

MONOGRAFIES DE TECNOLOGIA, 4

AJUTS TECNOLÒGICS
PER A DISMINUÏTS FÍSICS

A cura
d'ALÍCIA CASALS

SOCIETAT CATALANA DE TECNOLOGIA
Filial de l'Institut d'Estudis Catalans

Barcelona, 1998

AJUTS TECNOLÒGICS
PER A DISMINUÏTS FÍSICS

This One



J9JY-S34-737Q

MONOGRAFIES DE TECNOLOGIA, 4

AJUTS TECNOLÒGICS
PER A DISMINUÏTS FÍSICS

A cura
d'ALÍCIA CASALS

SOCIETAT CATALANA DE TECNOLOGIA
Filial de l'Institut d'Estudis Catalans

Barcelona, 1998

Biblioteca de Catalunya. Dades CIP:

Ajuts tecnològics per a disminuïts físics = Technological aids for the disabled
Text en català i anglès. – Bibliografia
ISBN 84-7283-401-8
I. Casals i Gelpí, Aícia, ed. II. Societat Catalana de Tecnologia
III. Technological aids for the disabled 1. Ajuts tecnològics per als disminuïts
– Congressos. 2. Robòtica en medicina – Congressos
3. Ordinadors i disminuïts – Congressos
617.3(061.3)

© Els autors del articles
© 1998, Institut d'Estudis Catalans, per a aquesta edició

Editat per la Societat Catalana de Tecnologia
(filial de l'Institut d'Estudis Catalans)
Carrer del Carme, 47. 08001 Barcelona

Primera edició: maig de 1998
Tiratge: 600 exemplars

Compost per Fep, SL
Carrer Laforja, 23, entl. 1a. 08006 Barcelona

Imprès a Limpergraf, SL
Carrer del Riu, 17. 08291 Ripollet

ISBN: 84-7283-401-8
Dipòsit Legal: B. 20060-1998

PRESENTACIÓ

En el nostre entorn sovint apareixen nous productes que ens sorprenen pel seu disseny, funcionalitat o prestacions. L'evolució de la tecnologia permet desenvolupar productes cada cop més sofisticats i en certa manera «intel·ligents», que tenen incidència en camps molt diferents d'aplicació, entre ells el de la rehabilitació.

Per tal d'analitzar l'estat actual de la tecnologia i com incideix en el disseny i desenvolupament d'ajuts tècnics per a persones amb disminucions o persones grans, l'Institut d'Estudis Catalans va organitzar, el 20 de gener de 1997, una jornada tècnica amb l'objectiu de presentar i discutir les possibilitats que la tecnologia ofereix per desenvolupar productes que tinguin per objectiu millorar la qualitat de vida de les persones que, per alguna deficiència física o sensorial, tenen limitades les possibilitats de portar una vida «normal» en la societat actual. Aquest llibre constitueix un recull de les presentacions que es van fer durant aquesta Jornada, per investigadors que treballen en aquesta àrea. L'esforç per reunir persones expertes en els diferents camps temàtics abordats, tant del nostre país com de fora, així com l'interès de la temàtica, han motivat el fet que l'edició del llibre no es limités a la versió catalana, sinó que s'inclou també la versió en anglès en el mateix volum.

El desenvolupament dels ajuts tecnològics per a persones amb disminucions, ja siguin simples dispositius, equips o sistemes complexos, és molt costós. Afortunadament, però, aquest desenvolupament sovint es beneficia dels avenços en altres sectors més potenciats econòmicament, com són la indústria, la defensa o l'exploració. Aquest re-aprofitament de la tecnologia és possible pel fet que en aquests camps es desenvolupen equips i sistemes per poder efectuar la manipulació, la percepció de l'entorn i la comunicació amb l'ordinador, aspectes que constitueixen algunes de les mancances d'un col·lectiu de persones amb disminucions físiques o sensorials.

Sense pretendre ser exhaustiu, el llibre exposa en els diferents capítols, diverses problemàtiques en l'àmbit de la discapacitat i presenta l'estat de la tecnologia en aquest camp, descrivint els diferents tipus de productes o sistemes existents per afrontar aquestes limitacions dels usuaris. S'avaluen

també les dificultats d'introducció i acceptació d'aquests productes, a causa principalment del seu cost, prestacions i controlabilitat per part de l'usuari.

ALÍCIA CASALS

INTRODUCCIÓ

*Joan Plaja**

Els ajuts tecnològics per a persones amb disminucions existeixen des de fa molt temps, però és darrerament que s'ha fet un gran salt qualitatiu i quantitatiu. Una causa d'aquest impuls és l'increment del nombre de disminuïts a causa d'accidents de trànsit, laborals o d'esport, i també la supervivència en malalties abans mortals i la prolongació de l'expectativa de vida amb les limitacions progressives de l'envelliment. També hi ha una millor consciència social d'ajut al disminuït.

Els avenços tecnològics han posat avui a l'abast de tothom un gran nombre d'estrís que amplien les capacitats, la comoditat i la qualitat de vida de l'ésser humà. Estem tan acostumats a tota mena de ginyos que sols veiem la nostra dependència quan s'espantia el telèfon, els electrodomèstics, el comandament a distància, l'ordinador, el cotxe o les eines de despatx i de treball. Si tals ginyos potencien les capacitats normals i disminueixen l'esforç necessari, també poden compensar, i fins i tot suplir, les mancances de capacitat de les persones amb disminucions amb una eficiència impensable fa uns anys.

Actualment podríem dir que hi ha dos grups de ginyos per a l'ajut al disminuït:

1) Els manllevats de l'oferta general de consum, que directament o amb mínimes adaptacions poden servir per ajudar a un discapacitat. Per la seva generalització són sempre poc cars en relació amb l'alta tecnologia que poden contenir i són fàcilment assequibles.

2) Els desenvolupats específicament per a un grup més o menys nombros de discapacitats, que tot i que aprofiten tecnologies ja desenvolupades, tenen un cost elevat i una oferta limitada. En la fase d'investigació, i també en la de comercialització, és imprescindible disposar d'una important ajuda material i professional especialitzada, i del suport de la universitat, la indústria, l'Administració o de fundacions privades.

*Excip del Departament de Rehabilitació de l'Hospital Universitari de la Vall d'Hebron.

No totes les ajudes tècniques per a minusvàlids són necessàriament ginys sofisticats. Els departaments de teràpia ocupacional actuals encara estan plens de petits estris, els *gadgets*, que faciliten les funcions i activitats diàries del disminuït. Des de l'ús de Velcro, que permet eliminar els botons i les cremalleres de les vestimentes i ajustar les ortesis i les pròtesis sense corretges i sivelles, fins als coberts i els bolígrafs adaptats, els plats amb una ventosa de fixació, els vasos amb nanses grans, les fèrules de làmina termoplàstica, les suspensions per a desgravació, el calçador de mànec llarg, etc. Molts d'aquests estris són de fabricació artesana i individual, d'altres aprofiten fins i tot, utensilis per a nens petits. En el camp sensorial, els quadres fets amb ideogrames o fotos segueixen vigents, i alguns senzills ordinadors de lletres i números per a infants ajuden a la comunicació.

Molts ginys que fa pocs anys eren experimentals i molt costosos, avui es poden fer i millorar amb dispositius estàndards de l'oferta general. Cap als anys setanta, uns dispositius de cost molt elevat permetien que un tetraplègic controlés amb un moviment de cap o del canell, o d'una bufanda, la llum de la cambra, una ràdio, un ventilador, el telèfon i un passapàgines de llibre. Avui els dispositius comercials de comandament a distància permeten el control dels electrodomèstics i els llums, es pot parlar per telèfon sense despenjar l'auricular i marcar números arxivats en la memòria, o demanar ajuda automàticament. L'increment de llibres o publicacions en caset ajuden el cec, i en un CD-ROM es passen pàgines amb una sola tecla del ratolí. Fins i tot, amb un simple ordinador, un gran minusvàlid pot escriure, editar, imprimir i arxivar documents amb pulsacions i generar un producte final idèntic al que faria una secretària normal. Naturalment, aquesta gamma bàsica és ampliable i millorable amb altres dispositius, ja específics, de tasques per robot, comandament per la veu, etc.

Les grans possibilitats de la tecnologia actual poden donar la falsa impressió que ja són possibles robots com els de la ciència ficció o membres artificials de força i capacitat superior a la dels normals, i es pot caure en certa decepció en veure la realitat de les ajudes, fins i tot en tecnologia capdavantera, que romanen a un nivell molt inferior. Però el desenvolupament ha estat molt important, no sols la introducció de nous materials i de tecnologia, sinó també en l'evolució del concepte de com suplir una funció perduda.

Un exemple demostratiu d'aquesta evolució és el de les pròtesis per a amputats. Tenim referències de l'ús de la pròtesi elemental de fusta en diverses cultures abans de Crist. En el segle XVI, juntament amb senzilles ajudes per als amputats que veiem en les pintures de Bruegel, Ambroise Paré va descriure una nova pròtesi mecànica amb genoll articulad i blocable; en el segle XVII l'holandès Verduin féu una pròtesi amb barres laterals i mane-

got de cuir, encara que la seva difusió i l'aparició de l'ortopedista professional va tardar encara molts anys.

Després de la Primera Guerra Mundial hi va haver modificacions i progressos en materials i fixacions, però el gran impacte va ser després de la Segona Guerra Mundial en què als Estats Units es va crear un comitè per a l'estudi, el desenvolupament i la confecció de pròtesis, que va coordinar i impulsar el treball d'equips d'enginyers, metges, físics, tècnics diversos i que va permetre acurats estudis de biomecànica de la marxa i realitzacions com el peu SACH, la suspensió patellar, la Hydra Cadence, etc.

Paral·lelament, a Europa es va desenvolupar l'encaix de suspensió per buit, l'encaix de contacte total i l'encaix quadrangular. Encara que superats avui dia, varen ser una fita important i eren el nou concepte que la suplència d'una funció no necessàriament ha de seguir el model de la natura. El complicat mecanisme muscular amortidor del turmell durant la marxa, que s'havia intentat imitar amb motlles i tensors, podia ser substituït funcionalment en el peu SACH per un peu rígid amb taló elàstic. L'encaix quadrangular va modificar la silueta normal de la cuixa, evitant la rotació del moynó i ampliant el suport de l'amputat damunt la pròtesi.

Es va establir també la necessitat d'aplicar les noves tecnologies a l'estudi de les funcions biomecàniques i fisiològiques normals abans de planejar un giny que les reproduís. El fruit va ser la definició de l'*enginyeria mèdica* o *bioenginyeria*, una ciència de cruïlla en què participen majoritàriament enginyers, metges i biòlegs, i que treballen tant en l'estudi instrumental com en la suplència tècnica de les funcions humanes.

Ara fa uns quaranta anys va començar aquesta especialització, la gran preocupació en els nous llibres i treballs era la difícil coordinació de metges i enginyers amb formació, metodologia, raonament i àdhuc llenguatge tècnic ben diferent. El metge, format en la pràctica del tractament i acostumat a les aproximacions diagnòstiques i a la variabilitat dels paràmetres biològics, era considerat empíric o poc científic pels enginyers. L'enginyer, que es fonamenta en el càlcul rigorós i en l'anàlisi, àdhuc destructiva, de materials estables i amb lleis físiques definides, era mirat pel metge com un teòric meticulós incapaç d'acceptar que una funció biològica aparentment simple depengui de moltes altres funcions i tingui un comportament complex i poc previsible. Aquest abisme ja ha estat vençut en els equips mixtos especialitzats i ha permès realitats com les que recull aquest llibre. Cada dia són més els metges que tenen coneixements bàsics de biomecànica, electrònica o informàtica, que els ajuden a conèixer i emprar millor els instruments diagnòstics, els implants i les pròtesis, i els enginyers que coneixen i estudien les peculiaritats del control fisiològic del cor, la circulació, la respiració, la micció, la marxa i els moviments.

Avui, un senzill bastó de colze presenta molts detalls de disseny basats en la biomecànica de la postura i la marxa per a un millor suport i control de l'equilibri i, a la vegada, la protecció de les articulacions i l'atrapament dels nervis del canell i el colze durant el suport.

Aprofitant la plasticitat i la capacitat d'adaptació de l'organisme, és possible emprar funcions conservades per suplir-ne d'altres de perdudes. Una pròtesi mioelèctrica es controla amb músculs aliens a la funció activada. Els senyals visuals o auditius que no pot rebre l'ull o l'orella sense funció es poden convertir en sensacions tàctils i ser interpretades bàsicament pel minusvàlid. Es poden manipular objectes amb un robot controlat amb moviments del cap o la veu. Aquest tipus d'ajuts, a diferència dels purament passius, requereixen entrenament i habilitat per part de l'usuari.

L'eficàcia última dels ajuts tecnològics depèn molt de l'usuari. En la fase de plantejament i disseny, i en la prova del prototip, la seva col·laboració és imprescindible i sortosament sempre n'hi ha de motivats i interessats. Les dificultats solen aparèixer quan el nou giny s'aplica a nombrosos disminuïts. Sovint un ajut tècnicament perfecte i de grans prestacions per a un disminuït no es utilitza ni aprecia per altres persones amb disminucions semblants.

Per valorar adequadament l'impacte dels ajuts tecnològics en les persones amb disminucions, és molt important recordar uns conceptes bàsics en *rehabilitació*.

Discapacitat és la disminució o pèrdua d'una funció o segment corporal. Pot ser objectivament definida i valorada pel metge amb les simples dades d'exploracions diagnòstiques o amb l'ajut d'instrumental específic de mesura. Per exemple, parlem d'una paràlisi de ciàtic popliti extern amb la impossibilitat d'aixecar el peu, o d'un amputat de cama a l'alçada de la cuixa. La funció pot ser parcial o totalment compensada amb ajuts tecnològics, com una ortesi o un estimulador elèctric funcional en el cas de la paràlisi, o una pròtesi en el cas de l'amputació, tot i que la pèrdua anatòmica i la discapacitat segueixen existint.

En la discapacitat no hi ha una relació directa de gravetat entre la pèrdua anatòmica i la funcional. Una amputació del cinquè dit té menys importància que la del primer dit o polze, encara que en centímetres o grams no siguin gaire diferents. El dit petit té una limitada funció en l'acció d'engrapar. El polze és imprescindible en l'acció de pinçar, que és fonamental per a la manipulació. Les taules d'indemnització de les assegurances solen tenir en compte aquestes diferències, encara que no sempre en la veritable mesura.

Les possibilitats d'eficàcia d'un ajut tecnològic són inverses a la complexitat de la funció perduda. La pèrdua del dit petit no requereix una prò-

tesi; àdhuc estèticament és millor no posar-la (la gent no compta els dits de la mà de la persona amb qui parla). La manca de polze es pot protetitzar però, per ara, sols com a punt de suport passiu de la pinça feta amb altres dits. Les pròtesis d'extremitats inferiors són sempre útils ja que per caminar sols cal una mínima funció de suport, i qualsevol afegit funcional imitant les funcions del genoll o del peu permet una marxa més o menys elegant. En canvi, les millors pròtesis actuals d'extremitats superiors són una limitada substitució de la complexa manipulació d'objectes.

Minusvalidesa és l'impacte que una discapacitat té en la vida diària i professional d'una persona concreta. Per tant, depèn de factors individuals, socials i laborals. Una mateixa discapacitat dóna diferents minusvalideses. Si un amputat dotat d'una pròtesi adequada camina acceptablement i té un treball sedentari, tindrà molt poca minusvalidesa. Si era un esportista professional o un obrer de la construcció pot tenir una greu minusvalidesa.

Una paràlisi facial és una minusvalidesa total per a una model i una de limitada en un treballador de taller.

L'eficiència dels ajuts és també variable segons la minusvalidesa i la persona. Una pròtesi d'extremitat superior, àdhuc sofisticada, pot no variar la minusvalidesa en un amputat unilateral que pot fer la majoria d'activitats diàries i laborals amb la mà conservada i, a tot estirar, necessita un suport elemental amb la pròtesi. En canvi, l'amputat bilateral treurà la màxima rendibilitat de les pròtesis que el seu nivell d'entrenament i habilitat li permeten.

A l'hora d'avaluar una persona amb una disminució i la possibilitat, utilitat o rendibilitat real d'un possible ajut tecnològic, ho hem de fer sempre des dels diferents punts de vista.

A més dels criteris objectius de discapacitat i minusvalidesa, és molt important l'actitud de l'usuari vers l'ajut proposat. Sovint es planteja el conflicte entre l'estètica i la funcionalitat. Un amputat d'extremitat superior amb una mà de tipus ganxo o un dispositiu terminal d'eina pot realitzar moltes activitats de la vida diària i fins i tot laboral, però alguns prefereixen una mà estètica encara que tingui una mínima o nul·la funcionalitat. La cadira de rodes, que fa uns anys era rebutjada per molts com a símbol d'invalidesa, és avui ben acceptada individualment i socialment ja que permet una gran independència i àdhuc practicar esport als paraplègics.

La tolerància física i la dificultat de comandament són altres punts d'importància en les ajudes externes i depenen tant del disseny com de la personalitat i l'estat físic i mental de l'usuari. Un ordinador molt útil a un paraplègic és inútil per a un hemiplègic deteriorat mentalment. Un hemiplègic ancià pot tenir dificultats per manejar un simple bastó o un caminador, mentre que un tetraplègic jove i dinàmic controla meravellosament

una cadira elèctrica. Tot sovint resulta difícil convèncer un amputat d'extremitat superior que, en el seu cas particular, pot resultar més adequada una pròtesi senzilla d'activació mecànica que una sofisticada mioelèctrica més pesant, amb molts controls, difícil maneig i enutjós manteniment de càrrega de bateries i complicades avaries.

La informació als usuaris ha de detallar no sols les possibilitats i prestacions, sinó també les exigències i limitacions, de la mateixa manera que els medicaments detallen les indicacions i contraindicacions.

És, doncs, molt important a l'hora de prescriure o recomanar un ajut valorar tots aquests aspectes i pensar que moltes vegades un giny senzill pot ser més útil i eficaç que un de tecnologia elevada.

En el camp de la reinserció laboral, les possibilitats tecnològiques són àmplies i positives, però malauradament l'aplicació real és molt problemàtica. A més de la precarietat actual del mercat de treball, hi ha una resistència per part de les empreses a acceptar modificacions o adaptacions de l'utillatge o la maquinària habitual, i l'ajuda tècnica al minusvàlid sol ser eficaç sols en l'àmbit de tallers protegits o el treball autònom.

Finalment, és imprescindible la col·laboració de la universitat, els hospitals, la indústria, l'Administració i algunes fundacions privades per disposar de personal i fons necessaris per a la investigació i el desenvolupament dels nous projectes, que els comercialitzin i els posin a l'abast dels usuaris, encara que l'operació sigui limitada i poc rendible.

No dubtem que malgrat algunes dificultats, l'ajuda tècnica a un discapacitat arribarà a ser tan natural i normal com tota la cadena de dispositius mecànics i electrònics que ja usem els menys limitats en les activitats diàries i laborals. El progrés de la tècnica, dels costums i la seva difusió per part d'obres com aquesta ho faran possible.

AVANÇ TECNOLÒGIC I AJUTS EN LES DISCAPACITATS

*Josep Amat**

1. INTRODUCCIÓ

L'avenç tecnològic experimentat en els darrers anys, i molt especialment en el camp de la microelectrònica i de la informàtica, ha permès el desenvolupament d'estris domèstics de tot tipus que, directament o convenientment adaptats, fan possible anar avançant en la creació d'una oferta d'equips que donen resposta a les necessitats d'un nombre molt important d'usuaris, tant de persones amb disminucions físiques causades per accidents de circulació o de malalties, com persones d'edat avançada.

Malgrat que el continuat desenvolupament tecnològic és un factor bàsic en l'evolució de les ajudes tecnològiques, aquest desenvolupament no és ni el determinant ni l'únic que ha de donar solucions acceptables als problemes —com el confort i la independència en l'entorn familiar— que la discapacitat física planteja. Els equips d'ajut no només han de ser eficients i assequibles, sinó que el seu disseny o aspecte exterior han de facilitar la seva introducció a l'entorn quotidià, de tal manera que el seu ús no generi un nou tipus de problemàtica, la qual pot arribar a ser més estressant que la deficiència que es pretén compensar (fig. 1).

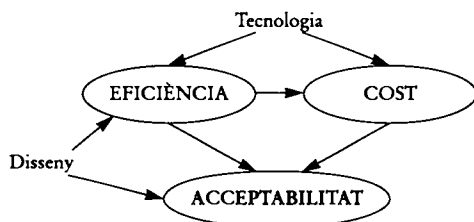


FIGURA 1. Factors que incideixen en l'acceptació dels ajuts tecnològics per als discapacitats.

* Institut de Robòtica Industrial (IRI)-UPC/CSIC, Barcelona.

La forma d'operació aconseguida per una unitat de control cada vegada més intel·ligent i molt especialment la interfície de comunicació amb l'usuari —tant físicament com lògicament— són factors molt determinants per aconseguir satisfer uns requeriments mínims de deficiència i cost, però cal procurar que puguin ser també acceptables per l'usuari en el seu entorn.

L'oferta d'equipaments d'ajut a persones discapacitades prové d'empreses especialitzades, que per desenvolupar aquests tipus d'ajuts per a persones amb disminucions físiques disposen, per una banda, d'una creixent gamma de components i dispositius que genera l'automatització industrial i, per altra banda, de molts diferents electrodomèstics, que com que són cada vegada més automatitzats, resulten més fàcils d'adaptar. Aquests recursos tecnològics disponibles i la creixent demanda existent permeten fabricar equips capaços de donar moltes solucions eficients i de cost més assequible. Altres equips més complexos o de tipus més experimental són desenvolupats amb el suport de centres de recerca (fig. 2), que treballen en temàtiques entorn de la informàtica, la visió per ordinador, la intel·ligència artificial, la robòtica, la micromecànica o els nous materials.

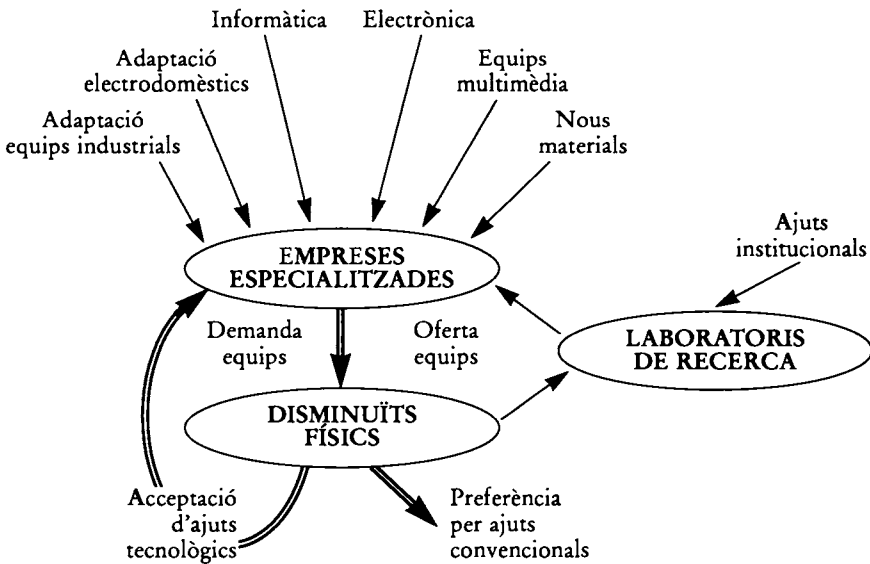


FIGURA 2. Impacte dels avenços tecnològics en l'oferta d'ajuts per als disminuïts.

2. AJUTS TECNOLÒGICS PER A DISMINUÏTS FÍSICS

Les principals necessitats que generen les deficiències físiques i que més freqüentment es presenten són:

- La mobilitat.
- L'accés als serveis privats i públics.
- La manipulació dels objectes de l'entorn.
- La formació i la comunicació.
- El lleure.

De l'anàlisi d'aquestes necessitats, podem comprovar que moltes actualment ja tenen una possible solució tecnològica. Dissortadament, una gran part d'aquestes solucions no donen resposta als tres requeriments principals ja comentats: l'eficiència, el cost i l'acceptació de l'usuari.

2.1. AJUTS TECNOLÒGICS PER A LA MOBILITAT

La necessitat de resoldre un dels problemes bàsics, el de la mobilitat, ha comptat ja des de començament de segle amb l'ajuda de les cadires de rodes, la utilització de les quals suposa una solució acceptable al problema del desplaçament en l'àmbit de la llar, el laboral i, fins i tot, del lleure. Amb l'ajut de les cadires de rodes es pot recórrer amb independència, distàncies relativament llargues, si no existeixen obstacles.

El disseny de les millors cadires de rodes (fig. 3) s'ha vist beneficiat per les millores tecnològiques desenvolupades pel ciclisme de competició i pel disseny ergonòmic, que permet fins i tot practicar algun esport.

La incorporació de la tracció elèctrica a les cadires de rodes ha permès ampliar l'eficiència de l'ajuda a la mobilitat dels discapacitats més greus. El desenvolupament d'aquest tipus de cadires s'ha beneficiat molt de les innovacions en vehicles autònoms de transport, emprats en les naus industrials més automatitzades. L'ús de controladors dotats d'un microcomputador i dels corresponents sensors de proximitat per a la detecció d'obstacles permet la generació automàtica de trajectòries que faciliten la mobilitat amb autonomia a usuaris amb molt reduïdes o fins i tot nul·les restes motrius, emprant la veu.

Malgrat aquests avenços i facilitats tècniques, el preu d'aquests aparells és prohibitiu per a molts potencials usuaris i, per tant, el seu ús és força restringit.

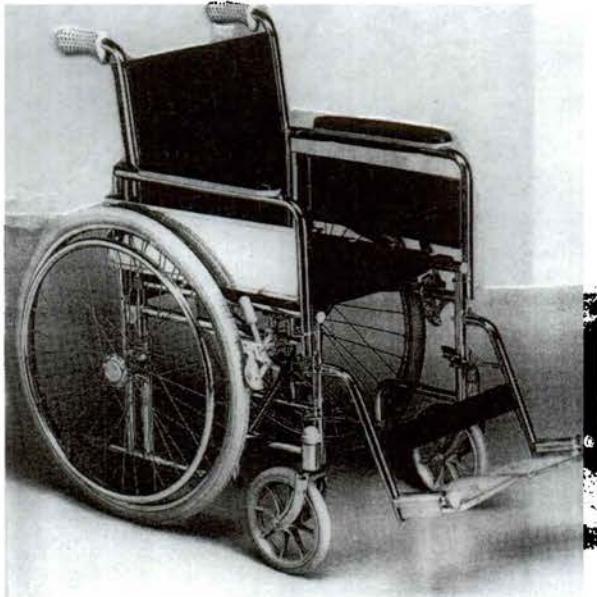


FIGURA 3. Millores introduïdes en les cadires de rodes tant pel que fa al pes com al seu confort.

2.2. AJUTS TECNOLÒGICS PER ALS PROBLEMES D'ACCÉS

Una dificultat associada a la mobilitat és tota la problemàtica que comporta l'accés de la cadira o de la cadira estant a l'automòbil privat, al transport públic, als edificis i serveis públics.

La barrera arquitectònica que més sovint s'ha de superar són les escales, fins i tot en els edificis de construcció recent, tot i la creixent sensibilització de la societat envers la necessitat d'accés amb la cadira de rodes a tot entorn urbà i als serveis públics. De tota manera, gradualment es van suprimint aquestes barreres arquitectòniques, amb la generalització dels ascensors, o fins i tot amb la introducció dels elevadors mecànics de tipus barana-cremallera (fig. 4), allà on per l'estructura de l'edifici o la necessitat d'una conservació més estricta no és factible introduir els ascensors convencionals.

Els sistemes assajats per poder dotar les mateixes cadires motoritzades de capacitat per pujar o baixar escales autònomament, utilitzant unes erugues per exemple (fig. 5), no han donat fins ara cap producte prou acceptat, tant pel seu elevat cost com pel volum que ocupen i la poca eficiència sobre les superfícies planes sense obstacles, que són les que predominen.



Figura 4. Plataforma elevadora per remuntar escales amb cadires de rodes.



Figura 5. Cadira adaptada per pujar i baixar escales.

Les dificultats per poder prescindir de l'ajuda externa que tenen els discapacitats més greus i que es donen bàsicament en la pròpia llar, concretament en el dormitori i la cambra de bany, són tecnològicament resolubles mitjançant, per exemple, elevadors mòbils sobre guies, que poden estar col·locades en el sostre (fig. 6).



FIGURA 6. Sistema d'elevació i transport utilitzable per a l'accés al bany.

Aquest tipus de solucions tan contundents, però, tot i que són efectives i que faciliten la privacitat són, en general, poc acceptades; d'una banda, a causa del negatiu impacte estètic que suposen per a la llar i, per altra part, per la manca d'alçària o d'espai de molts habitatges.

L'accés al transport públic presenta una problemàtica diferent, segons es tracti de transport subterrani o de superfície. El transport subterrani no té en general obstacles quant a l'accés de l'andana al vagó o viceversa, però sí de l'andana al carrer. Les escales mecàniques obstaculitzen aquest accés. Aquest fet, però, no comporta cap dificultat tecnològica ja que es pot solucionar amb la instal·lació d'ascensors. Aquesta instal·lació, però, pot ser més difícil d'introduir en estacions antigues on aquest element de transport vertical no va ser previst originàriament.

L'accés al transport públic de superfície està també resolt tecnològicament mitjançant l'ús de plataformes elevadores replegables. És, doncs, únicament un problema econòmic poder disposar d'aquesta facilitat en els nous vehicles que es van incorporant a les línies d'autobusos de transport públic.

Les dificultats d'accés que impliquen les portes, més especialment en l'àmbit laboral i en els espais públics que dins de la llar, són també un fort obstacle per al desplaçament amb cadires de rodes. Aquest problema admet també solucions tecnològiques dotant les portes de sistemes d'obertura automàtics. Utilitzant sistemes de comandament a distància o sensors de presència es facilita molt el pas amb la cadira. Els sistemes d'obertura basats en targetes d'identificació o els que tenen teclats permeten un accés selectiu i restringit quan hi ha problemes específics de seguretat.

2.3. AJUTS PER A LA MANIPULACIÓ D'OBJECTES I CONTROL DE L'ENTORN

Per tal que les persones amb disminucions físiques puguin assolir alts nivells d'independència, cal donar solucions als problemes derivats de la dificultat que troben en la utilització dels elements de l'entorn que comporta l'activitat quotidiana, per exemple, poder realitzar les funcions bàsiques de la higiene personal, l'alimentació, el treball i el lleure.

El primer nivell de dificultat és la gran disminució de l'espai accessible per a la persona, quan aquest queda reduït al moviment de tan sols els seus braços. En aquest cas, les dificultats poden ser resoltes tot emprant les mateixes solucions tècniques de compactació i automatització que són utilitzades en la indústria: els magatzems computeritzats. En un entorn domèstic adaptat, aquests armaris poden ser utilitzats tant per als estris de cuina, com per a altres objectes d'ús personal (fig. 7).

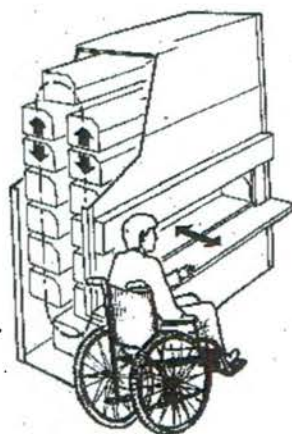


FIGURA 7. Utilització d'un armari motoritzat per posar més a l'abast els objectes.

Aquesta solució permet tenir molt a l'abast els elements emmagatzemats i seleccionats que hom pot triar mitjançant una interfície adient, com pot ser un teclat; tot i que el cost no és prohibitiu, una instal·lació d'aquest tipus pot ser de difícil incorporació en les cuines i dormitoris de molts habitatges de dimensions sovint força reduïdes.

Quan la discapacitat és més greu, cal recórrer a la utilització dels braços mecànics que permeten agafar i manipular els objectes de l'entorn. En aquest cas, la robòtica comença a ser de gran ajuda per mitigar els problemes que planteja aquest tipus de discapacitat.

La robòtica ja ha demostrat la seva eficiència en la indústria, fent possible l'automatització de molts processos que es feien manualment, fins i tot quan aquests requerien una notable habilitat. La robotització dels processos industrials s'aconsegueix amb èxit gràcies a l'etapa prèvia de programació, que normalment no és significativa per a la rendibilitat de l'automatització, ja que el treball a realitzar és generalment repetitiu durant un cert temps i, per tant, queda compensat pel període d'utilització del robot, que realitza la seva tasca amb eficiència i fiabilitat.

La dificultat que presenta l'aplicació de la robòtica en l'ajut al discapacitat és que la majoria de les tasques no són preprogramables. Caldria que els elements de l'entorn estiguessin sempre en una posició prèviament coneguda, ja que en la programació de les trajectòries que configuren la tasca que s'ha de fer, cal preveure totes les incidències que es poden produir.

En l'àmbit industrial, aquests condicionants no són, en general, cap obstacle per assolir l'eficiència desitjada, però en el domèstic, cal admetre

molta més flexibilitat i improvisació en l'estructuració de l'entorn. És per això que l'ús de la robòtica per part de persones amb fortes discapacitats comporta una sèrie de dificultats com ara el fet que han de tenir un control total dels moviments del robot sense que els calgui posseir coneixements tècnics específics, a més, cal compassar la seva manca d'habilitat a causa de les deficiències motrius que els impedeixen actuar sobre el controlador, per simple i lleuger que sigui. A fi de superar aquestes dificultats i poder utilitzar la robòtica en el camp assistencial, s'han desenvolupat sistemes de control que combinen l'execució de tasques que contenen operacions previsibles i repetitives prèviament programades —com són passar les pàgines d'un llibre o acostar la cullera del plat a la boca—, amb l'execució d'altres trajectòries directament comandades per l'usuari —mitjançant interfícies específiques adaptades a les restes motrius d'una mà o del cap, o de les ordres orals que el robot interpreta. Per aconseguir eficiència en la realització de la tasca i seguretat per a l'usuari, els robots per a aquestes aplicacions estan dotats de sensors de proximitat i de contacte que eviten les col·lisions, i de sensors de força per poder efectuar trajectòries amb forces i parells limitats. D'aquesta manera, la imprecisió o els errors de comandament que, lògicament, cal esperar, no comporten perills ni danys per a l'usuari ni per als objectes del seu entorn.



FIGURA 8. Robot assistencial.

En aquesta línia, s'han desenvolupat ja alguns braços robot auxiliars que poden ser instal·lats sobre la mateixa cadira de rodes, d'aquesta manera, esdevé un braç auxiliar que pot agafar i manipular objectes en qualsevol lloc. Si el robot és instal·lat sobre unes guies a la sala d'estar, les possibilitats

d'accés a aquesta cambra augmenten (fig. 8), i el seu pes i consum ja no és una limitació, cosa que repercuteix favorablement en l'eficiència i la velocitat d'operació.

Els avenços en la visió per ordinador i en la intel·ligència artificial han permès desenvolupar prototipus cada vegada més eficients i capaços de realitzar tasques assistencials que requereixen més habilitat i precisió. És, però, el seu elevat cost el que continua sent el gran obstacle per a la seva implantació generalitzada.

2.4. AJUTS A LA FORMACIÓ I A LA COMUNICACIÓ

La disminució física, quan afecta els sectors més joves de la població, provoca també moltes dificultats per a la normal integració en l'àmbit educatiu. Si la discapacitat no impedeix accedir normalment a l'ordinador, les seves possibilitats de formació són, actualment, ja quasi il·limitades, ja que a través de l'ordinador, es té accés a l'àmplia oferta existent en formació assistida per ordinador, cada vegada més desenvolupada.

Quan la capacitat de comunicació amb l'ordinador és restringida per una deficiència física més greu, cal disposar de teclats i altres interfícies adaptades. Aquest tipus d'interfícies resten efíca a l'usuari, però permeten encara aprofitar l'enorme potencialitat de la informàtica com a mitjà d'obtenir una formació també a persones amb aquestes discapacitats més greus.

El desenvolupament dels sintetitzadors de veu i el reconeixement de la parla han permès l'accés dels cecs a l'àmbit informàtic i han demostrat a bastament les possibilitats de la informàtica com a eina per la formació i per a la integració professional, tot i la seva important deficiència sensorial.

L'ordinador, però, no solament és de gran utilitat perquè facilita la formació de les persones amb fortes discapacitats, sinó que també és un bon vehicle d'intercomunicació personal. A través de les xarxes informàtiques, es poden eliminar les distàncies geogràfiques i és possible l'accés a tot tipus d'informació.

La incorporació a l'ordinador d'altres dispositius d'entrada/sortida com són els lectors òptics de caràcters o els sistemes de reconeixement i sintetitzadors de veu, fa possible resoldre el problema de la intercomunicació de persones amb deficiències de percepció i/o d'expressió amb altres persones del seu entorn més immediat.

Aquests potents mitjans d'intercomunicació que la informàtica fa possible desenvolupar no estan, però, a l'abast de tot tipus de disminuïts físics que ho necessiten, ja que es produeix un cert rebuig, especialment per part

de les persones de més edat que precisament és el segment de la població potencialment més necessitada d'ajuts de potenciació sensorial; això és degut a l'augment progressiu de la potència dels computadors personals, que ha comportat un notable augment de les capacitats dels productes informàtics i, per tant, també la complexitat en la seva utilització.

Programes molt bàsics, com poden ser els de tractament de textos, per exemple, estan pensats per a l'ús del més exigent dels professionals de la comunicació, però resulten d'un ús moltes vegades impossible per a usuaris que únicament volen escriure o llegir un text. I és que aquests programes presenten un extens menú d'eines i funcions especials, que en la seva major part aquests usuaris mai no faran servir. Permeten utilitzar un exagerat nombre de tipus i formats de caràcters, molts d'ells totalment inútils o, fins i tot, il·legibles, que sols fan més complicada la seva utilització. També posseeixen capacitats d'incorporació d'altres dades, gràfiques o imatges amb una complexa varietat de possibilitats que, a vegades, fins s'avancen als desitjos de l'usuari, però que no admeten cap dubte ni error per part d'aquest.

El fet que no existeixin versions molt més simplificades amb menús molt més reduïts i més fàcilment visibles per a usuaris de major edat, normalment també amb dificultats de percepció, fa que l'ordinador també esdevingui una nova barrera de comunicació, tal com les escales constitueixen barreres físiques per a la mobilitat.

El rebuig de la informàtica que aquesta innecessària complexitat va produint a un important sector de potencials usuaris, especialment d'edats més avançades, fa pensar que en un futur ben pròxim també apareixerà una nova gamma de productes informàtics més simplificats. Aquests productes, amb un disseny més racional i ergonòmic, segurament basat en un reduït nombre d'icones gràfiques més clarament visibles, els faria utilitzables per a un major nombre de persones, no solament amb dificultats de percepció o d'avançada edat, sinó també per aquelles interessades en productes informàtics menys professionals.

2.5. EL LLEURE

Per assolir una millor qualitat de vida, també cal assegurar als disminuïts físics la possibilitat de realitzar activitats de lleure, tant les que es poden realitzar estàticament com les de tipus més esportiu o competitiu que comporten una activitat física.

El control remot dels equips d'àudio i de vídeo ja suposa una important possibilitat de gaudir d'una gran oferta cultural o lúdica. La pantalla del televisor o l'ordinador també obre la possibilitat de l'ús d'una molt àm-

plia gamma de jocs clàssics interactius, que poden ser utilitzats per usuaris amb diverses discapacitats físiques.

La pràctica d'esports que requereixen una activitat física, actualment queda limitada als paraplègics, ja que amb la capacitat operativa dels seus braços i amb l'ajut de les cadires de rodes adaptades poden realitzar alguns esports com la cursa, el ciclisme (fig. 9), la natació, el rem o, fins i tot, el vol amb ala delta (fig. 10).



FIGURA 9. Bicicleta adaptada per a un paraplègic.



FIGURA 10. Un paraplègic pot practicar el vol amb ala delta.

3. ELEMENTS PROSTÈTICS

També es possible incorporar al mateix cos d'una persona determinats elements d'ajut per incrementar la seva independència i afrontar les adversitats que limiten la seva activitat normal. Aquests elements prostètics poden ser externs, per suplir la manca d'una extremitat, o poden ser implantats internament, per aconseguir l'estimulació funcional. El seu desenvolupament s'ha vist molt afavorit pels avanços tecnològics.

3.1. ELEMENTS PROSTÈTICS ORTOPÈDICS

L'amputació és un tipus de disminució física que requereix mesures substitutives sobre el propi cos, per poder recuperar una certa independència. El desenvolupament de les pròtesis ortopèdiques s'ha vist molt benefi-

ciat per la robòtica, ja que ha permès la fabricació de braços i cames prostètics cada vegada més efectius.

Tot i el progrés de la robòtica, en el seu aspecte més mecànic, de la microelectrònica i la informàtica responsables del seu control, els elements prostètics motoritzats continuen encara sent molt poc utilitzats, en concret les pròtesis inferiors. Això és degut al fet que un disseny acurat del braç o la cama ortopèdica i el desenvolupament d'unitats de control més efectives no són suficients per aconseguir l'acceptació de l'usuari, ja que les pròtesis d'aquest tipus encara tenen un cost molt elevat; les pròtesis inferiors desenvolupades (fig. 11), a més, requereixen unes fonts d'energia excessivament voluminoses i pesades que fan que encara sigui lluny la seva generalització.



FIGURA 11. Cama ortopèdica amb comandament automàtic.

3.2. ESTIMULADORS IMPLANTATS

Un dels elements prostètics que primer es varen començar a implantar són els marcapassos, com a estimulador elèctric del ritme cardíac per preveure'n les insuficiències. Aquests estimuladors han evolucionat substancialment en els darrers anys, en passar d'operar de freqüència constant i de manera ininterrompuda, a poder operar a freqüència adaptativa i segons la demanda de les necessitats reals d'estimulació. Amb l'estalvi energètic aconseguit amb aquesta manera de funcionament, el menor consum de les

tecnologies electròniques utilitzades i les millores en les piles elèctriques, s'ha produït també una notable disminució de la grandària d'aquestes i un temps d'autonomia molt més llarg.

El desenvolupament de la microelectrònica ha permès disposar també d'altres tipus d'estimuladors elèctrics, que poden ser activats voluntàriament pels seus usuaris, com és el cas dels microestimuladors dels esfínters per a l'evacuació de l'orina o els excrements, o els d'acció més permanent, com els utilitzats com a inhibidors del dolor, o per a la inhibició del tremolor en els malalts de Parkinson.

S'espera que en els propers anys altres tipus de microestimuladors elèctrics permetran donar una solució satisfactòria a d'altres tipus de necessitats que es plantegen per assolir una independència més gran enfront de moltes patologies o deficiències.

També s'han desenvolupat dosificadors implantats per a l'administració de determinats fàrmacs d'una manera més regular i sense necessitat que l'usuari faci cap operació, com els d'insulina per als diabètics.

4. AJUTS TECNOLÒGICS I INDEPENDÈNCIA

L'impacte de les noves tecnologies en el desenvolupament de nous equips d'ajut per a diferents tipus de disminucions físiques i sensitives ha estat apreciable en els darrers anys. Molts equipaments orientats primer a la indústria, al transport o als serveis, resulten també d'una gran utilitat per a resoldre problemes específics de persones amb minusvalideses.

Així, per exemple, el desenvolupament de la telefonia mòbil ha tingut una gran incidència en l'augment de la independència i la seguretat de tot tipus de persones, ja que permet també mantenir la intercomunicació informàtica d'un minusvàlid sobre la seva cadira de rodes quan es troba fora del seu entorn habitual. Els localitzadors geogràfics, els GPS, són actualment prou miniaturitzats, portàtils i econòmics, com perquè es puguin incorporar a les cadires motoritzades i puguin facilitar l'orientació i el desplaçament en entorns urbans.

En general, doncs, la conversió de molts equips electrònics en elements de consum repercuteix també molt positivament en les possibilitats de desenvolupament de dispositius que faciliten l'adaptació de persones amb discapacitats físiques en l'àmbit laboral i faciliten, alhora, l'assoliment d'una independència més gran en la seva llar.

En els capítols següents, veurem amb més detall els diferents tipus d'ajuts actualment disponibles per als diferents tipus de discapacitats físiques, així com les principals línies de recerca obertes, per continuar avançant en aquest camp.

5. BIBLIOGRAFIA

- Actes de la International Conference on Rehabilitation Robotics*. Keele University, Regne Unit, 1992.
- Actes de la primera European Conference on Medical Robotics, ROBO-MED 94*, Barcelona, 1994.
- Actes del 8th World Congress of the International Rehabilitation Medicine Association, IRMA 97*, Kyoto, Japó, 1997.
- American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*.
- DONATELLI, R.; WOODEN, M. [ed.]. *Orthopaedic Therapy*. Nova York: Churchill Livingstone, 1994.
- Journal of Rehabilitation*.
- Journal of Rehabilitation Research and Development*, Washington DC, EUA: Department of Veterans Affairs.
- IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*.
- PORTELL, E. *Ayudas técnicas en la discapacidad física*. Barcelona: Fundació Institut Guttmann, 1996.
- SCHERER, M. *Living in the State of Stuck: How Technology Impacts the Lives of People with Disabilities*. Cambridge, EUA: Brookline Books, 1993.

SISTEMES D'AJUT A LA MOBILITAT

*Rolf Dieter Schraft, Johannes Wagner
i Christoph Schaeffer**

La mobilitat d'una persona pot venir restringida per diferents tipus de barreres. A part de les causes físiques, les dificultats d'orientació o de desplaçament poden portar a la immobilitat. Per superar aquests problemes existeixen diverses solucions tècniques. Els progressos més recents fan possible nous desenvolupaments tecnològics.

En dispositius d'ajut a la mobilitat s'ha de parar especial atenció a les interfícies home-màquina pel fet que la mobilitat de la persona discapacitada depèn de la seva pròpia capacitat de controlar l'ajut.

La idea d'estendre un sistema d'ajut purament a la mobilitat a sistemes d'ajuda més personals i complexos pot tenir un paper molt important en futures aplicacions.

1. INTRODUCCIÓ

La mobilitat, és a dir, l'habilitat de les persones per desplaçar-se, és un factor important per a la qualitat de vida. La mobilitat té un paper crucial a l'hora de satisfer les nostres necessitats diàries, tenir accés al treball o al lleure i satisfer els nostres compromisos socials. Les persones amb disminucions físiques o mentals no són, però, les úniques que tenen problemes de mobilitat. Com a conseqüència del creixement, en tot el món, de l'esperança de vida, serà cada vegada més i més necessari desenvolupar dispositius que permetin mantenir la mobilitat individual de les persones grans. Això significa que s'han de reforçar les habilitats i capacitats d'una persona, i les seves deficiències haurien de ser contrarestades d'una manera molt individualitzada.

*Investigadors del Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart.

Avui en dia, ja hi ha una àmplia gamma d'ajuts mecànics per a persones amb disminucions que són generalment acceptats. Les croses, els caminadors, les cadires de rodes mecàniques o elèctriques, els elevadors, els llits motoritzats, les cadires catapulta i els elevadors en les escales ja són mitjans tradicionals per millorar la mobilitat personal. Els recents avenços tecnològics en el camp de la microelectrònica, els sensors i la robòtica han produït un gran augment de la funcionalitat i han fet abaixar els preus dels dispositius d'alta tecnologia. Ara per ara, però, aquest desenvolupament només ha influït d'una manera marginal sobre les solucions tècniques per a les necessitats de les persones amb disminucions i la gent gran.

Per aquesta raó, s'han fet diversos esforços a escala internacional per millorar la mobilitat dels discapacitats i la gent gran mitjançant els nous dispositius tecnològics. Un exemple és el programa TIDE (iniciatives de tecnologia per a discapacitats i gent gran) de la Unió Europea. El seu objectiu és promoure la recerca i el desenvolupament tecnològics tant en l'àmbit industrial com en el social. La finalitat del primer és millorar la indústria i el mercat europeu amb nous productes i serveis. Des del punt de vista social, els discapacitats i la gent gran han de poder «viure autònomament i participar més plenament en la vida social i econòmica de la Comunitat» (TIDE 1995). Altres activitats públiques i industrials que tenen lligams amb el programa TIDE han començat a funcionar durant els últims anys (ESPRIT, SPRINT, etc.).

Es poden especificar diferents barreres significatives a la mobilitat. La causa més important de la immobilitat és certament la discapacitat física. Hi ha diversos dispositius orientats a millorar la mobilitat física que són contínuament optimitzats i es treballa en nous desenvolupaments. El segon apartat d'aquest capítol tractarà de l'estat de l'art i dels nous desenvolupaments en el camp del suport a la mobilitat física.

Menys reconeguda, però també amb una alta incidència, és la manca de mobilitat produïda per dificultats en l'orientació i el desplaçament o per aconseguir la informació necessària per viatjar. Les solucions tècniques per superar aquests problemes són el tema del tercer apartat.

Una altra qüestió molt important és si una persona discapacitada és capaç d'aguantar i controlar un dispositiu d'ajut a la mobilitat d'alta tecnologia. Les interfícies home-màquina es tracten al quart apartat.

Certament, la mobilitat, en el sentit estricte de l'habilitat de moure's, és essencial per a l'autonomia d'una persona i per a la seva autoconfiança. Hi ha una àmplia gamma d'accions que normalment requereixen mobilitat física, però que no necessiten el moviment físic de la persona si es tenen dispositius d'ajut. Aquest raonament ens porta a una manera més general d'entendre la mobilitat, en què la persona no necessita necessària-

ment moure's, però el seu entorn és suficientment intel·ligent com perquè aquesta pugui realitzar certes tasques ella mateixa. D'aquesta manera, les restriccions de mobilitat física no han de comportar un nivell més baix de qualitat de vida. La idea d'integració de la gent gran (o els malalts) i els sistemes d'assistència (ECS - *Elderly Care Systems*) es descriuen en l'apartat de perspectives (cinquè apartat), juntament amb algunes altres idees de sistemes d'ajut a la mobilitat en un sentit més general.

La sensibilitat envers la dignitat humana i el desig d'independència són consideracions crucials en tots els camps de les ajudes tècniques per a persones amb disminucions. Això és especialment cert si les màquines reemplacen potencialment l'assistència humana o si restringeixen la seva autonomia prenent decisions automàticament.

2. AJUTS A LA MOBILITAT FÍSICA

2.1. DISPOSITIUS D'AJUT A LA MOBILITAT PERSONAL

2.1.1. *Cadires de rodes*

Durant diverses dècades s'ha treballat en la recerca de l'automatització de les cadires de rodes. Un dels primers resultats és la cadira de rodes controlada amb la veu, que va ser construïda al Jet Propulsion Laboratory de la NASA als anys setanta. Aquesta cadira està dotada d'un braç robòtic que proporciona a l'usuari la capacitat de manipulació.

En els últims anys el progrés en l'automatització i la robòtica ha donat lloc a uns quants prototipus de cadires de rodes, que combinen les capacitats de trobar el camí automàticament, desplaçar-se en entorns domèstics naturals, la detecció i l'evasió d'obstacles, repetir o seguir moviments comandats per l'usuari, etc. Per aconseguir aquestes funcions s'han seguit diferents camins, tant cap a l'automatització clàssica ben coneguda per les seves aplicacions industrials com la que es fonamenta en algorismes basats en el coneixement.

Un projecte molt interessant és la cadira de rodes altament maniobrible anomenada *Omni* (H. Hoyer, 1995), que permet un moviment sobre el terra amb tres graus de llibertat. Per aconseguir un moviment omnidireccional utilitza les rodes anomenades *mechanum wheels*, que són rodes formades per corròns (fig. 1). Una altra característica d'aquesta cadira és el seient elevable que permet a l'usuari aixecar-se sol quasi al mateix nivell que les persones dretes.

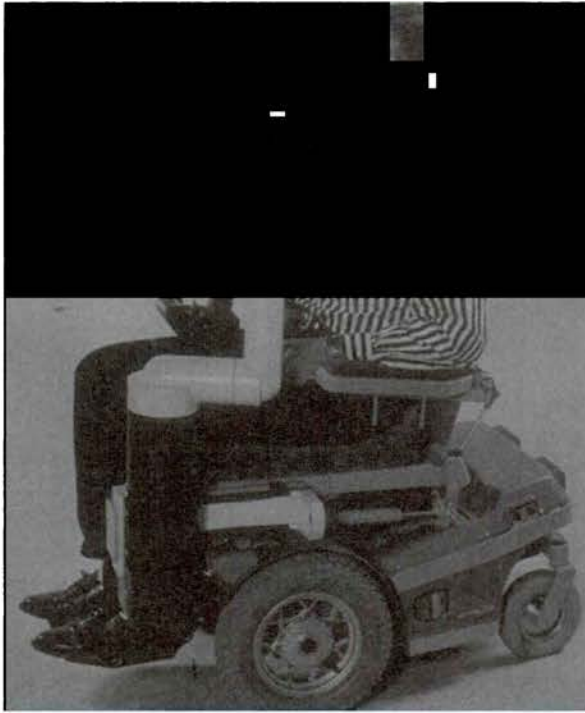


FIGURA 1. Cadira de rodes amb el robot Manus.

Encara que molts projectes de cadires de rodes s'han orientat per a l'ús d'aquestes en espais interiors, també es fa recerca en el camp de la mobilitat autònoma tot terreny. Un exemple d'aquesta activitat és l'addició a una cadira de rodes d'algunes actuacions automàtiques. La cadira proporciona mobilitat sobre superfícies planes mitjançant un sistema de locomoció basat en rodes i al mateix temps permet pujar escales mitjançant erugues.

La combinació d'una cadira amb un braç robòtic artificial sembla una solució molt avantatjosa per aconseguir capacitat de manipulació. El braç pot ser utilitzat en qualsevol lloc en què l'usuari és capaç d'arribar amb la cadira. El problema en aquest cas pot no ser tècnic, sinó que depèn de com l'usuari accepta que un braç robòtic actuï en el seu entorn.

Certament, l'automatització dels sistemes d'ajuda tècnica requereixen una alta sensibilitat a les demandes humanes. Per aconseguir l'acceptació sembla important que l'usuari no se senti massa protegit pel sistema. Per tant, seria avantatjós que poguéss seleccionar els diferents tipus de funcions.

2.1.2. Sistemes elevadors

Un altre aspecte de la mobilitat és el fet de poder aixecar i traslladar de manera segura persones amb paràlisi total o parcial, debilitades o amb fragilitat creixent deguda a l'edat. Les solucions existents actualment són, per exemple, les grues hidràuliques accionades manualment. Encara que aquests ajuts mecànics contribueixen a reduir l'esforç físic del personal dels hospitals no semblen sistemes gaire atractius. El mateix personal de servei no ho accepta bé per les seves condicions de maneig. D'altra banda, a l'usuari, tampoc no li agrada la indignitat que li suposa sentir-se portat per bagues suspeses d'un ganxo. A més, els sistemes existents no són adients per a víctimes de cremades o pacients anestesiats.

Una solució en aquest camp podria ser un braç robòtic que llisca al llarg del sostre tal com es proposa a K. G. Engelhardt, 1989. Podria ajudar a evitar lesions d'esquena i a incrementar la satisfacció del personal al mateix temps que proporcionaria més independència als pacients. El mateix sistema podria empènyer una cadira de rodes, donar suport en l'exercici de caminar, o simplement oferir una «espatlla amiga» per ajudar a desplaçar persones que són una mica inestables. Igualment, com en el cas de les cadires de rodes, l'acceptació sembla més gran si el braç manipulador es dirigeix directament per l'assistent o pel mateix pacient, més que si és controlat automàticament. En aquesta línia, s'han seguit també altres camins, especialment per aixecar i moure pacients confinats al llit, mitjançant l'ajuda d'un robot manipulador. Cal esmentar dues tècniques diferents: P. A. Finlay, 1988 i E. Nakano, 1981. En els dos casos, el pacient és aixecat del llit inserint el dispositiu entre la persona ajaguda i el llit. Aquesta operació es pot aconseguir sense resistència de fregament utilitzant taulons fins lliscants amb corretges. El bastidor a la part de dalt del robot té dues articulacions que li permeten deixar el pacient assegut o semiassegut.

La tasca d'aquest sistema robòtic és la de moure pacients amb diferents tipus de lesions de manera segura des de diverses posicions (per exemple, des del llit), canviar-lo de posició (per exemple, d'assegut a ajagut), transportar-lo a diferents nivells i, finalment, deixar-lo en un altre llit, cadira o equivalent. Com que les solucions descrites són sistemes robòtics amb funcionament automàtic o semiautomàtic, els aspectes de seguretat mentre s'aiguanta un pacient i quan es desplaça en l'entorn, tenen un paper molt important. Això implica l'ús d'un nombre relativament elevat de sensors de proximitat i presència, i cal un processament ràpid del senyal i d'algorismes de control basats en el coneixement.

L'impacte que aquestes aplicacions poden tenir en la qualitat del servei sanitari no estan encara molt clares. Una altra qüestió és si els costos

associats a aquests sistemes es poden justificar, per exemple, perquè poden augmentar la productivitat del terapeuta i així aquest pot atendre més pacients.

2.2. TRANSPORT AMB AUTOMÒBIL

Aquest apartat es refereix a les construccions mecàniques específiques per conduir un automòbil, així com per entrar-hi (per exemple, el seient del conductor pivotant o situat en una barra lliscant). Uns desenvolupaments més nous, lligats a braços robòtics, s'utilitzen per carregar i descarregar una cadira de rodes automàticament cap a dins i cap en fora del cotxe (M. Hägele, 1996).

2.3. INTEGRACIÓ DE DISPOSITIUS

Seria molt desitjable disposar d'un sistema integrat complet per moure una persona en un entorn domèstic normal. Un sistema d'aquest tipus podria incloure una cadira de rodes, un sistema manipulador universal (que pogués, per una banda, ser capaç d'aixecar una persona des del llit o des de la banyera i deixar-la a la cadira de rodes i, d'altra banda, per aixecar pesos pesants), un sistema portador d'una cadira de rodes per escales, un braç robòtic mòbil (sobre guies o fix a la cadira), així com també amb altres possibles ajudes.

Algunes de les parts d'aquest sistema ja existeixen, tal com s'ha descrit prèviament. La integració de totes aquestes subunitats en un sistema complet està encara molt lluny d'oferir una solució satisfactòria. Els problemes bàsics radiquen principalment en la sincronització de dispositius simples i en el fet de proporcionar interfícies d'usuari consistents.

En sistemes robòtics altament automatitzats apareixen altres reptes per resoldre els problemes que encara no estan prou solucionats. Alguns camps importants de recerca són:

- *El reconeixement de persones:* Per poder elevar i transportar persones discapacitades cal disposar d'un supervisor automàtic; per això cal conèixer i avaluar la seva posició i s'han de detectar les situacions perilloses o no naturals i evitar-les.
- *L'evasió de col·lisions amb objectes i la identificació d'altres fonts de perill:* Mentre es transporta una persona, s'ha de garantir que no hi ha altres objectes movent-se al voltant seu o entrant dins l'espai de seguretat personal.

- *La comprensió de la situació*: Una ajuda autònoma per a la mobilitat ha de reconèixer situacions insolubles; per exemple, les causades per dos objectes que es mouen bloquejant-se l'un amb l'altre en un corredor estret, o una porta tancada.
- *La planificació de missions*.
- *L'aprenentatge*.

3. ORIENTACIÓ I NAVEGACIÓ

Un cop assegurada la possibilitat d'assolir la navegació o mobilitat voluntària, amb qualsevol sistema de cadira automatitzada, ara cal disposar de capacitats de control de la mobilitat per assolir l'autonomia desitjada.

3.1. SUPORT A LA MOBILITAT VOLUNTÀRIA

S'han desenvolupat molts ajuts per a la mobilitat de persones cegues. Dins el projecte japonès Meldog (S. Tachi i K. Komoriya, 1984), per exemple, s'ha construït un sistema que proporciona ajuda als cecs a partir del seguiment d'unes marques òptiques enganxades a la carretera, que fan una funció semblant a la del gos pigall. Dins del marc del programa TIDE (TIDE 1994), han sortit altres projectes orientats a donar suport a les persones amb deficiències visuals, per orientar-les i que puguin desplaçar-se. El projecte Open n'és un exemple. El sistema subministra informació acústica a cecs a través d'un sistema de posició local per al desplaçament en un ferrocarril metropolità. Uns altres dos projectes (Asmonc, Mobic) es basen en sistemes portàtils que proporcionen a l'usuari l'accés a diferents fonts d'informació. Mapes, horaris, serveis de telecomunicacions, informació de sensors (GPS, ultrasons, brúixola), la informació del moviment i altres fonts poden ser avaluades amb una interfície d'usuari comuna. D'aquesta manera, el sistema ajuda l'usuari a veure la ruta, a trobar localitzacions i a la comunicació (per exemple, enviant sol·licituds d'ajuda).

És evident que un suport especial per adquirir informació, comunicar-se i desplaçar-se en entorns desconeguts és molt important per als cecs, perquè aquest col·lectiu requereix una interfície d'usuari particular. Aquests requeriments d'ajuts portàtils per viatjar i desplaçar-se han de ser adaptats a les necessitats de la gent que té deficiències diferents de les visuals. En posarem dos exemples per visualitzar-ho:

- Problemes en el control del dispositiu de comunicació: la manca d'habilitat per trucar per demanar ajuda en cas d'emergència res-

tringeix la mobilitat potencial d'una persona. Les solucions tècniques per a aquest problema ja existeixen; per exemple, la supervisió de senyals de vida amb un dispositiu de comunicació mòbil.

- L'accés insuficient a la informació de viatges (mapes, horaris de transport públic, etc.) implica tenir problemes d'orientació. La solució a aquest entrebanc és una qüestió d'interfícies de comunicació, juntament amb la disponibilitat i presentació de la informació (projecte Turtle de TIDE).

3.2. NAVEGACIÓ AUTOMÀTICA

La navegació automàtica constitueix un camp de recerca molt actiu. Pel que fa a la seva aplicació com ajut a la mobilitat personal, els resultats obtinguts s'utilitzen en cadires de rodes autònomes, robots assistencials personals o en el maneigament de pacients.

L'entorn domèstic és típicament no estructurat, per exemple, conté corredors estrets. Contínuament es produeixen canvis de forma no coneguda que fan difícil al robot trobar el camí i desplaçar-se, perquè en aquestes condicions no és possible calcular i programar prèviament els moviments necessaris a fer d'una manera suficientment acurada. També es pot demostrar que aparentment no es poden resoldre analíticament problemes de moviment simples.

Les aplicacions industrials dels robots autònoms requereixen normalment alta precisió i repetitivitat per a realitzar un nombre determinat d'accions. Aquesta tècnica clàssica d'automatització també s'ha experimentat en entorns domèstics. De tota manera, el seu ús no sembla gaire avantatjós si es té en compte els tipus de tasques que s'han de realitzar normalment en un entorn humà. Els principals problemes són la manca de flexibilitat i la limitació a moure's amb moviments prèviament definits.

Els requisits dels robots que operen en un entorn amb persones són:

- la programació de rutes;
- l'execució de rutes prefixades;
- la detecció d'obstacles, l'avís i l'evasió;
- retrocedir per un camí ja recorregut;
- l'avís de riscos i l'assistència a l'usuari en situacions de perill;
- la planificació del moviment en entorns parcialment desconeguts.

Per complir aquests requisits, els algorismes tenen un paper molt important perquè serveixen per evitar col·lisions o altres perills i per conduir tant situacions inesperades com moviments estàndards. Es poden distingir diferents nivells de reacció. La reacció més directa s'aconsegueix amb les

accions reflexes que s'utilitzen en situacions d'emergència, com per exemple la detecció d'obstacles, que deixa de banda tasques de més alt nivell fins que ha resolt aquesta situació d'emergència i així es garanteix la seguretat. Es necessiten reaccions més complexes en cas de canvis en l'entorn; per exemple, en conduir a prop d'obstacles (M. Hägele, 1996). El nivell més alt de reacció s'utilitza per a la planificació de la totalitat del camí. Amb aquest objectiu es fa servir sovint algun dels mètodes següents:

- Tècniques basades en el comportament, on un conjunt de comportaments simples porten a l'acció completa del vehicle dependent de la informació de l'entorn.
- Optimització d'algorismes que calculen la millor trajectòria entre un conjunt de possibles camins a partir de la informació sensorial, models de l'entorn i algorismes de cerca automàtica.

Els mètodes basats en el coneixement normalment defineixen un conjunt d'accions simples; per exemple, anar paral·lel a una paret, moure's cap a un objecte, passar pel seu costat, traspasar una porta, seguir una persona, etc. Aquestes accions es poden combinar per a la mobilitat i generar maniobres complexes, també recursivament.

Dependent de la percepció de l'entorn, per exemple la informació dels sensors i les representacions internes de l'entorn com ara mapes i altres models, s'obté un cert comportament a partir d'accions bàsiques i l'aplicació de les seves regles.

Així doncs, és possible aconseguir capacitats de moviment com ara traspasar portes, entrar i sortir de l'ascensor, trobar i avançar objectes mòbils en entorns estrets. En diverses plataformes experimentals, per exemple, en cadires de rodes i en robots assistencials (E. Prassler, 1996), s'han previst estratègies d'avís per evitar el bolc així com detectar i esquivar esglaons que apareixen de sobte. Un inconvenient important de les tècniques basades en el comportament és que la trajectòria del vehicle no es pot predir amb anterioritat.

Es dediquen molts esforços a equipar amb sensors els sistemes de robots autònoms. Els sensors més típics són:

- detecció de marques artificials (magnètiques, òptiques, elèctriques i altres mètodes);
- sistema de localització amb balises ultrasòniques actives;
- odòmetres;
- inclinòmetre;
- sensors tàctils;
- mesura de distància amb sonar;
- telemetria làser amb balises actives o passives;

- mesura òptica de distància;
- sensor de llum estructurada;
- visió;
- sistema global de localització (GPS).

Com que en entorns domèstics «normals» no es poden assumir condicions especials, la mobilitat i el reconeixement d'obstacles constitueixen un problema. Per exemple, les propietats de diferents tipus de terres (catifes, rajoles) fan molt difícil l'odometria. Individualment, parts de mobles amb formes molt abruptes (p. ex., cantons de taules) exigeixen condicions rigoroses al procés d'evasió d'obstacles.

Un altre camp de recerca és l'estimació automàtica de perill en situacions de trànsit en desplaçaments per l'exterior. Això implica la localització de vehicles, l'estimació de la seva velocitat i direcció i, finalment, l'avaluació del perill potencial resultant de la situació sota la consideració de les regles de trànsit. El sistema es pot utilitzar en cadires de rodes o en sistemes de guiatge per a persones amb deficiències visuals, perquè aquests usuaris puguin traspasar un encreuament sense perill (S. Kotani, H. Mori i M. Charkari, 1996). En aquest projecte, el segon punt d'interès és l'avaluació de senyals patró visuals per tal d'identificar objectius o subobjectius de la tasca que s'està realitzant. Un objectiu pot ser una persona que s'està seguint, un subobjectiu pot ser un pas de vianants, l'entrada d'un edifici o similar. Els senyals visuals de l'entorn s'avaluen observant el seu espectre bidimensional i comparant-lo amb l'espectre típic de les marques dels carrils, vehicles o vianants i el seu canvi en el temps (ritme, constància, etc.) Quan el sistema s'utilitza per al guiatge de persones amb deficiències visuals, també pot informar l'usuari de les marques, perquè es pugui orientar. Així mateix, es poden usar mapes digitals com els que s'utilitzen en sistemes de suport al conductor de vehicles de motor. A més, s'empren sensors sonar i tàctils per evitar la col·lisió amb obstacles.

