

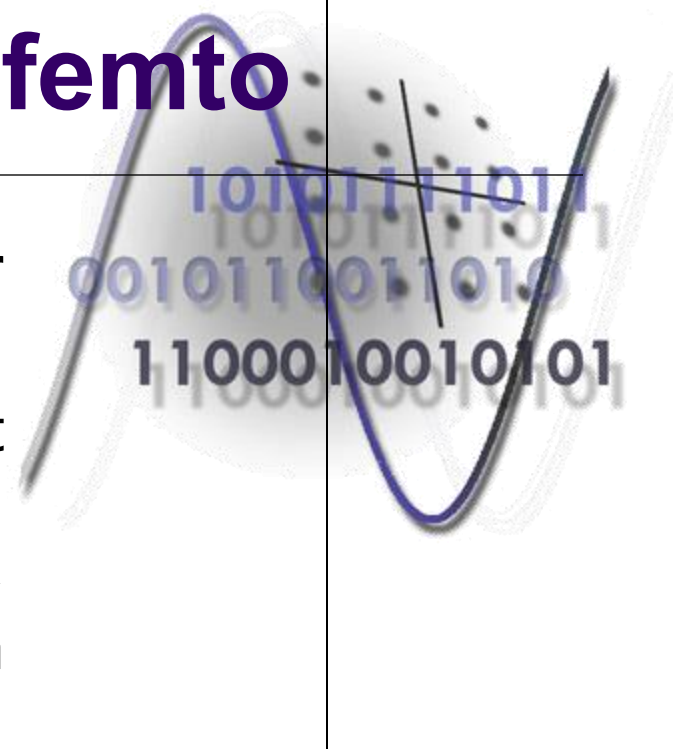
**Curs 8**

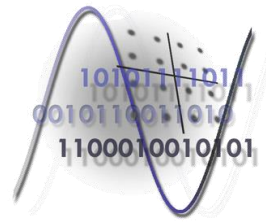
# **Rețele wireless femto**

---

Zsolt Polgar

Communications Department  
Faculty of Electronics and  
Telecommunications,  
Technical University of Cluj-Napoca

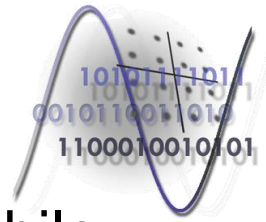




# Structura cursului

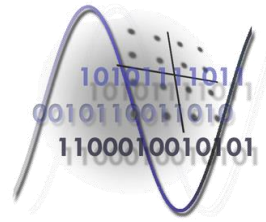
- Introducere
- Aspecte tehnice
- Aspecte economice
- Standardizare/implementare
- Interfețe de rețea
- Arhitectura RAN gateway
- Direcții de cercetare/dezvoltare
- Femtocelule OFDMA
- Femtocelule UMTS/HSPA

# Introducere



- Există o preocupare continuă a operatorilor de rețele mobile pentru îmbunătățirea acoperirii indoor atât în ceea ce privește calitatea transmisiilor de voce cât și oferirea unor rate de transfer a datelor mai mari în home/office;
  - Este generată de competiția cu serviciile oferite de rețelele fixe PTT (“Postal Telephone and Telegraph”) și operatori VoIP;
- Metoda cea mai „bună” pentru creșterea capacității unei legături wireless:
  - Reducere distanța dintre emițător și transmițător – asigură legături de calitate mai bună și o mai bună reutilizare spațială;
  - Într-o rețea cu utilizatori mobili/nomadici duce la creșterea infrastructurii;
  - Soluții tehnice posibile: microcelule, hotspot-uri, antene distribuite sau relee;
    - Problema principală a utilizării microcelulelor constă în creșterea excesivă a complexității și implicit a prețului infrastructurii;

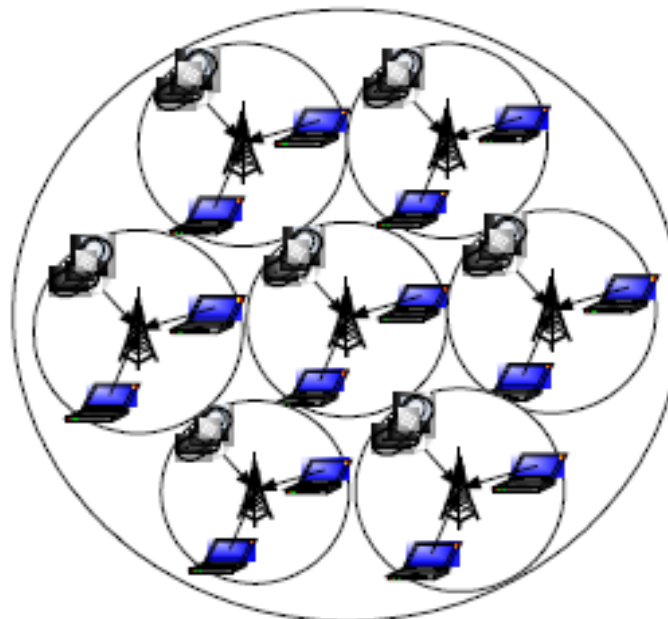
# Introducere



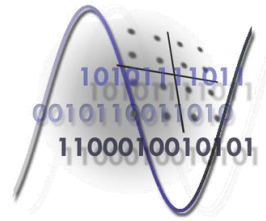
- Soluțiile tehnice pe scurt:

- Microcelule:

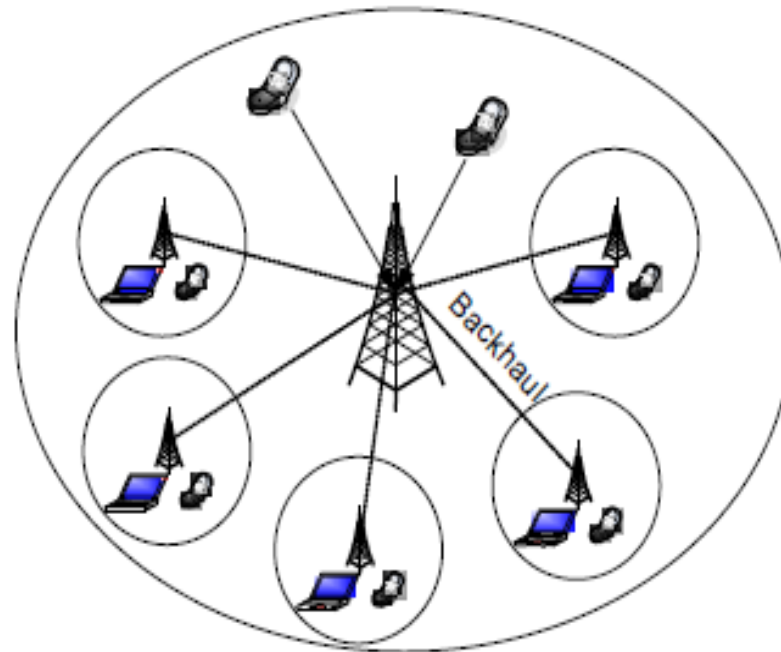
- Necesită instalare stații de bază noi – creștere Capex;
- Chirie site, electricitate și backhaul – creștere Opex;
- Se asigură creșterea capacității sub controlul operatorului;
- Cheltuielile de instalare sunt mari și nu rezolvă acoperirea indoor.



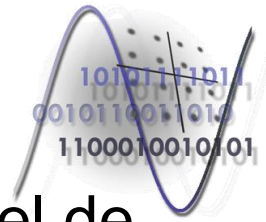
# Introducere



- Sisteme de antene distribuite;
  - Necesită instalare antene și extindere backhaul – creștere Capex;
  - Întreținere antene și conexiune prin backhaul – creștere Opex;
  - Asigură acoperire mai bună și creștere de capacitate;
  - Nu rezolvă problema acoperirii indoor;
  - Interferență crescută de la alte sisteme de antene;

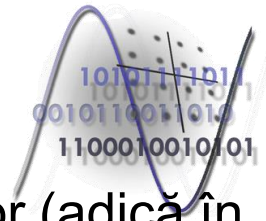


# Introducere

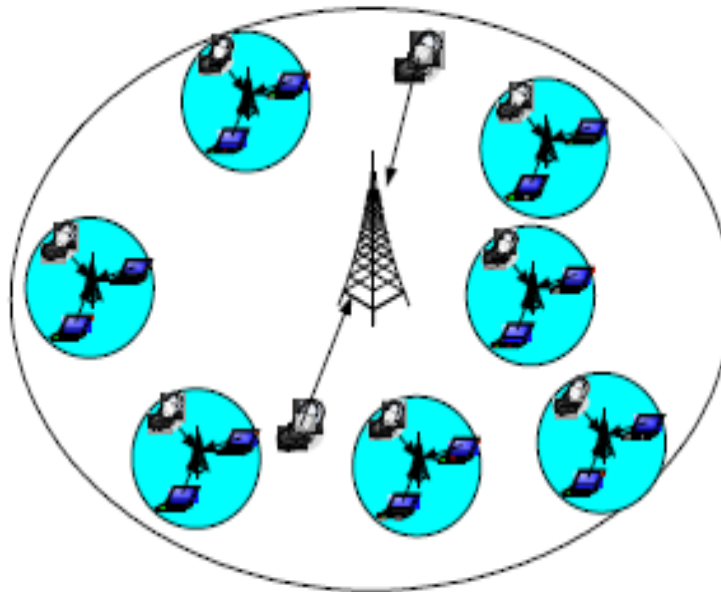


- Studiile arată că 50% din traficul de voce și 70% din cel de date are originea indoor;
  - Datorită debitului redus (aproximativ 10kbps) traficul de voce este mai puțin afectat de calitatea scăzută a canalului;
  - Traficul de date este însă puternic afectat, în special la frecvențe înalte - atenuarea crește simțitor;
  - O soluție posibilă: utilizarea celulelor femto pentru traficul de date indoor, iar celula macro se poate utiliza pentru traficul mobil (outdoor);
- “home BS” sau “femto BS” sunt stații de bază cu rază de acțiune redusă, putere redusă și cost redus;
  - Sunt instalate de către utilizator și comunică cu rețeaua celulară utilizând o conexiune DSL, cablu, ethernet sau o conexiune radio separată (WiMAX);
  - Necesită cheltuieli suplimentare reduse din partea providerului față de utilizarea sistemelor de antene distribuite sau a microcelulelor;

