

## REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

### CONTRIBUTI LA MODELAREA UNOR CARACTERISTICI ALE ANTENELOR

AUTOR: ING. TEODOR PETRIȚA  
COORDONATOR: PROF. DR. ING. ALIMPIE IGNEA  
SUSȚINERE PUBLICĂ: 22.11.2012

Proliferarea rețelelor mobile a schimbat fundamental multe aspecte ale vieții umane. Disponibilitatea rețelelor s-a realizat printr-un număr imens de antene, componentă nelipsită a peisajului urban, antene aflate practic la granița fizică a rețelelor. De la antene spre mediul înconjurător influența acestora se exercită prin radiație: distribuția spațială a acestora în câmp depărtat este caracteristica de radiație. Astfel, deși teza privește rețeaua din punctul de vedere al antenelor și analizează caracteristici de radiație, scopul final căruia i se subsumează analiza acestor caracteristici este determinarea acoperirii rețelelor și a noxelor electromagnetice. Teza este axată în special pe antenele de stații de bază (denumite în continuare antene de BTS), deși o parte din concluzii se aplică și altor tipuri de antene (în special cele privind aproximarea caracteristicilor plane și interpolarea caracteristicii tridimensionale de radiație).

Lucrarea are un număr de 124 de pagini, 54 de figuri, 9 tabele și 59 de referințe bibliografice și este structurată pe 5 capitole.

Cap.1 – **Generalități** este un studiu bibliografic al caracteristicilor antenelor, care unifică mărimile folosite ulterior în parcursul tezei; acest lucru este necesar pentru că în diverse lucrări de referință apar notații diferite pentru aceleași mărimi, chestiune care poate genera confuzii. Pe lângă referințele științifice, studiul folosește documente ale ITU (Uniunea Internațională a Telecomunicațiilor) și ECC (Comitetul European pentru Comunicații), documente care sunt referințe în practica inginerescă de radiotehnică.

O diferență față de textele standard este situarea fără ambiguități într-o situație de coordonate și sistem de polarizare care se menține până la finalul lucrării. Astfel, sunt indicate sistemele de definiție a polarizării antenelor după Ludwig, iar lucrarea adoptă definiția II. Pentru antena dipol, dar și pentru șirurile de dipoli verticali, aceasta este cea mai bună definiție. De asemenea, se adoptă direcția principală de radiație pe axa Ox a sistemului de coordonate spațiale și nu Oz, așa cum se mai întâlnește în lucrările studiate, întrucât versorii unghiulari ai coordonatelor sferice coincid cu versorii polari ai definiției Ludwig II pentru polarizare.

Cap.2 – **Aproximarea caracteristicilor de radiație ale antenelor BTS** se ocupă de estimarea diagramelor de radiație cu funcții de aproximare. Pe lângă funcțiile clasice cosinus ridicat la putere, se studiază funcțiile clopot corespunzătoare distribuțiilor Lorenz și Gauss ca fiind alternative viabile la cele clasice. Estimarea se bazează mult pe unghiurile la jumătate de putere în tăieturile plane vertical și orizontal, față de care se estimează și câștigul unei antene directive:

$$g [dBi] = 45 - \log(\theta_3 [^\circ] \cdot \phi_3 [^\circ]) \quad (1)$$

Prin unghiurile cu indice 3 s-a notat valoarea deschiderii lobului la jumătate de putere (HPBW – *Half Power Beam Width*). Pentru caracteristicile uzuale, de tip

$$C(\theta) = \cos^q(\theta) \quad (2)$$

Se arată că o estimare simplă și rapidă a lui  $q$  este:

$$q = 9000/\theta_3 \quad (3)$$

De asemenea, pe lângă aceste funcții sunt analizate diverse forme ale factorului de șir (AF – *array factor*) care pot servi ca și funcții de aproximare:

$$AF = \frac{\sin\left(\frac{N\delta\cos\theta}{2}\right)}{N\cdot\sin\left(\frac{\delta\cos\theta}{2}\right)} \simeq \frac{\sin\left(k\cdot\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right)\right)}{k\cdot\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right)} \quad (4)$$

Se stabilește de asemenea că, în cazul unui șir de antene, relația între unghiul la jumătate de putere al factorului de șir, antena elementară și cel al șirului este:

$$\frac{1}{\theta_3^2} \simeq \frac{1}{\theta_{31}^2} + \frac{1}{\theta_{3AF}^2} \quad (5)$$

