

**CRISTIAN BUCUR**

**COMUNICAȚII MOBILE**

**EDITURA UNIVERSITĂȚII PETROL – GAZE DIN PLOIEȘTI**

**2015**

**Referenți științifici:**

**Conf. dr. ing. Cornel IANACHE,**

**Conf. dr. ing. Adrian MOISE**

Lucrarea a fost avizată de colectivul departamentului Automatică Calculatoare și Electronică din Universitatea Petrol – Gaze din Ploiești

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României  
BUCUR, CRISTIAN

Comunicații mobile /  
Cristian Bucur

Ploiești: Editura Universității din Ploiești, 2015

Bibliogr.

ISBN 973-719-063-7

621.38

---

*Adresa:* Editura Universității din Ploiești  
Bd. București 39, Ploiești, România  
Tel 0244.17 62 10, Fax 0244.17 58 47

ISBN 973-719-063-7

# INTRODUCERE

Prezentul material are structura unui suport de curs și se adresează studenților de la “Automatizări Avansate” anul II, forma de învățământ masterat și studenților specializării “Electronică Aplicată” din anul IV, forma de învățământ licență.

Înseamnă că are drept obiectiv evidențierea principalelor sisteme de comunicare (interumane sau între sisteme tehnice), prezentând caracteristicile și domeniile în care sunt aplicate. Spațiul alocat disciplinei nu permite o tratare în extenso a nici unui sistem de comunicații mobile, fiecare sistem “bucurându-se” în literatura de specialitate de mii de pagini.

Comunicațiile mobile, pentru a rezolva problemele legate de comunicațiile prin fir (sau cablu optic), se dezvoltă în mai multe direcții în funcție de:

- debitul datelor ( $kbps$ );
- acoperirea necesară ( $m$ );
- viteza de mișcare a mobilului ( $km/h$ );
- consumul de putere al echipamentelor ( $mW$ );
- securitatea datelor.

Sistemele de comunicații sunt utilizate într-una sau mai multe aplicații, cum ar fi:

- sisteme de achiziție și monitorizare, automatizări industriale;
- aparatură de uz casnic sau comercial, controlul accesului, monitorizarea și controlul energiei, clădiri “inteligente”, logistică;
- controlul funcționării echipamentelor și sistemelor automobilelor;
- accesul echipamentelor la rețeaua Internet;
- telefonie, transfer de date video;
- transportul datelor organizate în fișiere;
- rețele locale, rețele personale de comunicații;

**Capitolul 1** face o introducere în comunicațiile mobile, precizând elementele fizice implicate, conceptul de comunicații celulare, precum și evoluția sistemelor de comunicații mobile.

Sunt evidențiate principiile comunicațiilor mobile analogice iar în partea finală a capitolului sunt prezentate caracteristicile unui sistem analogic și anume sistemul AMPS.

Sistemele **cordless**, care realizează legătura între linia telefonică fixă de abonat și un echipament mobil pe distanțe de zeci de metri (CT2 și DECT), sunt prezentate în **capitolul 2**.

Sistemele proprietare cu acces limitat **PMR** (*Private Mobile Radio*), cu care se realizează **rețele trunked** (TETRA) sau se realizează rețele de paging (ERMES), sunt prezentate în cadrul **capitolului 3**.

În cadrul **capitolului 4** sunt prezentate câteva sisteme de comunicații (CAN, LIN, D2B) prin intermediul cărora sunt realizate rețele pentru accesarea senzorilor și intercomunicarea echipamentelor unui automobil.

Pentru telefonie și uneori pentru transferul de imagini sau filme sunt realizate rețele celulare **WAN** (*Wide Area Network*) folosind tehnologiile: 2G (sistemul GSM prezentat în **capitolul 5**), 2.5G (GPRS, EDGE, capitolul 5), 3G (UMTS, LTE, **capitolul 6**) sau 4G (LTE Advanced, capitolul 6 și WiMax, capitolul 7).

Rețelele locale **WLAN** (*Wireless Local Area Network*), având în principal scopul de conectare între ele a diferitelor echipamente de calcul și de conectare a acestora la rețeaua Internet, folosesc sistemele de comunicații WiFi sau WiMax, care sunt prezentate în **capitolul 7**.

**Capitolul 8** prezintă câteva sisteme de comunicații (ANT, ZigBee și  $\mu$ Blue) incluse în cadrul sistemelor de achiziție și monitorizare a parametrilor din diverse domenii industriale.

**Capitolul 9** prezintă problemele condiționării semnalelor în vederea transmiterii prin canale de comunicație, precum și problemele legate de accesul multiplu.

În final, datorită numărului mare de termeni tehnici din cadrul lucrării, am considerat necesar să introduc un **Glosar** care conține, între paranteze, referințe la capitolul unde poate fi întâlnit termenul.

Dinamica domeniului sisteme de comunicații este foarte rapidă, așa încât nici nu s-a implementat bine un sistem (de comunicații) că deja există preocupări pentru extinderea sistemului și pentru înlocuirea lui cu unul mai performant – *ceea ce înseamnă că durata de viață a prezentului material este limitată*.

Autorul,  
Prof.dr.ing. Cristian Bucur

Ploiești decembrie 2014

## CUPRINSUL

<b>Introducere</b>	3
<b>Cuprinsul</b>	5
<b>Cap 1. Comunicații mobile analogice</b>	7
1.1. Principiile comunicațiilor mobile	7
1.2. Etapele procesului de comunicare	11
1.3. Evoluția sistemelor de comunicații mobile	12
1.4. Sisteme de comunicații analogice	14
<b>Cap 2. Sisteme fără fir (cordless)</b>	19
2.1. Caracteristici ale sistemului <b>CT2</b>	19
2.2. Sistemul cordless SPP A967	21
2.3. Caracteristici tehnice ale sistemului <b>DECT</b>	27
2.4. Arhitectura sistemului DECT	30
<b>Cap 3. Sisteme trunked și sisteme de paging</b>	33
3.1. Sisteme PMR	33
3.2. Structura sistemelor trunked	35
3.3. Sistemul TETRA	39
3.4. Sisteme de radiopaging	46
3.5. Sisteme clasice de paging	49
3.6. Sistemul ERMES	52
3.7. RDS	55
<b>Cap 4. Sisteme de comunicații pentru automobile</b>	57
4.1. Protocolul CAN	59
4.2. Protocolul LIN	64
4.3. Protocolul D2B	69
<b>Cap 5. Sisteme GSM</b>	73
5.1. Vocoder	73
5.2. Procesarea primară a semnalului vocal	75
5.3. Modelul vorbirii	78
5.4. Codarea canalului vocal	82
5.5. Codarea canalelor de date	83
5.6. Canale radio	87
5.7. Controlul puterii și avansul în timp	89
5.8. Canale logice	93
5.9. Regimuri de funcționare ale stației mobile	96

5.10. Baze de date la centrele de comutare	99
5.11. Controlul resurselor radio	103
5.12. Controlul mobilității	104
5.13. Controlul conexiunii	106
5.14. Sisteme GSM evaluate (generația 2,5)	107
<b>Cap 6. Sistemul UMTS și sisteme LTE</b>	<b>115</b>
6.1. Arhitectura sistemului UMTS	116
6.2. Canale UMTS de comunicație	118
6.3. Coduri	121
6.4. LTE	126
6.5. LTE Advanced	136
<b>Cap 7. Rețele locale fără fir (WLAN)</b>	<b>141</b>
7.1. Standardul IEEE 802.11	142
7.2. Nivelul fizic al rețelei WLAN	144
7.3. Nivelul logic MAC	144
7.4. Tehnologia WiFi	151
7.5. Tehnologia WiMax	157
<b>Cap 8. Sisteme de comunicație cu consum mic</b>	<b>163</b>
8.1. Sistemul ANT	163
8.2. Sistemul Bluetooth Low Energy	165
8.3. Sistemul ZigBee	167
<b>Cap 8. Modulația și accesul multiplu</b>	<b>173</b>
8.1. Modulația numerică	173
8.2. Metode de acces multiplu	176
<b>Glosar de termeni tehnici</b>	<b>181</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>197</b>

# 1

## COMUNICAȚII MOBILE ANALOGICE

### 1.1. Principiile comunicațiilor mobile

Sistemul de comunicații mobile se compune dintr-un aparat mobil, una sau mai multe stații fixe și un centru de transfer a semnalelor între stațiile fixe.

Fiecare sistem în mișcare are la dispoziție o stație de emisie – recepție (numită *mobil*) prevăzută cu softul adecvat comunicării cu turnul radio (stația fixă).

**Stația mobilă de bază BSM** (“*Mobile Base Station*”) este prevăzută cu cel puțin două antene – una pentru recepție și alta pentru emisie, având rolul de a asigura comunicarea cu echipamentele mobile din raza de acoperire.

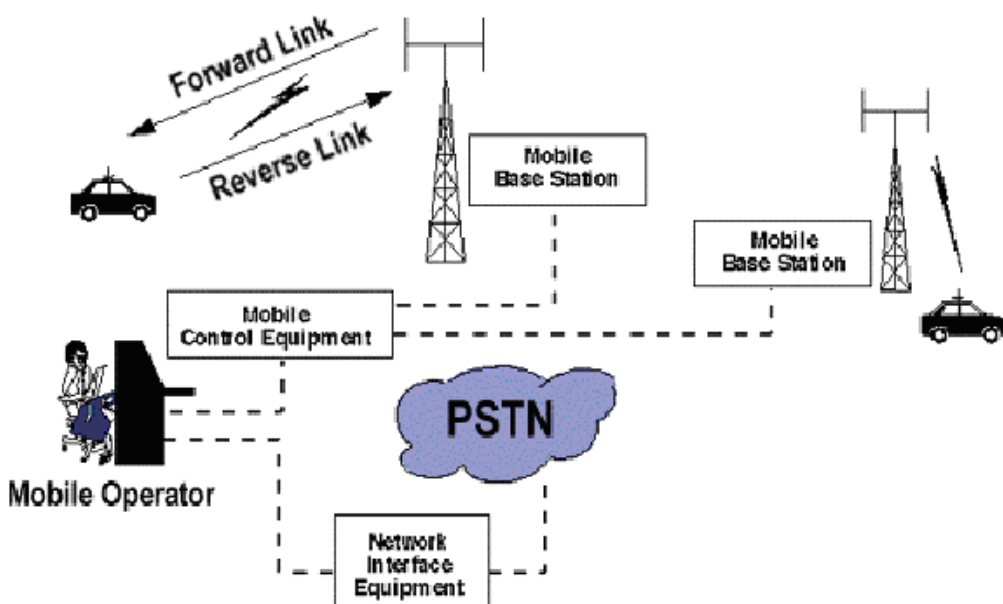


Fig. 1.1.

Pentru a acoperi un arc de cerc mai mare se folosesc mai multe antene direcționale.

Mobilul folosește două frecvențe pentru comunicarea cu turnul de control (stația mobilă de bază): cu ajutorul frecvenței purtătoare numite “*Forward Link*” primește semnal vocal, date și comenzi de la stația mobilă de bază iar prin intermediul frecvenței “*Reverse Link*” trimite stației de bază cereri (de stabilire a comunicației) și semnal vocal.

Pe de altă parte stațiile mobile de bază sunt interconectate prin intermediul unui centru de control MSC, ca în figura 1.1.

**Centrul de control MSC** (*Mobile Switching Center*), asigură transferul stațiilor mobile de la o stație mobilă de bază **BSM** la alta și totodată permite conectarea rețelei de telecomunicații mobile la rețeaua națională de telefonie fixă **PSTN**.

**Notă.** Transferul stației mobile de la o stație de bază la alta se referă la faptul că mobilul va comunica cu o altă stație (cea la care a fost transferat).

Conectarea stațiilor mobile de bază **BSM** la centrul de control **MSC** se face prin linii telefonice de mare viteză, prin fibră optică sau prin radiocomunicații cu frecvențe din domeniul microundelor.

## Conceptul de comunicații celulare

Creșterea puterii stației de bază determină creșterea acoperirii, a teritoriului în care mobilele o pot recepționa. Va crește numărul de mobile deservite, însă vor apărea probleme privind interferența semnalelor furnizate de stațiile învecinate, ceea ce va degrada calitatea convorbirilor. Problema a fost rezolvată prin utilizarea conceptului de *celulă*.

Se micșorează puterea stației de bază așa fel încât raza de acoperire a acesteia să fie de numai 2,.., 40 km și se acoperă teritoriul cu mai multe stații. În felul acesta frecvențele de comunicare pot fi refolosite în celule care nu sunt adiacente. Semnalele nu se vor afecta unul pe celălalt, pentru că stația nu are acoperire mai mare decât zona celulei proprii.

- Mai multe celule formează un grup „*cluster*” dacă nu se refolosesc frecvențele celulelor. Fiecare celulă are frecvențe diferite de frecvențele folosite de celelalte celule din grup.

Într-un grup pot fi  $n = 3, 5, 7, ..$  celule.

- Dimensiunea celulelor nu este constantă depinzând de condițiile



de propagare a semnalului. În orașe se utilizează celule de dimensiuni mici de 2,...,5km (datorită reflexiilor, a atenuării semnalului și datorită numărului mare de utilizatori) iar în zonele rurale dimensiunea unei celule poate fi și de 40 km.

În figura 1.2. este prezentat un cluster cu 7 celule.

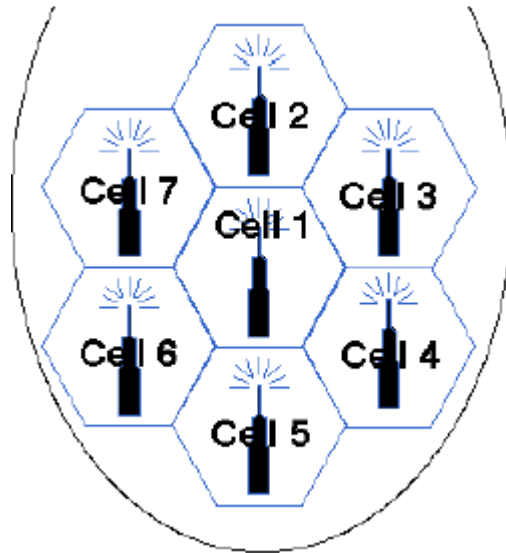


Fig. 1.2.

Reutilizarea frecvențelor celulei 1 poate fi făcută ca în figura 1.3.

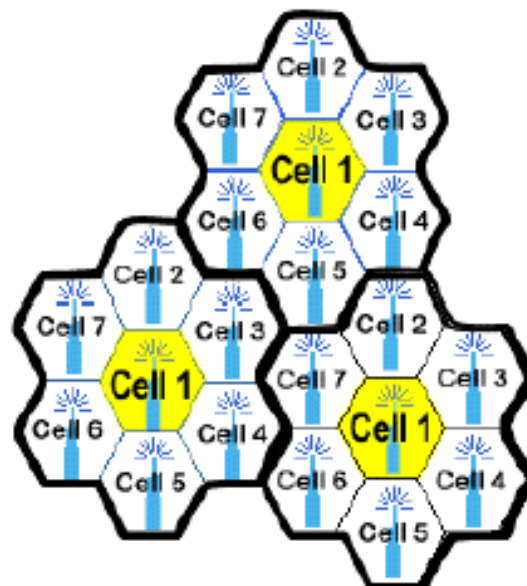


Fig. 1.3.

Stația de bază monitorizează în permanență calitatea semnalului provenit de la mobil.

- Scăderea semnalului provenit de la un mobil determină inițierea procesului de transfer „*hand - off*” .

**Procesul *hand - off*** constă în comutarea mobilului de la o stație de bază la alta adiacentă acesteia (transferul mobilului de la o celulă la alta învecinată, din cadrul aceluiași cluster). Echipamentul de control MSC identifică stația de bază mai puternică și comandă transferul mobilului pe respectiva stație, în sensul că comandă schimbarea frecvențelor de comunicare ale mobilului la valoarea din celula care asigură cele mai bune performanțe. Astfel mobilul va comunica cu o altă stație de bază BSC care îi va asigura o comunicare mai bună (decât cea la care a fost conectat).

**Procesul de “*roaming*”** se referă la stațiile mobile care părăsesc un cluster. Echipamentul de control inițiază un proces de identificare a mobilului care a intrat într-un nou cluster și dacă constată că acesta are drepturi pentru noul cluster îi va aloca o stație mobilă de bază (din noul cluster). Cele două clusteruri pot fi administrate de operatori de telefonie mobilă diferiți. Spre exemplu la trecerea graniței, clusterul va fi al altui operator. Pentru ca mobilul să fie preluat de celălalt operator se impune ca să existe o convenție între cei doi operatori de telefonie mobilă.

Mobilul din figura 1.4. este transferat de pe stația 1 pe stația 2 (care este în alt cluster), fără ca acesta să sesizeze în vreun fel acțiunea.

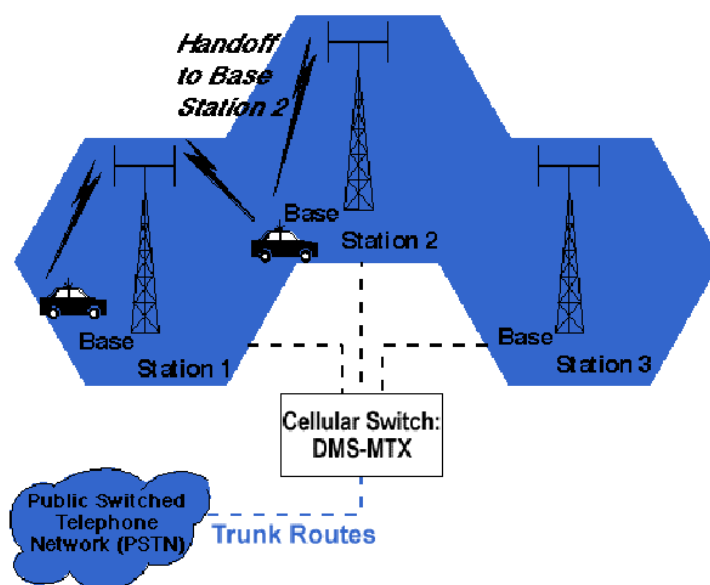


Fig. 1.4.

## 1.2. Etapele procesului de comunicare

Odată cu alimentarea telefonului mobil începe procesul de comunicare dintre telefonul mobil și turnul de control.

Prima operație este **inițializarea telefonului**, care constă în scanarea unui număr de canale de control (mobilul își acordează frecvența de recepție pe frecvența unui canal de control) și orientarea - în sensul că mobilul va trimite date pe frecvența canalului de control care îi furnizează semnalul cel mai puternic.

De aici preia informația de start, după care intră în „**starea de așteptare**” (*the idle mode*), în care așteaptă să fie alertat de către stația mobilă de bază BSC.

Dacă mobilul este apelat sau el încearcă să apeleze spunem că se află în **starea de acces la sistem** (*system access mode*) pentru că este în procesul de a stabili o legătură cu sistemul (prin intermediul unui canal de control).

Dacă mobilului i s-a alocat un canal vocal (în procesul de stabilire a legăturii cu stația mobilă de bază) spunem că acesta a intrat în **starea de conversație** (*the conversation mode*).

Când **un apel este inițiat** de telefonul mobil acesta intră în „starea de cerere de acces” - lansează o cerere de acces pentru un canal vocal, prin intermediul unui canal de control.

După lansarea cererii, care conține numărul apelat și informații despre abonat, testează starea unui indicator din canalul de control care îi va spune care canal vocal care îi este asignat (adică îi spune ce frecvență să folosească pentru emisie și ce frecvență pentru recepția semnalului vocal). Mobilul poate să transmită pe canalul stabilit.

**Pentru a primi un apel**, telefonul mobil este notificat prin intermediul unui proces de apelare (alarmare) numit „**paging**”.

Stația mobilă de bază BSC transmite, prin intermediul unui canal de control, un mesaj conținând numărul apelat sau /și numărul de identificare a mobilului care este apelat.

Mobilul al cărui număr a fost cerut de sistem confirmă primirea cererii și telefonul acestuia începe să sune pentru a avertiza utilizatorul.

Când utilizatorul răspunde (apasă ok) mobilul trimite o cerere de răspuns la apel, pe canalul de control, în care specifică propriul număr și o serie care semnifică identitatea utilizatorului.

BSC dă o comandă mobilului să comute pe canalul vocal alocat convorbirii și comunicația între cele două mobile este stabilită.

**Pe durata convorbirii** sistemul comunică cu mobilul, periodic furnizându-i comenzi digitale prin intermediul canalului vocal. Comenzile se referă la modificarea puterii de emisie sau la schimbarea frecvenței (pentru schimbarea canalului vocal de comunicație) în scopul menținerii unei convorbiri la o calitate impusă.

Rezultă că, în majoritatea timpului, pe canalul vocal se transmite voce și din timp în timp se transmit și date în format digital.

Sistemul (BSC), pe durata convorbirii, identifică **zonele de pauză a vorbirii** și, pentru a menaja acumulatorul mobilului, întrerupe transmisia și o reia după câteva momente de timp – când consideră că s-a terminat pauza din vorbire.

**Precizare.** Elementele prezentate în cadrul capitolului se referă la sistemul de comunicații GSM. O parte din elemente (definite aici), care vor fi precizate, se aplică și la alte sisteme de comunicații mobile.

### **1.3. Evoluția sistemelor de comunicații mobile**

Există două tipuri de tehnologii pentru comunicații fără fir:

- tehnologia comunicațiilor mobile,
- tehnologia rețelelor de calculatoare fără fir (WLAN).

Evoluția sistemelor de comunicații mobile parcurge până la ora actuală patru generații numite:

- 1G (transmisie analogică a vocii) ;
- 2G (transmisie digitală a vocii și transmisia de mesaje scurte SMS);
- 2.5G (implementarea unor funcții 3D pe infrastructura rețelelor 2G);
- 3G (transmisie digitală a vocii, date difuzate - radio, TV, film, muzică, cuplarea la Internet, VoIP - transmiterea vocii prin IP, transmisii de imagini, efectuarea de tranzacții bancare, ș.a.);
- 4G (completări ale sistemului 3G, standardele generației sunt în curs de elaborare).

Tehnologia rețelelor **WLAN** [11,37] are două componente:

- **WiFi** (*Wireless Fidelity*) numită și **PWLAN** (*Public Wireless Local Area Network*) este o variantă a standardului **Ethernet** (802.11) având drept scop conectarea unui laptop (fără a utiliza fire) la priza rețelei de Internet, aflat la distanță de maximum 50 m de respectiva priză;
- **Bluetooth**, realizează legătura fără fir între diferite dispozitive aflate în apropiere, la 1 – 15 m, prin sincronizarea vitezelor de transmisie a acestora.

Sistemele de comunicații mobile cu prelucrarea digitală a semnalului, după funcția pe care o îndeplinesc, pot fi clasificate în [17]:

- **radiocomunicații destinate publicului**, cu sistemele GSM 900, GSM 1800, PCS 1900 numit GSM 1900, ș.a.;
- **sisteme paging**, pentru transmiterea unilaterală de mesaje către abonați, cu sistemul clasic, sistemul celular ERMES (*EuRopean MESSage System*) și sistemul RDS (*Radio Data System*) pentru receptoare MF;
- **sisteme trunked**, pentru transmiterea în cadrul unui grup de abonați, spre exemplu sistemul TETRA (*Trans European Trunked Radio*);
- **sisteme cordless**, inițial conceput pentru prelungirea prin legătură radio a cordonului aparatului telefonic spre exemplu sistemul CT-2 și sistemul DECT (*Digital Enhanced Cordless Telephony*) care implementează și alte funcții.

Toate pot fi considerate ca subsisteme ale sistemului **UTMS** (*Universal Telecommunication Mobile System*).

Conferința Europeană de Poștă și Telecomunicații (CEPT) din 1982, la care erau afiliate 26 țări, hotărăște înființarea unui grup care să studieze posibilitatea dezvoltării unei rețele europene de telecomunicații mobile. Grupul s-a înființat sub numele “*Groupe Spéciale Mobile*” cu acronimul **GSM** pe care, mai târziu, toată lumea îl înțelege ca fiind „*Global System for Mobile Communications*„[1]

Îndatoririle grupului GSM erau să elaboreze un standard pentru telefonia mobilă digitală care să răspundă următoarelor cerințe:

- calitate bună a transmisiei;
- costuri mici pentru servicii și terminale;
- capacitate de a suporta terminale portabile (mobile);
- suport pentru deplasări internaționale;

- folosirea eficientă a spectrului de RF;
- compatibilitatea cu sistemul ISDN.

În 1986 a fost semnat, inițial de 12 țări, un memorandum **MoU** “*Memorandum of Understanding*“ prin care s-a realizat o înțelegere comercială pe baza căreia să poată fi realizat sistemul de comunicații pentru întreaga Europă (spre exemplu țările semnatare și-au asumat obligația de a aloca aceleași frecvențe pentru sistemul GSM și au fixat drept termen pentru implementare a sistemului 1 Iulie 1991).

Sistemul se comercializează din a doua jumătate a anului 1992, iar la sfârșitul anului 1993 deja erau 1 milion de abonați.

Grupul de lucru GSM, cu sediul la Paris, a elaborat standardele GSM (6000 pagini), care impun, printre altele modul de transmisie **TDMA** (*Time Division Multiple Access*) și utilizarea cartelei **SIM** (*Subscriber Identity Module*).

**Notă.** Cartela **SIM** identifică utilizatorul rețelei GSM precum și serviciile la care s-a abonat putând fi folosită cu orice echipament compatibil rețelei indiferent de proveniența aparatului.

Din 1989 grupul GSM devine comitet tehnic în cadrul **ETSI** (*European Telecommunication Standard Institute*).

În Marea Britanie sistemul GSM utilizează banda de frecvențe de 1800 MHz care este cunoscut ca **PCN** (*Personal Communication Network*) sau sub numele **DCS 1800** (*Digital Communication System*).

America demarează studiile privind implementarea sistemelor mobile digitale, în urma cărora se definesc două standarde și anume: [8,13]

- **IS-54** cu transmisie TDMA, respectat de sistemul de comunicații **ADC** (*American Digital Communication System*), sistem care se dezvoltă sub numele **D-AMPS**. Același standard este respectat și de sistemul PCS 1900 numit uneori GSM 1900;
- **IS-95** de transmisie cu acces multiplu cu diviziune de cod **CMDA** (*Code Multiple Division Access*).

## 1.4. Comunicații mobile analogice

Prima generație de comunicații mobile fără fir este caracterizată prin tehnologia analogică de codare și vehiculare a semnalelor vocale.

Anul introducerii comerciale a principalelor sisteme analogice de comunicații mobile este:

- 1981 Nordic Mobile Telephone (NMT) 450 MHz ;
- 1983 American Mobile Phone System (AMPS);
- 1985 Total Access Communication System (TACS);
- 1986 Nordic Mobile Telephony (NMT) 900 MHz;
- 1991 American Digital Cellular (ADC);
- 1991 Global System for Mobile Communication (GSM);
- 1992 Digital Cellular System (DCS) 1800 MHz;
- 1994 Personal Digital Cellular (PDC);
- 1995 PCS 1900 MHz (Canada);
- 1996 PCS (United States).

Sistemele de comunicații analogice care au avut o mai largă extindere (pe toate continentele) sunt:

- **NMT** (*Nordic Mobile Telephone*) introdus în Suedia și Norvegia în anul 1979;
- **AMPS** (*Advanced Mobile Phone Service*) este introdus în USA în anul 1982 ;
- **TACS** (*Total Access Communications System*) este introdus în Anglia în anul 1985 și apoi variante ale acestuia sunt implementate în multe alte zone ( spre exemplu ETACS este implementat în Asia).

Comunicația în sistemele celulare analogice este **duplex** în sensul că au loc simultan atât recepția cât și emisia, pe frecvențe diferite.

Se folosește termenul de sens descendent pentru informația transmisă de la turnul radio la sistemul mobil (prescurtat drept „celular”) și sensul ascendent pentru informația transmisă de la celular la turnul radio.

Pentru cele două sensuri se folosesc frecvențe diferite, diferența dintre cele două frecvențe fiind de 45,..., 80 MHz , în funcție de sistemul de comunicație.

Cele două frecvențe formează un **canal radio** de comunicație.

Spre exemplu dacă un canal al sistemului TACS are frecvența pentru sensul ascendent 890MHz atunci pentru sensul descendent se va folosi frecvența 935MHz ( $935\text{MHz} = 890 + 45 \text{ MHz}$ ) pentru că, diferența între cele două canale impusă de sistemul TACS este de 45 MHz .

- Fiecare sistem celular are alocată o bandă de frecvență pentru

comunicația ascendentă și o altă bandă pentru comunicația descendentă. Spre exemplu sistemul TACS folosește pentru banda ascendentă frecvențe din domeniul

**890MHz, ..., 915MHz**

și pentru banda descendentă frecvențe din domeniul

**824MHz, ..., 849MHz**

(cu o diferență de 45MHz între cele două sensuri).

Sistemul AMPS folosește banda ascendentă 869MHz, ..., 894MHz și banda descendentă 935MHz, ..., 960MHz (cu o diferență de 45MHz între cele două sensuri). [33, 39]

- În cadrul procesului de comunicare cele două frecvențe ale canalului radio sunt modificate (spre exemplu prin modularea în frecvență a putătoarei). Se impune ca cele două frecvențe ale canalului să se modifice într-un domeniu restrâns (într-o bandă de frecvențe).

Banda de frecvențe impusă canalului (de standardul respectiv) este din domeniul 10, ..., 30kHz.

Spre exemplu un canal radio în sistemul TACS are **banda de 25kHz**, iar un canal radio în sistemul AMPS are banda de 30kHz.

- Prin împărțirea benzii de frecvențe alocate sistemului de comunicații la banda de frecvență a unui canal radio se calculează numărul de canale fizice ale sistemului.

Astfel sistemul TACS dispune de 1000 canale de comunicație

$$N = \frac{(915 - 890)10^6}{25 \cdot 10^3} = \frac{25}{25} 10^3 = 1.000$$

iar sistemul AMPS numai de 832 canale de comunicație.

- Deoarece un utilizator folosește puțin timp dintr-o zi telefonul mobil se pot alocă un număr de **20-32 abonați pentru a comunica pe același canal de comunicație**.

Astfel, dacă un turn radio are alocate 50 canale de comunicație, în zona de acțiune a turnului radio pot fi serviți (fără întârzieri considerabile la conectare) un număr de 1200, ..., 1600 abonați.

Din punctul de vedere logic canalele de comunicație pot fi de două tipuri:

- **canale vocale**, pentru transmiterea vocii;
- **canale de control**, pentru transferul informațiilor de identificare, pentru semnalizarea activității vocale, cereri de acces la un canal de comunicație, informații de control (spre



exemplu informații privind puterea de emisie, informații privind calitatea recepției) ș.a.

Canalele vocale sunt canale analogice utilizând modulația în frecvență (FM).

Canalele de control sunt canale digitale, utilizând modulația numerică în frecvență FSK (*Frequency Shift Keying*).

În cazul sistemului AMPS există 42 canale de control, restul până la 832 sunt canale vocale.

Pe canalele de comunicație se transmit în permanență date de identificare și informații de acces la sistem. Cu toate că rata canalului este de 10 *kbit/s*, datorită faptului că mesajele de control se repetă de 5 ori, se obține o rată a canalului de numai 2 *kbit/s*.

**Notă:** Rata de transfer a canalului sau debitul de informație exprimă numărul de biți care pot fi transferați de la emițător la receptor în unitatea de timp, prin canalul de comunicație. Unitatea de măsură este notată *kbiți/s* sau *kbps* și multiplii acestuia.

Telefoanele mobile AMPS se construiesc în 3 clase de putere și anume: 4W, 1.6W și 0.6W.

Puterea acestora este modificată de sistem în pași de 4 *dB* (de aproximativ 6mW) de la maximum la minimum, așa fel ca toți abonații să acceseze în aceleași condiții de calitate turnul radio.

Telefoanele din sistemul TACS au în plus clasa de putere de 10W.

### **Structura și funcționarea sistemului AMPS**

Sistemului de telefonie mobilă AMPS are în componența următoarele elemente fizice: [33, 39]

- **MTX** (*Mobile Telephonic Exchange*), centrala abonaților mobili;
- **BS** (*Base Station*), stații de bază, câte una pentru fiecare celulă;
- **MS** (*Mobile Station*), stații mobile.

**Stația mobilă MS** asigură interfața utilizatorului cu sistemul de telefonie mobilă.

Are în componență: un echipament de emisie – recepție cu două antene, un microcalculator, tastatură, display, microfon, difuzoare, sonerie, leduri și butoane de comandă.

Comunică prin radio cu stația de bază, ceea ce înseamnă că dispune de un circuit de sinteză a oricărei frecvențe din sistem, filtre, un sistem de modulare – demodulare și amplificatoare de putere în radiofrecvență.

**Stația de bază BS** realizează legătura între echipamentul utilizatorului (stația mobilă) și centrala MTX a abonaților mobili.

Legătura stație de bază - stația mobilă este realizată prin radiofrecvență, iar legătura stație de bază – centrală MTX este realizată cu ajutorul unor linii telefonice (câte două fire pentru fiecare canal de comunicație, la care se adaugă una sau două linii de date).

**Centrala abonaților mobili MTX**, realizează conectarea între ei a doi abonați ai sistemului de telefonie mobilă sau conectarea abonaților mobili la rețeaua de telefonie publică PSTN. Pe de altă parte îndeplinește toate funcțiile necesare menținerii în funcțiune a sistemului de telefonie: controlează stațiile de bază, trimite, prin intermediul stațiilor de bază comenzi către stațiile mobile (spre exemplu pentru modificarea puterii de emisie sau pentru schimbarea canalului de comunicație).

# 2

## SISTEME FĂRA FIR (CORDLESS)

Se consideră sisteme **cordless** (fără cordon) sistemele care realizează legătura fără fir, pe distanțe de câteva sute de metri, între linia (telefonică) de abonat și un echipament mobil. Sistemul conține un echipament fix (baza), conectat la linia de abonat PSTN și unul sau mai multe echipamente mobile.

S-au impus câteva sisteme cordless:

**CT2** (*Cordless Telephone 2*);

**DECT** (*Digital European Cordless Telecomm.*);

**PACS** (*Personal Access Comm. System*) - SUA;

**PHS** (*Personal Handyphone System*) - Japonia.

### 2.1. Caracteristici ale sistemului de telefonie CT2

Sistemul CT2 prezintă o variantă analogică (în Anglia, Finlanda, Suedia) și una numerică (în alte țări europene și Asia).

Sistemul analogic CT2 modulează în frecvență o purtătoare de 46/49 MHz cu semnalul audio analogic.

Sistemul numeric CT2 transformă semnalul audio în semnal digital. Există o variantă care folosește banda de bază a semnalului audio, în sensul că semnalul digital audio va modula direct purtătoarea în frecvență.

Există o a doua variantă care folosește tehnologia împrăștierei spectrului (*spread spectrum*) care extinde banda de frecvență a semnalului, prin împrăștierea informației (audio) cu ajutorul unui cod numeric.

#### Caracteristici tehnice

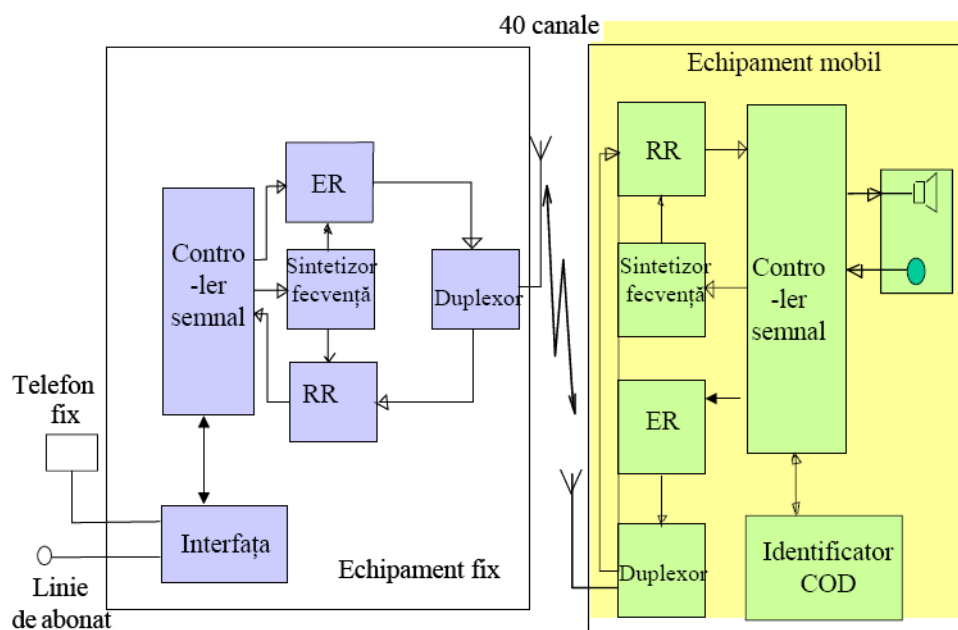
- Banda de frecvență
  - pentru echipamentul fix 959-960 MHz,
  - pentru echipamentul mobil 914-915 MHz;

- Diferența între două canalele radio  $25\text{ kHz}$ , ceea ce conduce la un număr de 40 canale radio;
- Alocarea canalelor se face la cererea echipamentului care a inițiat convorbirea;
- Distanța între canalele alocate echipamentului fix și canalul alocat echipamentului mobil este de  $45\text{ MHz}$ ;
- Modulația purtătoarei este MF de bandă îngustă (FDMA);
- Putere radiată la emisie maximă  $10\text{ mW}$ ;
- Raza tipică a zonei de serviciu:
  - în interiorul clădirilor  $50\text{m}$ ,
  - în exterior  $200\text{m}$ .
- Numărul combinațiilor de cod de identificare  $10.000$ .

Toate echipamentele, când linia telefonică nu este folosită, sunt în stare de așteptare ceea ce înseamnă că toate canalele de comunicație sunt libere.

Procedura de apel de la mobil :

- caută un canal liber;
- trimite codul de identificare;
- echipamentul fix identifică codul și își transmite propriul cod;
- mobilul poate forma numărul;
- convorbire;
- la terminarea convorbirii trimite un mesaj de încheiere;
- canalul este eliberat și toate echipamentele intră în așteptare (idle).



**Fig. 2.1.**

În figura 2.1 este prezentată schema bloc a echipamentelor CT2, unde ER este emițătorul iar RR este receptorul.

## 2.2. Sistemul cordless SPP-A967

Sistemul SPP-A967 este produs de firma Sony. Este un sistem numeric folosind tehnologia împrăștierii spectrului în banda de 900 MHz. [46]

Pentru împrăștiere, datele audio în banda de bază sunt înmulțite cu un pseudo-cod PN (este un număr pseudo aleator). Debitul PN, în cazul aparatului A967, este de 12 ori mai mare (*chip rate*) decât debitul datelor (datele au un debit de 80 kbps).

În figura 2.2 este prezentată o comparație între semnalul în banda de bază și semnalul obținut după împrăștiere (*Spread Spectrum*) – este vorba de zona nehașurată. Se constată că nivelul semnalului împrăștiat este comparabil cu nivelul zgomotului, iar banda semnalului este mult mai mare (de 12 ori în acest caz) decât banda de bază.

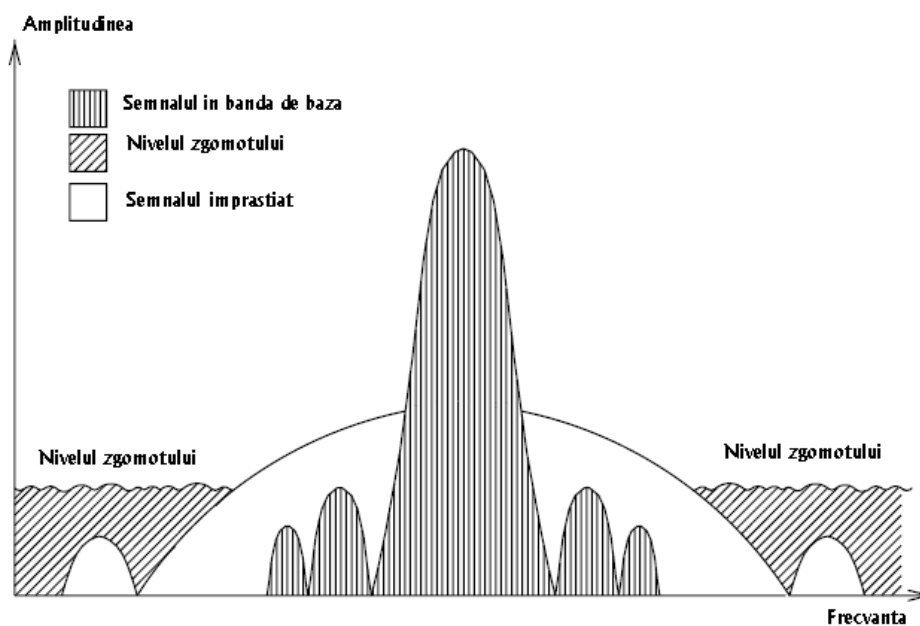


Fig. 2.2.

Semnalul, obținut după înmulțirea datelor audio cu pseudo-codul PN, este codat diferențial și apoi aplicat unui modulator BPSK (*Binary Phase Shift Keying*).

Datele audio pot fi reconstituite numai de receptorul care folosește același cod PN ca și emițătorul. Restul receptoarelor vor vedea semnalul ca fiind un zgomot aleatoriu.

În figura 2.3 sunt prezentate formele semnalelor originale (semnalul în banda de bază și codul PN) cât și semnalul împrăștiat.

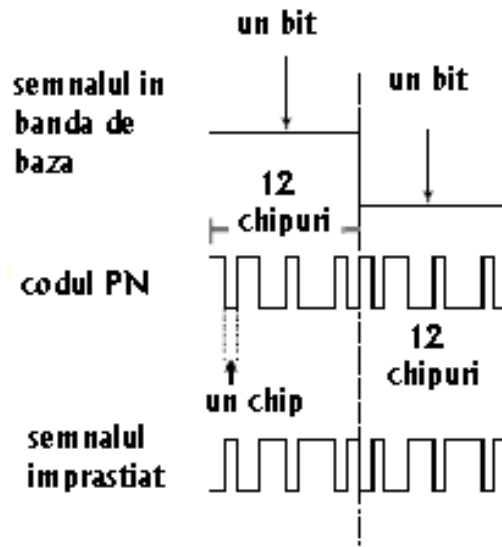


Fig. 2.3.

În figura 2.4 este prezentat rezultatul modulației binare BPSK. Semnalul BPSK are fază zero pentru semnalul digital 0 logic și are fază  $\pi$  pentru semnalul digital 1 logic.

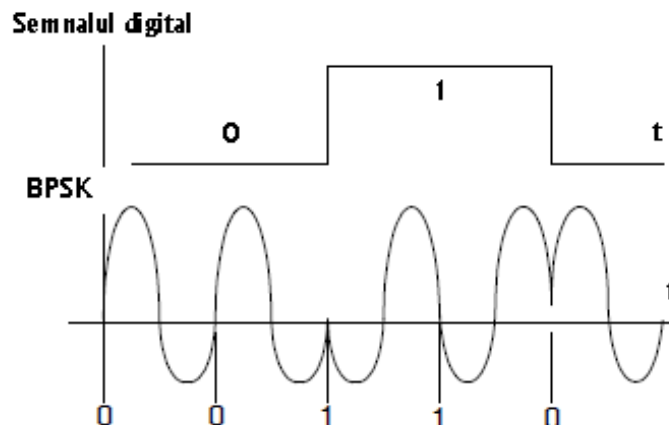
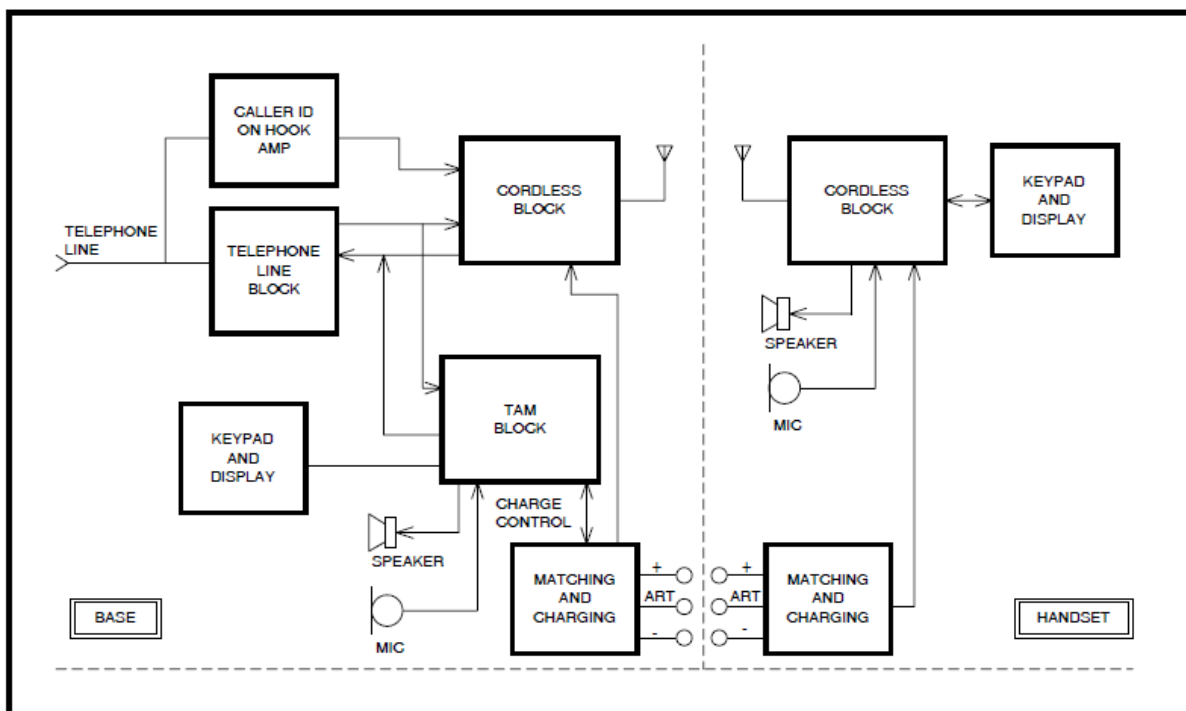


Fig. 2.4.

**Notă.** Biții codului PN se numesc „chip-uri”, datorită faptului că nu sunt biți de informație.

Schema bloc a sistemului SPP-A967 este prezentată în figura 2.5.

Sistemul are două elemente separate aflate în comunicație wireless: baza sistemului și telefonul mobil (*handset*).



**Fig. 2.5.**

Baza este conectată, prin blocul de linie, la linia telefonică **PSTN**.

Telefonul mobil poate fi parcat pe bază sau poate fi la o distanță (nu mai mare de 200 m) de bază.

În condițiile când telefonul este parcat pe bază se efectuează cele 3 conexiuni (plus, minus și ART). Telefonul este în regim de încărcare a acumulatorului.

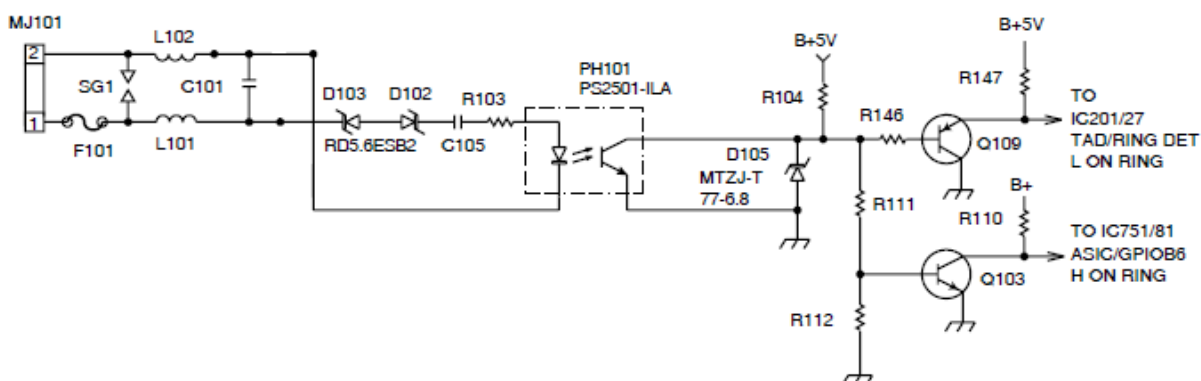
Pinul ART îndeplinește funcția de adaptare a telefonului mobil la bază (pentru ca cele două să poată comunica). În acest scop baza transmite telefonului, pentru a fi memorate, codul ID (de *scrambling*) al bazei și codul PN (de *spreading*) pe care îl vor folosi cele două echipamente.

Blocurile componente ale telefonului sunt: blocul cordless, tastatura, displayul, blocul de încărcare, un microfon și un difuzor.

Baza are în componență (pe lângă microfon și difuzor) 5 blocuri cu următoarele funcții:

- blocul de linie (*Line Block*), conținând amplificatoare pentru semnalul de intrare și pentru semnalul de ieșire, circuitul de detectare a apelului PSTN, circuitul de detectare a ridicării telefonului;
- detectorul de ID (*Caller ID on Hook Amp*), sesizează faptul că telefonul este în furcă, adică nu este activ;
- blocul cordless, este responsabil cu transmiterea și recepția oricărei informații care se vehiculează între bază și telefon (include și blocul de radiofrecvență);
- blocul TAM, reprezintă un circuit de răspuns automat;
- blocul de încărcare a acumulatorului telefonului (*Maching and Chargind*).

**Notă.** Blocul de încărcare a acumulatorului telefonului se alimentează cu energie atunci când telefonul este inactiv și este parcat pe bază.



**Fig. 2.6.**

În figura 2.6 este prezentat circuitul de detecție a unui apel de pe linia de PSTN.

Semnalizarea apelului se face prin aplicarea la bornele MJ101 a unui semnal cu frecvența de 20Hz și amplitudinea de 40,...,90V. Amplitudinea semnalului este scăzută de diodele Zeener, așa fel încât semnalul să poată fi aplicat optocuplorului PH101.

Dacă avem semnal de apel tranzistorul Q103 va fi blocat iar Q109 saturat. Starea celor doi tranzistori este preluată de circuitul de linie, care va detecta apelul.



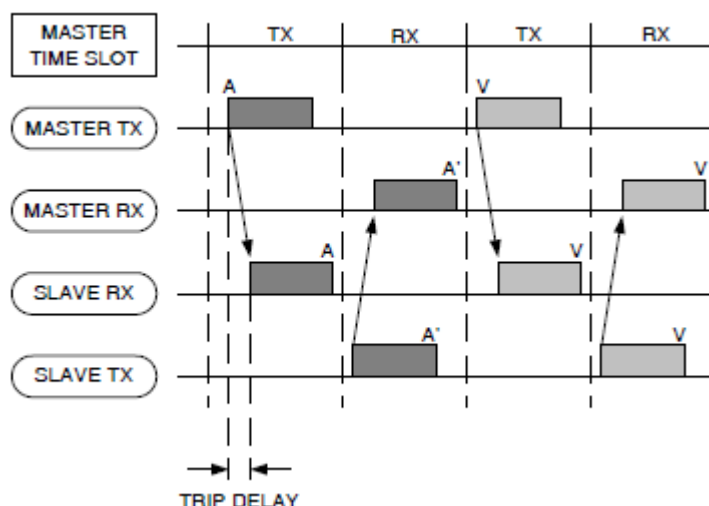
## Protocolul de comunicare

Comunicarea între cele două echipamente (baza și mobil) este de tipul divizării în timp TDD (*Time Division Duplex*), folosind o singură frecvență atât pentru emisie cât și pentru recepție.

Echipamentul master definește un interval de timp pentru emisie TX, urmat de un interval de timp pentru recepție RX (fiecare de câte 2 ms).

**Notă.** Echipamentul master este cel care inițiază comunicarea: fie baza când primește un apel pe linia PSTN, fie mobilul când vrea să apeleze.

Pentru a iniția comunicarea echipamentul (viitor master) trimite un pachet *A-frame* iar echipamentul – viitor slave - retransmite pachetul. Dacă s-a recepționat corect s-a stabilit o conexiune. În continuare, pentru transmiterea datelor, se vor folosi pachete *V-frame*, vezi figura 2.7.

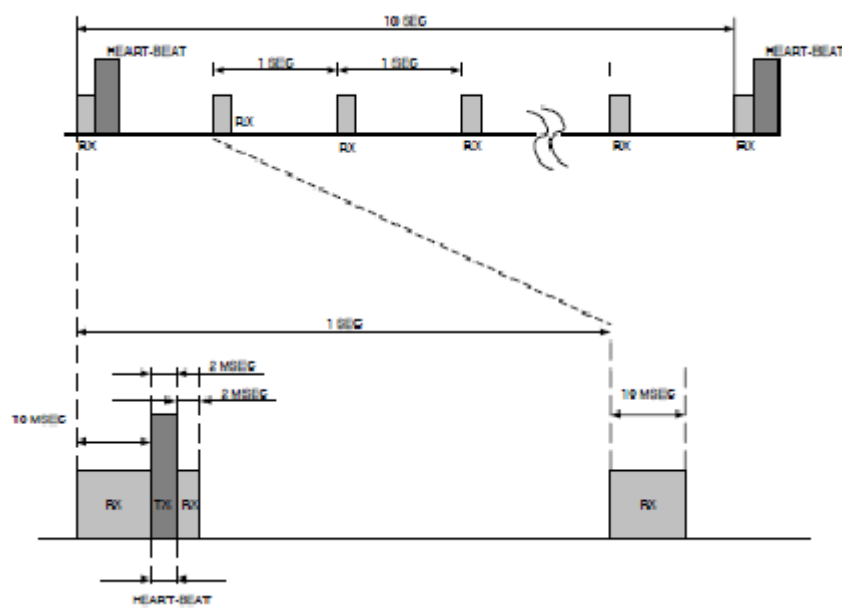


**Fig. 2.7.**

În condiții de standby mobilul își activează recepția la fiecare secundă pentru un interval de 10 ms.

Baza trimite un pachet *A-frame* (pentru 2 ms, din cele 10 ms) în intervalul TX iar mobilul retransmite pachetul în intervalul RX, vezi figura 2.8.

Dacă baza nu recepționează un răspuns atunci va schimba canalul de comunicație.



**Fig. 2.8.**

Sintetizatorul de frecvență permite funcționarea aparatului pe unul din cele 20 canale, a căror frecvență este evidențiată în tabelul 1.

**Tabelul 1.**

Channel Number	Channel Center Frequency (MHz)	Channel Number	Channel Center Frequency (MHz)
1	903.6	11	915.6
2	904.8	12	916.8
3	906.0	13	918.0
4	907.2	14	919.2
5	908.4	15	920.4
6	909.6	16	921.6
7	910.8	17	922.8
8	912.0	18	924.0
9	913.2	19	925.2
10	914.4	20	926.4

Puterea de ieșire a emițătorului poate fi comandată în trepte: 1 mW, 10 mW sau 100 mW.

## 2.3. Caracteristici tehnice ale sistemului DECT

Sistemul de telefonie fără fir DECT (*Digital Enhanced Cordless Telecommunications*) permite transferul fără fir a convorbirilor și a datelor pe distanțe de ordinul zecilor de metri.

Serviciile asigurate de sistemul DECT sunt:

- telefon fără fir de abonat privat;
- sisteme telefonice de întreprindere;
- centrale telefonice automate de întreprindere, conectate fără fir;
- acces complet, fără fir, la rețele LAN (*Local Area Network*);
- servicii telepoint;
- extinderea rețelei cordless în sistem celular.

Principalele caracteristici tehnice ale sistemului DECT sunt:

- banda de frecvență alocată 1880-1900 MHz;
- distanța între frecvențele purtătoare RF 1,728 MHz;
- numărul de frecvențe purtătoare 10 (1881,792..1897,344 MHz);
- tipul de modulație GMSK (*Gaussian Minimum Shift - Keying*);
- multiplexare TDMA cu cadre (de 10 ms) având 24 segmente temporale (*slots*) câte 12 pentru fiecare sens de comunicație;
- duplex de bază TDD (*Time Division Duplex*) care utilizează 2 ferestre temporale pe aceeași purtătoare de RF;
- numărul total de canale de comunicație (duplex) este de  $10 \text{ frecv} \times 12 \text{ slots} = 120$ ;
- puterea (de vârf) maxima 250 mW;
- viteza netă de transmitere a informației numerice pe canal (pentru o fereastră temporală) este
  - 32 kbps pentru trafic,
  - 6.4 kbps pentru semnalizare/control;
- debitul pe o purtătoare de RF: 1.152 Mbps;
- zona de serviciu:
  - în interiorul clădirilor 30 m,
  - în exterior 200 m.