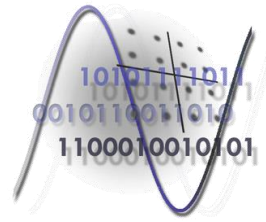
# Introducere



- Același terminal mobil poate fi utilizat atât indoor cât și outdoor (adică în ambele rețele).
- Rețelele de femtocelule necesită o arhitectura scalabilă pentru transportul pachetelor IP;
  - Este necesară upgradarea periodică la standardele mai noi – creștere Opex;
  - Avantaje: preț redus, creștere de capacitate;
  - Dezavantaje: interferență cu celula macro; trafic crescut pe backhaul;



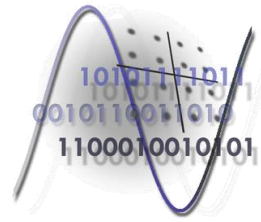
# Introducere



- Pentru operatori femtocelulele pot constitui soluții pentru:
  - Creșterea acoperirii indoor;
  - Oferirea unor servicii inovative de date pentru terminale mobile;
  - Convergență rețele fixe și rețele mobile (FMC – “Fixed Mobile Convergence”);
  - Reducerea OPEX și CAPEX;
  - Creșterea numărului de abonați (toți membrii unei familii abonați la același operator);
- Utilizatorii pot beneficia, prin utilizarea femtocelulelor, de următoarele avantaje:
  - Acoperire mai bună;
  - Servicii de voce foarte ieftine în zona “femto”;
  - Aceleași servicii indoor și outdoor;
- Înainte de introducerea pe scară largă trebuie rezolvate o serie de aspecte tehnice și comerciale:
  - Interferențe radio, securitate, interoperabilitate, SLA (“Service Level Agreement”), model de “business”;



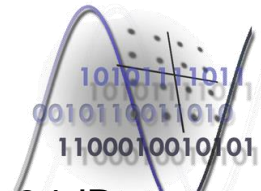
# Aspecte tehnice



- Aspecte tehnice generale:

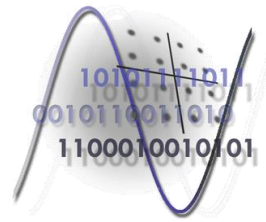
- Creșterea de capacitate asigurată de femtocelule se datorează scăderii distanței dintre femto BS și utilizator - duce la creșterea nivelului semnalului;
  - Ca regulă generală atenuarea se modifică după legea:  $A \cdot d^\alpha$ 
    - $A$  este o atenuare fixă,  $d$  este distanța, iar  $\alpha$  este exponentul de propagare;
    - Trebuie asigurat  $d$  și  $\alpha$  cât mai mici  $\Rightarrow$  crește SINR ce duce la creșterea capacității;
  - Beneficii adiționale în reutilizarea frecvențelor se pot obține prin tehnici de reducere/evitare a interferenței;
- Putere de transmisie este mai redusă;
  - Se poate obține o reducere a interferenței de la celulele macro și femto vecine datorită propagării outdoor și pierderilor de penetrare (“penetration loss”);
  - Celulele femto permit puteri de transmisie reduse în condițiile menținerii unei acoperiri indoor bune;
    - Exemplu: dacă se presupune un “target” de putere de recepție fixată și se notează cu  $\alpha$  și cu  $\beta$  exponenții de propagare, într-o arie pătratică  $L^2$  cu  $N$  femto celule rezultă o reducere a puterii de transmisie de ordinul:  $10 \cdot (\alpha - \beta) \cdot \log_{10} L + 5 \cdot \beta \cdot \log_{10} N$

# Aspecte tehnice



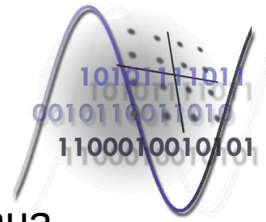
- Pentru  $L=1000$  și  $N=50$  femtocelule reducerea puterii de emisie este de 34dB;  $\alpha=\beta=4$
- Dacă exponentul de propagare indoor este mai mic, de ex.  $\beta=2$ , reducerea puterii de transmisie totale poate fi și 77dB;
- Deoarece o femtocelulă deservește aproximativ 1-4 utilizatori se pot aloca mai multe resurse (putere de transmisie & lărgime de bandă) la fiecare utilizator;
  - O macrocelulă are o rază de acoperire mare (500m – 1 km) și un număr mare de utilizatori  $\Rightarrow$  asigurarea QoS-ului este mai dificil de realizat;
    - Utilizarea femtocelulelor permite utilizarea mai eficientă a resurselor de frecvență și de putere; se presupune că backhaul-ul asigură QoS suficient, altfel performanțele vor fi reduse semnificativ;
  - Exemplu: sistem celular OFDMA celular cu 100 utilizatori activi;
    - Scenariul 1: o singură macrocelulă cu 100 utilizatori;
    - Scenariul 2: 50 de femtocelule cu câte 2 utilizatori;
    - Se poate obține în medie o creștere de eficiență spectrală de 0.6b/s/Hz în scenariul doi pentru aplicații de voce;
    - Se poate asigura trafic de date pentru toți utilizatorii; imposibil în caz macrocelulă;
    - Creștere ef. spec. per utilizator este de 1.8b/s/Hz și per sistem de 250 b/s/Hz;

# Aspecte tehnice



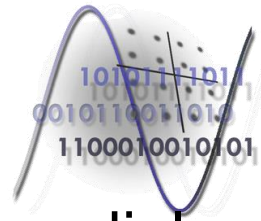
- Probleme tehnice majore de rezolvat:
  - Femtocelule de voce (bandă îngustă): management interferență, asigurare acces, handoff-uri, mobilitate, apelarea serviciilor de urgență;
    - Problema principală o reprezintă interferența și alocarea benzilor de frecvență:
      - Benzi de frecvență diferite sau reutilizare universală a frecvențelor – soluție mai eficientă din p.d.v. al utilizării frecvențelor.
  - Pentru femtocelule de bandă largă
    - Se pot identifica două probleme majore:
      - Reducerea/controlul interferenței RF și alocarea eficientă a spectrului în rețelele femtocell;
        - Reducerea interferenței cere soluții inovative datorită cerințelor de preț redus al femto BS – complexitatea procesărilor de semnale trebuie redusă;
        - Interferența RF provine din:
          - a) Interferență macrocelulă la femtocelulă;
          - b) Interferență femtocelulă la femtocelulă;
          - c) Interferență femtocelulă la macrocelulă.
        - Efectul “near-far” datorită distribuției neuniforme a puterii determină efectele a) și c);
        - Interferența femtocelulă la femtocelulă este mai redusă datorită puterii mai reduse și pierderilor de penetrație;

# Aspecte tehnice



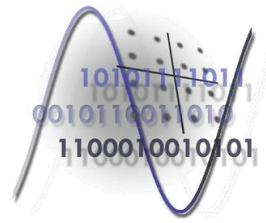
- Infrastructura de rețea: conectarea securizată a rețelelor femto cu rețeaua operatorului pe rețeaua IP; sincronizare, capacitate backhaul
- Alocarea resurselor reprezintă o problemă adițională a femtocelulelor de bandă largă;
- Exemplu: Transmisie CDMA:
  - Distanță utilizator macro la BS = 500 m;
  - Rază femtocelulă = 20 m;
  - Distanță utilizator macro la femtocelulă = 30 m;
  - Câștig de procesare = 128;
  - Exponent “path-loss” = 4;
  - Putere de recepție dorită = 0 dBm (1 mW);
  - Putere interferență la femtocelulă =  $10 \cdot \log_{10} (500/30) = 48.87$  dB;
  - Reducere interferență CDMA =  $10 \cdot \log_{10} (128) = 21.07$  dB;
  - Raport semnal interferență post-procesare la femtocelulă = -27.8 dB;
  - Recepția nu este posibilă.

# Aspecte tehnice



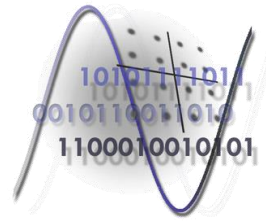
- Problema 1: Cum pot femtocelulele să se adapteze la mediul înconjurător și să aloce spectru în prezența interferenței?
  - Standardele pentru macrocelule (3GPP LTE și WiMAX) asigură ortogonalitate între utilizatorii unei celule și reducerea interferenței prin reutilizarea frecvențelor.
    - Deoarece femtocelulele sunt instalate de utilizatori planificarea centralizată a frecvențelor nu este posibilă.
  - Este necesară o alocare descentralizată a frecvențelor – este în fază de cercetare;
  - Două direcții majore:
    - Alocarea unor benzi diferite pentru macrocelule și femtocelule;
    - Reutilizare universală a frecvențelor, dar trebuie determinate fracțiunile de bandă ce vor fi alocate în comun la femto și macro celule;

# Aspecte tehnice



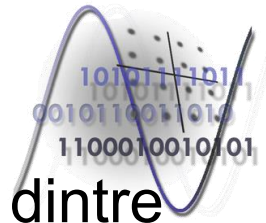
- Problema 2: Cum pot asigura femtocelulele temporizare și sincronizare?
  - Femtocelulele trebuie să asigure sincronizare pentru:
    - A alinia semnalele recepționate;
    - A minimiza interferența multi-acces;
    - A asigura un offset impus al frecvențelor.
  - Sincronizarea este necesară de asemenea pentru realizarea operațiilor de handover macro – femto;
    - Mai dificil de realizat datorită lipsei unei coordonări centralizate;
    - Este mai greu de obținut o referință de timp dintr-o legătură IP datorită jitterului caracteristic acestor transmisii.
  - Problemele de sincronizare sunt identice cu cele ale macrocelulelor, dar
    - Costul redus al femto BS ridică problem suplimentare;
    - Nu există acces la backhaul-ul rețelei mobile;