4. INTERFÍCIES HOME-MÀQUINA (HMI)

Els beneficis que una màquina ofereix als seus usuaris ve limitada per la funcionalitat que aquesta és capaç d'aconseguir. D'una importància similar, però sovint menys considerada, és la qüestió de com fer que la màquina realitzi el que l'usuari desitja. Si aquest només és parcialment capaç d'emprar la màquina, la funcionalitat d'aquesta també està limitada a les capacitats de control de l'usuari. Això ens porta a la qüestió de les interfícies d'usuari.

Mentre que molts objectes de la vida quotidiana (p. ex., els telèfons moderns amb funcions especials) són ja difícils de manejar per un usuari no discapacitat corrent, el problema de les interfícies d'usuari adequades és encara més difícil de resoldre per a les persones discapacitades.

Una HMI ha de proporcionar les següents funcions:

- facilitar diferents opcions d'operació del sistema;
- visualitzar aquestes opcions d'operació, per mitjà d'un dispositiu gràfic de sortida.
- activar les funcions del sistema d'acord amb les comandes rebudes;
- donar informació sobre el sistema, per exemple, velocitat, càrrega de la bateria, etc., per mitjà del dispositiu de sortida.

Pel que fa a un sistema d'ajut a la mobilitat, la inhabilitat per manejar correctament la seva interfície i controlar eficientment aquest sistema porta a la immobilitat. Per tant, és molt important proveir l'equip amb una interfície que estigui curosament adaptada a les capacitats individuals de la gent gran o dels discapacitats. Per aquesta raó, s'està fent molta recerca i desenvolupament en aquesta direcció.

Cal parar especial atenció a com adaptar de manera individualitzada la interfície d'usuari dels dispositius, a les habilitats físiques i mentals especials dels usuaris. Aquesta adaptació ha de ser compatible amb uns costos tècnicament justificables. S'han pres diferents accions per resoldre aquest problema:

- L'estandardització de les interfícies tècniques permet la intercanviabilitat i l'expandibilitat de les HMI (un exemple és el protocol M3S que es descriurà més endavant).
- El desenvolupament d'arquitectures de sistemes oberts fa possible la integració de processament d'alt nivell sense modificacions del sistema bàsic.
- Les eines per a la construcció d'interfícies especials permeten fer el disseny de les HMI individuals més ràpid i fàcil (com el projecte Access de TIDE).
- Un alt grau de robustesa i tolerància a fallades, incloent-hi el mal ús que en pot fer l'usuari (aconseguit, per exemple, amb intel·ligència distribuïda), són objectius de la recerca i el desenvolupament de HMI especials (R. Chatila, P. Moutarlier i G. Giralt, 1995).
- Les noves modalitats d'interacció persona-màquina fan l'operació del sistema més fàcil. Això inclou l'execució automàtica de subtasques, interfícies amb llenguatges d'alt nivell, compartició de decisions entre la màquina i l'usuari, etc.

- Desenvolupament de dispositius intel·ligents amb percepció complexa pròpia i progressos en les capacitats cognitives.

Cal fer encara molt treball d'investigació, especialment pel que fa als tres últims punts, fins que les solucions aplicables siguin àmpliament disponibles.

D'acord amb la tendència de combinar dispositius simples d'ajuda integrats, es pot observar una tendència semblant en el camp de les interfícies home-màquina. Diferents aplicacions, que acostumaven a ser operades separatament, ara s'integren sota el control d'una interfície d'usuari. D'aquesta manera, per exemple, una cadira de rodes, un sistema de comunicació i informació i diversos dispositius domèstics de l'entorn, poden ser comandats per un únic dispositiu d'entrada-sortida. Aquesta tècnica és avantatjosa ja que redueix el cost de l'avaluació, l'adaptació, l'aprenentatge i el manteniment. Les arquitectures de sistemes oberts permeten la integració de dispositius addicionals en qualsevol moment.

4.1. ASPECTES TÈCNICS D'UNA INTERFÍCIE HOME-MÀQUINA

El protocol de comunicacions M3S (*Multiple Master Multiple Slave*) és una interfície excel·lent com a plataforma de comunicació entre diferents equips, la qual permet la construcció senzilla de sistemes de control modulars. El seu objectiu és donar poder a usuaris discapacitats i gent gran per controlar els dispositius d'ajut a la mobilitat i altres sistemes assistencials, mitjançant una solució tècnica integrada segura, que permet utilitzar un comandament únic per a tots els equips de l'entorn, fàcil d'emprar i simple de configurar. Fins ara l'ús d'aquests dispositius sense aquests protocols integradors implicava els següents inconvenients:

- L'usuari havia d'aprendre a utilitzar diferents interfícies home-màquina.
- Ell o ella havia d'acceptar l'ús (i el pagament) de productes amb funcions que se superposen.
- És difícil sintetitzar una configuració òptima individual d'ajuts a l'autonomia, perquè sovint no hi ha una solució tècnica satisfactòria per a la combinació de dispositius senzills.

El protocol M3S va ser dissenyat per superar aquestes insuficiències. Aquest permet la combinació d'interfícies home-màquina individuals i controls automàtics amb diferents elements terminals.

Des del punt de vista tècnic, el protocol és un mètode d'interfície de propòsit general que pot manejar diferents tipus de dispositius d'entra-

da (teclat numèric, apuntadors, *joysticks*, etc.) i diferents tipus d'elements terminals (cadira de rodes, manipuladors, ajuts a la comunicació, etc). La interfície M3S també permet la integració d'un control automàtic o un sistema per a la mobilitat autònoma. Diversos dispositius es poden unir en un únic sistema d'ajut. En particular, és possible utilitzar un dispositiu d'entrada senzill per controlar el conjunt d'equips necessaris.

Els elements bàsics de la interfície M3S són:

- Una arquitectura del maquinari consistent en un sistema de bus Can, un sistema de distribució de potència, un sistema de seguretat i un connector estàndard i sistema d'identificació.
- Un protocol de comunicació del bus.
- Un editor de configuració (V. Genovese *et al.*, 1995).

Es treballa en diferents projectes per millorar aquest tipus d'interfície, per aconseguir admetre més elements estandarditzats de baix cost així com expansions intel·ligents. Aquests esforços inclouen diversos desenvolupaments en el camp de les interfícies home-màquina, control automàtic, tecnologia de circuits integrats i divers programari. El projecte Focus de TIDE és un exemple d'aquests esforços.

4.2. INTERACCIÓ PERSONA-MÀQUINA

Com ja s'ha mencionat, l'objectiu de molts projectes és donar suport a usuaris discapacitats amb les ajudes tècniques que proporcionen un alt grau d'automatització. Com a avantatge d'aquesta orientació tenim, per una banda, que un dispositiu automàtic pot ser capaç de dur a terme tasques força complexes. Pel fet que persones amb capacitats físiques limitades tenen problemes especials per manejar dispositius de control, podria ser molt difícil realitzar aquestes tasques sota el control de l'usuari. Per altra banda, en moltes situacions l'alt grau d'automatització requereix obeir la màquina, cosa que comporta problemes d'acceptació.

Per això apareix la qüestió de les modalitats de la interacció útil, a més del problema clàssic de control del moviment, que s'ha de resoldre quan es desenvolupa un dispositiu d'ajut a la mobilitat. En R. Chatila, P. Moutarlier i G. Giralt, 1996, es proposa una solució per a aquest conflicte, és el concepte de la coautonomia. En H. Hoyer, 1995, es poden trobar altres idees. En comptes de control total per part de l'usuari, o del control total de la màquina, es pot establir una interacció o graus de decisió entre la màquina i l'usuari. Alguns possibles aspectes d'aquest concepte són:

- Transformació automàtica de coordenades: l'usuari pot controlar una cadira de rodes motoritzada directament en coordenades del terra, que és més fàcil que fer-ho mitjançant el control de les velocitats de les rodes motrius. En aquest cas, la màquina obeeix l'usuari totalment. A més, la manipulació es fa més fàcil amb una interfície intel·ligent.
- Filtratge d'accions espúries: la màquina s'estabilitza si l'usuari tremola. El control total el fa l'usuari.
- Supervisió sensorial: la interpretació de sistemes de sensors bàsics, per exemple, per evitar col·lisions o bolcar, i fer moviments segurs. En aquest cas la màquina obeeix l'usuari, però pren el control per raons de seguretat, envia avisos i explica decisions quan cal.
- Suport sensorial: l'usuari dona la direcció general del moviment, mentre que la màquina l'adapta a l'entorn (seguir una paret o traspassar una porta). L'usuari i la màquina comparteixen els graus de llibertat. La màquina obeeix l'usuari, però interpreta l'entrada d'una manera especial.
- Guiatge amb sensors: reproducció (repetició de moviments anteriors) o tornar enrere (inversió dels moviments previs) de camins pregravats. En aquest cas, l'usuari només incideix sobre un grau de llibertat (per exemple, la velocitat de la cadira), mentre que la màquina controla la qualitat del moviment i els possibles aspectes de seguretat.
- Control basat en la programació prèvia d'operacions per realitzar maniobres o tasques complexes. L'usuari activa el maniobrador (i el pot interrompre en qualsevol moment) que fa que la màquina actuï automàticament, sense més ordres de l'usuari.

Especialment per al control basat en la preprogramació de tasques, com ja s'ha dit, és necessari un mode bastant més detallat d'instruccions perquè la màquina executi la tasca desitjada. Per això s'estan fent grans esforços de recerca en control de robots. Els camps d'aplicació prioritaris són: comprensió i interpretació del llenguatge, comprensió de les concepcions humanes, comprensió de la tasca i la decisió. A més, per a l'execució d'una comanda com «vés a la cuina», «porta'm corredor enllà», «entra a l'habitació», la màquina necessita capacitats complexes de percepció, cognició i acció.

L'estat de l'art avui deixa obertes moltes d'aquestes qüestions. S'ha demostrat amb diversos exemples que és possible definir diàlegs simples descrivint conceptes i objectes. Amb idees més abstractes apareixen més dificultats, que són les típiques per a comandes i accions en un entorn «natural» domèstic. Quasi el mateix es pot dir per al reconeixement d'objectes: és possible la identificació d'objectes simples, fins i tot quan es troben en una

posició desconeguda. Els problemes apareixen si s'han de detectar o fins i tot buscar objectes complexos o confundibles. Finalment, resta el problema de manipular objectes, pel qual ja hi ha solucions en l'entorn industrial. Per la varietat d'objectes que apareixen en un entorn domèstic, l'estat de la situació actual sembla que es troba lluny d'arribar a una solució satisfactòria. Quant a les possibilitats existents en dispositius robòtics i els requisits implicats per a la simple comanda «porta'm les ulleres de la cuina», s'ha treballat molt amb els problemes d'interpretació del llenguatge, reconeixement i manipulació d'objectes.

5. PERSPECTIVES

Tal com s'ha mencionat, es pot observar una tendència cap a la integració de sistemes de suport. L'objectiu d'aquests esforços recents és l'automatització d'entorns domèstics.

Especialment en el cas de la gent gran, un entorn intel·ligent podria reduir l'esforç físic i incrementar la independència personal i la mobilitat. D'aquesta manera, pot ser fins i tot possible mantenir una persona vivint a casa seva, en comptes de portar-la a una residència per a gent gran. Amb l'actual estat de la tecnologia, aquest sistema de casa assistencial per a gent gran pot consistir en:

- un sistema d'ajut a la mobilitat;
- un robot personal;
- una interfície que pot també proporcionar una sèrie de possibilitats de comunicació;
- un entorn perifèric de la casa intel·ligent;
- un enllaç de dades a punts externs de supervisió.

La figura 2 mostra el sistema de casa assistencial.

Ja s'han discutit en detall diversos aspectes de sistemes d'ajut a la mobilitat i interfícies home-màquina. Un altre element clau del sistema de casa assistencial per a la gent gran, que no s'ha esmentat fins ara, és el robot domèstic. Les principals tasques del robot són:

- suport a la mobilitat
- transport
- activitats domèstiques
- comunicació
- administració de la casa
- supervisió.

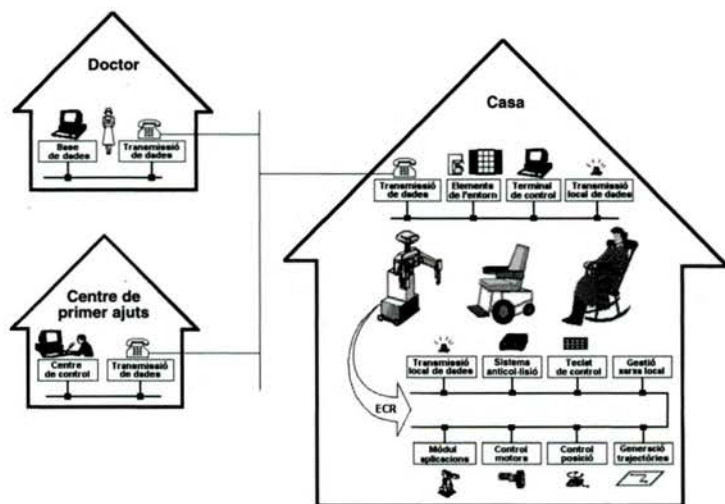


FIGURA 2. Visió d'un sistema de casa assistencial per a gent gran.

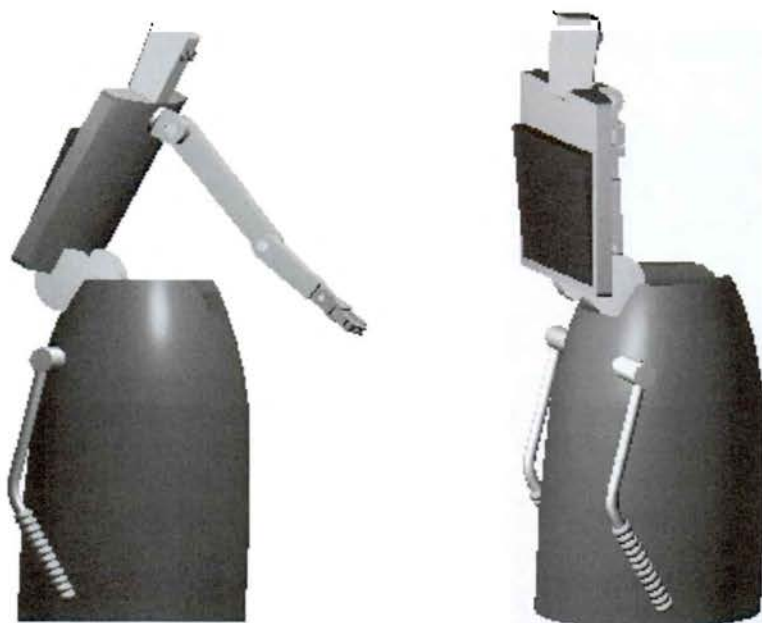


FIGURA 3. Visió del robot assistent: a) amb ajuda a la manipulació i b) amb ajuda a la comunicació.

Per al robot domèstic semblen també vàlids requeriments similars als esmentats pels sistemes d'ajut a la mobilitat: la flexibilitat, l'expandibilitat i la fiabilitat. A més, el robot ha de proporcionar interfícies d'usuari i modalitats d'interacció que siguin fàcils de comprendre. Una possible forma del robot es mostra com exemple a la figura 3.

Un altre aspecte important del sistema de casa assistencial és la supervisió i la seguretat personal. Això inclou l'observació dels senyals vitals i mentals, el reconeixement de la seva absència i l'enviament de trucades d'emergència a una estació exterior, per mitjà d'un enllaç de dades, en cas de perill.

D'aquesta manera, la idea d'un sistema pur d'ajut a la mobilitat pot entendre's a la visió d'un sistema d'ajut personal més complex.

6. DISCUSSIÓ

Encara que l'alta tecnologia té efectes importants en la nostra vida quotidiana, no ha tingut moltes conseqüències en el camp del suport a la rehabilitació de persones amb disminucions. Això pot ser degut a raons tècniques, però també s'han de tenir en compte qüestions d'efectivitat econòmica, acceptació social, dignitat humana i necessitats de les persones.

El desenvolupament futur de sistemes d'ajut personal per a persones discapacitades dependrà fortament de com aquests factors són tinguts en compte.

7. BIBLIOGRAFIA

- CHATILA, R.; MOUTARLIER, P.; GIRALT, G. «Personal Robots to assist the impaired and the aging». *WS IARP, Robotics for the Service Industries* [Sydney, Austràlia] (1995), p. 21-28.
- ENGELHARDT, K. G. «An Overview of Health and Human Service Robotics». *Robotics and Autonomous Systems* [Elsevier Science B. V.], volum 5 (1989), p. 205-226.
- EUROPEAN COMMISSION [ed.]. *Technology initiative for disabled and elderly people. Bridge phase-synopses*. Brussel·les: Commission of the European Community, DG XIII, 1994.
- FINLAY, P. A.; PAM. «A Robotic Solution To Patient Handling». *Industrial Robot* [Bradford: MCB University Press], volum 19, núm. 3 (1992), p. 13-15.

- GENOVESE, V. [et al.]. «An integrated pilot system to increase the autonomy of disabled and elderly people in mobility and manipulation». *Proc. RESNA 95* [Vancouver, Canada] (1995).
- HÄGELE, M. «Anforderungen an Schlüsselkomponenten marktgerechter Serviceroboteranwendungen». *Innovative Technologien für Dienstleistungen* [Stuttgart: Fraunhofer IPA-Technologie-Forum], 2 (1996).
- HOYER, H. «The Omni wheelchair Service Robot». *An International Journal* [Bradford: MCB University Press], volum 1, núm. 1 (1995), p. 26-29.
- KOTANI, S.; MORI, H.; CHARKARI, M. «Danger Estimation of the Robotic Travel Aid (RoTa) at intersection». *Robotics and Autonomous Systems* [Elsevier Science B. V.], volum 18 (1989), p. 235 i s.
- NAKANO, E. [et al.]. «First Approach to the development of the patient care robot». *Proc. 11th ISIR* (1981), p. 87-94.
- PRASSLER, E. [et al.]. «Mobile Robots in office logistics». *Proc. 27th ISIR*, [Milà] (1996), p. 153-159.
- SCHRAFT, R. D.; VOLZ, H. «Serviceroboter». A: *Innovative Technik in Dienstleistung und Versorgung*. Berlín, Heidelberg: Springer Verlag, 1996.
- TACHI, S.; KOMORIYA, K. «Guide Dog Robot». A: HANAFUSA, H.; INOUE, H. [ed.]. *Robotic Research: The second int. Symposium*. Cambridge: The MIT Press, 1984, p. 333-340.

ROBÒTICA ASSISTENCIAL

*Alicia Casals**

1. INTRODUCCIÓ

Els robots, tal com reflecteix l'origen de la mateixa paraula, *robota*, o 'servent' en txec, han estat concebuts amb l'objectiu d'alliberar l'home de tasques dures, pesades, repetitives i perilloses. Amb una línia similar i en sintonia amb l'ús de la tecnologia com a eina de suport en rehabilitació i assistència, com ja s'ha vist en els capítols anteriors, els robots poden constituir un element d'ajut per a aquelles persones que no poden usar, o no controlen suficientment els seus propis braços i/o mans.

L'entorn industrial, origen dels primers robots, es caracteritza pel fet d'estar convenientment estructurat i les tasques que cal dur a terme són, en general, molt repetitives. En canvi, la realització de les tasques bàsiques necessàries perquè una persona discapacitada es pugui desenvolupar autònomament en la seva vida quotidiana, comporta el fet d'operar en entorns no tan fàcilment estructurables, i les tasques que cal fer requereixen, en general, un alt grau de destresa.

Les operacions que s'han de dur a terme quotidianament són moltes i molt variades, algunes són massa complexes per poder ser realitzades pels robots actuals, tasques com obrir pots, desprecintar ampolles..., tot i que són relativament simples per a les persones. Així doncs, avui dia no podem pensar a disposar d'un robot domèstic capaç d'ajudar una persona amb greus disminucions a fer qualsevol tipus d'operació en la seva vida quotidiana. Però en canvi, sí que és possible utilitzar robots orientats a dur a terme un nombre limitat de funcions bàsiques per dotar d'una certa autonomia persones amb grans disminucions. Altres accions, com les de control

*Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial (ESAI), Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya.

de l'entorn, es resolen, però, més eficientment emprant altres dispositius específics, que són cada cop més utilitzats.

Com a conseqüència de la gran diversitat de tasques a fer, els principals problemes de la robòtica assistencial resideixen en la dificultat de programar d'una manera suficientment intel·ligent un gran nombre de tasques diferents, en un entorn que no pot estar rígidament definit *a priori*, ni és invariànt en el temps. La seguretat és un altre factor diferencial de l'aplicació de la robòtica en l'entorn domèstic. Mentre que en l'entorn industrial el robot s'aïlla de les àrees d'operació humana, el robot assistencial ha de treballar sovint prop de l'usuari i, fins i tot, en contacte amb ell, per exemple per eixugar-li la suor, o rascar-lo. Les pròtesis o ortosis, a més, van incorporar-se al propi cos de l'usuari.

Les primeres realitzacions dutes a terme en el camp de la robòtica assistencial partien de la utilització de robots industrials que hom adaptava per al seu nou ús, especialment pel que fa a la seguretat. La incorporació de sensors de força al braç i d'altres sistemes de percepció de l'entorn permet detectar col·lisions i situacions de risc, a fi d'activar estratègies de control per retrocedir en el moviment i corregir l'acció. Amb el temps, les necessitats concretes en el camp assistencial han portat, com en altres àrees d'aplicació de la robòtica, a dissenyar estructures mecàniques específiques orientades a aplicacions concretes, unitats de control, interfícies i llenguatges de programació més adients quant al seu ús en aquest camp d'aplicació.

En la línia de l'evolució de les ajudes tècniques, dissenyades i construïdes per millorar la qualitat de vida dels seus usuaris, l'objectiu de la robòtica assistencial és poder incrementar l'autonomia de persones amb dificultat o impossibilitat de manipular objectes del seu entorn. Aquesta temàtica ha estat ja abordada en molts treballs i ha trobat una àmplia difusió en congressos i trobades periòdiques com ara TIDE (congrés del programa europeu: Tecnologies per a la Integració dels Discapacitats i la Gent Gran), ECART (European Conference on Advancement on Rehabilitation Technology), ICCOR (International Conference on Rehabilitation Robotics), entre d'altres.

2. EL ROBOT COM A AJUT EXTERN. L'ANALOGIA HOME-ROBOT

En confluïr en la robòtica la percepció, el raonament, la decisió i l'acció es pot donar suport a molts diversos problemes de disminució. Per això, es pot observar l'analogia home-robot des del punt de vista funcional analitzant les diferents parts constituents d'un home i d'un robot: cervell-ordi-

nador; cos-estructura mecànica; músculs-motors; sentits-sensors i sistemes de percepció artificial. Ja sigui de manera global, és a dir, utilitzant un sistema robòtic complex, o bé disposant de mecanismes més simples, dispositius automàtics o teleoperats i equips informàtics, es pot dissenyar i construir una àmplia varietat de sistemes d'ajut.

Malauradament, l'eficiència de les solucions tecnològiques actuals en robòtica i sistemes de percepció és molt inferior a les possibilitats del cos humà i per això podem veure els robots-manipuladors com un ajut limitat. Concretament, el cos humà disposa de sis-cents accionaments musculars que operen de manera inconscient, en el cerebel. Per altra banda, la pell no és únicament un recobriment del cos i l'esquelet, sinó que constitueix un transductor de sensacions: posició, temperatura, pressió, dolor... Així doncs, podem definir el cos humà com una màquina biològica de gran complexitat i eficiència mecànica, de percepció i de control (Rabischong, 1977).

Amb la tecnologia actual i la limitada capacitat d'intel·ligència dels sistemes d'ajut actuals, els robots encara que poden ser uns elements de gran vàlua, estan encara molt lluny de solucionar completament la gran problemàtica de les persones amb disminucions físiques o sensorials, però sí que poden aportar solucions funcionals de gran interès per augmentar l'autonomia personal en un determinat tipus d'entorn i àmbit d'aplicació.

Amb aquest objectiu podem classificar en dos grans grups els desenvolupaments realitzats en robòtica com a eines per a la rehabilitació, que reben el nom genèric de *telethesis*. Els primers, que tenen els seus orígens en els anys seixanta, són els elements ortètics i prostètics, que l'usuari porta incorporat al cos, ja sigui per dotar de mobilitat un membre impossibilitat o per substituir-lo en cas d'amputació. El segon grup el constitueixen els robots assistencials pròpiament dits, que actuen com un braç extern a l'usuari per realitzar accions que aquest no pot fer sol.

3. REQUERIMENTS FUNCIONALS

Els robots assistencials troben el seu camp d'aplicació tant en l'entorn domèstic, per dotar l'usuari de certa autonomia en la vida quotidiana, com en l'entorn laboral, facilitant així la inserció d'un usuari amb discapacitats al món del treball.

El primer nivell d'autonomia que pot oferir un robot és la seva capacitat d'agafar objectes petits en l'entorn de l'usuari. Aquesta i altres tasques de manipulació han de ser realitzades en estreta proximitat amb l'usuari o en el seu entorn més proper. En el primer cas, les tasques normalment requerides són: donar menjar i beure, eixugar els llavis o la suor, satisfer algu-

nes necessitats com ara rascar-se o apartar-se els cabells dels ulls o també arreglar-se i rentar-se. Algunes operacions de manipulació d'objectes de l'entorn poden ser: agafar i aproximar objectes, o passar els fulls d'un llibre.

En un segon nivell podem esmentar tasques en què el robot s'ha de moure en entorns més grans, més lluny de l'usuari. Seria realment útil que el robot arribés fins als calaixos, armaris i magatzems adaptats o que pogués accedir a electrodomèstics com el microones o la nevera.

Per a persones ja amb capacitat d'emprar un ordinador en l'entorn laboral, el robot pot constituir un pas més en la seva autonomia en poder manipular documents, disquets..., i evitar així la dependència d'altres persones per dur a terme una tasca completa.

Els diferents tipus de necessitats i la diversitat de capacitats de comandament dels usuaris fa que hi hagi dues concepcions bàsiques pel que fa al control del robot: el robot assistencial i el robot com a extensió de les possibilitats d'actuació del cos. En la primera, el robot assistencial pot realitzar automàticament operacions ja programades segons les comandes de l'usuari. En la segona, el robot es comporta com una extensió de les capacitats de l'usuari, en què aquest controla independentment cada grau de llibertat del braç robot per aconseguir els moviments i actuacions desitjades. En ambdós casos cal disposar d'algun tipus d'interfície adaptada a les possibilitats de la persona i que sigui prou simple i eficient per garantir l'operativitat del sistema.

Un pas més en la línia d'incrementar l'autonomia de l'usuari és instal·lar el robot en una base mòbil capaç de desplaçar-se per l'entorn. En l'entorn domèstic podria així tenir accés a les diferents habitacions, i en l'entorn laboral als diferents punts de treball. Amb aquesta estructura, el robot mòbil és també una eina d'interès en hospitals.

4. TIPUS DE ROBOTS ASSITENCIALS

Les necessitats dels usuaris, així com la impossibilitat de construir un robot capaç de realitzar qualsevol funció que substitueixi les que no pot fer l'usuari a causa de la seva disminució, han portat a desenvolupar diferents tipus de sistemes robotitzats, dissenyats segons la seva finalitat concreta. Per aquest motiu existeixen diferents tipus de robots que es poden classificar en les categories següents:

- Elements prostètics i ortètics.
- Robots especialitzats en una aplicació concreta.
- Robots més genèrics de base fixa, instal·lats al costat de l'usuari.
- Robots muntats sobre cadires de rodes.
- Robots amb base mòbil.

Una característica comuna a tots ells és la definició de tres condicions bàsiques de disseny. Per una banda, pel que fa als aspectes estètics —consideració totalment necessària per evitar el rebuig de l'usuari a ser ajudat per una màquina. Per altra banda, es consideren els aspectes de seguretat a fi d'evitar tot tipus de risc per a l'usuari, a més, naturalment, d'aconseguir l'abast necessari per operar eficientment en la zona d'interès i amb una fiabilitat elevada. I en tercer lloc, també caldrà preveure que sigui amigable, és a dir, que disposi d'una interfície i un comandament que el facin fàcil de controlar.

4.1. ELEMENTS PROSTÈTICS I ORTÈTICS

L'evolució en el desenvolupament de mecanismes automatitzats i les primeres realitzacions en robòtica, en què el robot és una estructura mecànica articulada, van obrir el camí cap al desenvolupament de mecanismes similars orientats a constituir ajuts per a persones amb disminucions. La construcció de pròtesis i ortosis dels membres superiors, braços i mans, és notable ja als anys setanta en què ja es van aconseguir prestacions remarcables (IFTóMM, 1978).

A més de la mateixa estructura mecànica que constitueix el dispositiu prostètic o ortètic, cal considerar la manera com es controlarà cada element de la pròtesi o l'ortosi. Quan la deficiència física no és del cervell, prové d'una atròfia muscular o d'una amputació recent, pot ser factible controlar les articulacions del membre artificial pels mateixos senyals mioelèctrics, és a dir, els que genera el cervell per activar els músculs corresponents en una persona sana. En aquest cas, els senyals mioelèctrics són adquirits mitjançant elèctrodes, amplificats i processats per poder identificar el tipus de moviment desitjat per l'usuari. La identificació de les ordres més significatives dins del senyal captat, permet activar els accionaments de què disposa el braç prostètic, que per la dificultat d'identificar el senyal corresponent a una més àmplia gamma de moviments i també per raons de necessitat de simplificació de la mecànica a utilitzar, es limita a dos moviments o, com a molt, a tres. La figura 1 mostra l'esquema de funcionament d'una ortosi, manada per aquests senyals.

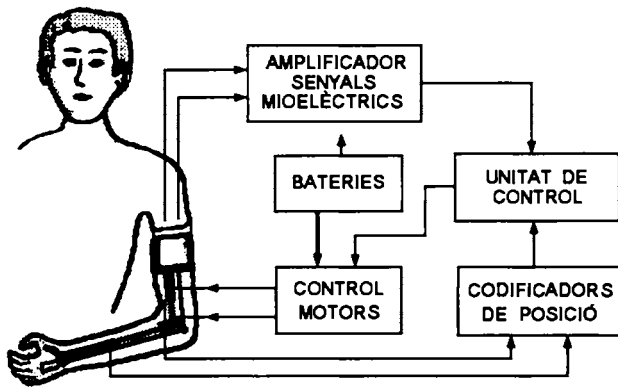


FIGURA 1. Esquema de funcionament d'una pròtesi controlada per senyals mioelèctrics.

A les dificultats per identificar els diferents senyals mioelèctrics que produeixen els moviments de tots els músculs i articulacions d'una extremitat, també caldria afegir la dificultat de l'usuari d'aprendre a controlar-les després d'una lesió o malaltia, cosa que limita l'habilitat de què es podrà disposar per controlar eficientment pròtesis de prestacions similars al membre substituït.

La recerca en aquest camp es dirigeix envers la millora en la transmissió dels senyals biològics a circuits electrònics i de control, el desenvolupament de sistemes de control més intel·ligent i poder aconseguir motors més reduïts i silenciosos, amb vista a contribuir a millorar l'operativitat d'aquestes pròtesis, tot limitant-ne la complexitat i el cost.

Una restricció més gran apareix quan la limitació de l'usuari no és tant del propi membre afectat com del cervell, per a la generació del senyal mioelèctric, o de la medul·la per a la seva transmissió fins als músculs. En aquests casos, les ordres a donar s'hauran de generar a través d'interfícies específiques adaptades a les possibilitats de l'usuari (polsadors activats pels moviments de la cara, barbata, mans..., o accions com bufar-aspirar..., o interfícies de l'ordinador com el ratolí o el teclat, quan l'usuari disposa de moviments romanents prou controlats a les mans). La dificultat de generar d'aquesta manera múltiples moviments, a més de coordinar-los per produir el moviment desitjat, constitueix evidentment una nova limitació.

Per aquests motius, l'aplicació de la robòtica en el desenvolupament d'elements protètics i ortètics, tot i que ha creat grans expectatives, no ha evolucionat tant com inicialment s'esperava. Imaginem només la dificultat de donar explícitament les ordres per moure una a una totes les articula-

cions d'una mà, quan volem fer un moviment o actuació determinats. Aquesta dificultat és molt més gran que la mateixa construcció del dispositiu mecànic i és la que limita més el grau de destresa dels elements protètics i ortètics existents.

L'estètica és també essencial en aquest tipus de dispositius per aconseguir-ne l'acceptabilitat. Per això, també se supediten sovint les prestacions de les pròtesis a la seva aparença externa. La mà de Waseda (1985), construïda en aquesta universitat a Tòquio, i que es pot veure a la figura 2 n'és un exemple. Amb el recobriment de l'estructura mecànica amb una funda semblant a la pell, les úniques funcions possibles d'aquesta mà són obrir i tancar. L'experiència ha demostrat que el seu aspecte i la gran ajuda que proporciona, tot i la limitada operativitat d'aquest membre artificial, la fa més acceptable que altres estructures més complexes amb aspecte menys humà i amb un control molt més complicat. Per aquest motiu, la majoria de protèsis de mans comercials tenen només aquesta limitada funcionalitat i forma antropomòrfica, encara que tenen poca adaptabilitat per poder agafar peces de geometria complicada.

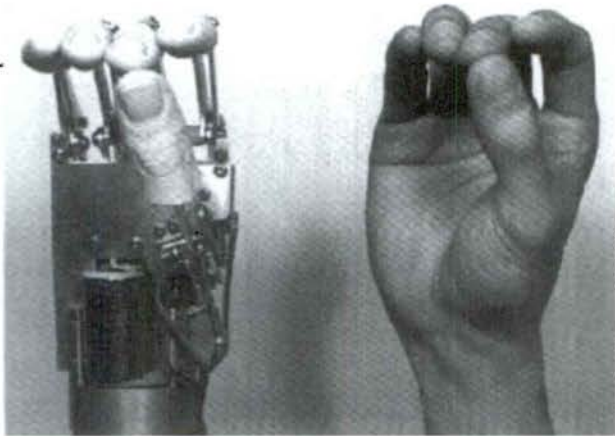


FIGURA 2. Mà d'aspecte humà de la Universitat de Waseda.

El pas d'aquest tipus de mà a altres de més destres com la mà *Sams* (*Southampton Adaptive Manipulation Scheme*, 1994), implica uns requeriments de control que comporten una estructura jeràrquica que desvinculi el control intel·ligent dels moviments de l'usuari, del control directe de cada un dels accionaments que intervenen en l'execució del moviment

desitjat. Sams ja permet moure independentment el dit índex, el polze i els altres aconseguint així moltes configuracions diferents de la mà, aptes per a diferents tipus de prensió. L'usuari dóna les ordres d'alt nivell i un microcomputador, que utilitza també la informació de sensors de força i de moviment lliscant, controla i supervisa la prensió o actuació programada (Kyeberd, 1994).

Per actuar sobre aquest tipus d'elements prostètics, mans o braços, s'han desenvolupat dos camins diferenciats. El primer és utilitzar els propis moviments de l'usuari, de la cintura, l'esquena o les espatlles, i transmetre'ls al braç o a la mà prostètica a través de bieles, cables o arrous. L'altra alternativa consisteix a utilitzar motors, que no demanen cap esforç a l'usuari, però que han de disposar de fonts adequades d'energia i d'interfícies adients per poder efectuar el seu comandament.

Disminucions físiques com l'atròfia muscular, que fa perdre la força del múscul, però no condiciona altres capacitats de l'usuari per realitzar diferents funcions, requereixen un tipus de rehabilitació on un element ortètic, com un exosquelet, suporta els esforços que un membre com el braç no pot realitzar, en no poder aguantar ni tant sols el seu propi pes. En aquest cas la teleoperació pot ser la solució, i caldrà determinar la millor manera d'interacció amb l'usuari, segons les seves capacitats romanents. L'exosquelet que envolta el braç de l'usuari pot ser controlat per les ordres generades per ell mateix, per compensar el pes del braç i permetre així recuperar apreciablement el seu moviment (Harwin i Rahman, 1996).

La construcció de pròtesis inferiors presenta unes limitacions molt més grans que les que ja hem indicat per a les pròtesis dels membres superiors, ja que aquestes estructures han de suportar tot el pes del cos i moure's adequadament per mantenir l'equilibri de manera autònoma, i no demanar una atenció directa de l'usuari.

4.2. ROBOTS ESPECIALITZATS EN UNA APLICACIÓ

Probablement, el robot més significatiu dins d'aquesta classe és el *Handy*, un braç articulat muntat sobre un suport com una taula, dissenyat específicament per donar menjar a l'usuari. El sistema ha estat dissenyat i construït a la Universitat de Staffordshire (1991), Anglaterra, i comercialitzat per Rehab. Robotics Ltd. Consisteix en un braç molt senzill que disposa d'una cullera com a element terminal o mà, d'un suport per col·locar la safata amb el menjar i el got. El control es basa en accionar el robot perquè apropi la cullera a la boca de l'usuari, en el moment desitjat, després d'haver-la emplenat. La posició de la boca ha estat prèviament programada. Els intervals d'actuació els pot controlar l'usuari mitjançant una interfície que

pot ser específica, per adaptar-se a les capacitats motrius residuals de l'usuari. Una altra ordre d'accionament fa desplaçar el got cap a la boca i l'inclina per tal que pugui beure. Handy, que es mostra a la figura 3, és un producte comercial que ha demostrat ja la seva operativitat per a aquesta aplicació.

L'objectiu d'aquest robot no és evitar que una persona n'assisteixi una altra amb disminucions, sinó que permet que un cop servit el menjar i la beguda, l'usuari pugui menjar i beure al seu ritme i autònomament. Aquesta solució permet, per una banda, assistir l'usuari autònom en aquesta funció i, per l'altra, evitar la fatiga i l'enuig que suposa l'assistència continuada, cosa que exigeix una forta compenetració entre assistent i pacient, i que pot crear tensions entre ells.



FIGURA 3. El braç robòtic Handy, especialitzat a donar menjar.

A més d'aquesta aplicació, per a la qual el sistema disposa d'una safata especialment dissenyada per col·locar i distribuir el menjar, incloent-hi un espai amb un calefactor per mantenir el menjar a la temperatura desitjada, Handy pot oferir altres serveis com la neteja personal, l'afaitada i el maquillatge. Per a cada aplicació disposa d'una safata específica que s'adapta a les necessitats de les operacions a fer i es programa prèviament al gust de cada individu segons les seves preferències.

L'experiència d'alguns usuaris posa de manifest la seva utilitat, no perquè aconseguixin independència, ja que necessiten assistència per proveir la safata corresponent i efectuar la programació de la tasca al seu gust, sinó perquè són autònoms en l'execució d'aquestes operacions concretes. El seu ús ha demostrat que no és només útil pel fet que no requereixen l'ajut permanent d'una persona per a aquesta aplicació concreta, sinó perquè estimula l'usuari a conviure en un entorn més «normal» i com a teràpia en la rehabilitació no només física sinó també mental, ja que incentiva l'esforç i l'aprenentatge en realitzar tasques de manera autònoma.

L'especificitat d'aquest tipus de braç, que està preprogramat per a cada aplicació, el fa també més simple de controlar.

4.3. ROBOTS ASSISTENCIALS DE BASE FIXA

Altres robots han estat concebuts per acostar i manipular tipus més variats d'objectes pròxims a persones amb diferents graus de disminució motriu. El robot *Tou* ha estat construït amb l'estructura constituïda per elements modulars d'espuma, per evitar els riscos d'una operació contínua en contacte amb l'usuari. Ha estat desenvolupat a la Universitat Politècnica de Catalunya (1993) per proporcionar certa autonomia en la manipulació d'objectes a persones tetraplègiques (Casals, 1994). El moviment desitjat del braç s'aconsegueix controlant el grau de deformació de cada un dels seus mòduls adaptables, mitjançant uns cables accionats pels motors situats a la base del robot. Per tal que el puguin emprar usuaris amb discapacitats molt greus i amb diferents graus de possibilitats d'interaccionar amb l'entorn, s'ha previst que es pugui adaptar a diferents tipus d'interfície, tals com sistemes de comunicació oral, *joystick* o teclats adaptats per poder ser utilitzats sense precisió ni destresa (fig. 4). L'experimentació del robot, tant al laboratori com en un centre assistencial amb diferents usuaris (fig. 5), ha demostrat la seva utilitat com a eina que permet aconseguir certa autonomia, a partir d'ordres molt senzilles.

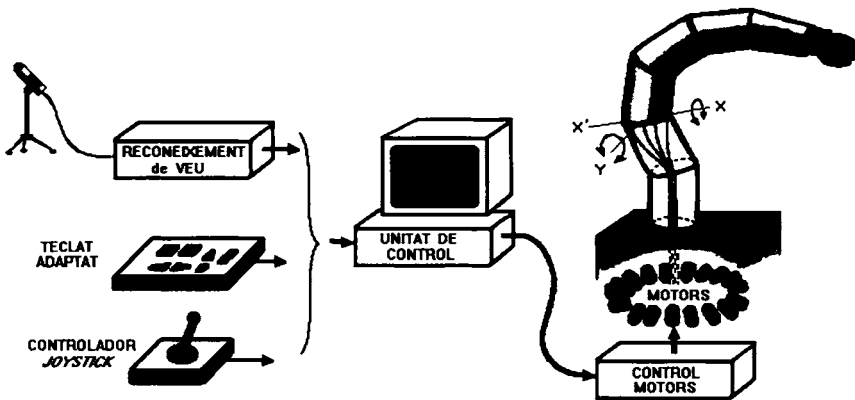


FIGURA 4. Estructura del robot Tou i la seva interfície.



FIGURA 5. El robot Tou acostant menjar a la boca.

Les ordres de moviments bàsics com ara: amunt-avall, acostat-allunyat, dreta-esquerra i agafa-deixa, permeten situar la mà al punt desitjat per agafar o deixar objectes o fer operacions simples com ara apartar-se els cabells, gratar-se... Per facilitar-ne l'ús, s'ha previst també la possibilitat de preprogramar operacions repetitives de manera que es puguin dur a terme amb una ordre simple, sense necessitat de guiar explícitament el braç robot.

En aquesta mateixa línia, podem trobar l'*Isac*, nom utilitzat per definir un *Intelligent Soft Arm Control* (control intel·ligent d'un braç robot), construït a la Universitat de Vanderbilt i fabricat al Japó (1993). Aquest braç disposa de tubs de goma que s'inflen pneumàticament i regulen així la llargària dels diferents elements que el formen, permetent d'aquesta manera controlar la posició de la mà. L'*Isac* disposa de mesures de seguretat que el fan apartar-se quan detecta un moviment bruscat prop seu o una col·lisió.

Per evitar la necessitat de guiar explícitament el braç cap a l'objecte a manipular, els robots Tou i Isac disposen d'un sistema de visió per computador que detecta els diferents objectes sobre la taula i que proporciona a la unitat de control les dades de la seva posició per poder realitzar automàticament les operacions d'aproximació, prensió i manipulació.

4.4. ROBOTS MUNTATS SOBRE CADIRES DE RODES

La possibilitat de muntar el robot sobre una cadira de rodes fa que l'usuari en pugui disposar en qualsevol punt de l'entorn on es desplaça, i així poder manipular objectes en un entorn més ampli. El pes i el volum ocupats sobre la cadira imposen, però, certes restriccions per accedir a entorns reduïts i aconseguir la seva autonomia.

Manus és un robot comercial que ofereix aquestes prestacions (fig. 6) i que ha aconseguit ser el líder a Europa en el seu àmbit. Construït a Holanda pel grup d'investigació del TNO (1991) i comercialitzat a partir del 1992, *Manus* ha estat dissenyat per operar en un entorn tan gran com sigui possible, sense augmentar excessivament el seu volum. Els requeriments de disseny mecànic són, per una part, la compactabilitat, el robot és plegable per no dificultar la mobilitat de l'usuari quan no l'utilitza i, per l'altra, el seu abast. L'estructura cilíndrica i telescòpica li permet abastar objectes del terra, a més de realitzar diferents tipus de manipulació en el seu entorn.

El robot és controlat per un dispositiu d'entrada, normalment un *joystick*, dirigit per l'usuari amb els limitats moviments de la mà. El *joystick*, juntament amb un petit teclat de selecció d'opcions, és el mateix dispositiu utilitzat per al guiatge de la cadira.



FIGURA 6. El robot comercial *Manus*.

El cost elevat i les limitacions que impedeixen la realització de totes les expectatives dels usuaris fan que el seu ús no sigui generalitzat. Tot i això, n'hi ha actualment més de quaranta unitats en diferents països, cosa que demostra ja un bon índex d'acceptació. La dispersió d'aquests robots per Europa i arreu del món, i la diversitat d'usuaris que els utilitzen han creat una bona experiència, i a partir del *Manus user's group*, s'ha fet una bona avaluació de les seves prestacions.

Inventaid és un altre prototipus de robot muntat sobre una cadira (1992), desenvolupat pel grup Papworth. Aquest robot basat en el *Flexator*,

que és un accionament pneumàtic que actua com un múscul, es pot considerar un robot per extensió, ja que no es controla per computador sinó que és comandat directament múscul a múscul per l'usuari amb polsadors o amb un *joystick*; per tant, no pot generar trajectòries automàticament. Així doncs, tant el control intel·ligent i com el control específic de cada moviment els duu a terme l'usuari mateix. La dificultat que aquest control pot comportar a l'usuari no és greu, ja que a causa de la seva estructura antropomòrfica els moviments són força intuïtius i ha demostrat que el temps necessari d'entrenament per fer-lo moure eficientment és curt. El Flexator és un dispositiu que actua per aire comprimit, és per això que la pròpia cadira disposa d'un compressor, alimentat per una bateria.

L'existència encara de robots amb solucions de control directe per a cada articulació demostra les importants limitacions informàtiques que hi ha per poder programar funcions prou intel·ligentment perquè siguin aptes per dur a terme la varietat de tasques que s'esperen d'aquests dispositius d'ajut.

L'estructura d'Inventaid suporta pesos fins a 4 kg per a la manipulació d'objectes i per realitzar accions com obrir portes. Al mateix temps, és prou sensible i precís fins al punt d'acostar una tassa a la boca i donar beure. L'acomodació pròpia del braç, conseqüència d'utilitzar tecnologia pneumàtica, limita els esforços a fer, cosa que per altra banda el fa més adequat per operar prop de les persones, perquè és segur.

També muntat sobre la cadira i considerat com un robot d'extensió de les facultats motrius de l'usuari, el *Magpie* (1994) és un manipulador que pot fer tasques com donar menjar. L'usuari el controla a partir dels moviments d'alguna altra part del cos com el cap o, tal com mostra la figura 7, amb el peu, utilitzant transmissions mecàniques. El *Magpie* s'ha desenvolupat conjuntament a l'Oxford Orthopedic Engineering i al Nuffield Orthopedic Center.



FIGURA 7. Magpie muntat sobre una cadira.

4.5. ROBOTS AMB BASE MÒBIL

Amb l'objectiu d'ampliar la zona d'actuació del robot sense augmentar-ne les dimensions, aquest es pot instal·lar sobre guies per desplaçar-se en un determinat entorn. En aquesta línia i amb la finalitat d'aconseguir la integració laboral de persones amb greus deficiències motrius als braços, s'han desenvolupat projectes com ara *Raid* o *Devar*, robots i entorns de treball robotitzats, construïts en el marc d'un projecte coordinat per europeus i americans, respectivament.

Raid és una estació de treball basada en un computador que, a més de les interfícies i paquets de programes orientats a fer possible la interacció entre l'ordinador i un usuari tetraplègic, disposa del suport d'un robot per acostar objectes i realitzar altres operacions com ara: arxivar documents, passar fulls d'un llibre, carregar un disquet... El robot es desplaça sobre una estructura vertical i horitzontal per assolir tots els punts d'interès dins l'entorn de treball. El sistema és controlat per l'usuari a través d'un *joystick*, que a més és utilitzat per comandar el computador i guiar la cadira de rodes. A través d'un menú en pantalla l'usuari pot controlar un gran nombre d'elements i efectuar molt diferents operacions per desenvolupar la seva tasca (fig. 8). Aquest treball és el resultat d'un projecte de cooperació europeu (1992-1996) dins el programa TIDE, coordinat per Armstrong Ltd., que prové de l'evolució d'altres experiències prèvies com el robot Master francès desenvolupat al CEA (*Comisariat d'Énergie Atomique*) i de l'RTX d'Oxim (*Oxford Intelligent Machines*), robot anglès que s'ha adaptat a d'altres aplicacions assistencials i que amb noves modificacions constitueix el robot de l'estació de treball *Raid*.

El projecte ha donat lloc ja a diversos prototipus que han anat evolucionant per millorar la seva efectivitat. Actualment, es disposa ja de deu estacions, cosa que ha permès experimentar-les amb un nombre representatiu d'usuaris i ha demostrat la seva funcionalitat.

Amb la mateixa finalitat, a la Veterans Administration Medical Center, juntament amb la Universitat de Stanford (Califòrnia) es va construir l'estació de treball *Devar*, amb un primer prototipus ja de l'any 1986, que ha anat evolucionant progressivament. La figura 9 mostra el prototipus de l'any 1995, basat en un robot industrial adaptat a aquesta aplicació. El nom *Devar* ve de la seva definició: '*Desktop Vocational Assistant Robot*'. De cara a la comercialització d'aquest sistema, s'ha iniciat un nou projecte *Provar*, que té per objectiu reduir la relació cost/funcionalitat del robot, facilitar el seu control i millorar-ne la fiabilitat. La nova estació de treball està basada en un robot Puma 260 i una pinça Otto Bock. El controlador està connectat amb el computador per mitjà Internet, i utilitza un llenguatge de pro-

gramació simplificat basat en icones. El sistema té diferents dispositius d'interfície com telèfon, fax, sistemes d'anàlisi i síntesi de veu, control de l'entorn i dispositius específics accionables amb una llengüeta, la barbeta o altres mitjans.

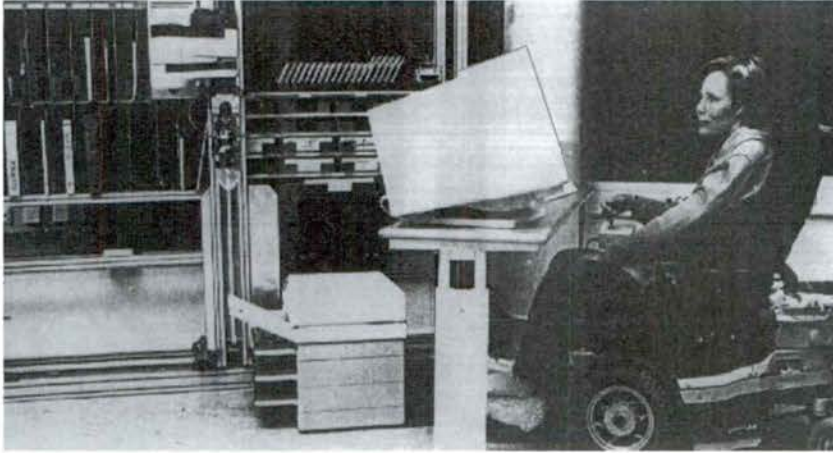


FIGURA 8. Raid, sistema robotitzat per a la inserció laboral de persones amb deficiències motrius.

Tot i que pot disposar de telèfons «mans lliures» amb l'altaveu i el micròfon, que permeten sentir i parlar sense necessitat de despenjar i aguantar l'auricular, la privacitat que es pugui desitjar en les converses fa que també sigui convenient programar el robot per despenjar i aguantar l'auricular.

En aquests projectes s'ha fet un gran esforç per desenvolupar un equip que suposi un ajut important per a les persones amb disminucions motrius greus, però malauradament no han esdevingut encara un producte comercial. En general, la no prou elevada fiabilitat i rapidesa d'operació i molt especialment el seu cost són limitacions que dificulten l'acceptació de l'usuari.

Altres aplicacions més ambicioses ja experimentades consisteixen en un robot muntat sobre una base mòbil capaç de desplaçar-se autònomament per la casa per portar objectes des d'altres habitacions i realitzar operacions com treure algun aliment precuinat de la nevera, posar-lo al microones i servir-lo a l'usuari. En aquest cas, però, a la complexitat pròpia del robot, s'hi afegeix el problema de la mobilitat i la precisió en la posició final. Per aquest motiu la seva utilització real és encara llunyana.

Movar (*Mobile Vocational Assistant Robot*), la versió amb base mòbil de Devar, va ser ja dissenyada el 1990 (Van der Loos, 1990) per aconseguir aquest objectiu. Els treballs actuals, però, estan focalitzats en el robot muntat sobre guies dins l'estació de treball.



FIGURA 9. Devar, estació de treball robotitzada.

En aquesta mateixa línia podem mencionar la *Urmad* (unitat robòtica mòbil per a l'assistència del discapacitat), dissenyada a l'Arts Lab. de la Scuola Superiore Sta. Anna a Pisa. La *Urmad* és un robot amb vuit graus de llibertat, per permetre un millor replegament, muntat sobre una base mòbil. El conjunt del sistema és controlat per l'usuari utilitzant un llenguatge d'alt nivell, i s'ha dissenyat per desplaçar-se autònomament en entorns parcialment coneguts.

Un nou pas el va constituir el projecte *Movaid* (*Mobility and Activity Assistance systems for Disabled*). En aquest projecte europeu dins del programa TIDE (1994-1997), l'objectiu és dissenyar un sistema complet operatiu en un entorn domèstic. Per tractar d'optimitzar les possibilitats del sistema, *Movaid* consisteix no només en un robot de base mòbil, sinó també en una distribució de recursos assistencials per tota la casa. Per això, calen diverses estacions de treball, inicialment dues, i certes interfícies dedicades a elements de cuina estàndards, perquè es puguin manipular adequadament.

L'usuari accedeix al robot a través de les estacions de treball (a la cuina i al dormitori), gràcies a una interfície gràfica prou simple i intuïtiva.

5. INTERFÍCIES HOME-ROBOT

Els dispositius telerobòtics, per tal que funcionin, demanen una implicació gran de l'usuari. Per aconseguir interfícies de control prou eficient, cal buscar les millors habilitats de l'usuari per respondre a aquests requeriments d'interacció.

Les lesions medul·lars que produeixen disminucions entre el nivell C2 i C5 limiten els moviments de braços, cames i mans, però deixen prou mobilitat al cap. Per a aquests usuaris, un bastonet posat al cap o a la boca constitueix un bon mitjà d'interacció encara que amb pocs graus de llibertat i poca accessibilitat.

Les interfícies basades en la utilització de pantalles gràfiques, GUI (interfícies d'usuari gràfiques), són un mitjà més potent per a usuaris que poden controlar mínimament amb la mà dispositius d'entrada com ara el ratolí, el *joystick*, el teclat, la pantalla tàctil..., especialment, quan es disposa d'un paquet de programari molt visual i intuïtiu basat en icones. En aquest cas, la pantalla representa el món virtual del robot i interactivament s'hi pot actuar a sobre i veure en pantalla els resultats de les diferents ordres donades.

Un llenguatge adequat de programació constitueix un suport addicional a aquestes interfícies. Llenguatges com el CURL (*Cambridge University Robot Language*), dissenyat específicament per a la programació d'estacions de treball robotitzades i desenvolupat en el marc del projecte Raid, facilita la manera de donar les ordres al robot, ja que les instruccions del llenguatge expliciten les operacions concretes que el robot ha de realitzar de manera molt intuïtiva.

La integració de diferents interfícies concretes permet complementar les prestacions d'una amb l'altre i dóna lloc a sistemes de comunicació amb el robot més eficients. La interfície MUSIIC (*Multimodal User Supervised Interface and Intelligent Control*) comprèn un punter làser muntat al cap, una entrada de veu i un sistema de visió per computador que permet dotar el robot de certa autonomia, ja que pot ser guiat directament a partir de les dades de les imatges processades. L'usuari pot, d'aquesta manera, donar ordres molt simples indicant amb el moviment del cap l'objecte d'interès i donant oralment les ordres concretes, que són interpretades per la unitat de control, i després de la programació prèvia poden ser reproduïdes cada vegada que l'usuari ho demani.

Un altre aspecte molt important és facilitar l'accés a diferents productes o sistemes, sense que calgui canviar de dispositiu d'entrada i, per tant, sense que calgui una nova fase d'aprenentatge i adaptació. Exemples com el robot Manus o l'estació de treball Raid, fan ús d'aquest principi utilitzant un mateix *joystick* per controlar la cadira, el robot i d'altres dispositius a través de l'ordinador. Això és possible si es disposa d'un estàndard de comunicacions que sigui compatible amb els diferents equips. En aquesta línia, s'ha imposat l'M3S (*Multiple Master Multiple Slave*), un bus de comunicacions que permet connectar múltiples entrades (ratolí, detectors de moviments del cap...) amb múltiples equips (cadira, robot, ordinador, dispositius de l'entorn...).

6. CONCLUSIONS

Les possibilitats tecnològiques per a l'ajut de persones amb disminucions són molt grans, i això es demostra amb la gran quantitat i diversitat de productes existents, dels quals únicament se n'han referit alguns dels més significatius. Però, en aquest camp d'aplicació de la tecnologia no compten només els resultats tecnològics, sinó que hi ha dos factors addicionals de rellevància, que són el cost i l'acceptabilitat. El primer, per raons òbvies, sobretot quan parlem d'equips per a un ús particular a un sol usuari i que requereixen sovint adaptacions específiques. En tots els casos una eficient interfície del computador de control amb l'usuari és també essencial. Quant a l'acceptabilitat, sovint és condicionada per l'aparatositat, l'estètica o les dificultats d'operació de l'usuari o simplement el fet de no acceptar la utilització de màquines en lloc de l'assistència humana. En aquesta línia, el desenvolupament d'eines d'intel·ligència artificial i sistemes experts que permetin fer que l'usuari controli aquests sistemes més fàcilment, pot significar un nou pas endavant.

Tot i aquestes consideracions i limitacions, els sistemes existents són cada cop més utilitzats i hi ha una forta tendència institucional a fomentar el desenvolupament i la millora de nous sistemes per augmentar el grau d'autonomia i de realització personal de les persones amb disminucions; es lluita al mateix temps perquè no es limitin a quedar com a prototipus de laboratori, sinó com a equips comercials a l'abast de l'usuari.

Les solucions que la tecnologia actual encara no ha resolt són: l'emmagatzemament d'energia que permeti dotar el robot de gran autonomia i reduir el seu volum i pes; el soroll, que pot condicionar la seva aplicabilitat en determinats entorns; la destresa a realitzar les operacions que requereix la tasca; la capacitat de percepció per operar de manera màximament autò-

noma, i la possibilitat de disposar de control reflex per reaccionar prou ràpidament enfront de situacions de risc.

El camp d'aplicacions de la robòtica assistencial és força ampli i es poden classificar les tasques més usuals en els grups següents:

- preparació de menjars
- donar menjar i beure
- neteja i endreça personal
- tasques domèstiques
- tasques laborals i d'estudi
- lleure i entreteniment.

Totes aquestes tasques constitueixen operacions freqüents en la vida quotidiana i podran ser dutes a terme per un discapacitat si disposa de l'ajuda tècnica adient.

7. BIBLIOGRAFIA

- Actes de l'European Conference on Advancement Rehabilitation Technology, ECART.*
- Actes de l'ICCOR, International Conference on Rehabilitation Robotics.*
- Actes de l'IFTToMM Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators (1974-1978).*
- AMAT, Josep. *Technology for Independence*. First European Conference on Medical Robotics. ROBOMED 94, Barcelona (1994).
- CASALS, Alícia. *Assitant Arms for Daily Living*. First European Conference on Medical Robotics. ROBOMED 94, Barcelona (1994).
- CASALS, A., VILLÀ, R., CUFÍ, X., *Tou, an Assistant Arm: Design, Control and Performance* 6th Int. Conference on Advanced Robotics, Tòquio, 1993.
- HARWIN, W.; RAHMAN, T. *Analysis of force-reflecting telerobotic systems for rehabilitation applications*. The First European Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies, Maidenhead, Berkshire, UK (1996).
- KYEBERD, P. J. [et al.]. «The Southampton Hand: An Intelligent Myoelectric Prosthesis». *Journal of Rehabilitation Research and Development*. Dep. of Veterans Affairs, vol. 31, núm. 4 (1994).
- KUMAR, V.; BAJCSY, R. *Design of Customized Rehabilitation Aids*. International Symposium on Robotics Research (1995).
- PETERS, G. «Evaluation of Manus Robot Arm users in the context of the General Invalidity Act». *Report* (1996).

- RABISCHONG, P.; PERUCHON, E. «Is man still the best robot?». *7th ISIR 77* (1977).
- «The European Context for Assistive Technology». *TIDE Congress*. Bruxelles (1993 i 1995).
- VAN DER LOOS, M. [*et al.*]. «Field evaluation of a robot workstation for quadriplegics office workers». *Revue Européene de Technologie Biomedicale*, vol. 317, núm. 5 (1990).

RESTAURACIÓ DE LA LOCOMOCIÓ EN PACIENTS AMB LESIÓ MEDULAR UTILITZANT ESTIMULACIÓ ELÈCTRICA FUNCIONAL (FES). EL PROJECTE SUAW BIOMED 2

*Pierre Rabischong**

A Europa hi ha més de 300.000 persones paraplàgiques i 60.000 de tetraplàgiques. És una població jove amb una mitjana d'edat de trenta-un anys. Les causes de la lesió són en el 65 % dels casos accidents de trànsit i en un 10 % accidents originats per la pràctica de l'esport. Per comprendre què és exactament el que es pot fer per restaurar alguna manera de locomoció, sembla necessari primer, considerar els principals aspectes biològics de la situació clínica d'aquests pacients amb lesió medular i després, definir les modalitats tècniques del programa europeu SUAW.

1. LES DADES CLÍNiques I BIOLÒGIQUES

El sistema nerviós és el responsable de manar i controlar totes les funcions del cos. La part central està constituïda per l'encèfal, que està situat al crani, i per la medulla, que es troba a la columna. El component bàsic és la neurona, una cèl·lula especialitzada amb una gran capacitat de connexions a través d'unions anomenades *sinapsis*. Això significa que tot el sistema nerviós és una xarxa discontinua on un codi neuroquímic que utilitza neurotransmissors i neuromoduladors pot aconseguir qualsevol tipus de conne-

*Professor de la Facultat de Medicina de Montpeller.

xions d'acord amb el control selectiu de les connexions mitjançant la porta sinàptica bioquímica. La velocitat màxima de transferència dels senyals és de 120 m/s, velocitat molt més baixa que la transmissió de senyals elèctrics en els ordinadors.

Una característica biològica natural és que el nombre de neurones disponibles està determinat en el naixement i no pot augmentar a causa de la no-reproductivitat de les neurones. La raó d'aquest fet, d'acord amb la impossibilitat de dialogar amb el Constructor de la màquina humana, podria estar presumiblement lligada a la necessitat de mantenir el mateix caràcter en un individu i, per tant, la seva personalitat durant tota la seva vida. Per tal de protegir aquest capital inalterat de neurones, un grup de cèl·lules auxiliars anomenades *glial* s'encarreguen dels intercanvis metabòlics amb la sang i de totes les reaccions protectores immunològiques. Les neurones són, de fet, les cèl·lules més protegides del cos i poden viure fins a una edat molt avançada sense gaire degradació, excepte, per descomptat, en cas de factors patològics tals com la infecció, el trauma o els tumors.

Així doncs, la destrucció d'una neurona és irreversible, i només mecanismes compensatoris que siguin deguts a la redundància del sistema poden permetre a un pacient millorar clínicament. Una secció completa de la medul·la espinal o una destrucció de l'àrea cortical després d'una obstrucció del flux sanguini genera lesions definitives. Un pacient hemiplègic serà, durant tota la seva vida, un pacient paràlitzat.

De fet, el que s'ha descrit fins ara fa referència a la destrucció de neurones, però en el cas de fibres seccionades, les dendrites, que porten els senyals a l'interior de les cèl·lules del cos, o els àxons, que en surten, produeixen una autèntica regeneració. El sistema perifèric, que és la segona part del sistema nerviós, conté nervis en els quals només hi ha fibres nervioses. Per reforçar la seva resistència mecànica i aïllar-les, una cèl·lula glial especial produeix una beina feta principalment de mielina. Pràcticament, després d'una secció del nervi, la part proximal de la fibra nerviosa creix i la part distal perd el seu contingut neural, però conserva viu un tub mielínic buit. Si, mitjançant cirurgia, les dues parts del nervi s'uneixen per una sutura, el monyó proximal creixent pot envair un tub buit i restaurar una funció motora o sensitiva. La recuperació d'una funció no és mai completa pel fet que una unió quirúrgica fibra a fibra és impossible. Moltes fibres entraran en un tub mielínic erroni. El seu diàmetre màxim és de vint-i-cinc micres, molt per sota de les possibilitats d'una sutura quirúrgica fins i tot utilitzant un microscopi. En el cas de lesió en el sistema nerviós central, existeix alguna regeneració en les fibres, però no en les neurones. Sabem també, que una reacció particular d'algunes cèl·lules glials tendeix a aïllar una àrea destruïda amb una barrera fibrosa, que atura el procés de regene-

ració. S'ha fet certa recerca per tractar de minimitzar la reacció glial i estimular el procés de regeneració, però la destrucció de les cèl·lules del cos de la neurona és permanent.

Coneixent aquest fet biològic, alguns investigadors han fet implantacions de cèl·lules neuronals fetals, per facilitar la creació d'algun pont entre les dues parts de la medul·la espinal seccionada. Si bé es van observar alguns resultats experimentals en rates, no s'ha aconseguit èxit clínic en el cas d'implantació de neuroblast fetal humà en la medul·la espinal de pacients paraplàgics. Aquest fet és comprensible si es té en compte la gran complexitat de l'organització de la medul·la espinal. La sutura o els empelts en lesions de la medul·la espinal han estat també infructuosos i, avui en dia, no és pot fer res gaire positiu utilitzant una tècnica quirúrgica o biològica.

El segon aspecte important és definir la situació clínica en la qual una persona paràlitzada ha d'intentar trobar el millor canvi en la seva condició de vida. La secció de la medul·la espinal pot ser completa o incompleta i mantenir en aquest cas l'ús de certes funcions. El grau de lesió determina la importància dels senyals clínics: en la zona cervical, les quatre extremitats hi estan implicades i el pacient és tetraplàgic o quadriplègic. En la zona toràcica o lumbar, el pacient encara utilitza normalment les extremitats superiors. La medul·la espinal és més curta que la columna vertebral, això explica que per sota del nivell L2, només les fibres nervioses de les arrels radiculars en la *careta equina* poden ser lesionades.

Clínicament, el pacient no pot manar voluntàriament els seus músculs per sota d'aquesta lesió, és la paràlisi. De tota manera, aquests músculs encara estan connectats a la medul·la espinal i poden tenir dos tipus d'activitat no controlable: els espasmes, que són contraccions impredecibles dels músculs, i l'espasticitat, que representa l'efecte de la manca de control del servomecanisme espinal regulador de l'estat dels músculs. Així doncs, per tal de controlar els sis-cents músculs del cos, el sistema nerviós ha de conèixer l'estat mecànic de cada múscul: relaxat, contret o estirat. Els fusos musculars són tensímetres situats en els músculs capaços de detectar forces d'estirament aplicades als músculs i generar una reacció en forma de llaç tancat i induir una contracció muscular reflexa per estimulació de motoneurons alfa en el corn ventral de la matèria grisa. Això podria ser interpretat com un servomecanisme de protecció per evitar sobreestiraments dels músculs i permetre també un ajust perifèric exacte del grau de força necessària per a un programa motor particular. De fet, els fusos musculars són encara actius durant la contracció muscular, a causa de l'activació de les fibres gamma que són les responsables del guany del transductor.

Els músculs són accionaments viscoelàstics no reversibles i no lineals, cosa que explica per què calen dos accionaments, l'agonista i l'antagonista,

per cada grau de llibertat. En cas de manca de control per part de la via piramidal del sistema de control motor, és impossible moure una articulació, perquè el servollaç motor de la medulla espinal ja no és dintre del llaç central d'inhibició. L'estirament d'un múscul antagonista durant un moviment passiu genera una reacció muscular immediata contrària que incrementa substancialment la viscositat de l'articulació. Un cert grau d'espasticitat en l'extensió pot ser útil, però quasi sempre produeix molèsties al pacient quan està en flexió.