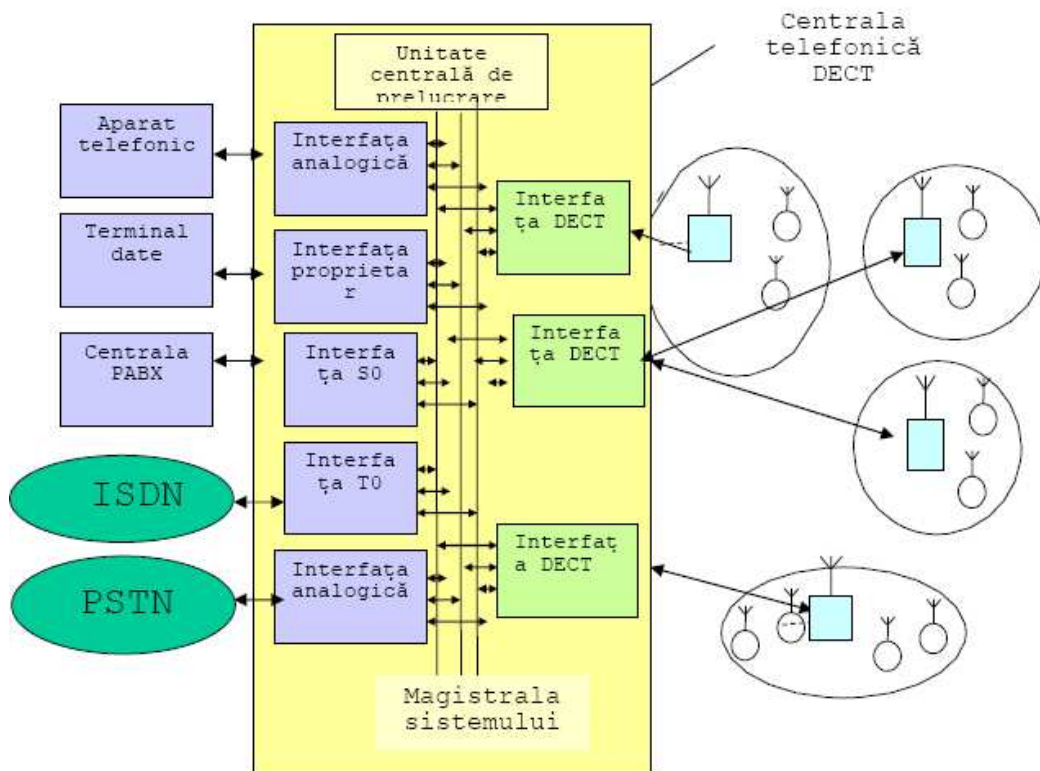
Se constată că sistemul folosește o triplă diviziune în frecvență, în timp, în spațiu, astfel:

- diviziunea spectrului în frecvență, cu 10 purtătoare de frecvențe diferite;

- diviziunea *în timp*: TDMA și TDD, cu 24 segmente temporale pentru fiecare cadru de 10ms;
- diviziunea *în spațiu*: prin organizarea în celule de dimensiuni mici (picocelule) a teritoriului, asigurându-se transferul legăturii între celule.

O parte din timpul de comunicație este alocată convorbirilor iar în restul timpului se face monitorizarea altor canale (din propria celulă sau din celulele vecine) pentru un eventual transfer al convorbirii.

În figura 2.9 este prezentată structura unei rețele DECT. [46]



**Fig. 2.9.**

Centrala are în componență următoarele elemente:

- o centrală telefonică proprie (unitate centrală de prelucrare) care conține interfețe pentru accesarea stațiilor de bază și interfețe pentru comunicarea sistemului DECT cu exteriorul;
- stații de bază (în figură cu pătrat vernil), care servesc câte o picocelulă ;

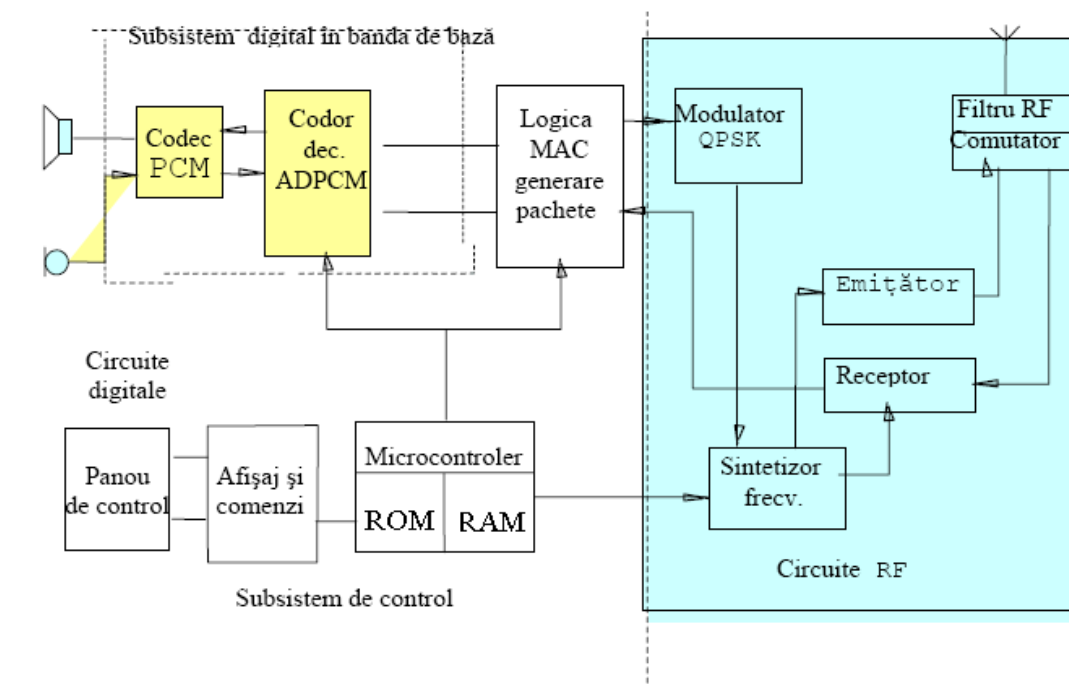
- stații mobile (în figură cu cerc).

Unitatea centrală de prelucrare conține interfețe pentru a sigura legătura sistemului DECT la: linii telefonice publice analogice PSTN, linii asincrone ISDN, o centrală telefonică PABX, terminale de date și un aparat telefonic (în cadrul centralei).

Stațiile de bază SB se conectează la centrală prin 4 fire cu lungimea de maximum 800 m.

La conectarea unei stații de bază SB aceasta scanează canalele și îl alege pe cel mai puternic (ca nivel de semnal) apoi transmite centralei informații de sistem și propriul ID. În continuare interpretează informațiile de paging transmise de centrala, pentru a identifica vreun apel.

Stația mobilă SM are schema bloc din figura 2.10.



**Fig. 2.10.**

Stația mobilă conține echipamentul radio, echipamentul pentru prelucrări în banda de bază, controlorul unității și panoul de control.

Semnal vocal, preluat de la microfon, este eșantionat cu frecvența de 8 kHz, formând eșantioane de 13 biți.

Pentru codarea semnalului vocal numeric se folosește un codor ADPCM cu debitul de 32 *kbps*.

## 2.4. Arhitectura sistemului DECT

Din punctul de vedere software arhitectura sistemului DECT este organizată conform modelului OSI (*Open System Interconnection*). [34]

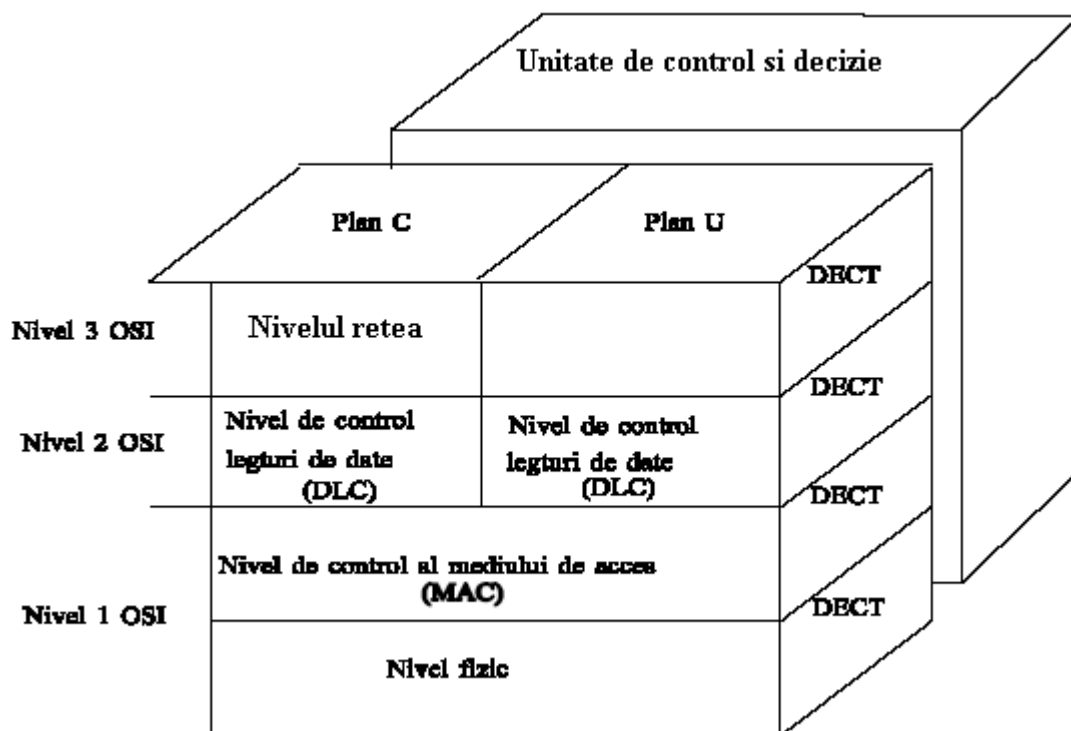


Fig. 2.11.

Din modelului OSI sunt preluate numai trei nivele funcționale (vezi figura 2.11):

- nivelul fizic (nivelul 1), care asigură modularea și demodularea, sincronizarea emițătoarelor cu receptoarele, preluarea și transmiterea informațiilor privind starea canalelor fizice;
- nivelul legăturii de date (nivelul 2) are două subnivele:
  - controlul legăturii de date, DLC (*Data Link Control*) care gestionează transportul pachetelor de date și de semnalizare, detectând erorile care pot apărea la nivelul fizic,

- controlul accesului la mediu, MAC (*Medium Access Control*) care selectează canalul de transport cu minimum de interferențe, prin intermediul căruia se va efectua comunicația, efectuând conectările și deconectările la nivelul fizic
- nivelul rețea (nivelul 3), conține elementele de semnalizare pentru stabilirea, menținerea și desființarea conexiunilor precum și pentru gestionarea mobilității.

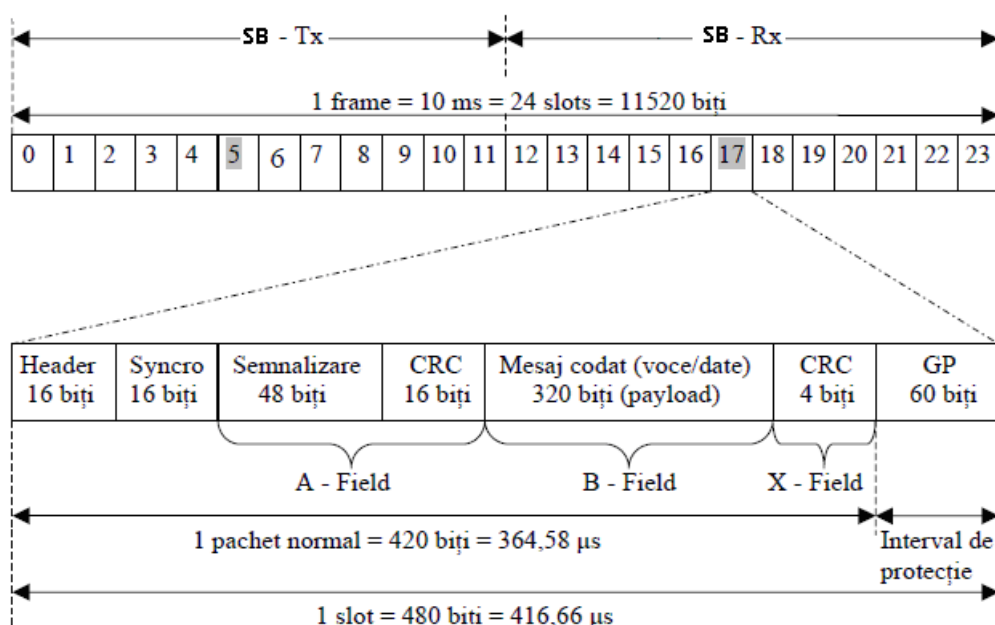
*Nivelul DLC (Data Link Control)* de control al legăturii de date este compus din două planuri:

- planul C, comun tuturor aplicațiilor; oferă legături pentru transmisiile de semnale de control și semnalizare precum și pentru transmisia unei cantități limitate de informații de utilizator;
- planul U, care oferă servicii pentru transmisiuni de voce și pentru transmisiuni de date în mod circuit sau în mod pachet.

### Cadrul TDMA

Pe fiecare purtătoare se transmit succesiuni de cadre temporale (*frames*) de câte 10ms. [18,21]

Cadrul este împărțit în 24 de intervale temporale (slot-uri), ca în figura 2.12.



**Fig. 2.12.**

Primele 12 sloturi (0 la 11) sunt alocate stației de bază pentru transmisia datelor, iar următoarele (12 la 23) sunt alocate stației de bază pentru recepția datelor de la stațiile mobile.

Un canal duplex de comunicație are alocate două sloturi. Spre exemplu un canal de comunicație are alocat slotul 5 este pentru comunicarea BS către mobil iar slotul 17 este pentru comunicarea de la mobil către stația de bază BS.

Fiecare slot este de  $416,66 \mu s$ , în care se pot transmite 480 biți.

În cadrul unui slot se include un interval de protecție (de gardă), de  $52,08 \mu s = 60$  biți, care să separe pachetele unul de celălalt.

Un pachet normal, de 420 biți din fiecare slot (de  $416,66 \mu s$ ), este organizat în 6 câmpuri:

- *headreul*, de 16 biți, permite sincronizarea de bit a receptorului;
- *syncro*, de 16 biți, permite sincronizarea de cuvânt;
- *semnalizare*, de 48 biți, conține informația de semnalizare și control;
- *CRC*, de 16 biți, este un cuvânt de verificare a biților de control;
- *payload*, de 320 biți, reprezintă datele ce sunt transportate de pachet;
- *CRC*, de 4 biți, este suma de control a biților de date – permite verificarea corectitudinii recepției datelor.

Câmpurile notate cu A (semnalizare) și B (date), în figura 2.4, constituie pachetul care este prelucrat de nivelul MAC (*Medium Access Control*).

### **Profiluri de aplicații**

Termenul de profiluri de aplicații (*Application Profiles*), se referă la elemente software care permit sistemului DECT să furnizeze un set impus de servicii.

Cele mai importante profiluri sunt:

- **GAP** (*Generic Access Profile*), este profilul care asigură serviciul de telefonie vocală;
- **GIP** (*DECT/GSM Interworking Profile*) asigură interconectarea rețelei DECT cu o rețea GSM;
- **IAP** și **IIP** (*DECT/ISDN Interworking Profile*) asigură legătura sistemului DECT cu rețeaua ISDN.



# 3

## SISTEME TRUNKED și SISTEME DE PAGING

Sistemele **convenționale** de radiotelefonie sunt caracterizate prin faptul că un grup de utilizatori are alocat de un canal radio în vederea comunicației și utilizatorii intră în competiție pentru preluarea acestuia. Între stațiile mobile, participante la trafic, se interpune uneori un *repetor* - o stație fixă sau mobilă, de putere mare care retransmite semnalul. Numărul de utilizatori pentru un repetor se limitează la 50.

Pentru a efectua o convorbire stațiile mobile monitorizează canalul de comunicație și când este liber se solicită cel apelat. Secretul comunicației nu este garantat.

### 3.1. Sisteme private PMR

Sistemele PMR (*Private Mobile Radio*) sunt sisteme de comunicații wireless private.

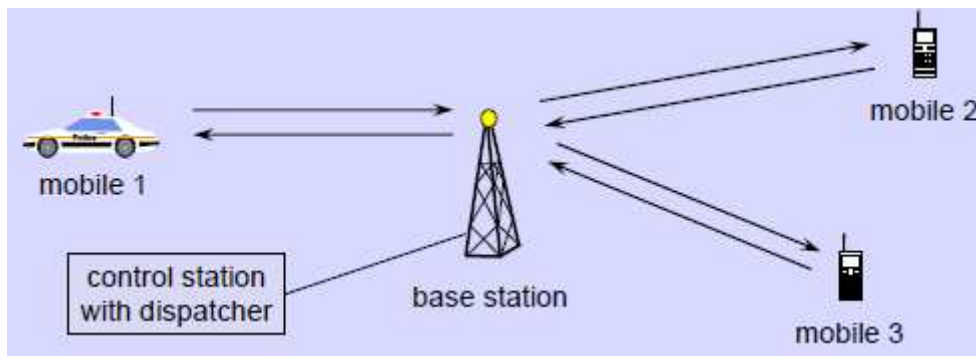
Spre deosebire de sistemele de comunicații publice, care pot fi accesate de oricine (dacă dispune de echipamentul fizic necesar), sistemele private permit accesul numai unui grup de utilizatori.

Sistemele PMR sunt folosite de organizații închise (cu acces restricționat) cum ar fi poliția, pompierii, serviciile de ambulanță, ș.a.

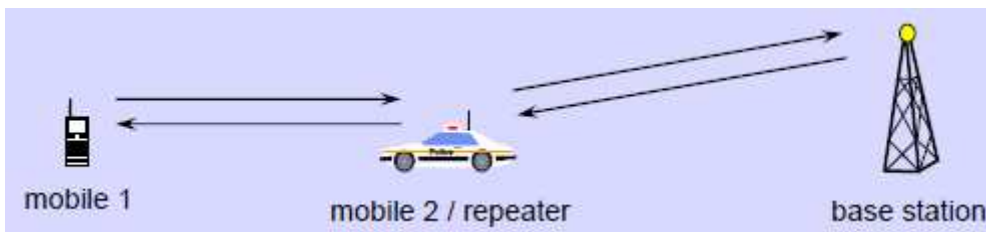
Principalele caracteristici ale sistemelor PMR sunt:

- comunicarea se păstrează chiar dacă rețeaua de comunicație nu mai este funcțională;
- existența unei alocări prioritare a canalelor de comunicare pentru un grup de utilizatori;
- diferite moduri de apel (punct la punct – direct de la un echipament mobil la altul, cu difuzare în cadrul unui grup, cu difuzare în cadrul unui segment al rețelei – pentru mai multe grupuri);
- transmiterea de mesaje scurte;

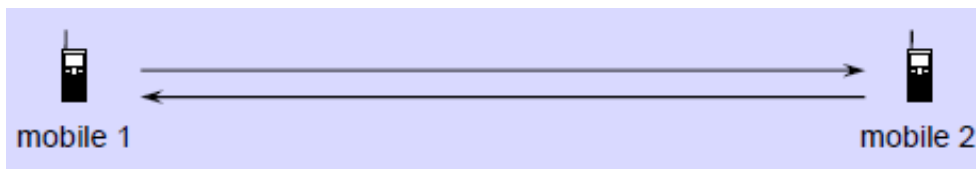
- prezența în sistem a unui dispecer.



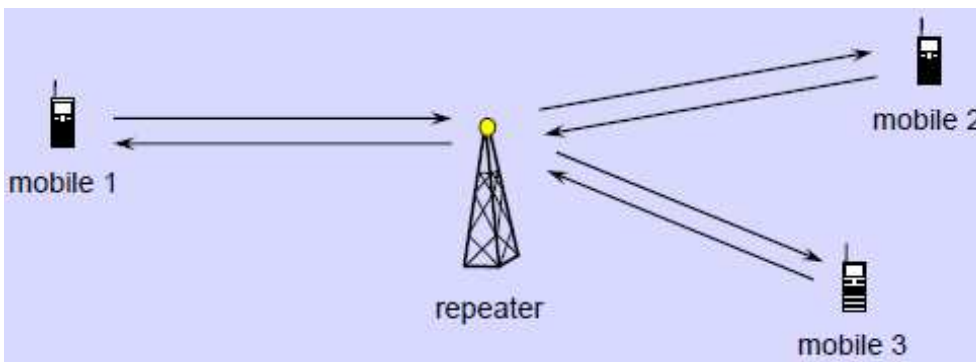
a)



b)



c)



d)

**Fig. 3.1.**

În figura 3.1 [9] sunt prezentate diversele moduri de realizare a conexiunii între utilizatorii unei rețele PMR:

- a) modul trunked prin intermediul unei stații de bază cu dispecer;
- b) modul trunked prin intermediul unui releu (repetor);
- c) comunicare directă DMO (*Direct Mode Operation*) între două echipamente mobile, fără a folosi rețeaua;
- d) comunicare directă prin intermediul unui releu (repetor).

Alte caracteristici ale sistemelor PMR:

- posibilitatea marcării unor apeluri ca fiind “urgente”, având prioritatea maximă;
- posibilitatea unor utilizatori de a avea acces la alte rețele (spre exemplu la PSTN, la GSM);
- posibilitatea de organizare celulară a rețelei.

De notat faptul că releul poate fi implementat de către echipamentul altui utilizator, echipament care în mod normal este folosit pentru apelarea altor utilizatori și pentru recepția mesajelor. În figura 3.1b repetorul este echipamentul de pe un vehicul, echipament conectat în modul DMO.

Sistemele trunked (TETRA, TETRAPOL, P25) sunt incluse în categoria sistemelor private PMR.

### 3.2. Structura sistemelor "trunked"

Organizațiile care folosesc sisteme trunked sunt cele țintite de furnizorii de echipamente pentru sisteme PMR și anume:

- poliția,
- societățile de transport în comun,
- pompierii,
- serviciile de ambulanță,
- serviciile de taximetre,
- organizațiile militare,
- organizațiile din industria de petrol și gaze.

În cadrul sistemelor de radiotelefonie "trunked" se constituie un "trunchi" de canale radio cu exploatarea acestora în comun de către un număr precizat de utilizatori.

Sistemele trunked au fost inițial gândite ca sisteme închise, pentru comunicarea în cadrul unui grup de utilizatori. Echipamentele și canalul (canalele) radio sunt în folosința exclusivă a grupului.

Se definesc priorități ale utilizatorilor pentru accesul la mijloacele de comunicație și la resursele sistemului. (se specifică utilizatorii care are dreptul de a efectua convorbiri și în afara grupului, spre exemplu de a accesa rețelele publice PSTN sau ISDN).

Modulația purtătoarei canalului radio este **MF** de bandă îngustă. Pentru un semnal modulator (în banda de bază) de  $4\text{ kHz}$ , banda canalului radio este de  $25\text{ kHz}$ .

Fiecare canal radio acceptă 4 canale de comunicație prin tehnica TDMA.

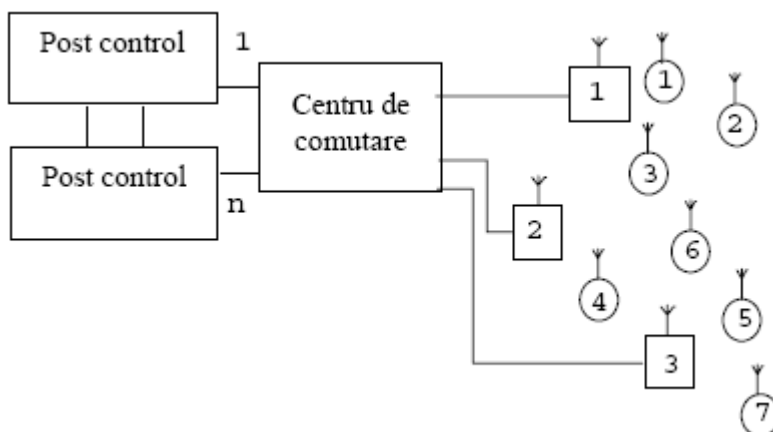
Repetoarele sunt conectate la un *controlor de sistem*.

Mobile comunică cu controlorul printr-o transmisie de date auxiliară, astfel încât să poată fi detectată starea canalelor.

Pentru a identifica un canal liber se folosește un circuit numit **circuit de squelch** care poate fi :

- *squelch de purtătoare*, detectează prezența purtătoarei pe canalul de comunicație;
- *squelch codat subaudibil cu ton continuu CTCSS ( Continuous Tone Coded Squelch System)*, detectează prezența unui semnal transmis în spectrul subaudibil ( $f < 300\text{Hz}$ );
- *squelch codat digital DCS ( Digital Coded Squelch )*, detectează un semnal de date ce conține codul stației care folosește canalul de comunicație.

În figura 3.2 sunt prezentate elementele sistemului, și anume:

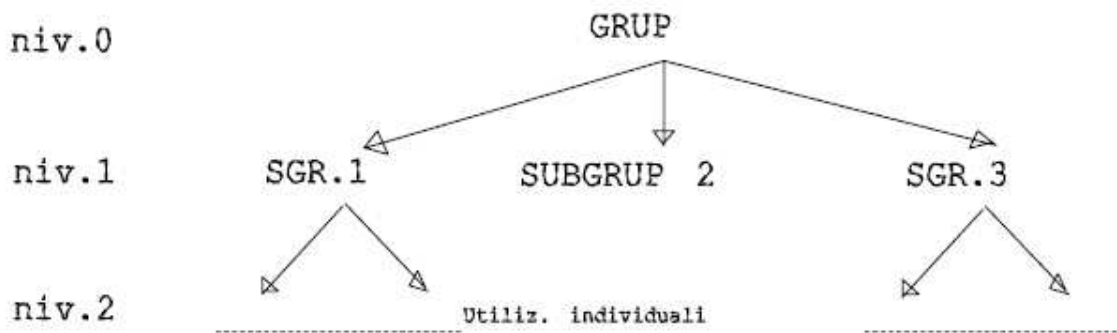


**Fig. 3.2.**

- *postul de control CP ( Control Post)*, reprezintă punctul de conectare a apelurilor dintre abonații grupului;
- *stațiile de bază BS ( Base Station)* - conțin unul sau mai multe elemente electronice de recondiționare și amplificare a semnalelor (repetoare);
- *centrul de comutare SC ( Switching Center)* – realizează legătura între posturile de control și stațiile de bază folosind cablu telefonic, fibră optică, radioreleu etc.;
- *stațiile mobile MS ( Mobile Station)* - sunt stații de emisie-recepție, care se pot deplasa în zona de acoperire a rețelei "trunked".

Utilizatorii rețelei trunked sunt organizați pe mai multe nivele (ca în figura 3.3).

Fiecărui subgrup i se va atribui, *în mod dinamic*, un canal de comunicație. Utilizatorii poartă convorbiri doar în interiorul subgrupului din care fac parte. Numai anumiți utilizatori pot purta convorbiri în alte subgrupuri sau pot iniția apeluri de grup sau de subgrup.



**Fig. 3.3.**

Dacă trebuie puse în legătură stații individuale din grupuri diferite spunem că se face o **regrupare dinamică**, care se poate realiza prin una din metodele:

- fără canal de control,
- cu canal de control.

**În cadrul sistemelor "trunked" fără canal de control** fiecare stație scanează în permanență toate canalele.

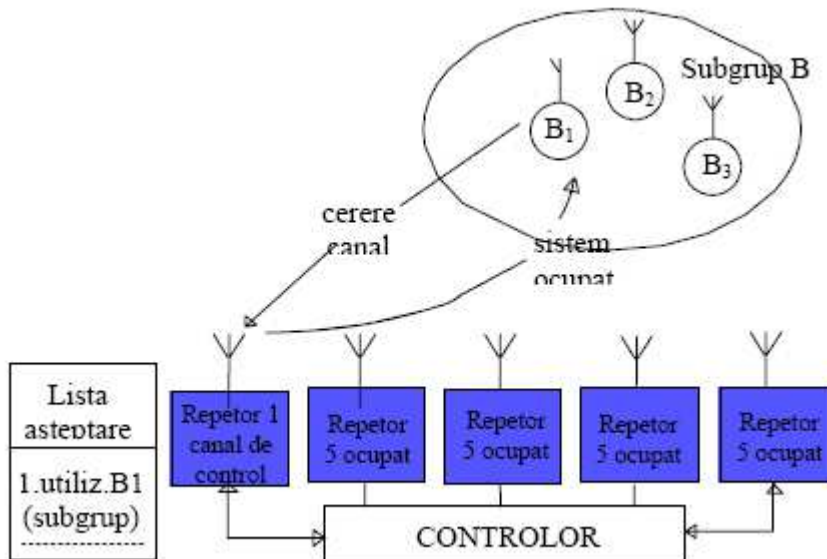
Pentru a lansa un apel, o stație va testa toate canalele (prezența sau absența purtătoarei). Primul canal liber detectat este folosit pentru transmiterea numărului de apel al stației cu care vrea să intre în legătură. Stațiile, aflate toate în stare de așteptare, care detectează prezența purtătoarei generate de stația care vrea să comunice, verifică numărul apelat. Dacă numărul apelat corespunde cu numărul propriu, stația se deschide automat. În caz contrar stația continuă supravegherea canalelor radio alocate.

**În cadrul sistemelor "trunked" cu canal de control**, dacă un utilizator încearcă să stabilească o legătură de comunicație, poate să găsească un canal liber urmând a) *secvența de apel acceptat* sau toate canalele să fie ocupate urmând b) *secvența de ocupat*.

Sistemul se află în starea de "așteptare" (*idle state*). Nici un utilizator nu vorbește, toate stațiile monitorizează canalul de control.

Controlerul, din figura 3.4, transmite semnale de date pe acest canal, indicând stațiilor care canal îndeplinește funcția de canal de control și care trebuie monitorizat.

Controlerul urmărește, la rândul său, canalul de control pentru a detecta eventualele cereri de apel.



**Fig. 3.4.**

a) *Secvența de apel acceptat*, determină următoarele acțiuni:

- Stația care inițiază un apel transmite un cuvânt de date (prin canalul de control) conținând identificatorul propriu și subgrupul din care face parte către controler;
- Controlerul atribuie subgrupului unul dintre canalele de trafic libere;
- Toate stațiile aparținând subgrupului comută pe canalul de trafic alocat de controler.

Stațiile din alte subgrupuri ignoră comanda de comutare a canalului și continuă monitorizarea canalului de control;

- Când convorbirea se încheie, stațiile subgrupului revin la monitorizarea canalului de control;

b) *Secvența ocupat* , determină următoarele acțiuni:

- Stația care inițiază un apel transmite un cuvânt de date conținând identificatorul propriu și subgrupul din care face parte (prin canalul de control) către controler;
- Controlerul anunță apelantul că sistemul este ocupat (ton de ocupat) și plasează cererea de apel într-o listă (coadă de așteptare de tipul FIFO);
- Când un canal devine liber, controlerul transmite un mesaj specificând canalul de trafic liber pe care îl alocă subgrupului. Toate stațiile subgrupului vor comuta pe canalul desemnat, inclusiv stația care a demarat procesul;
- Când convorbirea se încheie, stațiile subgrupului revin la monitorizarea canalului de control.

**Reacția sistemului în cazul unor avarii**, este diferită în funcție de tipul avariei, astfel:

a. *Avarie a canalului de control*

Se schimbă echipamentul desemnat să transmită canalul de control

b. *Avarie a unui canal de trafic.*

Canal nu va fi atribuit până când avaria nu este remediată.

c. *Avarie a controlorului de sistem.*

Toate stațiile comută pe un canal de trafic (preprogramat), comunicația va avea loc în modul convențional, până la remedierea avariei.

### 3.3. Sistemul TETRA

TETRA este un standard european, elaborat de ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), pentru sistemele de radiocomunicații private PMR.

## Caracteristici tehnice generale ale sistemului TETRA

- banda de lucru **380-400 MHz** este împărțită în două subbenzi, dar se acceptă alocări în banda de 410 - 430 MHz și în banda de 915 - 921 MHz;
- lărgimea de bandă a canalului de radiofrecvență este **25 kHz** (distanța dintre purtătoarele de radiofrecvență ale canalelor radio);
- total canale radio 6;
- modulația purtătoarei radio este de tipul  $\pi/4$  **DQPSK** (*Diferential Quaternary Phase Shift Keying*);
- debitul de transmisie pe canalul radio este **36 kbps**;
- număr de canale de comunicație, prin TDMA, pe un canal radio 4;
- poate transmite semnale vocale cât și date;
- posibilități de lucru celular;
- posibilitatea de a crea rețele virtuale private;
- acceptă modul de lucru **DMO** de comunicații directe între stațiile mobile;
- timp de acces la canal este de maximum 0.5 secunde;
- se pot folosi cartele SIM pentru securizare.

Se deosebesc trei generații ale sistemelor TETRA:

- TETRA 1 sau sistemul **TETRA V+D** (*voice + data*), pentru transmisiuni de voce și date;
- TETRA 2 sau sistemul **TETRA PDO** (*Packet Data Optimized*), pentru transmisiuni de date în pachete, care include serviciul TETRA V+D;
- TETRA 3 sau sistemul **TETRA Broadband**, pentru transmisiuni de voce și date la debite comparabile cu generația 4G a sistemelor de comunicații mobile.

În figura 3.5 [22] sistemele TETRA sunt comparate cu alte sisteme de comunicații mobile.

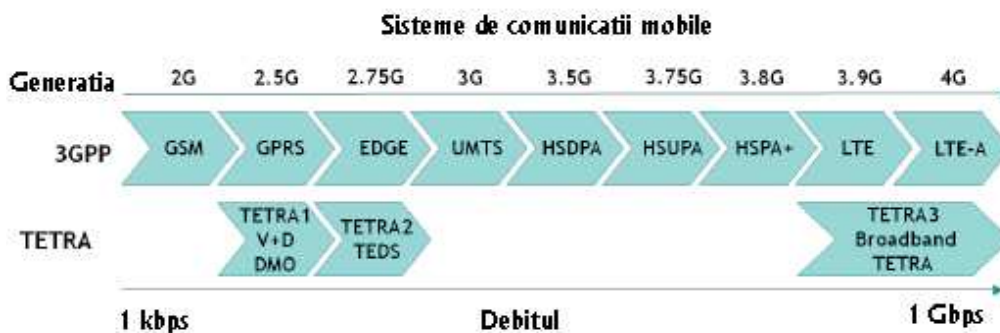


Fig. 3.5.



Modalitatea de transmisie este diferită în funcție de sistem:

- sistemul **V+D** transmite cadre TDMA grupate,
- sistemul **PDO** transmite pachete conținând date și semnale de sincronizare.

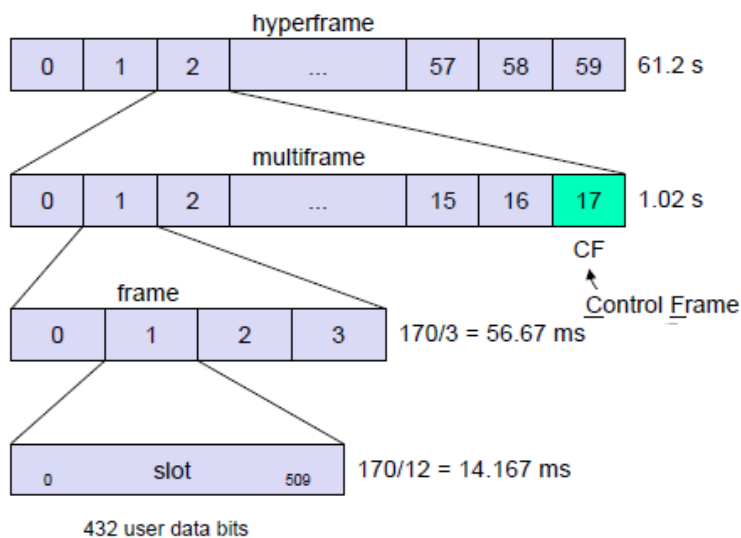
Durata de transmitere a fiecărui bit este aceeași, de  $27,78 \mu s$ .

### Caracteristici ale sistemului TETRA V+D

Transmisia se bazează pe formarea unor cadre TDMA (*Time Division Multiple Access*).

- Fiecare cadru conține 4 ferestre de timp (sloturi) în care sunt transmise informațiile corespunzătoare a patru canale, (510 biți pe fiecare canal).
- Durata de timp alocată pentru transmiterea unui bit este de  $27,78 \mu s$ .
- Un cadru conține 4 sloturi temporare, în total de  $56.67 ms$ .
- Fiecare slot, realizând un canal logic de comunicație, ocupă  $14.17 ms$ , în care timp pot fi transmiși 510 biți.
- Mai multe cadre (17 cadre) se grupează, adăugându-se un câmp de control, formând un multicadru, cu durata de  $1.02 s$ .
- Cea mai mare unitate de timp utilizată de sistem este de  $61.2 s$  (*hiperframe*).

În figura 3.6 [9] este prezentată structura cadrelor TDMA.



**Fig. 3.6.**

În tabelul 1 sunt prezentate principalele caracteristici ale sistemului TETRA V+D.

**Tabelul 1.**

Sistemul	Banda de frecvență [MHz]	Banda canalului radio [kHz]	Total canale de com. pe canal radio	Metoda de acces
TETRA	380,...,390	25	4	TDMA/FDMA

Numărul de canale radio depinde de banda efectiv alocată, din cea înscrisă în tabelul 1, cât și de distanța dintre cele două purtătoare pentru accesul duplex ( $f_a$ ,  $f_d$  și  $df$ ). Dacă nu se lasă un spațiu de gardă între cele două frecvențe (ascendentă și descendentă) avem

$$n = \frac{(520 - 380)10^3 \text{ kHz}}{25 \text{ kHz}} = \frac{140000}{25} = 5600 \text{ canale radio}.$$

Modulația purtătoarei de radiofrecvență este de tipul **DQPSK** (*Differential Quaternary Phase Shift Keying*).

Debitul pe canalul **radio este de 36 kbps** iar debitul **pe canalul vocal este impus la 4,8 kbps**.

Stația de bază are o putere din domeniul 0,6,...,40W (ajustabilă în trepte de 2 dB) iar stația mobilă are o putere din domeniul 1,...,30W (ajustabilă în trepte de 5 dB).

Distanța acoperită de o stație mobilă este de 58 km, dar poate fi crescută până la 83 km, prin adaptarea altor tehnici de modulație.

### **Caracteristici ale sistemului TETRA PDO**

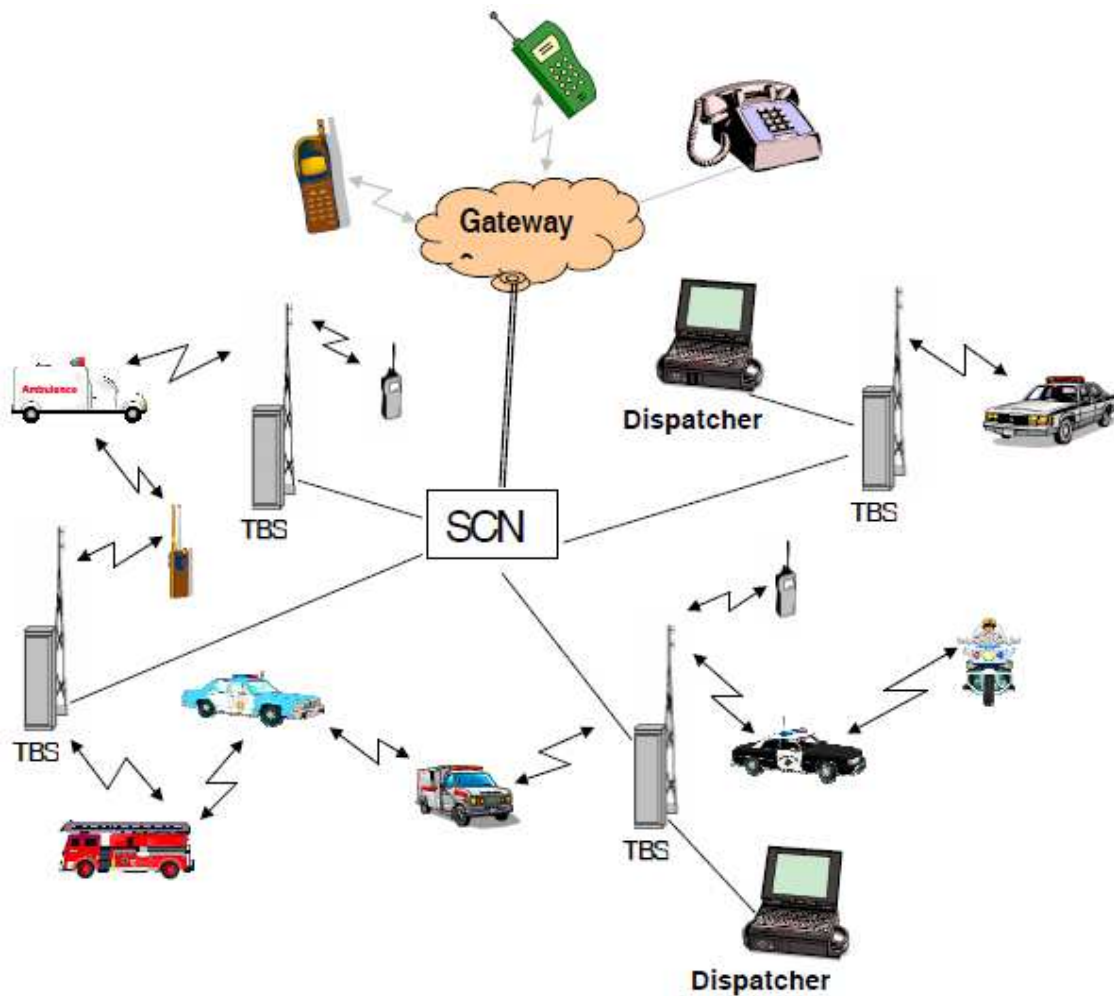
Transmiterea este organizată pe blocuri, multiplexate și dispuse în salve de biți, completate cu secvențe de sincronizare și cu alte semnale necesare funcționării.

O rețea TETRA minimală este prezentată în figura 3.7. [29]

Rețeaua din figura 3.7 conține un singur echipament de comutare **SCN** (*Switching Centre Node*) și mai multe stații de bază **TBS** (*TETRA Base Stations*). Echipamentul de comutare conectează stațiile de bază la o

rețea de transfer (*Gateway*) prin intermediul căreia se conectează rețeaua TETRA (de fapt utilizatorii rețelei) la alte rețele (PSTN, GSM, ș.a.).

Dacă numărul stațiilor de bază (și al utilizatorilor) este mare se montează mai multe centre de comutare.



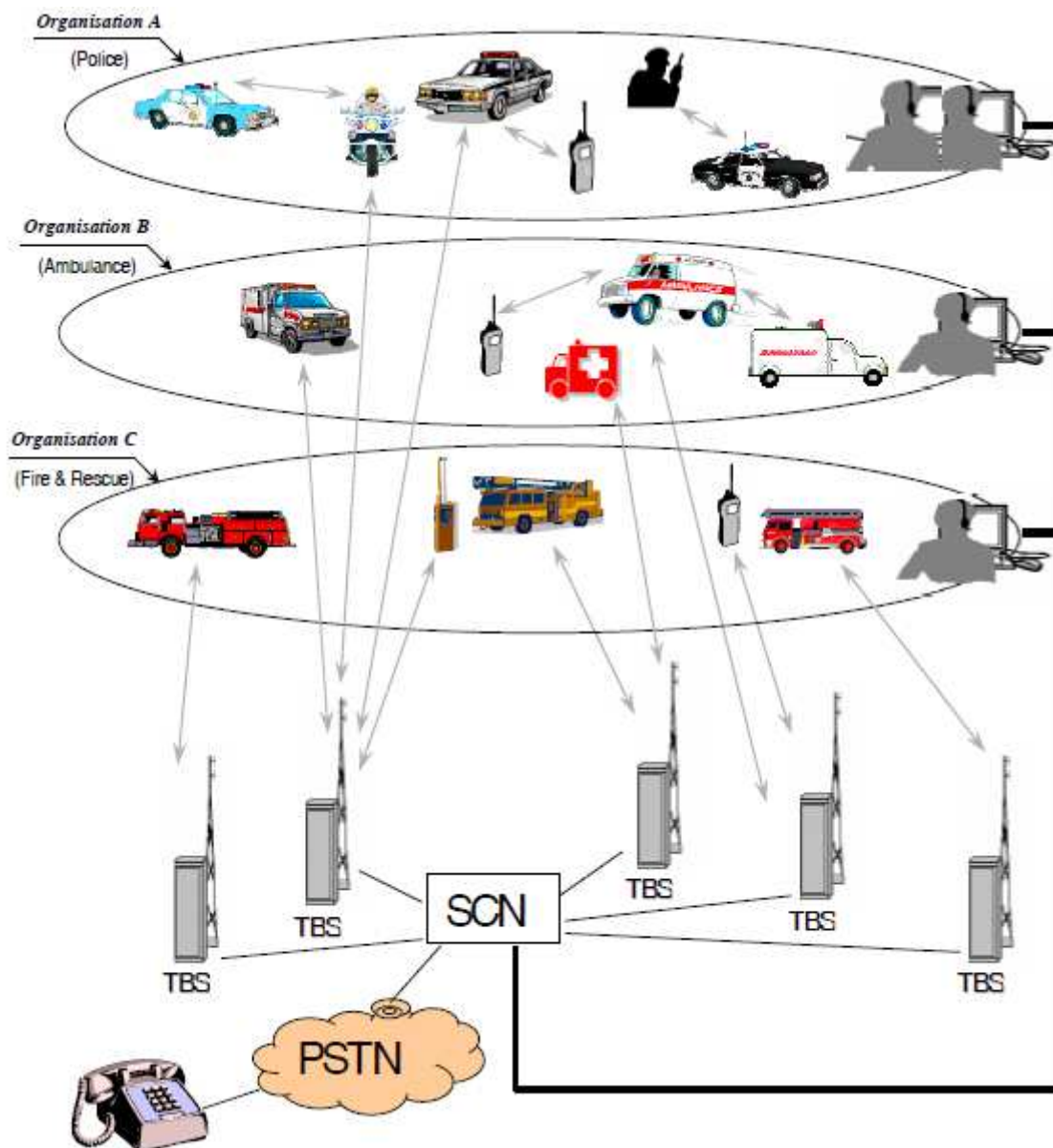
**Fig. 3.7.**

Uneori este eficient ca poliția, ambulanța și pompierii să fie conectați la aceeași rețea TETRA, ca în figura 3.8. [29]

Fiecare organizație reprezintă un grup separat, cu dispecer propriu.

O parte din utilizatorii fiecărui grup pot forma un grup separat cu drepturi de acces în toate grupurile.

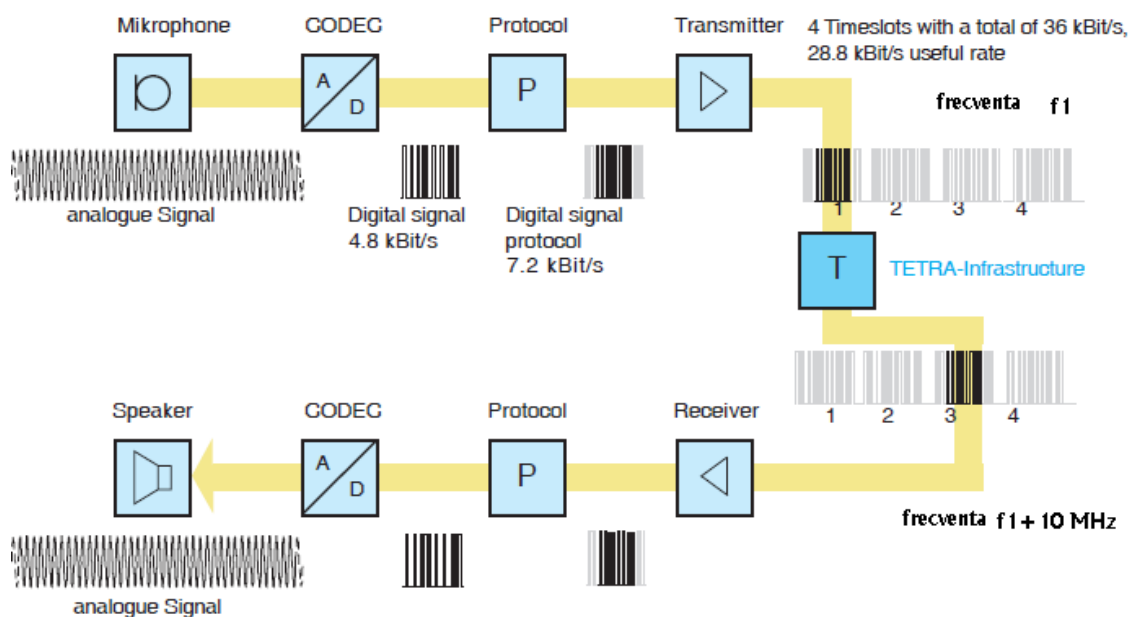
De cele mai multe ori legătura între grupuri se face prin intermediul dispecerilor.



**Fig. 3.8.**

Sistemul **TETRA PDO** are posibilitatea de adaptare a vitezei de transmisie a datelor între  $2.4\text{ kbps}$  când se folosește un singur slot de timp (datele fiind protejate) și  $28.8\text{ kbps}$  când datele sunt transmise în 4 sloturi de timp și se renunță la protecția datelor.

În figura 3.9 [47] este prezentată prelucrarea semnalului analogic preluat de la microfon, transformarea în semnal digital codat (blocul A/D), adăugarea semnalelor de control corespunzătoare protocolului TETRA (blocul P) și transmisia acestora pe frecvența de emisie  $f_1$  a echipamentului mobil.



**Fig. 3.9.**

Conform protocolului frecvența pe care mobilul recepționează este cu  $10\text{MHz}$  ( $f_1 + 10 \text{ MHz}$ ) mai mare decât frecvența de emisie.

### Caracteristici ale sistemului TETRA Broadband

TETRA broadband (TETRA 3) este o extindere a sistemului trunked, atât pentru creșterea debitului de informație cât și pentru asigurarea de noi servicii (multimedia) așa fel încât să poată intra în competiție cu LTE.

Pentru o bandă de  $5\text{MHz}$  (de fapt  $2 \times 5 \text{ MHz}$ ) debitul va fi de până la  $73 \text{ Mbps}$  pentru downlink și până la  $18 \text{ Mbps}$  pentru uplink (vezi tabelul 2). [22]

**Tabelul 2.**

Banda [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
Debitul downlink [kbps]	17,520	44,304	73,392	150,752	220,272	299,552
Debitul uplink [kbps]	4,392	11,064	18,336	36,696	55,056	75,376

Evoluția de la TETRA 1 la TETRA 3 are sens numai dacă TETRA 2 pregătește terenul pentru noile sisteme în sensul că toată rețeaua trebuie să se bazeze pe protocolul IP.

Se estimează o implementare în 3 faze a sistemului TETRA 3:

- faza 1, termen 2020, va rezolva problemele legate de standardizarea accesului direct, spectrului de frecvență, schimbului de date cu rețele P25 și TETRAPOL;
- faza 2, termen 2024, va extinde rețeaua la nivel național și va permite utilizarea debitelor 4G pentru date;
- faza 3, termen 2028, va permite servicii multimedia (pe bază de IP) la o calitate impusă.

### 3.4. Sisteme de radiopaging

Rețelele de radiopaging au rolul de a permite transmiterea unor mesaje relativ scurte către terminale mobile sau fixe aflate în zona de serviciu (zona acoperită cu semnal radio al stației de emisie fixă).

În majoritatea implementărilor *sistemul nu este bidirecțional*, în sensul că terminalul mobil primește mesajul dar nu are posibilitatea să răspundă.

De aici rezultă principalul dezavantaj al sistemelor de radiopaging fără posibilitate de răspuns, și anume faptul că operatorul nu știe dacă mesajul a fost preluat de utilizator sau s-a pierdut. În condițiile când pagerul este închis mesajele trimise de sistem vor fi pierdute.

Sistemul este implementat în spitale, în restaurante, în cadrul companiilor de vânzări, în cadrul companiilor de pază, ș.a.

Mesajele de paging care se trimit către stația mobilă, transmise în timp real sau la un moment ulterior (hotărât de operator), pot fi de tipul:

- semnal sonor, semnal luminos intermitent sau cu vibrații;
- semnal vocal preînregistrat;
- succesiune de simboluri alfanumerice (de 10 digiți);
- succesiune de simboluri alfanumerice.

Adoptarea unui tip sau altui tip de mesaj se face în funcție de necesitățile firmei și de prețul de cost. Astfel pentru aplicații fără pretenții se folosesc sisteme cu mesaje sonore sau luminoase (costul sistemului fiind mic).

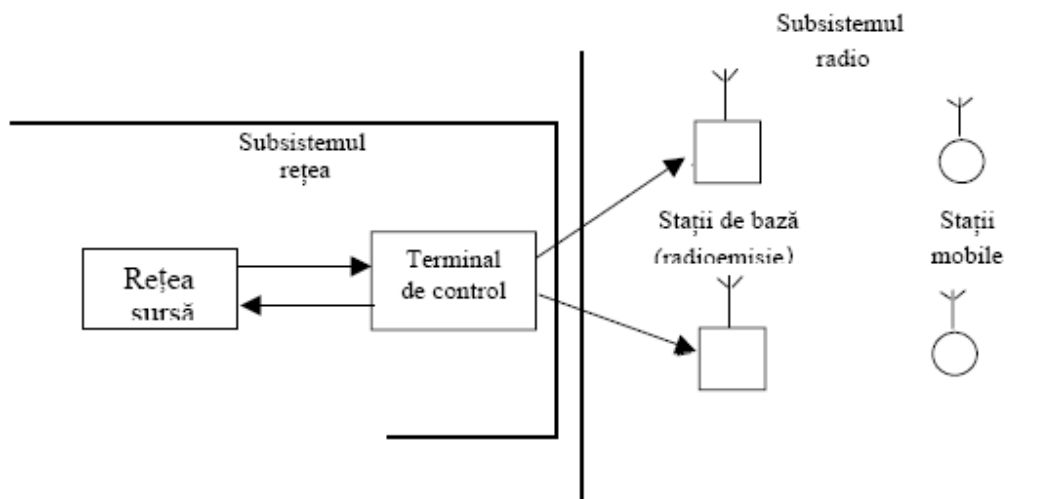
Există pagere care sunt dotate cu sistem de emisie permițând utilizatorului să răspundă la mesajul recepționat. De regulă pagerul nu are tastatură, dar în memoria acestuia sunt înregistrate o succesiune de adrese și mesaje de răspuns, din care utilizatorul poate selecta. Astfel operatorul este informat despre recepționarea mesajului de către utilizator și, în caz de pierdere, mesajul poate fi retransmis.

Sistemele de radiopaging evoluate folosesc transmisia mesajelor prin intermediul unui satelit, iar pagerele sunt dotate cu GPS.

Principalele sisteme de radiopaging sunt:

- sisteme clasice;
- sisteme cu acoperire celulară, spre exemplu **ERMES**(*European Radio Messaging System*);
- pentru radioreceptoare cu modulație în frecvență MF, spre exemplu **RDS**.

În figura 3.10 este prezentată structura generală a unui sistem de radiopaging.



**Fig. 3.10.**

Elementele componente sunt:

- subsistemul rețea;
- subsistemul radio.

Stația de emisie fixă este *stația de bază*.

Subsistemul rețea realizează interfața între rețeaua telefonică publică și un *terminal de control TC*, îndeplinind următoarele funcțiuni:

- verifică autenticitatea apelurilor;
- returnează semnalele de supervizare ;
- generează, direct sau indirect, semnalele paging;
- semnalizează prin coduri telefonice standard.

Subsistemul radio generează semnalul RF și îl difuzează în zona de serviciu.

Modul în care se colectează, se prelucrează și se difuzează mesajele poate fi:

- apel către un operator uman;
- apel telefonic către terminalul de control TC, care terminal formează un mesaj de paging standard;
- apel telefonic multifrecvență către terminalul de control TC, apel care se continuă cu un șir de caractere (care vor forma mesajul de paging);

Sistemul alocă un canal de comunicație la peste 10 000 de utilizatori pe când telefonia celulară permite numai 20 utilizatori pe un canal.

Benzile de frecvență radio utilizate de sistemele de paging sunt:

- 26,1MHz - 50MHz;
- 68MHz - 88MHz, pentru zone urbane cu densitate mare a construcțiilor;
- 146MHz - 174MHz, pentru distanțe mari;
- 450MHz - 470MHz, pentru distanțe mari
- 806MHz - 960MHz.



