

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. Monica Naforniță

Doctorand:

Ing. Sorin Popa

2012

Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborat în cadrul Departamentului de Comunica ii al Universit ii „Politehnica” din Timi oara.

În primul rând mul umiri deosebite se cuvin conduc torului de doctorat prof.dr.ing. Monica Naforni , f r al c rui ajutor de specialitate i moral, de-a lungul anilor, această lucrare nu ar fi existat. Doamna profesoar m-a îndrumat cu mult pricepere i vreau s -i mul umesc pentru cunoștințele împ rt șite, susținerea și înțelegerea pe care mi le-a acordat i pentru ajutorul oferit structurarea acestei teze de doctorat.

Doresc de asemenea s le mulțumesc referenților științifici ai tezei, pentru profesionalismul cu care au analizat această lucrare, și pentru efortul pe care l-au f cut pentru a participa la susținerea public a tezei.

Mul umesc pe această cale i colegilor din cadrul Departamentului de Electronic ii Telecomunica ii de la Universitatea din Oradea pentru încuraj rile sfaturile i sus inerea oferit de-a lungul anilor de preg tire doctoral .

Nu în ultimul rând, mul umesc din suflet membrilor familiei mele, pentru toat în elegerea i sprijinul acordat, deoarece au fost al turi de mine necondi ionat în toate momentele dificile prin care am trecut.

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 telefonia 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 viteze 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 eficient în situații reale (fading, acoperire insuficientă), respectiv tehnicile de prelucrare și împărțire 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 solicitarea unei conexiuni sau răspunsul 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 departamentul tehnic al RCS&RDS Oradea. De asemenea în cadrul acestui capitol este propus în etapa de optimizare a rețelei bazat 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 inițial optimizată, supus 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.

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

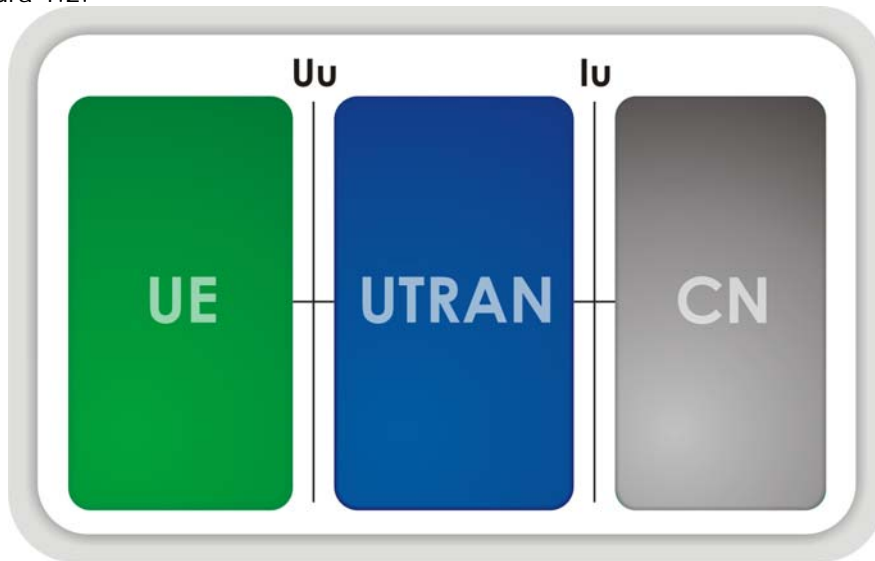


Figura 1.2. Arhitectura generală a sistemului UMTS

O rețea mobilă din domeniul public, PLMN (Public Land Mobile Network), apare în general 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.

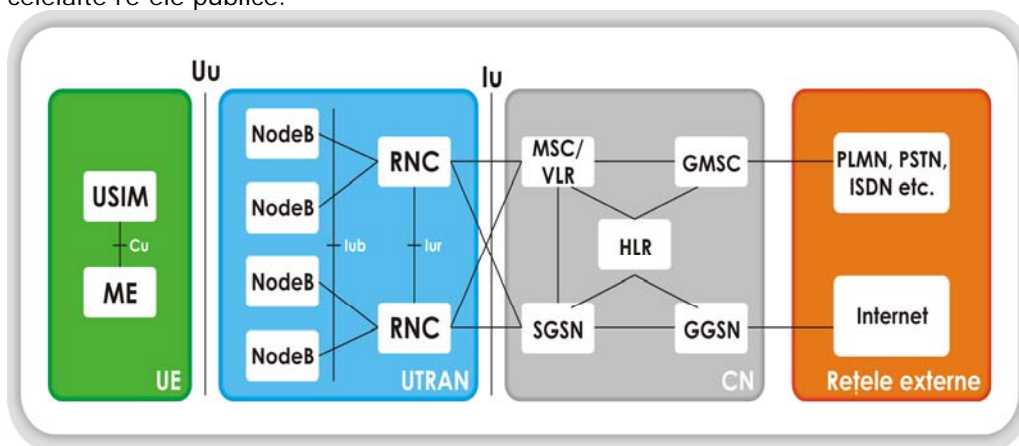


Figura 1.3 Elementele unei rețele mobile interconectate cu o structură PLMN

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, prestază 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) compus din două părți:

- NodeB, stația de bază face o conversie a fluxului de date între interfața IuB și Uu, fiind activ și în managementul resurselor radio;
- RNC (Radio Network Controller), controlerul rețelei radio de înaltă nivel controlează resursele radio, fiind și punctul de conectare al NodeB-urilor.

care formează împreună subsistemul rețelei radio, RNS (Radio Network Subsystem), care poate fi multiplicat în cadrul interfeței UTRAN după disponibilitatea echipamentelor operatorului, și 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 (Universal Terrestrial Radio Access Network), este reprezentată în figura 1.4

