

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" TIMIȘOARA

Facultatea de Electronică și Telecomunicații

Departamentul de Comunicații

**CONTRIBUȚII LA IMPLEMENTAREA ȘI
OPTIMIZAREA REȚELELOR DE
COMUNICAȚII MOBILE CELULARE**

- Teză de doctorat -

Conducător științific:

Prof. Dr. Ing. Miranda Naforniță

Doctorand:

Ing. Sorin Popa

2012

Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată în cadrul Departamentului de Comunicații al Universității „Politehnica” din Timișoara.

Cu ocazia finalizării acestei teze doresc să adresez mulțumiri tuturor celor care m-au îndrumat, mi-au împărtășit cunoștințe profesionale, m-au sprijinit moral și au fost alături de mine în momentele dificile.

În primul rând sincerele mele mulțumiri se îndreaptă cu deosebit respect, către doamna prof.dr.ing. Miranda Naforniță, în calitate de conducător științific, fără al cărei ajutor de specialitate și moral, de-a lungul timpului, această lucrare nu ar fi fost realizată. Doamna profesoară m-a îndrumat cu multă pricepere și doresc să-i mulțumesc pentru cunoștințele împărtășite, documentația tehnică de specialitate oferită, sugestiile și susținerea aduse pe parcursul anilor de pregătire a acestei teze.

Cu deosebită stimă și considerație doresc să le mulțumesc referenților științifici ai tezei, pentru profesionalismul cu care au analizat această lucrare și pentru efortul pe care l-au făcut pentru a participa la susținerea publică a tezei.

Mulțumesc pe această cale și colegilor din cadrul Departamentului de Electronică și Telecomunicații de la Universitatea din Oradea pentru încurajările și susținerea oferită de-a lungul anilor de pregătire doctorală.

Nu în ultimul rând, mulțumesc din suflet părinților mei, pentru tot sprijinul și suportul moral acordat, deoarece au fost alături de mine necondiționat în toate încercările prin care am trecut.

ABREVIERI

3GPP -3rd Generation Partnership Project
AAA - Authentication, Authorization and Accounting
AMC - Adaptive Modulation Coding
BCCH - Broadcast Control Channel
BCH - Broadcast Channel
CCCH - Common Control Channel
CCPCH - Common Control Physical Channel
CDD - Cyclic Delay Diversity
CDMA - Code division multiple access
CFSC - Call Session Control Function
CPCH - Common Packet Channel
CPICH - Common PIlot CHannel
CRC - Cyclic redundacy check
CTCH - Common Traffic Channel
CQI - Channel quality indicator
DCH - Dedicated Channel
DCCH - Dedicated Control Channel
DFT - Discrete Fourier Transform
DPCH - Dedicated Physical Channel
DPCCH - Dedicated Physical Control Channel
DPDCH - Dedicated Physical Data Channel
DL - Downlink
DSCH - Downlink Share Channel
DTCH - Dedicated Traffic Channel
DTX - Discontinuous transmission
Ec/Io - Ratio of the energy per chip in CPICH to the total received power density
Ec/No -Ratio of the energy per information bit to the power spectral density (of interference and noise) after despreading (RSCP-RSSI)dBm
EDGE - Enhanced Data rates for GSM Evolution

Abrevieri

eNB - evolved Node B (NodeB = UMTS base station)
EPC - Evolved Packet Core
ePDG - Enhanced Packed Data Gateway
EPS - Evolved Packet System
ETSI - European Telecommunications Standards Institute
E-UTRA - Evolved-UTRA
E-UTRAN - Evolved-UTRAN
EV-DO - Evolution Data Optimized
FACH - Forward Acces Channel
FDMA - Frequency Division Multiple Access
GSM - Global System for Mobile Communications
GERAN - GSM EDGE Radio Access Network
GGSN - Gateway GPRS Support Node
GMSC - Gateway
HSPA - High Speed Packet Access
HSPA+ - High Speed Packet Access Evolution
HSDPA - High Speed Downlink Packet Access
HSUPA - High Speed Uplink Packet Access
HSS - Home Subscriber Server
HARQ - Hibrid automatic repeat request
IFFT - Inverse Fast Fourier Transform
ISI - Inter-Symbol Interference
IMS - Internet multimedia subsystem
Io - total received power density including CPICH of its own cell
KPI - Key Performance Indicators
LOS - Line of Site
LTE - Long Term Evolution
MBMS - Multimedia Broadcast Multicast Services
MGCF - Media Gateway Control Function
MIMO - Multiple Input Multiple Output
MME - Mobility Management Entity
MRC - Maximum Ratio Combining
MRF - Media Resource Function
MSC - Mobile switching center

Abrevieri

MU-MIMO - Multi-User MIMO
NGMN - Next Generation Mobile Networks
No - total received power density excluding CPICH of its own cell
OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA - Orthogonal Frequency Division Multiple Access
P-GW - PDN Gateway
PAPR - Peak-to-Average Power Ratio
PCH - Paging Channel
PCCH - Paging Control Channel
PCPCH - Physical Common Packet Channel
PCRF - Policy and Charging Rules Function
P-CCPCH - Primary -CCPCH
P-CPICH - Primary-CPICH
PDN - Packet Data Network
PMI - Precoding Matrix Identifier
PN - Pseudo-noise
PRACH - Physical Random Acces Channel
PRB - Phisical Resource Bloc
RACH - Random Acces Channel
RNC - Radio Network Core
RNS - Radio Network Subsystem
RRM - Radio Resource Management
RSCP - Received Signal Code Power
RSSI -Received Signal Strenght Indicator
Rx -Reception
QAM - Quadrature Amplitude Modulation
QPSK - Quadrature Phase Shift Keying
S-GW - Serving Gateway
SC-FDMA - Single Carrier - Frequency Division Multiplexing Acces
SFBC - Space-Frequency Block-Codding
SNR - Signal to Noise Ratio
SIMO - Single Input Multiple Output
SIR - Signal-to-Interference Ratio
SINR - Signal-to-Interference Noise Ratio

Abrevieri

SU-MIMO - Single-User MIMO

TDMA - Time Division Multiple Access

Tx - Transmission

UARFCN - UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number

UE - User Equipment

UL - Uplink

UMTS - Universal Mobile Telecommunications System

UTRA - Universal Terrestrial Radio Access

UTRAN - Universal Terrestrial Radio Access Network

VoIP - Voice over IP

WiMAX - Worldwide Interoperability for Microwave Access

WLAN - Wireless Local Area Network

LISTA TABELELOR

- 1.1: Caracteristici specifice WCDMA
- 1.2: Sisteme mobile de comunicații până în 2007
- 2.1: Coduri de alocare a canalului și coduri de amestecare
- 2.2: Tipuri de coduri
- 2.3: Valori E_b/N_0 pe UL
- 3.1: Parametrii tehnici ai U_u
- 4.1: Distanța până la colțul clădirii și înălțimea antenei
- 4.2: Legendă obstacole de pe diagramă
- 4.3: Valori ale factorilor de corecție specifici zonei
- 4.4: Set de parametri măsurați pentru cazul I
- 4.5: Valoarea procentuală a acoperirii pentru RSCP cazul I și raportarea la modelul de propagare
- 4.6: Valoarea procentuală a acoperirii pentru E_c/I_0 cazul I
- 4.7: Set de parametri măsurați pentru cazul II
- 4.8: Valoarea procentuală a acoperirii pentru RSCP cazul II și raportarea la modelul de propagare
- 4.9: Valoarea procentuală a acoperirii pentru E_c/I_0 cazul II
- 4.10: Set de parametri măsurați pentru cazul III
- 4.11: Valoarea procentuală a acoperirii pentru RSCP în cazul III și raportarea la modelul de propagare
- 4.12: Valoarea procentuală a acoperirii pentru E_c/I_0 cazul III
- 5.1: Valorile medii ale întârzierilor pe interfața radio
- 5.2: Performanțele LTE-BS conform Release8 pe conexiunea DL
- 5.3: Performanțele LTE-BS conform Release8 pe conexiunea UL

LISTA FIGURILOR

- 1.1. Alocarea frecvențelor
- 1.2. Arhitectura generală a sistemului UMTS
- 1.3. Elementele unei rețele mobile interconectată cu o structură PLMN
- 1.4. Amplasarea în teren a UTRAN
- 1.5. Structura miezului rețelei UMTS corespunzător specificației `99
- 1.6. Structura rețelei core UMTS conform specificațiilor 3GPP 4 și 5
- 1.7. Interconectarea UTRAN cu centrul de servicii și nucleul rețelei
- 1.8. Structura de acces multiplu TDD-FDD pentru sistemele CDMA
- 1.9. Principiul FDD (Frequency Division Duplex) FDD
- 1.10. Structura de acces multiplu TDD-FDD pentru sistemele WCDMA
- 1.11. Principiul TDD (Time Division Duplex)
- 1.12. Structura datelor utilizatorilor distribuite TDD-FDD
- 1.13. Conceptul WCDMA
- 1.14. Alocarea lățimii de bandă în WCDMA în spațiul timp-frecvență-cod
- 1.15. Modulația QPSK
- 1.16. Purtătoarea WCDMA (pe una din cele două căi)
- 1.17. Cadru DS-WCDMA-FDD
- 1.18. Secvențele de principiu CDMA
- 2.1. Utilizarea diferențiată a codurilor de canal (alocare a canalului) și a celor de amestecare SC
- 2.2. Zona de reutilizare în tehnologie WCDMA
- 2.3. Chip și simbol
- 2.4. Modul de obținere a împrăștierii spectrale în banda de bază
- 2.5. Utilizarea codurilor de canal și amestecare
- 2.6. Procesul de împrăștiere spectrală
- 2.7. Spectrul semnalului împrăștiat
- 2.8. Arhitectura codului de amestecare (secretizare) SC
- 2.9. Exemple de arbori de codare de canal pentru o anumită conexiune
- 2.10. Utilizarea codurilor de canal pe UL
- 2.11. Utilizarea codurilor de canal pe DL
- 2.12. Organizarea codurilor de amestecare pe DL
- 2.13. Împrăștierea și multiplexarea în WCDMA pe conexiunea DL
- 2.14. Adaptarea ratei de transfer pentru interfața radio
- 2.15. Nivel de semnal radio la receptorul UE determinat de componentele de semnal propagate pe căi multiple
- 2.16. Fading Rayleigh datorat propagării pe căi multiple
- 2.17. Funcția densitate de probabilitate Rice, Gaussian, Rayleigh
- 2.18. Principiul MRC în receptorul Rake
- 2.19. Schema bloc a receptorului RAKE
- 2.20. Echipament Nokia Flexi BTS
- 2.21. Configurație NodB echipat cu Nokia Flexi BTS cu diversitate pe Rx
- 3.1. Pregătirea datelor și semnalizării pentru interfața radio
- 3.2. Structura temporală pe interfața radio
- 3.3. Arhitectura canalelor fizice, de transport și logice din rețea
- 3.4. Dispunerea datelor și semnalizărilor la NodB

- 3.5. Canalele logice și de transport pe conexiunea DL
- 3.6. Canalele logice pe UL
- 3.7. Disponerea canalelor de transport în canalele fizice pe DL
- 3.8. Organizarea traficului pe UL și DL
- 3.9. Disponerea canalelor de transport în canalele fizice pe UL
- 3.10. Schema bloc a RNC-ului
- 3.11. Controlul admisiei
- 3.12. Variația limitei de interferență în funcție de încărcarea celulei
- 3.13. Controlul RNC-ului asupra codului de secretizare și a celui de canal
- 3.14. Ajustarea puterii de emisie a UE în funcție de poziția față de NodB
- 3.15. Compensarea efectelor canalului radio cu fading prin controlul puterii
- 3.16. Controlul puterii în buclă deschisă la RNC în funcție de calitate Q
- 3.17. Modificarea valorii SIR în timp în funcție de deplasarea UE
- 3.18. Handover-ul inter și intra sistem
- 3.19. Procedura de softer handover
- 3.20. Procedura de soft handover
- 3.21. Variația puterii pe parcursul deplasării UE în procesul de soft handover
- 3.22. Hard handover
- 3.23. Hard handover sub aceeași frecvență
- 3.24. Mecanismul realizare a handover-ului
- 3.25. Micro diversitate
- 3.26. Macro diversitate
- 4.1. Poziționarea echipamentelor NodB
- 4.2. Poziționarea antenei
- 4.3. Lobul principal al antenei umbrit de clădire
- 4.4. Amplasarea antenei site-ului pentru evitarea umbririi lobului principal
- 4.5. Amplasare pe: a) acoperiș b) turn
- 4.6. Poziționare defavorabilă a site-urilor
- 4.7. Diagrama de obstacole
- 4.8. Ansamblu de antene multiple
- 4.9. Configurații antene BS
- 4.10. Antene cu diversitate spațială și prin polarizare
- 4.11. Diversitate 2Rx , 4Rx la Bs (a), respectiv performanțe SRC (b)
- 4.12. Diversitate pe DL
- 4.13. Variația capacității de încărcare în funcție de diversitate pe DL
- 4.14. Algoritm de îmbunătățire a acoperirii
- 4.15. Variații ale nivelului de semnal la suprafața diverselor structuri din calea de propagare
- 4.16. Elementele care intervin la determinarea valorii RSCP
- 4.17. Dimensiuni ale celulelor utilizate la acoperire
- 4.18. Aplicabilitatea modelului Walfish-Ikegami
- 4.19. Echipamente pentru măsurători
- 4.20. Transpunere poziționare site BH 02517 googlemap
- 4.21. Măsurători a) RSCP cu scanner b) RSCP cu terminal UE
- 4.22. Măsurători a) SC cu scanner b) SC cu terminal UE
- 4.23. Măsurători a) E_c/I_o cu scanner b) E_c/No cu terminal UE
- 4.24. Transpunere poziționare site BH 01853 googlemap
- 4.25. Măsurători a) RSCP cu scanner b) RSCP cu terminal UE
- 4.26. Măsurători a) SC cu scanner b) SC cu terminal UE
- 4.27. Măsurători a) E_c/I_o cu scanner b) E_c/No cu terminal UE
- 4.28. Transpunere poziționare site BH 02388 googlemap

- 4.29. Măsurători a) RSCP cu scaner b) RSCP cu terminal UE
- 4.30. Măsurători a) SC cu scaner b) SC cu terminal UE
- 4.31. Măsurători a) E_c/I_o cu scaner b) E_c/No cu terminal UE
- 4.32. Harta zonei de analiză
- 4.33. Ferestre ale aplicației de măsură: a) fereastra corespunzătoare celulelor active
b) fereastra specifică analizorului spectral
- 5.1. Aria de test
- 5.2. Stație de bază de test cu antene și emițătoare de microunde site central
- 5.3. Nivelul de semnal pe traseul din zona de test
- 5.4. Încărcarea celulei pe conexiunea DL în funcție de raportul SNR cu unul sau doi utilizatori SISO în banda de 10 MHz
- 5.5. Principii ale tehnologiei LTE viitoare

CUPRINS

Introducere	5
Capitolul 1. Sistemul UMTS – Generalități	7
1.1. Sistemul universal de comunicații mobile UMTS	7
1.2. Arhitectura sistemului UMTS	7
1.3. Caracteristicile sistemului UMTS.....	13
1.4. Tehnologia WCDMA.....	18
1.4.1 Modulația	21
1.4.2 Particularități ale tehnologiei WCDMA.....	21
Capitolul 2. Analiza interfeței radio a sistemului UMTS	25
2.1. Prelucrarea datelor	25
2.2. Chip și simbol	27
2.3. Împrăștierea spectrală	28
2.4. Factorul de împrăștiere - spreading factor (SF)	29
2.5. Clasificarea și rolul codurilor de alocare a canalului și de amestecare.....	31
2.5.1. Coduri de alocare a canalului	31
2.5.2. Coduri de amestecare.....	34
2.6. Codarea canalului, selecția ratei, utilizarea canalului logic și a celui fizic de transport	36
2.7. Recepția la nivelul terminalului UE	38
Capitolul 3. Transferul prin interfața radio.....	48
3.1. Structura canalelor sistemului UMTS.....	51
3.1.1. Canale logice și de transport	52
3.1.2. Canale fizice	54
3.2. Managementul resurselor radio.....	57
3.3. Controlul puterii	59
3.4. Proceduri de transfer, micro și macro diversitatea	63
3.4.1. Softer Handover	64
3.4.2. Soft handover	65
3.4.3. Hard handover	68
3.4.4. Mecanismul deciziei de execuție a handover-ului	70
3.4.5. Micro diversitate	70
3.4.6. Macro diversitate	71
Capitolul 4. Criterii de implementarea și optimizarea unei rețele radio mobile celulare	73
4.1. Stabilirea poziției siteului	73
4.2. Criteriul de selecție pentru poziționarea siteului	73
4.3. Tipuri de antene utilizate în siteuri	79
4.4. Aspecte legate de planificarea acoperirii.....	82
4.4.1. Marginile fadingului lent.....	82
4.4.2. Pierderi ale nivelului de semnal în interiorul clădirilor	83
4.4.3. Determinarea valorii minime a puterii semnalului pilot.....	84
4.5. Modele de propagare utilizate la implementare și optimizare	85
4.6. Măsurători la nivelul interfeței radio UTRAN	87

4.7 Soluție de optimizare a rețelei. Cazul nedeclarării adiacenței	112
Capitolul 5. Evoluția rețelelor UMTS. Rețele LTE.....	117
5.1 Rețele LTE	117
5.2 LTE specificația 8.....	118
5.3 Evaluarea rețelelor de nouă generație.....	118
5.3.1 Zona de test și parametri de măsură.....	119
5.3.2 Echipamentele platformei de test	120
5.3.3 Măsurătorile pe platforma de test	121
5.3.4 Teste de laborator.....	121
5.4 Rezultate ale testelor la nivel de sistem	123
5.5 Evoluția rețelei LTE dincolo de specificațiile 8, LTE-A	125
Contribuții și concluzii	127
Bibliografie.....	130
Anexa 1	134
Anexa 2.....	135
Anexa 3.....	136

INTRODUCERE

Lucrarea de față aduce în discuție aspecte ale rețelei de telefonie mobilă de generația a treia (3G) și evoluția către rețele cu dezvoltare pe termen lung de tip LTE (Long Term Evolution), respectiv rețele mobile de generație următoare NGMN (Next Generation Mobile Networks), tehnologii care față de telefonie mobilă de generația a doua 2G GSM (Global System for Mobile Communications), pe lângă o calitate mai bună a serviciilor de voce, oferă nu doar posibilități de video telefonie, ci și viteză de transfer mai mare pentru serviciile de date și multe alte beneficii care pot decurge din aceasta. Se insistă pe structura interfeței radio, a cărei evoluție datorată în principal cererilor tot mai mari de servicii venite din partea utilizatorilor, a determinat saltul de la structura inițială de bază, rețele 2G, către 3G sau 3G+, respectiv LTE, atât din punct de vedere al arhitecturii fizice a rețelei, cât și a echipamentelor pe care acestea le înglobează.

În prima parte a acestei lucrări, *Capitolul I* conturează imaginea rețelei de telefonie mobilă 3G, care are la bază sistemul universal de comunicații mobile UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), prin prisma principalelor aspecte legate de alocarea spectrului pe plan mondial, de arhitectura blocurilor funcționale și de clasificarea interfețelor dintre acestea. Totodată, realizează o scurtă introducere în tehnologia utilizată de sistem.

Capitolul II aprofundează particularitățile specifice tehnologiei de bandă largă cu diviziune prin cod și acces multiplu WCDMA (Wideband Code Division Multiple Acces) sub aspectul resurselor fizice disponibile ale sistemului, utilizarea lor cât mai eficientă în situații reale (fading, acoperire insuficientă), respectiv tehnicile de prelucrare și împrăștiere spectrală a secvențelor de date înaintea transmiterii prin interfața radio.

În *Capitolul III* este abordată interfața radio a sistemului UMTS, entitate foarte solicitată atât pe durata derulării schimbului de informații dintre echipamentul de utilizator și rețea, cât și pe durata cât acesta este în așteptare. Această stare caracterizează echipamentul atunci când acesta este înregistrat în rețea, fiind disponibil oricând să solicite inițierea unei conexiuni sau să răspundă la solicitarea stabilirii unei conexiuni. Astfel acest capitol propune o analiză structurală a suportului de transport a datelor din structura sistemului UMTS, mai precis a multitudinii de canale dispuse pe nivelul logic, nivelul de transport și nivelul legăturii de date. S-a insistat în special pe descrierea fiecărui tip de canal specific unui anumit nivel din ierarhie, cât și asupra aspectelor legate de modul în care se realizează comunicarea cu rețeaua prin intermediul procedurilor de semnalizare utilizate. Finalul capitolului reliefează principalele probleme legate de transferuri (*handover-uri*), de clasificarea lor, de motivul și modul în care se realizează acestea în interiorul sistemului rețelei 3G, subliniindu-se avantajele și dezavantajele pe care le pot avea asupra funcționării rețelei în procesul continuu dezvoltare și optimizare.

Capitolului IV Analiza realizată la nivelul interfeței radio în acest caz este fundamentată atât din punct de vedere teoretic, cât și practic, prin activitatea desfășurată cu succes de autor pentru implementarea și dezvoltarea unei rețele de acest tip, ca rezultat al unei colaborări de succes cu departamentului tehnic al RCS&RDS Oradea. De asemenea în cadrul acestui capitol este propusă în etapa de optimizare a rețelei bazată pe o serie de măsurători realizate la nivelul interfeței

radio, o metodă de îmbunătățire a acoperirii pe o anumită zonă deservită de rețea prin intermediul unui caz practic de nedeclarare a adiacenței.

Aspectele prezentate în primele patru capitole ale acestei lucrări sunt premergătoare celui de-al V-lea capitol, unde se scoate în evidență pasul imediat următor etapelor de planificare și optimizare a unei astfel de rețele și anume, evoluția acesteia.

Acest proces presupune trecerea la un alt palier tehnologic, care are ca structură de bază rețeaua inițială optimizată, supusă însă la unele modificări de natură arhitecturală, atât din punct de vedere al planificării (*planning*), cât și din punct de vedere al echipamentelor din interfața radio. O astfel de evoluție este determinată de cererea continuă de date a utilizatorilor mobili, ceea ce împinge rapid rețelele 3G și 3.5G către limita maximă a capacității.

În acest mod operatorii sunt motivați să proiecteze rețelele următoare ca sisteme cu evoluție pe termen lung LTE, pentru a menține competitivitatea și pentru a asigura posibilitatea creșterii benzii de frecvență folosite. LTE mai poartă denumirea și de tehnologie 4G. Este o tehnologie „all-IP”, bazată pe acces prin multiplexare ortogonală cu diviziune în frecvență, OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Acces), care este mai eficientă din punct de vedere spectral, adică poate oferi mai mulți biți pe Hertz.

Specialiștii din domeniu susțin că LTE va fi tehnologia aleasă pentru dezvoltarea în viitor a mării majorități a proiectelor de parteneriat din categoria 3GPP (Third Generation Partnership Project) și de către operatorii de telefonie mobilă 3GPP2. Aceasta va oferi avantaje precum reutilizarea spectrului, o bună integrare și adaptare la și de la rețelele existente 3GPP și 3GPP2, asigurând sprijinirea mobilității și roaming-ul la nivel mondial, și posibilitatea ca operatorii să poată implementa LTE într-o manieră treptată, prin mobilizarea rețelelor existente pentru continuitatea serviciului.

1. SISTEMUL UMTS

1.1. Sistemul universal de comunicații mobile, UMTS

Pe piața mondială a comunicațiilor, implementarea sistemului universal de telecomunicații mobile UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) și extinderea ulterior către rețele cu evoluție pe termen lung LTE (Long Term Evolution Networks) a cunoscut o serie de etape, în funcție de cerințele pieței și solicitările diverșilor operatori locali sau mondiali [1]. Primul pas în implementarea oricărui sistem de comunicații constă în alocarea spectrului de frecvențe operatorilor [2].

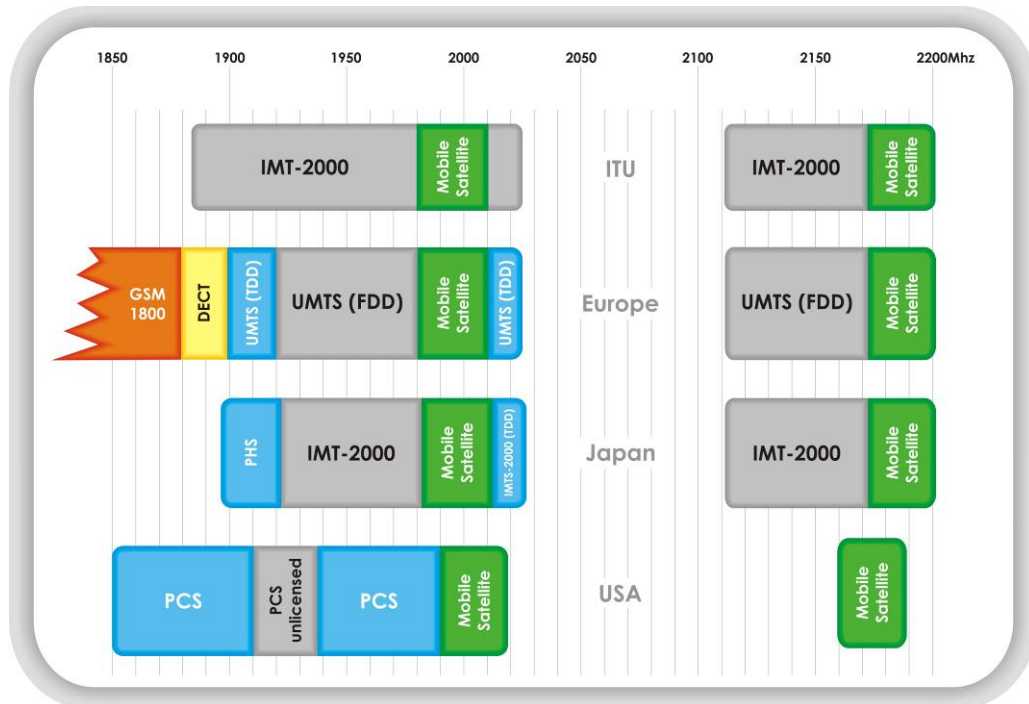


Figura 1.1. Alocarea frecvențelor

1.2. Arhitectura sistemului UMTS

În cele ce urmează se pune accentul pe arhitectura generală a sistemului UMTS, prezentându-se inclusiv elementele logice ale rețelei și descrierea interfețelor. Elementele logice de rețea se pot grupa ținând cont de similitudinile funcționării sau de subrețeaua aparținătoare, conform specificațiilor 3GPP [3].

Din punct de vedere al funcționării, elementele rețelei se grupează în două categorii. Prima categorie conține rețeaua radio de acces RAN (Radio Acces Network), responsabilă cu gestionarea resurselor radio, iar a doua categorie se referă la rețeaua nucleu CN (Core Network), responsabilă cu comutarea, rutarea apelurilor și cu realizarea conexiunilor de date cu rețelele exterioare. Un sistem complet conține și echipamentul utilizatorului UE (User Equipment), care reprezintă interfața dintre utilizator și partea radio a rețelei, conform arhitecturii reprezentate în figura 1.2.

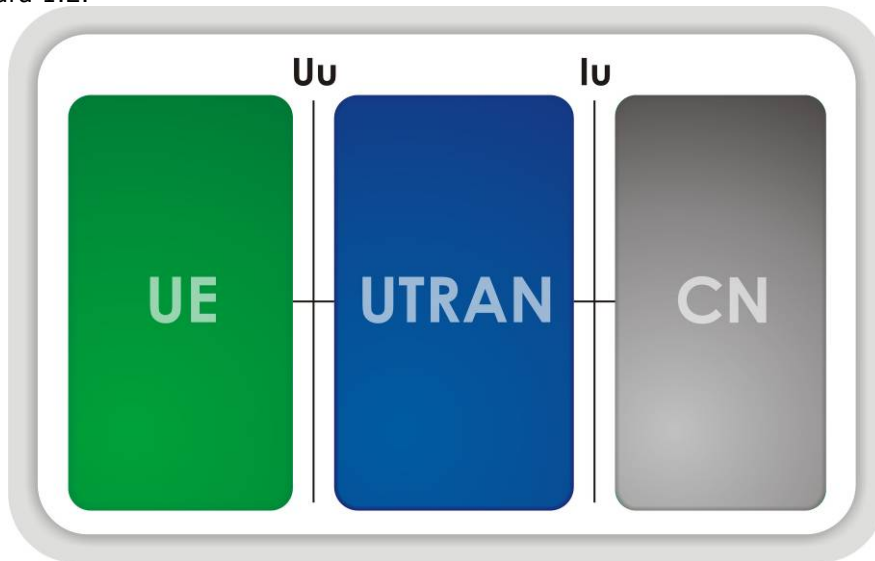


Figura 1.2. Arhitectura generală a sistemului UMTS

O rețea mobilă din domeniul public PLMN (Public Land Mobile Network), aparține în general unui singur operator și este conectată direct cu alte rețele de telefonie fixă, de telefonie mobilă sau alte rețele de comunicații [4]. În figura 1.3. sunt prezentate elementele unei rețele mobile și nivelele de interconectare cu celelalte rețele publice.

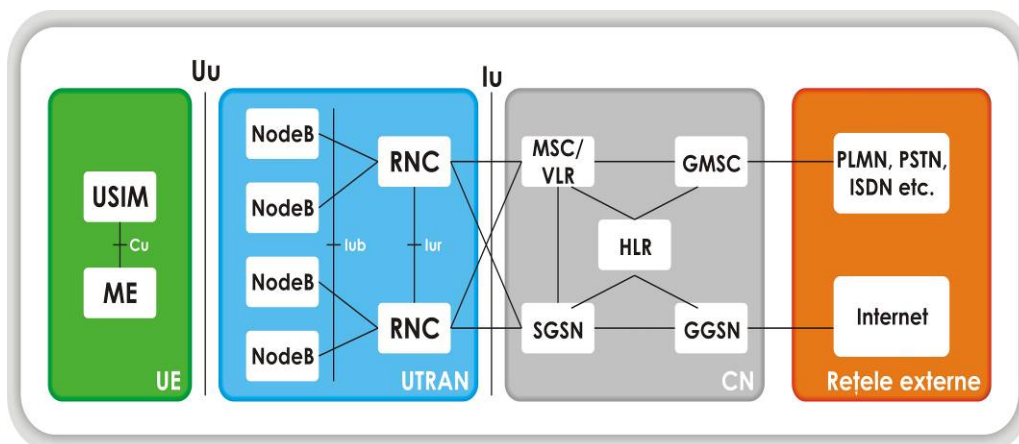


Figura 1.3. Elementele unei rețele mobile interconectată cu o structură PLMN

Echipamentul utilizatorului UE (User Equipment) este compus din două elemente distincte, inseparabile funcțional, astfel:

- Echipamentul mobil, ME (Mobile Equipment), care reprezintă terminalul radio folosit în comunicația radio prin interfața Uu;
- Modulul de identificare al utilizatorului, USIM (Universal Subscriber Identity Module), care este o cartelă inteligentă cu date privitoare la identificarea utilizatorului, execută algoritmi de autentificare, păstrează chei de autentificare, criptare și alte date necesare terminalului mobil.

Un alt element esențial în structura unei rețele mobile este interfața universală de acces radio, UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network) compusă din două părți:

- NodeB, stația de bază, care face o conversie a fluxului de date între interfața IuB și Uu, fiind activă și în managementul resurselor radio;
- RNC (Radio Network Controller), controlerul rețelei radio deține și controlează resursele radio, fiind și punctul de conectare al NodeB-urilor care împreună formează subsistemul rețelei radio, RNS (Radio Network Subsystem).

El poate fi multiplicat în cadrul interfeței UTRAN, în funcție de disponibilitatea echipamentelor operatorului și de cerințele de servicii pe care dorește să le asigure într-o anumită arie de acoperire. Amplasarea în teren a elementelor componente a interfeței universale de acces radio UTRAN este reprezentată în figura 1.4

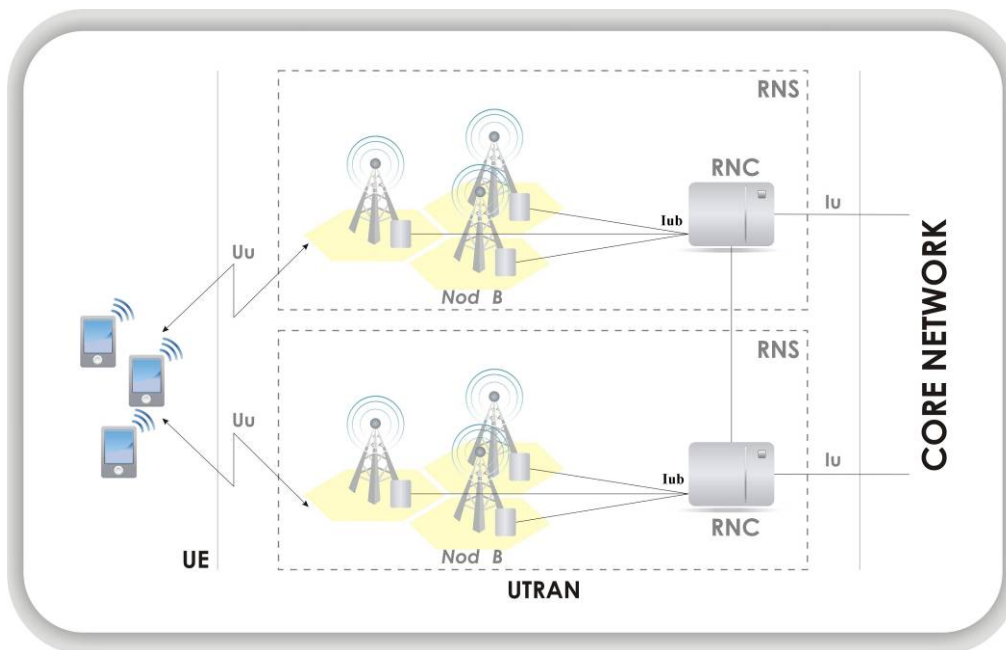


Figura 1.4. Amplasarea în teren a UTRAN

Nucleul rețelei, CN (Core Network), conține următoarele blocuri principale:

- HLR (Home Location Register) – este o bază de date proprie a sistemului în care se păstrează profilul original al serviciilor oferite utilizatorilor. Un profil de utilizator conține informații privitoare la serviciile permise, la activarea/inactivarea

serviciului de roaming și alte informații suplimentare, cum ar fi starea devierii apelurilor, opțiune care, dacă este activată, permite indicarea numărului spre care se deviază apelul. Un profil nou este creat odată cu apariția unui nou utilizator (abonat local) în rețea și se păstrează atâta timp cât respectivul utilizator este activ. Tot la acest nivel este păstrată ultima locație din rețea unde a fost identificat utilizatorul (abonat local), respectiv de unde s-a uzat de serviciile oferite de operator către fiecare utilizator. Această informație se regăsește și în registrul vizitatorilor locali VLR (Visitor Location Register), în cazul în care s-au derulat servicii de voce sau în nodul de serviciu suport pentru GPRS, SGSN (Serving GPRS General Packet Radio Service Support Node), dacă s-au accesat servicii de transfer de date;

- MSC/VLR (Mobile Switching Center/Visitor Location Register) este un selector (comutator) care asigură interconexiunea dintre rețeaua de radiotelefonie mobilă și rețeaua comutată de telefonie publică PLMN. MSC, elementul principal al sistemului, are rolul de a asigura funcțiile de comutare, conectând abonații mobili între ei, sau cu cei din rețelele fixe, după ce VLR confirmă că abonatul are permisiunea respectivei solicitări. El are asociată o bază de date VLR, cu rolul de a înregistra informații dinamice despre utilizatorii (abonații) vizitatori, funcție importantă deoarece în fiecare moment rețeaua trebuie să cunoască localizarea tuturor abonaților, adică să știe în care celulă se află fiecare dintre ei. Informația legată de localizare conținută de VLR este fundamentală pentru rutarea unui apel către un abonat și stabilirea unei legături de comunicație între doi abonați vizitatori. Trebuie subliniat faptul că VLR-ul conține informații actualizate privitoare la abonații care emit solicitări de apel;

- GMSC (Gateway Mobile Switching Center), poarta comutatorului MSC, are rolul de a asigura stabilirea legăturilor dintre rețeaua mobilă gazdă și celelalte rețele publice cu care este conectată;

- SGSN (Serving GPRS Support Node) este un nod suport de serviciu pentru platforma de servicii radio GPRS (General Packet Radio Service), iar pentru comutarea pachetelor de date PS (Packet Switched), funcționarea este similară cu cea a blocului MSC/VLR;

- GGSN (Gateway GPRS Support Node) este o poartă suport pentru platforma GPRS cu un rol funcțional similar cu cel al centrului de rutare a apelurilor destinate altor rețele GMSC (Gateway Mobile Switching Centre), însă cu rol de stabilire a legăturilor telefonice între rețelele cu comutare de circuit CS (Circuit Switched).

Se poate considera astfel că partea externă a rețelei este compusă din:

- rețele cu comutație de circuite CS care asigură conexiunile necesare legăturilor telefonice;

- rețele cu comutație de pachete PS care asigură conexiunile necesare serviciilor de date.

În continuare, se vor prezenta detalii referitoare la interfețele elementelor logice ale rețelei, cunoscute și sub numele de "interfețe deschise". O *interfață* este *deschisă*, dacă prin intermediul ei pot comunica două entități (echipamente standardizate), care provin de la producători diferiți. Ca urmare, se pot menționa următoarele tipuri de interfețe:

- interfața **Cu** este o interfață electrică între USIM și UE; ea respectă o standardizare specifică cartelelor inteligente.
- interfața **Uu** este o interfață radio, prin care UE accesează o parte fixă a sistemului. Este cea mai importantă interfață deschisă a sistemului UMTS, deoarece la nivelul ei putem găsi UE a mai multor

- producători, dar și echipamente ale rețelei fixe de la diferiți fabricanți interconectate prin intermediul altor interfețe Iu, Iur și Iub
- interfața **Iu** asigură conexiunea dintre UTRAN și CN, deschiderea acestei interfețe oferind posibilitatea operatorilor de a utiliza partea de UTRAN și cea de CN de la producători diferiți [5].
 - interfața **Iur** este cea care permite handover soft între RNC-uri, chiar dacă sunt de producție diferită [6].
 - interfața **Iub** asigură legătura NodeB cu RNC. UMTS-ul este prima rețea de telefonie mobilă în cadrul căreia această interfață este standardizată ca o interfață deschisă [7].

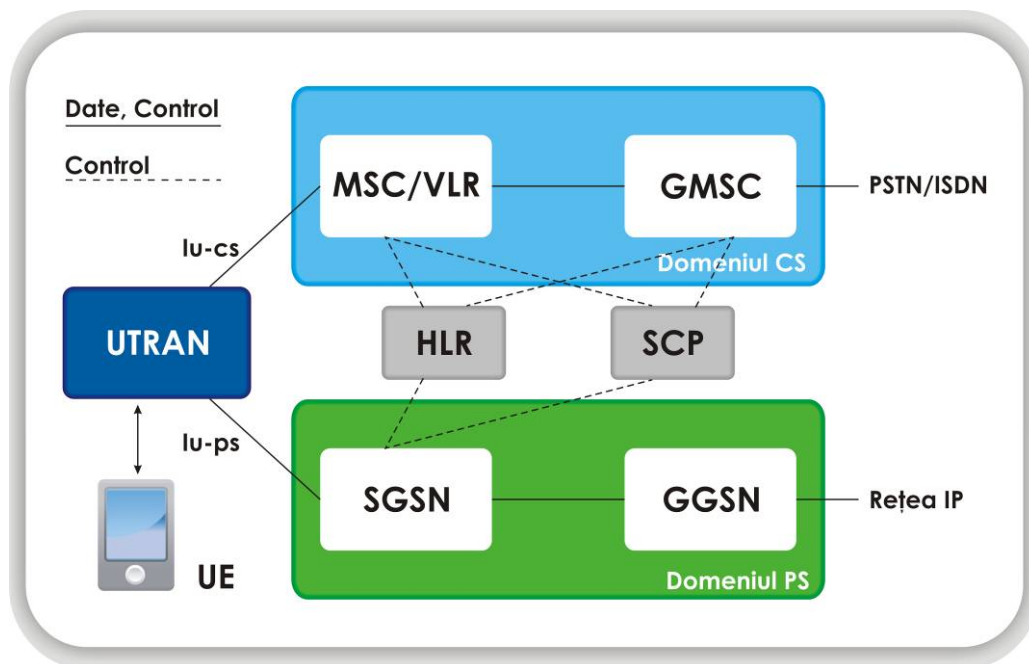


Figura 1.5. Structura miezului rețelei UMTS corespunzător specificației `99

La o analiză de ansamblu asupra miezului rețelei CN (figura 1.5.) se observă că este structurată pe două domenii CS și respectiv PS, pentru a rezolva diferitele tipuri de trafic. În prima fază rețeaua nu a cunoscut schimbări majore față de arhitectura GSM standard conform specificațiilor 3GPP Release `99 [8]. Introducerea noilor specificații, 3GPP Release 4 și Release 5 [9], a determinat modificări privind arhitectura CN – figura 1.6. Această etapă constituie prima fază de dezvoltare a unor rețele bazate pe protocolul IP (Internet Protocol), compuse din subsisteme multimedia IMS (IP Multimedia Subsystem).

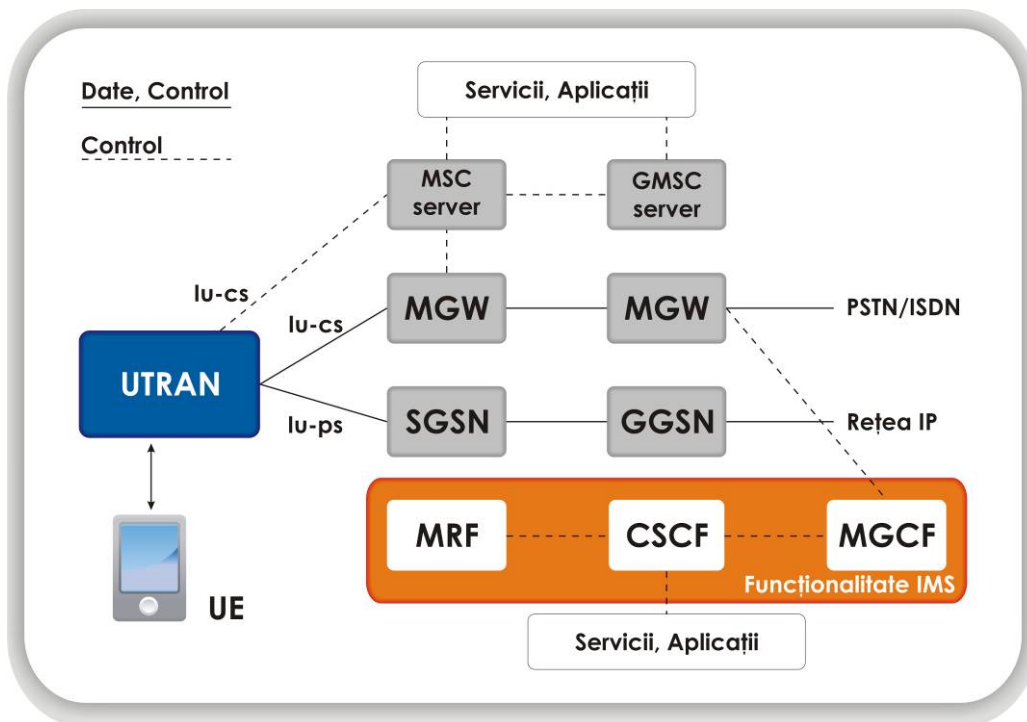


Figura 1.6. Structura rețelei core UMTS conform specificațiilor 3GPP 4 și 5

În figura 1.6 se pot observa modificările din domeniul CS prin comparație cu Release 4 și anume, divizarea MSC în MSC - server și respectiv MGW (Media Gateway), cu un rol important în comutarea datelor utilizatorului, anularea ecoului, codarea sau decodarea semnalului vocal. Pentru domeniul PS, SGSN respectiv GGSN, sunt identice cu cele din specificația '99 (figura.1.6), elementele de noutate fiind următoarele:

- MRF (Media Resource Function), bloc corespunzător funcției resurselor media, pentru controlul fluxului de date sau mixarea diferitelor fluxuri de date.

- CSFC (Call Session Control Function), bloc specific funcției de control a sesiunii de apel pentru a asigura primul punct de acces de la terminal către subsistemul multimedia IP.

- MGCF (Media Gateway Control Function), blocul corespunzător funcției de control a porții media ce face conversiile de protocol, respectiv poate controla un serviciu asigurat de domeniul CS ce necesită procesări în blocul MCW (de exemplu, anularea ecoului). Astfel, pe baza aspectelor amintite anterior și a noilor specificații apărute, interfața universală de acces radio UTRAN asigură posibilitatea de interconectare dintre nucleul rețelei CN și centrul de servicii - figura 1.7.

În concluzie, tehnologia WCDMA aduce elemente de noutate la nivelul interfeței radio a sistemului Uu, dar și la nivel arhitectural, prin blocurile suplimentare apărute pentru creșterea performanțelor și a operabilității rețelei.

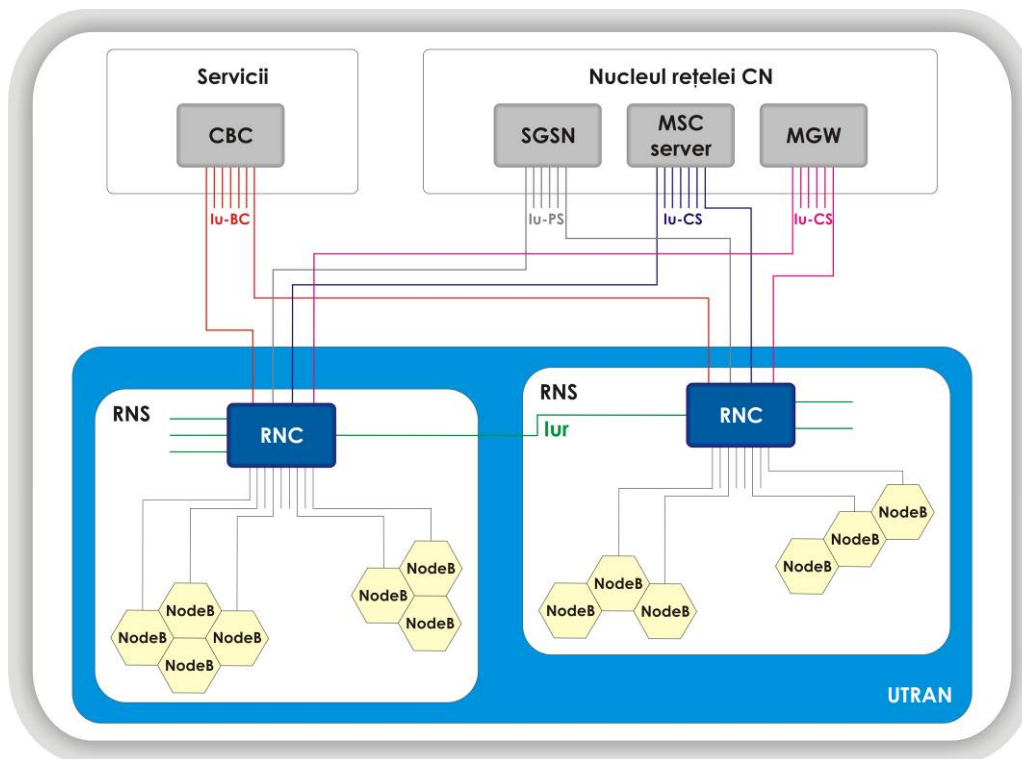


Figura 1.7. Interconectarea UTRAN cu centrul de servicii și nucleul rețelei

1.3. Caracteristicile sistemului UMTS

Spre deosebire de sistemul de telefonie fixă, sistemul de telefonie mobilă nu are o legătură fixă de tip circuit comutat CS, între terminal și rețea. La efectuarea unui apel, se stabilește o conexiune temporară între terminal și rețea prin interfața radio Uu. Pe parcursul evoluției rețelelor mobile s-au dezvoltat tehnologii prin care mai mulți utilizatori pot utiliza simultan părți ale spectrului de radio frecvență fără a fi afectată calitatea, acoperirea sau securitatea conexiunii realizată pe canal radio.

La prima generație 1G a sistemelor de comunicații mobile, spectrul a fost divizat în canale cu aceeași lățime de bandă. În cazul în care un utilizator dorea să inițieze o convorbire, sistemul alocă un canal liber, tehnică cunoscută sub numele de acces multiplu cu diviziune în frecvență FDMA (Frequency Division Multiple Acces).

Evoluția sistemelor de comunicații, respectiv trecerea de la sisteme analogice la sisteme digitale și dezvoltarea tehnicilor de acces multiplu [10], a dus la numeroase avantaje:

- aceeași frecvență poate fi folosită de mai mulți utilizatori la intervale temporale diferite, tehnică cunoscută ca acces multiplu cu diviziune în timp TDMA (Time Division Multiple Acces) în sistemele 2G, respectiv 2,5G, GSM; sistemele din această generație folosesc combinarea tehnicilor FDMA – TDMA;
- pentru sistemele de comunicații mobile ce utilizează tehnica de acces multiplu cu diviziune prin cod CDMA (Code Division Multiple Acces),

transmisia în acest caz se realizează pe unul sau pe o pereche de canale radio cu lățimea de bandă de 1.25 MHz. Astfel transmițătoarele împart același canal radio, în limitele corelației dintre semnalul util și secvența de cod pseudo-aleatoare [11], care asigură separarea utilizatorilor.

- în sistemele de comunicații mobile de bandă largă în tehnologia WCDMA (Wideband Code Division Multiple Acces) [12] transmisia se realizează pe o pereche de canale radio de bandă largă cu lățime de 5MHz. Cu toate că această tehnologie utilizează tot tehnica DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), specifică CDMA, ea asigură pe lângă lățimea de bandă necesară și o serie de alte avantaje suplimentare legate de creșterea capacității, acoperire și cost. În situațiile când un terminal mobil recepționează semnale de la mai multe antene ale unor stații de bază BS (Base Station), el le poate identifica pe fiecare dintre ele atâta vreme cât fiecare celulă (sector) are propriul cod (unic) de alocare a canalului (channelization code). Similar, în cazul în care blocul de recepție al BS, specific unei celule sau sector, el recepționează semnale de la mai multe terminale mobile UE și poate identifica diferiții abonați (canale) prin codul de alocare a canalului unic asociat.

Interfața universală de acces radio terestru UTRAN (Universal Terrestrial Radio Acces Network), a sistemului UMTS, asigură legătura radio între echipamentul mobil UE și NodeB, respectiv controlerul rețelei radio RNC și miezul rețelei core CN. În comparație cu sistemele 2G, această interfață utilizează accesul multiplu cu diviziune prin cod (CDMA). Accesul multiplu pe interfața radio se poate face în două moduri:

- FDD-DS-CDMA de bandă largă, cu transmisiune duplex și separare în frecvență;
- TDD-DS-CDMA de bandă largă cu duplex temporal, WCDMA.

