

TÈCNIQUES PER A LA DETERMINACIÓ DE COBERTURA RADIOELÈCTRICA

NARCÍS CARDONA MARCET
Departament de Comunicacions
E. T. S. E. Telecomunicació València

1. INTRODUCCIÓ. CONCEPTE DE ZONA DE COBERTURA

Un dels aspectes fonamentals en la planificació de xarxes de telecomunicacions, especialment en aquelles que donen serveis de radiodifusió o de comunicacions mòbils, és la determinació de les zones de cobertura de les diferents bases o estacions emissores que formen part del sistema de telecomunicacions.

El que l'usuari demana del sistema és que, dins l'àmbit teòric d'abast d'un emissor, el senyal tingui una qualitat acceptable. Aquest terme és en molts casos subjectiu: que s'entén per "qualitat" en un sistema de radiodifusió?, coincideix amb la d'un sistema de telefonia mòbil?, com de bona ha d'ésser la recepció i amb quin tipus d'aparell? En funció del servei (radiodifusió, mòbils, telefonia ...) es pot identificar aquesta qualitat subjectiva amb algun paràmetre físic del receptor. El més habitual és treballar amb la relació senyal/soroll (S/N) i determinar el mínim nivell de senyal d'entrada necessari (sensibilitat del receptor) per a assegurar una determinada S/N. Aquest nivell de senyal d'entrada vindrà donat pel camp elèctric incident en l'antena.

Així, doncs, es pot definir en principi la "zona de cobertura" com aquella àrea dins la qual el camp elèctric supera un determinat nivell (corresponent a la sensibilitat d'un receptor estàndard).

El nivell de camp elèctric depèn dels paràmetres de l'emissor (potència radiada, guany de l'antena, alçada, etc.), tots ells controlables, però també de paràmetres no controlables associats a la propagació entre emissor i receptor.

Aquests fenòmens que influeixen en la propagació són aleatoris i això fa que no es pugui parlar de nivells de camp en un punt de forma determinista.

Per tant, parlem de "zona de cobertura" com aquella àrea dins la qual el camp elèctric supera un determinat lliniar (donat per la sensibilitat i el nivell de soroll) amb una determinada probabilitat.

2. MECANISMES DE PROPAGACIÓ

Per saber quines dades cal conèixer per a determinar la cobertura d'un emissor, veurem quins fenòmens intervenen en la propagació. Com que hem centrat el tema en comunicacions mòbils i radiodifusió, exposarem només aquells efectes que apareixen en les bandes de freqüències assignades a aquests serveis: VHF i UHF, es a dir, entre 70 i 900 MHz aproximadament.

2.1 Espai lliure

El mecanisme fonamental de propagació en aquestes bandes és la Troposfera. Si no considerem de moment la presència d'obstacles en el trajecte entre emissor i receptor, es poden avaluar les pèrdues en espai lliure com

$$L_0 = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

on L_0 correspon a la diferència entre la potència radiada equivalent de l'emissor i la potència rebuda en el receptor.

Per exemple, un emissor omnidireccional en el pla horitzontal (aquesta condició és habitual en radiodifusió i comunicacions mòbils) tindrà una zona de cobertura circular (vegeu la figura 1), on el límit és donat pel camp mínim necessari en el receptor.

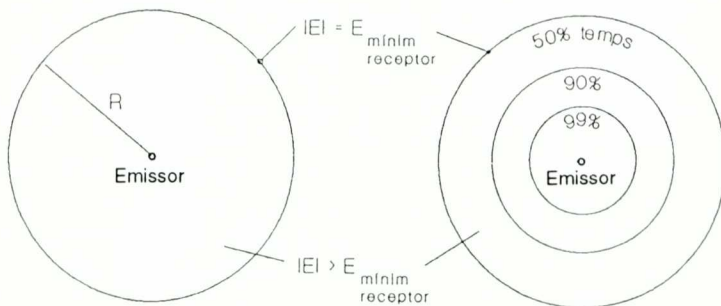


Fig. 1

Però les condicions de propagació no són constants amb el temps a causa de les variacions del paràmetres de l'atmosfera. Per tant, en una ubicació determinada es produeix una variació amb el temps del nivell de camp elèctric. És per això que per a definir la "qualitat de servei" dins la zona de cobertura s'utilitza el percentatge de temps durant el qual se supera el nivell de camp

elèctric mínim (sensibilitat). A la zona de la figura 1, la qualitat seria del 50% del temps. En la pràctica és desitjable una qualitat del 90% del temps; això reduiria el radi de la zona de cobertura a $2/3$ de l'anterior.