# Aspecte tehnice



- Soluții posibile pentru realizarea sincronizării:
  - Soluții de rețele IP pentru sincronizare cum ar fi IEEE-1588 – “Precision Timing Protocol over IP” - poate asigura precizie de 100 ns;
  - Protocoale adaptive de recuperare a sincronizării (standardul G.8261);
  - O altă posibilitate este utilizarea receptoarelor GPS, dar trebuie asigurată recepția stabilă a semnalelor de la sateliți;
  - O altă soluție este utilizarea unor oscilatoare de precizie foarte mare calibrate periodic.
- Problema 3: Cum se poate asigura pe backhaul un QoS acceptabil?
  - Backhaul-ul IP necesită QoS pentru trafic senzitiv la întârzieri;
    - Trebuie adaptat la cerințele serviciului din macrocelulă;
    - Trebuie să asigure debit corespunzător pentru a evita congestiile.
  - Problemele de QoS sunt mai greu de rezolvat dacă backhaul-ul IP aparține de operatori diferiți (lipsa neutralității Internet-ului).
  - Pe backhaul se pot transmite și alte fluxuri – de ex. trafic Wi-Fi;

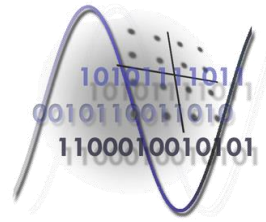
# Aspecte tehnice



- Problema 4: Cum pot femtocelulele controla interferența dintre sisteme (“cross-tier interference”)?
  - Problemele de interferență apar în special la femtocelulele care sunt localizate la marginea celulei macro (vezi și exemplul din slide următor);
    - Transmisia uplink a mobilelor cu putere mai mare afectează femtocelulele;
    - Transmisia downlink către mobile macrocelulă este afectată de femtocelule;
- Problema 5: Femtocelulele trebuie să asigure un acces deschis sau închis?
  - Acces închis: femtocelula are un număr limitat de utilizatori – se asigură securitate și încărcare mai redusă a backhaul-ului.
  - Acces deschis: orice utilizator din macrocelulă se poate conecta la femtocelulă dacă este în apropiere:
    - Se reduce încărcarea macrocelulei, dar se încarcă backhaul-ul și apar probleme de securitate;
    - Trebuie făcută diferențierea și pentru a asigura tarife diferite pentru utilizatorii dedicați și cei ocazionali.

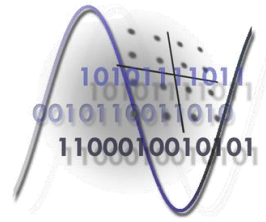


# Aspecte tehnice



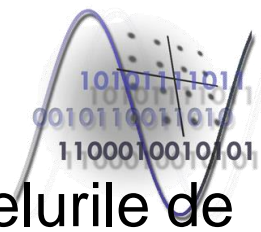
- Problema 6: Cum se poate face roamingul într-un acces deschis?
  - Handoff femto – macro:
    - Se poate face mai ușor – mod clasic;
      - Fiecare BS are o listă cu BS vecine, informație trimisă la toate mobilele pentru handoff potențial;
  - Handoff macro – femto :
    - Este mai dificil de realizat;
      - Abordarea clasică nu se poate utiliza datorită numărului mare de femto BS; pot apare de asemenea foarte multe handoff-uri.
    - Sunt necesari algoritmi care iau în considerare viteza utilizatorului și detecția femto BS de către mobil;
      - Piloții femto BS se pot reduce în putere când nu există apel indoor pentru a reduce handoff-urile utilizatorilor outdoor.

# Aspecte tehnice



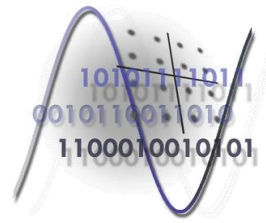
- Problema 7: Este posibil ca abonații să plaseze femto BS în afara locației inițiale „home area”?
  - Portabilitatea stațiilor de bază femto BS reprezintă o problemă foarte importantă.
    - Spre deosebire de rețelele Wi-Fi care operează în spectru nelicențiat în care interferența nu este controlată rețelele femto lucrează în spectru licențiat;
    - Dacă se modifică locația femto BS, acesta poate ajunge în zone care sunt acoperite numai de alți provideri: într-o astfel de situație poate femto BS să transmită?
  - Soluții viabile pentru portabilitatea femto BS pot fi:
    - Utilizarea localizării GPS a femtocelulelor și blocarea/deblocarea lor în funcție de aria în care se poziționează;
    - Înțelegeri dintre operatori care pot facilita taxarea utilizatorilor femtocelulă aflați în roaming;

# Aspecte tehnice



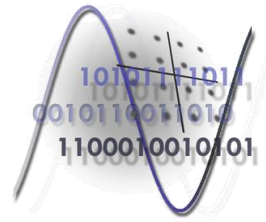
- Problema 8: Cum se poate realiza localizarea pentru apelurile de urgență și dacă trebuie să se asigure serviciu de urgență pentru celulele învecinate cu acoperire proastă?
  - Femtocelulele trebuie să transmită informație de localizare a apelului; soluții posibile sunt:
    - Utilizarea unor receptoare GPS, cu costuri adiționale legate de acoperirea slabă “indoor”;
    - Identificarea de către operator pe baza legăturii de backhaul sau pe baza informațiilor obținute din macrocelula în care se găsește femtocelulă;
    - Determinarea directă a poziției mobilului considerând handoff-ul dintre macrocelulă și femtocelulă.
  - O altă problemă este dacă femtocelulele trebuie să asigure realizarea apelurilor către serviciile de urgență pentru utilizatori ai macrocelulei localizați în raza lor de acțiune;
    - În rețelele cu acces deschis această problemă se poate rezolva prin handoff;
    - În rețele cu acces închis trebuie asigurate facilități speciale pentru a asigura comunicații pentru utilizatori macrocelulă pentru servicii de urgență;

# Aspecte economice



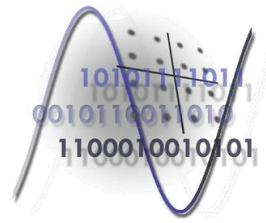
- Aspectele legate de costurile femto BS și de valoarea adăugată sunt aspecte centrale;
- Gradul de adoptare a tehnologiilor femto și a aplicațiilor legate de această tehnologie depinde de valoarea oferită atât utilizatorilor cât și operatorilor;
- De partea utilizatorilor valoarea adăugată constă în:
  - Servicii și aplicații inovative (gaming interactiv, instant messaging, m-payments, e-health, e-learning, video on demand, TV mobil interactiv);
  - Calitate experiență ridicată oriunde și oricând, tarife mici, terminale ieftine.
- De partea operatorilor valoarea adăugată constă în scăderea anumitor costuri și promovarea companiei prin oferirea unor servicii inovative;
  - Înainte de introducerea acestor tehnologii/servicii operatorul trebuie să considere o serie de factori:

# Aspecte economice



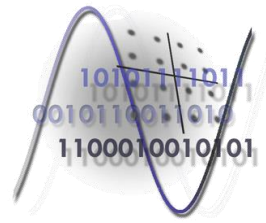
- Impactul asupra rețelelor clasice/existente și a platformelor de servicii;
  - Perioada de recuperare a investițiilor;
  - Aspecte regulatorii și de legislație;
  - Selecția fabricanților;
  - Intervalul de timp pentru implementare și marketing.
- Din p.d.v. al operatorului se asigură reducerea costurilor cu backhaul, site-uri, electricitate;
    - Trebuie reduse prețurile femto BS, dar femto BS sunt mai sofisticate decât punctele de acces Wi-Fi;
    - Prețurile echipamentelor femto sunt un element crucial în asigurarea profitabilității implementării rețelelor de femtocelule;
      - Anumite studii indică că într-o primă fază femtocelulele ar putea fi utilizate mai degrabă pentru extinderea acoperii în hotspot-uri publice și nu pentru publicul larg;
  - Trebuie luate în considerare și alte costuri:
    - Upgradare rețea; suport O&M, instalare, “advertising/marketing”, costuri de interconetare, tarificare;
  - Trebuie luat în considerare și efectul asupra planificării rețelei și SLA-uri pentru asigurare QoS;

# Aspecte economice



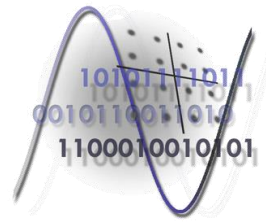
- Utilizatorul final va trebui să plătească pentru o conexiune internet broadband și posibil pentru echipamentul femto BS.
- Arhitectura caracteristică femtoceluleor este cea caracteristică UMA/GAN (“Unlicensed Mobile Access/Generic Access Network”);
  - Deși considerată o tehnologie matură și standardizată implementarea pe scară largă nu s-a realizat datorită necesității unor handset-uri cu interfețe multiple.
- Alte soluții posibile/alternative:
  - Repetoare, terminale wireless fixe, relee;
  - Nu se pot compara direct toate soluțiile având caracteristici tehnice diferite și care se potrivesc la anumite modele comerciale;
  - Utilizează resursele macrocelulei;
    - Soluțiile alternative nu sunt funcționale în zone fără acoperire;