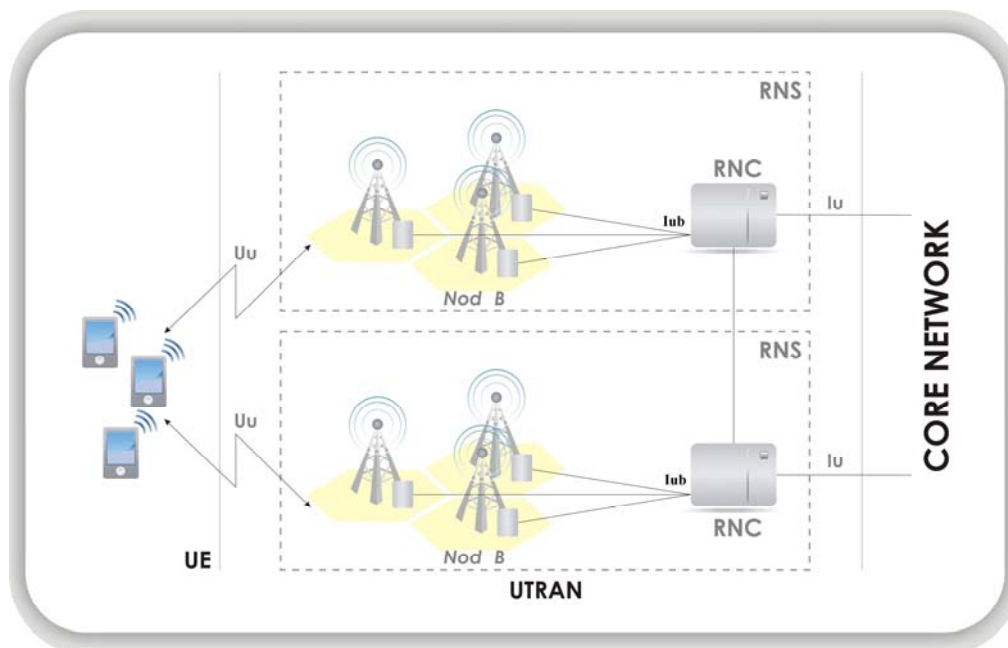


Figura 1.4 Amplasarea în teren a UTRAN

Nucleul reelei, 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 reea și se păstrează atâta timp cât respectivul utilizator este activ. Tot la acest nivel este păstrată ultima locație din reea unde a fost identificat utilizatorul (abonatul local), respectiv de unde s-a uzat de serviciile oferite de operator fiecărui utilizator, informație care se regăsește 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 reeaua de radiotelefonie mobilă și reeaua 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 reelele 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 reeaua 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 reeaua mobilă gazdă și celelalte reele 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 reele GMSC (Gateway Mobile Switching Centre), însă cu rol de stabilire a legăturilor telefonice între reelele cu comutare de circuit CS (Circuit Switched).

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

- reele cu comutație de circuite CS care asigură conexiunile necesare legăturilor telefonice,

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

În continuare, se vor prezenta detalii referitoare la interfețele elementelor logice ale reelei, 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 în acest bloc putem găsi UE și mai mulți producători și echipamente ale rețelei fixe de la diferiți producători interconectate prin intermediul altor interfețe lu, lur și lub.
- 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].

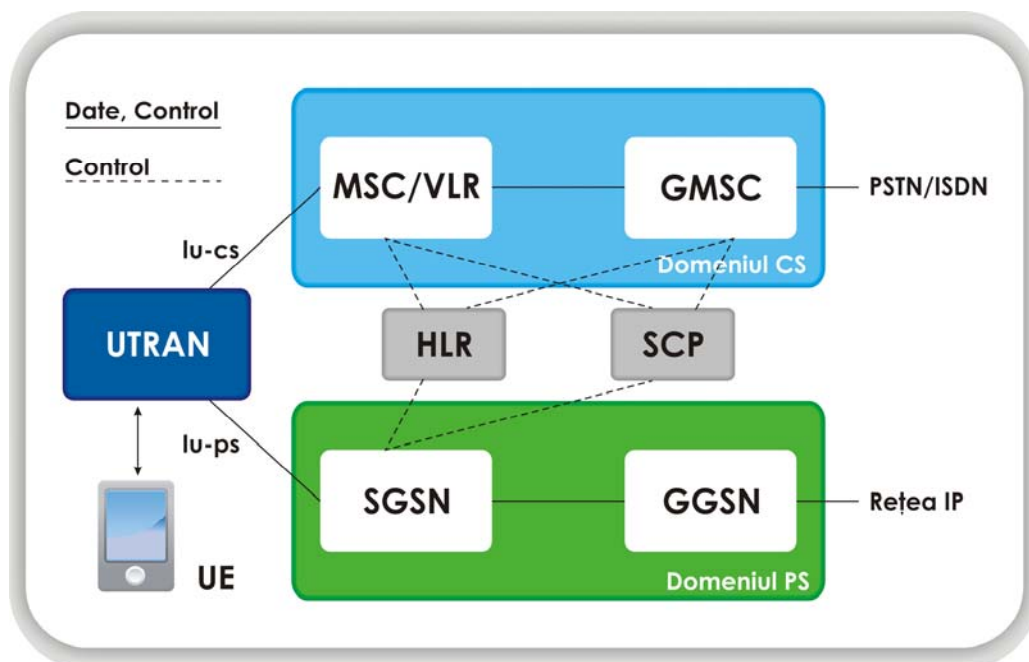


Figura 1.5 Structura miezului rețelei UMTS corespunzător specificației 3GPP Release 99

La o analiză de ansamblu asupra miezului rețelei CN, - figura 1.5 - se observă că este structurat pe două domenii CS și respectiv PS, pentru rezolvarea diferitelor 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).