2.2 Reflexions

Si es té en compte la superfície de la Terra, cal esperar que es produeixen reflexions especulars, que habitualment suposaran que al receptor hi arribin una o més ones reflectides (veure figura 2a). Aquesta ona reflectida se sumará

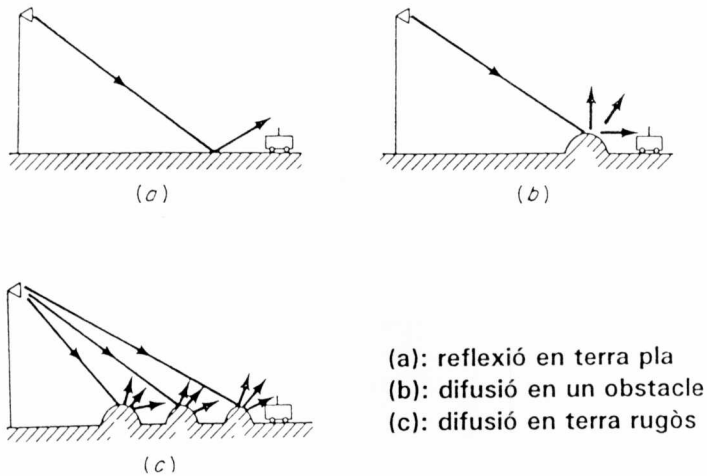


Fig. 2

a la directa però amb diferent amplitud i fase, que depenen del coeficient de reflexió del sòl i de les alçades i distàncies entre el emissor i el receptor. El més habitual és que l'alçada de l'emissor sigui molt més gran que la del receptor, i per tant les reflexions es produiran en punts pròxims al receptor (com es veu a la figura 2).

Per a quantificar aquest fenomen caldrà conèixer el coeficient de reflexió (conductivitat i permittivitat) del terreny en l'entorn del receptor que, normalment, es classifica en categories:

Urbà	Aigua dolça
Suburbà	Mar
Conreus	Arbres fruiters
Matolls	Terreny improductiu
Bosc	etc.

Si es té en compte la rugositat del terreny, més d'una ona reflectida arribarà al receptor. Es pot analitzar l'efecte de les reflexions en funció del grau de rugositat del sòl, donant com a resultat els "diagrames de radiació" de la figura 3. Com es veu, la dispersió serà més gran com més gran sigui la rugositat

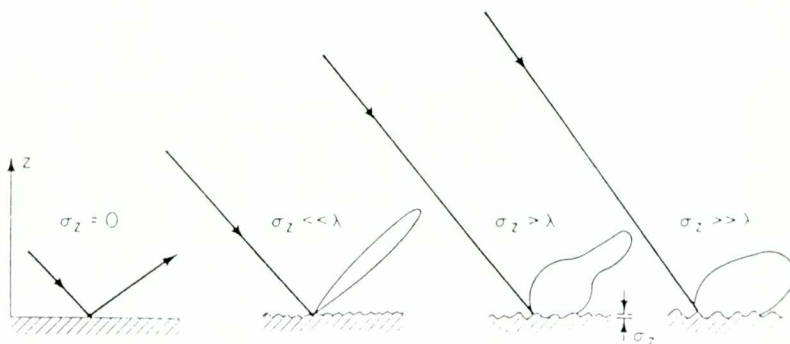


Fig. 3

en comparació a la longitud d'ona. Per a quantificar aquest fenomen serien necessàries dades del terreny amb precisions de l'ordre de λ , es a dir, entre 30 cm i 3 metres en les bandes típiques de comunicacions mòbils.