Una altra característica interessant per al control motor és el paper important de la pell, que constitueix un transductor complex que cobreix tots els segments del cos. La deformació mecànica de la pell al voltant de les articulacions genera algunes entrades neurals que van al cerebel i al còrtex del *gyrus postcentralis* del lòbul parietal, que defineix la posició de les articulacions. Això és degut a l'activitat dels corpuscles de Ruffini, sensibles a les forces de tall aplicades a la pell durant el moviment. El resultat és el sentit estatocinètic, que representa la identificació conscient 3D de tots els segments del cos pel que fa a la posició i al moviment. En un «teclat motor» la proximitat del *gyrus precentralis* en el lòbul frontal, que és la projecció topogràfica de tots els músculs del cos, justifica l'alt grau de control del moviment per circuits de llaç tancat entre les sortides del múscul motor i les entrades sensorials cutànies. Així, a més de la paràlisi observada en lesions de la medulla espinal, hi ha una pèrdua de sensibilitat en concordança amb el grau de la lesió, i això posa les extremitats inferiors o superiors en un estat de realitat virtual per al pacient. És una asomatognòsia real, per a la qual el pacient necessita utilitzar la visió per localitzar en l'espai les seves extremitats paralitzades. La pèrdua de sensibilitat afecta també el sistema de protecció del cos, cosa que explica així mateix la freqüent alteració de la pell en generar úlceres, que són una de les complicacions més difícils d'aquests pacients. L'últim aspecte dels símptomes clínics és la disfunció dels esfínters per al control d'evacuació de l'orina i dels excrements. Aquesta és segurament la situació més molesta, per a la qual s'han provat moltes solucions, sense que s'hagi aconseguit, en la majoria dels casos, un èxit complet.

Tots aquests aspectes clínics mostren quant difícil és restaurar les funcions motores en aquest context tan complex. Actualment, només l'ús del corrent elèctric com a substitut dels impulsos nerviosos pot aconseguir algunes contraccions artificials de músculs sublesionats. Per reintegrar aquests músculs a un programa motor complex, com caminar o agafar objectes, és important recordar que l'home pot pilotar la seva pròpia màquina biològica, sense cap coneixement del seu maquinari. El comandament de qualsevol funció motora és executat inconscientment donant les ordres cor-

responents al moviment, i mai especificant l'accionament dels músculs. Podem caminar sense saber que tenim cinquanta músculs per activar a cada banda. El nivell conscient i voluntari del control motor ocupa només el vint per cent dels circuits nerviosos. L'execució de tasques és feta inconscientment i complexament, cosa que requereix el vuitanta per cent dels circuits, per ajustar exactament tots els tipus de servomecanismes, automatismes, i corregir els errors en temps real. Aquest punt important s'ha de tenir en consideració per definir adequadament un programa de restauració d'una funció motora. La interfície de comandes del pacient ha de ser tan simple com sigui possible, igual que en el sistema normal. L'execució de tasques ha de ser en canvi, tan complicada com ho és en el sistema real i cal que tingui suficients transductors i regulació per aconseguir la tasca desitjada de la manera apropiada.

2. L'ESTIMULACIÓ ELÈCTRICA FUNCIONAL (FES)

En els últims vint anys, els equips clínics han fet molta recerca i han publicat nombrosos treballs demostrant l'eficiència del FES. El corrent elèctric pot ser utilitzat modulant els tres paràmetres principals: intensitat, amplada de l'impuls i freqüència. Molts treballs experimentals realitzats amb animals i amb persones han permès aconseguir avui dia, els paràmetres correctes. Hi ha diferents formes disponibles d'estimular els músculs: a través de la pell, dintre dels músculs o per l'estimulació del nervi muscular.

Situar els elèctrodes a la superfície de la pell tan a prop com és possible del punt motor constitueix un mètode clínic de pràctica molt corrent. No tots els músculs estan situats directament sota la superfície de la pell, cosa que limita les possibilitats d'utilitzar aquest mètode. Però, de qualsevol manera, alguns dels músculs importants de les extremitats inferiors com, el quàdriceps, el tendó de la sofraja, el tríceps o els glutis poden ser estimulats (fig. 1). Per fer-ho, diversos grups han desenvolupat un programa per aixecar-se i caminar, Ljubljana (Krajl, 1973), Karlsruhe (Vossius, 1984), Nova Orleans (Solomonov, 1988) o Enschede (Hermens, 1978). Alguns sistemes més avançats, com Parastep, combinant el reflex de retracció en les extremitats inferiors per estimulació elèctrica del nervi del peroné o de la tibia i la contracció del quàdriceps, són productes disponibles comercialment i permeten a alguns pacients desplaçar-se amb un caminador sense enfaixaments (fig. 2). Però, com que s'estimula només un múscul agonista i és difícil de reproduir regularment el reflex de retracció, aquesta tècnica genera una manera no elegant de caminar i s'ha de mantenir únicament com un mètode d'entrenament. El sistema híbrid que combina una faixa ortòtica

juntament amb un FES aplicat a alguns músculs dels malucs, presenta el mateix inconvenient, però pot ser inclòs en un programa de rehabilitació.



FIGURA 1. Elèctrodes cutanis situats en els músculs quàdriceps d'un pacient paraplàgic induint per FES una contracció muscular.



FIGURA 2. Pacient paraplàgic aixecant-se amb dos elèctrodes al quàdriceps.

Anar directament als músculs implantant uns elèctrodes a través de la pell és una tècnica àmpliament utilitzada als Estats Units i al Japó. Marsoillais va implantar aquest tipus d'elèctrodes amb alguns resultats interessants. L'avantatge del mètode és la relativa simplicitat del procediment quirúrgic i l'eficiència de l'estimulació, d'acord amb la posició dels elèctrodes prop de la penetració de les fibres nervioses en el múscul. L'inconvenient és la fragilitat d'aquest elèctrode i la seva ruptura freqüent, com a conseqüència de les fortes tensions mecàniques produïdes durant les contraccions musculars induïdes. L'equip japonès de Sendai (Prof. Honda) va desenvolupar uns elèctrodes metàl·lics multifasciculars molt forts capaços de resistir aquestes tensions. Per altra banda, la implantació a través de la pell no pot durar més de sis mesos o un any a causa dels moviments dels elèctrodes i les irritacions permanents de la pell. També és possible posar els elèctrodes directament a l'aponeurosi dels músculs, prop del punt motor. Aquest tipus d'elèctrodes epimisials són encara d'ús força comú com a sistema d'implantació en cas de dificultat d'accedir al nervi muscular.

Sembla clar, doncs, que el millor mètode és el dels elèctrodes neurals. És teòricament possible posar aquests elèctrodes en un nervi perifèric. El

1971, vam provar de posar cables de vint-i-cinc micres directament en nervis perifèrics durant tècniques quirúrgiques de seccionament traumàtic. Hi vam observar durant una electroestimulació un fenomen molt selectiu tant en limitades respostes en la restauració del plexe braquial com en una petita àrea cutània en una estimulació del monyó central del nervi seccionat d'una extremitat superior. Més endavant, vam suggerir que aquesta tècnica podria ser utilitzada en amputats per crear una realimentació artificial per a mans prostètiques, per estimular els fascicles corresponents al polze i a l'índex. Però, l'estimulació directa per implantació d'elèctrodes en els fascicles pot generar causàlgia, un dolor particular molt difícil de suprimir. Al mateix temps, seguint Sunderland, hem explorat l'anatomia dels fascicles dels nervis perifèrics per analitzar la possibilitat d'establir un mapa d'aquests fascicles, corresponents a diferents zones concretes. Tot i que existeixen alguns intercanvis distals de fibres abans de la distribució final, el nombre de fascicles augmenta des de la part pròxima fins a la distal i la geografia d'aquells fascicles correspon a la distribució. De fet, és possible identificar la posició dins dels nervis del grup de fascicles corresponent a un determinat objectiu muscular a estimular. Vam fer la distinció entre els fascicles anatòmics, visibles sota seccions histològiques del microscopi, i els fascicles quirúrgics que poden ser aïllats durant operacions microquirúrgiques mitjançant una neuròlisi. Aquest procediment està en relació directa amb la característica particular del nervi perifèric. Un teixit connectiu relativament lax representa el límit perifèric d'un nervi troncal i s'anomena *epineuri*. Els fascicles o feixos de fibres nervioses estan aïllats mitjançant un teixit connectiu més fort, el perineuri. Es poden descriure tres tipus de fascicles: els purament sensitius amb només fibres sensibles cutànies; els mixtos, inclouent-hi fibres sensitives i motores, que constitueixen el nervi muscular, i els purament motors, que existeixen només per als músculs que no tenen fibres aferents, com els músculs facials o els que tenen una anastomosi sensitiva abans d'entrar dins dels músculs, com els músculs de la llengua o els extraoculars. En qualsevol cas, el millor ús dels elèctrodes neurals és posar-los al voltant d'un nervi, gràcies a un elèctrode en puny de camisa. Hi ha molts models disponibles, en mode monopolar o millor bipolar. Per tal d'evitar l'estimulació simultània de fibres motores i propioceptives, pot ser útil usar un elèctrode tripolar (tal com descriu Mortimer i més endavant Woloszko).

L'estimulació exclusiva en una direcció, per exemple de fibres motores, pot evitar la contrareacció o difusió muscular a través de l'estimulació de fibres propioceptives per mitjà de la matèria grisa de la medulla espinal. En efecte, el problema més important és la selecció de l'estimulació. Així doncs, per aconseguir aquest important objectiu en elèctrodes neurals, avui dia existeixen tres possibilitats diferents:

- L'estimulació amb un elèctrode en puny de camisa, del nervi muscular innervant el múscul a estimular.
- El fascicle o grup de fascicles corresponents al múscul, aïllats quirúrgicament dins el tronc d'un nervi gran.
- Aquells fascicles selectivament estimulats utilitzant un gran elèctrode en puny de camisa al voltant d'un nervi troncal amb un grup d'elèctrodes tripolars que generen un camp elèctric focalitzat, capaç de ser mogut per aconseguir l'objectiu correcte.

El progrés fet en biomaterials per fabricar elèctrodes més tous i fins, ens permetrà trobar la solució tècnica correcta a aplicar en cada cas específic.

L'última possibilitat és estimular directament les arrels motores en la medul·la espinal. En aquesta part hi ha la separació entre entrades i sortides, i els dos grups de fibres emergents de la medul·la a cada nivell metamèric convergeixen després del gangli espinal, que conté les primeres neurones dels camins sensitius per crear un nervi perifèric, el raquidi. L'estimulació directa radicular ha estat realitzada principalment per Brindley al Regne Unit per a la restauració de funcions de la bufeta, amb un bon èxit clínic. En canvi, per a la restauració de les capacitats per caminar, els resultats són de bon tros menys positius per dues raons principals. La primera és la necessitat de fer una laminectomia i una obertura de la duramàter o paquimeninge per posar els elèctrodes al seu lloc. La segona, i d'acord amb l'organització metamèrica del nervi espinal, la innervació d'un determinat múscul té més d'una arrel motora i aquesta innervació crea realment algunes dificultats en el control.

De fet, l'esquema general del sistema d'estimulació, en cas d'implantació, és sempre el mateix. Des dels elèctrodes els cables i els connectors van cap a la caixa electrònica implantada sota la pell abdominal per a la comoditat del procediment quirúrgic. Aquest implant conté els circuits electrònics capaços d'enviar els impulsos apropiats als elèctrodes, d'acord amb els paràmetres escollits en intensitat, amplada d'impuls i freqüència. Una antena, que evita el lligam transcutani amb l'implant, permet transferir, per radiofreqüència, la potència i el senyal, en només una direcció cap als músculs o, eventualment, en les dues direccions per obtenir alguna realimentació que provingui dels elèctrodes, principalment la impedància elèctrica. Això permet verificar la funcionalitat dels elèctrodes. L'antena externa està connectada a un controlador portàtil, que realitza el que normalment fa el sistema nerviós central: subministrar les seqüències correctes d'impulsos en l'instant adequat a l'objectiu apropiat. El progrés real en les ciències electrònica i informàtica és una garantia per poder utilitzar actualment, i en el futur, la millor tecnologia i els procediments de control més intel·ligents.

A més, és imprescindible trobar la interfície de comandament més simple possible per al pacient, com en una situació natural. Estant fora del cos, tots aquests sistemes poden ser raonablement millorats, amb el temps, sense haver de canviar l'implant.

3. EL PROJECTE SUAW

El projecte SUAW (*Stand Up and Walk*, 'Aixeca't i Camina') és un projecte de demostració dins del programa BIOMED 2 de la Comunitat Europea. Segueix el projecte CALIES (*Computer Aided Locomotion by Implanted Electrostimulation*), que va començar l'any 1989 en el marc del programa EUREKA. Vam dedicar molt de temps per definir tots els protocols per a aquest projecte i gràcies a la creació l'any 1992 d'una xarxa clínica europea, agrupant equips de cirurgians, rehabilitadors i tècnics, estem en procés d'implantar-lo el 1998 a sis pacients en sis països europeus diferents (França, Itàlia, Regne Unit, Holanda, Alemanya i Dinamarca), quasi en el mateix període de temps. Definim per a això cinc fases diferents:

3.1. LA SELECCIÓ DE PACIENTS

En aquest programa només es poden incloure pacients amb músculs per estimular. A l'alçada exacta de la lesió, la destrucció de neurones motores del corn ventral de la matèria grisa de la medulla espinal produeix l'atròfia completa de les fibres musculars corresponents, de manera similar a com s'observa en la infecció poliomièlítica viral. Tot i això, els músculs situats per sota d'aquesta lesió estan encara vius i són susceptibles de ser estimulats. Això significa que el nivell de la lesió ha d'estar entre T4-T6 i T11. Per sobre, tant l'ús de les extremitats superiors per a l'estabilització com l'estabilitat del tronc són difícils. Per sota, els centres motors per a la comanda de les extremitats inferiors estan destruïts. A més, l'espasticitat i els espasmes han de ser compatibles amb la rehabilitació i controlats clínicament. El pes de la persona ha d'estar dins la norma estadística. La motivació psicològica cal que sigui bona, però una espera no realista o excessives expectatives podrien ser considerades com contraindicacions absolutes. De fet, els pacients seleccionats per a aquesta implantació el 1998 seran considerats més com a participants en el projecte que únicament com a pacients. Tots els mitjans tècnics de visualització d'imatges (ressonància magnètica, ultrasons) i avaluacions biomecàniques, com la mesura de parells, l'avaluació de la fatiga..., ens permetran verificar amb molta precisió les capacitats romanents dels pacients.

3.2. L'ENTRENAMENT PREQUIRÚRGIC

Està clarament demostrat que la població de fibres lentes i ràpides en un múscul d'un pacient paraplègic pot canviar. Un protocol especial d'electroestimulació cutània dels principals músculs accessibles s'ha de realitzar durant com a mínim sis mesos per reforçar les forces musculars en un programa utilitzant els paràmetres correctes. Al mateix temps, un entrenament especial en sistemes ortòtics híbrids, com Argo o Ukafo i en dispositius de passejada utilitzant l'electroestimulació cutània com Parastep, pot permetre al pacient apreciar ell mateix els beneficis reals que pot obtenir del FES i les restriccions tècniques lligades al seu ús.

3.3. LA IMPLANTACIÓ QUIRÚRGICA

Esperem posar al seu lloc elèctrodes epimíscics a la superfície dels músculs per tècniques quirúrgiques o elèctrodes neurals al voltant del nervi. S'han de resoldre dos problemes: Quins músculs cal estimular? Com acostar-nos-hi de la millor manera mitjançant la cirurgia?

Per escollir el múscul correcte a estimular, és necessari entendre el paper específic en la postura i en la locomoció dels diferents sistemes músculoarticulars.

- El complex dels malucs és el motor per caminar. La passa és una activitat cíclica generada per un moviment de tisora de les extremitats inferiors amb fases pendulars i de recolzament en un mode inestable, que requereix un procés dinàmic d'estabilització. La propulsió és assumida als malucs, per l'acció combinada principalment del múscul *ilipsoas* i el *rectus femoris*, la part poliarticular del quàdriceps. El moviment balístic de la cama se'n va cap a l'impacte del taló, durant el qual l'extremitat s'encarcara per la contracció simultània del quàdriceps i els tendons de la sofraja. La inestabilitat de la unió de l'articulació tronc-malucs és controlada durant la fase de recolzament de la passa per la contracció del *gluteus medius*, aconseguint l'estabilització del maluc lateral. La seva deficiència fa necessari l'ús d'una crosseja per mantenir el tronc en alineament vertical. El *gluteus maximus*, que és un extensor molt potent de la cuixa, no té un gran paper quan es camina per un terra horitzontal, però és molt útil per aixecar-se, pujar escales o caminar per un pendent. Un moviment actiu o rotació de la pelvis és generat pel *gluteus medius* i el *minimus* (fig. 3 a 9).

- El complex del genoll és un controlador de llargada, que activa en flexió l'articulació del genoll gràcies al tendó de la sofraja juntament amb la part poliarticular del múscul del tríceps. Escurça l'extremitat inferior per

seure en una cadira, per pujar escales i per executar adequadament el moviment balístic de la fase pendular.

- El complex del peu és un propulsor i estabilitzador del cos. Una articulació de rotació amb dos graus de llibertat uneix la cama amb el peu i constitueix la junta universal suropodal. L'estabilització del cos durant la postura vertical es pot aconseguir al llarg de dos eixos: l'anteroposterior i el lateral. Els dos triangles del peu, el posterior per a l'estabilització i l'anterior per a la propulsió es poden activar pel potent múscul tríceps, que genera les forces de propulsió. Aquestes forces són particularment importants per caminar en un pendent o per córrer.

Esperem controlar amb FES els complexos maluc i genoll estimulants els psoes ilíac, els glutis (amb elèctrodes epimisíacs), els quàdriceps i els tendons de la sofraja amb elèctrodes neurals.

El procediment quirúrgic es va determinar molt acuradament i es va provar en cadàvers i animals. La tendència actual és de ser com menys invasiu millor. Grans obertures a la pell porten normalment a problemes de cicatrització. La utilització de tècniques endoscòpiques permet fer-ho tot amb un mínim d'obertura de la pell. Totes les tècniques tradicionals de sutura, enganxada, coagulació, poden ser fetes per endoscòpia i creiem que podria ser un procediment òptim arribar als dos nervis de les extremitats inferiors: el nervi femoral, situat al llarg del psoes, al fons de la cavitat abdominal, i el nervi isquiàtic, situat en l'aspecte posterior de la pelvis. L'equip quirúrgic ha fet un cert entrenament en aquesta direcció. El problema principal és la fibrosi que segueix qualsevol aproximació quirúrgica als nervis. Els elèctrodes abraçadora s'han de col·locar a lloc en una àrea mecànica quieta del nervi, per tal d'evitar la reacció fibroplàstica que segueix el moviment dels elèctrodes en l'epineure.

3.4. L'ENTRENAMENT POSTQUIRÚRGIC

Després d'un període de dues o tres setmanes de l'operació d'implantació, el pacient serà estimulat. L'ajust del programador portàtil a un pacient particular representa el principal objectiu d'aquesta fase. Per tal que sigui prou fiable, s'instal·laran molts transductors externs al pacient: acceleròmetres, inclinòmetres, transductors de força, goniòmetres, per poder validar les diferents seqüències. Es disposarà de tres programes diferents: aixecar-se i seure, caminar en mode semiautomàtic en terra horitzontal, i controlar voluntàriament la posició del peu. En tots els casos es necessiten croses per transferir la passa bipodal inestable en una passa quadrupedal més estable. Gràcies a la introducció en el programador d'algunes xarxes

neuronal, el nombre de transductors externs per crear una regulació en llaç tancat es reduirà al mínim: un goniòmetre en el genoll i un parell de transductors de força sota el peu per validar el contacte del taló. Però, de fet, el mateix pacient, amb la seva capacitat de veure l'evolució de la seqüència serà un dels components més importants del procediment de control. La fase d'aprenentatge postquirúrgic tindrà lloc al centre de rehabilitació de cada país i després d'entendre exactament el procediment de control, es realitzaran algunes adaptacions individuals òptimament per al pacient i l'equip de personal clínic.

3.5. L'ÚS DIARI

El principal objectiu de SUAW és permetre a un pacient implantat utilitzar, a casa, el seu sistema en les millors condicions possibles (fig. 10). Un servei d'assistència especial, utilitzant una xarxa telemàtica, farà possible el manteniment del dispositiu sense necessitat d'anar al centre de rehabilitació.

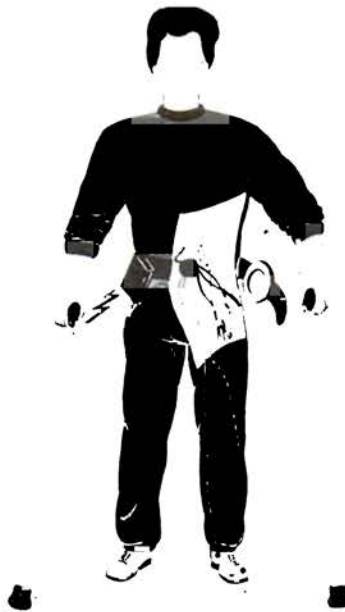


FIGURA 10. Projecte SUAW. Es mostra l'implant electrònic connectat amb elèctrodes als músculs i nervis i unit per una antena externa enllaçada amb el programador portàtil. Els botons per activar la seqüència a la passa són a les crosses.

Després de la implantació als sis pacients pensem dur a terme una avaluació completa i acurada a Copenhagen i a Milà, fent una anàlisi biomecànica i histològica dels músculs estimulats, mesures de tots els paràmetres dels diferents grups musculars i l'avaluació de la fatiga. Aquest últim problema és el més difícil, d'acord amb les condicions particulars del treball d'aquests músculs estimulats. Un pacient paraplègic sense cap sensibilitat no pot sentir els músculs ni identificar la sensació particular que nosaltres normalment sentim quan apareix la fatiga muscular. A més, la regulació del subministrament de sang és pertorbada, i la contracció dels músculs, que normalment requereix més oxigen, no s'executa en un mode perfecte a causa de la manca de regulació normal. L'EMG de músculs és presumiblement el millor procediment per identificar l'estat de les fibres musculars, abans de la disminució important de l'eficiència de l'activació, però no és fàcil d'utilitzar en temps real durant un programa FES. De tota manera, el període d'entrenament verificarà per a cada grup de músculs dels diferents pacients la reacció precisa a la fatiga per poder utilitzar els paràmetres d'estimulació correctes i la durada apropiada de l'activació muscular.

4. EL FUTUR DE LA TECNOLOGIA FES

Sempre és difícil predir acuradament el futur, particularment quan hi ha tecnologies implicades. Però, sembla realista assumir que una de les possibles millores en el futur sigui la simplificació del maquinari, quan se suprimeixin alguns cables i connectors que van des dels elèctrodes cap a l'implant. Hi ha un risc omnipresent d'infecció, fins i tot si el material és perfectament biocompatible i el procediment quirúrgic es fa en bones condicions d'esterilització. Alguns intents fets a Canadà per G. Loeb utilitzant unitats de microestimulació injectables, controlades des de fora a través d'una llarga antena, semblen molt prometedors, fins i tot si alguns problemes tècnics de producció no es resolen completament. La utilització d'elèctrodes intel·ligents, en els quals es connecta amb els elèctrodes, no només la interfície amb les fibres nervioses sinó també tot el sistema electrònic (amplificació, filtració...), constituirà una millora important.

Els neuroxips desenvolupats a certs laboratoris semblen més qüestionables. Així, posar neurones vives en l'òssia de silici per crear un sistema híbrid que combini l'adaptabilitat i complexitat de la matèria viva amb una interfície amb un circuit artificial sembla més un exercici de laboratori que una realitat clínica. Tal com s'ha dit abans, una neurona no pot sobreviure sense la seva xarxa glial de servents i això fa, doncs, improbable la possibilitat d'utilitzar neuroxips de manera pràctica. Tot i així, les recerques que

s'estan fent als Estats Units, a Espanya i a Itàlia per desenvolupar interfícies neurals són molt esperançadores. S'ha demostrat que les fibres neuronals poden créixer a través de forats en una oblia de silici i permeten emmagatzemar un senyal neural i estimular fibres aferents. Això podria ser una interfície neural intel·ligent real per controlar dispositius cibernètics assistencials.

Finalment, la restauració de funcions motores en persones paralizades constitueix un desafiament difícil, del qual la tecnologia representa la major part, però no tota. Qualsevol pacient individual té els seus propis sentiments i expectatives per ajustar la seva vida a la seva condició patològica, i això crea en la majoria dels casos una dificultat real combinant una disminució física i una forma difícil de vida quotidiana. Canviar positivament aquestes condicions, fins i tot en una millora mínima, és motivació suficient per continuar la recerca i l'esforç clínic iniciat fa ja més de deu anys.

5. BIBLIOGRAFIA

- BROWN, M.D.; JONES, R.; FREARSON, N. «Effects of activity on the contractile characteristics of developing skeletal muscle». *Neuromuscular Stimulation, Basic Concepts and Clinical Application*. A: ROSE, F. C., Jones, R. i VRBOVA, G. [ed.]. *Comprehensive Neurologic Rehabilitation*, vol. 3, 1989, p. 37-56.
- BURKE, R. E. «Motors units: anatomy, physiology and functional organization». A: Brooks, V. B. [ed.]. *Handbook of Physiology, The Nervous System II*. Bethesda, MD-American Physiological Society, 2, 1981, p. 345-422.
- BURKE, R. E.; LEVINE, D. N.; TSAIRIS, P.; ZAJAC, F. E. «Physiological types and histochemical profiles in motor units of the cat gastrocnemius». *Journal of Physiology*, núm. 234 (1973), p. 723-748.
- EDWARDS, R. H. T. «Weakness and fatigue of skeletal muscles». *Advanced Medicine*, núm. 18 (SARTNER, M. [ed.]), Londres: RCP London Pitman Medical (1982), p. 100-119.
- HENNEMAN, E.; MENDELL, L. M. «Functional organization of motoneuron pool and its inputs». A: BROOKS, V. B. [ed.]. *Handbook of Physiology, The Nervous System II*. Bethesda, MD-American Physiological Society, 2, 1981, p. 423-507.
- LEVY, M.; MIZRAHI, J.; SUSAK, W. «Recruitment, force and fatigue characteristics of quadriceps muscles of paraplegics isometrically activated by surface functional electrical stimulation». *Journal of Biomedical Engineering*, núm. 12 (1990), p. 150-156.

- MERLETTI, R.; LO CONTE, L. R.; ORIZIO, C. «Indices of muscle fatigue». *Journal of Electromyography and Kinesiology*, núm. 1 (1991), p. 20-33.
- MORTIMER, T. «Motor prostheses». A: BROOKS, V. B. [ed.]. *Handbook of Physiology, The Nervous System II*. Bethesda, MD-American Physiological Society, 2, 1981, p. 155-187.
- RABISCHONG, E.; GUIRAUD, D. «Determination of fatigue in the electrically stimulated quadriceps muscle and relative effect of ischaemia». *Journal of Biomedical Engineering*, vol. 15 (novembre, 1990), p. 443-450.
- RABISCHONG, E.; OHANNA, F.; GILBERT, B. «Paraplegic Standing with FNS. A clinical application of a closed loop control». *Annual Meeting of the International Medical Society of Paraplegia*, Israel: Ramat Gan (1990).
- RABISCHONG, E.; OHANNA, F. «Effects of FES on evoked muscular output in paraplegics». *Paraplegia*, núm. 30 (1992), p. 467-473.
- SALMONS, S.; HENRIKSSON, J. «The adaptive response of skeletal muscle to increased use». *Muscle & Nerve*, núm. 4 (1981), p. 94-105.
- VELTINK, P. H., BOOM, B. K. «Control of ambulation using functional neuromuscular stimulation». A: *Topical workshop of RAFT*. Enschede, Països Baixos: University of Twente, 1995.
- WOLOSZOKO, J.; GRAILLE, J.; RABISCHONG, E.; RABISCHONG, P. «Closed loop control of knee during standing with FNS». *Proceedings of the 9th Conference of the IEEE, Engineering in Medicine and Biology Society*, Boston (1987).

FIGURES



FIGURA 3. Secció coronal de l'articulació del maluc:

1. Os pèlvic amb sostre acetabular
2. Cap de fèmur
3. Múscul psoes
4. *Gluteus minimus*
5. *Gluteus medius*
6. *Fibrous fascia lata*
7. Múscul ilíac
8. Ronyó
9. Músculs oblics i transversals de la paret abdominal.



FIGURA 4. Aspecte posterior de la regió glútia després d'una resecció del *gluteus maximus*:

1. Nervi isquiàtic
2. *Gluteus medius*
3. Tendó de la sofraja
4. Trocànter major
5. *Gluteus maximus*.



FIGURA 5. Vista lateral del nervi isquiàtic amb:

1. La part medial
2. La part lateral
3. El pedicle vascular.

Els fascicles són visibles dins els nervis.



FIGURA 6. Secció anatòmica de la cuixa que mostra:

1. El nervi isquiàtic amb les dues branques i els fascicles dintre
2. L'artèria femoral
3. Un tronc venós
4. Un múscul
5. Un teixit adipós.



FIGURA 7. Secció del nervi isquiàtic humà que mostra:

1. La part medial
2. La part lateral, en què són visibles els fascicles
3. L'artèria interna del tronc del nervi
4. L'epineuri amb teixit adipós.

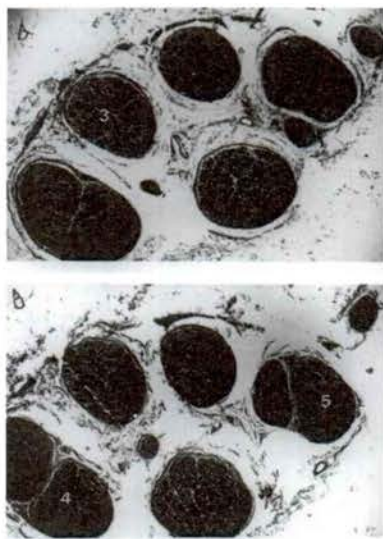


FIGURA 8. Seccions histològiques amb impregnació de mielina del nervi humà. Les dues seccions estan a una distància de 7 cm:

1. Tall de l'epineuri
2. Vena interna dins l'epineuri
3. Nervi fascicle envoltat pel tall perineuri
4. Un fascicle que està separat en dos fascicles aïllats
5. El mateix procés de fasciculació a 7 cm.



FIGURA 9. Secció histològica d'un fascicle d'un nervi humà:

1. Artèria fascicular
2. Tall de perineuri
3. Tots els cercles negres representen el tall mielínic de les fibres nervioses de diferents diàmetres corresponent a les fibres motores sensibles.

TECNOLOGIA DE SUPORT PER A LA COMUNICACIÓ ALTERNATIVA I AUGMENTATIVA

*Julio Abascal González i Luis Gardeazábal Montón**

1. LA COMUNICACIÓ ALTERNATIVA I AUGMENTATIVA

Usualment s'anomena *comunicació alternativa* qualsevol manera de comunicació diferent de la parla, i emprada per una persona en contextos de comunicació cara a cara.¹ La comunicació alternativa inclou tots els mètodes de comunicació utilitzats per les persones que, per diferents causes (discapacitat, malaltia, envelliment, accident, etc.)² manquen de llenguatge oral. Existeix un ample ventall de sistemes de comunicació alternativa que van des del llenguatge dels signes als llenguatges pictogràfics.

Però la necessitat d'ajut a la comunicació no es redueix als casos esmentats. Hi ha persones que manquen de comunicació oral, però que poden aprendre a parlar. Aquestes persones necessiten un mitjà alternatiu de comunicació durant el procés d'aprenentatge. De la mateixa manera, aquells que mantenen part de la seva capacitat d'usar el llenguatge oral, però la seva intel·ligibilitat és baixa, necessiten ajut per a millorar la comprensibilitat del seu discurs. En aquests casos es parla de *comunicació aug-*

*Facultat d'Informàtica de Sant Sebastià.

1. Moltes de les definicions que segueixen han estat preses del llibre de TETZCHNER i MARTINSEN, l'excel·lent versió castellana del qual ha estat revisada i augmentada per C. BASIL, TETZCHNER *et al.*, 1996.

2. Els sistemes CAA (Comunicació alternativa i augmentativa) poden ajudar usuaris afectats per un variat espectre de discapacitats, amb diferents orígens i nivells d'afectació: paràlisi cerebral, apràxia, esclerosi múltiple i esclerosi lateral amiotròfica, afàsia, etc. Sobre diferents tipus d'afectacions que requereixen CAA es pot consultar el monogràfic *Alternative and Augmentative Communication*, vol. 5, núm. 1, març 1989.

mentativa, que té el doble objectiu de promoure (i ajudar en) la parla i garantir una manera de comunicació alternativa (Basil C. i Puig de la Bellacasa, 1988).

Els mitjans d'ajut a la comunicació s'anomenen *sistemes no assistits* quan simplement es basen en l'ús d'alguna part del cos humà (com el llenguatge dels signes). Són *sistemes assistits* els que necessiten dispositius o equipament exterior al comunicant.³ Alguns d'aquests dispositius són senzills (per exemple, taulers que contenen les lletres de l'alfabet on s'assenyala per a lletrejar el que es vol dir), però altres es basen en equipament complex, normalment ordinadors personals. També es distingeixen els sistemes de comunicació segons la participació que requereixen d'altres persones a part del que parla. La *comunicació dependent* necessita la col·laboració de l'interlocutor per a compondre o interpretar el missatge. En canvi, la *comunicació independent* no requereix la intervenció d'altres persones, si bé pot fer ús de màquines que ajudin a la composició de la frase.

Existeixen sistemes i dispositius que tenen una relació molt gran amb la CAA pels mètodes i tecnologies que usen, però que no s'ajusten completament a aquestes definicions, com podrien ésser els sistemes de control d'entorn i de mobilitat. Encara que aquests sistemes no tracten de resoldre els problemes de comunicació interpersonal directa, poden ésser inclosos en un concepte més ampli de comunicació. En aquest capítol ens ocuparem de la tecnologia que dona suport als sistemes de comunicació alternativa i augmentativa (incloent-hi la «comunicació» amb els sistemes de control) quan estan construïts a partir de sistemes informàtics.

2. TECNOLOGIA DE SUPORT PER A LA COMUNICACIÓ

Tal com hem vist, la comunicació assistida es basa en sistemes de suport —utilitzats per a la composició dels missatges— que se solen anomenar *ajuts tècnics per a la comunicació*.

Els ajuts tècnics poden adoptar formes simples, com per exemple taulers que contenen lletres, paraules, frases, codis, signes gràfics o imatges sobre els quals es van assenyalant els diferents elements de la idea que es vol expressar, com en la figura 1. Sovint aquests sistemes senzills resulten molt adequats per al propòsit al qual es destinen i no requereixen cap complicació tecnològica.

3. Vegeu el capítol «Sistemes i ajuts tècnics de comunicació per a persones amb paràlisi cerebral», de C. BASIL, a PUYUELO *et al.*, 1996.

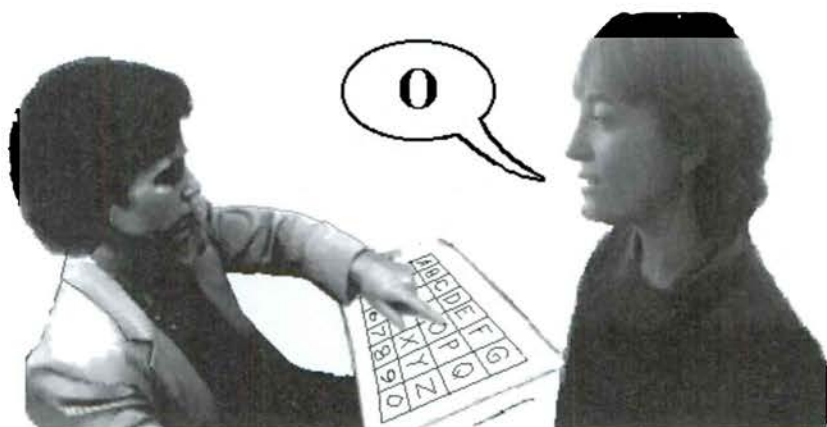


FIGURA 1. Comunicació per mitjà d'un tauler de caràcters.

Nogensmenys, sol passar que les persones que utilitzen sistemes alternatius per a fer-se entendre depenen de l'interlocutor, que ha de tenir un paper actiu intentant reconstruir la frase que li arriba fragmentada, incompleta o intel·ligible. En aquests casos, els ajuts tècnics més sofisticats poden prendre un comportament actiu, contribuint així a disminuir la dependència de l'usuari respecte de l'interlocutor. Amb aquesta finalitat s'han desenvolupat diferents sistemes de comunicació informatitzats que permeten construir la frase a partir dels elements que l'usuari selecciona, de tal manera que l'ordinador pren part del paper de l'interlocutor. De fet, com veurem més endavant, molts dels dispositius dissenyats per a la comunicació alternativa i augmentativa simplement intenten imitar el comportament actiu que com a «traductor» realitza un interlocutor entrenat,⁴ alliberant el receptor d'aquest esforç, cosa que permet concentrar-se en la mateixa conversa. Aquest només és un exemple entre molts del gran avenç que ha suposat l'aparició dels ordinadors personals en el disseny de nous ajuts tècnics per a la comunicació.

Els sistemes alternatius de comunicació basats en ordinadors centren els seus objectius principalment en la interfície d'usuari i en el programari de comunicació. La interfície d'usuari ha d'ésser definida de manera que sigui accessible per a la persona que utilitza el sistema. Com que el ventall de

4. Per *interlocutor entrenat* entenem una persona acostumada a comunicar-se amb l'usuari i capaç, per tant, de desxifrar el que aquest vol dir mitjançant el seu sistema d'ajut.

les característiques dels usuaris de comunicació alternativa o augmentativa és molt ampli, no existeix una interfície única que satisfaci totes les necessitats. Per això cal utilitzar tècniques que permetin adaptar-la a les diferents característiques físiques i cognitives dels usuaris, de manera que el problema de disseny de la interfície sol resultar complex. Un cop s'ha aconseguit l'accés a l'ordinador, molts usuaris necessiten programes especials per a poder comunicar-se amb els altres. La gamma d'aquests programes és tan variada com la de les necessitats: des de sistemes de traducció de text-a-veu fins a ajuts per a la generació de llenguatge natural a partir d'algun sistema de símbols. En els apartats següents estudiarem amb més deteniment aquests aspectes.

2.1. SISTEMES D'ACCÉS

Abans de començar a tractar dels sistemes d'accés, convé conèixer alguns conceptes que ens han de resultar útils.⁵

La *interfície de control* és el maquinari per mitjà del qual l'usuari controla o acciona un dispositiu. El conjunt d'entrada o *domini d'entrada* pot ésser *discret* o *continu*. Si l'entrada és discreta, aquesta pren un nombre finit de valors fixos sense passos intermedis entre aquests (com en un teclat). En canvi, l'entrada contínua pren una gamma de valors virtualment infinita (per exemple, les posicions del ratolí).

El *conjunt de selecció* són els elements disponibles entre els quals hom escull. Poden contenir símbols ortogràfics (lletres, paraules, frases) o símbols que representen idees o ideogrames (icones o imatges). La mida, la modalitat i el tipus s'han de definir d'acord amb les necessitats i capacitats de l'usuari i de l'activitat de sortida a la qual es destinen: control d'entorn, comunicació, mobilitat, etc.

El *mètode de selecció* és el procediment usat per a escollir una sortida concreta a través de la interfície de control Vanderheiden (Vanderheiden, 1980), el qual va classificar els mètodes de selecció en tres categories: selecció directa, escombrada i codificació (fig. 2).

La *selecció directa* permet escollir de manera aleatòria qualsevol element del conjunt de selecció. El cas més típic és la selecció espacial que es realitza sobre els teclats estàndards. En aquest cas, cada opció se selecciona polsant una tecla que es troba situada en una posició concreta en l'espai. El

5. La majoria de les definicions que segueixen han estat preses d'un llibre molt recomanable escrit per COOK i HUSSEY, 1995.



FIGURA 2. Selecció directa en un teclat.

temps necessari per a això és independent de l'element que hom seleccioni i depèn de la destresa de l'usuari. Des del punt de vista cognitiu, la selecció directa és molt intuïtiva, ja que la sortida és el resultat directe de l'acció de seleccionar. Nogensmenys, exigeix que la persona disposi de la mobilitat, força i precisió necessàries per a poder polsar qualsevol tecla.

L'*escombrada* és un mètode de selecció indirecta que permet a l'usuari escollir, per mitjà d'una acció voluntària i detectable, una opció de les que se li presenten seqüencialment. L'acció per a escollir depèn de les característiques físiques de l'usuari. Per exemple, pot activar un sensor mitjançant una part del cos sobre la qual disposi de control (mà, peu, buf, parpella...), tal com es veurà més endavant en parlar dels mètodes d'activació. L'*escombrada* també pot ésser anomenada *selecció temporal*, ja que una sola tecla va prenent diferents valors en el temps i, segons quan és polsada, ofereix un resultat diferent. Aquest mètode requereix poca mobilitat, precisió i força, ja que es pot dissenyar un polsador de la mida i la sensibilitat adequades a la capacitat de la persona concreta. En canvi, requereix capacitat visual, atenció i coordinació temporal per a seleccionar el caràcter adequat en el moment que es vulgui. No obstant això, el període de temps durant el qual un caràcter és seleccionable pot ésser ajustat a cada usuari.

Des del punt de vista cognitiu, resulta més complex que en el cas anterior, ja que l'associació entre l'acció de seleccionar i el resultat no és tan directa (fig. 3).

El nombre de pulsacions necessari per a seleccionar cada element depèn de la disposició del conjunt seleccionable. Usualment els elements es distribueixen, seguint criteris preestablerts (per exemple, per freqüència d'ús), en matrius d'1 a 3 dimensions. El temps mitjà que es tarda a selec-

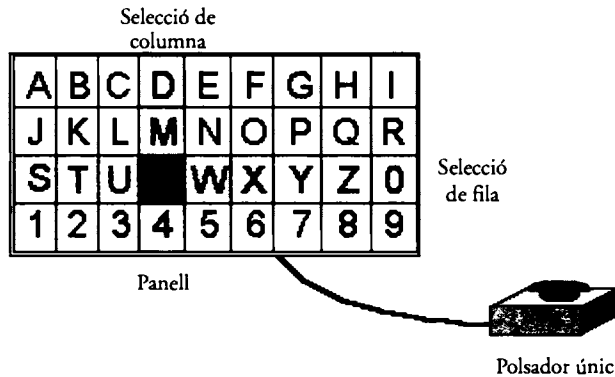


FIGURA 3. Escombrada per files i columnes amb un pulsador simple.

cionar un element depèn del nombre de dimensions i de la mida de la matriu. Existeixen diversos estudis sobre la forma, la mida i la distribució del contingut de les matrius que resulten més convenientes per a facilitar la selecció.⁶

Alguns usuaris poden utilitzar una solució híbrida entre la selecció directa i l'escombrada: l'*escombrada dirigida*. En aquest cas, recorren a la matriu que conté el conjunt de selecció mitjançant un *joystick* o una matriu de 2 a 8 tecles, cosa que permet una selecció més ràpida que l'escombrada i requereix menys precisió motora que la selecció directa (fig. 4).

En alguns casos el sistema d'entrada que es pot usar és predeterminat per les característiques de l'usuari, de tal manera que no és possible elegir-lo. Segons Soede (Soede, 1991), els diferents usuaris requereixen dispositius amb diferents característiques i, per exemple, no es pot establir *a priori* que un sistema d'escombrada sigui pitjor que un sistema d'accés directe per a una determinada població. Quan hi ha la possibilitat de seleccionar entre diverses possibilitats aquella més adequada per a una persona concreta, cal un estudi comparatiu⁷ que permeti determinar quina és la més adequada.

6. Vegeu, per exemple, l'estudi comparatiu de diferents dispositius de comunicació i diversos mètodes d'entrada publicats per SZETO, ALLEN i LITTRELL, 1993.

7. La selecció del mètode més adequat no és una tasca fàcil. HORN i JONES, 1996, mostren com un sistema de selecció directa que emprava un apuntador òptic col·locat en el cap d'un nen amb importants limitacions físiques va obtenir millors resultats en precisió, entrenament i temps de resposta, que un sistema d'escombrada circular que, en principi, semblava molt més adequat per a aquest usuari. L'èxit de la selecció directa es deu al fet que resulta menys exigent cognitivament i que permet un millor temps de resposta. La seva conclusió és que la fatiga deguda a l'a-

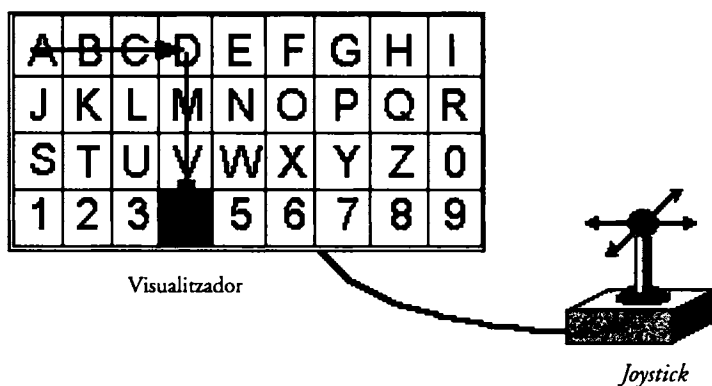


FIGURA 4. Escombrada dirigida.

No obstant això, l'extrapolació dels resultats no sempre és possible, ja que cada grup d'usuaris té diferents característiques, de manera que una mateixa elecció que resulta vàlida per a un grup d'usuaris pot no ésser-ho per a un altre grup amb característiques similars.

Com hem vist, en la selecció directa cada tecla té un valor únic, mentre que en l'escombrada una única tecla pot prendre tot el conjunt de valors. Existeix una tercera possibilitat, la *codificació*, que permet generar diferents codis associats a diferents significants, mitjançant un nombre restringit de tecles. Cada caràcter té un codi associat, que es compon mitjançant la pulsació de la seqüència de tecles adequada.⁸ L'avantatge d'aquest sistema és que el nombre de tecles necessari és petit. Els teclats restringits que s'usen

tenció té un paper important en la selecció del sistema més adequat. D'altra banda, MIZUKO *et al.*, 1994, estudiant l'efecte del mètode de selecció sobre la memòria visual a curt termini en nens de quatre anys no discapacitats, arriben a una conclusió similar. La selecció directa produeix millors resultats que l'escombrada a causa de la seva menor demanda cognitiva, principalment en relació amb la memòria visual a curt termini.

8. El nombre de codis diferents de x dígits que podem generar amb n tecles és n^x . Així, emprant tres tecles (per exemple 1, 2 i 3) podem generar 27 combinacions de 3 dígits (113, 231...). Associant una lletra a cada una de les combinacions es podria escriure qualsevol text, però només en minúscules o en majúscules. Per a disposar de més caràcters hauríem d'usar codis de 4 dígits, cosa que ens permetria codificar fins a 81 elements (3^4). Si el que volem és codificar els 128 primers caràcters ASCII mitjançant codis de longitud fixa x (és a dir, amb x pulsacions per caràcter), com que amb n tecles es poden generar n^x combinacions diferents: $n^{x-1} < 128 < n^x$. Per tant, $x = \lceil \log_2 128 \rceil$. Aquesta equació relaciona el nombre de pulsacions necessari x (nombre de dígits de cada codi) amb el nombre de tecles disponibles n . Per tant, amb 2 tecles necessitaríem 7 pulsa-

per a la codificació requereixen que l'usuari disposi de precisió per a pulsar la tecla adequada i de força suficient per a activar-la. Comparant-los amb els teclats de selecció directa, la mobilitat que requereixen és molt més petita, però la complexitat cognitiva és més gran.

El teclat reduït de dotze tecles usat en molts telèfons s'ha emprat sovint per a codificar caràcters (vegeu la figura 8). Amb 12 tecles es poden generar 144 (12^{12}) codis diferents de 2 tecles. Si només ens interessa produir els 10 dígit i 28 lletres de l'alfabet (38 caràcters distints), podem utilitzar una manera més intuïtiva de codificar: 9 tecles s'associen amb 4 caràcters cada una i es destinen les altres 3 tecles (#, 0, i *) a seleccionar-los. Més endavant veurem com es pot fer servir una mateixa tecla per a produir diversos caràcters i com es tracta l'ambigüitat resultant.

Fins ara ens hem referit a codis de longitud fixa. Quan els elements a codificar tenen diferent freqüència d'aparició, resulten més rendibles els codis de longitud variable si s'assignen els codis més curts als elements més freqüents. El codi Morse és un sistema de codificació de longitud variable optimitzat per a la freqüència de les lletres en anglès, que ha estat emprat amb èxit en certs casos que requereixen sistemes de comunicació alternativa. El codi Morse se sol usar mitjançant un únic pulsador que permet produir «punts» (pulsacions curtes) i «ratlles» (pulsacions llargues). El temps entre pulsacions és també significatiu: les pauses curtes i llargues permeten distingir les separacions entre lletres i paraules. Aquesta codificació és altament dependent del temps i per això resulta inutilitzable per a les persones amb problemes de control de la duració de la pulsació. Per a evitar aquests problemes es poden emprar tres tecles: una per al punt, una altra per a la ratlla i una tercera (*acceptar*) per a les pauses entre lletres. L'esforç de memorització es redueix representant el codi a la pantalla en forma d'arbre, com en la figura 5. Usant aquest sistema, la següent seqüència de tecles (on * vol dir *acceptar*):

cions per caràcter, amb 3 tecles 5 pulsacions, amb 4 tecles 7 pulsacions... Així doncs, quan augmenta el nombre de tecles disponibles disminueix el nombre de pulsacions necessari. En el límit arribaríem a un teclat amb 128 tecles, cada una de les quals produeix el codi d'un caràcter, és a dir, un teclat de selecció directa.

• • • • ∴ ∴ • • • * •

significa «HOLA».

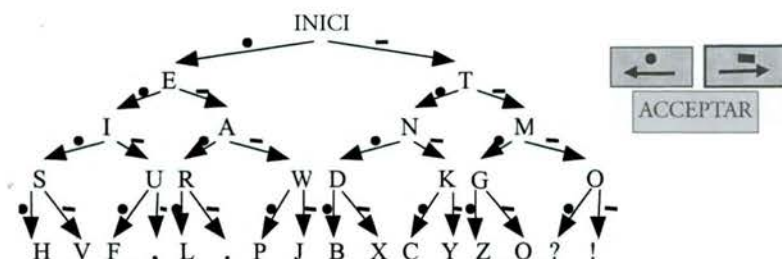


FIGURA 5. Codificació Morse amb tres tecler.

Com a resum d'aquest apartat, la taula 1 conté una comparació dels diferents mètodes d'entrada tenint en compte el nombre de pulsacions i el temps emprat per caràcter en cada cas.

TAULA 1
Comparació de quatre mètodes de selecció

	selecció directa	codificació	escombrada	escombrada dirigida
Pulsacions/element	1	$\lceil \log_n c \rceil$	d	1
Temps mitjà/element	t	$t \cdot \lceil \log_n c \rceil$	$(i+d) \cdot T/2$	b
Mobilitat requerida	alta	mitjana	baixa	mitjana
Precisió requerida	alta	alta	baixa	mitjana
Complexitat cognitiva	baixa	alta	mitjana	mitjana

on:

- t : temps mitjà per pulsació emprat per l'usuari
- b : temps mitjà de desplaçament emprat per l'usuari
- c : nombre de caràcters seleccionables
- n : nombre de dígit (tecler) emprat en la codificació
- T : temps durant el qual un caràcter és seleccionable
- d : nombre de dimensions de la matriu emprada
- i : suma del rang de les dimensions de la matriu ($n + m + \dots$)

2.2. SISTEMES D'ACTIVACIÓ

En tots els mètodes d'accés vistos anteriorment, en algun moment l'usuari ha de realitzar algun tipus de selecció. La manera com s'activa el dispositiu que permet la selecció és un aspecte clau per a l'ús de sistemes de CAA. Els mètodes d'activació són molt variats, ja que depenen de les capacitats físiques dels usuaris. Des del punt de vista de la màquina, l'activació consisteix en la detecció mitjançant algun tipus de sensor d'alguna acció realitzada per l'usuari, sobre la qual aquest conserva el control (principalment moviment, respiració i fonació).

El moviment residual voluntari pot ésser detectat mitjançant el desplaçament o la força que realitza. Amb aquest fi s'usen *interfícies de control mecànic* (teclat, joystick, ratolí, etc.). També es poden emprar *interfícies electromagnètiques*, que no requereixen contacte. Les intercares electromagnètiques permeten detectar el moviment a distància, mitjançant la detecció de les ones lluminoses o de radiofreqüència enviades per un emissor. Aquest és el cas dels apuntadors de llum muntats al cap, que es fan servir per a assenyalar elements en pantalles sensibles. D'altra banda, les *interfícies de control elèctriques* són sensibles als corrents generats pel cos. Les més senzilles són els *commutadors capacitius*, que detecten l'electricitat estàtica. Els teclats que fan servir commutadors capacitius no necessiten força, i per això són útils per a les persones amb debilitat muscular. Altres sistemes de control elèctric detecten l'activitat elèctrica muscular (els senyals electromiogràfics o EMG) a través d'elèctrodes implantats a la pell. Un dels casos més interessants és el dels elèctrodes implantats prop dels ulls, que permeten detectar-ne el moviment.⁹ Així mateix, els detectors de proximitat permeten descobrir el moviment sense entrar en contacte amb el cos, mitjançant la captació de la calor o altres fenòmens corporals (Cook i Hussey, 1995). Pot ocórrer que l'usuari no tingui control dels seus moviments, però sí de la seva respiració. En aquest cas, el mètode d'activació adequat pot ésser la detecció del flux o la pressió de l'aire expulsat. Finalment, si l'usuari és capaç d'emetre sons controlats, hi ha diferents mètodes d'activació per fonació, segons l'articularitat d'aquests.

9. Els senyals electrooculogràfics (EOG) procedeixen de les minúscules variacions de tensió entre la retina i la còrnia. LUSTED i KNAPP, 1996, han dissenyat un sistema que detecta i amplia aquests senyals i elimina mitjançant *lògica difusa* la deriva produïda pels canvis graduals (i incontrolats) de tensió entre els elèctrodes. Això els permet fer un seguiment molt fiable del moviment de l'ull que pot ésser usat per a moure el cursor per la pantalla (com un ratolí). Aquest resulta molt més econòmic que altres mètodes de detecció del moviment dels ulls que s'estan provant mitjançant càmeres de vídeo o raigs infrarojos.

Quan els sons no són articulats, poden ésser detectats per mitjà d'un micròfon i usats per a activar un commutador. Si l'usuari és capaç d'emetre veu, es pot emprar un sistema de reconeixement automàtic de veu disàrtrica, com els que veurem en l'apartat següent (Coleman i Meyers, 1991).

El gran repte, pel que fa als sistemes d'activació, és la connexió directa al cervell. Segons Lusted i Knapp, fins avui només s'ha aconseguit un control rudimentari (de tipus sí/no) de l'ordinador quan capta senyals elèctrics¹⁰ mitjançant elèctrodes fixats en el cuir cabellut. Però sembla que encara és molt llunyana la possibilitat de detectar paraules o lletres pensades pel cervell, per a enviar-les a l'ordinador.

La selecció del sistema d'activació per a un usuari concret depèn de les seves característiques físiques. Segons Cook i Hussey, els paràmetres més importants per a seleccionar un mètode d'activació són:

- *L'esforç* requereix perquè l'usuari pugui generar un senyal, mesurat des del punt de vista, no solament de la força, sinó també de la precisió.
- El *desplaçament*, és a dir, el recorregut realitzat per la interfície per a passar des de la posició normal a la posició activada. Per a minimitzar l'esforç convé que el desplaçament sigui petit. No obstant això, de vegades cal un cert desplaçament perquè l'usuari rebi la realimentació d'activació i la pugui deturar.
- Algunes interfícies a més d'ésser activades necessiten ésser desactivades. La *desactivació* sol requerir menys força i precisió. No obstant això, cal tenir en compte que hi ha usuaris que no disposen del control per a deturar una acció amb la mateixa precisió amb què la inicien.
- *Flexibilitat*. Les interfícies han de permetre ésser activades en el màxim nombre de maneres possibles i admetre diferents posicions.
- *Durabilitat*. L'interfície ha d'ésser construïda amb material de durada per a aguantar els impactes que pot rebre a causa del baix control motor d'alguns usuaris.

2.3. RECONeixEMENT DE VEU

Per a processar la veu, que és un senyal analògic, els sistemes de reconeixement la digitalitzen i l'analitzen tractant d'obtenir una representació

10. Aquests autors han emprat senyals del tipus electroencefalograma (EEG), però també mencionen experiments d'altres científics amb potencials evocats (*Evoked Potential, EP*). LUSTED i KNAPP, 1996.

textual del discurs audible.¹¹ Aquest procés s'anomena *conversió de veu-a-text*. La capacitat d'«entendre» la veu depèn de diferents paràmetres. Els més importants són la separació entre paraules successives i l'entrenament amb el parlant. És més fàcil per al sistema entendre paraules separades, a causa de la dificultat de trobar el punt de separació en el cas del discurs continu. També depèn de si es tracta d'entendre la veu d'un únic parlant, que ha entrenat prèviament la màquina, o de parlants diferents que la màquina desconeix. Existeixen sistemes comercials capaços de resoldre aquest problema de manera adequada per al cas de paraules soltes i un únic parlant. També hi ha sistemes capaços d'entendre diferents parlants amb un vocabulari restringit. Tanmateix, el problema més general d'entendre la veu de diferents parlants amb discurs continu no ha estat convenientment resolt encara.

Els sistemes amb entrada per a la veu resulten molt útils per a persones amb serioses restriccions de moviments que són degudes a una discapacitat motora greu, però que conserven la capacitat de parlar; per exemple, persones amb tetraplègia. Aquestes persones obtenen bons resultats usant un sistema dependent del parlant i poden ésser entrenades per a emetre paraules separades, encara que els sistemes que admeten el discurs continu són més còmodes.

Dins del camp de la comunicació alternativa els usuaris manquen precisament de veu, i per això aquests sistemes no tenen gaire aplicabilitat. No obstant això, sí que la tenen en l'àrea de la comunicació augmentativa, per a aquelles persones que disposen de veu difícil d'entendre o disàrtrica. És sabut que moltes persones amb veu disàrtrica poden ésser enteses pels seus amics i familiars. Això es deu al fet que els familiars estan acostumats a aquest tipus de veu i que coneixen el context de la conversa. Per aquesta raó, alguns investigadors pensen que, si la persona és capaç d'emetre un conjunt de paraules diferenciades que poden ésser enteses per persones entrenades, també poden ésser enteses per sistemes automàtics (Ferrier *et al.*, 1995) (fig. 6). Així doncs, els esforços de recerca estàn dirigits al desenvolupament de sistemes que combinen la possibilitat d'aprenentatge, tals com xarxes neuronals, per a entrenar-les en el reconeixement de la veu disàrtrica, amb la capacitat de processament de la informació del context (emprant tècniques d'intel·ligència artificial).

Com hem vist, els sistemes de reconeixement de veu poden ajudar les persones amb veu disàrtrica en la comunicació interpersonal i en el control d'entorn. Tanmateix, el control de determinats sistemes, tals com cad-

11. Es pot veure una interessant introducció al processament digital de senyal a VENKATAGIRI i RAMABADRAN, 1995.



FIGURA 6. Traducció de veu-a-text.

res de rodes o braços robòtics, pot resultar perillós si es produeixen errors de reconeixement. Segons Noyes i Frankish (Noyes *et al.*, 1992) el problema s'aguditzava en situacions d'emergència o irritació, en què les característiques de la veu poden canviar i fer que sigui més difícil de reconèixer. Per aquest motiu s'està treballant en diversos mètodes per a evitar els problemes que els errors de reconeixement poden generar, com són la petició de confirmació, la provisió de retroacció a l'usuari sobre allò que la màquina ha entès i, sobretot, l'ús de programari intel·ligent que analitzi la versemblança de la paraula reconeguda i els possibles conflictes de la seva aplicació.

Una altra aplicació interessant del reconeixement de veu en l'àrea de la CAA és el desenvolupament d'ajuts visuals per a la comprensió del discurs a persones amb discapacitat auditiva (per exemple, convertint la veu en informació codificada o en símbols fonètics per a informar sobre la prosòdia de la frase). No obstant això, el gran problema d'aquests sistemes, que justifica la seva poca difusió, és el gran esforç cognitiu que l'usuari ha de fer per a seguir la conversa.

Per acabar, hem de ressaltar que, malgrat les expectatives que s'havien creat, en general les tècniques de reconeixement de veu no han tingut fins ara el desenvolupament ni la difusió en l'àrea de la CAA que hom n'esperava.¹²

12. NOYES i FRANKISH atribueixen el lent avenç de les aplicacions de reconeixement de veu en comunicació i control d'entorn, a una *enginyeria de factors humans* inadequada i als elevats costos de les solucions existents. Troben que problemes ergonòmics tals com la posició del micròfon, el soroll de fons o la fatiga poden dificultar la generalització de l'ús d'aquesta tecnologia, NOYES *et al.*, 1992.

2.4. SÍNTESI DE VEU

Els darrers anys, les tècniques de processament digital de senyal han sofert un avenç important i això ha permès enfrontar-se a un dels objectius més desitjats pels usuaris de sistemes de CAA: les anomenades *pròtesis de veu*. Les primeres disposaven d'un nombre finit de frases pregravades. Cada una de les frases estava associada a una tecla, un codi o una opció d'un menú, de manera que poguessin ésser seleccionades fàcilment per l'usuari. El problema d'aquests sistemes és que la seva capacitat d'expressió estava limitada a les frases disponibles i, per tant, la seva articularitat era molt baixa.

El pas següent fou dissenyar sistemes capaços de llegir en veu alta qualsevol text prèviament introduït en l'ordinador. Com que no és possible emmagatzemar en un ordinador i reproduir de manera eficient totes les paraules d'un idioma amb les seves entonacions i inflexions, es va pensar en unitats fonètiques més petites. Així, resulta que es pot construir una frase unint petits segments de veu humana pregravada, usualment demisíl·labes o demifonemes (Dettweiler, 1985). L'objectiu és sintetitzar de manera artificial la veu humana usant tecles digitals.

Un cop hom disposa d'un sistema de traducció de text-a-veu, qualsevol dispositiu de comunicació que permeti a l'usuari introduir textos d'una o altra manera es pot convertir en una pròtesi de veu (fig. 7). No obstant això, l'experiència pràctica demostra que hi ha problemes d'acceptabilitat i d'intel·ligibilitat. Respecte de l'acceptabilitat social de la veu sintètica, els potencials usuaris de dispositius amb veu sintètica s'identifiquen primàriament amb veus del seu mateix gènere i amb el so més natural (M. Crabtree, P. Miranda i D. R. Beukelman, 1990), cosa que resulta comprensible ja que aqueixes veus els han de representar en la seva relació social.

Molts autors han publicat estudis sobre diferents aspectes que influeixen en la intel·ligibilitat de la veu sintètica; per exemple, l'aprenentatge i la longitud de les frases,¹³ la velocitat i el to,¹⁴ presència de soroll (D. Fucci, M. Reynolds, R. Bettagere i M. D. Gonzales, 1995), la longitud i la complexitat del text (D. J. Higginbotham, A. L. Drazek, K. Kowarsky, C. Scally i E.

13. Segons H. S. VENKATAGIRI, 1994, existeix una millora considerable en la intel·ligibilitat a mesura que augmenta el nombre de frases que escolta l'oient. No obstant això, assegura que la longitud de les frases no afecta la intel·ligibilitat.

14. El mateix autor va estudiar la influència de la velocitat a què es diu la frase: passar de 201 síl·labes/minut (velocitat «normal» per a adults) a 139 síl·labes/minut millora la intel·ligibilitat de paraules soltes en més del 10 % i de missatges en el 14 %. Respecte a la influència del to, no troba diferència d'intel·ligibilitat entre veu alta (194 Hz), mitjana (111 Hz) i baixa (82 Hz). Per tant, la recomanació és fer servir el to més apropiat al gènere de l'usuari.



FIGURA 7. Traducció de text-a-veu.

Segal, 1994), el nombre de sessions i el tipus de vocabulari,¹⁵ el tipus de presentació de la mostra (gravada o en viu) (J. W. Scherz i M. M. Beer, 1995), etc. De totes maneres, els factors més importants per a la intel·ligibilitat de la veu artificial sembla que depenen del coneixement de l'idioma. Entre ells, són claus el significat del missatge, la pràctica anterior de l'oient amb el missatge i l'atenció de l'oient mentre realitza la tasca (Miranda i Beukelman, 1990). A més, com més predibles són els missatges més intel·ligibles són.¹⁶ Estudis portats a terme amb parlants d'anglès nadius i no nadius corroboraren aquests resultats.¹⁷

Actualment ja hi ha en el mercat un nombre important de sistemes que contenen maquinari i programari capaços de realitzar la traducció de text-a-veu amb una qualitat suficient i acceptablement intel·ligibles, encara que

15. D. McNAUGHTON, K. FALLON, J. TOD, F. WEINER i J. NEISWORTH, 1994, van estudiar la influència del nombre de sessions i del tipus de vocabulari (nou c/ repetit). La conclusió és que la intel·ligibilitat augmenta amb el nombre de sessions per a ambdós tipus de vocabularis. A més, el vocabulari repetit resulta més fàcil d'entendre que el nou, tant per als nens com per als adults.

16. La veu sintètica és més intel·ligible quan els missatges són relativament predibles. Però quan els missatges són temàticament o lingüísticament impredibles, se'n redueix la intel·ligibilitat, S. L. RUPPRECHT *et al.*, 1995.

17. M. REYNOLDS, Z. S. BOND i D. FUCCI, 1996, estudiaren la intel·ligibilitat de diferents veus sintetitzades amb soroll i sense, per a parlants d'anglès nadius i no nadius. Aquests autors concluderuen que la presència de soroll dificultava la comprensió per a tots dos grups i que els parlants d'anglès nadius presentaven una comprensió considerablement més gran, fins i tot en ambient sorollós, que els no nadius.

els canvis constants en tecnologia de veu fan preveure noves propostes en els propers anys.

3. MILLORA DE LA VELOCITAT DE LA COMUNICACIÓ

Els dispositius de suport de la CAA permeten compondre paraules i frases a una velocitat força menor de la que seria necessària per a participar en una conversa normal. Per exemple, la frase:

M'agradaria que vinguessis a visitar-me més sovint.

conté quaranta-sis caràcters que requereixen quaranta-sis pulsacions si s'usa un sistema d'accés directe. El temps necessari per a escriure la frase dependrà de la destresa de l'usuari en el maneig del teclat, però fins i tot un usuari que teclegés amb relativa rapidesa, per exemple a 180 caràcters per minut, necessitaria gairebé vint segons per a escriure la frase. En el cas que s'estigui usant un sistema d'escombrada, per exemple, amb dues pulsacions per a seleccionar cada caràcter, el nombre de pulsacions necessari seria de 100 i el temps requerit dependria de la velocitat a què es realitza l'escombrada i de la posició que ocupa cada caràcter. Si suposem un temps mitjà de selecció de sis segons per caràcter, caldrien tres-cents segons per a escriure la frase completa. Això sense comptar possibles errors que endarrerissin l'escriptura.¹⁸

D'aquesta manera, els usuaris de sistemes de CAA es poden veure marginats i sentir-se decebuts en no aconseguir la seva integració en les relacions socials corrents. Per aquesta raó, un dels majors reptes amb què es troba la tecnologia de la rehabilitació és el disseny de sistemes d'ajut a la comunicació que permetin augmentar la velocitat a què es produeixen els missatges. Els treballs en aquesta àrea se centren fonamentalment en els mètodes d'expansió de codis i d'anticipació. Ambdós tracten de disminuir el nombre de pulsacions necessari per a produir una paraula o frase.