### 3.5. Sisteme clasice de radiopaging

Primele rețele de radiopaging, cu schema bloc în figura 3.11, au în componență:

- *terminalul comun TC* – cu rolul de codare a semnalelor și prelucrare în banda de bază;
- *centrul de control* – care distribuie semnalele de paging la *stațiile de bază* (prin cablu, radiorelee, fibre optice);

Capacitatea de adresare a sistemelor de paging este dată de codul folosit. Principalele coduri pentru sistemele de paging sunt [14,17]:

- codul secvențial Golay;
- codul POCSAG;
- codul Flex Sincron.

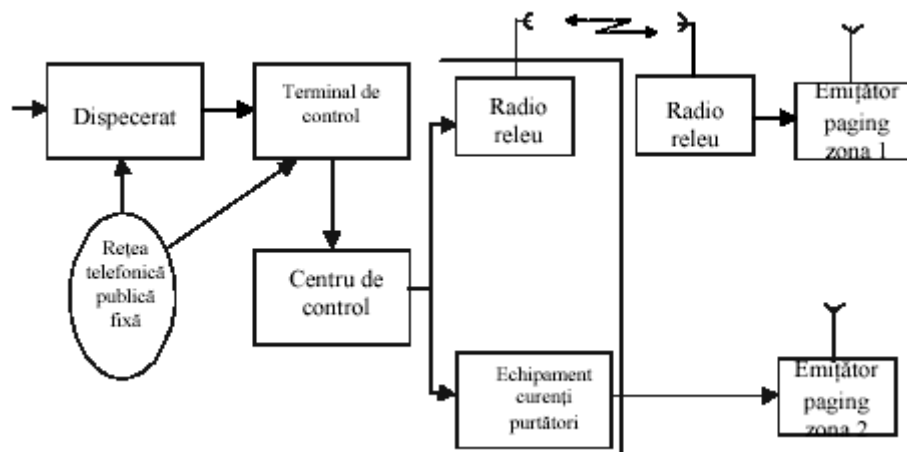


Fig. 3.11.

**Codul secvențial Golay** formează un cuvânt de cod de 23 biți, capabil să elimine orice combinație de trei erori aleatoare dintr-un cuvânt.

Permite formarea a 4,000,000 adrese.

Există două moduri de transmisie:

- transmisie individuală;
- transmisie în pachete.

Formatul datelor pentru modul *transmisiune individuală* este prezentat în figura 3.12.

<i>Preambul</i>	<i>Cod de start</i>	<i>Cuvânt de adresă</i>	<i>Bloc de date 1</i>	<i>Bloc de date 2</i>	<i>Blocuri de date 3... ..10</i>
-----------------	---------------------	-------------------------	-----------------------	-----------------------	----------------------------------

**Fig. 3.12.**

Viteza de transmisiune este de 600 *bps*.

*Blocul de date* constă din 8 cuvinte de cod BCH (15:7) deci 56 biți de informație și 64 de biți de control.

Informația transmisă în *blocul de date* (12 caractere numerice sau 8 alfanumerice) poate consta din:

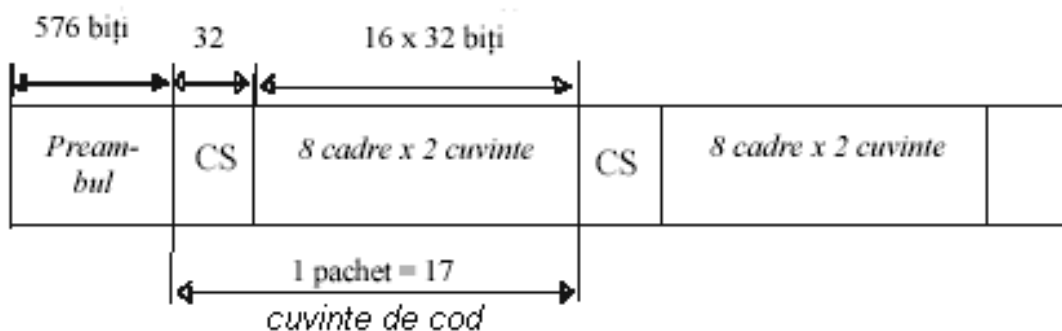
- simboluri numerice cu 4 biți/simbol;
- simboluri alfanumerice cu 6 biți/simbol;

Formatul datelor pentru modul de transmisiune *în pachete* individuale este prezentat în figura 3.13.

<u><i>Preambul</i></u>	<i>Cod de start</i>	<i>Adresa 1</i>	<i>Adresa 2</i>	<i>Adrese 3...14</i>	<i>Adresa 15</i>	<i>Adresa 16</i>
------------------------	---------------------	-----------------	-----------------	----------------------	------------------	------------------

**Fig. 3.13.**

**Codul POCSAG** (*Post Office Code Standardization Advisory Group*), folosit și în România, organizează datele ca în figura 3.14.



**Fig. 3.14.**

*Preambulul* este format din 576 biți (18 cuvinte de cod din biți alternați 1,0,1,0... pentru refacerea tactului);

*CS cuvânt de sincronizare* de 32 biți.

*Pachetele de date* sunt formate din un cuvânt de sincronizare CS + 8 cadre a câte două cuvinte (deci  $16 \times 32 + 32 = 544$  biți).

**Un cuvânt** are 32 biți (31 codăți BCH + un bit de paritate).

Biții de date se aranjează cu bitul cel mai puțin semnificativ LSB la stânga (ca și la Golay).

Se pot transmite un număr nelimitat de pachete.

Primul cuvânt al primului cadru din pachet conține o adresă care definește pagerul destinatar. Restul de cuvinte din pachet sunt părți ale mesajului. Mesajul continuă dintr-un pachet în altul.

Transmisiunea se încheie cu un nou cuvânt de adresă sau cu un cuvânt de sfârșit (format dintr-o succesiune impusă de biți 1 și 0).

**Protocolul Flex Sincron** (*Flex Synchronous protocol*) permite viteze de 1600bps, 3200bps și 6400bps.

Purtătoarea este modulată în frecvență FSK astfel că  $f_p + 4.5kHz$  este zero logic iar  $f_p - 4.5kHz$  este unu logic.

Distanța dintre două purtătoare este de 25kHz.

Transmisia atât a adreselor cât și a datelor se face prin cuvinte de 32 biți, dintre care 10 biți sunt folosiți pentru corecția erorilor de transmisie (pot fi corecțati maximum 2 biți).

Un cuvânt de date are 20 de biți iar un cuvânt de adresă are: 18 biți pentru exprimarea adresei și 2 biți pentru exprimarea funcției cuvântului.

Un mesaj începe cu 576 biți de sincronizare a receptorului (alternanțe de 0 și 1), urmați de o adresă și continuând cu unul sau mai multe cuvinte de date.

În cadrul mesajului numerele sunt codate BCD (cu 4 biți) iar literele sunt codate ASCII (cu 7 biți).

Frecvențele folosite de sistemele de paging diferă de la țară la țară. Astfel în Anglia se folosesc frecvențele 138, 153, 454 MHz iar în Germania se folosesc frecvențele 173, 466, 448 MHz.

### 3.2. Sistemul ERMES

Sistemul ERMES este un sistem de comunicații mobile digital structurat ca un sistem celular, pentru a transmite mesaje alfanumerice (cu lungimea unui mesaj individual de 400 – 9000 *caractere*) sau date de 20,..., 16000 caractere numerice (de maximum 64 *ko*), de la operator către abonat.

Sistemul este caracterizat prin:

- posibilitatea deplasării echipamentelor mobile pe arii extinse;
- rezistență mare la perturbații.

Un sistem ERMES acoperă teritoriul unei țări, regiuni etc. folosind una sau mai multe rețele de operator. Operatorul difuzează mesajele de paging pe întreg teritoriul acoperit sau pe una sau mai multe arii de paging.

În tabelul 2 sunt prezentate principalele caracteristici ale sistemului ERMES.

**Tabelul 2.**

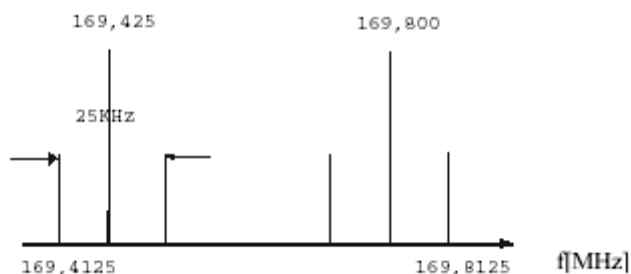
Sistemul	Banda de frecvență [MHz]	Banda canalului radio [kHz]	Total canale radio	Canale de paging pe canalul radio	Metoda de acces
ERMES	169,4,...,169,8	25	16	16	FDMA

O rețea ERMES are în componență următoarele elemente:

- Controlorul de rețea de paging - unitatea centrală a sistemului;
- Controlorul de arie de paging cu următoarele funcțiuni:
  - primește fluxul de informații de la **PNC**;
  - constituie coada de așteptare;
  - gestionează prioritatea mesajelor;
  - transmite mesajele către stațiile de bază din aria de paging pe care o controlează;
  - supraveghează funcționarea stațiilor de bază.
  - realizează unele operații de întreținere.
- Centrul de supraveghere și control al rețelei

- d) Stația de bază **BS** (*Base Station*) cu funcțiunile:
- preia mesajele de la PAC;
  - formează structura de date care va fi transmisă;
  - adaugă semnalele de sincronizare și de identificare;
  - difuzează mesajele în zona geografică repartizată;
- e) Receptorul de paging.

Banda de frecvențe radio 169,4125 MHz - 169,8125 MHz, prezentată în figura 3.15 este împărțită în **16 canale radio de câte 25 kHz**, fiecare canal radio fiind alocat la **16 canale logice (canale de paging)**. Metoda de acces este prin divizare în frecvență **FDMA**.



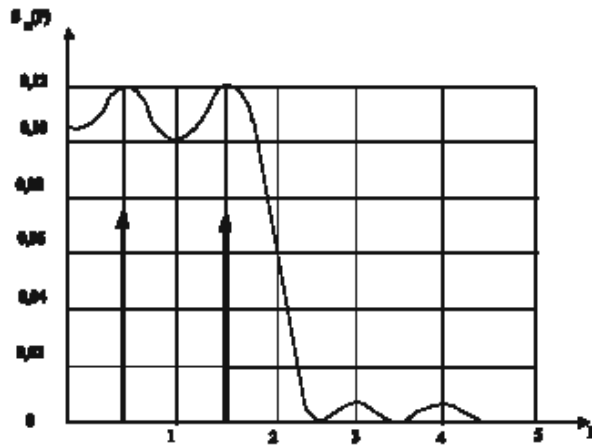
**Fig. 3.15.**

Transmisia se face prin modulație în amplitudine cu patru nivele (4- MIA, 4-PAM) ca în tabelul 3.

**Tabelul 3.**

<i>Grupul de simboluri</i>	11	01	10	00
<i>n</i>	+1	-1	+3	-3

Pe prima linie a tabelului 3 este prezentată combinația de doi biți care se va codifica prin intermediul unui nivel de tensiune cu valoarea (relativă) prezentată în linia a doua a tabelului. Linia a doua poate fi privită ca valoare a tensiunii (în volți) care va modula purtătoarea. Spre exemplu dacă urmează să se transmită combinația 10 semnalul modulator va fi o tensiune cu valoarea  $V_m = + 3 V$ .



**Fig. 3.16.**

Semnalul de radiofrecvență este modulată în frecvență FSK. Spectrul semnalului RF, prezentat în figura 3.16, are o bandă de 16 kHz, lobul al treilea intră în banda canalului următor fără a-l afecta (amplitudini foarte mici ale semnalului).

Fiecare pachet se adresează unui grup de pagere. Subsecvența "0" este precedată de un semnal de sincronizare (marker de minut universal).

Un pachet conține informații destinate unui pager, cu structura:

- informații pentru sincronizare, formată din două cuvinte de 30 biți fiecare, (preambulul și cuvântul de sincronizare propriu-zis);
- informații referitoare la sistem, conține elemente de localizare și informare cu privire la rețea (codul de țară - 7 biți, codul de operator - 3 biți, codul ariei de paging - 6 biți, alte informații);
- adresa;
- mesajul - antet, 36 biți, identificatorul operatorului extern, informații adiționale, mesajul propriu-zis.

Timpul de transmisie este împărțit în:

- *secvențe*, cu durata de 60 minute;
- *cicluri*, 60 pe secvență, cu durata fiecare de câte un minut;
- *subsecvențe*, 5 pe ciclu, cu durata fiecare de câte 12 secunde;
- *pachete*, 16 pe subsecvență (notate A,...,P), cu durata fiecare de câte 0,75 secunde.

Sistemul ERMES asigură protecții împotriva pierderii mesajelor prin:

- repetarea mesajului (într-un interval de 5 minute);
- memorarea mesajelor pentru cel puțin 24 ore;
- apeluri de grup;
- blocarea, de către abonat, pentru un timp, a transmiției de mesaje;
- transmiterea unor texte standard;
- criptarea mesajului.

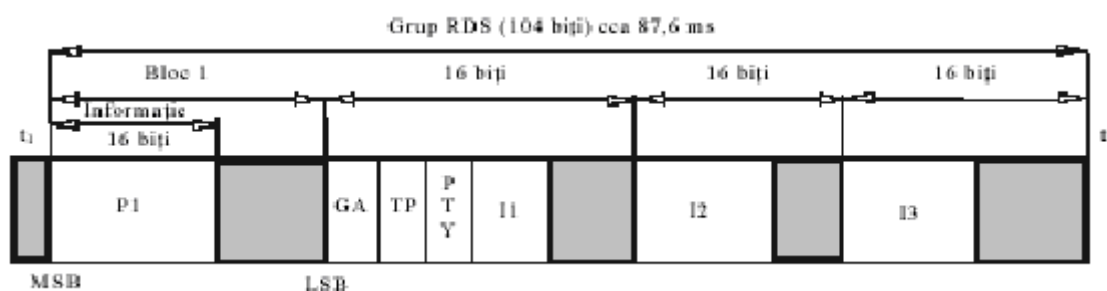
### 3.3. Sistemul RDS

Sistemul RDS este utilizat la transmiterea unor informații care permit acordul automat al receptoarelor MF moderne pe un anumit post. Nu este un sistem celular, el folosește rețeaua de releve de radiodifuziune de unde ultrascurte (UUS din domeniul 87,5,..., 108 MHz) prin implementarea unor puncte de inserție a mesajelor.

Simbolurile de date RDS sunt codate bifazic și limitate în frecvență cu un filtru sinusoidal, modulând o purtătoare de 57kHz.

Semnalul audio și semnalul de date RDS se adună și modulează în frecvență purtătoarea postului de radio.

Spre exemplu semnalul TA permite identificarea intervalului când se transmit informații despre trafic (pentru a comuta sau a mări volumul pentru anunțuri), semnalul EBS se transmite pentru avertisment în cazul unor catastrofe, semnalul TMC este folosit pentru transmiterea numerică a unor informații despre trafic cuprinzând zonele de valabilitate, numărul autostrăzii etc.



**Fig. 3.17.**

Se transmit grupuri de 104 biți în 87,6 ms, ca în figura 3.17, unde blocurile au semnificația:

I1-I3 – câmp de informații cu conținut identificat de GA;

P1,TP,PTY – câmpuri rezervate aplicațiilor;  
C1-C4 - biți de control și sincronizare;  
GA – cinci biți pentru identificarea grupului RDS.

**Un grup RDS** este format din 4 blocuri a câte 26 de biți.  
**Fiecare bloc** conține cuvinte:

- un cuvânt de informație format din 16 biți;
- un cuvânt de control de 10 biți.
- un cuvânt de sincronizare (*offset word*) se adună la cuvântul de control.

Decodorul poate să recunoască începutul și sfârșitul blocurilor de date, prin poziția sincronizării de bloc.



# 4

## SISTEME DE COMUNICAȚII PENTRU AUTOMOBILE

Sistemele de comunicare, din cadrul automobilului, se dezvoltă odată cu implementarea sistemelor electronice de comandă și diagnoză a diferitelor echipamente, începând cu anul 1970. La nivelul anului 2014 se estimează un cost al echipamentelor electronice reprezentând 23% din costul automobilului.

Echipamentele electronice implementate în cadrul automobilului îndeplinesc una din funcțiile:

- asistență a conducătorului auto la controlul automobilului prin controlul sistemului de frânare (ABS, ESP), direcției (cruise control, conducere automată, servodirecție), suspensiei active, managementul tracțiunii motorului;

- de control a echipamentelor auxiliare și de control a sistemelor privind confortul pasagerilor (controlul luminilor, a ușilor, a ștergătoarelor, managementul energiei electrice – baterie și alternator, a sistemelor multimedia – radio, DVD, telefon mobil, GPS).

Transferul datelor rareori se face printr-un singur sistem de comunicație, având în vedere viteza de transfer impusă de funcționarea echipamentelor. Astfel funcționarea echipamentelor multimedia impun o rată mare de transfer a datelor, motiv pentru care se folosește un protocol de tipul wireless (spre exemplu bluetooth) sau un protocol pentru fibra optică (spre exemplu protocolul MOST).

Societatea inginerilor de automobile SAE (*Society of Automotive Engineers*) folosește pentru definirea, în funcție de viteza de transport, clasificarea din tabelul 1 a sistemelor de comunicații din cadrul automobilelor.

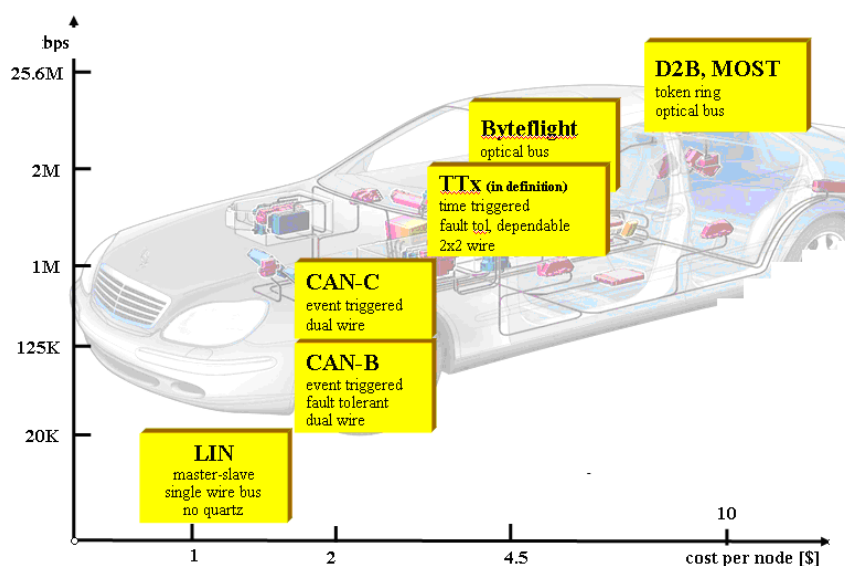
Semnificația notațiilor din tabelul 1 este:

- **LIN** (*Local Interconnect Network*), operează pe un singur fir conductor;
- **CAN** (*Controller Area Network*), operează pe două fire conductoare răsucite;
- **MOST** (*Media Oriented Systems Transport*), protocol pentru fibra optica;
- **D2B** (*Domestic Digital Bus*), protocol pentru fibra optica;
- **FlexRay** , reprezintă numele consorțiului care a promovat protocolul.

**Tabelul 1.**

Clasa	Viteza	Aplicația	Protocolul
A	< 10 kb/sec	Aționare oglinzi, geamuri electrice	LIN
B	10 ... 125 kb/sec	Instrumente de bord	CAN "low speed"
C	125 kb/sec ... 1 Mb/sec	Management motor, transmisie, sisteme de frânare (ABS)	CAN "high speed"
D	> 1 Mb/sec	Sisteme "X-by-wire", multimedia	FlexRay, D2B, MOST

Implementarea unuia sau altuia din protocoale nu depinde numai de viteza cerută de echipamente ci și de costurile pe care le implică. În figura 4.1 sunt prezentate viteza de transfer a datelor pe respectivul bus de comunicație în funcție de costurile pentru un nod de rețea (de fapt pentru un echipament conectat pe bus).[56]



**Fig. 4.1.**

## 4.1. Protocolul CAN

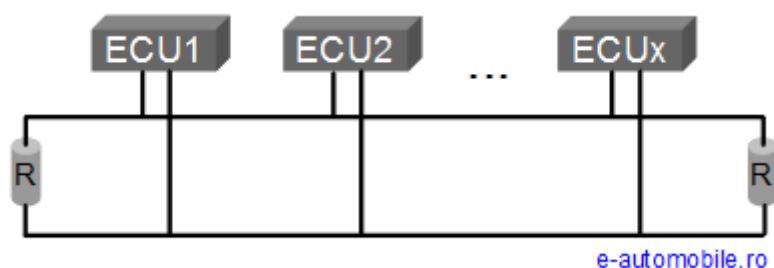
Protocolul CAN este definit în cadrul standardului ISO 11898. Este implementat pe automobile, auto trenuri, controlul remorcilor și platformelor auto, mijloace de transport feroviar, sisteme de control industrial (automatizări).

Dacă ne referim la nivelele OSI, protocolul specifică numai nivelele inferioare și anume nivelul fizic (*CAN Bus-Line*, *CAN Transceiver*) și nivelul de date (*CAN Controller or DSP*).

Nivelul fizic al rețelelor, care folosesc protocolul CAN, este format din circuite integrate emițătoare – receptoare (în fiecare nod), două fire conductoare de conectare a nodurilor și terminatori de linie.

**Notă.** Celelalte nivele OSI sunt definite de alte standarde, cum ar fi CANopen, CAN in Automation, Device Net.

Magistrala CAN este formată din două fire răsucite, unul numit **CAN\_H** (*High voltage*) iar celălalt **CAN\_L** (*Low voltage*). Ambele capete ale magistralei scurtcircuitază cele două fire, pentru evitarea reflexiilor, prin câte un rezistor de  $R = 120\Omega$ . În figura 4.2 este prezentată o magistrală CAN la care sunt conectate mai multe calculatoare ECU.



**Fig. 4.2.**

Rețelele folosind CAN au capacitatea de a funcționa în condiții dure, chiar dacă unul din fire este întrerupt, scurtcircuitat la masă sau la sursa de alimentare. Iar dacă ambele fire sunt întrerupte cele două secțiuni vor funcționa ca rețele separate.

Tensiunea care se aplică, în cazul general, pe CAN\_H are valorile 2.5 V sau 3.5 V iar tensiunea electrică care se aplică pe firul CAN\_L are valorile 1.5 V sau 2.5 V. [54]

Dar există magistrale CAN cu alte valori ale tensiunilor electrice. Spre exemplu CAN\_L primește -2V iar CAN\_H primește o tensiune de +7V (ISO 11898-2 high speed). În aceste condiții:

- pentru o viteză de transfer de  $1Mbps$ , lungimea maximă a magistralei nu trebuie să depășească  $40m$  (pentru o întârziere de propagare de  $5ns/m$ );
- pentru  $125kbps$  lungimea maximă a magistralei poate fi de  $500m$ ;
- pentru  $50kbps$  lungimea maximă a magistralei poate fi de  $1000m$ .

**Notă.** ISO 11898-3 (*fault – tolerant CAN*) definește specificațiile pentru viteza de  $125kbps$ , impunând maximum 32 noduri. Rețeaua rămâne în funcțiune chiar cu o singură linie a magistralei. Magistrala nu necesită conectarea unor rezistori terminatori de linie.

Identificarea biților pe magistrală se face, ținând seamă de faptul că codarea este de tipul **NRZ** (*Non-Return-to-Zero*).

Fiecare semnal, corespunzător unui bit trebuie să rămână stabil un interval fix de timp. Care interval de timp depinde de viteza datelor pe magistrală și de lungimea liniei (a magistralei).

Dacă intervalul este mai scurt sau mai lung se declară apariția unei erori de transfer. Nodul care sesizează diferența trimite un pachet de eroare, pentru ca celelalte noduri să nu preia pachetul eronat.

Zero și unu logic sunt reprezentate de un semnal diferențial și anume de diferența dintre tensiunea de pe CAN\_H și CAN\_L.

Pentru ca să nu se piardă sincronizarea, în cazul în care data de transmis conține 5 valori egale, se va introduce un bit complementar (care se identifică la recepție și se elimină).

Conectarea unui nod la magistrală se poate face cu circuite simple (*CAN Transceiver*) de adaptare a nivelelor, spre exemplu de tipul MCP2551 sau prin intermediul unui controler, spre exemplu MCP2515 (ambele produse de firma *Microchip*).

În figura 4.3 este prezentată schema bloc a circuitului integrat MCP2551 de adaptare a semnalelor pentru conectarea la magistrală. Pot fi folosite 112 circuite care permit conectarea pe magistrală a maximum 112 noduri.

Ieșirea de date RXD este în zero logic dacă magistrala este în starea „**dominantă**”, adică diferența dintre CANH și CANL este mai mare ca  $1.2V$ . Ieșirea de date RXD este în unu logic dacă magistrala este în starea „**recesivă**”, adică diferența dintre CANH și CANL este mai mică ca  $0.0V$ .

Pinul TXD, dacă este în zero logic, va determina pe magistrală starea dominantă.

La pinul RS se conectează un rezistor care va stabili modul de operare al circuitului. Dacă se conectează la  $V_{SS}$  circuitul va lucra la viteza maximă (1Mbps), iar dacă se conectează la  $V_{DD}$  circuitul intră în modul „sleep”.

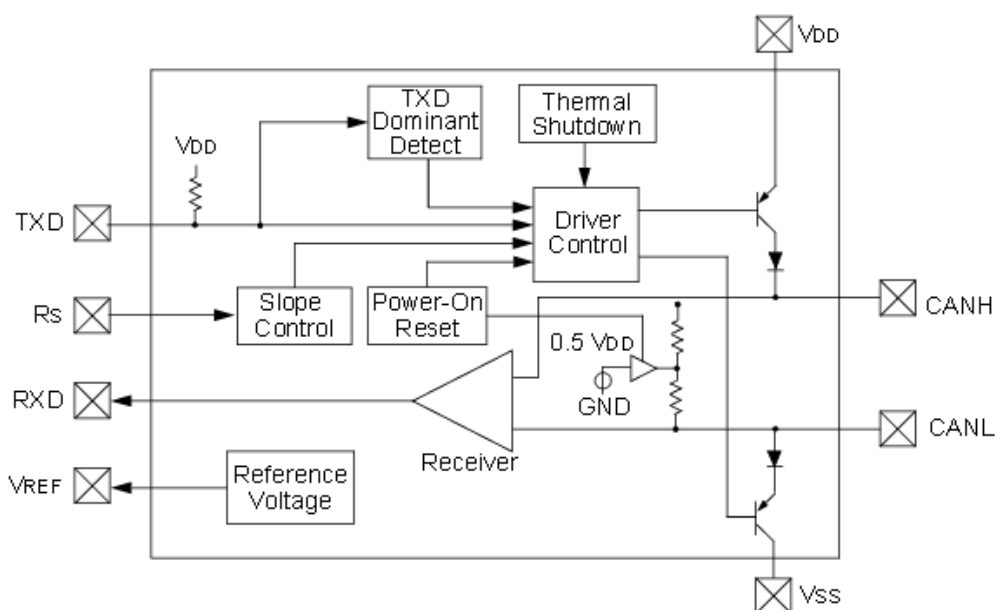


Fig. 4.3.

### Principii de funcționare a magistralei CAN

Protocolul CAN este un protocol orientat pe mesaje, adică orientat pe conținut. Mesajul trimis de un nod este accesibil tuturor nodurilor, neavând în componență o adresă a vreunui nod particular (căruia să i se adreseze mesajul).

Fiecare mesaj conține **un identificator unic** (pe întreaga rețea), care descrie conținutul mesajului și prin intermediul căruia se stabilește și prioritatea mesajului. Accesul la magistrală îl capătă mesajul de prioritatea cea mai mare (identificator de valoare mai mică), celelalte mesaje vor fi retransmise după procesarea mesajului mai prioritar.

Controlerul fiecărui nod are rolul de a filtra mesajele după relevanță. Mesajele de date sunt preluate (prelucrate) de către nodul care are nevoie de respectivele date (conținute în mesaj).

Datele (mesajele) sunt transmise pe magistrală utilizând **cadre** (*Message frames*).

Protocolul CAN folosește două tipuri de cadre, cu lungimi diferite:

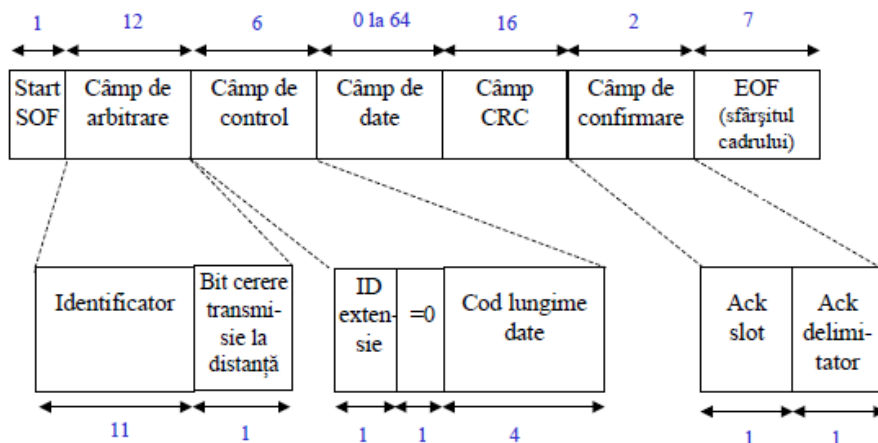
- **cadrul de bază**, care folosește un identificator de 11 biți;
- **cadrul extins**, care folosește un identificator de 29 biți.

Cadrul extins se propagă mai lent și are nevoie de o bandă mai mare (ca cel de bază).

Din punctul de vedere al semnificației există 4 tipuri de cadre:

- **cadrul de date** (*Data frame*), care transferă date de la emițător la receptor;
- **cadrul de solicitare date** (*Remote frame*), care trimite o cerere pe magistrală pentru a primi date de la alt nod;
- **cadrul de eroare** (*Error frame*), este lansat pe magistrală de o unitate (nod) care a sesizat o situație de eroare, semnalând tuturor nodurilor să nu ia în considerație cadrul eronat;
- **cadrul de supraîncărcare** (*Overload frame*), este folosit pentru introducerea unei întârzieri între două cadre de date sau de solicitare.

În figura 4.4 este prezentată structura unui cadru de date (și a unui cadru de solicitare). [54]



**Fig. 4.4.**

Diferența între “cadrul de date” și „cadrul de solicitare date” se referă la conținutul bitului “*cerere transmisie*” care va fi în 1 pentru cadrul de solicitare iar “*lungime date*” va conține numai zerouri.

**SOF** – este bitul de sincronizare a transmisiei (receptorul calculează timpul cât durează SOF și această valoare va reprezenta timpul de bit);

**COD LUNGIME** – semnifică lungimea câmpului de date;  
**CÂMP DE DATE** – reprezintă data propriu zisă, ce se transferă de la emițător la receptor (are lungimea maximă de 8 octeți);  
**CÂMP CRC** – codul de verificare (ciclic redundant) a datelor;  
**CÎMP DE CONFIRMARE** - permite receptorului să constate corectitudinea recepționării datelor;  
**EOF** – conține 7 biți de unu logic, semnalizând sfârșitul cadrului.

În scopul monitorizării transferului pe magistrală și pentru **detectarea erorilor** s-au implementat două mecanisme:

- monitorizarea semnalelor pe magistrală;
- verificarea cadrelor.

Monitorizarea semnalelor de pe magistrală o face nodul emițător, care compară starea magistralei cu cadrul pe care îl trimite. Dacă apar neconcordanțe sursa generează un cadru de eroare. În plus receptorul efectuează o sincronizare a recepției cu ajutorul bitului de start. Dacă lungimea în timp a unui bit este mai mare decât trebuie (spune bitul de start) nodul va genera un cadru de eroare.

Verificarea cadrelor și detectarea erorilor la nivel de cadru se face prin analiza câmpurilor:

- **CRC** (*Cyclic Redundancy Ceck*), se calculează și se compară cu valoarea din corpul cadrului;
- **FC** (*Frame Ceck*), compară structura cadrului recepționat cu forma standard;
- **ACK** (*Acknowledge*) verifică faptul că nodurile care au primit cadre de date au transmis semnalul ACK, adică au confirmat recepția cadrului.

Fiecare nod are două contoare *CET* – de eroare transmisă și *CER* – de eroare recepționată, care sunt incrementate la apariția erorilor.

În funcție de valorile celor două contoare nodul poate fi: **activ, pasiv** sau **deconectat** (*bus off*).

Starea de **nod activ** este starea în care nodul funcționează normal, caz în care cele două contoare au valori mai mici ca 128.

În starea de **nod pasiv** (când *CET* sau *CER* > 128) , nodul încă funcționează dar are restricții privind transmiterea datelor.

Starea de **nod deconectat** (*nod bus off*) se obține când numărul erorilor transmise este mare ( $CET > 256$ ). De remarcat faptul că deconectarea nodului de la magistrală se face automat, situație în care nodul nu mai este prezent pe magistrală (circuitele de interfață sunt în starea de înaltă impedanță).

## 4.2. Protocolul LIN

Protocolul LIN (*Local Interconnect Network*) este conceput pentru a înlocui protocolul CAN, în aplicațiile la care viteza de transfer a datelor nu este critică, așa fel încât costul pe nod al rețelei să fie mic. [53]

În acest scop (de scădere a costurilor) protocolul impune câteva restricții:

- magistrala este formată dintr-un singur conductor (conform ISO9141);
- viteza de transfer pe magistrală este limitată la 20kbps;
- sistemul permite prezența unui singur master și mai multe noduri slave (maximum 15) pe magistrală;
- nu se folosesc oscilatoare cu cristal de cuarț pentru sincronizarea pe magistrală;
- se folosesc circuite integrate de interfață ieftine, de tipul UART.

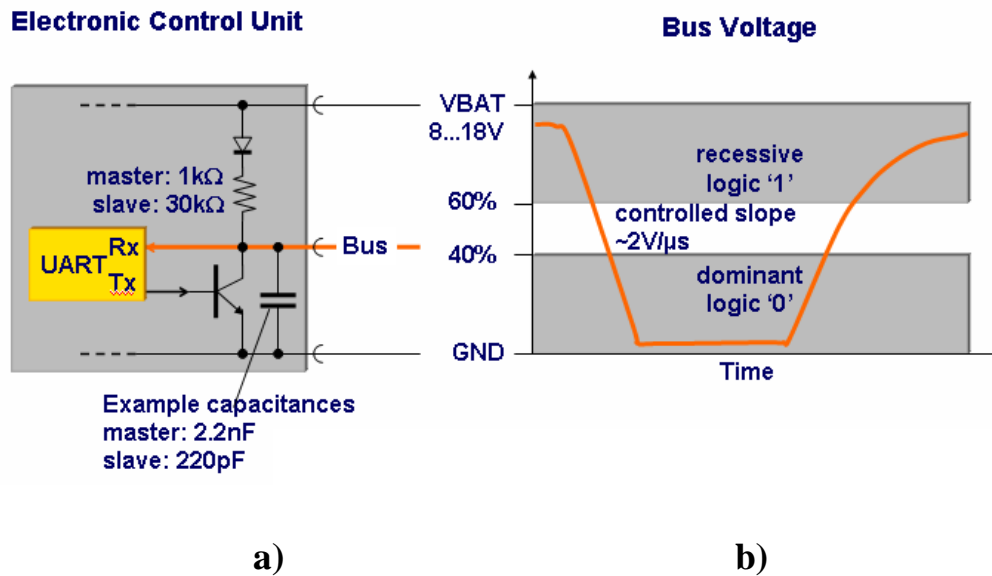
### Aplicații tipice

Protocolul LIN este folosit în preluarea datelor de la: senzorul de iluminare, senzorul de ploaie, poziția oglinzilor, poziția ferestrelor, senzorii de închidere a ușilor, poziția scaunelor, prezența pasagerilor pe scaune, ș.a. Totodată transferă comenzi pentru afișarea datelor pe panoul central, închiderea ușilor, modificarea iluminării și comanda sistemului de menținere constantă a vitezei autovehiculului (*cruise control*).

În figura 4.5a este prezentat circuitul electronic cu un tranzistor de conectare a unui nod (UART) la magistrală, iar în figura 4.5b semnalul pe magistrală.

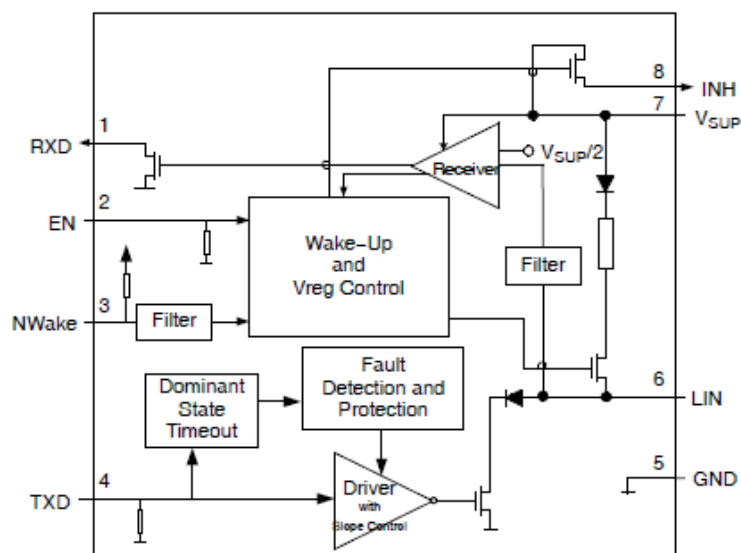
Se constată că semnalul  $T_x$  modifică starea tranzistorului din blocare în conducție și invers. Condensatorul din colector are rolul de a forma panta de creștere / scădere a tensiunii pe bus.





**Fig. 4.5.**

În condițiile în care circuitul de interfață se impune să îndeplinească și alte funcții poate fi utilizat un circuit integrat mai complex, spre exemplu de tipul TPIC1021. În figura 4.6 este prezentată schema bloc a circuitului TPIC1021.



**Fig. 4.6.**

Utilizarea circuitului TPIC1021 pentru un nod slave este prezentată în figura 4.7.

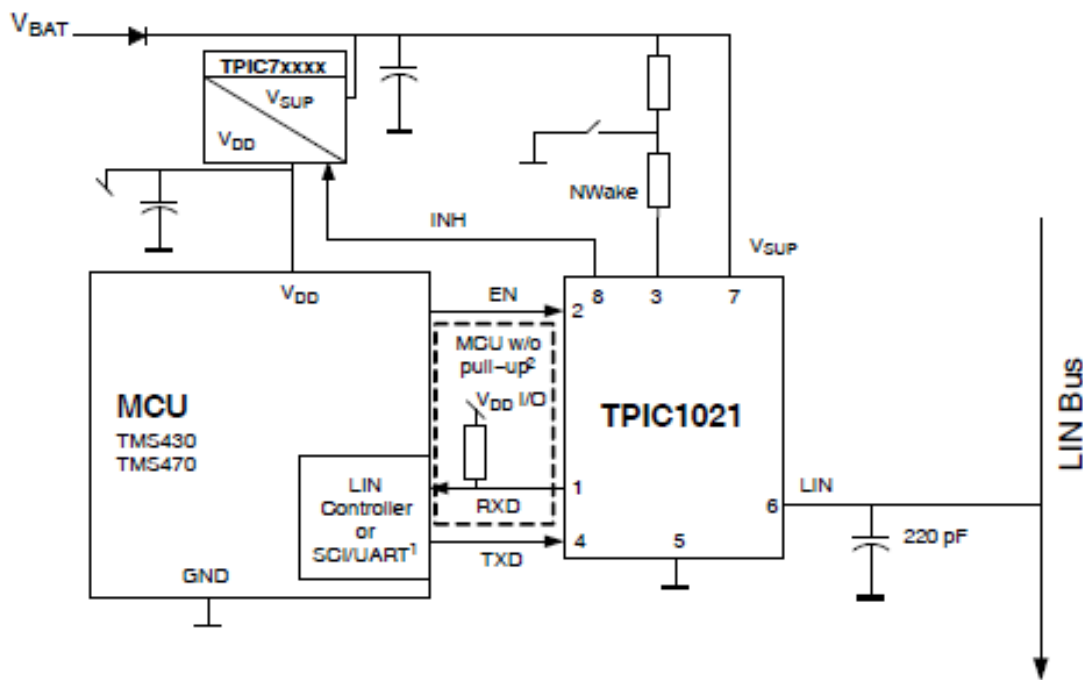


Fig. 4.7.

Se constată că circuitul de interfață pe lângă funcția de conectare la magistrală a semnalelor *RXD* și *TXD* permite trecerea circuitului în starea de *sleep*, precum și trezirea acestuia (*wake-up*) pe baza semnalelor *Nwake* și *EN*. (fig. 4.6)

Controlerul de magistrală (care implementează protocolul LIN) este, în acest caz, un microcontroler de 16 biți (TMS430) de preț mic. Comunicarea cu circuitul de interfață TPIC1021 se face prin UART (semnalele *RXD* și *TXD*).

## Mesaje LIN

Conceptul de master – slave, permite împărțirea sarcinilor între circuitul master și circuitul slave.

Circuitul master are rolul de a trimite un heder care să indice circuitelor slave ce au de făcut și care sunt prioritățile. Totodată monitorizează datele pe magistrală și generează mesaje de eroare.

Circuitul slave are rolul de a trimite după heder un răspuns. Poate să transmită date (după heder) sau poate să recepționeze datele și să le folosească sau poate să nu facă nimic, în funcție de conținutul hederului (de fapt în funcție de valoarea identificatorului).

În figura 4.8 este prezentată structura mesajului.

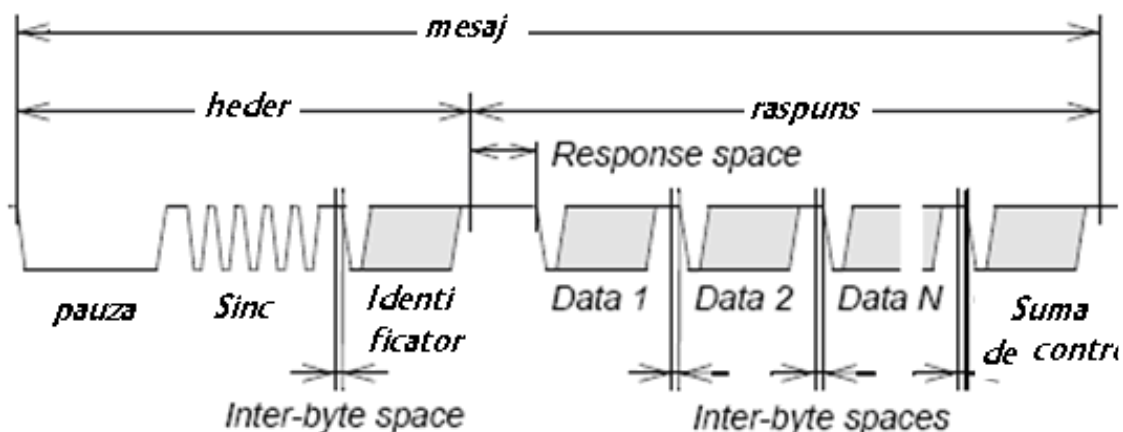


Fig. 4.8.

**Hederul** este format din câmpurile:

- câmpul de pauză (*break field*) dintre mesaje, de 13 biți, are rolul de a atenționa elementele slave că trebuie să citească, de pe magistrală identificatorul ce va fi transmis (de master);
- câmpul de sincronizare (*Sinc*), este format din 8 biți alternați de zero și unu (55H), unde primul este bit de start iar ultimul bit de stop, permițând calculul duratei unui bit (la 19.2kbps durata este de 52  $\mu$ s);
- *Identificatorul*, format din 8 biți, despărțiți în două subcâmpuri (primii biți 0 – 5 reprezintă identificatorul propriu-zis, iar ultimii doi reprezintă paritatea).

Identificatorul este elementul care diferențiază comenzile, definind în mod unic un mesaj. Identificatorul poate lua valorile :

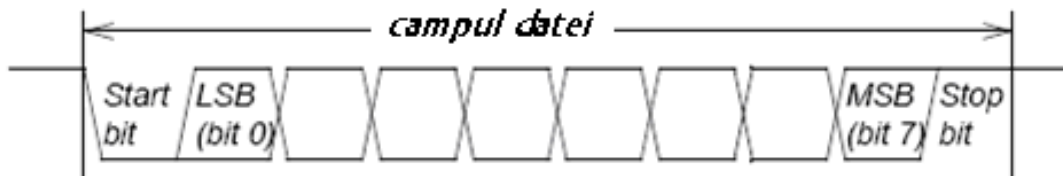
- din domeniul 0-59 (3B) dacă mesajul transportă semnale,
- valorile 60 (3C) și 61 (3D) semnifică transportul datelor de configurare sau de diagnoză a sistemului,

- celelalte două valori (62 și 63) nu sunt încă folosite.

**Răspunsul** reprezintă câmpul de date.

Răspunsul poate fi format din 1 la 8 octeți, cu bit de start și bit de stop, ca în figura 4.9.

Octetul se transmite în ordinea LSB la MSB.



**Fig. 4.9.**

La finalul mesajului se introduce suma de control (care se calculează numai pentru biții de date) cu ajutorul căreia se verifică integritatea datelor.

### **Elemente software**

Atât elementul master cât și elementele slave au încorporate elemente de software care să permită îndeplinirea funcțiilor alocate nodului.

**Elementele slave** sunt asociate cu traductoare sau cu elemente de prelucrare a semnalelor și execuție.

*Dacă elementul slave este asociat cu un traductor, va fi dotat cu o aplicație care să preia semnalul de la traductor, să-l prelucreze și să-l împacheteze așa fel încât să poată fi depus pe magistrală. O altă aplicație identifică în cadrul hederului numărul care îi solicită să depună pe magistrală răspunsul nodului. După ce calculează suma de control, intercalează biții de start și de stop, apoi depune răspunsul pe magistrală.*

*Dacă elementul slave este asociat cu un element de execuție, va fi dotat cu o aplicație care să identifice hederul care îi spune să preia semnalul de pe magistrală, să îl despacheteze și să îl furnizeze unei alte aplicații (specifice nodului) care să elaboreze comenzile către elementul de execuție.*

Uneori data este furnizată unui controler care are nevoie și de alte date pentru elaborarea comenzii.

**Elementele master**, pe lângă sarcina de administrare a transferului pe magistrală și de rezolvare a problemelor de transfer, are și sarcina de a depune pe magistrală hederule într-o anumită ordine (impusă de procesul controlat).

Ordinea de accesare a magistralei este înscrisă într-o **tabelă orară** (*schedule table*) curentă, pe care o accesează echipamentul master. Tabela orară curentă este procesată până când aplicația selectează o altă tabelă orară.

Pentru a conserva energia, dacă pe magistrală nu există activitate timp de 4 secunde echipamentele slave intră în starea de “adormit” (*sleep*) – când echipamentul consumă puțină energie.

Starea de *sleep* poate fi comandată de master trimițând un heder cu identificatorul egal cu ID=60 (*go to sleep*).

Orice echipament slave poate cere trezirea (**Wake-up**) forțând magistrala în starea de zero logic un interval de timp de  $250\ \mu s \dots 5ms$ . Echipamentul master sesizează starea și trimite hederul corespunzător.

### 4.3. Protocolul D2B

Protocolul D2B (*Domestic Digital Bus*) este un sistem de comunicație, de cost mic și viteză mare ( $5.6Mbps$ ), folosind drept **mediu fizic fibra optică**. Pe bus-ul optic, determinând o rețea în inel, este permis un singur echipament master. [42]

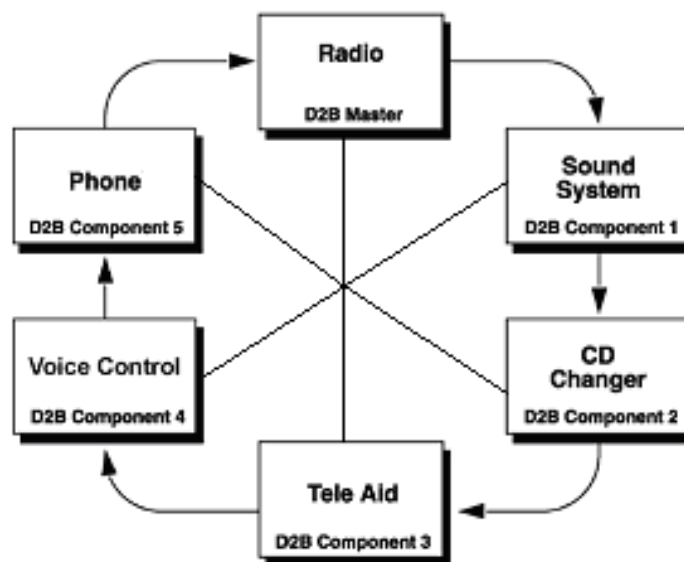
#### Aplicații tipice

Protocolul D2B este folosit de către Mercedes pentru conectarea în inel, prin fibră optică de plastic, a maximum 6 echipamente.

În figura 4.10 este prezentată configurația **rețelei optice în inel**.

Radioul sau MCS care este echipamentul master iar restul sunt echipamente slave și anume: amplificatorul audio (*Sound System*), încărcătorul de CD (*CD Charger*), sistemul de informații (*Tele Aid*), sistemul de control vocal (*Voice Control*) și telefonul (*Phone*).

**Notă.** O variantă mai nouă înlocuiește sistemul de informații (*Tele Aid*) cu un sistem radio cu recepție prin satelit.



**Fig. 4.10.**

Fiecare echipament din rețea este prevăzut cu două convertoare de semnal unul optic – electric (de intrare) și celălalt semnal electric – semnal optic (de ieșire).

Pe lângă rețeaua optică (în inel) mai există o **rețea electrică în stea**, formată dintr-un singur conductor electric.

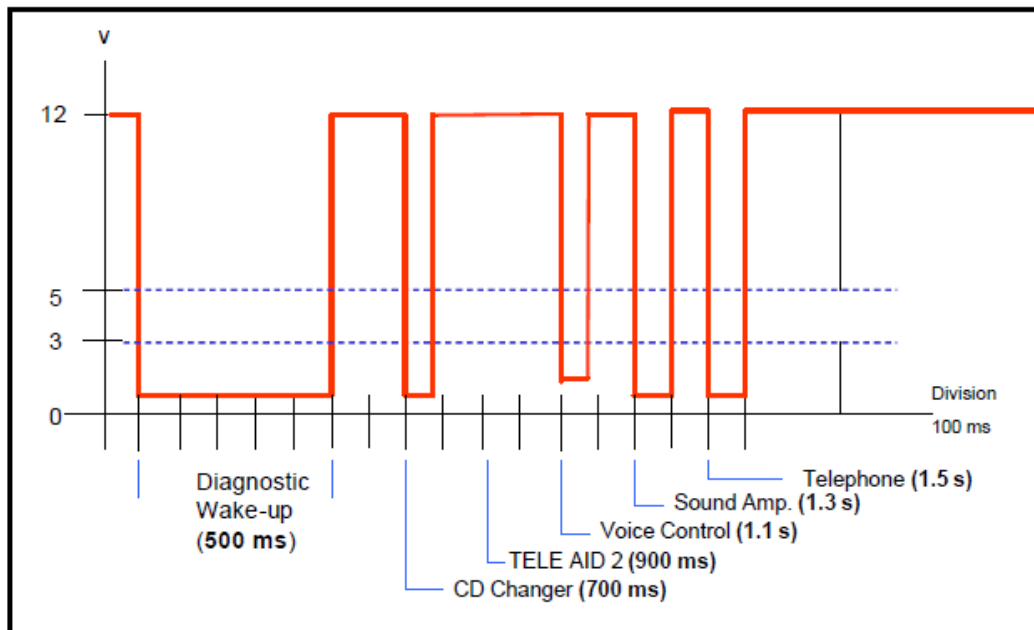
În scopul conservării energiei echipamentele, pe baza unei comenzi de la master, pot intra în starea de consum redus „*sleep*”.

Trezirea din această stare (*wake-up*) se face de către echipamentul master menținând linia electrică la potențial mic pe durata a  $80 \mu s$ .

În figura 4.11 este prezentat un test al funcționării echipamentelor.

Elementul master lansează *wake-up* și așteaptă răspunsurile.

Ca exemplu, în figură elementul *TELE AID 2*, nu este funcțional și nu lansează un răspuns către elementul master (care a lansat interogarea).



**Fig. 4.11.**

Elementul master, îndeplinește majoritatea funcțiilor de control și diagnostică a celor două magistrale și anume :

- Asigură semnalul de *wake-up*;
- Generează semnalul optic de start;
- Efectuează diagnosticarea magistralei;
- Determină erorile și memorează codurile de eroare;
- Memorează configurație inelului;
- Asigură o poartă de legătură (*gateway*) între rețeaua optică și rețeaua CAN.



**a) RADIO**

**Fig. 4.12a.**



b) MCS

**Fig. 4.12b.**

În figura 4.12 sunt prezentate pozele a două din echipamentele, ale sistemului implementat de Mercedes, care pot îndeplini funcția de master.

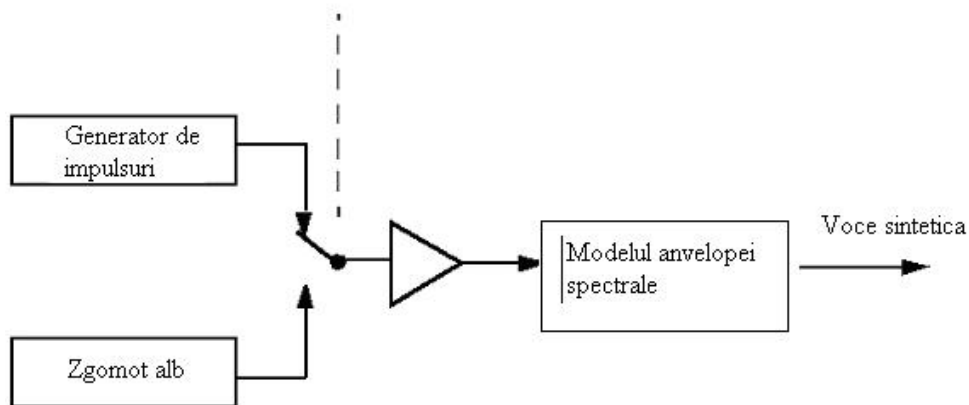


# 5

## SISTEME GSM

### 5.1. Vocodere

Codoarele de voce cunoscute drept vocodere (*VOice CODERS*) conțin un model al vorbirii care primește la intrare o serie de impulsuri sau un semnal de tipul zgomot alb și furnizează la ieșire un semnal vocal inteligibil. [17.26]



**Fig. 5.1.**

Pentru codarea vocii se analizează semnalul vocal în scopul determinării parametrilor modelului (a anvelopei spectrale). Parametri modelului se transmit receptorului. Receptorul generează (sintetizează) semnalul vocal, ca în schema bloc din figura 5.1, care se impune să fie cât mai apropiat de semnalul vocal inițial pe baza căruia s-au determinat (la emisie), parametrii anvelopei.

Deoarece modelul vorbirii nu este suficient de elaborat iar numărul de parametri este mic vocoderele determină un semnal inteligibil dar cu o voce sintetică.

Vocoderele prezintă avantajul, față de alte sisteme, că debitul de transmis este foarte mic (tipic 2,4 kbps).

**Vocoderul de canal** (*Channel Vocoder*) folosește numai anvelopa semnalului, știut fiind că urechea este prea puțin sensibilă la faza semnalului.

Spectrul semnalului vocal (200, ..., 3200 Hz) este fragmentat, cu ajutorul a 10 la 20 filtre trece bandă, pentru fiecare bandă determinându-se parametrii modelului. Parametrii sunt transmiși la receptor unde se reface semnalul prin adunarea contribuției fiecărei benzi de frecvență.

Se obțin debite de transmisie din domeniul 2,..., 9 kbps.

**Vocoderul de formanți** (*Formant Vocoder*) are drept scop identificarea formanților din vorbire, codarea și transmiterea lor la receptor. S-ar putea obține debite mai mici de 1 kbps, numai că metodele de identificare sunt imprecise, motiv pentru care vocoderul nu este utilizat.

(Formant – def. DEX – element constitutiv esențial al unui sunet, cuvânt, sintagmă.)

**Codorul liniar cu predicție LPC** (*Linear Predictive Coder*) admite drept model al vorbirii un filtru, a cărei funcție de transfer este de forma

$$H(z) = \frac{\sigma}{A_p(z)} = \frac{\sigma}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_p z^{-p}}$$

Vorbirea, pe un interval de 20 ms, este analizată determinându-se coeficienții modelului ( $a_1, \dots, a_p$  și  $\sigma$ ) care se vor transmite receptorului. Totodată cu ajutorul transformatei inverse a modelului se stabilește eroarea de predicție, cu ajutorul căreia se determină tipul vocii.