En general el camp elèctric en el receptor a cada punt serà la suma de contribucions de diferent amplitud i fase corresponents a cada una de les ones directa i reflectides:

$$E_r = E_0 (1 + a_1 e^{j\beta_1 \Delta_1} + a_2 e^{j\beta_2 \Delta_2} + \dots).$$

2.3 Difracció

En els apartats anteriors s'ha considerat que entre l'emissor i el receptor hi havia visibilitat directa. Si tenim en compte l'orografia, apareixen molts punts que no són visibles des de l'emissor però, no obstant i això, el senyal arriba al receptor. El mecanisme de propagació en aquest cas es la difracció en les arestes i cims de les muntanyes, tal com mostra la figura 4. El nivell de camp que podem esperar en el receptor en aquest cas és molt menor i depèn de la forma i l'alçada de l'obstacle i de les distàncies a l'emissor i al receptor. A més, encara que hi hagi visió directa, també caldrà tenir en compte la difracció en obstacles propers a la línia que uneix l'emissor amb el receptor (vegeu la figura 4).

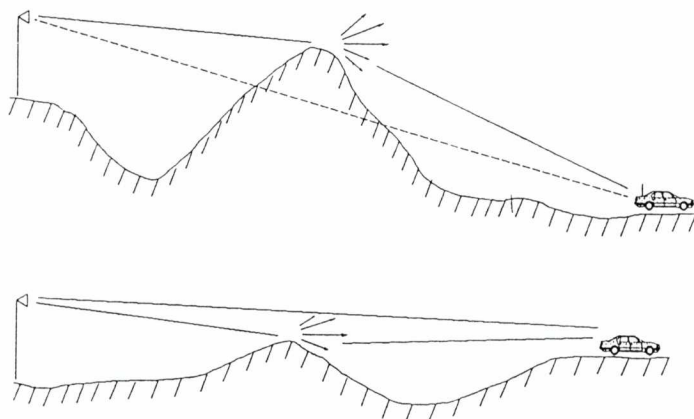


Fig. 4

2.4 Altres fenòmens

A més de reflexió i difracció, hauríem de tenir en compte molts altres fenòmens que podem caracteritzar com atenuacions (sempre variables):

- atenuació en edificis i estructures
- efecte de la vegetació
- orientació dels carrers
- efectes sobre la polarització
- etc.

A la fi, es tracta de determinar el nivell de camp elèctric o la potència rebuda com el producte del valor en espai lliure per un seguit d'atenuacions degudes als diferents fenòmens:

$$P_{\text{reb}} = P_{r0} L_r L_d \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \dots$$

- P_{r0} : potència rebuda en espai lliure
 L_r : correcció per reflexió
 L_d : pèrdues per difracció
 α_i : atenuacions i altres correccions

Tant L_r , L_d com α_i són variables que depenen del punt d'ubicació del receptor (un petit desplaçament, comparable amb la longitud d'ona, pot suposar una variació d'un màxim a un mínim en la recepció). Per tant, no podem determinar zones de cobertura "exactes", sino zones dins les quals es supera un nivell de camp elèctric en un percentatge d'ubicacions.

Fixat el percentatge de temps en un 90%, les zones de cobertura en funció del tant per cent d'ubicacions tindran formes com les de la figura 5.