18. ANDREW *et al.*, 1993, mencionen estudis segons els quals els usuaris de sistemes de CAA poden aconseguir velocitats de comunicació entre 2 i 26 paraules per minut, mentre que la velocitat d'una conversa normal en anglès oscil·la entre 126 i 200 paraules per minut i de 20 a 35 paraules per minut en comunicació escrita.

3.1. EXPANSIÓ DE CODIS

La idea bàsica consisteix a disminuir el nombre de pulsacions necessàries usant codis en lloc de paraules i frases, de tal manera que l'usuari només escriu el principi de la frase o paraula i l'ordinador l'expandeix fins al seu desenvolupament complet. Per a teclejar aquests codis s'usen teclats reduïts,¹⁹ (fig. 8). Els codis poden estar compostos per lletres o nombres, com es pot veure en els exemples següents:

- Usant, per exemple, codis de tres dígits es poden codificar fins a 1.000 paraules o frases:

000	aigua
001	pa
002	llet
—	—

- També es poden representar les paraules o frases per les seves n primeres lletres. Per exemple, usant les dues primeres lletres: «ai» per aigua, «ll» per llet, etc.
- Hi ha sistemes que associen cada tecla del teclat amb una frase o paraula.

Quan hom usa un sistema amb assignació unívoca, cada element (paraula o frase) té assignada una tecla o seqüència de tecles. D'aquesta manera, el sistema simplement ha de buscar quin és l'element associat al codi. Si la frase produïda resulta gramaticalment incorrecta o incompleta, es pot aplicar un programa corrector, com els que es mencionen més endavant. Evidentment, la limitació d'aquest senzill sistema és la seva baixa articulabilitat. Només es poden expressar aquells elements que hagin estat prèviament codificats.

Existeix també la possibilitat d'usar teclats reduïts en què cada tecla està associada amb més d'una lletra. Per aquest motiu, el text produït resulta ambigu (cada pulsació pot tenir diverses interpretacions). Heus aquí un exemple:

Usant el teclat de la figura, si es tecleja la paraula AFINS, internament es codificaria com: 12357. Com que $1 = \{A, B, C\}$, $2 = \{D, E, F\}$, $3 = \{G, H, I\}$, $5 = \{M, N, O\}$ i $7 = \{S, T, U\}$, la descodificació produiria qualsevol combinació $\alpha\beta\chi\delta\epsilon$ tal que $\alpha \in \{A, B, C\}$, $\beta \in \{D, E, F\}$, $\chi \in \{G, H, I\}$, $\delta \in \{M, N, O\}$, $\epsilon \in \{S, T, U\}$. El resultat de la descodificació és un conjunt de seqüències de caràcters com: BEGOS, CEIMT, etc.

19. ARNOTT *et al.*, 1992, denomina *teclats reduïts* a aquells que contenen menys de les vint-i-sis tecles alfabètiques.

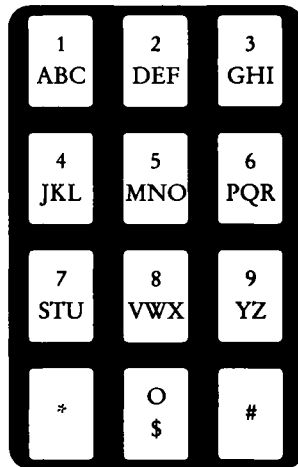


FIGURA 8. Exemple d'un teclat reduït.

Com que cada tecla conté tres caràcters, a l'hora de descodificar una paraula de n caràcters hi ha 3^n diferents possibilitats. En el cas de l'exemple se n'obtenen 35, o sigui 243 combinacions diferents. Però solament unes quantes són possibles en llenguatge natural. Moltes podrien ésser eliminades si es busquen en un diccionari. La complexitat computacional d'aquesta recerca és proporcional a la longitud de la paraula. Per a paraules llargues pot arribar a consumir molt de temps (per exemple, una paraula de 8 caràcters generaria 6.561 accessos al diccionari). És millor emprar les tècniques per a resoldre l'ambigüitat existents que detecten les combinacions de caràcters que no són possibles en un idioma, per a eliminar-les. Fet això, pot quedar més d'una paraula possible. En aquest cas es poden emprar criteris estadístics, sintàctics i semàntics per a seleccionar la més adequada. Un mètode per a millorar aquest sistema és buscar les disposicions dels caràcters més adients per a minimitzar el nombre de paraules vàlides producte de la descodificació.²⁰ Arnott i Javed proposen un interessant exemple de teclat reduït amb codificació ambigua. La idea és resoldre l'ambigüitat en cada pulsació, cosa que permet anar construint una sola paraula. Amb aquesta finalitat, se solen usar models probabilístics de seqüències de caràc-

20. GARDEAZÁBAL i POZA, 1997, han desenvolupat un sistema basat en algorismes genètics amb interessants resultats. Per altra banda, ARNOTT i JAVED, obtenen resultats semblants per a quatre diferents teclats de dotze tecles, entre ells un d'alfabètic i un altre de dissenyat mitjançant criteris de freqüència.

ters (*n*-grames) que permeten predir el següent caràcter i així eliminar l'ambigüïtat entre els possibles caràcters de cada tecla. Els models s'obtenen mesurant la freqüència dels *n*-grames de textos procedents de grans corpus. No obstant això, es poden obtenir resultats semblants a partir d'un petit corpus, mitjançant un model *adaptatiu* que va aprenent els *n*-grames a partir de les seqüències de caràcters teclejades per l'usuari. La complexitat computacional d'aquest mètode és més petita, però presenta el problema que si en algun moment es pren una decisió errònia no és possible tornar enrere sense la intervenció de l'usuari. Tampoc no hi ha la possibilitat de presentar-li les diferents alternatives per tal que ell mateix decideixi.

3.2. PREDICCIÓ DE PARAULES

Quan una persona amb discapacitat de llenguatge tracta de comunicar-se assenyalant les lletres contingudes en un tauler, l'interlocutor sol ésser capaç d'anticipar el final de la paraula abans que sigui lletrejada completament. Per a fer això, aquest es basa en el seu coneixement del llenguatge i del context de la conversa. Tractant d'imitar aquest comportament, s'han dissenyat sistemes d'anticipació que intenten predir el següent element que s'escriurà.

Conegudes les freqüències relatives de les lletres d'un idioma, no és difícil anticipar quin serà el pròxim caràcter d'una lletra. Com que la proposta ha d'ésser acceptada o rebutjada mitjançant una pulsació, encara que es produeixin molts encerts, l'estalvi de pulsacions és petit. Perquè la predicció suposi un estalvi real, cal que la grandària del bloc anticipat sigui com més gran millor. Tanmateix, la probabilitat d'encertar disminueix quan aquesta grandària augmenta. La paraula és el bloc lingüístic que ofereix un millor equilibri entre la probabilitat d'encertar i el nombre de caràcters estalviat (ja que les síl·labes són massa curtes i les frases són difícils de predir). Per això, la majoria dels sistemes existents tracten de predir paraules completes.

En el cas de l'*anticipació de paraules*, s'intenta dissenyar programes capaços d'aprofitar la redundància d'informació inherent als llenguatges naturals i la informació del context. La majoria dels sistemes de predicció de paraules parteixen de dades estadístiques: les freqüències de les paraules (o dels blocs de *n* lletres, *n*-grames). Això permet oferir la paraula, o paraules, més freqüents que comencin pels caràcters ja teclejats. Tanmateix, pot passar que el conjunt de paraules amb alta probabilitat d'aparèixer sigui massa gran i calgui una selecció. A més de les dades estadístiques, hom pot usar informació morfològica i sintàctica (Ventkatagiri, 1993). De l'anàlisi sintàc-

tica del text, es pot deduir la categoria gramatical més probable (verb, nom, adjectiu...) de la paraula que segueix, cosa que limita el nombre de paraules possibles en aqueixa posició. L'anàlisi semàntica pot ésser una altra manera de restringir el nombre de paraules possibles. Ara bé, la categorització semàntica de les paraules és difícilment automatitzable i els resultats obtinguts amb aquests mètodes no han millorat els sintàctics (Garay *et al.*, 1994).

L'eficiència del mètode depèn dels diccionaris emprats. La tendència a usar grans diccionaris amb freqüències obtingudes a partir de grans corpus que ocupen molta memòria i fan més lent el procés de recerca, està donant pas a diccionaris més petits que es van modificant amb l'ús per a incloure les paraules més freqüentment usades pel mateix usuari.

També la interfície d'usuari té un paper important (H. Horstmann Koestern, 1994). Si se li ofereix més d'una paraula, la probabilitat d'encertar és més gran, però també augmenta el temps necessari per a seleccionar la paraula desitjada entre les proposades en cas d'encert. Cal buscar un equilibri entre el nombre de propostes i el temps de selecció d'aquestes. Alguns sistemes presenten una única proposta que és integrada directament en el text. Només si l'usuari la rebutja explícitament, és eliminada del text i se segueix amb la selecció de caràcters.

És difícil realitzar una comparació entre els diferents mètodes de predicció que apareixen en la literatura, ja que utilitzen paràmetres diferents per a l'evaluació dels resultats. Tot i així, la més freqüent és l'estalvi de pulsacions:

$$\text{Estalvi} = 1 - \frac{\text{pulsacions_totals}}{\text{núm. total_de_caràcters_del_text}}$$

La millora en el temps emprat per a escriure un text depèn de la velocitat d'escombrada o de la velocitat de tecleig quan s'usa accés directe o codificació, i això impedeix establir mesures estàndards. Per altra banda, no solament influeixen el percentatge d'encerts, la grandària i l'estructura del diccionari emprat, el nombre de paraules que s'ofereixen i la manera de seleccionar-les, sinó també influeixen en l'eficiència d'un sistema de predicció, és a dir, en el nombre de pulsacions estalviades (Garay *et al.*, 1997).

Dins de la investigació en sistemes intel·ligents per a persones amb discapacitat de la parla, cal destacar el conjunt d'eines desenvolupades en el Microcomputer Centre de la Universitat de Dundee, que inclouen: *Pal* (*Predictive Adaptive Lexicon*), un sistema de predicció *adaptatiu* per a l'ajut en la conversa i en l'escriptura; *Chat* i *Topic* que, a partir d'un model de conversa, ajuden a buscar les paraules o frases més adequades en cada

fase, cosa que resulta efectiva, sobretot, en les parts més formals i estandaritzades de la conversa. Eines per a la reutilització de segments de la conversació com *TalksBack*, que fa servir el coneixement sobre l'usuari, mitjançant tècniques d'intel·ligència artificial, per a predir la paraula més adequada; *Moco* (*Modular Social Communicator*), que genera frases adequades per a donar continuïtat i reomplir una conversa, i *Hamlet* (*Helpful Automated Machine for Language and Emotional Talk*), que tracta d'afegir emoció a la veu sintètica, etc.²¹

D'altra banda, el teclat reactiu (*the reactive keyboard*) dissenyat per Darragh, Witten i James (Darragh *et al.*, 1992), és un programa que accelera la comunicació amb l'ordinador a través de teclat i prediu allò que l'usuari teclejarà seguidament. El programa està destinat a usuaris sense discapacitat i és *adaptatiu*. Les prediccions es basen en allò que l'usuari ha anat teclejant, en la mateixa sessió o en sessions anteriors. Per això, aquest sistema és vàlid per a qualsevol context: conversa normal en qualsevol idioma, ús d'un llenguatge de programació, ordres del sistema operatiu, etc. La tècnica de modelatge que permet l'adaptació es basa en un mètode de comprensió *adaptatiu* que guarda el context en grans arbres estructurats de caràcters. Una coincidència de context en l'arbre permet predir l'element subsegüent. Aquestes mateixes idees foren posteriorment esteses per a proposar cinc interfícies predictives (Greenberg, Darragh, Maulsby i Witten, 1995) que, juntament amb el teclat reactiu, inclouen predicció *adaptativa* en la selecció de menús, moviment del ratolí, una calculadora autoprogramable i eines de reutilització i organització de recursos.²²

3.3. SISTEMES DE CORRECCIÓ D'ERRORS ORTOGRÀFICS I DE TECLEIG

Una de les causes de baixa velocitat en la producció de frases pot ésser la realització d'errors de tecleig. Cada vegada que l'usuari comet un error es veu obligat a tornar endarrere en la frase per a corregir el text. Si no ho fa, pot passar que la intel·ligibilitat de la frase es vegi afectada o que resulti im-

21. Vegeu en EDWARDS, 1995, el capítol d'A. F. NEWELL, J. L. ARNOTT *et al.* «Intelligent systems for speech and language impaired people: A portfolio of research».

22. Per exemple, l'adaptabilitat dels menús jeràrquics interactius, sobretot d'aquells amb un elevat nombre de nivells, es basa en la reconfiguració dinàmica de la jerarquia segons la freqüència dels seus elements. Així, els usats més freqüentment es troben en els primers nivells, en detriment dels menys freqüents. Si l'ús varia amb el temps, el lloc que ocupa cada element és modificat. Això impedeix memoritzar la seva posició i obliga l'usuari a buscar cada element sempre que fa una selecció.

pronunciable per al sistema de traducció de text-a-veu. Els sistemes de correcció sintàctica depenen en gran manera de l'idioma per al qual han estat dissenyats. Realitzen diverses anàlisis, usualment morfològica i sintàctica, per a determinar els possibles errors i els van corregint sobre la marxa. En el cas que l'usuari desitgi escriure alguna cadena de caràcters que sigui gramaticalment incorrecta, ho haurà de fer entre dos caràcters de control que inhibeixin temporalment l'acció del corrector.

Existeixen sistemes que, encara que no es cometin errors, requereixen la reconstrucció de la frase. Per exemple, aquells que per a augmentar la velocitat de comunicació utilitzen un conjunt de selecció format únicament per paraules completes. Amb aquest tipus de sistemes un usuari entrenat pot produir frases intel·ligibles a una velocitat acceptable, però amb estil «telegràfic», cosa que de vegades té efectes col·laterals nocius. L'ambigüïtat deguda a la falta de pronoms, a l'ús dels infinitius dels verbs, etc., pot portar confusió. A més, a causa del tipus de llenguatge emprat, l'interlocutor pot pensar que l'usuari és menys intel·ligent. Demasco i McCoy desenvoluparen, usant tècniques de *processament del llenguatge natural*, un prototipus de sistema per a expandir i corregir sintàcticament les frases telegràfiques produïdes per persones amb discapacitat motora i limitacions cognitives (Demasco *et al.*, 1992). La frase telegràfica és analitzada sintàcticament i corregida. Abans d'ésser emesa pel sintetitzador ha d'ésser acceptada explícitament per l'usuari i això li permet conservar en tot moment el control.

3.4. TRADUCCIÓ DE SISTEMES PICTOGRÀFICS A LLENGUATGE NATURAL

Existeix un gran nombre de sistemes de comunicació alternativa i augmentativa basats en pictogrames o en imatges, alguns dels quals han assolit gran difusió, com per exemple els símbols Bliss, Rebus, PIC, SPC, etc.²³ L'ús d'aquests sistemes està especialment indicat per a persones amb dificultats de lectoescriptura. L'articularitat que ofereixen és molt variada: des d'aquells que permeten expressar qualsevol idea combinant símbols abstractes mitjançant un conjunt de regles gramaticals, fins als que solament poden representar els objectes o persones concrets que apareixen a la imatge. El problema és que l'ús d'aquells que tenen una capacitat d'expressió més gran també requereix un nivell cognitiu més gran. Per tant, el sistema

23. Vegeu G. C. VANDERHEIDEN i L. L. LLOYD, «Communication Systems and Their Components» a BLAKSTONE, 1986, p. 49-162.

pictogràfic seleccionat per a un usuari ha d'ésser el més adequat al seu desenvolupament cognitiu. D'aquesta manera, es pot aconseguir una capacitat de comunicació molt satisfactòria.

Ens limitarem als ajuts dissenyats sobre els sistemes més complexos, que permeten expressar, assenyalant en un tauler de símbols, qualsevol idea. Durant el procés de comunicació, l'interlocutor va llegint els símbols (o el seu significat escrit al costat) i reconstruint el missatge. Per a facilitar la comunicació, s'han desenvolupat mètodes de traducció al llenguatge natural de les frases compostes usant símbols Bliss. El primer pas és traduir cada pictograma per la paraula o paraules corresponents. El resultat sol ésser una frase desordenada i gramaticalment incorrecta. Cal ordenar-la i afegir-li les corresponents concordances (per exemple, de gènere i nombre), partícules (pronoms, preposicions...), conjugar els verbs, cosa que resulta més o menys complicada segons l'idioma de destí. Per això cal realitzar anàlisis sintàctiques. També cal l'ús de sistemes que resolguin l'ambigüïtat en els casos que hi hagi diverses possibilitats (fig. 9). Tot això es fa utilitzant tècniques de processament del llenguatge natural. Quan es disposa d'una frase correcta, aquesta pot ésser llegida en veu alta pel traductor de text-a-veu.

3.5. MESURA DE LA VELOCITAT DE COMUNICACIÓ

Com que en els processos de comunicació hi prenen part éssers humans, la correcta avaluació de l'eficiència dels diversos sistemes requereix que les proves siguin realitzades amb usuaris reals i utilitzant metodologies adequades. No obstant això, existeixen característiques independents de l'usuari que poden ésser evaluades utilitzant els bancs de proves oportuns. Per exemple, hi ha simuladors que permeten emular diferents sistemes

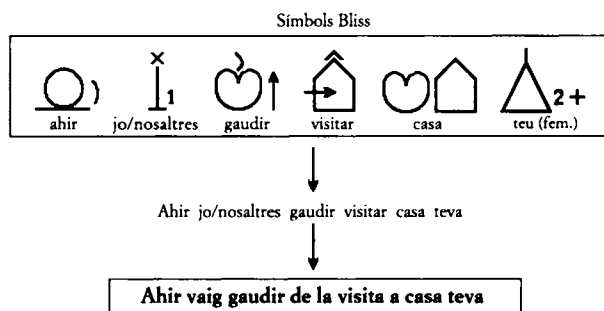


FIGURA 9. Traducció de símbols Bliss al llenguatge natural (Blackstone, 1986).

d'accés, configuracions del conjunt de selecció, sistemes d'augment de la velocitat, etc., per a determinar un límit superior en el seu rendiment en condicions ideals (González-Abascal *et al.*, 1990). També permeten introduir un generador d'errors aleatoris per a obtenir una idea sobre la influència dels errors en l'esmentat rendiment. Aquest tipus de programa és útil sobretot a l'hora de comparar i seleccionar diferents característiques del dispositiu que es desitja adquirir, però aquests resultats no es poden prendre com a definitius perquè ignoren el factor crític, que és la interacció amb la persona.

Altres autors prefereixen fer mesures amb usuaris no discapacitats, per a minimitzar la dispersió en les seves característiques físiques i els problemes de limitacions cognitives que poden aparèixer quan s'utilitzen grups d'usuaris discapacitats.²⁴ Tanmateix, no es pot oblidar que el rendiment final del dispositiu de CAA depèn de l'adequada interacció entre la persona i l'ordinador. Les característiques físiques, els interessos, els gustos i les preferències de l'usuari final tenen un important paper a l'hora d'obtenir el màxim rendiment en la comunicació.

4. TENDÈNCIES EN TECNOLOGIA DE SUPORT DE LA CAA

4.1. DIFERÈNCIES INDIVIDUALS I ADAPTABILITAT

Les característiques físiques i cognitives dels possibles usuaris d'un determinat tipus d'ajut tècnic poden ésser molt diferents, de manera que es fa necessari el disseny de sistemes d'interacció «a mida». Hi ha tècniques basades en l'ús d'ordinadors que permeten avaluar l'adequació de la interfície

24. Dos indicadors importants per a avaluar l'adaptació del sistema a l'usuari són la velocitat i la precisió de la generació de missatges. Segons SZETO, ALLEN i LITRELL, 1993, la velocitat de generació de missatges depèn del mètode d'accés, del tipus d'interfície, de les característiques operacionals de l'aparell que es fa servir. Aquests autors realitzaren una comparació de tres mètodes d'entrada: escombrada per files i columnes amb un únic polsador, escombrada dirigida mitjançant un *joystick* i selecció directa mitjançant un apuntador lluminós sobre un plafó sensible (*light pointer*) i un emulador de ratolí mitjançant transductors ultrasònics amb un commutador neumàtic col·locats sobre el cap. A partir de les proves realitzades per setze estudiants no discapacitats utilitzant aquests sistemes per a la comunicació interactiva, els esmentats autors demostraren que el mètode de selecció té un gran impacte en la velocitat de comunicació. Tot i així, el mètode d'entrada no té un efecte significatiu sobre la precisió del text. Cal destacar que fins i tot els subjectes sense discapacitats obtenen velocitats mitjanes de comunicació molt baixes. Les obtingudes en aquest experiment (en caràcters per minut) foren: 16,6 amb escombrada, 24,6 amb escombrada dirigida i 31,8 mitjançant la selecció directa.

a un usuari concret, abans de la seva realització. El procés de disseny comprèn diversos passos (Kumar *et al.*, 1996). Els més importants són l'*adquisició de dades* sobre les necessitats de l'usuari, que permetin desenvolupar models quantitius i obtenir les especificacions de disseny; la *realització de prototipus virtuals* mitjançant estacions de treball gràfiques que permetin simular el comportament de l'usuari, del sistema i de la interacció entre ells, i el *disseny* i la *realització ràpids de prototipus operatius* per a avaluar la seva adequació a les tasques que desenvolupa l'usuari i establir les seves característiques amb vista a la seva producció. Les tècniques de fabricació flexible permeten la producció dels dispositius resultants, a pesar que el nombre de dispositius a produir sigui baix.

Per altra banda, les característiques físiques i cognitives de la persona amb discapacitat poden sofrir modificacions amb el temps, les quals han d'ésser tingudes en compte. Algunes d'aquestes característiques sofreixen variacions ràpides; per exemple, a causa de la fatiga, i això pot fer variar en el transcurs del dia el rendiment obtingut a partir d'un dispositiu de comunicació. Altres tenen evolucions temporals més lentes, com són les millores en la comprensió del sistema degudes a l'aprenentatge. En tots els casos, resulta convenient el disseny d'interfícies *adaptatives*, basades en el modelatge de l'usuari, que tinguin en compte aquestes variacions i modifiquin el seu comportament segons aquestes variacions.²⁵

4.2. LA INVESTIGACIÓ EN TECNOLOGIA DE SUPORT PER A LA CAA

Com que el seu objecte és l'ajut a la comunicació, la investigació en tecnologies per a la CAA ha d'estar orientada forçosament al desenvolupament d'aplicacions reals. Això no obstant, l'ús de la tecnologia en CAA no solament se circumscriu a les esmentades *funcions de suport*, centrades en la comunicació personal i la interacció amb l'entorn. També és necessària l'aplicació de la tecnologia en altres tasques de la CAA, com són el disseny d'eines per al *diagnòstic de minusvalideses* i la *valoració de les discapacitats resultants*, el suport tecnològic del *tractament* i de l'*ensinistrament* i el *processament de dades* per a la investigació (Soede, Alm *et al.*, 1991).

Per a això, Soede proposa l'aprofundiment en alguns aspectes de vegades oblidats, com són:

- L'efecte sobre la mateixa comunicació de l'ús de sistemes d'ajut a la comunicació.

25. KOBASA, 1993, presenta una interessant revisió de les tècniques de modelatge d'usuari per a interfícies adaptatives.

- Una anàlisi adequada de les necessitats i dels objectius assolibles.
- La descripció i classificació formals de les discapacitats comunicatives per a establir bancs de prova dels dissenys en CAA. Aquests bancs han d'establir diferents característiques i situacions de diferents usuaris i també han de descriure els mètodes i procediments per a la prova i la comparació dels diferents dissenys.

Tornant a les funcions de suport a la CAA, que han estat l'objecte principal d'aquest capítol, el paradigma fonamental ha d'ésser el del *disseny per a tothom*, deixant les adaptacions parcials i els pegats per als sistemes comercials. És necessari que, des dels primers passos, la concepció dels sistemes d'interacció tingui en compte les necessitats de tots, per a permetre la seva adaptació a cada tipus d'usuari.

En aquest sentit, la investigació en l'àrea d'interacció *persona-ordinador* resulta fonamental. Per exemple, és necessari el desenvolupament d'eines més poderoses per al disseny d'interfícies (com les anomenades UIDS, *User Interface Development Systems*), d'estils d'interacció més imaginatius i de nous sistemes i dispositius d'entrada/sortida, tot això aprofitant la multiplicitat de canals existents entre l'usuari i la interfície (vegeu la figura 10).

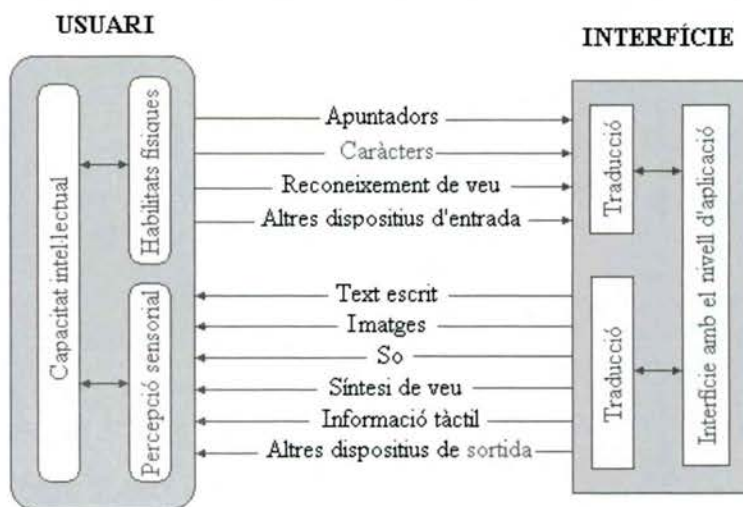


FIGURA 10. Canals de comunicació entre l'usuari i la interfície.

Per altra banda, cal aprofundir en l'aplicació als usuaris amb problemes de comunicació de sistemes d'interacció suficientment establerts en altres àrees, com són:

- les *interfícies adaptatives*, que modifiquen el seu comportament segons les capacitats de l'usuari i de la seva evolució;²⁶
- les *interfícies intel·ligents*, que serveixen com a traductors per a superar la bretxa cognitiva entre l'usuari i les aplicacions més complexes;
- les *interfícies multimèdia*,²⁷ per a diversificar i complementar la informació que l'usuari rep, de manera que la redundància dels diferents canals li faciliti la comprensió.²⁸

Per a assegurar l'èxit en el disseny de nous sistemes de CAA és necessari un enfocament multidisciplinari amb la participació expressa dels usuaris en el procés d'investigació, tal com ho explica Alm en la contestació de l'article esmentat (Soede, Alm *et al.*, 1991). La participació dels usuaris és fonamental, sobretot en les fases d'especificació de les seves necessitats i d'avaluació dels prototipus. En ambdós casos cal emprar una metodologia rigorosa, com Userfit (Poulson *et al.*, 1996), per exemple. Tot això és inútil si les opinions dels usuaris no tenen retroacció real en el procés de disseny, per tal que es realitzin les modificacions necessàries en les especificacions o en el prototipus.

Finalment, a l'hora d'enfrontar-se amb la investigació en tecnologia per a la CAA, convé no oblidar un important principi: la tecnologia no és un fi en ella mateixa. Quan existeixin sistemes per a la comunicació que donin bons resultats i requereixin tecnologia poc sofisticada (o no en requereixin) no caldrà buscar solucions més complexes pel fet que existeixi tecnologia disponible.

5. BIBLIOGRAFIA

- BASIL, C.; PUIG DE LA BELLACASA, R. [ed.]. «Comunicación aumentativa». *Curso sobre sistemas y ayudas técnicas de comunicación no vocal*. Madrid: INSERSO, 1988.
- BENYON, D. «Accommodating Individual Differences through an Adaptive User Interface». A: SCHNEIDER-HUFSCHMIDT, M. [ed.]. *Adaptive User Interfaces*. Elsevier, 1993, p. 149-165.
- BLACKSTONE, S. W. [ed.]. «Augmentative Communication: An Introduction». *American Speech-Language-Hearing Association* (desembre 1986).

26. A BENYON, 1993, es pot trobar més informació sobre les interfícies adaptatives. 27. BLISCHAK i LLOYD, 1996, mostren una aplicació a la CAA de la multimodalitat.

27. BLISCHAK i LLOYD, 1996, mostren una aplicació a la CAA de la multimodalitat.

28. Vegeu a EDWARDS, 1995, el capítol titulat «Multiple modalities in adapted interfaces», d'A. D. N. EDWARDS *et al.*

- BLISCHAK, D. M.; LLOYD, L. L. «Multimodal Alternative and Augmentative Communication: Case Study». *AAC*, vol. 12, núm. 1 (març 1996), p. 37-46.
- COLEMAN, C. L.; MEYERS, L. S. «Computer Recognition of the Speech of Adults with cerebral Palsy and Dysarthria». *AAC*, vol. 7, núm. 1 (març 1991), p. 34-42.
- COOK, A. M.; HUSSEY, S. M. *Assistive Technologies: Principles and Practice*. Mosby, 1995.
- CRABTREE, M.; MIRENDA, P.; BEUKELMAN, D. R. «Age and gender Preferences for Synthetic and Natural Speech». *AAC*, vol. 6, núm. 4 (desembre 1990), p. 256-261.
- DARRAGH, J. J.; WITTEN, I. H.; JAMES, M. «The reactive Keyboard: A predictive typing aid». *IEEE Compute*, vol. 23, núm. 11 (novembre 1992), p. 41-49.
- DEMASCO, P.; MCKOY, K. «Generating Text From Compressed Input: An Intelligent Interface for People with Severe Motor Impairments». *Communications of the ACM*, vol. 35, núm. 5 (maig 1992), p. 68-78.
- DETTWEILER, H.; WOLFGANG, H. «Concatenation Rules for demisyllable Speech Synthesis». A: DE MORI, R.; SUEN, C. Y. [ed.]. *New Systems and Architecture for Automatic Speech Recognition and Synthesis*. Berlín: Springer-Verlag, 1985. (NATO ASI Series, vol. F. 16.)
- EDWARDS, A. D. N. [ed.]. *Extra-Ordinary Human-Computer Interaction. Interfaces for Users with Disabilities*. Cambridge University Press, 1995.
- FERRIER, L. [et al.]. «Dysarthric Speakers' Intelligibility and Speech Characteristics in Relation to Computer Speech Recognition». *AAC*, vol. 11, núm. 3 (setembre 1995), p. 165-175.
- FUCCI, D.; REYNOLDS, M.; BETTAGERE, R.; GONZALES, M. D. «Synthetic Speech Intelligibility under Several Experimental Conditions». *AAC*, vol. 11, núm. 3 (març 1995), p. 113-117.
- GARAY, N.; GONZÁLEZ-ABASCAL, J. «Application of Artificial Intelligence Methods in a Word-Prediction Aid». A: ZAGLER, W. L.; BUSBY, G.; WAGNER, R. R. [ed.]. *Computers for Handicapped Persons*. Berlín: Springer-Verlag, 1994.
- GARAY-VITORIA, N.; GONZÁLEZ-ABASCAL, J. «Intelligent Word-Prediction to Enhance Text Input Rate». A: MOORE, J. [et al.] [ed.]. *Proceedings of the 1997 Inter. Conf. on Intelligent User Interfaces*. ACM, 1997, p. 241-244.
- GARDEAZÁBAL, L.; POZA, J. E. «Algorithms to search for optimal layouts in reduced Keyboards». *Internal research report. KAT/IF-EHU* (1997).

- GONZÁLEZ-ABASCAL, J.; BULDAIN, G.; GARDEAZÁBAL, L.; GÓMEZ, E. «A Software Tool to Evaluate Methods of Enhancing Communication Speed». *4th Bien. Inter. Conf. on AAC, Stockholm*. AAC, vol. 6, núm. 2 (juny 1990), p. 94. [Resum]
- GREENBERG, S.; DARRAGH, J. J. [et al.]. «Predictive interfaces: What will they think of next?». A: EDWARDS (1995), p. 103-140.
- HIGGINBOTHAM, D. J.; DRAZEK, A. L.; KOWARSKY, K.; SCALLY, C.; SEGAL, E. «Discourse Comprehension of Synthetic Speech Delivered at Normal and Slow Presentation Rates». AAC, vol. 10, núm. 3 (setembre 1994), p. 191-202.
- HORN, E.; JONES, H. A. «Comparison of Two Selection Techniques Used in AAC». AAC, vol. 12, núm. 1 (1996), p. 23-31.
- HORSTMANN KOESTERN, H.; LEVINE, S. P. «Modelling the Speed of Text Entry with a Word Prediction Interface». *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, vol. 2, núm. 3 (setembre 1994), p. 177-187.
- KOBSA, A. «User Modeling: Recent Work, Prospects and Hazards». A: SCHNEIDER-HUFSCHMIDT, M. [et al.] [ed.]. *Adaptive User Interfaces: Principles and Practice*. North-Holland, Amst., 1993.
- KUMAR, V.; BAJCSY, R.; HARWIN, W., i HARKER, P. «Rapid Design and Prototyping of Customized Rehabilitation Aids». *Communications of the ACM*, vol. 39, núm. 2 (febrer 1996), p. 55-61.
- LUSTED, H. S.; KNAPP, R. B. «Control de ordenadores por señales neurales». *Investigación y Ciencia*. (Desembre, 1996), p. 40-45.
- MCNAUGHTON, D.; FALLON, K.; TOD, J.; WEINER, F.; NEISWORTH, J. «Effect of Repeated Listening Experiences on the Intelligibility of Synthesized Speech». AAC, vol. 10, núm. 3 (1994), p. 161-168.
- MIRENDA, P.; BEUKELMAN, D. R. «A Comparison of Intelligibility Among Natural Speech and Seven Speech Synthesizers with Listeners from Three Age Groups». AAC, vol. 6, núm. 1 (març 1990), p. 61-68.
- MIZUKO, M. [et al.]. «Effects of Selection Techniques and Array Sizes on Short-Term Visual Memory». AAC, vol. 10, núm. 2 (desembre 1994), p. 237-244.
- NOYES, J. M.; FRANKISH, C. R. «Speech Recognition Technology for Individuals with Disabilities». AAC, vol. 8, núm. 4 (desembre 1992), p. 297-303.
- POULSON, D.; ASHBY, M.; RICHARDSON, S. [ed.]. *Userfit. A practical handbook on user-centred design for Assistive Technology*. Luxemburg: DG XIII-EC, 1996.
- PUYUELO, M.; BASIL, C. [et al.]. *Logopedia en la parálisis cerebral. Diagnóstico y tratamiento*. Barcelona: Masson, 1996.

- REYNOLDS, M.; BOND, Z. S.; FUCCI, D. «Synthetic speech Intelligibility: Comparison of Native and Non-native Speakers of English». *AAC*, vol. 12, núm. 1 (març 1996), p. 32-36.
- RUPPRECHT, S. L.; BEUKELMAN, D. R.; VRTISKA, H. «Comparative Intelligibility of Five Synthesized Voices». *AAC*, vol. 11, núm. 4 (desembre 1995), p. 244-247.
- SCHERZ, J. W.; BEER, M. M. «Factors Affecting the Intelligibility of Synthesized Speech». *AAC*, vol. 11, núm. 2 (juny 1995), p. 74-78.
- SOEDE, M.; ALM, N.; VANDERHEIDEN, G. C. «Issues in the Research and Development of Technical Aids in AAC». A: BRODIN, J.; BJÖRCK-ÅKESSON, E. [ed.]. *Methodological Issues in Research in Augmentative and Alternative Communication*. Estocolm: Swedish Handicap Institute, 1991.
- SZETO, A. Y.; ALLEN, E. J.; LITRELL, M. C. «Comparison of Speed and Accuracy for Selected Electronic Communication Devices and Input Methods». *AAC*, vol. 9, núm. 4 (desembre 1993), p. 229-242.
- TETZCHNER, S. V.; MARTINSEN, H. *Introducción a la enseñanza de signos y al uso de ayudas técnicas para la comunicación*. Madrid: Visor, 1993. [Adaptat per C. BASIL].
- VANDERHEIDEN, G. C. «Augmentative Modes of Communication for the Severely Speech-and Motor-Impaired». *Clinical Orthopaedics and Related Research*, núm. 148 (1980) p. 70-86.
- VENKATAGIRI, H. S. «Efficiency of Lexical Prediction as a Communication Acceleration Technique». *AAC*, vol. 9, núm. 3 (setembre 1993), p. 161-167.
- «Effect of Window Size on Rate of Communication in a lexical Prediction AAC System». *AAC*, vol. 10, núm. 2 (juny 1994), p. 105-112.
- «Effect of Sentence length and Exposure on the Intelligibility of Synthesized Speech». *AAC*, vol. 10, núm. 2 (1994).
- VENKATAGIRI, H. S.; RAMABADRAN, T. V. «Digital Speech Synthesis». *Tutorial. AAC*, vol. 11, núm. 1 (1995), p. 14-25.

AJUTS TECNOLÒGICS PER A PERSONES INVIDENTS

*Antonio B. Martínez**

1. INTRODUCCIÓ

Aquest capítol té per objectiu d'una banda, donar a conèixer els ajuts tècnics que existeixen i estan disponibles comercialment per a persones que tinguin algun grau de deficiència visual i, d'altra banda, presentar els avenços tecnològics més recents que en un futur immediat podran ser aplicats a aquest tipus de discapacitat. La discapacitat visual es pot manifestar en diferents graus (fig. 1), la ceguesa total és l'absència de visió, i es diu que es té visió residual quan encara es respon a l'estímul de la llum. Dintre d'aquesta última categoria trobem diferents manifestacions de la incapacitat: per exemple, es pot tenir visió perifèrica, sols central o es pot veure-ho tot desenfocat, etc.

Quant als ajuts existents, farem una resum atès que seria molt extens detallar-los tots. El criteri seguit ha estat comentar aquells dispositius que d'alguna manera serveixen per donar al lector referències de quin és l'estat actual de la tecnologia aplicada a aquest col·lectiu.

Pel que fa a la recerca i el desenvolupament tecnològics s'estan duent a terme molts projectes cofinançats per la Comunitat Europea, que disposa de diferents programes de suport al treball de recerca, orientats a desenvolupar nous sistemes o productes d'aplicabilitat immediata i, per consegüent, els resultats que se n'obtinguin podran ser transferits a curt termini a aquest tipus de discapacitat.

*Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial (ESAI), Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya.



FIGURA 1. Diferents tipus de deficiència visual.

la constant evolució que tenen les àrees tecnològiques de la microelectrònica, la informàtica i el món de les telecomunicacions.

En relació amb l'accés al món dels ordinadors per part de persones amb deficiències visuals existien fins fa poc impediments tecnològics que dificultaven l'ús de la informàtica a aquest col·lectiu. Avui dia, és més fàcil accedir a aquest món gràcies al fet que han aparegut noves arquitectures d'ordinadors i nous equips perifèrics que permeten realitzar aplicacions de programari complexes amb un temps de resposta mínim i possibiliten l'adaptació dels programes a les necessitats que presenta aquest tipus de discapacitat.

Els avenços en el món de les comunicacions també estan arribant a aquest col·lectiu. Els Sistemes de Localització Absoluta (GPS), que utilitzen senyals emesos per satèl·lits i que permeten l'orientació i la posició en entorns a l'aire lliure, constitueixen un nou ajut. Aquests dispositius donen informació com ara en quin carrer som, informació respecte al mobiliari urbà i permeten introduir a l'aparell personal una ruta que faci que el sistema actuï de guia per a l'usuari per tal d'arribar al seu punt de destí.

2. TECNOLOGIA DISPONIBLE PER A DISCAPACITATS VISUALS

La guia de tecnologia assistencial per a deficients visuals (Gill *et al.*, 1997) conté una relació de productes disponibles on es detallen el aspectes tècnics i comercials de cada producte. Els diferents tipus d'ajuts es poden classificar d'acord a la norma ISO 9999. A fi de poder donar una visió global respecte a totes les àrees on existeixen ajuts, citem l'índex classificat de la norma ISO 9999.

- Ajuts per definir i seguir una teràpia.
- Ajuts per a la protecció i l'assistència personals.
- Ajuts per a la mobilitat personal.
- Ajuts a la llar.
- Mobles i adaptació de la llar.
- Ajuts en la comunicació i la informació.
- Ajuts per al lleure.

2.1. AJUTS PER DEFINIR I SEGUIR UNA TERÀPIA

Els ajuts que s'ofereixen per a aquest tipus de necessitat són molt variats, quasi tots estan orientats a capacitar una persona invident per autoadministrar-se dosis de medicaments o controlar els nivells de constants vitals (pressió, glucosa, orina...) (vegeu la figura 2).

Així doncs, es poden trobar productes com: comptagotes, que faciliten l'administració i el comptatge; caixes amb múltiples departaments indexats en Braille per dies o períodes determinats, per tal de seguir un pla de medicació, o també ajuts per carregar una xeringa amb una determinada dosi de medicament. Aquest últim ajut és molt útil i de gran aplicació en persones diabètiques amb algun grau de deficiència visual que requereixen administrar-se insulina amb una certa periodicitat.

També es troben dintre d'aquest apartat els ajuts que permeten la presa de mostres de sang per determinar el contingut de glucosa o d'orina (vegeu la figura 3). Tal com comentarem més endavant tots aquest estris donen la informació a l'usuari mitjançant sintetitzadors de veu que ja estan integrats en un sol xip i, per tant, es poden incorporar al dispositiu. Una altra manera de donar la informació als usuaris, quan el grau de visió ho permeti, és la utilització de pantalles de cristall líquid (LCD) de prou grandària per facilitar la seva lectura.

Un altre conjunt de productes que es troben classificats en aquest apartat són aquells dirigits a l'estimulació de la visió residual.

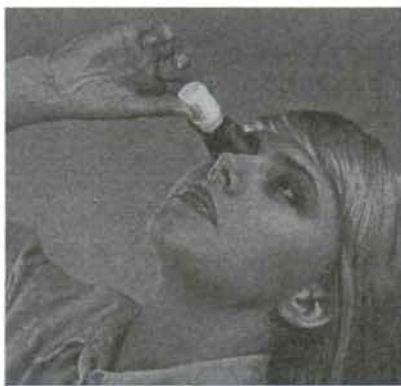


FIGURA 2. Dispensador de gotes.



FIGURA 3. Autoinjecció i control de glucosa.

2.2. AJUTS PER A LA PROTECCIÓ I L'ASSISTÈNCIA PERSONALS

Dintre d'aquesta categoria, trobem termòmetres per mesurar la temperatura corporal, balances per pesar-se, rellotges tant de polsera com de butxaca o de sobretaula. Tots aquests components donen la informació a l'usuari mitjançant dues alternatives tecnològiques: la utilització de sintetitzadors de veu i/o la utilització de pantalles de cristall líquid de grans dimensions.

Molts d'aquests productes implementen les seves funcions sobre components programats, tant digitals com analògics i, per tant, no cal recórrer a la implementació de circuits específics com es feia fins ara, cosa que encaria els productes.

Hi ha moltes modalitats de termòmetres (escala Fahrenheit o Celsius), amb LCD i/o veu sintètica de sortida. El mateix es pot dir de les bàscules i

els rellotges, els usuaris poden escoltar els missatges, veure uns dígits grans, sentir vibracions o veure un flaix de llum que avisa d'un determinat esdeveniment.

2.3. AJUTS PER A LA MOBILITAT PERSONAL

En aquest grup trobarem dos tipus d'ajuts. En primer lloc els bastons com a ajut tradicional per fer-los servir de guia i, en segon lloc, els ajuts electrònics que intenten per diferents mitjans orientar i ubicar l'usuari.

Els bastons tenen diferents funcions: la primera és la d'avisar que el seu portador té algun tipus de discapacitat visual, una altra i principal és subministrar informació al seu portador sobre la superfície del terreny. Els avenços tecnològics en nous materials (PVC, niló, fibra de vidre, alumini...) han possibilitat l'obtenció de bastons més lleugers, rígids i plegables. Aquestes tres propietats són bàsiques per al portador; el pes és un factor important, ja que el bastó és una eina que s'utilitza molt de temps al llarg del dia i pot fatigar el puny; la seva rigidesa fa que no es desvirtui la informació que es rep durant l'acció de palpar el terreny i, finalment, el fet que es pugui plegar el fa més portable i no ocasiona molèsties en viatjar en transport públic.

Podem classificar en dos grups els aparells electrònics per ajudar a l'orientació i la mobilitat: els que intenten suplir els bastons o els gossos pigall i aquells ajuts que pretenen donar informació addicional. Per aconseguir els objectius esmentats, aquests components utilitzen sensors ultrasònics, sensors infrarojos o llum làser per mesurar la distància fins a objectes, detectar la proximitat d'obstacles o facilitar una certa noció de l'orientació.

La majoria de productes que mesuren distàncies integren el sistema sensor dintre d'unes ulleres i els doten d'auricular o de vibradors per fer arribar senyals codificats que indiquen la presència o la proximitat a un obstacle. L'abast de funcionament és ajustable i està comprès entre 1,2 m fins a no més de 5 m.

Hi ha també una gran varietat d'ajuts acústics que actuen com balises de referència. En un entorn amb aquestes facilitats, les persones amb discapacitat visual aconsegueixen conèixer la seva posició i la direcció en què volen viatjar. Aquest tipus d'ajuts són adequats per instal·lar-los als carrers per avisar sobre l'estat d'un semàfor, la proximitat d'una cantonada, etc. Un semàfor en vermell s'indica utilitzant un to d'uns 880 Hz durant uns 0,4 segons, amb una periodicitat de 2 segons. La indicació de semàfor verd es fa emetent el mateix to de 800 Hz, però amb una durada de 0,2 segons i amb una periodicitat de 0,4 segons.

Un altra alternativa emprada per avisar de l'estat d'un semàfor és la utilització d'emissors de ràdio enterrats sota terra, que ocupen tota l'amplada del pas de vianants i emeten senyals codificats, que són rebuts per una antena instal·lada al bastó. Aquests senyals de ràdio són traduïts a senyals acústics que poden ser escoltats amb uns auriculars.

Les brúixoles electròniques utilitzades per a la navegació també estan comercialitzades i adaptades per facilitar la informació de la localització del nord magnètic. L'adaptació consisteix a donar la informació o bé utilitzant un sintetitzador de veu, mitjançant marques Braille; o bé un sol punt tàctil que pot sortir dintre d'una circumferència en deu o dotze posicions donant una precisió d'uns trenta graus.

Es pot dir que tots aquests tipus d'ajuts electrònics no estan molt estesos, ja que, per una part, la relació cost/beneficis de moment és una barrera i, per una altra part, el seu maneig i aprenentatge requereixen una certa destresa.

2.4. AJUTS A LA LLAR

Són innumbrables els estris comercials existents actualment que poden ajudar dintre de la llar, principalment són útils en les tasques de pesar, mesurar, tallar, trossejar, dividir, pelar, netejar, cuinar, servir menjar o begudes.

Els estris de mesurar el nivell d'un líquid tenen indicadors acústics o vibratoris que avisen quan el fluid arriba a un cert nivell establert. Les aplicacions més usuals són per omplir la banyera, servir te o cafè, etc. El principi de funcionament està basat en la detecció de conductivitat entre dos elèctrodes, que es produeix quan el líquid arriba a aquest nivell.

Podem dir que la resta d'ajuts que es troben en aquest apartat són similars als estris de la vida quotidiana i no necessiten grans adaptacions. Entre aquests utensilis hi ha peladors de patates, talladors de pa, etc.

2.5. MOBLES I ADAPTACIÓ DE LA LLAR

Dintre d'aquest grup es troben bàsicament les taules de lectura. Aquests mobles són molt útils per ajudar totes aquelles persones que tenen una visió parcial i necessiten estar molt a prop del text que volen llegir. Aquest tipus de taules permeten col·locar el material de lectura a una alçada i amb un angle determinats per fer còmoda la lectura.

2.6. AJUTS EN LA COMUNICACIÓ I LA INFORMACIÓ

Probablement, aquí és on es fa una aportació més gran dels últims avenços en informàtica i microelectrònica. A continuació es detallen els tipus d'ajuts més rellevants que hi ha dintre d'aquest apartat.

2.6.1. *Ajuts òptics*

Consisteixen en la integració d'una lupa a un sistema d'il·luminació que normalment utilitza llum halògena. Es poden trobar dispositius de diferents dimensions, ampliació i potència d'il·luminació per adaptar-se a les necessitats de l'usuari.

Un altre tipus d'ajut òptic són els telescopis monoculars o binoculars, que permeten veure des de llargues distàncies fins a distàncies de lectura de textos.



FIGURA 4. Lupa adaptada a unes ulleres.

2.6.2. *Ajuts electroòptics*

Dintre d'aquest apartat trobem sistemes que fan ús conjuntament de càmeres amb òptiques especials per aconseguir ampliacions de la imatge i d'un monitor com a mitjà per visualitzar la imatge que dona la càmera. Aquesta és de petites dimensions i es desplaça sobre el text que es vol llegir;

el monitor mostra en pantalla la imatge amplificada. Des que el CCD va començar a desplaçar les càmeres de Vidicon, el seu ús s'ha estès massivament a molts camps d'aplicació, com per exemple, videoporters, vídeo vigilància, etc. Això ha fet que, per una banda, el seu preu sigui cada vegada més baix i, per altra banda, les dimensions siguin cada vegada més petites.



FIGURA 5. Visió utilitzant un telescopi monocular.

També es troben en aquest grup els sistemes de reconeixement de caràcters. Aquest tipus d'ajut possibilita que una persona amb discapacitat visual pugui «llegir» de manera autònoma un text no escrit en Braille. La màquina està constituïda per una unitat de captura de la informació, una unitat de processament i una etapa de bolc d'informació a la interfície de sortida. Aquesta última etapa pot donar la informació ja sigui mitjançant la veu sintetitzada, la codificació Braille, la imatge amplificada utilitzant un monitor o alguna combinació d'aquestes tres modalitats.

Els productes comercials es presenten de manera diversa per al usuari. En primer lloc, es pot trobar un equip totalment autònom, és a dir, que contingui les tres etapes: captura, processament i bolc de la informació a l'exterior, concebut com un equip de sobretaula. Un segon tipus el constitueixen els equips més simples i portàtils (de butxaca). Altres productes utilitzen els ordinadors personals com a unitat de processament i per generar la informació de sortida, ja sigui a través del monitor o emprant un sintetitzador de veu. La utilització d'un PC té l'avantatge d'admetre una gran varietat de programes estàndards i permetre moltes funcions. Els avenços en

la potència de càlcul que tenen avui dia els ordinadors personals estan fent que ja no sigui necessària la utilització de processadors digitals de senyal (DSP) per implementar els algorismes de reconeixement de caràcters, que són computacionalment molt costosos.

2.6.3. Perifèrics d'entrada i de sortida

En aquest apartat hi ha tots els components perifèrics necessaris per introduir la informació a l'ordinador i tots aquells que ajuden a accedir a la informació que conté, ja sigui llegint o escoltant el que mostra la pantalla d'ordinador o imprimint un document.

La tauleta tàctil és un perifèric d'entrada d'ordres per obtenir informació de l'ordinador. La tauleta és una rèplica de la pantalla i permet un accés aleatori. En tocar una part de la tauleta, el text associat a aquella zona serà llegit utilitzant un sintetizador de veu.

Un altre perifèric d'entrada és l'escàner de mà, que permet presentar una imatge amplificada sobre la pantalla de l'ordinador.

El teclat Braille és un perifèric que es connecta al port sèrie o paral·lel i que pot compaginar la introducció d'informació codificada amb la seva utilització com a equip de representació de caràcters Braille. Per a aquesta prestació, acostumen a portar una línia entre 15 i 25 cel·les piezoelèctriques on es representa la informació Braille. També està molt estès enganxar sobre un teclat convencional unes etiquetes transparents amb la impressió Braille.

Les impressores Braille tenen el problema inherent del soroll, pel fet de funcionar a cops sobre el paper; les impressores grans són ubicades dins de compartiments per tal d'aïllar-ne el soroll (vegeu la figura 6). Les característiques tècniques que defineixen les impressores són: nombre de caràcters per segon, l'amplada del paper, la longitud del paper, la pressió de la impressió, la capacitat d'imprimir ambdues cares.

2.6.4. Programari de suport

En aquest grup trobem multitud d'aplicacions que permeten la utilització de l'ordinador, ja sigui com una eina o com un mitjà per aprendre. La majoria de les aplicacions són processadors de textos parlants i amplificadors de la imatge que apareix en el monitor de l'ordinador (vegeu la figura 7).

En aplicacions on s'utilitza un sistema operatiu Windows, que sense cap mena de dubte per a aquest col·lectiu representa més una dificultat afegida que un benefici, resta pendent facilitar l'accés a la informació gràfica.

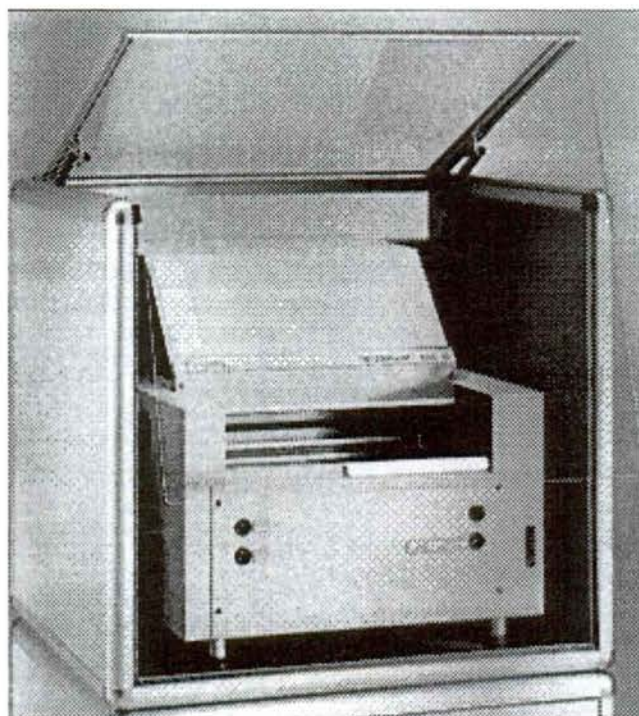


FIGURA 6. Impressora Braille.

2.6.5. *Ordinadors*

Els ordinadors personals per a aquest col·lectiu compleixen bàsicament una missió, emmagatzemar la informació que ha estat codificada en Braille i que ocupa, si s'emmagatzema impresa, quasi vint vegades el volum que ocuparia la mateixa informació amb la impressió ordinària.

Els ordinadors que utilitzen aquest col·lectiu de persones estan adaptats a les seves necessitats, són portàtils en la majoria de les situacions, incorporen sintetitzador de veu de sortida, un monitor Braille de cel·les piezoelèctriques i un teclat Braille. Quant a la resta de propietats, són les comunes a les de la resta d'ordinadors personals d'ús ordinari (vegeu la figura 8).

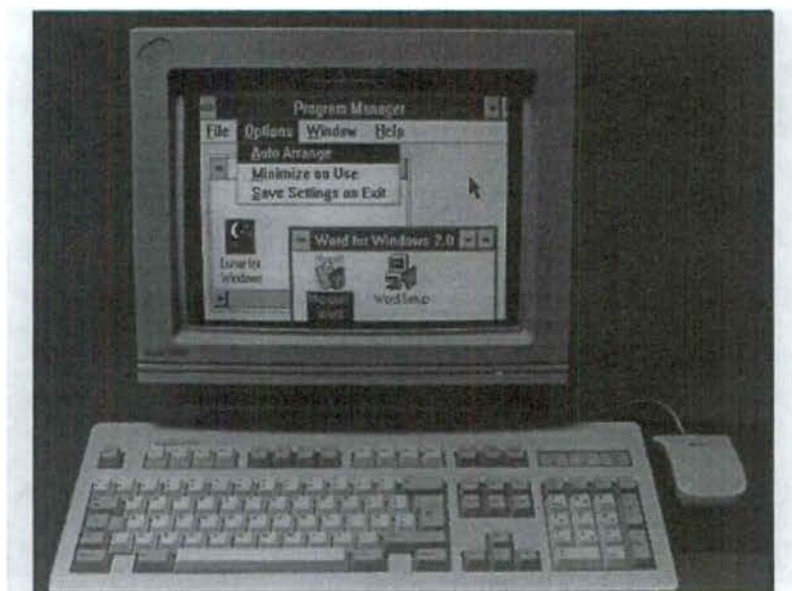


FIGURA 7. Aspecte d'una pantalla d'ordinador modificada.

2.6.6. Telèfons

Els telèfons també estan adaptats a aquest tipus de discapacitat. Una de les característiques que abans els distingia era la capacitat de memoritzar números, mentre que ara molts models de telèfon estàndard ja incorporen aquesta funció. Tenir memoritzats números permet estalviar temps i sobretot disminuir els errors quan es marca el número de telèfon. Un altra adaptació és augmentar la grandària dels números i fins i tot sobreposar-hi els codis Braille. Hi ha altres ajuts que repeteixen amb veu el número introduït, i això fa que es tingui una major certesa d'haver marcat correctament un número.

2.7. AJUTS PER AL LLEURE

Moltes de les joguines i jocs amb què juguen nens amb bona visió serveixen també per a nens que tinguin algun grau de discapacitat visual. No obstant això, el moment de lleure és, per què no?, molt adequat per esti-

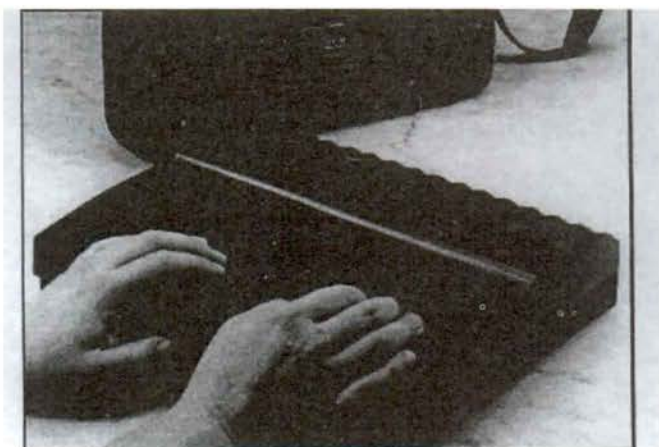


FIGURA 8. Ordinador personal portàtil adaptat.

mular les habilitats psicomotrius, el sentit del tacte, desenvolupar les parts cognitives, etc., que poden ajudar a compensar les mancances que produeix la manca de la visió.

Sí que podem dir que en l'oferta d'aquests productes, la tecnologia incideix poc i que és l'enginy que, amb uns materials bàsics i imaginació, aconseguix que puguin divertir, entretenir i estimular.

3. RESULTATS D'ALGUNS PROJECTES DE RECERCA SIGNIFICATIUS

Molts dels projectes relacionats amb ajuts per a deficients visuals dintre del marc del programa TIDE han tingut per objectiu comú desenvolupar ajudes a la mobilitat en llocs públics.

Open (Gallon *et al.*, 1995) va ser un projecte dins d'aquest marc, que tenia per objectiu guiar persones amb discapacitat visual dintre dels metros de Londres i París. La tècnica utilitzada consistia en la distribució en llocs estratègics d'emissors infrarojos que emetien informació modulada, que era rebuda per un receptor que portaven els usuaris. La informació que arribava als usuaris era la següent: àrees de venda de tiquets, escales, barres, andanes, etc., i també arribava un altre tipus d'informació amb indicacions de com arribar a un altra part de l'estació, el destí del pròxim tren, la localització espacial, etc. A més, també es feia ús de superfícies tàctils al ter-

ra, amb textures conegudes per indicar zones com ara: camí, escala, cantonada... Amb tota aquesta informació i un coneixement previ de l'entorn, el sistema desenvolupat permetia orientar i localitzar aquestes persones i, per tant, quedaven habilitades per poder desplaçar-se dintre d'aquest tipus d'entorn.

Les conclusions que presenten els integrants del projecte apunten que encara no és un sistema prou consolidat per poder ser implantat i que serveixi de model.

Mobic (Strothotte *et al.*, 1995) va ser un altre projecte en el marc del programa TIDE, en què es va implementar un sistema per augmentar la mobilitat a l'aire lliure de persones amb discapacitat visual. El sistema consisteix en dos mòduls: el primer, per fer la planificació de la ruta i l'itinerari amb l'ajut d'un ordinador; el segon era l'executor de la planificació de la trajectòria. Per poder realitzar aquesta fase, l'usuari del sistema rep informació GPS que li permet orientar-se i col·locar-se amb una precisió suficient per poder executar el pla preestablert (vegeu la figura 9).



FIGURA 9. Sistema Mobic.

El sistema encara que és molt prometedor requereix un grau més alt d'integració, ja que actualment és molt voluminós. També després d'assajar el sistema amb múltiples usuaris potencials, aquests van manifestar majoritàriament que la utilització del sistema complet encara és massa complexa.

Un altre tema que ha aglutinat molts esforços dintre del programa TIDE ha estat el de les interfícies amb els ordinadors per ajudar en les fases d'aprenentatge (Strothotte *et al.*, 1993 i Kurze *et al.*, 1995). Tal com s'ha comentat en l'apartat d'ajuts en la comunicació, l'accés a la informació gràfica és un tema complex i sobre el qual ja s'estan donant les primeres passes. Una forma de mostrar formació gràfica als disminuïts visuals és la descripció verbal. El procés de generar la informació descriptiva requereix primer interpretar els gràfics i després determinar la forma de descriure verbalment la informació de manera intel·ligible.

4. REFERÈNCIES

- GALLON [et al.]. *The Wayfinding Requeriments of Blind or Partially Shigted People in Metropolitan Underground Railways*. The European Context for Assistive Technology. IOS Press, 1995.
- GILL [et al.]. *Research Information Handbook of Assistive Technology for Visually Disabled Person*. Londres: Thiresias Consortium, 1997.
- KURZE [et al.]. *New Approaches for Accessing Differents Classes of Grafics by Blind People*. The European Context for Assistive Technology. IOS Press, 1995.
- SHRAGA [et al.]. *Mobile Robot Obstacle Avoidance in a Computerized Travel Aid for the Blind*. IEEE Internacional Conference on Robotics and Automation, 1994.
- STROTHOTTE [et al.]. *Multimedia-Interfaces for Blind Computer Users*. IOS Press, 1993.
- *Mobic: User Needs and Preliminary Design for Mobility Aid for Blind and Elderly Travellers*. The European Context for Assistive Technology. IOS Press, 1995.

TELEMÀTICA I INTEGRACIÓ DE LES PERSONES AMB DISCAPACITATS FÍSQUES I SENSORIALS A LA SOCIETAT

*Jan Ekberg i Anna-Liisa Salminen**

1. INTEGRACIÓ DE PERSONES AMB DISCAPACITATS I DE GENT GRAN A LA SOCIETAT

El ràpid desenvolupament de les tecnologies de la informació i les comunicacions presenta tant oportunitats com perills per a la gent gran i la gent amb disminucions. Una infraestructura mal dissenyada privarà alguns grups de gent gran o discapacitada d'utilitzar serveis i comunicacions obertes a altres grups socials. En canvi, una infraestructura ben dissenyada donarà a la gent amb diferents dificultats funcionals noves oportunitats, ja que tant els serveis d'informació com els de telecomunicacions poden proporcionar-los interfícies que tenen en compte els seus requeriments i preferències. Els serveis poden reemplaçar o compensar parcialment altres activitats (comunicar-se cara a cara, viatjar, anar a comprar, vigilància, tractaments...) i d'aquesta manera donar suport a la integració de la gent gran i la gent amb discapacitats a la societat.

Les condicions per a una participació activa de la gent gran i de persones amb disminucions en la societat són que els serveis telemàtics estiguin dissenyats de manera que aquesta gent pugui accedir-hi i siguin fàcils d'utilitzar.

Per tant, els serveis han de ser:

- Directament accessibles a aquesta població;
- adaptables si originalment la primera condició no es compleix.

*Investigadors del Centre Nacional de Recerca i Desenvolupament en Salut i Benestar d'Hèlsinki.

Si no es compleix cap d'aquestes dues condicions caldrà proporcionar serveis especials a aquest col·lectiu.

Aquest article introduirà el lector en les possibilitats que la telemàtica pot donar a les persones amb disminucions. Teleinformàtica és el terme utilitzat per descriure la gamma de facilitats proporcionades pels sistemes d'informació que fan ús de les xarxes de comunicacions: telèfon, servei de GSM, correu electrònic, Internet i WWW. La telemàtica està considerada com un mitjà per als discapacitats per dur a terme activitats quotidianes i així integrar-se ells mateixos a la societat.

2. OBLIGATORIETAT D'UN SERVEI UNIVERSAL

Un factor fonamental que inclou les necessitats de la gent gran i els discapacitats és l'obligatorietat d'un servei vàlid per a tothom. D'acord amb això, els serveis i dispositius de telecomunicacions han de ser utilitzables per tots els col·lectius. Aquest enfocament pot donar un estímul al desenvolupament tecnològic i reforçar la competitivitat de la indústria europea dins del mercat global.

El cost d'aquests serveis no s'incrementarà perquè compleixin els requeriments especificats per l'obligatorietat d'un servei universal, si tots els condicionants es tenen en compte a l'hora de fer el disseny dels serveis i dispositius. Al contrari, aquests serveis i dispositius tenen un avantatge addicional pel fet que van destinats a un nombre més gran d'usuaris i, per tant, resulten menys costosos en el context general de la societat. Com més gent pugui utilitzar productes i serveis estàndards, més disminuirà el cost d'aprenentatges addicionals, adaptacions o serveis especials substitutoris.

La telemàtica ha de ser considerada sempre en el context, on i per a quin propòsit serà utilitzada. En molts casos, la telemàtica necessita ser considerada com una part del sistema del servei a domicili. El sistema d'alarma telefònic no és útil per als discapacitats si a l'altra banda del telèfon no hi ha ningú. Així doncs, la tecnologia per ella mateixa no és un problema, sinó el servei a domicili i el cost de tot el sistema que hi ha al darrere.

Un altre aspecte social molt important és qui paga el cost. En molts països les ajudes tècniques són pagades, com a mínim parcialment, per la societat. Amb els serveis telemàtics és molt difícil de definir quan el servei pot ser vist com una part de la vida normal. Per exemple, tothom té un telèfon o un ordinador a casa seva i tothom el paga. Per altra banda, el servei pot ser vist com una ajuda tècnica que incrementa clarament la independència de les persones amb disminucions.

3. ACCESSIBILITAT A LA TELEMÀTICA DE PERSONES AMB DISMINUCIONS FÍSQUES I SENSORIALS

L'accessibilitat telemàtica de persones discapacitades es refereix a l'accessibilitat als telèfons i als ordinadors.

3.1. PERSONES AMB DISMINUCIONS FÍSQUES

A Europa hi ha 2.800.000¹ persones que utilitzen cadires de rodes i 45.000.000 de persones que no poden caminar sense ajuda. Les limitacions en la funcionalitat de les cames i els peus implica dependre d'una cadira de rodes o d'altres ajudes especials per caminar. Les dificultats físiques per utilitzar telèfons i altres equips no les tenen només les persones que fan servir cadires de rodes, sinó que també afecten les persones amb artritis. A mesura que es fan grans, un gran nombre de persones pateixen discapacitats relacionades amb malalties específiques o simplement a causa d'una pèrdua general i progressiva de les funcions, de la disminució de la destresa, de la immobilitat o la feblesa.

La disminució de la destresa va sovint lligada a la disminució de la mobilitat. A Europa s'estima que hi ha 1.100.000 persones que no poden utilitzar els dits, 1.000.000 que no pot fer servir els braços, 22.500.000 amb limitacions de força als braços i 11.500.000 persones amb coordinació limitada.