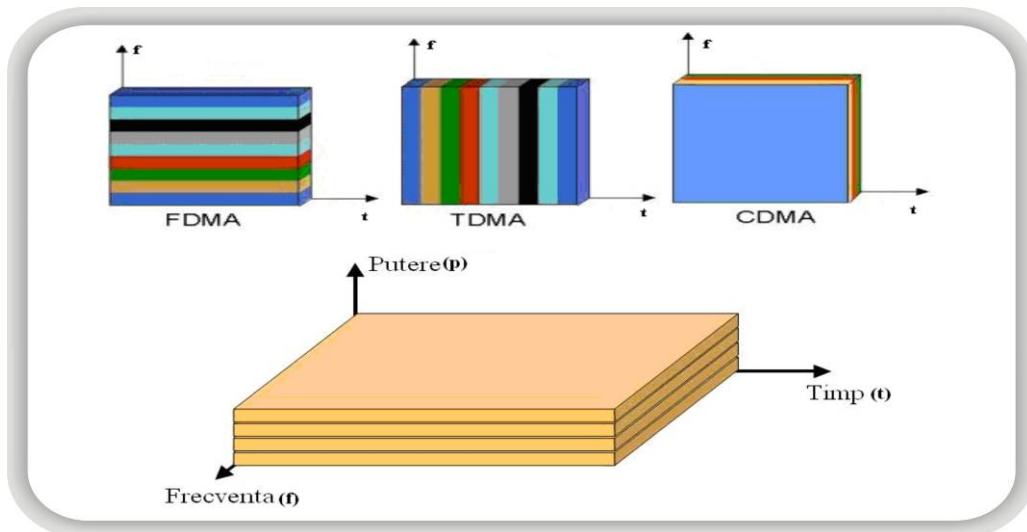


Figura 1.8. Structura de acces multiplu TDD-FDD pentru sistemele CDMA

Rețelele terestre europene de comunicații mobile, care fac parte din UMTS, utilizează pentru interfața radio tehnologia WCDMA, în modul FDD duplex frecvențial, cu banda de gardă/separare duplex (FD = 190 MHz), având la dispoziție următoarele subbenzi de frecvență:

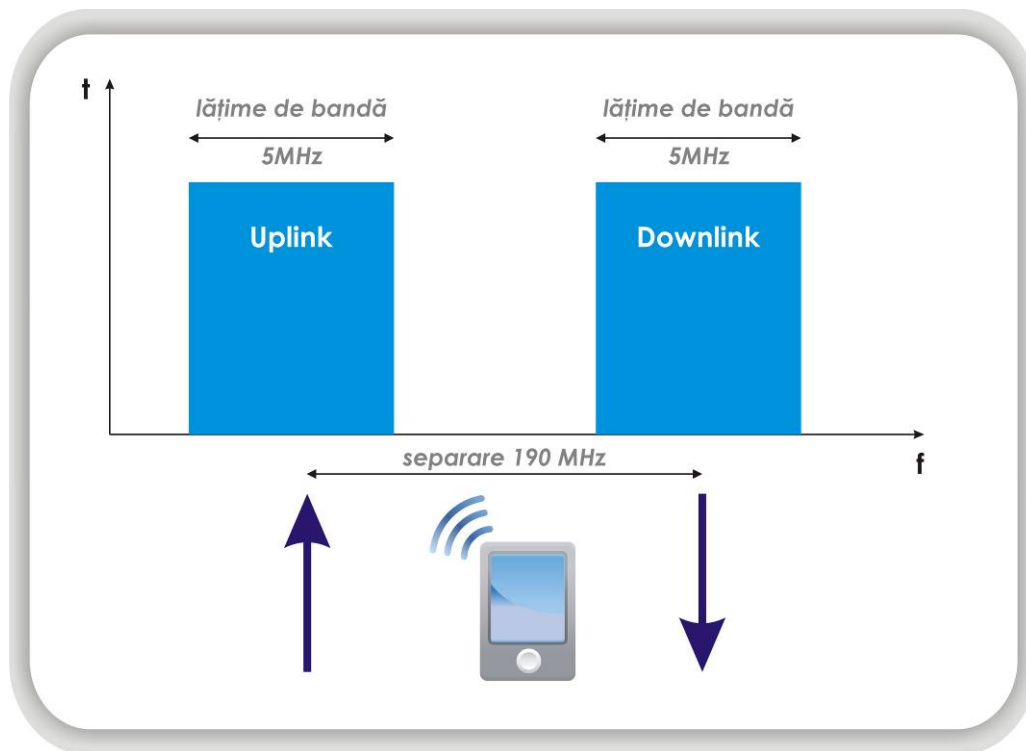


Figura 1.9. Principiul FDD (Frequency Division Duplex) FDD

- 1920-1980 MHz (lărgimea benzii de 60 MHz) pentru legătura ascendentă;
- 2110-2170 MHz (lărgimea benzii de 60 MHz) pentru legătura descendentă.

În modul FDD sunt alocate două benzi separate, una pentru transmiterea datelor pe conexiunea ascendentă UpLink (UL), de la UE către BS (sau NodeB), și cea de-a doua pentru recepția datelor pe conexiunea descendentă DownLink (DL), de la BS (sau NodeB) către UE. Fiecare din cele două benzi este împărțită în subbenzi de câte 5MHz, cu 190MHz frecvență de separare duplex între ele. În FDD utilizatorii împart aceeași bandă în fiecare din cele două cazuri, primele terminale 3G suportând doar tehnica FDD.

Interfeței radio WCDMA cu funcționare în modul duplex temporal TDD (Time Division Duplex) i-au fost alocate următoarele domenii de frecvență:

- 1900-1920 MHz (lărgimea benzii de 200 MHz)
- 2010-2025 MHz (lărgimea benzii de 15 MHz).

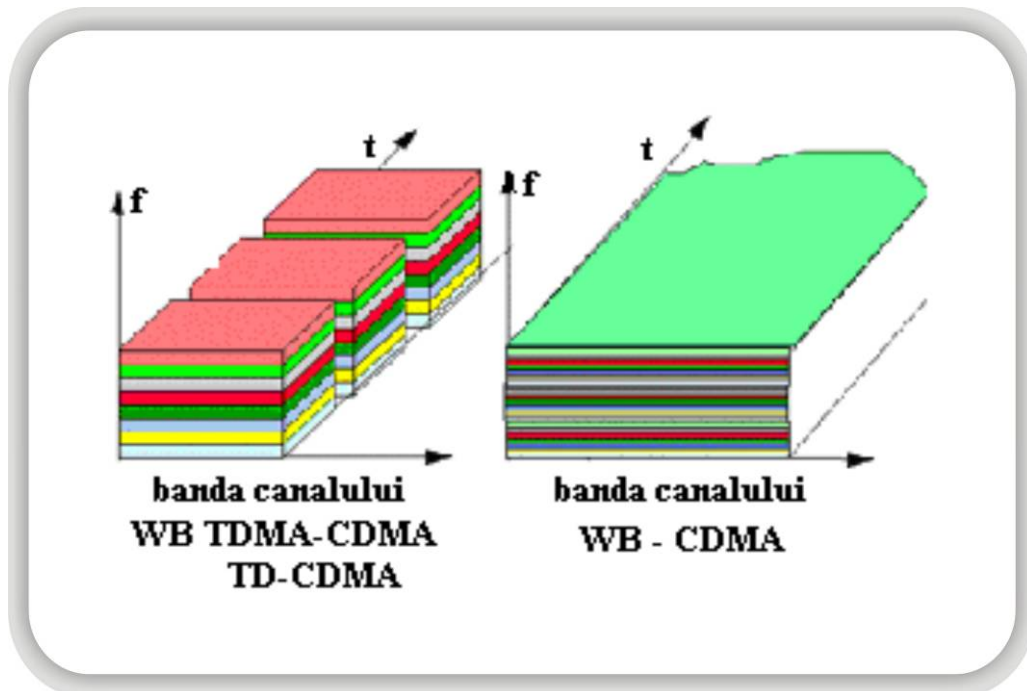


Figura 1.10. Structura de acces multiplu TDD-FDD pentru sistemele WCDMA

Ca urmare, în modul duplex temporal TDD se utilizează o divizare a intervalelor de timp, banda de frecvență având aceeași lățime standard de 5MHz. Astfel în acest caz utilizatorilor, li se alocă intervale temporale diferite; terminalele UE utilizate în sistemele 3G, respectiv LTE, trebuie să suporte atât FDD cât și TDD.

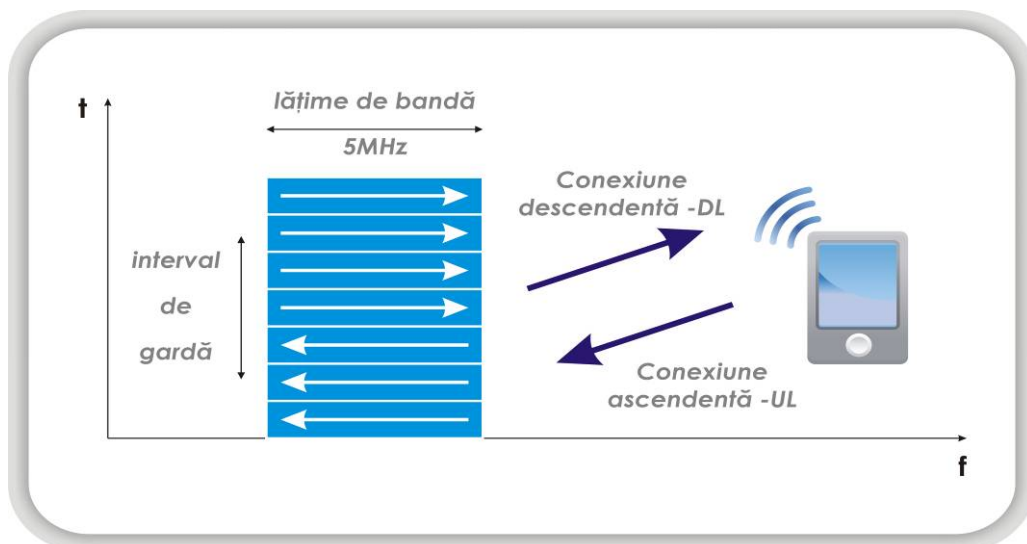


Figura 1.11. Principiul TDD (Time Division Duplex)

Un mesaj poate fi ascuns în zgomotul de fond împrăștiind banda sa de frecvențe, prin adăugarea unei secvențe pseudo-aleatoare, PN (PseudoNoise), numită și cod, în fiecare semnal transmis. Adăugarea poate fi făcută simplu, însumând modulo 2, secvența de date precodată cu secvența PN. Codul sau cheia este specific fiecărui utilizator și cunoscut de receptorul pereche, astfel încât receptorul să poată reconstitui informația originală. La emisie, respectiv recepție, sunt generatoare de cod identice și se adaugă sau se extrage în sau din modulator/demodulator secvențele PN. Evident că este necesară o bună sincronizare a emițătorului și receptorului [13].

După operația de alocare a canalului (precodarea) și împrăștiere, datele utilizatorilor sunt structurate conform reprezentării din figura 1.12. Numărul utilizatorilor, cărora le este permisă folosirea aceluiași suport fizic, este limitat de numărul de coduri și de valoarea raportului S/I (puterea semnalului/puterea semnalului de interferență) din celulă. De asemenea, există situații când unii utilizatori solicită stabilirea unor conexiuni de voce, video sau date, ceea ce înseamnă că va fi necesară o viteză de transfer mai mare decât în alte situații.

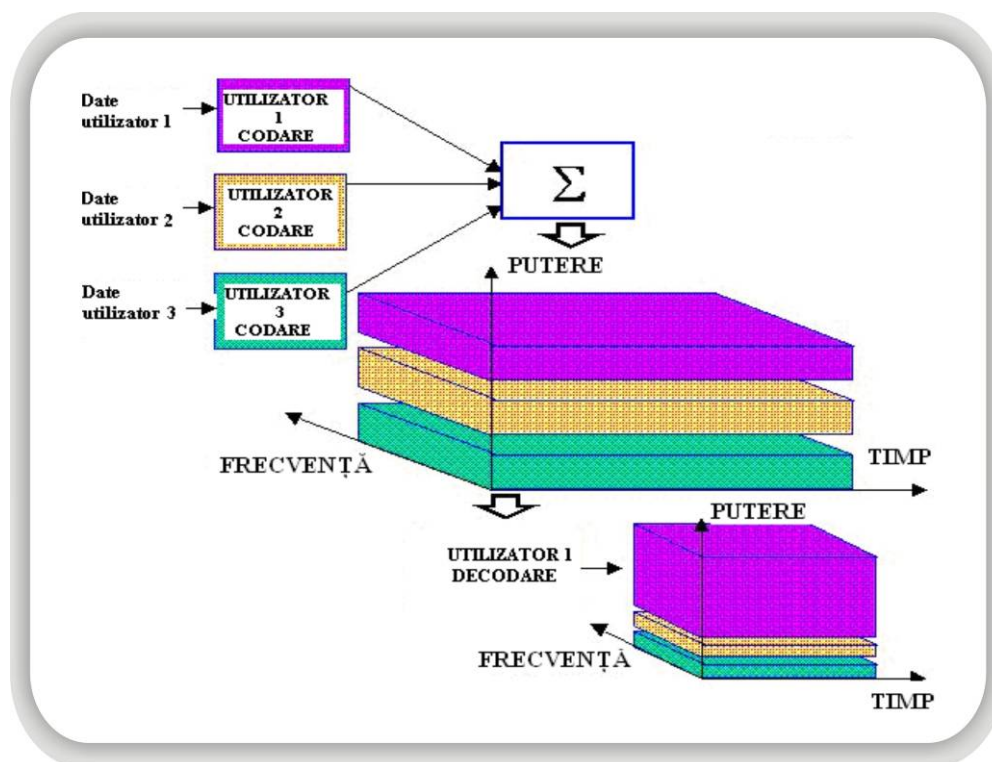


Figura 1.12. Structura datelor utilizatorilor distribuite TDD-FDD

1.4. Tehnologia WCDMA

Sunt analizate caracteristicile principale ale tehnologiei WCDMA prin prisma resurselor fizice folosite la transmisia prin interfața radio, purtătoarea WCDMA, structura cadrului WCDMA-FDD, precum și modul în care este împrăștiată informația utilizând conceptul de spectru împrăștiat cu secvențe directe DSSS [14]. Tehnologia WCDMA presupune transmisii de bandă largă cu o rată de chip de 3.84 Mcps și conduce la o lățime de bandă de aproximativ 5 MHz.

Pentru prevenirea interferențelor dintre canalele adiacente, distanța dintre două purtătoare consecutive poate fi de $f = (4,2 \div 5)$ MHz (cu un rastru de 200 kHz) în funcție de nivelul de protecție dorit. Între canalele aparținând unor operatori diferiți distanța dintre două purtătoare consecutive se lasă mai mare $f = (5 \div 5,4)$ MHz, pentru a preveni interferența inter-operator.

Să presupunem o stație de bază BS care are de transmis un bloc de informație către un terminal mobil; informația poate fi de tip voce, video, date sau semnalizări de volum fix. Dacă luăm în considerare blocul de date, putem reduce puterea necesară transmiterii informației prin împrăștierea ei de-a lungul benzii de frecvență; lățimea benzii de frecvență este standardizată la valori cuprinse între (4,4 – 5 MHz) [15], însă puterea și împrăștierea sunt variabile; factorul de împrăștiere ne spune în ce măsură se poate împrăști informația în banda de frecvență. Ideea de bază ar fi utilizarea unui factor de împrăștiere mare, a unei benzi de frecvență cât mai mare, cu o densitate spectrală de putere mică, dar cu aceeași energie/bit; astfel mai mulți utilizatori ar putea folosi aceeași bandă de frecvență.

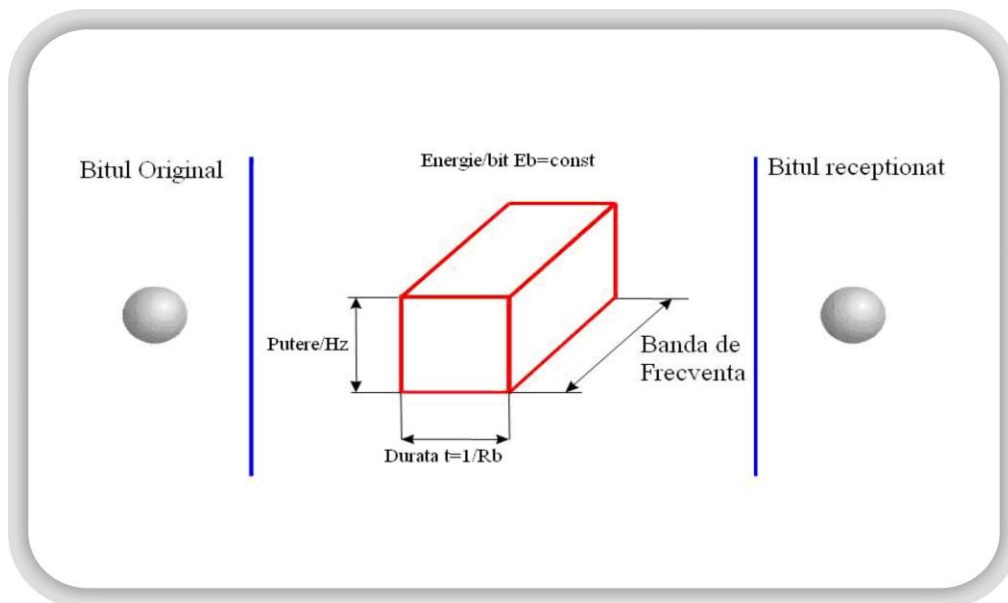


Figura 1.13. Conceptul WCDMA

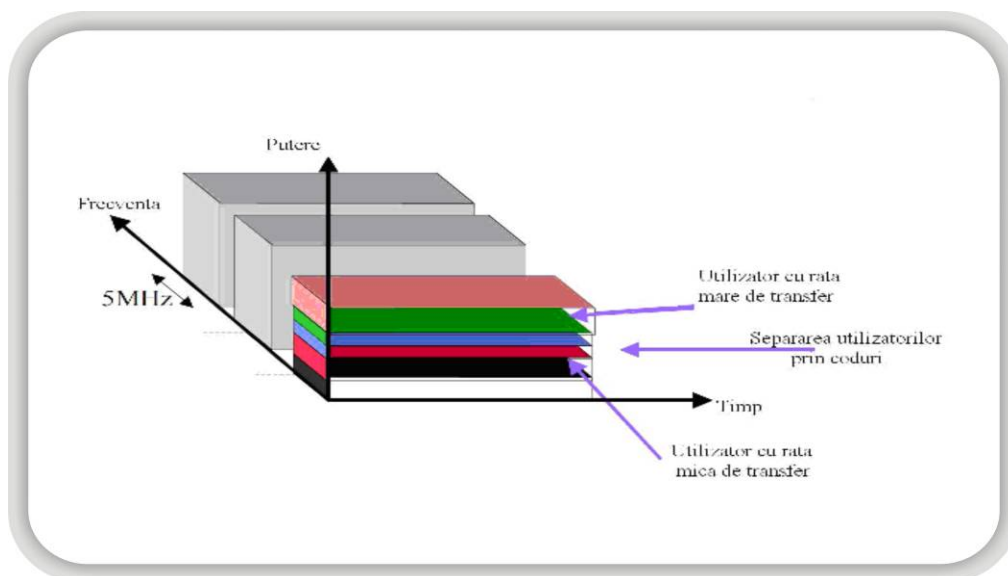


Figura 1.14. Alocarea lății de bandă în WCDMA în spațiul timp-frecvență-cod

Dintre principalele caracteristici ale tehnologiei, subliniez următoarele:

- WCDMA este o tehnologie utilizată în sisteme de comunicații radio de bandă largă cu acces multiplu, secvență directă și diviziune în cod (DS-CDMA); biții purtători de informație sunt împrăștiați într-o bandă largă de frecvență prin multiplicarea lor cu o secvență binară pseudo-aleatoare derivată din codurile de împrăștiere CDMA. Scopul este ca sistemul să suporte rate de bit foarte mari (peste 2 Mbps). Se preferă utilizarea unui factor de împrăștiere variabil și a conexiunilor multicod, aspecte reprezentate schematic în figura 1.14.

- Rata de chip de 3.84 Mcps, determină o lățime de bandă de 5MHz. Sistemele DS-CDMA cu o lățime de bandă de 1 MHz, cum ar fi IS-95, sunt de obicei menționate ca sisteme CDMA de bandă îngustă. Purtătoarea de bandă largă a WCDMA suportă rate de bit mari pentru transmisia informației utilizatorilor și de asemenea, are avantaje certe de performanță, precum creșterea diversității multicanale. Operatorul rețelei poate utiliza purtătoare multiple de 5 MHz pentru transmisie, cu scopul de a crește capacitatea sistemului, posibil chiar în forma unor rețele celulare suprapuse. Banda de transmisie este divizată în subbenzi de câte 200 kHz, gradat între 4,4 și 5 MHz, depinzând de interferențele dintre purtătoare.

- WCDMA suportă rate de bit mari și variabile la cererea utilizatorilor BoD (Bandwidth on Demand). Rata de bit a utilizatorului este menținută constantă pe durata fiecărei secvențe de 10 ms. Informația dintre utilizatori se poate schimba de la secvență la secvență - figura 1.14.

- Această alocare rapidă de resurse radio va fi controlată de rețea pentru a atinge nivelul optim al serviciilor de gestionare și transfer al pachetelor de date.

- WCDMA suportă două moduri de funcționare: duplex cu diviziune în frecvență (FDD) și duplex cu diviziune în timp (TDD). În modul de funcționare FDD sunt folosite frecvențe purtătoare de 5 MHz, separate

pentru conexiunea MS/BS (Mobile Station/Base Station) respectiv BS/MS. În modul TDD se utilizează doar o purtătoare de 5 MHz, împărțită temporal între conexiunile MS/BS și BS/MS.

În Tabelul 1.1 sunt prezentate caracteristici specifice tehnologiei WCDMA.

Modul de funcționare TDD se bazează foarte mult pe conceptele modului FDD și a fost adăugat cu scopul de a eficientiza sistemul de bază. El respectă condițiile privind alocarea de spectru prevăzută de ITU (International Telecommunication Union) pentru sistemele IMT-2000.

- WCDMA se bazează pe funcționarea asincronă a stațiilor de bază, așa că spre deosebire de sistemul sincron IS-95, nu este nevoie de un timp de referință la nivel global cum ar fi GPS. Implementarea stațiilor de bază în interiorul clădirilor și în structura micro-celulelor este mai simplă când nu necesită un semnal de referință (GPS);
- WCDMA folosește detecția coerentă pe conexiunea UE-BS și BS-UE bazată pe folosirea simbolurilor pilot sau pilot comun. În timp ce pe conexiunea BS-UE sistemul IS-95 folosea deja detecția coerentă, utilizarea ei pe conexiunea UE-BS constituie o noutate la sistemele publice CDMA și va determina o creștere globală a acoperirii și capacității sistemului pe această conexiune;
- Interfața radio WCDMA a fost concepută astfel încât pentru receptor operatorul de rețea să poată implementa opțional, concepte avansate ca detecția multi-utilizator și antenele adaptive inteligente, cu scopul de a crește capacitatea și acoperirea. În cele mai multe sisteme de a doua generație nu s-au prevăzut astfel de concepte de receptor și ca urmare acestea sunt fie neaplicabile, fie pot fi aplicabile numai sub constrângeri severe ale limitării creșterii în performanță;
- WCDMA este proiectat pentru a fi dezvoltat în combinație cu GSM. Ca urmare, procedurile de transfer între GSM și WCDMA sunt posibile astfel încât să permită folosirea acoperirii GSM la implementarea sistemului WCDMA.

Tabelul 1.1: Caracteristici specifice WCDMA

Metoda cu acces multiplu	DS-CDMA
Metoda duplexării	FDD/TDD Duplex cu diviziune în frecvență/timp
Sincronizarea stației de bază	Funcționarea asincronă
Rata de chip	3.84 Mcps
Lungimea cadrului	10 ms
Servicii multiplexate	Servicii cu performanțe diferite multiplexate pe o singură conexiune
Tehnologie multiratăă	Factorul de împrăștiere variabil și coduri multiple.
Detecția	Coerentă cu simboluri pilot sau pilot comun.
Detecție multi-utilizator, antene inteligente	Standard, opțional în etapa de implementare

1.4.1. Modulația

Prin modularea unei purtătoare de o anumită frecvență se transformă datele binare din semnale digitale în semnale analogice.

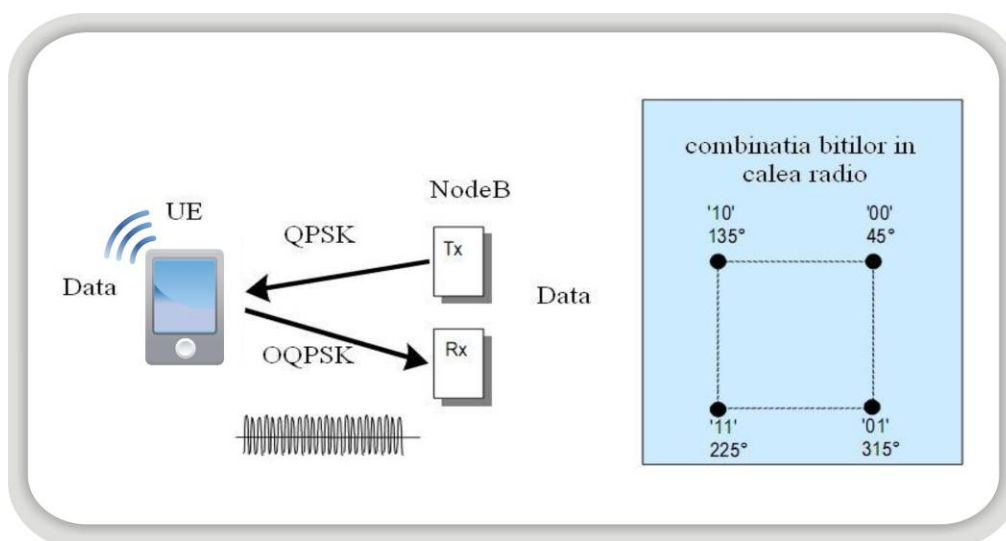


Figura 1.15. Modulația QPSK

Există mai multe tipuri de modulație utilizate în diversele sisteme mobile de comunicații pe parcursul evoluției lor. Fiecare tip de modulație are avantaje și dezavantaje: de exemplu, în sistemul GSM se utilizează GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying), pentru UMTS s-a ales QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), iar la EDGE (Enhance Data Rates Evolution) se folosește GMSK și 8-PSK (8 Phase Shift Keying) cu scopul îmbunătățirii performanțelor sistemului [16]. La modulația GMSK se asociază câte un bit fiecărei stări din cele 2 stări posibile ale semnalului purtător, la QPSK doi biți câte unei faze din cele 4 posibile, iar la 8-PSK 3 biți câte unei faze din cele 8 posibile. Purtătoarele modulate sunt transmise apoi prin interfața radio. Receptorul poate reface semnalul digital, prin monitorizarea schimbării stărilor semnalului recepționat.

Pe partea de DL se utilizează QPSK, iar pe conexiunea ascendentă UL se folosește OQPSK (Offset QPSK); în acest caz, schimbarea de la o fază la alta se face prin pași intermediari, ceea ce reduce solicitarea echipamentului de transmisie.

1.4.2. Particularități ale tehnologiei WCDMA

Sistemul UMTS în tehnologia WCDMA are prevăzute benzi de lățime de 5, 10 și 20 MHz. Deocamdată este utilizată doar lățimea de bandă de 5MHz, dar în viitor benzile de 10 sau 20 MHz ar putea oferi capacități de trafic mai mari. Banda efectivă pentru WCDMA este de 3.84 MHz – figura 1.16 – dar, cu spațiul de gardă necesar pentru a reduce interferența între purtătoare, ocupă 5MHz.

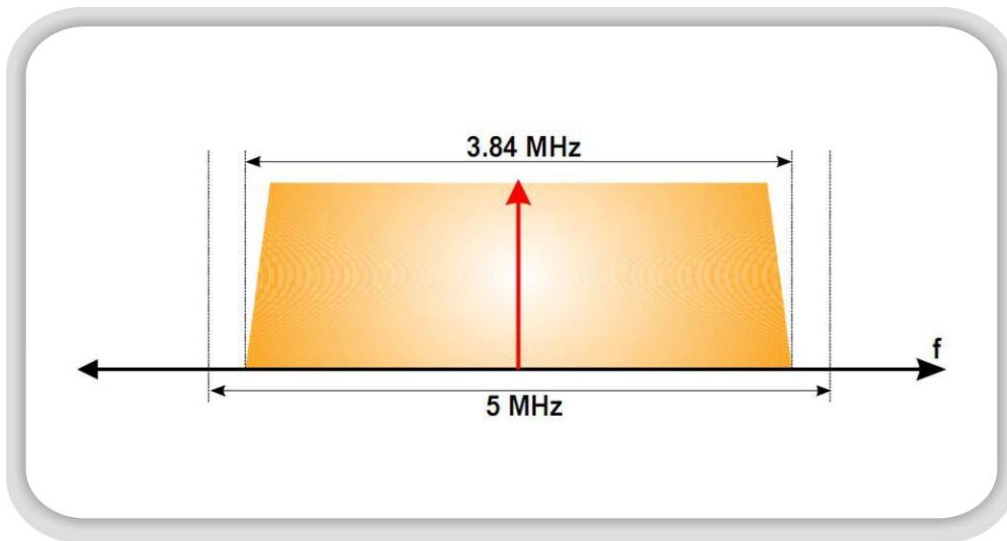


Figura 1.16. Purtătoarea WCDMA (pe una din cele două căi)

Un cadru DS-WCDMA-FDD de 10ms – figura 1.17 – este împărțit în 15 sloturi (intervale temporale) de câte 2/3ms, cu rol esențial la sincronizare[17].

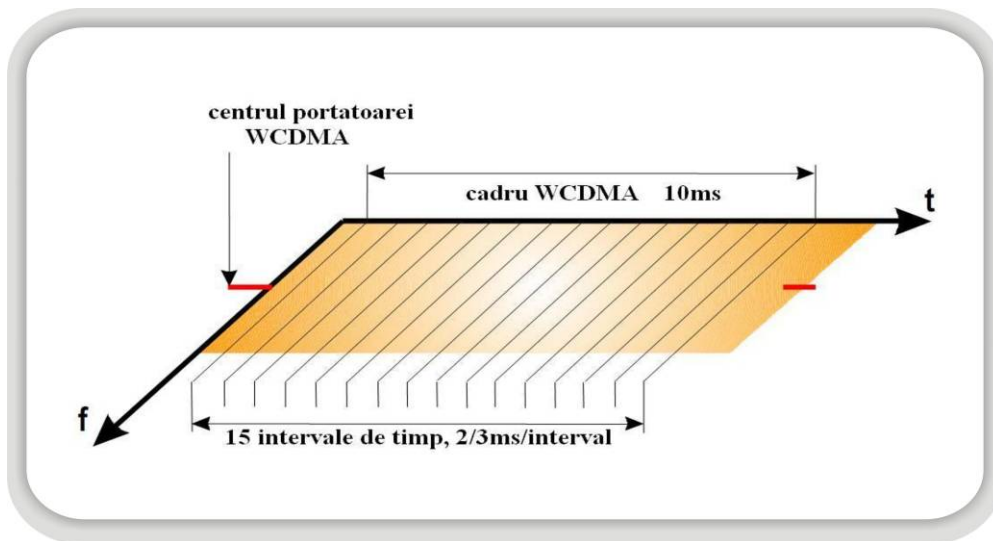


Figura 1.17. Cadru DS-WCDMA-FDD

Sucesiunea secvențelor se referă la modul în care informația poate fi transferată pe calea radio; la tehnologia CDMA împrăștierea într-o bandă de frecvență se poate face cu salturi de frecvență FH (Frequency Hopping) și cu secvențe directe DS (Direct Sequence).

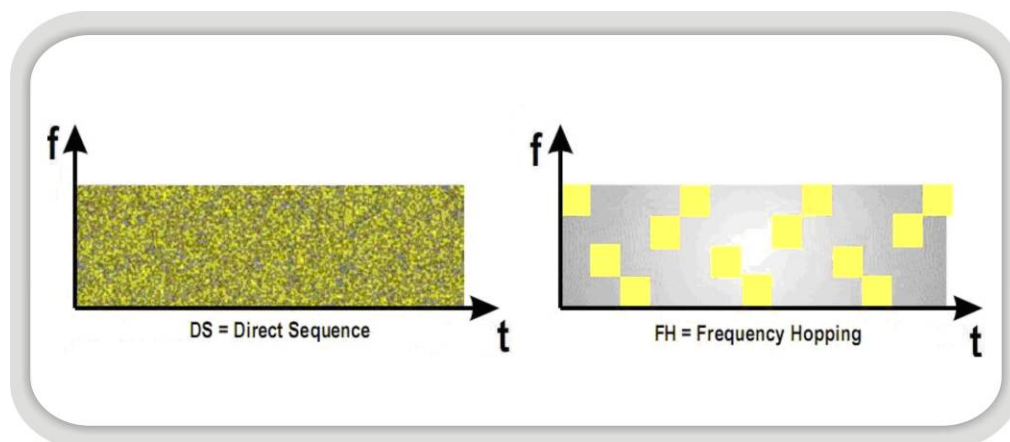


Figura 1.18. Secvențele de principiu CDMA

Un semnal cu spectru împrăștiat (de bandă largă) este generat prin remodularea semnalului de date (deja modulată într-una din formele clasice de modulație de bandă îngustă) cu un cod pseudo-aleator de bandă largă, cu perioada de simbol T_c (de chip) mult mai mică decât cea a datelor T_d , raportul fiind de ordinul sutelor sau miilor. Dacă a doua modulare este o modulație în fază atunci semnalul se numește semnal cu spectru împrăștiat de tip secvență directă (DS), semnalele fiind de tip BPSK, QPSK sau MSK. Dacă împrăștierea spectrală se realizează printr-o modulație în frecvență, prin schimbarea frecvenței purtătoare după o lege determinată de codul pseudo-aleator, atunci semnalul se numește semnal cu spectru împrăștiat de tip salt de frecvență (FH). Această tehnică se aplică în general semnalelor de tip FSK. Dacă se utilizează ambele tehnici, atunci semnalul rezultat se numește semnal cu spectru împrăștiat de tip hibrid (DS-FH).

În cazul DS, informația care trebuie transportată este împrăștiată în toată banda de frecvență ca o funcție de timp și seamănă cu un zgomot de fond, iar în cazul FH informația care se dorește a fi transportată se găsește în diferite locuri ale spectrului benzii de frecvență - figura 1.18. Pentru sistemul UMTS se folosește varianta DS [18], iar pentru sistemele LTE soluții combinate [19].

Tehnologiile diferite ale rețelelor 3G față de 2G, cu ar fi arhitectura rețelei și structura interfețe radio - aduc avantaje importante (vezi tabelul 1.2):

- rată de bit superioară
- un factor de reutilizare mai bun [20]
- nivel ridicat al eficienței spectrale pentru întregul sistem

Tabelul 1.2: Sisteme mobile de comunicații până în 2007

Serviciu	Standard	Anul lansării	Rata de bit în rețea R / purtătoare (Mbit/s)	Lățime de bandă B / purtătoare (MHz)	Eficiența spectrală a conexiunii R/B ((bit/s)/Hz)	Factor de reutilizare $1/K$	Eficiență spectrală sistem Aprox. $((R/B)/K)$ ((bit/s)/Hz/site)
1G celular	NMT 450 modem	1981	0.0012	0.025	0.45	$1/7$	0.064
1G celular	AMPS modem	1983	0.0003 ^[15]	0.030	0.001	$1/7$ ^[17]	0.0015
2G celular	GSM	1991	0.013×8 timeslots = 0.104	0.2	0.52	$(1/3)^{1/9}$ ^[17] ₁₉₉₉	0.17 ^[17] (1999)
2G celular	D-AMPS	1991	0.013×3 timeslots = 0.039	0.030	1.3	$(1/3)^{1/9}$ ^[17] ₁₉₉₉	0.45 ^[17] (1999)
2.75G celular	CDMA2000 1x voice	2000	Max. 0.0096/ conexiune tel \times 22 apeluri/ purtătoare	1.2288	0.0078/ mobil \times 22 apeluri/ purtătoare	1	0.172 (la capacitate maximă)
2.75G celular	GSM + EDGE	2003	Max.: 0.384; Tip.: 0.20;	0.2	Max.: 1.92; Tip.: 1.00;	$1/3$	0.33 ^[17]
2.75G celular	IS-136 HS + EDGE		Max.: 0.384; Tip.: 0.27;	0.2	Max.: 1.92; Tip.: 1.35;	$1/3$	0.45 ^[17]
3G celular	WCDMA FDD	2001	Max.: 0.384/ mobil;	5	Max.: 0.077 / mobil;	1	Max: 0.51
3G celular	CDMA2000 1x PD	2002	Max.: 0.153/ mobil;	1.2288	Max.: 0.125/ mobil;	1	Max: 0.1720
3G celular	CDMA2000 1xEV-DO Rev.A	2002	Max.: 3.072/ mobil;	1.2288	Max.: 2.5/ mobil;	1	Max:1.3
Fixed Wi-MAX	IEEE 802.16d	2004	96	20 (1.75, 3.5, 7, ...)	4.8	$1/4$	1.2
3.5G celular	HSDPA	2007	Max.: 42.2 / mobil	5	Max.: 8.44 / mobil	1	Max 8.44

2. ANALIZA INTERFEȚEI RADIO A SISTEMULUI UMTS

2.1. Prelucrarea datelor

În cele ce urmează am abordat câteva aspecte legate de modalitatea de transfer a datelor prin interfața radio, proces ce are loc în urma împrăștierii într-o bandă largă de frecvență a acestora și care presupune prelucrarea datelor cu ajutorul codurilor de canal și de împrăștiere; s-a insistat pe rolul acestor coduri în tehnologia WCDMA, respectiv rolul unor elemente - chip, simbol și factor de împrăștiere - în contextul acestei tehnologii.

Tabelul 2.1: Coduri de alocare a canalului și coduri de amestecare

Tip de cod	Coduri de alocare a canalului (Channelization codes)	Coduri de amestecare SC (Scrambling code)
Utilizare	DL: Separă canalele fizice între utilizatori și canalele comune (de control), definesc rata de bit a canalului. UL: Separă canalele fizice ale utilizatorului, definesc rata de bit a canalului.	DL: Asigură separarea celulelor sau sectoarelor de celulă (la sistemele sectorizate) pe aceeași frecvență purtătoare UL: Asigură separarea utilizatorilor
Lungime	Variabilă (depinde de ceea ce se alocă utilizatorului).	Fixă
Număr de coduri	Depinde de factorul de împrăștiere SF (Spreading factor)	Uplink: câteva milioane Downlink: 512

Codul este o secvență specifică de biți aplicată peste secvențele de date pentru a asigura secretizarea informației. Atât în procesul de transmisie cât și în cel de recepție, UE și echipamentele radio ale rețelei din interfața radio a sistemului UMTS trebuie să folosească aceeași secvență de cod de împrăștiere specifică celulei, respectiv sectorului din celulă. Pe interfața radio a sistemului UMTS în tehnologia WCDMA se utilizează la procesul de împrăștiere două tipuri de codări cu scopuri diferite: codarea de alocare a canalului și codarea de amestecare. În tabelul 2.1 este exemplificat rolul lor.

Fiecare celulă a rețelei este separată de un cod, numit cod de amestecare SC (Scrambling Code). Acest model este similar cu metoda divizării benzii de frecvență FDMA [21] și mai apoi alocării unui set de frecvențe fiecărei BS corespunzătoare unei celule, tehnică utilizată în sistemele de generația a doua 2G.

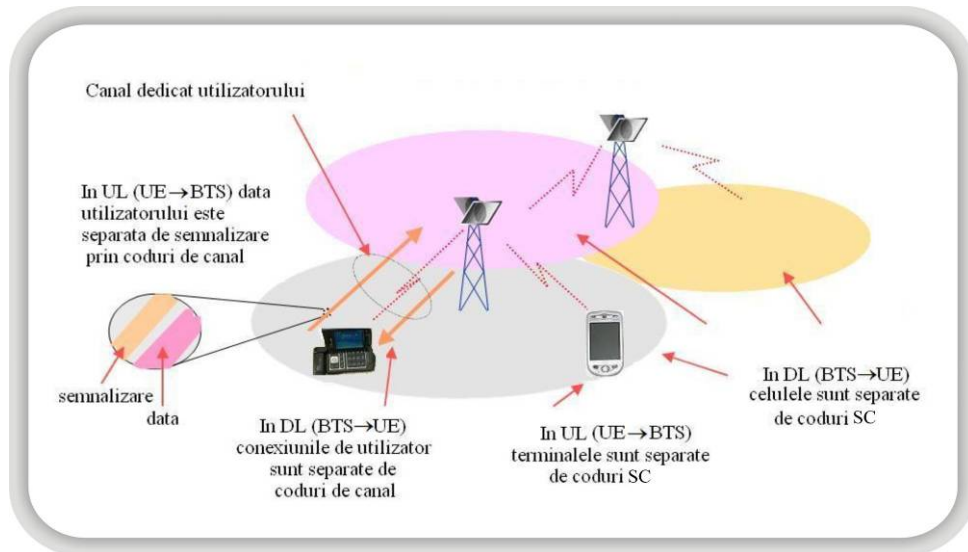


Figura 2.1. Utilizarea diferențiată a codurilor de alocare a canalului și a celor de amestecare SC

Fiecărei celule îi sunt alocate canale fizice, în care la transmisie se realizează o procedură de codare (alocare a canalului), utilizând un al doilea tip de cod. Pe baza codului de alocare a canalului terminalele pot face diferența între diferitele canale pe care le recepționează, astfel putând avea loc mai multe apeluri în același timp, în aceeași celulă pe aceeași purtătoare din banda de frecvență [22]. În acest caz factorul de reutilizare este egal cu 1 - figura.2.2. Conexiunile individuale sunt separate la receptorul (UE) de codul folosit. Canalul fizic în sistemul UMTS la funcționarea în modul WCDMA-FDD este unic identificat prin frecvență și cod.



Figura 2.2. Zona de reutilizare în tehnologie WCDMA

Analizând utilizarea codurilor pe conexiunile DL și UL se pot face următoarele constatări:

- Pe conexiunea DL este necesar să se poată face diferența între celule diferite, în acest sens fiind utilizat codul de amestecare SC. Deoarece e necesar să se facă și diferența între utilizatorii diferiți ai aceleiași celule se folosește codarea de alocare a canalelor. Astfel se utilizează un singur canal fizic dedicat pe conexiunea DL în care atât datele aplicației, cât și informația de semnalizare (cum ar fi comanda controlului puterii) sunt inserate în acest canal;
- Pe conexiunea UL nu este necesar să se realizeze diferențieri între celule. Astfel, codul de amestecare SC va fi folosit pentru a face separarea utilizatorilor (terminalelor).

2.2. Chip și simbol

Două concepte importante ale sistemului UMTS bazat pe tehnologia WCDMA, sunt: chip și simbol, concepte specifice ale căror principii de bază sunt descrise în [23], [24], [25] și [26]; sensul lor ajută la analiza funcțională a întregii structuri a interfeței radio.

Un simbol este unitatea informației transmise prin interfața radio. Pe conexiunea DL fiecare simbol reprezintă 2 biți. Cu alte cuvinte, un simbol este reprezentat de o pereche (x_1, y_1) , x_1 și y_1 reprezentând fiecare câte un bit, următorul simbol (x_2, y_2) va livra două valori noi de bit. Și pe UL se transmit tot simboluri care de asemenea se pot reprezenta în perechi. Totuși, în primul caz pe conexiunea DL putem avea o rată a datelor diferită față de al doilea caz, conexiunea UL. Rata simbolurilor (exprimată în kilo simboluri pe secundă ks/s) indică numărul simbolurilor transferate pe interfața radio.

Un chip este definit ca elementul de referință al semnalului de cod folosit pentru multiplicarea semnalului. Rata de bit a semnalului de cod, la care ne vom referi ca rata chip-ului, în tehnologia WCDMA are valoare fixă de 3.84 milioane de chip-uri pe secundă (3.84Mcps/s) [32]. La această rată de chip, durata în timp a unui chip fiind de $1/3840000$ s. În figura 2.3 sunt exemplificate elementele de simbol și respectiv chip.

Conversia se face multiplicând simbolurile cu chip-urile codului. În acest exemplu un bit din banda de bază este multiplicat cu 8 chip-uri. Acest cod are rata de 3.84Mcps, deci un factor de împrăștiere egal cu 8. Cunoscând această valoare rata simbolurilor este:

$$3.84\text{Mcps}/8 = 480\text{ks/s}$$

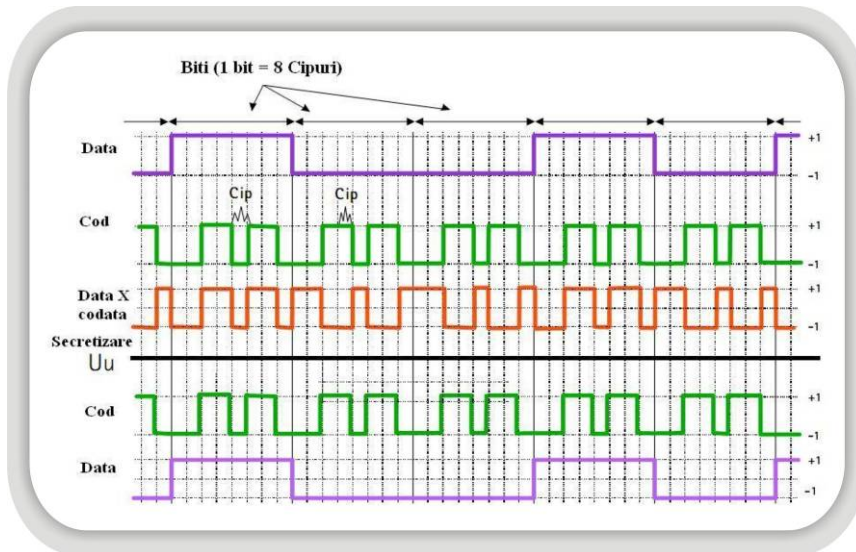


Figura 2.3. Chip și simbol

2.3. Împrăștierea spectrală

Modalitatea de împrăștiere spectrală (spreading) [27] utilizată pe interfața radio UTRAN în modul WCDMA (FDD), este prezentată în figura.2.4.

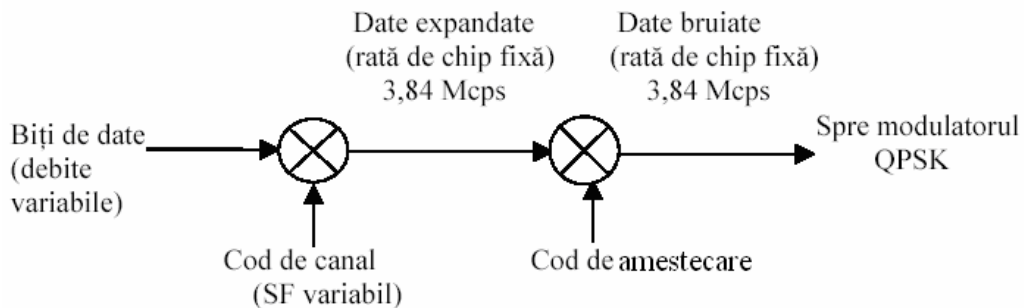


Figura 2.4. Modul de obținere a împrăștierii spectrale în banda de bază

Împrăștierea spectrală se realizează în două faze:

- În prima fază, codul de canal transformă fiecare simbol (bit) de date într-un număr de chip-uri, crescând astfel banda semnalului. Semnalul de bandă îngustă este transpus într-unul de bandă largă, rezultând o rată de chip egală cu 3,84 Mcps. Deoarece sistemul permite transmisii de date cu debite diferite, factorul de împrăștiere spectrală SF (Spread Factor) este în directă legătură cu codul de canal;
- În a doua fază, are loc o combinare de tip chip cu chip între semnalul rezultat din prima fază și o secvență de cod de amestecare SC. Această operație de codare suplimentară nu afectează nici banda semnalului, nici rata de chip. Codul de amestecare SC este specific unei anumite celule

(sector de celulă) pe conexiunea descendentă DL și respectiv unui anumit utilizator (terminal) pe conexiunea ascendentă UL. Principiul de utilizare diferențiată a codurilor la stația de bază și la terminalul mobil este reprezentată în figura.2.5 [27].

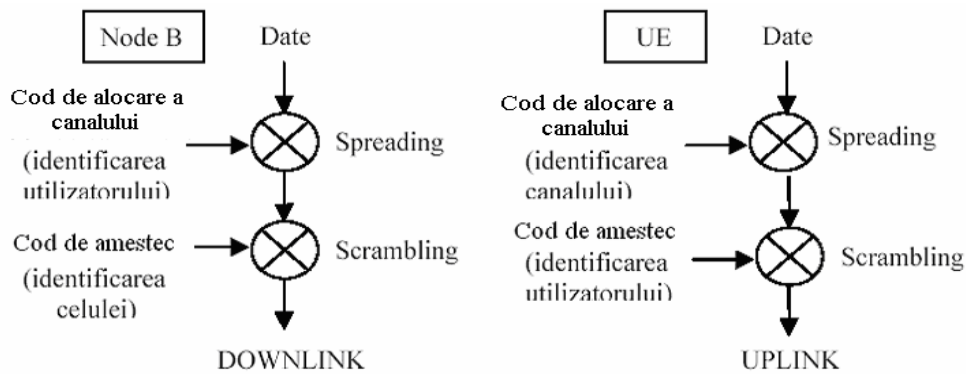


Figura 2.5. Utilizarea codurilor de canal și amestecare

2.4. Factorul de împrăștiere SF (Spreading Factor)

Factorul de împrăștiere descrie numărul de chip-uri, utilizat în interfața radio pentru un simbol:

$$SF = \frac{Ratadechip}{Ratadatelor}$$

fiind de obicei o putere a lui 2:

$$SF = 2^k, \text{ unde } k = 0, 1, 2, \dots, 8$$

Factorul de împrăștiere exprimat în dB este câștigul de procesare G_p (Gain processing); de exemplu un factor de împrăștiere de 128 indică un câștig de procesare de 21 dB. Câștigul procesării poate fi exprimat în funcție de lățimea de bandă utilizată:

$$G_p = \frac{B_{U_u}}{B_{Bearer}} = \text{Factorul de împrăștiere exprimat în dB} \quad (2.1)$$

unde - B_{U_u} reprezintă lățimea de bandă din interfața U_u ,

- B_{Bearer} lățimea de bandă, egală cu rata datelor din banda de bază

Factorul de împrăștiere la o modulație de tip QPSK este:

$$SF = \frac{30kb / scanal}{15ks / s} = \frac{3840k}{15k} = 256 \quad (2.2)$$

El trebuie ales în mod adecvat pentru ca în final să rezulte aceeași rată de chip indiferent de rata de bit de la intrare. În timpul transmisiei, rata de bit și implicit factorul de împrăștiere aferent se pot modifica de la un cadru temporal la altul, în funcție de necesități. O vedere de ansamblu asupra întregului proces de împrăștiere spectrală este exemplificat în figura 2.6. [32].

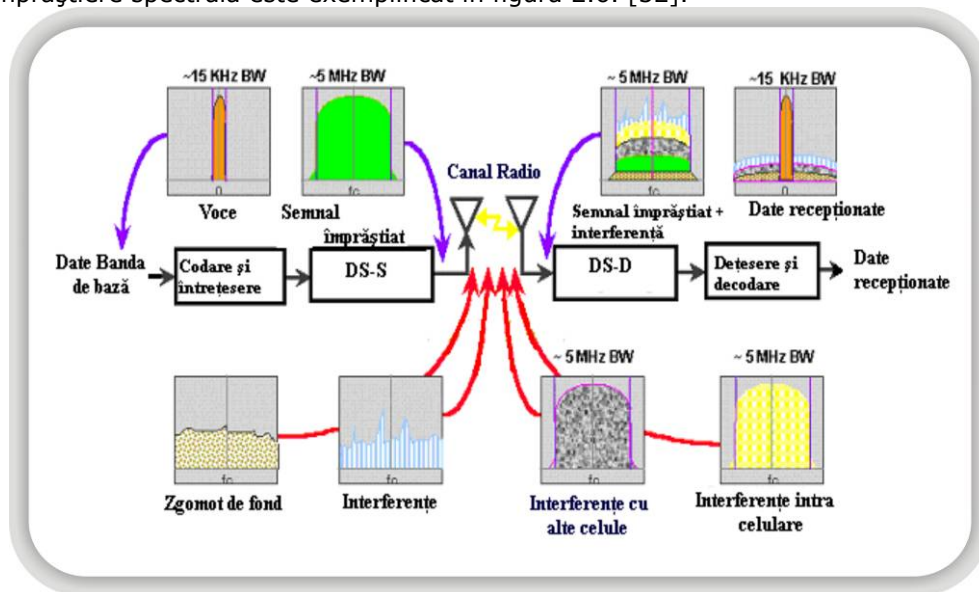


Figura 2.6. Procesul de împrăștiere spectrală

După acest proces respectând expresiile factorului de împrăștiere (relațiile 2.1, 2.2) spectrul semnalului util după împrăștiere va avea forma celui reprezentat în figura de mai jos.