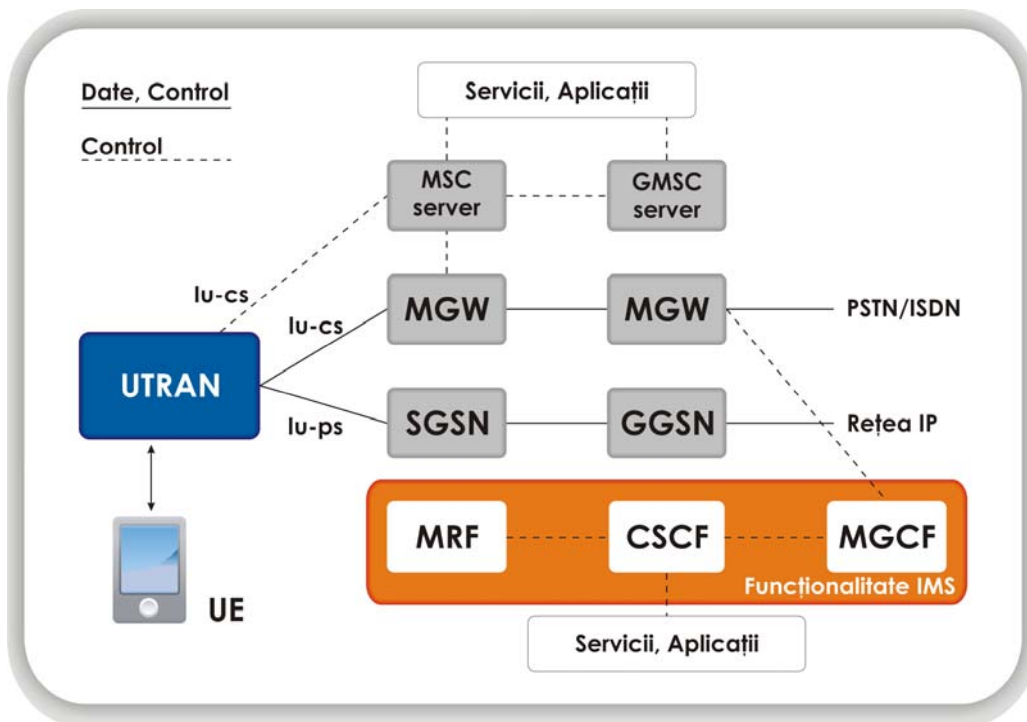


Figura 1.6 Structura rețelei core UMTS conform specificațiilor 3GPP 4 și 5

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 și respectiv GGSN, sunt identice cu cele din specificația 3GPP 99 (figura.1.4), 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.
- CSCF (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 procesuri 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; în figura 1.8 este reprezentată o imagine de ansamblu a rețelei UMTS.

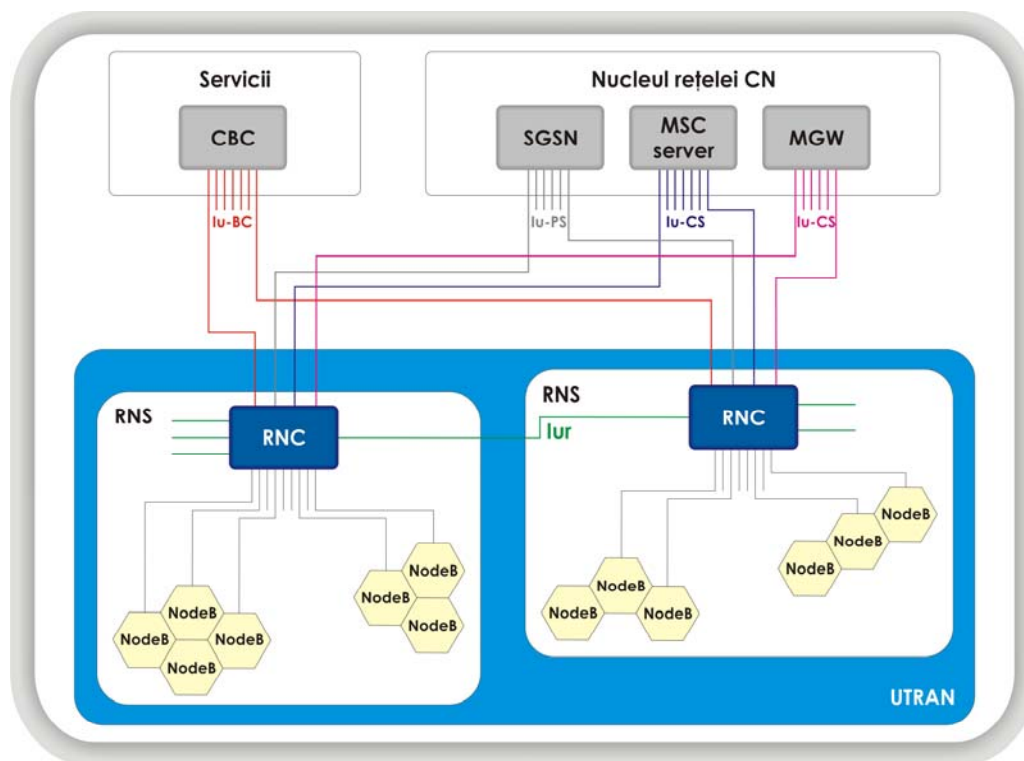


Figura 1.7. Interconectarea UTRAN cu centrul de servicii și nucleul rețelei

1.3. Caracteristicile sistemului UMTS

Spre deosebire de sistemul de telefonie fix, sistemul de telefonie mobil 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 porțiunile spectrului de frecvență radio fără a fi afectată calitatea, acoperirea sau securitatea conexiunii realizate 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, tehnic cunoscut 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, tehnic cunoscut 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 lăţimea de bandă de 1.25 Mhz, astfel transmisiunile împart acelaşi canal radio, în limitele corelaţiei dintre semnalul util şi secvenţa de cod pseudo-aleator [11] care asigură separarea utilizatorilor.

- în sistemele de comunicaţii 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 lăţime de 5Mhz. Cu toate acestea această tehnologie utilizează tot tehnica DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) specifică CDMA, ea asigură pe lângă lăţimea de bandă necesară şi o serie de alte avantaje suplimentare legate de creşterea capacităţii, acoperirea şi cost. În situaţiile când un terminal mobil recepţionează semnale de la mai multe antene ale unor staţii 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 recepţie al BS, specific unei celule sau sector, recepţionează semnale de la mai multe terminale mobile UE, el poate identifica diferiţii abonaţi (canale) prin codul de alocare a canalului unic asociat.

Interfaţa universală de acces radio terestru UTRAN (Universal Terrestrial Radio Acces Network) a sistemului UMTS asigură legătura radio între echipamentul mobil UE şi NodeB, respectiv controlerul reţelei radio RNC şi apoi spre reţeaua core CN. În comparaţie cu sistemele 2G, această interfaţă utilizează accesul multiplu cu diviziune prin cod (CDMA). Accesul multiplu pe interfaţa radio se poate face în două moduri:

- FDD-DS-CDMA de bandă largă, cu transmisie duplex cu separare în frecvenţă;
- TDD-DS-CDMA de bandă largă cu duplex temporal, WCDMA.