# Standardizare/implementare



- Teste au fost realizate de mai mulți operatori;
- Femto-Forum: reunește mai mulți operatori și producători de femto BS;
- Sunt prezise 150 milioane de utilizatori în 2012 / 70 milioane FAP-uri ;
- Tehnologia nu este încă matură; aspectele legate de integrarea în rețelele mobile existente încă nu sunt rezolvate complet;
  - De exemplu problemele legate de autentificarea în rețeaua femto și în rețeaua macro;
- Sunt necesare modificări în planificarea rețelelor precum și în planul de afaceri;
- Adaptarea pe scară largă va fi posibilă numai după realizarea standardizării;

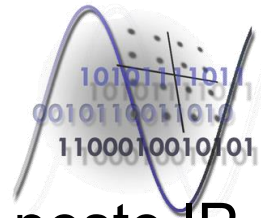
# Standardizare/implementare



- Aspecte regulatorii:
  - Stațiile de bază femto sunt în esență stații de bază normale și trebuie să satisfacă condiții legate de:
    - Nivelul de radiație;
      - Puterea de emisie se situează între 17 – 20 dBm cu sau fără diversitate transmisie/recepție sau MIMO;
    - Trebuie respectate reglementările referitoare la efectele radiațiilor asupra organismelor vii;
    - Datorită razei de acoperire mici și implicit puterii de emisie mici condițiile impuse nivelului de radiație electromagnetică pot fi îndeplinite fără probleme;
      - Permite o implementare mai ușoară a acestor rețele;

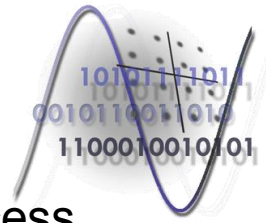


# Interfețe de rețea



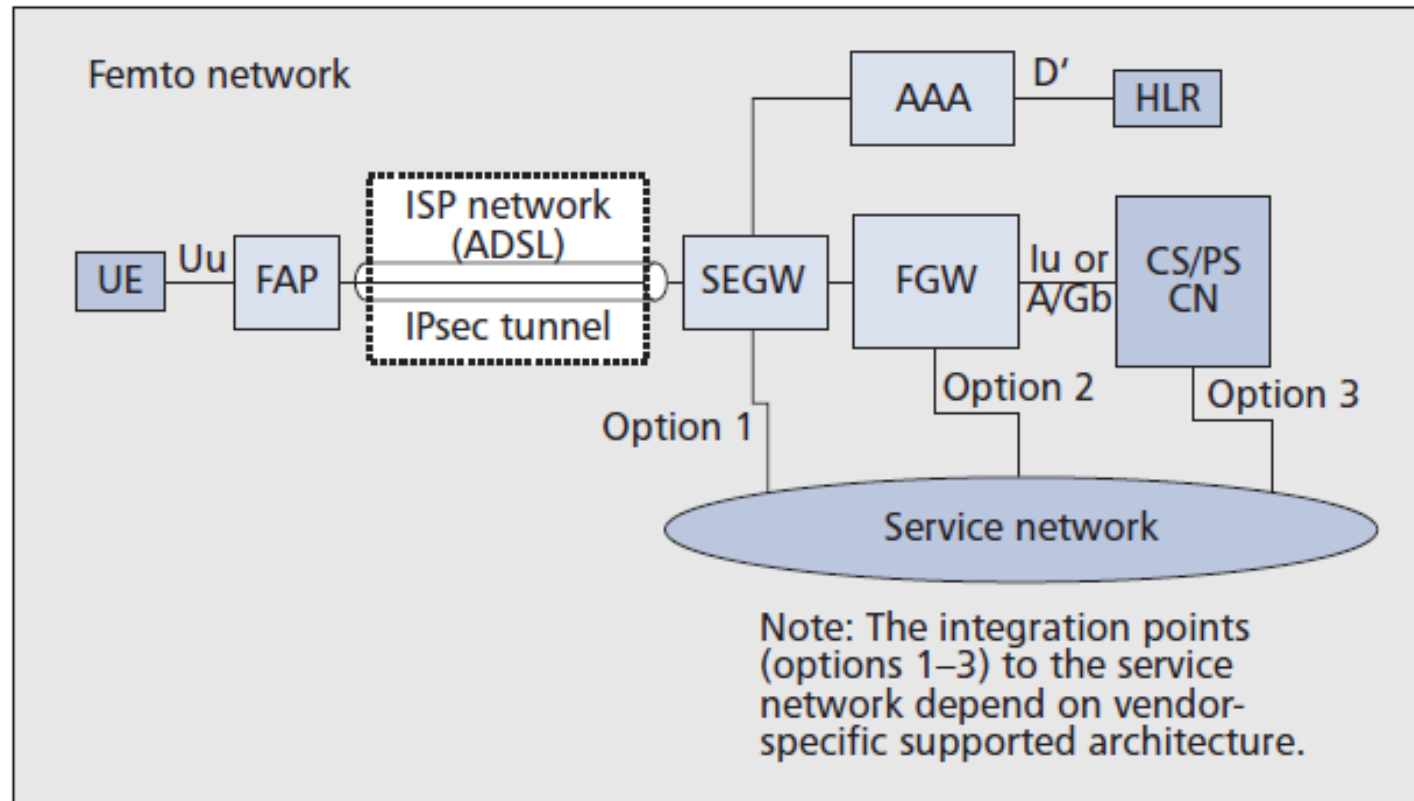
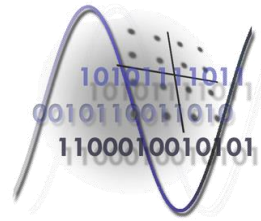
- Este necesară definirea unor interfețe sigure și scalabile peste IP între RNC și femtocelule;
  - RNC poate controla zeci sau sute de macrocelule, dar poate asigura servicii asemănătoare pentru femtocelule?
  - Au fost propuse trei interfețe:
    - **Iu-b over IP**: RNC se conectează la femtocelulă prin interfața Iu-CS (circuit-switched) și Iu-PS (packet-switched) prezente în macrocelulă.
      - Avantajul constă în Capex scăzut, dar soluția nu este scalabilă și nu este încă standardizată.
    - **IMS/SIP**: “IP Multimedia Sub-System/Session Initiation Protocol”: asigură implementarea unei rețele core între femtocelulă și operator.
      - Interfața IMS convertește traficul utilizator în pachete IP și utilizează Voice over IP (VoIP) pe baza protocolului SIP;
      - Soluția coexistă cu rețeaua core macro;
      - Avantajul constă în scalabilitate și standardizarea rapidă;
      - Dezavantajele constau în Capex ridicat pentru upgradare macrocelulă și Opex mare pentru întreținerea a două rețele core pentru macrocelulă și femtocelulă.

# Interfețe de rețea



- **RAN gateway based UMA:** Se utilizează un gateway “Radio Access Network” (RAN) între rețeaua IP și rețeaua operatorului, ce agreghează traficul de la femtocelulă;
  - Acest gateway se conectează la rețeaua operator folosind interfața Iu-PS/CS;
  - Între femtocelulă și gateway-ul RAN protocolul UMA (“Unlicensed Mobile Access”) folosește IP tunneling securizat pentru a transporta datele femtocelulă în Internet;
- Ultimele două soluții par cele mai bune, fiind cele mai ușor de implementat;

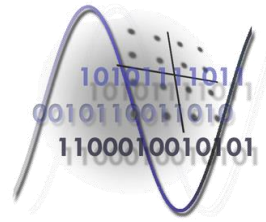
# Arhitectura RAN gateway



Soluție Femto tipică

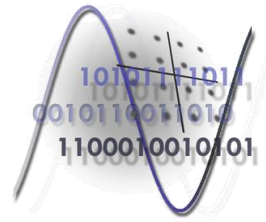
- Există mai multe soluții de integare/interconectare cu rețeaua operatorului (rețeaua macrocelulă);

# Arhitectura RAN gateway



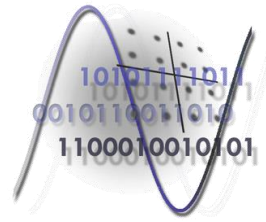
- Elementele arhitecturii:
  - FAP – “Femto Access Point”; este stația de bază femto;
  - SEGW – “Security Gateway” este parte a unei rețele de acces generalizate, mai exact a unui controler de rețea de acces generalizată sau generică, GANC – “Generic Access Network Controller”;
    - Este specificat în 3GPP Release 6;
    - Asigură funcționalități de securitate și termină tunelul IPSec la GANC.
      - “Internet Protocol Security” (IPSec) – protocol utilizat pentru securizarea protocolului IP prin autentificarea și criptarea fiecărui pachet a unei sesiuni;
        - Include protocoale pentru stabilirea autentificării mutuale la începutul sesiunii și pentru negocierea cheilor criptografice ce vor fi utilizate;
        - Este o schemă de securitate “end-to-end” între două hosturi, două gateway-uri de securitate sau între un host și un gateway de securitate;
  - FGW – “Femto Gateway” acționează ca și un manager FAP și modul de autentificare;
    - Poate lucra cu rețeaua core a operatorului utilizând interfețe standard – nu sunt necesare modificări ale rețelei core;
    - Asigură conectarea cu echipamente utilizator de la diferiți producători;

# Arhitectura RAN gateway



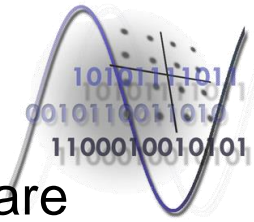
- AAA – “Authentication, Authorization and Accounting Server”
  - Este similar cu HLR (“Home Location Register”) din rețelele mobile de voce;
- “Domain Name Service” (DNS)/ “Dynamic Host Configuration Protocol” (DHCP)/ “Network Time Protocol (NTP) Server”;
- Switch-uri/routere – interconectează nodurile/platformele femto cu rețeaua (CS/PS) a operatorului; CS/PS – “circuit switched” / “packet switched”;
- NMS – “Network Management System” (NMS);
- În vederea implementării rețelei femto trebuie satisfăcute următoarele condiții (concluzii):
  - Eficiență costuri, scalabilitate, securitate, interfețe standardizate, interoperabilitate fabricanți;
  - Integrarea platformelor femto în rețelele/serviciile clasice;
  - Management și monitorizare rețele femto;
  - Facturare servicii utilizatori femto;