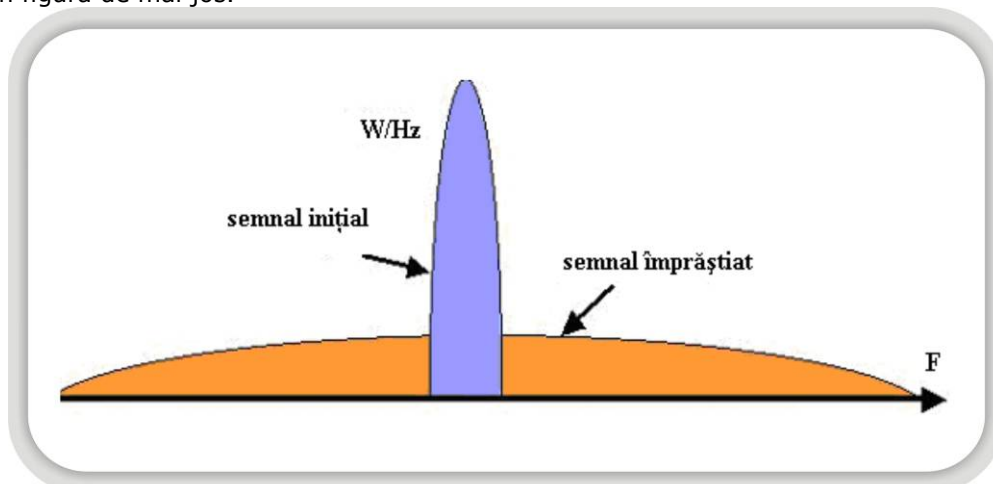
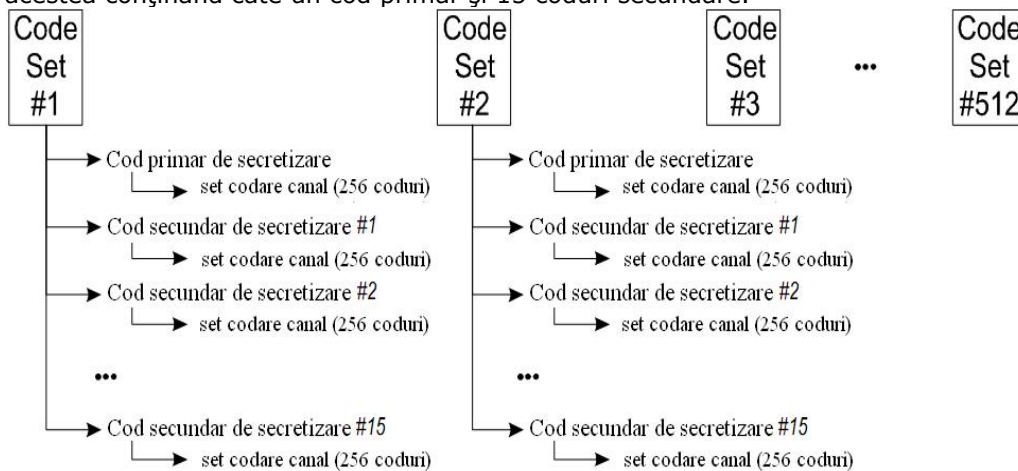


Figura 2.7. Spectrul semnalului împrăștiat

2.5. Clasificarea și rolul codurilor de alocare a canalului și de amestecare

Tehnologia WCDMA utilizează 512 coduri primare. S-ar putea utiliza mai multe, însă conform specificațiilor standardului [28], sunt limitate la 512 pentru a limita gradul de scanare a terminalelor în lucru. Fiecare cod de amestecare (secretizare) utilizat în canalul radio este divizat în 512 seturi de cod, fiecare dintre acestea conținând câte un cod primar și 15 coduri secundare.



512 seturi de cod x 16 coduri de secretizare = 8192 coduri (de la 0 la 8191)

Figura 2.8. Arhitectura codului de amestecare (secretizare) SC

Pe baza metodei selectării codului avem în total 8191 coduri de secretizare pe DL și câteva milioane pe UL. Fiecare cod primar sau secundar are asociat câte un set de coduri de canal. Utilizând cel mai mare factor de împrăștiere se poate ajunge la un număr de 256 de canale.

2.5.1 Codurile de alocare a canalului

Codurile de alocare a canalului sunt coduri ortogonale cu factor de împrăștiere SF variabil, OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor) [29], care prin ortogonalitate permit o separare între diferite canale fizice. Pe conexiunea ascendentă UL ele asigură separarea între diferitele canale fizice, atât de date cât și de control, pentru același utilizator, iar pe conexiunea descendentă DL ele fac posibilă separarea canalelor fizice destinate conexiunii utilizatorilor din interiorul aceleiași celule.

Codul are lungimea unui simbol. Spre exemplu, dacă $SF = 4$, atunci codul de canal conține 4 chip-uri. Codurile sunt ortogonale, ceea ce înseamnă că din lista celor 256 de coduri, ele sunt selectate astfel încât să asigure interferențe minime, pentru a asigura o calitate bună a transmisiunii [30]. În același timp, codul folosit pentru utilizatori și separarea celulelor trebuie să prezinte proprietăți bune de autocorelație.

Pe interfața radio UTRAN se folosesc aceleași tipuri de coduri de canal sau împrăștiere spectrală, SC (Spreading Codes) atât pe UL, cât și pe DL. Codurile OVFSF au lungimea de $(4 \div 256)$ chip-uri pe UL și de $(4 \div 512)$ chip-uri pe DL, în figura 2.9 sunt prezentate exemple de arbori de codare [32].

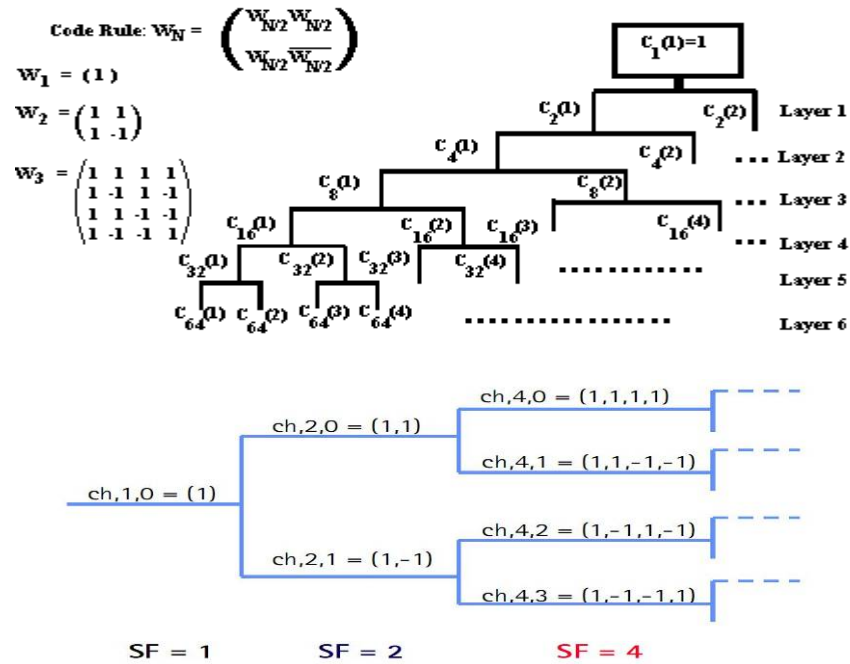


Figura 2.9. Exemple de arbori de codare de canal pentru o anumită conexiune

Transmisia datelor pe conexiunea ascendentă (UL) se face cu ajutorul a două purtătoare în cuadratură. Pentru ramura I se transmite un canal fizic dedicat datelor, DPDCH (Dedicated Physical Data Channel), iar pe ramura Q un canal de control, DPCCCH (Dedicated Physical Control Channel). Pe ambele ramuri fiind folosită modulația BPSK.

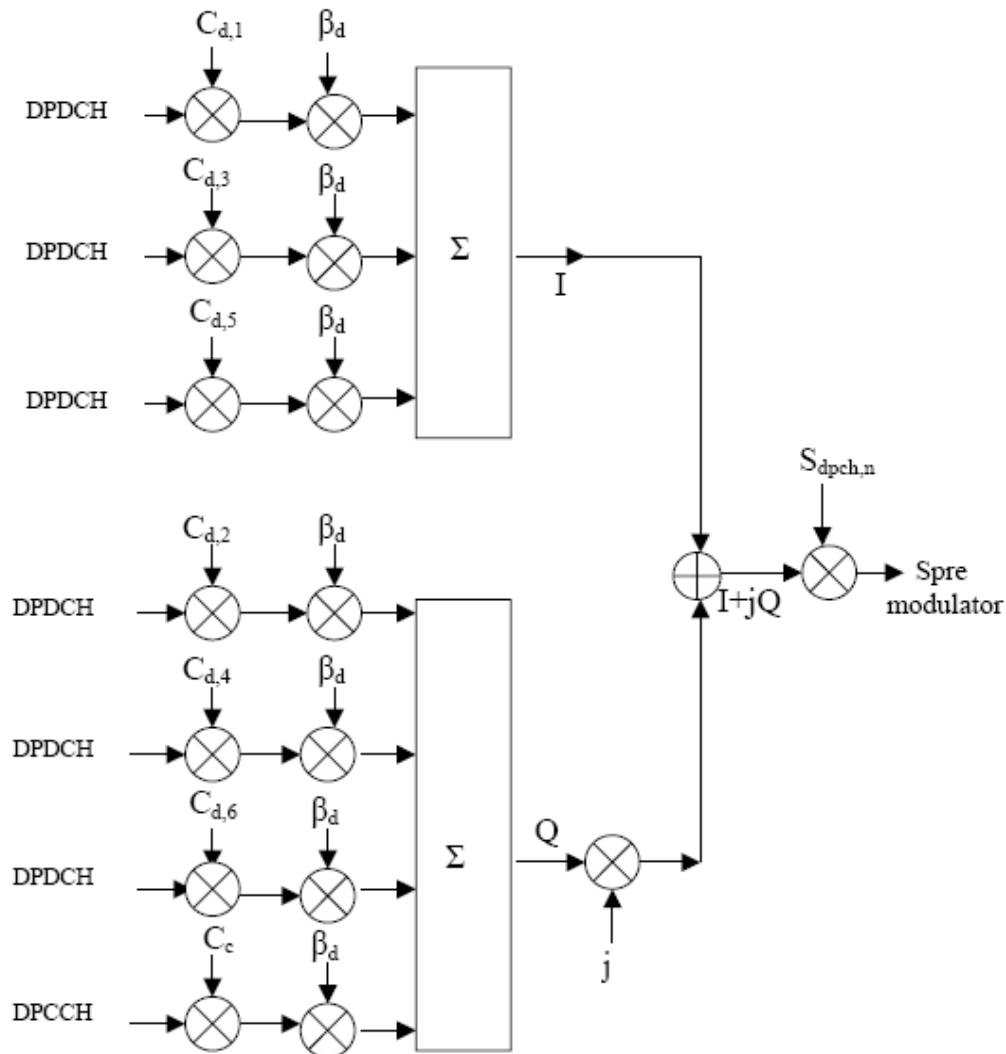


Figura 2.10. Utilizarea codurilor de canal pe UL

Se folosesc coduri de canal $C_{d,i}$ diferite pentru fiecare canal de date în parte, respectiv codul C_c pentru canalul de control. Fiecare cod are factorul de împrăștiere SF corelat cu rata de transmisie de pe canalul respectiv. Semnalele rezultate sunt ponderate cu factori de câștig β_d (reprezențați pe trei biți), care sunt identici pentru canalele DPDCH, dar diferă de cel folosit pentru canalul DPCCH.

După transformarea semnalului real în semnal complex, are loc multiplicarea cu o secvență de cod $S_{dpch,n}$ de valoare complexă pentru operația de amestecare.

Pe conexiunea ascendentă UL [27] figura 2.10, se pot transmite de la unul până la șase canale de date DPDCH, împreună cu un canal de control DPCCH. Dacă sunt mai multe canale de date DPDCH ele se distribuie alternativ pe căile I și Q.

Pe conexiunea descendentă DL, unde se folosește modulația QPSK, procedura de împrăștiere spectrală presupune inițial o conversie serie-paralel a datelor de intrare. Aceste date sunt destinate unui utilizator și conțin un canal DPDCH și un canal DPCCH multiplexate. Fiecare pereche de simboluri consecutive este distribuită pe câte o cale I (simbolurile pare) și respectiv Q (simbolurile impare) prin conversie serie-paralel.

Se poate observa că, spre deosebire de cazul anterior, pe conexiunea DL debitele pe căile I și Q sunt egale. Cele două căi sunt apoi multiplicare cu același cod de canal $C_{ch,SF,m}$ și convertite într-o secvență de chip-uri complexă. Datele pentru alți utilizatori sunt împrăștiate spectral cu alte coduri. Urmează operația de codare cu secvența de cod de amestecare, prin multiplicare cu $S_{dl,n}$, care este o secvență de cod complexă, specifică unei anumite celule [27], sau unui anumit sector de celulă - figura 2.11.

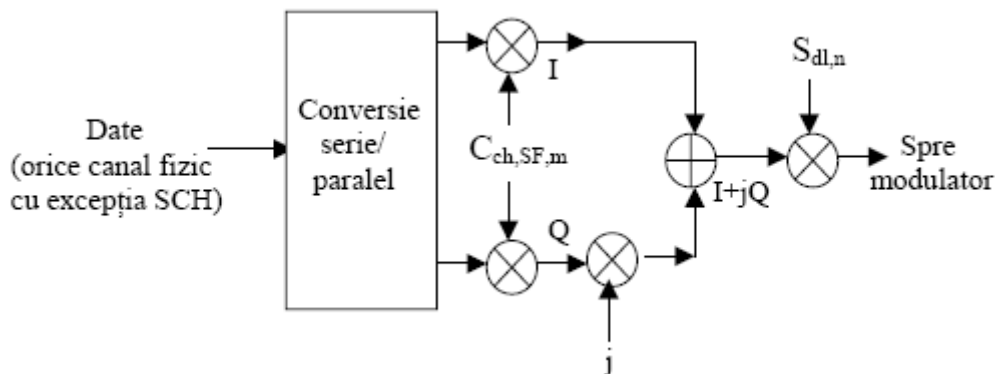


Figura 2.11. Utilizarea codurilor de canal pe DL

2.5.2. Codurile de amestecare

Codurile de amestecare SC (scrambling codes) sau de secretizare, folosite pe interfața radio UTRAN, diferă în funcție de conexiunea pe care sunt utilizate, ascendentă UL sau pe cea descendentă DL. Ele sunt obținute în general, prin trunchierea unor secvențe de cod mai lungi.

Pentru conexiunea ascendentă UL se folosesc două tipuri de coduri de amestecare:

- coduri lungi (în lungime de 38400 chips). Există 2^{24} coduri distincte, care se obțin prin trunchierea unor secvențe Gold, având lungimea inițială de 2^{41} ;
- coduri scurte (în lungime de 256 chips). Există 2^{24} coduri distincte, obținute prin trunchierea unor secvențe $S(2)$ extinse.

Pentru conexiunea descendentă DL se folosesc numai coduri lungi, obținute prin trunchierea unor secvențe Gold, având lungimea inițială de 2^{18} chips.

Teoretic, sunt 262141 (adica $2^{18} - 1$) coduri posibile, dar numai 8192 de coduri sunt utilizate. Aceste secvențe sunt împărțite în 512 seturi. Un set este compus dintr-un cod primar și 15 coduri secundare, ca în figura 2.12.

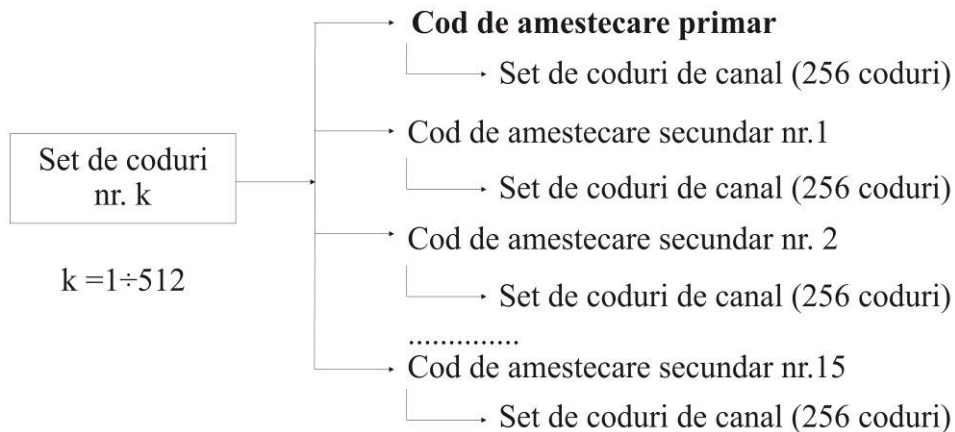


Figura 2.12. Organizarea codurilor de amestecare pe DL

Cele 512 seturi sunt divizate în 64 de grupe a câte 8 coduri primare fiecare. Astfel, se simplifică alocarea codurilor pentru DL, iar un terminal mobil trebuie să recunoască un cod din numai 512 coduri primare posibile. Recunoașterea codului de amestec al unei celule se realizează de fapt în două etape. În prima etapă se identifică una din cele 64 de grupe, iar în cea de-a doua etapă se identifică varianta de cod din cele 8 coduri primare. Câteva tipuri de coduri utilizate pentru separarea FDD sunt exemplificate în tabelul 2.2.

Tabelul 2.2: Tipuri de coduri

	Coduri de sincronizare	Coduri de canal	Coduri de amestecare pe UL	Coduri de amestecare pe DL
Tip	Codurile Gold Coduri de sincronizare primare (PSC) și secundare (SSC)	Coduri ortogonale cu factor variabil de împrăștiere (OVSF) Coduri Walsh	Coduri Gold cu valori complexe cu segmente lungi sau scurte S(2) Coduri PN (Pseudo Noise)	Coduri Gold cu valori complexe cu segmente lungi. Coduri PN (Pseudo Noise)
Lungime	256 chip	4-512 chip	38400chip/256 chip	38400 chip

Durață	66.67 μ s	(1.04-133.34) μ s	10 ms / 66.67 μ s	10 ms
Număr de coduri	1 cod primar /16 coduri secundare	Factor de împrăștiere UL (4 - 256) DL (4 -512)	16,777,216	512 primare / 15 secundare pentru fiecare cod primar
Împrăștiere	Nu modifică banda	Crește lățimea de bandă	Nu modifică banda	Nu modifică banda
Utilizare	Permit terminalului localizare și sincronizare cu canalele de control principale ale celulei.	UL:separare date fizice/control pt același terminal DL:separă conexiunile diferitelor terminale din celulă	Separarea terminalelor	Separarea sectoarelor de celulă

Astfel, se poate afirma că la funcționarea sistemului UMTS în tehnologia WCDMA, pentru fiecare celulă (sector de celulă) se utilizează pe DL un cod unic local care are rol de amestecare și de identificator al celulei, Cell ID (Cell Identifier) [31]. Acest cod de amestecare asigură de asemenea un set de coduri de canal ortogonale între ele, folosite în scopul separării canalelor.

2.6. Codarea canalului, selecția ratei, utilizarea canalului logic și a canalului fizic de transport

Aplicația accesată din rețea va genera o secvență de biți ce trebuie transmisă, necesarul resurselor depinzând în principal de tipul aplicației. Un mare beneficiu al interfeței radio a acestui sistem constă în faptul că resursele radio se pot aloca în funcție de necesități. Pentru a proteja față de perturbații informația transmisă prin interfața radio, unul din pașii care trebuie realizați constă în codarea canalului, proces ce asigură suplimentar semnalului transmis prin interfața radio, o rezistență crescută față de interferențe. Aceste fenomene nedorite ar determina nivele reduse ale semnalului la recepție, valori mari ale raportului semnal/interferență, SIR (Signal to Interference Ratio), și implicit necesitatea unor corecții suplimentare din punct de vedere al controlului puterii la nivelul RNC [32].

Aplicația sau semnalizările trebuie pregătite pentru a putea fi transmise prin interfața radio; primul pas este asocierea unui canal logic, apoi codarea canalului, alegerea ratei de bit potrivite, iar în final inserarea în canalul fizic.

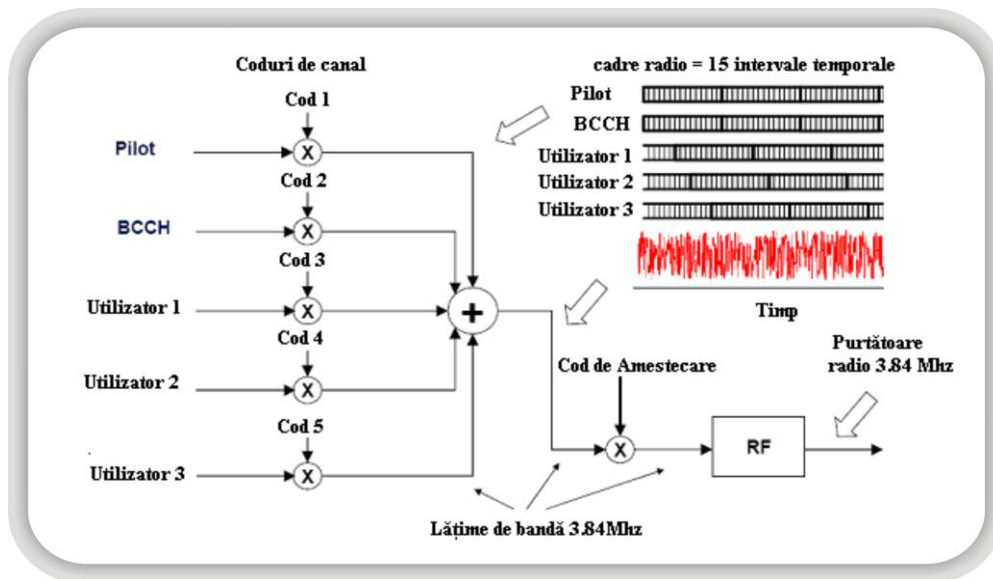


Figura 2.13. Împrăștierea și multiplexarea în WCDMA pe conexiunea DL

Acest aspect este posibil prin:

- utilizarea de coduri ortogonale cu factor de împrăștiere variabil, OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor), atât pe UL cât și pe DL coduri Walsh-Hadamard cu bune proprietăți din punct de vedere al corelației dintre ele. În mediul real cu căi de propagare multiple [33], în cazul alterării acestei proprietăți, rezultă interferențe între utilizatorii din aceeași celulă sau sector;
- folosirea codurilor ortogonale la separarea canalelor, doar acolo unde sincronizarea între diferitele canale poate fi asigurată (canalele DL ale unei singure celule sau canalele UL ale unui singur utilizator);
- utilizarea codurilor de amestecare care asigură separarea semnalelor pe conexiunea DL între celule respectiv pe conexiunea UL între utilizatori.

După procesul de codare, rata datelor din banda de bază este selectată ca rată a purtătoarei de informație folosită în interfața radio. Această rată este dată de codurile de canal, respectiv de factorul de împrăștiere.

În figura 2.14 sunt reprezentate diferitele rate de transfer pentru transmiterea datelor de la și către utilizator, acestea fiind cuprinse în intervalul (30 – 960) kb/s.

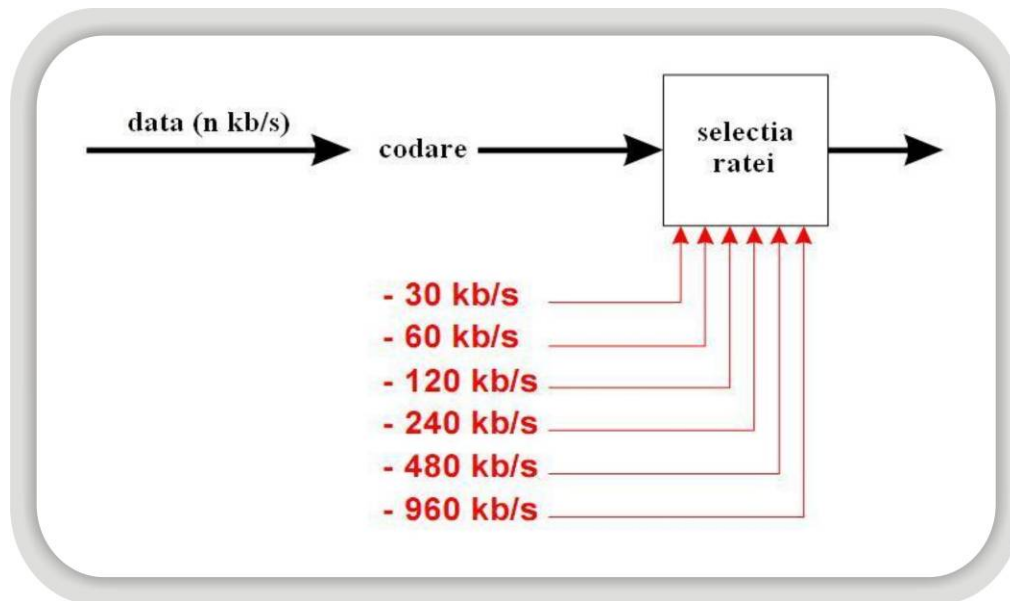


Figura 2.14. Adaptarea ratei de transfer pentru interfața radio

Aceste rate de transfer diferă de ratele de transfer ale aplicației utilizatorului. Astfel, dacă presupunem că o convorbire are rata de transfer 12.2 kb/s, după codarea de canal avem o rată de transfer de aproximativ 24 kb/s. Trebuie aleasă una dintre ratele de transfer ale sistemului, 30kb/s în acest caz. Dacă viteza de transfer e prea mare este necesară introducerea unor biți redundanți în procesul de codare a canalului, pentru diminuarea vitezei de transfer la nivelul solicitat.

2.7. Recepția semnalului la nivelul UE

Mediul prin care se deplasează mobilul este alcătuit din forme artificiale sau naturale variate: clădiri, copaci, dealuri, munți, ape. Acestea influențează și determină caracteristicile canalului de propagare radio, momentan sau pe o perioadă mai lungă de timp [34]. Semnalul provenit de la NodB nu ajunge întotdeauna la receptorul UE pe calea de propagare directă, LOS (Line Of Sight), datorită obstacolelor pe care le întâlnește în cale odată cu mișcarea UE; unele semnale ajung mai repede, altele mai târziu, situație specifică canalului radio cu căi de propagare multiple. În cazul de față ne referim la două aspecte rezultate în urma procesului de propagare multicale:

energia semnalului (spre exemplu formele de undă ale unui singur chip CDMA) ajunge la receptor la momente diferite de timp. Energia sosită - figura 2.15 - este distribuită într-un profil de întârziere multicale $S(\tau)$ [34].

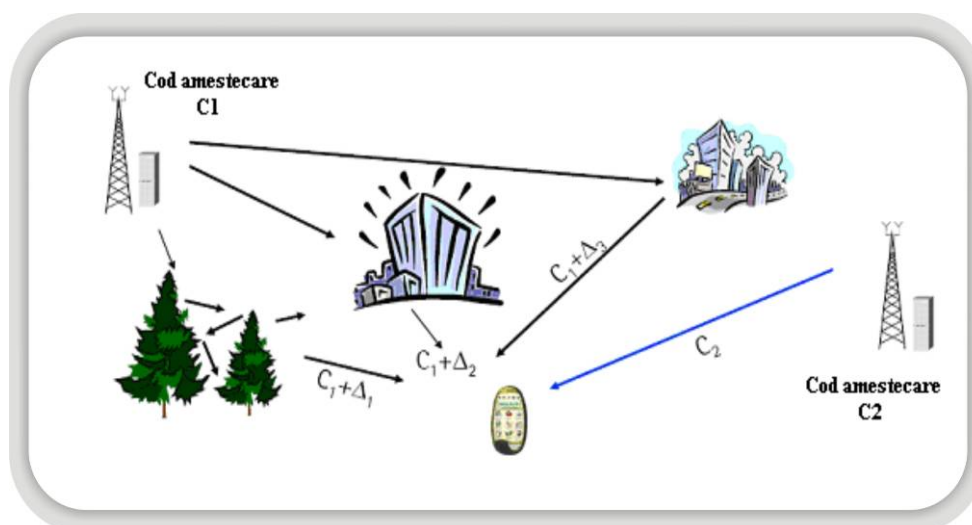


Figura 2.15. Nivel de semnal radio la receptorul UE determinat de componentele de semnal propagate pe căi multiple

Aceste întârzieri sunt de $(1 \div 2)$ μs în zonele urbane și suburbane, dar în alte cazuri se ajunge și la 20 μs sau mai mult, în zonele deluroase. Durata unui chip de 3.84 Mcps este 0.26 μs . Când diferența în timp a componentelor propagate multicale este de cel puțin 0.26 μs , receptorul WCDMA poate separa aceste componente și le poate combina coerent folosind diversitatea multicale. Întârzierea de 0.26 μs rezultă dacă diferența lungimilor căii este de cel puțin 78m (viteza luminii/rata chipului = $3.0 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1} / 3.84 \text{ Mcps}$). Cu o rată de chip de 1 Mcps, diferența între lungimea căilor de propagare a componentelor multicale trebuie să fie de 300 m, ce nu poate fi obținută în celulele mici (macrocelule). WCDMA cu purtătoare de 5 MHz poate oferi diversitate multicale în celulele mici, avantaj indisponibil la sistemele IS-95.

Pentru o anumită valoare a întârzierii sunt de obicei mai multe căi aproape egale, pe care unda radio le traversează. De exemplu, căile cu o diferență de lungime proporțională cu $\lambda/2$ (jumătatea lungimii de undă, aproximativ 7 cm, la 2GHz) ajung să fie parcurse într-un timp comparabil cu durata unui chip. Ca rezultat, anularea semnalului prin fading rapid apare chiar la deplasări ale receptorului pe distanțe scurte. Anularea apare ca urmare a însumării componentelor în antifază (pe distanțe multipli de λ) și atenuarea de-a lungul căii de propagare.

În figura 2.16 este reprezentat un model de fluctuație rapidă a semnalului datorată propagării multicale [32], semnal perceput de receptorul stației mobile UE ce se deplasează. Puterea semnalului recepționat poate scădea considerabil (20-30) dB, când are loc anularea fazei componentelor însumate de pe diversele căi.

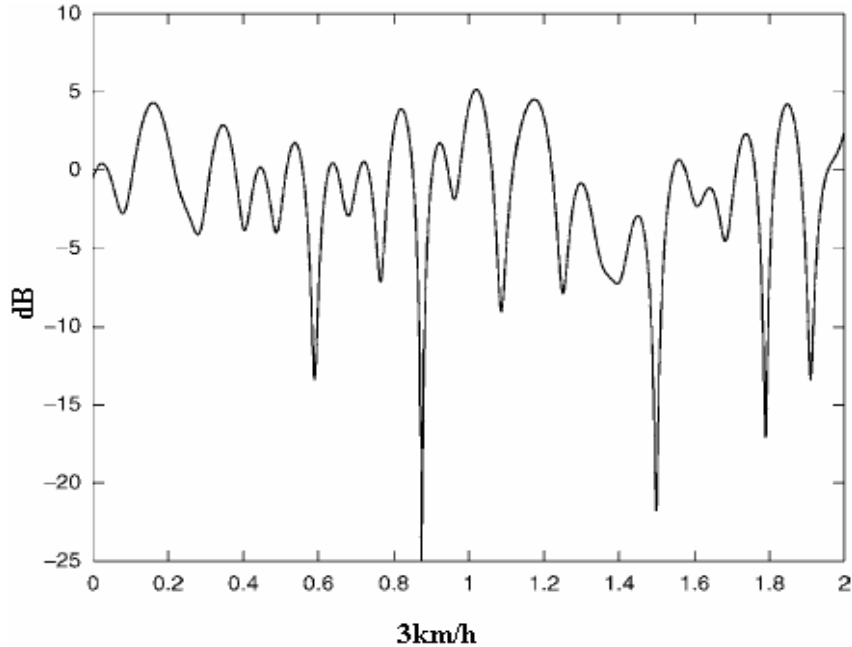


Figura 2.16. Fading Rayleigh datorat propagării pe căi multiple

Datorită structurilor geometrice variate din calea de propagare, care determină fenomenele de fading și dispersie, anvelopa semnalului recepționat se modifică frecvent [35], dar media scade lent, pe măsură ce mobilul se depărtează de BS. Semnalul echivalent în banda de bază poate fi exprimat:

$$h(t) = \sum_i \alpha_i(t) e^{-j2\pi f_c \tau_i(t)} \quad (2.3)$$

unde $\tau_i(t)$ - este întârzierea ce se modifică aleatoriu, numărul căilor de propagare este mare și conform teoremei limită centrală $h(t)$ se poate modela ca un proces Gaussian complex.

Energia medie a semnalului recepționat pe termen scurt e descrisă de funcții de distribuție care pot fi utilizate pentru modelarea și proiectarea sistemelor de comunicații radio. Dintre cele mai cunoscute sunt distribuția Rayleigh și Rice. Distribuția Rayleigh [36] este reprezentată în figura 2.17, fiind definită prin relația:

$$f(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} ; r \geq 0 \quad (2.4)$$

unde $E\{r^2\} = 2\sigma^2$ - puterea medie a semnalului multicanal înainte de detecție.

Ea simbolizează cel mai defavorabil tip de fading, fără cale de propagare directă între emițător și receptor NLOS (No Line Of Sight). Puterea semnalului este distribuită exponențial, iar faza este distribuită uniform. Acesta este cel mai utilizat model de semnal în rețelele de comunicații radio.

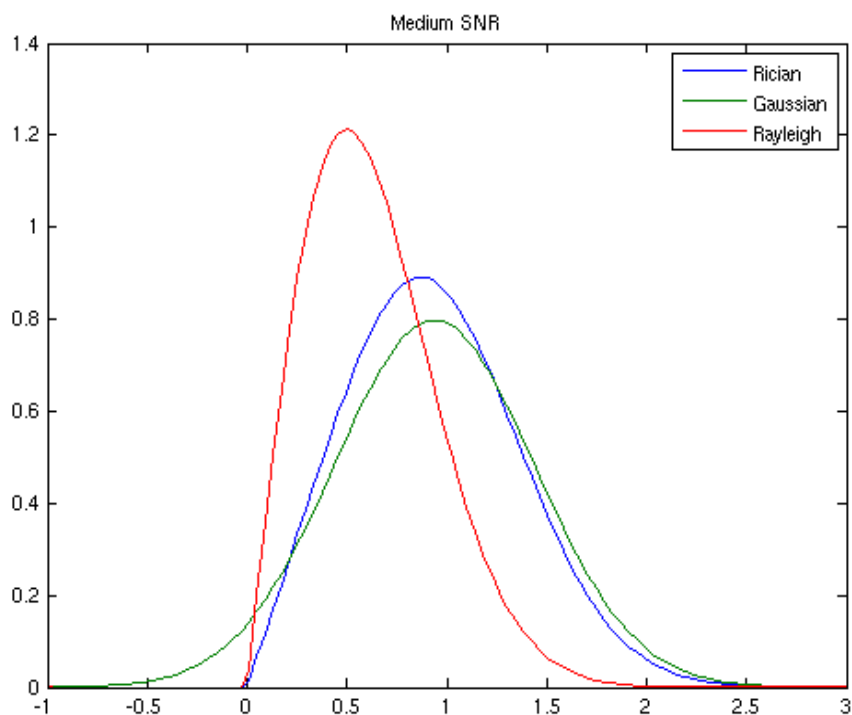


Figura 2.17. Funcția densitate de probabilitate Rice, Gaussian, Rayleigh

În cazul în care între NodB și UE există cale de propagare directă LOS, anvelopa semnalului recepționat, $r = |h|$ are o distribuție de tip Ricean. Aici evidențiem faptul că:

$$h = \alpha \cdot e^{j\phi} + \nu \cdot e^{j\Phi} \quad (2.5)$$

unde - α urmărește distribuția Rayleigh

- $\nu > 0$ este o constantă astfel că ν^2 este puterea componentei de semnal provenită pe calea de propagare directă LOS.

- unghiurile ϕ și Φ se presupune a fi mutual independente și uniform distribuite în intervalul $[-\pi, \pi)$.

Funcția de distribuție Rice este descrisă de relația:

$$f(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{(r^2 + \nu^2)}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{r\nu}{\sigma^2}\right); \quad r \geq 0 \quad (2.6)$$

unde:

r - amplitudinea anvelopei semnalului recepționat

I_0 - funcția Bessel de speța întâi și ordinul zero și $2\sigma^2 = E\{\alpha^2\}$

$K = \frac{v^2}{2\sigma^2}$ - factorul Rice determină relația dintre puterea componentei LOS

și puterea componentei Rayleigh. Când $K \rightarrow \infty$ nu avem o componentă de semnal propagată pe cale directă, iar funcția de distribuție Ricean este egală cu cea Rayleigh - figura.2.17.

Fluctuațiile mari fac dificilă recepția fără eroare, fiind necesare tehnici de combatere a fadingului. La sistemele UMTS bazate pe tehnologia WCDMA se utilizează receptoare Rake, având un număr de subreceptoare (fingers) pentru diferitele componente, ce combină coerent undele dispersate. Are loc un control eficient al puterii pentru a atenua influența fadingului asupra puterii semnalului recepționat. Se folosesc coduri corectoare de erori, se face o întrețesere a biților transmiși și se folosește corecția erorilor prin retransmitere pentru ca receptorul să poată recupera informația propagată prin medii cu fading sever [37, 38, 39].

În ideea exploataării diversității sunt posibile mai multe soluții pentru combinarea componentelor recepționate care au parcurs căi diferite [40].

Câteva dintre acestea sunt:

- diversitatea selectiei, SD (Selection Diversity): când se recepționează L semnale multicale, schema de combinare selectează calea cu SNR maxim și renunță la celelalte $L-1$ căi. SD este folosită pe legătura de retur la IS-95, unde mai multe BS recepționează semnale de la mobil, dar doar BS care recepționează semnalul cel mai puternic este aleasă să servească mobilul;
- combinarea de câștig egal, EGC (Equal Gain Combining): receptorul corectează defazajul semnalelor afectate de fading și combină semnalele diferitelor cai, cu ponderi egale;
- combinarea de raport maxim MRC (Maximum Ratio Combining): soluția optimă (în sens de BER minim) de utilizare a semnalelor transmise, pentru decodare, recepționate de la diferitele căi, și combinarea lor proporțional cu puterea fiecărei căi. Deoarece atenuările diferă în funcție de cale, combinarea lor cu ponderi diferite dă soluția optimă pentru semnale transmise prin canalul AWGN. În canale cu fading Rayleigh, MRC este cel mai performant, urmat de EGC și apoi de SD.

Combinarea poate fi făcută la nivel de chip sau la nivel de simbol. Înainte de combinare trebuie făcute operațiile opuse aleatorizării (descrambling) și împrăștierii (despreading), pentru a converti semnalele de la nivel de chip la nivel de simbol. Performanța celor două tehnici este identică, în condițiile unei estimări perfecte a canalului și a selectării căii, în ipoteza unui canal constant pe durata unui simbol.

Dinamica propagării în canalele radio mobile sugerează următoarele principii de operare pentru recepția semnalului cu ajutorul receptorului Rake[32]:

- a) Se identifică întârzierile cu care sosesc componente de semnal cu energie semnificativă și se alocă acestor vârfuri subreceptoare corelative. Rezoluția folosită pentru dobândirea profilului de întârziere multicale este corespunzătoare duratei unui chip (în mod obișnuit, în gama de $(1/4-1/2)$ a duratei de chip) cu actualizare la câteva zeci de milisecunde;
- b) În cadrul fiecărui receptor corelativ, se urmăresc variațiile rapide ale fazei și amplitudinii, datorate fading-ului și se compensează. Urmărirea trebuie să fie foarte rapidă, cu actualizare la 1 ms sau mai puțin;

c) Se combină simbolurile demodate și corectate ca fază de la toate subreceptoarele active și se transmit la decodor.

Astfel un "finger" recepționează o componentă de semnal prin interfața Uu, iar al doilea, al treia, respectiv al patrulea "finger" recepționează componente de semnal provenite de pe căi diferite (cu întâzieri diferite) prin intermediul aceleași interfețe Uu. Pe baza codului de împrăștiere cunoscut, receptorul alocă întâzieri diferite componentelor de semnal (întârzierea cea mai mare componentei de semnal ajunsă la receptor cel mai repede, respectiv întârzierea cea mai mică componentei de semnal ajunsă la receptor cel mai târziu) dar nu mai mult de durata unui chip, toate celelalte componente fiind eliminate. Receptorul RAKE permite astfel recuperarea energiei fiecărei componente de semnal prin întârziere selectivă și combinarea lor coerentă.

Aspectele de la punctele b și c sunt evidențiate în figura 2.18, simbolurile modulate (BPSK sau QPSK) precum și starea instantanee a canalului prin fazorii complecși ponderați. Pentru a facilita punctul b, WCDMA utilizează simboluri pilot la demodularea fiecărei componente multivale receptionate; fiecare semnal recepționat este defazat astfel încât să anuleze defazajul introdus de canal. Apoi, simbolurile pot fi însumate pentru recuperarea energiei corespunzătoare tuturor componentelor de semnal întârziate. Prelucrarea este de tip MRC.

În aplicațiile practice ale receptorului Rake, prelucrarea la rata de chip (corelatorul, generatorul de cod, filtrul adaptat) sunt implementate printr-un circuit integrat specific aplicației ASIC (Application-Specific Integrated Circuit), iar partea de procesare a simbolurilor (estimatorul de canal, defazorul, combinatorul) sunt implementate cu ajutorul unui DSP (Digital Signal Processor) [32]. Deși există diferențe între receptorul Rake WCDMA din UE și NodB, principiile de bază sunt identice.

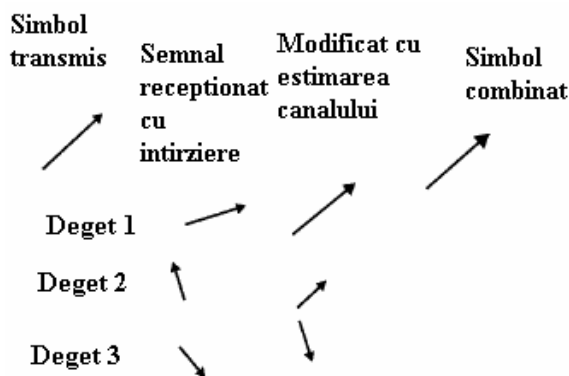


Figura 2.18. Principiul MRC în receptorul Rake

Principalele avantaje ale acestui sistem DS-SS bazat pe receptor RAKE [41] sunt:

- elimină interferențele provenite în urma propagării semnalului pe căi indirecte în baza codului corelator de la receptor;

- puterea de emisie poate fi mai mică decât în sistemele 2G (GSM), deoarece receptorul poate extrage datele dorite de utilizator combinând coerent semnalele care ajung pe mai multe căi, fapt ce determină un impact pozitiv în raport cu capacitatea interferenței radio din rețea (având în vedere că sunt mai mulți utilizatori activi în același timp);
- din punct de vedere al modului FDD utilizatorul poate fi conectat la mai multe celule în același timp, fiecare celulă trimițând aceeași informație către UE.

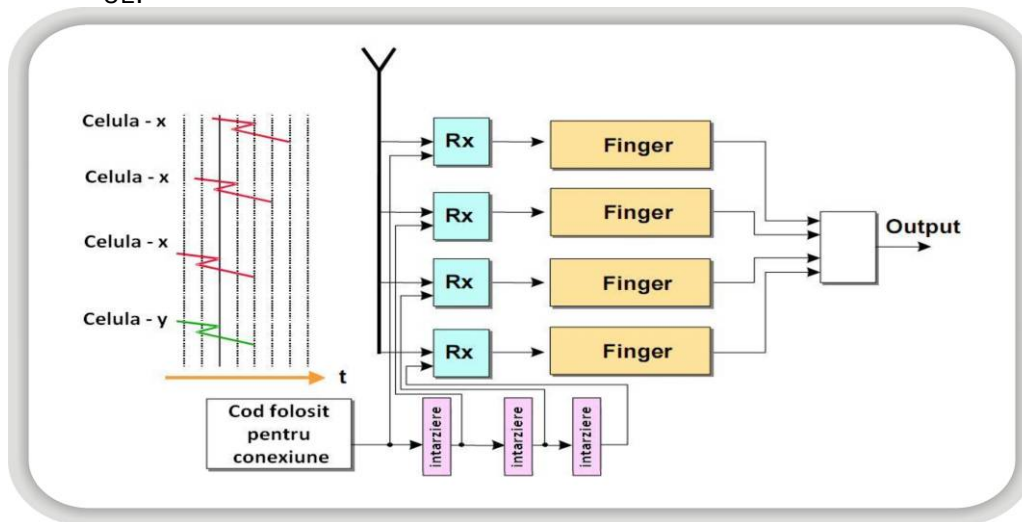


Figura 2.19. Schema bloc a receptorului RAKE

Receptorul RAKE din terminalul mobil UE folosește în mod normal 3 elemente "finger" pentru recepția multicale, a patra fiind utilizată de către terminalul mobil în cazul procedurilor de transfer [42]; astfel terminalul UE poate fi conectat simultan la NodB-ul corespunzător la două sectoare de celulă, pentru un scurt interval de timp necesar realizării transferului.

În acest context performanțele rețelei pot fi clasificate în funcție de:

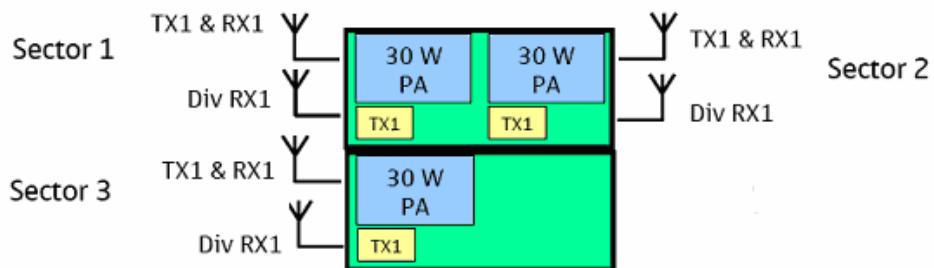
- direcția de transmisie conexiune ascendentă UL sau descendentă DL;
- viteza de deplasare a echipamentului mobil UE;
- serviciul oferit, rata de bit (voce/8kbps, 12.2kbps/pachete de date, circuite comutate);
- canal cu propagare multicale, caracterizat prin modelul ITU, 3GPP;
- mediul înconjurător (urban, urban dens, suburban, rural);
- modalitatea de dispunere în teren a celulelor rețelei (macro, micro, pico);
- soluțiile de diversitate alese atât la NodB cât și la nivelul UE pentru a reduce fenomenele nedorite (fading,etc) 1Rx, 2Rx, 4Rx fără sau cu diversitate la Tx.

În același context există câțiva indicatori calitativi importanți care oferă un set suficient de variabile pentru analiza performanței conexiunii radio pentru dimensionarea și planificarea rețelei. Prin prisma acestor indicatori și referindu-ne la ultimul aspect din clasificare anterioară și anume soluții de diversitate, se poate face o analiză la nivelul NodB prin prisma echipamentului Nokia Flexi BTS [43] figura 2.20, cu care am avut ocazia să lucrez în cadrul dezvoltării acestei rețele.



Figura 2.20. Echipament Nokia Flexi BTS

Acesta este un echipament extrem de robust și performant, care oferă diverse configurații pentru NodB după cum se poate observa și din figura 2.21. pentru o celulă cu 3 sectoare, diversitate pe Rx și amplificatoare de putere de 30W respectiv 50W.



a

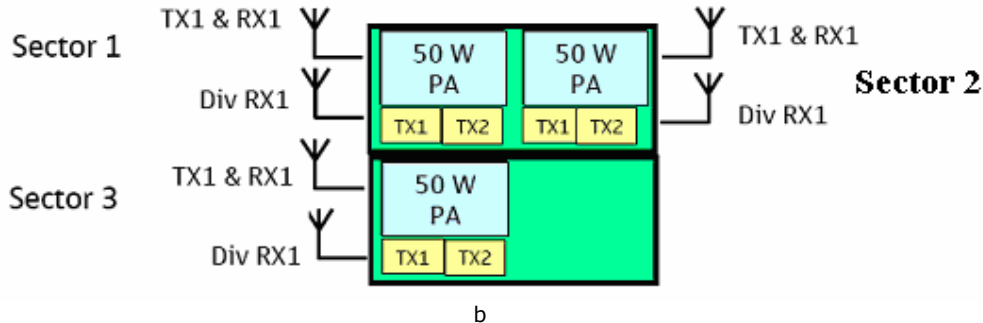


Figura 2.21. Configurație NodB echipat cu Nokia Flexi BTS cu diversitate pe Rx

Unul din indicatorii care permit astfel analiza performanței conexiunii UL în rețeaua UMTS este E_b/N_o (raportul dintre energia unui bit și densitatea spectrală de putere a zgomotului), indicator ce depinde de starea canalului radio și respectiv de tipul serviciului care utilizează canalul (transmisii de voce sau date). În general E_b/N_o poate fi definit pentru conexiunea UL astfel:

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{p_{rx} / R}{I / W} = \frac{W p_{rx}}{R I} \quad (2.7)$$

unde: p_{rx} - puterea la recepție

R - rata de bit a utilizatorului

I - puterea de interferență la recepție

W - lățimea de bandă

E_b - energia bitului

$$E_b = p_{rx} \cdot (1/R) \quad [\text{Ws}] \quad (2.8)$$

având în vedere faptul că I, zgomotul de interferență, este uniform distribuit în banda de frecvență W[Hz], egală cu rata de chip. Astfel că acest indicator E_b/N_o

este în strânsă legătură cu un alt parametru calitativ pentru conexiunea radio ce poate fi prestabilit la nivelul RNC și anume BLER (Block Error Rate), rata de eroare pe cadru sau bloc.

Utilizând un echipament Nokia Flexi BTS la NodB, pentru E_b/N_o am obținut pe conexiunea UL, pe baza măsurărilor succesive realizate cu ajutorul unui software specializat TEMS Data Collection [44], la două viteze diferite de deplasare ale echipamentului mobil UE, valori exemplificate în tabelul 2.3.

Tabelul 2.3: Valori E_b/N_o la UL

Trafic →	Voce	64kbps	128kbps	384kbps
$V_{\text{mobil}} = 3\text{km/h}$	$E_b/N_o = 4.4 \text{ dB}$	$E_b/N_o = 2 \text{ dB}$	$E_b/N_o = 1.4 \text{ dB}$	$E_b/N_o = 1.7 \text{ dB}$
$V_{\text{mobil}} = 50\text{km/h}$	$E_b/N_o = 5.4 \text{ dB}$	$E_b/N_o = 2.9 \text{ dB}$	$E_b/N_o = 2.4 \text{ dB}$	$E_b/N_o = 2.9 \text{ dB}$

Un studiu detaliat asupra performanțelor oferite de rețea la nivelul interfeței radio, a modului de organizare și funcționare a acesteia prin prisma indicatorilor amintiți și a parametrilor care pot fi analizați, atât la nivel de laborator prin simularea anumitor procese care se petrec la nivel de interfață radio, cât și practic prin măsurători efective în rețea, va fi făcut în continuarea lucrării în capitolul 4. În acest scop se vor utiliza programe speciale de colectare de date Tems Data Collection, Tems Data Investigation [44], și de prelucrare de parametri și generare de baze de date Actix [45], pentru câteva zone geografice diferite (urbane, suburbane sau rurale) exemplificate în lucrarea de față, zone prevăzute a fi acoperite de rețea în cadrul etapelor de proiectare, implementare și optimizare a rețelei.