La limitació de les funcions dels braços i les mans fa que les activitats relacionades amb moure, girar o pressionar objectes siguin difícils o impossibles. Això no influeix en la comunicació oral, però dificulta realitzar trucades telefòniques o utilitzar una àmplia gamma d'altres equips de telecomunicacions.

Els problemes de la manipulació no es limiten a un sol grup. Poden ser causats o agreujats per un mal disseny. Un client cec pot disposar d'una destresa perfecta, però pot ser frustrat per un teclat numèric no estàndard. A algú amb cadira de rodes li pot ser impossible accedir a un telèfon públic.

Els problemes típics abordats inclouen l'accés físic als equips, l'ús de teclats, teclats numèrics, ratolí, etc., despenjar i aguantar l'auricular, prémer o marcar els números i controlar els dispositius de l'entorn (llums, finestres, etc.).

1. Aquestes dades es refereixen a l'Europa geogràfica amb una població de 800 milions d'habitants.

Alguns dels problemes més obvis dels telèfons públics es poden resoldre amb telèfons «mans lliures», amb un teclat numèric inclinat i, per a la gent gran, amb un seient reclinable petit. Els telèfons inalàmbrics poden suposar un benefici real per a usuaris amb cadires de rodes, ja que els permeten rebre trucades des de qualsevol punt de la casa. Els telèfons mòbils estenen aquesta llibertat per a tothom i proveeixen una important seguretat en cas d'emergència.

Molts d'aquests problemes es poden eliminar amb un millor disseny; a més a més, poden ajudar enormement els que pateixen limitacions de destresa, coordinació o força. Un sistema d'ajut per guiar la mà permetrà a molts usuaris marcar els números, i no només a aquells que són considerats com a discapacitats. Els botons telefònics, la seva mida, l'espaiat, poden ser fàcilment modificats de manera que a una persona amb tremolor a la mà li sigui més difícil prémer una tecla no desitjada.

La ranura per pagar el telèfon ha de ser dissenyada i col·locada de tal manera que les targetes i monedes puguin ser inserides amb una eina especial aguantada per la persona discapacitada, o, en cas d'una emergència, directament per la boca. També hi hauria d'haver alguna facilitat per poder alimentar el telèfon amb moltes monedes que es puguin recuperar si no es gasten, per evitar haver d'inserir-ne durant la trucada.

Molts telèfons no donen temps suficient als que premen els números a poc a poc. La solució és posar un servei a través d'operadora que els estalvi de marcar. Però, en molts països aquestes facilitats es van reduint, com a conseqüència de la gran tendència a l'automatització. La figura 1 mostra un exemple d'utilització d'un videotelèfon.



FIGURA 1. El videotelèfon pot ajudar persones amb disminucions motrius.

Una nova solució prometedora per cobrir els requeriments de tenir terminals que es puguin adaptar ells mateixos a les necessitats, habilitats i preferències de les persones amb disminucions és el concepte Access. Amb aquest concepte, la interfície d'usuari dels terminals de telecomunicacions o telemàtica es construeix creant primer, una especificació abstracta de com el terminal (interfície d'usuari) hauria de treballar. Les implementacions tècniques per als variats grups d'usuaris com les persones sanes, els discapacitats o la gent gran, es poden produir a partir d'aquestes especificacions utilitzant eines de programació d'ordinadors que automàticament identifiquen les necessitats de cada grup i produeixen els mòduls de programari basats en aquestes necessitats. Les eines suggereixen automàticament quins mòduls de maquinari i dispositius d'entrada/sortida s'han d'utilitzar en la implementació tècnica.

3.2. PERSONES AMB DISMINUCIONS AUDITIVES

A Europa hi ha 1.100.000 persones amb sordesa profunda i 80.000.000 amb dificultats auditives serioses. La disminució d'oïda pot afectar tota la banda o només una part de l'espectre auditiu. La regió important de percepció de la parla està entre les freqüències de 250 i 4.000 Hz.

El terme sord és utilitzat per descriure les persones amb una pèrdua auditiva important, mentre que dur d'orella s'utilitza per aquelles persones amb pèrdues d'oïda de lleus a greus. Cal, però, puntualitzar que molts dels 80 milions de persones durs d'orella a l'Europa geogràfica tindran problemes, per exemple, per utilitzar un telèfon públic en una població sorollosa, però tot i això, ells no es consideraran a si mateixos com discapacitats, ni seran registrats com a tals.

Encara que no tinguin dificultats en marcar els números, les persones dures d'orella poden tenir dificultats per sentir sonar el telèfon, per identificar l'estat de la trucada (to de connexió, línia de fax, contestador automàtic, etc.), així com seguir la conversa. Llums intermitents o timbres addicionals amb un volum més alt poden disminuir el problema de sentir el telèfon, però només són viables a casa de l'usuari.

Pel que fa a sentir la conversa, el receptor pot incorporar un amplificador, però la proximitat del micròfon i la realimentació positiva resultant a la part de l'àudio poden produir un xiulet. Alguns telèfons tenen una segona peça per a l'orella, una solució molt simple que molta gent ha trobat beneficiosa i que pot, també, reduir l'efecte del soroll ambiental.

Tradicionalment, moltes ajudes per sentir-hi han estat connectades al mateix aparell mitjançant un acoblament inductiu, en què el micròfon extern ajuda considerablement a treure el soroll estrany i no desitjat.

Malauradament, alguns fabricants de telèfons utilitzen auriculars que no tenen camp magnètic per poder fer aquest acoblament. Els telèfons haurien de proporcionar el nivell de camp magnètic suficient, tal com està definit a l'estàndard ETSI sobre acoblaments inductius de telèfons per a ajudes tècniques (ETSI, 1994). Una alternativa seria utilitzar un acoblador acústic afegit, però s'ha vist que redueix significativament la qualitat de l'àudio i és difícil d'instal·lar al mateix aparell. A més, l'ús de telèfons mòbils digitals pot presentar problemes als usuaris amb aparells d'oïda ja que poden causar interferències al propi aparell.

Per a una persona amb disminucions auditives greus, o un sord profund que no es pot beneficiar de l'amplificació, l'única solució és utilitzar un telèfon de text.

En el futur, la comunicació per imatge i videotelefonía podrà oferir beneficis considerables tant per a les persones amb disminucions cognitives com per als sords o durs d'orella. El llenguatge dels signes, la informació no verbal o els sistemes de signes gràfics poden ser utilitzats com a suplement o per substituir la parla (fig. 2).



FIGURA 2. La comunicació per pictogrames obre noves portes d'accés.

Les discapacitats múltiples comporten problemes especials. Per exemple, els sordcecs no poden utilitzar les facilitats destinades especialment als usuaris amb només una d'aquestes disminucions. El correu electrònic amb terminals Braille es pot emprar per transmetre text i permetre als sordcecs comunicar-se per mitjà d'un servei de transmissió. Però aquest equipament és molt car pel fet que es produeix en petites quantitats i només una petita proporció de cecs llegeix Braille.

3.3. PERSONES AMB DISMINUCIONS VISUALS

A Europa hi ha 1.100.000 persones cegues i 11.500.000 amb poca visió. La ceguesa implica una total o quasi total pèrdua de la capacitat de percebre formes. La poca visió implica la capacitat d'utilitzar alguns aspectes de percepció visual, però amb una gran dependència de la informació rebuda d'altres fonts.

Les dificultats diàries que han d'afrontar les persones amb ceguesa total són ben conegudes. Trobar un telèfon públic és un problema que podria ser resolt amb les noves tecnologies de les targetes intel·ligents i els sistemes de posició per satèl·lit. Els visualitzadors de cristall líquid en telèfons de pagament, sovint amb poc contrast visual i una il·luminació ambiental deficient, representen una dificultat afegida per a les persones amb poca visió, especialment quan l'aparell està muntat de manera que l'usuari no s'hi pot acostar.

Sovint s'assumeix que les pantalles tàctils són més amigables que un teclat. Això és veritat per a bastants grups, però no per a aquelles persones que no poden veure la pantalla. El que es necessita realment és que els usuaris siguin capaços d'escollir i modificar la sortida i adequar-la a les seves necessitats. Exemples d'aquestes modificacions són: simplificar la modalitat d'operació, engrandir el text o reemplaçar-lo per veu sintètica. Aquesta i moltes altres facilitats es poden posar en servei utilitzant targetes intel·ligents.

El fax pot ser un valuós mitjà de comunicació per a molts discapacitats, però és difícil convertir la informació en Braille o en veu sintètica. De totes maneres, la informació pot ser enviada a una central i ser llegida per telèfon a un cec.

Els sistemes d'audiotext per a aplicacions com el banc a casa han demostrat ser molt útils ja que no requereixen visió. Però darrerament, han estat reemplaçats pel videotext, que ha hagut de ser modificat amb l'addició d'un sintetitzador de veu o visualitzador Braille, si ha de ser utilitzat per una persona cega.

Les descripcions parlades de programes de TV han fet possible que els cecs o persones amb poca visió en puguin gaudir.

La recent explosió d'informació en format electrònic (CD-ROM o a través de xarxes d'ordinadors) proporciona una excel·lent oportunitat als cecs per accedir a informació en diferents formats. Un camí en el qual aquesta gran quantitat d'informació electrònica es pot fer més manejable i utilitzable és fent servir sistemes d'hipertext i hipermèdia; Brett i Provenzo descriuen l'hipertext com una sèrie de trossos de text connectats per enllaços que ofereixen al lector diferents camins. En sistemes hipermèdia, a

més del text, també es poden incloure dibuixos, fotografies i so. Això permetrà als lectors accedir fàcilment al material i explorar la informació de diferents maneres.

3.4. DEFICIÈNCIES DE PARLA, DE LLENGUATGE I COGNITIVES

A Europa hi ha 2.300.000 persones amb disminucions de parla, 5.600.000 amb dificultats de llenguatge, 25.000.000 amb dislèxia i 30.000.000 amb disminucions intel·lectuals. Les disminucions en la parla poden afectar la parla en general o solament alguns aspectes, com la fluïdesa o el volum de la veu. La deficiència en el llenguatge pot estar associada a una deficiència intel·lectual més general.

Les persones amb una reducció de la comprensió del llenguatge o deficiències intel·lectuals sovint no poden llegir suficientment bé per utilitzar una guia de telèfons o entendre les instruccions d'ús escrites. El segon problema es pot alleugerir amb la inclusió de gràfics o pictogrames, els quals beneficien també altres usuaris, especialment els estrangers.

Les persones amb deficiències de parla i motores sovint es comuniquen lentament. El correu electrònic i les conferències mitjançant ordinador poden donar-los nous canals d'interacció i compensar en certa manera la seva manca d'oportunitats de comunicació cara a cara. La velocitat limitada de comunicació no és un problema amb aquesta modalitat.

4. LA TELEMÀTICA I LA INTEGRACIÓ DE PERSONES DISCAPACITADES A LA SOCIETAT

Hi ha una sèrie de nous desenvolupaments en l'àrea de la telemàtica que poden contribuir a la integració de les persones amb disminucions. Aquest capítol introduirà algunes possibilitats amb què els serveis telemàtics poden incrementar les possibilitats de l'usuari de participar en les activitats diàries, com les de la vida quotidiana, treballar i estudiar, i activitats de lleure.

4.1. TELEMÀTICA I ACTIVITATS DE LA VIDA QUOTIDIANA

La casa intel·ligent

El concepte de casa intel·ligent descriu la intercomunicació electrònica de xarxes externes i internes de telecomunicacions i equipament domès-

tic, que operen de manera intel·ligent per tal d'assistir l'usuari a casa seva.

Els tipus d'equipament domèstic que es poden incloure en el concepte de casa intel·ligent són: sistema de calefacció, cuina, electrodomèstics (rentaplats, rentadora, congelador, etc.), dispositius d'entreteniment a casa (ràdio, TV, reproductors de vídeo, etc.), dispositius de comunicació (telèfon, fax...), ordinadors personals, sensors de monitorització de la salut i dispositius automatitzats, com els controladors de portes i de cortines. Les alarmes són transferides, quan es necessita, al centre assistencial.

La casa intel·ligent està dissenyada primordialment per complir les necessitats de l'usuari, però a més, per fer més suportable la feina dels assistents domèstics, infermeres o assistents socials, alliberant-los de tasques rutinàries que el discapacitat ja pot fer sol, gràcies a la intel·ligència de la casa.

Molta gent gran se sent insegura a casa. El videotelèfon pot ser utilitzat com a mitjà de suport a la vida quotidiana; per exemple, donant informació, recordant encàrrecs, avisant sobre incidències, així com proporcionant la presència social d'amics o dels treballadors en el centre de servei.

Els sistemes telefònics d'alarma inclouent-hi, per exemple, sensors per detectar situacions anormals com quedar-se bloquejat o caure, fan la vida a casa més segura. La telefonia sense cables (o telefonia mòbil quan s'està lluny de casa) com a part del sistema d'alarma pot ser utilitzada quan l'usuari està dins o a prop de casa. Un equipament adient per a la sala bany, sistemes de grua, etc., utilitzant la robòtica (sistemes motoritzats barats amb els sensors apropiats), sistemes d'alarma de seguretat i d'altres, són solucions que fan la casa agradable per al que hi viu. La intel·ligència del sistema permet adaptar-se a la força física de la persona.

El sistema d'informació de la casa intel·ligent (p. ex., l'ordinador personal amb la seva interfície adient per a l'usuari) pot ajudar a qui hi viu a recordar dates, temps, membres de la família, compromisos, els voltants, etc. El sistema d'informació de la casa intel·ligent pot avisar l'usuari quan és l'hora d'algunes rutines diàries que s'han de fer, com: gitar-se, prendre medicaments, menjar i altres. La casa intel·ligent haurà d'incloure facilitats en la comunicació i connexions a la base de dades de suport com: serveis d'assistència municipal, historial mèdic del pacient, servei d'alarma, etc.

Telemedicina i assistència social

La telemedicina pot oferir noves possibilitats per aconseguir serveis socials i de la salut. La teleconsulta i el diagnòstic remot poden proporcionar suport d'especialistes, i així els individus no han de desplaçar-se a hospitals especials distants.

El videotelèfon pot ser utilitzat per a diagnòs (supervisió) o per donar instruccions d'entrenament d'exercicis físics o fer possible que un familiar o persona no entrenada ni experta es cuidi del tractament mèdic d'alguns problemes de salut.

La telemàtica pot ser emprada com a eina de suport per al discapacitat, a casa. Amb l'objectiu d'aconseguir suport social, es poden organitzar contactes telefònics, línies de converses i correu electrònic.

Telecompra

La telecompra utilitzant la xarxa d'Internet ja ha estat experimentada en molts països. Per exemple, amb el servei de *webs* o per correu electrònic es podrien sol·licitar medicaments, i el pagament es faria per correu postal quan es rebés la comanda. Una transferència automàtica del pagament al compte bancari es pot fer, per exemple, pel sistema del banc a casa.

Telebanc

Un ordinador a casa pot ser utilitzat com un terminal bancari quan està connectat al servei Banc a Casa. Per fer aquestes connexions es poden fer servir les línies telefòniques normals, juntament amb un sistema de reconeixement i de síntesi de veu, mòdems o ISDN (*Integrated Systems Digital Network*). El programari del banc a casa així com les claus o codis d'accés (*password*) les proporciona normalment el mateix banc. El servei es pot emprar per treure diners d'un compte, saber detalls de transaccions, fer pagaments, transferències, etc.

4.2. TELEMÀTICA I TREBALL I ESTUDI

Estudi

El sector de l'educació ja està traient profit de les noves tecnologies. A més dels sistemes (com els d'àudio a la classe, micròfons per al professor...) per atendre els estudiants a l'escola, la teleeducació també és una realitat (p. ex., en les àrees rurals, els arxipèlags en què viatjar pot ser una dificultat). Aquests serveis també fan més fàcil als estudiants discapacitats aconseguir la mateixa educació que els estudiants sans. Les experimentacions en teleeducació han utilitzat el videotelèfon, serveis d'Internet o comunicacions de dades estàndards com a infraestructura.

En alguns barris s'han obert ja teleoficines locals per a teletreball remot. Aquests locals poden ser també usats com a llocs on la gent gran o persones discapacitades o pacients que requereixen assistència a casa es poden entretenir, fer rehabilitació o consultes i també aprendre a utilitzar nous equipaments telemàtics.

Per ajudar les persones cegues a utilitzar les fonts d'informació electrònica, cal que es desenvolupin mètodes eficients d'interacció amb sistemes hipermèdia. Aquests mètodes han d'incloure facilitats per desplaçar-se per la xarxa i explorar la informació. La Comissió Europea ha subventionat el projecte Access i s'ha construït una demostració d'aplicació hipermèdia que il·lustra com els estudiants cecs poden fer un ús efectiu de les fonts d'informació electròniques com a suport dels seus estudis.

La demostració inclou tres dels principals tipus d'informació utilitzats en sistemes hipermèdia: text, so (exemples de sons d'instruments musicals) i imatges (per als estudiants cecs es fan descripcions audibles). Les interfícies per als estudiants cecs utilitzen Braille, veu sintètica i digitalitzada i sons no orals per a les sortides, mentre que les entrades es fan per mitjà de teclats convencionals, taules tàctils (amb superfície tàtil), *joystick* o veu (fig. 3).

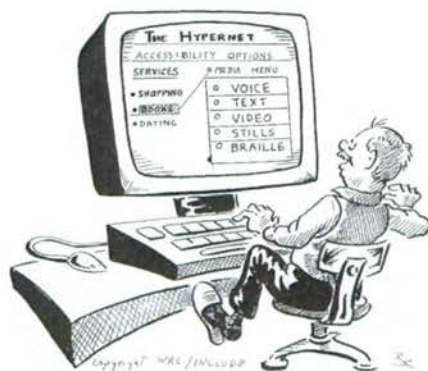


FIGURA 3. L'accés permet diferents possibilitats per poder escollir.

Amb aquesta aplicació els estudiants poden tenir diferents materials (llibres de text, apunts, horaris, diccionaris i llibres de referència). Tots assequibles amb la mateixa interfície, adaptada a les necessitats particulars de cadascú. La interfície els permetrà fer notes al text, posar marques, fer referències creuades, etc. També obre possibilitats per als cecs per accedir a serveis en línia (telecompra, Internet, banc a casa, etc.).

Treball

El teletreball s'està expandint ràpidament a causa de la disponibilitat de canals de comunicació molt ràpids (com la xarxa digital de serveis integrats, ISDN) i ordinadors potents. El teletreball esdevé més fàcil també: el treball intern en una oficina està basat en xarxes d'àrea local internes, ordinadors personals i correu electrònic. Amb aquesta plataforma és fàcil introduir el teletreball o treball flexible dins de les rutines de l'oficina.

En alguns països hi ha centres de recursos establerts per atendre teletreballadors amb discapacitats. Els centres no només donen suport informant sobre les solucions en maquinari o programari, o subvencionant aquestes opcions, sinó que també ajuden els teletreballadors a trobar l'expertesa que els manca, si part del treball no està dins de la seva competència.

La Comissió Europea va subvencionar el projecte Twin, que investigava les possibilitats sobre com els centres de teletreball poden millorar les oportunitats per als treballadors amb disminucions. El projecte va monitoritzar experiències reals realitzades a cinc països i va desenvolupar les línies a seguir per persones d'aquest col·lectiu. El projecte va demostrar que el teletreball dóna noves oportunitats d'ocupació o evita que un nou discapacitat perdi el lloc de treball que ja té. De tota manera, es va apuntar també que el teletreball no és una solució general i no treu totes les barreres.

4.3. LLEURE I TELEMÀTICA

Desplaçar-se i viatjar

El sistema de posició global, GPS, està basat en satèl·lits que transmeten senyals que un petit receptor portàtil i barat pot rebre per calcular la posició geogràfica exacta. Les solucions més versàtils, no solament visualitzen la posició en longitud i latitud sobre una petita pantalla, sinó que poden visualitzar la posició superposant-la en un mapa. El GPS pot servir per orientar-se en una ciutat o en un bosc. El receptor, integrat a un telèfon mòbil, es pot utilitzar per enviar la posició de la informació, per exemple, a un centre d'alarmes en el cas d'una avaria al cotxe o una caiguda en un lloc desconegut, només prement un botó d'alarma. Igual que una alarma telefònica, una persona gran o discapacitada pot ser localitzada i rebre l'ajut necessari sense haver d'explicar on es troba.

El pagament automàtic es pot basar en targetes de crèdit, targetes intel·ligents o targetes moneder. Una solució interessant és la targeta intel·li-

gent equipada amb una connexió de radiofreqüència, que fa possible que una persona que viatja en transport públic pagui el preu del viatge d'una manera molt simple apropant-se al terminal de pagament i prement el botó de reconeixement.

També s'han desenvolupat caixers automàtics d'ús públic que permeten fer ajustos automàtics de funcionament segons les habilitats i preferències de l'usuari. Això inclou opcions d'entrada/sortida activades per la veu, visualitzadors de text amb lletra gran, temps més llargs de resposta, etc.

Activitats de lleure

La televisió i la ràdio són encara les aplicacions més utilitzades. La televisió interactiva i els programes de TV local incrementen encara més el seu ús.

Telejocs diferents com els jocs d'ordinador o videojocs esdevenen molt populars. Les línies de conversa proporcionen la possibilitat de conèixer un altra persona.

El servei d'Internet ofereix bones possibilitats per al lleure. La participació en grups de discussió permet intercanviar idees amb altra gent independentment del lloc o possibles discapacitats. Desplaçar-se pel món i participar en diferents grups d'interès pot donar més contingut al temps lliure.

5. CONCLUSIONS

Les noves oportunitats de comunicació augmenten la participació social i ofereixen noves possibilitats per a aquelles persones que tenen dificultats per comunicar-se o per fer servir un equip estàndard. L'habilitat per usar els sistemes de telecomunicació potser augmenta el sentit de la dignitat i fins i tot disminueix la discriminació. La comunicació en el domini electrònic difereix de les formes de comunicació convencionals en l'aspecte que trobar una persona en el «ciberespai» es trobar algú sense que es facin evidents les possibles discapacitats. Tot això és l'objectiu de la comunicació. De tota manera, cal evitar el risc d'aïllament causat per la tecnologia, amb la planificació i la monitorització comprensiva i recordant que els serveis telemàtics, després de tot, han de ser utilitzats com a eines, però no com una substitució de trobades cara a cara o del servei personal.

6. AGRAÏMENTS

La part del capítol corresponent a l'accessibilitat telemàtica per als disminuïts físics i sensorials es basa en la referència 1 (*Telecommunications for all*, Cost 219 i el seu capítol 2.1), als autors de la qual estem molt agraïts.

Part del capítol presentat es basa en el treball dut a terme en el projecte Access del programa TIDE, i agraïm a tots els participants la seva contribució.

7. BIBLIOGRAFIA

- Access, Affordability and Universal Service on the Canadian Information Highway. Building Canada's information and Communications infrastructure.* Information Highway Advisory Council (1995).
- ANDRICH; ALIMANDI, L. [ed.]. *Telework Guidelines for people with disability.* Comissió Europea. Projecte Twin. Siva (1995).
- BRETT, J.; PROVENZO, E. *Adaptive Technology for Special Human Needs.* Albany: State University of New York Press (1995).
- CULLEN, K.; CLARKIN, N. *Working and Caring. Opportunities and Social Issues Raised by technologies.* European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions. Treball núm. WP/94/31/EN (1994).
- FREDERIKSEN, J. [ed.] [et al.]. Cost 219. *The use of telecommunications: the needs of people with disabilities.* Madrid: Fundesco per a la CE. (1989).
- GILL [ed.]. COST 219. *The Forgotten Millions.* European Commission: EUR 15556 EN. (1994).
- KEMPPAINEN, E.; SALMINEN, A. L.; SÄRKIKOSKI, T. *Internal report on social implications.* The TIDE-Access project report (1996).
- Nordiska Nämnden för Handikappfrågor Nordic guidelines for computer accessibility.* NNH 4/93. (1993).
- ROE, P. [ed.]. *Telecommunications for all.* Brussel·les-Luxemburg: ECSC-EC-EAEC (1995).
- ROE, P. R. W. ; SANDHU, J.; DELANEY, L.; GILL, J. M.; MERCINELLI, M. *Euco-Tele 219/CTD/95 CD-90-95-712-EN-C, Consumer Overview* (1995). [Aquest llibre està disponible a la WEB atp://www.nta.no/cost 219/index. La versió castellana ha estat publicada per Fundesco].
- The Access Project. Development Platform for Unified Access to Enabling Environments.* TIDE TP 1001. Leaflet (1996).

NOTÍCIA BIOGRÀFICA DELS AUTORS

Julio ABASCAL

Neix a Torrelavega (Cantàbria) el 1956. És llicenciat en físiques per la Universitat de Navarra (1978) i doctor en informàtica per la Universitat del País Basc (1987). També és professor d'aquesta darrera universitat i cofundador del Laboratori d'Interacció Persona-Computador per a Necessitats Especials, on participa en diferents projectes. És membre del Comitè Tècnic Human Computer Interaction de la Federació Internacional per al Processament de la Informació, i presideix el grup Human Computer Interaction and Disabilities. També forma part del Comitè de Gestió de l'Acció Europea, COST 219 bis (*Telecommunications Access for Disabled People and Elderly*). És assessor i avaluador en el programa europeu TIDE.

Josep AMAT

Neix a Barcelona el 1940. És enginyer industrial per l'ETSEIB, 1967, i doctor enginyer industrial per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), 1977. Des del 1983 és catedràtic d'arquitectura i tecnologia de computadors de la UPC. També és responsable de la línia de recerca de visió per ordinador d'aquesta universitat. Realitza la seva tasca de recerca a l'IRI (Institut de Robòtica Industrial UPC/CSIC), en visió per ordinador, especialment en les seves aplicacions en el camp de la robòtica. Participa en diferents projectes de recerca sobre robòtica submarina, robòtica assistencial i robòtica aplicada a la cirurgia. És autor de nombroses publicacions (articles) i de ponències a congressos. Ha rebut entre d'altres, el premi de la Fundació Catalana per a la Recerca (1995). És membre de l'Institut d'Estudis Catalans des del 1990.

Alicia CASALS

Neix a Barcelona l'any 1955. És enginyera industrial (1977) per l'ET-SEIB i doctora en informàtica (1983) per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). També és catedràtica d'arquitectura i tecnologia de computadors des del 1990. Responsable de la línia de recerca de robòtica de la UPC i directora del Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial (1991-1995), el seu treball de recerca s'orienta al desenvolupament de sistemes robòtics intel·ligents, basats en la incorporació de sistemes de percepció de l'entorn i aplicats a: l'exploració, la robòtica assistencial i la robòtica medicoquirúrgica. És autora de nombroses publicacions i ha organitzat diversos congressos internacionals.

Luis GARDEÁZABAL

Neix a Donostia (Guipúscoa) el 1957. És llicenciat en ciències físiques per la Universitat de Navarra i enginyer tècnic industrial per la Universitat del País Basc. També és professor a la Universitat del País Basc i director del Laboratori d'Interacció Persona-Computador per a Necessitats Especials, que va fundar juntament amb Julio Abascal el 1988. Ha dirigit diversos projectes de recerca dedicats al disseny de sistemes de comunicació (tant els aspectes de programari com de maquinari) per a persones amb discapacitats greus motores i orals. Els projectes han estat finançats per l'Insero, el Govern basc i la Diputació Foral de Guipúscoa. Actualment presideix el grup de treball GT2 Ajudes a la Comunicació del SC5/CTN153, de l'òrgan de normalització AENOR.

Jan EKBERG

Neix a Turku (Finlàndia) el 1940. És enginyer industrial (1965) i doctor en tecnologia (1973). Actualment és professor investigador al Centre de Recerca i Desenvolupament per al Benestar i la Salut a Hèlsinki i membre del Comitè COST TCT, Technical Committee Telecommunications, del qual és vicepresident del 1985 al 1997. Des dels inicis del programa TIDE, és consultor i avaluador, i ha participat activament en nombrosos projectes de recerca en l'àmbit de les telecomunicacions aplicades als disminuïts físics i sensorials. Els seus principals temes de recerca són: el desenvolupament d'equipament telemàtic adaptat, la domòtica, l'avaluació de sistemes i legislació, i la macroeconomia d'aquestes tecnologies. És autor de nombroses publicacions (articles, llibres i altres), sobre telemàtica i discapacitat.

Antonio B. MARTÍNEZ

Neix a Barcelona el 1956. És enginyer industrial per l'ETSEIB (1985) i doctor en informàtica per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), 1988. Actualment és professor titular d'universitat a la UPC on imparteix classes de disseny de sistemes basats en microprocessadors, arquitectures orientades per a visió per ordinador i robots mòbils. Des del 1988, desenvolupa la seva activitat de recerca dintre dels camps de la robòtica i la visió per ordinador. Actualment és responsable de diversos projectes de recerca en aquests camps, tant pel que fa a l'aplicació industrial com a la rehabilitació.

Joan PLAJA

Neix a Banyoles (Girona) el 1927. És llicenciat en medicina a Barcelona (1951) i doctor en medicina a Madrid (1969). Va obtenir el postgrau en rehabilitació a Cleveland i a Nova York (EUA) amb una beca del World Rehabilitation Fund. Té el títol d'especialista en rehabilitació i en neurofisiologia clínica. Va ser cap del Servei de Rehabilitació a l'Hospital General d'Astúries, a Oviedo del 1960 al 1972. Posteriorment, des del 1972 fins al 1993, va ser cap del Departament de Rehabilitació de l'Hospital Universitari de la Vall d'Hebron a Barcelona. Ha estat president de la Sociedad Española de Rehabilitación del 1969 al 1972 i president de la Societat Catalana de Rehabilitació del 1974 al 1976.

Pierre RABISCHONG

Neix a Nancy (França) l'any 1932. És llicenciat en medicina (1955) i en neuropsiquiatria (1958). Rep el Certificat en Antropologia a la Sorbona l'any 1959 i s'incorpora al Laboratori d'Anatomia de Nancy. L'any 1964 guanya la Càtedra d'Anatomia a la Facultat de Medicina de Montpeller. Des del 1971 és al mateix temps professor d'aquesta Facultat. És conseller clínic al Centre de Lesionats Medul·lars de Propara. És membre fundador de la Societat Francesa de la Cirurgia de la Mà, de l'Associació Francesa de Robòtica Industrial, de la Societat Europea d'Enginyeria i Medicina, i de la Societat Internacional de Cirurgia Assistida per Computador. És autor de nombroses publicacions (articles, llibres) i de ponències a congressos.

Anna-Liisa SALMINEN

Neix a Mäntsälä (Finlàndia) el 1957. Obté el grau de terapeuta ocupacional el 1978 i de professora en teràpia ocupacional. Des del 1979 fins al 1985 es dedica a la teràpia ocupacional i exerceix diferents càrrecs fins a la direcció. Des del 1986 fins al 1994 és professora de teràpia ocupacional a l'Oulu Polytechnic of Health and Social Sciences i professora en cursos de postgrau a l'Institut Politècnic de Salut i Ciències Socials de Hèlsinki. En 1994 esdevé *senior planning officer* a Stakes (Centre Nacional de Recerca i Desenvolupament en Salut i Benestar), on treballa en el camp dels ajuts tecnològics. És autora d'uns vint articles i comunicacions a congressos en l'àrea d'ajuts tecnològics per a disminuïts físics.

Christoph F. SCHAEFFER

Neix a Kassel (Alemanya) el 1962. És enginyer en electricitat i informàtica, RWTH Aachen, Alemanya (1986). És el responsable del desenvolupament de prototipus de robots mòbils de serveis al Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), de Stuttgart, des del 1987. Coordina i gestiona el projecte europeu ESPRIT 5292 MOSAIC, per a l'estudi i el desenvolupament d'un sistema de control del moviment de diferents elements, modular i amb interfícies unificades (1990-1992). És col·laborador i responsable del grup de treball internacional de mobilitat dins l'IMS (1992-1997). És expert en arquitectures de sistemes de control per a robots de serveis.

Rolf D. SCHRAFT

Neix el 1942. És enginyer mecànic per la Universitat de Stuttgart (1969) i doctor per la mateixa Universitat l'any 1976. Va promoure i iniciar el Grup de Recerca per a la Manipulació de Materials i Muntatge al Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), de Stuttgart. És professor de la Universitat de Stuttgart des del 1977 i de la de Dortmund des del 1981. També és professor honorífic de la Universitat de Dortmund des del 1986, i doctor honoris causa de la Universitat de Timisoara (Romania), 1997. Ha rebut els prestigiosos premis: Golden Robot (1986), JIRA (1990) i Joseph Engelberger (1992). És membre de nombroses associacions internacionals relacionades amb la robòtica. Des del 1972 col·labora com a assessor en diferents institucions i empreses (VDI, REFA, RKW, TAE,

VDMA...)). Ha publicat més de 380 articles en revistes nacionals i internacionals, i 36 llibres i contribucions a llibres.

Johannes WAGNER

Neix a Griesheim (Alemanya) el 1967. És enginyer en cibernètica per la Universitat de Stuttgart (1993). Actualment, és investigador científic, expert en simulació de sistemes dinàmics al Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), de Stuttgart. És enginyer de desenvolupament al Preussag Noell GmbH, des del 1993, i responsable del desenvolupament de vehicles autònoms (AGV) per al transport i la manipulació industrials. Des del 1996 treballa en la concepció i el desenvolupament de robots de serveis per a persones discapacitades al Fraunhofer IPA.



**TECHNOLOGICAL
AIDS FOR THE DISABLED**

MONOGRAFIES DE TECNOLOGIA, 4

TECHNOLOGICAL AIDS FOR THE DISABLED

Edited by
ALÍCIA CASALS

SOCIETAT CATALANA DE TECNOLOGIA
Filial de l'Institut d'Estudis Catalans

Barcelona, 1998

PRESENTATION

Frequently new products appear in our environment that surprise us with their design, functionality or performance. The evolution of technology makes it possible to develop new products that are more and more sophisticated and to some extent «intelligent», and have an influence on many different applicational fields.

On 27th January 1997, the Institut d'Estudis Catalans organized a technical seminar with the aim of analyzing the current state of technology and how it influences the design and development of technical aids for the disabled and the elderly. The objective was to discuss the possibilities that technology offers of developing products designed to improve the quality of life of people who as a result of a physical or sensory deficiency suffer from limited possibilities of performing a «normal» life in the society today. This book consists of a collection of the lectures and discussions carried out during this seminar, written by researchers working in this field. In view of the effort made to bring together researchers in the various different topics concerned, both from our country and from abroad, and also the relevance of this subject, the book has been published not only in Catalan but also in English, in the same volume.

The evolution of technological aids for the disabled, whether they are simple devices, equipments or more complex systems is very costly. Fortunately, this technology often takes advantage of advances made in sectors with more economic support such as industry, defense or exploration. This double exploitation of technology is possible due to the fact that in these fields a great variety of tools and equipments are developed for the manipulation of objects, the perception of surroundings and computer communication, and these aspects cover some of the shortcomings of this group.

Without attempting to be exhaustive, the various chapters of the book explore a variety of issues in the context of disability and presents the state of the art of technology in this field, describing the different kinds of products and systems available for coping with these users limitations. In addi-

tion, an evaluation is made of the main difficulties facing the mass introduction and acceptance of these products as regards their cost, performances and controllability.

ALÍCIA CASALS

INTRODUCTION

*Joan Plaja**

Technological aids have been available to the handicapped for quite some time, but it has only been recently that they have undergone a boom in both quality and quantity. One reason for this is the increase in the number of persons disabled by traffic, industrial or sporting accidents, the better survival rate for previously terminal diseases and an increased life expectancy. There is also a greater social awareness of the needs of the handicapped.

Technological advances have increased the availability of devices for improving our capacity, comfort and quality of life. We are so accustomed to these devices that we only realise how dependent we have become on them when there is a failure in the telephone, household appliance, remote control unit, computer, car, or the tools we use in the office or at work. If these devices increase our normal capacity and reduce the effort required for daily living, they could also compensate for, or even replace, the disabilities of handicapped persons with an efficiency that was unimaginable just a few years ago.

At present, we could say that there are two types of devices available to aid the handicapped:

- 1) Those derived from the general consumer market, which directly or with minimum adaptation may be used to aid a handicapped person. As these items are generally available they are inexpensive in spite of the high technology that they may contain.

- 2) Those that are specifically developed for a specific group of handicapped people. Even though they use existing technologies, these tend to be expensive and their availability is limited. The research and commercial stages require specialised materials and professionals as well as the support of universities, industry, the government or private foundations.

*Ex-head of the Rehabilitation Department Hospital de la Vall d'Hebron. Barcelona.

Not all technical aids for the handicapped are sophisticated devices. Occupational Therapy Departments are still full of small devices that simplify the function and daily activities of the handicapped. The use of Velcro to eliminate the need for buttons and zips on clothing and to adjust orthoses and prostheses without resorting to belts and buckles, specially adapted cutlery and pens, plates with suction cups, cups with large handles, laminated plastic canes, weightless supports, long-handle shoehorns, etc. Many of these tools are individually hand-crafted, others are simply implements for small children. In the sensorial field, ideograms or photos are still a valid option, as are simple children's computers with letters and numbers to aid communication.

Just a few years ago many of these devices were experimental and extremely costly. Today they can be manufactured and improved with standard devices that are readily available on the market. In the seventies, very expensive devices enabled tetraplegics to control the room lighting, a radio, a fan, the telephone or a page turner with a movement of his head, his wrist, or by blowing. Today, commercially available remote control devices enable them to control household appliances and lighting, to talk on the telephone without picking up the receiver, to dial numbers stored in memory, or even to ask for assistance automatically. The increase in books and publications published on cassette aid the blind, and pages on a CD-ROM can be scrolled simply by clicking a button on the mouse. By using quite a simple computer, even a seriously handicapped person can write, edit, print and save documents by pushing buttons, and the final result is identical to that of any normal person. Naturally these basic possibilities can be increased and improved by other, more specific devices for operating robots, voice-activated control, etc.

The enormous possibilities of state-of-the-art technology could give the false impression that they can produce science-fiction type robots or artificial limbs that are stronger or even more capable than normal ones. This leads to a certain amount of disappointment when the users realize that even the aids using cutting edge technology fall far short of these expectations. Nevertheless, there has been considerable development, not only in the introduction of new materials and technologies, but also in the development of the concept of precisely how to replace a lost function.

One example of this evolution is the prosthesis for amputees. We have references to the use of basic wooden prostheses in several pre-Christian cultures. In the 16th century, together with the amputees shown in the paintings by Bruegel, Ambroise Paré described a new mechanical prosthesis with an articulated, lockable knee joint. In the 17th century, Verduin described a prosthesis with side bars and a leather socket, though they were

not to become generally available until the appearance of professional orthopaedics much later.

After the First World War considerable progress was made in the application of materials, and several modifications were incorporated into the fixing system. The greatest impact, however, was after the Second World War when the United States created a committee to study, develop and manufacture prostheses and to co-ordinate and support the work of engineers, doctors, physicists and other technicians. This enabled careful studies to be made of the biomechanics of walking and the development of devices such as the SACH foot, patellar suspension, Hydra Cadence, etc. At the same time, Europe saw the development of the suction suspension socket, the full contact socket and the quadrangular socket. Even though these systems are now out of date, they were an important milestone and resulted in the concept that the replacement of a function did not necessarily have to imitate nature's model. The complex attempts to imitate the system of shock-absorbing muscles in the ankle by using springs and tensors could be replaced by a rigid SACH foot with an elastic heel. The quadrangular socket modified the normal shape of the thigh, prevented rotation of the stump and increased the support the prosthesis gave to the amputee.

The need to apply new technologies and to study normal biomechanical and physiological functions before attempting to design a device to reproduce them was also established. This resulted in the creation of the field of *Medical Engineering* or *Bioengineering*, a mixed science that mainly involves engineers, doctors and biologists and is dedicated to the instrumental study and technical replacement of human functions.

Now, forty years after the birth of this specialised science, the biggest challenge to be taken up in new books and papers is the co-ordination of doctors and engineers with vastly different training, methods, reasoning and even technical language. The doctor, trained to apply treatments and accustomed to diagnostic approximations and the variability of biological values, was considered as empirical or non-scientific by engineers. The engineer, whose training is based on exact calculations and the analysis, including the destruction of stable materials using precisely defined physical laws, was viewed by the doctor as a meticulous theoretician incapable of accepting that an apparently simple biological function could depend on many other functions and that its behaviour could be complex and difficult to predict. This schism has now been breached by specialised mixed working groups and has enabled the creation of the situations mentioned in this book. More and more doctors now have a basic understanding of biomechanics, electronics, or computer systems and are better able to understand and apply diagnostic instruments, implants and prostheses. Engineers are

now aware and study the peculiarities of physiological control over the heart, blood circulation, respiration, urination, walking and other movements.

Today a simple crutch incorporates many design details based on the biomechanics of posture and walking. It provides better support and control over balance and protects the wrist and elbow joints and their associated nerves while providing support.

By taking advantage of the agility and adaptability of the organism it is possible to use functions that have been conserved to replace others that have been lost. A myoelectric prosthesis is controlled by muscles that are not related to the function they activate. Visual or hearing functions that cannot be received by the non-functioning eye or ear can be converted into sensations of touch and so be interpreted by the handicapped person. Objects can be handled by a robot controlled through movements of the head or even activated by the voice. These types of aids, unlike the purely passive type, require specific user training and a certain degree of ability.

The final efficacy of technological aids will mainly depend on the user. Their collaboration is an integral part of the design stage and absolutely necessary for prototype testing. Luckily, a large number of handicapped people are interested in and motivated by this process. The difficulties usually appear when the new device is applied to a large number of handicapped. Quite often what is a perfect technological aid for one handicapped person is not used or even appreciated by other people with similar disabilities.

A suitable evaluation of the impact of technological aids for the handicapped must take into consideration certain basic concepts related to rehabilitation.

Disability is the reduction or loss of a function or part of the body. It may be objectively defined and measured by the doctor using simple diagnosis techniques or with the aid of specific measuring instruments. For example, we speak of a paralysis of the external popliteal nerve that makes it impossible to lift the foot, or an amputation of the leg at the thigh. The function may be partially or fully compensated by technical aids, an orthosis or electrical stimulator in the case of the paralysis, or a prosthesis in that of the amputee, even though the anatomical loss and the disability continue to exist.

In a disability there is no direct relationship between the anatomical and functional losses. The loss of the little finger is less important than the loss of the index finger or the thumb, even though in centimetres or grams the difference does not seem too different. The little finger has a limited function when using the hand to grip. The thumb is essential for opposition and the pinching movement which is the basis of all manipulation. The

compensation tables of insurance companies usually take these differences into consideration, although not always to their true extent.

The potential efficacy of a technological aid is inversely proportional to the complexity of the lost function. The loss of the little finger does not require a prosthesis, it is even aesthetically better not to use one (people do not count the fingers on the hand of a person they are talking to). A prosthesis may replace the lack of a thumb, but for the time being it is merely a passive point of support for the pinching action of the remaining fingers. Prostheses for the lower limbs are always useful as walking only requires a minimum support function, and any additional functions that imitate the action of the knee or the foot allow for a reasonably elegant gait. On the other hand, the best prosthesis for the upper limbs are merely a very limited substitution of the complex process of handling objects.

The handicap is the impact that a disability has on the home and professional life of a particular person. It therefore depends on individual social and work-place factors and the same disability results in different degrees of handicap. If an amputee can walk acceptably by using a suitable prosthesis and his work is sedentary, he will only be slightly handicapped. If he were to be a sportsman or a construction worker, the handicap is quite severe.

Facial paralysis is a total handicap for a fashion model but a limited one for a factory worker.

The efficacy of the aids is also variable and depends on the handicap and the person. Even the most sophisticated prosthesis for an upper limb will not reduce the handicap of a single amputee who can easily carry out the majority of daily tasks and activities using his good arm, and who only requires the prosthesis to provide basic support functions. On the other hand, a double amputee will strive to gain the maximum performance from the prosthesis in accordance with his degree of training and ability.

Whenever we assess a person with a disability and the possibility, usefulness or real advantages of a possible technological aid, we must take two factors into consideration.

Apart from the objective criteria of disability and handicap, the attitude of the user towards the proposed aid is also extremely important. Often the main problem is the balance between aesthetics and functionality. An upper limb amputee with a hook-type hand or another type of tool device may be able to carry out almost all daily activities and even work, but many amputees prefer an aesthetic hand even though it only has minimum or even no functionality. The wheelchair, until quite recently rejected as a symbol of being handicapped, is now well accepted individually and socially and allows considerable independence and even the possibility of practising sport for a paraplegic.

Physical tolerance and the difficulty of control are other important aspects of external aids and depend on the design as much as the personality and physical and mental state of the user. A computer that may be extremely useful for a paraplegic is useless for a mentally retarded hemiplegic. An elderly hemiplegic may have difficulty in handling a simple cane or walker, whereas a young dynamic tetraplegic can control an electric wheelchair to perfection. It is often difficult to convince an upper limb amputee of the advantages, in his particular case, of a simple mechanically operated prosthesis rather than a sophisticated myoelectric model that has many controls, is difficult to handle and maintain, requires battery charging and involves complex breakdowns.

The information provided to the user should not only include the possibilities and features but also the requirements and limitations, in the same way that drugs give details of their indications and contraindications.

It is therefore important to consider all these aspects when prescribing or recommending any aid. Quite often a simple device may be more useful and efficient than a high-tech one.

In the field of labour reinsertion the technological possibilities are vast and extremely positive. Unfortunately, their practical application is fraught with problems. Apart from the insecurity of the current labour market, companies offer resistance to accepting modifications or adaptation of their usual tools or machinery and a technical aid for a handicapped person is usually only valid in special workshops or when working independently.

Finally, the collaboration of Universities, Hospitals, Industry, the Administration and other private foundations is essential in order to provide the staff and funding required for research and development of new projects and to enable them to be made available to users, even though their operation is limited and they are not commercially viable.

There should be no doubt that, in spite of some difficulties, technical aids for the disabled will become as natural and normal as the whole series of mechanical and electronic devices currently used by the less disabled in their daily activities at home and at work. The progress of techniques, their habitual use and their dissemination by works such as this one will make this possible.

TECHNOLOGY ADVANCES AND AIDS FOR DISABILITIES

*Josep Amat**

1. INTRODUCTION

The technological advances experimented in recent years, and specially those coming from the fields of microelectronics and computers, have made possible the development of domestic tools, that directly or conveniently adapted, provide the means to advance in creating a market supply of equipment oriented to suit the needs of an important number of users; either persons with physical disabilities produced by traffic accidents or diseases, or elder.

In spite of the fact that the continuous technological development is a key factor in the evolution of technological aids, this development is neither the determinative nor the only factor necessary to provide acceptable solutions to problems —such as comfort and independence in the family environment— that physical disabilities can produce. The aiding equipment not only has to be efficient and available, but also its design or external appearance has to facilitate their introduction in the daily environment, in such a way that its use does not generate new kind of problems, that could even become more tiring and annoying than the own disability to be compensated (fig. 1).

The operating possibilities attained by a control unit even more intelligent and specially the communication interface with the user —either at the physical or at the logical level— are factors very determinative to satisfy some minimal requirements of disability and cost, but it is also necessary to achieve its acceptability by the user in his or her own environment.

*Institut de Robòtica Industrial (IRI)-UPC/CSIC, Barcelona.

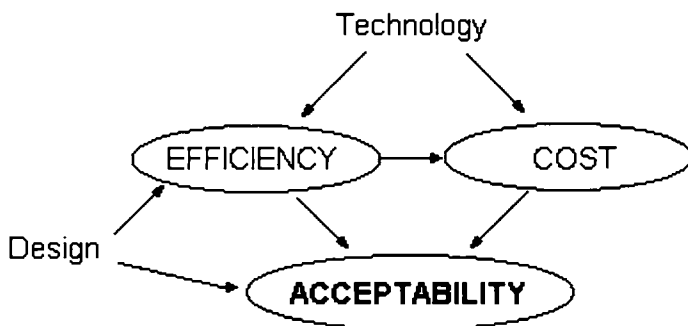


FIGURE 1. Factors that influence the acceptance of technological aids for disabled.

The aiding equipment supply for disabled people comes from specialized companies, with the aim to develop this kind of aids for persons with disabilities, which have, on the one hand, an increasing gamma of components and devices generated by the industrial automation, and on the other hand, there are many different electronic domestic appliances which are more and more automated, and consequently their adaptation results much easier. These technological resources already available, and the increasing demand for such products, allow to manufacture equipment suitable to provide many efficient solutions and to be less costly. Other equipment more complex or more experimental is developed with the support of research centers (fig. 2) that work in topics related to computing, computer vision, artificial intelligence, robotics, micromechanics or new materials.

2. TECHNOLOGICAL AIDS FOR PHYSICALLY DISABLED

The main needs that physically disabilities produce and most often affect to persons suffering any kind of disability are:

- Mobility.
- Access to private or public services.
- Objects manipulation.
- Training and communication.
- Leisure.

From the analysis of these needs we can appreciate that many of them have already nowadays a possible technological solution. Unfortunately, a great number of these solutions do not provide an answer to the three main requirements mentioned above: efficiency, cost and user's acceptance.

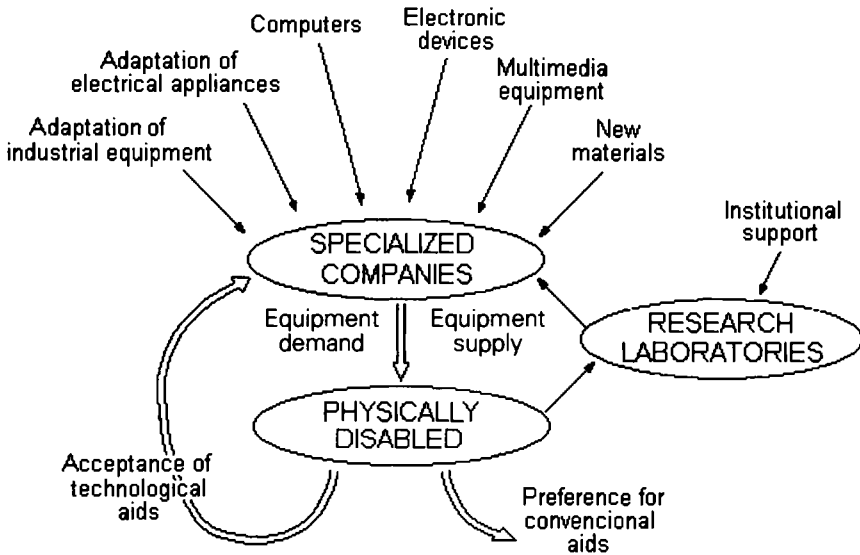


FIGURE 2. Impact of the technological advances in the supply of aids for disabled.

2.1. TECHNOLOGICAL AIDS FOR MOBILITY

The need to solve one of the main basic problems, mobility, from the beginning of the century has already relied on the help of wheelchairs. Their use constitutes an acceptable solution to the problem of moving within home, labor and even leisure environments. With the help of wheelchairs it is possible to move along relatively long distances, if there are no obstacles.

The design of the best wheelchairs (fig. 3) has been benefited from the technological improvements developed for cycle racing competitions and by the ergonomic design, that can even allow to practice some sports.

The incorporation of electrical drives to wheelchairs has enabled to extend their efficiency in aiding the mobility of more severe disabled users. The development of this kind of chairs has taken great profit from the development of the autonomous vehicles for transport used in the most automated industrial plants. The use of controllers endowed with a microcomputer, and provided with proximity sensors for obstacles detection, allow the automatic generation of trajectories to facilitate the autonomous mobil-

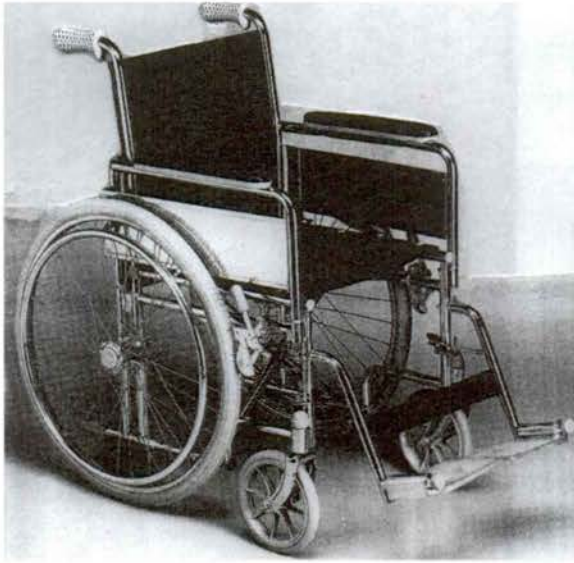


FIGURE 3. Improvements introduced in wheelchairs in what refers either to weight or to comfort.

ity of even those users who have very low residual mobility, or even without any mobility, by means of voice control.

In spite of these advances and technical facilities, the price of these devices is prohibitive for many potential users and, consequently their use is very limited.

2.2. TECHNOLOGICAL AIDS FOR ACCESS PROBLEMS

A difficulty to mobility is the problematic associated to the access of the chair, and the wheelchair user to the private car, to the public transportation, to buildings and public services.

The architectural barrier that most frequently has to be overcome are stairs, even in recently constructed buildings, and despite the increasing society sensitization towards the need of access with wheelchairs to all the urban environments and public services. Anyway, these architectural barriers are being suppressed with the increasing use of elevators, or even with the introduction of rail and rack mechanical elevators (fig. 4), in those points where due to the building structure or to the need of a more strict conservation it is not possible to introduce conventional elevators.

The systems tested to provide the motorized wheelchairs with the capability to up and down autonomously stairs, using devices such as caterpillar (fig. 5), have not given, up to date, any product accepted enough. The reasons are their cost, the volume and the low efficiency to move over flat surfaces without obstacles, that are those predominating.



FIGURE 4. Lifting platform to get up stairs with wheelchairs.



FIGURE 5. Wheelchair adapted to up and down stairs.

The difficulties to be able to disregard the external aid that most severe disabled have, mainly at home and specifically in the bedroom or the bathroom, are technologically solvable by means of, for instance, mobile lifters mounted on rails, that can be suspended on the ceiling (fig. 6).

This kind of so forceful solutions, in spite of being effective and facilitating the users privacy are, in general, little accepted. This is due on one hand, to the negative esthetic impact that produce these devices at home, and on the other hand, due to the lack of height and free space in many dwellings.

The access to public transports presents different problems depending on the kind of vehicle, underground or surface ones. Underground transport does not normally put obstacles in what refers to access from the platform to the wagon or the opposite, but it can be difficult to access coming from the street towards the platform. Mechanical stairs difficult this access. This fact does not imply any technological problem since the access could be done with an elevator. Nevertheless, its installation can be much more



Fig. 6. Lifting and transport system usable for the access to the bathroom.

difficult to be done in old stations when this vertical transport was not originally foreseen.

The access to surface public transportation is also solved from the technical point of view, by means of folding lifting platforms. Consequently, the availability of this facility in the new vehicles that are being incorporated in the public transportation lines is only an economical question.

The access difficulties produced by doors, more in labor environments and in public spaces than at home, constitutes also a great obstacle for mobility using wheelchair. This problem also admits technological solutions providing the doors with automatic opening systems. The use of a handset controller at distance or presence sensors greatly facilitates the way through to wheelchair users. The opening systems based on identification cards or those based on keypads enable the selective and restricted access when there are specific security problems.

2.3. OBJECT MANIPULATION AND ENVIRONMENT CONTROL AIDS

With the aim that physically disabled people can reach high independence levels, it is necessary to provide solutions to problems derived from

the difficulty of using the environment elements required by the daily life activities, for instance those that enable the user to carry out the basic functions necessary for grooming, toileting or feeding oneself, or for work and leisure.

A first level of difficulty is the reduced accessible space the user has, when access to the environment is limited to the movement of the arms. In this case, the difficulties can be solved by using the same technological compacting and automation techniques that are used in industry: the automated store and retrieval systems. In an adapted domestic environment, these cupboards can be used for the kitchen utensils as well as for the objects of personal use (fig. 7).

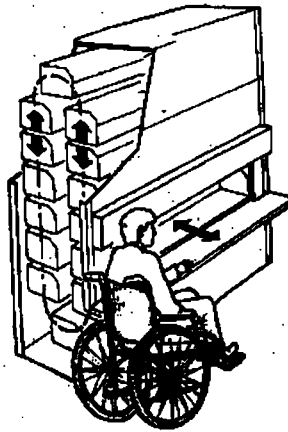


FIGURE 7. The use of a motorized cupboard to ease the reachability to objects.

This solution enables to have the stored elements at a reachable distance when needed. The selection of the elements can be done with an adequate interface such as a keyboard. Although the cost is not prohibitive, such fixture installations can be difficult to install in kitchens and bedrooms of many dwellings, frequently, of too reduced size.

When the disability is more severe, it is necessary to resort to the use of mechanical arms that allow to grasp and manipulate objects of the environment. In this case, robotics is becoming a great aid to mitigate the problems caused by this kind of disability.

Robotics has already shown its efficiency in industry, making possible the automation of many processes that were carried out manually, even if some of them require a notable ability. The robotization of industrial proc-

esses is possible and successful thanks to the suitability to previously program the robot. The cost of this programming is not significant for the automation profitability since the programmed task to be performed is usually repetitive for sometime, and therefore, the programming effort is compensated by the period of usability of the robot doing its work efficient and reliably.

The difficulty that the application of robotics presents when used as an aid for disabled comes from the fact that most of the tasks to be carried out are not preprogrammable. In order to be so, it would be necessary that all the elements in the environment were in a previously known fixed position. This requirement is due to the fact that when programming the trajectories it is necessary to foresee all the incidences that may appear.

In the industrial context, these conditions in general do not carry with them any obstacle to attain the desired efficiency. But, in the domestic context a much bigger flexibility and improvisation is necessary when structuring the environment. That is why the use of robotics, as an aid for people with high disabilities carries with it a total control of the robot movements by the user. Furthermore, the user can not be forced to have specific technical knowledge, and besides that, it would be necessary to compensate his or her lack of ability produced by the motion disability, that impedes them to act over the controller, even if it is simple and light. To solve these difficulties and to make possible the use of robotics in the assistive domain, some different control systems have been developed that combine the execution of tasks that contain foreseen and repetitive operations previously programmed —such as turn on the pages of a book or to approach the spoon from the dish to the mouth—, with the execution of other trajectories directly controlled by the user. The user commands the robot by means of special interfaces adapted to the residual user's hand or head movements or to oral orders that the robot interpretes. To execute these tasks efficiently and with a safety operation for the user, the robots used in such applications are endowed with proximity and contact sensors that allow to avoid collisions, and with force sensors to enable the robot to carry out trajectories with limited forces and torque. Working this way, the robot imprecision or the commanding errors that, logically are unavoidable, do not imply dangers neither damages to the user nor to the objects in his environment.

In this line, some auxiliary robotic arms have already been developed that can be installed on the own wheelchair, and consequently, this robot becomes an auxiliary arm that can grasp and manipulate objects in any place. If the robot is installed over a track in the living room, the possibilities of access to objects in this room increase (fig. 8), and its weight and



FIGURE 8. Assistant robot.

consumption do not constitute a limitation anymore, matters that have favorable repercussions in the operation efficiency and speed.

The advances in computer vision and artificial intelligence have enabled the development of prototypes more and more efficient and competent to carry out assistive tasks that require more ability and precision. It is however their high cost, what is still a great obstacle for its wide introduction.

2. 4. AIDS FOR TRAINING AND COMMUNICATION

When the physical disability affects the youngest population sectors, it also causes difficulties for their normal integration into the educational context. In case that the disability does not prevent the child to normally access to computers, his training possibilities are currently almost unlimited since the user can, through the computer, access to a wide existing offer of computer assistive training products that are increasingly developed.

When the computer communication capability is restricted by a more severe physical disability, it is necessary to rely on keyboards and other adapted interfaces. This kind of interfaces reduce the user's efficiency, but still allow people with such several disabilities to take profit of the enormous potential of computers, as a means to obtain information.

The development of voice synthesizers and speech recognition systems open the access of blind people to the computing ambit and has widely shown the possibilities of computers as a tool for training and pro-

fessional integration of such users, even though their important sensorial disabilities.

But computers are not only of great utility because its suitability to facilitate training to persons with strong disabilities, it also constitutes a good vehicle to personal intercommunication. Through the computer nets it is possible to eliminate geographical distances and also to access to any kind of information.

The incorporation of other input/output devices, such as character optical readers or voice recognition and synthesizers systems, to computers make possible to solve the intercommunication problems of people with perception and/or expression deficiencies with other people in their close environment.

These powerful means of intercommunication that are possible thanks to the existence of computers, unfortunately are not within the scope of all kind of physically and sensorial disabled users that need them. This is due to the rejection, specially of elder, that on the other side constitute the population segment most potentially in need of aids for sensory potentiation; the reason is the progressive increase of power of personal computers that has carried with it an increase of the capabilities of computer products, and consequently also the complexity of their use.

Very basic programs such as word processors are conceived for its use by the most exigent professional of communications, but result on a product many times not usable by users that uniquely want to write or read a text. The fact is that these programs present a very extensive menu of tools and special functions, that in a big extend most of the users will never use. They allow to use an exaggerate amount of kind of characters and formats, many of them useless, and even unreadable, that difficult the use of the program. They also offer the possibility to incorporate other data, graphics or images with a complex variety of possibilities, sometimes even more than those the user may wish, but on the other hand the program does not admit any doubt or error.

Since there are not simpler versions with more reduced menus and more easily visible for older users, to those who usually have perception difficulties, the computer becomes a new communication barrier, in the same way that stairs constitute physical barriers to mobility.

The rejection to computers that this unnecessary complexity produces to an important sector of potential users, specially elder, probably will provoke the apparition of a new gamma of computer products, much more simplified, in the near future. These products, with a more rational and ergonomic design, based surely on a reduced number of more clearly visible graphical icons, would make them usable by a bigger number of people,

not only those with perception difficulties or the elder, but also to those who are interested in less professional computer products.

2.5. LEISURE

To attain a better quality of life it is also necessary to ensure to physically disabled the possibility to carry out leisure activities, both those that can be done statically and those more sportive or competitive that carry with them a physical activity.

The remote control of audio and video equipment already signifies an important possibility to enjoy a great cultural and recreative offer. The TV or computer screen also opens the possibility to use a very wide gamma of classical interactive games that can be utilized by users with diverse physical disabilities.

The practice of sports which require a physical activity is currently limited to paraplegic users and it is not possible for those with more severe problems. Paraplegic can use their operative arms to drive sport adapted wheelchairs in order to practice some sports such as, cycling (fig. 9), swimming, rowing or even flying with delta wings (fig. 10).



FIGURE 9. Bicycle adapted for paraplegic.

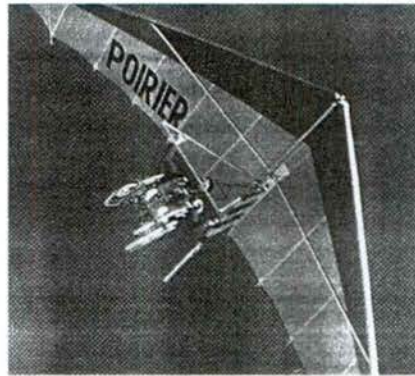


FIGURE 10. Possibility for a paraplegic to fly with delta wings.

3. PROSTHETIC DEVICES

It is also possible to endow a person own body with some determined aiding elements in order to increase his independence, facing the overcoming misfortune that restrict in some way his normal activity. These prosthetic devices can be external, to be able to replace the lack of a limb, or can be internally implanted, to attain the functional stimulation. Their development has been greatly favored by the general technological development.

3.1. ORTHOPEDIC PROSTHETIC ELEMENTS

Amputation constitutes a kind of physical disability that requires substitutive measures over the own body to enable the user recovering a certain independence. The development of orthopedic prosthesis has taken a lot of profit of the robotic advances, since robotics has enabled to manufacture prosthetic arms and legs increasingly effective.

Despite the progress of robotics in all its aspects, mechanics, microelectronics and the computing responsible for the prosthesis control, the motorized prosthetic elements still continue being rarely utilized, and even less those corresponding to inferior limbs. This is due to the fact that an accurate design of an orthopedic arm or leg as well as the development of more effective control units are not sufficient conditions to attain the user's acceptability. A cause of it is their high cost. Lower limb prosthesis (fig. 11), moreover, need excessively bulky and heavy energy sources. Due to these inconveniences the prosthesis generalized use is still far away.



FIGURE 11. Orthopedic leg with automatic controller.

3.2. IMPLANTED STIMULATORS

One of the prosthetic elements that first started to be implanted was the pacemaker. It is an electrical stimulator of the cardiac rhythm to foresee the heart insufficiencies. These stimulators have substantially evolved in the last years, improving their operativity from the generation of an uninterrupted and constant frequency to the control of an adaptative rhythm according to the stimulation needs. The energetic saving reached with this last operating mode, together with the lower consumption of new electronic technologies and the improvements on the electrical batteries, have also produced a notable decrease of their size and they can provide a much longer autonomy.

Microelectronics development has given way to other kind of electrical stimulators that can be activated at the user's will. This is the case of sphincter stimulation for urine or excrement's evacuation. Other electrical stimulators have a permanent actuation, some of them are those that inhibit pain or those that inhibit tremor to Parkinson patients.

It is expected that in the next years other kind of electrical stimulators will make possible to provide a satisfactory solution to other kind of needs raised from the necessity to get more independence in front of many pathologies or deficiencies.

Other aids developed are the implantable dosable devices used to dispense some drugs in a more regular way and without requiring any kind of operation from the user. This is the case of insulin dosing devices for diabetic patients.

4. TECHNOLOGICAL AIDS AND INDEPENDENCE

The impact of new technologies in the development of new aiding equipment for different kind of physical or sensorial disabilities has been appreciable in the last years. Many equipment oriented first to industry, for transport or for services, also turned out to be of great utility to solve specific problems of persons with some disabilities.

For instance, the development of mobile phones has had a great incidence in the increase of independence and security for any kind of people, since it enables also to disabled persons to maintain a computer intercommunication while they are moving around in wheelchairs outside their habitual environment. The geographic localizers, the GPS, are currently miniaturized, portable and economic enough that it is possible to be embedded in motorized wheelchairs. Thus, they facilitate the orientation and navigation in urban environments.

We can conclude then, that the conversion of many electronic equipment to consumption elements have very positive repercussions on in the possibilities to develop devices that make easy the adaptation of persons with physical disabilities to the labor field and at the same time facilitate the obtention of a higher independence at home.

In the following chapters the different kind of aids currently available for different kind of disabilities will be described in more detail. The main research open lines to keep on advancing in the field will also be explained.

5. BIBLIOGRAPHY

Actes de la International Conference on Rehabilitation Robotics. Keele University, United Kingdom, 1992.

Actes de la primera European Conference on Medical Robotics, ROBO-MED 94, Barcelona, 1994.

Actes del 8th World Congress of the International Rehabilitation Medicine Association, IRMA 97, Kyoto, Japan, 1997.

American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation.

DONATELLI, R.; WOODEN, M. [ed.]. *Orthopaedic Therapy*. New York: Churchill Livingstone, 1994.

Journal of Rehabilitation.

Journal of Rehabilitation Research and Development, Washington DC, USA: Department of Veterans Affairs.

IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering.

PORTELL, E. *Ayudas técnicas en la discapacidad física*. Barcelona: Fundació Institut Guttmann, 1996.

SCHERER, M. *Living in the State of Stuck: How Technology Impacts the Lives of People with Disabilities*. Cambridge, USA: Brookline Books, 1993.

MOBILITY AIDING SYSTEMS

*Rolf Dieter Schraft, Johannes Wagner
and Christoph Schaeffer**

ABSTRACT

The mobility of a person can be restricted by several barriers. Except for physical causes, difficulties in orientation or navigation can lead to immobility. To overcome such problems, several technical solutions exist. Recent progress makes new technological developments possible.

Special attention must be attributed to human-machine interfaces of mobility aiding devices, as the mobility of an impaired user depends on the individual capability to control an aide.