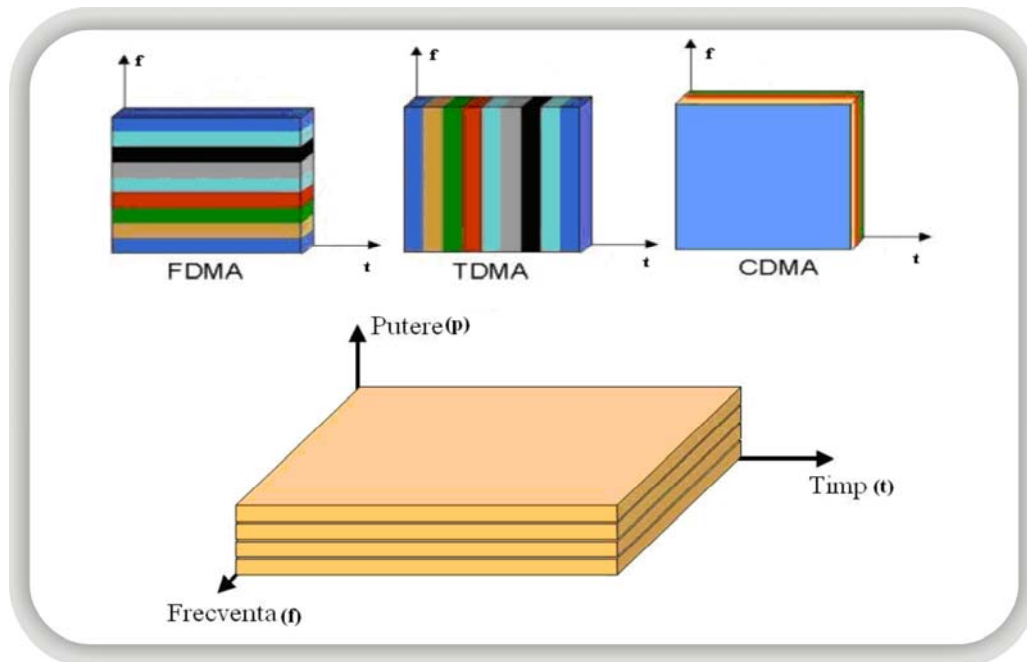


Fig. 1.8. Structura de acces multiplu TDD-FDD pentru sistemele CDMA

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 ($F_D = 190$ MHz), având la dispoziție următoarele subbenzi de frecvență:

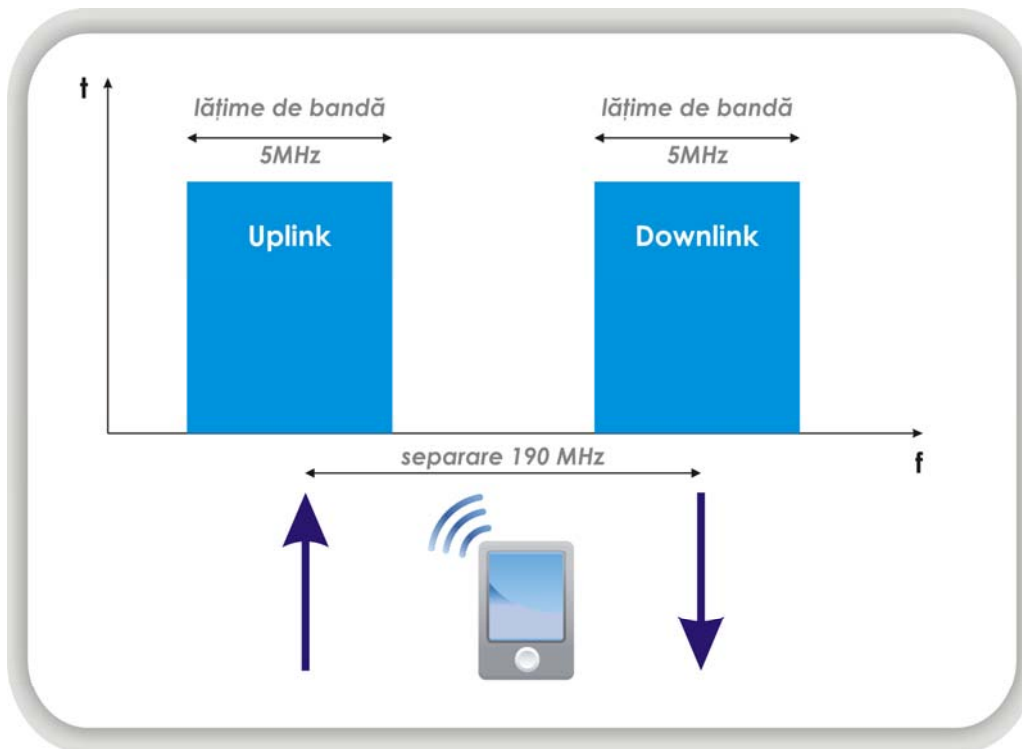


Figura 1.9. Principiul Frequency Division Duplex (FDD).

- ✓ 1920-1980 MHz (îngimeea benzii de 60 MHz) pentru legătura ascendentă ;
- ✓ 2110-2170 MHz (îngimeea 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 5 MHz, cu 190 MHz 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.