3. TRANSFERUL PRIN INTERFAȚA RADIO

Așa cum am menționat pe parcursul acestei lucrări, datele și semnalizările dintre terminal și rețea trec printr-o serie de canale care împreună contribuie la buna funcționare a interfeței radio. În cadrul procesului de analiză a performanțelor rețelei la nivelul interfeței radio vom avea în vedere următoarele aspecte:

- terminalul mobil UE, este de fapt o platformă pe care pot rula mai multe aplicații (voce, video sau internet) pe care în cele ce urmează le considerăm ca fiind "date". Rețeaua prin intermediul interfeței radio trebuie să schimbe mesaje de semnalizare cu terminalul în intenția de a controla activitatea acestuia (localizare, managementul conexiunii, etc.) [41,46]
- semnalizările și datele trec prin rețea în canale logice. Aceste canale sunt de diferite tipuri pentru diferite scopuri. Conținutul canalelor logice este aranjat în canalele fizice cu ajutorul canalelor de transport [47,48]. Pe interfața radio avem diferite canale fizice care sunt folosite pentru a transporta diferite tipuri de informații. Codarea canalelor se realizează pentru a asigura o protecție mai bună a datelor împotriva perturbațiilor (interferențe, zgomote) și de asemenea pentru a ajuta la corectarea erorilor [49].
- ca și parte a procesului de codare în tehnologia WCDMA, informația utilă (datele) sunt trecute printr-un proces de codare de canal utilizând un cod specific, și mai apoi împrăștiate de-a lungul unei benzi largi de frecvență [32], prin combinare cu un cod unic (scrambling cod).
- un ultim pas înainte ca datele și semnalizările să fie transmise prin interfața radio este procesul de modulare [41,50], respectiv modificarea parametrului unei unde purtătoare de către un semnal cu scopul de a transmite informațiile reprezentate de acesta.
- semnalul recepționat este refăcut pe conexiunea DL la nivelul receptorului terminalului UE, iar pe conexiunea UL la nivelul receptorului echipamentelor NodB [51], iar mai apoi extrasă din el informația utilă.

Pașii parcurși pentru transmiterea datelor sau semnalizărilor de la UE:

- datele sunt într-un format care poate fi folosit de aplicație
 - datele avansează de la canalul logic prin intermediul canalului de transport în canalul fizic
 - în canalul fizic datele sunt împrăștiate pe lățimea de bandă cu codul de canal și combinate cu codul de amestecare SC (scrambling cod).
 - în final datele sunt modulate și transmise prin interfața radio
- Pașii parcurși la recepția semnalului la nivelul NodB:
- se face demodularea, receptorul RAKE contribuie la recepția cu erori scăzute prin însumarea mai multor componente de semnal ce conțin aceeași informație însă ajunsă pe mai multe căi.
 - folosind același cod de amestecare și de canal ca și la transmisie, la recepție se poate reface informația canalului fizic.

- se realizează decodarea canalului, iar informația este trimisă către destinația corectă din rețea prin intermediul unui canal logic corespunzător.

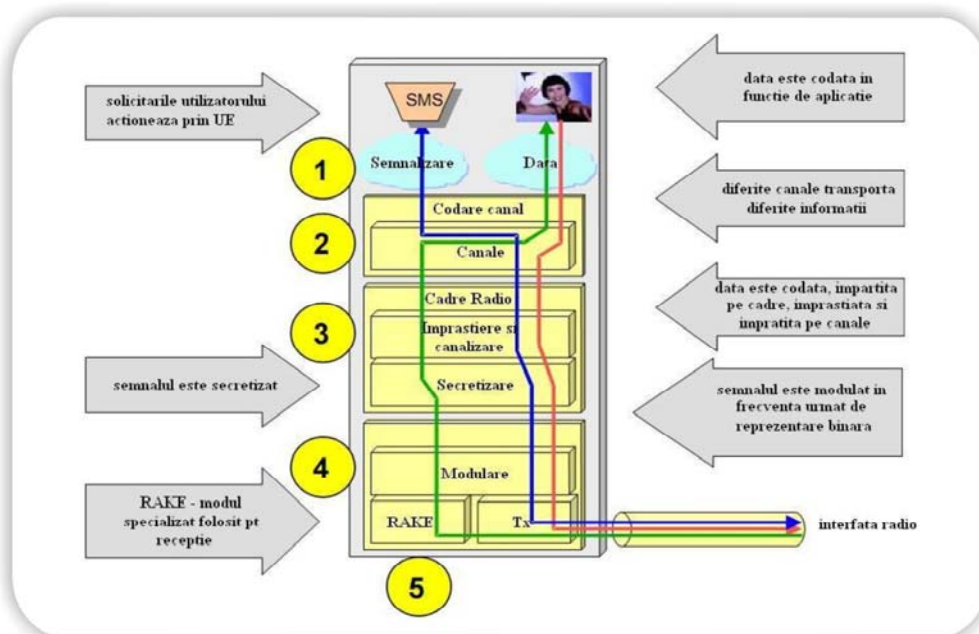


Figura 3.1. Pregătirea datelor și semnalizării pentru interfața radio

În tabelul 3.1. sunt prezentați principalii parametri tehnici, care definesc interfața radio Uu, pentru cele două moduri de lucru.

Tabelul 3.1: Parametrii tehnici ai Uu

Parametrii	Modul FDD	Modul TDD
Acces Multiplu	DS-CDMA	TDMA cu CDMA în TS
Banda de frecvență NodB-Tx DL	2110-2170MHz (Subbenzi de 60MHz)	1900-1920 MHz (Subbenzi de 20MHz)
Banda de frecvență UE -Tx UL	1920-1980 MHz (Subbenzi de 60MHz)	2010-2025 MHz (Subbenzi de 15 MHz)
Duplex	FDD	TDD
Separare duplex frecvențială	190 MHz	-
Separare duplex temporală	-	Intervale temporale diferite pe DL și UL
Banda unui canal radio	5MHz	5MHz
Numar maxim de subpurtătoare într-o subbandă	12	4
Distanța dintre subpurtătoare consecutive	4.2-5.4 MHz	4.2-5.4 MHz
Durata unui cadru temporal (frame)	10ms	10ms

Numarul de intervale temporale pe un cadru (Ts- time slot)	15Ts 1cadru temporal=38400 chips 1Ts=2560chips	15Ts număr impar de Ts pe DL și UL
Rata de chip	3.84 Mchip/s	3.84 Mchip/s
Tip modulație	QPSK	QPSK
Sinonizare între nodB	-	-
Debite de transmisie variabile	Factor de împrăștiere SF variabil, multicond	Multislot, multicond
Factor de împrăștiere SF pe DL	512 ÷ 4	16 ÷ 1
Factor de împrăștiere SF pe UL	256 ÷ 4	16 ÷ 1
Rata de simbol pe purtătoareDL	960 ÷ 7.5ks/s	3840 ÷ 240ks/s
Rata de simbol pe purtătoare UL	960 ÷ 15ks/s	3840 ÷ 240ks/s
Codare de canal	Convoluțională, turbo	Convoluțională, turbo
Capacitate de transport	≤ 2Mbps	≤ 2Mbps

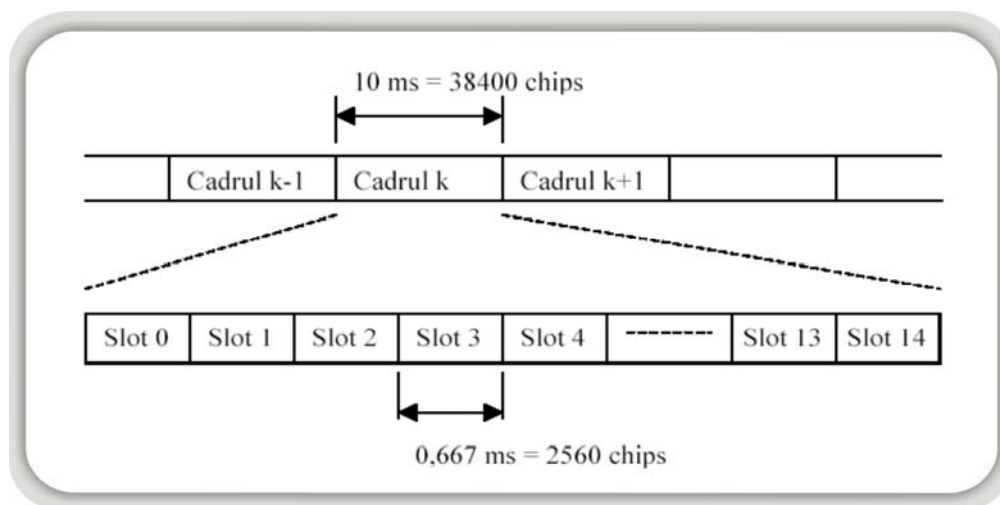


Figura 3.2. Structura temporală pe interfața radio

Din punct de vedere al organizării structura temporală a interfeței radio reprezentată în figura 3.2 conține cadre cu durata de 10ms, fiecare cu câte 15 subintervale temporale de 0.667ms [1,52] alese astfel, încât să asigure reducerea efectelor fadingului selectiv în frecvență [53].

Transmisia datelor presupune organizarea lor în canale de transport, care să includă datele de utilizator și informațiile de control codate, întreșesute și multiplexate.

Canalele de transport sunt expandate spectral cu coduri de împrăștiere și marcate cu coduri de amestecare SC pentru a permite identificarea lor corectă la UE sau NodB[50].

3.1. Structura canalelor sistemului UMTS

Disponerea canalelor în cadrul sistemului este realizată pe trei nivele ierarhice: nivelul fizic, nivelul de transport (rețea), nivelul logic [54]. Primul nivel ales conform figurii 3.3 este cunoscut ca și nivel logic, aplicațiile și procedurile de semnalizare utilizează aceste canale pentru a comunica cu rețeaua. De exemplu, sunt canale care transportă informațiile ce fac interogarea fiecărui terminal mobil din rețea, canale care transportă informații de semnalizare, canale dedicate utilizatorilor pentru transferul datelor. Cu alte cuvinte, fiecare canal are un conținut specific [3].

Așa cum se poate observa și din figura 3.3, canalele de transport sunt poziționate între canalele logice și cele fizice. Canalele de transport indică modul în care informația este organizată pentru transport. Într-un canal de transport pot fi aranjate mai multe canale logice.

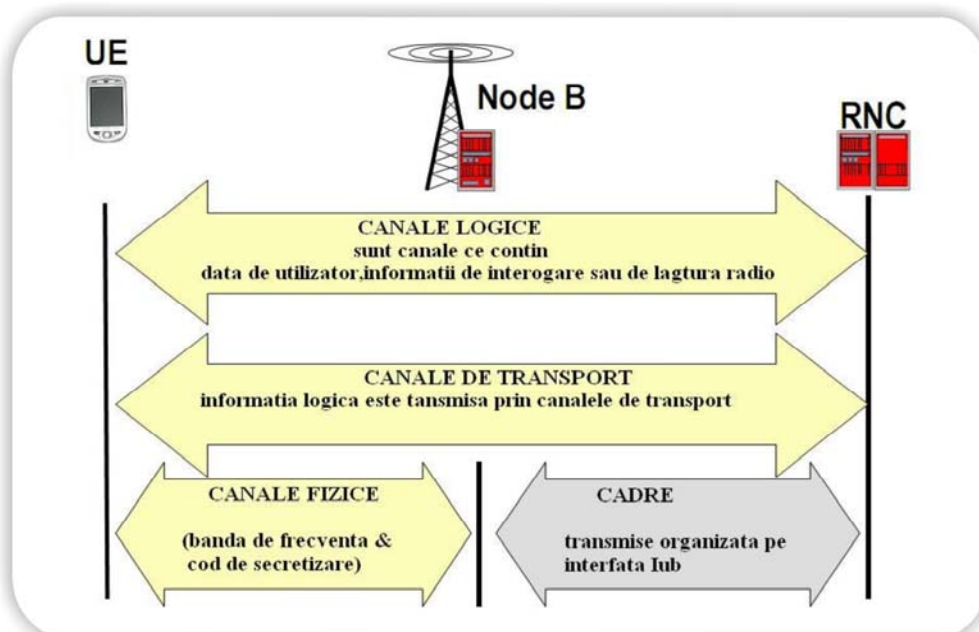


Figura 3.3. Arhitectura canalelor fizice, de transport și logice din rețea

Canalele fizice [48], sunt prezente doar în interfața radio, în timp ce canalele logice și de transport se găsesc în toate interfețele dintre UE și RNC.

Fiecare canal fizic este identificat în modul FDD de banda de frecvență și de codul de împrăștiere. În figura 3.4 este exemplificat traseul semnalizărilor și a datelor prin canale pe UL și DL la nivelul NodeB, iar în cele ce urmează se realizează o descriere mai în detaliu a canalelor logice, de transport și celor fizice.

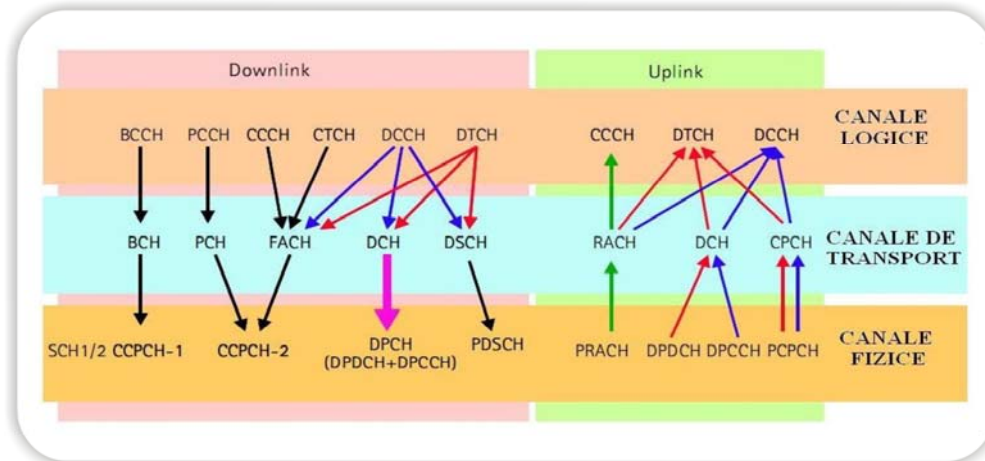


Figura 3.4. Dispunerea datelor și semnalizărilor la NodB

3.1.1. Canalele logice și de transport

În ceea ce privește canalele logice, rețeaua și echipamentul utilizatorului au sarcini diferite. Astfel, canalele logice pentru UL au o structură diferită față de cele pentru DL. În general rețeaua are în structura sa canale [55,3], cu următoarele funcții:

BCCH (Broadcast Control Channel) utilizat în DL.

Rețeaua trebuie să informeze UE privind mediul radio. Această informație este de exemplu formată din valoarea codului folosit în celulă, dar și în celulele vecine și de asemenea nivelul de putere admis. Rețeaua furnizează UE acest tip de informație prin intermediul canalului logic numit BCCH.

PCCH (Paging Control Channel) utilizat în DL

Când e necesară găsirea unui UE, acesta trebuie interogată pentru a putea stabili locația acestuia. Un asemenea apel al rețelei este transmis către UE prin intermediul canalului logic PCCH.

CCCH (Common Control Channel)

Rețeaua are cu siguranță sarcini care sunt comune tuturor utilizatorilor din celulă. În acest scop rețeaua folosește canalele logice CCCH

DCCH (Dedicated Control Channel)

Când avem activă o conexiune dedicată, rețeaua va transmite controlul informației prin canale numite DCCH

DTCH (Dedicated Traffic Channel)

Traficul dedicat unui utilizator pentru un serviciu pe DL se transmite prin DTCH

CTCH (Common Traffic Channel)

Când e necesar ca informația să se transmită fiecărui utilizator, sau unui grup specific de utilizatori, atunci pe DL se poate folosi CTCH

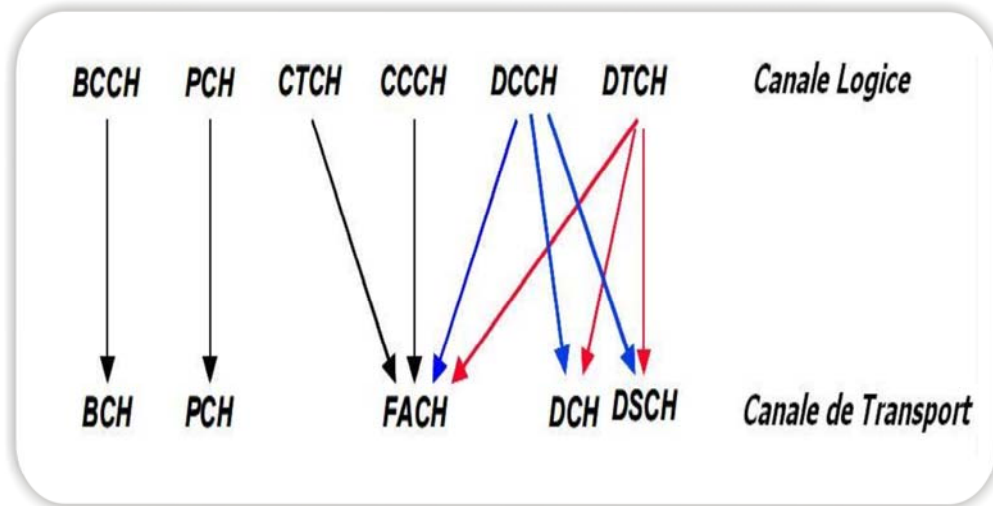


Figura 3.5. Canalele logice și de transport pe conexiunea DL

Canalele logice trebuie dispuse în structura canalelor de transport. Următoarele canale de transport asigură trecerea informației pe direcția DL:

BCH (Broadcast Channel) transportă canalul logic BCCH

PCH (Paging Channel) transportă canalul logic PCH

FACH (Forward Acces Channel) transportă informația provenită de la canalele logice CCCH, CTCH și DCCH

DCH (Dedicated Channel) este dedicat numai canalului de transport. DCH transportă informații ale canalelor logice DTCH și DCCH. De remarcat faptul că DCH poate transporta informația mai multor canale DTCH, în funcție de cazul concret. De exemplu un utilizator poate avea simultan mai multe apeluri active, de voce și video, vocea solicită un DTCH, video a un alt DTCH, ambele fiind preluate de DCH

DSCH (Downlink Share Channel) transportă informații de la DTCH și DCCH, acest canal este împărțit de mai mulți utilizatori.

Pe conexiunea UL numărul de canale logice este mai redus. Avem trei canale logice- figura3.6, CCCH, DTCH și DCCH, identice ca și în cazul celor din DL.

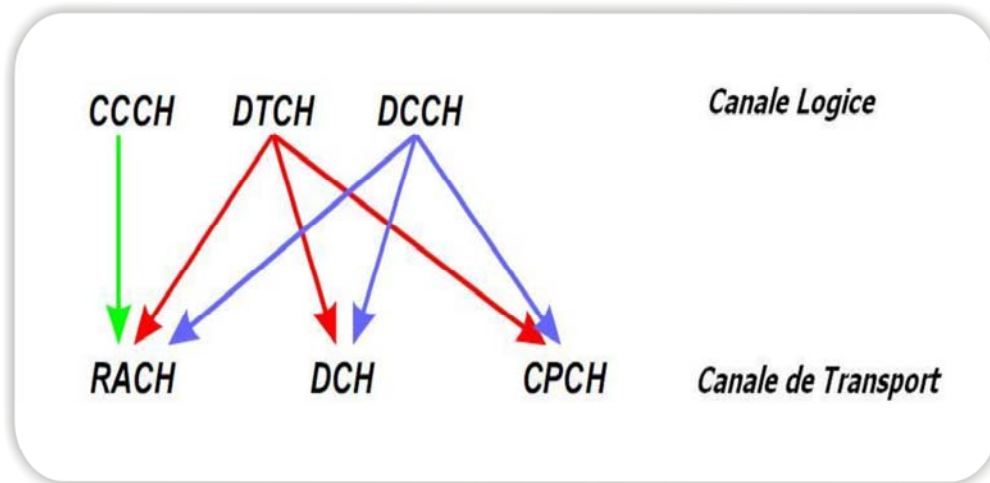


Figura 3.6. Canalele logice pe UL

Canalele de transport din UL sunt următoarele:

RACH (Random Acces Channel), acesta asigură pentru UE accesul la rețea în cazul solicitării acestuia.

DCH (Dedicated Channel), acesta asigură traficul de date combinat al utilizatorului și controlează informația (în cazul mai multor conexiuni simultane).

CPCH (Common Packet Channel), acest canal transportă pachetele utilizatorului în cazul în care resursele sistemului pot fi utilizate în acest scop.

3.1.2. Canalele fizice

Canalele fizice sunt definite prin mecanismele fizice (frecvență, cod, putere, cadru temporal, etc.) cu care se realizează transferul de date pe resursele interfeței radio. Un canal fizic tipic constă într-o structură ierarhizată de cadre radio și intervale temporale, configurația intervalelor temporale poate să difere în funcție de debitul de transmisie pe canal.

Un cadru radio (radio frame) este o unitate de procesare care conține 15 intervale temporale. Lungimea unui cadru corespunde duratei a 3840 chips. Intervalul temporal (time slot) este o unitate compusă din câmpuri corespunzătoare duratei a 2650 chips, ce conțin biți de informație [32]. Numărul de biți transmiși pe un interval temporal diferă de la un canal fizic la altul și în anumite cazuri poate varia în timp. Resursa fizică de bază o reprezintă planul cod-frecvență, astfel pe UL diferite fluxuri de informație pot fi transmise pe căile I și Q (pe purtătoarele în quadratură). Așadar canalul fizic corespunde unei frecvențe purtătoare specificate, unui cod, respectiv pe UL unei faze relative (0 sau $\pi/2$). Canalele fizice sunt de două feluri: canale fizice comune și canale fizice dedicate.

Canale fizice care nu conțin canale logice sau de transport sunt canalele de pe DL generate direct de BS [48], acestea fiind canalele primare și secundare de sincronizare (SCH-1 și SCH2), ambele identificate de codul de secretizare, canale care ajută mobilul UE să se sincronizeze cu stația de bază.

Avem 512 coduri primare de secretizare folosite în DL. Acestea sunt organizate în 64 de grupuri de coduri de secretizare, fiecare grup având 8 coduri primare de secretizare. Astfel, UE va ști doar codul de secretizare al grupului, nu și

codul de secretizare al celulei. Din cele 8 potențiale coduri primare de secretizare ce pot fi folosite în celulă, pentru ca UE să poată ști corect care este codul de secretizare este utilizat canalul CPICH (Common Pilot Channel).

Având în vedere că se folosesc două CPICH, unul este primar CPICH-1 iar celălalt secundar CPICH-2. CPICH-1 include BCCH, iar CPICH-2 este o combinație între două canale de transport, PCH și FACH.

Canalele fizice dedicate pe UL sunt DPDCH (Dedicated Physical Data Channel) care transportă traficul utilizatorilor și DPCCH (Dedicated Physical Control Channel) care asigură controlul informației, din combinația celor două se obține DPCH (Dedicated Physical Control Channel).

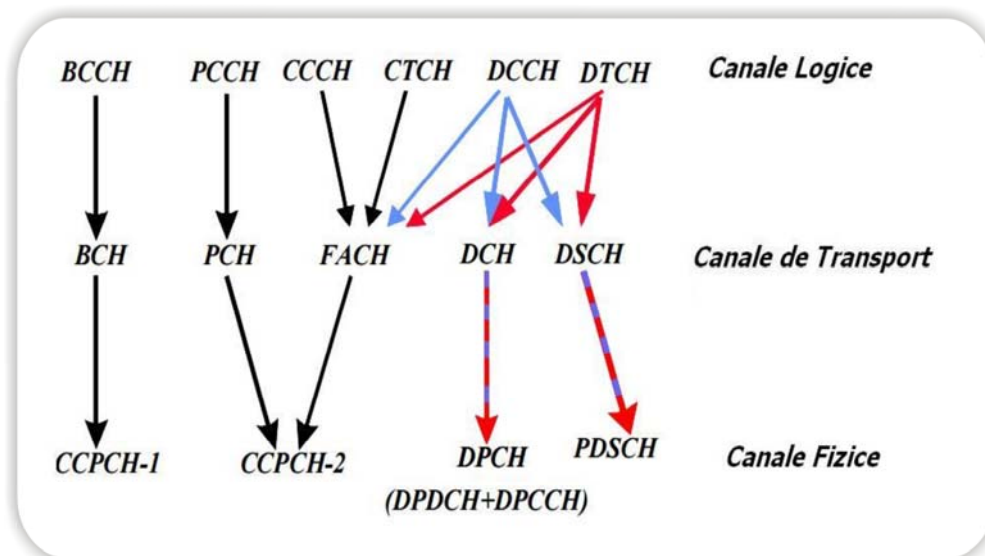


Figura 3.7. Dispunerea canalelor de transport în canalele fizice pe DL

Informația canalului de transport RACH este transmisă rețelei prin PRACH (Physical Random Acces Channel). Accesul la rețea se realizează în două etape:

- în prima etapă UE trimite mai multe solicitări de acces la rețea cu nivel de putere din ce în ce mai mare, deoarece în tehnologia WCDMA utilizatorii folosesc în comun aceeași lățime de bandă în același timp, dacă un UE vrea să acceseze rețeaua cu o putere prea mare acest aspect poate determina creșterea nivelului de interferență din celula proprie și celulele vecine. Pentru a evita acest efect nedorit, când UE este recepționat, BS trimite un mesaj de notificare în acest sens AICH (Acquisition Indication Channel).
- a doua etapă începutul transmiterii sau accesării de informații în sau din rețea.

Traficul utilizatorului și controlul informației este împărțit de canalul de transport DCH. Informația din DCH este împărțită de două canale fizice DPDCH și DPCCH, folosind modulația [50].

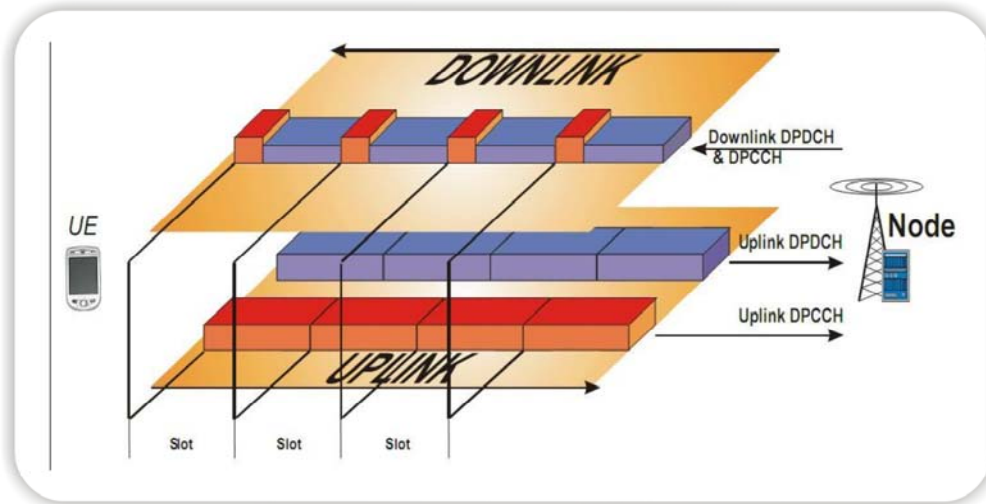


Figura 3.8. Organizarea traficului pe UL și DL

Când e necesară transmiterea unui pachet scurt (și nu sunt necesare resurse dedicate), informația este transportată de CPCH, acesta fiind transmis prin PCPCH (Physical Common Packet Channel).

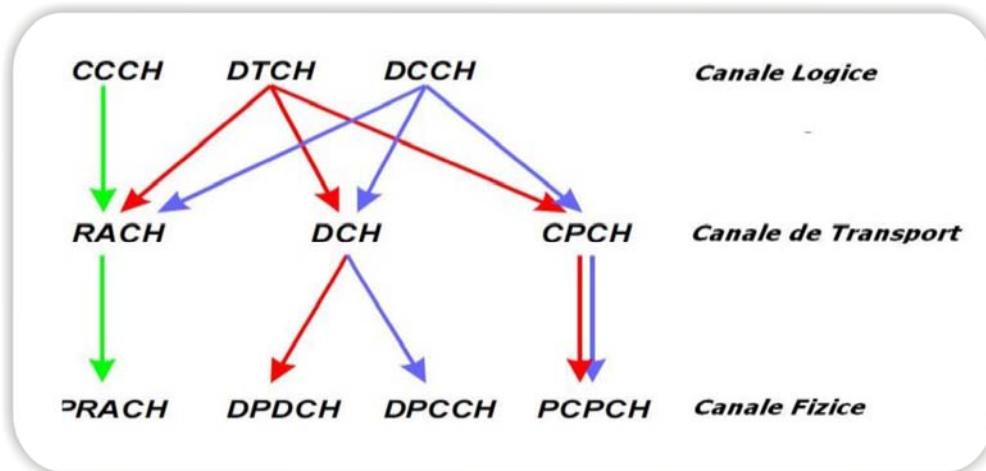


Figura 3.9. Dispunerea canalelor de transport în canalele fizice pe UL

Pe UL canalul fizic nu este multiplexat în timp, acesta constă dintr-o combinație de transmisii discontinue DTX (Discontinuous transmission). DPDCH folosește DTX pentru a eficientiza transmisia și pentru a economisi bateria UE.

3.2. Managementul resurselor radio

Controlerul resurselor radio RNC conform specificațiilor are rolul de a asigura managementul resurselor radio RRM (Radio Resource Management) [56]. Schema bloc a RNC-ului este prezentată în figura 3.10.

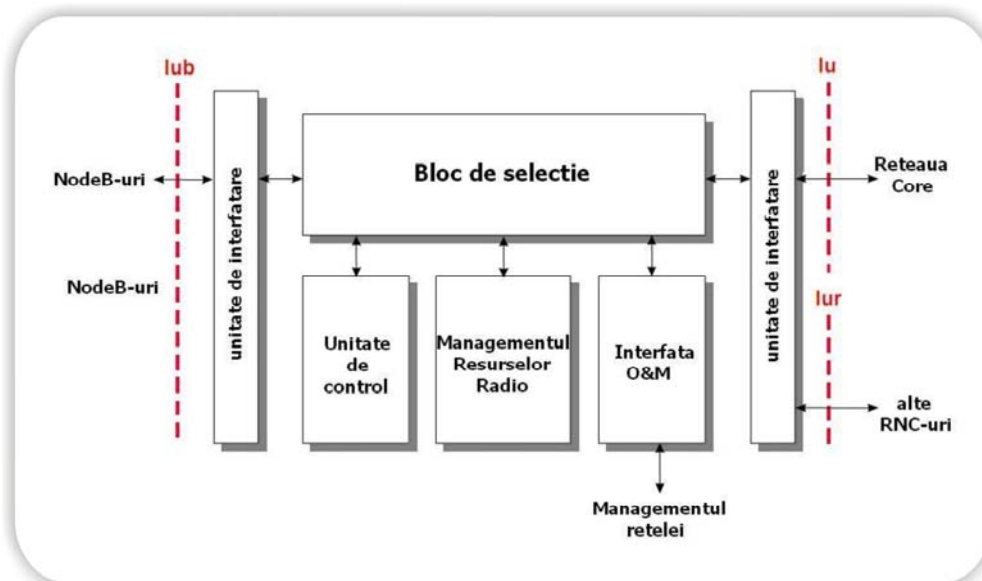


Figura 3.10. Schema bloc a RNC-ului

RRM-ul este constituit din următoarele entități:

- Controlul resurselor radio RRC (Radio Resource Control)
- Controlul Admisiei
- Alocarea codurilor
- Controlul puterii
- Controlul transferurilor (handover-ului) micro și macro diversitatea.

Despre controlul resurselor radio [57], putem spune că sunt două stări, una de repaus și una de conectare. Prin stare de repaus se înțelege că terminalul UE este pornit, nu folosește resursele radio însă starea lui e una de așteptare, fiind gata oricând să stabilească o conexiune sau să fie interogată. Când e nevoie să se stabilească o conexiune între UE și rețea putem spune că se ajunge în starea de conectare.

Sarcina principală pentru controlul admisiei este să estimeze dacă o nouă conexiune care solicită accesul în rețea se poate stabili fără a sacrifica serviciile active pe conexiunile existente.

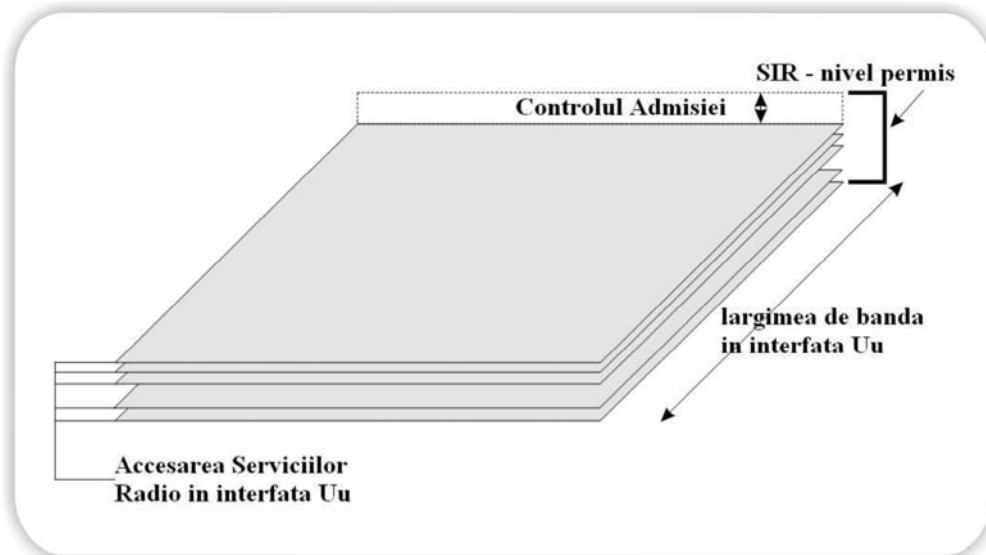


Figura 3.11. Controlul admisiei

UE în rețea „vede” semnalul generat de celelalte terminale ca și interferență, în etapa de planificarea a rețelei un lucru important este definirea unui nivel de interferență acceptabil pentru ca rețeaua să poată funcționa corect. Acest nivel este indicat de SIR (Signal-to-Interference Ratio) despre care se poate spune că reprezintă dimensiunea celulei, fiecare UE cu un serviciu activ consumând din SIR.

SIR-ul sau limita de interferență este în strânsă legătură cu încărcarea celulei [58], astfel dacă exprimăm limita de interferență în funcție de factorul de încărcare al celulei notat cu I avem:

$$I = 10 \log \left(\frac{1}{1 - \eta_{Ul}} \right) \quad (3.1)$$

unde η_{Ul} - factor de încărcare pe conexiunea ascendentă UL

Reprezentarea grafică pentru limita de interferență la diferite încărcări ale celulei este exemplificată în figura 3.12.

Atât alocarea codului de secretizare, cât și a codului de canal revine RNC-ului, operațiunea ar fi posibil de realizat și la NodB, însă în acest caz la nivel de control al resurselor radio nu ar mai putea avea loc procedeul de transfer lent (soft handover). Alocarea codurilor de către RNC ușurează alocarea porturilor în cazul conexiunilor multicanale pe interfața Iub.

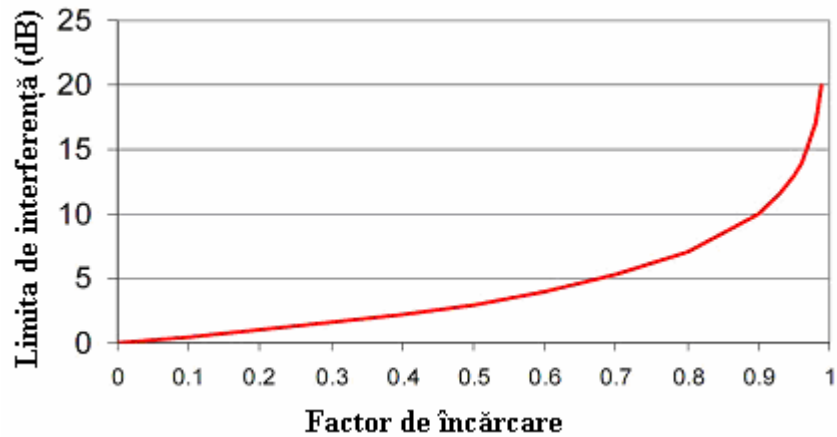


Figura 3.12. Variația limitei de interferență în funcție de încărcarea celulei

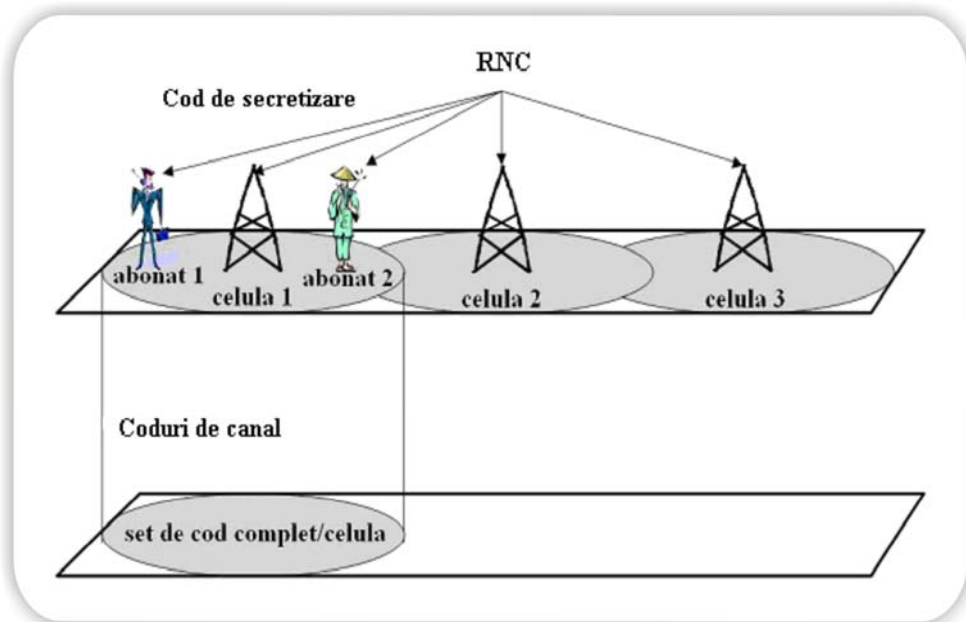


Figura 3.13. Controlul RNC-ului asupra codului de secretizare și a celui de canal

3.3. Controlul puterii

Controlul rapid de putere este probabil cel mai important aspect în WCDMA, în special pe conexiunea UE-NodB. Fără acest control un singur terminal mobil emițând la putere maximă ar putea bloca o întreagă celulă [59]. În figura 3.14 este reprezentată și descrisă problema și soluția controlului puterii de transmisie în buclă închisă.

Stațiile mobile UE1 și UE2 care operează pe aceeași frecvență sunt separate la stația de bază numai de codurile lor de împrăștiere. Se poate întâmpla ca la

marginia celulei, UE1 să sufere o pierdere pe cale $\overline{L}_p = 70$ dB mai mare față de cea a lui UE2, care este lângă NodB. Fără nici o modalitate de a controla puterea la același nivel la NodB, UE2 poate foarte ușor bloca UE1 și astfel blochează o mare parte din celulă, ceea ce determină apariția așa numitei probleme de "depărtat-apropiat" din sistemele CDMA. În scopul optimizării capacității, strategia ideală constă în egalizarea puterii recepționate pe bit de la toate UE la fiecare moment de timp.

Această idee formează mecanismele de control ale puterii în buclă deschisă, care încearcă să facă o aproximare a pierderii căii, prin medierea semnalului [60] pe conexiunea BS-UE, o astfel de metodă însă ar fi mult prea inexactă. Un argument în acest sens constă în faptul că fadingul rapid este în esență necorelat între conexiunile UE-NodB și NodB-UE, datorită frecvenței mari de separare a benzilor pe ce le două conexiuni (250MHz), a modului FDD a WCDMA.

Controlul al puterii în buclă închisă este utilizat în sistemul WCDMA, dar numai pentru a furniza o putere inițială redusă stației mobile UE la începutul unei conexiuni.

Soluția pentru controlul puterii în WCDMA este închiderea rapidă a buclei de control al puterii prezentată de asemenea în figura 3.14. În interiorul buclei închise de control al puterii pe conexiunea ascendentă UE-NodB, stația de bază realizează estimări frecvente ale valorii raportului SIR (Signal-to-Interference Ratio) recepționat, și le compară cu o valoare de referință a SIR prestabilită.

Dacă valoarea SIR măsurată este mai mare decât valoarea de referință prestabilită, NodB va comanda terminalului UE să micșoreze puterea de emisie, iar dacă aceasta este prea mică atunci va comanda UE să crească această putere.

Ciclu măsurare-comandă-reacție este executat la o rată de 1500 de ori pe secundă (1.5kHz) pentru fiecare stație mobilă și astfel sistemul reacționează mai repede decât orice modificare semnificativă a pierderii pe calea de propagare care ar putea interveni, și chiar mai repede decât viteza de variație a fadingului rapid cu distribuție Rayleigh, pentru viteze reduse și medii de deplasare ale stației mobile. Astfel, controlul puterii în buclă închisă va împiedica orice dezechilibru de putere între toate semnalele corespunzătoare conexiunii ascendente, recepționate la NodB[32].

Controlul puterii este esențial deoarece utilizatorii transmit simultan, utilizând aceeași frecvență, astfel că inexacțiunile la nivelul controlului puterii duc la creșterea interferenței, ceea ce determină scăderea capacității rețelei.

Din punctul de vedere al receptorului NodB, puterea semnalului lui UE1 va fi întotdeauna egală cu puterea semnalului lui UE2 adică $P_1=P_2$, chiar dacă sunt la distanțe diferite de el. În acest caz se poate spune că valoarea SIR-ului este cea optimă, astfel că receptorul NodB va fi capabil să recepționeze în condiții de interferență reduse date provenite de la ambele terminale.

În figura 3.15. este reprezentat modul în care controlul puterii în buclă închisă pe conexiunea ascendentă UE-NodB influențează puterea semnalului recepționat [61], în cazul unui canal cu fading.

Aceeași tehnică de control al puterii în buclă închisă este de asemenea folosită pe conexiunea descendentă, deși aici motivația este diferită: pe conexiunea DL, nu există nici o problemă de genul "apropiat-îndepărtat" datorită scenariului "una la mai multe".

Toate semnalele din interiorul unei celule, sunt transmise de la o stație de bază NodB la toate stațiile mobile UE. Cu toate acestea este de dorit să se furnizeze

o cantitate suplimentară de putere la marginea celulei, stațiilor mobile în măsura în care ele sunt influențate de creșterea interferenței datorată celulelor vecine.

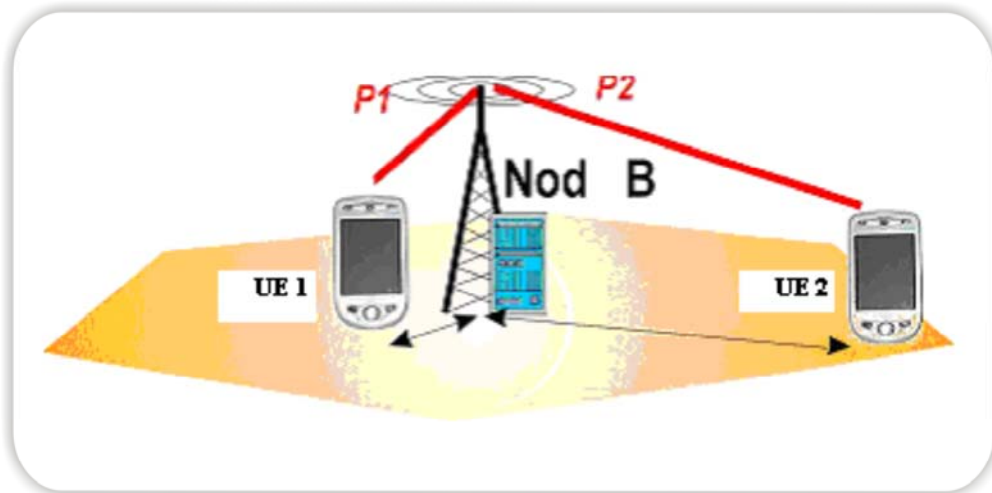


Figura 3.14. Ajustarea puterii de emisie a UE în funcție de poziția față de NodB

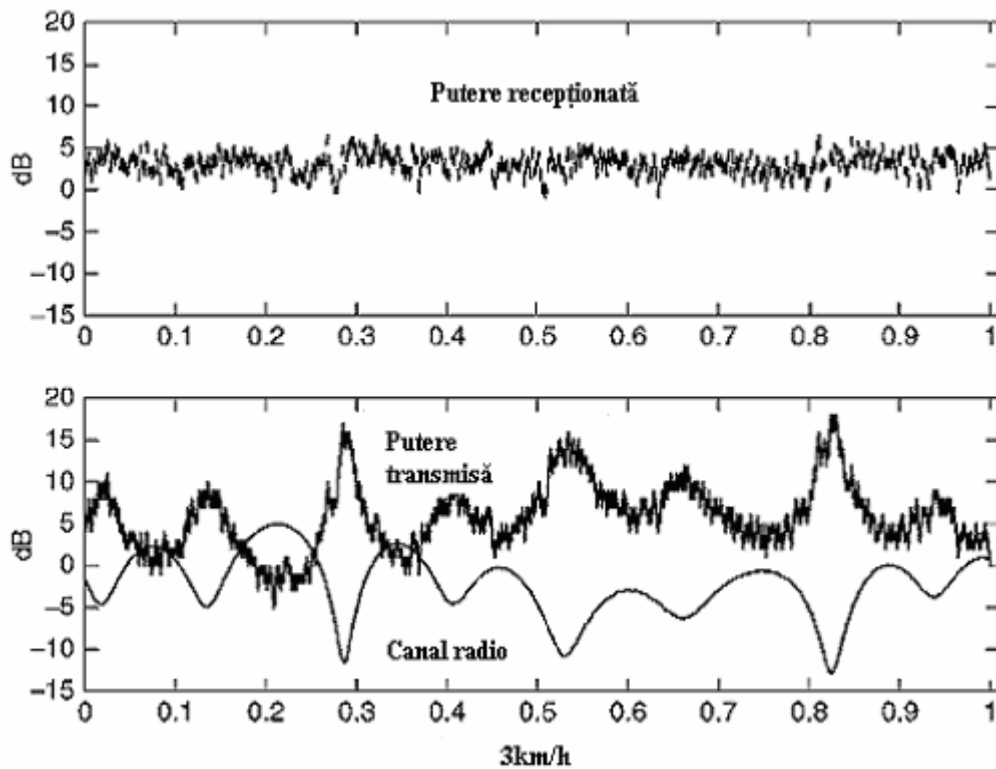


Figura 3.15. Compensarea efectelor canalului radio cu fading prin controlul puterii

Este necesară de asemenea o metodă de creștere a nivelului semnalelor slabe afectate de fadingul Rayleigh, la viteze mici de deplasare ale UE [62], pe conexiunea descendentă NodB-UE, când alte metode de corectare a erorilor bazate pe întretesere și coduri corectoare de erori nu funcționează în mod eficient. În figura 3.15 este reprezentat modul în care controlul puterii în buclă închisă pe conexiunea ascendentă UE-NodB influențează puterea semnalului recepționat, în cazul unui canal cu fading la viteză mică de deplasare a terminalului mobil.

Bucloa închisă de control al puterii comandă stației mobile să emită la o putere proporțională cu inversul puterii recepționate sau valorii parametrului SIR. Astfel stația mobilă UE are suficiente resurse să crească puterea de emisie, persistă foarte puțin fading rezidual și canalul devine un canal fără fading (nefadat), analizat după cum este perceput de receptorul NodB.

În timp ce acest efect de reducere a fadingului canalului este de dorit din punctul de vedere al receptorului, el determină o solicitare a transmițătorului prin creșterea puterii medii de transmisie. Acest aspect determină o situație critică și anume, o stație mobilă utilizând un canal radio afectat de fading sever, deci folosind o putere mare de transmisie va determina creșterea interferenței cu alte celule.

Există de asemenea încă o buclă de control a puterii conectată cu bucla închisă prin intermediul RNC (controlerul rețelei radio), care poartă denumirea de bucla deschisă de control a puterii [32] figura 3.16.

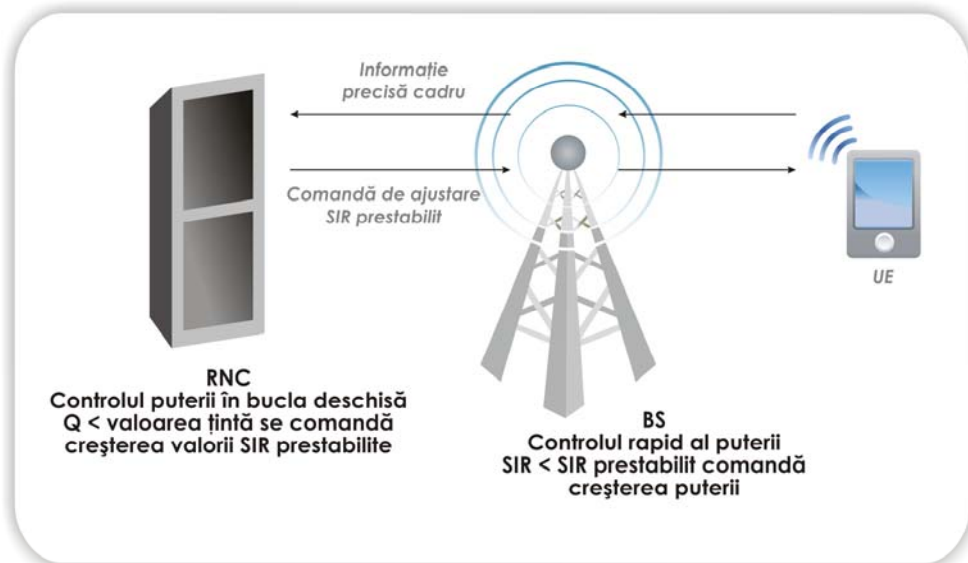


Figura 3.16. Controlul puterii în buclă deschisă la RNC în funcție de calitate Q

Bucloa deschisă de control al puterii ajustează valoarea de referință a parametrului SIR la stația de bază în funcție de nevoile individuale ale fiecărei conexiuni radio, și urmărește o calitate (Q), bună și constantă a acestei conexiuni, prin intermediul parametrului țintă BER (Bit error rate) sau BLER (Block error rate). Este nevoie de ajustarea valorii parametrului SIR, deoarece pentru o anumită valoare a sa prestabilă (solicită o valoare proporțională pentru E_b/N_0), spre exemplu să zicem pentru o valoare a BLER=1%, aceasta depinde de viteza de deplasare a UE și

de profilul intensității multicale $S(\tau)$. Astfel că, dacă se stabilește valoarea raportului SIR pentru cel mai defavorabil caz, adică viteze mari de deplasare ale UE, s-ar putea irosi o capacitate mare a sistemului pentru conexiuni la viteze mici.

În acest caz cea mai bună strategie este de a lăsa valoarea prestabilită a SIR să graviteze în jurul unei valori minime, care asigură astfel conexiunii calitatea cerută. Valoarea prestabilită a SIR se va modifica în timp, după cum este reprezentat în graficul din figura 3.17., pe măsură ce se modifică viteza UE și configurația mediului de propagare.

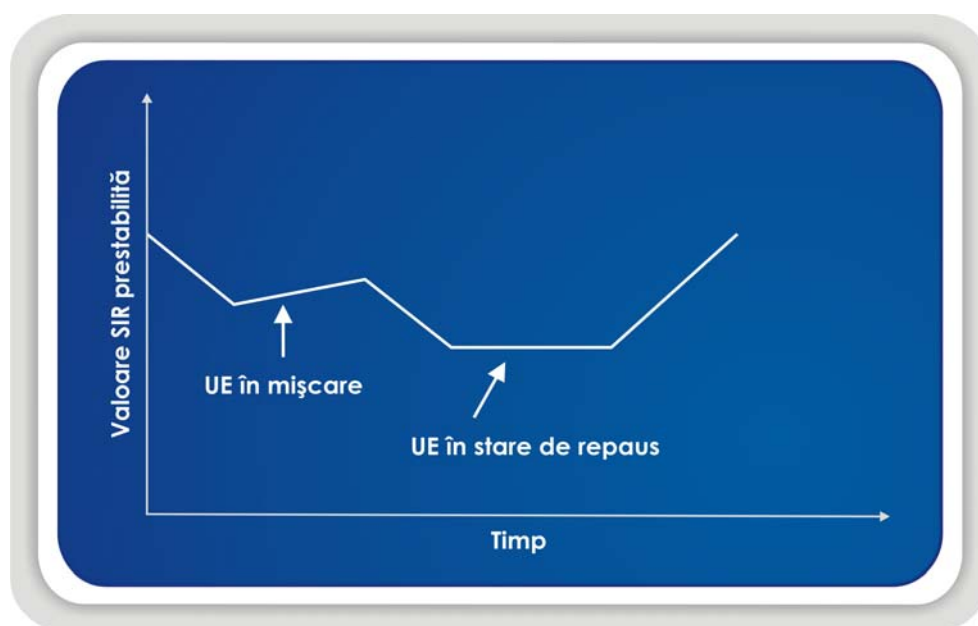


Figura 3.17. Modificarea valorii SIR în timp în funcție de deplasarea UE

Bucula deschisă de control a puterii de transmisie este implementată tipic la stația de bază prin intermediul unui capăt de cadru care încheie fiecare cadru de date transmise pe conexiunea ascendentă, cadru idem cu cel corespunzător CRC (Cyclic redundancy check) obținut în timpul decodificării cadrelor particulare ale utilizatorilor. În cazul în care cadrul indicator de calitate CQI (Channel quality indicator) indică controlerului rețelei radio (RNC) o calitate în scădere a transmisiei, RNC la rândul său comandă stației de bază BS creșterea valorii prestabilite a SIR la o valoare sigură. Motivul pentru care în bucla exterioară de control a puterii intervine și RNC, îl constituie faptul că această operațiune de control a puterii, trebuie efectuată doar după o analiză a posibilității de transfer lent realizată în interiorul RNC.

