

# CREȘTEREA PERFORMANTELOR COMUNICAȚIILOR PRIN UTILIZAREA TEHNOLOGIEI MIMO

**Autor: Andrei CEBAN**  
**Conducător științific: conf. univ., dr. Ion AVRAM**

Universitatea Tehnică a Moldovei

***Abstract:** Lucrarea analizează conceptele de bază a sistemului de comunicații MIMO, beneficiile fundamentale obținute utilizând acest sistem cât și unele exemple de implementare în practică a tehnicii MIMO.*

***Cuvinte cheie:** antene inteligente, fading, beamforming, MIMO, OFDM.*

## 1 Introducere

MIMO - Multiple Input Multiple Output - este o tehnologie wireless creată inițial pentru microunde, la realizarea legăturilor punct-la-punct, utilizarea sa fiind ulterior extinsă pe piața rețelelor locale wireless. MIMO îmbunătățește considerabil fiabilitatea, aria de acoperire și robustețea conexiunilor radio. Utilizarea sa în rețelele LAN wireless le permite utilizatorilor să obțină o creștere semnificativă a lățimii reale de bandă în soluțiile de comunicații wireless.

MIMO se bazează pe folosirea mai multor antene inteligente atât pentru transmisia, cât și pentru recepția undelor radio. Unul dintre marile sale avantaje constă în compatibilitatea completă cu rețelele existente IEEE 802.11b și 802.11a/g. Puterea și intensitatea fasciculului radio și sensibilitatea sunt îmbunătățite prin tehnici de formare a acestuia la transmisie și recepție.

Următorul pas în evoluția standardelor LAN wireless (IEEE 802.11n) se bazează pe tehnologia MIMO și permite atingerea unor rate de transfer de peste 300 Mbps, prin transmiterea de fluxuri radio paralele în același spectru de frecvență. Această tehnică, cunoscută sub denumirea de multiplexare spațială, facilitează transmiterea fluxurilor radio multiple prin același canal radio, dublând sau chiar triplând debitul. Multiplexarea spațială schimbă fundamental formatul semnalelor și a necesitat adoptarea unui nou standard - IEEE 802.11n.

## 2 Tehnologia antenelor inteligente

Capacitatea unei rețele celulare depinde de mulți factori, cum ar fi spectrul alocat, puterea maximă a transmițătorului, interferența dintre diferiți utilizatori. O tehnică comună de îmbunătățire a capacității utilizată în a doua generație de rețele celulare, este cunoscută sub numele de sectorizare, ceea ce înseamnă împărțirea unei antene omnidirecționale în câteva sectoare, de obicei trei sectoare. Doarece interferența dintre utilizatori în diferite sectoare este eliminată de lungimea de undă a antenei instalată la un site, capacitatea sistemului este marită semnificativ proporțional cu numărul de sectoare.

Ideea de bază a unei antene inteligente este de a înlocui antena pentru fiecare sector cu un lanț de antene sau de a înlocui toate antenele sectoriale cu un șir circular pentru a servi terminalele mobile pe 360°. Prin implementarea algoritmilor inteligenți de formare a radiației, raza antenelor devine adaptivă, oferind astfel o sectorizare adaptivă sau lobi individuali pentru fiecare utilizator.

Într-un sistem de antene inteligente, un lob este format pentru fiecare utilizator țintă, iar interferența cauzată de alți utilizatori este substanțial redusă prin plasarea acestora în direcția de nul sau în afara lobului principal.

Ar trebui să fie evident de ce antenele inteligente sunt de asemenea denumite antene adaptive și antene cu formarea lobului (beamforming).

Beneficiile fundamentale pe care un sistem cu antene inteligente îl oferă, include următoarele:

- 1 O creștere a capacității sistemului ;
- 2 Consum de putere mai mic la terminalul mobil și la stația de bază ;
- 3 Foarte bună calitate a serviciilor cu o rată de eroare pe bit scăzută și mai puține apeluri pierdute ;
- 4 Creștere a razei de acoperire.