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

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

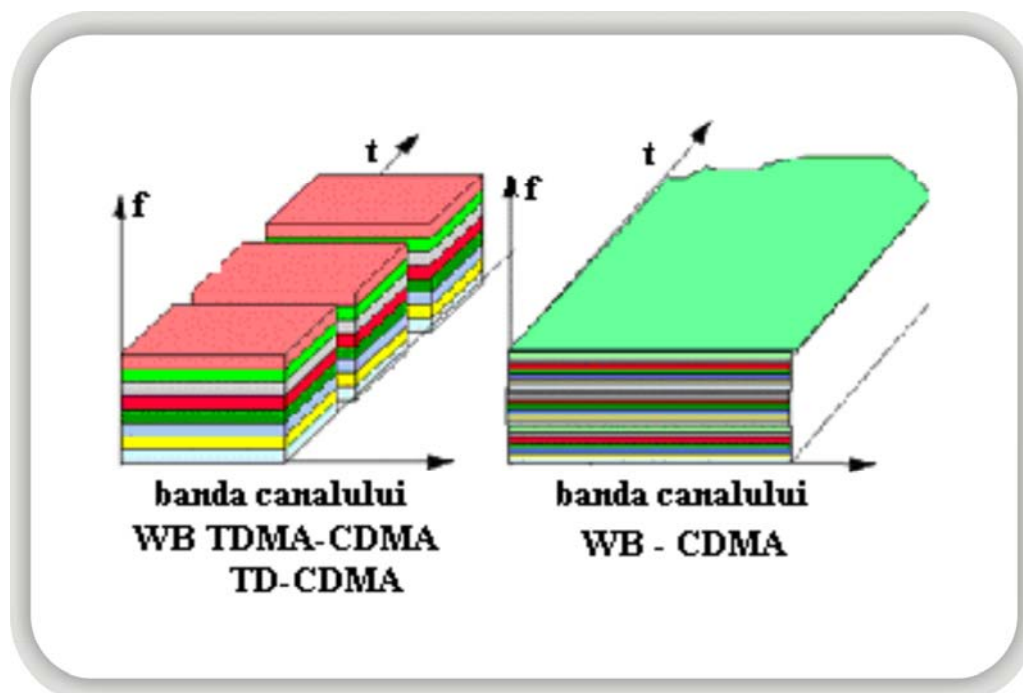


Fig. 1.10. Structura de acces multiplu TDD-FDD pentru sistemele WCDMA

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.

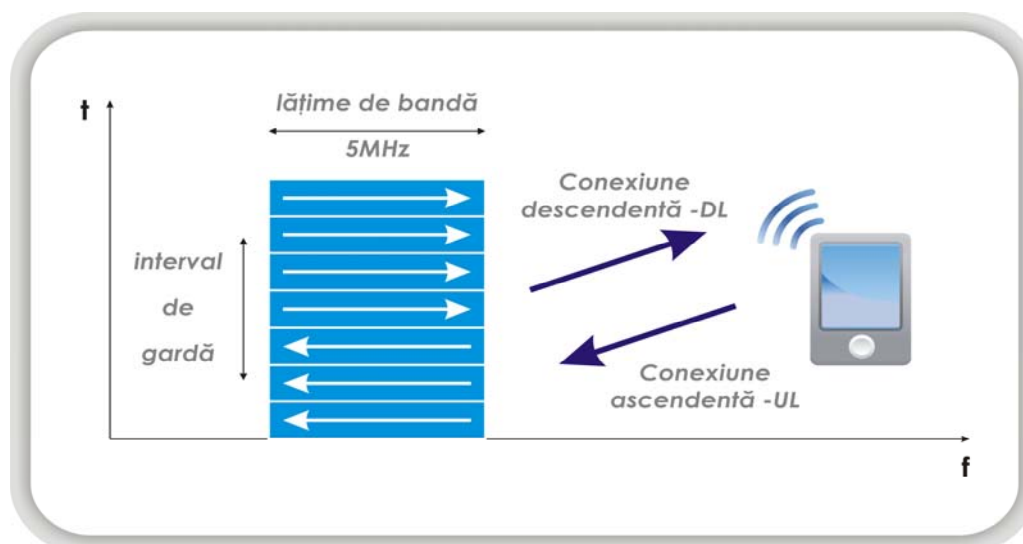


Figura 1.11. TDD (Time Division Duplex)

Un mesaj poate fi ascuns în zgomotul de fond, împărțind banda sa de frecvențe, prin adugarea unei secvențe pseudoaleatoare, PN (PseudoNoise), numită și cod, în fiecare semnal transmis. Adugarea 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 generate coduri identice și se adaugă sau se extrage în sau din modulator/demodulator secvențele PN. Evident că este necesară o bună sincronizare a emișorului și receptorului [13].

După operația de alocare a canalului (precodarea) și împărțire, datele utilizatorilor sunt structurate conform reprezentării din figura 1.9. 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.