3.4. Proceduri de transfer, micro și macro diversitatea

Transferul (handoverul) este procesul prin care se schimbă sursa de întreținere a unei conexiuni existente [63]. Putem vorbi despre transfer în sistem (adică în cadrul aceleiași rețele) sau se poate discuta despre transfer între sisteme în cazul în care conexiunea întreținută de un sistem (ex. UMTS) trebuie continuată cu

resurse radio din alt sistem (ex. GSM), acest caz fiind denumit și transfer hard (hard-handover), deoarece această trecere nu se realizează păstrând activă conexiunea.

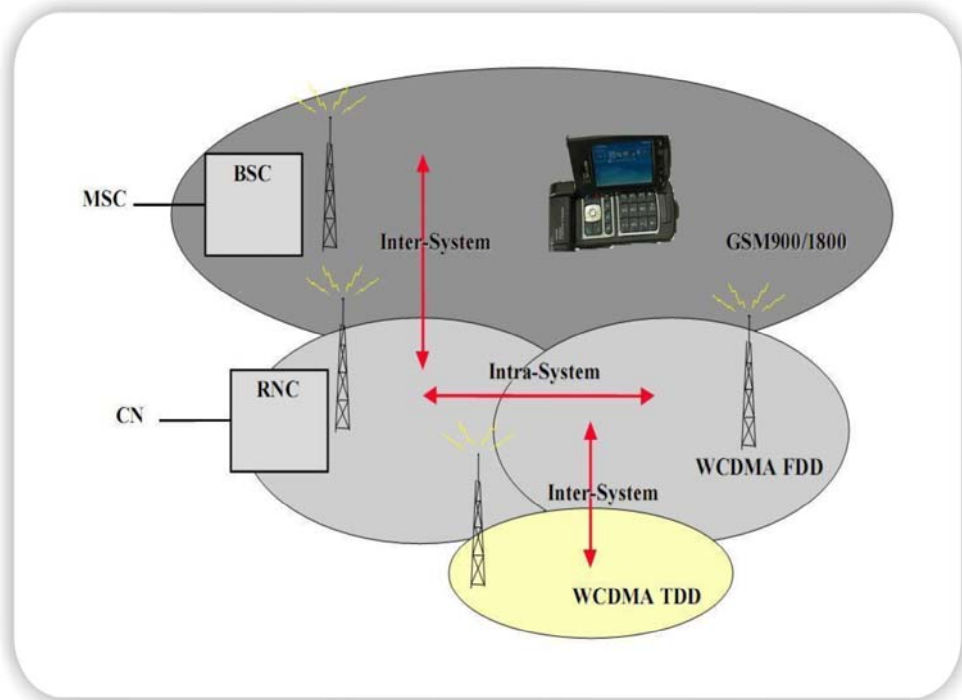


Figura 3.18. Handover-ul inter și intra sistem

3.4.1. Softer handover

În cazul în care UE este conectat la rețea de-a lungul a două sau trei celule (sectoare) deservite de aceeași BS, se vorbește despre softer handover (transfer încetinit). În timpul procedurii de softer handover, o stație mobilă se află în zona de suprapunere a două sectoare adiacente din aria de acoperire a celulei, corespunzătoare unei stații de bază. Comunicațiile între UE și BS vor avea loc concomitent prin intermediul a două canale cu interfață radio, unul pentru fiecare sector separat. Acest aspect presupune utilizarea a două coduri separate pe conexiunea DL, astfel încât UE să poată distinge semnalele. Cele două semnale sunt recepționate de UE prin intermediul receptorului Rake, asemănător cu recepția multicale, cu excepția faptului că degetele au nevoie să cunoască codul respectiv pentru fiecare sector, pentru a putea realiza corect operația de refacere a semnalului.

Pe conexiunea ascendentă UL, un proces similar are loc la NodB: codul de canal al stației mobile este recepționat în fiecare sector și apoi direcționat în banda de bază a receptorului Rake. Pe durata procedurii de transfer încetinit, este activă doar o singură buclă de control a puterii de emisie pe conexiune. Acest tip de procedură de transfer are loc la aproximativ 5-15% dintre conexiuni.

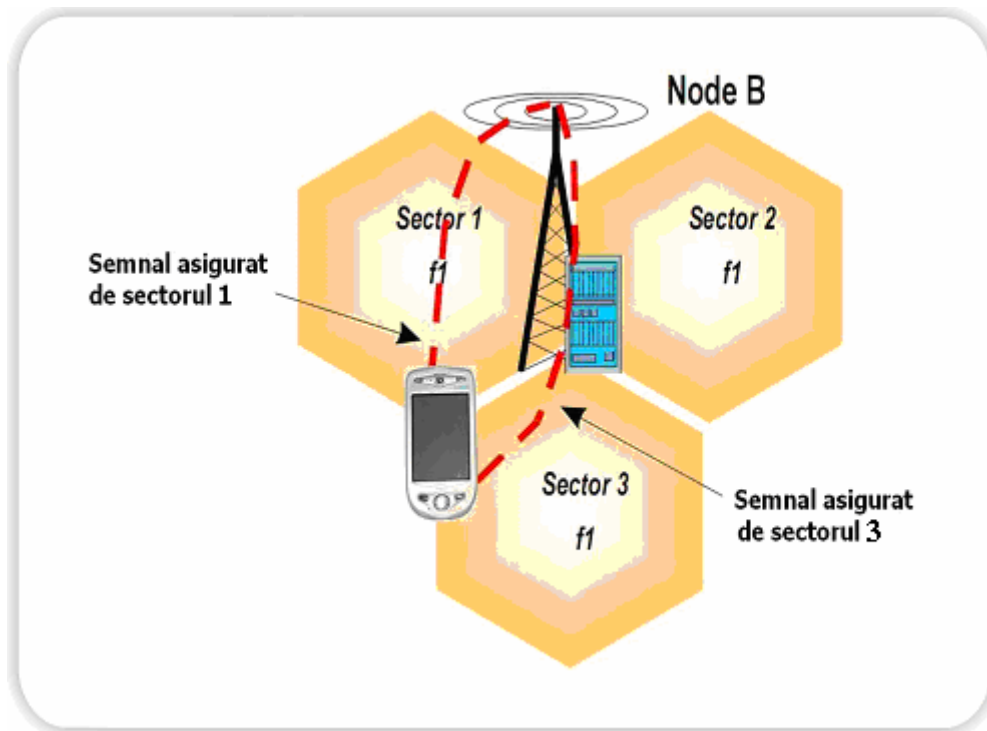


Figura 3.19. Procedura de softer handover

3.4.2. Soft handover

O caracteristică a rețelei UMTS constă în comunicarea cu UE prin intermediul mai multor stații de bază (în general două). Active set cell (lista celulelor active) este o listă de celule (sectoare) pe suprafața căreia UE este conectat la rețea și astfel prin intermediul acestora se realizează setările legăturii radio.

În figura 3.20 este reprezentat procesul de soft handover (transfer lent) [64], a unei stații mobile care în acest caz este poziționată, în zona de suprapunere a ariei de acoperire corespunzătoare a două sectoare aparținând la două celule cu stații de bază diferite.

Identic procedurii de softer handover comunicațiile între UE și BS au loc concomitent prin intermediul a două canale radio, corespunzătoare la fiecare stație de bază separat, astfel că și în cazul procedurii de soft handover ambele semnale, sunt recepționate la nivelul UE prin prelucrarea Rake, respectiv pe baza raportului de combinare maxim (MRC).

Analiza asupra procedurilor de transfer realizată din punct de vedere al UE, indică faptul că există foarte puține diferențe între procedura de transfer softer și soft, cu toate acestea pe conexiunea UL (UE-BS) procedura de soft handover diferă semnificativ față de cea softer handover prin prisma faptului că, codul de canal al echipamentului de utilizator UE este recepționat de cele două BS, dar datele primite sunt apoi dirijate la RNC pentru combinare. Astfel pe conexiunea UL ajung la RNC semnale prin intermediul a două BS, iar apoi în RNC acestea sunt prelucrate și transmise mai departe spre nivelele superioare. Pe conexiunea DL receptorul RAKE din UE combină semnalele recepționate prin intermediul celor două stații de bază.

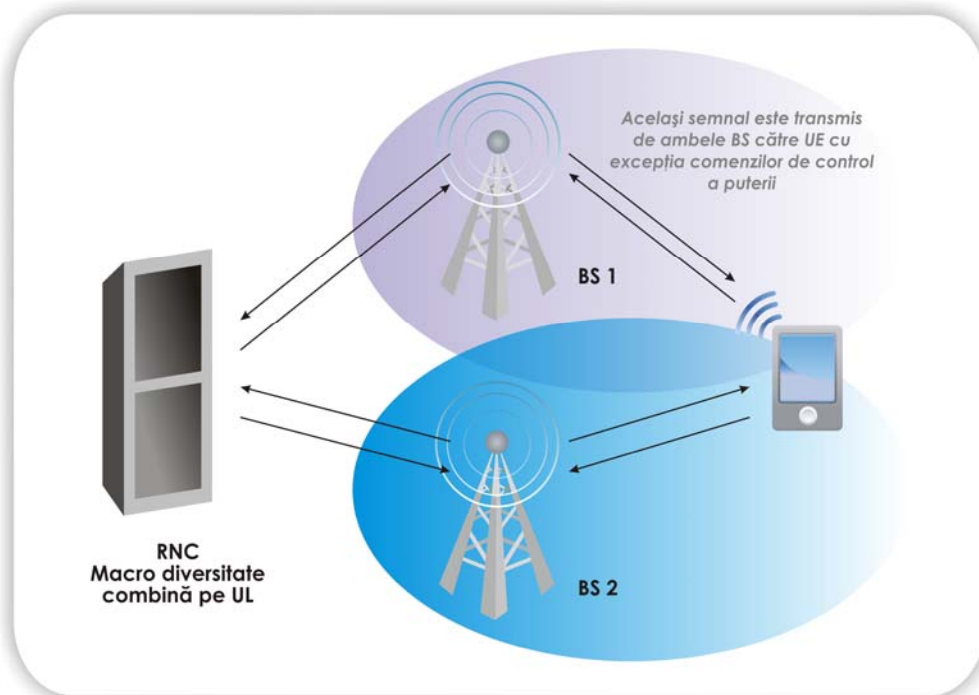


Figura 3.20. Procedura de soft handover

Acest lucru se face de obicei astfel încât același indicator de calitate al cadrului CQI folosit pentru controlul puterii în bucla exterioară [65], este utilizat de asemenea pentru a selecta canalul cu parametrii cei mai buni dintre cei doi posibili candidați în RNC.

Această selecție are loc după fiecare perioadă de întrețesere, adică la fiecare 10-80 ms. În timpul procedurii de soft handover sunt active două bucle de control ale puterii pe conexiune, una pentru fiecare BS [66].

Procedurile soft handover se produc în aproximativ 20-40% din conexiuni, și pentru desfășurarea corectă a acestor proceduri, sistemul trebuie să furnizeze resurse suplimentare, resurse care necesită a fi luate în considerare în faza de planificare a rețelei:

- Canale receptoare Rake suplimentare în stațiile de bază;
- Legături de transmisie suplimentare între BS și RNC;
- Degete Rake suplimentare în structura constructivă a UE.

Se subliniază faptul că procedurile de soft handover și softer handover pot avea loc în combinație una cu cealaltă.

De precizat este faptul că, aceste tipuri de proceduri de transfer specifice rețelelor CDMA [63], sunt necesare din motive similare cum ar fi controlul puterii în buclă închisă: fără procedurile de transfer soft/softer ar apărea fenomene de „depărtat-apropiat” determinate de o stație mobilă UE care interferă profund din celula de origine, cu o altă celulă adiacentă, fără a avea controlată puterea de emisie. Foarte rapid și frecvent procedurile de transfer hard (către o altă rețea) ar putea în mare măsură evita această problemă, cu toate acestea ele pot fi executate

numai cu anumite întârzieri, timp în care fenomenele de „depărtat-apropiat” s-ar putea amplifica. Deci, cu cât controlul puterii este mai rapid, procedurile de transfer soft/softer sunt un instrument esențial de atenuare a interferenței în rețelele bazate pe tehnologia WCDMA [67].

Față de procedurile de transfer soft/softer, WCDMA oferă și alte tipuri de proceduri:

- Transferuri brute inter-frecvență care pot fi folosite de exemplu pentru a transfera o MS de pe o purtătoare de frecvență WCDMA pe alta. O aplicație de acest gen este capacitatea mare a stației de bază cu mai multe purtătoare;
- Transferuri brute inter-sistem care au loc între sistemul WCDMA - FDD și un alt sistem, cum ar fi WCDMA - TDD sau GSM.

Utilizatorul UE este în deplasare din raza celulei deservită de BS1, în raza celulei deservită de BS2. La început, UE este conectat la BS1, nivelul de putere scade (la fel și SIR) în deplasarea către BS2 – figura 3.21. Într-un anumit punct, nivelul de semnal de la stația de bază 2 este suficient de mare pentru ca UE să poată comunica în continuare prin BS1 dar și prin BS 2. Deplasarea dacă se continuă în acest sens, atunci nivelul semnalului de la BS2 crește, în timp ce nivelul semnalului de la BS1 scade, până la un nivel care nu mai este suficient pentru a menține conexiunea activă prin BS1. În situația în care UE comunică prin intermediul a două BS, se poate spune că avem macrodiversitate, acest aspect îl vom analiza puțin mai târziu în cuprinsul acestui capitol.

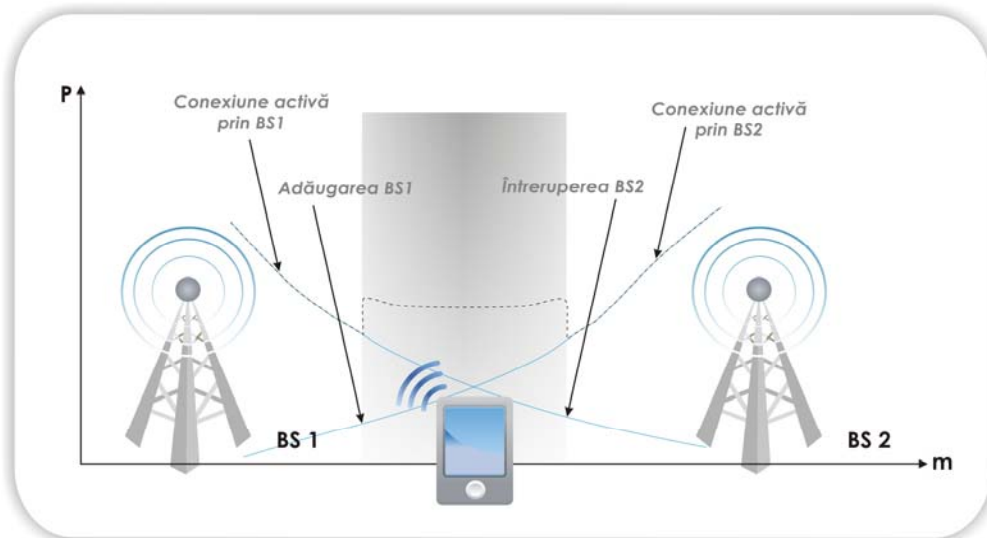


Figura 3.21. Variația puterii pe parcursul deplasării UE în procesul de soft handover

De menționat este faptul că soft handoverul se poate realiza chiar dacă cele două BS sunt conectate la un RNC diferit, atâta vreme cât celula care urmează să preia convorbirea lucrează pe aceeași frecvență.

3.4.3. Hard handover

În acest caz, se poate spune că handoverul se produce trecând de la un NodeB1 specific unei celule cu o frecvență de lucru, la un alt NodeB2 specific altei celule cu altă frecvență diferită de cea inițială figura 3.22., ambele în tehnologie WCDMA. În acest caz conexiunea stabilită prin intermediul NodeB1 se va întrerupe și se va restabili o nouă conexiune prin intermediul NodeB2. Întreruperea conexiunii este de nedorit dar se poate produce dacă sectorul vecin sau celula vecină sunt nedecarate în rețea, adică nu apare în lista celulelor active. Lipsa declarării sectorului sau celulei determină și creșterea nivelului de interferență în zona respectivă.

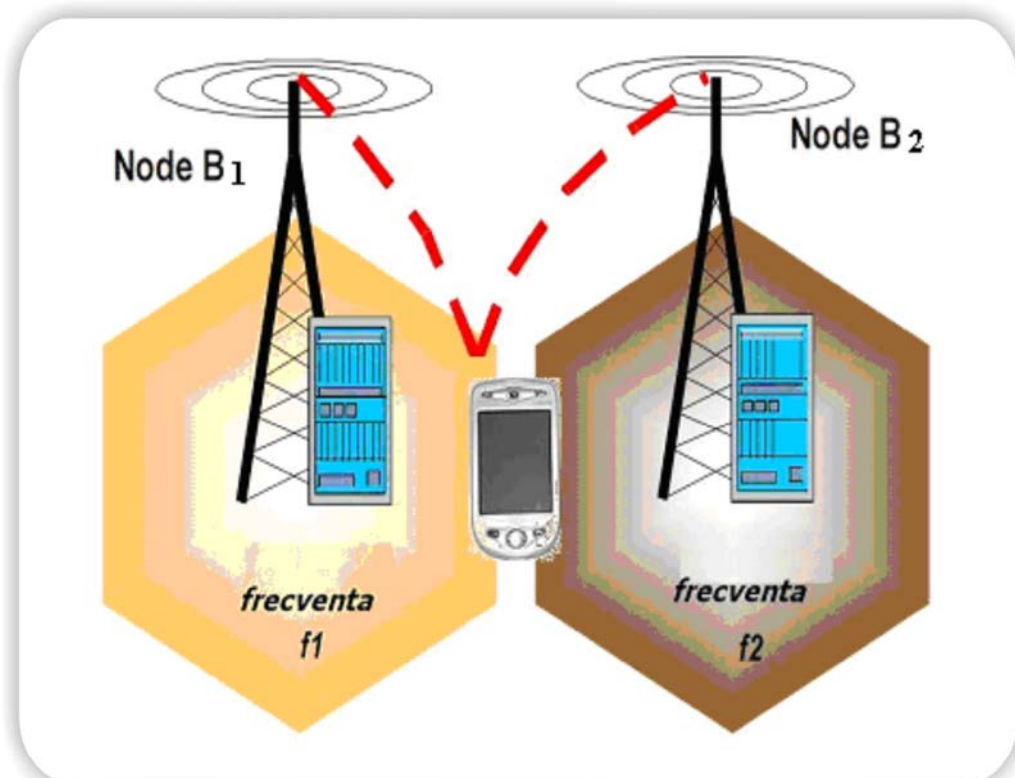


Figura 3.22. Hard handover

Un alt exemplu de hard handover este prezentat în figura 3.23, unde sunt reprezentate două stații de bază conectate la două RNC-uri diferite. În acest caz, deși se lucrează la aceeași frecvență dacă nu avem legătură pe interfața Iur trecerea de pe o stație pe cealaltă se va face cu întreruperea conexiunii.

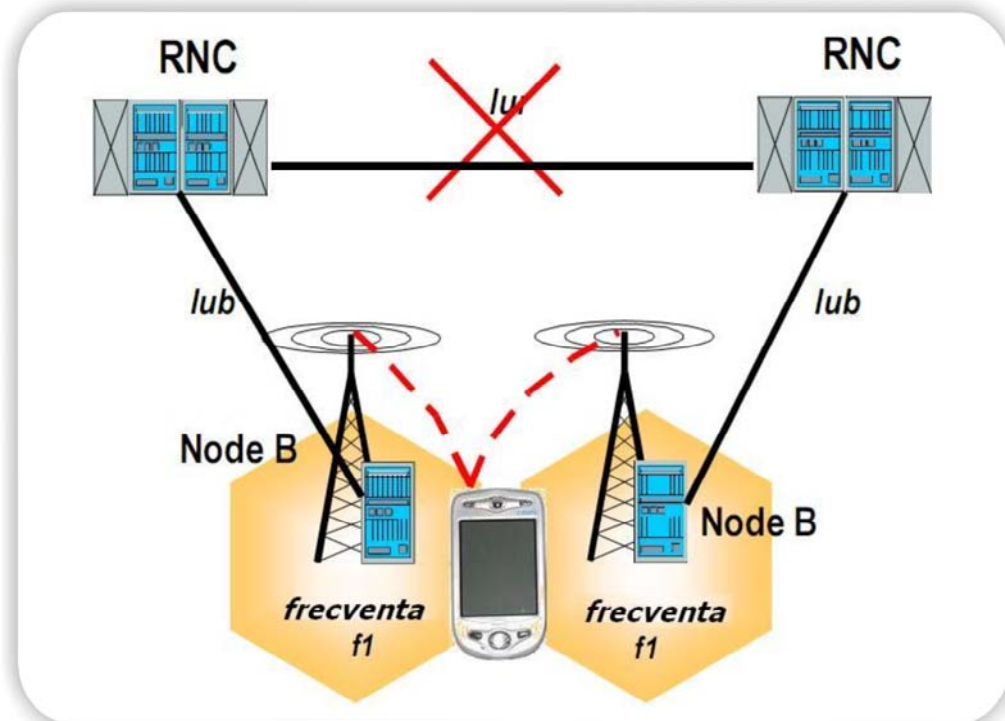


Figura 3.23. Hard handover sub aceeași frecvență

Conform aspectelor legate de handover subliniate anterior la nivelul rețelei UTRAN-FDD se poate concluziona că avem următoarele posibile tipuri de transferuri:

- Intra-mod handover care poate fi soft, softer sau hard handover acesta din urmă în varianta intra sau inter frecvență [68].
- Inter-mod handover adică transfer în modul UTRAN-TDD
- Inter-sistem handover, care conform specificațiilor Release 99, presupune doar transferuri către sisteme GSM, care operează pe frecvențe de 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz.

Un aspect foarte important al procedurii de transfer la nivelul conexiunii fizice îl constituie parametrul sau parametrii care trebuie măsurați pentru handover și modul în care se pot realiza aceste măsurători. Spre exemplu, pentru cazul intra-mod handover-ului UTRAN-FDD acesta se bazează pe rezultatele măsurate din canalul CPICH [69] ale parametrului E_c/N_0 . De asemenea alți parametrii sugestivi care pot fi obținuți prin măsurători de către terminalul UE din canalul CPICH ar fi:

- RSCP (Received Signal Code Power) – puterea de semnal a codului recepționat, care ne indică puterea recepționată pe un cod după procesul de refacere a semnalului împrăștiat, definită pe simbolurile pilot
- RSSI (Received Signal Strength Indicator) – indicatorul de putere a semnalului recepționat care indică nivelul de puterea recepționată din semnalul de bandă largă, în interiorul benzii canalului radio.
- E_c/N_0 – ce reprezintă puterea codului semnalului recepționat raportată la puterea totală din banda canalului sau altfel spus raportul RSCP/RSSI.

Cunoașterea acestor parametri este esențială pentru luarea unei decizii în momentul derulării unei proceduri de handover.

3.4.4. Mecanismul deciziei de execuție a handover-ului.

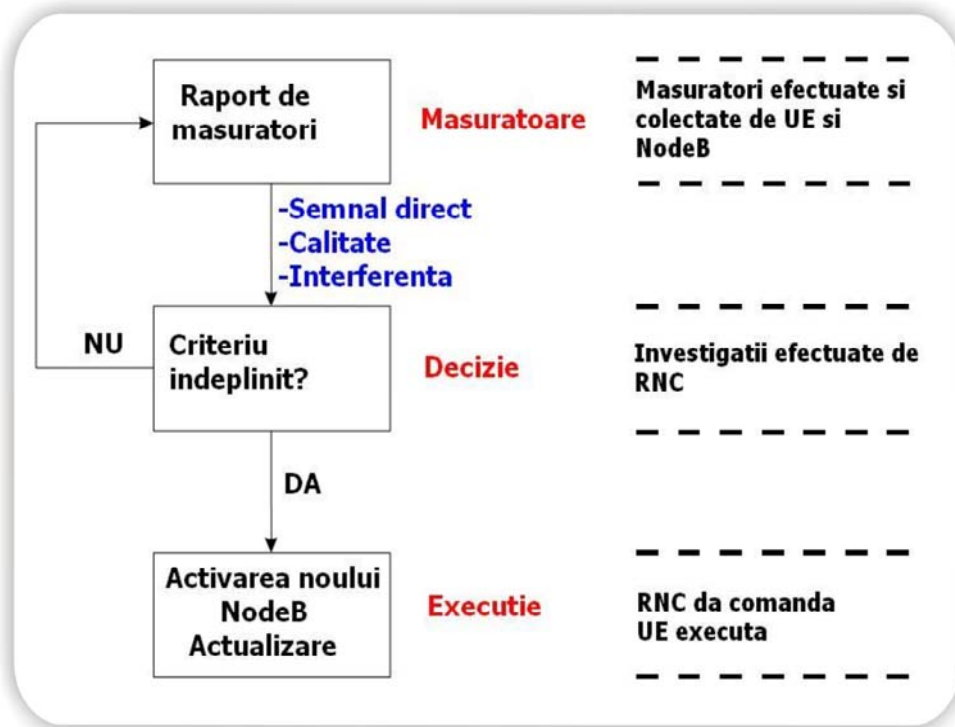


Figura 3.24. Mecanismul realizare a handover-ului

Pe parcursul conexiunii UE face măsurători continue a câtorva parametri amintiți anterior RSSI, RSCP, CQI raportat la celulele vecine, măsurători care se trimit spre RNC. Aceste detalii se extrag din PICH-urile celulelor. RNC-ul verifică continuu aceste măsurători, iar când observă că nivelul de semnal radio de la o celulă depășește un anumit prag setat, o va adăuga în lista celulelor active (active set), această listă poate avea minim o celulă și maxim trei.

3.4.5. Micro diversitate

Făcând o referire la softer handover și la lista de active cell apar doi termeni care descriu componentele multicale: micro diversitate și macro diversitate. Vorbim despre micro diversitate atunci când componentele multicale sunt combinate în receptorul NodeB.

Receptorul (Rake) al NodeB este astfel conceput pentru a prelucra semnalele propagate pe multiple căi. Semnalul propagat pe calea radio suferă reflexii și refracții de pe obstacolele și suprafețele pe care le întâlnește în calea de propagare, iar la recepție ajung mai multe replici ale semnalului original [70], fiecare cu o

diferență de fază sau separare în timp. Microdiversitatea se manifestă atunci când semnalele propagate pe multiple căi, ajung la receptorul NodeB ce deservește o celulă sau mai multe sectoare ale unei celule acesta având capacitatea de a le combina coerent.

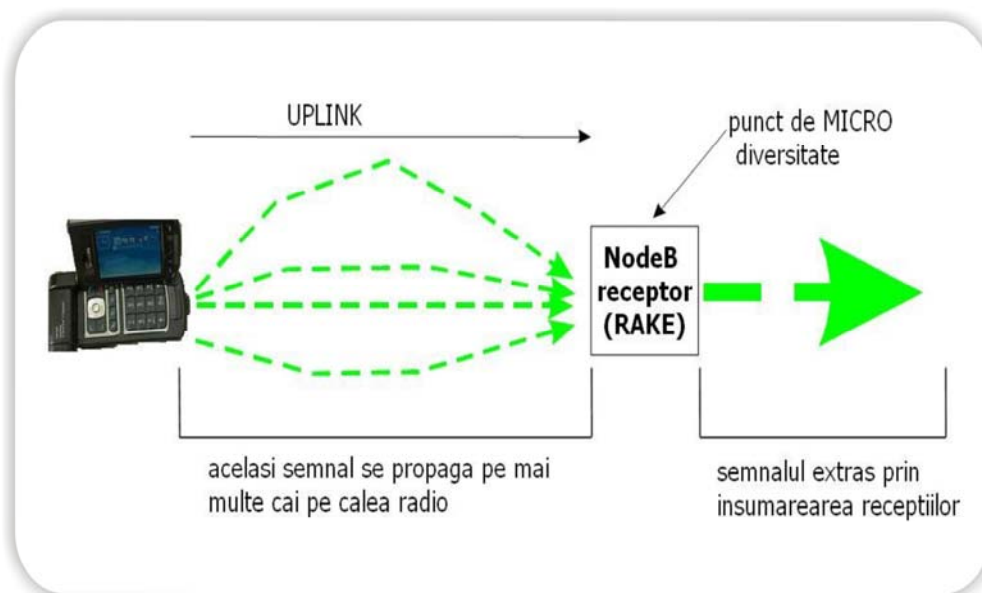


Figura 3.25. Micro diversitate

3.4.6. Macro diversitate

Deoarece UE poate comunica cu NodeB-urile din celule diferite, iar acestea la rândul lor pot fi conectate la RNC-uri diferite, această stare de fapt conduce la macro diversitate, aspect analizat la nivel de RNC.

În situația de față UE este conectat la rețea prin intermediul a trei NodeB, fiecare de la câte o celulă (sector de celulă) având BS diferite, una dintre stațiile de bază BS însă este conectată la un RNC diferit. În acest caz semnalul ajunge la RNC pe mai multe căi, acesta la rândul lui, după prelucrare și selecție trimite către nivelul superior semnalul cu nivelul cel mai bun.

Referitor la soft și softer handover, putem spune că din punct de vedere subiectiv se încearcă să se obțină semnalul cu caracteristicile cele mai bune din semnalele propagate pe multiple căi.

În concluzie, pot spune având în vedere că un UE nu poate fi lăsat să emită cu o putere prea mare, datorită interferențelor pe care le-ar produce ce ar determina implicit scăderea capacității rețelei, astfel că este imperios necesară declararea vecinătăților pentru a putea avea loc procedurile de transfer. Analiza acestei proceduri de declarare a vecinătăților respectiv de întocmire a listei activ cell va fi abordată în detaliu în Capitolul 4, declararea însă, a prea multe vecinătăți ar duce la un consum al resurselor radio nejustificat, deoarece ar permite conexiunea (în unele situații) inutil cu mai multe celule. Pot afirma astfel că o rețea va funcționa cu atât mai bine, cu cât poate echilibra mai bine această balanță.

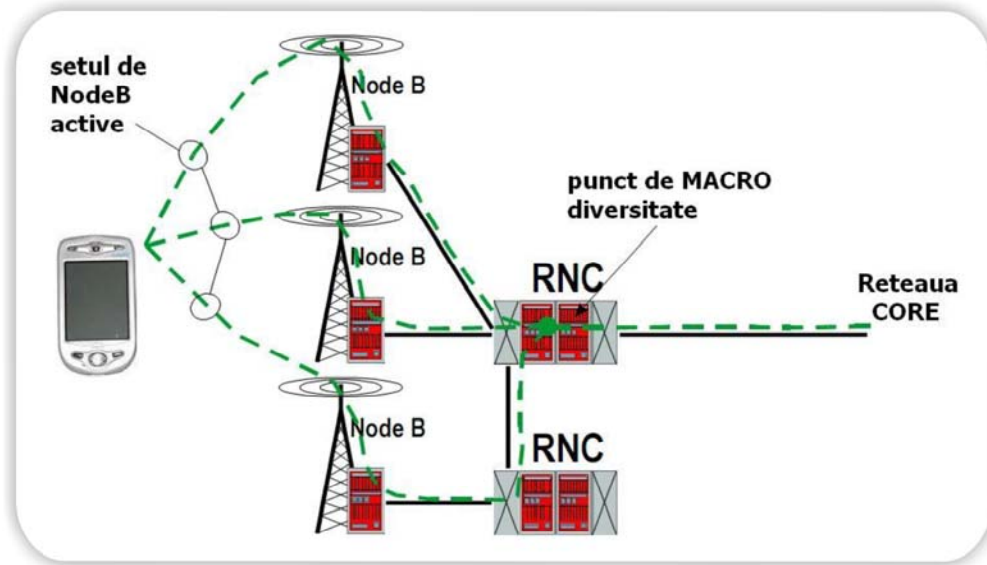


Figura 3.26. Macro diversitate

4. CRITERII DE IMPLEMENTARE ȘI OPTIMIZARE A UNEI REȚELE RADIO MOBILE CELULARE

4.1. Stabilirea poziției site-ului

În etapa de stabilire a poziției pe care urmează să se realizeze amplasarea unui site intervin mai multe elemente foarte importante pentru buna funcționare a rețelei de comunicații mobile, a serviciilor oferite de operator și reducerea costurilor. Având în vedere aceste cerințe și îndeplinirea lor am stabilit câteva aspecte importante cum ar fi:

- criteriile de amplasare a site-ului
- proiectarea site-ului
- plasamentul antenei BS

Din punct de vedere a criteriilor de amplasare a site-ului pentru NodB este imperios necesar să se țină cont de câteva condiții și anume:

- Poziționarea amplasamentului cu echipamentele NodB este investiție majoră și pe termen lung
- Selecția corespunzătoare a poziției site-ului (amplasamentului) NodB este crucială pentru buna funcționare pe viitor a rețelei 3G, LTE sau a oricărei alte rețele mobile.
- Nici o optimizare de RF sau de alți parametri ai rețelei, nu poate compensa o poziționare deficitară a site-ului respectiv echipamentelor NodB în teren.

În general, datorită acestor trei condiții foarte importante, echipele care lucrează la stabilirea amplasamentelor pentru NodB sau poziționarea echipamentelor BS ale unei alte rețele se află mereu sub presiunea numărului mare de amplasamente pe care trebuie să le asigure (competitive atât din punct de vedere al poziționării cât și al prețului), iar pe de altă parte echipele de planning (care realizează planificarea rețelei) se află permanent sub presiunea numărului mare de site-uri pe care trebuie să le accepte. Pornind de la acest aspect criteriul de selecție pentru amplasarea site-ului este unul crucial.

4.2. Criteriul de selecție pentru poziționarea site-ului

Poate fi împărțit în două și anume:

- **Criteriul incluziunii** presupune de câte ori un site poate sau nu poate fi considerat ca făcând parte din etapa de planificare a rețelei, respectiv site-urile care nu îndeplinesc condițiile cerute vor fi introduse în etapa de planificare doar dacă justifică anumite avantaje și nu în ultimul rând cele de ordin financiar
- **Criteriul priorității** implică selectarea site-urilor cu cea mai mare probabilitate de fi acceptate în etapa de planificare, iar acestea este de preferat a fi alese doar după o vizită prealabilă la fața locului și analiza anumitor caracteristici fizice ale zonei.

Dacă intrăm puțin în detalii și analizăm criteriul incluziunii sub aspect radio și de implementare, am să precizez câteva recomandări foarte importante de care este bine să se țină cont:

- site-ul să asigure pentru fiecare lob principal de radiație al fiecărei antene componente a lui, o bună acoperire a împrejurimilor fără prezența unor obstacole care să blocheze acest lucru;
- amplasarea BTS și a tuturor echipamentelor NodB cât mai aproape de antene pe acoperiș, stâlp sau la baza turnurilor metalice - figura 4.1;



Figura 4.1. Poziționarea echipamentelor NodB

- antena sa fie amplasată în așa fel încât lobul său principal să fie orientat să nu intersecteze lobul principal al altei antene - figura 4.2;

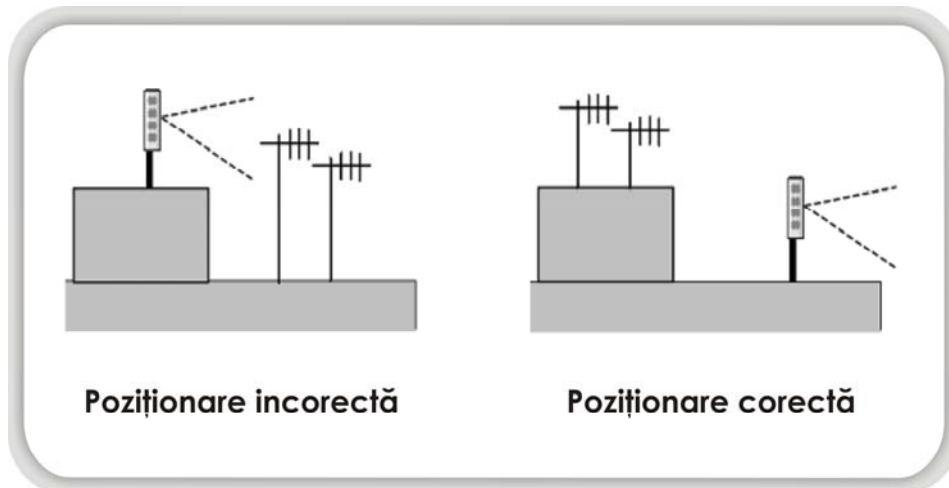


Figura 4.2. Poziționarea antenei

- lobul principal al antenei sa nu fie umbrat de clădiri sau structuri - figura 4.3 - aflate în imediata apropiere a antenei.

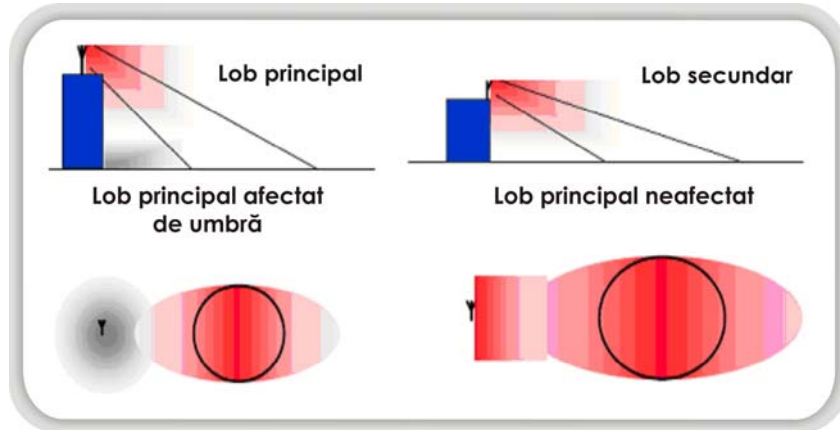


Figura 4.3. Lobul principal al antenei umbrat de clădire

- să fie posibil ca fiecare antenă din site să fie montată cel puțin deasupra acoperișului clădirilor înconjurătoare (funcție de distanța până la colțul clădirii și înălțimea ei tabelul 4.1) sau cu 10 m peste acesta, condiție generală ce trebuie respectată în acest caz conform figurii 4.4.

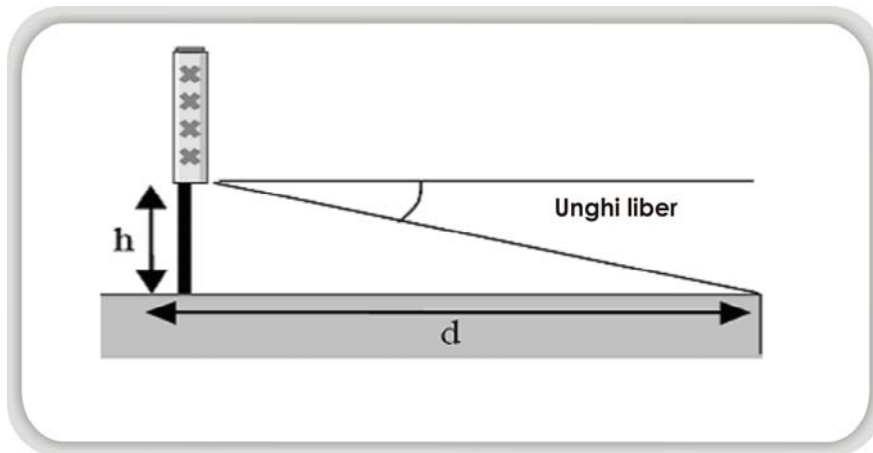


Figura 4.4. Amplasarea antenei site-ului pentru evitarea umbririi lobului principal

Tabelul 4.1: Distanța până la colțul clădirii și înălțimea antenei

$d < 10\text{m}$	$h > d/2$
$10 < d < 20\text{m}$	$h > d/3$
$d > 20\text{m}$	$h > d/4$

- celulele învecinate (sectoare) ale rețelei, să aibă înălțimi ale antenelor care se încadrează în limitele de amplasare cu o diferență de max.15m. Această

condiție poate fi îndeplinită în funcție de zonă, prin amplasarea echipamentelor site-ului conform figurii 4.4.

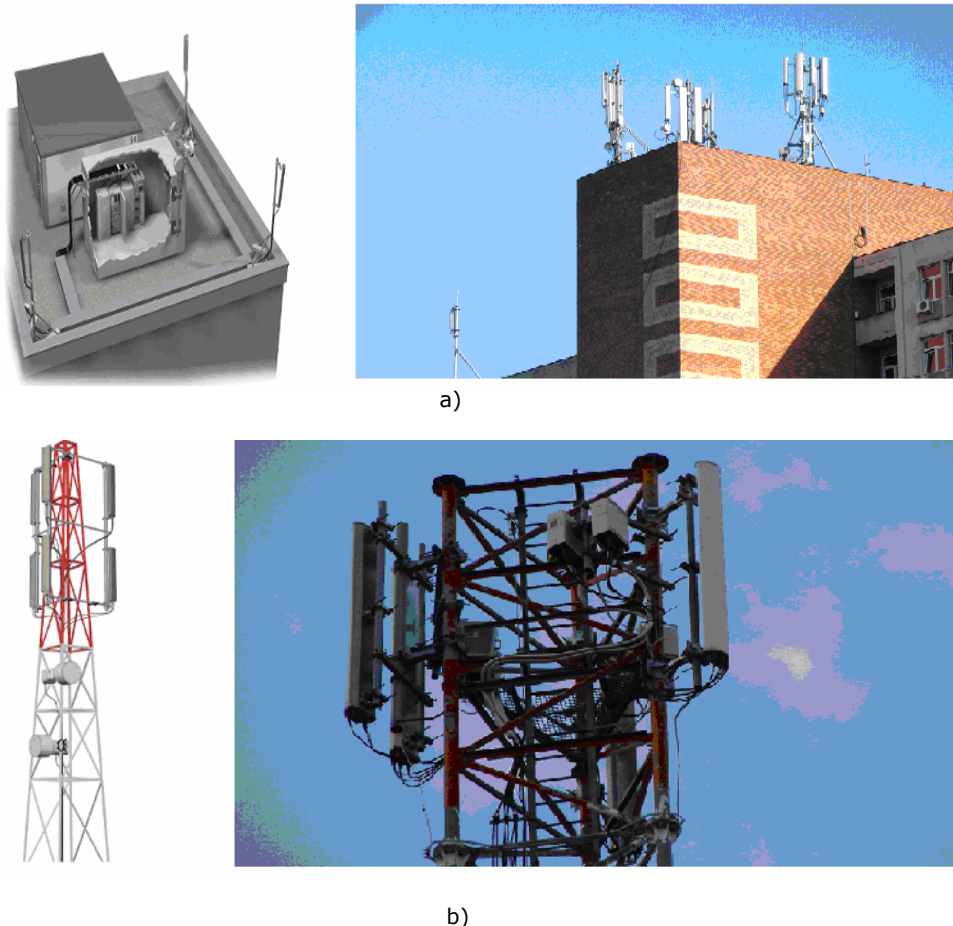


Figura 4.5 Amplasare pe: a) acoperiș b) turn

- celulele învecinate să aibă dimensiuni similare;
- site-ul sa fie pe cât posibil dominant și să nu provoace interferențe pentru celulele vecine;
- să fie protejat față de clădirile înconjurătoare care ar putea fi construite ulterior și ar bloca lobul principal al antenei;
- lungimea cablurilor între antene și echipamentele NodB să fie rezonabilă astfel ca atenuarea să nu depășească valoarea de 3dB utilizată la calculele de proiectare;
- să se permită accesul permanent pentru asigurarea mentenanței la echipamentele site-ului, surse pentru alimentarea corespunzătoare a NodB, și de asemenea prețul de cost pentru găzduirea sa, să fie unul acceptabil pentru operator;

Sub aspectul criteriului priorității merită să specific următoarele recomandări care nu sunt deloc de neglijat și anume:

- în cazul în care site-urile rețelei noi sunt amplasate peste suprafața acoperită de un alt operator de servicii mobile, situație des întâlnită și total nedorită datorită creșterii interferențelor inter-operatori;
- dacă site-urile rețelei noi se află poziționate în centrul celulelor iar la nodurile rețelei (celulelor) se află site-urile operatorului inițial - figura 4.6, este recomandabil să se reconfigureze structura celulară a rețelei noi astfel încât site-urile noi să ocupe același amplasament, cu rețeaua inițială sau cât mai aproape de acesta.

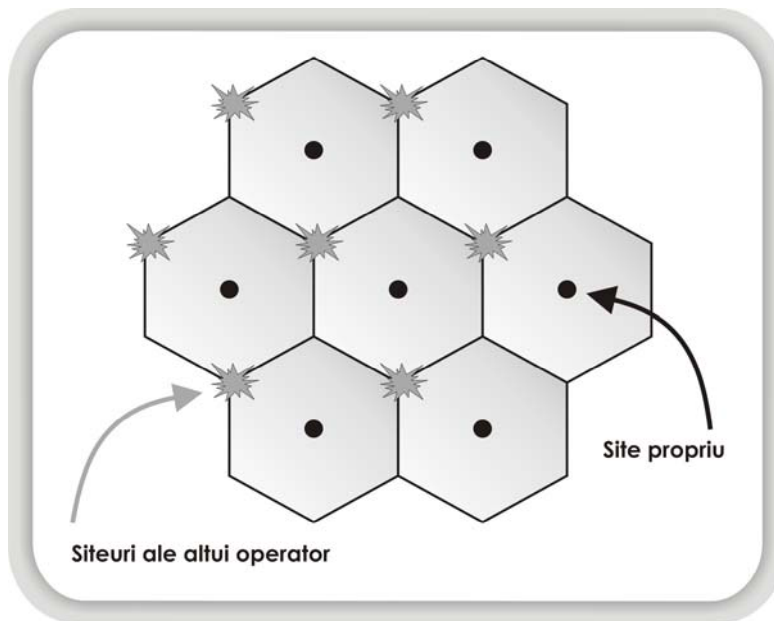


Figura 4.6. Poziționare defavorabilă a site-urilor

Problema interferenței influențează la maxim o conexiune sau alta dacă semnalul care produce interferența este puternic în timp ce propriul semnal este slab. La o separare de frecvență de 10 MHz valorile admisibile ale diferenței de putere pe conexiunea DL ajung până la valori de maxim 51dB. Măsurătorile puterii semnalului pe conexiunea DL - serviciu de voce pentru rețelele actuale 2G-3G, au indicat faptul că probabilitatea unei diferențe de putere mai mari de 41dB este de 1-2%, iar probabilitatea ca aceasta să fie mai mare de 51% este nulă.

- amplasarea antenelor în site trebuie să permită ajustarea azimutului și a elevației acestora;
- evitarea situațiilor în care amplasarea site-ului necesită aprobări speciale și de durată (baze militare, spitale, etc.);
- să fie amplasat corespunzător pentru zona de trafic pe care urmează să o deservească;
- să asigure pe viitor potențialul de a permite îmbunătățiri pentru echipamentele sale.

Majoritatea aspectelor prezentate și eventualele probleme care pot apărea la alegerea locului pe care urmează să funcționeze un site pot fi evidențiate și evitate prin întocmirea fișei site-ului care conține și diagrama de obstacole - figura 4.7.

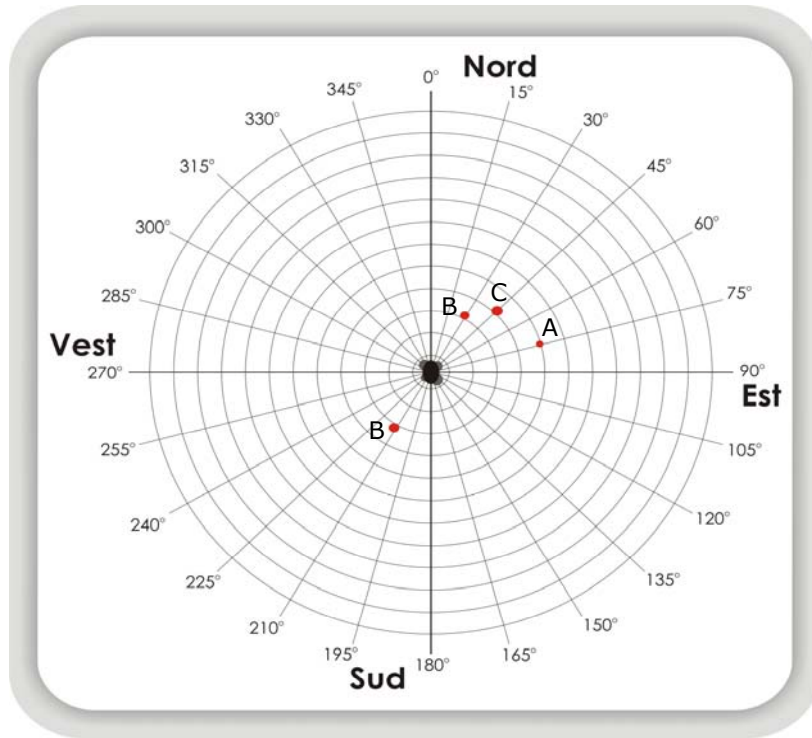


Figura 4.7. Diagrama de obstacole

Pentru **stabilirea diverselor poziții de amplasare a site-urilor** rețelei am utilizat un receptor GPS și diagrama de obstacole cu cercuri concenrice cu raza de 50m. Pe această diagramă, prezentată în figura 4.7, am marcat cu puncte roșii și litere poziția obstacolelor înconjurătoare, în funcție de unghiul de azimut, față de centrul cercurilor unde este amplasat site-ul. Astfel, semnificația literelor din figura 4.7 este: A - clădire, B - turn, C - copac, D - obstacol natural (munți, dealuri, etc.), E - aeroport, F - altele.

Tabelul 4.2: Legenda obstacolelor de pe diagramă

Unghi (°) și tip obstacol	Descriere	Înălțimea (m)
30°	(B) - Turn	80
45°	(C) - Copac	20
75°	(A) - Clădire	30
210°	(B) - Turn	150

De asemenea înălțimea aproximativă a obstacolului, tipul și unghiul de poziționare față de centrul cercurilor concentrice, sunt notate și în tabelul 4.2.

Fișa astfel elaborată conține o serie de detalii importante despre arhitectura locului de amplasare și mediul de propagare din zona respectivă, documentație care ulterior împreună cu o serie de fotografii panoramice va contribui la realizarea unei baze de date digitale utilizată în procesul de implementare al rețelei.

4.3. Tipuri de antene utilizate în site

Recomandările din paragraful precedent sunt relevante și de respectat în cazul rețelelor implementate după o planificare corespunzătoare, fie ele 3G sau LTE. Totuși există soluții fizice viabile de rezolvare a anumitor probleme care apar în situațiile rețelelor aflate deja în exploatare spre exemplu cazul mai sus amintit (interferența inter-operatori), respectiv interferențele care apar între rețele în canalele adiacente s-ar putea reduce considerabil dacă se utilizează un site comun și antene multiple care deserveșc diferite lungimi de undă 900MHz -1800Mhz - 2250Mhz (figura 4.8).