Lobul format de un sistem cu antene inteligente este creat prin aplicarea diferitor coeficienți la diferite elemente ale antenei care sunt plasate fizic separat. Coeficienții de măsură sunt realizați de algoritmi virtuali de formare a lobilor conform cu mediul semnalului. Operațiunea de weighting (măsura, comparare) într-o antenă inteligentă poate fi implementată la frecvența radio RF, frecvența intermediară IF, sau bandă de bază.

Beneficiile realizării RF beamforming (formarea lobilor), precum și a tehnicii de sectorizare adaptivă în sistemele de comunicații mobile, pot fi concentrate în cele ce urmează:

- 1 Sinteza dinamică a sectoarelor și încărcare balansată a traficului ;
- 2 Reducere handover overhead ;
- 3 Controlul interferenței ;
- 4 Distribuția flexibilă a antenei.

### 3 Sisteme de antene multiple

Adoptarea tehnicilor ce implică utilizarea antenelor inteligente în generațiile următoare de sisteme wireless, ar necesita ca toate caracteristicile oferite de sistemele inteligente de antene să fie integrate încă din faza de proiectare pentru a avea impactul scontat în creșterea eficienței spectrale, minimizarea costurilor de instalare a noilor rețele wireless, îmbunătățirea calității serviciilor și realizarea unui context de reconfigurare, robust și transparent.

La ora actuală, cercetarea în acest domeniu este axată pe următoarele probleme:

- 1 Proiectarea și dezvoltarea de algoritmi avansați de prelucrare a semnalelor oferite de elementele antenei multiple, ce să permită adaptarea dinamică la variațiile condițiilor de propagare, la variațiile rețelei în diverse condiții de utilizare ;

- 2 Proiectarea și dezvoltarea unor strategii inovative pentru optimizarea performanțelor la

nivel de sistem și de creștere a transparenței de operare între platforme și sisteme wireless diferite ;

- 3 O evaluare realistă a performanțelor algoritmilor și strategiilor propuse (bazate pe modele consistente ale canalului radio), a modelelor de propagare (interferența între semnale etc.), prin alegerea corectă a metricilor de performanță a metodologiilor de simulare ;

- 4 O analiză a costurilor de implementare, a costurilor suplimentare datorate creșterii complexității , determinate de utilizarea antenelor inteligente pentru sistemele wireless din generația viitoare .

Principalele categorii de tehnici de antene multiple sunt : diversitatea spațială, multiplexarea spațială și antenele adaptive. Sistemele adaptive de antene sunt considerate în esență sisteme ce își ajustează în mod automat caracteristica de radiație pentru atingerea unor performanțe predeterminate pe baza unui criteriu cum ar fi minimizarea BER, minimizarea MMSE, maximizarea SNR, a raportului S/I (Signal to Interference) sau a marginii legăturii

Avantajele majore ale configurațiilor bazate pe antene multiple sunt: factorul de câștig al rețelei de antene, câștigul în diversitate și capacitatea de suprimare a interferenței co-canal. Acestea duc la îmbunătățirea acoperirii, robusteții legăturii și capacității sistemului. Standardele IEEE WLAN și WMAN suportă în mod curent câteva moduri de utilizare a antenelor multiple ce includ STC (Space Time Coding), sisteme MIMO și sisteme adaptive de antene multiple (AAS – Adaptive Antenna Systems). Aceasta este noua abordare în proiectarea și implementarea sistemelor radio fixe

si mobile, venind în întâmpinarea nevoilor de crestere a debitelor de date și a unei calități mai bune a serviciilor.

Sistemele MIMO utilizează antene multiple pentru emisie și recepție și prelucrări ale semnalului la ambele capete (lanț emițător/receptor) pentru o transmisie RF complexă pe mai multe căi. Pe lângă căile temporale și în frecvență, MIMO adaugă o a treia dimensiune - spațială. Pentru a lucra în condiții mai bune este nevoie de o propagare multicale, ce constituia practic un impediment al sistemelor clasice. Un sistem MIMO este unul complex după cum se vede în figura 1 , fluxul de date de intrare este divizat în sub-fluxuri independente, ce se transmit simultan.