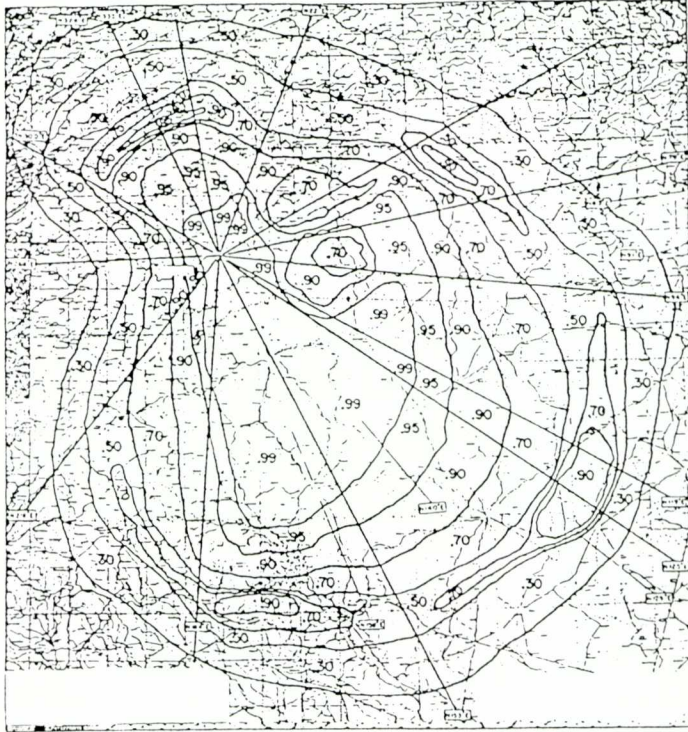


Fig. 5

3. MÈTODES DE PREDICCIÓ DE COBERTURA

3.1 *Sistemes d'Informació Geogràfica (GIS)*

Revisant tots els fenòmens que influeixen en la propagació, es pot veure quin és el conjunt de dades ideal per a calcular la cobertura d'un emissor en un àrea. Com hem vist als apartats anteriors, caldrà tenir informació per cada punt del territori de les característiques del sòl (permitivitat i conductivitat), la rugositat del terreny, els edificis i les construccions, l'orografia (pot ésser un Model Digital del Terreny), la vegetació, etc. Aquest tipus de dades geogràfiques classificades en capes de diferents tipus d'informació d'una mateixa zona es pot trobar en els actuals Sistemes d'Informació Geogràfica (GIS).

Si pensem en el volum de dades que cal moure i a avaluar els nivells de camp elèctric en un gran nombre de punts, aquesta podria ésser la solució

ideal. No obstant i això, trobem alguns inconvenients a l'hora d'aplicar els GIS:

- No és fàcil disposar de totes les "capes" necessàries que hem anomenat i menys en aplicacions d'aquest tipus.

- El nivell de resolució màxim a què arriben normalment les dades existents és d'uns 50x50 metres.

Tot això suposa que, ara per ara, la utilització dels GIS té avantatges respecte a d'altres mètodes si els càlculs es fan per zones reduïdes, en què es pugui disposar d'informació més completa, amb resolucions de l'ordre de 10 metres i on podem suposar constants dins la zona alguns dels paràmetres que influeixen en la propagació.

Per a planificació de xarxes de comunicacions o per als sistemes de radiodifusió, els avantatges són els derivats de l'automatització dels càlculs i el ràpid tractament de les dades.

3.2 *Mètodes de predicció*

Es poden trobar publicats un gran nombre de mètodes de predicció de nivells de camp elèctric en VHF i UHF sobre terreny irregular que no fan ús de totes les capes d'informació que anomenàvem al punt anterior. Per a analitzar-ne alguns, es poden classificar en empírics, semi-teòrics i teòrics.

3.2.1 *Mètodes empírics*

Els més utilitzats són el del CCIR i el d'Okumura. Es basen en la utilització de corbes de nivell de camp elèctric mitjà en funció de la distància. Aquestes corbes s'han obtingut a partir de mesures en diversos tipus de terreny i per cada banda de freqüències. De les corbes s'obté la predicció del camp mitjà i al valor obtingut se li resten les correccions corresponents a l'alçada de l'antena receptora, la irregularitat del terreny, el tipus de sòl, la vegetació, etc.

Com es pot veure, aquests mètodes tenen en compte la topografia només per paràmetres estadístics. Com veurem més endavant, això no és gaire important a l'hora de fer prediccions en zones relativament extenses i en freqüències no gaire altes.