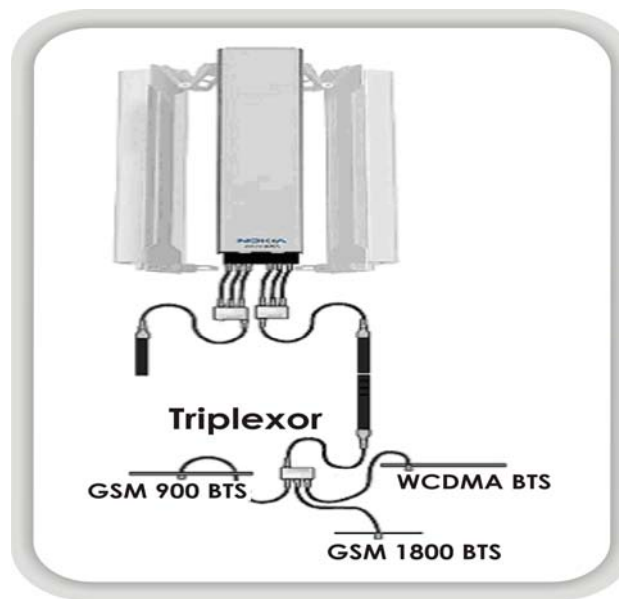


Figura 4.8. Ansamblu de antene multiple

Din punct de vedere al antenelor utilizate la BS se utilizează în mare parte antene ale producătorului Nokia figura 4.9, variante separate de single, dual-band 900-1800 Mhz sau 2100 Mhz tri-band.

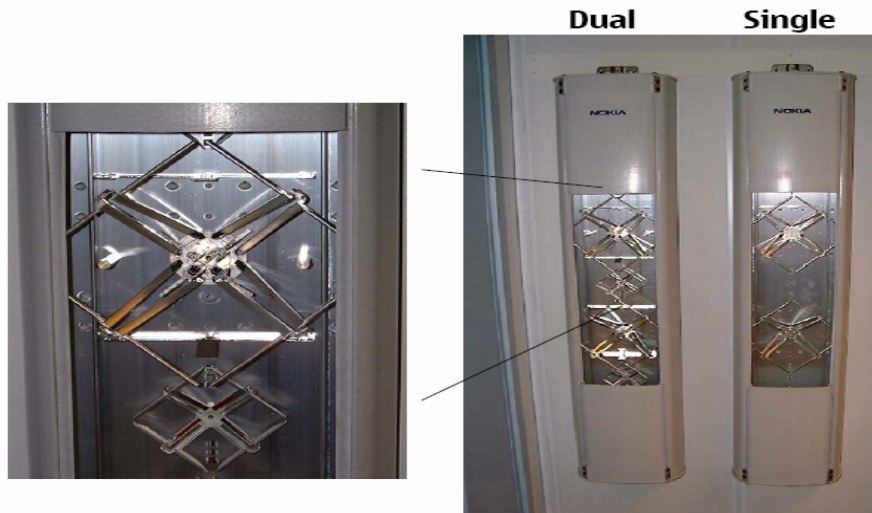


Figura 4.9. Configurații antene BS

Printre principalele tipuri de antene pot menționa cele cu polarizare verticală sau cross-polarizare, cele standard omnidirecționale, cu caracteristica de directivitate sub unghiuri de $33^\circ, 65^\circ, 88^\circ$, antene GSM900&WCDMA2100 cu elemente separate pentru ambele benzi, având conectori comuni și diplexor intern sau antene GSM900&GSM1800&WCDMA2100 proiectate să acopere frecvențe multiple, având un singur conector și reglaj unic de elevație[71]. De asemenea, utilizarea la nivelul NodB respectiv a antenelor BS, a diversității spațiale și a celei prin polarizare (figura 4.10) pe conexiunea DL asigură performanțe crescute site-ului în diferitele poziții unde este localizat.

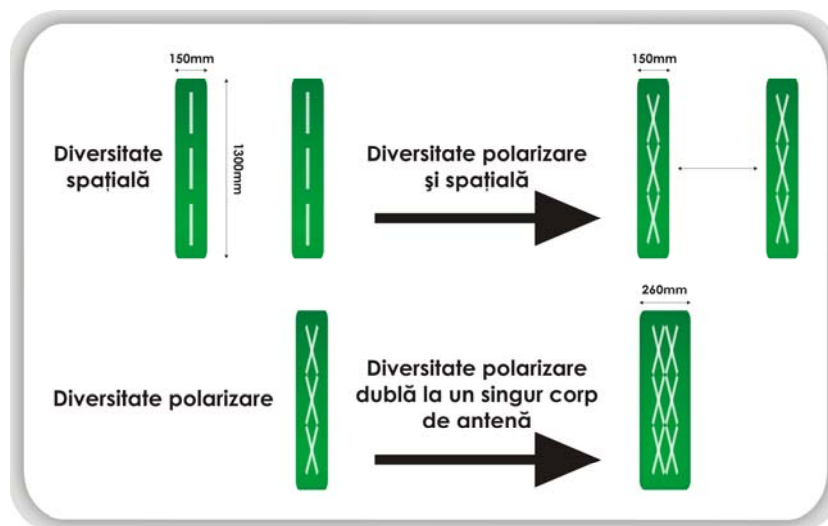


Figura 4.10. Antene cu diversitate spațială și prin polarizare

Alternative pentru îmbunătățirea capacității rețelei în prima fază, cea de implementare, ar fi:

- ❖ utilizarea a 6 sectoare/site ce determină o creștere a câștigului cu 80% (nu 100% datorită interferenței inter-sector)
- ❖ un număr mai mare de purtătoare radio/sector prin dublarea numărului acestora și reducerea puterii de emisie
- ❖ respectiv SRC (Smart Radio Concept)

Cel din urmă aspect și anume SRC (Smart Radio Concept) nu este de neglijat oferind avantaje nete față de diversitatea Rx pe 2 căi (figura 4.11). El este de luat în calcul la nivelul BS deoarece:

- asigură diversitate pe UL prin 4 ramuri receptoare pe sector
- valoarea maximă a raportului de combinare a celor 4 semnale pe UL formează unda de radiație a antenei.

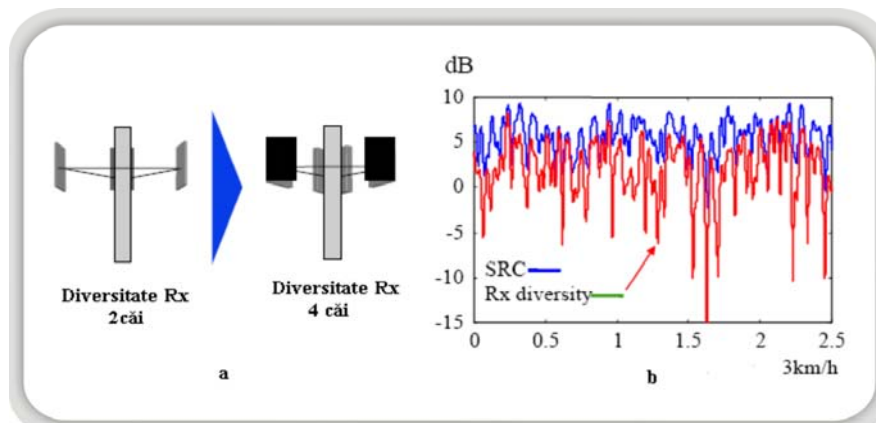


Figura 4.11. Diversitate 2Rx , 4Rx la Bs (a), respectiv performanțe SRC (b)

Utilizarea de antene cu două elemente radiante de bandă largă polarizate X (figura 4.10) și respectiv cu reglaj electric al elevației pot asigura performanțe suplimentare legate de acoperire site-ului în prima fază de implementare, iar mai apoi în faza a doua de optimizare, cu investiții suplimentare din partea operatorului antene multiple [72], pe conexiunea DL (Tx) (figura 4.12).

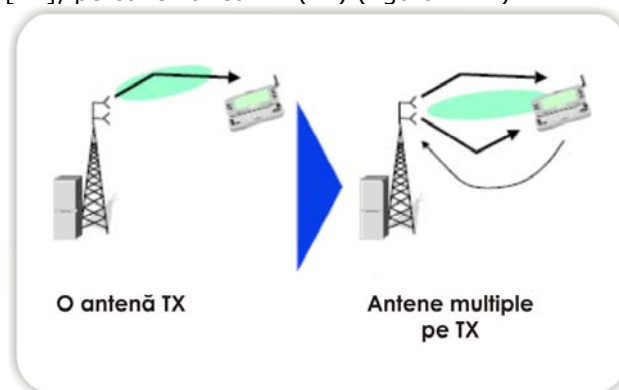


Figura 4.12. Diversitate pe DL

Aceste antene pot determina creșteri ale capacității de încărcare a conexiunii DL pe sector cu până la 70%, după cum se poate observa din graficul reprezentat în figura 4.13.

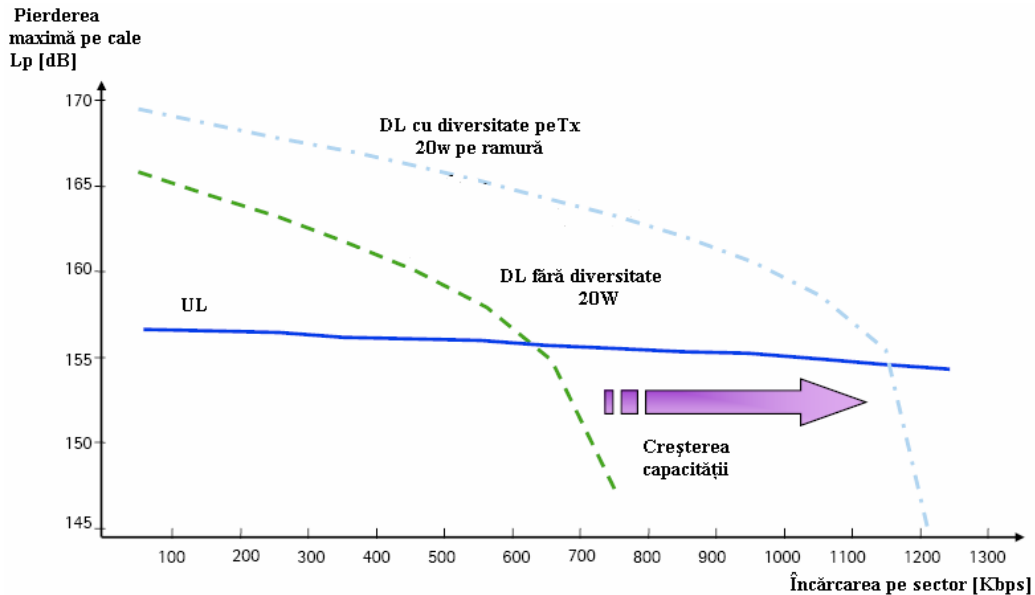


Figura 4.13. Variația capacității de încărcare în funcție de diversitate pe DL

4.4. Aspecte legate de planificarea acoperirii

Pentru etapa de planificare trebuie luate în calcul câteva aspecte importante și anume:

- marginile fadingului lent
- pierderile de semnal datorate pătrunderii în interiorul clădirilor.
Valoarea puterii de ieșire obținută în urma calculului bilanțului legăturii de comunicație conține și estimarea valorii maxime a pierderii pe calea de propagare pe DL, între antena emițătoare a BS și antena receptoare a UE, astfel că în etapa de planificare a acoperirii este necesar să fie luată în calcul
- umbrirea semnalului datorat construcțiilor din calea de propagare
- atenuarea semnalului pentru utilizatorii din interiorul clădirilor
- atenuarea semnalului datorată utilizatorului la nivelul corpului, toate acestea în situația în care nu s-a ținut cont de ele la calculul bilanțului legăturii de comunicație.

4.4.1. Marginile fadingului lent

Fadingul lent se datorează fenomenului de umbrire a semnalului prin obstrucționarea căii de propagare. În acest context, o celulă proiectată cu raza la limita maximă a pierderii căii de propagare va avea o probabilitate de acoperire exterioară de până la 75%, deci un număr mare de goluri de acoperire datorate fenomenului de umbrire. În acest context este neapărat indicat a se lua în calcul

marginile fadingului lent pentru a asigura o mai mare probabilitate de acoperire (figura 4.14), respectiv utilizarea unor celule cu rază mai mică presupune mai puține goluri în suprafața de acoperit, depinzând însă și de modelul de propagare folosit.

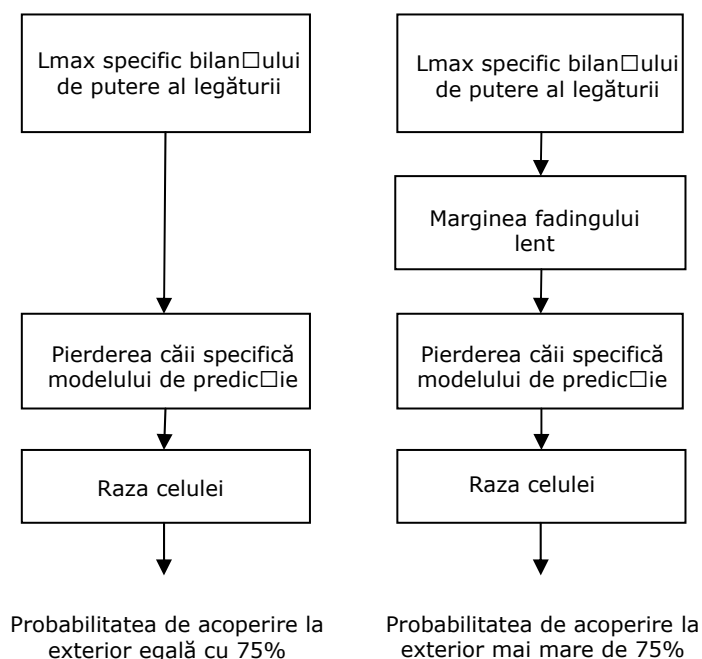


Figura 4.14. Algoritm de îmbunătățire a acoperirii

Raza celulei, în funcție de parametrii care intervin în planificare, se poate exprima astfel:

$$f(R) = L_{\max} - SFM \quad (1.4) \quad \text{unde}$$

L_{\max} - valoarea maximă a pierderii căii de propagare

SFM - marginea fadingului lent (Slow fading margin)

4.4.2 Pierderi ale nivelului de semnal în interiorul clădirilor

Nivelul semnalului radio care ajunge în interiorul clădirilor provenind de la antenele stațiilor de bază ale NodB poate fi estimat prin marginea pierderii de pătrundere în clădire BPL (Building penetration loss). Datorită fenomenului de umbrire produs de construcții, deviația standard a fadingului lent este mai mare în interiorul structurilor decât în exterior. Diferențe mari ale nivelului de semnal radio depinzând și de tipul structurilor (figura 4.15), cu variații de aproximativ de 10 - 15dB s-au constatat la încăperile cu deschideri (geamuri) față de alte încăperi închise, la nivelul solului sau la etaj, valoarea RSSI crescând totuși în cazul clădirilor etajate cu aproximativ 0,15dB/etaj.

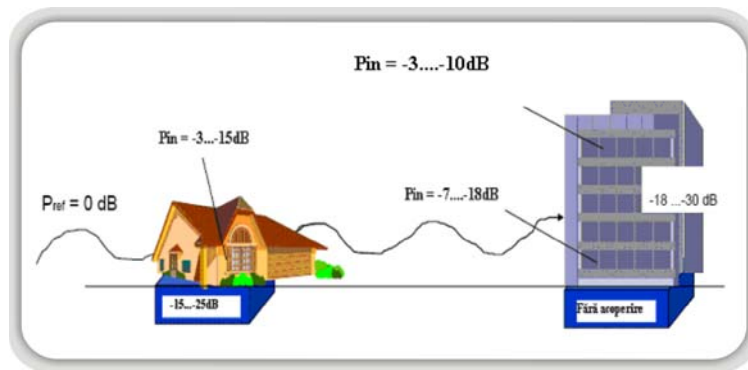


Figura 4.15. Variații ale nivelului de semnal la suprafața diverselor structuri din calea de propagare

Valoarea RSSI este importantă sub aspectul suprafeței de acoperire cu semnal radio. În acest context, determinarea valorii sale se realizează prin măsurători de câmp la nivelul interfeței radio UTRAN, în canalul P-CPICH.

4.4.3 Determinarea valorii minime a puterii semnalului pilot

Această valoare este foarte importantă în cadrul rețelei deoarece ea reprezintă practic valoarea limită minimă necesară, a nivelului de putere a semnalului pilot outdoor, în funcție de care se poate stabili probabilitatea de acoperire propusă.

Depinzând de zona care urmează să fie acoperită cu semnal radio, urbană, suburbană, rurală, tipul de serviciu utilizat (date sau voce) din tabelul 4.3, valoarea puterii semnalului pilot RSCP poate fi determinată prin măsurători la nivelul interfeței radio în canalul P-CCPCH și exemplificată separat pentru fiecare caz în parte în funcție de rata de bit, Eb/No, respectiv de distanța din zona de acoperire interioară (indoor) sau exterioară (outdoor).

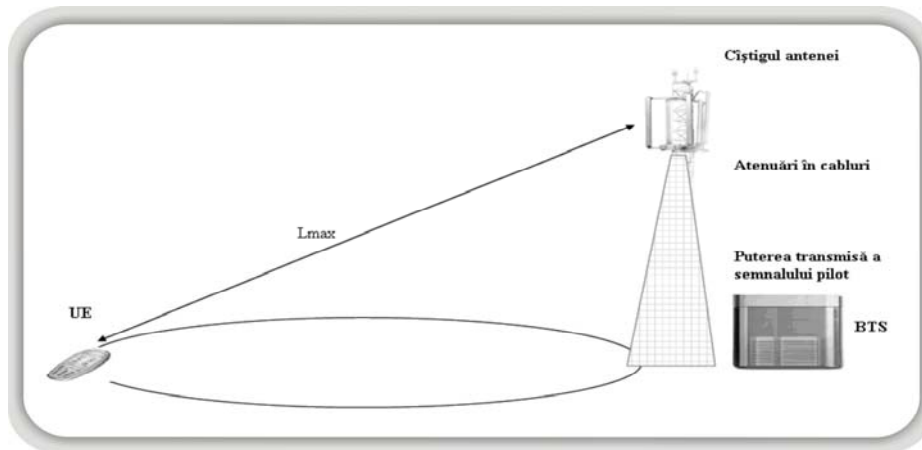


Figura 4.16. Elementele care intervin la determinarea valorii RSCP

Conform figurii 4.16 limita minimă a puterii semnalului pilot sau altfel spus valoarea RSCP este esențială pentru o stație mobilă UE aflată la limita celulei. Ea depinde de valoarea puterii semnalului pilot transmisă, atenuările din cablurile dintre echipamente și antenă, câștigul antenei, respectiv valoarea maximă a pierderilor L_{max} și limitelor fadingului. Din punct de vedere al dimensiunii celulelor sunt utilizate pentru realizarea acoperirii în teren macro celule 1-10 km, micro-celule 200-500m, respectiv pico-celule 50-100m (figura 4.17).

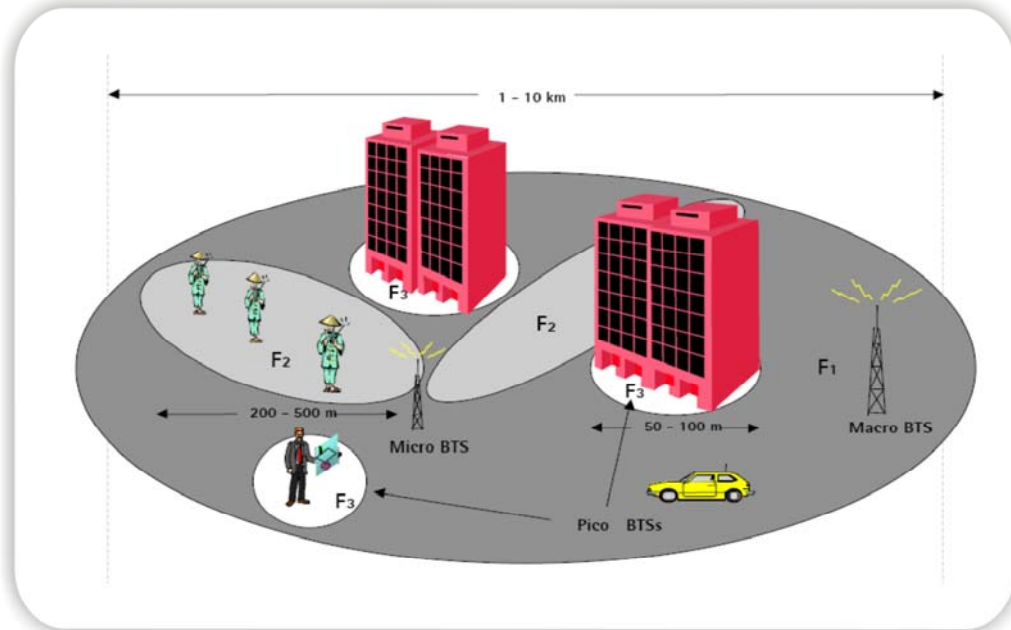


Figura 4.17. Dimensiuni ale celulelor utilizate la acoperire

4.5. Modele de propagare utilizate la implementare și optimizare

Este bine cunoscut faptul că pentru diferite medii de propagare (tipuri de teren) în etapa de implementare a rețelei sunt utilizate modele de propagare care pot fi:

- empirice - bazate pe ecuații obținute în urma unor măsurători intensive, modele utilizabile doar pentru medii identice cu cele în care sau făcut determinările, mici modificări ale caracteristicilor mediului determinând erori mari ale modalității de predicție legate de propagarea undei
- semi-empirice - combinație între modelele empirice și deterministe (combinație Cost-Hata cu Knife Edge)
- deterministe - propagarea undei este descrisă de traseul acesteia între antena emițătoare BS-NodB și receptoare UE în urma fenomenelor de reflexie, difracție și împrăștiere. Aceste modele pot fi dezvoltate pentru o anumită rețea în parte, sunt bazate pe tehnica de propagare optică și descriu cu mare acuratețe propagarea undei, însă au dezavantajul unui timp mare necesar pentru calcule.

Printre principalele modele folosite pentru implementarea și dezvoltarea rețelei amintesc:

1. modelul Okumura-Hata&CostHata model [73], adaptat prin măsurători și anumiți factori de corecție la domeniul de frecvențe specific rețelelor 3G, astfel:

- frecvența 1500 – 2000 Mhz;
- distanța (raza celulei - R) macrocelule 1-20 km;
- înălțimea antenei de emisie HBs 10 - 200 m;
- înălțimea antenei stației mobile hUE 1-10m.

Tabelul 4.3: Valori ale factorilor de corecție specifici zonei

Tipul suprafeței	Factor de corecție C [dB]
Zone urbane dense	-3
Zone centrale ale orașelor	0
Zone suburbane	12,27
Zone rurale	32,52

iar factorul de corecție C, specific modelului este dependent de zona de propagare conform tabelului (4.3).

2. modelul Cost&Walfish-Ikegami [74,75], model ce caracterizează propagarea undei în mediul urban, antena BS poziționată la nivelul sau deasupra acoperișului clădirilor, pierderea totală a căii de propagare compusă din două tipuri de pierderi, pe calea de vizibilitate directă LOS (Line of sight) și pierderi pe calea de vizibilitate obturată NLOS (Non line of sight), prin fenomene de difracție și împrăștiere la nivelul acoperișurilor și străzii, respectiv deplasării UE (figura 4.18).

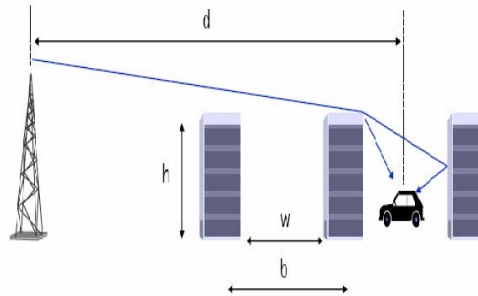


Figura 4.18. Aplicabilitatea modelului Walfish-Ikegami

4.6 Măsurători la nivelul interfeței radio UTRAN

În faza de lansare a rețelei o serie de măsurători de câmp sunt necesare pentru a verifica performanțele de bază ale acesteia, iar ulterior în procesul de realizare a acoperirii și optimizării rețelelor sunt necesare măsurători de câmp la nivelul rețelei care să ofere informații despre rețea legate de diferiți parametri respectiv posibilitatea lor de ajustare.

De asemenea, extinderea rețelei în faza de optimizare constituie o provocare deoarece performanțele inițiale ale rețelei trebuie menținute, în timp ce sunt adăugate noi amplasamente și noi frecvențe. Estimările modificărilor aduse în acoperire și calitatea serviciilor Qos (Quality of service) înaintea integrării în rețea a noilor amplasamente respectiv a declarării adiacenței acestora, se poate realiza tot doar prin măsurători. Această procedură de măsurare a diversilor parametri se poate realiza utilizând echipamente diverse și dedicate (figura 4.19) și anume:

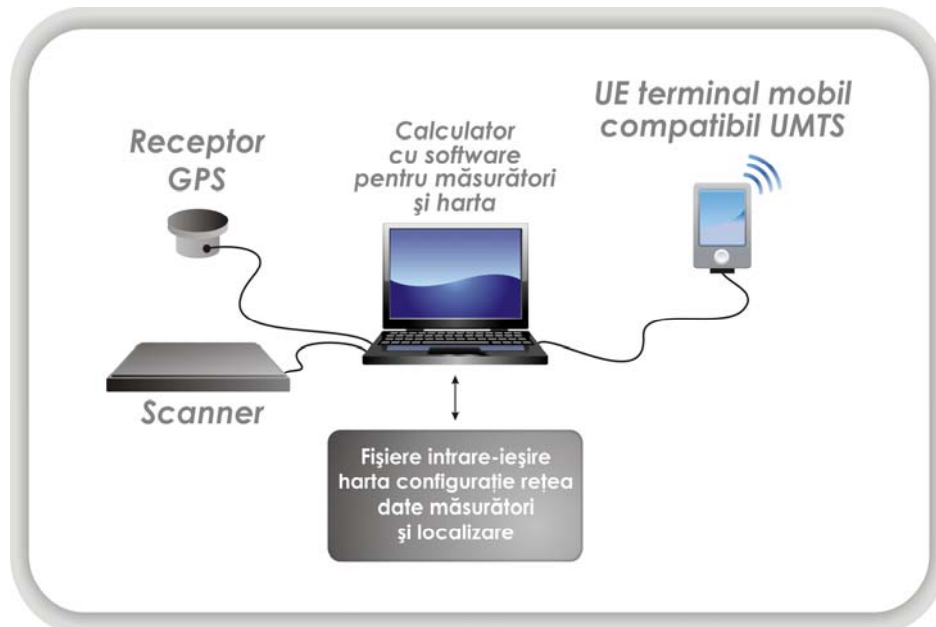


Figura 4.19. Echipamente pentru măsurători

- receptor GPS performant cu cartografiere actualizată, care să permită raportarea localizării cu precizie a măsurătorilor efectuate la o hartă digitală disponibilă cu softul pentru măsurători, receptor care în funcție de faza de dezvoltare a rețelei poate fi sau nu util.
- un PC portabil care să permită o manevrare ușoară atât la deplasare auto cât și pe jos și care să aibă instalat softul pentru măsurători
- scanner de rețele mobile (analizor spectral) pentru măsurători pe DL.
- un terminal UE corespunzător ca standard [39,76], cu soft instalat pentru măsurători

- program pentru măsurători instalat pe calculatorul portabil care să permită achiziția cu precizie a parametrilor din rețea și posibilitatea de raportare la o hartă digitală prin informațiile date de receptorul GPS, respectiv posibilitatea de stocare a acestor parametri pentru eventuale viitoare prelucrări și generarea de baze de date.
- antene externe, cabluri de conexiune care să asigure o bună recepție special pentru receptorul GPS a cărui precizie poate fi influențată de lipsa LOS între receptorul său și satelit, în situația în care se află în interiorul mașinii la deplasarea pe un anumit traseu.

Astfel, pentru implementarea și optimizarea rețelei aceste echipamente mai sus menționate trebuie să asigure achiziția a o serie de parametri care descriu performanțele rețelei la nivelul interfeței radio, în strânsă legătură cu cei de calitate spre exemplu numărul de apeluri. În acest context menționez principalii parametri care pot fi obținuți prin măsurători și se pot utiliza pentru investigații detaliate la nivelul rețelei sau depistarea unei probleme existente:

1. Informații cu caracter general - tip servicii (voce, date), identificatorul terminalului UE specific țării MCC (Mobile Country Code), identificatorul rețelei specific țării MNC (Mobile Network Code), numărul codului de amestecare pe conexiunea DL pentru celula activă și vecină, numărul purtătoarei radio, identificatorul celulei Cell ID
2. informații calitative raportate la servicii - pe canalul DTCH (BLER), numărul tentativelor de apel, numărul conexiunilor reușite
3. Informații despre puterea de emisie a UE/apel efectuat - valoarea lui SIR măsurată în DPCH
4. Informații legate de acoperirea rețelei - P-CPICH Rx Ec/Io, UTRAN (RSSI), P-CCPCH RSCP
5. informații despre transferuri soft sau hard - numărul tentativelor de transfer, tipul transferurilor, numărul transferurilor reușite, lista celulelor active ActivCell, lista celulelor vecine, valoarea lui Ec/Io.

Folosind echipamentele amintite anterior, **am realizat măsurători în diferite locații** prin deplasare pe anumite trasee din raza de acoperire a rețelei sau amplasamente care urmau să fie anexate ei (declarate adiacente acesteia), utilizând scannerul în cazul rețelei analizate configurat pe canalul (UARFCN=10564) [4, 77], respectiv softul Tems Investigation Data Collection [44]. Fișierele „log” astfel obținute la diferite viteze de deplasare și din diferite zone de acoperire, sunt importate și prelucrate cu un program special Actix [45], pentru a analiza performanțele legate de acoperire ale rețelei, optimizarea ei [78], pentru a depista eventuale probleme și constituirea unei baze de date.

Valorile parametrilor mășurați, prelevate la interval de 1 secundă, în cele trei zone de acoperire analizate, sunt conținute în tabele, realizând-se reprezentări ale nivelelor lor pe culori în dBm de-a lungul traseului parcurs.

Cazul I: un site corespunzător unei zone rurale cu un profil al terenului deluros de înălțime medie (figura 4.20) cu trei sectoare, amplasat în județul Bihor având indicativul BH 02517 cu caracteristicile descrise în ANEXA1.

Prin deplasarea în zona deservită de site, utilizând scannerul și un terminal UE **am măsurat parametrii RSSI, RSCP, Ec/Io**. Pentru exemplificare, un set de asemenea măsurători, cu coordonatele din jurul locației măsurate, împreună cu viteza de deplasare din momentul prelevării sunt prezentate în tabelul 4.4. Trebuie menționat faptul ca la locația respectivă **s-au efectuat** peste 5700 măsurători, care pot fi accesate la [79].

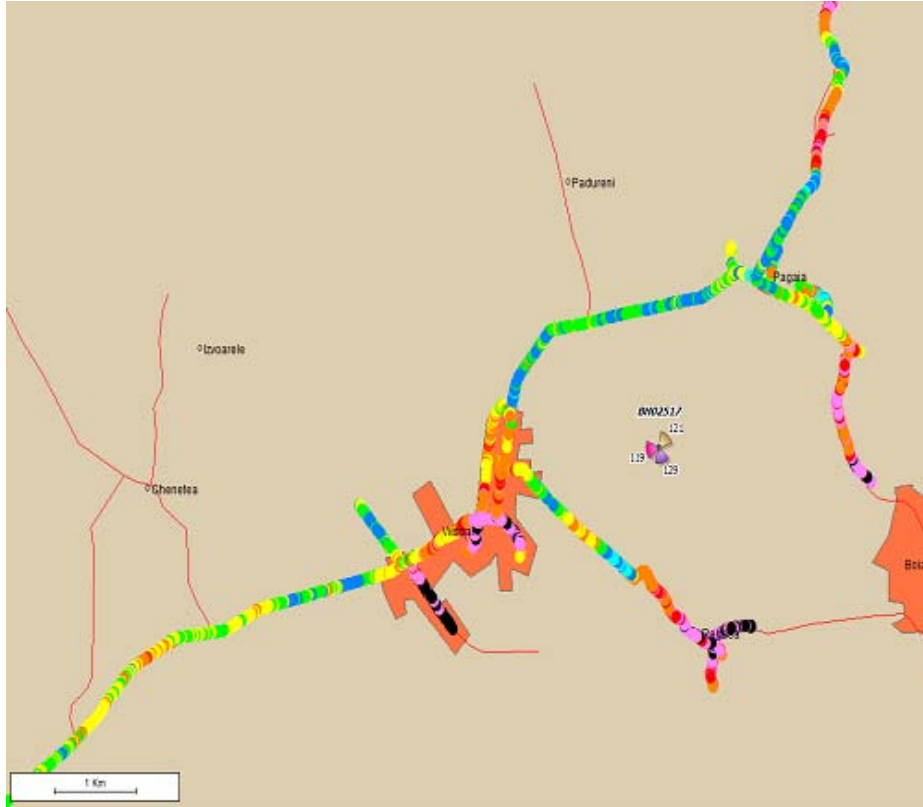


Figura 4.20. Transpunere poziționare site BH 02517 googlemap

Tabelul 4.4: Set de parametri măsurați pentru cazul I

Distanța [m]	Longitudine [°]	Latitudine [°]	CPICH RSCP [dBm]	CPICH EcIo [dBm]	RSSI [dBm]	Viteza [Km/h]
0.619257	22.55527	47.46422	-70.57	-3.81	-66.8	1.4
1.741726	22.55526	47.46421	-70.1	-3.89	-66.2	7.63
4.997562	22.55524	47.46419	-72.45	-4.74	-67.7	15.2
10.02418	22.5552	47.46415	-73.46	-4.95	-68.5	19.4
16.26267	22.55515	47.4641	-70.96	-4.83	-66.1	23
31.40235	22.55503	47.464	-73.69	-4.98	-68.7	33.8
41.06601	22.55495	47.46393	-77.45	-6.46	-71	39.5
54.39269	22.55484	47.46383	-72.32	-4.15	-68.2	41.2
66.67156	22.55475	47.46375	-74.35	-5.22	-69.1	44.2
78.44438	22.55465	47.46366	-81.56	-6.04	-75.5	48
93.44838	22.55453	47.46355	-91.38	-14.34	-79.6	51.5
108.5401	22.55441	47.46344	-86.6	-8.64	-78	54.5
125.6621	22.55429	47.46332	-87.46	-7.22	-80.2	57
142.5192	22.55418	47.4632	-77.68	-4.87	-72.8	61.1
160.6254	22.55407	47.46306	-75.34	-3.46	-71.9	62.9
176.4968	22.55396	47.46293	-75.73	-4.11	-71.6	64.9
194.5686	22.55386	47.46278	-72.41	-4.87	-67.5	65.3

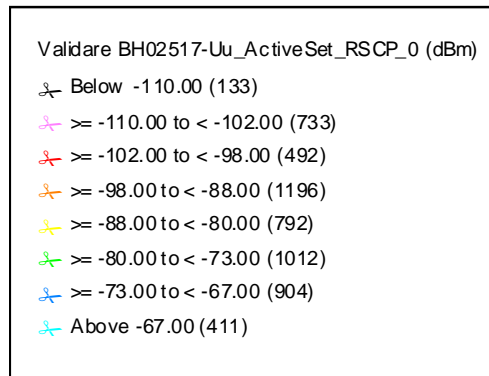
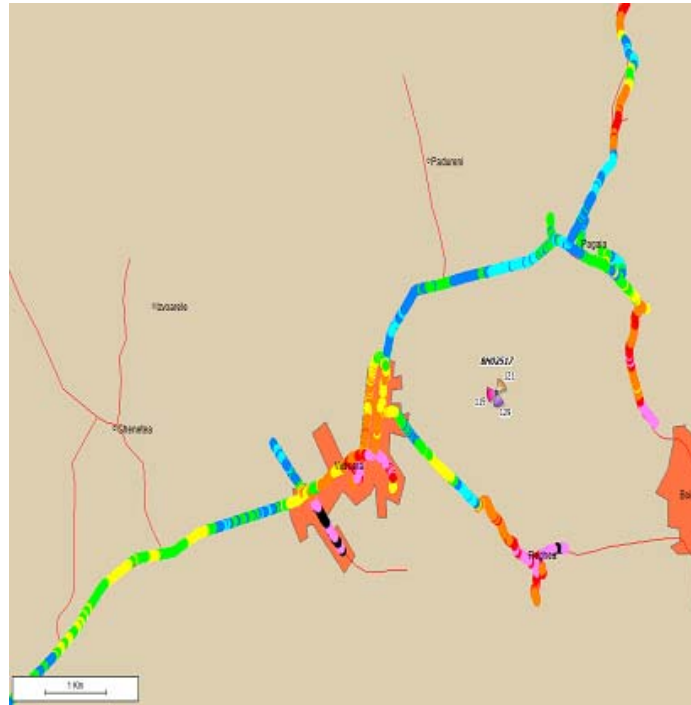
Pentru evidențierea zonei de acoperire pe traseul din jurul locației analizate, sunt reprezentate printr-o paletă de culori specifice unui anume interval conform legendei la fiecare figură, valorile măsurate ale eșantioanelor pentru parametrul RSCP cu scanerul figura 4.21a, respectiv cu terminalul mobil UE 4.21b.



Validare BH02517-CPICH_Scan_RSCP_For_Channel_10564

- Below -110.00 (310)
- ≥ -110.00 to < -102.00 (799)
- ≥ -102.00 to < -98.00 (348)
- ≥ -98.00 to < -88.00 (1103)
- ≥ -88.00 to < -80.00 (964)
- ≥ -80.00 to < -73.00 (871)
- ≥ -73.00 to < -67.00 (600)
- Above -67.00 (101)

a)



b)

Figura 4.21. Măsurători a) RSCP cu scanner b) RSCP cu terminal UE

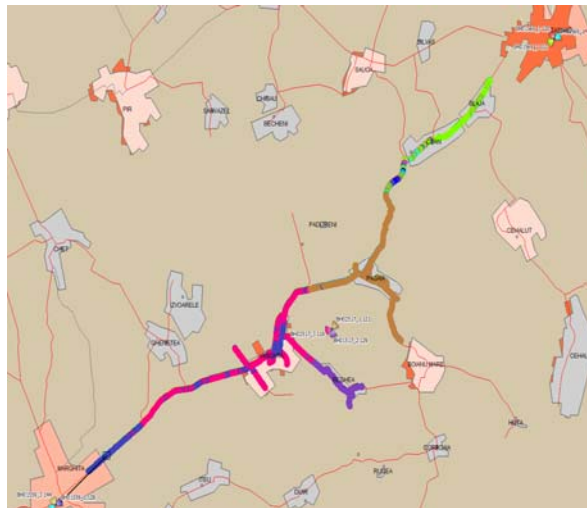
Pe baza numărului de eșantioane obținute pentru parametrul RSCP în urma măsurătorilor cu scannerul și corelarea lor cu paleta de culori figura 4.21a, am realizat un calcul procentual al acoperirii pentru zona analizată astfel: un număr de eșantioane raportat la totalul lor care reprezintă 100%.

Valorile obținute în urma calculelor, le-am exemplificat în tabelul 4.5 și am raportat la un anumit model de propagare zona respectivă.

Tabelul 4.5: Valoarea procentuală a acoperirii pentru RSCP cazul I și raportarea la modelul de propagare

Acoperirea (%)	RSCP (dBm)	Tip modele
1.98	$-67 \leq \text{RSCP} < 0$	Deep Indoor
13.7	$-73 \leq \text{RSCP} < -67$	Indoor
30.8	$-80 \leq \text{RSCP} < -73$	Indoor window
49.7	$-88 \leq \text{RSCP} < -80$	Incar
71.4	$-98 \leq \text{RSCP} < -88$	Outdoor
78.2	$-102 \leq \text{RSCP} < -98$	Digitel R99
93.9	$-110 \leq \text{RSCP} < -102$	Digitel voice
100	$\text{RSCP} < -110$	Digitel exclusion

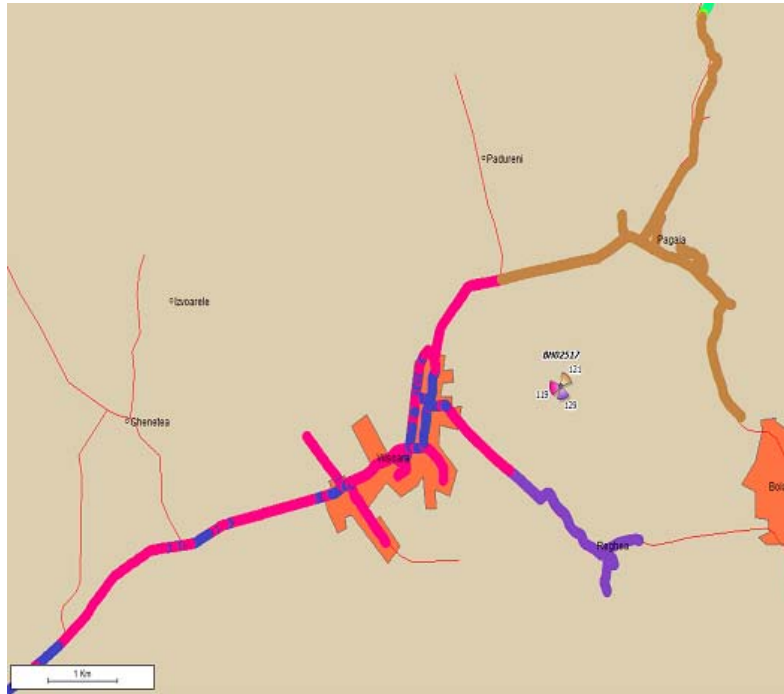
Acoperirea asigurată de BH 02517 pentru SC determinată cu scannerul respectiv UE este prezentată în figura 4.22.



Validare BH02517-CPICH_Scan_SC_For_Channel_10564 (Scrambling Code)

- 027 (5)
- 047 (4)
- 051 (1)
- 057 (47)
- 112 (174)
- 117 (3)
- 119 (1491)
- 121 (1743)
- 128 (667)
- 129 (777)
- 142 (2)
- 274 (1)
- 328 (2)
- 444 (6)
- 453 (6)
- 468 (13)
- 492 (5)

a)

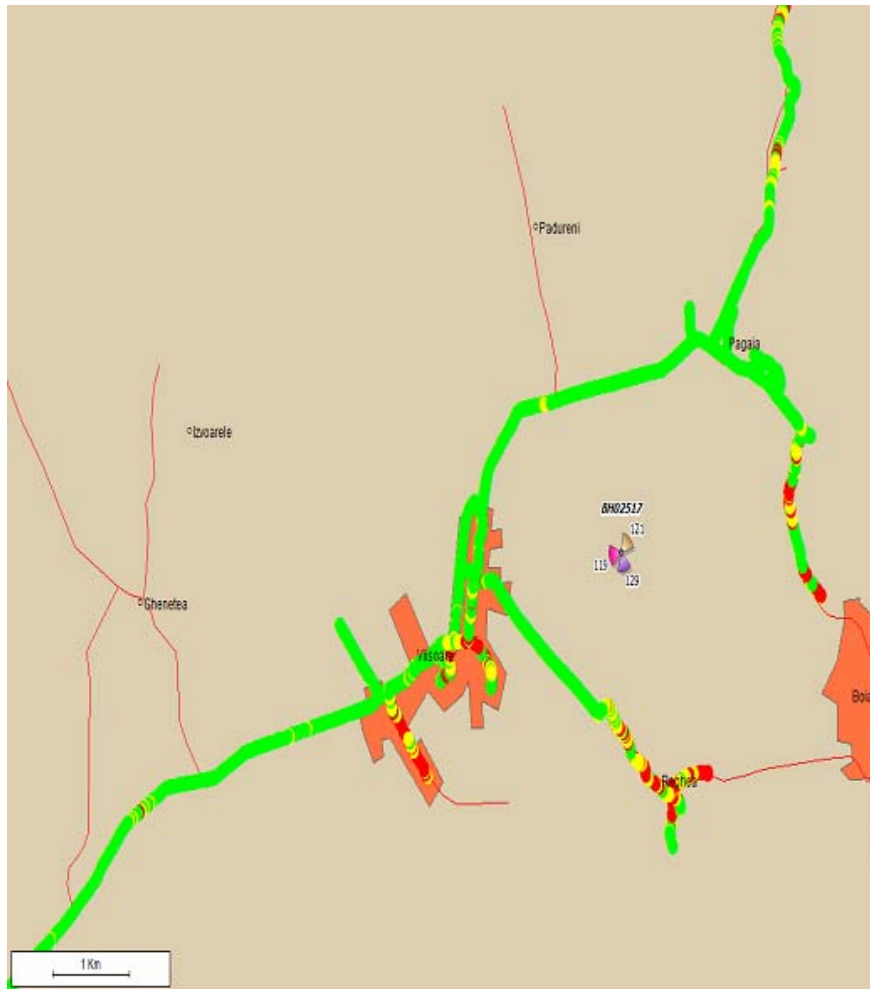


Validare BH02517-Uu_ActiveSet_SC_0 (Scrambling)	
047	(12)
057	(50)
112	(237)
119	(1918)
121	(1905)
128	(641)
129	(890)
444	(8)
468	(13)

b)

Figura 4.22. Măsurători a) SC cu scanner b) SC cu terminal UE

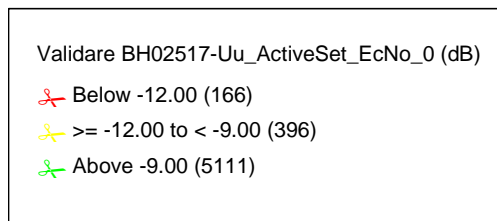
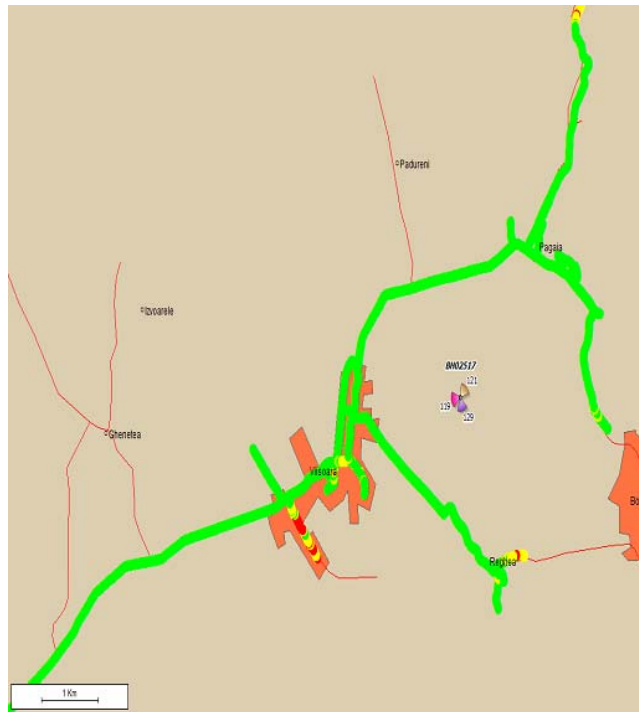
Acoperirea corespunzătoare pentru eşantioanele obținute prin măsurători pentru parametrul E_c/I_0 este prezentată în figura 4.23.



Validare BH02517-CPICH_Scan_EcIoPeak_For_Channel_10564

- ✂ Below -12.00 (438)
- ✂ ≥ -12.00 to < -9.00 (710)
- ✂ Above -9.00 (3799)

a)



b)

Figura 4.23. Măsurători a) Ec/Io cu scanner b) Ec/No cu terminal UE

În urma măsurătorilor cu scannerul și corelarea numărului de eșantioane obținute pentru parametrul Ec/Io cu paleta de culori figura 4.23a, am calculat procentual acoperirea corespunzătoare acestui parametru pentru zona analizată. Am folosit același algoritm ca și la în cazul calcului acoperirii corespunzătoare parametrului RSCP. Valorile obținute sunt exemplificate în tabelul 4.6.

Tabelul 4.6: Valoarea procentuală a acoperirii pentru Ec/Io cazul I

Ec/Io (dB)	Acoperirea (%)
Ec/Io > -9	76.7
$-12 \leq \text{Ec/Io} < -9$	91.1
Ec/Io < -12	100

Cazul II: a doua situație analizată (figura 4.24) prezintă un site corespunzător zone urbane cu densitate mare de clădiri de înălțime medie corespunzătoare orașului Oradea site BH 01853 compus din 4 sectoare cu caracteristicile specifice descrise în ANEXA 2.



Figura 4.24. Transpunere poziționare site BH 01853 googlemap

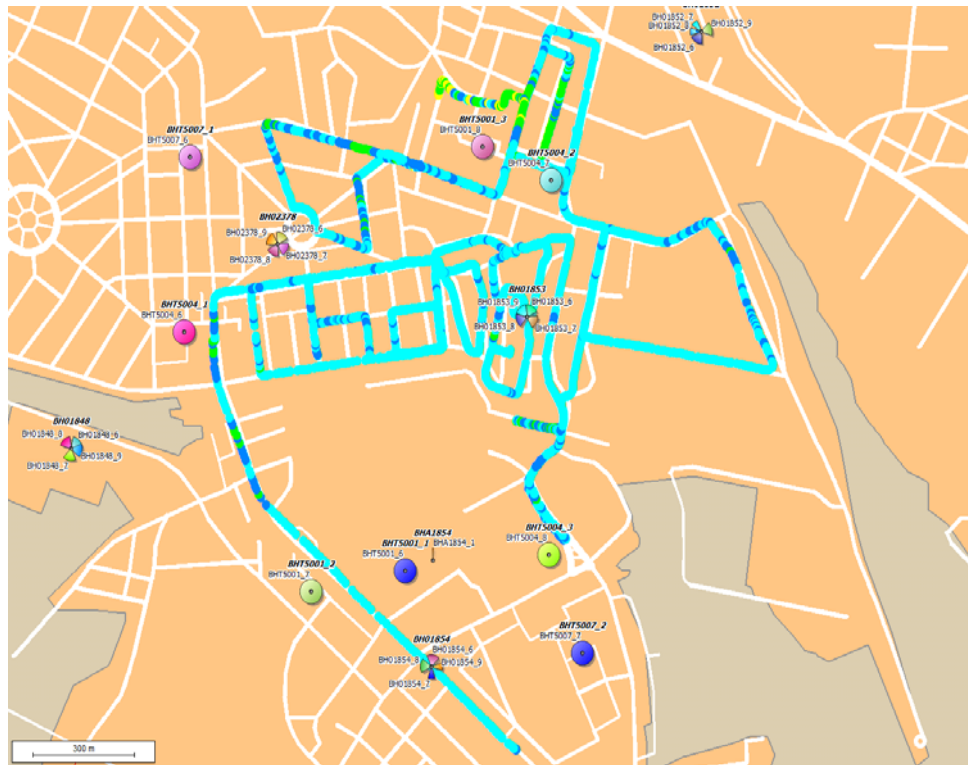
Prin procedura identică ca și în primul caz și în anume deplasare pe trasee din zona deservită de site **am măsurat parametri RSSI, RSCP, Ec/Io, un** lot de măsurători extras din softul de prelucrare, este exemplificat în tabelul 4.7.

Tabelul 4.7: Set de parametri măsurați pentru cazul II

Distanța [m]	Longitudine [°]	Latitudine [°]	CPICH RSCP [dBm]	CPICH EcIo [dBm]	RSSI [dBm]	Viteza [Km/h]
91.162808	21.9532	47.03121	-58.44	-10.37	-48.1	5.72
92.727552	21.95319	47.03123	-64.69	-12.36	-52.3	14
95.801004	21.95316	47.03125	-61.24	-11.2	-51.1	19.5
100.732881	21.9531	47.03128	-62.91	-10.04	-53.6	23.3
106.474058	21.95305	47.03131	-64.94	-13.74	-51.8	25.4
114.835823	21.95298	47.03136	-65.07	-10.37	-54.7	30.5
122.724137	21.95289	47.03141	-64.06	-8.63	-55.4	34.3
131.708904	21.95279	47.03147	-64.03	-8.83	-55.2	36.6
141.783587	21.95269	47.03153	-60.02	-7.95	-50.1	38.4
153.809235	21.95261	47.03158	-55.69	-7.05	-48.6	40.2
163.397052	21.95249	47.03165	-61.33	-8.51	-53.1	41.6
176.214366	21.95237	47.03173	-54.53	-7.03	-47.5	41.9
188.263253	21.95225	47.03181	-66.24	-9.72	-56.5	42.4
198.871568	21.95215	47.03187	-56.72	-7.09	-49.6	44
213.247978	21.95203	47.03194	-59.7	-8.41	-51.3	43.9
224.703415	21.95191	47.03202	-62.09	-13.2	-52	43.5
236.29493	21.95178	47.0321	-53.74	-8.08	-45.7	42.2

Trebuie specificat faptul că și în acest caz s-au realizat aproximativ 3600 măsurători disponibile la [79].