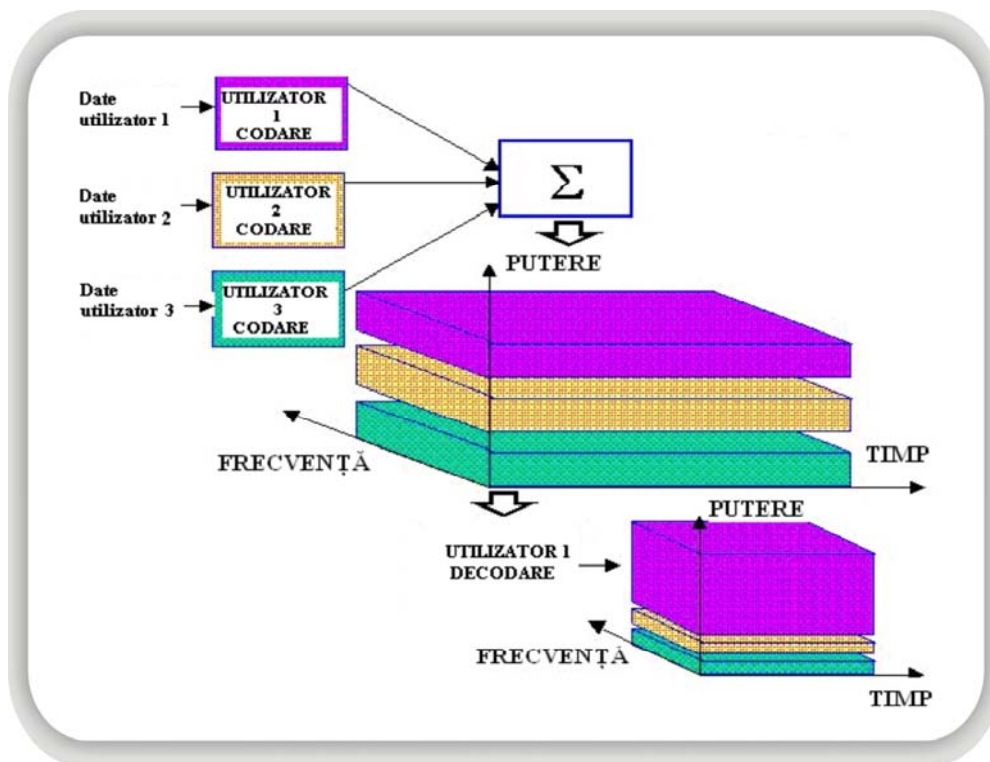


Figura.1.12. Structura datelor utilizatorilor distribuite TDD-FDD

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 împărțită informația utilizând conceptul de spectru împărțit 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 voce, video, date sau semnalizări, de volum fix. Dacă luăm blocul de date putem reduce puterea necesară transmiterii informației prin împărțirea 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 împărțirea sunt variabile; factorul de împărțire ne spune în ce măsură se poate împărți informația în banda de frecvență. Ideea de bază ar fi utilizarea unui factor de împărțire mare, a unei benzi de frecvență cât mai mari posibil, cu o densitate spectrală de putere mică dar aceeași energie/bit; astfel am reuși ca mai mulți utilizatori să poată folosi aceeași bandă de frecvență.

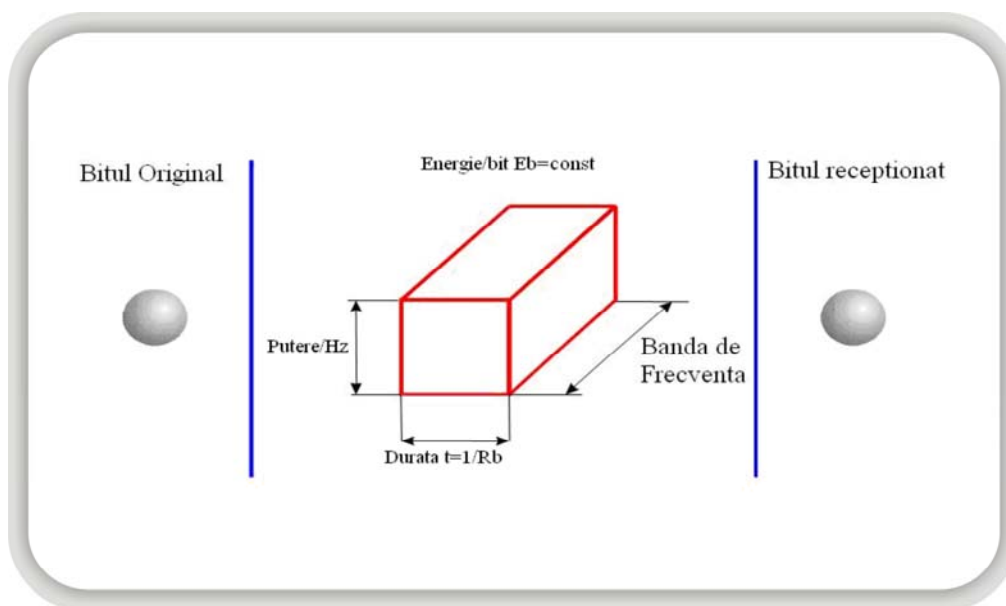


Figura 1.13. Conceptul WCDMA

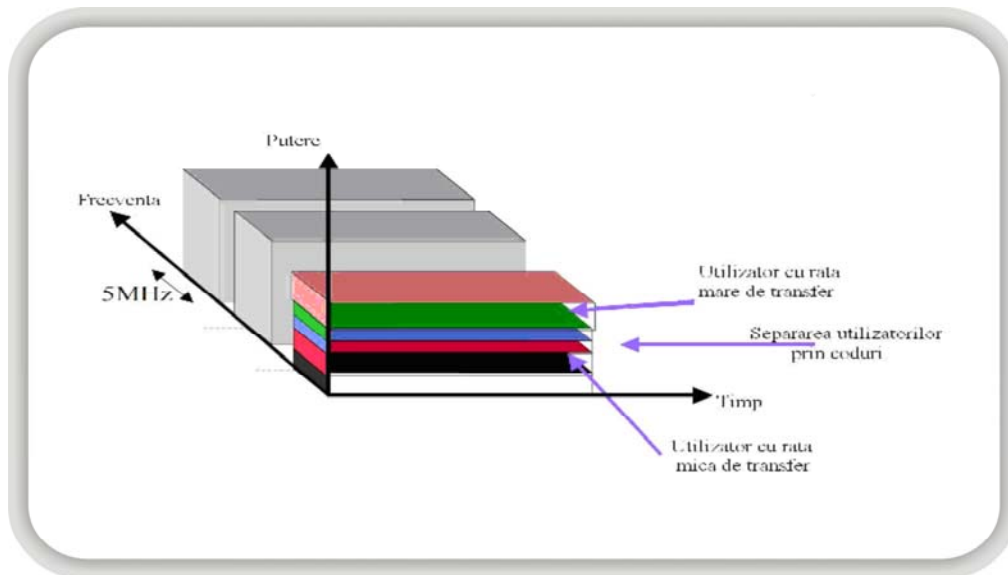


Figura 1.14. Alocarea lărimii de bandă în WCDMA în spațiul timp-frecvență-cod

Dintre principalele caracteristici ale tehnologiei, subliniez următoarele:

- WCDMA este o tehnologie utilizată în sisteme de comunicații radio de bandă largă cu acces multiplu în secvență directă, și diviziune în cod (DS-SS-SS-SS); biții purtători de informație sunt împărțiți într-o bandă largă de frecvență prin multiplicarea lor cu o secvență binară pseudo-aleatoare derivată din codurile de împărțire CDMA. Scopul este ca sistemul să suporte rate de bit foarte mari (peste 2 Mbps), se preferă utilizarea unui factor de împărțire variabil și a conexiunilor multicod, aspecte reprezentate schematic în figura 1.14.
- Rata de chip de 3.84 Mcps, determină o lăime de bandă de 5 MHz. Sistemele DS-SS-SS-SS cu o lăime 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 transmiterea informației utilizatorilor și de asemenea are avantaje certe de performanță, precum creșterea diversității multicale. 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 fiecărui secvență 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 diviziunea 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, însă în modul TDD se utilizează doar o purtătoare de 5 MHz împărțit temporal între conexiunile MS/BS și BS/MS.