# Direcții de cercetare/dezvoltare



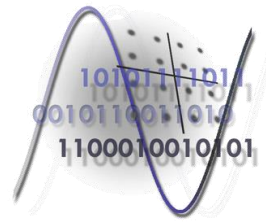
- Managementul interferenței:
  - “Successive Interference Cancellation” este una din tehnicile posibile:
    - Fiecare utilizator scade din semnalul recepționat semnalul interferent cel mai puternic;
    - Metode promițătoare, dar erorile de suprimare a interferenței cresc rapid.
  - “Interference avoidance” - utilizatorul încearcă să evite interferența în loc să o suprime;
    - Poate fi o soluție pentru femtocelulele cu poziție fixă;
      - Se pot folosi scheme de complexitate redusă pentru sesizarea frecvențelor utilizate în macrocelulă pentru a se evita coliziunile.
  - În femtocelulele CDMA cu reutilizare universală a frecvențelor se pot utiliza tehnici de “hopping” în timp și antene direcționale;
    - Se poate asigura o îmbunătățire de 7 ori a capacității sistemului când femtocelulele și macrocelulele partajează aceeași bandă de transmisie.
- Salt în frecvență și timp:
  - “Frequency hopping” se poate utiliza în celulele GSM pentru a evita interferența consistentă;

# Direcții de cercetare/dezvoltare



- În rețelele “frequency-hopped” OFDMA se poate utiliza o alocare aleatoare a subcanalelor pentru a se reduce probabilitatea coliziunilor cu celulele vecine;
- În sistemele “time-hopped” CDMA, perioada unui chip este divizată în  $N$  sloturi de hop (salt);
  - Un utilizator alege aleator un astfel de slot și nu transmite pe durata altor slot-uri;
  - Se reduce numărul de utilizatori ce interferă, dar și câștigul de procesare.
- Antene direcționale:
  - Reduce interferența la un sector al antenei;
  - Limitările de cost și instalarea sunt problemele majore.
- Controlul adaptiv al puterii:
  - Modifică limita impusă pentru puterea de recepție în funcție de locație și/sau a puterii de emisie urmărindu-se reducerea interferenței către și de la macrocelulă.

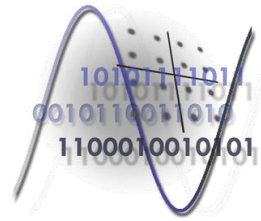
# Direcții de cercetare/dezvoltare



- Femtocelule MIMO;
  - Există posibilitatea utilizării tehnicilor MIMO în transmisiile ce au loc în rețeaua femto.
  - Probleme posibile de rezolvat:
    - Comutarea între tehnici de diversitate și multiplexare spațială;
    - Analiza efectului erorilor ce afectează CSI datorită interferenței co-channel cu macrocelula;
    - Efectul limitărilor de complexitate asupra receptoarelor MIMO femtocell;
    - Modele de canal pentru transmisii MIMO femtocelulă, datorită faptului că condițiile de propagare/diversitate sunt diferite față de macrocelulă.

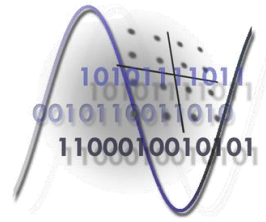


# Femtocelule OFDMA



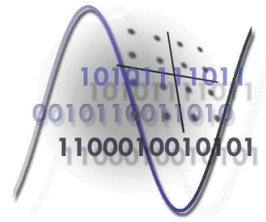
- Datorită faptului că numărul și poziția femto BS/FAP este necunoscut, managementul interferenței nu se poate realiza de către operator prin metode tradiționale de planificare și optimizare a rețelei (nu numai la femtocelule OFDMA);
  - Trebuie acordată o atenție specială pentru controlul/eliminarea interferenței dintre macrocelule și femtocelule și între femtocelule;
  - Femtocelulele OFDMA sunt o soluție mai bună decât femtocelulele CDMA;
    - Elimină interferența intracelulă;
    - Asigură robustețe împotriva propagării multicale;
    - Se poate exploata variabilitatea canalului atât în timp cât și în frecvență;
      - CDMA poate exploata numai variabilitatea în timp;
- Se pot identifica trei metode de acces principale cu influență semnificativă asupra interferenței;
  - Acces deschis (“open access”);
  - Acces închis (“closed access”);
  - Acces hibrid (“hybrid access”);

# Femtocelule OFDMA



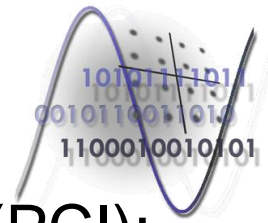
- Accesul deschis:
  - Îmbunătățește capacitatea globală a rețelei;
  - Utilizatorii din raza de acțiune a femtocelulei se pot conecta la femtocelulă dacă acoperirea macrocelulei este slabă;
  - Nivelul interferenței este redus, utilizatorii “outdoor” conectându-se la femtocelulă, dar crește numărul de handoff-uri;
    - Apar probleme de securitate;
  - Apar probleme legate de taxarea utilizatorilor macrocelulă care se conectează la femtocelulă;
    - De regulă abonații femtocelulă au abonamente separate/speciale;
- Accesul închis:
  - Este scenariul cel mai plauzibil;
  - Soluția se caracterizează printr-o interferență mărită cu utilizatorii macrocelulă situați în raza de acoperire a femtocelulei;
    - Radiații prin geamuri, uși sunt o problemă;
    - Sunt necesari algoritmi de gestionare a interferenței;

# Femtocelule OFDMA



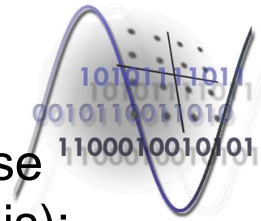
- Accesul hibrid:
  - Permite conectarea unor utilizatori macrocelulă, dar se restricționează resursele care sunt alocate acestor utilizatori;
    - Se pot rezolva, cel puțin parțial, problemele de interferență, dar se controlează și impactul utilizatorilor macrocelulă;
- Aspecte de sincronizare:
  - Nu există management centralizat al resurselor;
  - Este necesară o sincronizare în timp cu macrocelulele;
    - Necesară pentru reducerea interferenței de acces multiplu și pentru implementare handoff;
  - Utilizarea oscilatoarelor de precizie înaltă în femtocelule ieftine este o problemă;
    - Se pot utiliza receptoare GPS pentru sincronizare;
      - Apar probleme de acoperire “indoor” a sateliților GPS;
    - Sincronizare pe legătura de “backhaul” IP ADSL: de ex. IEEE-1588 “Precision Timing Protocol”;

# Femtocelule OFDMA



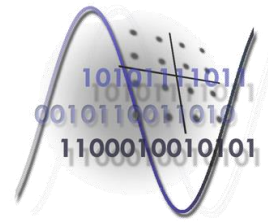
- Identificarea celulelor femto: “Physical Cell Identity” (PCI);
  - Codul PCI se utilizează pentru identificarea unei celule radio;
    - Lista cu coduri PCI se utilizează în procesul de handoff;
    - Numărul de coduri PCI este limitat și deci trebuie reutilizat;
      - Probleme de alocare/reutilizare a codurilor PCI apar mai ales în cazul celulelor femto: poate exista un număr mare de celule și nu există control centralizat;
        - Există o probabilitate ridicată a confuziei de coduri PCI;
  - Lista cu celulele vecine;
    - Datorită conectării/deconectării celulelor femto lista cu celulele vecine se schimbă dinamic;
      - Este necesară o altă abordare față de celulele macro;
        - Trebuie gestionate rapid un număr mare de celule vecine;
  - Managementul mobilității:
    - Sunt necesare proceduri de handoff diferite față de celulele macro, datorită numărului mare de handoff-uri;
      - Număr mare de handoff-uri implică mai multă semnalizare;