Acoperirea pe traseul străbătut în jurul BH 01853, este reprezentată prin culori corespunzătoare unui anume interval, pentru valorile măsurate ale RSCP cu scannerul figura 4.25a, respectiv cu terminalul mobil UE 4.25b.



BH01853 - Oradea-CPICH_Scan_RSCP_For_Channel_10564 (dBm)

✂ Below -110.00 (0)

✂ >= -110.00 to < -102.00 (0)

✂ >= -102.00 to < -98.00 (0)

✂ >= -98.00 to < -88.00 (0)

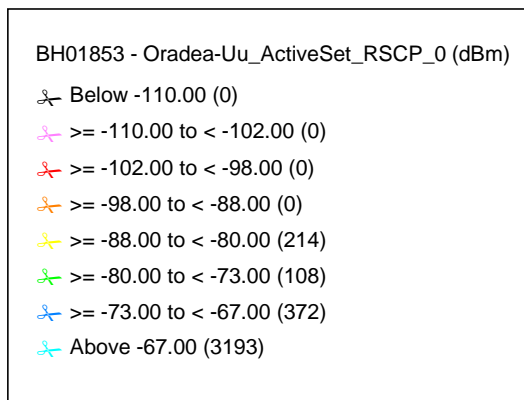
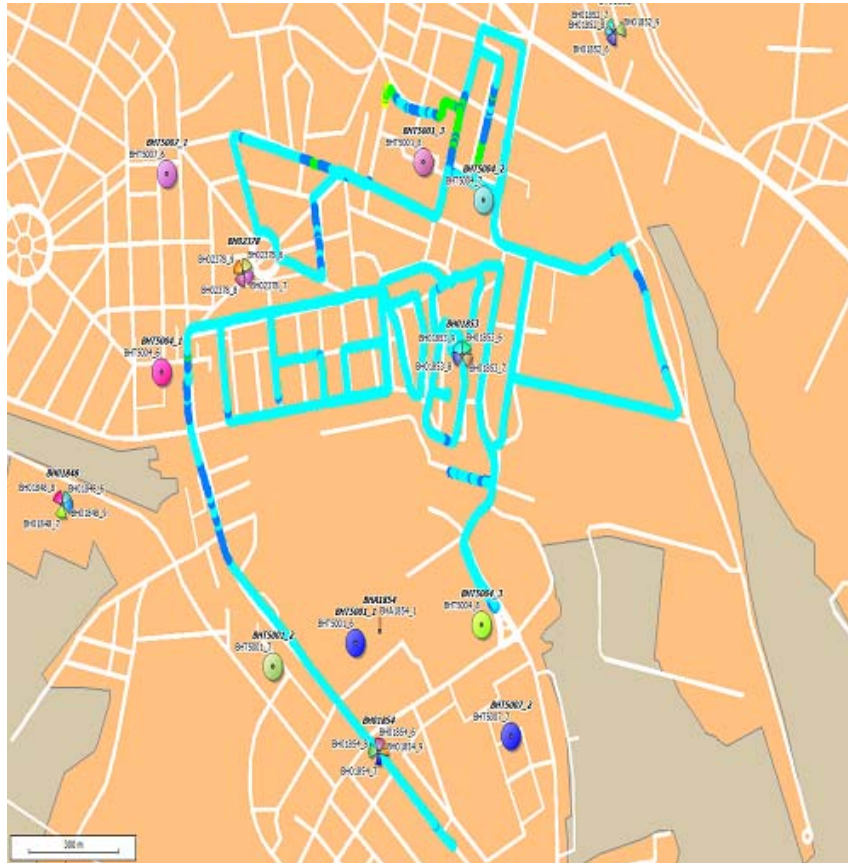
✂ >= -88.00 to < -80.00 (92)

✂ >= -80.00 to < -73.00 (178)

✂ >= -73.00 to < -67.00 (372)

✂ Above -67.00 (2169)

a)



b)

Figura 4.25. Măsurători a) RSCP cu scanner b) RSCP cu terminal UE

Pe baza numărului de eșantioane obținute pentru parametrul RSCP în urma măsurătorilor, idem cazului I, am calculat procentual acoperirea pentru zona analizată. Valorile astfel obținute, le-am exemplificat în tabelul 4.8 împreună cu modelul de propagare corespunzător.

Tabelul 4.8: Valoarea procentuală a acoperirii pentru RSCP cazul II și raportarea la modelul de propagare

Acoperirea (%)	RSCP (dBm)	Tip modele
77.1	$-67 \leq \text{RSCP} < 0$	Deep Indoor
90.3	$-73 \leq \text{RSCP} < -67$	Indoor
96.7	$-80 \leq \text{RSCP} < -73$	Indoor window
100	$-88 \leq \text{RSCP} < -80$	Incar
-	$-98 \leq \text{RSCP} < -88$	Outdoor
-	$-102 \leq \text{RSCP} < -98$	Digitel R99
-	$-110 \leq \text{RSCP} < -102$	Digitel voice
-	$\text{RSCP} < -110$	Digitel exclusion

Acoperirea SC pentru BH 01853 determinată cu scannerul respectiv UE este prezentată în figura 4.26.



BH01853 - Oradea-CPICH_Scan_SC_For_Channel_10564 (ScramblingCode)

029	(4)
038	(1)
040	(101)
049	(160)
050	(24)
058	(96)
065	(67)
066	(39)
368	(60)
373	(80)
376	(41)
383	(15)
458	(458)
465	(367)
466	(586)
473	(325)
489	(28)
496	(122)
504	(165)
505	(70)

a)



BH01853 - Oradea-Uu_ActiveSet_SC_0 (Scrambling Code)

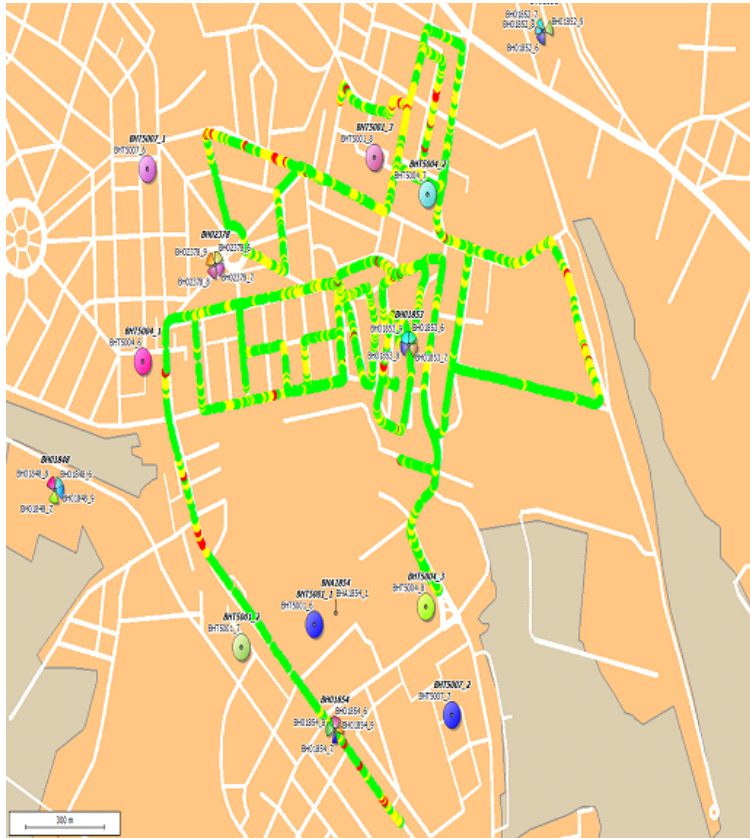
✂	040 (90)
✂	049 (178)
✂	050 (34)
✂	058 (101)
✂	065 (108)
✂	066 (41)
✂	368 (72)
✂	373 (287)
✂	376 (52)
✂	383 (30)
✂	394 (30)
✂	458 (714)
✂	465 (358)
✂	466 (638)
✂	473 (413)
✂	489 (40)
✂	496 (296)
✂	504 (261)
✂	505 (122)
✂	506 (22)

b)




Figura 4.26 Măsurători a) SC cu scanner b) SC cu terminal UE

102 4. Criterii de implementare și optimizare a unei rețele radio mobile celulare

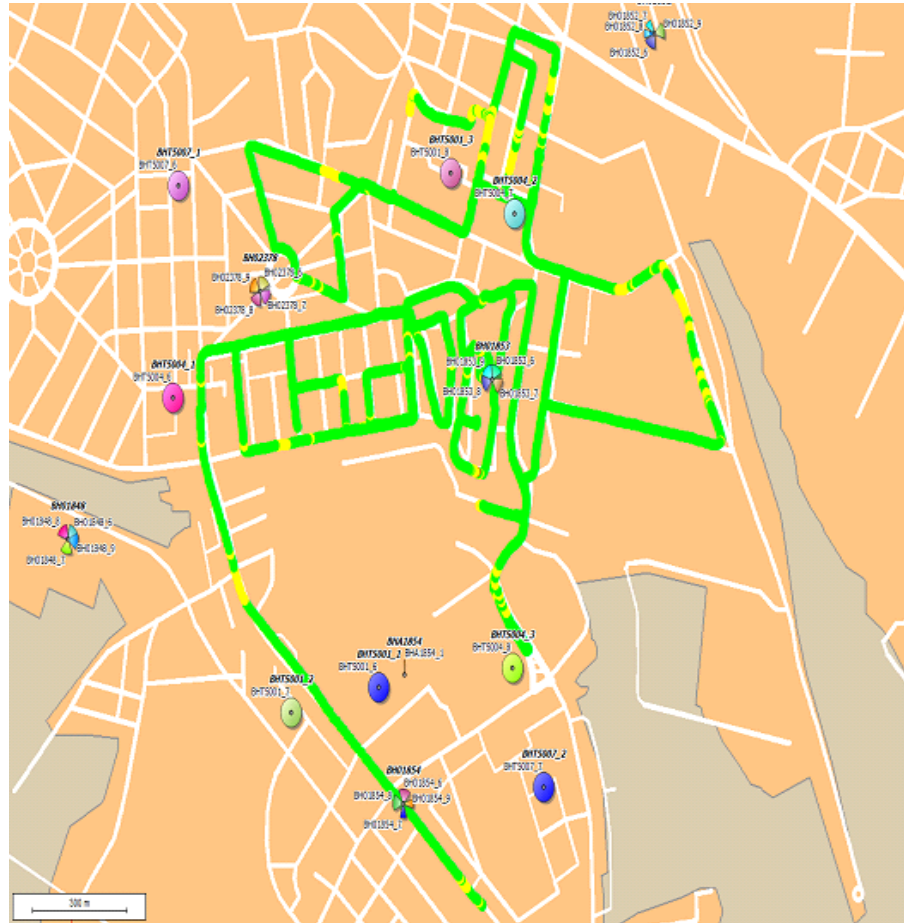
Acoperirea asigurată de BH 01853 pentru parametrul Ec/Io rezultată în urma măsurărilor, evidențiate în softul de analiză, este prezentată în figura 4.27.



BH01853 - Oradea-CPICH_Scan_EcIoPeak_For_Channel_10564 (dB)

-  Below -12.00 (71)
-  ≥ -12.00 to < -9.00 (857)
-  Above -9.00 (1881)

a)



BH01853 - Oradea-Uu_ActiveSet_EcNo_0 (dB)

- ✂ Below -12.00 (13)
- ✂ ≥ -12.00 to < -9.00 (522)
- ✂ Above -9.00 (3352)

b)

Figura 4.27 Măsurători a) Ec/Io cu scanner b) Ec/No cu terminal UE

Pentru parametrul E_c/I_o , în mod identic cazului I, am calculat procentual acoperirea pentru zona analizată. Valorile obținute sunt exemplificate în tabelul 4.9.

Tabelul 4.9: Valoarea procentuală a acoperirii pentru E_c/I_o cazul II

E_c/I_o (dB)	Acoperirea (%)
$E_c/I_o > -9$	66.9
$-12 \leq E_c/I_o < -9$	97.4
$E_c/I_o < -12$	100

Cazul III: cea de a treia situație analizată (figura 4.28) prezintă un site amplasat la limita unei localități montane zona Șuncuiuș site BH 02388 compus din 3 sectoare cu caracteristicile specifice descrise în ANEXA 3.

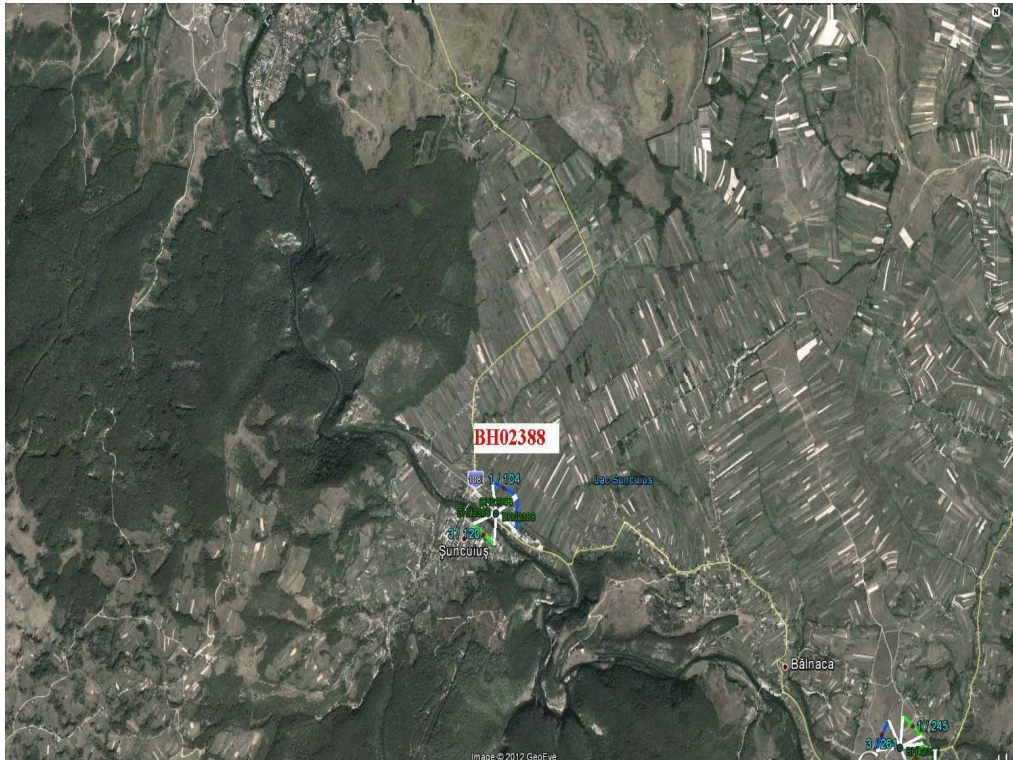


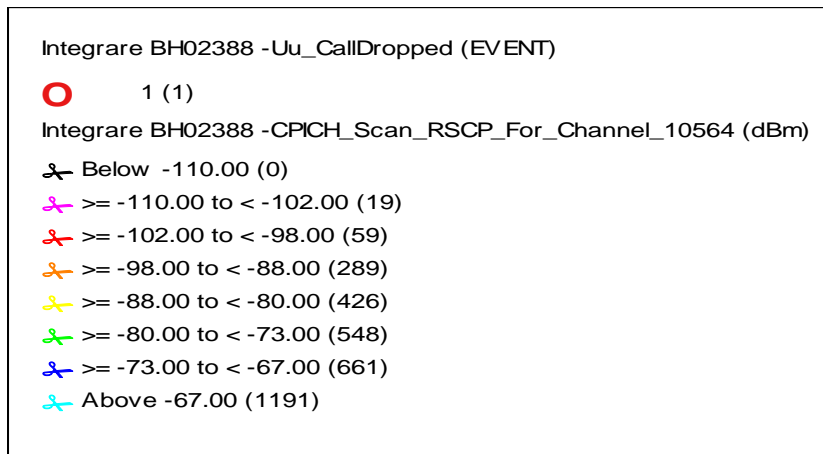
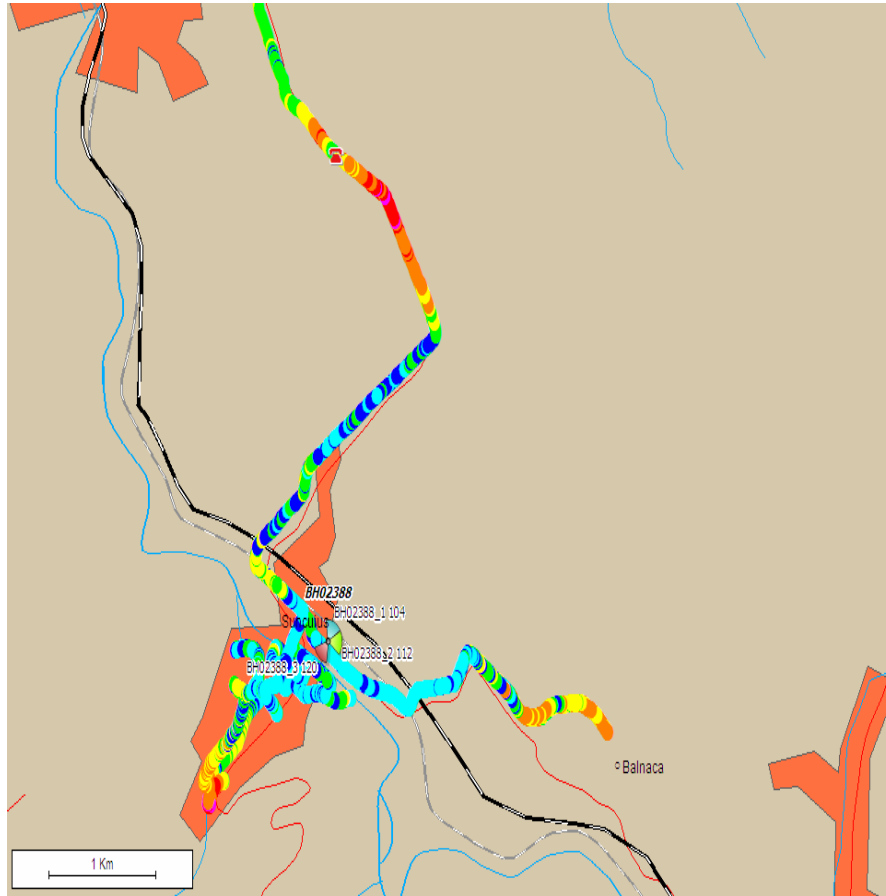
Figura 4.28. Transpunere poziționare site BH 02388 googlemap

Analog cazurilor analizate anterior, măsurătorile realizate pentru acest amplasament au permis obținerea parametrilor vizați. Un set de valori ale acestor parametri extras din softul de prelucrare este exemplificat în tabelul 4.10. **Numărul măsurătorilor realizate în acest caz este de peste 3400**, disponibile la [79].

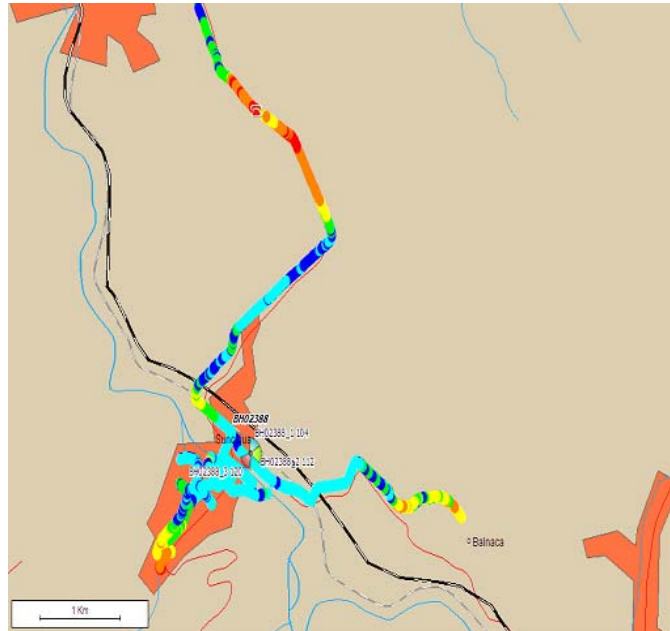
Tabelul 4.10: Set de parametrii măsurați pentru cazul III

Distanța [m]	Longitudine [°]	Latitudine [°]	CPICH RSCP [dBm]	CPICH EcIo [dBm]	RSI [dBm]	Viteza [Km/h]
1.926515	22.52901	46.98744	-82.01	-7.39	-74.6	0
2.338569	-22.52901	46.98743	-84.32	-7.94	-76.7	3.35
4.146777	22.52902	46.98742	-81.52	-4.65	-76.9	7.99
8.612155	22.52904	46.9874	-80.98	-5.09	-75.9	13
10.002839	22.52907	46.98737				18.6
16.197843	22.52911	46.98732	-83.92	-7.52	-76.4	22.4
24.512122	22.52916	46.98728	-82.53	-7.51	-75	22.9
29.6496	22.5292	46.98723	-81.79	-7.85	-73.9	25.8
36.632652	22.52925	46.98718	-78.87	-5.9	-73	29.1
47.889935	22.52932	46.98711	-78.22	-5.51	-72.7	32.8
55.822304	22.5294	46.98704	-79.24	-7.28	-72	36.5
64.834814	22.52946	46.98696				39.7
80.74221	22.52953	46.98686	-81.76	-7.07	-74.7	41.1
88.618438	22.5296	46.98677				39.1
98.986134	22.52964	46.98668	-79.95	-7.64	-72.3	39
108.652702	22.52966	46.98657	-78.52	-6.56	-72	40.3
121.339031	22.52967	46.98647	-88.03	-9.61	-78.4	41.7
132.451504	22.52966	46.98637	-86.2	-8.64	-77.6	42.5
144.671454	22.52962	46.98625	-81.6	-7.06	-74.5	44.5

Valorile măsurate ale RSCP cu scannerul și terminalul UE sunt prezentate în figura 4.29, împreună cu legenda paletelor de culori corespunzătoare eșantioanelor măsurate.



a)



Integrare BH02388 -Uu_CallDropped (EVENT)

○ 1 (1)

Integrare BH02388 -Uu_ActiveSet_RSCP_0 (dBm)

✂ Below -110.00 (0)

✂ ≥ -110.00 to < -102.00 (0)

✂ ≥ -102.00 to < -98.00 (58)

✂ ≥ -98.00 to < -88.00 (251)

✂ ≥ -88.00 to < -80.00 (360)

✂ ≥ -80.00 to < -73.00 (420)

✂ ≥ -73.00 to < -67.00 (537)

✂ Above -67.00 (1743)

b)

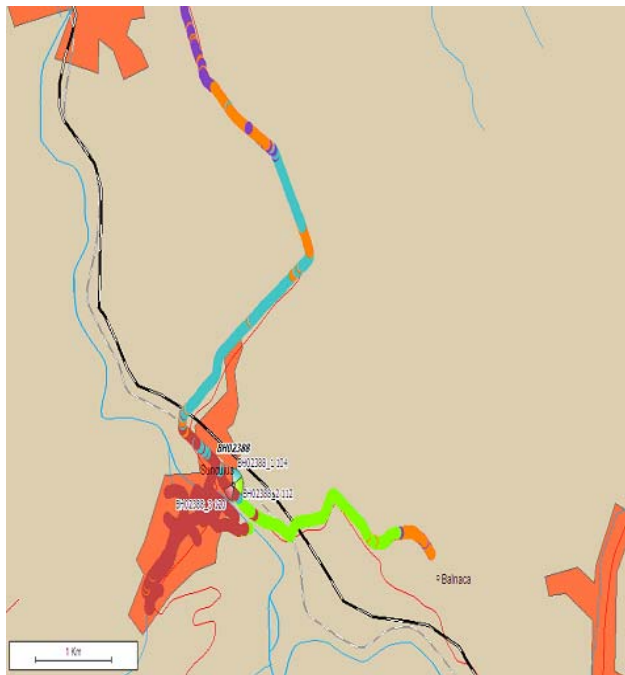
Figura 4.29. Măsurători a) RSCP cu scanner b) RSCP cu terminal UE

Acoperirea procentuală asigurată de RSCP pentru zona analizată și raportarea la modelul de propagare sunt prezentate în tabelul 4.11.

Tabloul 4.11: Valoarea procentuală a acoperirii pentru RSCP în cazul III

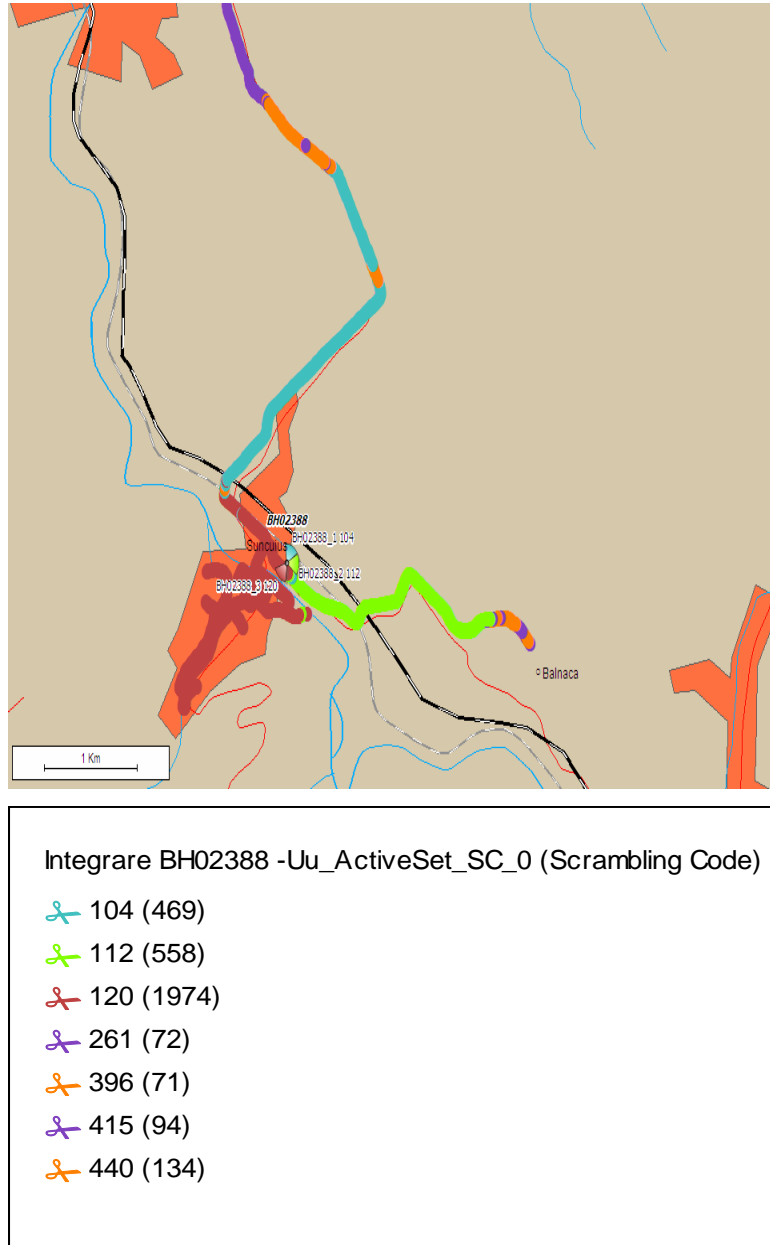
Acoperirea (%)	RSCP (dBm)	Tip modele
37.3	$-67 \leq \text{RSCP} < 0$	Deep Indoor
58	$-73 \leq \text{RSCP} < -67$	Indoor
75	$-80 \leq \text{RSCP} < -73$	Indoor window
88.4	$-88 \leq \text{RSCP} < -80$	Incar
97,5	$-98 \leq \text{RSCP} < -88$	Outdoor
99.4	$-102 \leq \text{RSCP} < -98$	Digitel R99
100	$-110 \leq \text{RSCP} < -102$	Digitel voice

Acoperirea SC pentru BH 02388 determinată cu scannerul respectiv UE este prezentată în figura 4.30.



Integrare BH02388 -CPICH_Scan_SC_For_Channel_10564 (Scrambling Code)	
082	(1)
104	(444)
112	(512)
120	(1851)
261	(77)
396	(62)
415	(53)
440	(193)

a)

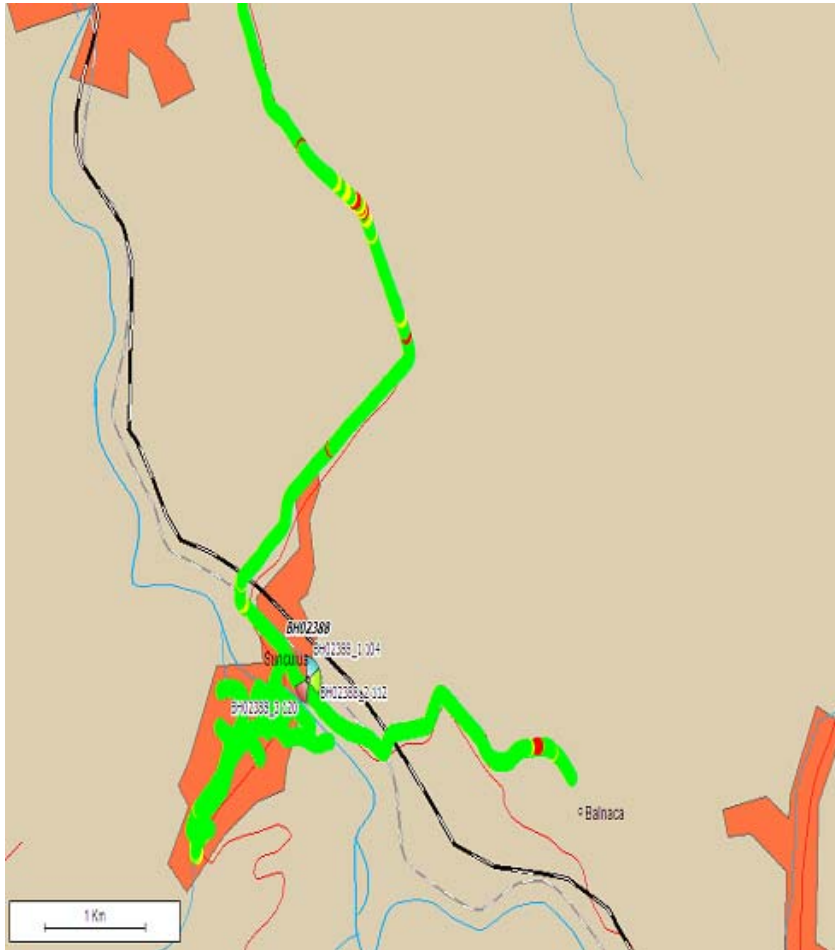


b)




Figura 4.30 Măsurători a) SC cu scanner b) SC cu terminal UE

110 4. Criterii de implementare și optimizare a unei rețele radio mobile celulare

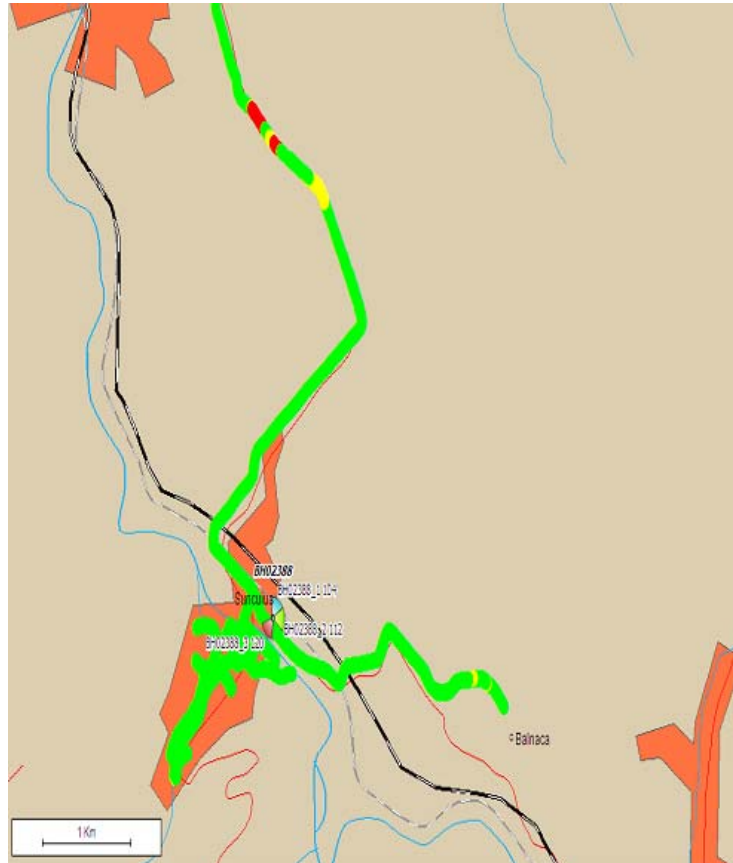
Acoperirea asigurată de BH 02388 pentru parametrul Ec/Io în urma măsurărilor, evidențiate în softul de analiză, este prezentată în figura 4.31.






Integrare BH02388 -CPICH_Scan_EcloPeak_For_Channel_10564 (dB)

-  Below -12.00 (18)
-  ≥ -12.00 to < -9.00 (73)
-  Above -9.00 (3102)

a)



Integrare BH02388 -Uu_ActiveSet_EcNo_0 (dB)

-  Below -12.00 (38)
-  ≥ -12.00 to < -9.00 (49)
-  Above -9.00 (3282)

b)

Figura 4.31 Măsurători a) Ec/Io cu scanner b) Ec/No cu terminal UE

Acoperirea procentuală asigurată de Ec/Io pentru zona analizată este prezentată în tabelul 4.12.

Tabelul 4.12: Valoarea procentuală a acoperirii pentru E_c/I_o cazul III.

E_c/I_o (dB)	Acoperirea (%)
$E_c/I_o > -9$	97
$-12 \leq E_c/I_o < -9$	99.4
$E_c/I_o < -12$	100

În acest context, se poate trage concluzia că desfășurarea unor campanii intensive de măsurători și analize ale zonelor de acoperire pe baza parametrilor culeși din teren, în diferitele etape de elaborare a rețelei conferă informații asupra funcționării corespunzătoare a acesteia și eventual remedierea anumitor probleme apărute pe parcurs.

4.7 Soluție de optimizare a rețelei. Cazul nedeclarării adiacenței

Pe lângă etapa de planificare și implementare a unei rețele mobile, există un proces continuu de dezvoltare și optimizare, proces care are menirea de a exploata la maximum capacitatea acesteia. Astfel, în cadrul procesului de optimizare nu de puține ori se pot întâlni situații de genul celei ilustrate în figura 4.32. O zonă de acoperire a rețelei corespunzătoare operatorului de telecomunicații RCS&RDS, **în a cărei rețea am realizat această analiză**, este rețeaua care la una dintre BS identificată BH 01716 s-a adăugat un al 4-lea sector, sector adăugat ulterior procesului de planificare și implementare, în etapa de optimizare a rețelei, cu scopul de a îmbunătăți acoperirea zonei de interes și din raționamente de ordin economic. Totuși el nu a fost declarat ca și vecin al sectoarelor 1 și 3 ale aceleiași BS și nici cu sectorul 3 al BS BH01717. Parametrul utilizat la analiză este E_c/N_o și el este definit astfel:

$$E_c/N_o = RSCP/RSSI \quad (1.5)$$

ca raportul dintre puterea recepționată pe un cod după procesul de refacere a semnalului împrăștiat, definită pe simbolurile pilot, și nivelul de putere recepționată din semnalul de bandă largă, în interiorul benzii canalului radio.

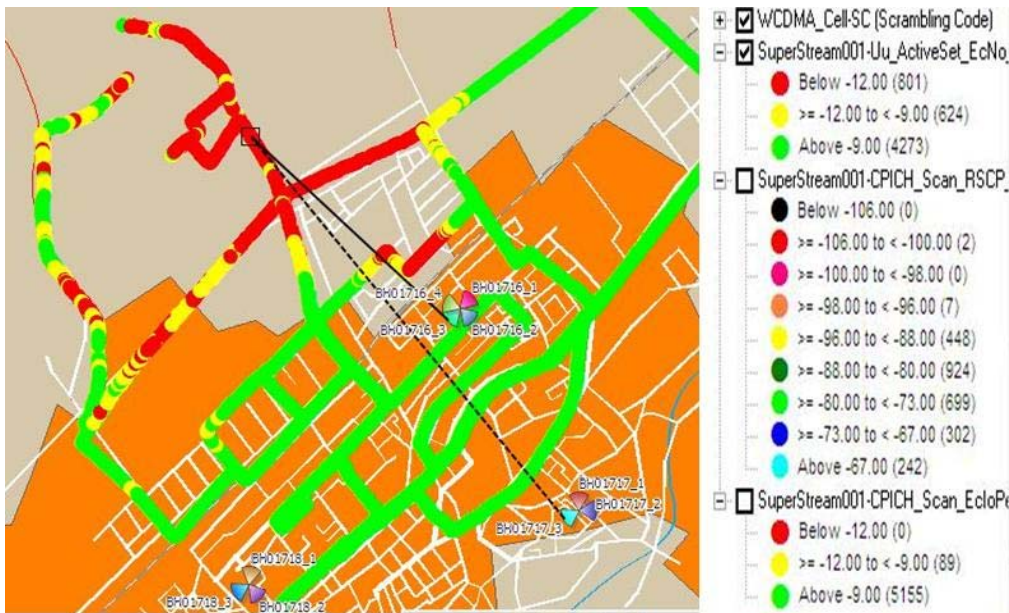


Figura 4.32. Harta zonei de analiză

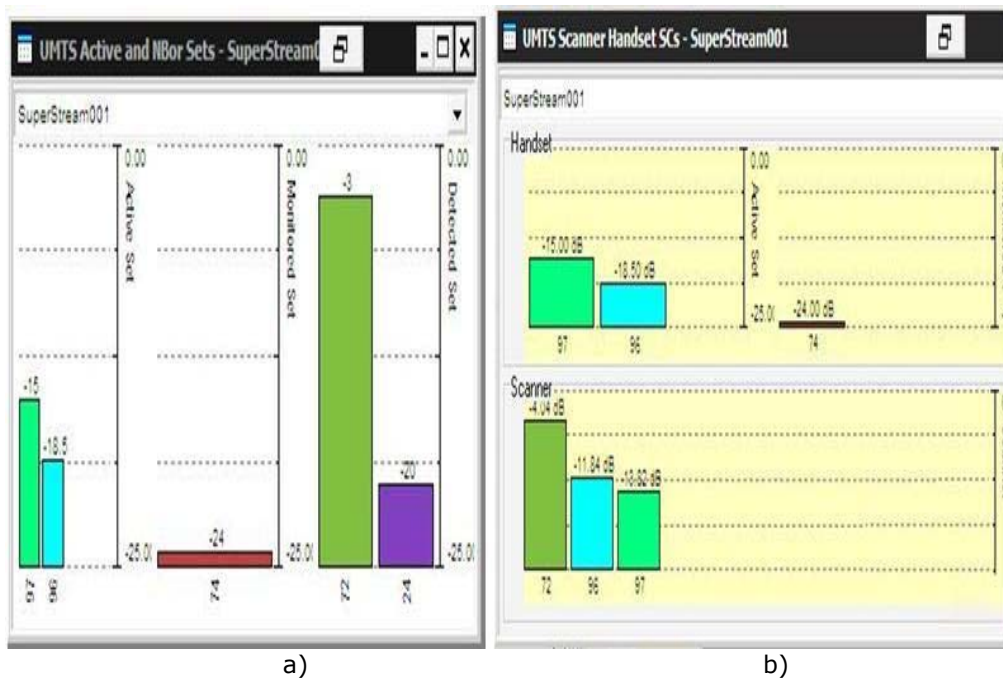


Figura 4.33. Ferestre ale aplicației de măsură: a) fereastra corespunzătoare celulelor active b) fereastra specifică analizorului spectral

În ferestrele programului de Tera investigation data collection [44], în figura 4.33.a) "UMTS Active Cell and Nbor Sets" este ușor de observat că sectorul având SC72 are parametrul E_c/N_0 mai bun comparativ cu sectoarele identificate prin SC97 sau SC96. Cu toate acestea SC97 și SC96 sunt celule care deservește în continuare UE.

De asemenea, tot în figura 4.33b) fereastra "UMTS Scanner Handset SCs" ne permite să observăm că celulele active sunt cele identificate prin SC97 și SC96, iar din punct de vedere al analizorului spectral, se identifică în spectrul analizat pe lângă purtătoarele inițiale încă una identificată cu SC72 pe care o asociem celulei (sectorului) nou creat și care are conform măsurătorilor realizate în P-CPICH un E_c/N_0 de valoare mai bună -4.04dB .

În procedura de declarare a adiacenței, după setarea unor parametri inclusiv ajustarea orientării și elevației antenei BS ce contribuie la o mai bună acoperire a celulelor respectiv sectoarelor existente, următorul pas constă în măsurători prin intermediul cărora se urmărește să se evidențieze SC-urile asociate BS-urilor specifice din zonă, nivelul cel mai bun în dBm al E_c/N_0 , măsurători realizate atât cu scannerul cât și cu terminalul mobil UE, prin deplasarea pe traseele din zona de interes și limitrofă.



a)



b)

Figura 4.34. Măsurători pe traseele din apropierea BS a) cu UE și b) cu scannerul
 Nuanțele de culoare indică porțiunile de traseu pe care conexiunea se poate desfășura în condiții optime raportat la sectorul analizat.

Totuși, lipsa declarării unei adiacențe necesare, conduce în unele cazuri la întreruperea conexiunii. În figura de mai jos avem fereastra "WCDMA/GSM Line Chart" unde sunt date grafic evoluțiile în timp a unor parametri Ec/No, RSCP, iar în fereastra "WCDMA Serving/Active Set + Neighbours" avem monitorizată valoarea nivelului de semnal a celulei de serviciu și a celulelor vecine.

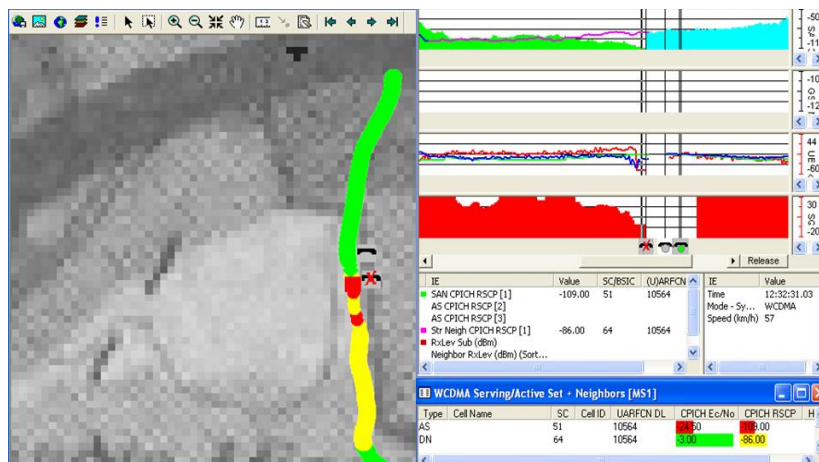


Figura 4.35 Evidențierea punctului de întrerupere a apelului

În cazul în care parametrul E_c/N_0 este scăzut, o conexiune în desfășurare se poate întrerupe pe perioada deplasării UE pe un anumit traseu. Dacă însă la un moment dat detectează pe acest traseu un sector sau o celulă, identificată de un SC cu parametru mult mai bun decât cel cu care este activ, poate avea loc un transfer și continuarea conexiunii fără întreruperea apelului prin intermediul noului sector. În caz contrar are loc menținerea conexiunii (apelului) prin SC corespunzător sectorului inițial până la întrerupere (call drop), situație nedorită dar previzibilă dacă noul sector sau celulă nu este declarat adiacent sau în lista Activ Cell + Neighbor.

Refacerea conexiunii (reinițializarea apelului) se va stabili de această dată prin intermediul sectorului identificat de SC-ul având parametrul mai bun, figura 4.36.

Astfel după cum am menționat și în finalul capitolului trei, la nivelul interfeței radio declararea prea multor vecinătăți, poate conduce la un număr prea mare de transferuri, cu implicații directe legate de consumul excesiv al resurselor radio, respectiv a suprasolicității procesoarelor la nivelul RNC, însă nedeclararea adiacențelor necesare conduce la creșteri ale nivelului de interferență în cadrul sistemului aspect nedorit. Se impune astfel permanent menținerea unui echilibru raportat la posibilitatea realizării acoperirii în teren și respectiv calitatea serviciilor oferite Qos.

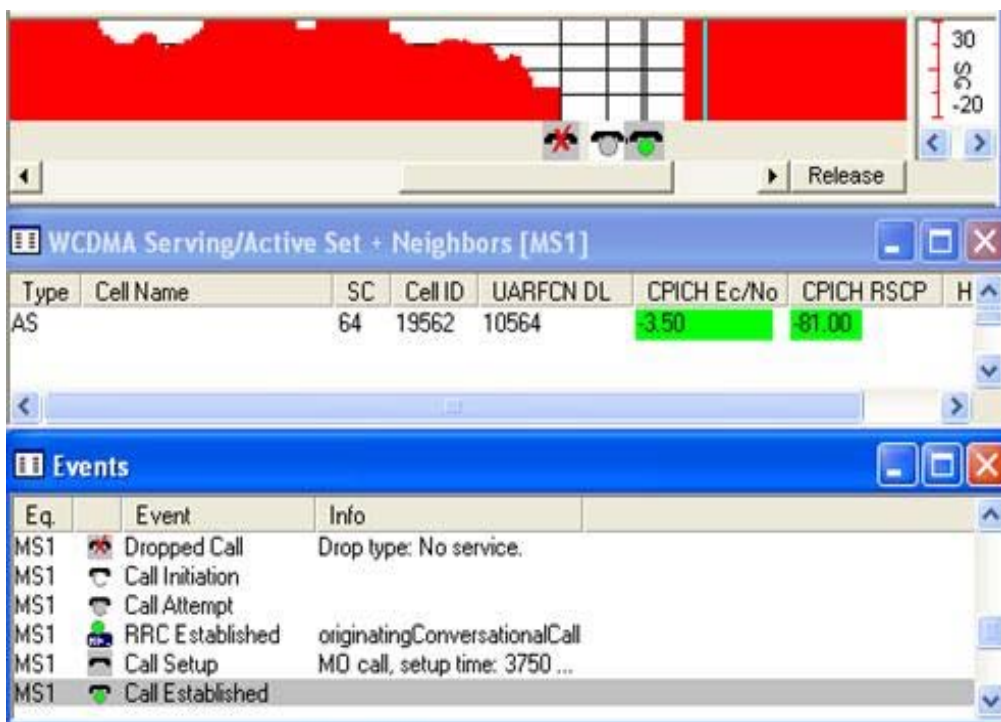


Figura 4.36 Restabilirea apelului

5. EVOLUȚIA REȚELELOR UMTS

5.1. Rețele LTE

Standardul 3GPP LTE specificația 8 (Release-8) la prima sa apariție era deja la o versiune stabilă, însă trebuiau încă determinate performanțele acestui standard în condițiile implementării sale în practică. LTE constituie o bază bună de pornire pentru inovațiile tehnologice care vor urma în evoluția rețelelor UMTS, dar este necesar ca performanța lor să fie justificată comparativ cu prețul și complexitatea acestora. Are loc, în cadrul mai multor proiecte, - ca de exemplu EASY-C (Enablers for Ambient Services and Systems part C Wide Area Coverage) [80] - o analiză a performanțelor rețelelor LTE versiunea 8 și a noilor concepte utilizate, cum este tehnologia MIMO (Multiple Input Multiple Output), și testări de laborator sau măsurători în teren cu o platformă de test la nivel de multi-site (locație/co-sitting).

Internetul mobil a devenit accesibil utilizatorilor odată cu lansarea la nivel mondial a tehnologiei și rețelelor HSPA (High Speed Packet Acces) și disponibilitatea tot mai ridicată a terminalelor de tip 3G: stick-uri (modem) broadband USB și nu în ultimul rând notebook-uri dotate cu module integrate HSPA. O dată cu scăderea costurilor practicate de operatori pentru traficul de date, internetul mobil a avut o creștere spectaculoasă în 2008. Deși tehnologia 3G a fost dezvoltată în urmă cu 10 ani, totuși adoptarea 3G nu a fost conform așteptărilor în cele mai multe dintre cazuri, în anumite țări operatorii reușind abia la ora actuală să atingă 80% din performanțele propuse inițial. Acest lucru a fost cauzat de performanțele mai mici în condiții reale de utilizare a rețelelor decât cele obținute în testele de laborator și de lipsa terminalelor 3G.

NGMN (Next Generation Mobile Networks) a dezvoltat standardele și prioritățile care se impun rețelelor mobile de generație următoare [81], iar 3GPP se va ocupa cu dezvoltarea pe termen lung a LTE. Dintre prioritățile LTE se remarcă latență mai scăzută pentru transferul datelor, capacitatea de a adresa canale cu lățime de bandă crescută de 20 MHz și nu în cele din urmă costul total de întreținere, scopul final al NGMN și 3GPP fiind acela de a asigura trecerea la o tehnologie nouă mai performantă. Performanțele LTE corespund cerințelor NGMN, dar nu sunt foarte bune raportat la parametrii cheie KPI (Key Performance Indicators) ca eficiența spectrală și performanța la marginea celulei de comunicație. Din acest motiv dezvoltarea LTE va continua și după Release-8 pentru a se ridica la nivelul cerințelor operatorilor și cerințelor ITU pentru noul spectru al tehnologiilor viitoare.

În acest context 3GPP a elaborat cerințele minime necesare și a demarat studiul pentru LTE-A (LTE Advanced) [3,82].

Ținând seama de aspectele prezentate, în cadrul proiectului EASY-C se studiază soluții de dezvoltare de noi tehnologii pentru viitoarele sisteme wireless LTE-A. Caracteristica principală EASY-C este aceea că tehnologiile sunt testate pe platforme de test la nivel de sistem, proiect în care sunt angrenați mai mulți parteneri: instituții academice, operatori de telefonie mobilă, furnizori de echipamente de rețea și de testare, companii care produc terminale și chipset-uri necesare funcționării terminalelor precum și specialiști în implementarea rețelelor.

5.2. LTE specificația 8

Interfața radio a standardului LTE Release 8 folosește tehnica de acces multiplu OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Acces) cu prefix ciclic pe conexiunea DL, iar pe conexiunea UL se folosește tehnica SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Acces). Nivelul fizic LTE suportă diverse lățimi de bandă de până la 20 MHz. Resursele radio sunt divizate în resurse de bloc fizic, PRB (Physical Resource Bloc), alcătuite din 12 subpurtătoare cu o durată de 1 ms. PRB-urile sunt alocate dinamic utilizatorilor pentru a crește numărul clienților atât în domeniul timp cât și în frecvență, folosindu-se de AMC (Adaptive Modulation Coding) împreună cu HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request).

Pentru a asigura nivelul de performanță cerut [82], LTE release 8 se bazează pe tehnica MIMO (Multiple Input Multiple Output) de transmisie și recepție în configurație de antene 2*2 pentru conexiunea DL și configurație 1*2 pentru conexiunea UL, dar pot fi utilizate și configurații de antene multiple. Pe conexiunea DL se poate folosi MIMO în buclă-închisă cu o codare de tip code-book-based care permite multiplexare spațială cu transmisie dual-code word pe unul până la patru niveluri de transmisie cu adaptare rapidă. Suplimentar este utilizabilă tehnica de transmisie Alamouty, cunoscută sub denumirea de SFBC (Space Frequency Block Coding). Pe conexiunea UL, se folosește multiuser MIMO pentru creșterea capacității rețelei, procedeu ce permite ca mai mulți utilizatori să transmită simultan pe același suport fizic.