3.2.2 *Mètodes semi-teòrics*

El mètode FTZ combina el d'Okumura amb el càlcul de difracció en múltiples arestes de Deygout i una sèrie de factors de correcció empírics en funció de l'entorn del punt de recepció. Bàsicament se substitueix la correcció

d'irregularitat del terreny del mètode d'Okumura per l'atenuació deguda a la difracció.

El mètode de Longley/Rice està pensat per a treballar amb informació limitada del terreny. Distingeix tres tipus de regions de recepció: visió directa, difracció i ocultació. A la zona de visió directa calcula el camp com la suma de l'ona directa més una reflexió, que la determina utilitzant dades de conductivitat, permitivitat, rugositat i angle d'incidència del terreny. A les zones de difracció calcula les pèrdues totals con suma de contribucions de cada obstacle.

Un mètode similar és el de la BBC, que afegeix correccions (empíriques) degudes a l'entorn del punt de recepció

3.2.3 Mètodes teòrics

Els mètodes de Durkin/Edwards, Meeks, Epstein/Peterson i Giovanelli només tenen en compte la difracció per arestes. El primer és una modificació del mètode de Bullington per a un màxim de 3 arestes, mentre que els de Meeks i Giovanelli es basen en el procediment de Deygout.

Un mètode teòric més complet és el de Blomquist/Ladell, on l'atenuació total és la suma ponderada de pèrdues en espai lliure, pèrdues en terra plana i pèrdues per difracció segons el mètode d'Epstein/Peterson.

3.3 Comparació

La validació de qualsevol d'aquests mètodes sempre es fa sobre mesures i comparacions amb altres mètodes. En general cada un d'ells resulta adequat per a un tipus de zona i per a una determinada banda de freqüències. Això és comprensible si pensem que mai no es tenen en compte tots els factors que afecten la propagació.

Al quadre següent es mostra una relació comparada dels diferents mètodes. Aquest estudi s'ha fet basant-se en mesures a 93.8 MHz (VHF) en dos sectors de diferent topografia, que inclouen terreny muntanyós, conreus, bosc i zones suburbanes. El model digital del terreny de què es disposava era de 100 metres de resolució (100x100 metres cada element) i es feien 100 mesures dins de cada element (1 mesura cada metre)

La comparació es basa en la determinació de l'error de la predicció respecte a la mesura, i resulta que els errors en tots els casos tenien una distribució aproximadament gaussiana. Per a comparar els diferents mètodes es determinen els paràmetres:

σ : desviació típica

ΔE : valor mitjà de l'error

ΔE_{\max} : valor màxim de l'error

Mètode	σ (dB)	ΔE (dB)	ΔE_{\max} (dB)
CCIR	9.5	-1.5	-31.8
Okumura	9.4	4.3	48.7
FTZ	10.7	-2.6	31.8
Longley/Rice	10.9	-5.8	42.2
BBC	12.6	6.5	42.3
Durkin/Edwards	10.2	-14.2	-45.7
Meeks	7.9	-10.7	-37.7
Blomquist/Ladell	7.7	-2.6	-26.3

Com es veu en el quadre anterior, la millor predicció correspon (sorprenentment?) al mètode del CCIR. Això és perfectament justificable si pensem que la majoria dels altres mètodes s'han basat en mesures fetes en UHF o s'han desenvolupat pensant en aplicacions en UHF.

4. CONCLUSIONS

La zona de cobertura la determina la qualitat de servei, i correspon al percentatge d'ubicacions i de temps durant el qual el camp elèctric supera el llindar de sensibilitat del receptor.

No és fàcil disposar de totes les dades necessàries per a poder modelar tots els fenòmens que afecten la propagació; per tant, cal fer ús de mètodes aproximats.

Els mètodes "tradicionals" ofereixen bones aproximacions per a la banda de freqüències i el tipus de terreny en què s'han desenvolupat, però caldrà fer correccions importants en la majoria dels altres casos.

Els sistemes d'informació geogràfica (GIS) poden ajudar a la planificació de xarxes de telecomunicacions i reduir l'error en la predicció del nivell de camp elèctric en les zones de cobertura.