Se obține o voce sintetică la debite mici (2,4 kbps).

**Codorul liniar cu predicție excitat cu reziduu RELP** (*Residual Excited Linear Prediction*) este o perfecționare a codorului LPC.

Pe lângă parametrii modelului LPC ( $a_1, \dots, a_p$  și  $\sigma$ ) se transmit și o parte din semnalele de eroare a predicției (diferența dintre semnalul real și cel generat de model, numit semnal de eroare sau *reziduu*). Semnale de eroare de predicție sunt limitate la frecvențe joase - sub 1 kHz. La receptor sunt folosite împreună cu parametrii modelului LPC la refacerea semnalului vocal.

Pentru debite de 9,6 kbps se obține o refacere bună a semnalului vocal original (semnalul vocal nu mai apare ca fiind sintetizat). De notat că

erorile de reconstituire a semnalului original apar numai pentru frecvențe mai mari de 1 kHz (pentru care nu s-au transmis reziduuri).

**Codorul cu impulsuri regulate RPE** (*Regular Pulse Excitation*) folosește două modele și anume un model pe termen scurt și un model pe termen lung.

Pe lângă parametrii celor două modele se mai transmit câteva eșantioane ale semnalului, eșantioane aflate în poziții fixe în cadrul intervalului de timp de 20 ms. Acestea sunt în număr de 4,...,8 pentru 10 ms. Eșantioanele semnalului poartă numele de *pulsuri*.

**Codorul liniar cu predicție cu excitație codată CELP** (*Code Excited Linear Prediction*) este o variantă a RPE, deosebirea constând în faptul că poziția în timp a impulsurilor este luată dintr-un tabel (conținând 1024 sau 512 linii).

Se transmite, codată cu 10 biți, linia din tabel și amplitudinea impulsurilor (codată cu 5 biți). Pentru debite de 10 kbps se obține o calitate foarte bună (inteligibil și vocea poate fi recunoscută) a semnalului vocal.

## 5.2. Procesarea primară a semnalului vocal

S-a constatat experimental că semnalul vocal este staționar pe un interval de 10,..., 30 ms motiv pentru care se consideră **un cadru vocal de  $\Delta t_c = 20$  ms**.

Cadrul vocal este eșantionat cu frecvența

$$f_e = 8 \text{ kHz} \rightarrow T_e = 1/8 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 125 \mu\text{s}$$

Se obțin un număr de

$$N_e = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{125 \cdot 10^{-6}} = 160 \text{ eșantioane}$$

pe intervalul cadrului vocal de 20 ms.

Eșantioanele sunt cuantizate uniform prin intermediul unui **cuvânt de 13 biți**.

Se obține un număr total de biți

$$N_{tb} = 160 \times 13 = 2080 \text{ biți}$$

(pentru 160 de eșantioane) și pentru un interval de vorbire de 20 ms.

Debitul binar este:

$$D_b = \frac{N_{tb}}{\Delta t_c} = \frac{160 \times 13 \text{ biti}}{20 \text{ ms}} = \frac{2080}{20 \cdot 10^{-3}} = 104 \text{ kbps}$$

*Sistemul GSM impune un debit de **maximum 13 kbps** ceea ce înseamnă că se impune reducerea debitului de  $k = 8$  ori (de la 104 kbps la 13 kbps).*

În aceste condiții numărul total de biți asociați unui cadru vocal ce pot fi transmiși se reduce la

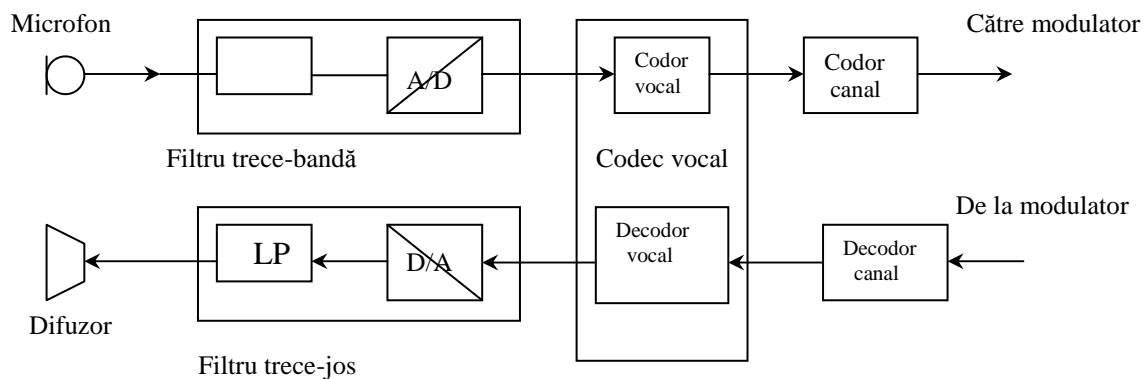
$$\frac{N_{tb}}{k} = \frac{2080}{8} = 260 \text{ biți}$$

în loc de 2080 biți asociați celor 160 eșantioane (pentru fiecare 20 ms de vorbire). [13,16,26]

Procesarea primară a semnalului vocal, efectuată de transcodorul vocal, are următoarele obiective:

- Reducerea redundanței semnalului din banda de bază (300 Hz – 3400 Hz), pentru a micșora timpul alocat transmisiei semnalului vocal;
- Să asigure o calitate impusă a transmisiei vocale;
- Să identifice pauzele care apar în desfășurarea conversației și să suspende opțional transmisia radio pe durata acestor perioade (*transmisie discontinuă DTX*);
- Să efectueze cuantizarea și eșantionarea semnalului vocal.

Schema bloc a transcodorului este prezentată în figura 5.2.



**Fig. 5.2.**

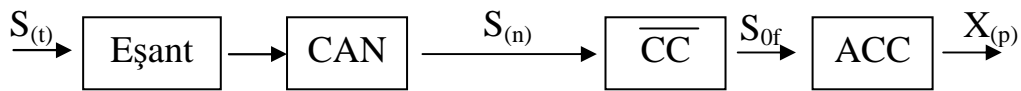
În figura 5.3. este prezentată procesarea semnalului vocal în banda de bază. Elementele componente ale sistemului de preprocesare sunt:

CC – blocul de eliminare a componentei continue, cu funcția de transfer

$$H_{of}(z) = \frac{1-z^{-1}}{1-\alpha z^{-1}}, \quad \alpha = 32735 \cdot 2^{-15}$$

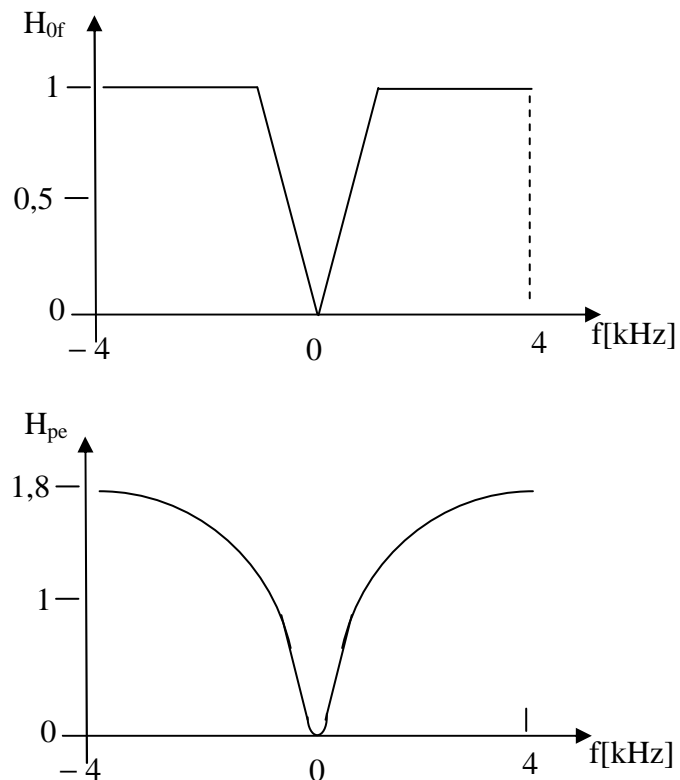
ACC – blocul de accentuare a frecvențelor înalte, cu funcția de transfer

$$H_{pe}(z) = 1 - \beta z^{-1}, \quad \beta = 28180 \cdot 2^{-15}$$



**Fig. 5.3.**

Caracteristicile celor două filtre sunt prezentate în figura 5.4.



**Fig. 5.4.**

Filtrul de preaccentuare are un zero în origine, prin intermediul căruia se elimină efectul spectral al laringelui și buzelor. În continuare vor fi luate în considerare numai efectele traiectului vocal asupra sunetelor.

### 5.3. Modelul vorbirii

Pentru transmiterea cadrului vocal (vorbire de 20 ms) se recurge la modelarea semnalului prin intermediul unui **filtru de eroare antegrad**.

Se vor coda și transmite parametrii modelului (ai filtrului) și câteva valori ale erorii (abaterea dintre valoarea calculată de model și valoarea reală).

De fapt se folosesc două tipuri de modele:

- unul global pentru toate eșantioanele cadrului ( pentru 160 eșantioane), numit „**filtru de predicție pe termen scurt**”, cu funcția de transfer

$$H_{w(z)} = 1 - \sum_{i=1}^8 \bar{a}_i z^{-i},$$

unde  $\bar{a}_i, i=1, \dots, 8$  sunt parametrii modelului **LPC** (*Linear Predictive Coder*) ;

- un al doilea **filtru pe termen lung** (*Long Term Prediction*) cu funcția de transfer

$$H_{p(z)} = b z^{-p},$$

având ca parametri  $b$  și  $p$ .

Parametrii filtrelor de predicție pe termen lung ( $b$  și  $p$ ) se determină pe baza erorii de predicție  $e_s^t(n)$  a filtrului pe termen scurt.

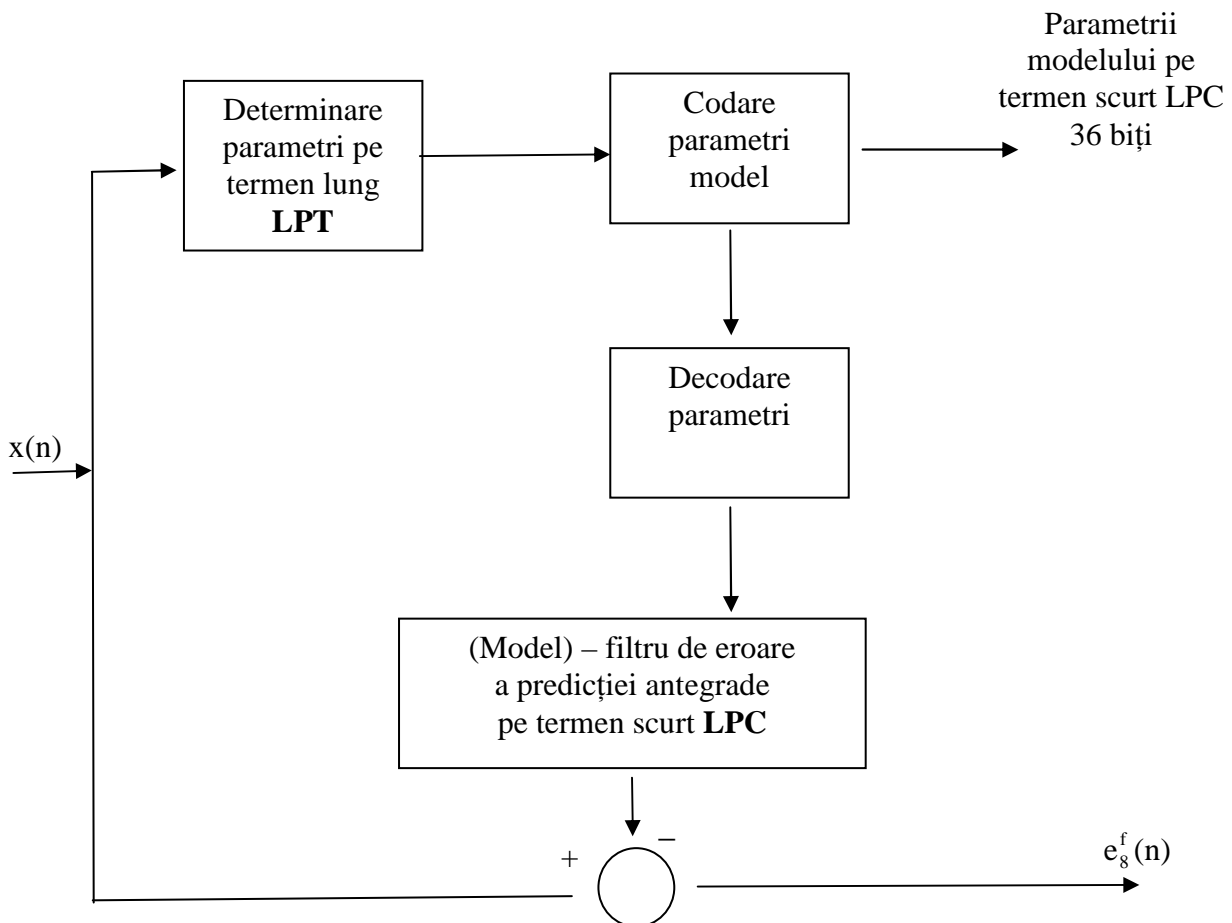
Eroarea de predicție pe termen lung se notează  $e_p^t(n)$ .

Codorul audio este numit **RPE-LTP** (*Residual Pulse Excitation – Long Term Prediction*).

Pentru determinarea modelului filtrului de eroare a predicției antegrade se folosește sistemul cu schema bloc din figura 5.5 (analiza liniară predictivă pe termen scurt).

Se obțin 36 biți pentru modelul de predicție pe termen scurt, pentru că codarea se face cu un număr diferit de biți pentru fiecare parametru. Astfel avem numărul de biți pentru fiecare parametru  $6 + 6 + 5 + 5 + 4 + 4 + 3 + 3 = 36$  biți (parametrii modelului fiind specificați în ordine  $\bar{a}_i, i=1, \dots, 8$  ).

Cele 160 eșantioane se grupează câte 40 în așa numitele *cadre secundare* (în număr de 4 - fiecare pentru câte 5 ms de vorbire).



**Fig. 5.5.**

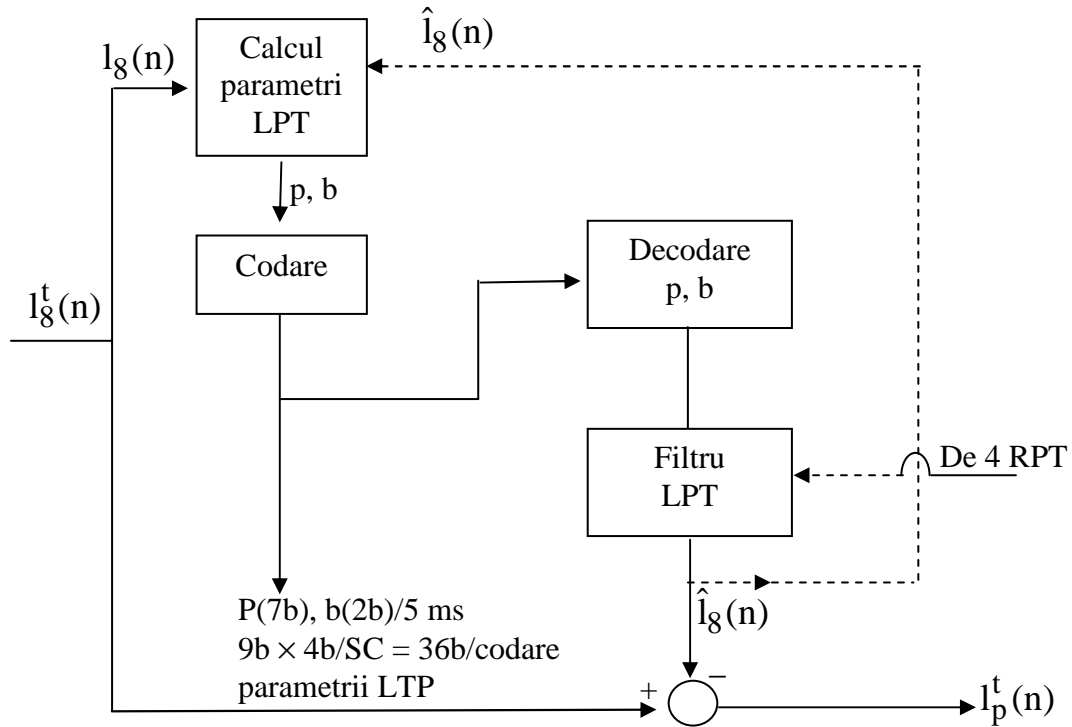
Cei doi parametri ai modelului LTP (*Long Term Prediction*) se determină pentru cadrul secundar curent pe baza eşantioanelor din cadrul secundar curent ( $\hat{g}(n)$ ) și pe baza eşantioanelor estimate din trei cadre secundare anterioare ( $\hat{g}(n)$ ). Astfel că se folosesc 160 eşantioane pentru determinarea parametrilor LPT al unui cadru secundar curent și din acest motiv predicția este pe termen lung. Fiecare cadru secundar va avea câte doi parametri pentru filtrul LTP.

Valorile eşantioanelor din cadrele anterioare (folosite în cadrul secundar curent) nu sunt cele reale ci sunt cele calculate pe baza modelului LPT (ai căror parametri au fost anterior determinați). În figura 5.6 este prezentată modalitatea de analiză predictivă pe termen lung.

De notat că parametrul  $p^{-1}$  este un bun estimat al frecvenței fundamentale a semnalului, corespunzătoare înălțimii sunetului vocal.

Valorile acestui parametru permit detectarea prezenței sau absenței activității vocale.

Pe lângă parametrii modelului vocal se mai transmit 13 eșantioane pentru fiecare cadru secundar numite **pulsuri RPE** (*Residual Pulse Excitation*).

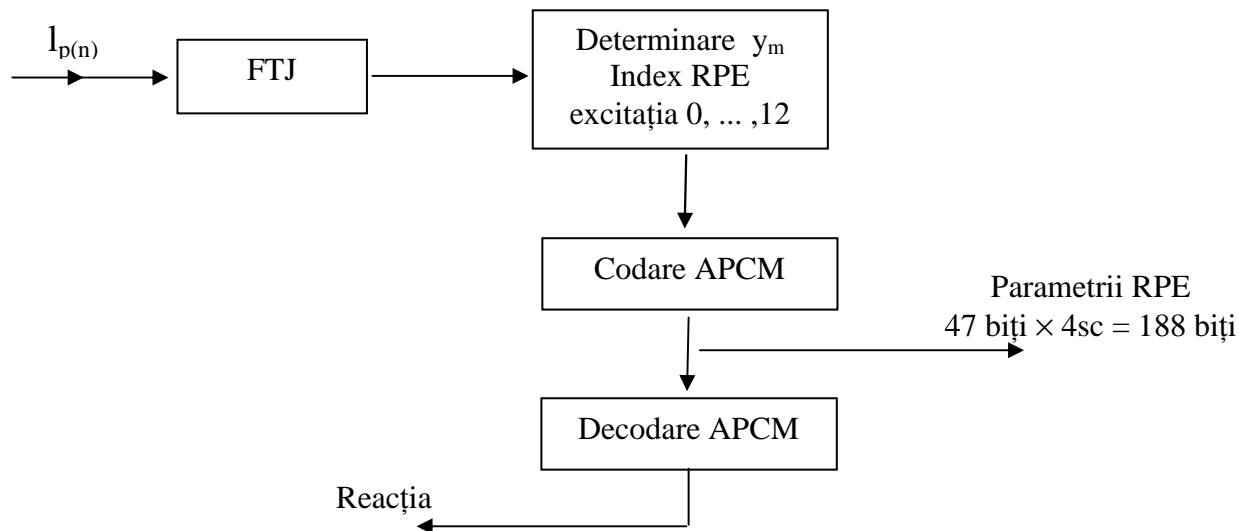


**Fig. 5.6.**

Pentru că se folosesc numai 13 eșantioane din cele 40 ale cadrului secundar se impune reducerea benzii semnalului de 3 ori cu ajutorul unui filtru trece jos (FTJ prezentat în figura 5.7 a codorului RPE).

Din cele 40 de eșantioane  $y_{(n)}$  ale cadrului secundar se aleg un set de 13 eșantioane care vor fi transmise. S-a constatat că favorabile sunt numai 4 modalități de alegere a eșantioanelor, ca în tabelul 1 (tabel care constituie **grila RPE**).





**Fig. 5.7.**

**Tabelul 1.**

y	0	1	2	3	4 ... 35	36	37	38	39	40	posibilități
y	0	X	X	1	2 ... 11	12	X	X	X	X	Set 0
y	X	0	X	X	1 ... 11	X	12	X	X	X	Set 1
y	X	X	0	X	1 ... 11	X	X	12	X	X	Set 2
y	X	X	X	0	1 ... 11	X	X	X	12	X	Set 3

Cele 4 posibilități reprezintă poziția eșantioanelor pe grila RPE. Poziția (numărul liniei din tabel) se codifică pe 2 biți (numit *index în grila RPE*). Se transmite setul de eșantioane a căror energie  $E = \sum_{n=0}^{12} y_{(n)}^2$  este maximă.

Deoarece  $y_{(n)}$  are o variație mare, se normalizează prin calculul valorii maxime  $y_{\max}$  și împărțirea la această valoare. Se vor forma pulsurile RPE (13 buc)

$$y_{n(n)} = \frac{y_{(n)}}{y_{\max}}, \quad n = 0, \dots, 12$$

Codarea pulsurilor este de tipul **APCM (Adaptive Pulse Code Modulation)**

Constanta de normare ( $y_{\max}$ ) ocupă 6 biți iar fiecare puls RPE câte 3 biți.

Pentru fiecare cadru secundar se transmit constanta LPT  $p$  (7biți) + constanta LPT  $b$  (2biți) + indexul în grila RPE (2biți) + constanta de normare (6biți) + 13 pulsuri RPE de câte 3biți ( $13 \times 3b = 39\text{biți}$ ), în total 47 biți.

Fiind 4 cadre secundare avem  $47 \times 4 = 188$  biți.

Un cadru vocal se va compune din  $188 + 36 + 36 = 260$  biți alocați astfel:

- 188 biți pentru cele patru cadrele secundare ;
- 36 de biți pentru parametrii LTP;
- 36 de biți pentru LPC.

## 5.4. Codarea canalului vocal

Din cauza interferențelor electromagnetice, semnalul vocal codat (cei 260 biți) transmis printr-o interfață radio poate fi afectat de erori pe parcursul transmisiei.

Sistemul GSM utilizează codarea convolutivă (care adaugă biți redundanți în așa fel încât decodorul să poată detecta și corecta erorile) și organizarea pe blocuri a biților de informație pentru a minimiza erorile introduse de mediul de transmisie.

S-au efectuat experimentări prin modificarea câte unui bit din cei 260 biți și s-a ascultat efectul. A rezultat că anumiți biți sunt mai importanți pentru calitatea semnalului decât alți biți.

Biții semnalului vocal s-au încadrat în trei clase numite:

- Clasa I-a 53 biți cu sensibilitate mare la erori ;
- Clasa I-b 132 biți cu sensibilitate moderată la erori;
- Clasa II 78 biți cu sensibilitate mică la erori .

Clasa I-a adaugă un cod ciclic redundant de 3 biți pentru detecția erorilor. Dacă este detectată o eroare, cadrul este considerat prea deteriorat și este eliminat, fiind înlocuit cu o versiune a cadrului anterior (recepționat corect).

Acești 53 biți, împreună cu cei 132 de biți de Clasa I-b și o secvență terminală de 4 biți (un total de 189 biți), sunt introduși într-un codor convoluțional cu rata  $1/2$  cu restricție de lungime. Fiecare bit de intrare este codat în doi biți de ieșire (prin alegerea unei secvențe de 2 biți dintr-o combinație de 4 biți). Astfel codorul convoluțional, pentru cei 189 biți, va furniza la ieșire 378 biți.

La acești 378 biți sunt adăugați cei 78 de biți din Clasa II (care sunt transmiși neprotejați).

Astfel fiecare semnal vocal de 20 ms (și de 260 biți) prin codare se transformă într-o secvență de 456 biți, rezultând o rată a canalului radio de 22,8kbps.

Cei 456 biți de la ieșirea codorului convoluțional ar încăpea în 4 ferestre de timp dar, pentru a evita pierderea datelor (o fereastră ar putea fi afectată de erori și eliminată), sunt organizați în 8 blocuri de 57 biți care blocuri sunt transmise în opt impulsuri consecutive (adică în 8 intervale de timp consecutive).

Datele nu sunt puse în ordine în aceste blocuri, fiind reordonate înainte ca ele să fie împachetate într-o fereastră de timp. De fapt această reordonare constă în a plasa bitul numărul 0 în blocul 1, bitul numărul 1 în blocul 2, ș.a.m.d.

Această procedură de împachetare a biților în 8 impulsuri este numită *internivelare diagonală (întreșere)*.

**Nota:** Deoarece fiecare impuls este transmis cu o rată de 270,833 kbps, un impuls poate transmite doua blocuri de 57 biți aparținând la doua cadre diferite.

Modulația frecvenței purtătoare este de tipul **GMSK**.

**Filtrul GSMK** a fost ales dintre alte scheme de modulație ca un compromis între eficiență spectrală, complexitate a emițătorului și limitarea armonicilor. Complexitatea emițătorului este legată de puterea consumată, ce trebuie minimizată pentru stația mobilă. Emisiile radio adiacente, în afara benzii alocate, trebuie strict controlate pentru a limita interferența semnalului cu semnalele din canalele adiacente.

## 5.5. Codarea canalelor de date

Schema de codare pentru canalele ce utilizează date este mai complexă decât pentru celelalte canale, deoarece biții de date trebuie obligatoriu să poată fi recepționați corect.

O eroare în datele vocale determină pierderi într-un cadru vocal ceea ce nu este foarte grav (sunt afectate numai 20 ms din vorbire).

Prelucrarea datelor depinde de rata semnalului impusă pentru ieșirea codorului.

Se folosesc debite pentru date de 9,6 kbps sau 2,4 kbps.

### Canalul cu debitul de 9,6 kbps

Fluxul de biți este divizat în 4 blocuri de 60 de biți fiecare pentru un total de 240 biți, care sunt codați cu un cod convoluțional.

Prin aplicarea codului sunt adăugați 4 biți.

Parametrii codului convoluțional sunt aceiași cu cei de la datele vocale, adică  $1/2$  iar întârzierea este 5.

Astfel codul acceptă 244 biți generând la ieșire 488 de biți. Deci față de cei 456 biți utilizați în schema de codare există un exces de 32 biți.

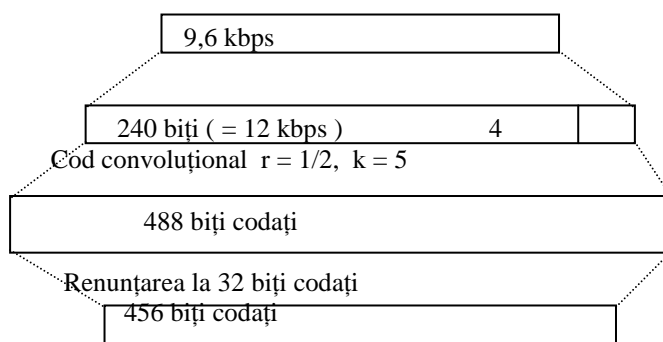
Întreșeserea acoperă 22 de cadre, folosite fiind numai 19 cadre.

Deoarece în sistemul GSM un bloc este o entitate de 114 biți, fiecare impuls din cele 19 va conține 6 biți ( $19 \times 6 = 114$ ).

Astfel, schema desparte blocul de 456 biți în 16 părți de câte 24 biți fiecare, două părți a câte 18 biți fiecare, două părți a câte 12 biți fiecare și două părți a câte 6 biți fiecare.

Un impuls conține informații de la 5 sau 6 blocuri de date consecutive, în următorul mod: 4 părți de 24 biți fiecare (96 biți) și o altă parte de 18 biți, sau o parte de 12 biți și o parte de 6 biți. Primul și al 21-lea impuls conțin 6 biți fiecare, următorul și al 19-lea conțin 12 biți fiecare, al 3-lea și al 20-lea impuls conțin 18 biți fiecare.

Cele 6 impulsuri sunt utilizate în totalitate, iar în cele 16 impulsuri care rămân se pot pune câte 24 biți. Rezultă că toți cei 456 biți sunt incluși în 22 cadre de trafic (figura 5.8.).



**Fig. 5.8.**

### **Canalul cu debitul de 2,4 kbps**

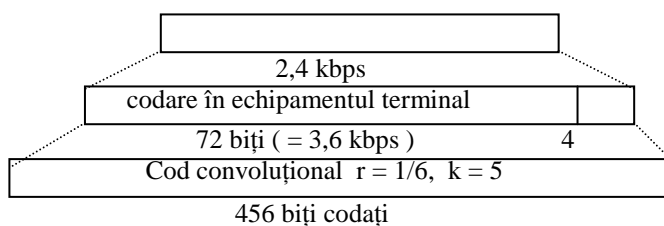
Pentru acest debit (2,4kbps) se folosește aceeași schemă de transmisie pe același canal, același cod convoluțional, însă cu parametrii diferiți - rata  $1/6$ , iar întârzierea 5.

Datele vin de la echipamentul terminal cu o viteză de 3,6kbps fiind deja corectate de codul de corecție.

Datele codate sunt divizate în blocuri de 72 de biți, la care sunt adăugați 4 biți de 0, întârzierea fiind 5.

Codul convoluțional transformă 76 biți de la intrare în  $76 \times 6 = 456$  biți de ieșire codați ce sunt mapați în 8 blocuri, în același mod ca la codarea vocală.

În figura 5.9 este reprezentat codul convoluțional pentru canalul de date cu debitul de  $2,4\text{kbps}$ .



**Fig. 5.9**

### **Codarea canalelor ce transmit semnalizări**

Informația de semnalizare conține un maxim de 184 biți care trebuie să fie codați și nu se face nici o diferențiere dacă tipul informației de semnalizare este conținut într-un canal BCCH, PCH, SDCCH sau SACCH, pentru că formatul acestor canale este întotdeauna același.

Schema de codare este împărțită în doi pași:

1. În primul pas trebuie să se detecteze și să se corecteze erorile, adunând 40 biți de paritate la cei 184 biți, rezultând astfel 224 biți codați;
2. Pasul următor este codul convoluțional cu aceiași parametri utilizați la codarea canalului de trafic (rata 0,2 și întârzierea 50). Codul dublează numărul de biți de intrare și adună încă 4 biți de resetare a codorului, obținându-se 456 biți. Aceștia sunt împărțiți în blocuri, primele 4 blocuri conținând biții de ordin par, iar următoarele 4 blocuri conținând biții de ordin impar (figura 5.10 și tabelul 2).



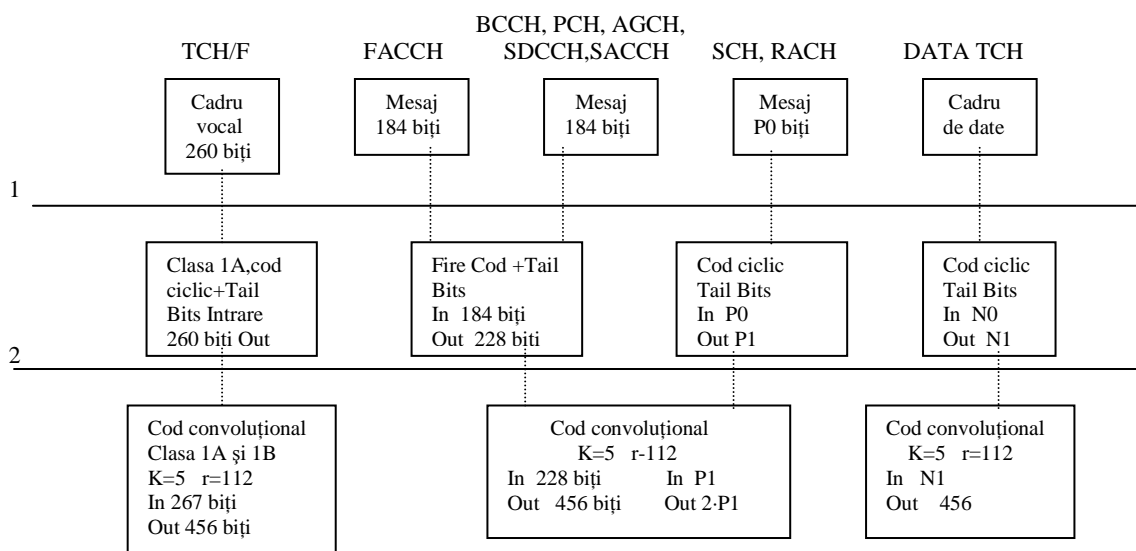
**Fig. 5.10**

**Tabelul 2.**

Numărul de ordine a biților codați	Poziția în structura de cadrelor
0 8.....448	Biții pari ai impulsului N
1 9.....449	Biții pari ai impulsului N+1
2 10.....450	Biții pari ai impulsului N+2
3 11.....451	Biții pari ai impulsului N+3
4 12.....452	Biții impari ai impulsului N
5 13.....453	Biții impari ai impulsului N+1
6 14.....454	Biții impari ai impulsului N+2
7 15.....455	Biții impari ai impulsului N+3

Revenind la structura cu 26 de cadre se observă că SACCH ocupă doar un cadru TDMA din cele 26 de cadre, iar conținutul lui poate fi stocat oriunde până în momentul în care 4 impulsuri SACCH vor fi citite.

Figura 5.11 înglobează diferite scheme de codare pentru diferite canale logice de semnalizare și de trafic pentru nivelul fizic.



**Fig. 5.11**

## Criptarea

Criptarea este aplicată după codarea diferitelor canale logice și este independentă de tipul canalului fie de semnalizare fie de trafic.

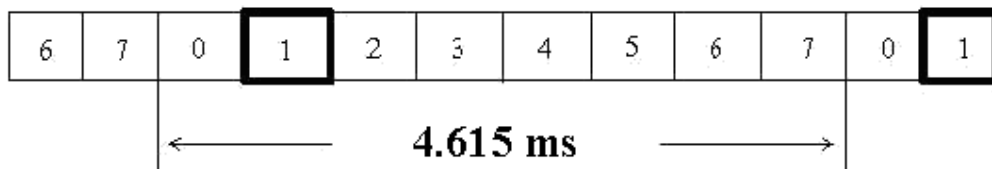
Detaliile despre cifrare sunt secrete sau prezintă, ca principiu, metoda cifrării care constă în sumarea XOR. Secvența de date ce trebuie transmisă este sumată XOR cu o cheie care este cunoscută la recepție și în acest mod se obțin, spre exemplu, datele din tabelul 3.

**Tabelul 3.**

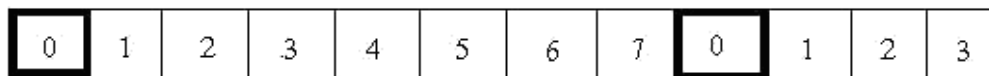
XOR	DATE	0111001010.....
	SECVENȚĂ DE CIFRARE	000110101.....
XOR	DATA CIFRATĂ	011010000.....
	SECVENȚĂ DE CIFRARE	000110101.....
	DATA REFĂCUTĂ	0111001010.....

## 5.6. Canale radio

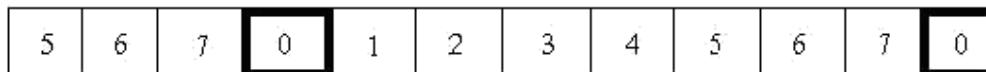
Rețeaua GSM folosește tehnica **TDMA**. Fiecare canal radio este subîmpărțit în opt poziții temporale diferite numerotate de la 0 la 7. Fiecare dintre cele opt poziții temporale sunt alocate câte unui utilizator individual.



a)



BTS



MS

b)

**Fig. 5.12.**

În figura 5.12.a) este prezentată structura cadrului TDMA, fiind evidențiat timpul la care emite utilizatorul nr. 1. [13,15,17,26]

Modul de realizare a comunicației ful-duplex este prezentat în figura 5.12.b). Un utilizator al rețelei (MS), care are alocat slotul 0, nu emite simultan cu stația de bază (BTS) ci la un interval întârziat cu 2 sloturi de timp față de stația de bază (de fapt MS emite în slotul 0, slot care este standardizat să fie decalat cu 2 poziții față de slotul 0 al BTS). Prin această impunere nici MS nici BTS nu folosesc simultan atât receptorul cât și emițătorul (o parte din circuitele fizice pot fi comune).

Comutarea periodică și uniformă (pornit sau oprit) a emițătorului mobilului este numită **“burst”**.

Durata unei poziții temporale **„slot”** în canalul de radiofrecvență, (numită **“burst”**) este  $577 \mu s$ , iar durata unui cadru TDMA (de 8 canale numite și sloturi temporare) rezultă a fi

$$(8 * 577 \mu s) = 4.615 ms$$

Pentru că o stație mobilă transmite un burst la fiecare  $4,615 ms$ , frecvența de bază va fi  $216,6 Hz (=1/4,615 ms)$ , din domeniul audio. Dacă, de exemplu, un mobil GSM este folosit aproape de un sistem stereo din casă, această frecvență poate fi auzită în receptor. Este influențată și funcționarea dispozitivelor electronice din aparatele acustice, stimulatoare cardiace, sau automobile electronice.

Comparând repartizarea spectrului GSM (de  $200kHz$ ) pe canalul radio cu banda tipică ale rețelelor analogice celulare ( $12,5kHz, \dots, 30kHz$ ) tehnica TDMA reduce efectiv alocările pentru fiecare canal de trafic la  $200/8 kHz = 25kHz$  bandă care este echivalentă cu banda rețelelor analogice.

Cea mai mare unitate de timp utilizată de sistemul GSM este **hipercadrul**, cu durata de  $3h 28 m 53 s 760 ms$ .

Hipercadrul conține un număr de 2048 supercadre. Durata unui *supercadru* este de  $\frac{3h28min53s760ms}{2048} = 6,12s$ .

Fiecare **supercadru** este format la rândul său din 1326 **cadre TDMA**.

Un **multicadru** este format din 26 cadre ( $120 ms$ ) pentru o combinație a canalelor de trafic sau din 51cadre ( $235,4 ms$ ) pentru o combinație a canalelor de semnalizare.

**Notă.** Un supercadru conține  $26*51= 1326$  cadre, adică poate fi privit ca fiind format din 26 multicadre de semnalizare (fiecare cu 51 cadre) sau fiind format din 51 multicadre de trafic (fiecare cu 26 cadre).



## 5.7. Controlul puterii și avansul în timp

Cerința ca o stație mobilă să emită într-o singură poziție temporală și să rămână inactivă de-a lungul celor șapte poziții temporale va perturba alte posturi mobile de pe frecvențe adiacente.

*Tendința aparatelor de radio - emisie în impulsuri de a perturba canalele de frecvență vecine este numită AM splash.*

Se impune un model de variație a puterii în timp, ca în figura 5.13.

Există numai  $542,8\mu s$  alocate în fiecare cuantă de timp pentru transmisiuni de date (în care se pot transmite 147 biți). De fapt se transmit 148 biți (pe  $542,8\mu s$ ) dar prima și ultima jumătate de bit nu transportă date. Restul timpului este utilizat pentru comutarea emițătorului off-on și respectiv on-off (câte  $28\mu s$  pentru comutare).

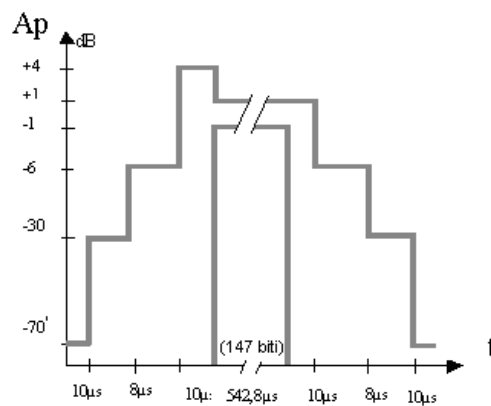


Fig. 5.13.

Stațiile mobile se pot afla la diferite distanțe de stația de bază. Timpul de întârziere și atenuarea semnalului mobil individual este diferit de întârzierea și atenuarea oricărei alte stații mobile, vezi figura 5.14.

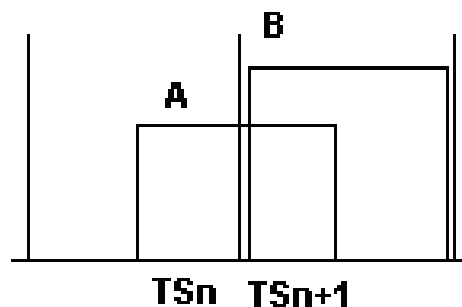


Fig. 5.14.



**Flag-urile furate (S)** - de doi biți, sunt un indicator pentru decodorul receptorului, pentru a specifica faptul că salva este purtătoarea datelor de semnalizare sau salva este purtătoarea datelor utilizator (tipul salvei).

**Secvența de antrenare** - de 26 biți, este o secvență fixă de biți cunoscută deopotrivă de mobile și de stația de bază care permite sincronizarea receptoarelor cu salva emisă.

Astfel se compensează efectul propagării pe diferite căi a semnalului (*multipath fading*). La receptor ajung semnale atât direct cât și întârziate prin reflexia de obstacole. Semnalul prelucrat de receptor este cel obținut prin compunerea semnalului direct cu mai multe semnale întârziate, cu întâzieri și atenuări diferite. Fiecare receptor dispune de un sistem numit **egalizor** având rolul de a compensa timpi de întârziere diferiți ai semnalului.

Egalizatorul este un filtru care își modifică parametrii în funcțiile de distorsiunile secvenței de antrenare din fiecare cuantă de timp, așa fel încât ceea ce recepționează să se suprapună cu biții secvenței. **Egalizatorul Viterby** poate compensa timpi de întârziere de până la  $16\mu s$ .

**Perioada de gardă (GP)** - de 8,25 biți, este rezervată pentru timpul de creștere /scădere al semnalului (nu sunt transmise date în acest timp).

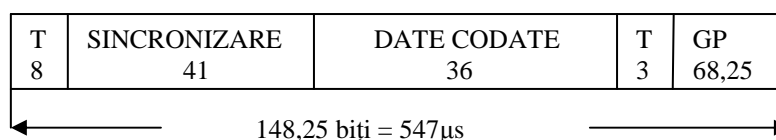
Considerând lungimea în timp a unui bit de  $3,69\mu s$  perioada de gardă este  $8,25\text{ biți} * 3,69\mu s = 30,4\mu s$ , care este aproximativ timpul folosit pe durata de stabilizare a puterii semnalului la trecerea stației din on în off și invers.

Acești 156,25 biți sunt transmiși în  $0,577\text{ ms}$ , rezultând o rata de transfer de  $270,833\text{ kbps}$ .

### Salva cu acces aleator

Este folosită la pornirea unui mobil, în scopul de aș-i anunța prezența în zonă și de a câștiga accesul inițial la sistem GSM.

În figura 5.16 este prezentată structura salvei de acces la sistem.



**Fig. 5.16.**

Secvența de sincronizare are aceeași semnificație ca secvența de antrenare. Diferența este că secvența de sincronizare este mai lungă (are 41 biți în loc de 26 biți) deoarece egalizatorul are nevoie de mai multă

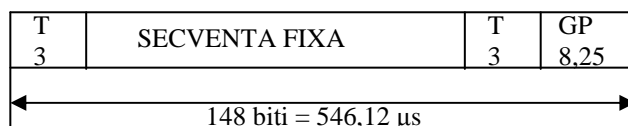
informație și trebuie să facă o analiză mai lungă pentru a face o sincronizare completă cu semnalul provenit, pentru prima oară, de la mobil.

Salva cu acces aleator are o perioadă de gardă mai mare. Perioada de gardă este de  $68,25\text{biți} \times 3,69\mu\text{s/bit} = 252\mu\text{s}$ .

Pentru ca salva cu acces aleator să nu se ciocnească (suprapune parțial în timp) cu o salvă normală provenind de la alt mobil, distanța maximă permisă între o stație mobilă și BTS este de  $37,75\text{ Km}$ .

### Salva de corectare a frecvenței

Stația de bază trebuie să furnizeze metoda prin care stația mobilă să se sincronizează cu frecvența principală a sistemului. Pentru a îndeplini aceasta stația de bază transmite, în timpul anumitor intervale cunoscute, o undă sinusoidală pentru o perioadă de exact o cuantă de timp.



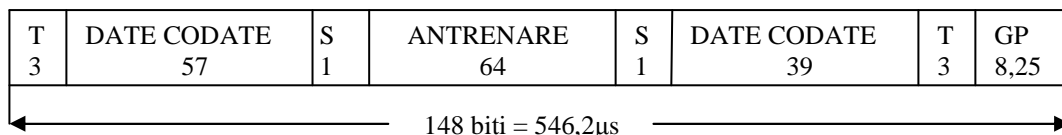
**Fig. 5.17.**

### Salva de sincronizare

Când o stație mobilă se sincronizează cu rețeaua mai întâi caută și apoi detectează numai frecvența canalului de bază.

Mobilul încă nu deține un cod cu care să demoduleze și să decodeze informația transmisă prin canalul de bază.

Baza comunică mobilelor prin intermediul salvei de sincronizare codul cu care să demoduleze și să decodeze informația. În figura 5.18. este prezentată structura salvei de sincronizare.



**Fig. 5.18.**

Datele codate - 39 biți, conțin codul stației de bază BSIC (*Base Station Information Code*) care indică secvența curentă de antrenare și codul național (NCC -*National Color Code*) .

## 5.8. Canale logice

Un canal logic transportă date importante pentru sistem sau datele unui utilizator. Maniera în care sunt ghidate datele pe o resursă fizică depinde de conținutul datelor. [13,26]

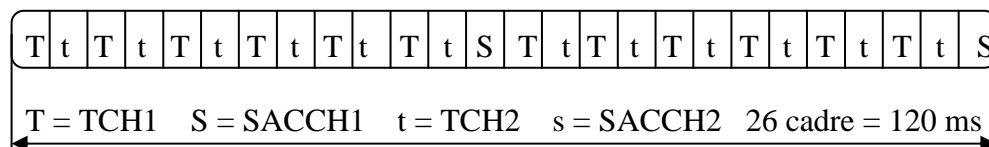
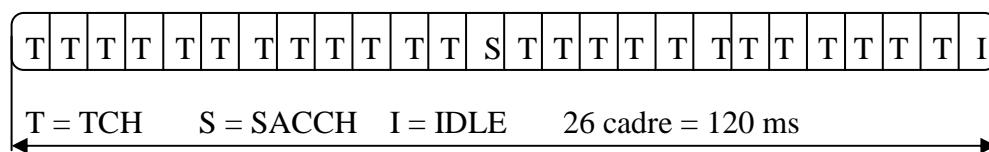
Sistemul GSM face diferența între canalele de trafic **TCH** - care sunt rezervate pentru datele utilizator și canalele de control **CCH** - care sunt folosite pentru administrarea mesajelor din rețea și pentru susținerea sarcinilor câtorva canale.

**TCH/FS** - *Canalul de trafic / viteza maximă* - este canalul care se folosește pentru transmiterea vorbirii (*speech*). Viteza vorbirii este de 13kbps respectiv 22,8kbps (F – *full rate*). Ocupă un canal temporar de 577 μs.

**TCH/HS** - *Canalul de trafic / jumătate de viteză* - se va folosi pentru a dubla capacitatea sistemului prin comprimarea datelor cu un factor de compresie adecvat. De fapt două canale logice de trafic ocupă un același canal temporar dar îl folosesc pe rând, unul în cadrele pare celălalt în cadrele impare. Viteza vorbirii este de 6,5kbps respectiv 11,4kbps (H – *half rate*).

**TCH/F 9,6/4,8/2,4** - este folosit pentru transmiterea **datelor** la viteze de respectiv 9,6/4,8/2,4kbps.

Canalele de trafic sunt grupate în multicadre de câte 26 cadre, ca în figura 5.19, a) pentru viteza maximă și b) pentru viteză redusă.



**Fig. 5.19.**

**Canalele de control** transportă datele de care rețeaua are nevoie pentru administrare.

În funcție de sarcina lor, există patru clase diferite de canale de control :

- canalele de transmisie, numite și de difuzare (**BCH**),
- canalele de control comune (**CCCH**),
- canalele de control consacrate (**USCC**)
- canalele de control asociate (**USCC**).

**BCH** (*Broadcast CHannels*) - canalele de difuzare sunt transmise numai de stațiile de bază MSC și furnizează informații pentru stațiile mobile pentru ca acestea să se sincronizeze cu rețeaua. Mobilele nu transmit niciodată BCH. Există trei tipuri de BCH:

**BCCH** (*Broadcast Control CHannel*) , informează stația mobilă despre ce parametri de sistem specifici are nevoie ca să identifice rețeaua sau să obțină accesul la rețea. Acești parametri sunt, printre altele, codul ariei de locație LAC (*Location Area Code*), MNC (pentru identificarea operatorului), frecvențele utilizate în celulele învecinate și parametri de acces.

**FCCH** (*Frequency Correction CHannel*), furnizează stațiilor mobile frecvența de legătură a sistemului. Acest canal logic este inclus în salva de corectare a frecvenței.

**SCH** (*Synchronization CHannel*), furnizează stația mobilă cu cheia (secvența de pregătire) de care are nevoie ca să demoduleze informația care sosește de la stația de bază. SCH este transmis prin salva de sincronizare.

**CCCH** (*Common Control CHannels*) - canalele de control comun furnizează instrumentele necesare inițializării canalelor (sau convorbirilor) în faza de acces. Pot proveni de la rețea sau de la mobile. Funcția de paging este folosită pentru apelurile MSC destinate unui abonat mobil (MS), iar funcția de acces este folosită pentru apelurile inițiate de MS. Există trei tipuri de canale **CCCH**:

**RACH** (*Random Access CHannel*) - canalul de acces aleator este folosit de stația mobilă MS pentru a solicita rețelei MSC un canal consacrat. Acesta este inclus în salva cu acces aleator;

**PCH** (*Paging CHannel*) Stația de bază MSC ia legătura cu stațiile mobile printr-un canalul de semnalizare ;

**ACCH** (*Access Grant CHannel*) , folosește pentru nevoile urgente ale MSC de paging și confirmare a accesului.

Canalele de tipul USCC sunt:

**DCCH** (*Dedicated Control CHannels*), sunt folosite pentru transferul mesajelor între rețea și stația mobilă, nu pentru trafic. Sunt de asemenea folosite pentru semnalizarea mesajelor de nivel inferior între emițătoare.

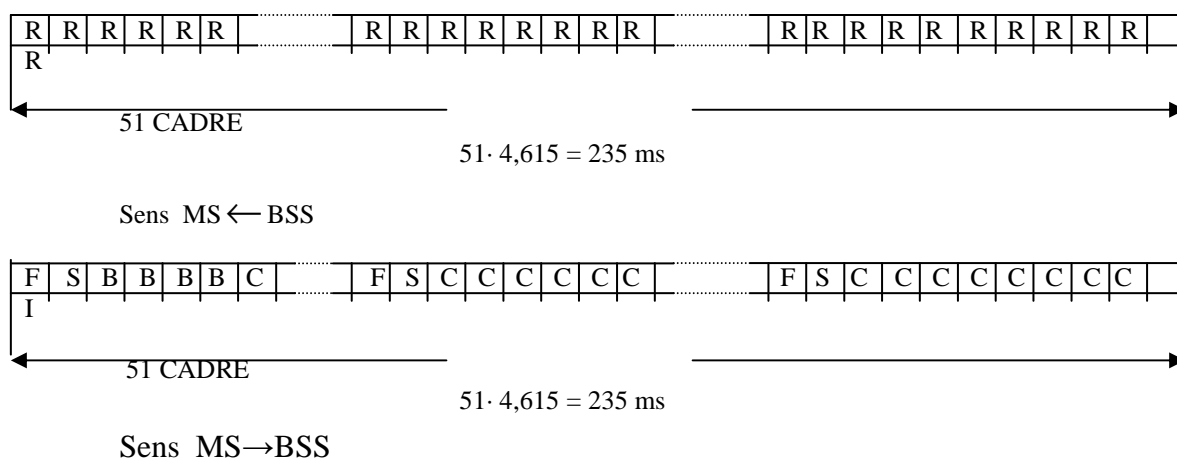
**SDCCH** (*Standalone Dedicated Control CHannel*), este utilizat în transferul informației de semnalizare între un mobil și stația de bază.

**SACCH** (*Slow Associated Control CHannel*), este folosit întotdeauna pentru asocierea ori cu canalul de trafic ori cu SDCCH. Dacă o stație de bază

repartizează un canal de trafic, tot timpul va fi un SACCH asociat canalului de trafic. Scopul SACCH-ului este întreținerea canalului.

**FACCH** (*Fast Associated Control CHannel*) - canalul de control de asociere rapidă poate transmite aceeași informație ca și SDCCH. Diferența este că SDCCH există pe cont propriu, în timp ce FACCH înlocuiește o parte sau toate canalele de trafic. Dacă în timpul unei convorbiri este nevoie de un semnal puternic (ex. stația mobilă trece de la o celulă la altă celulă), atunci FACCH apare în locul canalului de trafic. FACCH este folosit pentru transmiterea mesajelor mai lungi. FACCH fură salva de la canalul de trafic.

Spre deosebire de canalele de trafic, care sunt instalate fiecare pe câte un canal fizic, canalele logice BCCH și CCCH, puse la dispoziția abonaților mobili într-o celulă dată, sunt instalate pe același canal fizic corespunzător **canalului temporal 0** al așa numitei purtătoare BCCH ale celulei (figura 5.20).



Semnificații: R – RACH, B – BCCH, F – FCCH, S – SCH, C – PCH/AGCH, I – liber

**Fig. 5.20.**

**Tabelul 4.**

Canalul logic	Direcția de transfer	Canalul logic	Direcția de transfer
TCH	$MS \leftrightarrow BTS$	RACH	$MS \rightarrow BTS$
FACCH	$MS \leftrightarrow BTS$	PCH	$MS \leftarrow BTS$
BCCH	$MS \leftarrow BTS$	AGCH	$MS \rightarrow BTS$
FCCH	$MS \leftarrow BTS$	SDCCH	$MS \leftarrow BTS$
SCH	$MS \leftarrow BTS$	SACCH	$MS \leftrightarrow BTS$

În tabelul 4. se prezintă canalul logic și sensul transferului.

## 5.9. Regimuri de funcționare ale stației mobile

- Ex1-sincronizarea cu rețeaua,
- Ex2-localizarea datelor actualizate și
- Ex3-stabilirea convorbirii.

### Ex1. Sincronizarea cu rețeaua

Când o stație mobilă este alimentată, trebuie să se sincronizeze cu rețeaua mai întâi în frecvență, apoi în timp. Citește datele celulei și sistemului de la canalul de bază sau de la BCCH.

Prima sarcină a unei stații mobile este să descopere frecvența care este transmisă pe FCCH, SCH și BCCH. În sistemul GSM, o stație de bază transmite ceva în fiecare fereastră de timp a canalului de bază, pentru ca densitatea de putere pentru această frecvență să fie mai mare decât densitatea oricărui canal din celulă.

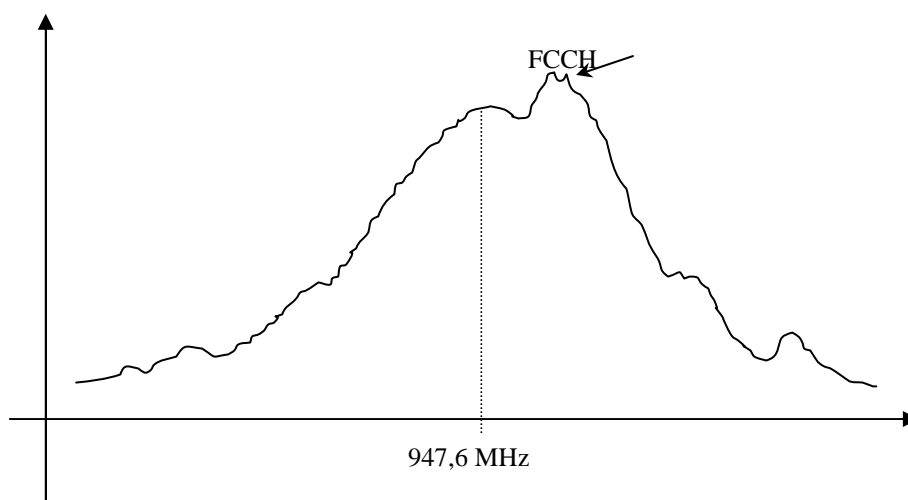
Această particularitate a canalului de bază ajută stația de bază să găsească ușor frecvența.