The idea of extending a pure mobility aiding system to a more complex personal aiding one may play an important role in future applications.

1. INTRODUCTION

Mobility in the sense of the ability to move around is an important factor for quality of life. It plays a critical role in order to satisfy our daily needs, have access to work or recreational activities and to meet our social requirements. Not only physically or mentally disabled persons have mobility problems. As an effect of the worldwide growth of the elderly population, it will become more and more necessary to develop devices to preserve the individual mobility of aging persons. This means that person's skills and capabilities should be supported and supplied and deficiencies should be balanced in a very individual way.

*IPA, Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart.

Today, a wide range of mechanical aids for impaired people have been generally accepted. Crutches, invalid walkers, mechanical or electrical wheelchairs, lifters, electrical beds, catapult chairs and stair lifts have been established as traditional means to improve personal mobility. The recent technological progress in the fields of micro electronics, sensors and robotics has led to increasing functionality and falling costs for high technology devices. By now, this development has only marginally influenced technical solutions for the needs of persons with disabilities and of older people.

For that reason, several international efforts have been made to improve the mobility of disabled and older people by means of new technological devices. One example is the TIDE (Technology Initiatives for Disabled and Elderly people) program of the European Union. It aims to promote research and technological development to meet social as well as industrial goals. The industrial aim is to improve the European industry and market in new products and services. From the social point of view, disabled and elderly people shall be enabled to «live autonomously and participate more fully in the social and economic life of the Community» (TIDE, 1995). Several other public and industrial activities with links to the TIDE program have been started during the last years (ESPRIT, SPRINT, etc.).

Different significant barriers to mobility can be specified. The most important cause for immobility is certainly physical disability. Various devices to improve individual physical mobility exist and are continuously optimized and further developed. The second part of the present chapter will deal with the state of the art and some new developments in the field of physical mobility support.

Less well recognized but also of high significance is the lack of mobility for reasons of difficulties in orientation and navigation or in getting necessary traveling information. Technical solutions to overcome such problems are the theme of the third part.

Another very important question is how an impaired user is able to handle and control a high technology mobility aiding device. This question of human-machine interfaces is treated in part four.

Certainly mobility in the narrow sense of the ability to move is essential for a person's autonomy and self-confidence. On the other hand, there is a wide range of actions that usually require physical mobility but that do not need the physical movement of a person if other helping devices are available. This approach leads to a more general understanding of mobility, where the person need not necessarily be mobile, but the person's environment is intelligent enough to perform certain tasks on its own. This way restrictions of personal physical mobility do not have to lead to a lower

quality of life. The idea of such integrated Elderly (or diseased) Care Systems (ECS) is described in the outlook (part five), along with a few other ideas of mobility aiding systems in a more general sense.

Sensitivity to human dignity and to the desire for independence are critical considerations in all fields of technical aids for impaired people. This is especially true if machines potentially replace human care or if they restrict a person's autonomy by automatically making decisions.

2. PHYSICAL MOBILITY SUPPORT

2.1. PERSONAL MOBILITY AIDING DEVICES

2.1.1. *Wheelchairs*

Wheelchair automation has already been a field of research for several decades. One early work is e. g. the voice-controlled wheelchair which was constructed by NASA's Jet Propulsion Laboratory in the seventies. Additionally a robotic arm is attached to the chair to provide handling capabilities to the user.

During the last years the progress in automation and robotics has led to a few prototypes of wheel chairs, which combine capabilities of automatic wayfinding, navigation in natural home environments, obstacle detection and avoidance, playing back or tracing back user commanded movements, etc. Different approaches have been used to achieve these functionalities, e. g. classical automation as known from industrial applications as well as behavior based algorithms.

A very interesting project is the highly manoeuvrable electrical wheelchair called *Omni* (H. Hoyer, 1995) which allows a three degree of freedom movement on the ground. It uses so-called mecanum-wheels to provide omnidirectional mobility. Another feature of this wheelchair is an elevating seat which allows the user to lift himself or herself up to almost the level of standing persons.

Although many projects deal with wheelchairs for indoor use, autonomous all terrain mobility is also a field of research. One example for such activities is the addition of automatic features to the wheelchair TGR Explorer. It provides mobility on regular surfaces by means of a wheel-based locomotion system as well as on stairs by means of tracks.

The combination of a wheelchair with an artificial robotic arm (fig. 1) seems very advantageous in order to achieve manipulation capabilities. Such an arm can be used everywhere the user is able to drive the wheel-

chair. The main problem in this case may not be a technical one, but the acceptance of the system, which depends on the agreement of the impaired person to allow the robotic arm to act within his or her personal sphere.

Certainly, the automation of personal technical support requires high sensitivity to human demands. In order to achieve acceptance it seems to be important that the user does not feel patronized by the system. Thus it is advantageous to provide different levels of automated functionality selectable by the user (Human machine interface).

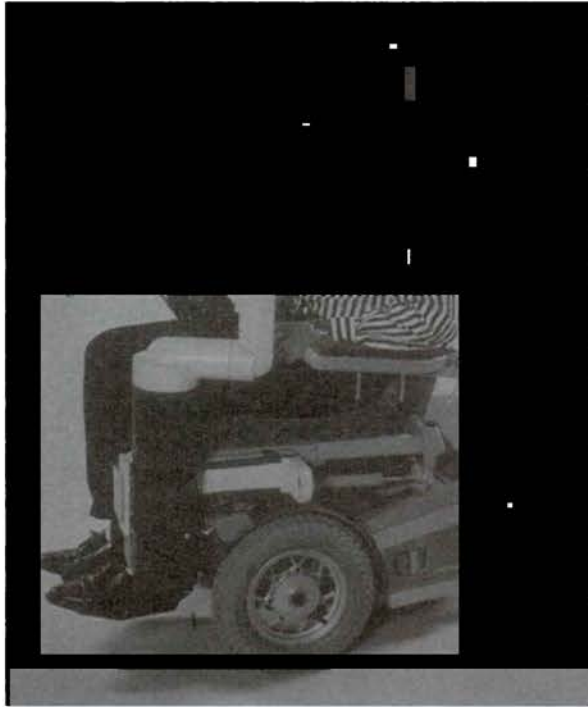


FIGURE 1. Wheelchair combined with the Manus robotic arm.

2.1.2. *Lift systems*

Another aspect of mobility is safely lifting and transferring individuals with partial or total paralysis, weakness or increased fragility due to age. Existing solutions are, for example, manually-pumped hydraulic pa-

tient hoists. Although these mechanical aids help to reduce the physical strain of hospital personnel while lifting and carrying patients, they seem not to be very attractive. The care personnel dislike them because of their operating conditions. On the other hand patients dislike the indignity involved in being carried on slings suspended from a hook. In addition, the existing equipment is not suitable for burns victims or anaesthetized patients.

One solution in this field could be a robotic arm that glides along the ceiling as proposed in K. G. Engelhardt, 1989. It could help to avoid back injuries and to increase job satisfaction of the care personnel and provide more independence for the patients. The same system could push a wheelchair, support walking exercises, or simply offer a helping «elbow» for ambulation to people, who are a bit shaky. Just as in the case of automatic wheelchairs, the acceptance seems to be higher if the manipulator arm is directed manually by the care giver or by the patient rather than automatically.

Especially for lifting and moving bed-ridden persons by means of a robotic manipulation aid, two other approaches have been taken P. A. Finlay, 1988 and E. Nakano, 1981. In both referred cases the patient is lifted by inserting the device between the lying person and the bed. This can be achieved without frictional resistance by thin sliding boards with belts. The stretcher on top of the robot has two joints and can move to set the patient into a seated or intermediate position.

The task of such a robotic handling aid is to maneuver patients with different injuries safely from and into various positions (e. g. from their bed), alter their position (e. g. from lying to sitting), transport them over different floor surfaces and finally deposit the patient onto another bed, chair or equivalent. As the described solutions are automatic or semi-automatic robots, safety aspects while handling a patient and while navigating through the environment play an important role. This implies extended use of sensors, rapid signal processing, and knowledge based algorithms.

The impact that such applications might have on the quality of health care service delivery is not clear yet. Another question is whether the costs associated with such a system can be justified, e. g. because it can increase the therapist's productivity so that he can serve more patients.

2.2. CAR TRANSPORTATION

Special mechanical constructions for operating a car are state of the art as well as mechanical aids for entering a car (e. g. the driver seat pivoted or

on a slide bar). Newer developments concern robotic arms that are used to load and unload a wheelchair automatically into and out of the car's trunk (M. Hägele 1996).

2.3. INTEGRATION OF SINGLE DEVICES

A complete integrated system to move a person within a regular home environment would be very desirable. Such a system could include a wheelchair, an universal manipulator system (that is, on the one hand, suitable for lifting a person from the bed or from the bathtub into his or her wheelchair, and on the other hand for raising heavy loads), a wheelchair carrier system for stairs, a mobile robot arm (on tracks or fixed on the wheelchair) together with other possible aids.

Several parts of this system already exist as described previously. The integration of all these subunits into a complete system is still far away from a satisfying solution. Basic problems are synchronizing single devices and providing consistent user interfaces (cf. the corresponding comments).

For highly automated robotic systems several other challenges arise that are not yet sufficiently solved. Some important fields of research are:

- *Person recognition*: in order to lift and transport a disabled person, his or her position must be recognized and evaluated. Dangerous situations or unnatural postures have to be detected and avoided.
- *Avoidance of object collision and identifying other sources of danger*: while transporting a person, it must be guaranteed that no other objects get into or move towards the personal security space.
- *Situation understanding*: an autonomous mobility aid needs to recognize deadlocks, for example caused by two moving objects blocking each other in a narrow hallway or a closed door.
- *Mission planning*.
- *Learning*.

3. ORIENTATION AND NAVIGATION

Once the user's mobility is assured, using any kind of automated wheelchair, it is necessary to have available the mobility control capabilities required to get the desired autonomy.

3.1. PERSONAL NAVIGATION SUPPORT

Many aids have been developed to support the navigation of blind people. The Japanese Meldog (S. Tachi, K. Komoriya, 1984) for example, provides guidance for blind people instead of a dog by following optical landmarks fastened on the road. Within the scope of the TIDE program (TIDE, 1994) several other projects aim to supply orientation and navigation support for visually impaired people. The Open project, as one example, provides acoustical navigation information, for blind people in metropolitan underground systems backed by a local positioning system. Two other projects (Asmonc, Mobic) deal with portable systems that make several information sources accessible to the user. Maps, timetables, telecommunication services, sensor information (GPS, ultrasonic, compass), navigation information, and other sources can be evaluated via a common user interface. This way the systems help the user regarding routing, finding locations, and communication (e. g. sending off help requests).

It is evident that for blind people a special support for information acquisition, communication and navigation in an unknown surrounding is very important because of the particular user interface they need. That handling requirements of traveling and navigation aids have to be adapted to the needs of people with other than visual impairments has yet been generally considered yet. Two examples shall be given here:

- Problems in controlling a communication device: lacking the ability to call for help in case of emergency restricts a person's potential mobility. Technical solutions for this problem exist, e. g. life sign supervision in combination with a mobile communication device.
- Insufficient access to traveling information (maps, public transport time-tables, etc.) leads to orientation problems. The solution to this problem is a question of communication interfaces (which is theme of the corresponding part of this chapter) together with the availability and presentation of information (also TIDE project Turtle).

3.2. ARTIFICIAL NAVIGATION

A lot of research is being done in the field of artificial navigation. Regarding personal mobility, the results are used in autonomous wheelchairs, personal assistant robots, or robots for handling patients.

Home environments are typically unstructured and consist of narrow paths. They change over time in an unknown manner and thus make robotic pathfinding and navigation difficult, because such environments do not

allow the calculation of the necessary motions precisely in advance. It can even be shown that apparently simple motion problems cannot be solved analytically in such an environment.

Industrial applications of autonomous robots usually require high accuracy and repeatability for a determined number of predefined actions. This classical automation approach has been tried in home environments as well. Anyway, it seems not to be very advantageous regarding the tasks that typically have to be performed in a human environment. Main problems are the lack of flexibility and the limitation to previously defined movements.

The basic requirements for robots in a human environment are:

- route teach in,
- execution of previously stored routes,
- retracing a manually driven track,
- obstacle detection, warning and avoidance,
- risk warning and assistance to the user in risk situations,
- motion planning in partially unknown environments.

To meet these requirements, reactive algorithms play a very important role. They serve to avoid collisions or other dangers and to manage unexpected situations as well as standard movements. Different levels of reactivity can be distinguished. The most direct reaction is achieved by reflexes. They are used in emergency situations and override higher tasks in order to ensure safety. More complex reactions are needed in case of changes in the environment, for example, when driving around obstacles (M. Hägele, 1996). The highest level of reactivity is used for overall path-planning. Frequently, one of the following methods is used for this purpose:

- Behavior based techniques, where a set of simple behaviors yield the overall action of the vehicle depending on environment information
- Optimization algorithms that calculate the best trajectory out of a choice of possible paths using sensor information, environment models and systematic search algorithms.

Behavior based methods usually define a set of simple actions, for example moving along a wall, moving towards an object, passing an object, passing a door, following a person, etc. For navigation these actions can be combined to complex maneuvers, also recursively.

Depending on environment perception, i. e. sensor information, and internal environment representations like maps and other environment models, a certain behavior results from the basic actions and their application rules.

This way capabilities like going through doorways, entering and exiting elevators, meeting and passing mobile objects in a narrow environment have been made possible. Tilt warning and evasion, as well as detecting and avoiding sudden steps, have been realized on several mobile experimental platforms, for example on wheelchairs and on assistant robots (E. Prassler, 1996). A main disadvantage of the behavior based approach is that the vehicle's trajectory cannot be predicted in advance.

A lot of work is put into the sensor equipment of autonomous robot systems. Typical sensors are:

- artificial landmark detection (magnetic, optical, electrical and other methods,
- local positioning system with active ultrasonic beacons,
- odometer,
- inclinometer,
- tactile sensors,
- sonar distance measurement,
- laser range finder system with active or passive beacons,
- optical distance measurement,
- structured light sensor,
- camera vision,
- global positioning system (GPS).

Because in typical «natural» home environments no special conditions can be assumed, position detection, navigation and obstacle recognition are rather troublesome. For example the properties of different floor types (carpet, tiles) make odometry very difficult. Individually shaped pieces of furniture (e. g. table edges) make high demands on obstacle avoidance.

Another field of research is the automatic danger estimation for road traffic situations at outdoor navigation. This implies localization of vehicles, estimation of their velocity and direction and finally the evaluation of the danger coming potential from the situation under consideration of traffic rules. The system can be used for autonomous wheelchairs or visually impaired guiding systems and it is able to cross an intersection without danger to the person (S. Kotani, H. Mori and M. Charkari, 1996). In this project, the second focus of interest is the evaluation of visual sign patterns in order to identify goals or sub-goals of the actual task. A goal can be a person to follow, a sub-goal may be a zebra-crossing, an entrance of a building or similar. The visual signals of the environment are evaluated by observing their two-dimensional power spectra and by comparing them with typical spectra of lane marks, vehicles or pedestrians and their change over time (rhythm, constancy, etc.). When the system is used for guidance of vis-

ually impaired people, it can also inform the person about landmarks for personal orientation. Digital maps as used in driver support systems for motor vehicles can be applied. In addition, sonar and tactile sensors are used for avoidance of obstacle collision.

4. HUMAN MACHINE INTERFACES (HMI)

The benefit, that a machine offers to its users is limited by the functionality that the machine is able to perform. Of similar importance, but often less considered, is the question of *how* to make the machine perform what the user demands. If the user is only partially able to operate the machine, its functionality is also limited by the capabilities of the user. This leads to the question of user interfaces.

While many objects of daily life (e. g. modern telephones with specialized functions) are already difficult to handle for a non-impaired average user, the problem of suitable human-machine interfaces (HMI) is still more difficult to solve for impaired persons.

A HMI has to provide the following functions:

- provide different options for system operation;
- possibly display these operating options to the user via an output device;
- activate system functions according to commands received via an input device;
- indicate information about the system, e. g. speed, battery power, etc., via the output device.

Regarding a mobility aiding system, an inability to handle and control the system leads to immobility. Thus, it is very important to provide an interface that is carefully adapted to the individual capabilities of elderly or impaired users of such a device. Hence a lot of research and development is being conducted in this field.

Special attention is paid to the question of how to tailor user's interface devices to the special physical and mental abilities of the users at a justifiable technical and financial expense. Several approaches have been taken to solve this problem:

- The standardization of technical interfaces allows exchangeability and expandability of HMI (one example is the M3S-protocol, which will be described later on).
- Development of open system architectures makes the integration of high level processing without modifications of the basic system possible.

- Special interface construction tools make the design of individual HMI faster and easier (e. g. TIDE project Access).
- High level of robustness and fault tolerance including user misuse (achieved e. g. by distributed intelligence) are goals of special HMI research and development (R. Chatila, P. Moutarlier and G. Giralt, 1995).
- New person-machine interaction modes make system operation easier. This includes automatic execution of sub-tasks, high level language interfaces, sharing of decision between machine and user, etc.
- Development of intelligent devices with own complex perceptive and cognitive capabilities progresses.

Especially for the last three points there is still a lot of researchers' work to be done, until satisfying applicable solutions are widely available.

According to the trend of combining single devices to integrated aiding systems, a similar tendency can be observed in the field of human machine interfaces. Different applications, that used to be operated separately by now, become integrated under the control of one user interface. This way, for example, a wheelchair, a communication and information system and several house environment devices can be operated by one single input/output device. This approach is advantageous as it reduces costs for system assessment, adaptation, training and maintenance. Open system architectures allow the integration of additional devices at any time.

4.1. TECHNICAL ASPECTS OF A HMI

The M3S (Multiple Master Multiple Slave) communication protocol is a technical interface which allows the easy construction of modular control systems. It aims to empower disabled and elderly people for controlling mobility aiding devices and other assistant systems by means of a safe, integrated technical solution, that is easy to operate and simple to configure. In the following, the M3S communication protocol will be described as one example for the technical aspects of a human-machine interface for a mobility aiding system.

As mentioned before, today a wide range of devices exist to support disabled people to increase their autonomy. Until now the use of these devices implies several disadvantages:

- The user has to acquire the operation of different human-machine interfaces.
- He/she must accept the use (and the payment) of products with overlapping functionality.

- It is difficult to synthesize an individual optimum configuration of autonomy aids, because often there is no satisfactory technical solution to combine single devices.

The M3S protocol was designed to overcome these insufficiencies. It permits the combination of individual human-machine interfaces and automatic controls with different end-effectors.

From the technical point of view the protocol is a general purpose interface method that can handle different types of input devices (keypads, head pointers, joysticks, etc.) and different kinds of end-effectors (wheelchairs, manipulators, communication aids, etc.). The M3S interface also allows the integration of an automatic control or a system for autonomous navigation. Various devices can now be joined to an individual aiding system. In particular it is possible to use one single input device to control a range of needed equipment.

The basic elements of the M3S interface are:

- A hardware architecture consisting of a CAN bus system, a power distribution system, a safety system, and a standard connector and device identification system.
- A bus communication protocol.
- A configuration editor (V. Genovese *et al.*, 1995).

Different projects aim to improve the M3S bus to achieve standardized and inexpensive elements as well as intelligent expansions. These endeavors include several developments in the fields of human-machine interfaces, automatic controls, chip technology and software. The TIDE project Focus is one example for these efforts.

4.2. PERSON-MACHINE INTERACTION

As mentioned before, many research projects aim to support impaired users by technical aids that provide a high grade of automation. As an advantage of this approach, on the one hand, an automated device may be able to fulfill rather complex tasks. Because people with restricted physical capabilities have special problems in handling a control device, these tasks would perhaps be difficult to perform under the user's control. On the other hand, in many situations the high grade of automation demands to obey the machine, which leads to acceptance problems.

Thus, the question of useful interaction modes arises, in addition to the classical problem of motion control, what has to be solved when developing a mobility aiding device. One solution for this conflict has been pro-

posed in R. Chatila, P. Moutarlier and G. Giralt, 1995. It is called the concept of co-autonomy. Other ideas can be found in H. Hoyer, 1995. Instead of total user control or total machine control, an interplay of decisional levels between the machine and the user can be established. Possible aspects of this concept are:

- Automatic coordinate transformation: the user can control a motor-driven wheelchair directly in floor coordinates, which is easier than controlling it in joint space. In this case, the machine obeys the user totally. Additionally, handling is made easier by providing a smart interface.
- Filtering of spurious actions: the machine stabilizes, for example, when the user shivers. The whole control remains at the user.
- Sensor supervision: integration of basic sensor systems, for example, in order to avoid collisions or tilt and to make safe movements. In this case, the machine obeys the user, but takes over control for security reasons, issues warnings and explains decisions if necessary.
- Sensor support: the user gives the general direction of a movement, while the machine adapts its movement to the environment (following a wall or crossing a door). The user and the machine share some degrees of freedom. The machine obeys the user, but interprets the input in a special way.
- Sensor guidance: playback (repetition of previous movements) or trace-back (inversion of previous movements) of recorded paths. In this case, the user only influences one degree of freedom (for example the speed of the wheelchair), while the machine controls the quality of the movement and possible security aspects.
- Situation based or task based control in order to perform complex maneuvers or tasks. The user triggers a maneuver (and is able to interrupt it at any time), which is executed automatically by the machine on its own, without any additional user commands.

Especially for task based control, as just described, a rather detailed mode of instruction is necessary, in order to make the machine perform the desired task. Hence a lot of research endeavor is spent on task level control of robots. Prior scopes are language understanding and interpretation, understanding of human conceptions, task understanding and decision. Additionally, for the execution of task-level commands like «go to the kitchen», «drive me down the hallway» or «enter the room to the left», the machine needs complex capabilities in perception, cognition and action.

The today's state of the art leaves a lot of these questions open. It has been proved by several examples, that simple dialogues describing well de-

finer concepts and objects are possible, e. g. Difficulties arise with more abstract ideas, that are typical for commands and actions in a «natural» home environment. Nearly the same is true for object recognition: the identification of simple objects, even at an unknown position, is possible. Problems occur if complex or mistakable objects have to be detected or even searched. At last, the problem of object handling may arrive, for which standard solutions in the field of industrial applications exist. For the variety of objects occurring in a home environment, the actual state of the art seems to be far from a satisfactory solution.

Regarding the possible capabilities of existent robotic devices and the requirements implied by the simple command «fetch my glasses from the kitchen», from today's point of view, a lot of work has to be spent on the problems of language interpretation, object recognition and object handling.

5. PERSPECTIVES

As mentioned before, a trend towards further integration of support systems can be observed. The goal of the latest efforts is the automation of personal home environments.

Especially for older people, an intelligent environment could reduce physical effort and increase personal independence and mobility. This way, it may even become possible to maintain a person's living in his or her home environment, instead of moving to a home for the aged. From today's point of view, such an Elderly Care Home System may consist of:

- a mobility aiding system;
- a personal robot (Elderly Care Robot, ECR);
- an integrated user interface that also provides a range of communication possibilities (video phone, elderly people network access, day time manager, etc.);
- an intelligent peripheral house environment;
- a data link to external supervision posts.

Figure 2 shows the vision of an Elderly Care Home System from the technical point of view.

Several aspects of mobility aiding systems and human-machine interfaces have already been discussed in detail. Another key element of an Elderly Care Home System, that has not been mentioned by now, is the Elderly Care Robot (ECR). Main tasks of the ECR are:

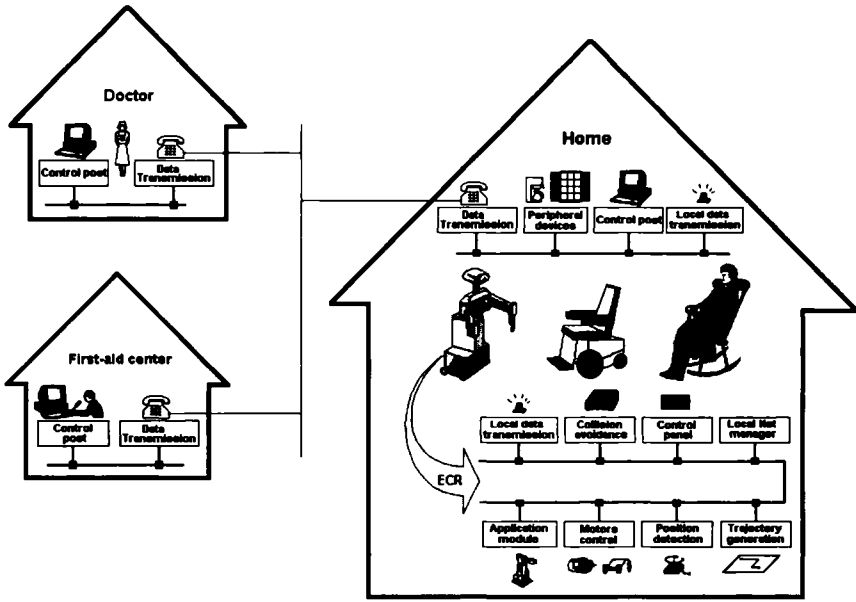


FIGURE 2. Vision of an Elderly Care Home System.

- mobility support
- transport
- domestic activities
- communication
- house management
- supervision.

For the ECR similar requirements are valid, as mentioned before for mobility aiding devices: flexibility, expandability and reliability. Besides, the robot must provide the user interfaces and interaction modes, that are easy to understand. A possible form of an ECR is exemplarily shown in figure 3.

Another important aspect of the Elderly Care Home System is personal supervision and security. This includes the observation of the person's vital and mental signs, recognition of their absence and sending emergency calls to an exterior station, via a data link, in case of danger.

This way, the idea of a pure mobility aiding system can be expanded to the vision of a more complex personal aiding system. Especially in the field

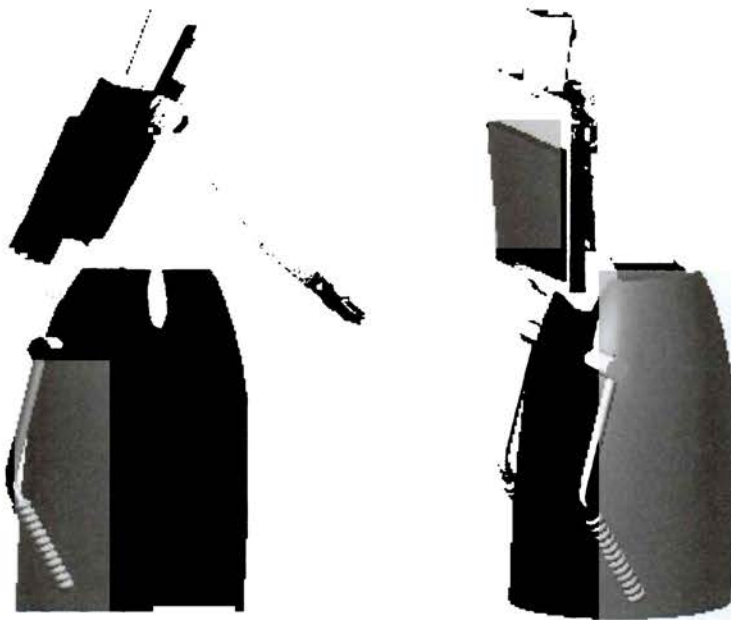


FIGURE 3. Vision of an Elderly Care Robot: *a*) as a manipulation aid, and *b*) as a communication aid.

of personal robots, a lot of research and development work still has to be done.

6. DISCUSSION

Although high technology has important effects on our daily life, there have not been many consequences in the field of support or rehabilitation for impaired people. This may be due to technological reasons, but questions of economic effectiveness, social acceptance, human dignity and human needs have to be considered as well.

The further development of personal aiding systems for the impaired will strongly depend on how these factors will be taken into account.

7. BIBLIOGRAPHY

- CHATILA, R.; MOUTARLIER, P.; GIRALT, G. «Personal Robots to assist the impaired and the aging». *WS IARP, Robotics for the Service Industries* [Sydney, Australia] (1995), p. 21-28.
- ENGELHARDT, K. G. «An Overview of Health and Human Service Robotics». *Robotics and Autonomous Systems* [Elsevier Science B. V.], vol. 5 (1989), p. 205-226.
- EUROPEAN COMMISSION [ed.]. *Technology initiative for disabled and elderly people. Bridge phase-synopses*. Brussels: Commission of the European Community, DG XIII, 1994.
- FINLAY, P. A.; PAM. «A Robotic Solution To Patient Handling». *Industrial Robot* [Bradford: MCB University Press], vol. 19, no. 3 (1992), p. 13-15.
- GENOVESE, V. [et al.]. «An integrated pilot system to increase the autonomy of disabled and elderly people in mobility and manipulation». *Proc. RESNA 95* [Vancouver, Canada] (1995).
- HÄGELE, M. «Anforderungen an Schlüsselkomponenten marktgerechter Serviceroboteranwendungen». *Innovative Technologien für Dienstleistungen* [Stuttgart: Fraunhofer IPA-Technologie-Forum], 2 (1996).
- HOYER, H. «The Omni wheelchair Service Robot». *An International Journal* [Bradford: MCB University Press], vol. 1, no. 1 (1995), p. 26-29.
- KOTANI, S.; MORI, H.; CHARKARI, M. «Danger Estimation of the Robotic Travel Aid (RoTa) at intersection». *Robotics and Autonomous Systems* [Elsevier Science B. V.], vol. 18 (1989), p. 235 & ff.
- NAKANO, E. [et al.]. «First Approach to the development of the patient care robot». *Proc. 11th ISIR* (1981), p. 87-94.
- PRASSLER, E. [et al.]. «Mobile Robots in office logistics». *Proc. 27th ISIR*, [Milan] (1996), p. 153-159.
- SCHRAFT, R. D.; VOLZ, H. «Serviceroboter». In: *Innovative Technik in Dienstleistung und Versorgung*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 1996.
- TACHI, S.; KOMORIYA, K. «Guide Dog Robot». In: HANAFUSA, H.; INOUE, H. [ed.]. *Robotic Research: The second int. Symposium*. Cambridge: The MIT Press, 1984, p. 333-340.

ASSISTANT ROBOTICS

*Alicia Casals**

1. INTRODUCTION

Robots, such as the origin of the name reflexes, robot, a servant in Czech language, have been conceived with the aim to set man free from hard, bulky, repetitive and dangerous tasks. In a similar direction and synchronizing with the use of technology as a support tool in rehabilitation, as already seen in previous chapters, robots can constitute an aiding element to help those persons that can not use, or can not control enough their own arms and/or hands.

The industrial environment, origin of the first robots, is characterized by being conveniently structured and the tasks to be carried out are, in general, very repetitive. Instead, the fulfillment of the basic tasks, necessary for a disabled person to evolve himself autonomously in his daily life, imply to operate in environments not so easily structurable and the tasks to be performed require generally a high degree of dexterity.

The operations to be carried out daily are many and varied, some of them are too complex so as to be performed by current existing robots. Tasks such as opening cans, unsealing bottles... are very difficult to program and control, even they are relatively simply done by humans. Thus, nowadays we can not think on having a domestic robot able to help a person with severe disabilities to perform any kind of operation in its daily life. But, on the other hand, it is possible to use robots oriented to perform a limited number of basic functions to provide a certain level of autonomy to people with great disabilities. Other actions, such as environment control can be solved instead more efficiently utilizing other specific devices that are becoming more and more used.

*Dep. Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial (ESAI), Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya.

As a consequence of the great diversity of tasks to be carried out, the main problems of assistant robotics lie on the difficulty to program in an intelligent enough manner a great number of different tasks, in an environment that can not be rigidly defined a priori, neither it is invariant with time. Safety is another differential factor of the application of robotics in the domestic environment. While in the industrial environments robots use to be isolated from the areas occupied by workers, the assistant robots must work often very close to the user, and even in direct contact with him, for instance performing tasks such as to wipe sweat, or scratch him. Prosthesis and orthosis, furthermore, are embedded in the user's own body.

The first realizations done in the field of assistant robotics, came from the use of industrial robots, adapting robots to their new use, specially in what refers to safety. The embodiment of force sensors in the arm and other environment perception systems allow to detect collisions and risk situations, so as to activate control strategies developed to move back the robot displacement and correct its actuation. With time, the specific needs in the assistant field have lead, in the same way that have occurred in other robotics application areas, to design specific mechanical structures oriented to concrete applications, and to develop control units, interfaces and programming languages more adequate for their use in this application field.

In the direction of evolution of technical aids designed and built to improve the quality of life of their users, the goal of assistant robotics is to enable the increase of autonomy to persons with difficulties or with impossibility to manipulate objects in their environment. This thematic has been faced up in many works, finding wide diffusion in conferences and periodic meetings such as TIDE (Conference tied to the European Program: Technologies for the Integration of Disabled and Elder), ECART (European Conference on Advanced Rehabilitation Technology), ICCOR (International Conference on Rehabilitation Robotics) among others.

2. ROBOTS AS AN EXTERNAL AID. MAN-ROBOT ANALOGY

Due to the confluence on robotics of: perception, reasoning, decision and action, robotics can provide support to many diverse incapacity problems. That's why we can observe the analogy man-robot from the functional point of view analyzing the different constitutive parts of man and robot: brain-computer; body-mechanical-structure; muscles-actuators; senses-sensors and artificial perception systems. It is possible to build a wide variety of assistant aids either being in a global way, that means, using a complex robotic system, or only having available some simple mechani-

cal devices, automatic or teleoperated devices and computer equipment.

Unfortunately, the efficiency of current technological aids, robotic and perception systems, are much less than the possibilities of the human body and for this reason we can see manipulator robots as limited aids. Concretely, the human body contains six-hundred muscular actuators that operate in unconscious way by the person, at the cerebellum level. On the other hand, skin is not uniquely a body and skeleton cover, but also constitutes a sensations transducer: position, temperature, pressure, pain... Consequently, the human body can be defined as a biological machine of great complexity and efficiency in what refers to mechanics, perception and control (Rabischong, 1977).

With current technology and the limited intelligence capability of current aiding systems, robots, even though they can be elements of great value, are still far to solve the huge problems of persons with physical and sensorial disabilities, but on the other side, they can provide functional solutions of great interest to increase personal autonomy in a given kind of environment and application circumstances.

With this goal, the developments carried out in the robotics field can be classified in two big groups, as tools for rehabilitation, that receive the generic name of telethesis. The first group, that has its origins in the sixties, is constituted by the orthetic and prosthetic elements, that are embodied on the user's own body, being addressed either to provide mobility to an paralyzed limb, or to substitute it in case of amputation. The second group is constituted by the properly named assistant robots, which actuate as a user external aid to perform actions that he or she can not do by him or herself.

3. FUNCTIONAL REQUIREMENTS

Assistant robots find their application field both in the domestic environment, to provide the user with certain autonomy in his daily life, and also in the labor environment, thus facilitating the integration of a person with disabilities in the labor world.

A first level of autonomy a robot can offer is its capability to grasp small objects in the user's environment. This and other manipulation tasks have to be performed in close proximity to the user or in his very close environment. In the first case, the tasks usually needed are: feeding and drinking, wiping the lips or sweat, satisfying certain needs such as scratching or removing the hair from the eyes, or also grooming and cleaning oneself. Some operations for environment objects manipulation can be: to grasp and approach objects or to turn the pages of a book.

In a second level we can mention tasks that force the robot to move around wider environments, much far away from the user. It would be really useful that the robot could reach up to drawers and cupboards and access to adapted store and retrieval elements or that could access to electrical appliances such as the microwaves or the refrigerator.

For people with computer interaction capabilities in the labor environment, the robot constitutes a further step to his autonomy since it can manipulate documents, diskettes..., thus avoiding a dependence from others to carry out a complete task.

The different kind of needs and the diversity of control capabilities of users has lead to the existence of two basic conceptions in what refers to robot control: the assistant robot and the robot as an extension of the body actuation possibilities. In the first category, the assistant robot can carry out automatically some previously preprogrammed operations, according to the user's commands. In the second one, the robot behaves as an extension of the users capabilities, in this case the user controls independently every degree-of-freedom to perform the desired movements and actions. In both cases, it is necessary to have available some kind of interface adapted to the users possibilities and that is simple and efficient enough to guaranty the system operativity.

A further step towards the increase of user's autonomy is the installation of a mobile base robot able to move all around the environment. In the domestic environment the user could then have access to the different rooms, and in the labor environment to the different workstations. With this structure, the mobile robot is also a useful tool of interest in hospitals.

4. KINDS OF ASSISTANT ROBOTS

The user's needs together with the impossibility to build a robot able to perform any function that substitute those functions the user can not do due to his incapability, has lead to develop different kind of robotic systems, designed according to their concrete pursued end. For this reason, there exist different kind of robots that can be classified in the following categories:

- Prosthetic and orthetic devices.
- Robots specialized for a concrete application.
- More generic stand alone robots, installed close to the user.
- Robots mounted on wheelchairs.
- Mobile base robots.

A common characteristic to all of them is the definition of three basic design conditions. On the one hand, there are the aesthetic aspects, requirement totally necessary to avoid the user's rejection to be helped by a machine. On the other hand the aspects relative to safety have to be considered to avoid any user's risks, further, naturally, to the attainment of the necessary reaching to efficiently operate in the area of interest and with the highest reliability. And, third, it is also necessary to provide its friendliness, that means, to have available an interface and some commands that are easy to control.

4.1. PROSTHETIC AND ORTHETIC ELEMENTS

The evolution in the development of automated mechanisms and the firsts achievements in robotics, in which the robot is an articulated mechanical structure, opened the way to the development of similar mechanisms oriented to constitute aids for persons with disabilities. The construction of prosthesis and orthosis for the superior limbs, arms and hands, were notable in the seventies, having already attained by those dates remarkable performances (IFTToMM, 1978).

Further to the own mechanical structure that constitutes the prosthetic and orthetic devices, the way how these elements will be controlled must be considered. When the physical deficiency does not come from the brain, but comes from a muscular atrophy or a recent amputation, it can be feasible to control the artificial limb joints through the own myoelectric signals, those that the brain generates to activate the corresponding muscle in a healthy persons. The myoelectric signals are acquired and amplified to activate the different actuators. Figure 1 shows the functioning schema of an orthosis controlled by these signals.

The difficulties to identify the different myoelectric signals that produce the movements of all the muscles and body joints, as well as the difficulty the user has to learn to control them after an injury or an illness, reduces the controllable degrees of freedom and consequently the available ability to efficiently control prosthesis with similar performances to those of the substituted limbs.

Research in this field is oriented towards the improvement of transmission of biological signals to electronic and control circuits, the development of more intelligent control systems and to be able to attain more reduced and noiseless motors, with the aim to contribute to increase these prosthesis operativity and at the same time to bound their complexity and cost.

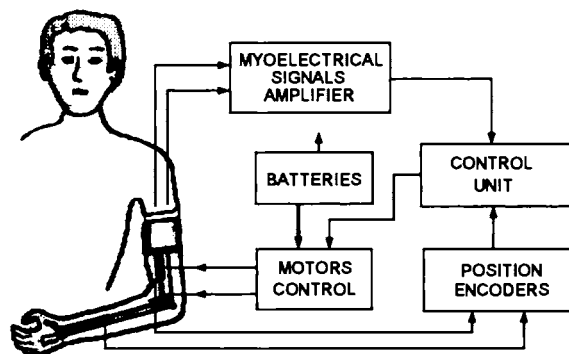


FIGURE 1. Functioning schema of an orthosis controlled by myoelectric signals.

A bigger limitation appears when the user's deficiency is not in the own affected limbs but either in the brain, that can not generate the myoelectric signal, or in the spinal cord for its transmissions to the muscles. In these cases, the orders to send will have to be generated through specific interfaces adapted to the user's abilities: push buttons activated by the beard movements, head, hands; or by actions such as blow and suck...; or computer interfaces such as a mouse or a keyboard, when the user still has some remaining mobility with enough control. The difficulty to generate multiple movements in this way, and further to coordinate them, to produce the desired movement constitutes evidently a new limitation.

For these reasons the application of robotics in the development of prosthetic and orthetic elements, even though it created great expectations, has not evolved as much as it was initially foreseen. Let's imagine only the difficulty to explicitly give orders to move one by one all the joints of a hand to perform a given movement or actuation. This difficulty is much higher than the construction of the own mechanical device, and is the one that more limits the level of dexterity of existing prosthetic and orthetic elements.

Aesthetics is also essential for such devices in order to attain their acceptability. For this reason the performances of prosthesis are subdued to their external appearance. The Waseda hand (1985), constructed at Waseda University in Tokyo, and shown in figure 2, is an example of this conditioning. The mechanical structure of this hand is covered with a sheath similar to human skin and its only functions are to open and close. The experience

has demonstrated that its aspect together with the aid that such relatively simple element provides to the user, even considering the limited operativity of this artificial member, make it more acceptable than other more complex structures, with a less human aspect and with a much more complicated control. For these reasons, most of the commercially available prosthetic hands have only this limited functionality and an anthropomorphic shape, although they have a very little adaptability to be able to grasp parts with complex geometry.



FIGURE 2. Hand with human aspect from Waseda University.

The pass from this kind of hand to more dexterous ones, such as the *Sams* hand (Southampton Adaptive Manipulation Schema, 1994), implies some control requirements that forces to have a hierarchical structure that separates the intelligent control of movements ordered by the user, from the direct control of each one of the actuators involved in the execution of the desired movement. *Sams* allow already to move independently the forefinger, the thumb and the rest of fingers, thus attaining different hand configurations adequate for different kind of grasping. The user gives the high level orders and a microcomputer, using also the information provided by force and sliding sensors, controls and supervises the programmed grasping or actions (Kyeberd, 1994).

To activate these kind of prosthetic elements, hands and arms, two different ways have been followed. First, the utilization of the user's own movements, those of the waist, back or shoulders, which are transmitted to the

prosthetic element through connecting rods, wires or harness. The other alternative consists on the use of motors, solution that does not require any effort from the user, but that need to have available the adequate source of energy as well as the adequate interfaces to be able to perform its control.

Physical disabilities such as muscular dystrophy, that produces the muscle loose of force but does not condition other user's capabilities to perform different functions, requires a kind of rehabilitation where an orthetic element, such as an exoskeleton, supports the efforts that a limb, such as the arm can not carry out, due to the fact that the user can not hold, not even, its own weight. In this case, teleoperation can be the right solution, being necessary to determine the best way to interact with the user, according to his remaining capabilities. The exoskeleton that covers the user arm can be controlled by the orders generated by himself, with a compensation of the arm weight and thus enabling to appreciably recover its movement (Harwin and Rahman, 1996).

The construction of lower limbs presents much more severe limitations than those already indicated for the upper limb prosthesis, since these structures must support the whole body weight and move adequately to maintain the balancing in an autonomous way, so as to not require a user direct attention.

4.2. ROBOTS SPECIALIZED FOR AN APPLICATION

Probably, the most significant robot of this class is *Handy*, an articulated arm mounted over a table type support, designed and built at the University of Staffordshire (1991) in UK and commercialized by Rehab. Robotics Ltd. It consists of a very simple arm that has a spoon as the end-effector or hand, a support to place a tray with food and a glass. The control is based on the activation of the robot in order to approach the spoon to the user's mouth, at the desired moment, after having fulfilled it. The mouth position has been previously programmed. The actuation interval is controllable by the user by means of an interface that can be specific, in order to be adapted to the user's residual motion capabilities. Another activation order produces the movement of the glass towards the mouth and bends it in order the user can drink. *Handy*, shown in figure 3, is a commercial product that has shown already its operativity for this application.

The goal of this robot is not to avoid the need of a person to assist the disabled user, but to enable him, once the food and drink are served, to eat and drink at his rhythm and autonomously. This solution allows, on the one hand, to assist the user to be autonomous carrying out this function,

and on the other hand, to avoid fatigue and the trouble the continuous assistance supposes, in requiring a high mutual understanding between the patient and the assistant and that can produce tensions between them.



FIGURE 3. The robotic arm Handy, specialized in feeding.

Besides this application, for which the system has available a special tray designed to place and distribute food, including a heater to keep the food at the desired temperature, Handy can offer other services such as personal cleaning, shaving and making up. For each application the robot has a specific tray adapted to the needs of the operations to be performed and it is previously programmed according to each individual preferences.

The experience of some users evidences its usefulness, not to become independent, since the user needs someone to provide the corresponding tray and to program the task at the user's will, but to become autonomous in the execution of these concrete operations. Its use has shown that the arm is not only useful by the fact of not requiring a permanent assistance of a person for this concrete application, but to stimulate the user to live together in a more «normal» environment and as a therapy in rehabilitation, not only physical but also mental. The arm aids to motivate the user to do some efforts and training to execute some tasks autonomously.

The specificity of this kind of arm, programmed for each application, makes its control simpler to the user.

4.3. STAND-ALONE ASSISTANT ROBOTS

Other robots have been conceived to approach and manipulate a more varied kind of close objects to people with different levels of motion incapability. The robot *Tou* has been built with an structure constituted of foam rubber modular elements to avoid risks of operating in continuous

contact with the user. The arm has been developed at the Politechnical University of Catalonia (1993), to provide tetraplegic persons with a certain autonomy to manipulate objects (Casals, 1994). The desired movement of the arm is attained controlling the degree of deformation of each one of its deformable modules, by means of wires activated by motors placed at the robot base. With the aim to be operated by users with high severe disabilities and with different kind of possibilities to interact with the environment, the system is foreseen to be adaptable to different kind of interfaces, such as, voice communication systems, joystick or keyboards adapted so as to be operated without ability and dexterity (fig. 4). The robot experimentation, both in the laboratory and in a rehabilitation center with different kind of users (fig. 5) has shown its utility as a tool that enables the user to attain certain autonomy, from very simple orders.

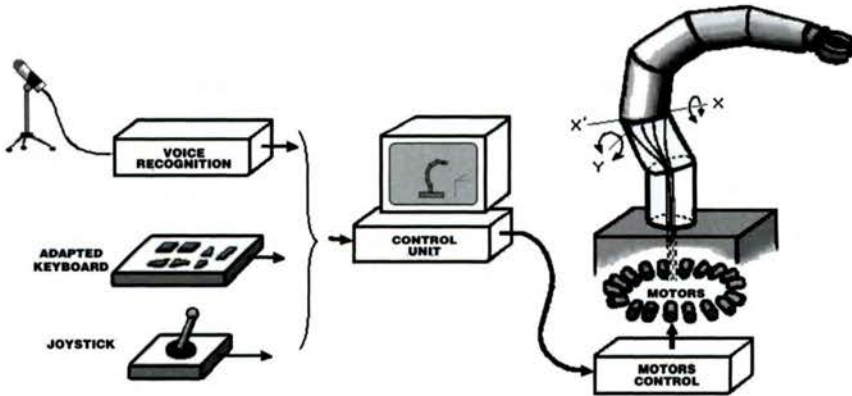


FIGURE 4. Structure of the robot Tou and its interface.



FIGURE 5. The robot 'Tou feeding a disabled.

The orders to execute basic movements of the type: up-down, right-left, approach-go, and take-release, allow to place the hand at the desired location and to grasp and release objects or to perform simple operations such as: remove the hair from the eyes, to scratch oneself... To facilitate its use, it is possible to preprogram some repetitive tasks that can be repeated afterwards from simple orders, without the need to explicitly guide the robot.

In this same line we find *Isac*, name used to define an Intelligent Soft Arm Control. Built at the University of Vanderbilt and manufactured in Japan (1993), this arm has some rubber tubs that are pneumatically inflated, thus regulating the length of the different constitutive elements and enabling, in this way, to control the hand position. *Isac* has available some safety measures to retreat itself, when detects a sudden movement close to the user or a collision.

To avoid the need to explicitly guide the arm towards the object to manipulate, *Tou* and *Isac* are endowed with a vision system that detects the different objects on the table, and provides the control unit with the position data to be able to automatically perform the operations of approaching, grasping and manipulation.

4.4. ROBOTS MOUNTED ON WHEELCHAIRS

The possibility to mount the robot on a wheelchair provides the user the possibility to utilize it in any position of the environment where he moves and can thus manipulate objects in a wider environment. But the weight and volume occupied on the wheelchair imposes certain constraints to access to more reduced environments and to its autonomy.

Manus is a commercial robot that offers these performances (fig. 6) and has become the leader in Europe in its ambit. *Manus* was built in The Netherlands by the research group of TNO (1991) and put on the market in 1992. It has been designed to operate in an environment as large as possible without increasing too much its volume. The mechanical design requirements are, on the one hand, its compactness, the robot is foldable in order not to difficult the user's mobility while not in use, and on the other hand its reachability. Its cylindrical and telescopic structure enables it to reach objects from the floor, besides to perform its main function that is to manipulate objects in its environment.

The robot is controlled by an input device, usually a joystick, controlled by the user with the limited movements of his hand. The joystick, together with a small keyboard for options selection, constitutes the same device used to guide the chair.



FIGURE 6. The commercial robot Manus.

The high cost and its limitations that do not enable the arm to cover all the user's expectations restrict its generalized use. But, in spite of that, there are currently more than forty units operating in different countries, showing a good acceptance index. The scattering of these robots around Europe and other countries in the world, as well as the diversity of disabled people using it have created a good experience about it, and from Manus user's group, a good evaluation of its performances has been done.

Inventaid is another prototype of robot mounted on a wheelchair (1992), developed by the Papworth group. This robot is based on the Flexator, a pneumatic actuator that acts as a muscle. It can be considered as an extension robot, since it is not computer controlled but operated directly muscle by muscle by the user through push buttons or a joystick. It can not generate trajectories automatically. Thus, the control is carried out by the user from the intelligent level up to each movement detail. The difficulty for the user that this control carries with it is not so bad, since due to the arm anthropomorphic structure the movements to do are very intuitive and the experience has shown that the necessary training time to move it efficiently is short. Flexator is a compressed air actuated device, that is why the chair itself is endowed with a compressor fed by its own battery.

The existence of robots with such joint direct control solution shows the still important computer limitations to program functions intelligent

enough, so that they can be suitable to perform the variety of tasks expected from these aiding devices.

The Inventaid's structure holds weights up to 4 kg to manipulate objects and perform tasks such as doors opening. At the same time, it is sensitive and accurate enough so as to approach a cup to the mouth and give the drink. The own arm's compliance, consequence of the pneumatic technology utilized, reduces the efforts to do, fact that on the other hand makes the arm more adequate, due to its safety, to operate close to persons.

Mounted on the wheelchair and also considered as an extension of the motion faculties of the user, *Magpie* (1994) is a manipulator that can perform tasks such as feeding, controlled by the own user from the movements of another body part, or as shown in figure 7 by the foot, using mechanical transmissions. *Magpie* has been developed by the Oxford Orthopedic Engineering and Nulfield Orthopedic Center in cooperation.



FIGURE 7. *Magpie* mounted on a wheelchair.

4.5. MOBILE BASE ROBOTS

With the aim to extend the robot operation zone without increasing its size, it can be installed over guides to move on a given environment. In this line and with the goal to integrate to labor persons with severe motion deficiencies in the arms to, other projects such as *Raid* or *Devar* have been developed. These robots and robotized work environments have been built on the frame of an European and American respectively coordinated projects.

Raid is a computer workstation that besides the interfaces and software packages oriented to make possible the computer interaction to a tetraplegic user, has the support of a robot that approaches objects and performs other tasks such as: to store documents, to turn on pages of a book, to charge a disquette... The robot moves along a vertical and horizontal structure to reach the points of interest within the work environment. The system is controlled by the user through a joystick that is on the other side used to operate the computer and to drive the wheelchair. Through a menu on the screen, the user can control a great number of elements and to perform many different operations to develop his tasks (Fig. 8). This work is the result of a coordinated European project (1992-1996) within TIDE and coordinated by Armstrong Ltd (UK). The project started from other previous experiences such as the French robot Master developed by CEA (Commissariat de l'Énergie Atomique) and from RTX of Oxim (Oxford Intelligent Machines), an English robot that has been adapted from other assistant applications and with some new modifications constitutes the robot of the *Raid* workstation.

The project has produced several prototypes which have evolved continuously to improve its effectiveness. Currently there are already ten workstations available, thus the workstation has been tested by a representative number of users showing its level of functionality.

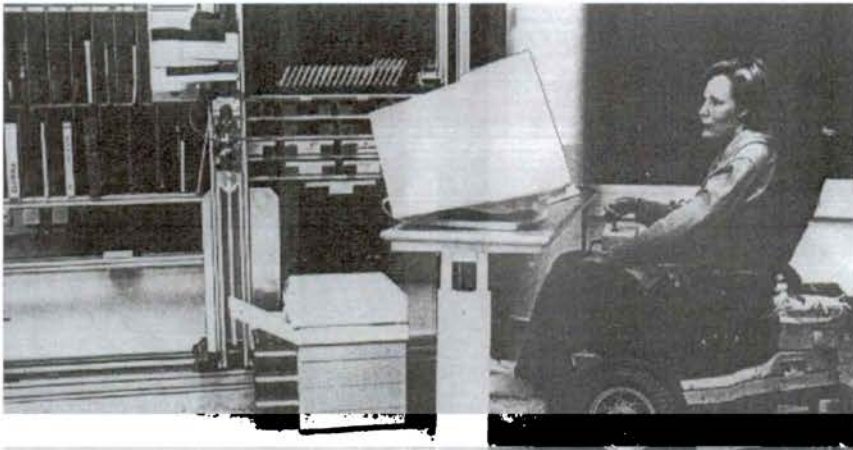


FIGURE 8. *Raid*, robotic system for the integration of persons with motion disabilities to work.

With the same aim was built *Devar*, in the Veterans Administration Medical Center together with Stanford University (California). The first prototype is dated from 1986 and has been in continuous progress since

then. Figure 9 shows the 1995 prototype, based on an industrial robot adapted for this application. The name Devar comes from its own definition: Desktop Vocational Assistant Robot. On the way to its commercialization a new project has started *Provar*, which aim is to reduce the ratio cost/functionality of the robot, to facilitate its environment and increase its reliability. The new workstation is based on the Puma 260 robot and the Otto Book gripper. The controller is connected to a computer via Internet and uses a simplified programming language based on icons. The system has different interface devices such as phone, fax, voice analysis and synthesis, environment control and specific devices actuated by a reed, the beard or other means.

Even having the possibility to use hands free phones with loudspeakers and microphones that enable to listen and to speak without the need to hold the auricular, it has been considered convenient also to program the robot for these tasks so as to maintain the user's privacy.

In these projects a great effort to develop an equipment that constitutes an important support to people with strong motion disabilities has been done, but unfortunately they are not still a commercial product. In general, its not high enough reliability and operation speed and more specially their cost, are restrictions that difficult the user's acceptance.



FIGURE 9. Devar, robotic workstation.

Other more ambitious applications already experimented are based on a robot mounted on a mobile base able to move autonomously along the house to bring objects to other rooms, and to perform tasks such as to take

some precooked food from the refrigerator, bring it to the microwaves and serve it to the user. But in this case, a new problem is added to the robot own complexity, that is navigability and precision to reach its final position. For this reason its real utilization is still far away.

Movar (Mobile Vocational Assistant Robot), the mobile base version of *Devar*, was designed in 1990 (Van der Loss, 1990) to attain this goal. The current works are instead focused on robots mounted on rails within the workstation.

In this same direction we can mention *Urmad* (Mobile Robotics Unit for the Assistance to the Disabled), designed at the Arts Lab. from the Scuola Superiore Sta. Anna in Pisa. *Urmad* is a robot with 8 degrees of freedom, to attain a better foldability and mounted on a mobile base. The system ensemble is controlled by the user utilizing a high level language and has been designed to move autonomously in partially known environments.

A new step was done with the project *Movaid* (Mobility and ActiVity AssIstance systems for the Disabled). In this European project within TIDE (1994-1997), the goal is to design a complete system operative in the domestic environment. Trying to optimize the system's possibilities, *Movaid* consists not only on a mobile base robot, but also in a distribution of assistant resources around all the house. For this reason, there are several workstations at home, initially two, and certain interfaces dedicated to standard kitchen appliances to enable their adequate manipulation. The user access to the robot through the workstation (in the kitchen and bedroom) thanks to a graphical interface simple enough and intuitive.

5. HUMAN-ROBOT INTERFACE

Telerobotic devices force a high user's implication to guaranty their functionality. To attain control interfaces efficiently enough it is necessary to look for the best user's abilities to answer to these interaction requirements.

Spinal cord injuries that produce damage between level C2 and C5 restrict legs, arms and hands movements, but still allow some head mobility. For these users, a stick mounted on the head or at the mouth constitutes a good interaction mean but with few degrees of freedom and little accessibility.

Interfaces based on the use of graphical screens, GUI (Graphical Users Interface) are a more powerful mean for users that can minimally control input devices such as the mouse, a joystick, keyboard or tactile screen with

his hand, specially when a very visual and intuitive software package based on icons is available. In this case, the screen represents the virtual robot world and it is possible to actuate interactively with it and to see the result of the different given orders on the screen.

An adequate programming language constitutes an additional support to these interfaces. Languages such as CURL (Cambridge University Robot Language), designed specifically to program robotic workstations and developed in the frame of the Raid project, facilitate the way to give orders to the robot since the language instructions correspond to the very intuitive explicit concrete operations that the robot obeys.

The integration of different interfaces allows to complement each other performances resulting in more efficient robot communication systems. The interface MUSIIC (Multimodal User Supervised Interface and Intelligent Control) consists of a laser pointer mounted on the head, a voice input device and a computer vision system that allow to provide the robot with certain autonomy since it can be directly guided from the data coming from the processed images. In this way, the user can give very simple orders indicating with a head movement the object of interest and giving orally concrete orders that are interpreted by the control unit. With a previous programming of some tasks, they can be then repeated every time the users order them.

Another very important aspect is to facilitate the access to different products or systems, without the need to change the input device, and thus avoiding the need of requiring a new learning and adaptation phase. Systems such as the Manus robot or the Raid workstation use this principle, using the same joystick to control the chair, the robot and other devices through the computer. This is possible if a communication standard compatible with all the equipment is available. In this line the system M3S (Multiple Master Multiple Slave) is the leader of such standards. It consists of a communication bus allowing to connect multiple inputs (mouse, movement head detectors...) with multiple equipment (chair, robot, computer, environment devices...).

6. CONCLUSIONS

The current technological possibilities for aiding people with disabilities are many. The great amount and diversity of existing products is a demonstration of that. We have mentioned here only some of the more relevant ones. Nevertheless, in this application field technological results are not the only point to consider, but there are other two additional factors of

relevant importance: cost and acceptability. The first one by obvious reasons, mainly when we refer to equipment of particular use of only one user, and that frequently require specific adaptations. In all cases an efficient user-computer computer interface is also essential. In what refers to acceptability, often it is conditioned by the bulkiness, aesthetics, or the user difficulty to operate it, or simply by the fact of not accepting being assisted by a machine instead of a person. In this line, the development of artificial intelligence and expert systems that enable to facilitate the systems operation can constitute a new step forward.

Even all these considerations and limitations, the current systems are becoming more and more used and there exist a strong institutional trend to both promote the development and improvement of new systems to increase the degree of autonomy and personal realization of persons with disabilities, and also to fight against the risk that such equipment remain as laboratory prototypes, but to become commercial products available to the final user.

The solutions that current technology has not yet attained to solve part of the problematic of a more generalized acceptance of these aids are: power storage that enable the robot to get high autonomy and to reduce its weight and volume; noise, that can condition its applicability in some given environments; dexterity, to carry out the operations that the task require; perception capabilities to operate with maximum autonomy; and the possibility to have available some reflex control to enable the system to operate quickly enough in risk situations.

The application fields of assistant robotics is wide and the more frequent tasks can be classified in the following groups:

- food preparation
- feeding and drinking
- cleaning and grooming
- domestic tasks
- labor and study tasks
- leisure and entertainment.

All these tasks constitute the most frequent operations in daily live, and can be carried out by a disable person if he or she has available the adequate aid.

7. BIBLIOGRAPHY

- Actes de l'European Conference on Advancement Rehabilitation Technology, ECART.*
- Actes de l'ICCOR, International Conference on Rehabilitation Robotics.*
- Actes de l'IFTToMM Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators (1974-1978).*
- AMAT, Josep. *Technology for Independence*. First European Conference on Medical Robotics. ROBOMED 94, Barcelona (1994).
- CASALS, Alícia. *Assitant Arms for Daily Living*. First European Conference on Medical Robotics. ROBOMED 94, Barcelona (1994).
- CASALS, A., VILLA, R., CUFÍ, X., *Tou, an Assistant Arm: Design, Control and Performance* 6th Int. Conference on Advanced Robotics, Tokyo, 1993.
- HARWIN, W.; RAHMAN, T. *Analysis of force-reflecting telerobotic systems for rehabilitation applications*. The First European Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies, Maidenhead, Berkshire, UK (1996).
- KYEBERD, P. J. [et al.]. «The Southampton Hand: An Intelligent Myoelectric Prosthesis». *Journal of Rehabilitation Research and Development*. Dep. of Veterans Affairs, vol. 31, no. 4 (1994).
- KUMAR, V.; BAJCSY, R. *Design of Customized Rehabilitation Aids*. International Symposium on Robotics Research (1995).
- PETERS, G. «Evaluation of Manus Robot Arm users in the context of the General Invalidity Act». *Report* (1996).
- RABISCHONG, P.; PERUCHON, E. «Is man still the best robot?». *7th ISIR 77* (1977).
- «The European Context for Assistive Technology». *TIDE Congress*. Brussels (1993 & 1995).
- VAN DER LOOS, M. [et al.]. «Field evaluation of a robot workstation for quadriplegics office workers». *Revue Européene de Technologie Biomedicale*, vol. 317, no. 5 (1990).

RESTORATION OF LOCOMOTION IN SPINAL CORD INJURED PATIENTS USING FUNCTIONAL ELECTRICAL STIMULATION (FES). THE SUAW BIOMED 2 PROJECT

*Pierre Rabischong**

In Europe, more than 300,000 persons are paraplegics and 60,000 are tetraplegics. It is a young population with a mean age of thirty-one. Sixty-five percent of these cases are due to traffic accidents and ten percent to sport accidents. In order to understand what it is exactly possible to do to restore some form of locomotion, in the first place it is necessary to take into consideration the main biological aspects of the clinical situation of these spinal cord injured patients, and in the second place to define the technical modalities of the European SUAW program.

1. THE BIOLOGICAL AND CLINICAL DATA

The nervous system is responsible for command and control all the functions of the body. The central part of it is the encephalon, which is located in the skull, and the spinal cord in the spine. The basic component is the neuron, a particular cell with a great capability of connections through a junction called synapse. That means the whole nervous system is a discontinuous network in which a neurochemical code which uses neurotransmitters and neuromodulators can achieve any kind of connections according to the selective control of the connections through the biochemi-

*Professeur de la Faculté de Médecine de Montpellier.

cal synaptic gate. The maximum speed of the transfer of signals is 120 m/sec, which is largely slower than the electricity conveying signals in computer.

One original biological feature is that the number neurons is determined at birth and cannot be increased because they do not reproduce themselves. The reason for that, according to the impossibility to dialog with the Constructor of the human machine, could be presumably linked to the need of maintaining within an individual, the same character and therefore the same personality along his life. In order to protect this unchanged capital of neurons, a group of assistive cells called glial are in charge of all the metabolic exchanges with blood and all the immunological protective reactions. Neurons are, in fact, the most protected cells in the body and they can live until a late age without too many degradation, except, of course, in case of pathological factors such as infection, trauma or tumor.

Therefore, the destruction of neuron is irreversible, and only compensatory mechanisms due to the redundancy of the system can allow, for a patient, to get a clinical improvement. A complete section of spinal cord or a destruction of a cortical area after a blood supply obstruction generates definitive lesions. An hemiplegic patient will remain, for all his life, a paralyzed patient.

In fact, what is described up to here concerns destruction of neurons, but in case of section of fibers, dendrites conveying signals into the body cells or axones going out of the cell, a real regeneration exists. The peripheral system which is the second part of the nervous system contains nerves in which there are only nervous fibers. In order to reinforce their mechanical resistance and to isolate them, a special glial cell produces a sheath made mainly by myeline. Practically, after a section of a nerve, the proximal part of the nervous fiber is growing and the distal part loses his neural content but conserves alive an empty myelinic tube. If, by surgical approach, the two parts of the nerve are put together by a suture, the proximal growing stump can invade an empty tube and restore either a motor or a sensitive function. Never is the recovery of function totally complete, because a surgical junction fiber to fiber is impossible. Many fibers are going into the wrong myelinic tube. The maximum diameter of them is twenty five microns, largely out of the possibility of a surgical suture even under microscope. But in case of lesion of the central nervous system, some regeneration exists at the fiber level, but not on neurons themselves. We also know, that a particular reaction of some glial cells tends to isolate a destructed area by a fibrous barrier, which stops the regeneration process. Some experimental research tries to minimize the glial reaction and to stimulate the regeneration process, but the destruction of body cells of the neuron remains for ever.

Knowing this biological fact, some researchers have done implantations of fetal neural cells to facilitate some bridging of the two parts of the spinal cord. If some particular results were observed on rats, no clinical success has been recorded in case of implantation of human fetal neuroblasts in spinal cord of paraplegic patients. It is in fact understandable according to the great complexity of the organization of the spinal cord. Suturing or grafting the spinal cord lesions was also unsuccessfully and, at the present time, nothing very positive can be done using a surgical or a biological approach.

The second important aspect is to define the clinical situation in which a paralyzed person has to try to find the best adjustment of his life condition. The section of the spinal cord can be complete or incomplete, maintaining in this case the use of certain functions. The level of injury determines the importance of the clinical signs: at the cervical level, the four limbs are concerned and the patient is tetraplegic or quadriplegic. At the thoracic and lumbar level, the patient still has the normal use of his upper limbs. The spinal cord is shorter than the spine, that is why below the level of L2, only the nervous fibers of the radicular roots in the *cauda equina* can be injured.

Clinically, the patient cannot voluntarily command his muscles below the lesion, which is the paralysis. However, those muscles are still connected with the spinal cord and can have two types of uncontrollable activity: spasms, which are unpredictable contractions of muscles, and spasticity, which represents the effect of the lack of the control of the spinal servomechanism regulating the state of the muscles. Therefore, in order to control the six hundred muscles of the body, the nervous system needs to know the mechanical state of the muscle: relaxed, contracted or stretched. The muscular spindles are tensiometers located within the muscles and able to detect stretch forces applied on muscles and to generate a closed loop reaction inducing a muscular reflex contraction by stimulation of alpha motoneurons in the ventral horn of the gray matter. This could be interpreted as a servomechanical protection that avoids the overstretching of muscles and allows an exact peripheral adjustment of the level of force needed for a particular motor program. In fact, muscular spindles are still active during muscular contraction, because of the activation of the gamma fibers responsible for the gain of the transducer.

Muscles are non reversible and non linear viscoelastic actuators, which explains why two actuators agonist and antagonist are needed for each degree of freedom. In case of lack of control by the pyramidal tract of the motor control system, it is impossible to move a joint, because the motor servoloop of the spinal cord is not under central inhibition anymore.

Stretching an antagonist muscle during a passive movement generates an immediate muscular counter reaction which increases substantially the viscosity of the joint. Some spasticity in extension can be useful, but most of the time, it is a real discomfort for the patient when in flexion.

Another interesting feature for the motor control is the important role of the skin, which is a very rich and complex transducer by covering all the segments of the body. The mechanical deformation of the skin around all the joints generates some neural inputs going to the cerebellum and to the cortex of the gyrus postcentralis of the parietal lobe, which defines the position of the joints. That is due to the activity of the Ruffini corpuscles, sensible to the shearing forces applied on the skin during movement. The result of that is the static sense, which represents the 3D conscious identification of all the segments of the body in terms of position and movement. The proximity of the gyrus precentralis in the frontal lobe, which is the topographic projection of all the muscles of the body, in a «motor keyboard» justifies the high level of control of movement by close-loop circuit between muscular motor outputs and sensitive cutaneous inputs. Therefore, in addition to the paralysis observed in spinal cord injuries, there is a loss of sensibility, according to the level of injury, which puts the lower or upper limbs in a state of virtual reality for the patient. It is a real *asomatognosia*, for which the patient needs to use vision to localize in space his paralyzed limbs. The frequent alteration of skin generating bed sores, which are one of the most difficult complications of those patients, it is because of the loss of sensibility that affects also the body's protection system. The last aspect of the clinical symptoms is the dysfunction of the sphincter for urine and feces evacuation control. That is surely the most uncomfortable situation, for which many solutions were tested without, in most cases, any complete success.