5.3. Evaluarea rețelelor de nouă generație

În primele stadii de dezvoltare ale rețelelor, performanța echipamentelor și terminalelor 3G nu a putut fi verificată în condiții reale și la capacitate maximă în momentul lansării. Astfel că, în paralel cu dezvoltarea LTE, NGMN a solicitat efectuarea de evaluări ale performanțelor și teste în condiții reale [83]. NGMN și 3GPP au inițiat diferite teste pentru verificarea facilităților de interconectare și funcționare a echipamentelor LTE. Prin aceste teste, se realizează o analiză funcțională a rețelei și se pot determina caracteristicile și performanțele sale în condiții reale. Metodologia de evaluare și testare a NGMN [84], este foarte bine pusă la punct și permite compararea mai multor standarde, dar deoarece există și condiții care nu pot fi modelate suficient în simulări, testele în condiții reale sunt esențiale pentru evaluarea performanțelor. Totodată testele reale probează validitatea conceptelor ce depind de foarte mulți parametri; prin aceste teste se pot face și calibrări care vor permite ca cercetarea și dezvoltarea să fie axate pe identificarea și rezolvarea problemelor apărute.

Rețelele celulare nu pot fi caracterizate foarte bine de legături singulare. Interferențele, alocarea resurselor, precum și calea de propagare și mediul au un rol foarte mare asupra performanței finale a sistemului. Pentru a putea ține cont de toți acești factori, va fi nevoie să se țină cont de cât mai multe interferențe, urmărite în mai multe sectoare și site-uri. Simulările și testele în condiții reale trebuie să țină cont de parametri cheie de performanță PKI, precum viteza de transfer și întârzierea. Dar cei mai importanți factori sunt experiența și pretențiile utilizatorului de rețea, factori foarte greu de atins, ei depinzând de diferitele aplicații utilizate.

5.3.1 Zona de test și parametrii de măsură

În cadrul proiectului EASY_C au fost construite și testate 2 platforme de test la nivel fizic. Ele au fost implementate în centrul orașului la Dresda în Germania, o zonă cu densitate mare de clădiri, folosindu-se site-urile 2G/3G deja existente ale operatorilor Vodafone și T-mobile, ambii operatori participând la teste. O altă platformă de test identică bazată pe aplicații LTE și alte concepte avansate este instalată și în Berlin. Platforma de test din centrul orașului Dresda oferă diverse condiții de propagare, care sunt foarte importante pentru evaluarea sistemelor 4G cu legături MIMO în condiții de interferență tipice de reutilizare a frecvenței într-o rețea LTE, cât și pentru dezvoltarea unor algoritmi precum MIMO cooperativ:

- o zonă bine reprezentată dintr-un oraș de mărime medie din Europa;
- prezența dealurilor în partea sudică a orașului ce determină fenomene de reflexie;
- râul care traversează orașul ce produce refracție troposferică și superreflexii;
- zonă urbană cu clădiri înalte ce creează efecte de umbrire;
- distanța medie dintre site-uri aleasă de circa 500 metri.

Platforma de test a fost realizată în 3 etape. În prima etapă a fost dat în exploatare în aprilie 2008 un site cu 3 sectoare având înălțimea antenei de 55 m. Acest site a fost poziționat central față de zona aleasă pentru teste, marcat cu Hbf în figura 5.1.

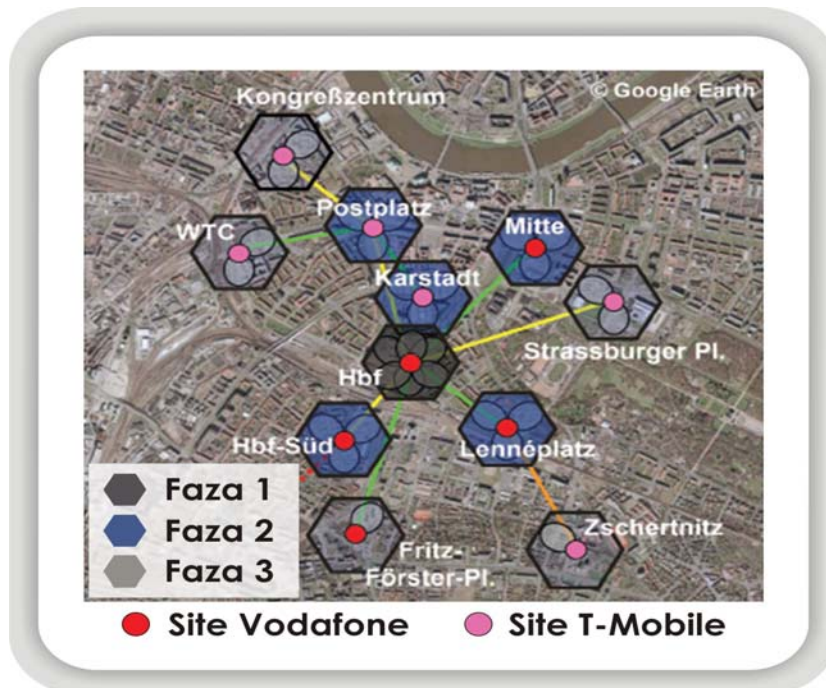


Figura 5.1. Platforma de test din centrul orașului Dresda

A doua fază va acoperi o zonă mai restrânsă de site-uri din jurul amplasamentului central și va include 6 site-uri cu un total de 18 sectoare, iar în

faza finală de implementare platforma de test va cuprinde 10 site-uri cu un total de 25 de sectoare. Aceste site-uri se utilizează pentru analiza interferențelor care vor apărea în jurul celulelor exterioare, cu scopul de a studia intensitatea și distribuția lor în rețea. Cu toate că acest mod de abordare este costisitor, e imperios necesar să se determine efectele interferențelor în momentul în care se va trece la implementarea rețelei. Din acest motiv, la aceste locații au fost instalate noi antene pentru BS, canale de alimentare și echipamente (stații de bază, terminale, prototipuri) pentru diferite teste.

Testul constă într-o platformă de teste instalată la nivel de BS și respectiv din diverse echipamente mobile furnizate de operatorii parteneri ai proiectului, a căror funcționare este analizată. Această infrastructură permite reproducerea în mod cât mai real a fenomenelor care pot influența conexiunile UL și DL, respectiv realizarea de scenarii reale de utilizare pentru a se putea studia comportarea LTE chiar și pe viitor după specificațiile 8.

5.3.2 Echipamentele platformei de test

În figura.5.2 este exemplificată o BS de test ce conține amplificatoare de RF, antene, stâlpi pentru susținerea lor și unități de microunde. Sistemele LTE nu au nevoie de dispozitive GPS pentru sincronizare, dar totuși ele au fost incluse în site-uri pentru se putea analiza amănunțit sensibilitatea algoritmilor la erorile de sincronizare, aspect foarte important în cadrul testelor. Legătura dintre site-uri se face prin link-uri de microunde cu întârzieri reduse, care operează în banda de frecvențe de 5 GHz cu o viteză maximă de transfer de 300 Mbps.



Figura 5.2. Stație de bază de test cu antene și emițătoare de microunde site central.

5.3.3 Măsurătorile pe platforma de test

Pe platforma de test astfel realizată s-au planificat o serie de măsurători specifice pentru caracterizarea mediului de propagare radio, sondarea canalului radio și determinarea probabilității de acoperire. Obiectivul acestor măsurători este pe de o parte calibrarea undelor, de tip Ray tracing, și dezvoltarea algoritmilor de predicție pentru multi-celule de tip MIMO, capabili să lucreze cu LTE-A, iar pe de altă parte de identificare a zonelor de la limita celulelor unde semnale din diferite celule interferă cu semnale de intensitate similară, provenite din alte celule.

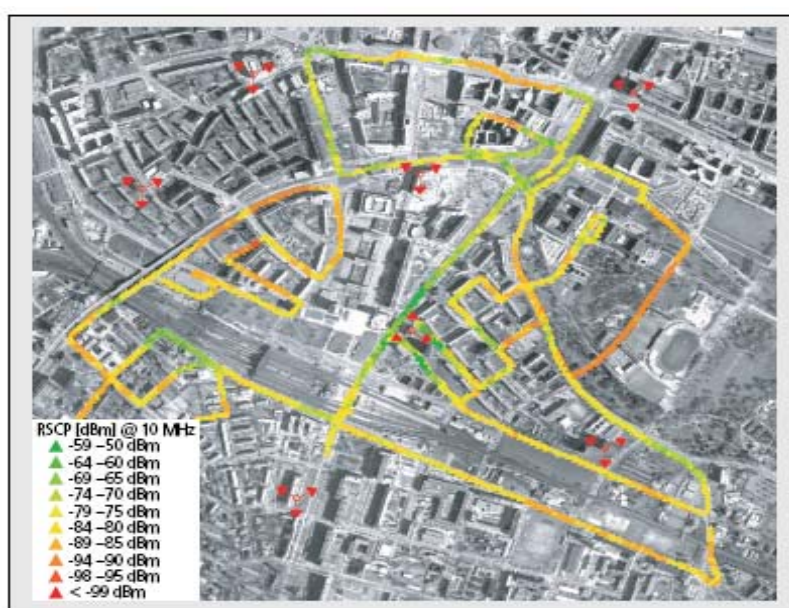


Figura 5.3. Nivelul de semnal pe traseul din zona de test

5.3.4 Teste de laborator

Folosind echipamente pre-standardizate și emulatoare de fading au fost realizate teste de laborator pentru evaluarea vitezei de transfer a datelor care se vor putea obține cu LTE Release 8. Rezultatele testelor au fost folosite de Alcatel-Lucent și Signalion pentru a stabili modul de lucru și realizarea primelor teste practice. Testele de laborator inițiale au evidențiat capacitățile LTE cum ar fi AMC sau selectare de frecvență programabilă, iar testele ce vor urma vor avea ca scop pregătirea și completarea activităților de testare de la site, îmbinate cu caracteristicile MIMO. Astfel în graficul din figura 5.4 este reprezentat debitul la nivel fizic prin celulă, măsurat pe conexiunea DL configurație SISO în funcție de raportul SNR, în următoarele condiții de test:

- banda sistemului de 10 MHz;
- AMC, hybrid ARQ, și planificare multiutilizator pe DL sub control eNodeB;
- ACK și NACK precum și calitatea legăturii raportată la UL;

- o singură celulă cu un singur utilizator (curba cu pătrate) sau 2 utilizatori în celulă (curba cu romburi);
- canal radio de tip pietonal A 3km/h cu fading pe DL și canal static pe UL.

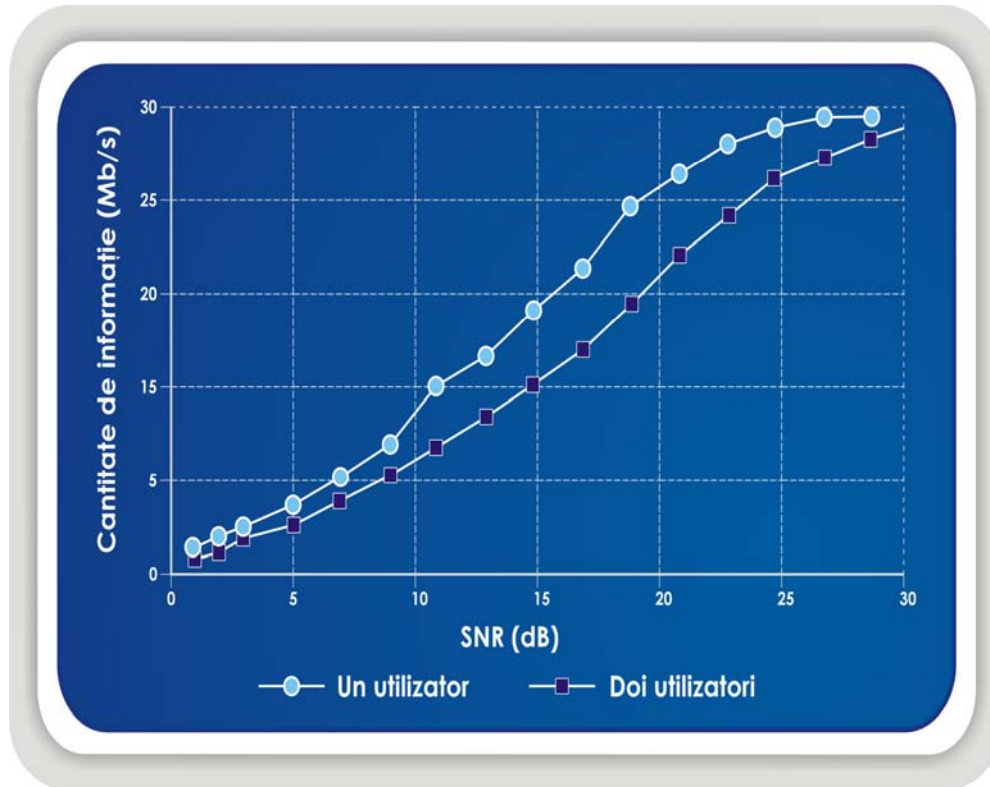


Figura 5.4. Încărcarea celulei pe conexiunea DL în funcție de raportul SNR cu unul sau doi utilizatori SISO în banda de 10 MHz.

Capacitatea AMC de a ajusta cât mai fin rata de date a utilizatorului în funcție de calitatea canalului este ilustrată în figura 5.4; acest lucru se realizează pe conexiunea DL raportând parametrii de calitate ai canalului CQI (Channel Quality Indicator) de la echipamentul mobil al utilizatorului UE înapoi la eNodeB, rata de refresh în acest caz fiind de 1kHz/subbandă. De asemenea figura 5.4. ilustrează câștigul în transfer de date (throughput) obținut în celulă, prin aplicarea unui algoritm selectiv de planificare în timp și frecvență în condițiile în care avem mai mulți utilizatori. Acest câștig poate fi cuantificat prin comparație cu traficul în cazul mai multor utilizatori, față de situația în care avem doar unul singur. Pentru terminalele care au viteză mică de deplasare, acest câștig poate fi unul substanțial, mai ales în zonele unde SNR atinge valori scăzute sau moderate. El rezultă din definiția parametrilor de calitate a canalului CQI, care permite ca întreaga lățime de bandă să fie divizată în subbenzi și aplicarea parametrilor CQI la nivel de sub-bandă.

Un alt tip de test, care presupunea măsurători pentru întârzierea ce afectează semnalul pe calea de propagare dintre UE și eNodeB, a demonstrat că aceasta întrunește cerințele 3GPP și anume ca întârzierea să fie mai mică de 10 ms

într-o celulă care nu este încărcată, având un canal UL prestabilit [82]. Valorile ce au fost obținute prin măsurători pentru diferite scenarii de utilizare, s-au determinat cu ajutorul unei aplicații de tip PING, folosind un segment de date de 64 de Bytes, inițiată de pe un PC conectat la UE și sunt incluse în tabelul 5.1.

Deși testele de laborator sunt mijloace foarte bune de caracterizare a sistemului, acestea au limitări din pricina costurilor echipamentelor și a complexității, în special când în calcul se iau mai multe antene și mai multe site-uri. Aceste teste nu sunt complet reprezentative pentru utilizarea în condiții reale. De aceea este absolut necesar să se efectueze teste în condiții de utilizare reală, în special pentru a se aduna informații asupra performanțelor unei rețele multiceulare.

Tabelul 5.1: Valorile medii ale întârzierilor pe interfața radio

Scenarii analizate	Întârziere (ms)
Unic utilizator. Celulă neîncărcată. Canal conexiune UL prestabilit. Canal radio fără deficiențe.	9.9
Unic utilizator. Celulă neîncărcată. Conexiune UL cu parametrii setați la cerere Canal radio fără deficiențe	19.4
Unic utilizator. Celulă neîncărcată. Canal conexiune UL prestabilit. Canal radio cu deficiențe pe conexiunea DL.	17.9
Utilizatori multipli (doi). Celulă încărcată la maxim de al doilea utilizator. Canal conexiune UL cu parametrii prestabiliți. Canal radio fără deficiențe.	9.8

5.4 Rezultate ale testelor la nivel de sistem

Scopul proiectului EASY-C împreună cu partenerii săi, este să pregătească și să ofere suportul necesar pentru standardizarea LTE Advanced și să demonstreze eficacitatea noilor concepte prin testare la nivel de site. Testele la nivel de site sunt de obicei însoțite de simulări de sistem pentru a evalua și a optimiza unii algoritmi cum ar fi MIMO, înainte ca aceștia să fie implementați. De asemenea, acuratețea simulărilor va putea fi comparată cu rezultatul testelor efectuate în condiții reale de utilizare.

Simulatoarele de rețea sunt conforme cu normele NGMN și 3GPP, iar interfața radio este modelată și simulată în detaliu. Pentru a se evita efectele care apar la zona de delimitare dintre 2 celule și pentru a nu apărea o supraestimare a parametrilor se folosește tehnica de sectorizare. Atât interferențele cât și canalele de date sunt modelate după modelul canalului spațial. Totodată, va fi necesar ca simulările să fie cât mai realiste în ceea ce privește pierderea și întârzierea pe canalul radio simulat. Simulatoarele sunt capabile să simuleze diverse configurații de antene, atât antene de transmisie cât și antene de recepție cu diferite distanțe între ele. Pentru obținerea valorilor măsurătorilor, simularea unui eveniment se face prin împărțirea sa în părți în care noile poziții mobile sunt alese aleatoriu. Feed-backul parametrilor CQI și PMI este modelat granular pentru a fi cât mai realist și se va ține cont de toate întârzierile semnificative apărute în urma măsurării parametrului SINR.

În tabelul 5.2 se prezintă rezultatele pentru o conexiune DL, când se folosește o configurație de antenă 2*2 cu buclă închisă pentru două site-uri situate la o distanță de 500m respectiv 1732m. Performanța este analizată în funcție de eficiența spectrală și capacitatea de transfer la limita celulei, definită ca a 5-a parte din capacitatea UE. Lățimea de bandă folosită este de 10 MHz.

Tabelul 5.2: Performanțele LTE-BS conform Release8 pe conexiunea DL

Configurația antenelor în cadrul amplasamentului	Distanța între amplasamente	Eficiența spectrală b/s/Hz	Capacitatea de transfer la limita celulei
2x2	500	1.46	345
2x2	1732	1.37	255

Punctul de operare a fost stabilit ca 30% din BLER pentru prima transmisie. HARQ este adaptiv și asincron, retransmișii sunt adaptate instantaneu la calitatea canalului și pot fi amânate dacă de exemplu, subcadru pentru retransmisie este deja ocupat de alte retransmisi. Pentru adaptarea legăturii se folosesc 27 scheme de modulare și codare diferite care acoperă calitatea de canal de la -6 la 20 dB SINR. Metoda este una pesimistă, modelul de canal ales fiind unul puternic afectat de perturbații, care va cauza micșorarea limitelor celulei dacă între site-uri este o distanță mai mare.

În tabelul 5.3 se prezintă rezultatele corespunzătoare pentru cazul în care pe conexiunea UL se utilizează o singură antenă la emisie și mai multe antene la recepție. S-a utilizat și compensarea pentru pierderile care apar pe calea de propagare pentru a menține nivelul semnalului recepționat la eNodeB constant. Puterea maximă de emisie a UE este de 24 dBm. Selectorul de frecvențe consideră aceasta ca fiind puterea maximă de emisie astfel în cât să fie cât mai eficientă din punct de vedere spectral. Se poate face și excepție de la această regulă numai dacă puterea necesară pentru un singur bloc depășește puterea maximă de emisie stabilită.

Tabelul 5.3: Performanțele LTE-BS conform Release8 pe conexiunea UL

Configurația antenelor în cadrul amplasamentului	Distanța între amplasamente (m)	Eficiența spectrală b/s/Hz	Capacitatea de transfer la limita celulei (kb/s)
1x2	500	0.97	295
1x2	1732	0.85	57

Din cauza aplicării pe UL a tehnicii SC-FDMA, planificatorul selectează doar blocurile de resurse adiacente. După cum se poate observa, din cauza puterii limitate de emisie a terminalelor, capacitatea de transfer la limita celulei tinde să se reducă semnificativ în cazul când distanța dintre site-uri este de 1732m. Diferitele tehnici cum ar fi coordonarea interferențelor, tehnica MIMO care poate asigura îmbunătățirea capacității de transfer la limita celulei și creșterea eficienței spectrale, sunt aspecte importante de care trebuie ținut cont în dezvoltarea rețelei.

5.5. Evoluția rețelei LTE dincolo de specificațiile 8, LTE-A

Odată cu standardizarea LTE specificația 8 (LTE Release 8) ajunsă în stadiu aproape final, în cadrul grupului 3GPP a început studii pentru găsirea unor noi tehnologii așa numite rețele LTE_ avansate (LTE Advanced), care vor fi la nivelul cerințelor operatorilor și ITU-R. Aceste tehnologii vor rămâne compatibile și cu LTE Release 8, iar dintre performanțele lor putem aminti [83]:

- Eficiența medie a spectrului până la 3.7 b/s/Hz pe DL(4x4) și 2.0 b/s/Hz pe UL(2x4);
- Eficiența spectrală la marginea celulei de până la 0.12 b/s/Hz pe DL (4x4) și 0.07 b/s/Hz pe UL (2x4);
- Viteza maximă teoretică de până la 1Gbps pe conexiunea DL și 500 Mbps pe conexiunea UL;
- Eficiența maximă a spectrului de 30 b/s/Hz pe DL și 15 b/s/Hz pe UL folosind configurații de antene 8x8 pe DL și 4x4 pe UL;
- costuri reduse cu infrastructura dar și eficiența energetică crescută atât a terminalelor cât și a echipamentelor de rețea. Aceste scheme sunt prezentate în fig.5.5.

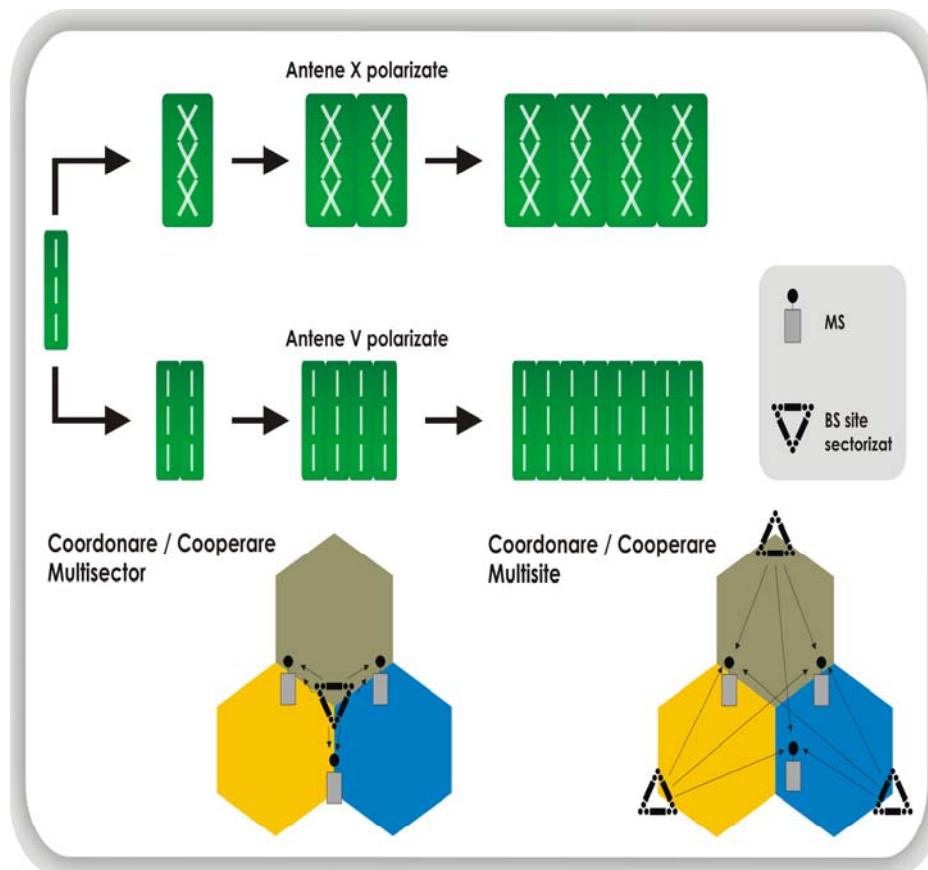


Figura 5.5. Principii ale tehnologiei LTE viitoare

Utilizarea unui număr mare de antene la transmisie și la recepție, atât pe conexiunea DL cât și pe cea UL, permite atingerea performanțelor optime ale sistemului. O configurație MIMO cu un singur utilizator cu un număr mare de antene de transmisie și de recepție, oferă suportul pentru rate ridicate de transfer. Configurațiile multi-utilizator asociate tehnicii MIMO pe conexiunea DL, folosind antene cu radiație optimizată sau care au emisia adaptată pe cerințele utilizatorului, constituie elemente cheie pentru ca eficiența spectrală să aibă un nivel cât mai ridicat.

Undele specifice utilizatorului sunt folosite în special pentru cazurile de mobilitate redusă, cazuri în care trebuie furnizate informații precise despre starea canalului radio la nivelul transmițătorului pentru a asigura acoperire fără un nivel ridicat de interferență. Antenele cu lobi de radiație pe o anumită direcție pot fi utilizate pentru mobilitate medie sau ridicată, astfel că semnalul la nivelul utilizatorului este strâns legat de poziția acestuia în cadrul celulei. În cazul antenelor compacte în configurație X-polarizată, formarea fixă a lobului poate fi combinată cu diversitatea (antene multiple) pentru îmbunătățirea legăturii sau multiplexare spațială.

Metoda de colaborare multisector și multisite are un rol în creșterea eficienței spectrale și a performanțelor legate de debitul de date la nivelul limitelor celulei. De exemplu coordonarea interferențelor poate fi folosită pentru a minimiza interferențele multisector, iar conceptul de prelucrare a semnalelor prin combinare – MIMO, ori coordonarea multipunct transmisie/recepție, permit exploatarea interferențelor și determină câștig în diversitate. În cazul unei analize realizate din punct de vedere teoretic, se poate constata că pentru aceste metode atât pe conexiunea UL [85] cât și pe DL [86] se pot obține performanțe deosebite. Cu toate acestea, sunt necesare cercetări și analize amănunțite pentru punerea în evidență a diferitelor aspecte practice de funcționare în condiții reale, a rețelelor în tehnica MIMO cum ar fi:

- sincronizarea terminalelor în timp și frecvență, precum și detectarea celor care nu sunt sincronizate;
- estimarea canalelor multisector, feedback-ul de informație de la canal la BS, impactul unei estimări greșite a stării canalului dintr-o rețea MIMO, precum și algoritmi rapizi de prelucrare a semnalelor;
- performanța rețelei MIMO și a algoritmilor de prelucrare obținută cu ajutorul unei infrastructuri cât mai simple bazată pe interconectarea între BS [87];
- planificare cooperativă pentru rețele MIMO.

Pentru LTE Advanced, toate aspectele menționate mai sus sunt cercetate prin teste de laborator și teste funcționale în condiții reale; la optimizarea tuturor caracteristicilor este necesar să se facă o analiză de ansamblu asupra avantajelor pe care le poate oferi utilizarea tehnologiilor multi-site, multi-user sau single-user.

Capitolul prezintă câteva aspecte legate de perspectivele rețelelor UMTS, unele teste realizate la nivel european în cadrul unor proiecte în care sunt implicați diverși parteneri pentru dezvoltarea de sisteme LTE, respectiv rezultate obținute în cadrul acestor teste pentru determinarea vitezei maxime de transmisie, eficienței spectrale și a întârzierii. Pentru o evaluare cât mai reală a LTE și pentru a se putea aduce îmbunătățiri ulterioare se efectuează teste la nivel de multi-site, teste care permit analiza modului în care operează în condiții de interferență. Din punct de vedere teoretic, algoritmi noi introduși, cum ar fi MIMO și cooperarea multisite/multisector, precum și platformele de test se vor folosi pentru dezvoltarea acestor concepte în detaliu și evaluarea acestora în condiții reale.

CONTRIBUȚII ȘI CONCLUZII

Problematika abordată în teză referitoare la proiectarea, implementarea și analiza în vederea optimizării rețelelor de comunicații mobile, este foarte amplă și constituie un subiect de cercetare continuă încă de la începutul anilor 90. Odată cu apariția noilor tehnologii și aplicații în domeniu, subiectul tratat în teză își păstrează actualitatea, atât din punctul de vedere al utilizatorului, cât și din punct de vedere științific.

Alegerea soluțiilor tehnice cât mai convenabile atât din punct de vedere al performanțelor rețelei cât și din punct de vedere financiar determină asupra operatorilor o presiune și o competiție fantastică, pentru a putea asigura prin serviciile mobile oferite (comunicații voce, date etc.) un nivel calitativ cât mai ridicat și mai apropiat de pretențiile utilizatorilor. În acest context în teză *am tratat principalele aspecte legate de rețelele de comunicații mobile* pornind de la etapele de dezvoltare a acestora și până la configurațiile actuale utilizate pe scară largă.

Activitatea desfășurată pentru implementarea și dezvoltarea unei rețele de generația a treia, am concretizat-o prin *dezvoltarea unor soluții originale de implementare și optimizare, bazate pe testele, măsurătorile și concluziile obținute în urma activității de teren.*

În **Capitolul 1** se descriu principalele aspecte legate de alocarea spectrului de radio comunicații la nivel mondial, arhitectura de bază a unei rețele 3G cu noțiuni legate de structura interfeței radio, blocurile funcționale din componența acesteia, respectiv tehnologia utilizată de sistem.

În **Capitolul 2** am realizat *o sinteză amplă a particularităților specifice tehnologiei WCDMA* prin prisma tehnicii de prelucrare a secvențelor de date înaintea transmisiei prin interfața radio. Astfel, am abordat câteva aspecte legate de interfața radio, ca un preambul al capitolului următor, prin prisma fenomenelor care se manifestă în canalul radio (fading) și cu detalierea funcțiilor de distribuție care îl caracterizează. Acest aspect constituie și subiectul unui articol personal menționat în lista bibliografică. *O clasificare, în viziune proprie, a performanțelor unei rețele 3G* este detaliată succint, împreună cu cele două tehnici, utilizate în rețelele implementate la ora actuală, pentru compensarea influențelor distructive ale fadingului asupra canalului radio. În plus, am subliniat faptul că aceste tehnici sunt implementate la nivelul receptorului terminalului mobil UE prin receptorul Rake, respectiv la nivelul echipamentului NodB prin diversitate.

În **Capitolul 3** am prezentat *o analiză originală, detaliată, a interfeței radio* pentru o rețea 3G prin prisma parametrilor tehnici ai acesteia. De asemenea, am analizat structura canalelor sistemului UMTS insistând pe clasificarea și descrierea rolului fiecăruia dintre ele. În continuare, am precizat rolul important pe care îl are la nivelul RNC managementul resurselor radio, care prin controlul puterii, controlul resurselor radio, respectiv controlul transferurilor, poate influența buna funcționare a unei rețele. Sub aspectul controlului *puterii am evidențiat principalele probleme care pot apărea la limita celulei*, în cazul când acest lucru nu se realizează, și în cazul în care un terminal mobil emite la putere prea mare, determinând creșterea nivelului de interferență. Legat de procedurile de transfer, care pot avea loc în rețea sau în afara ei, am prezentat tipul acestora, cu specificarea importanței pe care o au în funcționarea rețelei, împreună cu procedura de declarare a adiacențelor, subiect

abordat pe larg în capitolul următor. În acest context, am subliniat rolul important al RNC-ului în managementul resurselor radio.

Pe baza cercetărilor proprii întreprinse și pornind de la faptul că informațiile tehnice de instalare recomandate de operatorii rețelelor mobile de comunicații nu oferă soluții pentru planificarea, implementarea și optimizarea acestor rețele în toate situațiile posibile, în Capitolul 4 am propus elaborarea unei documentații practice. Aceasta este menită să conțină o serie de criterii, prin intermediul cărora să se aducă contribuții noi la modul de implementare și optimizare a unei rețele de comunicații mobile de nouă generație.

În acest sens, *stabilirea unor criterii la alegerea amplasamentelor* pe care urmau să fie așezate site-urile s-a dovedit extrem de utilă atât din punct de vedere al timpului economisit în etapa de planificare și implementare, cât și sub aspect financiar pentru operator. Astfel, *criteriile pe care le-am propus în cadrul acestui capitol*, dintre care amintesc aici cele două mai importante, *cel al incluziunii și cel al priorității*, se pot constitui într-un document de referință cu aplicabilitate practică directă pentru specialiștii din domeniu, având la bază cercetările pe care le-am desfășurat în teren în etapa de selectare și ulterior amplasare a site-urilor pe diferitele locații supuse procesului de selecție.

O altă contribuție susținută de măsurători detaliate, efectuate la diferite locații de interes, este subliniată de respectarea, în faza de implementare, a recomandărilor legate de *înălțimea și poziționarea antenei pe un anumit amplasament*. În acest context, am propus *întocmirea pentru fiecare amplasament a unei diagrame de obstacol cu informații incluse într-o bază de date*, pentru ca ulterior, problemele care pot apărea legat de acoperirea unei anumite zone, să poată fi soluționate cu costuri minime, fără modificarea amplasamentului, doar prin ajustarea parametrilor de azimut sau înclinație ai antenelor.

În aceeași notă de originalitate, am propus și o soluție practică, care face referire la *amplasamentul comun (co-sitingul)*, menită să evite situația în care pe aceeași suprafață se pot afla două rețele a doi operatori diferiți, având stațiile de bază poziționate în centru și respectiv la limita celulelor. Soluția originală pe care am recomandat-o în acest caz este aceea ca stațiile ambilor operatori să fie amplasate pe aceeași poziție sau să se modifice arhitectura rețelei, astfel încât acest lucru să fie posibil.

În cadrul **capitolului 4 am propus soluții noi**, bazate pe o analiză precisă, realizată printr-o multitudine de măsurători ale unor parametri importanți din rețea, având ca și rezultat final *optimizarea ariei de acoperire în cazul serviciului de comunicații de voce în diferite tipuri de zone: urban, rural deluros și montan*, adică acele situații care ridică cele mai dificile probleme de implementare.

În continuare, pentru verificarea soluțiilor propuse, am ales trei cazuri diferite, concrete, încă din etapa de implementare a rețelei, unde pentru fiecare situație în parte s-au realizat măsurători complexe de câmp, urmărind simultan mai mulți parametri de interes la nivelul rețelei (intensitatea câmpului, nivelul de interferență, puterea codului distribuită pe simbolurile pilot, etc), care să ofere informații despre aceasta.

O parte din valorile parametrilor vizați (numărul lor fiind mai mare de 3500 pentru fiecare caz) au fost incluse în tabele, iar eșantioanele obținute pentru zonele analizate au fost cuantificate cu culori diferite, ceea ce a permis realizarea unor hărți de acoperire. *Soluția propusă permite determinarea gradului de acoperire a parametrului măsurat pentru zona analizată, respectiv încadrarea zonei într-un anumit model de propagare*. O parte din rezultatele obținute pe parcursul acestui capitol au fost publicate în lucrări precizate în lista de referințe bibliografice.

Având în vedere aspectele menționate mai sus, în continuarea acestui capitol am propus o *soluție nouă în scopul optimizării rețelei, privitor la îmbunătățirea acoperirii anumitor zone cu semnal radio și pentru creșterea capacității de exploatare*. Această soluție practică se poate lua în considerare în situațiile de declarare a adiacenței pentru cazul anumitor sectoare. Dezvoltarea ei a pornit de la un caz practic, care a fost prezentat în detaliu la sfârșitul capitolului 4.

În acest context, *am implementat o metodă prin care se poate îmbunătăți acoperirea zonei de interes*, care în faza de implementare a rețelei fost prevăzută cu acoperire radio, dar mai apoi în urma măsurărilor în rețea s-a constatat că este deficitară pe această zonă, cu eforturi financiare reduse (fără a mai fi necesară amplasarea unui alt site). Metoda propusă constă în declararea sectorului adiacent și presupune măsurători la nivelul interfeței radio, atât înainte, cât și după declarare. Cu ajutorul programului de analiză, devine posibilă evidențierea nivelului de semnal și a nivelului de interferență pentru zona analizată, respectiv eliminarea evenimentelor neplăcute legate de întreruperea apelurilor datorate lipsei de acoperire cu influență directă asupra calității serviciului oferit.

În cadrul ultimului capitol am prezentat câteva *tendențe din domeniu*, legate de tematica tezei, dar și de preocupările mele viitoare.

Aspectele analizate, soluțiile propuse și contribuțiile personale sunt menite să aducă informații suplimentare, de valoare, la completarea specificațiilor tehnice puse la dispoziția diverșilor operatori. *Pe baza lor se poate eficientiza timpul necesar implementării și extinderii unei rețele și se pot reduce semnificativ costurile aferente*. Lucrarea poate fi folosită inclusiv în scop didactic pentru a descrie și sublinia importanța modului în care pot fi amplasate eficient și dezvoltate noi rețele mobile de comunicații.

Bibliografie

- [1] K.W. Richardson, "UMTS overview", Electronics & Communication Engineering Journal, iunie, 2000
- [2] FCC news, Action by the commission report and order(FCC 03-251) October 16, 2003.
- [3]****3GPP Tehnical Specification 25.401 Utran overall description
- [4]****3GPP release 5 Technical Specification 21.101, specifications and tehncial report for UTRAN-based 3GPP system 2009.
- [5]****3GPP Tehnical Specification 25.410 Utran Iu Interface: General aspects and principles.
- [6]****3GPP Tehnical Specification 25.420 Utran Iur Interface: General aspects and principles.
- [7]****3GPP Tehnical Specification 25.430 Utran Iub Interface: General aspects and principles.
- [8]****3GPP Tehnical Specification Group Services and system aspects. Multimedia telephony service general description 3G TS 26.110 1999.
- [9]****3GPP Tehnical Specification 23.002 Network Arhitecture, Version 5.5.0, January 2002.
- [10] Radu Lucaciu, „Studiul tehnicilor de acces multiplu”, referat doctorat, UPT 2005.
- [11] http://en.wikipedia.org/wiki/Code_division_multiple_access
- [12] http://en.wikipedia.org/wiki/W-CDMA_%28UMTS%29
- [13] John Proakis, „Digital Communications”, ed. 4-a, McGraw-Hill, New York, 2000.
- [14] <http://umtsworld.com/>
- [15] **** 3GPP release 5 Technical Specification 5.4. 2003
- [16] L.Morgoş, **S.Popa** „Adaptive coded modulation for fading channels” EMES 07 Analele Universităţii din Oradea Fascicola Electrotehnică, Romania 2007, pag.61-66, ISSN 1454-9239.
- [17] **** 3GPP Tehnical Specification 25.306 UE radio acces capabilities
- [18] Viterbi, A.J, „CDMA. Principles of Spread spectrum communication”, Addison-Wesley Ma. 1997
- [19] **S. Popa**, L. Morgoş, A. Şchiop „Multicarrier modulation techniques (MCM) used to combat frecvency-selective fading”, National Symposium of Theoretical Electrical Engineering Bucureşti, Romania 12.10.2007, pag.330-335, ISBN 978-973-718-899-1.
- [20] Lal Chand Godara, "Handbook of antennas in wireless communications", CRC Press, 2002, ISBN 0849301246, ISBN 9780849301247
- [21] Hyung G. Myung, Junsung Lim, and David J. Goodman, "Single Carrier FDMA for Uplink Wireless Transmission", IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 1, no. 3, Sep. 2006, pp. 30–38
- [22] Pauli Volker, Naranjo Juan Diego, Seidel, Eiko, "Heterogeneous LTE Networks and Inter-Cell InterferenceCoordination", http://www.nomor.de/uploads/a4/81/a4815c4dc585be33c81f0ec7a15deed7/2010-12-WhitePaper_LTE_HetNet_ICIC.pdf. Retrieved 2 April 2012.

- [23] Laiho J., Wacker A., „Radio network planning and optimisation for UMTS, ed. John Wiley&sons, 2001.
- [24] Anders Furuskär, Jonas Näslund and Håkan Olofsson (1999), "Edge—Enhanced data rates for GSM and TDMA/136 evolution", Ericsson Review no. 1
- [25] Copper,G., McGillem,C. „Modern communications and spread spectrum”, Ed. McGraw-Hill 2000.
- [26] Mohamed, I. „Signal processing for mobile communications”, ed. CRC Press LLC 2005.
- [27] E. Marza, C. Simu, „Comunicatii mobile”, Editura de Vest, Timișoara, 2003
- [28]**** 3GPP release 7-8 june 2008
- [29] Davinder M.S., Vipin B., Kanika M., „Fast OVFS code assignment scheme for WCDMA wireless networks”, Int. Conf. on Recent Trends in Business Administration and Information Processing, BAIP Proceedings. pp 65-71, Trivandrum, Kerala, India, March 26-27, 2010.
- [30] Mahini A., Reza B., „Assignment of OVFS Codes in Wideband CDMA”, 13th International CSI Computer conference, CSICC 2008,. pp 723-726, Kish Island, Iran, in March 2008.
- [31] Jari P., Tero T. Charlie, „2G-3G Field test specification”, Nokia 8.04.2004.
- [32] Holma H., Toskala A., „WCDMA for UMTS”, 3rd Edition pp.230-245, ed. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2004.
- [33] **S.Popa**, N.Drăghiciu, R.Reiz „Fading Types in Wireless Communications Systems” Journal of Electric and Electronics Engineering, pag.232-237, 2008, ISSN 1844-6035, Romania, Oradea.
- [34] Bernard S., „Rayleigh fading channels in mobile digital communications systems” part I: Characterisation, pp. 90-100 IEEE Communications Magazine Jul.97.
- [35] **S. Popa**, R. Reis, L. Morgos „Method for determination of frequency and duration of attenuations for channel with Rayleigh fading” 5th International Conference on Renewable sources and Environmental Electro-Technologies. Analele Universității din Oradea Fascicola Electrotehnică pag.140-141, Romania 2004, ISSN 1454-9239.
- [36] **S.Popa**, S. Castrase, N. Drăghiciu, Morgoș Lucian, „Fading Channels Modelation in Digital Communication Systems”, 8 International Workshop CPEE Wilasky, 14-16.10.2007 Poland, pag.41-44, ISSN 1731-6103.
- [37] Buot T., Zhu H., Schreuder H., Moon, S., Song, B., “Soft handover optimisation for WCDMA”, 4th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, Aalborg, Denmark, September 2001.
- [38] Ojanpera T., Prasad, R., “Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications”, ed. Artech House, 1998.
- [39]****3GPP, Technical Specification 25.306, UE Radio Access Capabilities, v5.9.0.
- [40] http://en.wikipedia.org/wiki/Rake_receiver
- [41]****3GPP, Technical Specification 25.144, User Equipment (UE) and Mobile Station (MS) over the air performance requirements.
- [42]****3GPP, Technical Specification 25.104, UTRA (BS) FDD Radio Transmission and Reception, v5.9.0.
- [43]http://www.nokia.com/NOKIA_COM_1/Microsites/NokiaWorld/Press/Nokia_Flexi_EDGE_Base_Station_datasheet.pdf
- [44] www.ericsson.com/tems
- [45] www.actix.com

- [46]****3GPP, Technical Specification Group Services and System Aspects, Speech Coded speech processing functions, AMR Wideband Speech Codec, General Description, (3G TS 26.171 version 5.0.0), 2001.
- [47]****3GPP, Technical Specification Group Services and System Aspects, Codec for Circuit Switched Multimedia Telephony Service: General Description (3G TS 26.110 version 3.0.1), 1999.
- [48]****3GPP Technical Specification 25.211, Physical Channels and Mapping of Transport Channels onto Physical Channels (FDD), v5.6.0.
- [49]****3GPP Technical Specification 25.212, Multiplexing and Channel Coding (FDD), v5.9.0.
- [50]****3GPP Technical Specification 25.213, Spreading and Modulation (FDD), v5.5.0.
- [51]****3GPP, Technical Specification 25.101, UE Radio Transmission and Reception (FDD) v5.13.0.
- [52] David Törnqvist, "Transmission Timing in WCDMA Terminals", Linköping, 2003, <http://www.ep.liu.se/exjobb/isy/2003/3312/exjobb.pdf>
- [53] L.Morgoş, C. Gordan, **S.Popa** „Rayleigh fading channels in digital communication systems” International Workshop Control and Information Technology IWCIT, Ostrava 15-16.09.2005, Czech Republic, pag. 271-274, ISBN 80-248-0906-0.
- [54]****3GPP, Technical Specification 25.301, Radio Interface Protocol Architecture, v5.3.0.
- [55]****3GPP, Technical Specification 25.214, Physical Layer Procedures (FDD), v5.10.0.
- [56]****3GPP, Technical Specification Group RAN, Working Group 2 (WG2), 'Radio Resource Management Strategies', TR 25.922.
- [57]**** 3GPP TS 25.133 'Requirements for Support of Radio Resource Management (FDD)'.
- [58] **S.Popa**, N.Drăghiciu, L.Morgos „WCDMA Systems Planning, Coverage and Optimization” Journal of Electrical and Electronics Engineering, Nr1., pag.189-192, 2009, ISSN 18446035 Romania, Oradea.
- [59] Sipilä, K., Laiho-Steffens, J., Wacker, A. and Ja¨sberg, M., 'Modelling the Impact of the Fast Power Control on the WCDMA Uplink', Proceedings of VTC'99 Spring, Houston, TX, 16-19 May 1999, pp. 1266-1270.
- [60] C. Gordan, L.Morgoş, **S. Popa**, R. Reis, A. Burcă „Improving the performance of on-road vehicle detection by combining Gabor and Wavelet features” EMES 05. Analele Universităţii din Oradea Fascicola Electrotehnică, pag. 64-69, Romania 2005, ISSN 1454-9239.
- [61] Dixon, R., „Spread spectrum systems with commercial applications”, John Wiley & Sons, 1994.
- [62] M. Curilă, C. Gordan, **S. Popa**, R. Reiz „Bild source separations for bad Weather Signals”, International Conference on Signal Processing VII, Military Technical Academy, Liptovsky Miculas, Tatranské Zruby, 12-14 05.2004, Slovakia, pag.113-115, ISBN 80-8040-232-9.
- [63]****3GPP, Technical Specification Group RAN, 'Handover procedures', TR 23.009
- [64]**** 3GPP, Technical Specification 'power control improvement in soft handover', TR 25.841.
- [65] Sipilä, K., Ja¨sberg, M., Laiho-Steffens, J. and Wacker, A., Soft handover gains in fast power controlled WCDMA uplink. Proc. VTC 1999 Spring Conf., Houston, Texas, May 1999, pp. 1594-1598.

- [66] Salonaho, O. and Laakso, J., 'Flexible Power Allocation for Physical Control Channel in Wideband CDMA', Proceedings of VTC'99 Spring, Houston, TX, 16-19 May 1999, pp. 1455-1458.
- [67] **** 3GPP, Technical Specification 'DSCH power control improvement in soft handover', TR 25.849.
- [68] Hiltunen, K., Binucci, N. and Bergstrom, J., 'Comparison Between the Periodic and Event- Triggered Intra-Frequency Handover Measurement Reporting in WCDMA', Proceedings of IEEE WCNC 2000, Chicago, 23-28 September 2000.
- [69] **S.Popa**, D. Nicolae, 'CPICH Channel Measurements' Annals of the University of Craiova no.1 vol.6 2009, pp. 76-81.
- [70] **S. Popa**, C. Gordan, R. Reiz „Design a Satellite Link Using a double site diversity reception scheme”, International Conference on Signal Processing VII, Military Technical Academy, Liptovsky Miculas, Tatranské Zruby, 12-14 05.2004, Slovakia, pag.109-112, ISBN80-8040-232-9.
- [71] **S. Popa**, L. Moldovan „Measuring the Cassagrain Antenna gain-to-noise G/T Ratio”, Analele Universității din Oradea Fascicola Electrotehnică, pag.72-74, 2001, ISSN 1454-9239, Romania, Oradea.
- [72] **S.Popa**, D. Nicolae, „Considerations about a model to compensate the scintillation effects in satellite link connections” Tehnical University of Cluj Napoca, Acta Electrotehnica Vol.51, Nr.4, pag. 266-270, 2010, ISSN 1841-3323, Romania, Cluj-Napoca.
- [73] http://en.wikipedia.org/wiki/COST_Hata_model#Coverage
- [74] F. Ikegami, T. Takeuchi, and S.Yoshida, "Theoretical prediction of mean field strength for urban mobile radio," IEEE Trans on Ant and Prop, vol. 39, pp. 299-302, 1991.
- [75] http://www.cse.hcmut.edu.vn/~ltquan/Documents_Softwares/CDMA/Walfisch-kegami.htm
- [76] ****3GPP, Technical Specification 25.215 v5.5.0 (2003-09), Physical Layer: Measurements (FDD) (Release 5)
- [77] http://niviuk.free.fr/umts_band.php
- [78] **S.Popa**, „Mobile networks planning strategy and development solutions”, International Symposium on Electronics and Telecommunications ISETC 2012 Tenth Edition, Timisoara, 15-16.11.2012, acceptat spre publicare ISETC 2012 indexat ISI
- [79] <http://sopopa.webhost.uoradea.ro/page3.html>
- [80] http://www.easy-c.de/index_en.html
- [81] H. Akhavan *et al.* "Next Generation Mobile Networks beyond HSPA & EvDo," NGMN Alliance White Paper 3.0, Dec. 2006; www.ngmn.org
- [82] ****3GPP TS 25.913 v. 7.3.0, "Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN)," Mar. 2006.
- [83] R. Irmer, Ed., "Next Generation Mobile Networks Radio Access Performance Evaluation Methodology," NGMN Alliance White Paper, June 2007; www.ngmn.org
- [84] ****3GPP TR 25.814 v. 7.1.0, "Physical Layer Aspects of Evolved UTRA," Sept. 2006.
- [85] ****3GPP TS 36.211 v. 8.1.0, "Physical Channels and Modulation," Rel. 8, Nov. 2007.
- [86] K. M. Karakayli, G. J. Foschini, and R.A. Valenzuela, "Network Coordination for Spectrally Efficient Communications in Cellular Systems," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 13, no. 4, Aug. 2006, pp. 56-61.
- [87] P. Marsch and G. Fettweis, "On Multi-Cell Cooperative Transmission in Backhaul-Constrained Cellular Systems," *Annales des Télécommunications*, vol. 63, no. 5-6, May 2008.

Anexa 1

WCDMA	Nume WBTS	BH02517
	Nume sector	BH02517_1
		BH02517_2
		BH02517_3
	UARFCN (frecvență DL)	10564
		10564
		10564
	frecvență UL	9614
		9614
		9614
	BAND IND.	Band1
	Scrambling code (SC)	121
		129
		119
	Putere TX (dBm)	43
	Rază Celulă (m)	20000
	Putere PCPICH (dBm)	33
	Înălțime antenă (m)	38.5
	Deschidere antenă (°)	65
	Tip suport	Turn 40m
	Tip antenă	KATHREIN 742 215
	Câștig (dBi)	18
	Longitudine (°)	22.47637
Latitudine (°)	47.39403	
Azimut (°)	40	
	165	
	260	

Anexa 2

WCDMA	Nume WBTS	BH01853
	Nume sector	BH01853_1
		BH01853_2
		BH01853_3
		BH01853_4
	UARFCN (frecvență DL)	10564
		10564
		10564
		10564
	frecvență UL	9614
		9614
		9614
		9614
	BAND IND.	Band1
	Scrambling code (SC)	465
		473
		458
		466
	Putere TX (dBm)	43
	Rază Celulă (m)	20000
	Putere PCPICH (dBm)	33
	Înălțime antenă (m)	25.9
	Deschidere antenă (°)	65
	Tip suport	Pilon ancorat 12m
	Tip antenă	AGISSON DX-1710-21
	Câștig (dBi)	18
	Longitudine (°)	21.95436
Latitudine (°)	47.04128	
Azimut (°)	30	
	120	
	250	
	320	

Anexa 3

WCDMA	Nume WBTS	BH02388
	Nume sector	BH02388_1
		BH02388_2
		BH02388_3
	UARFCN (frecvență DL)	10564
		10564
		10564
	frecvență UL	9614
		9614
		9614
	BAND IND.	Band1
	Scrambling code (SC)	104
		112
		120
	Putere TX (dBm)	43
	Rază Celulă (m)	20000
	Putere PCPICH (dBm)	33
	Înălțime antenă (m)	54.5
	Deschidere antenă (°)	65
	Tip suport	A Tipic
	Tip antenă	KATHREIN 742 215
	Câștig (dBi)	18
	Longitudine (°)	22.53953
Latitudine (°)	46.94695	
Azimut (°)	25	
	95	
	220	