Stația mobilă scanează canalele fizice cu nivele de putere aparentă ridicată. După descoperirea unuia din aceste canale cu nivele de putere ridicată, stația mobilă va căuta canalul FCCH.

Spectrul emis de o stație de bază pentru canalul de bază, din figura 5.21, este crescător într-un domeniu de  $270\text{ kHz}$ , iar canalul de bază prezintă o creștere energetică la  $67\text{ kHz}$  de centrul densității spectrale. În canalul de bază se află canalul logic FCCH.

Pentru sincronizarea în domeniul timp stația mobilă utilizează un canal SCH care se află imediat după canalul FCCH a cărei poziție a fost determinată în pasul anterior. De la canalul SCH, stația mobilă obține informații despre numărul cadrului curent și despre secvența instrucțiune a celulei.





**Fig. 5.21.**

Cu această informație afișată în SCH, canalul BCCH este accesibil total stației mobile, aceasta din urmă putând citi informații despre localizarea celulei și accesarea stației de bază. această sincronizare în timp și frecvență durează între 2 și 5 secunde, dar există și situații când poate dura și 20 de secunde.

Când MS este trecută în starea off, ea memorează câteva informații în cartela SIM despre frecvența canalului de bază și despre localizarea celulei. Dacă stația mobilă se întoarce în starea on, ea cunoaște deja canalul de bază, procesul de sincronizare fiind în acest caz mult mai rapid.

### **Ex2. Localizarea datelor actualizate**

Două condiții diferite determină stație mobilă să realizeze o procedură de localizare a datelor actualizate:

- forțată de către rețea;
- trecerea la o nouă arie de localizare.

O rețea poate forța o stație mobilă să facă o localizare a datelor când aceasta din urmă trece în starea on.

Dacă toate stațiile se autoidentifică la trecerea în starea on, atunci rețeaua va ști exact care din stațiile mobile sunt active și celulele în care se află, reducând-se traficul de semnal în rețea. De asemenea, stațiile mobile anunță întotdeauna rețeaua când trec în starea off.

Dacă stația mobilă este trecută în starea on într-o arie diferită de cea memorată pe cartela SIM, sau dacă intră într-o nouă arie, atunci inițiază o procedură de localizare a datelor actualizate, informează

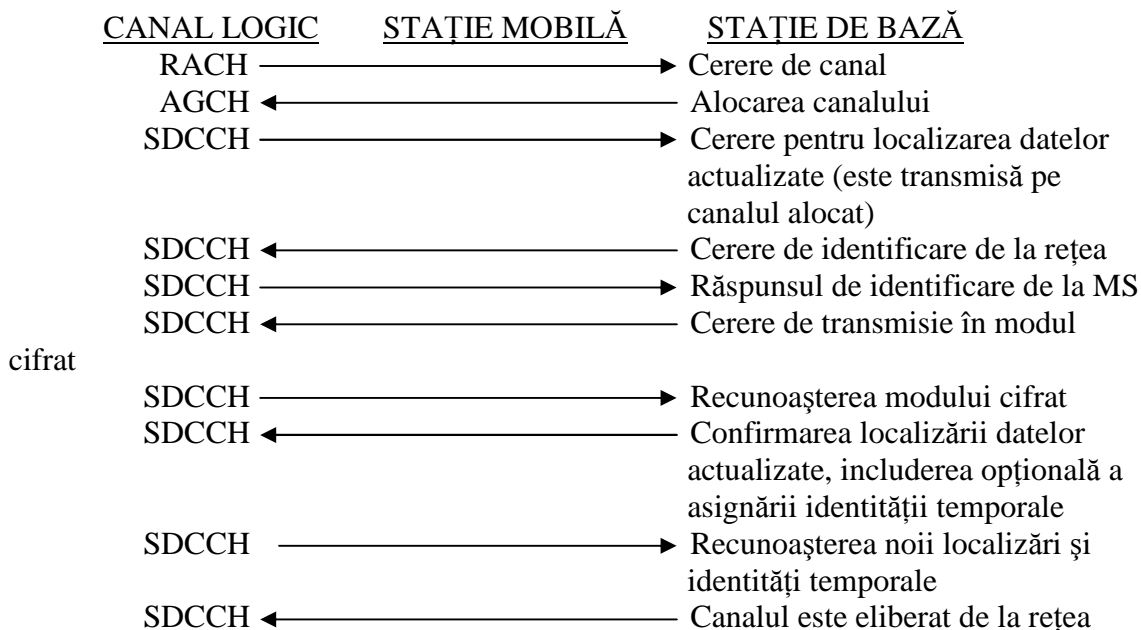
rețeaua despre această nouă poziție pentru a se putea ruta un nou apel de la rețeaua publică la stația mobilă.

Procedura de localizare a datelor actualizate este ilustrată în tabel, împreună cu canalele logice care sunt utilizate în timpul acestei proceduri.

Înainte de schimbul de mesaje pentru procedură, MS cere un canal de semnalizare RACH pe care plasează un impuls de acces aleator. După trimiterea acestui impuls, stația mobilă ascultă canalul AGCH de la stația de bază.

Dacă stația de bază nu răspunde după un timp bine stabilit, impulsul de acces aleator este repetat.

După recepționarea AGCH-ului, stația mobilă comută pe noul canal ce reprezintă legătura dintre stația mobilă și stația de bază. Pe noul canal (SDCCH), stația mobilă comunică stației de bază că dorește să facă o localizare a datelor actualizate. După ce rețeaua procesează această cerere, ea va permite MS să înceapă procedura de autentificare. Dacă identificarea este corectă, rețeaua atribuie noua arie de localizare și face cunoscut mobilelor că noua localizare este încărcată în registrele VLR și HLR, iar dacă este necesar rețeaua atribuie o identitate temporară (TMSI) stației mobile. Acum procedura de localizare a datelor este făcută, iar canalul dedicat nu mai este necesar, el fiind eliberat pentru alte utilizări.



### Ex3. Stabilirea convorbirii

Dacă o stație mobilă este trecută în starea on și deja are făcută localizarea datelor actualizate, ea se află într-o stare numită inactivă cu datele actualizate (*idle updated*).

<u>CANAL LOGIC</u>	<u>STAȚIE MOBILĂ</u>	<u>STAȚIE DE BAZĂ</u>
PCH	←	Avertizarea stației mobile
RACH	→	Cerere de canal
AGCH	←	Alocare de canal
SDCCH	→	Răspunsul la avertizarea de la rețea (acesta este deja transmis pe canalul alocat)
SDCCH	←	Cerere de identificare de la rețea
SDCCH	→	Răspunsul de identificare de la stația mobilă
SDCCH	←	Cerere de transmisie în modul cifrat
SDCCH	→	Recunoașterea modului cifrat
SDCCH	←	Mesaj de setare pentru începerea convorbirii
SDCCH	→	Confirmare
SDCCH	←	Alocarea unui canal de trafic
FACCH	→	Recunoașterea canalului de trafic
FACCH	→	Alertare
FACCH	→	Conectarea mesajelor când mobilul este în rețea
FACCH	←	Acceptarea conectării mesajelor
TCH	←	Schimb de date vocale

Dacă o stație mobilă este chemată de la rețeaua publică, stația de bază primește un mesaj de avertizare pe canalul PCH, îl trimite în continuare spre stația mobilă, iar aceasta din urmă răspunde cu o cerere de canal. Întreaga procedură de stabilire a convorbirii este descrisă în continuare în tabel.

## 5.10. Baze de date la centre de comutare

Accesul în rețelele GSM se face *prin circuite comutate*, atât pentru transmisii vocale cât și pentru date.

Transferul datelor, spre exemplu a faxurilor, se face cu  $9,6\text{kbps}$ . Debitul pe canalul vocal este tot de  $9,6\text{kbps}$ .

Debitul maxim de transfer, în rețele GSM prin comutarea circuitelor, este de  $14,4\text{kbps}$ .

### **Banda de frecvență alocată sistemului:**

Mobil - BS  $890 - 915\text{ MHz}$ ;

BS – Mobil  $935 - 960\text{ MHz}$

Separarea în frecvență a canalelor duplex  $45\text{ MHz}$

Banda canalului radio  $200\text{ kHz}$

Numărul canalelor radio 124,

Pe fiecare canal radio sunt implementate 8 canale de comunicație.

**Tipul modulației GMSK** (*Gaussian Minimum Shift Keying*) cu  $BT = 0.3$

Debitul pe canalul radio  $270.833\text{ kbps}$

### Codarea canalului

Codor convoluțional cu debit  $\frac{1}{2}$  + CRC (*Cyclic Redundancy*) pentru detecția erorilor + întrețesere.

**Dimensiunea cadrului:** 4.615 ms (pentru 8 utilizatori cu 0.577 ms/ slot)

**Saltul de frecvență:** 217 salturi/s (lent)

**Canale logice:** de trafic (vocal sau date); de control comune; de control dedicate; de difuzare (numai pentru forward link).

**Tehnici de acces:** TDMA/FDMA

**Debitul canalului:**

Vorbire - 22.8kbps (*Full rate*), 11.4kbps (*Half rate*);

Date - 9,600, 4,800, 2,400kbps ;

**Puterea maximă:** maximum 8 W a mobilului (*Reverse link*);

**Egalizorul :** pentru maximum 16 $\mu$ s întârziere;

**Dimensiunea celulei:** până la 35km.

**Protocolul de comunicare** în rețeaua GSM are trei nivele din OSI, ca în figura 5.22. [1,2,17,26]

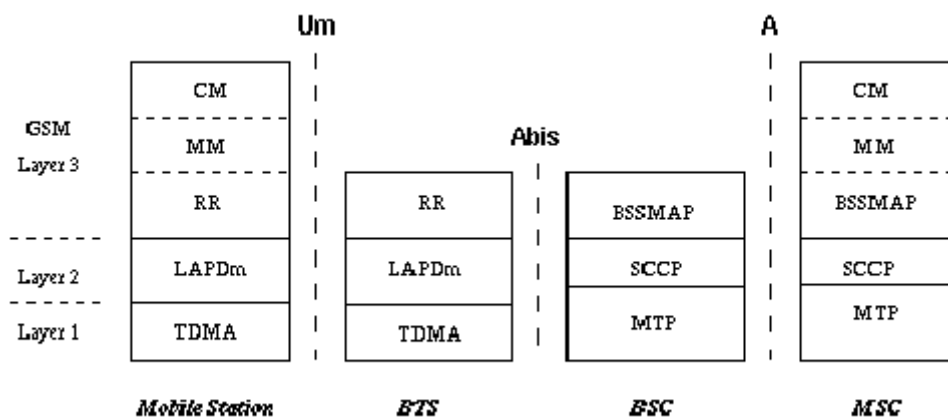
**Nivelul 1** este stratul fizic, care definește canale de comunicație.

**Nivelul 2** este stratul de legătură a datelor.

Prin interfața "Um", stratul de legătura a datelor realizează conectarea stației mobile la BTS.

**Notă.** Este o versiune a protocolului LAPD, numit LAPDm.

Prin interfața "Abis" se conectează BSC la MSC (*Mobile Switching Center*), folosind semnalizarea SSN 7.



**Fig 5.22.**

**Nivelul 3** al protocolului de comunicare GSM are trei substraturi:

- *Controlul Resurselor Radio (RR)* , controlează inițierea, menținerea și terminarea canalelor radio sau a canalelor fixe;
- *Controlul Mobilității (MM)* , controlează actualizarea localizării, procedurile de înregistrare, securitatea și autentificarea;
- *Controlul Conexiunii (CM)* , se ocupa de controlul general al apelurilor și controlează Serviciile Suplimentare și Serviciul de Mesaje Scurte.

Există două centre de comutare **MSC** (*Mobile Switching Center*) pentru comunicarea între stații mobile (cu bazele de date **VLR** și **EIR**) și **GMSC** (*Gate-way Mobile Services Switching Center*) pentru accesul stațiilor mobile la rețeaua telefonică publică comutată și reciproc (cu bazele de date **OMC**, **AC** și **HLR**).

**GMSC** (*Gate-way Mobile Services Switching Center*) - este o centrală telefonică digitală care realizează interfața între sistemul GSM și rețeaua telefonică publică comutată (PSTN).

Rutează apelurile din rețeaua telefonică publică către stațiile mobile, pe calea BSC - BTS – mobil și invers prin legătura BTS - BSC - rețeaua telefonică publică.

Transmite informații despre registrul de localizare a adresei (**HLR**).

**Bazele de date la GMSC sunt OMC, AC, HLR.**

**OMC** (*Operation and Maintenance Center*) – Centrul de operare și întreținere are acces la GMSC și BSC. Prelucreează mesajele de eroare ce vin de la rețea și controlează încărcarea traficului în BSC și BTS, în scopul menținerii calității transmisiei.

**HLR** (*Home Location Register*) – Registrul de localizare a adresei, este o bază de date în care sunt înregistrați abonații permanenți.

Rețeaua are unul sau mai mulți regiștri HLR, la GMSC sau în altă locație.

Registrul (fișierul) conține: tipul de abonament, serviciile la care abonații au acces, date despre poziția curentă, date de identificare a abonatului, numărul la care apelurile trebuie să fie direcționate, etc. Registrul furnizează date și către MSC.

**AC** (*Authentication Center*) – Centrul de autentificare are rolul de a furniza registrului HLR și registrului VLR parametrii

necesari autentificării ( verificării identității stației) și de a le furniza cheia de cifrare atribuită utilizatorului (pentru secretizarea convorbirii).

Toți algoritmi pentru procedurile de autentificare și secretizare sunt memorati în AC și pe cartela SIM a utilizatorului.

**MSC** (*Mobile Switching Center*) primește informații despre puterea cu care este recepționat semnalul furnizat de un terminal mobil și decide care celulă să răspundă la serviciul solicitat de mobil. Dacă celula apelată nu poate prelua mesajul din cauze tehnice sau de trafic, sistemul redirectionează terminalul către celulele vecine.

Baze de date la MSC sunt **VLR** și **EIR** .

**VLR** (*Visitor Location Register*) – Registrul stațiilor mobile vizitatoare este o bază de date ce conține informații referitoare la toate stațiile mobile aflate în zona de serviciu a MSC. Acesta conține identitatea temporară a abonatului mobil **TMSI** (*Temporary Mobile Subscriber Identify*).

Când este sesizat un apel de la o stație mobilă registrul VLR transferă către MSC date despre vizitator.

**EIR** (*Equipment Identify Register*) – Registrul pentru identificarea echipamentului, conține lista telefoanelor celulare omologate și a celor declarate furate. Este folosit pentru verificarea identității echipamentului stației mobile, identificând stațiile furate sau pe cele neautorizate.

Registrul EIR este conectat la registrul central **CEIR**, administrat de Secretariatul Permanent al MoU din Irlanda.

**Obs.** Registrul de localizare a adresei **HLR** (*Home Location Register*) transmite la MSC date despre abonatul care a apelat din rețeaua publică, iar registrul de localizare al vizitatorului **VLR** transmite la GMSC date despre abonat când un apel vine de la o stație mobilă.

Înregistrările necesare bazelor de date sunt conținute în echipamentul mobil sau în cartela SIM.

**Telefonul mobil** conține **un număr de identificare** numit

**IMEI** (*International Mobile Station Equipment Identify*) - numărul de identificare internațional al echipamentului stației mobile este unic;

**Cartela SIM ( Subscriber Identify Module ) conține:**

- **IMSI** ( *International Mobil Subscriber Identify* ) - numărul de identificare a abonatului mobil. Primii 3 digiți din IMSI identifică codul mobil al țării MCC ( *Mobile Country Code* ), următorii 2 digiți reprezintă codul rețelei mobile MNC ( *Mobile Network Code* ) iar ultimii până la 10 digiți reprezintă numărul de identificare al abonatului mobil MSIC ( *Mobile Subscriber Identification Number* ).
- **Numărul de abonat** în rețea, este furnizat de registrul HLR.
- **PIN** ( *Personal Identification Number* ) – un număr din 4 digiți care este un număr personal de identificare, fiind introdus de utilizator;
- **PUK** ( *Personal Unblocking Key* ) cheia personală de deblocare, din 8 digit, cu ajutorul căruia se deblochează stația. Blocarea se face dacă se introduce PIN-ul incorect de trei ori.
- **Datele temporare** din SIM se referă la adresa VLR, numărul la care apelurile trebuie să fie direcționate și câțiva parametri de tranzit pentru autentificare și descifrarea apelurilor.

## 5.11. Controlul Resurselor Radio (RR)

Substratul de control al resurselor radio (aparține nivelului 3 OSI) supervizează stabilirea unei legături radio sau fixă, între stația mobilă și MSC prin intermediul stației de bază BTS . [26]

O sesiune RR este întotdeauna inițiată de o stație mobilă printr-o procedură:

- de acces,
- de inițializare a unei convorbiri,
- de răspuns la un mesaj de "paging".

În cadrul sesiunii RR se poartă un schimb de mesaje care au ca rezultat

- alocarea unui canal de comunicație și
- a unui subcanal de "paging".

Substratul RR controlează puterea de emisie, transmisia și recepția discontinuă și efectuează sincronizările.

### Pasarea Convorbirilor

**Pasarea** reprezintă comutarea unei convorbiri în curs pe un alt canal de comunicație sau transferul convorbirii dintr-o celulă în altă celulă (mobilul este preluat de un alt BTS).

Motivul pasării poate fi deplasarea mobilului sau schimbarea condițiilor de recepție a semnalului (în rău).

Există patru tipuri de pasări, care implica transferul unei convorbiri între:

- canale (sloturi de timp) în cadrul aceleiași celule;
- celule (fiecare cu alt BTS), sub controlul aceleiași BSC;
- celule sub controlul unor BSC diferite, dar aparținând aceluiași MSC;
- celule sub controlul unor MSC diferite;

Primele doua tipuri de pasări, numite pasări interne, implică doar controlerul stației de bază BSC, notificând MSC despre executarea pasării.

Ultimele doua tipuri de pasări, numite pasări externe, sunt controlate de MSC - urile implicate.

Pasările pot fi inițiate atât de stațiile mobile sau de MSC (pentru echilibrarea încărcării traficului).

O stație mobilă în modul nededicat scanează canalul de control **Broadcast** din 16 celule vecine și formează o listă cu 6 dintre cei mai buni candidați pentru posibile pasări (listă bazată pe calitatea semnalelor recepționate). Aceste informații sunt trimise către BSC și MSC, cel puțin odată pe secundă și sunt folosite de algoritmul de pasare.

Există doi algoritmi de pasare mai utilizați și anume:

**Algoritmul de "Performanță Minim Acceptată"** - când semnalul este degradat sub un anumit nivel, se recurge la creșterea puterii stației mobile. Dacă creșterii ulterioare ale puterii nu îmbunătățesc calitatea semnalului, atunci se decide o pasare.

**Metoda de "economisire a puterii"** - utilizează pasarea pentru a încerca să mențină sau să îmbunătățească un anumit nivel de semnal la același consum de putere.

## 5.12. Controlul Mobilității

Substratul de control al mobilității (aparține nivelului 3 OSI) controlează toate funcțiile relative la asigurarea mobilității unui utilizator, ca și cele de autentificare și securitate. Controlul localizării se face pentru ca sistemul să știe localizarea curentă unei stații mobile astfel încât să se poată efectua rutarea apelurilor.

### Actualizarea Localizării

Se grupează mai multe celule într-o arie de localizare. [43]



O stație mobilă este informată despre un apel printr-un mesaj de paging trimis pe canalul **PAGCH**.

Mesajele "paging" sunt trimise către stația mobilă de toate celulele aflate în aceeași arie.

Mesaje de actualizare sunt necesare doar la deplasările între două arii de localizare.

Procedurile de actualizare a localizării și respectivele rutări ale apelurilor, folosesc MSC și două registre de localizare, **HLR** și **VLR**.

Când o stație mobilă se deplasează într-o arie de localizare, sau într-o rețea diferită, trebuie să se înregistreze în rețea pentru a indica localizarea curentă. Un mesaj de actualizare este trimis la un nou MSC/VLR, care înregistrează informația despre localizare și apoi o trimite la HLR. Informația trimisă la HLR este adresa SS7 a noului VLR, sau poate fi un număr de rutare.

Dacă utilizatorul este titularul serviciului, HLR trimite un subset de informații de înregistrare, necesare pentru controlul apelului, către noul MSC/VLR apoi trimite un mesaj către MSC/VLR - ul anterior pentru a șterge vechea înregistrare.

Sistemul GSM are o procedură periodică de actualizare a localizării. Actualizările periodice și intervalele dintre acestea sunt controlate de operator. Dacă o stație mobilă nu se înregistrează după perioada de timp de actualizare, ea este radiată din registrul HLR.

Atașarea și detașarea de tip IMSI, permite rețelei să știe când o stație mobilă este indisponibilă ca să nu îi mai aloce canale și să nu îi mai trimită mesaje de "paging". Procedura de atașare este similară actualizării locației și informează sistemul ca stația mobilă este din nou disponibilă.

## **Autentificarea și securitatea**

Autentificarea utilizatorilor permite sistemului să verifice faptul că un utilizator este cel care pretinde a fi.

Autentificarea implică două entități funcționale, cartela **SIM** din stația mobilă și Centrul de Autentificare (**AuC**).

Fiecărui utilizator îi este atribuită o cheie secretă, stocată atât la utilizator în cartela SIM cât și la Centrul de Autentificare în registrul de autentificare **AuC**.

În timpul autentificării, AuC generează un număr aleator care este trimis stației mobile. Atât stația mobilă cât și AuC folosesc numărul aleator în conjuncție cu cheia secretă a utilizatorului și un **algoritm de criptare A3**. Se generează un răspuns pe care mobilul îl trimite înapoi la AuC.

Dacă numărul trimis de stația mobilă este același cu cel calculat de AuC, atunci utilizatorul este autentificat.

Același număr aleatoriu și cheia secretă sunt folosiți, cu **algoritmul A8**, pentru a genera cheia de criptare.

Această **cheie de criptare**, împreună cu numărul cadrului TDMA, pe baza **algoritmului A5**, generează o secvență de 114 biți. Secvența este operată logic XOR (SAU negat) cu cei 114 biți ai impulsului (cele două blocuri de 57 biți).

### **O altă verificare privește echipamentul mobil.**

Fiecare terminal GSM este identificat de un număr unic **IMEI** (*Identitatea Internațională a Echipamentului Mobil*) înscris în telefonul mobil.

În registrul **EIR** (*Registrul de Identitate al Echipamentului*) este stocată o listă de numere IMEI.

La o cerere IMEI către **EIR** în funcție de listă pe care se află, apar următoarele situații: [43]

**Lista Alba** - terminalul are permisiunea de a se conecta la rețea;

**Lista Gri** - terminalul este sub supraveghere pentru posibile probleme;

**Lista Neagra** - terminalul sau a fost raportat ca furat, sau nu este de tipul aprobat. Terminalul nu are permisiunea de a se conecta la rețea.

## **5.13. Controlul Conexiunii**

Stratul de control al conexiunii (aparține nivelului 3 OSI) este responsabil de controlul apelurilor (CC), de controlul suplimentar al serviciilor și de controlul serviciului de mesaje scurte. Fiecare dintre acestea pot fi considerate ca substraturi separate în stratul CM.

Controlul apelurilor urmează procedurile ISDN specificate în Q.931, chiar dacă rutarea spre un utilizator mobil este unică în GSM.

Alte funcții ale substratului CC includ stabilirea apelului și selecția tipului de serviciu (inclusiv alternarea între servicii pe parcursul unui apel).

### **Rutarea Apelului**

Într-o rețea fixă, terminalul este seim-permanent conectat la un oficiu central, pe când un utilizator GSM are mobilitate.

Numărul format pentru a apela un utilizator se numește **număr Utilizator Mobil (MSISDN)**, care este definit de planul de numerotare

E.164. Acest număr include un cod de țară și un cod național de destinație (care identifica operatorul de telefonie). Primele câteva cifre din numărul rămas identifică registrul HLR din rețeaua locală.

Un apel de la o stație mobilă este direcționat către funcția **GMSC**. GMSC este un comutator care poate interoga **HLR**-ul celui apelat, pentru a obține informația de rutare.

Informația de rutare, care este returnată de GMSC, este numărul mobil al terminalului **MSRN** (*Mobile Station Roaming Number*) – număr care nu este vizibil pentru utilizator, furnizat de către HLR - ul celui apelat.

În mod normal HLR reține numai adresa SS7 a VLR- ului curent al utilizatorului și nu MSRN. Astfel HLR trebuie să interogheze VLR - ul curent al utilizatorului, care va alocă temporar un MSRN din stiva sa, pentru apel. MSRN este returnat HLR - ului și înapoi către GMSC, care apoi poate ruta apelul către un nou MSC.

La noul MSC, este depistat IMSI - ul corespunzător MSRN - ului și terminalul este apelat.

## 5.14. Sisteme GSM evoluat (generația 2,5)

Caracteristic generației 2.5 este faptul că folosește infrastructura rețelei GSM, dar transferul datelor se face *prin comutarea pachetelor*. Mesajul (sau fișierul) este împărțit în pachete și fiecare pachet este trimis către adresa de destinație.

Dintre tehnologiile de creștere a debitului, prin transferul de pachete de date, s-au impus tehnologiile:

**GPRS** (115kbps, teoretic 172kbps ),  
**EDGE** (384kbps),  
**HSCSD** (38,4kbps),  
**CMDA 2000/1xRTT** (2Mbps),  
**1xEVDV** (2,7Mbps) și un sistem numai pentru date **1xEVDO** (2,5Mbps).

În figura 5.23 este prezentată evoluția sistemelor de comunicații mobile, din punctul de vedere al generațiilor.

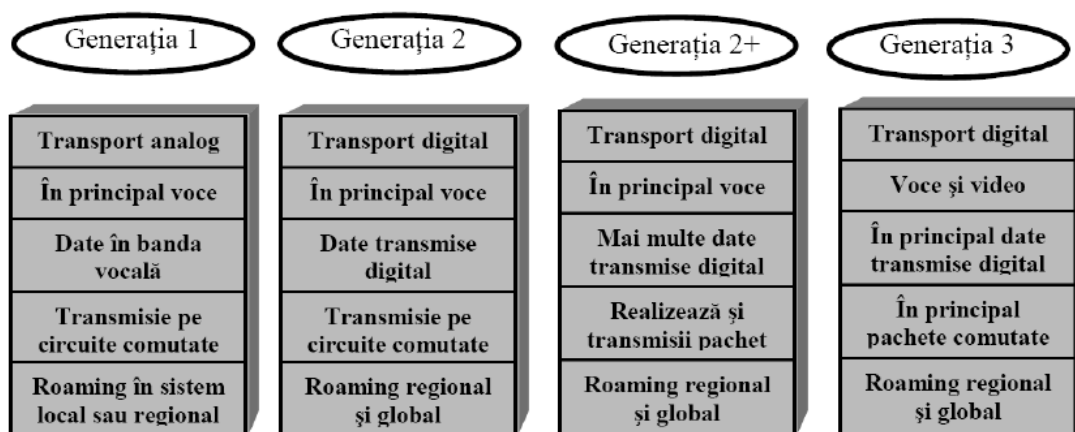


Fig. 5.23.

**GPRS** (*General Packet Radio Service*) definește pachete și noi noduri în rețeaua GSM, ceea ce crește debitul de transfer a datelor, teoretic la  $172\text{kbps}$  și practic la  $115\text{kbps}$ .

**EDGE** (*Enhanced Data Rates for Global Evolution*) nu mai utilizează sistemul de modulare GMSK folosit de GSM, implementând modulația cu 8 nivele 8PSK (*8 levels Phase Shift Keying*) ceea ce permite ca să se transmită 3 biți odată (fiecare nivel reprezintă o combinație de 3 biți). Se utilizează transmisia pe pachete a datelor, obținând astfel un debit pe canalul radio de  $604,8\text{kbps}$  și un debit al datelor de  $384\text{kbps}$ .

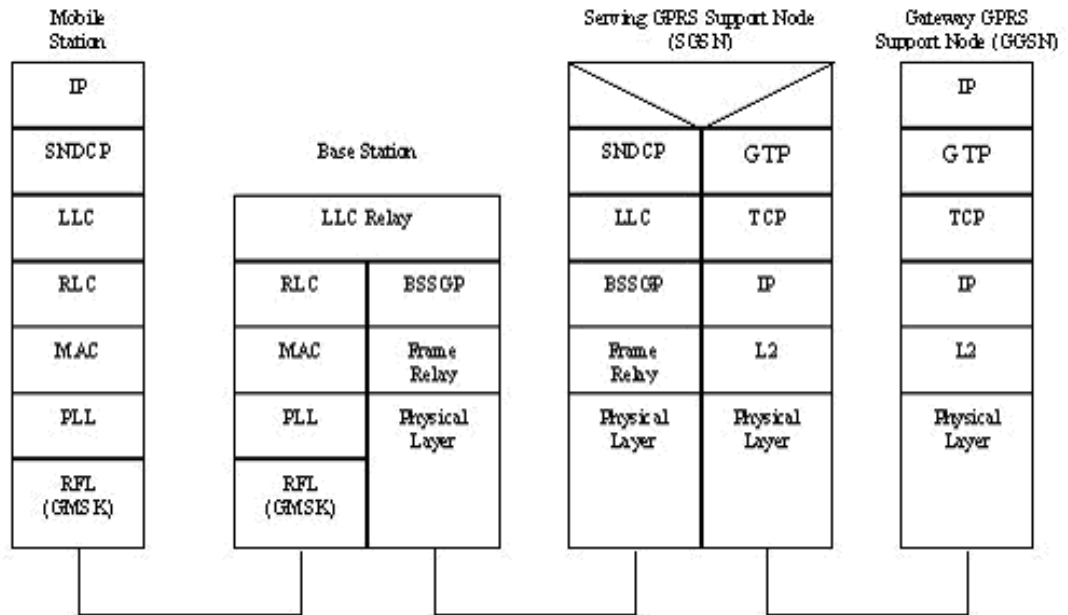
**HSCSD** (*High Speed Circuit Switched Data*) asigură viteze de transfer de până la  $38,4\text{kbps}$ , prin alocarea mai multor sloturi de timp (până la 8) unui singur utilizator – de fapt i se alocă utilizatorului mai multe canale de comunicație.

**CMDA 2000/1xRTT** (*Code Division Multiple Access*) este o primă fază a standardului pentru generația 3 a comunicațiilor mobile. Tehnologia de acces este diferită de a sistemelor GSM, în loc de TDMA se folosește CMDA. Varianta **1xRTT** folosește o bandă de  $1,25\text{MHz}$ , asigurând debite de transfer a datelor de până la  $2\text{Mbps}$ .

Plecând de al tehnologia **1xRTT** s-au implementat sistemele **1xEVDV** ( $2,7\text{Mbps}$ ) și un sistem numai pentru date **1xEVDO** ( $2,5\text{Mbps}$ ).

## GPRS (*General Packet Radio Service*)

În figura 5.24. este prezentat protocolul GPRS.[44]



**Fig. 5.24.**

**Debitul datelor:** maximum 171.2kbps

**Codarea canalului:**

Codare externă pe blocuri,  
Codare convoluțională internă,  
Întrețesere.

**Modulația:** GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*)

**Tehnici de acces:** TDMA / FDMA

**Banda de frecvență alocată sistemului:**

Mobil - BS 890 - 915 MHz; BS – Mobil 935 - 960 MHz

**Separarea canalelor duplex** 45 MHz

**Banda canalului radio** 200kHz

**Numărul canalelor radio** 124 canale

**Numărul canalelor de comunicație pe un canal radio:** 8 canale

**Alocarea canalelor pe utilizator:** 1 la 8 sloturi

Durata unui slot 0.577 ms ,

Durata unui cadru 4.615 ms,

**Saltul de frecvență :** 217 salturi/s (lent)

**Egalizorul:** pentru maximum 16μs

**Conectivitatea:** Comutarea de pachete conform IP și X.25  
**Alte noduri:**

GGSN (*Gateway GPRS Support Node*),  
SGSN (*Serving GPRS Support Node*).

**Comunicarea în GPRS** (*Reverse Link / Forward Link Process*)

**Tipuri de pachete**

De trafic,  
De control comune,  
De control dedicate,  
De difuzare (numai de la MS).

**Pentru Transmisie**

Codor de canal,  
Codor pe blocuri,  
Precodare USF (*Uplink Status Flag*),  
Adaugă biți pentru fiecare bloc.

**Scheme de codare a canalului**

Schema	Debit pe slot ( <i>kbps</i> )	Dimensiunea blocului RLC	Debitul
CS-1	9.05	181	.5
CS-2	13.4	268	.66
CS-3	15.6	312	.75
CS-4	21.4	428	1.0

**La recepție – ca la GSM**

**EDGE** (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*)

În figura 5.25. este prezentat protocolul EDGE.

**Debitul datelor :** maximum 384 *kbps*

**Codarea canalului:**

Codare exterioară pe blocuri,  
Codare internă convoluțională,  
Întreșesere.

**Modulația**

GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*),  
8-PSK (*Phase Shift Keying*).

**Acces multiplu** TDMA / FDMA

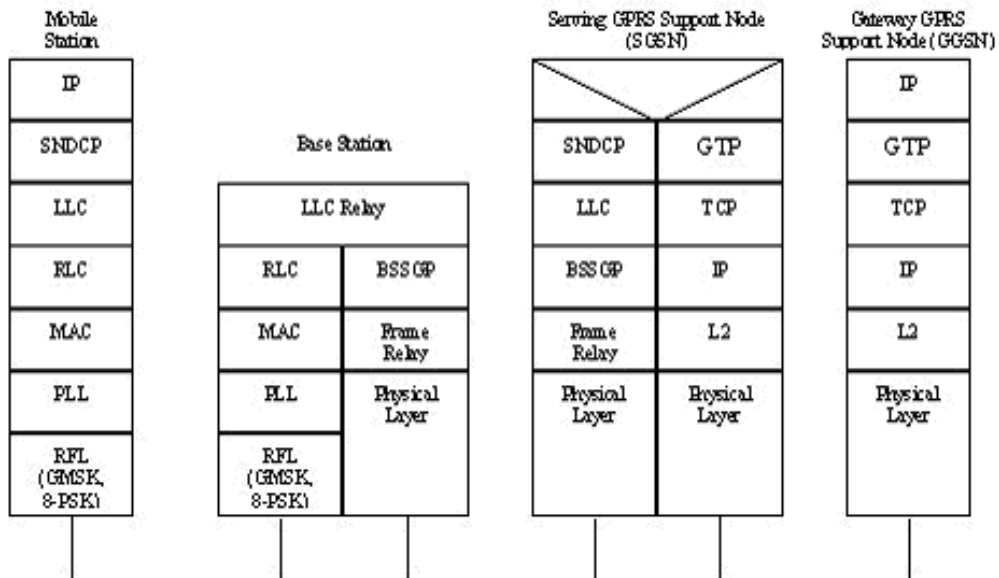
**Frecvențe alocate sistemului:**

Mobil - BS 890 - 915 MHz;

BS – Mobil 935 - 960 MHz

**Separarea între canalele duplex** 45 MHz

**Banda canalului de radiofrecvență** 200kHz



**Fig. 5.25.**

**Numărul de sloturi pe o purtătoare radio:** 8 canale

**Alocarea canalelor pe utilizator:** 1 la 8 sloturi

**Timpul alocat unui slot:** 0.577 ms

**Durata cadrului (de 8 sloturi):** 4.615 ms

**Sloturi diferite pentru Uplink și pentru Downlink**

**Saltul de frecvență:** 217 saltui/s (lent)

**Egalizatorul:** maximum 16μs

**Conectivitate:** pachete IP și X.25

**Modulația:**

Poartă gateway (GGSN)

Servicii GPRS (SGSN)

**Scheme de codare a canalului :** CS-1 la CS-4, MCS1-MCS9

**Pachete** – ca la GPRS

**Transmisia** – ca la GPRS

Alte scheme de codare a canalului, în plus față de **GPRS**

<b>Schema</b>	<b>Codarea</b>	<b>Dimensiunea RLC</b>	<b>Debitul</b>
MCS-1	GMSK	8.8	.5
MCS-2	GMSK	11.2	.66
MCS-3	GMSK	14.8	.75
MCS-4	GMSK	17.6	1.0
MCS-5	8-PSK	17.6	1.0
MCS-6	8-PSK	17.6	.37
MCS-7	8-PSK	17.6	.49
MCS-8	8-PSK	54.5	.76
MCS-9	8-PSK	59.2	1.0

### **La Recepție:**

Demodulator GMSK,  
Egalizor Viterbi,  
Eliminarea întreteserii.

### **WAP (*Wireless Application Protocol*)**

WAP este un standard (protocol) care permite utilizatorilor sistemelor wireless mobile GSM să acceseze servicii din generația a treia, spre exemplu World Wide Web (WWW). Protocolul a fost dezvoltat de o companie numită “*WAP Forum*” (<http://www.wapforum.org/>). [52]

În cadrul standardului este definită o infrastructură ( a GSM), un limbaj **WML** (*Markup Language*), un limbaj script **WMLS**, o specificație privind prezentarea imaginilor **WBMP**, un microbrowser, o stivă de protocoale și un sistem securitizare **WTLS** a conexiunii . WML este un limbaj de descriere a paginilor Web conținând o parte din facilitățile limbajului XML (*eXtensible MarkupLanguage*).

Serverul WAP înmagazinează atât pagini wap cât și pagini de altă natură. HTTP este protocolul standard pentru transferul datelor de la server la poarta WAP (*gateway WAP*).

**Poarta** (*gateway*) WAP este un soft care are rolul de conversie între standarde, astfel :

- convertește cererile formulate de mobil din WAP în HTTP;
- convertește limbajul WML din formatul text în formatul binar, format care poate fi afișat de display-ul mobilului;

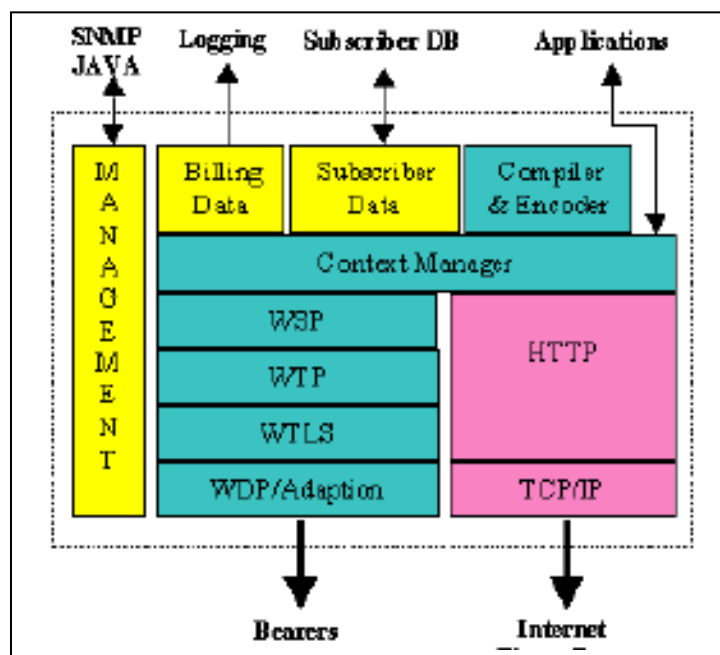


- convertește protocolul de transport **TCP** în protocol de transport al sistemului mobil **WDP** (*Datagram Protocol*) ;
- prin intermediul **WSP** (*Session Protocol*) datele sunt pregătite pentru a fi transferate între aplicații ;
- convertește paginile criptate cu **SSL** (*Secure Socket Layer*)– folosit de web, în pagini criptate cu **WTSL** (*Wireless Transport Security Layer*) – sistemul de criptare folosit de WAP.

În figura 5.26 este prezentată arhitectura porții WAP, unde

- **WTP** (*Transaction Protocol*) este stratul (layer) asigură transferul datagramelor către protocolul de transport WDP;
- Interfața **HTTP** are rolul de a prelua datele cerute de sistemul mobil de pe rețeaua Internet.

**Notă:** Protocolul WDP primește și furnizează mesaje prin intermediul unuia din mijloacele de transport SMS (*Short Message Service*), USSD (*Unstructured Supplementary Services Data*), CSD (*Circuit-Switched cellular Data*), CDPD (*Cellular Digital Packet Data*), IS-136 prin pachete de date și GPRS (*General Packet Radio Services*).



**Fig. 5.26.**

**WML** (*Markup Language*), conține un model de navigare pentru dispozitive mobile care să permită accesul la paginile HTML.

Paginile și serviciile create pe baza limbajului HTML nu pot fi accesate de dispozitivele mobile datorită capacități limitate a dispozitivelor (fără mouse, cu un display de mici dimensiuni, cu o tastatură prea mică). Datorită faptului că transferul datelor are loc prin rețeaua GSM, viteza este limitată la 9,6kbps, ceea ce înseamnă un timp de transfer mare pentru paginile web (spre exemplu o pagină, care prin modemul de 56kbps, se transferă în 4s se va transfera prin WAP în 17s). Din acest motiv cererile exprimate în WML sunt mai întâi codate binar (și comprimate) apoi trimise.

Principalele **servicii** accesibile prin WAP sunt:

- servicii bancare;
- plata facturilor;
- accesul la Internet;
- efectuarea de cumpărări on-line (*e-Commerce*);
- rezervarea de locuri la avion, la hotel, ș.a.;
- jocuri interactive;
- informații privind traficul, condițiile atmosferice, ș.a.

Modul în care mobilul accesează o pagină (un fișier) din rețeaua Internet decurge astfel :

- Utilizatorul selectează pe mobil o cerere de URL cu WML cere un;
- Telefonul codează binar cererea și ,prin rețeaua GSM, o trimite la o poartă (*gateway*) WAP;
- Poarta convertește cererea WAP într-o cerere HTTP;
- Transmite cererea HTTP prin Internet către serverul corespunzător;
- Serverul Web procesează cererea de fișier (cerut de mobil prin URL), adaugă hederul HTTP la fișierul WML și îl trimite la poarta WAP;
- Poarta WAP convertește fișierul în format binar și îl trimite, prin intermediul protocolului WAP, către mobilul care l-a cerut;
- Prin intermediul protocolului WAP telefonul preia fișierul WML;
- Microbrowserul procesează fișierul WML și îl afișează pe display-ul mobilului.

**MMS (*Multimedia Messaging Service*)** permite transferul de imagini, sunet, animație și pagini de text implementat prin GPRS.

# 6

## SISTEMUL UMTS și SISTEME LTE

Principalele două familii ale tehnologiilor pentru comunicații mobile 3G sunt:

- **UMTS** (*Universal Mobile Telecommunications System*) cu tehnologia de acces radio **WCDMA** (*Wide CDMA*);
- **CDMA2000** (*Code Division Multiple Access*). [7,8,10,23]

Tehnologia CDMA2000 este dezvoltată de compania Qualcomm ca succesori al standardului american IS95.

În Europa se folosește numai tehnologia UMTS, motiv pentru care în cadrul capitolului vor fi evidențiate caracteristicile acestei tehnologii.

UMTS (*Universal Mobile Telecommunications Systems*) este succesor al sistemului GSM, inițial dezvoltat de ETSI, iar apoi preluat de 3GPP (*Third Generation Partnership Project*).

Tehnologia de acces radio **WCDMA**, folosită de UMTS permite, pentru accesul la canalele radio de comunicare, două moduri de acces multiplu:

- modul **FDD** (*Frequency Division Duplexing*), utilizând două frecvențe diferite;
- modul **TDD** (*Time Division Duplexing*), utilizând două intervale de timp diferite, pe aceeași frecvență radio.

La început, majoritatea operatorilor europeni folosesc tehnologia FDD, deși modul TDD oferă performanțe mai mari în cazul transmisiilor de date.

**Modul FDD** de operare permite transmisii de date pe două conexiuni radio, una pentru uplink și una pentru downlink. Un dezavantaj constă în faptul că ambele conexiuni trebuie să aibă aceeași lățime de bandă.

**Modul TDD** are o singură conexiune radio pentru transmiterea și primirea de date. Folosește sloturi de timp diferite, adaptând ratele de uplink și downlink la cantitatea de date. Dacă există un trafic mai mic pentru uplink, bucla de timp este realocată traficului pe downlink.

## 6.1. Arhitectura sistemului UMTS

Arhitectura sistemului, din punctul de vedere logico - funcțional are trei componente : [17,20,51]

- **RAN** (*Radio Access Network*) este rețeaua de acces radio;
- **CN** (*Core Network*) este rețeaua centrală, care se ocupă cu comutația și rutarea comunicațiilor
- **UE** (*User Equipement*) echipamentul terminal (al utilizatorului).

**Notă.** Dacă accesul radio este de tip **WCDMA** (*Wide CDMA*), **RAN** se întâlnește sub numele **UTRAN** (*UMTS Terrestrial RAN*) sau **UTRA**.

Rețeaua de acces radio UTRAN îndeplinește mai multe funcții:

- controlul accesului în sistem;
- criptare și de deciptare a canalului radio;
- managementul resurselor radio;
- funcții legate de serviciile difuzate.

Rețeaua UTRAN este formată din mai multe subsisteme radio **RNS** (*Radio Network Subsystems*).

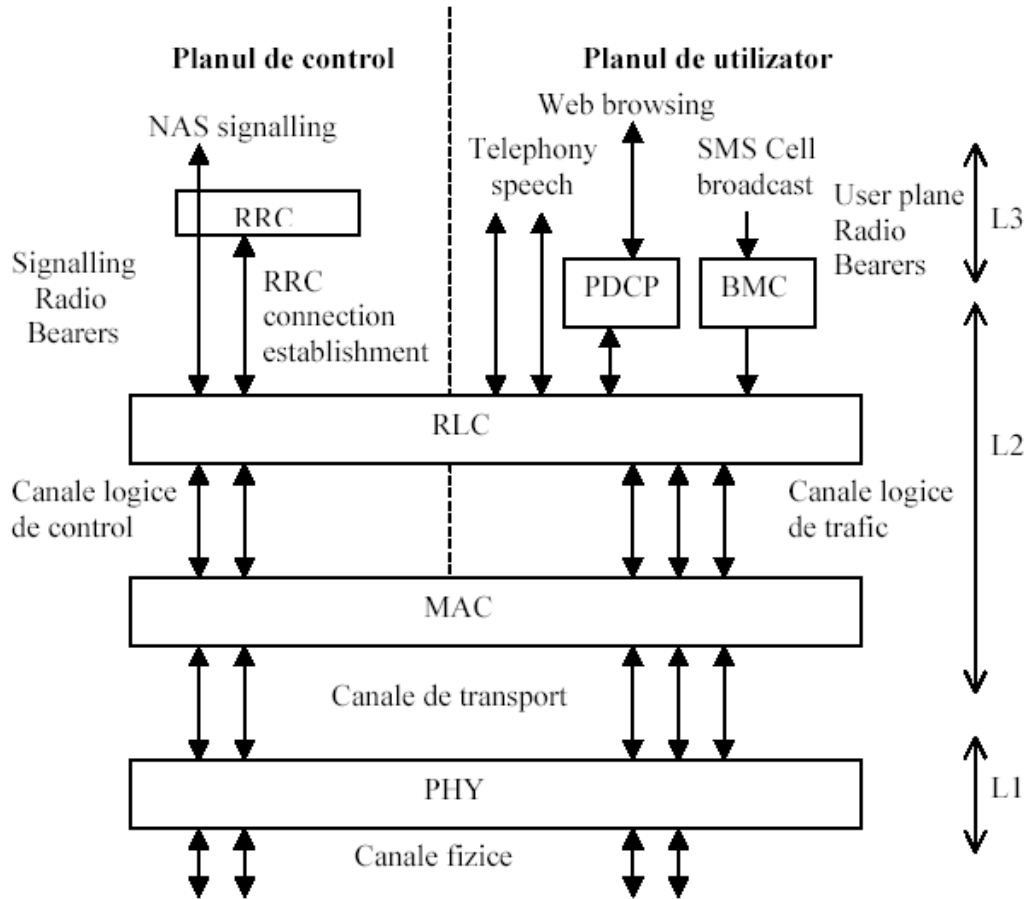
Subsistemele radio au în componență:

- stații de bază **NBs** (*Node Bs*) care asigură comunicația cu echipamentele terminale UE,
- controlere radio **RNC** (*Radio Network Controllers*) - având rolul de administrare a frecvențelor radio.

Rețeaua Centrală (CN) conectează UTRAN la rețelele externe (spre exemplu la rețeaua de telefonie publică, la rețeaua Internet, ș.a.).

Echipamentul de utilizator UE este format din **USIM** (*UMTS Subscriber Identification Module*) și echipamentul mobil **ME** (*Mobile Equipment*).

**Arhitectura protocoalelor** pe interfața radio, prezentată în figura 6.1, este structurată pe trei nivele  $L_1, \dots, L_3$ .



**Fig. 6.1.**

*Nivelul  $L_1$  este nivelul fizic*, având rolul de realiza legătura între echipamentul utilizatorului, pe canalele fizice, și nivelul de control al accesului la mediu **MAC** (*Medium Access Control*), pe canalele de transport.

Canalele fizice sunt definite în principal prin frecvența radio și cadru temporal (și codul, puterea, ș.a.).

*Nivelul legăturii de date  $L_2$*  asigură servicii și funcționalități ca MAC, RLC. În planul de control interfațează subnivelul RLC cu contolerul resurselor radio RRC de la nivelul 3. În planul utilizator (*U-plane*

*information*) interfațează subnivelul RLC cu protocolul de convergență a datelor în pachete PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*) și cu controlul modurilor broadcast / multicast BMC (*broadcast/multicast control*).

**Nivelul L<sub>3</sub>, de rețea**, asigură funcții pentru:

- managementul resurselor radio **RRM** (*Radio Resource Management*),
- controlul resurselor radio **RRC** (*Radio Resource Control*),
- managementul mobilității **MM** (*Mobility Management*),
- managementul conexiunilor **CM** (*Connection Management*),
- controlul legăturii logice **LLC** (*Logical Link Control*).

Nivelul fizic L<sub>1</sub> funcționează sub controlul nivelului 3 și anume sub controlul RRC (*Radio Resource Control*), prin intermediul nivelului 2.

## **6.2. Canale de comunicație UMTS**

Interfața radio definește trei tipuri de canale:

- canale logice (de trafic și de control),
- canale de transport (comune și dedicate),
- canale fizice (comune și dedicate).

**Canalele logice** sunt definite prin tipul de informații care se transferă prin interfața radio (date de utilizator, semnalizări pentru controlul funcționării UE, informații de sistem sau de control general, ș.a.).

Nivelul MAC asigură servicii de transfer de date pe canale logice.

În funcție de serviciul asigurat canalele logice pot fi:

- **canale de trafic TCH** (pentru informații din planul de utilizator);
- **canale de control CCH** (pentru informații de control). [15]

Spre exemplu când un terminal mobil (UE) trebuie să efectueze orice schimb de informații cu rețeaua, mai întâi stabilește o legătură de semnalizare cu UTRAN. UE va transmite o cerere de acces pe un canal de control comun (CCCH), iar legătura de semnalizare se va desfășura pe un canal de control dedicat (DCCH).

Canalele logice de trafic asigură servicii, care sunt clasificate după calitatea impusă (QoS) în patru clase:

- Conversațional,
- Streaming,
- Interactive,
- Background.

**Canale logice de trafic TCH** sunt:

**DTCH** (*Dedicated Traffic Channel*) – canal bidirecțional punct la punct, dedicat unui UE pentru transferul datelor utilizator (fax, Web browsing);

**CTCH** (*Common Traffic Channel*) – canal unidirecțional punct multipunct, folosit pe DL pentru transferul unor informații utilizator dedicate tuturor mobilelor sau numai unui grup precizat.

**Canale logice de control CCH** sunt:

**CCCH** (*Common Control Channel*) - folosit de terminalele UE pentru a stabili o conexiune de început RRC cu rețeaua,

**DCCH** (*Dedicated Control Channel*) -canal bidirecțional punct la punct pentru transferul de informații de control dedicate între rețea și un anumit UE ,

**BCCH** (*Broadcast Control Channel*) – pentru a difuza informații de control tuturor mobilelor,

**PCCH** (*Paging Control Channel*) – pentru a localiza un mobil.

**Canalele de transport** au rolul de vehiculare datelor, la debite variabile, între nivelele sistemului.

Canalele de transport sunt definite prin modul în care se face transferul de date precum și prin caracteristicile fluxului de date (codarea, debitul, întârzierea de transfer necesară, ș.a.).

Un singur tip de canal de transport este dedicat **DCH** (*Dedicated Channel*), restul (**BCH, FACH, PCH, RACH, CPCH și DSCH**) sunt canale comune. Canalele comune au nume diferite în funcție de destinația datelor și în funcție de sensul comunicației (uplink sau downlink).

**Canalele fizice** sunt definite prin frecvența purtătoare, faza purtătoare (numai pe uplink), cod, putere, cadru temporal.

Un cadru radio (*radio frame*) conține 15 intervale temporale. Lungimea unui cadru corespunde duratei a 3840chips.

Intervalul temporal (slot) este o unitate compusă din câmpuri, ce conțin biți de informație. Un interval temporal corespunde duratei a 265chips.

Resursa fizică de bază o reprezintă planul cod-frecvență.

Pentru uplink există două canale fizice dedicate:

- unul pentru date, **DPDCH** (*Dedicated Physical Data Channel*),
- unul pentru control, **DPCCH** (*Dedicated Physical Control Channel*).

Canalele DPDCH și DPCCH sunt multiplexate în cuadratură pe durata fiecărui cadru.

Pentru downlink există un singur tip de canal fizic dedicat **DPCH** (*Dedicated Physical Channel*).

Există 3 canale comune pe uplink și 10 pe downlink, diferențiate în funcție de informația vehiculată.

## **Caracteristici ale sistemului UMTS**

Accesul multiplu pe interfața radio se poate face în două moduri:

- DS-CDMA de bandă largă cu duplex în frecvență, *WCDMA* (FDD);
- DS-CDMA de bandă largă cu duplex în timp, *WCDMA* (TDD). [7,35]

Sistemul european UMTS, în varianta pentru rețele terestre, utilizează pentru interfața radio WCDMA benzile de frecvență:

- 1920-1980 *MHz* pentru downlink;
- 2110-2170 *MHz* pentru uplink.

Pentru interfața radio WCDMA în modul TDD s-au alocat benzile de frecvență:

- 1900-1920 *MHz* pentru downlink;
- 2170-2200 *MHz* pentru uplink.

Numărul de canale radio în bandă este de 12 la modul FDD și de 4 la modul TDD. Banda unui canal radio modulat QPSK este de 5 *MHz*.



Durata cadrului este de  $10\text{ ms}$ .

Numărul de sloturi temporare este de 15.

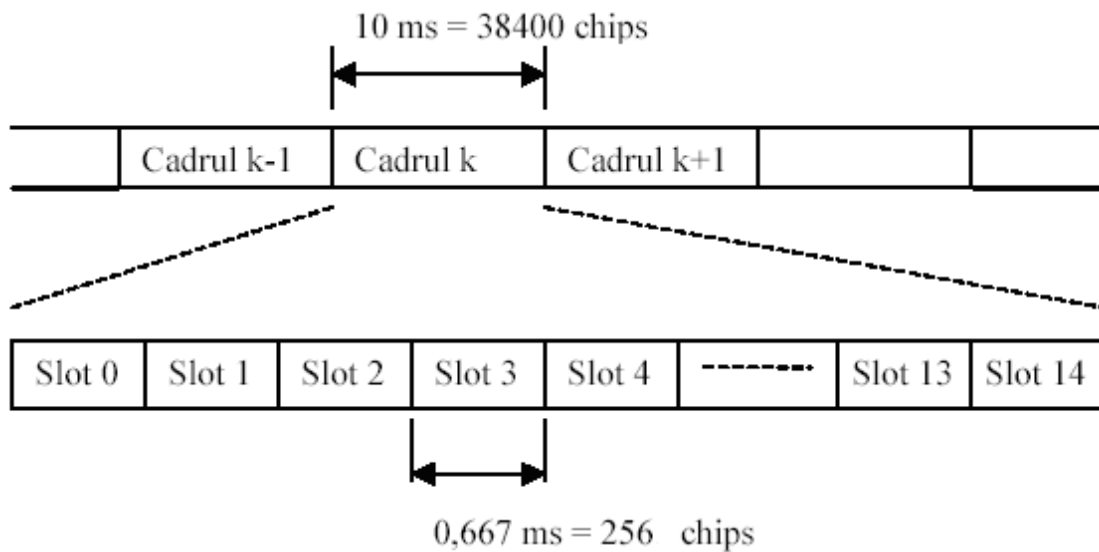
Debitul chip este de  $3,84\text{ Mcps}$  atât pentru modul FDD cât și pentru modul TDD.