# Femtocelule OFDMA



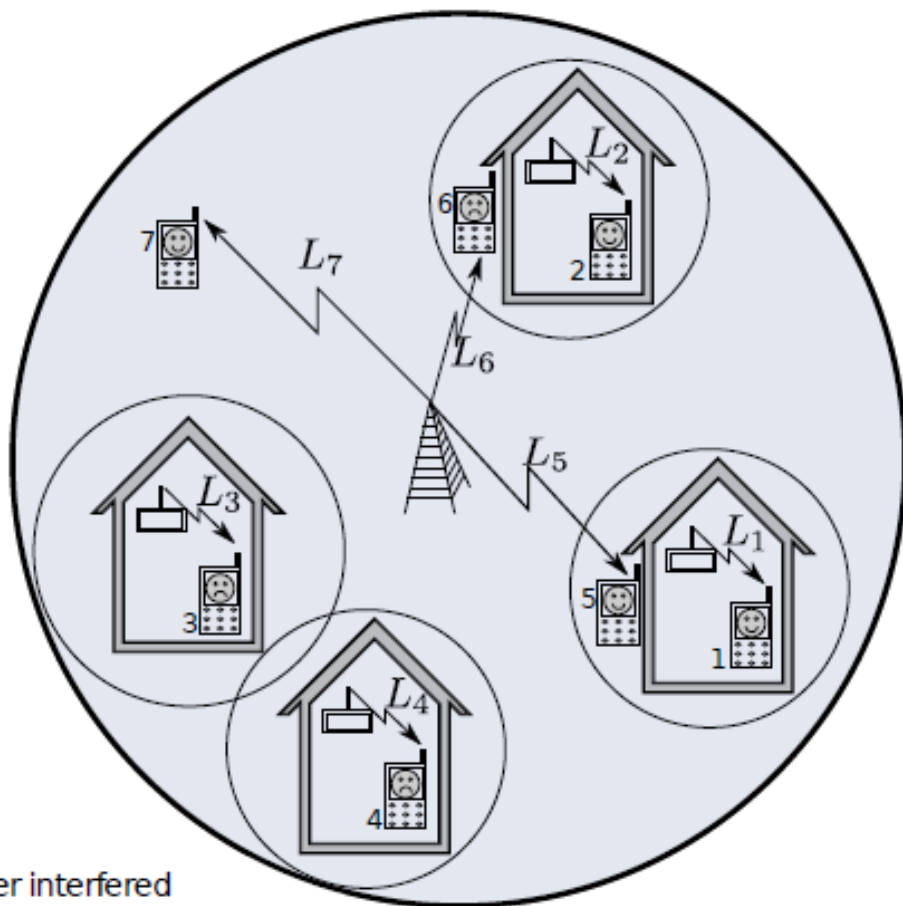
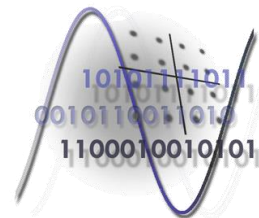
- Procedurile de handoff trebuie să permită utilizatorilor macro să se conecteze pentru intervale mai lungi la femtocelule (acces deschis);
- Se poate utiliza structură ierarhică de celule “Hierarchical Cell Structure” (HCS) pentru a se diferenția celulele femto și cele macro;
  - Se poate reduce overhead-ul de semnalizare;
- Analiza interferenței;
  - Femtocelulele degradează semnificativ calitatea transmisiei în celulele macro și în celulele femto vecine;
  - Sunt necesare tehnici de evitare sau suprimare a interferenței și/sau tehnici de aleatorizare (după cum a mai fost menționat);
    - Pentru a aplica aceste metode este necesară sincronizarea dintre femtocelule și celula macro;
  - Se pot defini două straturi/nivele:
    - Stratul macro și stratul femto;
  - Interferența se poate clasifica în:
    - Interferență inter-nivel (“cross-layer”);
    - Interferență intra-nivel (“co-layer”);

# Femtocelule OFDMA

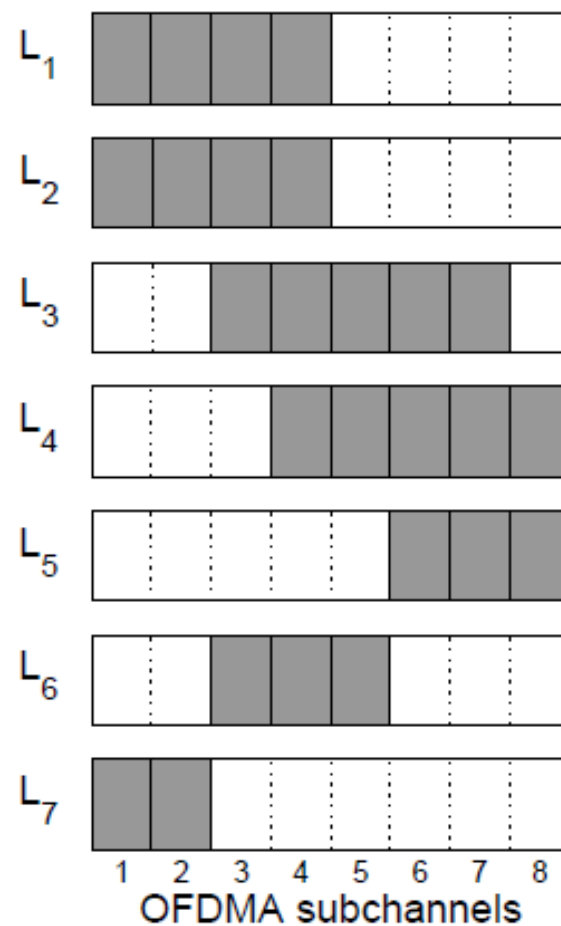


- Metode de suprimare a interferenței sunt limitate de erorile ce afectează procesul de suprimare (“interference cancellation”);
- Utilizarea antenelor sectorizate la FAP reduce numărul de interferenți;
  - Utilizarea dinamică a unor scheme de antene (“antenna patterns”) poate fi o soluție pentru a reduce radiația prin ferestre și uși;
    - Crește prețul echipamentelor;
- O alternativă eficientă o reprezintă tehnicile de evitare a interferenței;
  - Se bazează pe alocarea puterii și a resurselor radio (de ex. a subcanalelor);
    - Vezi un exemplu de alocare a subcanalelor OFDMA pentru evitarea interferenței – slide următor;

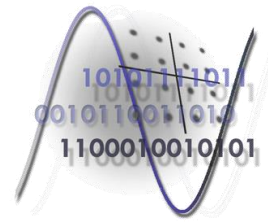
# Femtocelule OFDMA



☹ User interfered  
 ☺ User free of interference



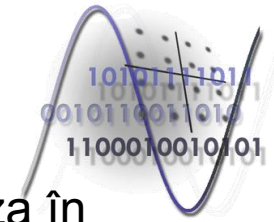
# Femtocelule OFDMA



- Metode de alocare a spectrului:
  - Există două abordări principale:
    - Alocare ortogonală a canalelor:
      - Elimină interferență inter-nivel;
      - O parte din canale sunt utilizată de macrocelulă, iar cealaltă parte va fi utilizată numai de femtocelulă;
      - Trebuie rezervat spectru numai pentru femtocelule;
      - Metodă ineficientă din p.d.v. a reutilizării frecvențelor;
    - Alocare cocanal (alocare neortogonală);
      - Este mai eficientă în special din p.d.v. al operatorului;
      - Este o metodă mult mai complexă tehnic;
      - Există diferite soluții:
        1. utilizarea unei entități centralizate care să aloce pentru fiecare celulă sub-canalele care se utilizează;
          - Entitatea centralizată trebuie să adune informații de la femtocelule și de la utilizatorii acestora;
          - Metodă complexă datorită numărului mare de femtocelule și a lipsei datelor legate de pozițiile inițiale; probleme de întârzieri dintre femtocelule și controlerul centralizat;

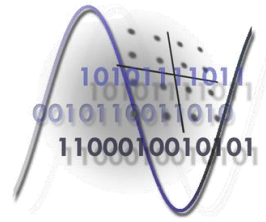


# Femtocelule OFDMA



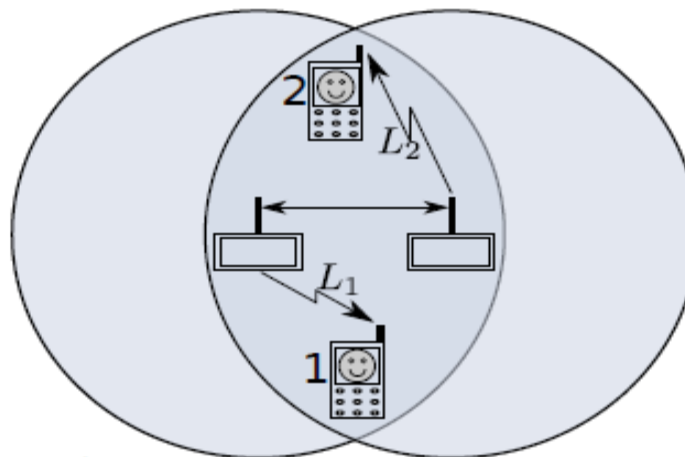
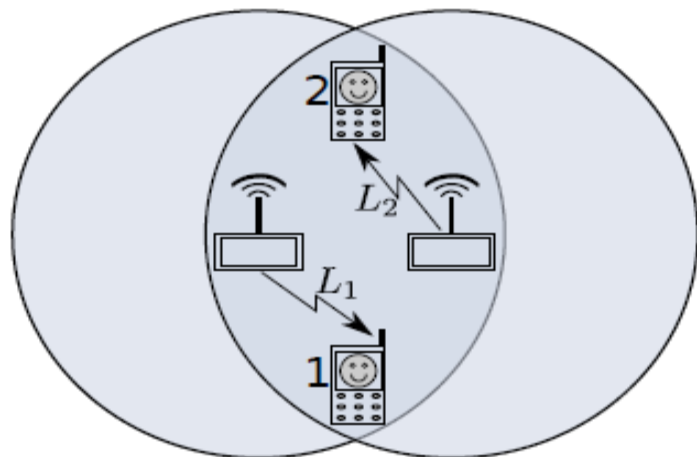
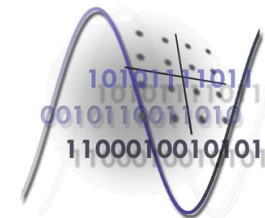
- O abordare distribuită a controlului interferenței se poate realiza în următoarele moduri:
  - 2. Fiecare celulă controlează sub-canalele independent și încearcă să maximizeze throughput-ul și QoS-ul pentru utilizatorii lui;
    - Acces oportunist care tinde către un algoritm “greedy”;
    - Se generează interferență;
  - 3. Abordare cooperativă – fiecare femto BS adună informații despre femtocelulele vecine;
    - Alocarea sub-canalelor ține cont și de efectul asupra femto BS vecine;
    - Se asigură un anumit throughput și QoS mediu/global, care se poate optimiza;
- Auto-configurare și auto-optimizare (abordarea cooperativă);
  - Stațiile de bază femto trebuie să fie auto-configurabile și să asigure auto-optimizare;
    - Aceste condiții sunt cerute de integrarea într-o rețea existentă cu interferență cât mai redusă;
    - Femto BS trebuie să fie capabile să detecteze mediul radio și să-și adapteze parametrii în funcție de modificările din rețea și din canal;