All those clinical aspects show how difficult it is to restore motor function in this complex context. At the present time, only the use of electrical current as a substitute of nerve impulses can achieve some artificial contractions of sublesional muscles. To reintegrate these muscles in a complex motor program, like walking or grasping, it is important to remember that men can pilot their own biological machine, without any knowledge about its hardware. The command of any motor function is made consciously in terms of movements and never in terms of muscles. We can walk without knowing that we have fifty muscles on each side to activate. The conscious and voluntary level of motor control occupies only twenty percent of the nervous circuitry. The execution of tasks is made at a complex unconscious level requiring eighty percent of the circuitry, to adjust exactly all kind of servomechanism, automatism and correction of errors in

real time. That important point has to be taken into consideration to define a program of restoration of motor function properly. The patient's command interface has to be as simple as possible, like in the normal system. The execution of tasks has to be as complicated as the system really is, needing enough transducers and regulation to achieve the desired task in the appropriate manners.

2. THE FUNCTIONAL ELECTRICAL STIMULATION (FES)

In the past twenty years, many research and clinical teams have published papers in the literature demonstrating the efficiency of FES. The electrical current can be used modulating the three major parameters: intensity, pulse width and frequency. Many experimental work done on animals and humans allow us now to get the right parameters. Different ways of stimulating muscles are available: through the skin, within the muscles or by the muscular nerve stimulation.

To place electrodes on the surface of the skin as close as possible to the motor point is a method commonly used in clinical practice. But not all the muscles are placed directly under the surface of the skin, which limits the possibilities of this method. Anyway, some important muscles of lower limbs like, quadriceps, hamstrings, triceps or glutei can be stimulated. An integration program to stand and deambulate has been established by the group of Ljubjiana (Krajl, 1973), Karlsruhe (Vossius, 1984), New Orleans (Solomonov, 1988) and Enschede (Hermens, 1987). Some more advanced systems, like Parastep, combining withdrawal reflex of lower limbs by electrical stimulation of peroneal or tibial nerve and quadriceps contraction are commercially available, allowing some patients to walk with a deambulator without any brace. However, due to the stimulation of only an agonist muscle and the difficulty to reproduce regularly the withdrawal reflex, this technique generates a non elegant way of walking and has to be kept as a training method. The hybrid system which combines an orthotic brace plus an FES applied to some hip muscles has the same disadvantages, but can be included in a rehabilitation program.

To go directly to the muscles by implanting through the skin some electrodes is a technic largely used in the USA and Japan. Marsollais implanted such electrodes with some interesting results. The advantage is the relative simplicity of the surgical procedure and the efficiency of the stimulation, according to the position of the electrodes close to the penetration of nervous fibers in the muscle. The disadvantage is the weakness of these electrodes and their frequent rupture, due to the important mechani-



FIGURE 1. Cutaneous electrodes placed on the quadriceps muscle of a paraplegic patient inducing by a FES a muscular contraction.



FIGURE 2. Paraplegic patient standing up with two electrodes on the quadriceps.

cal stresses during induced muscular contractions. The Japanese team from Sendai (Prof. Honda) developed very strong multifascicular metallic electrodes able to resist. On the other hand, the implantation through the skin cannot last more than six months or a year, because of the movements of electrodes and the permanent irritations on the skin. It is also possible to put the electrodes directly on the aponeurosis of muscles close to the motor point. This type of epimysial electrodes are still commonly used for implantation system in case of difficulty to reach the muscular nerve.

It seems clear anyway that the best method is the neural electrodes. It is theoretically possible to put these electrodes on a peripheral nerve. We tried in 1971 to put wires of 25 microns directly into peripheral nerves during surgical approaches of traumatic section. We observed during an electrostimulation, a very selective phenomenon both in limited muscular responses in brachial plexus restoration and in very small cutaneous areas in a stimulation of the central stump of an upper limb sectioned nerve. Later, we suggested that this technique could be used in amputees in order to create an artificial feedback for prosthetic hand by stimulating the fascicles corresponding to the thumb and index. However, the direct stimulation by implanted electrodes into the fascicles can generate some causalgia, a particular pain very difficult to suppress. At the same time, we have explored,

after Sunderland, the anatomy of the fascicles of peripheral nerves in order to analyze the possibility to establish a map of those fascicles, corresponding to different targets. Even if some distal exchanges of fibers before the final distribution exists, the number of fascicles is increasing from the proximal to the distal part and the geography of those fascicles correspond to the distribution. It is in fact possible to identify the position within the nerves of the group of fascicles corresponding to a particular muscular target to be stimulated. We made the distinction between anatomical fascicles, visible under microscopic histological sections, and surgical fascicles which can be isolated during a micro-surgical approach by making a neurolysis. This procedure is directly in relation with the particular feature of a peripheral nerve. A relative lax connective tissue represents the peripheral limit of a nerve trunk and is called epineurium. The fascicles or bundles of nervous fibers are isolated by means of a stronger connective tissue, representing the epineurium. Three kinds of fascicles can be described: pure sensitive with only cutaneous sensitive fibers; mixed, including motor and sensitive fibers and representing what is needed to call a muscular nerve, and pure motor, existing only for the muscles not having afferents fibers, like facial muscles or having a sensitive anastomosis before entering within the muscles, like tongue muscles or extraocular muscles. Anyway, the best use of neural electrodes is to put them around a nerve, thanks to a cuff electrode. Many models are available, on monopolar or better bipolar mode. In order to avoid the simultaneous stimulation of motor and proprioceptive fibers, a tripolar electrode (as described by Mortimer and by Woloszko later on) can be useful. The exclusive one way stimulation, motor for instance, can avoid the muscular counter-reaction or diffusion by the stimulation of proprioceptive fibers via the gray matter of the spinal cord. Indeed, the major problem remains the selectivity of the stimulation. Therefore, in order to achieve this important goal in neural electrodes, three different possibilities exist at the present time:

- The stimulation by a cuff electrode of the muscular nerve innervating the muscle to be stimulated.
- The fascicle or group of fascicles corresponding to this muscle, surgically isolated within a large nerve trunk.
- Those fascicles selectively stimulated using a large cuff electrode around the nerve trunk with a group of tripolar electrodes generating a focused electrical field able to be moved to reach the right target.

The progress made in the biomaterial to produce electrodes, softer and thinner, will allow us to find the right technical solution to be applied to each specific case.

The last possibility is to stimulate directly the motor roots at the spinal cord level. The separation, in the spinal cord, between inputs and outputs exists and the two groups of fibers emerging from the spinal at each metameric level are converging after the spinal ganglion containing the first neurons of the sensitive pathways to create a peripheral or rachidian nerve. The direct radicular stimulation has been performed mainly by Brindley in the United Kingdom for the restoration of bladder functions, with a good clinical success. However, to restore the walking capabilities, the results are largely less positive mainly for two reasons. First, it is needed to do a laminectomy and an opening of the dura in order to put into place the electrodes. Second, according to the metameric organization of spinal nerve, not only one motor root is giving the motor innervation of a particular muscle and this polyradicular innervation of the same muscle creates some real difficulties in the control problem.

In fact, the general scheme of the stimulation system, in case of implantation, is always the same. From the electrodes, cables and connectors for the commodity of the surgical procedure are going to the electronic box implanted under the abdominal skin. This implant contains the electronic circuits able to send to the electrodes the appropriate pulses according to the chosen parameters in intensity, pulse width and frequency. An antenna, avoiding the transcutaneous link with the implant, allows to transfer, by radiofrequency, the power and signal, or in only one direction to the muscles or eventually in both directions for some feedback coming from electrodes, mainly the electrical impedance. Which allows to check the functionality of the electrodes. The external antenna is connected to a portable controller, which does what the central nervous system normally does: delivers the right pulse sequences at the right time to the appropriate target. The real progress in electronic and computer sciences is a guarantee to be able to use, at the present time and in the future, the best technology and the most intelligent control procedure. Moreover, it is mandatory to find the simplest command interface for the patient, like in a natural condition. Being outside of the body, all those systems of control can be reasonably improved, in time, without having to change the implant.

3. THE SUAW PROJECT

The SUAW project (Stand Up and Walk) is a demonstration project, which belongs to the BIOMED 2 program of the European Community. It follows the CALIES project (Computer Aided Locomotion by Implanted Electrostimulation), which was initiated in 1989 in the frame of the EU-

REKA program. We spent a lot of time defining all the protocols for this project and thanks to the creation of a European clinical network in 1992, grouping surgical, rehabilitation and technical teams, we are in the process of implanting in 1998 six different patients in six different European countries (France, Italy, UK, Netherlands, Germany, Denmark), almost at the same period of time. We defined five different phases:

3.1. THE SELECTION OF PATIENTS

Only patients who have muscles to stimulate can be included in the program. At the exact level of the injury, the destruction of the motor neurons of the ventral horn of the gray matter of the spinal cord makes the complete atrophy of the corresponding muscular fibers, as observed similarly in the poliomyelitic viral infection. However, the muscles below are still alive and able to be stimulated. That means that the level of injury has to be between T4-T6 and T11. Above, the use of upper limbs for stabilization and the trunk stability is difficult. Below, the motor centers for lower limbs command are destroyed. In addition, spasticity and spasms have to be compatible with rehabilitation and clinically controlled; the weight of the person has to be in the statistical norm. The psychological motivation has to be good, but unrealistic waiting or expectations could be considered as absolute contraindications. In fact, the patients selected for the first implantation in 1998 will be considered more as partners of the project rather than just patients. All the technical means in imaging techniques (magnetic resonance imaging, ultrasounds) and in biomechanical assessments, like torque measurement, fatigue evaluation..., will allow us to check very precisely the remaining capabilities of the patients.

3.2. THE PRESURGICAL TRAINING

It was clearly demonstrated that the population of slow and fast fibers in a muscle of a paraplegic patient can change. A special protocol of cutaneous electrostimulation of the main accessible muscles has to be performed during at least six months, to reinforce the muscular forces in a restrengthening program using the right parameters. At the same time, a special training in hybrid orthotic systems, like Argo or Ukafo and in deambulation devices using cutaneous electrostimulation like Parastep, can allow the patient to appreciate by himself the real benefits he could derive from FES and the technical constraints linked with its usage.

3.3. THE SURGICAL IMPLANTATION

We expect to put into place by surgical approach epimysial electrodes on the surface of muscles or neural electrodes around the nerve. There are two problems to be solved: Which muscles do we stimulate? How to approach them in the best way by surgery?

To make the right stimulated muscle choice, it is needed to understand the specific role in posture and locomotion of the different musculoarticular systems.

- The hip complex is the motor for walking. Gait is a cyclic activity generated by a scissor movement of lower limbs with pendular and stance phases in an unstable mode, requiring a dynamic process of stabilisation. The propulsion is assumed at the hip level, by the combined action mainly of the iliopsoas muscle and the rectus femoris, the polyarticular part of the quadriceps. The ballistic movement of the leg is going to the heel strike during which the lower limb is rigidified by the cocontraction of quadriceps and hamstrings. The instability of the junction trunk-hip joint is controlled during the stance phase of the gait by the contraction of the gluteus medius, achieving the hip lateral stabilization. His deficiency requires the use of a crutch to maintain the trunk in vertical alignment. The gluteus maximus, which is a very powerful extensor of the thigh does not play a great role when walking in horizontal ground, but he is very useful for standing up, climbing stairs or walking on a slope. An active movement or rotation of the pelvis is generated by the glutei medius and minimus.

- The knee complex is a length controller, by activating in flexion the knee joint, thanks to the hamstring together with the polyarticular part of the triceps muscle. It shortens the lower limb which allows to sit on a chair, to climb stairs, and to execute properly the ballistic movement of the pendular phase.

- The foot complex is a propulsor and stabiliser of the body. A two degrees of freedom rotation joint links leg and foot representing the suropodal cardan joint. The body stabilization during vertical posture can be achieved along two axis: anteroposterior and lateral. The two foot triangles, posterior for stabilization and anterior for propulsion can be activated by the powerful triceps muscle generating propulsion forces. These forces are particularly important to walk on a slope or to run.

We expect to control by FES hip and knee complex, by stimulating iliopsoas, glutei (by epimysial electrodes), quadriceps and hamstrings by neural electrodes.

The surgical procedure was very carefully determined and tested in cadavers and animals. The tendency at the present time is to try to be as less invasive as possible. Large opening of the skins usually leads very often to scaring problems. Using endoscopic approaches, it is possible to do everything by a minimal skin opening. All the traditional techniques for suturing, gluing, coagulating, can be used by this way and we believe that it could be an optimal procedure to reach the two nerves of the lower limbs: the femoral nerve placed along the psoas, deep in the abdominal cavity, and the ischiatic nerve, placed on the posterior aspect of the pelvis. Some particular training of the surgical team has been made in this manner. The major problem is the fibrosis that follows any surgical approach of the nerves. The cuff electrodes has to be put into place in a quiet mechanical area of the nerve, in order to avoid the fibroblastic reaction that comes after the movement of the electrodes on the epineurium.

3.4. THE POST SURGICAL TRAINING

After a period of two to three weeks following the implantation, the patient will be stimulated. The adjustment of the portable programmer to a particular patient represents the major goal of this phase. In order to be reliable enough, many external transducers will be installed on the patient: accelerometers, inclinometers, force transducers, goniometers, in order to validate the different sequences. Three different programs will be available: standing up and sitting down, walking in a semiautomatic mode on horizontal ground, and voluntarily controlling the position of the foot. In all cases, crutches are needed to transfer the unstable bipodal gait in a more stable quadrupedal gait. Thanks to the introduction in the programmer of some neural networks, the number of external transducers needed to create a closed loop regulation will be reduced at the minimum: a goniometer on the knee and a couple of force transducers under the foot to validate the heel contact. But, in fact, the patient himself, with his own capability to see the evolution of the sequence will be one of the major components of the control procedure. He has to have full access, at any time, to the controller by means of his command interface. The post surgical training phase will take place at the rehabilitation center of each country and after understanding exactly the control procedure, some individual adaptations will be optimally performed by the patient and the clinical team.

3.5. THE DAILY USE

The main objective of SUAW is to allow an implanted patient to use, at home, his system in the best possible conditions. A special assistance service, using a telematic network, will make possible the maintenance of the device, without going to the rehabilitation center.



FIGURE 10. General feature of the SUAW project, showing the electronic implant connected with electrodes to muscles and nerves and controlled by an external antenna linked with the portable programmer. Buttons are on crutches to activate the gait sequence.

We plan to do, after the implantation of the six patients, a very careful complete evaluation in Copenhagen and in Milan, the biochemical and histological stimulated muscles are going to be analysed, as well as the measurements of all the biomechanical parameters of the different group of muscles and the fatigue assessment. This last problem is the most difficult, according to the particular conditions of work of these stimulated muscles. A paraplegic patient, without any sensibility cannot feel his muscles and identify the particular sensation we normally feel when the muscular fatigue appears. In addition, the blood supply regulation is perturbed and the contraction of muscles, which normally requires more oxygen is not executed in a perfect mode due to the lack of a normal regulation. The EMG of muscles is presumably the best procedure to identify the state of the muscular fibers, before the important diminution of the activation efficiency, but it is not very easy to use in real time during an FES program.

However, the training period will check for each group of muscles of the different patients the precise reactivity to fatigue in order to be able to use the right stimulation parameters and the appropriate duration of the muscular activation.

4. THE FUTURE OF THE FES TECHNOLOGY

It is always difficult to accurately predict the future, particularly when technologies are concerned. However, it seems possible to assume that one of the possible improvements in the future will be to simplify the hardware, by suppressing cables and connectors that go from the electrodes to the implant. There is an omnipresent potential risk of infection, even if the material is perfectly biocompatible and the surgical procedure is done in good sterile conditions. Some tentative made in Canada by G. Loeb, using injectable microstimulation units controlled from the outside by a large antennae looks very promising, even if some technical problems of production are not completely solved. The use of smart electrodes, in which not only the interface with nervous fibers but also all the electronic system linked with the electrodes (amplification, filtration...) will be an important improvement.

The neurochips developed in certain laboratories seem to be more questionable. Therefore putting living neurons on silicium plate to create an hybrid system combining the adaptability and complexity of the living with an interface with an artificial circuit seems to be more laboratory exercises than clinical reality. As we said before, a neuron cannot survive without his glial network of servants, making improbable the possibility to use such neurochips in a real practical manner. However, the research done in the USA, Italy and Spain to develop neural interfaces are very encouraging. It has been demonstrated that neuron fibers can grow through microholes in a silicium plate, allowing to record a neural signal and to stimulate efferent fibers. That could be a real intelligent neural interface to control cybernetic assistive devices.

Finally, restoring motor functions in paralyzed persons constitute a really difficult challenge, for which technology represents the major part but not, the whole. Any individual patient has his own feelings and expectations to adjust his life to this pathological condition, which creates in most of the cases a real handicap combining a physical impairment and a difficult way of daily life. Changing positively these conditions even in a minor improvement is a sufficient motivation to continue the research and clinical effort initiated more than ten years ago.

5. BIBLIOGRAPHY

- BROWN, M.D.; JONES, R.; FREARSON, N. «Effects of activity on the contractile characteristics of developing skeletal muscle». *Neuromuscular Stimulation, Basic Concepts and Clinical Application*. In: ROSE, F. C., Jones, R.; VRBOVA, G. [ed.]. *Comprehensive Neurologic Rehabilitation*, vol. 3, 1989, p. 37-56.
- BURKE, R. E. «Motors units: anatomy, physiology and functional organization». In: Brooks, V. B. [ed.]. *Handbook of Physiology, The Nervous System II*. Bethesda, MD-American Physiological Society, 2, 1981, p. 345-422.
- BURKE, R. E.; LEVINE, D. N.; TSAIRIS, P.; ZAJAC, F. E. «Physiological types and histochemical profiles in motor units of the cat gastrocnemius». *Journal of Physiology*, no. 234 (1973), p. 723-748.
- EDWARDS, R. H. T. «Weakness and fatigue of skeletal muscles». *Advanced Medicine*, no. 18 (SARTNER, M. [ed.]), London: RCP London Pitman Medical (1982), p. 100-119.
- HENNEMAN, E.; MENDELL, L. M. «Functional organization of motoneuron pool and its inputs». In: BROOKS, V. B. [ed.]. *Handbook of Physiology, The Nervous System II*. Bethesda, MD-American Physiological Society, 2, 1981, p. 423-507.
- LEVY, M.; MIZRAHI, J.; SUSAK, W. «Recruitment, force and fatigue characteristics of quadriceps muscles of paraplegics isometrically activated by surface functional electrical stimulation». *Journal of Biomedical Engineering*, no. 12 (1990), p. 150-156.
- MERLETTI, R.; LO CONTE, L. R.; ORIZIO, C. «Indices of muscle fatigue». *Journal of Electromyography and Kinesiology*, no. 1 (1991), p. 20-33.
- MORTIMER, T. «Motor prostheses». In: BROOKS, V. B. [ed.]. *Handbook of Physiology, The Nervous System II*. Bethesda, MD-American Physiological Society, 2, 1981, p. 155-187.
- RABISCHONG, E.; GUIRAUD, D. «Determination of fatigue in the electrically stimulated quadriceps muscle and relative effect of ischaemia». *Journal of Biomedical Engineering*, vol. 15 (November, 1990), p. 443-450.
- RABISCHONG, E.; OHANNA, F.; GILBERT, B. «Paraplegic Standing with FNS. A clinical application of a closed loop control». *Annual Meeting of the International Medical Society of Paraplegia*, Israel: Ramat Gan (1990).
- RABISCHONG, E.; OHANNA, F. «Effects of FES on evoked muscular output in paraplegics». *Paraplegia*, no. 30 (1992), p. 467-473.
- SALMONS, S.; HENRIKSSON, J. «The adaptive response of skeletal muscle to increased use». *Muscle & Nerve*, no. 4 (1981), p. 94-105.

- VELTINK, P. H.; BOOM, B. K. «Control of ambulation using functional neuromuscular stimulation». In: *Topical workshop of RAFT*. Enschede, The Netherlands: University of Twente, 1995.
- WOLOSZOKO, J.; GRAILLE, J.; RABISCHONG, E.; RABISCHONG, P. «Closed loop control of knee during standing with FNS». *Proceedings of the 9th Conference of the IEEE, Engineering in Medicine and Biology Society*, Boston (1987).

FIGURES



FIGURE 3. Coronal section of the hip joint:

1. Pelvic bone
2. Head of the femur
3. Psoas muscle
4. Gluteus minimus
5. Gluteus medius
6. Fibrous fascia lata
7. Iliac muscle
8. Kidney
9. Oblique and transverse muscles of the abdominal wall.



FIGURE 4. Posterior aspect of the gluteal region after resection of the gluteus maximus:

1. Ischiatic nerve
2. Gluteus medius
3. Hamstrings
4. Great trochanter
5. Gluteus maximus.



FIGURE 5. Lateral view of the ischiatic nerve with:

1. The medial part
2. The lateral part
3. A vascular pedicle

The fascicles are visible within the nerves.



FIGURE 6. Anatomical section of the thigh showing:

1. The ischiatic nerve with its two branches and the fascicles inside
2. The femoral artery
3. The venous trunk
4. A muscle
5. The fat tissue.



FIGURE 7. Cross section of the human ischiatic nerve showing:

1. Medial part
2. Lateral part, in which the fascicles are visible
3. Internal artery of the nerve trunk
4. Epineurium with fat tissue.



FIGURE 8. Histological sections with myelin impregnation of human nerve. The two sections are distant of 7 cm.

1. Epineurium sheath
2. Internal vessel within the epineurium
3. Nervous fascicle surrounded by the perineurium sheath
4. A fascicle which will be separated in two isolated fascicles
5. The same process of fasciculation after 7 cm.



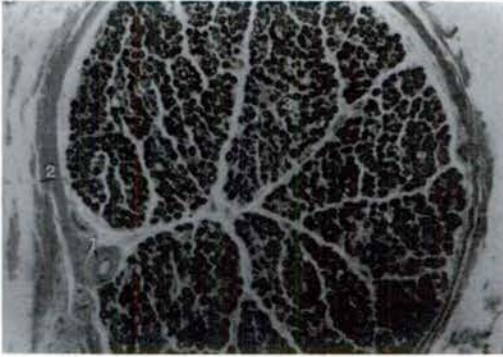


FIGURE 9. Histological section of a fascicle of a human nerve:

1. Fascicular artery
2. Perineurium sheath
3. All the black circles represent the myeline sheath of nervous fibers of different diameters corresponding to motor and sensitive fibers (mixed fascicule).

TECHNOLOGY TO SUPPORT ALTERNATIVE AND AUGMENTATIVE COMMUNICATION

*Julio Abascal González and
Luis Gardeazábal Montón**

1. ALTERNATIVE AND AUGMENTATIVE COMMUNICATION

Alternative communication is usually defined as any kind of non vocal communication used by people in a face-to-face context (Tetzchener and Martinsen, 1996). Alternative communication includes all communication means used by people that has not oral language because of different causes (disability, stroke, illness, aging, etc.).¹ It exists an ample variety of alternative communication systems ranging from sign language to pictographic systems.

The need of a communication aid is not just for the cases described above. For instance, there are people without oral communication that can learn to speak. These technological helps are very useful during the learning process. Similarly, those who maintain a partial speak capacity with low intelligibility need some help to be understood. In both cases *augmentative communication* methods are used. They have two main aims: to promote (and to assist in) the use of the speech, and to provide a way for alternative communication (C. Basil and Puig de la Bellacasa, 1988).

When the communication aid systems are simply based on the use of any part of the human body, they are called *unassisted systems*. This is the case of sign language. On the other hand, *assisted systems* are those that

*Informatika Fakultatea, Donostia.

1. AAC systems are useful for people affected by a variety of disabilities with different causes and levels of affectation: cerebral palsy, developmental apraxia, multiple sclerosis, amyotrophic lateral sclerosis, high spinal cord injury, aphasia, etc. More information about these affectations can be found in the monographic issue of *Alternative and Augmentative Communication*, March 1989, vol. 5, no. 1.

need external devices or equipment. Some of these devices are very simple (like boards containing the alphabet with user points to spell the message), while others are based in rather sophisticated tools, usually including personal computers. Communication systems are also classified according to the required participation of other people than the user.² *Dependent communication* refers to systems in which the collaboration of the interlocutor is necessary to compose or interpret the message. Whereas *independent communication* does not require other people's intervention, although specific devices should be needed to compose the sentence.

There are systems that can not be properly included in the definitions above, although they are closely related to AAC because of the methods and technologies used. That is the case of many mobility and environmental control systems, that are not devoted to substitution of lacking speech but that use the same procedures. Even if these systems are not intended to solve interpersonal communication for non speakers, they could be included in a more general concept of communication. This chapter deals with the computer technology that supports systems for alternative and augmentative communication including the mentioned related systems.

2. TECHNOLOGY FOR THE SUPPORT OF THE COMMUNICATION

Assisted communication is based on systems named *technical aids for communication*, that are used for message composition. Technical aids can take very simple forms, such as boards containing letters, words, sentences, codes, graphical signs or images pointed sequentially by the user to built the different elements of the idea that he or she wants to express. Frequently these simple systems are completely suitable to the target and there is not need for any technological complication.

People using augmentative and alternative communication means, as the board of figure 1, depend on their interlocutor who plays an active role interpreting the message or rebuilding fragmented, incomplete or not understandable sentences. The more sophisticated technical aids covering this field can take an active role contributing to decrease the user's dependence on the interlocutor. For instance, diverse computerized communication systems have been developed that help in the composition of sentences

2. See the chapter «Sistemas y ayudas técnicas de comunicación para personas con parálisis cerebral» from C. BASIL, in PUYUELO *et al.* (1996).

from the items selected by the user. In this way the computer assumes part of the task previously performed by the interlocutor. As we will see later, many alternative and augmentative communication devices simply try to imitate the active behavior of a trained interlocutor.³ The objective is to release the receiver from the effort of message interpretation and to allow him/her to concentrate on the communication itself. That is also very useful for the situations in which there is not a human interlocutor.

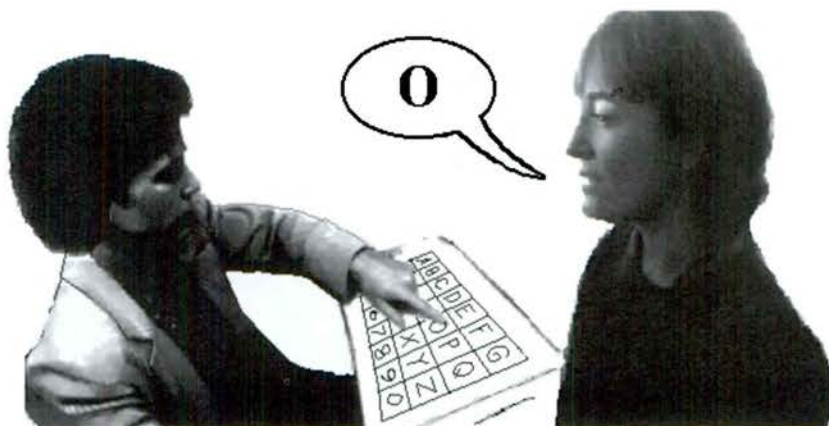


FIGURE 1. Communication using a character board.

Computer based alternative communication systems mainly focus their efforts both to the user interface and to communication software. Of course, the user interface must be defined taken into account that will be used by persons with communication disorders. Due to the diversity of physical and cognitive characteristics of the users of alternative and augmentative communication systems there is not a unique interface that satisfies all the needs. Thus, it is necessary to apply design techniques that permit to adapt it to the different user's features, and the design process becomes more complex.

Being the access to the computer granted, some users may need special programs to be able to communicate with other people. The range of existing communication programs tries to cover an ample spectrum of user's

3. A trained interlocutor is a person who is accustomed communicating with the user. He or she is thus able to interpret the message issued through the communication aid system.

needs: from text-to-voice translation systems to the process of pictorial symbols. In the next chapters these aspects are going to be studied in detail.

2.1. ACCESS SYSTEMS

Before starting with the different access systems, some useful concepts need to be defined.⁴ *Control interface* is the actual hardware by which the person operates or controls a device. The set of input signals is called the *input domain*, and may be discrete or continuous. If the input domain is *discrete* it takes a number of steady values without intermediate steps (as in a keyboard). When it is *continuous* the range of possible values is virtually infinite (as it happens with pointing devices: mouse, joysticks, etc.).

The *selection set* consists of the items available from which choices are made. It may contain orthographic symbols (letters, words, sentences...) or symbols representing ideas or ideograms (icons, images). The size and the modality (visual, tactile, auditory...) must be chosen to match the user's needs and skills. Another important factor to be considered is the output activity of these items: communication, environmental control, mobility...

The *selection method* is the procedure used to choose among these items. Selection methods can be classified into three categories: direct selection, scanning and codification (Vanderheiden, 1980). *Direct selection* allows to choose randomly any item from the selection set. For instance, direct selection is used with standard keyboards. In this case selection is made by stroking the key associated to the item located in a concrete space position. The time needed does not depend on the selected item, but on the user's typing skills. From the point of view of the necessary cognitive skills, direct selection is very intuitive because the output obtained is a straight result of the selection action. Nevertheless, direct selection is not always possible because it requires from the user mobility, strength and precision to stroke a key.

Scanning is an indirect selection method that presents sequentially to the user the items from the selection set. When the wanted item is offered to the user, he chooses it through any voluntary and detectable action. This action depends on the user's physical skills and is used to activate an appropriate sensor (with the hand, foot, eye gaze...), as will be seen later when we speak about activation methods. Scanning can be also denominated «temporal selection», because the switch takes different meanings in time,

4. Most of these definitions are taken from a very recommendable book written by COOK & HUSSEY (1995).



FIGURE 2. Direct selection in a keyboard.

given different results depending on the exact time in which the key is stroked. Thus, the typing action produces different results depending on the time it is performed. This method requires low mobility, precision and strength, because it is possible to adapt the single switch features to the user's ability. Nevertheless, good visual capacity, attention and temporal co-ordination are needed in order to be able to select the adequate item when it is offered. To facilitate this task, the period of time in which an item can be selected can be adjusted to each user. From the cognitive point of view it is more complex than the direct selection, because the relation between the unique selection action and the diverse selected results may be not easily understandable.

The number of keystrokes needed to select each item depends on the layout of the selection set. Usually items are distributed, following pre-established criteria (for instance their frequency of use), in matrix of 1 to 3 dimensions. The average time to select an element depends on the number of dimensions and the size of the matrix. There are several studies about the matrix shape, size and items distribution that result more convenient for the selection.⁵

Some users can utilize an hybrid solution called *directed scanning*. It is a mixture of scanning and direct selection. Using a joystick or an array of two to eight switches the items in the matrix containing the selection set can be searched. This method is quicker than scanning and requires lower precision than the direct selection method.

5. See, for instance, a comparison of different communication devices and diverse input methods written by SZETO, ALLEN & LITRELL (1993).

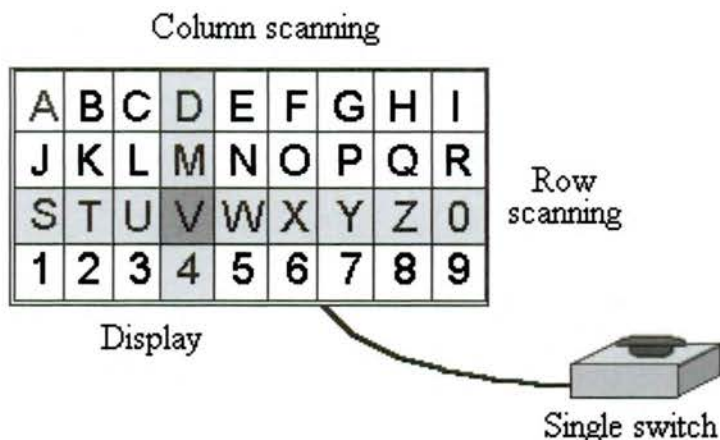


FIGURE 3. Row-column scanning with a single switch.

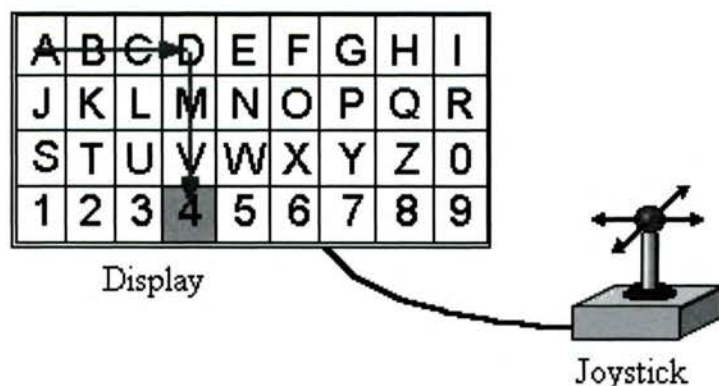


FIGURE 4. Directed scanning.

In some cases the input system can not be selected because it is predetermined by the user's physical characteristics. According to Soede (M. Soede, 1991), the different users require diverse devices with different characteristics and, for instance, it can not be established *a priori* that a scanning system is worse than a direct access system for a concrete population. When more than one input system are possible for a concrete person, it is very important to make a comparison among the different options in order

to be able to choose the best one.⁶ Moreover, the extrapolation of the obtained results is not always possible because each group have small differences and a system valid for a user may be not adequate for another with similar characteristics.

As we have seen previously, when direct selection is used each key has a unique meaning, while in scanning a single switch take different values on time. There is another possibility, the codification, which associates a code to each item from the selection set. That is, each item is linked to a code that is composed by typing the adequate sequence of keys.⁷ The advantage of this system is that the number of keys needed to compose a code is low. Restricted keyboards used in codification require from the user precision to type the convenient key and strength enough to activate it. Comparing it with the keyboards used in direct selection, the mobility required is lower but the conceptual complexity is higher.

The 12-keyed keyboard present in many telephone sets (see figure 8) is frequently used to codify characters. Twelve keys allow the generation of 144 (that is 12^2) different 2-key combinations. For normal communication purposes only 28 characters, 10 digits and some punctuation characters are used. So, instead of assigning a random 2-key code to each item, more intuitive codification systems are used. One of these systems is explained later.

When all the items are coded with the same number of keys, then it has a fixed length; if the number of digits is different they are called variable

6. The selection of the most adequate methods is not an easy task. HORN & JONES (1996) show how a direct selection system, through a head-mounted optical pointer, used by a child with severe physical limitations gave better results in precision, acquisition and answer time than a circular scanning system, that seemed to be more adequate for this user. In this case the success of the direct selection methods is due to the fact that this system requires smaller cognitive effort and gives better answer times. They conclude that fatigue plays an important role due to the attention in the results that can be obtained. On the other hand, MIZUKO *et al.* (1994) study the effect of the selection method over the short term visual memory in able-bodied 4 years old children obtaining a similar conclusion. Direct selection gives better results than scanning, due to its lower cognitive demand (mainly in relation to short term visual memory).

7. The number of different codes composed of x digits that can be generated with n keys is n^x . So, using three keys (i. e. 1, 2, 3) 27 different combinations of three digits can be generated (113, 231...). If each code is allocated a letter, this system could be used to type texts. With 4 digits up to 81 characters can be coded. If we want to code the 128 ASCII characters using fixed length codes (that is with x keystrokes/character): $n^{x-1} < 128 < n^x$. That yields $x = \lceil \log_2 128 \rceil$. This equation relates the number of keystrokes (or digits) needed with the number of available keys. Thus, using 2 keys 7 keystrokes/character are needed, with 3 keys 5 keystrokes/character, with 4 keys 4 keystrokes/character... So when the number of digits available increases, the number of keystrokes needed decreases. Following this progression a keyboard of 128 keys and one keystroke/character (that means a direct selection keyboard) is reached.

length codes. Morse code is an example of variable length code and was developed to be very efficient for English language: the shortest codes are allocated to the most frequently used characters. This system has been successfully utilized by some users of alternative communication. The normal implementation of Morse code is highly time depending. A single switch is used to produce «dots» (short duration keystrokes) and «dashes» (longer keystrokes). Time between these symbols is also relevant. Shorter and longer pauses are used to separate letters and words. In addition codes should be memorized. While some AAC users can use very efficiently this kind of systems, others can not control the keystroke duration. To avoid this problem there are implementations that use three keys: one for dots, another one for dashes and a third one, an enter key, to omit pauses between letters. The table codes are presented in a display as a tree (as shown in fig. 5), so that they do not need to be memorized.

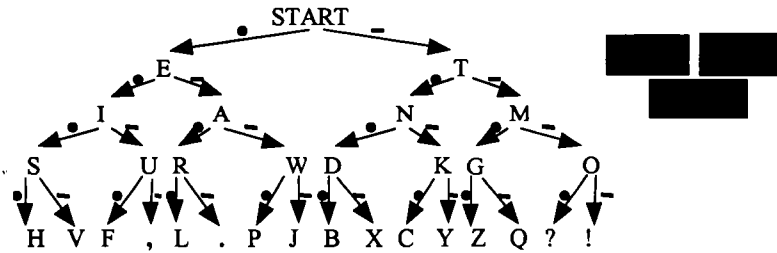


FIGURE 5. Morse coding using 3 keys.

Using this system, the following sequence of keystrokes (where * means ENTER):

• • • • * _ _ _ * • _ • • * • _

is interpreted as «HELLO».

To conclude this part, table 1 shows a comparison of the different mentioned input methods taking into account some relevant parameters, as number of keystrokes and the time by character.

TABLE 1
Access methods: summary

	direct selection	codification	scanning	directed scanning
Keystrokes by item	1	$[\log, c]$	d	1
Average time by item	t	$t \cdot [\log, c]$	$(i+d) \cdot T/2$	b
Mobility needed	high	medium	low	medium
Precision needed	high	high	low	medium
Cognitive complexity	low	high	medium	medium

where:

- t : average time/keystroke (by user)
- b : average search time (by user)
- c : number of characters that can be selected
- n : number of keys or digits used in the codification
- T : selection time
- d : number of dimensions of the matrix
- i : sum of the rank of each dimension ($n + m + \dots$)

2.2. ACTIVATION SYSTEMS

In every access method the user has to make a selection. The way in which the selection system is activated is a key aspect of the AAC systems accessibility. Activation methods are very diverse and they depend on the user's physical skills. From the point of view of the machine, an activation consists in the detection, through adequate sensors, of a user voluntary and controlled action. Usually it is made by detecting user's movements, breathing or phonation.

Residual voluntary movements can be detected by the displacement or strength associated to them. To detect these parameters mechanical control interfaces are used. For instance, keyboards, joysticks and mice use movement detection. Electromagnetic interfaces can also be used. These interfaces do not require contact and can detect a distant movement through the use of electromagnetic or radio-frequency waves. That is the case of head mounted light pointers used to point in light sensitive screens.

There are also electric control interfaces that are sensitive to electric currents generated by the body. The simplest ones are capacitive switches that are able to detect the static electricity of the body. Keyboards made

with capacitive switches are very adequate for people with muscular weakness because they do not require strength. There are other electric control systems that use electrodes inserted in the skin to detect muscular electrical activity, like electromyographic signals (EMG). One interesting system utilize electrodes implanted near the eyes to detect the eye gaze.⁸

Proximity detectors allow the detection of the movement without physical contact through the caption of the hotness of the body or phenomena of another body (A. M. Cook and S. M. Hussey, 1995). It could happen that the user has no movement control, but he can control his breathing. In this case, the most adequate activation method is the flow detection or the pressure of the expelled air.

If the user is able to emit controlled sounds, there are different activation methods using phonation, depending on the articularity. If the emitted sounds are not articulated, they can be detected by means of a microphone and used to activate a single switch. But if the user is able to emit voice, even if it is dysarthric, automatic speech understanding can be tried (C. L. Coleman and L. S. Meyers, 1991). Some possibilities are mentioned in the next chapter.

The big challenge in activation systems is the possibility of the direct connection from the brain to the computer. Up to date only very rudimentary control has been achieved («yes» and «no») capturing electrical signals from the electrodes implanted in the scalp.⁹ It seems to be very far away the possibility of detecting words (or even letters) in the user's mind.

The selection of an activation method for a concrete user depends on his physical characteristics. According to Cook & Hussey, the most important parameters in order to select a good activation method for a concrete person are:

- The needed *effort* to generate a signal, taking into account not only the strength but also the precision needed.
- The *displacement*, i. e. the distance covered by the interface from the device starting position to the activated one. To minimize the effort, this distance should be small. Nevertheless, it is not convenient to elim-

8. Electrooculographic signals (EOG) come from the small tension variations between the retina and the cornea. LUSTED & KNAPP (1996) designed a system to detect and amplify the signals and eliminate, using fuzzy logic, the derive produced by the gradual (and uncontrolled) changes of tension between the electrodes. This system allows to follow very accurately the eye gaze to be used to move a cursor in a screen (as a mouse). This method is cheaper than other eye gaze tracking methods that use video cameras or infrared light beams.

9. LUSTED & KNAPP (1996) used electroencephalographic (EEG) signals, but they also mentioned experiments made by other scientists using evoked potentials (EP).

inate completely the displacement because it provides activation feedback to the user.

- Some interfaces require also to be deactivated. The *deactivation* usually requires less strength and precision. However it is important to have in mind that the motor control to stop the action some users have is not as good as the one to start it.
- *Flexibility*. The control interface should allow to be activated in the larger possible number of ways and to admit different positions.
- *Durability*. The interface should be made out of durable materials in order to be able to support impacts because of some user's low motor control.

2.3. VOICE RECOGNITION

Commonly used voice recognition systems digitalize the voice (which is an analogical signal) and analyze it to obtain the representation in text of the audible discourse.¹⁰ This operation is called voice-to-text translation. The capacity to «understand» the speech depends on different system features. The most important ones are the separation between the words and the training. It is easier for a voice-to-text system to understand isolated words than the continuous discourse, because it is difficult to determine the separation between two successive words. On the other hand, systems dealing with a known speaker (trained systems) give better results than the ones dealing with diverse unknown speakers (non trained systems). There are commercial systems that offer good results in the recognition of a single speaker uttering isolated words. Non-trained systems give good results understanding different speakers with a limited lexicon. But the most general problem, to understand the continuous discourse of different speakers, has not been completely solved yet.

Voice input systems are very useful for people who maintain their speech capacity but have severe movement restrictions because of motor impairments. That is the case of people suffering from quadriplegia. These people obtain good results using a user dependent voice translation system. Even if continuous discourse is preferable, these users can be trained to use separate words to obtain better recognition.

However, alternative communication refers to people using other communication means rather than voice, while augmentative communica-

10. An interesting tutorial on «digital speech synthesis» can be found in VENKATAGIRI & RAMABADRAN (1995).

tion includes some people having dysarthric voices. In these cases, normal voice recognition techniques are not sufficient. But, it is known that frequently people with dysarthric voice can be understood by their families and friends. It is possible because familiars are used (trained) to the user's voice and because they know about the context of the conversation. For this reason, some researches think that, if a user is able to utter a set of differentiated words that can be understood by trained people, it is also possible to be automatically understood (Ferrier *et al.*, 1995). So, research efforts are directed to develop systems that combine the learning ability (such as neural networks) and being trained to understand a concrete dysarthric voice and the capacity of processing contextual information (using artificial intelligence techniques).

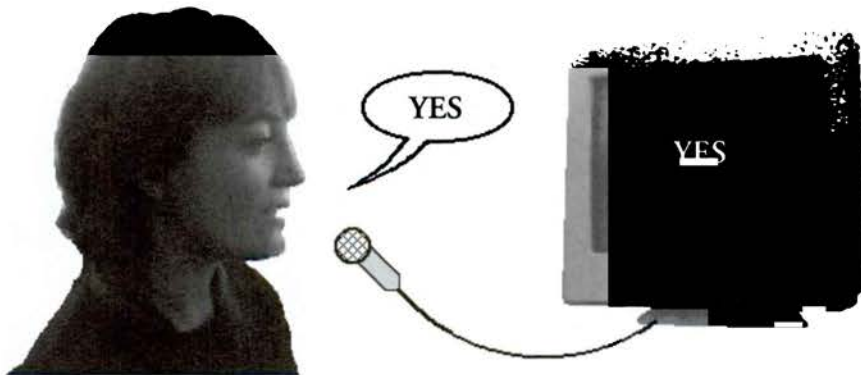


FIGURE 6. Voice-to-text translation.

Voice recognition systems can be used both for human communication and for environmental control. However, the control of some systems, as wheelchairs or robotic arms, can be dangerous if there are recognition errors. In emergency or irritation situations the voice characteristics change and it is more difficult to understand it (Noyes *et al.*, 1992). To avoid recognition errors, different methods are being studied: confirmation request, feedback to the user about what the system has understood, and intelligent software to analyze the verisimilitude of the command and the possible conflicts of its application.

Other interesting application of voice recognition in the AAC field is the development of visual aids to discourse understanding for people with

hearing disability. For instance, converting voice into coded information or into phonetic symbols to inform about the prosody of the sentence. Nevertheless, these systems have a big problem that justifies their low diffusion. It is the extremely high cognitive effort required from the user to follow the conversation.

To conclude, it is necessary to emphasize that voice recognition techniques have not reached the expected development and diffusion in the AAC field, in spite of the expectations they raised.¹¹

2.4. VOICE SYNTHESIS

The advance experimented by digital signal processing in the last years has permitted to face one of the aspirations most desired by AAC users: the so called voice prostheses, that is systems that produce artificial voice. The first ones had a number of pre-recorded sentences. Each sentence was associated with a code, key or menu option to be easily selected by the user. The pre-recorded voice quality was good but the capacity of expression was limited to the available sentences, producing a low articularity.

The next step consisted in designing systems able to read aloud any text available in the computer. Since it is not possible to efficiently store and reproduce all the existing words (with their diverse intonations and inflexions), smaller phonetic units were selected. Thus, sentences were phonetically rebuilt using small segments of pre-recorded human voice, usually *demisyllables* or *diphones* (H. Dettweiler, 1985).

Currently researches are working in the artificial synthesis of human voice using digital techniques because it is more versatile and efficient than pre-recorded voice but, up to now, the quality of the obtained voices is lower and they appear no natural.

Once a text-to-voice system is available, any communication system that accepts texts typed by the user can become a voice prosthesis. Nevertheless practice experience shows that these systems present problems of intelligibility and acceptability. From the point of view of the social acceptability, potential users of devices with synthetic voice prefer voices of their own gender and with natural sound (M. Crabtree, P. Miranda and D. R.

11. NOYES & FRANKISH (1992) attribute the slow progress of the voice recognition applications in communication and environmental control to an inadequate human factors engineering and to the high costs of the existing solutions. Moreover they find that ergonomic problems such as the microphone position, background noise or fatigue can difficult the expansion of the use of this technology. NOYES *et al.* (1992).



FIGURE 7. Text-to-voice translation.

Beukelman, 1990). That is very reasonable because these voices will represent them in their social relationships.

Many authors wrote studies about different aspects having influence on the intelligibility of the synthetic voice. For instance, there are interesting works about the effect of the training and the length of the sentences,¹² the speed of the speech and the tone,¹³ the presence of noise (D. Fucci, M. Reynolds, R. Bettagare and M. D. Gonzales, 1995), the length and complexity of the text (D. J. Higginbotham *et al.*, 1994), the number of training sessions, the type of lexicon,¹⁴ the type of sample (recorded or «alive») (J. W. Scherz and M. M. Beer, 1995), etc.

Anyway, the most important factors for the intelligibility of artificial voice seem to depend on the knowledge of the language. Among them, the

12. H. S. VENKATAGIRI (1994), shows that the intelligibility enhances considerably when the number of heard sentences increases. Besides, in his opinion, the intelligibility is not affected by the length of the sentences.

13. The same author studied the influence of the speaking speed in the intelligibility. Passing from 201 syllables/minute (considered a normal speed for adults) to 139 syllables/minute enhances the intelligibility in more than 10% with isolated words and in 14% with messages. He did not found differences in intelligibility among high (194 Hz), medium (111 Hz) and low (82 Hz) voices. So he recommends to use the tone most adequate to the gender of the user.

14. D. MCNAUGHTON, K. FALLON, J. TOD, F. WEINER and J. NEISWORTH (1994) studied the influence over the intelligibility of the number of sessions and the type of vocabulary (new vs. Repeated). They conclude that the intelligibility enhances with the number of sessions for both types of vocabulary. Furthermore, the repeated vocabulary was easier to understand than the new one both for adults and children.

message meaningfulness, with previous practice with the message and listener's attention are key factors (P. Mirenda and D. R. Beukelman, 1990). Logically the more predictable are the messages the more intelligible they are.¹⁵ That was corroborated by studies carried out with native and non native English speakers.¹⁶

Since research in this field is in progress, the quality and quantity of prototypes with artificial voice is increasing. This variety has influence over a changing market, and currently a number of systems having hardware and software to make text-to-voice translation with acceptable intelligibility and voice quality are commercially available.

3. ENHANCEMENT OF THE COMMUNICATION SPEED

Using AAC devices the users can compose words and sentences at a considerably lower speed than the one that should be adequate to take part in a normal conversation. For instance, the sentence:

«I wish you come to visit me more often»

contains 30 characters that require 30 keystrokes if direct access is used (through a standard keyboard, for instance). The time needed to type this sentence depends on the user ability with the keyboard. A relatively skilled user, typing at 180 character/second, will need 10 seconds to write this sentence. But if he or she is using a scanning system, with two keystrokes/characters, the number of keystrokes needed raises to 60. The time required depends on the scanning rate and the layout of the characters. If we suppose a selection average time of 6 seconds by character, the message composition would take 180 seconds. And this rough estimation does not take into account writing errors, commands to send the sentence to a text-to-voice

15. «MacinTalk voice was adequately intelligible when the messages were relatively predictable. However, when messages were linguistically and thematically unpredictable the reduced intelligibility of the MacinTalk voices limited its functionality.» S. L. RUPPRECHT, D. R. BEUKELMAN and H. VRTISKA (1995).

16. M. REYNOLDS, Z. S. BOND & D. FUCCI (1996) studied the intelligibility of diverse synthesised voices, with and without noise, for native and non-native English speakers. They concluded that while the presence of noise made comprehension difficult for both groups, native speakers had a considerable better comprehension than the non-native, even in noisy environments.

translator, etc. It is evident that this time is far longer than the time required to say it aloud.¹⁷

Thereby, the users of AAC systems can be excluded from common social relationships and experiment deception. For this reason one of the most challenging goals faced by the assistive technology is the design of systems to enhance the speed of message composition. Works in this area are mainly focused to anticipation and code expansion methods. Both of them try to minimize the effort required to type texts.

3.1. CODE EXPANSION

The basic idea is to decrease the number of keystrokes needed using codes instead of words or sentences. Thus, the user enters only the code representing a sentence or a word and the system expands it to the complete sentence or word. To type these codes reduced keyboards¹⁸ can be used. The code can be composed by letters or digits. Let us show some examples.

- Using, for instance, 3-digit codes up to 1000 words or sentences can be coded:

000	water
001	bread
002	milk

- Otherwise, words can be represented by their first n letters. For instance, using the 2 first letters: «wa» for «water», «br» for «bread», «mi» for «milk»...
- There are also systems that associate each key of a standard keyboard with a sentence or word.

Some of these codes are easy to interpret because each sequence has only a meaning: «000» means «water». The articularity of these systems is limited because they are bounded to the coded set of words/sentences, but the translation process is direct: the system substitutes codes by their meaning, and if the sentence is grammatically incorrect or incomplete, it is cor-

17. ANDREW *et al.* 1993 mention studies that show that the AAC users can reach communication speeds between 2 and 26 words/minute, while a normal conversation in English ranks from 126 to 200 words/minute and between 20 and 35 words/minute in written conversation.

18. ARNOTT *et al.* defined *reduced keyboards* as the ones having less than 26 alphabetical keys.

rected using natural language processing techniques as the ones mentioned later.

Other approaches are more difficult to be interpreted by the system. That happens with the one that use the n first letters of each word. If the lexicon is not previously fixed, these codes can be ambiguous. For instance, «wa» can mean «water», «wave», «watch», etc. Some systems are able to cope with the ambiguity verifying the morphological and syntactic categories of the candidate words. In this case the translation process is more complex but a better articularity is obtained because the user can write any word.

Let us show how an ambiguous reduced keyboard works.

Using the reduced keyboard in figure 8, when the character sequence «HELLO» is typed, it is internally coded as «32445». To decode this sequence, the systems takes into account that 3 = {G, H, I}, 2 = {D, E, F} 4 = {J, K, L} 5 = {M, N, O}. So decoding gives any sequence of characters $\alpha\beta\chi\delta\epsilon$ with $\alpha \in \{G, H, I\}$, $\beta \in \{D, E, F\}$, $\chi \in \{J, K, L\}$, $\delta \in \{J, K, L\}$, $\epsilon \in \{M, N, O\}$.

1 ABC	2 DEF	3 GHI
4 JKL	5 MNO	6 PQR
7 STU	8 VWX	9 YZ
*	0 \$	#

FIGURE 8. A reduced keyboard.

The result of decoding process is a set of character sequences such as: HDJKO, GEKLM, IFLJN, etc. Having in mind that each key is allocated with 3 characters, when a n -character word is decoded 3^n different possible sequences are obtained. In this case there are 3^5 , that is 243, different combinations. But only a few of them are correct words in a natural language. So most of them can be rejected just matching them with a dictionary. The computational complexity of this search is proportional to the word

length. With long words this process can be very time consuming (for instance a 8-character word generates 6,561 searches in the dictionary. It seems better to use existing disambiguation techniques looking for character combinations that are not possible in a language. When more than a possible word results statistical, syntactic and semantic criteria can be used to detect the most adequate. To enhance this kind of systems methods to find keyboard layouts that minimize the occurrence of ambiguities have been designed¹⁹.

An interesting example of reduced keyboard with ambiguous codification is proposed by Arnott & Javed. The idea is to solve the ambiguity at each keystroke to obtain only a word. To this effect probabilistic models of the sequences of characters (n -grams) are used. The prediction of the next character using these models allows the selection of one letter among all the possible ones associated with the pressed key. These models are usually obtained measuring the frequencies of the n -grams in large corpora. Nevertheless, similar results have been obtained by Arnott and Javed from a small corpus using an adaptive model that learns the n -grams from the sequences of characters typed by the user. The computational complexity of this method is smaller, but it has a problem: if a wrong decision is taken it is not possible to go back without the user's intervention. Neither is possible to offer different alternative words to the user in order to choose the most suitable.

3.2. WORD PREDICTION

When a person with disability tries to communicate with another person pointing to the characters contained in a board (such as the one in figure 1), it frequently happens that the interlocutor is able to anticipate the complete word before it is completely spelled. As we have mentioned previously, he can do that because of his knowledge about the language and the context of the conversation. Trying to imitate this behavior, some anticipation systems have been designed.

Taking into account the relative frequencies of apparition of the different characters in a language, it is not difficult to anticipate the next letter of a word. Since the proposal should be accepted or rejected (by means of a keystroke), even if the hit rate is very high there are not significant keys-

19. The one from GARDEAZÁBAL & POZA (1997) developed using genetic algorithms give interesting results. Nevertheless, ARNOTT & JAVED obtained similar results for 4 different 12-key keyboards (one of the alphabetically sorted, and other one sorted by frequencies).

rokes savings. To obtain real savings the size of the anticipated block of characters should be as large as possible, but the hit probability decreases when the block length increases. The word is the linguistic unit that offers the best balance between the number of saved keystrokes and the hit rate, because prediction of syllables is not profitable and units larger than words are very difficult to predict. For this reason the majority of existing anticipation systems are directed to word prediction.

Word prediction methods take profit from the information redundancy inherent to natural languages and from contextual information. Most of them use statistical data—the frequencies of the words or n -grams (blocks of n letters)—to offer the most frequently used word that begins with the already typed characters. If the set of similarly possible words is too large it is needed a selection among these words. In addition to the statistical data, morphological and syntactical information can be used to this effect. The most suitable syntactic category at this stage of the sentence can be deduced from the syntactical analysis of the sentence, narrowing the fan of candidates (H. S. Venkatagari, 1993). Similar procedure has been tried using semantic analysis but the semantic categorization of the words is hardly automatizable, the computational complexity is bigger and the results are not better than the ones using syntactic information (N. Garay *et al.*, 1994).

The efficiency of the prediction method depends on the size of the lexicons used. There is a tendency to use large lexicon containing information taken from huge corpora. These lexicons occupy large memory portions and the search process becomes very slow. New systems use small adaptive dictionaries that modify themselves while they are being used to include the most frequently used words for a concrete user.

The user interface plays an important role in the usability of word prediction methods (H. Horstmann Koestern, 1994). If more than a word is offered to the user, the hit probability increases but the time needed to select one of them, too. It is necessary to reach a balance among the number of proposals and the time required to select the appropriate word. To avoid the need of the selection by the user among the candidates, some systems give only one proposal which is directly added to the text being typed. Only if the user explicitly rejects this word, it is removed and the spelling continues.

It is difficult to compare the diverse prediction methods appearing in the literature because different parameters are used to evaluate their results. Nevertheless, the most frequent figure of merit are «keystroke savings».

$$\text{Savings} = 1 - \frac{\text{number_of_keystrokes}}{\text{total_number_of_characters}}$$

The savings in the time used to type a text depend on the scanning or typing rate (as scanning or direct access are used). Thus, it is not possible to establish standard measures. Besides, the influence of other already mentioned factors (size and structure of the lexicon, number of proposals offered, type of acceptance/rejection...) is hardly measurable (N. Garay-Victoria and J. González-Abascal, 1997).

In the field of research on intelligent systems for people with speech impairments, the set of tools developed by the Microcomputer Centre of the University of Dundee stands out. These tools include: *PAL* (Predictive Adaptive Lexicon), an adaptive prediction system which helps in conversation and writing; *Chat & Topic*, starting from a model of the conversation help the user to find the most adequate words or sentences in each phase of the dialogue (very effective for the most formal and standardized dialogue phases). There are also tools to reuse segments of the conversation, such as *TalksBack* (a knowledge-based communication system), that uses the knowledge about the user to predict the most adequate word using artificial intelligence techniques. *Moco*: (Modular Social Communicator) generates tags and small sentences to give continuity and fill the conversation. *Hamlet* (Helpful Automated Machine for Language and Emotional Talk) adds emotion to the synthetic voice, etc.²⁰

The reactive keyboard designed by Darragh, Witten, and James (Darragh *et al.*, 1992) is an adaptive program, designed for able-bodied people, that speeds out the communication with the computer through a keyboard, trying to predict what the user will type. Its predictions are purely statistical and they are based in the texts typed by the user in this session or in previous ones. The modelling technique for adaptation is based in an adaptive compression method that keeps the context in big, structured trees of characters. A context match in the tree allows the prediction of the next element. For this reason this program is valid for any language in any context. This idea has been extended and five predictive interfaces have been proposed (Greenberg *et al.*, 1995), including adaptive prediction in menu selection and mouse movement, an autoprogramable calculator and tools for the reuse and organization of resources.²¹

20. See the chapter *Intelligent systems for speech and language impaired people: A portfolio of research*, from A. F. NEWELL, J. L. ARNOTT *et al.*, in EDWARDS (1995).

21. For instance the adaptability of the interactive hierarchical menus, principally the ones with a high number of levels, is based in the dynamic reconfiguration of the hierarchy in function of the frequency of use of its items. In this way, the most frequently used items are in the first levels, displacing the least frequent ones. If the frequency of use varies in time, the place occupied by each item changes. Nevertheless, these movements impede the memorisation of the position and oblige to the user to search for the item every time he want to use it.

3.3. CORRECTION OF SPELLING AND TYPING ERRORS

The low speed in communication could be because of the typing errors. One reason for the low speed in communication can be due to typing errors. Every time a mistake occurs, the user must go back in the sentence and correct it. If he fails in correcting errors the text-to-voice translator may experiment difficulties to pronounce the sentence and its intelligibility can be affected. Existing programs that correct spelling and typing mistakes automatically can be used to avoid this problem. These programs use statistical, morphologic and syntactic information to found the mistakes and to correct them «on the fly». Thus, they are highly dependent on the language used. If the user wants to write anything considered grammatically incorrect, he should do it between two control characters that temporarily disable the action of the corrector.

Other systems to enhance the communication speed can profit from these techniques. For instance, there exist communication systems that require the reconstruction of the sentence even if there are not mistakes. When the selection set is composed only of complete words, a trained user can produce «telegraphic style» sentences at an acceptable speed. This kind of sentences may result ambiguous due to the lack of pronouns and prepositions, the use of infinitives, etc. In addition the interlocutor may think that the user that produces this kind of sentences is less intelligent. So the reconstruction of the sentence appears essential. To this effect, Demasco and McCoy developed an interesting prototype of system that expands and corrects syntactically telegraphic style sentences produced by people with motor disability and cognitive restrictions (Demasco *et al.*, 1992). The resulting sentence must be accepted by the user before being sent to the voice synthesizer, in this way the user maintains always the control.

3.4. TRANSLATION FROM PICTOGRAPHIC SYSTEMS TO NATURAL LANGUAGE

There exist a large number of alternative and augmentative communication systems based on pictograms or pictures. Some of them have reached a broad diffusion, such as Bliss symbols, Rebus, PIC, PCS, etc.²² These systems are specially indicated for speech impaired people with difficulties in reading and writing. The articularity obtained with these sys-

22. See G. C. VANDERHEIDEN and L. L. LLOYD: «Communication Systems and Their Components» in BLACKSTONE (1986), p. 49-162.

tems is very varied. Some of them allow to express any idea combining abstract symbols by means of grammatical rules, while others only represent the concrete objects or people that appear in the image. The more expressive is the symbolic system the higher cognitive development it requires. Thus, a pictographic communication system selected for a user must match his cognitive capacity. In this way, the communication speed obtained can be very satisfactory.

Pictographic communication is usually classified as an AAC assisted system. During the communication process the interlocutor reads the meaning of the symbols pointed or selected by the user and interprets the message. Some systems that automatically interpret symbolic messages have been developed to avoid the dependence with the interlocutor and to enhance the user autonomy. The complexity of the interpretation is higher for the most expressive systems.

Bliss symbols is one of the most extended pictographic systems. There exist diverse programs to automatically translate from Bliss symbols to different natural languages. The first step is to substitute each pictogram with the correspondent word or sentence. The result that turns out is usually a disordered and grammatically incorrect sentence. The second step consists in placing the words in their place and to add concordances (i. e. number), particles (i. e. prepositions), conjugate the verbs, etc. The complexity of this task depends on the target language. Usually it requires the use of natural language processing techniques such as syntactic analysis, disambiguation, etc.

The result is a correct sentence that can be included in a written text, sent to the text-to-voice translator, etc.

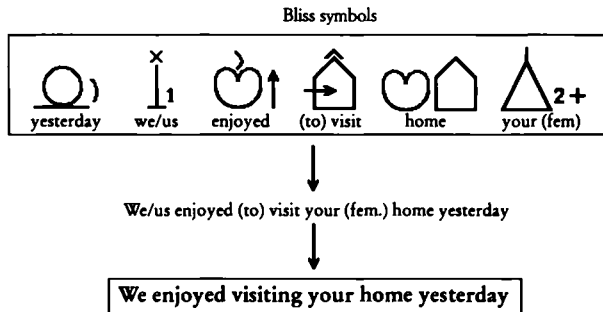


FIGURE 9. Translation from Bliss symbols to natural language.²³

23. Taken from BLACKSTONE (1986).

3.5. MEASUREMENT OF THE SPEED OF THE COMMUNICATION

Since the communication process involves human beings, the correct evaluation of the efficiency of the diverse methods of communication requires that testing is performed by real users and is based in sound methodologies.

Nevertheless, there exist some user independent characteristics that can be measured using the appropriate workbenches. For instance, there exist simulators that permit the emulation of different access systems, diverse selection set layouts and systems for the enhancement of the communication speed (González-Abascal *et al.*, 1990). The objective is to measure the maximum performance of the system in ideal conditions to obtain an upper limit of its efficiency. A random error generator can be added to obtain an idea about the influence of errors in the performance of the tested system. The evaluation results with this kind of tools are useful to test, compare and select different technical features of the system, but these results can not be taken as definitive because the critical factor, the interaction with the person, is ignored.

Some authors prefer to test their systems with no disabled people, to minimize the dispersion in physical features and the problems raised by cognitive limits that appear when samples composed by disabled users are used.²⁴ However, the definitive evaluation depends on the interests, tastes, preferences, physical and cognitive characteristics, etc., of the actual users.

24. Two important indicators to evaluate the adaptation of the system to the user are the speed and the accuracy of the message generation. SZETO, ALLEN & LITRELL (1993) show that message generation speed depends on the access method, the type of interface and the single switch activation for operational features of the device used. They performed a comparison of three input methods: row-column scanning, directed scanning with a joystick and direct selection through a light pointer over a sensible panel, and a mouse emulator through lightweight headset with three ultrasonic transducers and a pneumatic switch. From the test carried out by 16 non-disabled students using these systems for interactive communication, the importance of the selection method on the communication speed was shown. However, they found that the input method has not a significant effect on the text accuracy. A very interesting conclusion is that even people without disabilities obtained very slow communication speeds. In this experiment the speeds obtained (in character/min) were: 16.6 with scanning, 24.6 with directed scanning and 31.8 with direct selection.

4. TENDENCIES IN THE TECHNOLOGY FOR THE SUPPORT OF THE AAC

4.1. INDIVIDUAL DIFFERENCES AND ADAPTABILITY

The physical skills and the potential user's cognitive characteristics of a concrete technical aid can be very different. For this reason it is necessary the design of systems that can be tailored to the individual user. There are computer techniques that allow to evaluate the adequacy of an interface to a concrete user before its implementation. The design process includes several steps (Kumar *et al.*, 1996). The most important ones are: the *acquisition of data* about user's needs that allow to develop quantitative models and the provision of design specifications, the *virtual prototyping* that simulate the interaction between the user and the product, and the *rapid design and prototyping* to evaluate its adequacy to the tasks developed by the user and to establish the features for its later production. The flexible manufacture techniques allow the production of the resultant devices, even if the number of items to be manufactured is small.

Furthermore, physical and cognitive characteristics of the user can experiment variations in time that must be taken into account. Some of these variations are evident in short periods of time. For instance, the fatigue modifies the performance obtained from a device along the day. Other features suffer slower modifications, such as the enhancement in the use of a device due to the influence of learning and training. To cope with these variations it is very convenient to design adaptive interfaces, usually based on user modeling. These interfaces take into account the possible variations and modify their behavior to adapt itself to the user.²⁵

4.2. RESEARCH IN TECHNOLOGY FOR THE SUPPORT OF THE AAC

Provided that the object of the technology that supports the AAC is the communication, the research in this field should be oriented to real applications. The use of the technology in AAC is not only circumscribed to the supportive functions, centered in personal communication and interaction with the environment (which are the main topic of this chapter). It is also necessary the application of computer technologies in other AAC areas,

25. KÖBSA (1993) presents an interesting review of user modelling techniques used for adaptive interfaces.

such as the design of tools for the diagnosis of impairments and the assessment of the resulting disabilities, the technologic support to the treatment and to the training, and the data processing for research (Soede *et al.*, 1991).

To this effect, Soede proposes to go deeply into some aspects sometimes forgotten:

- The effect of the use of communication systems on the communication itself.
- An adequate analysis of the needs and the reachable objectives.
- Formal description and classification of the communication disabilities to establish workbenches for the designs in AAC. These workbenches should establish different characteristics and diverse user situations and they should also describe the methods and procedures for the testing and comparison of the different designs.