Diferă factorul de împrăștiere DL (*Down Link*)/UL (*Up Link*) de  $512:4/256:4$  la FDD respectiv  $16:1/16:1$  la TDD. Diferă și rata de simbol pe purtătoare  $7,5/15\text{ kbps}$  și  $240/240\text{ kbps}$  respectiv pentru modul FDD și modul TDD.

Distanța dintre două purtătoare este de  $4,2, \dots, 5\text{ MHz}$  (cu un rastru de  $200\text{ kHz}$ ) pentru ca să nu se producă interferențe între canale.

Canalele de transport, implementate pe canalele radio, sunt expandate spectral cu **coduri de canalizare** (*spreading*) și marcate cu **coduri de împrăștiere - amestecare** (*scrambling*) pentru a permite identificarea UE sau a BS, în funcție de sensul transmisiei.

În figura 6.2 sunt prezentate sloturile de pe o purtătoare.



**Fig. 6.2.**

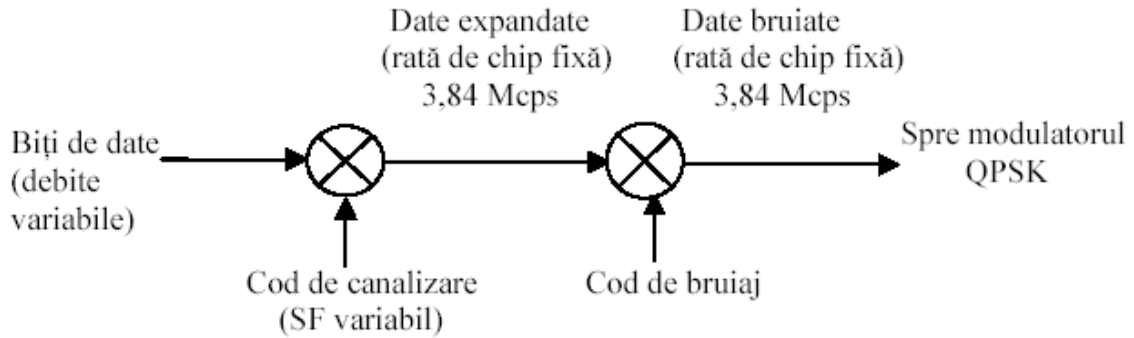
### 6.3. Coduri

În figura 6.3. este sintetizat modul de împrăștiere a datelor pe întreg spectrul de frecvențe (expandare spectrală), în cazul FDD.

**Codul de canalizare** (*channelization code*) transformă fiecare simbol (bit) de date într-un număr de chip-uri. Pentru a obține un debit de chip

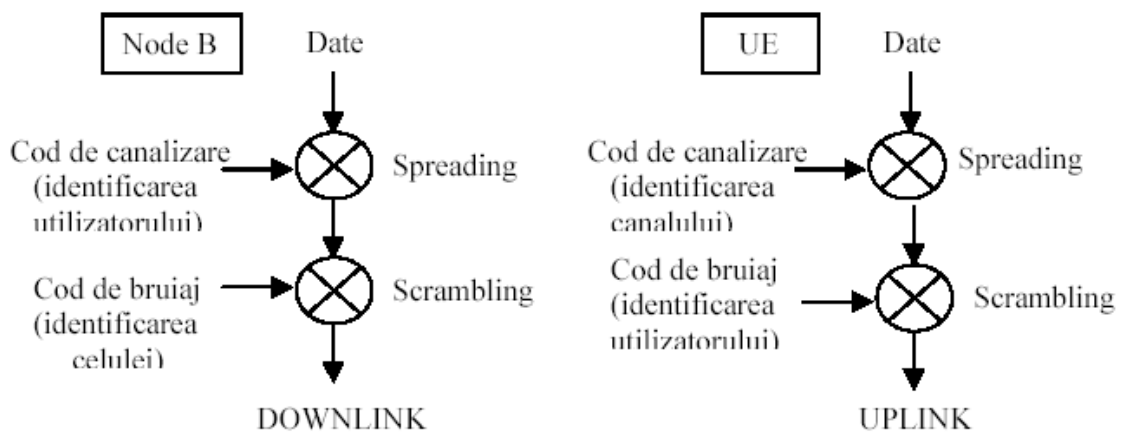
totdeauna de  $3,84\text{Mcps}$  pentru diferite debite ale datelor, se modifică factorul de împrăștiere spectrală SF (*Spread Factor*) și implicit debitul codului de canalizare.

Rezultatul expandării spectrale este prelucrat împreună cu codul de scrambling, la debit fix ( $3,84\text{Mcps}$ )



**Fig. 6.3.**

*Codul de scrambling* este cel care diferențiază și permite identificarea terminalului utilizatorului, respectiv permite identificarea și decodarea informației trimisă de stația de bază pentru mobil. Utilizarea codurilor la stația de bază și la terminalul mobil este prezentată în figura 6.4.



**Fig. 6.4.**

## Coduri de canalizare

Codurile de canalizare (*channelization codes*) sunt coduri ortogonale cu factor de împrăștiere variabil, **OVSF** (*Orthogonal Variable Spreading Factor*), care permit separarea canalelor fizice.

Codurile ortogonale OVSF au lungimea de  $4 \div 256$  chips pe uplink și de  $4 \div 512$  chips pe downlink.

Transmisia datelor pe legătura ascendentă (UL) se face cu ajutorul a două purtătoare în cuadratură. Pe calea I se transmite un canal de date DPDCH, iar pe calea Q (defazată cu  $\frac{\pi}{2}$  față de I) un canal de control DPCCH. Pe ambele căi fiind folosită modulația BPSK.

Se folosesc coduri de canalizare  $C_d$ ,  $i$  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  $\beta_d$  (reprezențați pe trei biți), care sunt identici pentru canalele DPDCH, dar diferă de cel folosit pentru canalul DPCCH.

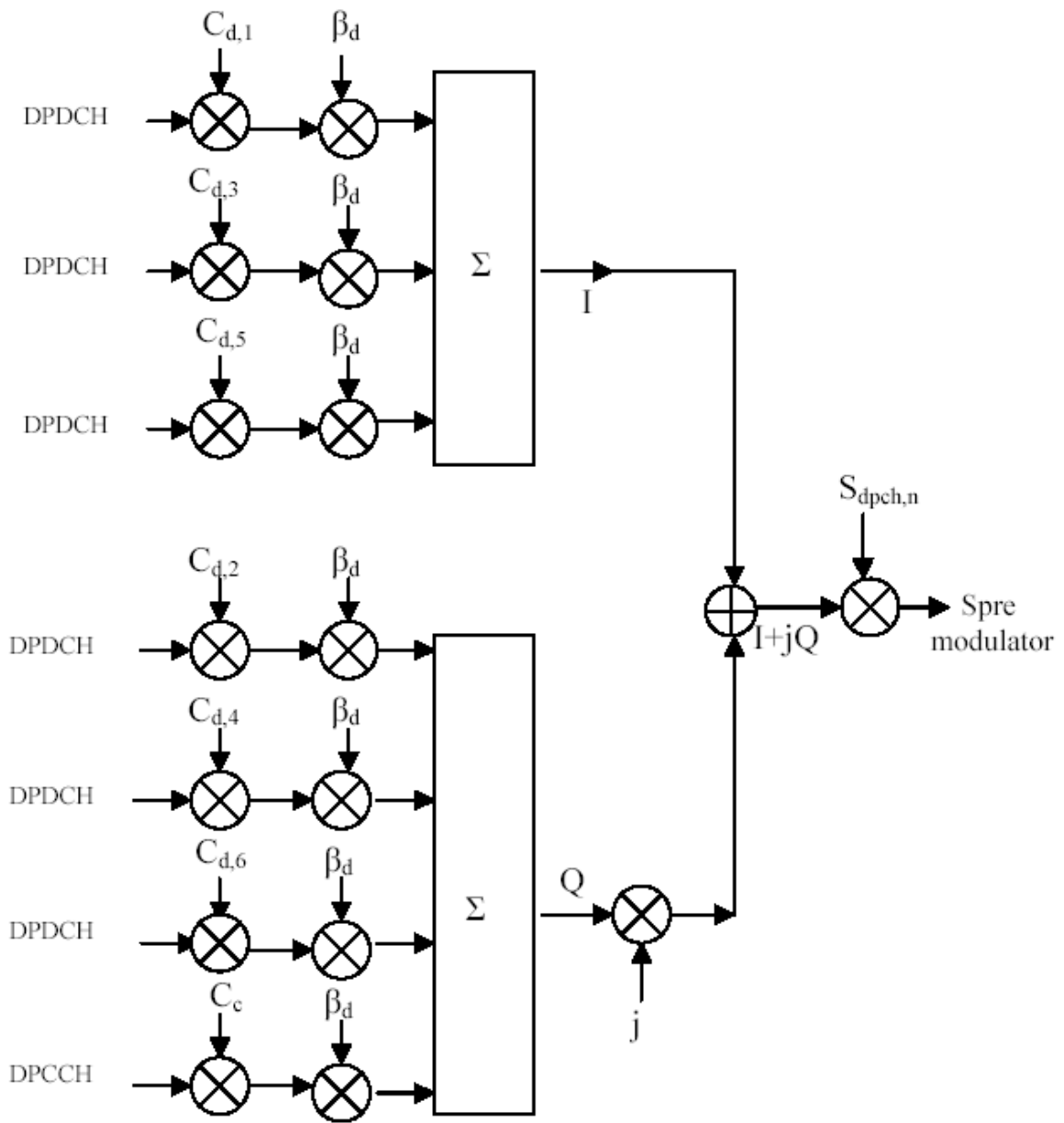
După transformarea semnalului real în semnal complex, are loc multiplicarea cu o secvență de cod  $S_{dpch}$ ,  $n$  de valoare complexă pentru operația de bruiaj.

Pe UL se pot transmite de la unul până la șase canale de date DPDCH, împreună cu un canal de control DPCCH. Dacă sunt mai multe, canalele de date DPDCH se distribuie alternativ pe căile I și Q.

Pe DL, unde se folosește modulația QPSK. Procedura de expandare 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 căile I (simbolurile pare) și respectiv Q (simbolurile impare) prin conversie serie-paralel.

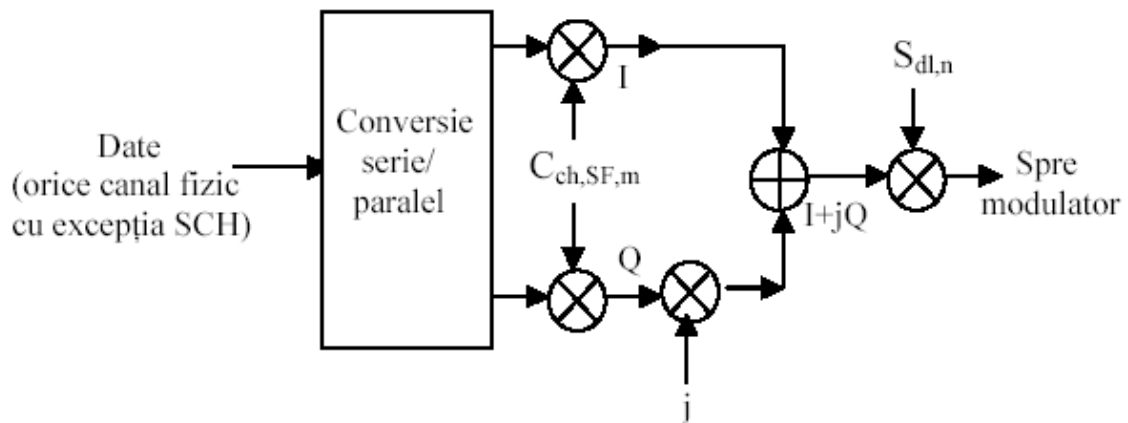
Se poate remarca că, spre deosebire de cazul anterior, în DL debitele pe căile I și Q sunt egale.

Cele două căi sunt apoi multiplicare cu același cod de canalizare  $C_{ch}$ ,  $SF$ ,  $m$  și convertite într-o secvență de chip-uri complexă. Datele pentru alți utilizatori sunt expandate spectral cu alte coduri de canalizare.



**Fig. 6.5.**

Urmează operația de codare cu secvența de cod de bruiaj, prin multiplicare cu  $S_{dl, n}$ , care este o secvență de cod complexă, specifică unei anumite celule sau unui anumit sector de celulă, ca în figura 6.6.



**Fig. 6.6.**

### Coduri de bruiaj

Codurile de bruiaj (*scrambling*) folosite pe interfața radio UTRA diferă în funcție de utilizarea pe legătura ascendentă (UL) sau pe cea descendentă (DL). Ele sunt obținute, în general, prin trunchierea unor secvențe de cod mai lungi.

**Pentru UL** se folosesc două tipuri de coduri de scrambling:

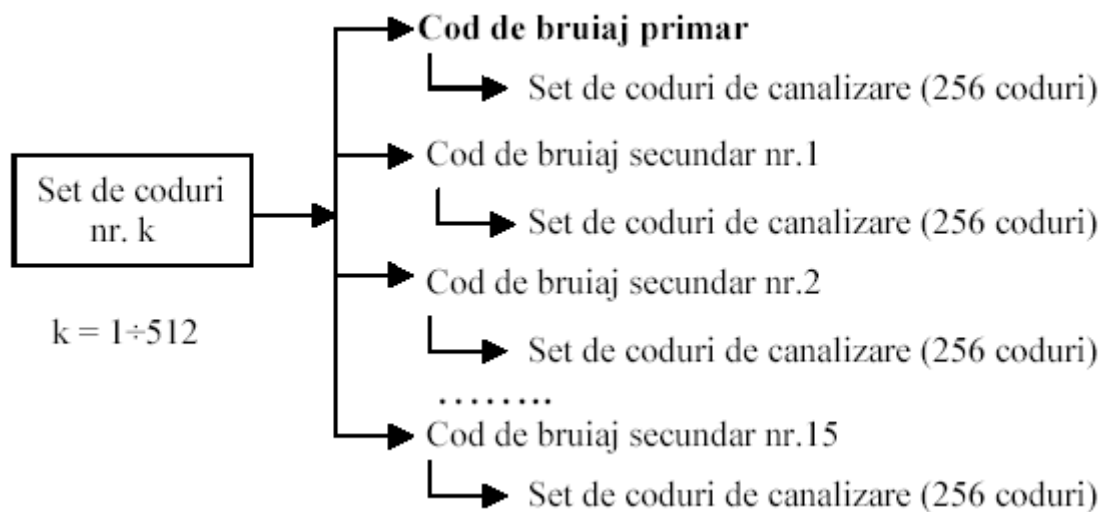
- coduri lungi (în lungime de 38400chips). Există 224 coduri distincte, care se obțin prin trunchierea unor secvențe Gold, având lungimea inițială de 241.
- coduri scurte (în lungime de 256chips). Există 224 coduri distincte, care se obțin prin trunchierea unor secvențe  $S(2)$  extinse.

**Pentru DL** se folosesc numai coduri lungi, obținute prin trunchierea unor secvențe Gold, având lungimea inițială de 218.

Teoretic, sunt 262141 ( $218 - 1$ ) 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 6.7.



**Fig. 6.7.**

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 bruij 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 un cod din cele 8 coduri primare.

## 6.4. Sistemul LTE

Generația 4G apare din necesitatea de creștere a numărului de servicii pe care să le poată furniza utilizatorului rețelelor de telecomunicații - în principal pentru asigurarea unui acces rapid la Internet și pentru transferul rapid al fișierelor video.

**LTE** (*Long-Term Evolution*), este un standard wireless, încadrat în categoria 4G, prezentând o serie de facilități și o viteză de transfer mai mare față de rețelele realizate bazate pe tehnologiile **GSM** sau **UMTS**.

Standardul se bazează pe IP (*Internet Protocol*) ceea ce înseamnă că nu este compatibil cu tehnologiile 2G și 3G.

Standardul a fost finalizat în 2009, iar primele telefoane apar în septembrie 2010 (spre exemplu *Samsung Galaxy Indulge*).

**Notă.** LTE este un termen care marchează evoluția rețelei radio de la **RAN** (*Radio Access Network*) la **E-UTRAN** (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*) cât și evoluția tehnologiei de acces de la **RAT**

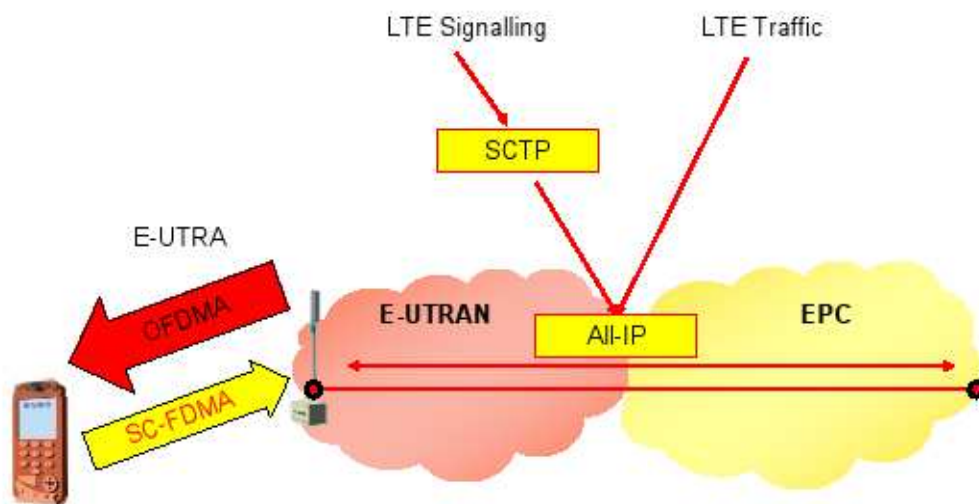
(Radio Access Technology) la **E-UTRA** (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access*).

Nucleul rețelelor, bazate pe standardul LTE, numit **SAE** (*System Architecture Evolution*) reprezintă o îmbunătățire a nucleului rețelelor GPRS în sensul simplificării arhitecturii, renunțării la comutarea de circuite și utilizarea numai a protocolului IP, integrării de suport pentru mobilitatea în vechile rețele (2G, 3G), cât și în rețele de alt tip (spre exemplu rețele WIMAX, ș.a.).

Principala componentă a SAE, reprezentând nucleul rețelei, este **EPC** (*Evolved Packet Core*).

Principalele obiective pe care vrea să le atingă LTE/SAE sunt:

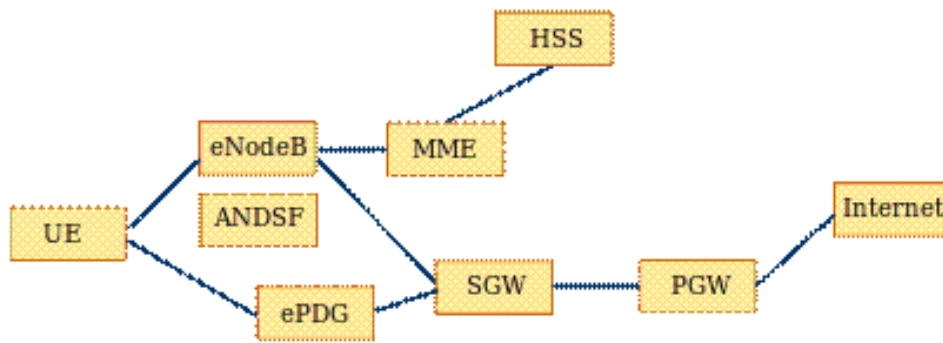
- viteză de download de  $100\text{Mbps}$  iar pentru uplink de  $50\text{Mbps}$ ;
- scăderea latenței pe canalul radio;
- creșterea eficienței spectrale;
- bandă de frecvență scalabilă, cu valoarea maximă de  $20\text{MHz}$ ;
- interoperabilitatea cu sistemele 3G.



**Fig. 6.8.**

Se constată că planul de management al rețelei a fost separat de planul utilizatorilor, vezi figura 6.8.

**SCTP** (*Stream Control Transmission Protocol*) are rolul de management și protecție a serviciilor de semnalizare (bazate pe IP).



**Fig. 6.9.**

Structura **EPC** (*Evolved Packet Core*), este prezentată în figura 6.9. [55]

- **UE** – reprezintă echipamentul utilizatorului.
- **PGW** (*PDN Gateway*), realizează conectarea UE al Internet, în sensul că asigură toate funcțiile legate de administrarea pachetelor și filtrarea acestora pentru fiecare utilizator. Conține suportul pentru a asigura mobilitatea UE din rețele LTE în rețele de alt tip (spre exemplu rețele WIMAX, CMDA 1x, ș.a.).
- **SGW** (*Serving Gateway*), asigură rutarea pachetelor atât într-un sens (uplink) cât și în celălalt sens (către UE).
- **MME** (*Mobility Management Entity*), reprezintă elementul care controlează accesul în rețea. Utilizează serverul HSS, în scopul autentificării, controlului accesului în rețea și în scopul managementului mobilității.
- **HSS** (*Home Subscriber Server*), este un server care îndeplinește funcțiile bazelor de date **HLR** (*Home Location Register*) și **AuC** (*Authentication Center*) prin intermediul cărui pot fi accesate date despre abonați și utilizatori logați.
- **ePDG** (*Evolved Packet Data Gateway*), are rolul de a secretiza transmisia, atunci când UE este conectat la o rețea nesigură (*untrusted*).
- **eNodeB** (*Evolved Node B*), recepționează și transmite informații, în interiorul celulei, privind canalele de control (de paging sau de

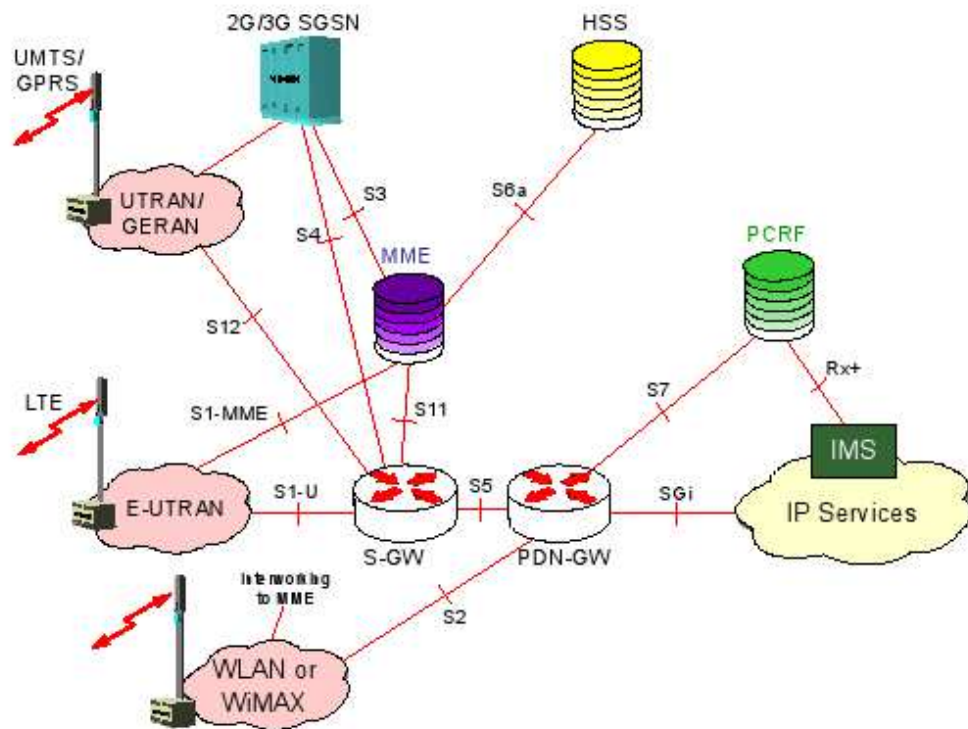


difuzare) – informații pe care le primește de la blocul de management MME.

- **ANDSF** (*Access Network Discovery and Selection Function*), îi dă informații echipamentului UE privind rețelele care se află în apropierea acestuia și îl asistă dacă acesta (UE) vrea să se conecteze la vreuna din rețele.

În condițiile utilizării unei singure antene LTE/SAE își atinge obiectivul privind viteza de download de  $100\text{Mbps}$ . Viitoarele implementări vor utiliza tehnologia MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) care vor determina viteze maxime de  $170\text{Mbps}$  pentru 2x2MIMO și de  $360\text{Mbps}$  pentru 4x4MIMO.

În figura 6.10 sunt prezentate elementele nucleului rețelei din punctul de vedere al interfețelor de interconectare a blocurilor funcționale.



**Fig. 6.10.**

**Interfața S1**, care realizează conectarea nucleului la E-UTRAN, are două componente:

- S1-MME, care conectează eNodeB la MME (*Mobility Management Entity*), transportând elemente de management al mobilității din cadrul planului de control;
- S1-U, care conectează eNodeB la S-GW (*Serving Gateway*), transportând elemente și date din planul utilizatorului.

Cele două componente ale interfeței S1 sunt suficiente pentru conectarea EPC în rețeaua LTE.

O serie de alte interfețe conectează EPC la alte rețele.

**Interfața S2**, conectează rețele de tipul WiMAX sau WLAN la EPC - de fapt la un bloc funcțional al EPC și anume la PDN-GW (*Packet Data Network Gateway*).

**Interfața S12**, conectează rețele de tipul UTMS sau GPRS la EPC - de fapt la un bloc funcțional al EPC și anume la S-GW (*Serving Gateway*).

**Interfața S3 și S4**, conectează rețele de tipul 2G sau 3G la EPC. Interfața S3 este folosită de S-GW (*Serving Gateway*) iar interfața S4 permite accesul MME (*Mobility Management Entity*).

Celelalte interfețe sunt interfețe interne ale EPC, permițând comunicarea între blocurile funcționale ale EPC.

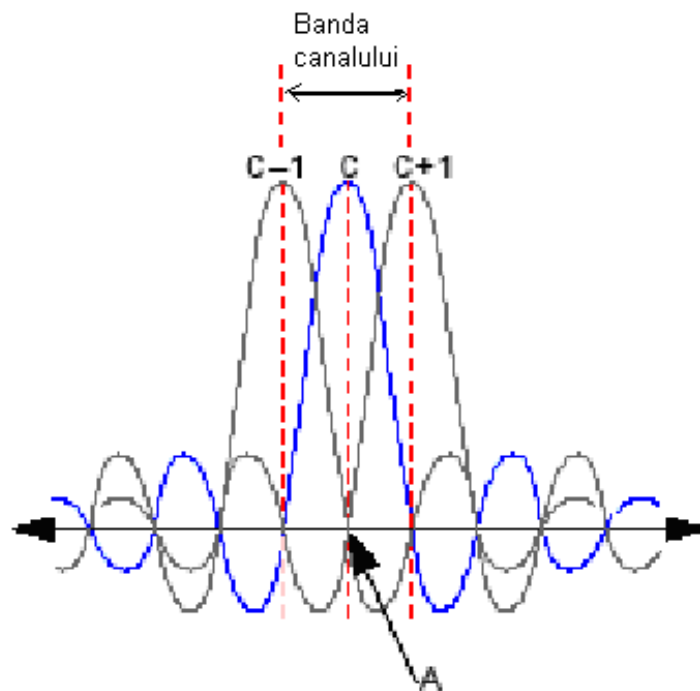
Pentru a obține viteze mari pentru downlink (de 300Mbps pentru o bandă de 20MHz) se folosește tehnologia de acces **OFDM** (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) pe când pentru uplink, unde viteza poate fi mai mică, se folosește **SC-FDMA** (*Single Carrier FDMA*) care asigură o viteză în jurul a 80Mbps.

## **OFDM și SC-FDM**

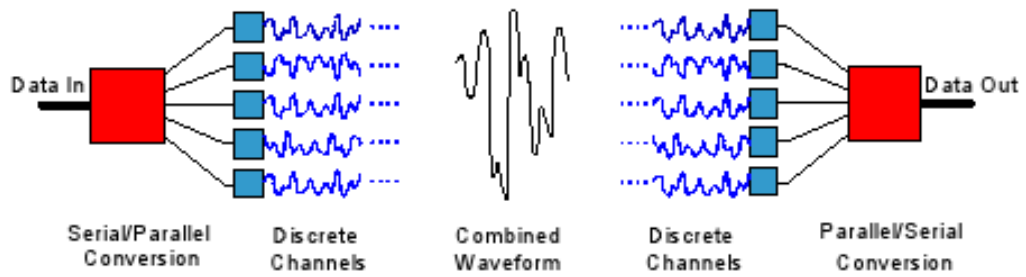
**OFDM** (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) este o tehnologie de transport și multiplexare a datelor (ca și tehnologia de modulație în frecvență, sau în amplitudine, ș.a.).

Alegerea frecvențelor purtătoare în tehnologia OFDM se face așa fel încât interferențele între canale să fie cât mai mici. Aceasta se obține plasând maximul energiei purtătoarei C în punctul A unde atât putătoarele adiacente (C+1 și C-1) cât și purtătoarele (C-2 și C+2) se anulează (semnale ortogonale), ca în figura 6.11.

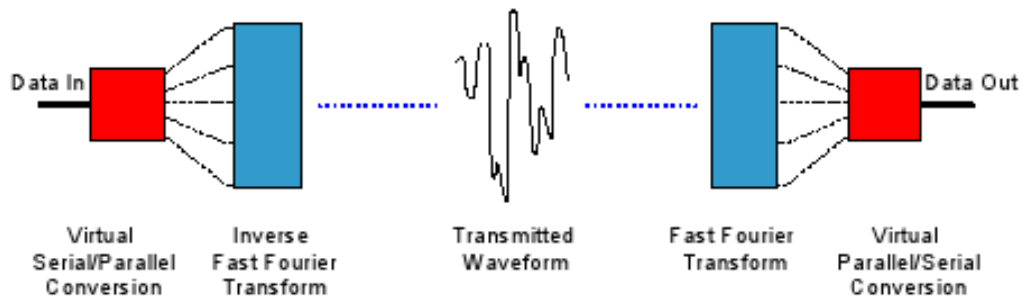
Pentru a păstra ortogonalitatea, dacă numărul de canale rămâne fix și se dorește creșterea benzii de frecvență se impune o creștere a benzii de frecvență pentru fiecare purtătoare și totodată a intervalului (zonei de separație) dintre purtătoare.



**Fig. 6.11.**



a)



b)

**Fig. 6.12.**

Pentru a evita problemele privind corelările dintre banda de frecvență a canalului și viteza de transmisie E-UTRA folosește un interval fix de frecvență ( $15kHz$ ) între canale,

În figura 6.12a) este prezentat modelul teoretic al transmierii pe baza OFDM. În cazul FDM datele sunt transmise serial prin modularea unei singure purtătoare.

În cazul OFDM datele sunt convertite din serial în  $n$  – fluxuri de date paralele. Fiecare flux de date, folosind un modulator separat, este transmis separat pe câte un canal de radiofrecvență (modulează o altă purtătoare). La recepție fiecare canal este demodulat și apoi se face serializarea datelor.

În realitate datele sunt convertite din serial în  $n$ -date paralele, vezi figura 6.12b), unde  $n$  reprezintă numărul de purtătoare ortogonale pe care îl folosește OFDM.

Pentru generarea fluxului de date paralele se folosește transformata în serie Fourier și transformata Fourier inversă.

Algoritmul **FFT**(*Fast Fourier Transforms*) determină coeficienții transformatei Fourier pentru un semnalul aplicat la intrare.

Transformata Fourier inversă **IFFT** (*Inverse Fast Fourier Transforms*) primește la intrare coeficienții dezvoltării în serie Fourier și furnizează la ieșire semnalul corespunzător respectivilor coeficienți. De fapt IFFT refacă semnalul variabil în timp pe baza a  $n$  – elemente primite la intrare.

Transmisia simbolurilor pe o purtătoare se face prin adăugarea la fiecare grup de simboluri a unui prefix ciclic. Practic se copiază o parte din simboluri și se adaugă la începutul grupului.

LTE folosește pachete de  $71.42\mu s$ , din care prefixul are  $5\mu s$ .

**OFDMA** (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) este o tehnologie de acces, în sensul că permite transportul datelor și accesul sistemului la una sau mai multe date.

**E-UTRA** interfața radio a LTE, folosește tehnologia OFDMA numai pentru downlink. Pentru uplink se folosește tehnologia de acces SC-FDMA.

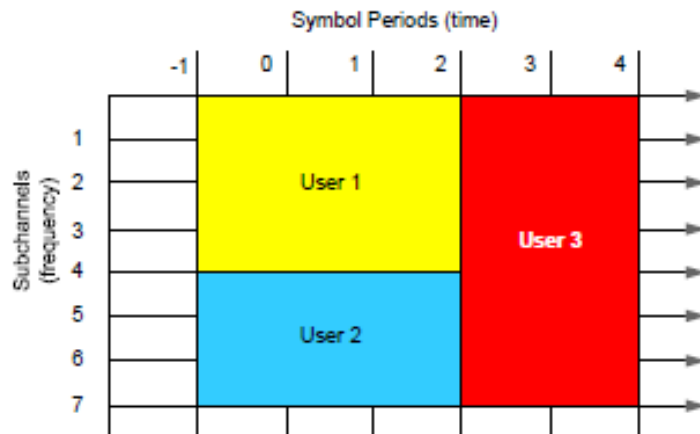


Fig. 6.13.

În cazul **OFDMA** fiecare utilizator are alocat un interval de timp în care își transmite datele, pe un număr de purtătoare (număr alocat de sistem, în funcție de viteza de transfer impusă utilizatorului).

Spre exemplu, în figura 6.13, utilizatorul 3 transmite pe 8 frecvențe purtătoare iar ceilalți doi utilizatori transmit numai pe 4 frecvențe purtătoare.

**SC-FDMA** folosește 12 frecvențe purtătoare, fiecare canal având banda de 180kHz.

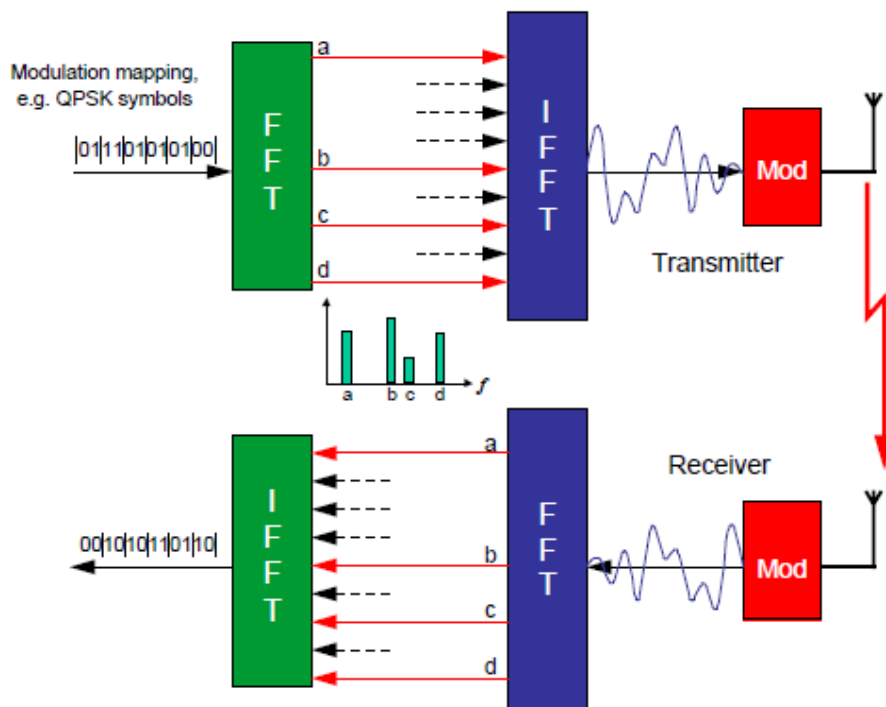


Fig. 6.14.

În figura 6.14 sunt prezentate operațiile ce se efectuează asupra semnalului atât la emisie cât și la recepție.

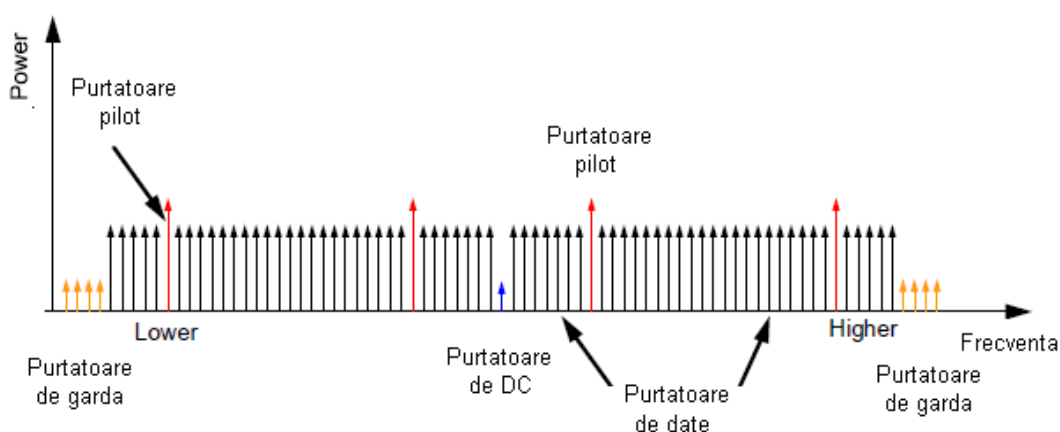
Se remarcă faptul că după modularea semnalului digital (a simbolurilor) se face o analiză în frecvență a acestuia cu transformata FFT. Coeficienții rezultați sunt transferați blocului de transformare inversă IFFT, care reface semnalul ca funcție de timp. Ultima etapă, înainte ca semnalul să fie transmis către antenă, constă în modularea purtătoarelor (blocul MOD).

La recepție prelucrările sunt în ordine inversă față de emisie, cu precizarea că blocul MOD este un circuit de demodulare.

Fiecărui echipament utilizator UE îi este alocat un alt set de frecvențe purtătoare (ortogonale), așa încât prin însumarea semnalelor să fie ocupată toată banda de frecvență alocată pentru uplink.

La recepție transformata FFT se aplică pentru semnalul din întreaga bandă de uplink. Identificarea frecvențelor purtătoare și recuperarea datelor transmise de un echipament utilizator UE se face cu câte un bloc IFFT separat pentru fiecare echipament utilizator.

Pe lângă purtătoarele de date, la intervale prestabilite, se transmit purtătoare pilot și purtătoare nule, vezi figura 6.15.



**Fig. 6.15.**

**Purtătoarele pilot**, sunt semnale de referință care vor fi folosite de receptor pentru sincronizarea cu emițătorul. Purtătoare pilot au o putere cu  $2.5dB$  mai mare decât purtătoarele de date.

Purtătoarele nule sunt de două feluri: „de gardă” și „de curent continuu” – numite uneori purtătoare de DC.

**Purtătoarele nule de DC** marchează frecvența centrală a fiecărui canal OFDM.

**Purtătoarele nule de gardă** marchează începutul și sfârșitul canalului OFDM, evitându-se interferențele între canale vecine.

## Interfața radio a LTE

**E-UTRA** poate folosi canale cu benzi de frecvență diferite și anume poate folosi una din cele 6 benzi de frecvență din tabelul 1.

**Tabelul 1**

Banda de frecvență	1.4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Durata cadrului [ms]	1					
Distanța dintre purtătoare [kHz]	15					
Frecvența de esantioane [MHz]	1.92	3.84	7.68	15.36	23.04	30.72
Numărul de purtătoare	72	180	300	600	900	1200
Numărul de simboluri/slot	Normal CP = 7, extended CP = 6					
Lungimea CP	Normal CP = 4.69/5.12 μsec, extended CP = 16.67 μsec					

În tabel CP reprezintă lungimea prefixului ciclic.

Frecvența de eşantionare este multiplu al debitului de chip ( $3.84\text{Mcps}$ ), pentru a asigura compatibilitatea E-UTRA cu UTRAN-WCDMA.

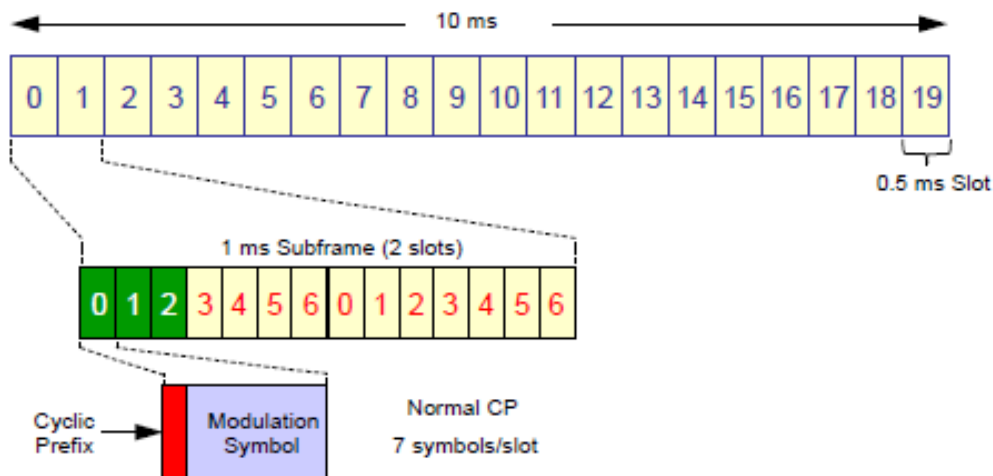
Numărul purtătoarelor depinde de banda canalului.

Astfel că într-o bandă de  $1.4\text{MHz}$  încap 72 purtătoare, pe când într-o bandă de  $20\text{MHz}$  pot fi 1200 purtătoare.

Un cadru se  $10\text{ms}$  este format din 20 sloturi de câte  $0.5\text{ms}$ , vezi figura 6.16.

Fiecare subcadru (din cele 10) grupează câte două sloturi. Pentru un prefix ciclic normal în fiecare slot (de  $0.5\text{ms}$ ) încap 7 simboluri modulate.

Simbolul 0 are  $\text{CP}=5.21\mu\text{s}$ , iar celelalte (simbolurile 1,...,6) au  $\text{CP}=4.7\mu\text{s}$ .



**Fig. 6.16.**

Fiecărui slot  $i$  se asociază 12 purtătoare, ocupând o bandă de  $180\text{kHz}$ . Pe fiecare purtătoare, în intervalul de timp corespunzător unui slot - de  $0.5\text{ms}$  - se transmit 7 simboluri. Pe un subcadru se transmit 14 simboluri modulate.

Un simbol modulat poate conține 2 biți dacă modulația este **QPSK**, 4 biți pentru **16QAM** sau 6 biți dacă modulația folosită este **64QAM**. Codarea semnalului se face utilizând un turbocod cu factorul de  $1/3$ . Blocurile de transport primesc la sfârșit 24 biți reprezentând CRC, pentru verificarea recepției corecte a blocului.

Ca și în cazul GSM sistemul E-UTRA are implementată funcția de **avans în timp** al transmisiei, în scopul de a aduce semnalul preluat de la UE în slotul alocat respectivului echipament. Pe baza măsurării intervalului de timp în care semnalul ajunge de la UE se transmite acestuia cu ce interval de timp trebuie avansată transmisia (în multiplii de câte  $0.52\mu\text{s}$ ).

## 6.5. LTE Advanced

**LTE Advanced** (*Long-Term Evolution Advanced*), este un standard wireless, care respectă în totalitate elementele tehnice impuse de consorțiul **3GPP** (*3rd Generation Partnership Project*) pentru generația 4G, motiv



pentru care se afirmă că LTE-Adv este adevăratul standard pentru tehnologia 4G (*True 4G*).

Principalele obiective pe care și le propune LTE Advanced sunt:

- viteză maximă pe downlink de *1Gbps*, iar pe uplink de *500Mbps*;
- eficiență spectrală de 3 ori mai mare decât în cazul LTE, cu valorile maxime de 30bps/Hz pentru downlink și 15bps/Hz pentru uplink;
- utilizarea unei benzi de frecvență scalabilă;
- latența mai mică de *50ms* la conectare;
- transferul utilizatorului de 3 ori mai rapid ca la LTE;
- mobilitatea la fel ca la LTE;
- compatibilitate cu vechile sisteme ale consorțiului 3GPP.

În tabelul 2 sunt prezentate performanțele diverselor sisteme premergătoare LTE Adv.

**Tabelul 2.**

	WCDMA (UMTS)	HSPA HSDPA / HSUPA	HSPA+	LTE	LTE ADVANCED (4G)
Viteza max downlink [bps]	384 k	14 M	28 M	100M	1G
Viteza max uplink [bps]	128 k	5.7 M	11 M	50 M	500 M
Latența	150 ms	100 ms	50ms (max)	~10 ms	less than 5 ms
3GPP releases anul	Rel 99/4 2003	Rel 5 / 6 2005	Rel 7 2008	Rel 8 2009	Rel 10 2012
Metoda de acces	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA / SC-FDMA	OFDMA / SC-FDMA

Principala tehnologie de acces este OFDM, dar pentru compatibilitatea cu LTE, sunt permise OFDM pentru downlink și SC-FDMA pentru uplink.

**LTE Adv CoMP** (*Coordinated Multipoint*) reprezintă un set de măsuri pentru coordonarea între ele a mai multor noduri eNB aflate în locații diferite, în scopul utilizării mai eficiente a resurselor rețelei și recepției mai bune a semnalelor provenind de la marginile celulei.

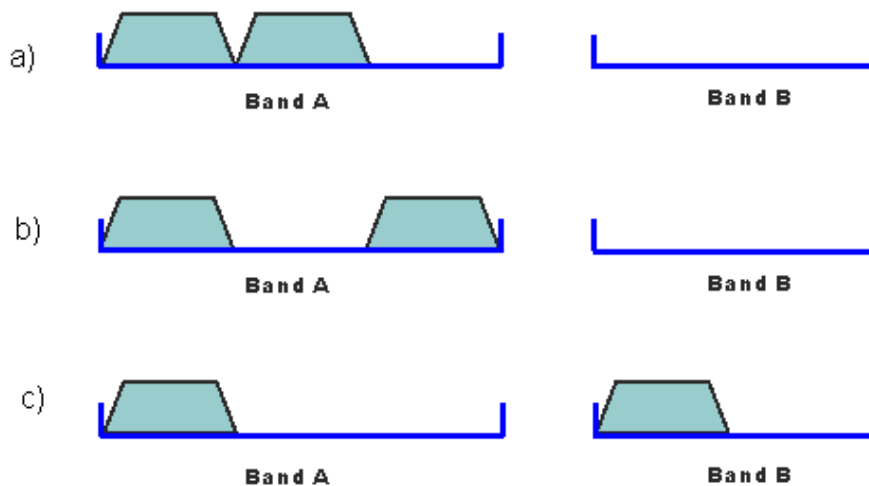
Una din măsuri, aplicabilă la downlink, constă în a transmite aceleași date către UE de la mai multe noduri eNB.

Una din măsuri, aplicabilă la uplink, constă în coordonarea mai multor eNB (care au recepționat semnalul de la UE) în scopul procesării semnalelor recepționate și formării unui alt semnal cu caracteristici îmbunătățite. Această metodă implică un dialog între eNB, adică implică un schimb mare de date între eNB.

În fond pentru creșterea vitezei este necesară o bandă de frecvențe cât mai mare, ceea ce se obține prin metoda **agregării purtătoarelor CA** (*Carrier Aggregation*).

De fapt metoda agregării purtătoarelor constă în alocarea pentru transmisie a mai multor benzi de frecvență ( de la 1 la 4 benzi de câte 20MHz) alăturate sau nu.

Pentru o bandă de 100MHz, în condiții ideale, s-a obținut o viteză de 3.3Gbps pentru downlink.



**Fig. 6.17.**

În figura 6.17 sunt prezentate modalitățile de agregare:

- a) intra bandă cu frecvențe purtătoare alăturate;
- b) intra bandă cu frecvențe purtătoare nealăturate;
- c) inter bandă.

**LTE Relay**, reprezintă un releu de retransmisie în condițiile în care semnalul este slab sau perturbat.

Releul nu este un repetor. El demodulează și decodează datele recepționate, face corecțiile necesare după care împachetează datele și apoi le retransmite.

Releul, pentru legătura cu stația de bază, poate folosi aceleași purtătoare ca cele folosite pentru legătura cu UE sau alte purtătoare.

Releul poate opera în regim half duplex sau full duplex.

**LTE D2D** (*Device to Device*), reprezintă tehnologia care permite comunicarea a două UE, aflate în apropiere, fără vreun alt intermediar (fără vreun alt element al rețelei celulare).

Tehnologia se folosește în situații de urgență. Față de WiFi prezintă avantajul folosirii frecvențelor licențiate.

**LTE HetNet** (*Heterogeneous Network*), este o tehnologie prin intermediul căreia este permis accesul în rețele LTE și a utilizatorilor de echipamente care lucrează în alte standarde, spre exemplu echipamente care operează numai în rețele GSM.

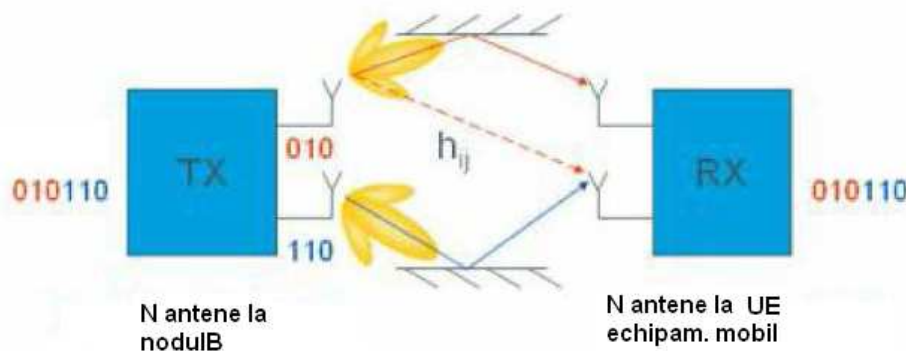
De remarcat faptul că se impun, pentru a îndeplini această sarcină de interconectare, modificări ale formatelor datelor, a sistemului de acces, sincronizări, ș.a.

**MIMO** (*Multiple Input Multiple Output*), tehnologia antenelor multiple se folosește pentru a obține vitezele de transfer cât mai mari.

Utilizarea mai multor antene permite transmiterea datelor pe mai multe căi, ceea ce determină o creștere a debitului și capacității canalului.

Pot fi utilizate până la 8 antene (8x8 MIMO).

De fapt este vorba de o multiplexare spațială a datelor.



**Fig. 6.18.**

În figura 6.18 emițătorul împarte fluxul de date (010110) pe două antene cu orientări diferite. Receptorul are două antene fiecare preluând o parte din datele transmise.

Emițătorul înainte de a transmite datele către antenă le codează (acțiunea se cheamă *precodare*) prin alegerea unei matrice de codare dintr-un set finit de matrice. Alegerea matricei se face pe baza caracteristicilor canalului de comunicație așa fel încât să se maximizeze capacitatea canalului.

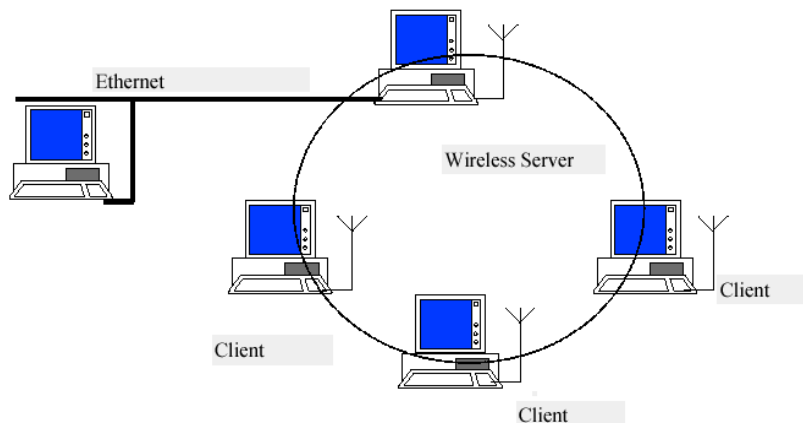
# 7

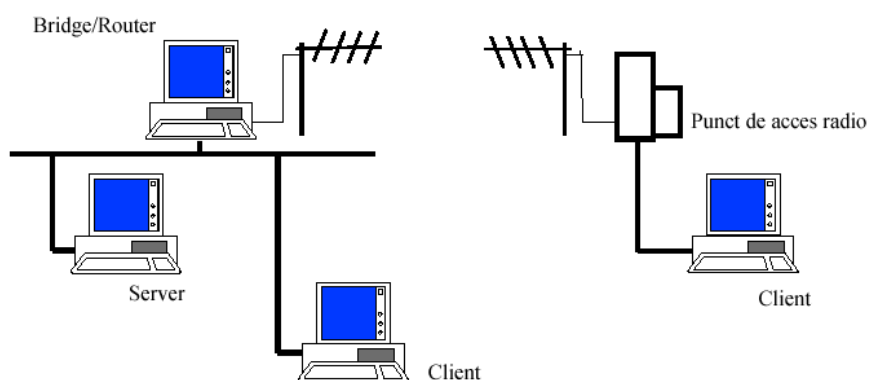
## REȚELE LOCALE FĂRĂ FIR (WLAN)

Rețelele locale fără fir se întâlnesc de cele mai multe ori sub numele **WLAN**(*Wireless Local Area Network*). Sunt rețele cu acoperire mică, în interiorul unei locuințe, a unei școli, restaurant, hotel, ș.a.

Topologia rețelilor respectă standardele rețelilor terestre **IEEE802.3** (pentru rețele Ethernet), **IEEE802.5** (pentru rețele token-ring) sau pentru rețele wireless standardul **IEEE802.11** și **IEEE802.16**. [6,8,13,24,27]  
Dacă banda de frecvență *nu este impusă* de standard, este folosită una din benzile nelicențiate:

- ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) (902 - 928 MHz),
- 2.4 GHz (2.4 - 2.4835 GHz),
- 5.0 GHz , 5.7 GHz (5.725 - 5.85 GHz),
- 18 GHz,
- infraroșie (lungimi de undă de la 850 nm la 950 nm).





**FIG. 7.1. D)**

În figura 7.1 sunt prezentate topologiile a două rețele WLAN de tipul Client-Server, pe baza unui server ca în figura 1a sau pe baza unui router ca în figura (1b).

Pentru nivelul fizic și nivelul legăturii de date (nivelul 1 și 2 al modelului OSI) s-au impus două standarde:

- **ETSI-HIPERLAN** (*European Telecommunication Standards Institute – High Performance European Radio LAN*), pentru benzile 5.15 – 5.30 GHz și 17.1 – 17.2 GHz, la viteze de până la 25.529 Mb/s,
- **IEEE 802.11** – WLAN, pentru viteze de 1 Mbps la 540 Mbps, pe distanțe de 100-300 m (IEEE 802.11b pentru maximum 11 Mbps, IEEE 802.11g pentru 54 Mbps și IEEE 802.11n pentru 540 Mbps).

Transferul datelor se poate face:

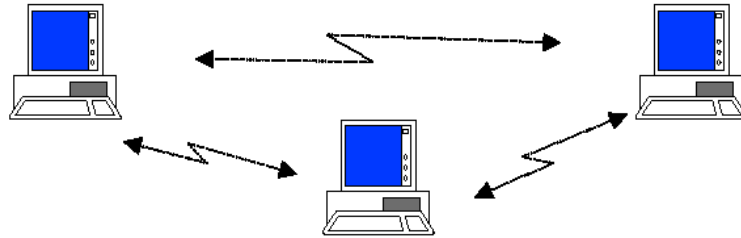
- **DCF** (*Distributed Coordination Function*), prin comutarea de pachete în tehnologie ATM;
- **PCF** (*Point coordination Function*), prin interogarea punctului de acces (AP – *Acces Point*).

## 7.1. Standardul IEEE 802.11

Dimensiunea celulei acoperite de un echipament radio de bază **BSA** (*Basic Service Area*) determină o structură, numită **arie a serviciilor de bază BSS** (*Basic Service Set*), în care sunt asigurate serviciile de bază ale rețelei.

Un BSS este format dintr-un set de echipamente (calculatoare) care pot comunica, wireless, între ele. [8,13,27]

Rețeaua de bază, numită **rețea ad-hoc** (comunicația fiind numită și **peer to peer**), constă dintr-o grupare de calculatoare într-un singur BSS (o singură celulă), ca în figura 7.2.