# Femtocelule OFDMA

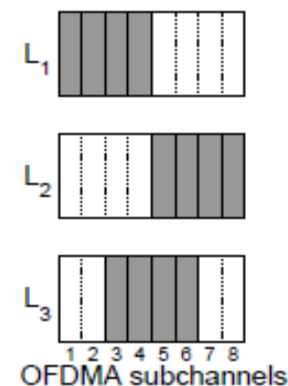
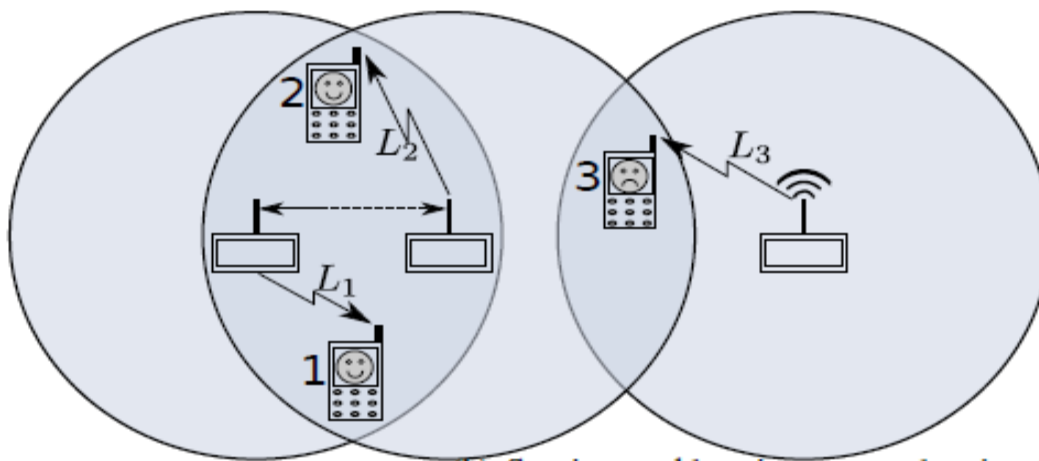
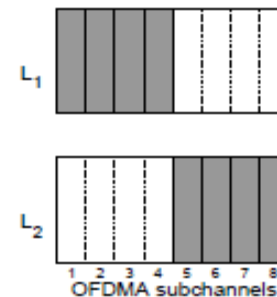


- A. Faza de detecție a canalului radio (fază cognitivă);
  - Femto BS trebuie să detecteze prezența celulelor vecine, macro sau femto celule;
    - Trebuie să detecteze spectrul utilizat de acești vecini;
  - Se pot utiliza diferite strategii:
    - 1. Integrarea capacităților de detecție în femto BS – vezi figura;
    - Femto BS identifică care celule și subcanale sunt active în raza de recepție;
    - Informațiile obținute sunt utilizate de femto BS pentru a efectua propria alocare a resurselor;
    - Se realizează o ascultare a rețelei la fel cum procedează și un terminal mobil;
    - 2. Schimbul de date între femto BS – vezi figura;
    - Femto BS-urile schimbă între ele informații legate de banda și subcanalele utilizate;
    - Informațiile se pot schimba prin intermediul “femto gateway” utilizând o legătură directă între celule (similar interfeței X2 din LTE) sau prin intermediul unor terminale mobile folosite ca și relee;
    - Metoda se poate aplica numai dacă femto BS-urile au zone de acoperire suprapuse;

# Femtocelule OFDMA

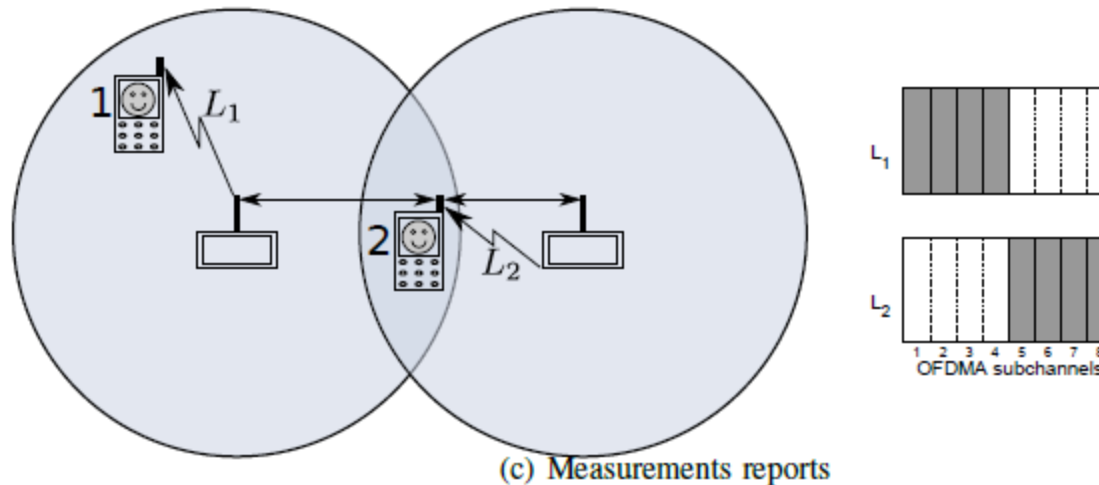
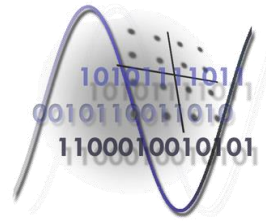


(a) Self-sensing & Relay-sensing.



(b) Sensing problem in non-overlapping femtocells.

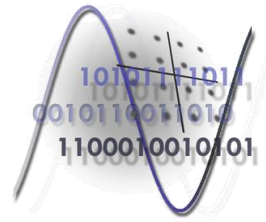
# Femtocelule OFDMA



(c) Measurements reports

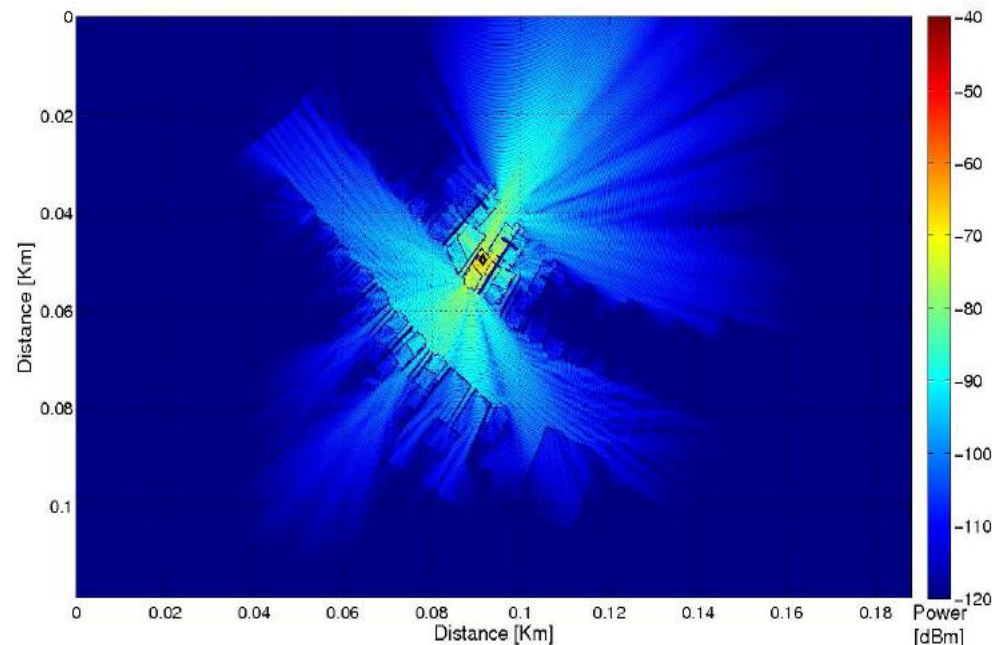
- 3. Utilizarea rapoartelor de măsurători (ale mobilelor) - realizate periodic de utilizatori și trimise la femto BS-uri;
- Rapoartele de măsurători conțin date despre nivelul semnalului recepționat și subcanalele utilizate de celulele vecine;
- Datele obținute pot fi procesate și utilizate pentru a calcula interferența/resursele utilizate de diferite celule;
- Combinarea acestor tehnici de detecție cu alte statistici referitoare la număr de handoff-uri și pachete pierdute pot fi folosite pentru a îmbunătăți calitatea transmisiei;
  - Acest proces are loc în faza următoare;

# Femtocelule OFDMA

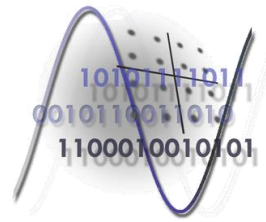


- B. Faza de adaptare “tunning”;
  - Femto BS-urile trebuie să fie în stare să selecteze și să modifice parametrii în diferite situații;
  - Auto-configurarea are loc în prima fază după pornire;
    - Are loc pe baza informațiilor obținute pe backhaul: frecvență purtătoare, parametrii de rețea (“location, routing and service area”);
  - Auto-optimizarea realizează modificarea și adaptarea parametrilor la mediu: putere de emisie, selecție subcanale;

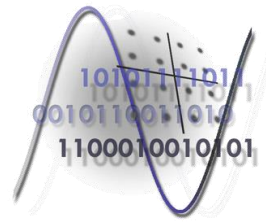
Patern de radiație femto BS  
 $EIRP = 10\text{dBm}$  la  $f = 3,5\text{GHz}$