În Tabelul 1.1 sunt date caracteristici specifice tehnologiei WCDMA.

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

- WCDMA se bazează pe funcționarea asincronă a stațiilor de bază, a căreia 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 celulelor în structura microcelulelor 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 „cu aerul” (air interface) WCDMA a fost concepută încât pentru un receptor CDMA operatorul de rețea să poată implementa, opțional, concepte avansate ca detecția multi-utilizator și antenele adaptive inteligente, pentru creșterea capacității și acoperirii. 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, sau pot fi aplicabile numai sub constrângeri severe a limitărilor creșterii în performanță.
- WCDMA este proiectat pentru a fi dezvoltat în combinație cu GSM. Prin urmare procedurile de transfer între GSM și WCDMA sunt posibile astfel încât se folosească acoperirea GSM la implementarea sistemului WCDMA, și chiar a ezarea pe același amplasament a antenelor și echipamentelor.

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 cip	3.84 Mcps
Lungimea cadrului	10 ms
Servicii multiplexate	Servicii cu performanțe diferite multiplexate pe o singură conexiune
Tehnologie multirate	Factorul de împărțire 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.

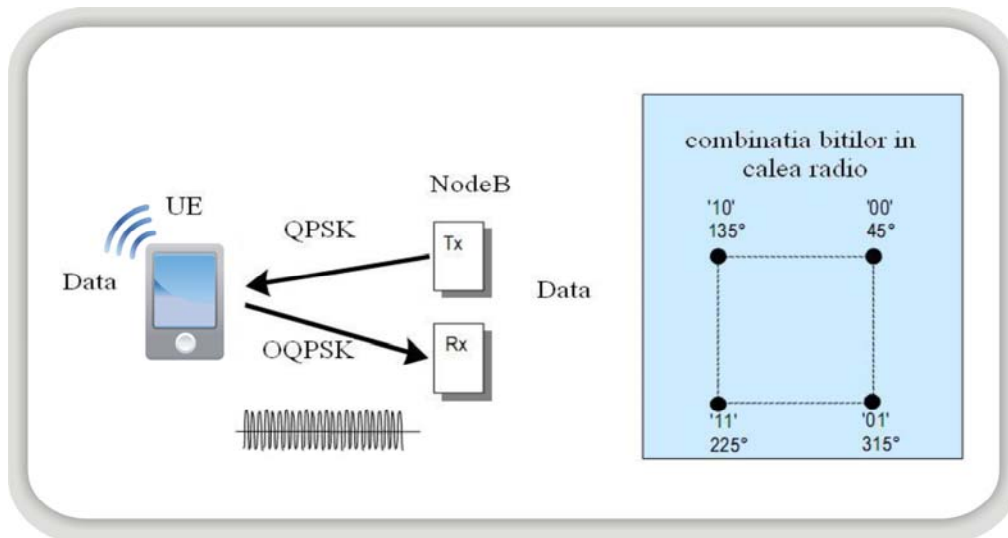


Figura 1.15. Modulația QPSK

Sunt mai multe tipuri de modulație: 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) [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. Purtoarele modulate sunt transmise apoi prin interfața radio. Receptorul poate reface semnalul digital monitorizând schimbarea stărilor semnalului recepționat.

Pe partea de DL se utilizează QPSK, iar pe conexiunea ascendentă UL se folosește OQPSK (Offset QPSK); aici schimbarea de la o fază la alta se face prin pași intermediari, aceasta reducând solicitarea echipamentului de transmisie.

1.4.2. Particularități ale tehnologiei WCDMA

Sistemul UMTS în tehnologia WCDMA are prevăzute benzi de lățime: 5, 10 și 20 MHz. Deocamdată este utilizat doar lățimea de bandă de 5MHz; pe 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 gard necesar pentru a reduce interferența între purtoare, ocupă 5MHz.

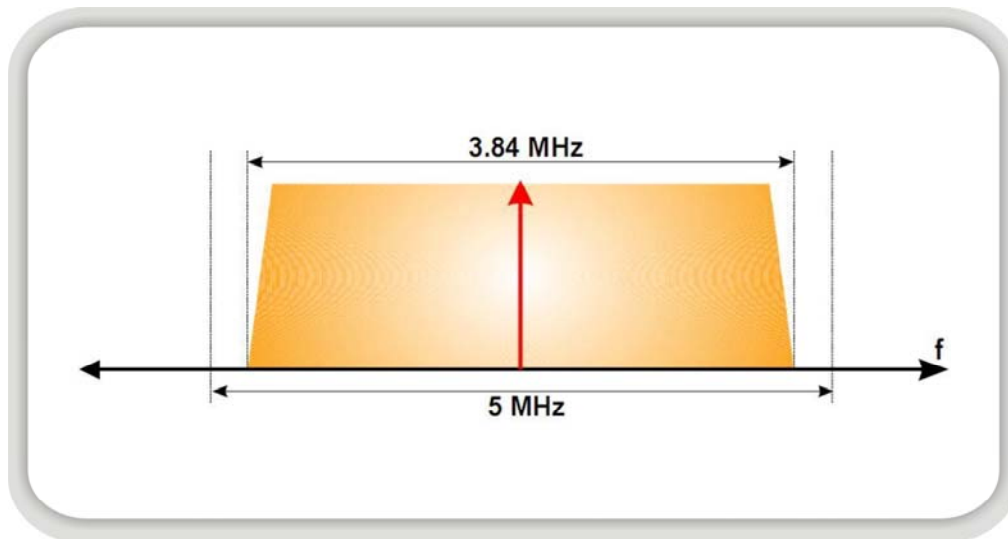


Figura 1.16. Purt toarea WCDMA (pe una din cele dou c i)

Un cadru DS-WCDMA-FDD de 10ms – figura 1.18 – este împ r it în 15 sloturi (intervale temporale) de câte 2/3ms, cu rol esen ial la sincronizare[17].