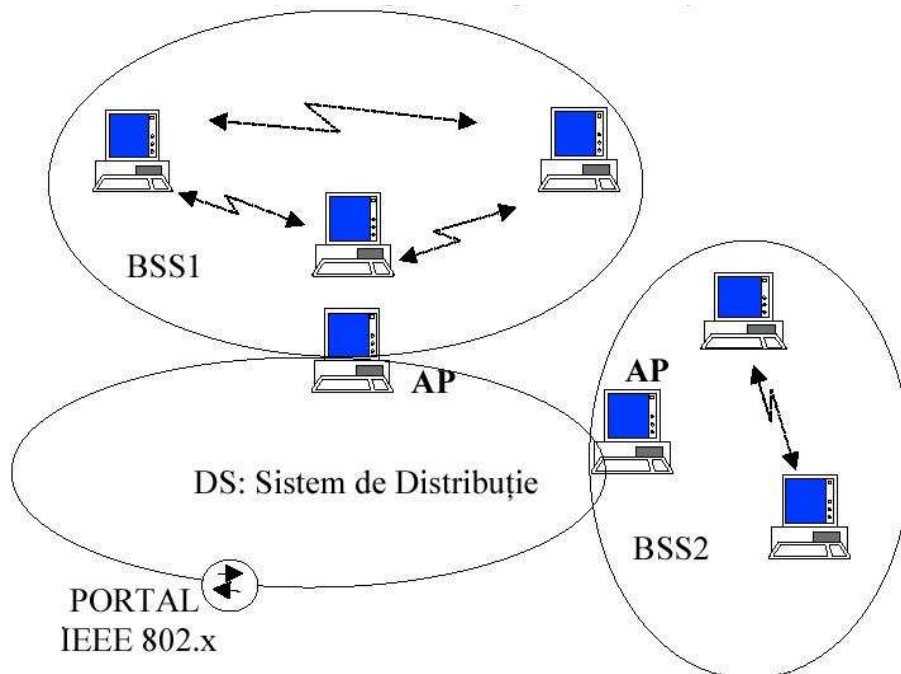


**Fig. 7.2.**

**Rețeaua infrastructurală** conectează între ele, în scopul extinderii zonei de servicii, mai multe BSS prin intermediul unor **puncte de acces AP**.

Se obține astfel un **domeniu** numit și **Set de Serviciu Extins ESS** (*Extended Service Set*).

În cadrul domeniului, un calculator se poate deplasa fără a pierde conexiunea, fiind preluat de un alt AP (*roaming*).



**Fig. 7.3.**

Transferul pachetelor între două BSS are loc prin intermediul unui sistem de distribuție DS, ca în figura 7.3.

Rețeaua poate fi conectată la o rețea de alt tip (spre exemplu la rețeaua Internet) prin intermediul unui dispozitiv numit **Portal**, având rolul de conversie a formatelor și de sincronizare a datelor vehiculate între cele două rețele.

## 7.2. Nivelul fizic al rețelei WLAN

Standardul 802,11 recomandă una din metodele de acces:

- spectru împrăștiat cu salt de frecvență **FHSS**, în banda de 2,4 GHz sau în banda de 5 GHz ;
- spectru împrăștiat cu secvență directă **DSSS**, în banda de 2,4 GHz;
- radiații infraroșii **IR**, cu lungimi de undă între 850 nm și 950 nm.

**Rețelele FHSS** (IEEE 802.11) folosesc modulația binară **GFSK** (*Gaussian Frequency Shift Keying*) cu două nivele pentru rata de transfer de 1 Mbps și cu patru nivele pentru rata de transfer de 2 Mbps.

Salturile de frecvență, în FHSS, sunt în număr de 3 seturi cu câte 26 salturi pe set. Rata de salt este de 2,5 salturi/s.

IEEE 802.11a recomandă banda de 5 GHz pentru rate de transfer de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps.

**Rețelele DSSS** (IEEE 802.11b și g) folosesc modulația diferențială **DQPSK**, în cuadratură cu comutarea fazei.

Secvența de împrăștiere, în DSSS, folosește 11 biți/simbol, banda totală fiind împărțită în 11 subcanale de câte 11 MHz.

IEEE 802.11b se folosește pentru rate de transfer de 5.5 , 11 Mbps iar IEEE 802.11g pentru rate de transfer de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps.

**Rețelele IR** folosesc modulația PPM16 (*Pulse Position Modulation*) pentru rata de transfer de 1 Mbps și PPM4 pentru rata de transfer de 2 Mbps.

## 7.3. Nivelul logic - MAC (*Medium Acces Control*)

Subnivelul MAC al nivelului logic formează cadrele, verifică erorile și alocă canale de comunicație stațiilor. [24]

Accesul la mediul de transmisie a datelor (adică accesul la un canal de comunicație) se poate face în două moduri:



- concurențial **CP** (*Contend Period*), când stațiile își dispută accesul pentru transmiterea fiecărui pachet;
- neconcurențial **CFP** (*Contention Free Period*), când accesul la mediu este controlat de un punct de acces **AP** (*Acces Point*).

**Accesul concurențial** se face prin intermediul serviciului **DCF** (*Distributed Coordination Function*).

Serviciul se bazează pe un algoritm **CSMA/CA** de detecție a putătoarei care permite preluarea canalului de comunicație fără coliziuni. Toate stațiile au implementat serviciul DCF.

**Accesul neconcurențial** se poate realiza dacă sistemul are implementat serviciul **PCF** (*Point Coordination Function*) și serviciul DCF (care este folosit de către PCF).

**MPDU** (*MAC Protocol Data Unit*) este o unitate completă de date trimisă de nivelul MAC la nivelul fizic. Nivelul fizic fragmentează MPDU în mai multe cadre de date.

**Un cadru se compune din :**

- adrese MAC de 48 biți ale stațiilor sursă și destinație;
- doi octeți (câmpul de durată) care conțin timpul cât canalul va fi folosit pentru transmiterea unui **MPDU** (*MAC Protocol Data Unit*);
- date utilizator (maximum 2346 octeți);
- doi biți prin care este specificat tipul cadrului;
- 32 biți pentru CRC.

**Tipuri de cadre:**

- de date, cu lungimea maximă de 2346 octeți;
- de control, spre exemplu **RTS** (*Request to Send*) de numai 20 octeți, **CTS** (*Clear to Send*) de 14 octeți sau de confirmare **ACK** a recepției;
- de management al rețelei.

**Nota.** Între cadre există intervale de timp libere **IFS** (*IntraFrame Space*), când nu se transmite nimic, de dimensiuni diferite, numite după funcția pe care o îndeplinesc:

**SIFS** (*Short IFS*),  
**PIFS** (*Point Coordination Function IFS*) și  
**DIFS** (*DCF-IFS*).

## SERVICIUL DCF (*Distributed Coordination Function*)

Serviciul DCF este un serviciu pentru transmiterea datelor prin tehnologia ATM, în sistem concurențial al stațiilor, bazat pe algoritmul CSMA/CA de detecție a putătoarei.

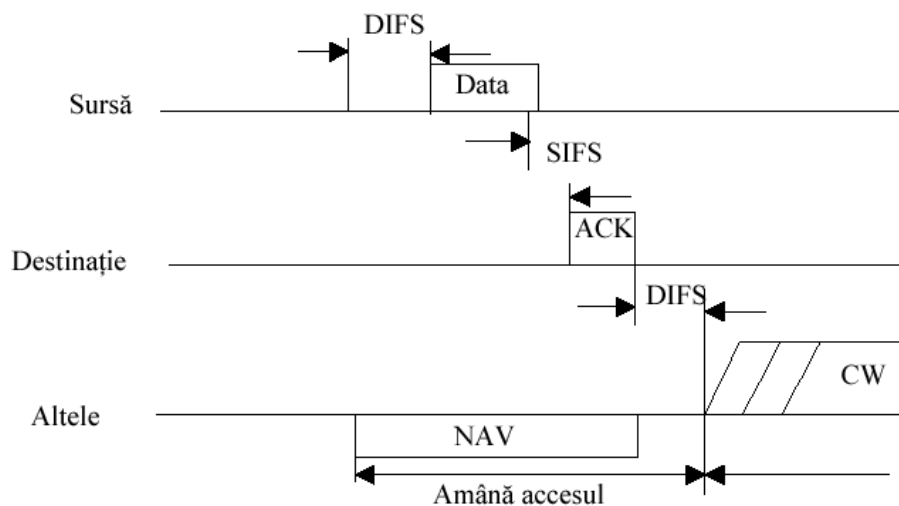


Fig. 7.4.

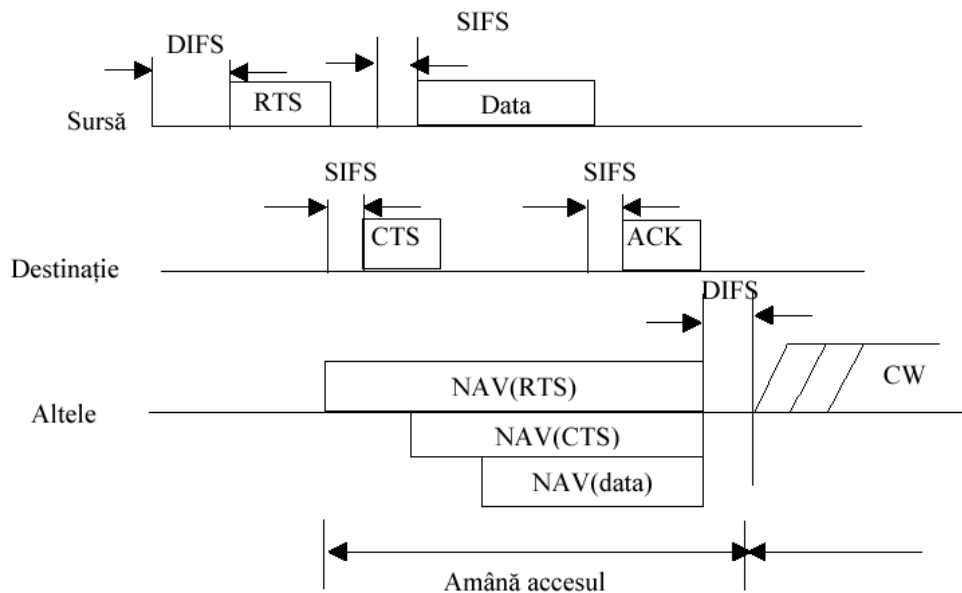
**Transmisia unui pachet de date** poate avea loc după cum urmează.

- Stația sursă sesizează canalul liber, așteaptă o perioadă **DIFS** și verifică dacă este liber;
- Este liber și stația sursă transmite un cadru de date MPDU (Data);
- Stația destinație verifică dacă pachetul a fost transmis corect;
- Recepția este corectă și așteaptă un interval de timp de lungime **SIFS**;
- Transmite un cadru de confirmare pozitivă (**ACK**) către stația sursă.

Fiecare stație are un vector de alocare **NAV** în care notează după cât timp va deveni liber canalul de comunicație. Toate stațiile își actualizează valorile din NAV (cât timp va fi ocupat canalul) pe baza informației înscrisă în câmpul de durată al cadrului de date. În figura 7.4 este prezentată diagrama de timp pentru transmisia și recepția pachetelor fără a utiliza pachetele de control RTS și CTS. “Altele” reprezintă celelalte stații din sistem.

**Transmisia unui pachet de date** prin utilizarea pachetelor de control **RTS, DTS**, decurge ca mai jos (vezi și figura 7.5).

- Stația sursă sesizează un canal liber, așteaptă o perioadă **DIFS** și verifică dacă este liber;
- Este liber și stația sursă transmite un pachet **RTS** (*Request to Send*);
- După o perioadă de așteptare de un **SIFS** stația destinație răspunde cu un pachet **CTS** (*Clear to Send*);
- Stația sursă transmite un **MPDU (Data)**, de fapt numai un cadru dacă datele MPDU au fost fragmentate;
- După o perioadă de așteptare de un **SIFS** stația destinație răspunde cu un pachet de confirmare a recepționării corecte **ACK**;
- După o confirmare ACK, stația sursă așteaptă un **SIFS** și transmite fragmentul (cadrul) următor;
- Canalul este eliberat numai după ce s-a transmis cu succes tot MPDU;
- Atunci când stația sursă nu primește cadrul de confirmare ACK (după vreun fragment) de la stația destinație, întrerupe transmisia și intră în concurență cu celelalte stații pentru accesul la canal (prin metoda CSMA/CA). După ce preia accesul la canal retransmite pachetul (fragmentul).



**Fig. 7.5.**

Pe linia “Altele”, în diagrama din figura 7.5, este prezentat modul în care celelalte stații își actualizează valorile din NAV (cât timp va fi ocupat canalul).

**Algoritmul CSMA/CA** permite stabilirea stării canalului de comunicație (ocupat sau liber), prin **deteția purtătoarei** .

Testarea canalului (deteția purtătoarei) poate fi realizată:

- la nivelul fizic, pe interfața radio (*Physical Carrier Sensing*);
- la nivelul logic, subnivelul MAC (*Virtual Carrier Sensing*).

Deteția fizică a purtătoarei se face prin analiza tuturor pachetelor detectate, supraveghind puterea relativă a semnalului.

Deteția virtuală a purtătoarei (la nivel logic) se face citind cei doi octeți ai câmpului de durată din antetul **RTS**, **CTS** și din antetul cadrelor de date. Câmpul de durată spune cât timp va mai fi ocupat canalul. Acest timp îl înscrie în NAV, pentru a putea calcula momentul la care să ceară accesul.

Cererea de acces (sau transmisia pachetului de date în cazul primei metode) nu se face exact la momentul calculat, pentru că și alte stații au același timp înscris și s-ar produce o coliziune, ci după un timp aleatoriu. Timpul de revenire aleatoriu este un număr întreg de cuante ( de la 1 la 15) stabilit de fiecare stație pe baza unui generator de numere aleatorii.

**Avantajul DCF** față de serviciul **PCF** constă în aceea că asigură un acces cu **șanse egale** pentru toate stațiile **dar** nu poate garanta o întârziere minimă care să permită transmiterea în timp real a pachetelor de voce sau video.

### **SERVICIUL PCF (*Point Coordination Function*)**

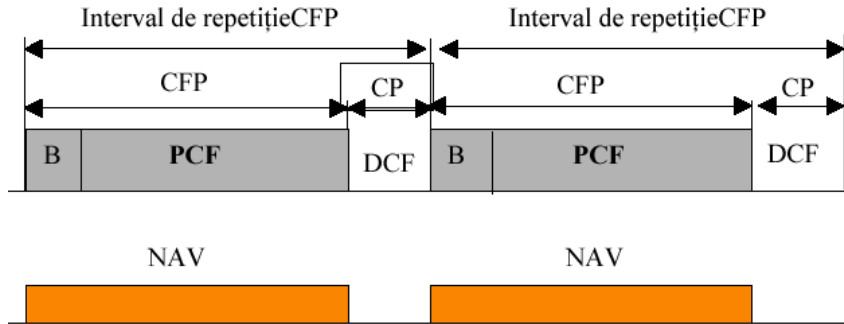
PCF este un serviciu orientat pe conexiune, care asigură transferul neconcurențial al cadrelor, pe baza interogării de către punctul de acces AP (*Acces Point*) a stațiilor.

Elementul master în celulă este AP, care îndeplinește funcția **PC** de coordonare a accesului la canalul de comunicație.

Unele stații folosesc serviciul DCF altele serviciul PCF, motiv pentru care se alocă, în canalul de comunicație, un interval de timp **CFP** pentru PCF și ceea rămâne (adică **CP**) se alocă serviciului DCF.

PCF se repetă după un interval de timp stabilit de parametrul numit **CFP-Rate**, ca în figura 7.6.

S-a notat **B** cadrul de balizare (*B – beacon*), trimis de AP pentru sincronizare și pentru a iniția intervalul de repetiție a CFP. Durata intervalului CFP permite transmiterea a maximum două MPDU. Raportul celor două durate este stabilit de AP (la trafic mic crește CP).

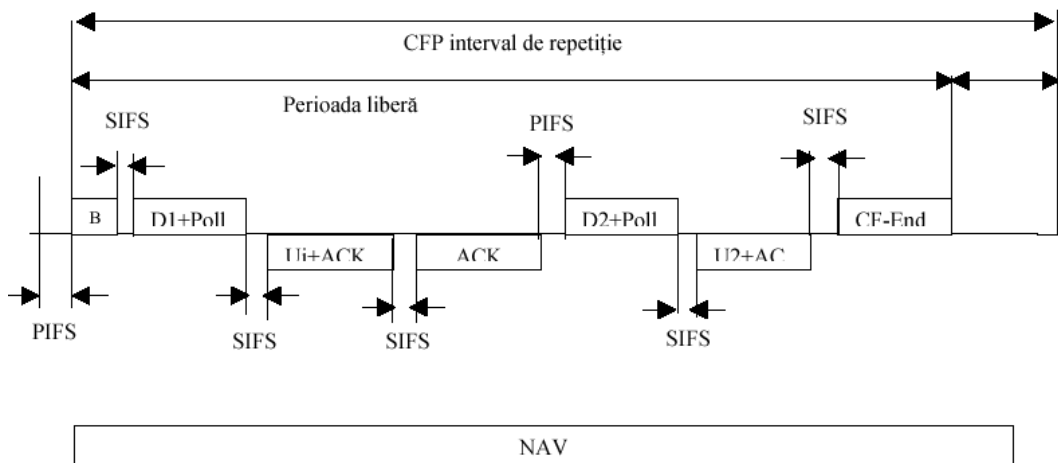


**Fig. 7.6.**

Logica transmisiei a serviciului **PCF** este următoarea:

- La începutul CFP, PC testează mediul pe un interval de timp **PIFS** (*Point Coordination Function IFS*), apoi transmite un cadru **B** pentru inițierea intervalului de recepție CFP.

- Așteaptă un interval **SIFS**, apoi transmite cadre **CF-Poll** (fără date), sau cadre de Date sau cadre de Date +CF-Poll, ș.a.m.d., iar la sfârșitul intervalului trimite cadru CF-End.



**Fig. 7.7.**

După fiecare cadru PC așteaptă confirmarea de recepție printr-un cadru ACK, care semnifică faptul că recepția s-a desfășurat normal și cadrul a fost recepționat corect, ca în figura 7.7.

**PC interoghează o stație transmițându-i un CF-Poll.**

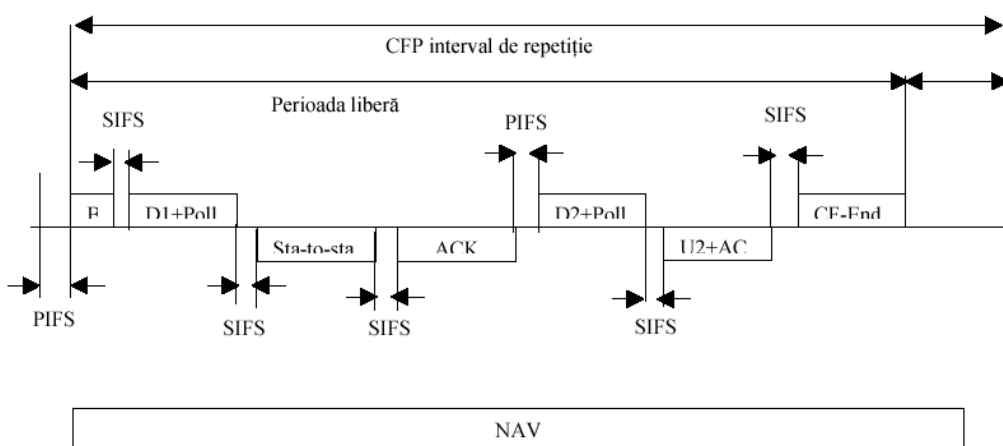
- Dacă stația destinație nu are nimic de transmis, aceasta transmite un cadru **Null Function** înapoi la PC.

- Dacă stația are ceva de transmis unei alte stații, după un interval de timp **SIFS**, răspunde la CF-Poll cu **un cadru** pentru stația destinație.

- Stația de destinație răspunde, după recepționarea cadrului de date cu un cadru de confirmare **ACK**.

- După ACK PC așteaptă un interval de timp **PIFS** (*Point Cordination Function IFS*) apoi continuă procesul de interogare urmat de **SIFS** și de transmiterea propriu-zisă a cadrului următor, ca în figura 7.8 .

Dacă PC nu recepționează o confirmare ACK pentru un cadru transmis, PC așteaptă un interval PIFS și continuă interogarea stației următoare din lista de interogări.



**Fig. 7.8.**

**Conectarea la Internet** a terminalelor mobile din rețeaua WLAN se face prin intermediul punctului de acces AP. [6,8,24]

O stație care a schimbat poziția trebuie să se înregistreze la un agent dedicat și anume **la un AP 802.11**, un **controler DECT** sau o **centrală GSM**. Agentul dedicat este numit agent străin **FA** (*Foreign Agent*).

Respectivul agent ia legătura cu agentul de origine **HA** (*Home Agent*) care este responsabil cu urmărirea adresei curente a stației.

### 7.3. Tehnologia WiFi

Sistemul de comunicații mobile **WiFi** (*Wireless Fidelity*) este standardizat la nivelul fizic și nivelul MAC, de IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) în documentația 802.11.

Rețelele bazate pe tehnologia **WiFi** (*Wireless Fidelity*) sunt implementate în spații comerciale, restaurante, gări, aeroporturi în scopul furnizării accesului la Internet, fără taxe, tuturor utilizatorilor de echipamente (telefoane mobile, calculatoare, MP3 playere, PDA, ș.a.) care se află în aria de acoperire.

Spațiul acoperit de un singur punct de acces (*access point*) se limitează la 1,...,2 încăperi dar în exteriorul clădirilor distanța crește la câteva zeci de metri (60,...,100m).

Pentru creșterea acoperirii se formează rețele cu mai multe puncte de acces interconectate.

Rețelele WiFi pot fi de tipul ad-hoc, permițând conectarea între ele (*peer-to-peer*) a echipamentelor diverșilor utilizatori.

**Tabelul 1.**

<b>Caracteristica/ standardul</b>	<b>802.11a</b>	<b>802.11b</b>	<b>802.11g</b>	<b>802.11n</b>
Viteza maximă ( <i>Mbps</i> )	54	11	54	<600
Tipul modulației	OFDM	CCK, DSSS	CCK, DSSS, OFDM	CCK, DSSS, OFDM
Banda de frecvență ( <i>GHz</i> )	5	2.4	2.4	2.4 sau 5
Numărul de spoturi spațiale	1	1	1	1, 2, 3, sau 4
Lățimea standard a canalului ( <i>MHz</i> )	20	20	20	20 sau 40

Standardul 802.11 are 14 variante, pentru diferite benzi de frecvență nelicențiate și anume pentru benzile de 2.4 *GHz* , 5 *GHz* și pentru benzi licențiate din domeniul 6,...,60 *GHz*.

Dintre cele 14 variante s-au impus 4 standarde cu principalele caracteristici prezentate în tabelul 1.

Viteza tipică de transfer a datelor, din cauza congestiei rețelei de comunicații, este aproximativ jumătate din viteza maximă.

Astfel pentru 802.11b se poate conta pe 5 *Mbps*, pentru 802.11g pe 24 *Mbps* iar pentru 802.11n pe 140 *Mbps*.

**Tabelul 2.**

<b>Debiul (Mbps)</b>	<b>Nr. purtatoare</b>	<b>802.11a 5.2GHz</b>	<b>802.11b 2.4GHz</b>	<b>802.11g 2.4GHz</b>
1	1		<b>Barker</b>	<b>Barker</b>
2	1		<b>Barker</b>	<b>Barker</b>
5.5	1		<b>CCK/PBCC(opt)</b>	<b>CCK/PSCC(opt)</b>
6	mai multe	<b>OFDM</b>		<b>OFDM/CCK-OFDM(opt)</b>
9	mai multe	OFDM (opt)		OFDM,CCK-OFDM(opt)
11	1		<b>CCK/PBCC(opt)</b>	<b>CCK/PSCC(opt)</b>
12	mai multe	<b>OFDM</b>		<b>OFDM/CCK-OFDM(opt)</b>
18	mai multe	OFDM (opt)		OFDM,CCK-OFDM(opt)
22	1			PSCC(opt)
24	mai multe	<b>OFDM</b>		<b>OFDM/CCK-OFDM(opt)</b>
33	1			PSCC(opt)
36	mai multe	OFDM (opt)		OFDM,CCK-OFDM(opt)
48	mai multe	OFDM (opt)		OFDM,CCK-OFDM(opt)
54	mai multe	OFDM (opt)		OFDM,CCK-OFDM(opt)

Tehnica de modulație și viteza de transfer diferă în funcție de condițiile de propagare ale semnalului. Dacă condițiile sunt bune se folosește viteza de 11*Mbps* (pentru standardul 802.11b) iar dacă condițiile de propagare se înrăutățesc se scade la 5.5*Mbps* apoi la 2*Mbps* și în final la 1*Mbps*.

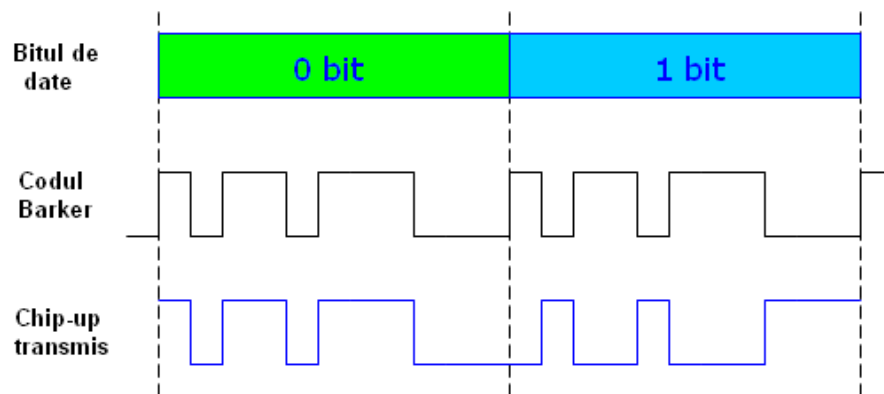
În tabelul 2 sunt prezentate tehnicile de modulație care pot fi utilizate pentru diverse debite de transfer, unde opt semnifică faptul că respectivele tehnici sunt opționale.



S-a notat cu PBCC (*Packet Binary Convolutional Code*) tehnica de modulație covoluțională binară.

Împrăștierea spectrală **DSSS** (*Direct Sequence Spread Spectrum*) este folosită pentru debite de 1 *Mbps* și 2 *Mbps* cu ajutorul codurilor Barker. Practic între bitul de date și un număr pseudoaleator PN se face XOR, obținând mai mulți biți.

În cazul **codării Barker** se folosește un cod Barker (număr pseudoaleator) cu lungimea de 11 biți (11100010010), așa încât bitul de date 1 devine 10110111000 iar bitul de date 0 devine 01001000111. Secvența de 11 biți se numește chip, vezi figura 7.9.



**Fig. 7.9.**

În figura 7.10 sunt prezentate canalele de comunicație (1,...,13) folosite în Europa pentru banda de 2.4GHz. Distanța între două canale vecine este de 5MHz.

Un bit de date necesită o bandă de 2MHz, ceea ce înseamnă că 11 biți au nevoie de un canal de comunicație de 22MHz. Acesta este motivul pentru care lățimea canalului de comunicație (pentru standardul 802.11b), este de 22MHz și nu de 20MHz cum apare în standard.

Pentru a obține debitul de 1Mbps modulația folosită pentru purtătoare este **DBPSK** (care utilizează două faze ale purtătoarei, una pentru 0 și alta pentru 1), iar pentru 2Mbps modulația folosită este **DQPSK** (care utilizează 4 faze ale purtătoarei, corespunzătoare secvențelor de biți 00,01,10,11 – se transmit câte doi biți).

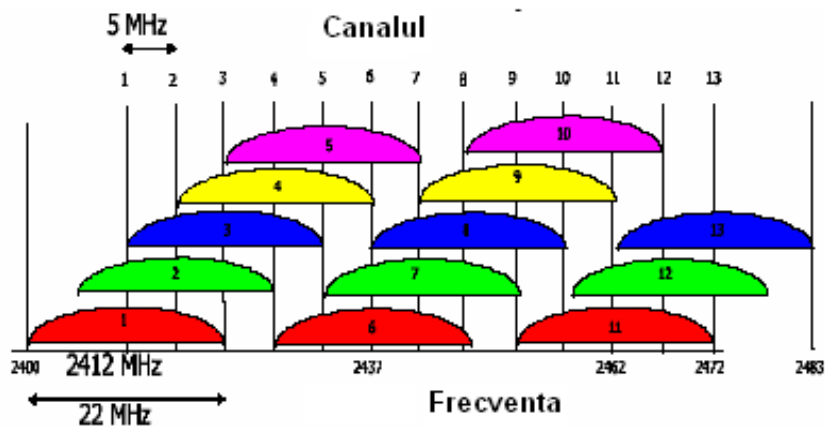


Fig. 7.10.

În cazul **codării CCK** (*Complementary Code Key*) nu se folosesc coduri binare ortogonale ci se folosesc semnale complexe (simboluri) cu proprietatea de ortogonalitate.

Semnalele complexe au o parte reală (axa Q) și o parte imaginară (axa I). Vectorul simbolului din planul complex este poziționat la un unghi de 0, 90, 180, 270 grade.

În figura 7.11 este prezentat un semnal complex (cu cele două componente Q și I).

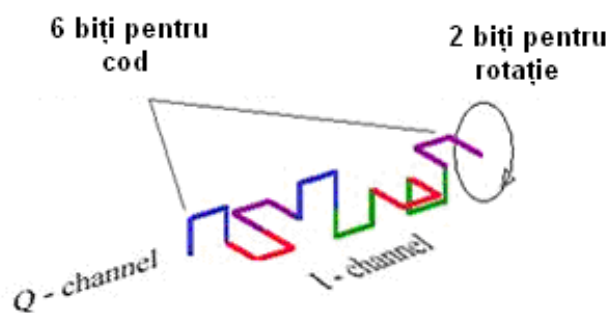
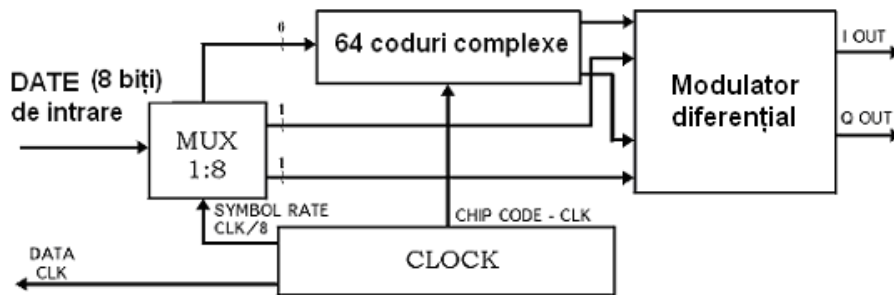


Fig. 7.11.

Pentru debitul de 11Mbps se folosesc 256 de simboluri care se asociază celor 8 biți de date.

De fapt 6 biți determină unul din cele 64 de simboluri, iar ceilalți 2 biți efectuează o rotație a simbolului (cu 0, 90, 180, 270 grade), ca în figura 7.12.



**Fig. 7.12.**

Pentru a obține debitul de  $5.5\text{Mbps}$  se folosesc numai 64 de simboluri, astfel transmițând numai 4 biți de date pe fiecare simbol.

În cazul **codării OFDM**, pentru a obține diverse debite se schimbă tehnica de modulare și raportul dintre (numărul de biți din date)/(numărul de biți din cod) raport notat cu (CR), ca în tabelul 3.

**Tabelul 3.**

Debiul (Mbps)	Metoda de modulație	CR	Nr. biți de date pe simbol OFDM	Nr. biți codați/subpurtătoare
6	BPSK	1/2	24	1
9	BPSK	3/4	36	1
12	QPSK	1/2	48	2
18	QPSK	3/4	72	2
24	16-QAM	1/2	96	4
36	16-QAM	3/4	144	4
48	64-QAM	2/3	192	6
54	64-QAM	3/4	216	6

Un canal de  $16.25\text{MHz}$  este divizat în 52 subpurtătoare, dintre care 48 sunt folosite pentru transportul datelor și 4 conțin semnale pilot pentru sincronizarea receptorului cu emițătorul.

Se constată că în cazul OFDM banda unui canal (pentru  $2.4\text{GHz}$ ) este de  $16.25\text{MHz}$  față de  $22\text{MHz}$  în codarea Barker sau CCK.

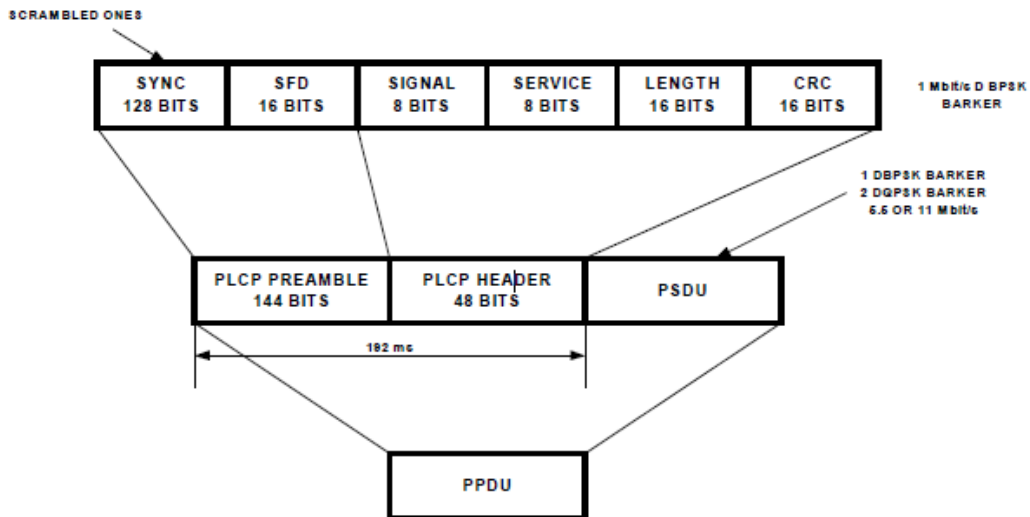
Din punctul de vedere al timpului, un simbol OFDM ocupă  $3.2\mu\text{s}$  la care se adaugă un interval de gardă de  $0.8\mu\text{s}$ , adică în total se folosesc  $4\mu\text{s}$  pentru transmisia unui simbol.

**Exemplu.** Pentru debitul de  $54\text{Mbps}$  : modulația fiind 64QAM o subpurtătoare transportă 6 biți/subpurtătoare x 48 subpurtătoare = 288 biți/simbol x  $3/4(\text{CR}) = 216$  biți de date/simbol.

Debitul calculat este  $216 \text{ biți} / 4\mu\text{s} = 54\text{Mbps}$ .

Nivelul fizic are două componente **PLCP** (*Physical Layer Convergence Protocol*) și **PMD** (*Physical Medium Dependent*). PMD se ocupă de modularea și demodularea cadrelor vehiculate între două stații, sub controlul PLCP. PLCP, la comanda nivelului MAC (*Media Access Control*), pregătește MPDU pentru transmisie și trimite cadrele recepționate către nivelul MAC. Totodată PLCP pregătește un semnal CCA (*Clear Channel Assessment*), prin intermediul căruia MAC să cunoască canalele libere.

Nivelul MAC comunică cu nivelul fizic (subnivelul PLCP) prin intermediul primitivelor.



**Fig. 7.13.**

Există două formate ale PPDU (*PLCP Protocol Data Unit*), unul lung – prezentat în figura 7.13 și altul scurt – prezentat în figura 7.14.

Preambulul are 144 biți dintre care 128 sunt folosiți pentru sincronizare și 16 biți reprezintă biții de start SFD (*Start Frame Delimiter*) pentru hederul PLCP.

Hederul, de 48 de biți, conține câmpuri care precizează viteza de transmisie (SIGNAL), tipul modulației (SERVICE), timpul necesar transmisiei unui PSDU (LENGTH) și cuvântul de control (CRC).

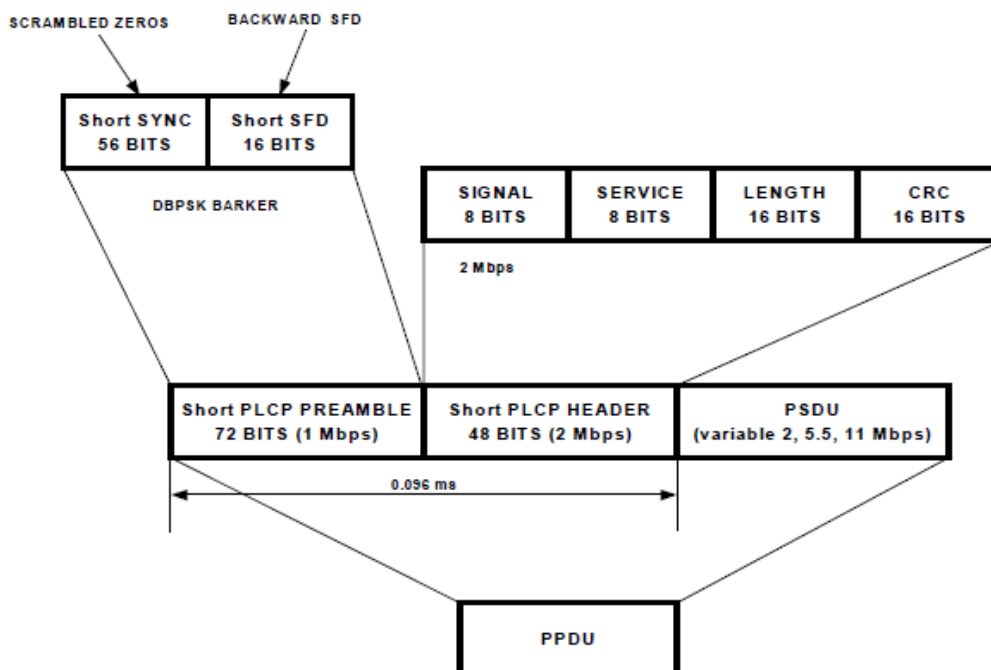


Fig. 7.14.

Formatul scurt al PPDU, are preambulul de 72 biți și hederul de 48 biți. PSDU poate avea lungimea de 64,...,1500 octeți.

## 7.4. Tehnologia WiMax

**WiMax** (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) este o tehnologie wireless care își propune să obțină performanțe mai bune decât WiFi în ceea ce privește viteza de transfer a datelor și aria de acoperire. Sistemul este standardizat la nivelul fizic și nivelul MAC, de IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) în documentația **802.16**. Serviciile asigurate de WiMax sunt de voce, video și de date.

WiMax are specificații diferite pentru **Fixed WiMax** și **Mobile WiMax**, primul pentru stații fixe iar cel de al doilea pentru stații în mișcare (mobile).

Figura 7.15 permite o comparație între principalele sisteme wireless de telecomunicații și WiMax din punctul de vedere al acoperirii.

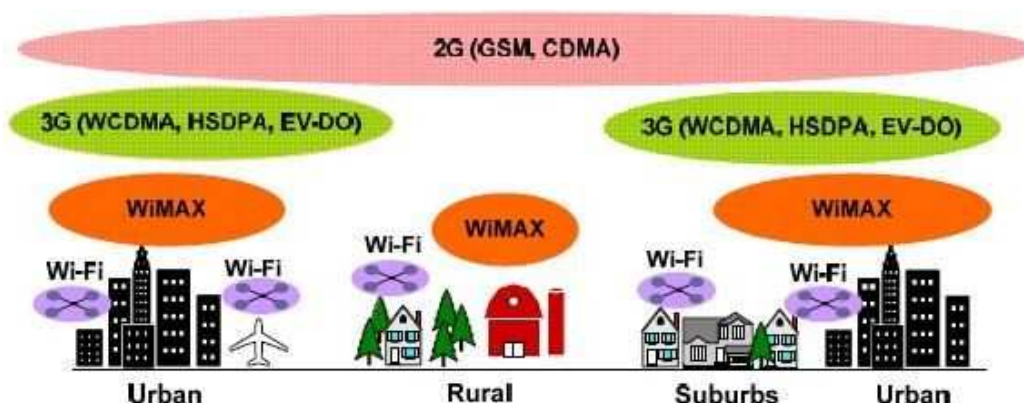


Fig. 7.15.

Pentru o bandă de frecvență de  $20\text{MHz}$  tehnologia permite, o arie de acoperire de maximum  $50\text{ km}$  și un debit de  $75\text{ Mbps}$ .

Banda de frecvențe este scalabilă, în sensul că operatorul poate împărți banda de  $20\text{MHz}$  în sectoare (doua sectoare de  $10\text{ MHz}$  sau 4 sectoare de  $5\text{ MHz}$  fiecare). Astfel, concentrând puterea emițătorului pe sectoare înguste, va putea menține calitatea semnalului permițând accesul mai multor utilizatori și menținând aria de acoperire.

De fapt banda unui canal poate fi în domeniul  $1.25, \dots, 20\text{MHz}$ .

**Notă.** Sectorizarea se referă la faptul că aria de acoperire a unei antene omidirecționale este împărțită în mai multe zone (numite sectoare) prin înlocuirea antenei omnidirecționale cu mai multe antene direcționale (2,...,4 antene). Fiecare antenă direcțională va deservi un sector.

În tabelul 4 este prezentată viteza care se obține (în  $\text{Mbps}$ ) pentru sectoare de  $10\text{ MHz}$  și de  $5\text{ MHz}$ , în condițiile în care se folosesc diverse tehnici de modulație, cu prefix ciclic de diferite dimensiuni.

**Tabelul 4.**

Banda	5 MHz				10 MHz				
	G	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
BPSK- 1/2	1.7	1.9	2	2.1	3.46	3.84	4.07	4.19	
QPSK- 1/2	3.5	3.8	4.1	4.2	6.91	7.68	8.13	8.38	
QPSK- 3/4	5.2	5.8	6.1	6.3	10.37	11.52	12.20	12.57	
16QAM -1/2	6.9	7.7	8.1	8.4	13.82	15.36	16.26	16.76	
16QAM -3/4	10.4	11.5	12.2	12.6	20.74	23.04	24.40	25.15	
64QAM -2/3	13.8	15.4	16.3	16.8	27.65	30.72	32.53	33.51	
64QAM -3/4	15.6	17.3	18.3	18.9	31.10	34.56	36.59	37.70	

Utilizatorii mai apropiați de stația de bază (SNR fiind bun) pot folosi modulația cu mai multe semnale (spre exemplu 64 QAM) ceea ce determină viteze mai mari de transfer a datelor față de cei de la marginea celulei care trebuie să folosească o tehnică de modulație mai robustă (spre exemplu QPSK sau BPSK).

Specificațiile pentru **Fixed WiMax** sunt cuprinse în standardul 802.16d, care propune înființarea unor rețele wireless pentru înlocuirea transferului prin cablu (*DSL replacement*) la debite de *75 Mbps*. Dimensiunea unei celule este de maximum *50km*.

Specificațiile pentru **Mobile WiMax** sunt cuprinse în standardul 802.16e, care propune înființarea unor rețele wireless pentru transferul datelor la debite de *15 Mbps*, cu o rază a celulei de *6, ..., 10 km*, pentru utilizatori în mișcare cu viteza de maximum *120 km/h*.

Benzile de frecvență utilizate de cele două componente ale WiMax sunt diferite.

Astfel **Fixed WiMax** operează în benzile (vezi și tabelul 5):

- *10, ..., 60GHz*, folosind o singură purtătoare radio, pentru aplicații **LOS** (*Line-of-Sight*) – în care cele două antene (emițător și receptor) se văd una cu cealaltă;
- *11GHz*, pentru aplicații **LOS** (*Line of Sight*) și **NLOS** (*Non Line of Sight*), unde se aplică tehnologiile de acces OFDM și OFDMA;
- *5.8GHz* sau *3.5GHz*.

**Mobile WiMax** operează în benzile cu frecvențe mai mici de *6GHz* (vezi tabelul 6).

**WiMAX Forum**, față de standardul IEEE 802.16, recomandă o serie de profile pentru rețelele WiMax, profile care impun, pentru o bandă de frecvențe dată, lățimea de bandă și modul de duplexare.

Astfel în tabelul 5 sunt prezentate profilele pentru **Fixed WiMAX** iar în tabelul 6 profilele pentru **Mobile WiMAX**.

**Tabelul 5.**

	<b>Banda de frecvență a sistemului Fixed WiMAX (GHz)</b>	
<b>Banda canalului (MHz)</b>	<b>3.5 – 3.6</b>	<b>5.725 – 5.850</b>
<b>3.5</b>	TDD/FDD	
<b>7.0</b>	TDD/FDD	
<b>10</b>		TDD

**Tabelul 6.**

		<b>Banda de frecvență a sistemului Mobile WiMAX (GHz)</b>					
<b>Banda canalului (MHz)</b>	<b>Dimensiunea FFT</b>	<b>2.3 - 2.4</b>	<b>2.305-2.32</b>	<b>2.345-2.36</b>	<b>2.496-2.69</b>	<b>3.3 - 3.4</b>	<b>3.4-3.8</b>
<b>5.0</b>	512	TDD	TDD	TDD	TDD	TDD	TDD
<b>7.0</b>	1024					TDD	TDD
<b>8.75</b>	1024	TDD					
<b>10</b>	1024	TDD	TDD	TDD	TDD	TDD	TDD



**Fixed WiMax** își găsește locul în aplicații care necesită debite mari de date:

- poate fi o alternativă pentru DSL, motiv pentru care WiMax este numit Wireless DSL;
- conectarea între ele a stațiilor de bază pentru alte sisteme celulare;
- realizarea de hotspoturi în zonele metropolitane de viteză mare, actualmente implementate cu rețele WiFi.

De altfel Fixed WiMax poate prelua toate serviciile tehnologiei WiFi, asigurând o acoperire și o viteză mai mare.

**Mobile WiMax** își găsește locul în aplicații care necesită debite mari de date, pentru echipamente fixe și echipamente în mișcare (la viteza de maximum 120 km/h) furnizând acestora:

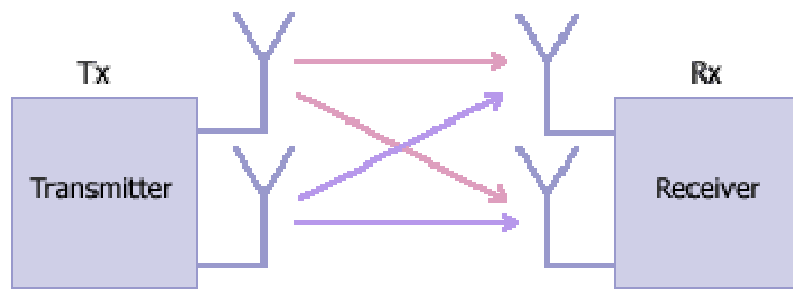
- Internet de mare viteză, cu transfer de fișiere mari într-un timp rezonabil;
- streaming de muzică, filme sau TV live;
- jocuri online cu mai mulți jucători;
- telefonie de tipul VoIP.

Succesul tehnologiei **WiMax** are la bază o serie de tehnici și algoritmi care să permită funcționarea atât în medii LOS cât și în medii NLOS, tehnici care vor fi enumerate în cele ce urmează.

Am prezentat la începutul paragrafului tehnica de **sectorizare** adaptivă alături de implementarea unor algoritmi de formare a radiației antenei așa încât să se formeze lobi pentru fiecare utilizator, eliminându-se astfel interferența datorată unor utilizatori din apropiere. Pe de altă parte tehnica de formare a lobilor antenei (*beamforming*) permite scăderea puterii de emisie și creșterea acoperirii.

O tehnică de acces **SDMA** (*Space Division Multiple Access*), folosind la stația de bază mai multe antene cu orientare spațială diferită, permite mai multor utilizatori să transmită și recepționeze în același timp pe același sub-canal, fără interferențe fiecare accesând altă antenă din stația de bază. Reprezintă un sistem **MISO** (*Multiple Input Multiple Output*)

În scopul creșterii debitelor se folosește tehnica **MIMO** (*Multiple Input Multiple Output*) în care atât stația de bază cât și receptorul sunt prevăzute cu mai multe antene. Numărul de antene la fiecare este același, spre exemplu 2x2, ca în figura 7.16, sau 4x4 antene.



**Fig. 7.16.**

Mobile WiMAX poate folosi tehnica MIMO, pentru a maximiza eficiența spectrală fără a micșora aria de acoperire, în două moduri: fie multiplexarea spațială **SM** (*Spacing Multiplexing*) fie codarea spațială **STC** (*Space Time Coding*) Comutarea dinamică între cele două moduri (SM și STC), în funcție de proprietățile canalului, este numită **AMC** (*Adaptive MIMO Switching*).

**Subcanalizarea** permite tehnologiei WiMax de a concentra puterea de transmisie pe sub-canale alocate utilizatorilor mai îndepărtați de stația de bază, sau utilizatorilor aflați în interiorul clădirilor, ceea ce va determina o mai bună acoperire.

Subcanalizarea poate fi aplicată deoarece tehnica de acces OFDM/OFDMA împarte banda de frecvență disponibilă în foarte multe subpurtătoare. Un subcanal se obține prin gruparea mai multor subpurtătoare adiacente.

Pe de altă parte subcanalizarea elimină fadingul selectiv în frecvență prin egalizarea aplicată la nivelul subcanalelor.

**Securitatea** datelor vehiculate în rețele WiMax este asigurată de criptarea pe interfața radio utilizând **DES** (*Data Encryption Standard*) sau **AES** (*Advanced Encryption Standard*) și de necesitatea autentificării utilizatorilor (dispozitivelor utilizator) prin intermediul certificatelor digitale sau a SIM-urilor (*Subscriber Identity Module*).

# 8

## SISTEME DE COMUNICAȚIE CU CONSUM MIC

Prezentul capitolul, are în vedere sistemele wireless de achiziție a parametrilor furnizați de diferiți senzori și transferul acestora către sistemele de monitorizare sau prelucrare, în condițiile unui consum energetic cât mai mic.

Sistemele care îndeplinesc condițiile sunt realizate pe baza protocoalelor **ANT**, **Bluetooth Low Energy** ( $\mu$ Blue) și **ZigBee**, ale căror caracteristici vor fi prezentate în cadrul capitolului.

### 8.1. Sistemul ANT

**ANT+**, ca și **ANT**, este o tehnologie wireless, proprietate a firmei canadiene *Dynastream Innovations Inc.*, concepută pentru achiziția semnalelor de la diferite traductoare pentru semnale biologice sau mecanice și transferul datelor către centrul de monitorizare. Distanța dintre cele două entități (traductor și centru de prelucrare) nu trebuie să depășească 50m.

**Aplicații.** Principalele domenii în care este implementat sistemul ANT sunt diferite sporturi (cum ar fi ciclism, alergare, ș.a.), fitness și în domeniul medical, pentru rate de transfer de maximum 1 Mbps.

De regulă traductorul pe lângă senzor conține și echipamentul ANT de emisie – recepție, astfel încât cele două elemente constituie un nod al rețelei personale de comunicații. În terminologia folosită de companie se numesc profile ANT (vezi mai jos).

Rețeaua este personală deoarece datele sunt trimise către elementul de monitorizare, care poate fi un ceas sportiv sau un telefon mobil / PDA / tabletă cu posibilități de afișare a parametrilor și alarmare, precum și software pentru prezentare grafică.

Tehnologia ANT+ este disponibilă pe câteva telefoane mobile, spre exemplu Apple Iphone 4 și 4S, Motorola ș.a.

Datele sunt organizate în fișiere, cu extensia *.fit* – formatul *Flexible and Interoperable Data Transfer*, care pot fi descărcate pe un calculator personal sau laptop.

Câteva din profilele ANT sunt: [58]

- *Bicycle Power*, care măsoară fie direct puterea (în *W*), fie cuplul și viteza de rotație pe care le transmite la elementul de monitorizare atunci când se schimbă ceva sau la intervale date de timp;
- *Multi Sport Speed and Distance*, utilizează un GPS pe baza căruia calculează distanța parcursă și viteza de deplasare;
- *Heart Rate Monitor*, măsoară numărul de bătăi-minut ale inimii și le transmite la elementul de monitorizare (un ceas sau un telefon mobil);
- *Blood Pressure*, utilizează traductoare montate pe braț la nivelul inimii, pentru măsurarea și monitorizarea presiunii sanguine.

Tehnologia ANT este caracterizată printr-un consum mic de putere, nodurile fiind pe intervale mari de timp în regim de standby (*sleep mode*). Consumul mediu pentru un nod este de  $60 \mu A$ , pe când în regim de emisie preia din acumulator un curent  $13.5mA$  și un curent  $22mA$  în regim de recepție.

Circuitele integrate pentru protocolul ANT (emisie – recepție) sunt furnizate de *Nordic Semiconductor*, *Texas Instruments* ș.a. De altfel aceleași companii produc echipamente pentru protocolul Bluetooth de mică putere (*Bluetooth Low Energy protocol*) comercializate sub sigla *μBlue* - protocol care este în competiție cu protocolul ANT.

Canalele de radiocomunicație sunt implementate în banda de frecvență de  $2.4GHz$ , fiecare canal având o bandă de  $1MHz$ . Modulația este în frecvență de tipul *GFSK*.

Canalele de comunicație sunt realizate pe canalul radio prin diviziune în timp *TDMA*. Numărul maxim de sloturi de timp (canalele de comunicație) este de 65.536, deoarece frecvența mesajelor (de câte  $150 \mu s$ ) este mică cuprinsă în domeniul  $0.5Hz, \dots, 200Hz$ . [59]

Fiecare mesaj transportă 8 octeți de date (*payload*) însoțiți de 16 biți (*CRC*) pentru corecția erorilor.

Debitul datelor este de maximum  $1Mbps$ , pentru o acoperire de  $50m$ .

Topologia rețelelor ANT poate fi P2P, în stea, radială sau mesh (de tipul plasă). Fiecare nod are posibilitatea de a funcționa ca receptor, emițător sau ca releu de retransmisie. Orice nod poate fi un interval de timp de tipul master și alt interval de timp de tipul slave. Securitatea rețelei este asigurată de o cheie de 64biți.

## 8.2. Sistemul Bluetooth Low Energy

Standardul *Bluetooth Low Energy* (BLE), cu numele de piață *Bluetooth Smart*, este o tehnologie wireless care folosește echipamente electronice cu consum energetic foarte mic.

CSR (*Cambridge Silicon Radio*) produce și vinde cele mai multe integrate pentru Bluetooth 4, sub sigla CSR101x. [57]

**Aplicații.** Tehnologia este implementată în fiecare laptop și aproape în fiecare telefon mobil, cu scopul comunicării pe distanțe scurte (de maximum 50m) la un consum mic de energie din acumulator (a cărei durată de viață poate fi de 2,...,15 ani). Își găsește aplicații în domeniul sănătății (preluare date de la pedometrul, de la senzori biologici), în domeniul auto (preluarea presiunii din pneuri), în domeniul industrial, al automatizărilor casnice, controlul accesului, eliberarea de tichete, în aplicații de conectare a echipamentelor la Internet, ș.a. [60]

### Principalele caracteristici al BLE

- Distanța de propagare în exteriorul clădirilor este de maximum 150m, pentru o putere a emițătorului de 10mW.
- Curentul în stare activă (emisie) este de 15mA, iar în stare inactivă de 1 μA.
- Banda de frecvență folosită este 2.4GHz.
- Tehnica de modulație GFSK, cu salt de frecvență adaptiv.
- Debitul de transfer de 1Mbps, dar sistemul nu este optimizat pentru transferul de fișiere de dimensiuni mari.
- Securitatea prin AES-CCM de 128 biți.
- Rețeaua de comunicații poate fi numai în stea, cu 2 milioane noduri.
- Un echipament master poate administra 2,..., 5917 slave, cu un timp de acces la slave de 676 μs .

Banda de frecvență este divizată în 40 canale de câte 2MHz, dintre care 3 canale sunt pentru anunțare și restul de 37 canale pentru transferul datelor, vezi figura 8.1.

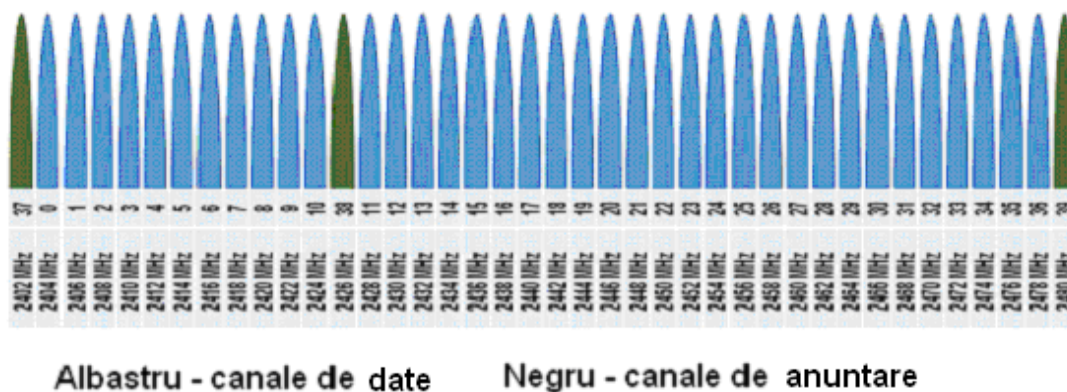


Fig. 8.1.