Cu aceste considerații se prezintă un exemplu de aproximare de caracteristici plane. De asemenea, după un studiu al algoritmilor de interpolare existenți, se obține o formulă de interpolare pentru caracteristica tridimensională de radiație a unei antene, formulă care duce la o similaritate mai mare cu originalul a rezultatului interpolării:

$$C(\theta, \phi) = \left( \frac{H(\phi) \cdot \sin^2\theta}{VF\left(\frac{\pi}{2}\right) \cdot \cos^2\frac{\phi}{2} + VR\left(\frac{\pi}{2}\right) \cdot \sin^2\frac{\phi}{2}} + \cos^2\theta \right) \cdot V(\theta, \phi) \quad (6)$$

Avantajul acestui algoritm este faptul că nu necesită funcții și calcule auxiliare – se obține direct din secțiunile plane ale diagramelor de radiație și nu necesită detecție de cadran. Algoritmul păstrează caracteristicile excelente ale aproximării lobilor secundari frontali ai compunerii simple a caracteristicilor de radiație, față de ceilalți doi algoritmi care deformează evident acești lobi.

**Cap. 3– Antene BTS în câmp apropiat** tratează calculul câmpului în apropierea antenelor de BTS. Se prezintă două modele din literatură, care apoi se unifică într-un singur model, cu același câmp depărtat, pentru a putea fi comparate. Pentru a se putea ajunge de la antena reală la model, se prezintă o metodă completă de inginerie inversă (*reverse engineering*) pentru a ajunge de la foaia de catalog a unei antene la caracteristicile complete în câmp apropiat și depărtat. Pentru a modela complet o antenă de BTS, în afară de frecvența de lucru sunt necesare patru valori numerice din foaia de catalog: unghiul la jumătate de putere în plan orizontal, unghiul la jumătate de putere în plan vertical precum și dimensiunile panoului din spate. Aceasta este deci „modelul cu patru numere” care poate caracteriza complet o antenă de BTS, pornind doar de la o foaie de catalog sumară, de multe ori singura informație disponibilă. Modelul cu patru numere se scrie ca:

$$C(\theta, \phi) = \cos^q\left(\frac{\phi}{2}\right) \cdot \sin^p(\theta) \cdot \left| \frac{\sin(\alpha N \pi \cos\theta)}{\alpha N \pi \cos\theta} \right| \quad (7)$$

Cele patru numere finale, obținute din numerele primare ale foii de catalog sunt  $N, \alpha, q, p$ .

După prezentarea modelului unificat, se parametrizează cele două modele din literatură cu metoda de inginerie inversă indicată și se compară acoperirea în câmp apropiat obținută. Calculul în câmp apropiat este util pentru determinarea expunerii la noxe electromagnetice pe o terasă de bloc unde sunt prezente antene.

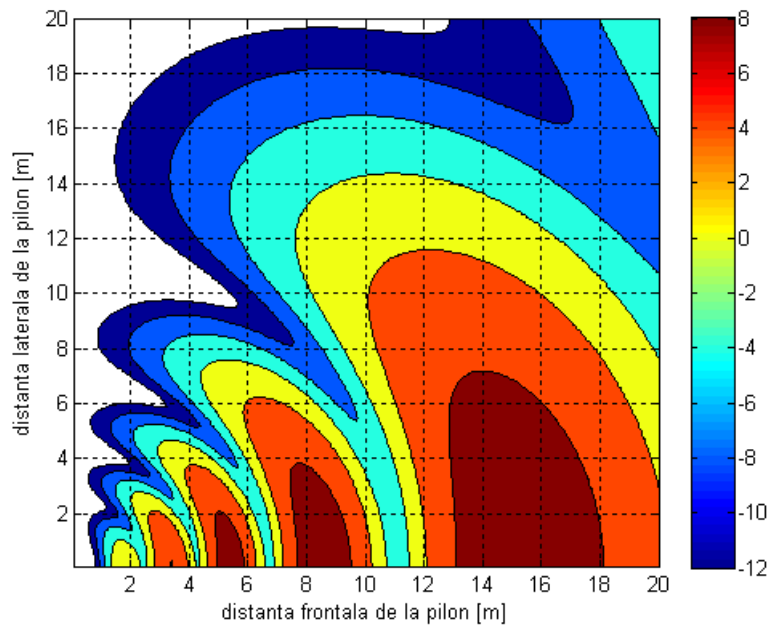


Fig. 1 Intensitatea câmpului electric pe o terasă de bloc [dBV/m] la înălțimea de 1.5m, emisie cu o antenă BTS 1kW EIRP.