# Femtocelule UMTS/HSPA



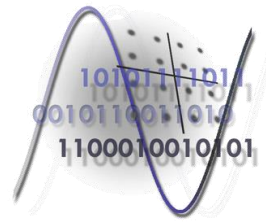
- Terminologie 3GPP:
  - Stație de bază: “Macro NodeB” (MNB);
  - Femto BS: “Home NodeB” (HNB);
  - Terminal utilizator: “Macro User Equipment” (MUE);
  - Terminal utilizator femto: “Home User Equipment” (HUE);
  - Sector macro – considerat celulă;
- Condiție de acces restricționat: MUE nu se poate conecta la HNB;
  - Este vorba de un acces închis;
- Interferența macro – femto;
  - Datorită cerințelor de acces restricționat femtocelula poate crea interferență atât în UL cât și în DL;
    - HNB poate crea interferență în DL pentru MUE;
    - HUE poate crea interferență în UL pentru MUE;



# Femtocelule UMTS/HSPA

- Interferența femto – femto;
  - Apare datorită instalării neplanificate;
    - De ex. interferența dintre HNB din apartamente vecine;
    - Există și restricții de acces: HUE se poate conecta numai la un singur HNB;
- Metode propuse pentru managementul interferenței și a mobilității în implementarea rețelelelor femto:
  - Calibrarea puterii DL a HNB;
    - Trebuie asigurată acoperire indoor bună, dar și interferență redusă cu macrocelula;
  - Atenuarea adaptivă UL HUE;
    - Controlul/reducerea interferenței cauzate de MUE sau HUE conectate la HNB vecine;
  - Selectarea purtătoarelor de către femtocelule combinată cu “inter-frequency handover” pentru MUE pentru a evita interferența inter-femto și femto-macro;
  - Limitarea puterii UL a HUE pentru a minimiza interferența cauzată la UL utilizatori MUE;

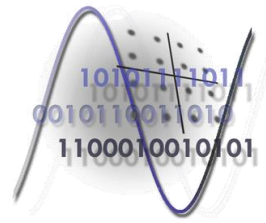
# Femtocelule UMTS/HSPA



- Managementul interferenței în DL pentru HNB;
  - Datorită instalării neplanificate și izolării reduse HNB-urile pot cauza interferență cu rețeaua macro și HNB-urile vecine;
  - Metodele de management a interferenței în DL;
    - Trebuie să asigure în același timp și acoperire bună a HUE (vezi slide ant.);
    - HNB trebuie să aibă funcții de detecție a mediului radio: “sniffing”;
      - Măsurători radio efectuate:
        - “Received Signal Strength Indicator” (RSSI) – densitatea spectrală de putere a semnalului recepționat – se mai numește și  $I_0$ ;
        - CPICH  $E_c/I_0$  – raportul dintre energia pilotului recepționat și densitatea spectrală a puterii totale recepționate (pe canalele femto și macro);
    - Selecția autonomă a purtătoarelor și handover inter-frecvență pentru utilizatorii macrocelulă;
      - Fiecare HNB se configurează pentru o anumită frecvență purtătoare UMTS (“Universal Mobile Telecommunications System”);
      - Mecanismul de selecție depinde de modul în care se realizează implementarea sistemului de femtocelule;

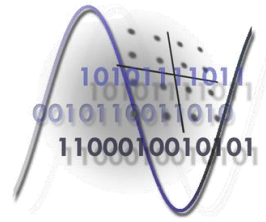


# Femtocelule UMTS/HSPA



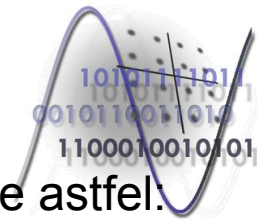
- În majoritatea cazurilor alocarea unei singure purtătoare la HNB-uri este suficientă;
- Dacă densitatea HNB-urilor este mare se pot alocă mai multe purtătoare pentru reducerea interferenței inter-femto;
- Se poate selecta o purtătoare primară și mai multe purtătoare secundare; alegerea purtătoarei se poate face în procesul de auto-calibrare în funcție de măsurătorile de interferență;
- Utilizarea unor purtătoare separate pentru macro celule și femto celule este o soluție ineficientă din p.d.v. al utilizării spectrului;
  - Se obține o reducere semnificativă a interferenței, dar este o problemă pentru operatorii care au un număr redus de purtătoare și dacă densitatea HNB-urilor este mică;
- Partajarea purtătoarelor între femto și macrocelule este mult mai eficientă;
  - Se alocă pentru HNB-uri frecvența (sau frecvențele) cea mai puțin utilizată;
  - Dacă MUE sesizează o interferență prea mare celula macro poate efectua un handover inter-frecvență;

# Femtocelule UMTS/HSPA



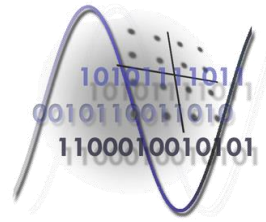
- Autocalibrarea puterii de transmisie DL a HNB;
  - Puterea DL a HNB trebuie reglată astfel încât să se minimizeze interferența cu macrocelula, dar să se asigure și o acoperire femto corespunzătoare;
  - Sunt necesare algoritmi de ajustare adaptivă a puterii DL femto;
  - Mărimi ce se pot utiliza în procesul de adaptare a puterii:
    - $HNB\_Link\_Budget$  = Atenuarea maximă (“Maximum path loss”) în zona de acoperire HNB; valoarea uzuală 80 dB;
    - $HNB\_MUE\_Min\_Pathloss$  = Atenuare minimă (“Minimum path loss”) între HNB și MUE astfel încât MUE primește un serviciu acceptabil pe o purtătoare adiacentă; valoarea uzuală 47 dB;
    - $Ecp/lo\_min\_MUE$  = Valoare minimă CPICH Ec/lo astfel încât MUE să aibă un serviciu acceptabil; valoarea uzuală -18 dB;
    - $Ecp/lo\_min\_HUE$  = Valoare minimă CPICH Ec/lo astfel încât HUE să aibă un serviciu acceptabil; valoarea uzuală -15 dB;
  - Algoritm de reglare a puterii de transmisie DL a HNB;
    - Fiecare HNB măsoară puterea totală recepționată (RSSI sau lo) de la toate celelalte noduri MNB și HNB;
    - HNB măsoară puterea pilotului de la cel mai bun (cel mai puternic) MNB;

# Femtocelule UMTS/HSPA



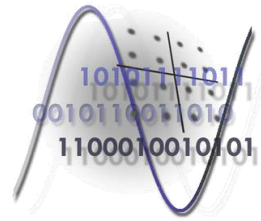
- Pe baza acestor măsurători se determină puterea de transmisie astfel.
  - Să se asigure  $E_{cp}/I_{o\_min\_MUE}$  pentru MUE localizat la *HNB\_Link\_Budget* față de HNB și utilizând același canal;
    - Se urmărește protecția utilizatorilor macro de pe același canal;
  - Să se asigure  $E_{cp}/I_{o\_min\_MUE}$  pentru MUE utilizând un canal adiacent și localizat la *HNB\_MUE\_Min\_Pathloss* față de HNB;
    - Se urmărește protecția utilizatorilor macro de pe canale adiacente;
  - Să se asigure că HNB nu generează mai multă interferență decât este necesar, adică să se asigure  $E_{cp}/I_{o\_min\_HUE}$  pentru HUE localizat față de HNB la *HNB\_Link\_Budget* ;
- În practică pot să existe diferențe între valorile RF măsurate de către HNB și cele care există în realitate la HUE și MUE;
  - Poate genera estimare imprecisă a razei de acoperire și a interferenței;
  - Pentru a îmbunătății algoritmul se poate utiliza transmisia măsurătorilor HUE la HNB;
    - HUE poate măsura mai bine caracteristicile RF din femto celulă;
    - Încercările de conectare a MUE la HNB pot furniza date pentru reglarea puterii de emisie DL a HNB;
    - Se pot utiliza și raportări din partea rețelei a măsurătorilor efectuate de MUE situate în vecinătate;

# Femtocelule UMTS/HSPA



- Managementul interferenței în UL pentru HNBS;
  - Datorită instalării neplanificate HNB poate suferi de interferență de la UE (MUE sau HUE) necontrolate, situate în vecinătate;
  - HUE poate cauza interferență în uplink în macrocelulă sau în femtocelule vecine;
  - Tehnici de management a interferenței în UL;
    - Se urmărește reducerea interferenței în femtocelulă cât și a interferenței create de către femtocelulă;
    - Atenuare UL adaptivă:
      - Atenuare de cuplaj dintre HNB și HUE poate coborâ la 30–40 dB;
      - Se poate genera un nivel mare de semnal la HNB de către HUE care nu pot fi controlați în putere (datorită limitărilor de putere minimă de transmisie) și de către MUE;
      - O soluție este utilizarea unei atenuări mari în interfața HNB pentru a se aduce semnalul la un nivel corespunzător pentru procesare ulterioară;
      - Metoda trebuie aplicată adaptiv pentru a nu crește puterea HUE chiar dacă există interferență de la MUE;

# Femtocelule UMTS/HSPA



- O soluție mai bună este modificarea/ajustarea atenuării UL HNB atunci când este necesar;
  - Se utilizează o atenuare corespunzătoare pentru a reacționa la interferența din afara celulei și la semnale HUE de nivel mare care nu pot fi controlate altfel;
    - Pentru a calcula interferența din afara celulei (“out of cell interference”) este necesară calcularea energiei totale recepționate și a energiei recepționate de la HUE conectați la HNB;
  - Controlul atenuării trebuie să ia în seamă și fluctuațiile de trafic ale UL MUE situate în apropiere;
    - Controlul puterii nu poate, de regulă, face față variațiilor bruște de semnal;
    - Se propune o modificare a atenuării cu o pantă lină atunci când semnalul interferent dispare;
- Limitarea puterii de transmisie HUE;
  - HNB poate estima atenuare căii RF până la cel mai apropiat MNB și/sau HNB și pe baza acestor măsurători poate limita puterea de emisie HUE;
    - Se urmărește reducerea interferenței cu macrocelula și femtocelulele vecine în UL;
    - Atenuarea către NB-urile apropiate se poate estima prin măsurarea semnalelor DL ale celulelor vecine;