

LA VISIÓ PER COMPUTADOR. APLICACIONS INDUSTRIALS

JOSEP AMAT

Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial, Facultat d'Informàtica de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya

Els robots industrials com a braços operatius controlats per ordinador constitueixen, juntament amb les màquines, eines de control numèric, la base de la fabricació flexible. Aquest concepte que a partir dels anys vuitanta ha anat substituint els sistemes rígids de producció, concebuts per a la fabricació massiva d'un producte únic, o amb un nombre de variables mínim, permet concebre instal·lacions capaces de produir una gamma de productes segons la demanda, aconseguint minimitzar estocs i facilitant la introducció de canvis i millores sobre el producte.

Aquesta evolució cap a la fabricació flexible ha anat molt guiada per l'evolució que la robòtica ha experimentat en els darrers anys, tant en els aspectes mecànics com, especialment, en el suport informàtic de la unitat de control.

ELEMENTS BÀSICS DELS ROBOTS I LA SEVA EVOLUCIÓ

Els robots industrials constitueixen una conjunció entre una estructura mecànica, els seus actuadors i el suport informàtic que permet

el seu control. L'evolució de la robòtica ha anat lligada a la dels seus elements constituents, però l'evolució cap a la robòtica intel·ligent va lligada a l'augment de la capacitat de càlcul de la unitat de control i a la incorporació de sensors que permetin a la unitat de control obtenir informació sobre l'entorn.

ESTRUCTURA MECÀNICA

L'estructura mecànica dels robots està constituïda per una cadena d'elements acoblats, ja sigui amb articulacions dotades de moviments angulars o de desplaçaments, que li permetin accedir a l'espai de treball i efectuar la tasca programada.

Per accedir a qualsevol punt d'un espai tridimensional es necessiten tres graus de llibertat, ja siguin girs o desplaçaments. Aquesta combinació de girs o desplaçaments dona lloc a les clàssiques estructures que cobreixen un espai cartesià, cilíndric, polar o definit per les seves variables angulars.

Tres girs addicionals sobre l'element terminal

permeten no sols arribar, sinó posicionar en qualsevol orientació, l'objecte manipulat o l'eina utilitzada.

L'evolució dels últims anys en el disseny d'aquestes arquitectures no ha estat tan significativa com la d'altres parts del robot, però ha permès estructures més lleugeres i rígides capaces de dotar els robots amb més velocitat i precisió.

Per altra banda, s'han estudiat arquitectures multiarticulades que, en superar els tres graus de llibertat mínims, permeten accedir de diferents maneres a punts de l'espai, i per tant estan dotades de més accessibilitat i, en conseqüència, més ben dotades per salvar obstacles i adaptar-se a entorns més complexos.

A més, l'aplicació de la robòtica a altres camps que els propis de la robòtica industrial ha motivat el desenvolupament de robots dotats de mobilitat, capaços de moure's tant en entorns lliures d'obstacles com en zones més adverses.

ELEMENT TERMINAL

L'element terminal constitueix la interfície entre el robot i l'entorn, el qual permet agafar i manipular peces, objectes o eines, segons el tipus de tasca a realitzar.

En principi es pretén que els robots siguin el més polivalents possible, però tot i així, les estructures mecàniques més idònies per a robots de manipulació, muntatge, pintura o soldadura, per exemple, no resulten ser les mateixes.

Un cop definit ja un tipus de tasca, com pot ser una manipulació, cal dotar el robot amb un tipus determinat de pinça que li permeti agafar i manipular una peça o un cert nombre de peces diferents. Aquest element accessori del robot normalment ha de ser estudiat i definit pel propi usuari. La utilització de sensors de presència sobre l'element terminal permetrà a la unitat de control detectar la presència o la correcta ubicació de la peça a manipular i garantir així la correcta execució d'una tasca.

L'element terminal ha de garantir efectuar

les tasques amb efectivitat i fiabilitat, cosa que a vegades resulta incompatible amb el disseny d'un únic element polivalent que permeti ser utilitzat al llarg de la realització de tot el procés. És per això que actualment es disposa d'elements terminals endollables que poden ser substituïts pel propi robot en funció de l'objecte a manipular.

L'enginyeria associada a l'element terminal i a l'entorn del robot permet completar i augmentar l'eficiència de la robotització de les tasques.

ACTUADORS

Els actuadors dels robots industrials són de tecnologia elèctrica, hidràulica o pneumàtica, depenent de la càrrega suportable, la velocitat i l'ambient de treball.

El procés en els darrers anys en aquest camp ha tingut dues vessants: per una part avançar en aconseguir una millor relació potència/pes dels actuadors, ja que a pesar dels sistemes de transmissió del moviment que són utilitzats, alguns dels actuadors estan localitzats sobre elements mòbils de l'estructura, augmentant la seva inèrcia. La utilització, per exemple, dels motors de corrent altern en substitució dels de corrent continu, en poder efectuar la seva regulació amb inversors d'estat sòlid, ha suposat una notable reducció de pes. Igualment ha suposat un avenç vers la reducció de les inèrcies d'utilització dels actuadors d'accionament directe, que ha permès augmentar les acceleracions i, per tant, les velocitats punta de molts manipuladors.