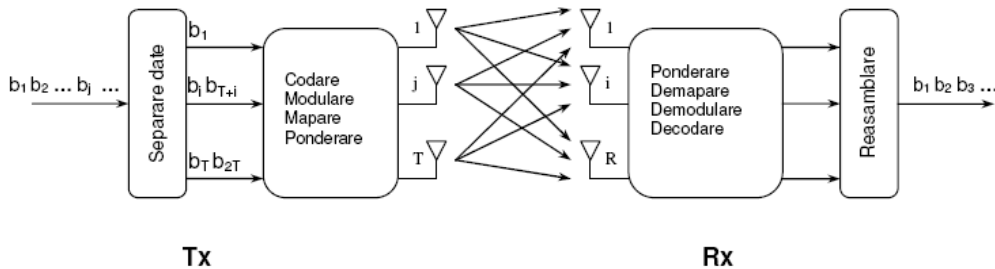


Figura 1 Model schematicizat de sistem MIMO

#### 4 Modelul matematic

În modelul matematic standard utilizat semnalul la recepție este dat de:

$$y = Hx + n \quad (1)$$

unde dimensiunea vectorului recepționat  $y$  este  $N_r \times 1$ , matricea canalului  $H$  este  $N_r \times N_t$ , vectorul de la emisie  $x$  este  $N_t \times 1$ , iar zgomotul  $n$  este de dimensiune  $N_r \times 1$ .

În mod tipic, vectorul de la emisie este normalizat prin  $N_t$ , astfel încât fiecare simbol din  $x$  are energia medie  $\epsilon x/N_t$ . Matricea canalului este de forma:

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & \dots & h_{1N_t} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N_r 1} & \dots & h_{N_r N_t} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Se presupune de obicei că elementele matricii canalului și ale vectorului de zgomot sunt variabile gaussiene complexe, independente și identic distribuite, cu medie zero și matrici de covarianță ce pot fi scrise ca  $\sigma_n^2 \mathbf{I}$  și  $\sigma_x^2 \mathbf{I}$ . Folosind elemente de algebră liniară, se demonstrează că se pot decoda  $N_t$  fluxuri de date dacă există  $N_t$  valori proprii nenule în matricea canalului sau  $\text{rang}(H) \geq N_t$ .

#### 5 Standardul 802.11n (MIMO-OFDM)

Prin combinarea tehnicilor OFDM cu cele MIMO se poate crește spectaculos câștigul în diversitate, capacitatea și performanțele sistemului. Această soluție stă la baza viitoarelor sisteme de comunicații mobile din generația a patra – 4G, precum și a transmisiilor radio de bandă largă și viteză ridicată reglementate de standardele IEEE 802.16 WMAN și 802.11n.

Într-o alianță MIMO-OFDM, tehnicile MIMO asigură viteze ridicate de transmisie , dar

produc interferențe spațiale. Tehnicile OFDM asigură transmiterea fluxului de date de viteză ridicată în paralel, pe canale de bandă îngustă la viteze mici, cu durată mare a simbolului, asigurând transmiterea corectă și pe canale afectate de efect Doppler puternic, cu valoare mare a timpului de coerență. Utilizarea tehnicilor MIMO fără OFDM implică utilizarea de tehnici de anulare a interferențelor la recepție, atât în domeniul timp cât și în cel spațial. În consecință, majoritatea sistemelor MIMO includ tehnica OFDM.

Lucrul la standardul IEEE 802.11n a început în ianuarie 2006, acesta având ca scop creșterea vitezei de transmisie din rețelele WLAN ( Wireless Local Area Network ) de la circa 50 Mb/s în variantele 802.11a și 802.11g la circa 300 Mb/s în 802.11n, în ideea de a apropia debitul efectiv de transmisie din rețelele LAN radio din interiorul clădirilor (indoor) de valorile obținute în rețele Ethernet.