Coming back to the technical support of the AAC, which is the *leitmotiv* of this chapter, the basic paradigm must be the «design for all», putting aside partial adaptations and patchworks to commercial systems. It is necessary that the design of the interaction systems takes into account the needs of all from the very first steps to allow the adaptation of the system to each user.

To this effect, the research in the field of Human-Computer Interaction is essential: powerful tools for the development of interfaces, more imaginative interaction styles and new input/output devices are needed, taking profit from alternative communication channels between the user and the interface (see figure 10).

In addition, it is necessary to go deeply into the application of interaction systems sufficiently stabilized in other areas, such as:

- *adaptive interfaces*, that modify their behavior in function of the user capabilities and their evolution;²⁶
- *intelligent interfaces* used as translators to overcome the cognitive gap between the user and the more complex applications;
- *multimedia and multi-modal interfaces*²⁷ to diversify and complement the information reaching the user, in order to enhance the understanding of the information due to the redundancy of the different modalities.²⁸

26. More information about adaptive systems can be found in BENYON (1993).

27. BLISCHAK & LLOYD (1996) show an application of multimodality to AAC.

28. See the chapter *Multiple modalities in adapted interfaces*, from A. D. N. EDWARDS *et al.* in EDWARDS (1995).

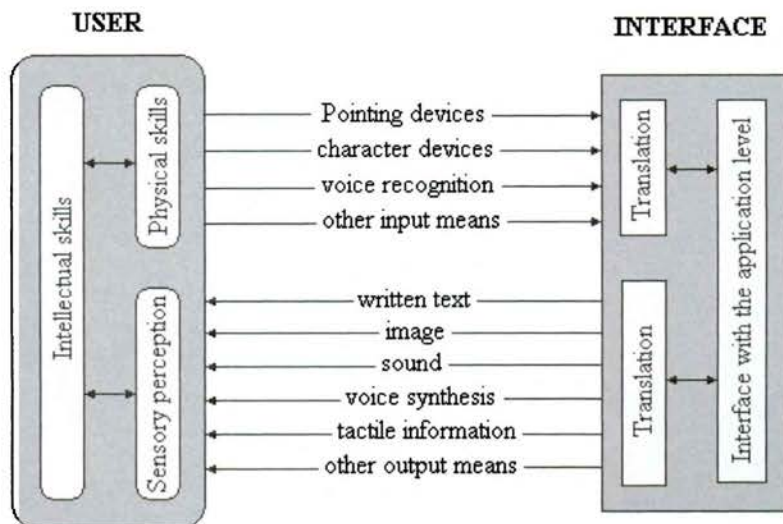


FIGURE 10. Communication channels between the user and the interface.

To ensure the success of the new technical systems to support AAC a multi-disciplinary approach is necessary. That includes a genuine user involvement, as Alm explains in his answer to Soede (Soede *et al.*, 1991). The user's participation is fundamental, particularly in the specification of his needs and in the evaluation of prototypes. In both cases it is substantial the use of a rigorous methodology, such as Userfit (Poulson *et al.*, 1996), for instance. But all of that is not useful if the users opinions have not an effective feedback in the design process, in order to make the needed modifications in the specifications or in the prototype.

Finally, when dealing with the development of technology to support AAC it is convenient not to forget this principle: the technology is not an objective by itself. When there are alternative and augmentative communication systems that provide good results not requiring sophisticated technology, it is not convenient to search for more complex solutions only because the technology is available.

5. BIBLIOGRAPHY

- BASIL, C.; PUIG DE LA BELLACASA, R. [ed.]. «Comunicación aumentativa». *Curso sobre sistemas y ayudas técnicas de comunicación no vocal*. Madrid: INSERSO, 1988.

- BENYON, D. «Accommodating Individual Differences through an Adaptive User Interface». In: SCHNEIDER-HUFSCHMIDT, M. [ed.]. *Adaptive User Interfaces*. Elsevier, 1993, p. 149-165.
- BLACKSTONE, S. W. [ed.]. «Augmentative Communication: An Introduction». *American Speech-Language-Hearing Association* (December 1986).
- BLISCHAK, D. M.; LLOYD, L. L. «Multimodal Alternative and Augmentative Communication: Case Study». *AAC*, vol. 12, no. 1 (March 1996), p. 37-46.
- COLEMAN, C. L.; MEYERS, L. S. «Computer Recognition of the Speech of Adults with cerebral Palsy and Dysarthria». *AAC*, vol. 7, no. 1 (March 1991), p. 34-42.
- COOK, A. M.; HUSSEY, S. M. *Assistive Technologies: Principles and Practice*. Mosby, 1995.
- CRABTREE, M.; MIRENDA, P.; BEUKELMAN, D. R. «Age and gender Preferences for Synthetic and Natural Speech». *AAC*, vol. 6, no. 4 (December 1990), p. 256-261.
- DARRAGH, J. J.; WITTEN, I. H.; JAMES, M. «The reactive Keyboard: A predictive typing aid». *IEEE Compute*, vol. 23, no. 11 (November 1992), p. 41-49.
- DEMASCO, P.; MCKOY, K. «Generating Text From Compressed Input: An Intelligent Interface for People with Severe Motor Impairments». *Communications of the ACM*, vol. 35, no. 5 (May 1992), p. 68-78.
- DETTWEILER, H.; WOLFGANG, H. «Concatenation Rules for demissyllable Speech Synthesis». In: DE MORI, R.; SUEN, C. Y. [ed.]. *New Systems and Architecture for Automatic Speech Recognition and Synthesis*. Berlin: Springer-Verlag, 1985. (NATO ASI Series, vol. F. 16.)
- EDWARDS, A. D. N. [ed.]. *Extra-Ordinary Human-Computer Interaction. Interfaces for Users with Disabilities*. Cambridge University Press, 1995.
- FERRIER, L. [et al.]. «Dysarthric Speakers' Intelligibility and Speech Characteristics in Relation to Computer Speech Recognition». *AAC*, vol. 11, no. 3 (September 1995), p. 165-175.
- FUCCI, D.; REYNOLDS, M.; BETTAGERE, R.; GONZALES, M. D. «Synthetic Speech Intelligibility under Several Experimental Conditions». *AAC*, vol. 11, no. 3 (March 1995), p. 113-117.
- GARAY, N.; GONZÁLEZ-ABASCAL, J. «Application of Artificial Intelligence Methods in a Word-Prediction Aid». In: ZAGLER, W. L.; BUSBY, G.; WAGNER, R. R. [ed.]. *Computers for Handicapped Persons*. Berlin: Springer-Verlag, 1994.
- GARAY-VITORIA, N.; GONZÁLEZ-ABASCAL, J. «Intelligent Word-Prediction to Enhance Text Input Rate». In: MOORE, J. [et al.] [ed.]. *Proceed-*

- ings of the 1997 Inter. Conf. on Intelligent User Interfaces. *ACM*, 1997, p. 241-244.
- GARDEAZÁBAL, L.; POZA, J. E. «Algorithms to search for optimal layouts in reduced keyboards». *Internal research report. KAT/IF-EHU* (1997).
- GONZÁLEZ-ABASCAL, J.; BULDAIN, G.; GARDEAZÁBAL, L.; GÓMEZ, E. «A Software Tool to Evaluate Methods of Enhancing Communication Speed». *4th Bien. Inter. Conf. on AAC, Stockholm. AAC*, vol. 6, no. 2 (June 1990), p. 94. [Abstract]
- GREENBERG, S.; DARRAGH, J. J. [et al.]. «Predictive interfaces: What will they think of next?». In: EDWARDS (1995), p. 103-140.
- HIGGINBOTHAM, D. J.; DRAZEK, A. L.; KOWARSKY, K.; SCALLY, C.; SEGAL, E. «Discourse Comprehension of Synthetic Speech Delivered at Normal and Slow Presentation Rates». *AAC*, vol. 10, no. 3 (September 1994), p. 191-202.
- HORN, E.; JONES, H. A. «Comparison of Two Selection Techniques Used in AAC». *AAC*, vol. 12, no. 1 (1996), p. 23-31.
- HORSTMANN KOESTERN, H.; LEVINE, S. P. «Modelling the Speed of Text Entry with a Word Prediction Interface». *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, vol. 2, no. 3 (September 1994), p. 177-187.
- KOBSA, A. «User Modeling: Recent Work, Prospects and Hazards». In: SCHNEIDER-HUFSCHEMIDT, M. [et al.] [ed.]. *Adaptive User Interfaces: Principles and Practice*. North-Holland, Amst., 1993.
- KUMAR, V.; BAJCSY, R.; HARWIN, W.; HARKER, P. «Rapid Design and Prototyping of Customized Rehabilitation Aids». *Communications of the ACM*, vol. 39, no. 2 (February 1996), p. 55-61.
- LUSTED, H. S.; KNAPP, R. B. «Control de ordenadores por señales neurales». *Investigación y Ciencia*. (December, 1996), p. 40-45.
- MCNAUGHTON, D.; FALLON, K.; TOD, J.; WEINER, F.; NEISWORTH, J. «Effect of Repeated Listening Experiences on the Intelligibility of Synthesized Speech». *AAC*, vol. 10, no. 3 (1994), p. 161-168.
- MIRENDA, P.; BEUKELMAN, D. R. «A Comparison of Intelligibility Among Natural Speech and Seven Speech Synthesizers with Listeners from Three Age Groups». *AAC*, vol. 6, no. 1 (March 1990), p. 61-68.
- MIZUKO, M. [et al.]. «Effects of Selection Techniques and Array Sizes on Short-Term Visual Memory». *AAC*, vol. 10, no. 2, (December 1994), p. 237-244.
- NOYES, J. M.; FRANKISH, C. R. «Speech Recognition Technology for Individuals with Disabilities». *AAC*, vol. 8, no. 4 (December 1992), p. 297-303.
- POULSON, D.; ASHBY, M.; RICHARDSON, S. [ed.]. *Userfit. A practical handbook on user-centred design for Assistive Technology*. Luxemburg: DG XIII-EC, 1996.

- PUYUELO, M.; BASIL, C. [et al.]. *Logopedia en la parálisis cerebral. Diagnóstico y tratamiento*. Barcelona: Masson, 1996.
- REYNOLDS, M.; BOND, Z. S.; FUCCI, D. «Synthetic speech Intelligibility: Comparison of Native and Non-native Speakers of English». *AAC*, vol. 12, no. 1 (March 1996), p. 32-36.
- RUPPRECHT, S. L.; BEUKELMAN, D. R.; VRTISKA, H. «Comparative Intelligibility of Five Synthesized Voices». *AAC*, vol. 11, no. 4 (December 1995), p. 244-247.
- SCHERZ, J. W.; BEER, M. M. «Factors Affecting the Intelligibility of Synthesized Speech». *AAC*, vol. 11, no. 2 (June 1995), p. 74-78.
- SOEDE, M.; ALM, N.; VANDERHEIDEN, G. C. «Issues in the Research and Development of Technical Aids in AAC». In: BRODIN, J.; BJÖRCK-ÅKESSON, E. [ed.]. *Methodological Issues in Research in Augmentative and Alternative Communication*. Stockholm: Swedish Handicap Institute, 1991.
- SZETO, A. Y.; ALLEN, E. J.; LITRELL, M. C. «Comparison of Speed and Accuracy for Selected Electronic Communication Devices and Input Methods». *AAC*, vol. 9, no. 4 (December 1993), p. 229-242.
- TETZCHNER, S. V.; MARTINSEN, H. *Introducción a la enseñanza de signos y al uso de ayudas técnicas para la comunicación*. Madrid: Visor, 1993. [Adapted by C. BASIL]
- VANDERHEIDEN, G. C. «Augmentative Modes of Communication for the Severely Speech-and Motor-Impaired». *Clinical Orthopaedics and Related Research*, no. 148 (1980) p. 70-86.
- VENKATAGIRI, H. S. «Efficiency of Lexical Prediction as a Communication Acceleration Technique». *AAC*, vol. 9, no. 3 (September 1993), p. 161-167.
- «Effect of Window Size on Rate of Communication in a lexical Prediction AAC System». *AAC*, vol. 10, no. 2 (June 1994), p. 105-112.
- «Effect of Sentence length and Exposure on the Intelligibility of Synthesized Speech». *AAC*, vol. 10, no. 2 (1994).
- VENKATAGIRI, H. S.; RAMABADRAN, T. V. «Digital Speech Synthesis». *Tutorial*. *AAC*, vol. 11, no. 1 (1995), p. 14-25.

TECHNOLOGICAL AIDS FOR VISUALLY IMPAIRED

*Antonio B. Martínez**

1. INTRODUCTION

The object of this chapter is to make the existing technical known to those with certain vision deficiencies as well as the more recent technological achievements which in a near future will be available for the visually impaired. The vision deficiency can manifest itself at different levels (figure 1). Total blindness is the absence of vision, and visual residual is said of those which response to luminal stimulus. Within this last category we find different manifestations of incapacity: for example one can have peripheral vision, or only central, or blurs.

As to the existing aids a list will be given latter. Nevertheless, for those that could help the reader in assessing the present status of the technology applicable to this group further explanation is given.

Research and technological development programs are been carried out with help from the European Community and other entities, which back research programs that aim to the creation of new system or product of immediate application, the benefices of which can be transfered in a short time to the society.

The most relevant achievement will endubtly arrive from the constant evolution in the technological field of microelectronics, computer science, and the world of telecommunications.

There exist practical disadvantages for the use of computers by the visual impaired. Today the access to those devices has been made much easier

*Dep. Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial (ESAI), Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya.

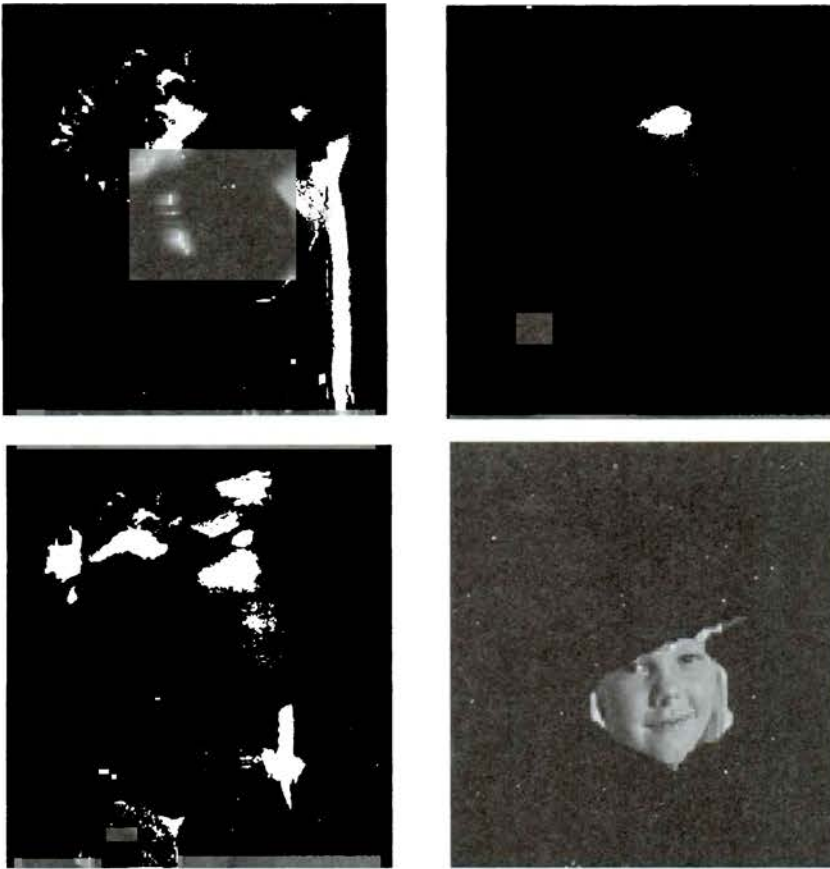


FIGURE 1. Different types of visual deficiencies.

because of the new computer architectures and peripheral equipments which, allow the setting of complex software applications with a minimum response time. This facilitates the adaptation of the software programs to the need of this group.

The novelties in communication are also available to those with sight incapacities. The global positioning system (GPS), that uses signals from satellites, helps in orientating and positioning them in outdoor environments. This device issues information such as about the street where the person is, beside information on urban objects found in a town: lamppost, benches, trees and others. This device permits the user to introduce a route and the system would guide the user to its destination.

2. AVAILABLE TECHNOLOGY FOR VISUALLY IMPAIRED

There is a handbook of technological assistance for visually impaired (Gill *et al.*, 1977) which have a list of available items where the commercial and technical aspect of each item are explained. The different types can be classified according to ISO 9999. With the aim to give a global vision of all the fields where aids can be found, the classification index of ISO 9999 is given.

- Aids for therapy training.
- Aids for personal care and protection.
- Aids for personal mobility.
- Aids for housekeeping.
- Furnishing and adaptation to home.
- Aids for communication information and signalling.
- Recreation.

2.1. AIDS FOR THERAPY TRAINING

The aids cover these needs are very varied, the great majority are aimed at making a visually impaired person able to self administer doses of drugs or controlling levels of vital constants (pressure, glucose, urine...) (see figure 2).

In this way it is possible to find items such as a drop counter which facilitates the administration and counting, boxes with many departments labelled in Braille according to the precise days and periods for following a medical planning. There are also aiding devices for filling syringes with determined doses, which are very useful for those who suffer from diabetes and need the administration of insulin periodically been able to do it by themselves in this way.

In this category we also find a contraption which permits the extraction of blood samples for determining the quantity of glucose or analysing urine (see figure 3).

Later on we shall deal more extensively on the way these devices function through a voice synthesiser, which are already embedded in one chip which can be incorporated to the devices. A different way for giving information to the user when the level of vision permits it, is using a Liquid Crystal Device (LCD) large enough for facilitating its reading. Another group of products classified in this category is aimed at stimulating the residual vision.

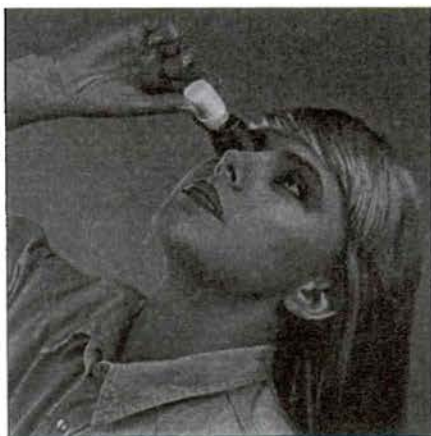


FIGURE 2. Drop counting.



FIGURE 3. Selfinject and control.

2.2. AIDS FOR PERSONAL CARE AND PROTECTION

Under this category we find thermometers to measure body temperatures, scales to weight oneself, wrist watches, pocket watches or table clocks. All these components provide the processed information through different technological alternatives using either a voices synthesiser or a large size LCD.

Many of these products use analogic or digital devices that have already been programmed and so the implementations of specific circuits are no longer needed, making those devices cheaper.

There are many different thermometers (Fahrenheit or Celsius) that give their outputs using LCD and/or synthetic voice. The same applies to scales and watches or clocks where one can hear the messages, or see large digits, or feel vibrations, or see a flash of light, which warns of a determinate occurrence.

2.3. AID FOR PERSONAL MOBILIBY

Within this section there would be included two types of aids. In the first place the sticks as a traditional object, which is used as a guide. On the other hand electronic aids that, by different means, provide the user with enhanced perception of orientation and situation.

The sticks have different functions, the first is to call the attention of other pedestrians that the person using it has visual difficulties. The second that might be the most important, is the information the user can have on the quality of the ground.

Further technologic achievements in new materials (PVC, nylon, Fiberglas, aluminium...) have made possible the manufacture of sticks which are lighter, rigid and foldable. These three features are basic for the user. Weight is important because the stick is a tool which will be carried during most of the day and might fatigue the wrist. Rigidity transmits information about the ground directly when sounding it. And finally the possibility of folding makes it easy to carry and take it into public transport.

The electronic apparatus thought for helping in the orientation and mobility can be classified into two groups: Those which are intended to supply sticks of guide dogs and those which aim at giving additional information. These apparatus are supplied with electronic sensors such as infra-red light, ultrasonic sensor or laser. Their goal is to measure the distance to an object, proximity of obstacles or to facilitate a certain sense of orientation.

The majority of items that measure distance integrate the sensor system inside of glasses. The information is given through coded information by an ear-piece or vibrators, indicating the proximity or presence of obstacles. The working range is adjustable within 1.2 m to 5 m.

There are great varieties of acoustic aids that act as reference beacons. When these items are placed in an environment a visually impaired will sense his/her position and the direction he/she wants to go.

These apparatus are suitable for being placed in the streets for warning about the colour of a street light, or nearness of a corner, etc. The red light would be equivalent to a sound of 880 Hz lasting 0.4 s with a periodicity of 2 s. The green light is detected by a sound of 800 Hz lasting 0.2 s with a periodicity of 0.4 s. Another alternative is the placing of radio emitters buried along the pedestrians path, which emit coded information received by an aerial set in the stick. This radio information is translated into acoustic signals, which can be heard means of an ear-piece.

Electronic compasses have come into use in personal navigation and are commercialised and adapted for facilitating or giving information on the magnetic north. The user receives the information either through a voice synthesiser by Braille or a tactile dop-pad that appears on a circumference with some 10 or 12 positions, which give some 30 degrees of resolution.

These electronic devices are still not very much in use because the ratio cost/advantages are untenable by the majority of users, and on the other hand training on the use of the same requires certain skilfulness.

2.4. AIDS FOR HOUSEKEEPING

There are a great number of commercial utensils that help in the house work, especially those that are used for weighting, measuring, cutting, chopping, slicing, dividing, peeling, cleaning, cooking, ladling or pouring drinks.

The utensils for measuring the level of a liquid have acoustic or vibratory indicators which tell when the fluid gets to a certain given level. Typical applications are those for filling a bath, a cup of tea or coffee etc. The principle on which the work is based is the detection of the conductivity change between two electrodes, when the liquid reaches that level.

It can be said that the remaining aids we have mentioned are very much like the utensils used in any house, and they are easy to manage after little practice. Among these utensils we can mention potato peelers, bread cutters, etc.



FIGURE 4. Magnifying lens adapted to glasses.

2.5. FURNISHING AND ADAPTATION TO HOME

Under this header there are basically boards for reading. These pieces of furniture are very useful for people who, because of their partial vision, need to be very close to what they want to read. These boards are adaptable in height and angle, which makes the reading easy.



FIGURE 5. Vision monocular telescope.

2.6. AIDS FOR COMMUNICATION INFORMATION AND SIGNALLING

Here is where we find that the greatest achievements of computer science and microelectronics have been applied. We proceed to list the most relevant types of aids.

2.6.1. *Optic aids*

They consist basically in the integration of a magnifying lens with an halogen light. Many devices of different sizes, manification and luminic power can be found to suit the user needs.

Another king of optical aids are the monocular or binocular telescopes, which enable to see far and near.

2.6.2. *Electro-optic aids*

Within this section we refer to systems which made use of cameras and special optics for obtaining enlargement of images on a TV monitors as a means visualising the image given by the camera.

The camera is small and is moved along the text to be read. The monitor shows the enlarge image. Since CCD technology began to supersede the Vidicon cameras, their use has become massive in many fields. For example, video surveillance, teleconferencing and others. This fact has borne upon making them cheaper.

Optical character recognition (OCR) allows a visually impaired person to read autonomously texts not written in Braille. The OCR system consists of a unit that collects the information by means of light sensors, a unit for processing the collected information and a unit for converting the information into voice, Braille, enlarge the image using a monitor or any combination of the said systems.

These OCR systems are presented to the users under different modalities. Firstly, a totally autonomous equipment, that is to say, one which includes the three steps: caption, processing and monitoring. Those are thought as table equipment. Secondly, a more simple pocket version. Other products use personal computers as the means for processing the collected information and for monitoring the output information either by a voice synthesiser or by a TV monitor.

The use of a personal computer has the advantage of accepting the use of a great variety of standard programmes and of functions. Personal computers have increased their computational power making it possible to substitute specialised digital signal processors (DSP) which ran algorithms of ICR that are computationally expensive.

2.6.3. *Input and output peripherals*

Most of the peripheral components necessary for introducing the information into a computer and those which help in accessing to the information will come under this heading either by reading or listening to what comes into the screen of the computer or for printing documents.

The digitizer board is a peripheric for inputting orders for obtaining the information from the computer. The digitizer board is a replica of the user's screen and it allows random access. On touching one part of the board the text associated to that zone will be read using a voice synthesiser.

Another peripheric for inputting is the hand scanner that allows to have an amplified image on the screen of a computer.

The Braille keyboard is a peripheric which is connected to the serial or parallel port which is able to share the introduction of coded information with its use as a system for representing Braille characters. For doing this there exists a line with 15 to 25 piezoelectric cells on which the Braille in-

formation is represented. It is also usual to stick transparent labels with the Braille character on a conventional keyboard.

The Braille printer has the inconvenient of the noise they produce on hitting the paper.

The large printers are set inside large compartments in order to minimise the noise (see figure 6). The technical characteristics which define them are the number of characters per second, the width and length of the paper, the pressure of the printing and the capacity of printing both sides of the paper.

2.6.4. Available software

Here we find listed many items, most of them based on voice synthesisers for text and magnifiers of the image that appear on the computer monitor.

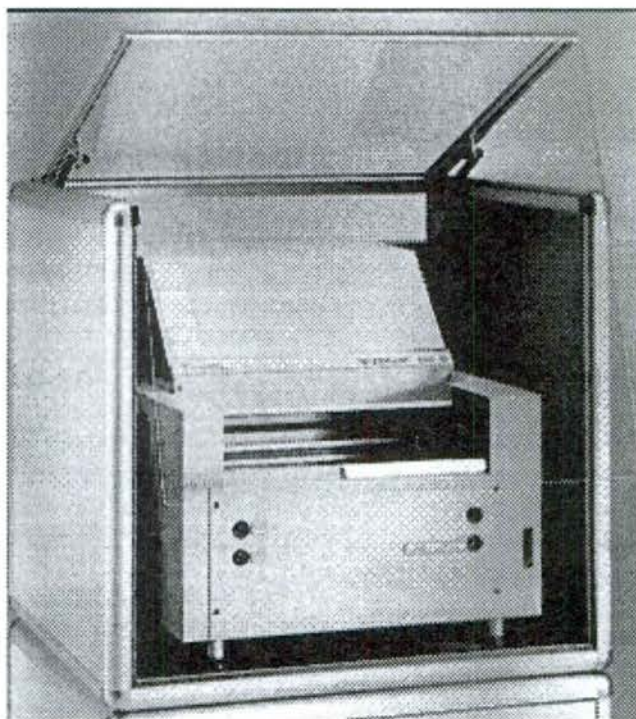


FIGURE 6. Braille printer.

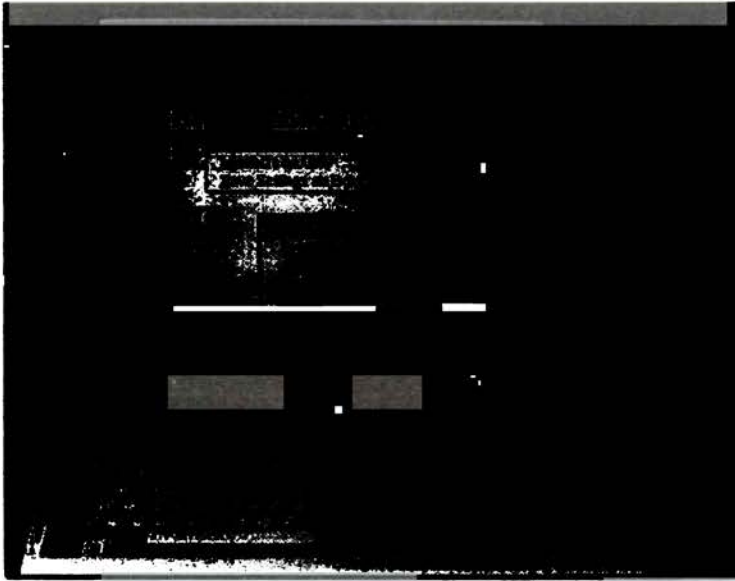


FIGURE 7. Modified display of a computer.

In places where Windows operating systems are used, which undoubtedly are more an inconvenience than an advantage, there still reminds making the access to the graphic information possible.

2.6.5. *Computers*

Personal computers for visually impaired have one basic use, that is, to store information which has been coded in Braille. If this information were stored in paper, printed would occupy 20 times more space. They are also adapted to their needs. They are portable in the majority of cases and have voice synthesisers, a piezoelectric display and a Braille keyboard. As to the reminding properties there are the same as in any other personal computer of everyday use.

2.6.6. *Telephones*

Telephones are also adapted to this discapacity. One of the characteristics that have become obsolete is the memorising of numbers. This perfor-

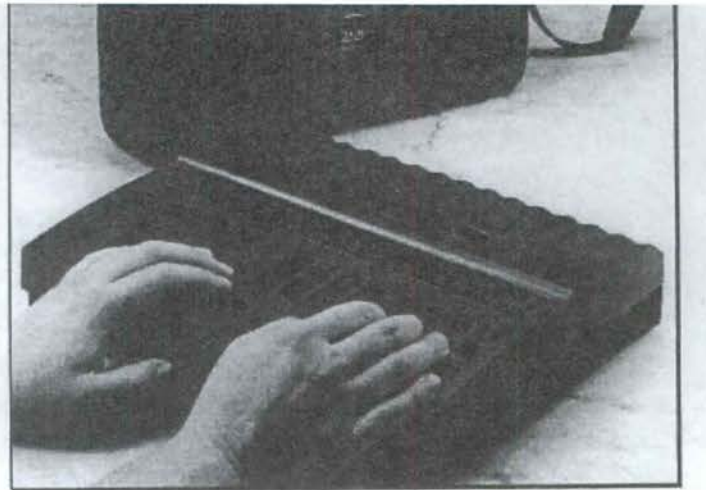


FIGURE 8. Portable personal computer adapted to user.

mance has become universal to standard telephones. Having the telephone numbers stored save time and errors when dialling. Another possibility is to enlarge the figures and even to put Braille figures. Another advantage added can be the audible repetition of numbers for their correct assessment.

2.7. RECREATION

Many of the toys and games with which non visually impaired children play can be used by those which suffer of certain visual incapacity. Nevertheless, free time is also, and (why not?) a very appropriate time for stimulating psychomotor skills, tactile sense, cognitive development, and other capacities which can help to compensate the deficiencies caused by the lack of vision.

There are few items of this kind available, but we can resort to simple things, which can be put to good use with imagination.

3. SOME RESEARCH PROGRESS WHICH HAS BECOME REALITY

Most research projects related to visually disabled under the TIDE program aim at developing aids that can be used in public places.

OPEN (Gallon *et al.* 1995) was a project within this frame, that had as a main objective to guide visually impaired people inside the London and Paris underground stations. The technique used consisted in the distribution on infrared emitters in strategic point, which emitted modulated signals sent to a receiver carried by the user. The information that the users receive tells them the places where they are such as: ticket office area, stairs, barriers, platforms, etc. They also get other types of information indicating how to arrive at other part of the station, or destination of the next train, spatial location, etc. The project also made use of tactile response from the ground using known textures to indicate, path, stairs, corners... With all this information and with the knowledge of the place, the system allowed the user to orientate and locate himself and so, to move about with ease. The participants of the project think that the system, although it was efficient, it may still be further developed before becoming standardised a model.



FIGURE 9. Mobic system.

Mobic (Strothotte *et al.* 1993) was another project within the frame of the TIDE program. The objective of the system was to enhance outdoors the mobility of the visually impaired.

The system consists in two modules: one for planning the route with the help of a computer and another as a doer of previous planning. In order to cover this phase, the user carries a GPS receiver, which permits the orientation and localisation of the user with sufficient precision for carrying out the previously decided route.

Although the systems is very promising it requires greater degree of integration than actually has. After testing it with several people they all agree that the use of the system was still too complex.

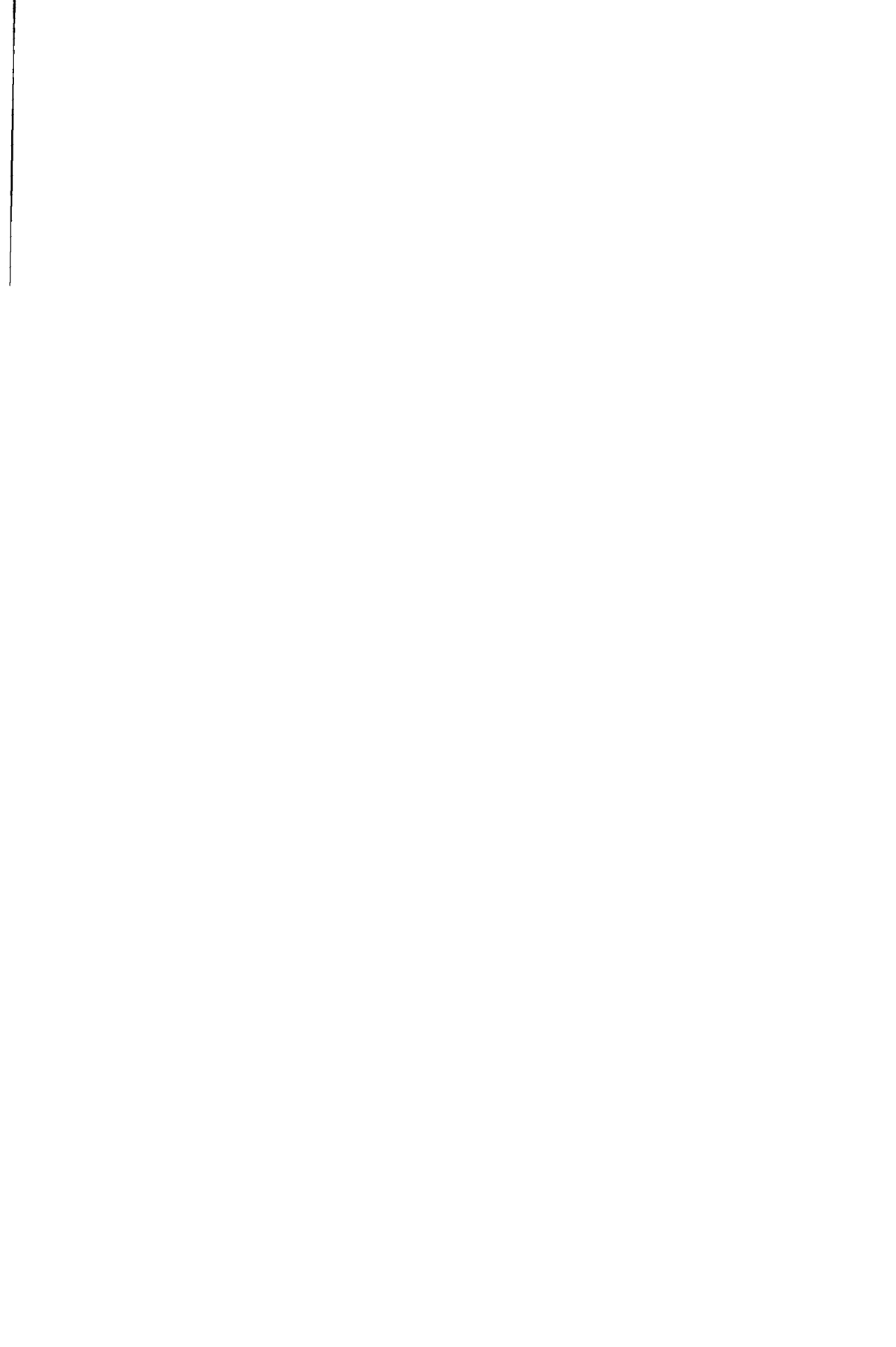
Another thing that requires the effort of many researchers is the interface with computers for helping in the training (Strothotte *et al.* 1993, and Kurze *et al.*, 1995).

As has been commented above, with reference to communication aids, the access to graphic information, which is a complex problem, is been studied and the first steps have been taken (Strothotte *et al.* 1993).

One way to convey graphic information to visually impaired is oral description. This process requires in first place an interpretation of the graphic present on the screen and how to describe verbally the information, so that it becomes intelligible.

4. BIBLIOGRAPHY

- GALLON [*et al.*]. *The Wayfinding Requeriments of Blind or Partially Shigt-ed People in Metropolitan Underground Railways*. The European Context for Assistive Technology. IOS Press, 1995.
- GILL [*et al.*]. *Research Information Handbook of Assistive Technology for Visually Disabled Person*. London: Thiresias Consortium, 1997.
- KURZE [*et al.*]. *New Approaches for Accessing Different Classes of Grafics by Blind People*. The European Context for Assistive Technology. IOS Press, 1995.
- SHRAGA [*et al.*]. *Mobile Robot Obstacle Avoidance in a Computerized Travel Aid for the Blind*. IEEE Internacional Conference on Robotics and Automation, 1994.
- STROTHOTTE [*et al.*]. *Multimedia-Interfaces for Blind Computer Users*. IOS Press, 1993.
- *Mobic: User Needs and Preliminary Design for Mobility Aid for Blind and Elderly Travellers*. The European Context for Assistive Technology. IOS Press, 1995.



TELEMATICS AND THE INTEGRATION OF PEOPLE WITH PHYSICAL AND SENSORY DISABILITIES INTO THE SOCIETY

*Jan Ekberg and Anna-Liisa Salminen**

1. INTEGRATION OF DISABLED AND ELDERLY PEOPLE IN SOCIETY

The rapidly developing information and telecommunication technology presents opportunities as well as dangers to old people and people with disabilities. A badly designed infrastructure will prevent some groups of old people and people with disabilities to use services and communication facilities open to other groups of the society. On the other hand, a well designed infrastructure will give people with different functional difficulties new opportunities due to the fact that the information services as well as telecommunication services can provide them with interfaces which take their requirements and preferences into account. The services can replace or partly compensate for other activities (like face-to-face communication, travelling, shopping, care, treatment) and thus support the integration of old people and people with disabilities into society.

The condition for an active participation of the elderly and disabled people in the society is that the telematic services are designed in such a way that these people can access to them and that they are easy to use. Services should therefore be:

- directly accessible also to disabled and elderly people,
- adaptable to disabled people and elderly if the first condition cannot be fulfilled.

*National Research and Development Centre for Welfare and Health, Helsinki-Finland.

Special services to disabled and elderly people should be provided if none of the above conditions can be met.

This chapter will introduce the reader to the possibilities, telematics can give to disabled people. Teleinformatics is a term used to describe a range of facilities provided by information systems, that make use of connections to telecommunications; telephone, GSM services, electronic mail, Internet and WWW. Telematics is considered as a means for disabled people to perform activities in their daily living and thus integrate themselves into the society.

2. UNIVERSAL SERVICE OBLIGATION

A central factor for including the needs of older people and people with disabilities is the universal service obligation. According to it telecommunications services and devices have to be such that also older people and people with disabilities can use them. This approach can give a stimulus to technological development and strengthen the competitiveness of European industry in the global market.

The costs will not increase if the accessibility for all requirement specified by the universal service obligation is taken into account when services and devices are designed. On the contrary, these services and devices will have an additional advantage because they include a larger number of users and are therefore less expensive in the general context of society. When a larger part of the population can use standard products and services, the costs of additional training, special adaptation or substituting services diminish.

Telematics should be considered always in the context, where and for what purpose they will be used. In many cases telematics needs to be considered as a part of the service delivery system. The alarm telephone systems are not usefull for disabled people, if there is not anybody in the other end. Therefore, technology itself may not be a problem, but the service delivery and the cost of the whole system behind it.

Another interesting and very much society dependent matter is, who is paying the costs. In many countries technical aids are paid by society at least partially. With telematic services it is very difficult to define, when the service can be seen as a normal part of life. For example, everybody has a telephone or a computer in their homes and everybody must therefore pay for them. On the other hand the service can be seen as a technical aid, which could clearly increase the disabled person's independence.

3. TELEMATICS ACCESSIBILITY FOR PHYSICALLY AND SENSORY DISABLED PEOPLE

Telematics accessibility for sensory disabled people refers to telephone and computer accessibility.

3.1. PHYSICALLY IMPAIRED PEOPLE

In Europe there are 2,800,000¹ wheelchair users and 45,000,000 people who cannot walk without aid. Reduced function of legs and feet means depending on a wheelchair or other artificial aid to walking. Physical difficulty in using telephones and other equipment is not confined to people in wheelchairs but includes people with arthritis. As they get older, a large number of people suffer from disabilities related to specific medical conditions or simply from a general and progressive loss of function through impaired dexterity, immobility and frailty.

Dexterity impairments are often connected to mobility impairments. In Europe there is estimated to be 1,100,000 people who cannot use their fingers, 1,100,000 people who cannot use their arm, 22,500,000 people with reduced strength in their arms and 11,500,000 people with reduced co-ordination.

Reduced function of arms and hands makes activities related to moving, turning or pressing objects difficult or impossible. This does not influence speech communication itself but makes it hard to make a phone call or use a wide range of other telecommunications equipment.

Problems of manipulation are not limited to one group alone. They may be caused or exacerbated by poor design. A blind customer may enjoy perfect dexterity but can be frustrated by a non-standard keypad. Someone in a wheelchair may find it impossible to reach a public phone.

Typical problems faced include physical access to equipment, use of input devices such as a keyboard, keypad, mouse, etc., lifting and holding the telephone receiver, pushing the dialling buttons and controlling of the environment (lights, windows, etc.).

Some of the more obvious problems of public telephones can be solved by providing a hands-off facility, a tilting keypad and for elderly people a small pull-down seat. Cordless phones can be of real benefit to wheelchair users, enabling them to receive calls from anywhere in the house. Mo-

1. All figures relate to geographic Europe where the overall population is about 800 million.

bile phones extend this freedom to the outside world, providing an important security bonus in the event of an emergency.

Many of these problems can be eliminated by better design, while those who suffer from reduced dexterity, co-ordination or strength can be greatly helped. A hand guide will help many users in dialling, not only those who are thought of as disabled. Telephone keys, their size and spacing can easily be modified so that anyone with a hand tremor will be less likely to press the wrong key.

Insertion slots in pay phones should be designed and positioned in such a way that cards and coins can be inserted with a special tool carried by the disabled user or, in an emergency, directly by the mouth. There should also be a facility to pre-feed coins, so that it does not have to be done during the call.

Many telephone exchanges do not allow sufficient time for someone who dials slowly. The obvious remedy is to provide an operator service which allows the normal dialling procedure to be by-passed, but in many countries such facilities are becoming increasingly scarce with the trend to automated exchanges. Figure 1 shows as an example the use of a videotelephone.



FIGURE 1. Videotelephone can help mobility-impaired.

A promising new solution to easily adapt a terminal to the abilities and preferences of disabled people is the Access concept. With this concept the user interface to telecommunications or telematics terminals are constructed by creating first, an abstract specification of how the terminal (user interface) should work. Technical implementations for the various groups of

users like able-bodied people, groups of disabled or elderly people can then be produced from these specifications by using computer software tools, which automatically identify the requirements for each user group and produce software modules based on these requirements. The tools automatically suggest which hardware modules and input output devices should be used in the technical implementation.

3.2. HEARING IMPAIRED

There are 1,100,000 profoundly deaf people in Europe and 80,000,000 with severe difficulties in hearing. Hearing impairment can affect the whole range or only part of the auditory spectrum. The important region for speech perception is between 250 and 4000 Hz.

The term deaf is used to describe people with deep hearing loss, while hard of hearing is used for those with mild to severe hearing loss. It should be pointed out that although many of the 80 million hard of hearing people in geographical Europe will have problems, for example, with using a public phone in a noisy location, they will, however, not necessarily consider themselves as disabled or be registered as such.

Even if they have no problems dialling, people who are hard of hearing may find it difficult to hear the telephone ring, to determine the status of the call (dial tone, fax line, answerphone, etc.) as well as hearing the conversation. Flashing lights or additional ringers with a louder volume can lessen the problem of hearing the phone ring, but are only viable in the user's own home.

As regards hearing the conversation, the receiver can incorporate an amplifier but the proximity of the microphone and the resulting positive feedback on the audio side can produce a howl. Some telephones have a second earpiece, a simple solution which many people have found beneficial and which can also help to reduce the effect of ambient noise.

Traditionally many hearing aids have been linked to a handset by inductive coupling where the disconnection of the external microphone helps considerably in removing unwanted extraneous noise.

Unfortunately, some telephone manufacturers are now using ear-phones which have no magnetic field for this coupling. Telephones should provide the «preferred» level for the magnetic field strength, as defined in the ETSI standard on inductive coupling of telephones to hearing aids (ETSI, 1994). An alternative is to use an add-on acoustic coupler but these have been known to reduce audio quality significantly and are difficult to place on the handset. In addition, the use of digital mobile telephones can

present problems to hearing aid users as they may cause interference to the aid.

For someone with very severe hearing impairment, or who is profoundly deaf and cannot benefit from amplification, the only solution is to use a text telephone.

In the future, picture communication and videotelephony could offer considerable benefits to cognitively impaired people as well as those who are deaf or hard of hearing. Sign language, non verbal information or graphic sign systems can be used to supplement or replace speech (fig. 2).



FIGURE 2. Pictogram communication opens new access.

Multiple disabilities pose special problems. For example, deaf/blind people cannot use the facilities designed specially for those suffering from only one of the conditions. Electronic mail with Braille terminals can be used to transmit text, allowing deaf-blind people to communicate via a relay service. However, the equipment is very expensive because it is produced in small quantities and only a small proportion of blind people read Braille.

3.3. VISUALLY IMPAIRED

There are 1,100,000 blind people in Europe and 11,500,000 people with low vision.

Blindness implies a total to nearly total loss of the ability to perceive form. Low vision implies an ability to utilise some aspects of visual per-

ception, but with a great dependency on information received from other sources as well.

The everyday difficulties faced by totally blind people are readily understood. Finding a public telephone is a problem, but this one could be solved by the new technologies of smart cards and satellite positioning systems. Liquid crystal displays in pay phones, often with little visual contrast and poor ambient lighting, represent a further difficulty for people with low vision, especially when they are constructed in such a way that the user cannot get close.

It is often assumed that touch screens are more user-friendly than keyboards. This is true for many groups, but not for those who cannot see the screen. What is really needed is that users should be able to choose and modify the output to suit their needs. For example, simplify the mode of operation, enlarge the text or replace it with synthetic speech. These and many other facilities could be triggered by the use of smart cards.

Faxes can be a valuable mean of communication for many disabled people, but it is difficult to convert to Braille or synthetic speech. However, they can be transmitted to a central point and then read back to a blind user over the phone.

Audiotex systems for applications such as home banking have proved very useful since they do not require vision. However, they have now been superseded by videotex, which has to be modified by the addition of a speech synthesiser or Braille display, if it is to be used by a blind person.

Audio description of TV programs has made possible blind people or people with low vision to enjoy TV programs.

The recent explosion of information in electronic form (e. g. on CD-ROM or via computer networks) provides an excellent opportunity for blind people to access information in different formats. One way in which these vast quantities of electronic information can be made more manageable and usable is by using hypertext and hypermedia systems. Hypertext is described by Brett and Provenzo as series of text chunks connected by links, which offer the reader different pathways. In hypermedia in addition to text, also pictures, photographs and sound can be included. This will allow readers to access material easily and to explore information in different ways.

3.4. SPEECH, LANGUAGE AND COGNITIVELY IMPAIRED

In Europe there are 2,300,000 speech impaired people, 5,600,000 people with language impairments, 25,000,000 people with dyslexia and

30,000,000 people with intellectual impairments. Speech impairment may influence speech in a general way, or only certain aspects of it, such as fluency or voice volume. Language impairment may be associated with a more general intellectual impairment.

People with reduced language comprehension or intellectual impairment frequently cannot read well enough to use the ordinary telephone directory or to understand written instructions for operating the phone. The second problem can be greatly alleviated by adding graphics and pictograms, which are also of benefit to others, especially foreign language users.

People with speech and motor impairments often communicate slowly. Electronic mail and computer conference could give them new channels of social interaction, compensating to some degree for their lack of opportunities for face-to-face communication. Limited communication speed should not be a handicap in this mode.

The developing technology of speech relay and speech synthesis offers exciting prospects, not only in providing a voice for those with speech difficulties, but in helping blind customers to use telecommunications and other equipment.

4. TELEMATICS INTEGRATING DISABLED PEOPLE INTO THE SOCIETY

There are several new developments in the area of telematics, which can contribute to the integration of the disabled people. This chapter will introduce some possibilities, that telematic services can increase possibilities to participate in daily activities, such as activities of daily life, work and study, and leisure activities.

4.1. ACTIVITIES OF DAILY LIVE AND TELEMATICS

The smart home

The smart home concept describes the electronic interconnection of external and internal telecommunications networks and domestic equipment, operating in an intelligent way, in order to assist the domestic user.

Types of domestic equipment which can be included in the smart home concept include heating systems, cooking, white goods (dish washer, washing machine, freezer, etc.), home entertainment devices (radio, TV,

video recorders, etc.), telecommunications devices (telephone, fax), personal computers, health monitoring sensors and automated devices such as curtain or door controllers. Alarms are transferred when needed to the home care centre.

The smart home is primarily designed to meet the needs of the user, but it is also supporting the work of home assistants, home nurses, social workers by releasing them from routine procedures that the inhabitant can perform himself, thanks to the intelligence in the home.

Many elderly feel unsafe at home. The videotelephone can be used as a media to support daily live for instance by giving information, advice and by updating memory, as well as by providing the social presence of friends or of the workers in the service centre.

The alarm telephone systems including for instance sensors for abnormal situations like getting stuck or falling makes the living at home safer. Wireless telephony (or mobile telephony when far away from home) as part of the alarm system can be used when moving around in the neighbourhood of the home. Suitable bathroom equipment, hoist systems, etc., using robotics (cheap motorised systems with appropriate sensors), security alarm systems and so on, are solutions that make the home «friendly» to its inhabitant. The intelligence of the system would adapt it to the physical strength of the person, as appropriate.

The smart home information system (e. g. the personal computer with its suitable user interface) can help the inhabitant to remember date, time, family members, appointments, surroundings, etc. The smarter home information system can alert the user when it is time for daily routines that should be performed like stretching, taking medicines, eating, and so on. The smarter home should include communication facilities and connections to data base support like: municipal home care data base, patient medical record data base, alarm service data base, etc.

Telemedicine and social care

Telemedicine may give new possibilities to reach social and health services. Teleconsultation and remote diagnostics can provide specialist support, and thus individuals do not need to travel to distant special-hospitals.

The videotelephone can be used for home medical diagnostics (supervision) or for giving physical fitness training instructions, making it possible for a relative or a non trained care person can cope with some medical treatment problems.

Telematics can be used to support disabled person at home. Telephone contacts, chat lines and e-mail can be organised for social support.

Teleshopping

Teleshopping using Internet WEB has been piloted in many countries. For instance medicine can be ordered by the WEB service or by electronic mail and the payment can be handled as by any postal ordering system when the merchandise arrives. An automatic transfer of the payment from the bank account can be done by using for instance the home banking system.

Telebanking

A computer at home can be used as a remote banking terminal when connected to the Home Banking service of a bank. Normal telephone lines together with speech recognizers and synthetic speech, modems, or ISDN (Integrated Systems Digital Network) can for instance be used for these connections. The home banking software as well as personal passwords are normally provided by the bank in question. The service is used to retrieve account or transaction details and to perform payments, transfers, requests for services, etc.

4.2. WORK AND STUDY AND TELEMATICS

Studying

The education sector is already taking advantage from new technology. In addition to systems (like acoustic loops in the classroom, teacher microphones, etc.) for supporting students in the school there is also tele-education introduced (e. g. in rural areas or archipelagos where travelling can be difficult), which makes it easier for disabled students to get the same education as non-disabled. Tele-education trials have used videophones, Internet services or standard data communications as infrastructure.

Local tele-offices for remote teleworking, have been opened in some community quarters. These sites could also be used as places where disabled people, elderly people or home care patients could get recreation, rehabilitation and consultation and also be trained to use new telematic equipment.

To enable blind people use electronic information sources, effective methods of interacting with hypermedia systems have to be developed. These methods include facilities to navigate and explore the information. In the European Commission funded Access Project a demonstrator hypermedia application has been built which illustrates how blind students can make effective use of electronic information sources to support their studies.

The demonstrator includes three of principle types of information found in hypermedia applications: text, sound (e. g. examples of musical instruments playing) and pictures (auditory descriptions of these are provided for the blind students). The interface for blind students uses Braille, synthetic and digitised speech, and non-speech sounds for output; input via the conventional keyboard, a touchtablet (with tactile overlay), a joystick or voice activation (fig. 3).

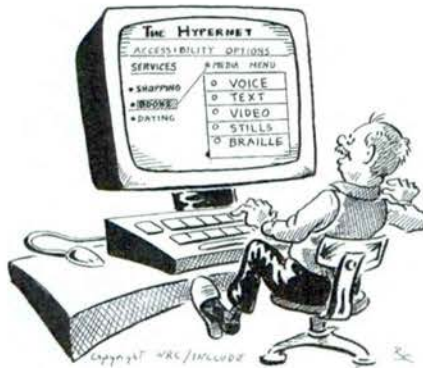


FIGURE 3. Access requires possibilities to make personal choices.

With this application students can have different materials (textbooks, course notes, timetables, dictionaries, other reference books) all available through the same interface adapted to their particular needs. The interface will allow them to make notes to text, place bookmarks, make cross references, etc. The interface also opens possibilities for blind people to access on-line services (teleshopping, Internet, home banking, etc.).

Working

Teleworking is spreading very quickly, due to the availability of fast communication channels (like the integrated services digital network ISDN) and powerful computers. Teleworking is becoming more practical also because the internal work in an office is based on internal local area networks, personal computers, and electronic mail. From this platform it is easy to introduce teleworking or flexiworking into the routines of the office.

In some countries there are resource centres set up in order to support disabled teleworkers. The centres do not only support with information on suitable hardware or software solutions, or on funding options, but also help teleworkers to find missing expertise if part of the work offered is outside their own competence.

The European Commission funded Twin Project investigated the possibilities, how teleworking centres can improve job opportunities for disabled workers. The project monitored real experiences of teleworking in five countries, and developed telework guidelines for workers with disabilities. The project recognised that telework provides opportunities to employ disabled users, or to prevent a newly disabled person to lose his job. However, it was pointed out, that telework is not a general solution and it does not remove all barriers.

Local tele-offices for remote teleworking have been opened in some community quarters. These sites could also be used as places where disabled people, elderly people or home care patients could get recreation, rehabilitation and consultation and also be trained to use new telematic equipment.

4.3. LEISURE AND TELEMATICS

Moving around and travelling

The global positioning system, GPS, is based on satellites transmitting signals that a small handheld, cheap, receiver can use in order to calculate its exact geographical location. More versatile solutions not only display the longitudinal or latitudinal position on a small screen, but can also visualize their position superposed on a map. It can be used to orientate for instance in a city or in the woods. A GPS receiver integrated with a mobile telephone can be used to send location information for instance to an alarm center in case of a car break down or a fall in an unfamiliar place. By just

pressing an alarm button on such an alarm telephone an elderly or disabled user can be located and get the help needed without having to describe the current location.

Automatic payment can be based on credit cards, smart cards and pre-paid cards. An interesting solution is the smart card equipped with a radio frequency link which makes possible for travellers to pay the transport fee in the bus just by being near the payment terminal and pressing the acknowledge button.

Public use cash dispenser have already been developed which automatically adjust their behaviour to correspond to the requirements, abilities and preferences of the user. That includes options like speech input/output, large text display, additional response time, etc.

Leisure activities

Television and radio are still the main applications which are in use. Interactive TV and local TV programs increase the usage of television.

Different telegames, like computer-games or video-games, become more popular all the time. Chat lines provide a possibility to socialise with each other.

Internet offers good leisure time possibilities for people. The participation in different discussion groups offers the possibility to exchange ideas with other people independently of the place or possible disabilities. Navigating around the world and attending different interest groups may also give more content into spare time.

5. CONCLUSIONS

New opportunities for communication increase social participation and offer new possibilities to whom otherwise would be difficult to communicate or to use standard equipment. Ability to use telecommunication systems may increase the sense of dignity and even reduce discrimination. Communication in the electronic domain differs from conventional forms of communication in the very aspect that meeting a person in «cyperspace» is meeting someone without having to be aware of possible disabilities. All that matters is the content of the communication. The risk of isolation caused by technology should be avoided by comprehensive planning and monitoring and by remembering that telematics services after all is just to be used as tools but not as substitution of face to face meetings or personal services.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

The «Telematics Accessibility for physically and sensory disabled people» part of this chapter is based on reference 1 (*Telecommunications for all* by Cost 219 and its chapter 2.1 on consumer overview) the authors of which are acknowledged with gratitude.

Part of this paper is based on the work done in the TIDE/Access project and partners of which are acknowledged with gratitude.

7. BIBLIOGRAPHY

- Access, Affordability and Universal Service on the Canadian Information Highway. Building Canada's information and Communications infrastructure.* Information Highway Advisory Council (1995).
- ANDRICH; ALIMANDI, L. [ed.]. *Telework Guidelines for people with disability.* European Commission. Project Twin. Siva (1995).
- BRETT, J.; PROVENZO, E. *Adaptive Technology for Special Human Needs.* Albany: State University of new York Press (1995).
- CULLEN, K.; CLARKIN, N. *Working and Caring. Opportunities and Social Issues Raised by technologies.* European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions. Working paper no.: WP/94/31/EN (1994).
- FREDERIKSEN, J. [ed.] [et al.] Cost 219. *The use of telecommunications: the needs of people with disabilities.* Madrid: Published for EC by Fundesco (1989).
- GILL [ed.]. COST 219. *The Forgotten Millions.* Published by the European Commission. EUR 15556 EN. (1994).
- KEMPPAINEN, E.; SALMINEN, A. L.; SÄRKIKOSKI, T. *Internal report on social implications.* The TIDE-Access project report (1996).
- Nordiska Nämnden för Handikappfrågor Nordic guidelines for computer accessibility.* NNH 4/93. (1993).
- ROE, P. [ed.]. *Telecommunications for all.* Brussels*Luxemburg: ECSC-EC-EAEC (1995).
- ROE, P. R. W.; SANDHU, J.; DELANEY, L.; GILL J. M.; MERCINELLI, M. *Euco-Tele 219/CTD/95 CD-90-95-712-EN-C, Consumer Overview* (1995). [The book is available on the WEB at <http://www.nta.no/cost219/index>. The Spanish version is printed by Fundesco.]
- The Access Project. Development Platform for Unified Access to Enabling Environments.* TIDE TP 1001. Leaflet (1996).

AUTHORS BIOGRAPHY

Julio ABASCAL

Born in Torrelavega, Cantabria (Spain) in 1956. Graduated in Physics by the Navarra University (1978) and Ph. D. in computer science by the University of the Vasc Country (1987). He is associate professor at the University of the Vasc Country. He is co-founder of the Person-Computer Interaction for special needs lab, where he participates in different projects. He is member of the Technical Committee «Human Computer Interaction» from the International Federation for Information Processing, and he chairs the group «Human Computer Interaction and Disabilities». He is member of the European Action Cost 219 *bis* (Telecommunications Access for Disabled People and Elderly) Management Committee. He is adviser and evaluator in the European program TIDE.

Josep AMAT

Born in Barcelona in 1940. He is industrial engineer by the School of Engineers at the Polytechnical University of Catalonia (UPC), 1967, and Ph. D. by this University, 1977. From 1983 he is professor in Computer architecture and technology at UPC. He is responsible of the research line in computer vision at UPC. He develops his research in the IRI (Institut de Robòtica Industrial UPC/CSIC) in computer vision, mainly in its application to robotics. He participates in different research projects in the field of underwater robotics, rehabilitation robotics and robotics applied to surgery. He is author of many publications, articles and communications to conferences. Among others he has received the award of Fundació Catalana per a la Recerca (1995). He is member of the Institut d'Estudis Catalans from 1990.

Alícia CASALS

Born in Barcelona in 1955. She is industrial engineer by the School of Engineers at the Politechnical University of Catalonia (UPC), 1977, and Ph. D. by this University, 1983. From 1990 she is professor in computer architecture and technology at UPC. She is responsible of the research line in robotics at UPC. Head of the Automatic Control and Computer Engineering Department (1991-1995). Her research work is oriented to the development of intelligent robotic systems, based on the incorporation of environment perception systems and applied to: exploration and rehabilitation and surgical robotics. She is author of many publications, articles and communications to conferences and has been responsible of the organization of several international conferences.

Luis GARDEAZÁBAL

Born in Donostia, Guipúzcoa (Spain) in 1957. Graduated in physics by the Navarra University, and Technical Engineer by the University of the Vasc Country. He is associate professor at the Vasc Country University. He is head of the laboratory: Person-Computer Interaction for special needs, which he founded together with Julio Abascal in 1988. He has led several research projects dedicated to the design of communication systems (both aspects software and hardware) for persons with severe motor and oral deficiencies. These projects have been funded by Inserso, the Vasc Country Government, and the Diputación Floral de Guipúzcoa. Currently, he leads the working group GT2 «Aids to Communication» from SC5/CTN153 from the normalization means of AENOR.

Jan EKBERG

Born in Turku (Finland) in 1940. Industrial engineer (1965) and Ph. D. in technology (1973). He is research professor at the National Research Development Center for Welfare and Health in Helsinki. He is member of the Committee COST TCT «Technical Committee Telecommunications» from which he was vice-president from 1985 to 1997. From the beginning of the TIDE program, he is consultant and evaluator, and he has participated actively in many research projects in the field of telecommunications applied to physical and sensorial disabled. The main subjects of his research are: development of adapted telematics equipment, domotics, systems and

legislation evaluation and macroeconomics of these technologies. He is author of many publications in books, articles and others, dealing with telematics and disabilities.

Antonio B. MARTÍNEZ

Born in Barcelona in 1956. He is industrial engineer by the School of engineers at the Politechnical University of Catalonia (UPC), 1985, and Ph. D. by this University, 1988. He is currently associate professor in computer architecture and technology at UPC, where he teaches microcomputer based design, architectures oriented to computer vision and mobile robots. From 1988 he develops his research activity in the fields of robotics and computer vision. Currently, he is responsible of different research projects within these fields, both for industrial application and in the rehabilitation field.

Joan PLAJA

Born in Banyoles, Girona (Catalonia) in 1927. Graduated in medicine (1951) and Ph. D. in Madrid (1969). He got his post-degree in rehabilitation at Cleveland and New York (USA) with a grant from the World Rehabilitation Fund. He has the Certificate of Specialist in Rehabilitation and in Clinical Neurophysiology. He was head of the Rehabilitation Service in the Hospital General of Asturias in Oviedo from 1960 to 1972. Later on, from 1972 to 1993 he was the head of the Department of Rehabilitation of the Hospital Universitari de la Vall d'Hebron in Barcelona. He has been president of the Spanish Society of Rehabilitation from 1962 to 1972 and president of the Catalan Society of Rehabilitation from 1974 to 1976.

Pierre RABISCHONG

Born in Nancy (France) in 1932. Graduated in medicine (1955) and in neuropsychiatry (1958). He received the Certificate in Antropology at The Sorbona in 1959 and he joins the Laboratory of Anatomy in Nancy. In 1964 he becomes full professor in the Faculté de Medicine of Montpellier. From 1971 is at the same time director of the Unit 103 of INSERM in Montpellier (Institute National de la Santé et de la Recherche Medical), dedicated to biomechanics and its application to persons with motor defi-

ciencies. He is clinical consultant in the Center of the Spinal Cord Injured of Propara. He is founder member of the French Society of Hand Surgery, of the French Association of Industrial Robotics, of the European Society of Engineering in Medicine and of the International Society of Computer Assisted Surgery. He is author of many publications in books, articles and communications to conferences.

Anna-Liisa SALMINEN

Born in Mäntsälä (Finlandia) in 1957. Gets the degree in Occupational Therapist, in 1978, and Teacher of Occupational Therapy in 1987. From 1979 to 1985 she is occupational therapist in several placements from basic grade to head. From 1986 to 1994 she is lecturer in occupational therapy, in basic education in Oulu Polytechnic of Health and Social Sciences and post graduate education in Helsinki Polytechnic of Health and Social Sciences. In 1994 becomes senior planning officer in Stakes (National Research and Development Centre for Welfare and Health), working in assistive technology. She is author of nearly 20 articles and conference papers in the area of assistive technology.

Cristoph F. SCHAEFFER

Born in Kassel (Germany) in 1962. Electrical and computer engineer, RWTH Aachen, Germany, (1986). He is responsible of the development of service mobile robots prototypes at the Fraunhofer Institut für Produktionstechnik (IPA), of Stuttgart from 1987. He is coordinator and manager of the European project Esprit 5292 Mosaic, for the study and development of a system for movement control of different modular and with unified interfaces elements (1990-1992). Co-leader and responsible of the international research group of mobility within IMS (1992-1997). He is expert in control systems architectures for service robots.

Rolf SCHRAFT

Born in 1942. Mechanical engineer by the Stuttgart University (1969) and Ph. D. by the same University in 1976. He promoted and started the research group for the manipulation of materials and assembly at the Fraunhofer Institut für Produktionstechnik (IPA) in Stuttgart. He is Pro-

fessor at the University of Stuttgart from 1977 and at the University of Dortmund from 1981. He is honorific professor at Dortmund University from 1986 and Doctor «honoris causa» at the university of Timisoara (Romania), 1997. He has received very prestigious awards: Golden Robot (1986), JIRA (1990) and Joseph Engelberger (1992). He is member of many international societies related to robotics. From 1972 he collaborates as consultant in different institutions and companies (VDI, REFA, RKW, TAE, VDMA...). He has published more than 380 articles in national and international magazines, and 36 contributions to books.

Johannes WAGNER

Born in Griesheim (Germany) in 1967. He is cybernetic engineer by the Stuttgart University (1993). Currently he is scientific researcher, expert in dynamic systems simulation at the Fraunhofer Institut für Produktionstechnik (IPA) in Stuttgart. He is engineer for development at Preussag Noell GmbH from 1993, and responsible of the development of autonomous vehicles (AGV) for industrial materials manipulation. From 1996 he works in the design and development of service robots for disabled people at the Fraunhofer IPA.

TAULA

Presentació, <i>per Alicia Casals</i>	5
Introducció, <i>per Joan Plaja</i>	7
Avanç tecnològic i ajuts en les discapacitats, <i>per Josep Amat</i>	13
Sistemes d'ajut a la mobilitat, <i>per Rolf Dieter Schraft, Johannes Wagner i Christoph Schaeffer</i>	27
Robòtica assistencial, <i>per Alicia Casals</i>	45
Restauració de la locomoció en pacients amb lesió medul·lar utilitzant estimulació elèctrica funcional (FES). El projecte SUAW BIOMED 2, <i>per Pierre Rabischong</i>	65
Tecnologia de suport per a la comunicació alternativa i augmentativa, <i>per Julio Abascal González i Luis Gardeazábal Montón</i>	85
Ajuts tecnològics per a persones invidents, <i>per Antonio B. Martínez</i>	115
Telemàtica i integració de les persones amb discapacitats físiques i sensorials a la societat, <i>per Jan Ekberg i Anna-Liisa Salminen</i>	129
Notícia biogràfica dels autors	143

CONTENTS

Presentation, <i>by Alicia Casals</i>	153
Introduction, <i>by Joan Plaja</i>	155
Technology advances and aids for disabilities, <i>by Josep Amat</i>	161
Mobility aiding systems, <i>by Rolf Dieter Schraft, Johannes Wagner and Christoph Schaeffer</i> ..	175
Assistant Robotics, <i>by Alicia Casals</i>	193
Restoration of locomotion in spinal cord injured patients using functional electrical stimulation (FES). The SUAW BIOMED 2 project, <i>by Pierre Rabischong</i>	213
Technology to support alternative and augmentative communication, <i>by Julio Abascal González and Luis Gardeazábal Montón</i>	233
Technological aids for visually impaired, <i>by Antonio B. Martínez</i>	263
Telematics and the integration of people with physical and sensory disabilities into the society, <i>by Jan Ekberg and Anna-Liisa Salminen</i>	277
Authors biography	291