Per altra part, la miniaturització dels actuadors permet introduir més graus de llibertat d'estructures multiarticulades, aconseguint més accessibilitat o operativitat en aplicacions específiques, que obren la utilització de la robòtica a nous camps, com poden ser el manteniment i la inspecció. Igualment s'aconsegueix més versatilitat i noves aplicacions de la robòtica amb la incorporació de graus de llibertat en els

elements terminals.

EL CONTROL

La unitat de control en els robots permet a l'arquitectura mecànica del braç efectuar amb eficiència la tasca encomanada. El sistema informàtic que constitueix la unitat de control efectua quatre funcions bàsiques:

— Emmagatzemar els programes que permeten executar les possibles tasques previstes.

— Calcular les consignes de comanda a cada actuator, a intervals de temps el més petit possibles, a fi d'efectuar el control dels moviments que són necessaris per executar correctament la tasca a realitzar.

— Efectuar el control de les entrades i sortides per obtenir informació de l'entorn, o per donar ordres de control sobre elements de l'entorn.

— Efectuar la planificació i control de la tasca.

El primer aspecte, el de poder emmagatzemar diferents programes, és precisament la característica que permet diferenciar un robot d'un manipulador. Els robots són els braços articulats informàticament programables, és a dir, que poden canviar de tasca sense cap intervenció humana. Aquesta característica és essencial per a la implantació dels sistemes de fabricació flexible (FFS).

El segon aspecte, la capacitat de calcular punt a punt la trajectòria d'accions a donar a cada actuator, confereix al robot la velocitat/precisió de les trajectòries programades. La resolució en alta velocitat dels algorismes de canvis de coordenades que cal realitzar en funció del model cinemàtic de l'estructura mecànica, requereix unitats de control constituïdes per sistemes multimicrocomputadors, essent usual utilitzar-ne un per al control de cada articulació en una estructura jerarquitzada.

El tercer aspecte, el control de les entrades i sortides, permet que la programació de la tasca a efectuar pel robot se sincronitzi amb els elements de l'entorn. Les dades d'entrada utilitzades poden ser simples binàries, que poden constituir, per exemple, entrades de sensors de presència, que permeten detectar l'arribada d'una peça o detectar la presència d'un determinat tipus de peça sobre l'element terminal. Les dades d'entrada, però, poden proporcionar més informació sobre l'entorn, si s'utilitzen altres sensors com podrien ser captadors de força o matrius de multicaptadors de força formant una pell artificial, sensors de distància o sistemes de visió. La utilització de sensors que permeten la percepció de l'entorn avança vers una robòtica més intel·ligent, amb la qual es podrà realitzar amb igual eficiència una tasca encara que es produeixin canvis en els elements de l'entorn, ja que la unitat de control podrà efectuar una recerca o selecció dels elements o peces a manipular, o modificar les seves trajectòries per efectuar un posicionament correcte, un seguiment o evitar col·lisions.

Finalment, la unitat de control pot incorporar una certa capacitat de planificació de tasques, assolint així la capacitat intel·ligent de generar-se ell mateix un programa que faciliti efectuar un conjunt de trajectòries i accions que permetin realitzar una tasca a partir, només, de la programació dels objectius a assolir. Evidentment, per efectuar una planificació automàtica de tasques és necessari disposar d'una capacitat sensorial que permeti l'obtenció de suficient informació de l'entorn.

PERCEPCIÓ SENSORIAL EN ROBÒTICA

Els tipus de sensors de l'entorn actualment disponibles en robòtica són bàsicament:

- Presència
- Distància (*Range finder*)
- Força i parell
- Tacte

- Olfacte
- Visió

Els sensors de presència constitueixen el nivell més baix de percepció de l'entorn amb què es pot dotar un robot, però amb aquest bit d'informació ja és possible assolir un primer nivell de capacitat d'adaptació a l'entorn, ja que permetrà verificar la correcta presència d'un element esperat de l'entorn o efectuar els moviments encaminats a obtenir la seva correcta localització.

Els sensors de distància, com podria ser el constituït pel conjunt làser-CCD-lineal, ja permeten mesurar distàncies amb precisió i, per tant, obtenir una informació de la profunditat, per exemple, sense necessitat d'haver de fer una exploració amb els moviments del robot, com s'hauria fet disposant només d'un sensor de presència d'elevada precisió en el punt de detecció, moviment que hauria de ser necessàriament lent.

En la realització de tasques de muntatge es fa necessària en molts casos la mesura dels esforços que es realitzen, a fi d'acomodar l'estratègia a realitzar. Per realitzar aquesta acomodació, en alguns casos és suficient una mesura del vector força en dues o tres dimensions, i en altres és necessària la mesura de forces i parells. En aquest cas s'utilitzen acoblaments dotats de sensors extensiomètrics que permetran obtenir per càlcul els sis components dels vectors F i M .