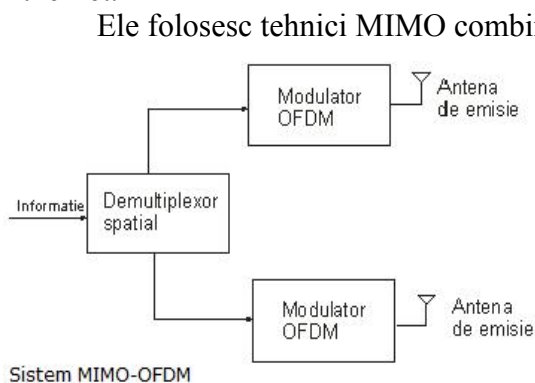


Figura 2 Sistem MIMO-OFDM

Ele folosesc tehnici MIMO combinate cu OFDM pentru combaterea efectelor multi-path și necesită pentru lucru o bandă de 20 MHz, putând lucra și cu o bandă de 40 MHz.

A fost impusă coexistența și interoperabilitatea cu sistemele anterioare 802.11a și 802.11g. Viteza de 300 MB/s se obține pentru o bandă de 40 MHz.

Echipamentele 802.11n pot folosi modificarea adaptivă a caracteristicii de directivitate a antenelor ( adaptive beamforming), codare STBC ( Space Time Block Coding ) sau codare LDPC ( Low Density Parity Coding ).

Tehnica utilizată în 802.11n este denumită pe scurt MIMO-OFDM. Pe fiecare subpurtătoare din sistemul OFDM se transmite un vector, semnalele complexe de acest tip fiind emise simultan prin antenele de emisie. La recepție, în fiecare antenă de recepție se găsesc semnale provenite din toate antenele de emisie. Ca urmare, după efectuarea transformatei Fourier, în locul unui vector întâlnit în sistemul OFDM clasic, ce reprezintă răspunsul în frecvență a canalului, vom găsi o matrice pentru fiecare subpurtătoare. Pe fiecare subpurtătoare vom găsi un vector ce se obține multiplicând matricea asociată răspunsului în frecvență al canalului cu vectorul de la emisie. Se recurge apoi la detecția spațială a fiecărui vector de pe subpurtătoare pentru a realiza egalizarea canalului și a asigura demultiplexarea spațială a semnalelor transmise. Complexitatea detecției spațială crește odată cu numărul de subpurtătoare și se recurge la un compromis între complexitatea implementării și performanțe.

## 6 Mai nou ...

Pe data de 14 iunie 2011 compania Ericsson a demonstrat întregii lumi versiunea rapidă a tehnologiei 4G/LTE de 1Gbps. Folosind 8 antene și tehnologia MIMO, LTE Advanced poate atinge viteza la moment de vârf și anume de 1 Gbps. Vitezele care ating câțiva GigaOcteți sunt deja disponibile în rețelele de telefonie mobilă din lume. Aceste viteze sunt posibile datorită consolidării mai multor frecvențe pe o bandă de 60 MHz și o funcționalitate extinsă MIMO. Ericsson a făcut această testare la oficiul central al companiei din Stockholm (Suedia).

## BIBLIOGRAFIE

1. Tudor Palade, Emanuel Puschita *Antene si Propagare – Lucrari de laborator*, București, 2003, 78 p.
2. Sorina Zahan *Telefonia Digitala in Retelele de Telecomunicatii*, 2000, Teora, București, 231 p.
3. [http://www.macsoft.ro/tehnica\\_mimo\\_ofdm\\_802.11n.html](http://www.macsoft.ro/tehnica_mimo_ofdm_802.11n.html)
4. <http://www.infomarket.md/ro/infomarket/27810>
5. <http://www.agir.ro/buletine/711.pdf>