Rezultatul unei asemenea modelări este redat în fig. 1.

După această modelare are loc o discuție despre noxele electromagnetice, pericolul real al acestora conform unor surse care au tratat problema cu maximă seriozitate (Raportul Stewart al IEMPG). Autorul indică o formulă simplă pentru distanța de protecție față de o antenă BTS când nu se cunosc date despre aceasta:

$$r [m] = \frac{\sqrt{eirp [W]}}{3} \tag{8}$$

Cap. 4 **Antene BTS în câmp depărtat** tratează problema acoperirii rețelelor mobile. Autorul a scris procedura și a coordonat prima măsurare de acest tip pentru autoritatea de spectru din România, în vederea verificării îndeplinirii obligațiilor din licențe pentru rețelele UMTS Digimobil și Zapp, în anul 2008. Este explicat procesul prin care se ajunge la definiția acoperirii la criteriile de măsurare a acesteia. Metoda este folosită și astăzi de autoritatea de spectru (ANCOM) cu modificări minore. Conform licențelor acordate, o suprafață se consideră ca având acoperire cu servicii 3G, în spațiu deschis, dacă valoarea mediu simulată (calculată) a câmpului electromagnetic generat de un singur canal de trafic de 12,2 kbit/s la marginea zonei de acoperire, la o înălțime de 1.5 m deasupra solului și cu o probabilitate de 50% este de cel puțin 38 dBμV/m. Calculul va avea la bază presupunerea că este referitor la o transmisie vocală cu o viteză de transmisie a datelor de 12,2 kBit/s și o valoare maximă a puterii stației de emisie de 2 W pe canal. Condiția din licență a fost transpusă în prag de semnal și lungime de traseu acoperit, atât pentru orașe cât și pentru drumuri. În fig. 2 se prezintă măsurarea zonei de acoperire pentru orașul Timișoara, rețeaua UMTS Zapp, așa cum a fost ea determinată în 2008.

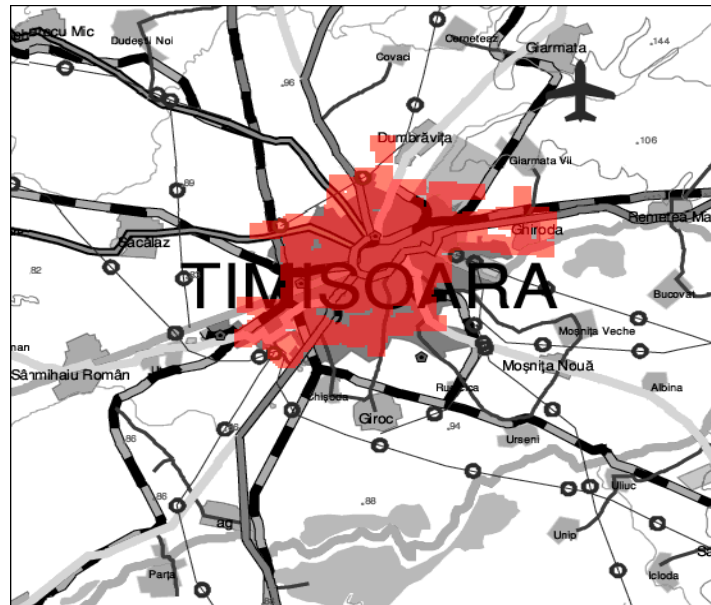


Fig. 2 Acoperirea măsurată pentru Timișoara, rețeaua Zapp

Cap.5 – **Contribuții și perspective**, prezintă contribuțiile autorului și viziunea acestuia pentru cercetări ulterioare. Pe scurt, contribuțiile sunt:

- Ă studiul bibliografic, Cap.1
- Ă validarea formulei (1) pentru antenele de BTS
- Ă folosirea de funcții alternative pentru caracteristica pencil-beam
- Ă calculul simplificat al exponentului pentru funcția standard pencil-beam(2)
- Ă relația dintre unghiurile la jumătate de putere pentru șirul liniar de antene (5)
- Ă extrapolări ale acestei relații pentru relația dintre câștigul șirului și antena elementară
- Ă o nouă metodă de interpolarea
- Ă modelul cu patru numere
- Ă prima măsurare a acoperirii de telefonie mobilă făcută de autoritatea de spectru din România