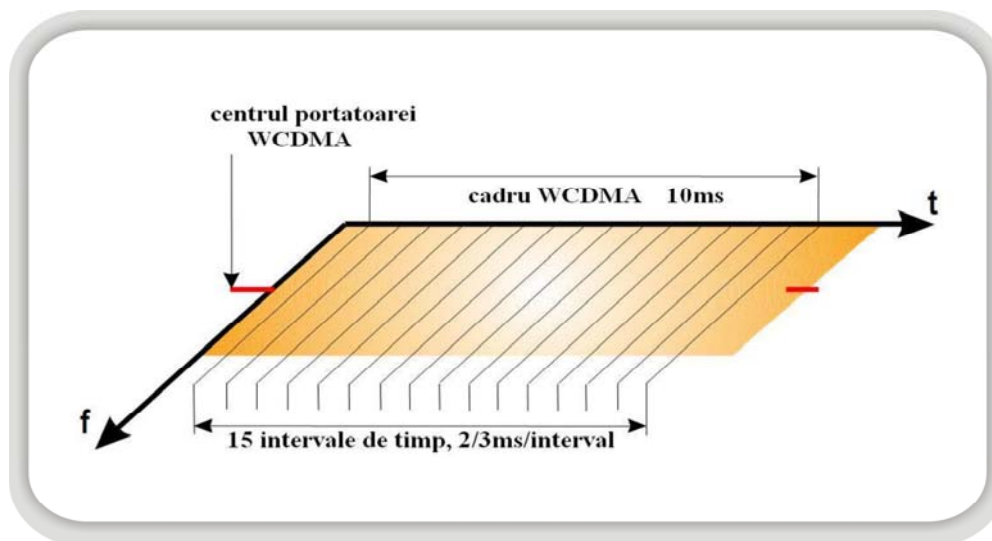


Figura 1.17. Cadru DS-WCDMA-FDD

Sucesiunea secven elor se refer la modul în care informa ia poate fi transferat pe calea radio; la tehnologia CDMA împ r tierea într-o band de frecven se poate face cu salturi de frecven FH (Frequency Hopping) i cu secven e directe DS (Direct Sequence).

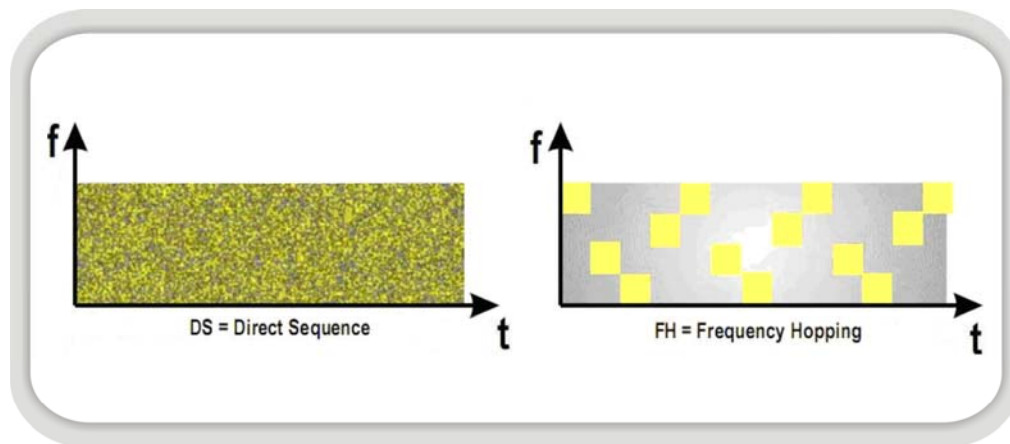


Figura 1.18. Secven ele de principiu CDMA

Un semnal cu spectru împr tiat (de band larg) este generat prin remodularea semnalului de date (deja modulat într-una din formele clasice de modula ie de band îngust) cu un cod pseudoaleator de band larg , cu perioada de simbol T_c (de chip) mult mai mic decât cea a datelor T_d , raportul fiind de ordinul sutelor sau miilor. Dacă a doua modulare este o modula ie în faz atunci semnalul se nume te semnal cu spectru împr tiat de tip secven direct (DS), semnalele fiind de tip BPSK, QPSK sau MSK. Dacă împr tierea spectral se realizeaz printr-o modula ie în frecven , prin schimbarea frecven ei purt toarei după o lege determinat de codul pseudoaleator, atunci semnalul se nume te semnal cu spectru împr tiat de tip salt de frecven (FH). Acest tehnic se aplic în general semnalelor de tip FSK. Dacă se utilizeaz ambele tehnici atunci semnalul rezultat se nume te semnal cu spectru împr tiat de tip hibrid (DS-FH).

În cazul DS, informa ia care trebuie transferat este împr tiat în toata banda de frecven ca o func ie de timp i seam n cu un zgomot de fond, iar în cazul FH informa ia care se dore te a fi transportat se g se te în diferite locuri ale spectrului benzii de frecven - figura 1.18. Pentru sistemul UMTS se folose te varianta DS [18], iar pentru sistemele 3,5G respectiv LTE solu ii combinate [19].

Tehnologiile diferite ale re elelor 3G fata de 2G - ca arhitectura re elei i interfe e radio - aduc avantaje importante (vezi tabelul 1.2):

- rat de bit superioar
- un factor de reutilizare mai bun [20]
- nivel ridicat al eficien ei spectrale pentru întregul sistem

Tabelul 1.2. Sisteme mobile de comunica ii până în 2007.

Serviciu	Standard	Anul lansării	Rata de bit în rețea R/ purt - toare (Mbit/s)	Lățime de bandă B/ purt - toare (MHz)	Eficiența spectrală a conexiunii R/B ((bit/s)/Hz)	Factor de reutilizare $1/K$	Eficiența spectrală sistem Aprox. $((R/B)/K)$ ((bit/s)/Hz per 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	$1/7$ ^[16]	0.0015
2G celular	GSM	1991	0.013 × 8 timeslots = 0.104	0.2	0.52	$1/9$ ($1/3$ ^[17] , 1999)	0.17 ^[17] (1999)
2G celular	D-AMPS	1991	0.013 × 3 timeslots = 0.039	0.030	1.3	$1/9$ ($1/3$ ^[17] , 1999)	0.45 ^[17] (1999)
2.75G celular	CDMA2000 1x voice	2000	Max. 0.0096/ conexiune tel × 22 apeluri/ purt -toare	1.2288	0.0078/ mobil × 22 apeluri/ purt -toare	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