La pell artificial, que va començar a ser desenvolupada a principis de la dècada de 1980, disposa actualment de diferents versions, que permeten utilitzar-la en diferents pinces i aplicacions. De totes maneres, la seva utilització és molt restringida, no a causa de la qualitat de la informació obtinguda, sinó a causa de la vulnerabilitat davant del medi de treball i la necessitat d'un cert manteniment, de manera que es tendeix a utilitzar preferentment sensors remots, com pot ser la visió.

En robòtica també pot ser d'utilitat un determinat sensor químic, sensible a un determinat gas, per ser utilitzat com a sensor

d'olfacte. Això permet realitzar determinades tasques d'inspecció, com poden ser la detecció de fuites i la verificació d'estanqueïtat sense requerir cap contacte físic.

Però el sensor que quantitativament permet obtenir més informació de l'entorn de treball és la visió, que constitueix un sensor molt polivalent.

L'anàlisi de la imatge obtinguda d'una escena permet extreure dades de tipus dimensional, que poden ser utilitzades per a localització sobre el pla, classificació o control de qualitat. També permet l'extracció de determinades característiques, com podrien ser: superfície, curvatures, perímetre, vèrtex, etc., que faciliten el seu reconeixement i classificació segons els models prèviament coneguts.

La visió per computador aplicada a la robòtica permet, doncs, el guiatge del robot cap a la peça, encara que aquesta no es trobi en una posició i orientació predefinida, obtenir automàticament els punts d'aprehensió, reconèixer la peça i seleccionar-la d'entre altres, i apreciar possibles defectes que aconsellin rebutjar-la. Perquè els sistemes de visió industrials esdevinguin operatius amb elevada fiabilitat, és necessari disposar d'òptimes condicions d'il·luminació a fi d'evitar ombres que dificultin la captació de la imatge o modifiquin els valors dimensionals dels contorns estrets dels objectes de l'escena.

El progrés efectuat en els darrers anys en els sistemes de visió, ha permès, per una part, reduir el seu temps d'operació i el seu cost i, per l'altra, augmentar la seva resolució i capacitat d'operació.

Actualment es treballa en la incorporació del color com a atribut complementari de la forma i les dimensions geomètriques, i en el desenvolupament de sistemes de visió 3D, per ajudar a resoldre problemes de robotització més flexibles o més complexos.

ENGINYERIA DE LA ROBOTITZACIÓ

No totes les tasques són igualment robotitzables. En principi resulta més viable la

robotització de les tasques repetitives en entorns molt estructurats on queden definides les posicions i orientacions dels objectes que intervenen en la tasca. A mesura que augmenten els problemes d'accessibilitat i adaptació a les indefinicions de l'entorn, cal efectuar una feina d'enginyeria, encaminada a definir els elements auxiliars de l'entorn, la necessitat i ubicació dels sensors i definir la configuració de la cèl·lula. Per realitzar aquesta enginyeria es disposa de paquets de simulació cada vegada més complets i eficients, que operen a partir d'un model geomètric del robot a utilitzar i d'un llenguatge que permet definir els elements del seu entorn.

La simulació és una eina encara més eficient per realitzar l'enginyeria necessària per configurar cèl·lules de fabricació flexible integrades per diferents màquines i robots.

En els darrers anys el progrés de la robòtica ha estat molt marcat pel progrés de la informàtica, que ha suposat disposar de microcomputadors cada vegada més potents a un preu més reduït. Això ha permès disminuir el temps de càlcul i, per tant, augmentar considerablement la velocitat d'operació, al mateix temps que augmenta la capacitat de control i d'utilització de les dades obtingudes amb els sensors de l'entorn.

En el camp de la robòtica industrial, aquest progrés ha tingut una especial incidència en l'evolució cap al llenguatge de programació de més alt nivell i en un futur pròxim la programació de tasques complexes es veurà potenciada amb la utilització dels planificadors automàtics, que permetran programar tasques sense haver d'efectuar una programació explícita de la realització de cadascuna de les accions de què es

compongi, podent afrontar així entorns rígids, cosa que actualment encara limita molt la robotització de moltes tasques.

Aquesta major flexibilitat, aconseguida en part per la utilització de les tècniques de la intel·ligència artificial, però en part també per la millor eficiència i capacitat dels sistemes de percepció de l'entorn, i en especial el de la visió, permet la introducció de la robòtica a noves activitats de la producció.

Així, per exemple, els treballs de recerca duts a terme en el camp dels robots autònoms intel·ligents permetran segurament la utilització de la robòtica en camps com:

— Treballs de distribució en la construcció o de realització automàtica de tasques en obres civils.

— Treballs de manteniment en plantes industrials.

— Manteniment de serveis públics, com és la xarxa de clavegueres.

— Robòtica agrícola.

— Tasques d'intervencions en zones no accessibles o perilloses.

— Tasques de vigilància i assistencials.

És de preveure, doncs, que la robòtica intel·ligent, a més de donar un fort impuls cap a l'objectiu d'automatització dels processos de producció, permeti la introducció de la robòtica cap a sectors on encara es fa imprescindible actualment la intervenció humana en moltes tasques perilloses, carregoses o rutinàries a causa de preveure les condicions de treball i de l'entorn que es poden donar.