Echipamentul master poate efectua una din activități: conectat, difuzare, preluare date, înscriere date. Ultimele două moduri sunt asociate așa numitelor evenimente.

Canalele de anunțare sunt folosite pentru a-și anunța prezența în rețea unui echipament care vrea să se conecteze, pentru a transmite date unui dispozitiv care s-a conectat anterior. Transferul datelor către toate echipamentele (difuzare) se face prin intermediul unui canal de anunțare (și nu de date).

Nodurile pot fi în una din stările: inițializare, scanare, conectat, standby. Altfel spus stările echipamentului pot fi: master, slave, scanner, în starea de anunțare.

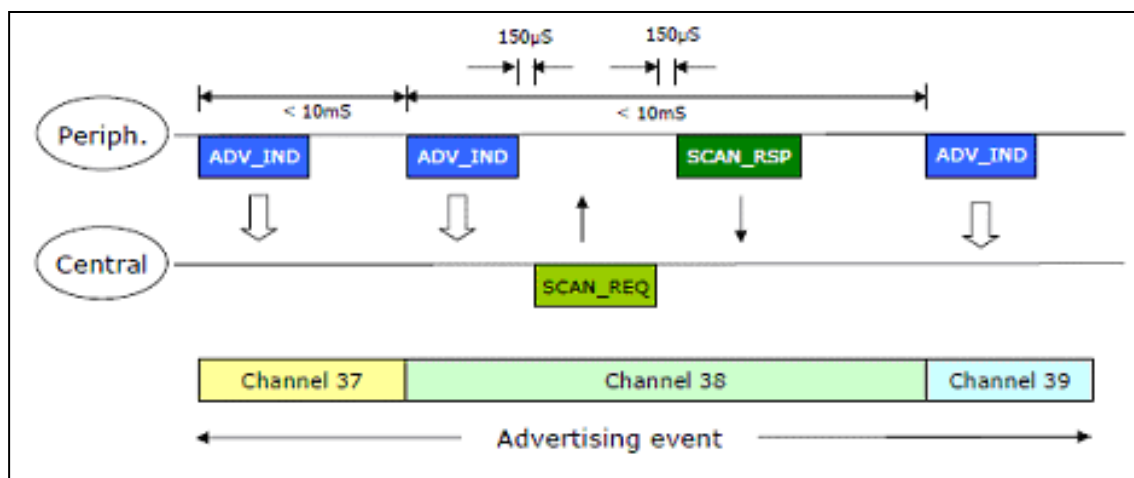
O rețea, numită **piconet**, este formată dintr-un echipament master și echipamentele sale slave.

Când un echipament vrea să trimită date folosește un canal de anunțare pentru a anunța intenția.

Celelalte echipamente sunt în regim de scanare, urmărind transmisiile de pe canalele de anunțare. Unul dintre aceste echipamente intră în regim de inițializare, în sensul trimite o cerere de conectare.

Cele două echipamente intră în starea de conectat, după ce echipamentul master i-a trimis echipamentului slave canalul de date care va fi folosit și elementele de securizare a comunicației.

Modalitatea în care sunt folosite canalele de anunțare este prezentată în figura 8.2.



**Fig. 8.2.**

Un pachet este format, vezi figura 8.3, dintr-un preambul, o adresă, 3 octeți CRC (*Cyclic Redundancy Check*) pentru corecția pachetului și 2,...,39 octeți de date (PDU).

Preambul	Adresa	PDU	CRC
(1 octet)	(4 octets)	(2 to 39 octets)	(3 octets)

**Fig. 8.3.**

În funcție de numărul de octeți din PDU transmisia unui pachet se face în 80 µs până la 300 µs .

### 8.3. Sistemul ZigBee

Protocolul ZigBee, publicat în anul 2005 suferă o serie de îmbunătățiri până în anul 2007 când se lansează protocolul **ZigBee Pro** iar în 2009 apare pe piață protocolul și standardul **ZigBee RF4CE** (*Radio Frequency for 4 Consumer Electronics*). [61]

Standardul ZigBee RF4CE a fost gândit pentru a prelua aplicațiile wireless din domeniul audio și video.

Specificațiile pentru nivelul fizic și nivelul MAC sunt precizate în cadrul standardului IEEE 802.15.4.

ZigBee Pro este o extensie a standardului ZigBee, promovat începând cu 2012, având drept scop creșterea performanțelor pe linia securității, a comunicării cu rețele implementate pe baza altor standarde și în scopul implementării conceptului de energie verde (*green power*) permițând funcționarea rețelei de comunicații în lipsa alimentării cu energie de la rețeaua de energie electrică.

Standardul ZigBee Pro nu este compatibil cu standardul ZigBee, deoarece se folosesc tehnici de rutare diferite.

Având în vedere că alimentarea se face din baterii sau prin recuperarea energiei din mediul exterior, pentru a crește durata de funcționare a sistemului, fiecare nod este o perioadă mare de timp în standby și devine activ numai atunci când are ceva de transmis.

În mod normal o baterie (nu se folosesc acumulatori) poate menține nodul în funcțiune până la 15 ani.

Pentru o comparație privind consumul energetic al unui nod avem: un nod ZigBee Pro consumă  $0.2mJ/ora$ , un nod ZigBee consumă  $20mJ/ora$ , iar un nod WiFi consumă  $2kJ/ora$ . [[www.ZigBee.org](http://www.ZigBee.org)]

**Aplicații.** Segmentele de piață cărora se adresează rețelele bazate pe standardul ZigBee Pro sunt din domeniile controlului industrial și automatizărilor din clădiri (birouri sau locuințe), pentru rate de transfer mici din domeniul  $20kbps$  la  $250kbps$  (vezi mai jos).

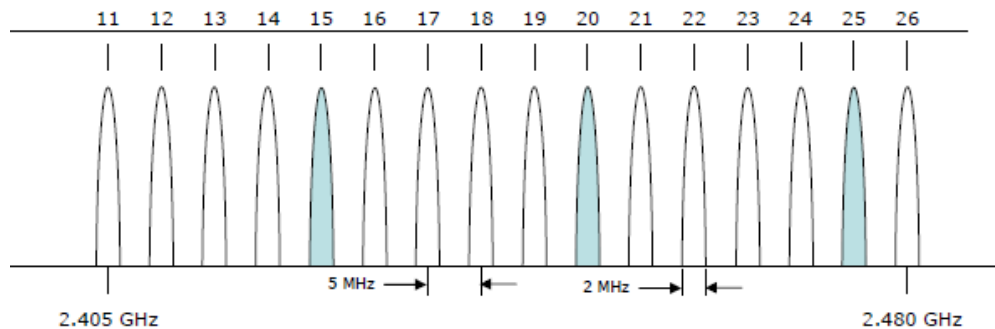
ZigBee Pro utilizează benzi de frecvență nelicențiate:

- pentru banda de  $2.4GHz$  se definesc 16 canale (cu lățimea de câte  $5MHz$ ) asigurând un debit de maximum  $250kbps$ ;
- în banda de  $868MHz$  (numai în Europa) se definește un singur canal de comunicație cu debitul de maximum  $20kbps$ ;
- pentru banda de  $915MHz$  (numai în America) se definesc 10 canale asigurând un debit de maximum  $40kbps$ .

Pentru fiecare din cele 3 benzi spectrul semnalului este extins prin tehnica de împrăștiere a spectrului de tipul DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*).

În figura 8.4 sunt prezentate canalele alocate (canalele 15, 20 și 25 din cele 40) de ZigBee RF4CE, pentru banda de frecvență de  $2.4GHz$ .





**Fig. 8.4.**

Distanța pe care semnalul poate fi recepționat depinde de condițiile de propagare și puterea transmițătorului, fiind din domeniul 10,...,100m.

Transferul datelor se face în pachete de 128 octeți dintre care maximum 104 octeți sunt ai utilizatorului și 4,...,8 octeți sunt pentru adresă.

Tehnica de modulație depinde de banda utilizată, astfel pentru banda de 868MHz și pentru banda de 915MHz se folosește modulația binară a fazei BPSK, cu câte un bit pe simbol și pentru împrăștiere se folosesc chipuri de 15 biți.

În banda de 2.4GHz se folosește modulația în cuadratură O-QPSK, cu 4 biți pe simbol iar pentru împrăștiere se folosesc chipuri de 32 biți.

Pentru a evita coliziunile accesul la canalul de comunicație se face prin tehnica CSMA-CA (*Carrier Sense Multiple Access – Collision Avoidance*). Criptarea datelor este realizată cu un algoritm AES (*Advanced Encryption Standard*) cu o cheie pentru blocuri de 128 biți.

O rețea ZigBee Pro poate conține până la 65560 noduri, fiecare fiind identificat prin intermediul unei adrese unice (lungă pe 8 octeți sau scurtă pe 4 octeți).

Pentru a preveni propagarea infinită (*loop*) în rețea a unui mesaj numărul de noduri prin care trece un mesaj este limitat la 30 (*hops*) de noduri.

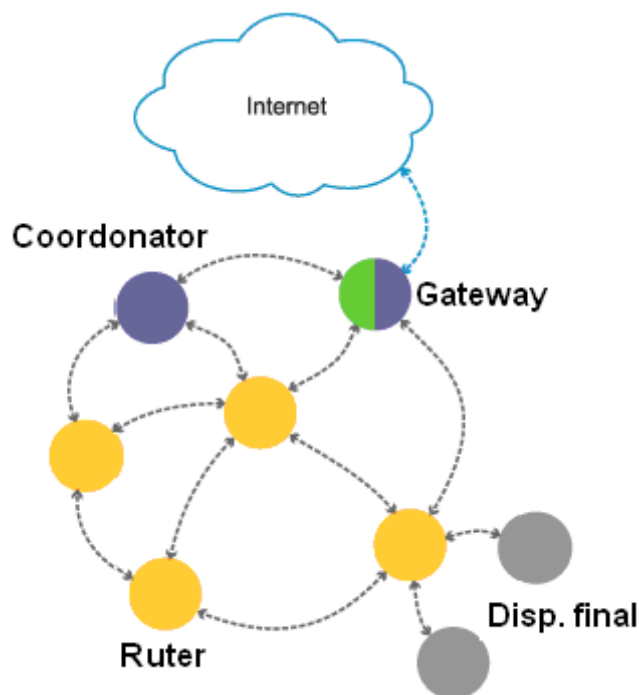
O rețea ZigBee Pro are în componență 3 tipuri de dispozitive: coordonatoare, rutere și dispozitive finale.

- Ruterul are rolul de a prelua mesajele nodului și de a le transmite către alt nod, conform unei tabele de rutare. Verificarea transmisiei se face prin recepționarea de către ruter a unor mesaje de confirmare.

- Dispozitivul coordonator este un ruter care are în plus funcțiile de inițializare a rețelei și de descoperire echipamentelor noi pe care le va integra în rețea.
- Dispozitivul final are numai posibilitatea de a intra în standby și de a ieși din această stare când are de transmis sau de recepționat ceva mesaje. Este elementul care permite conectarea la rețea a senzorilor și a elementelor de execuție.

Uneori senzorii complecși și o parte din elementele de execuție pot îndeplini atât funcția de conectare (de dispozitiv final) cât și funcția de ruter.

În figura 8.5. este prezentată o rețea cu 2 dispozitive finale, 4 rutere și două dispozitive de coordonare – dintre care unul are rol de gateway pentru accesul rețelei ZigBee Pro la rețeaua Internet.



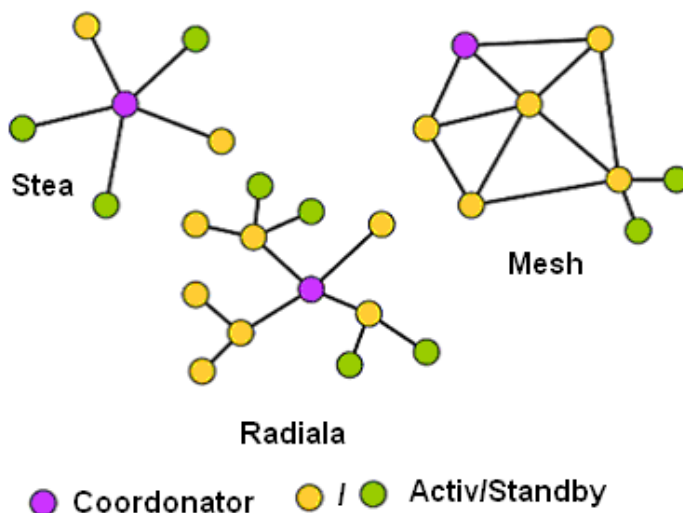
**Fig. 8.5.**

De notat că din rețeaua Internet datele sunt preluate cu debitele mici (maximum *250kbps*) impuse de tehnologia ZigBee Pro.

Practic rețeaua Internet este folosită pentru transferul datelor din rețeaua ZigBee Pro către sisteme de raportare/ monitorizare sau este folosită pentru medierea unor comenzi către dispozitivele ZigBee. [63]

Topologia rețelei poate fi în stea, radială bazată pe clustere sau mesh.

În figura 8.6 sunt evidențiate cele 3 tipuri de rețele. Echipamentele pot fi active sau în standby. Trezirea unui echipament se face în 15ms (de la standby la activ).



**Fig. 8.6.**

Având în vedere funcțiile dispozitivului coordonator, rețeaua nu trebuie configurată pentru că echipamentele vor fi descoperite și incluse în rețea.

Standardul ZigBee este în permanență îmbunătățit și promovat de către **ZigBee Alliance**, formată atât din firme care furnizează echipamente ( Texas Instruments, Freescale, ș.a.) cât și din firme care au drept scop implementarea standardului în diverse aplicații (spre exemplu Philips, Schneider Electric, ș.a.).

Texas Instruments produce integratele CC2530F32, 64, 128, 256 care sunt emițătoare și receptoare pentru banda de 2.4GHz, respectând standardul IEEE802.15.4 și ZigBee. Folosește un procesor 8051, pilotat de un cristal de cuarț extern cu frecvența de 32kHz, cu o memorie flash de 32, 64, 128 sau 256kb. Consumul în standby este de 1  $\mu A$ , de 24mA în recepție RX și de 29mA în regim de emisie, pentru o baterie de 2,...,3.6V. [62]

## Comparație ANT+ cu BLE

Ambele sisteme sunt implementate în noile telefoane mobile, ceea ce înseamnă că acestea pot fi utilizate în monitorizarea parametrilor transmiși de senzori prin intermediul oricăreia din protocoale.

Sunt suportate de sistemele de operare de pe telefoanele mobile (Windows, Android și IOS).

Rețeaua BLE acceptă un singur echipament master. Două rețele nu pot comunica între ele nefiind prevăzută comunicarea între două echipamente master.

Sistemul ANT+ poate forma rețele în stea, radiale sau mesh.

Sistemul ANT+ permite transmiterea datelor de la un singur senzor la mai multe echipamente de afișare.

Debitul datelor este comparabil, *1Mbps* la ambele sisteme.

Din punctul de vedere al licenței de utilizare BLE este fără taxe (ca și ZigBee pentru utilizare necomercială), ANT+ 500\$ pentru 5 ani, taxe mici în comparație cu WiFi care necesită minimum 5000\$ anual.

# 9

## MODULAȚIA NUMERICĂ ȘI ACCESUL MULTIPLU

**Modulația numerică**, este un termen care se referă la modalitățile de transmitere a semnalelor numerice, asociate unor simboluri, prin canale de comunicație.

**Accesul multiplu**, este un termen care se referă la modalitățile de transmitere și recuperare a datelor mai multor utilizatori printr-un același canal de comunicație, fără ca să se perturbe reciproc.

### 9.1. Modulația numerică

**Modulatorul digital** transformă o secvență discretă de simboluri (eventual codate) dintr-un alfabet finit, într-o secvență continuă de semnale care să poată fi transmise printr-un canal de comunicație.

**Demodulatorul** primește la intrare semnalul modulat și extrage semnalul modulator, ceea ce înseamnă că extrage simbolurile asociate.

La intrarea modulatorului sunt prezente semne binare  $x_n$  corespunzătoare unui alfabet de  $M$  simboluri.

Modulatorul, în fiecare interval  $T_s$ , generează la ieșire un semnal  $s_{x_n}(t)$ ,

dintr-un set de  $M$  forme de undă  $[s_i(t), i=0, M-1]$ . Fiecare  $x_n$  are asociată o formă de undă notată  $s_{x_n}(t)$ .

Cele  $M$  semne ale alfabetului pot fi reprezentate cu  $m$  – biți, unde avem  $M = 2^m$ .

Semnele se transmit în intervalul de timp  $T_s$ , așa încât *debitul (rata) semnalelor de intrare* este

$$R_b = \frac{1}{T_s} \quad [\text{simboluri/secundă}].$$

Fiecare simbol fiind reprezentat cu  $m$  – biți, astfel că *debitul (rata) de bit semnalelor de intrare* este

$$R_b = \frac{m}{T_s} \quad [\text{biți/secundă} = b/s = \text{bps}].$$

Semnalul de la ieșirea modulatorului este o sumă a semnalelor generate de acesta în diferite intervale de timp

$$s(t) = \sum_n s_{x_n}(t - nT_s).$$

Energia  $E_s$  cheltuită (în Joules), pe o sarcină de  $1 \Omega$ , pentru un simbol al emițătorului (în condițiile în care considerăm amplitudinea semnalelor normată) este

$$E_s = E\left[\int s_i^2(t) dt\right] = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} \int s_i^2(t) dt = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} \int_{iT_s}^{(i+1)T_s} s_i^2(t) dt.$$

Semnalul se propagă prin canalul de comunicație, unde suferă acțiunea canalului și acțiunea diferitelor perturbații.

Echipamentul de recepție trebuie să fie capabil să extragă semnalul util și să poată face distincția între semnele transmise. În acest scop se impune ca semnele ce se vor transmite să fie cât mai diferite unul de altul.

Măsura diferenței dintre două semne este dată de

- factorul de corelație

$$\rho = \frac{\int_{T_s} s_1(t) s_2(t) dt}{\int_{T_s} s_1^2(t) dt};$$

- distanța euclidiană

$$D^2 = \int_{T_s} [s_1(t) - s_2(t)]^2 dt = E_1 - 2\sqrt{E_1 E_2} + E_2.$$

**Modulația binară de amplitudine BASK (Binary Amplitude Shift Keying)**

Semnalul modulator este un semnal dreptunghiular care asociază nivelul de zero volți semnalului  $x_i = 0$  logic și nivelul de 1V semnalului  $x_i = 1$  logic.

Purtătoarea este un semnal sinusoidal de amplitudine  $\sqrt{\frac{2E_s}{T_c}}$ , în care  $E_s$  este energia semnalului.

Semnalul modulat este reprezentat de oscilații sinusoidale în zona unde semnalul modulator este  $x_i = 1$  logic (pe un interval de timp  $T_c$ ) și de lipsa sinusoidelor în zonele unde semnalul modulator este  $x_i = 0$  logic.

Datorită faptului că lărgimea de bandă a canalului de comunicație este finită, se impune ca spectrul semnalului ce se transmite să fie limitat la minimum posibil.

În cazul acestui tip de modulație (BASK) se poate limita spectrul la  $f_b$ , ceea ce înseamnă că pot fi transmise numai semnale de frecvențe din domeniul  $f_c \pm \frac{f_b}{2}$ .

Distanța euclidiană dintre două simboluri, pentru că  $s_1 = 1$  și  $s_2 = 0$ , este dependentă de energia semnalului:

$$D_{BASK} = \sqrt{E_s}.$$

### **Modulația binară cu deviație de fază BPSK (Binary Phase Shift Keying)**

Purtătoarea este un semnal sinusoidal de frecvență  $f_c$ . Semnalul modulator acționează asupra fazei purtătoarei.

Dacă semnalul de intrare este  $x_i = 0$  logic semnalul de ieșire va fi o sinusoidă cu faza  $\varphi = -\frac{\pi}{2}$  iar dacă de intrare este  $x_i = 1$  logic semnalul de

ieșire va fi o sinusoidă cu faza  $\varphi = +\frac{\pi}{2}$ .

Distanța euclidiană dintre două simboluri, pentru că  $s_2 = -s_1$ , este

$$D_{BPSK} = \sqrt{E_s}.$$

### **Modulația binară de frecvență BFSK (Binary Frequency Shift Keying)**

Semnalul de ieșire, pentru  $M=2$ , este o oscilație sinusoidală cu frecvența  $f_0$  sau  $f_1$  (și perioadă  $T_0$  respectiv  $T_1$ ) în funcție de simbolul aplicat la intrare  $\{0, 1\}$ .

Pentru ca energia pe semnal să fie  $E_s$  semnalul de la ieșire are amplitudinea

$$s_i(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos(2\pi f_i t + \theta_i).$$

Distanța euclidiană dintre două simboluri depinde de indicele de modulație. Pentru un indice de modulație de 0,5 avem  $D_{CPFSK} = \sqrt{2E_s}$ .

## 9.2. Metode de acces multiplu

O **resursă de comunicație** este formată din mai multe căi de comunicație. Formarea unei căi (**canal**) de **comunicație** se face prin divizarea resursei de comunicație.

Fiecare cale de comunicație este alocată unui utilizator.

Resursele de comunicație sunt:

- timpul;
- banda de frecvență;
- un număr de coduri numerice și o bandă de frecvențe;
- polarizarea undelor electromagnetice și o bandă de frecvențe;
- spațiul.

Pentru a evita influența unui canal de comunicație asupra semnalului transportat de alt canal de comunicație se impune ca semnalele pe cele două canale să fie ortogonale.

Două semnale  $i$  și  $j$  funcții de timp sunt ortogonale dacă avem:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} x_i(t)x_j(t) dt = k \text{ pentru } i = j \text{ și } 0 \text{ pentru } i \neq j.$$

Două semnale  $i$  și  $j$  funcții de frecvență sunt ortogonale dacă avem:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} x_i(f)x_j(f) df = k \text{ pentru } i = j \text{ și } 0 \text{ pentru } i \neq j.$$

### Diviziunea în timp TD

Se stabilește un interval de timp  $T$  [s], reprezentând resursa de comunicație, care se divizează în  $n$  căi de comunicație – ceea ce înseamnă că fiecare



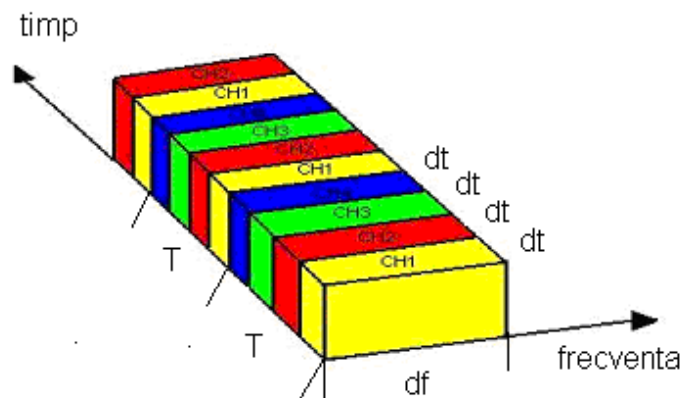
cale de comunicație are alocat un interval de timp  $\Delta T = \frac{T}{n}$  și un număr de ordine din domeniul  $1, \dots, n$  (cele două elemente formează un “slot”). Fiecare utilizator  $1, \dots, n$  (notat cu  $k$ ) va folosi de calea de comunicație un interval de timp  $\Delta T [s]$  în slotul  $k$ , din cele  $n$  sloturi ale perioadei de timp  $T$ .

Duplexarea în timp TDD (*Time Division Duplexing*) și accesul multiplu prin divizarea timpului TDMA (*Time Division Multiple Access*) sunt tehnici care folosesc resursa timp în scopuri diferite.

**TDD** are drept obiectiv transmiterea semnalelor simultan (în același interval de timp) în cele două direcții – de la emițător la receptor și de la receptor la emițător.

**TDMA** are drept obiectiv combinarea semnalelor provenite de la mai mulți utilizatori în scopul transmiterii tuturor prin intermediul unui singur canal de comunicație.

Spre exemplu în figura 9.1 este prezentat un semnal TDMA.



**Fig. 9.1.**

Utilizând banda de frecvență  $df$ , în intervalul de timp  $T$  se transmit semnale de la 3 utilizatori ( $CH1, \dots, CH4$ ). În fiecare perioadă  $T$  utilizatorul 1 ( $CH1$ ) va transmite totdeauna în primul slot de timp – cu durata  $dt$ .

Dacă banda de frecvență  $df$  permite un debit de  $9.6 \text{ kbps}$ , atunci fiecare utilizator va transmite cu un debit de  $\frac{9.6}{4} = 2.4 \text{ kbps}$ .

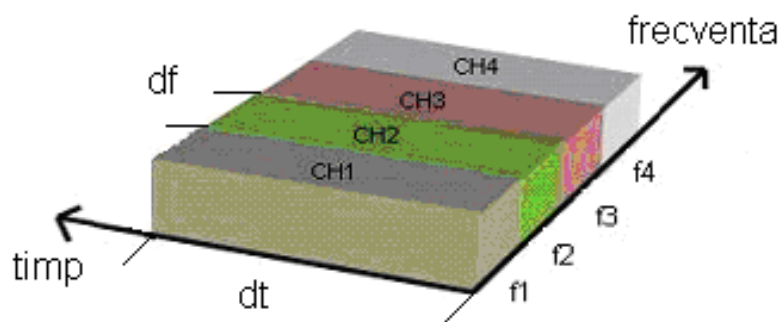
## Diviziunea în frecvență FD

Se stabilește o bandă de frecvențe  $B[Hz]$ , reprezentând resursa de comunicație, care se divizează într-un număr căi de comunicație prin alocarea unui interval de frecvențe  $\Delta f$  fiecărui utilizator. Numărul canalelor de comunicație este  $n = \frac{B}{\Delta f}$ .

În cadrul tehnicii de acces multiplu cu multiplexare în frecvență **FDMA** (*Frequency Division Multiple Access*) fiecare canal de comunicație  $CH1, \dots, CH4$  folosește o altă frecvență purtătoare  $f1, \dots, f4$  pentru un interval de timp  $dt$ , ca în figura 9.2.

S-a notat cu  $df$  banda de frecvență a canalului de comunicație.

Canalele de comunicație sunt separate prin intermediul unui interval de gardă, pentru a preveni interferențele dintre două canale adiacente.



**Fig. 9.2.**

Spre exemplu în sistemele GSM banda de frecvență a sistemului ( $25MHz$ ) este divizată în 124 canale cu lărgimea de bandă de  $df = 200kHz$ .

FDMA necesită o putere mai mare a emițătorului față de TDMA. În schimb TDMA necesită sincronizarea strictă a emițătorului cu receptorul ceea ce impune un software complex.

**OFDMA** (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access*) este o tehnică de acces multiplu cu multiplexare în frecvență care implementează fiecare canal de comunicație prin intermediul unui set de frecvențe ortogonale.

Din punctul de vedere al formei de undă, ortogonalitatea a două frecvențe se manifestă prin faptul că zeroul unei frecvențe se află în punctul în care cealaltă frecvență are valoarea maximă.

Datele unui utilizator sunt fragmentate și trimise pe mai multe purtătoare.

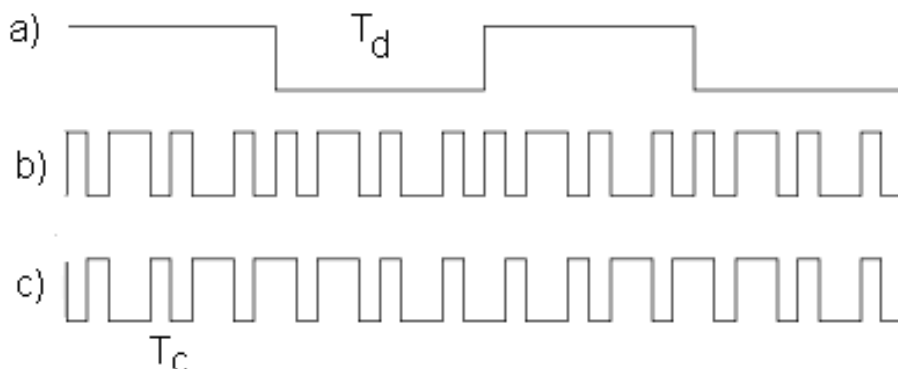
### Diviziunea în cod CD

Se stabilesc un număr de coduri numerice și o bandă de frecvențe  $B[Hz]$ , reprezentând resursa de comunicație. Canalele de comunicație folosesc întreaga bandă de frecvență. Fiecare utilizator (și canal de comunicație) are alocat un cod numeric. Datele utilizatorului sunt multiplicare, la emisie, cu codul numeric alocat canalului de comunicație.

**Notă.** Codul numeric, pe lângă funcția de identificare a canalului de comunicație, are rolul de a extinde banda de frecvență a semnalului furnizat de utilizator așa încât semnalul rezultat prin codare să ocupe întreaga bandă  $B[Hz]$  a resursei. Recuperarea, la recepție, a datelor se face numai pe baza cunoașterii codului alocat canalului.

**CDMA** (*Code Division Multiple Access*) este o tehnică de acces permițând tuturor utilizatorilor să folosească întreaga bandă de frecvențe alocată sistemului. Identitatea utilizatorului este conținută în datele recepționate.

În scopul utilizării întregii benzi de frecvențe se impune ca datele utilizatorului, care au o bandă mică, să fie împrăștiate (*spread spectrum*), la putere constantă. Aceasta revine la necesitatea debitului de transmisie, prin multiplicarea (XOR) datelor cu un cod de viteză mult mai mare.



**Fig. 9.3.**

În figura 9.3 avem a) datele de perioadă  $T_d$ , b) pseudo-codul de perioadă  $T_c$ , (cu  $T_c \gg T_d$ ), c) semnalul care se transmite rezultat în urma XOR între date și pseudo-cod. Deoarece  $T_c \ll T_d$  banda ( $B = \frac{1}{T}$ ) semnalului ce se transmite este mult mai mare ca banda datelor.

Pseudo-codurile (se numesc *chip*), pe lângă faptul că sunt numere pseudo-aleatoare, au și proprietatea de ortogonalitate, ceea ce înseamnă că semnalele diferiților utilizatori pot fi transmise prin același canal de comunicație fără interferențe.

Sistemele care folosesc CDMA, trebuie să asigure un control riguros al puterii emițătoarelor așa fel încât semnalele diferiților utilizatori să ajungă la receptor cu puteri comparabile. Dacă un semnal este mai puternic ca celelalte atunci le va acoperi pe cele de putere mai mică și nu vor putea fi recepționate.

**CDMA2000 și W-CDMA** sunt tehnici de acces folosite de telefonia mobilă, cu banda de frecvență a unui canal de  $1.25\text{MHz}$  pentru primul sistem și de  $5\text{MHz}$  în cazul celui de al doilea sistem. Diferă și debitul de chip care este  $1.23\text{Mchps}$  și respectiv  $3.84\text{Mchps}$ .

### **Diviziunea prin polarizare PD**

Se stabilește o bandă de frecvențe  $B[\text{Hz}]$ , care este divizată într-un mod oarecare (de regulă în frecvență). Se obțin  $n$  canale de comunicație folosind polarizarea orizontală a undelor electromagnetice și încă  $n$  canale de comunicație folosind polarizarea verticală a undelor electromagnetice.

### **Diviziunea spațială SD**

Se stabilește o bandă de frecvențe  $B[\text{Hz}]$ , care este divizată într-un mod oarecare, definind  $n$  canale de comunicație. Folosind mai multe antene directive orientate către diverse zone ale spațiului, spre exemplu  $m$  antene, numărul de canale de comunicație devine  $mn$ .

**De notat** că utilizatorul canalului trebuie să se afle în interiorul lobului de directivitate al antenei care definește canalul de comunicație.

## **GLOSAR DE TERMENI TEHNICI**

**1G** , sistem cu transmisie analogică a vocii. (C1)

**2G** , sistem cu transmisie digitală a vocii și de mesaje scurte SMS. (C1)

**2.5G** , sistem care implementează funcții 3D pe infrastructura rețelelor 2G.

**3G** , sistem cu transmisie digitală a vocii, date difuzate - radio, TV, film, muzică, cuplarea la Internet, transmisii de imagini, efectuarea de tranzacții bancare, ș.a. (C1)

**4G** , sistem cu completări ale sistemului 3G în scopul creșterii vitezei de transmisie și în scopul extinderii serviciilor. (C1)

**64QAM**, tehnică de modulație cu 64 simboluri. (C7)

**AC** (*Authentication Center* ), bază de date la GMSC - centrul de autentificare (verificării identității stației). (C5)

**ACCH** (*Access Grant Channel*) , canalul de control folosit pentru nevoile urgente ale MSC de paging și confirmare a accesului. (C5)

**Accesul multiplu**, modalitate de transmitere și recuperare a datelor mai multor utilizatori printr-un același canal de comunicație. (C9)

**ACK**, cadru de confirmare a recepției. (C7)

**ADC** (*American Digital Communication System*), sistem de radiocomunicații care respectă standardul IS-95. (C1)

**ADPCM** (*Adaptive Pulse Code Modulation*) sistem de codare adaptivă. (C2)

**AMPS** (*Advanced Mobile Phone Service*), sistem de comunicații analogice introdus în USA în anul 1982. (C1)

**ANDSF** (*Access Network Discovery and Selection Function*), îi dă informații echipamentului UE privind rețelele care se află în apropierea acestuia și îl asistă dacă acesta (UE) vrea să se conecteze la vreuna din rețele. (C6)

**ANT**, este o tehnologie wireless, proprietate a firmei canadiene *Dynastream Innovations Inc.* (C8)

**Avansul în timp** (*hard start*), diferența de cu care emite mai devreme un mobil aflat departe față de un mobil apropiat de antena de recepție. (C5)

**Barker codare**, metodă de împrăștiere a spectrului pe baza unor coduri pseudoaleatoare. (C7)

**BASK** (*Binary Amplitude Shift Keying*), Modulația binară de amplitudine. (C9)

**BCCH** (*Broadcast Control CHannel*) , canal control de difuzare care informează stația mobilă despre ce parametri de sistem specifici are nevoie ca să identifice rețeaua sau să obțină accesul la rețea. (C5, C6)

**BCH** (*Broadcast CHannels*) - canalele de difuzare sunt transmise numai de stațiile de bază MSC și furnizează informații pentru stațiile mobile pentru ca acestea să se sincronizeze cu rețeaua. Mobilele nu transmit niciodată BCH. (C5)

**Bicycle Power**, profil ANT pentru măsurarea puterii utilizate la antrenarea bicicletei. (C8)

**BFSK** (*Binary Frequency Shift Keying*), modulație în frecvență. (C9)

**Blood Pressure**, profil ANT, pentru presiunea sanguină. (C8)

**Bluetooth Low Energy** (BLE), sistem wireless. (C8)

**BPSK** (*Binary Phase Shift Keying*), modulația cu deviație de fază. (C9)

**BS** (*Base Station*) stația de bază . (C1, C3)

**BSM** (*Mobile Base Station*) , stația mobilă de bază – asigură comunicarea cu echipamentele mobile. (C1)

**BSS** (*Basic Service Set*), arie a serviciilor de bază , este format dintr-un set de echipamente (calculatoare) care pot comunica, wireless, între ele. (C7)

**Burst**, comutarea on-off a emițătorului. (C5)

**CA** (*Carrier Aggregation*), agregarea purtătoarelor constă în alocarea pentru transmisie a mai multor benzi de frecvență ( de la 1 la 4 benzi de câte 20MHz) alăturate sau nu. (C6)

**Cadrul radio** (*radio frame*), conține 15 intervale temporale la UMTS. Lungimea unui cadru corespunde duratei a 3840 chips. (C6)

**CAN** (*Controllor Area Network*), protocol de comunicație care operează pe două fire conductoare răsucite. (C4)

**CAN\_H** (*High voltage*), conductor pentru magistrala CAN (cel de al doilea conductor este CAN\_L ). (C4)

**CAN\_L** (*Low voltage*), conductor pentru magistrala CAN (cel de al doilea conductor este CAN\_H ). (C4)

**Canalele de anunțare**, la BLE, sunt folosite de echipamente pentru a-și anunța prezența în rețea. (C8)

**Canalul de comunicație**, se obține prin divizarea unei resurse de comunicație. (C9)

**Canale de control**, pentru transferul informațiilor de identificare, pentru semnalizarea activității vocale, cereri de acces la un canal de comunicație, informații de control. (C1)

**Canale fizice dedicate**, la UMTS, pentru downlink **DPCH** (*Dedicated Physical Channel*) iar pentru uplink avem **DPDCH** (*Dedicated Physical Data Channel*), **DPCCH** (*Dedicated Physical Control Channel*). (C6)

**Canalele de transport UMTS** : BCH, FACH, PCH, RACH, CPCH, DSCH și DCH. (C6)

**Canale vocale**, pentru transmiterea vocii. (C1)

**CCCH** (*Common Control Channel*), canal de control folosit de terminalele UE pentru a stabili o conexiune de început RRC cu rețeaua. (C6)

**CCA** (*Clear Channel Assessment*), semnal prin intermediul căruia MAC să cunoască canalele libere. (C7)

**CCK** (*Complementary Code Key*), metodă de codare pe baza alegerii unor semnale ortogonale în complex, pe baza conținutului datei. (C7)

**CDMA** (*Code Division Multiple Access*) este o tehnică de acces. Fiecare utilizator (și canal de comunicație) este identificat prin intermediul unui codul numeric alocat canalului de comunicație. (C9)

**CDMA2000** este o tehnică de acces CDMA pentru o bandă de frecvență a canalului de 1.25MHz și un debit de chip de 1.23Mchps. (C9)

**CDMA 2000/1xRTT** (*Code Division Multiple Access*), folosește o bandă de 1,25 MHz , asigurând debite de transfer a datelor de până la 2 Mbps. (C5, C9)

**CELP** (*Code Excited Linear Prediction*), codorul liniar cu predicție cu excitație codată este o variantă a RPE. (C5)

**Celulă**, zona de acoperire a unei stații de bază. (C2)

**CFP** (*Contention Free Period*), accesul neconcurențial la mediu, este controlat de un punct de acces **AP** (*Acces Point*). (C7)

**Cluster**, este o grupare de mai multe celule în care nu se refolesc frecvențele alocate celulelor. (C1)

**CN** (*Core Network*), este rețeaua centrală, care se ocupă cu comutația și rutarea comunicațiilor pentru UMTS. (C6)

**Codul de bruijaj** (*scrambling*) este cel care diferențiază și permite identificarea terminalului utilizatorului. (C6)

**Codul de canalizare** (*channelization code*) transformă fiecare simbol (bit) de date într-un număr de chip-uri. (C6)

**Controlul puterii**, reprezintă comenzile de modificare a puterii cu care emite un mobil. (C5)

**Cordless sisteme**, pentru prelungirea prin legătură radio a cordonului aparatului telefonic. (C1)



**CP** (*Contend Period*), accesul concurențial se face prin intermediul serviciului **DCF** (*Distributed Coordination Function*). (C7)

**CP** (*Control Post*) postul de control, reprezintă punctul de conectare a apelurilor dintre abonații grupului. (C3)

**CSMA/CA**, algoritmul permite stabilirea stării canalului de comunicație (ocupat sau liber), prin detecția purtătoarei. (C7)

**CSR** (*Cambridge Silicon Radio*) producător de circuite integrate pentru Bluetooth 4. (C8)

**CTCH** (*Common Traffic Channel*), canal de trafic unidirecțional punct multipunct. (C6)

**D2B** (*Domestic Digital Bus*), protocol pentru fibra optica. (C4)

**D-AMPS**, vezi ADC. (C1)

**DBPSK**, modulație care utilizează două faze ale purtătoarei, una pentru 0 și alta pentru 1. (C7)

**DCCH** (*Dedicated Control Channel*), canal de control bidirecțional punct la punct pentru transferul de informații de control dedicate între rețea și un anumit UE. (C5, C6)

**DCS 1800** (*Digital Communication System*), GSM din Marea Britanie care utilizează banda de frecvențe de 1800 MHz. (C1)

**DCF** (*Distributed Coordination Function*), transferul datelor prin comutarea de pachete în tehnologie ATM. (C7)

**DECT** (*Digital Enhanced Cordless Telecommunications*) sistem cordless. (C2)

**Diviziunea prin polarizare PD**, folosește două antene una cu polarizare orizontală cealaltă cu polarizare verticală. (C9)

**Diviziunea spațială SD**, folosește mai multe antene orientate către diverse zone ale spațiului. (C9)

**DQPSK** (*Differential Quaternary Phase Shift Keying*), tip de modulație diferențială în fază, cu 4 simboluri. (C3)

**DLC** (*Data Link Control*) subnivel al legăturii de date (nivelul 2 din modelul OSI), se ocupă de controlul legăturii de date. (C2)

**DMO** (*Direct Mode Operation*), comunicarea directă între două echipamente mobile fără a folosi elementele rețelei. (C3)

**DSSS**, tehnică de împrăștiere spectrală. (C7)

**DTCH** (*Dedicated Traffic Channel*), canal de trafic bidirecțional punct la punct, dedicat unui UE pentru transferul datelor utilizator (fax, Web browsing). (C6)

**EDGE** (*Enhanced Data Rates for Global Evolution*), sistem de comunicații mobile, implementând modulația cu 8 nivele 8PSK (*8 levels Phase Shift Keying*). Se utilizează transmisia pe pachete a datelor, obținând astfel un debit pe canalul radio de 604,8 kbps și un debit al datelor de 384 kbps. (C5)

**EIR** (*Equipment Identify Register*), bază de date la MSC - registrul pentru identificarea echipamentului, conține lista telefoanelor celulare omologate și a celor declarate furate. (C5)

**eNodeB** (*Evolved Node B*), recepționează și transmite informații, în interiorul celulei, privind canalele de control (de paging sau de difuzare) – informații pe care le primește de la blocul de management MME. (C6)

**EPC** (*Evolved Packet Core*), principala componentă a SAE. (C6)

**ePDG** (*Evolved Packet Data Gateway*), are rolul de a secretiza transmisia, atunci când UE este conectat la o rețea nesigură (*untrusted*). (C6)

*.fit* – formatul fișierelor ANT (C8)

**ERMES** (*European Radio Messaging System*), sistem de paging implementat în Europa. (C1, C3)

**ETSI** (*European Telecommunications Standards Institute*), organizație europeană de elaborare a standardelor de telecomunicații. (C3)

**FDD** (*Frequency Division Duplexing*), duplexarea în frecvență are drept obiectiv transmiterea semnalelor simultan (în același interval de timp) în cele două direcții – de la emițător la receptor și de la receptor la emițător, folosind două frecvențe diferite. (C9)

**FDMA** (*Frequency Division Multiple Access*), tehnică de acces multiplu cu multiplexare în frecvență, fiecare canal de comunicație folosește o altă frecvență purtătoare. (C9)

**FFT**(*Fast Fourier Transforms*), transformata Fourier rapidă. (C6)

**Flex Sincron** (*Flex Synchronous*), modalitate de codare pentru sisteme de paging. (C3)

**FlexRay**, reprezintă numele consorțiului care a promovat protocolul. (C4)

**FHSS**, tehnică de împrăștiere spectrală. (C7)

**Formant**, element constitutiv esențial al unui sunet sau cuvânt. (C5)

**GMSC** (*Gate-way Mobile Services Switching Center*) - este o centrală telefonică digitală (centru de comutare) care realizează interfața între sistemul GSM și rețeaua telefonică publică comutată. (C5)

**Golay**, modalitate de codare pentru sisteme de paging. (C3)

**GPRS** (*General Packet Radio Service*), sistem de comunicații mobile care definește pachete și noi noduri în rețeaua GSM. Debitul de transfer a datelor crește, teoretic la 172 *kbps* și practic la 115 *kbps*. (C5)

**GSM 900**, sistem de radiocomunicații destinat publicului. (C1)

**Hand - off**, este un proces care constă în comutarea mobilului de la o stație de bază la alta adiacentă acesteia (transferul mobilului de la o celulă la alta învecinată, din cadrul aceleiași cluster). (C1)

**Heart Rate Monitor**, profil ANT, măsoară numărul de bătăi-minut ale inimii. (C8)

**HLR** (*Home Location Register*), bază de date la GMSC - registrul de localizare a adresei, în care sunt înregistrați abonații permanenți. (C5)

**HSCSD** (*High Speed Circuit Switched Data*), sistem de comunicații mobile care asigură viteze de transfer de până la 38,4 *kbps*, prin alocarea mai multor sloturi de timp (până la 8) unui singur utilizator. (C5)

**HSS** (*Home Subscriber Server*), este un server care îndeplinește funcțiile bazelor de date HLR (*Home Location Register*) și AuC (*Authentication Center*) prin intermediul căruia pot fi accesate date despre abonați și utilizatori logați. (C6)

**IEEE802.3**, standard pentru rețele Ethernet. (C7)

**IEEE802.5**, standard pentru rețele token-ring. (C7)

**IEEE802.11** satandard numai pentru rețele WiFi. (C7)

**IEEE802.16** satandard numai pentru rețele WiMax. (C7)

**IFFT**, transformata Fourier rapidă inversă. (C6)

**IFS** (*IntraFrame Space*), interval de timp în care nu se transmite nimic. (C7)

**IMEI** (*International Mobile Station Equipment Identify*), numărul de identificare internațional al echipamentului stației mobile. (C5)

**IMSI** (*International Mobil Subscriber Identify*) - numărul de identificare a abonatului mobil. (C5)

**Infraroșu**, bandă cu lungimi de undă de la 850 *nm* la 950 *nm*. (C7)

**Interfața S1-MME**, care conectează eNodeB la MME (*Mobility Management Entity*), transportând elemente de management al mobilității din cadrul planului de control. (C6)

**Interfața S1-U**, care conectează eNodeB la S-GW (*Serving Gateway*), transportând elemente și date din planul utilizatorului. (C6)

**Interfața S2**, conectează rețele de tipul WiMAX sau WLAN la EPC - de fapt la un bloc funcțional al EPC și anume la PDN-GW (*Packet Data Network Gateway*). (C6)

**Interfața S12**, conectează rețele de tipul UTMS sau GPRS la EPC - de fapt la un bloc funcțional al EPC și anume la S-GW (*Serving Gateway*). (C6)

**Interfața S3 și S4**, conectează rețele de tipul 2G sau 3G la EPC. Interfața S3 este folosită de S-GW (*Serving Gateway*) iar interfața S4 permite accesul MME (*Mobility Management Entity*). (C6)

**IS-95**, standard de transmisie cu acces multiplu cu diviziune de cod CMDA. (C1)

**ISM** (*Industrial, Scientific and Medical*) bandă de frecvențe nelicențiată (902 - 928 MHz) care poate fi folosită fără plată în scopuri diverse. (C7)

**LIN** (*Local Interconnect Network*), protocol de comunicație care operează pe un singur fir conductor. (C4)

**Lista Alba**, conține terminalele care au permisiunea de a se conecta la rețea. (C5)

**Lista Gri**, conține terminalele care sunt sub supraveghere pentru posibile probleme. (C5)

**Lista Neagra**, conține terminalele care au fost furate, sau nu sunt de tipul acceptat de rețea. Terminalul nu are permisiunea de a se conecta la rețea. (C5)

**LOS** (*Line-of-Sight*), cele două antene (emițător și receptor) se văd una cu cealaltă. (C7)

**LPC** (*Linear Predictive Coder*), codorul liniar cu predicție - admite drept model al vorbirii un filtru pe termen scurt cu 8 parametri. (C5)

**LTE** (*Long-Term Evolution*), este un standard wireless, încadrat în categoria 4G. (C6)

**LTE Advanced** (*Long-Term Evolution Advanced*), este un standard wireless, pentru generația 4G (**True 4G**). (C6)

**LTE Adv CoMP** (*Coordinated Multipoint*) reprezintă un set de măsuri pentru coordonarea între ele a mai multor noduri eNB aflate în locații diferite. (C6)

**LTE D2D** (*Device to Device*), reprezintă tehnologia care permite comunicarea a două UE, aflate în apropiere, fără vreun alt intermediar (fără vreun alt element al rețelei celulare). (C6)

**LTE HetNet** (*Heterogeneous Network*), este o tehnologie prin intermediul căreia este permis accesul în rețele LTE și al utilizatorilor de echipamente care lucrează în alte standarde, spre exemplu echipamente care operează numai în rețele GSM. (C6)

**LTE Relay**, reprezintă un releu de retransmisie în condițiile în care semnalul este slab sau perturbat. (C6)

**LTP** (*Long Term Prediction*) filtru de predicție pe termen lung cu 2 parametri. (C5)

**MAC** (*Medium Access Control*) subnivel al legăturii de date (nivelul 2 din modelul OSI), se ocupă de controlul accesului la mediu. (C2)

**Măsura diferenței** dintre două semnale este dată de factorul de corelație sau de distanța euclidiană. (C9)

**Mesh**, tip de rețea de comunicații. (C8)

**MIMO** (*Multiple Input Multiple Output*) tehnologi a antenelor multiple în care atât stația de bază cât și receptorul sunt prevăzute cu mai multe antene. (C6, C7)

**MME** (*Mobility Management Entity*), reprezintă elementul care controlează accesul în rețea. Utilizează serverul HSS, în scopul autentificării, controlului accesului în rețea și în scopul managementului mobilității. (C6)

**MMS** (*Multimedia Messaging Service*), standard pentru multimedia, realizat prin dezvoltarea protocolului SMS, așa încât să permită transferul de imagini, sunet, animație și pagini de text implementat prin GPRS. (C5)

**Modulația numerică**, este un termen care se referă la modalitățile de transmitere a semnalelor numerice, asociate unor simboluri, prin canale de comunicație. (C9)

**MOST** (*Media Oriented Systems Transport*), protocol pentru fibra optica. (C4)

**MPDU** (*MAC Protocol Data Unit*) este o unitate completă de date trimisă de nivelul MAC la nivelul fizic. Nivelul fizic fragmentează MPDU în mai multe cadre de date. (C7)

**MS** (*Mobile Station*), sunt stații de emisie-recepție, care se pot deplasa în zona de acoperire a rețelei trunked. (C3)

**MSC** (*Mobile Switching Center*), centrul de control (comutare) care asigură transferul stațiilor mobile de la o stație mobilă de bază **BSM** la alta și totodată permite conectarea rețelei de telecomunicații mobile la rețeaua națională de telefonie fixă. (C1, C5)

**MTX** (*Mobile Telephonic Exchange*), componentă a sistemului AMPS este centrala abonaților mobili. (C1)

**Multi Sport Speed and Distance**, profil ANT care utilizează un GPS pe baza căruia calculează distanța parcursă și viteza de deplasare. (C8)

**NBs** (*Node Bs*), stații de bază. (C6)

**NLOS** (*Non Line of Sight*), antenele receptor și emițător nu au vizibilitate directă. (C7)

**NMT** (*Nordic Mobile Telephone*), sistem de comunicații analogice introdus în Suedia și Norvegia în anul 1979. (C1)

**NRZ** (*Non-Return-to-Zero*), procedeu de codare. (C4)

**OFDM** (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) este o tehnologie de transport și multiplexare a datelor. (C6)

**OFDMA** (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access*), tehnică de acces multiplu cu multiplexare în frecvență care implementează fiecare canal de comunicație prin intermediul unui set de frecvențe ortogonale. (C6, C9)

**OMC** (*Operation and Maintenance Center*), bază de date la GMSC - prelucrează mesajele de eroare ce vin de la rețea și controlează

încărcarea traficului în BSC și BTS, în scopul menținerii calității transmisiei. (C5)

**OSI** (*Open System Interconnection*), model al sistemelor deschise. (C2)

**PACS** (*Personal Access Comm. System*), sistem cordless în SUA. (C1)

**Sistem de PAGING**, sistem de radiocomunicații pentru transmiterea unilaterală de mesaje către abonați. (C1)

**PAM** (*Pulse Amplitude Modulation*), Modulația în impulsuri. (C9)

**Pasarea convorbirilor**, reprezintă comutarea unei convorbiri în curs pe un alt canal de comunicație sau transferul convorbirii într-o altă celulă în altă celulă (mobilul este preluat de un alt BTS). (C5)

**PBCC** (*Packet Binary Convolutional Code*) tehnica de modulație covoluțională binară. (C7)

**PCCH** (*Paging Control Channel*), canal de control pentru a localiza un mobil. (C6)

**PCN** (*Personal Communication Network*), vezi DCS 1800. (C1)

**PGW** (*PDN Gateway*), realizează conectarea UE al Internet, în sensul că asigură toate funcțiile legate de administrarea pachetelor și filtrarea acestora pentru fiecare utilizator. Conține suportul pentru a asigura mobilitatea UE din rețele LTE în rețele de alt tip (spre exemplu rețele WIMAX, CMDA 1x, ș.a.). (C6)

**Picocelulă**, o celulă de dimensiuni mici. (C2)

**Piconet**, este o rețea BLE, formată dintr-un echipament master și echipamentele sale slave. (C8)

**PIFS** (*Point Coordination Function IFS*) interval de timp în care nu se transmite nimic. (C7)

**PIN** (*Personal Identification Number*), un număr din 4 digiți care este un număr personal de identificare, fiind introdus de utilizator. (C5)



**PHS** (*Personal Handyphone System*), sistem cordless în Japonia. (C1)

**PLCP** (*Physical Layer Convergence Protocol*), componentă a nivelului fizic pentru WiFi, pregătește MPDU pentru transmisie și trimite cadrele recepționate către nivelul MAC (C7)

**PMD** (*Physical Medium Dependent*), componentă a nivelului fizic pentru WiFi, se ocupă cu modularea și demodularea cadrelor. (C7)

**PMR** (*Private Mobile Radio*), sistem de comunicații wireless privat. (C3)

**POCSAG** (*Post Office Code Standardization Advisory Group*), modalitate de codare pentru sisteme de paging. (C3)

**PUK** (*Personal Unblocking Key*), cheia personală de deblocare, din 8 digit, cu ajutorul căruia se deblochează stația. Blocarea se face dacă se introduce PIN-ul incorect de trei ori. (C5)

**RAN** (*Radio Access Network*), este rețeaua de acces radio pentru UMTS. (C6)

**RDS** (*Radio Data System*), sistem de paging pentru receptoare MF. (C1)

**RELTP** (*Residual Excited Linear Prediction*), codorul liniar cu predicție excitat cu reziduul este o perfecționare a codorului LPC. (C5)

**RPE** (*Regular Pulse Excitation*), codorul cu impulsuri regulate folosește două modele și anume un model pe termen scurt și un model pe termen lung. (C5)

**RPE pulsuri** (*Residual Pulse Excitation*), eșantioane ale semnalului vocal asociate codorului RPE-LTP. (C5)

**RPE-LTP** (*Residual Pulse Excitation – Long Term Prediction*), pe lângă parametrii modelului vocal se mai transmit 13 eșantioane pentru fiecare cadru secundar numite *pulsuri* RPE. (C5)

**Resurse de comunicație**, sunt parametri care permit, prin divizare, formarea mai multor căi de comunicație. Acestea sunt; timpul, banda de frecvență, un număr de coduri numerice și o bandă de frecvențe, polarizarea undelor electromagnetice și o bandă de frecvențe, spațiul. (C9)

**Rețea ad-hoc**, constă dintr-o grupare de calculatoare într-un singur BSS (o singură celulă). (C7)

**Rețea infrastructurală**, constă în conectarea între ele a mai multor arii de servicii BSS prin intermediul punctelor de acces. (C7)

**RNC** (*Radio Network Controllers*), controlere radio, avînd rolul de administrare a frecvențelor radio. (C6)

**RNS** (*Radio Network Subsystems*), subsistem radio al UTRAN. (C6)

**Roaming**, se referă la stațiile mobile care părăsesc un cluster și intră în altul. Desemnează procesul de identificare a mobilului și dacă constată că acesta are drepturi pentru noul cluster îi va aloca o stație mobilă de bază (din noul cluster). (C1)

**RTS** (*Request to Send*) cadru de control, de 20 octeți, prin care se solicită transmiterea pachetelor. (C7)

**SAE** (*System Architecture Evolution*) nucleul rețelelor LTE. (C6)

**SC** (*Switching Center*) centrul de comutare – realizează legătura între posturile de control și stațiile de bază folosind cablu telefonic, fibră optică, radioreleu etc. (C3)

**SCTP** (*Stream Control Transmission Protocol*) are rolul de management și protecție a serviciilor de semnalizare (bazate pe IP). (C6)

**SDMA** (*Space Division Multiple Access*), tehnică de acces folosind la stația de bază mai multe antene cu orientare spațială diferită. Permite mai multor utilizatori să transmită și recepționeze în același timp pe același sub-canal. (C7)

**SGW** (*Serving Gateway*), asigură rutarea pachetelor atât într-un sens (uplink) cât și în celălalt sens (către UE). (C6)

**SIFS** (*Short IFS*), interval de timp în care nu se transmite nimic. (C7)

**SM** (*Spacing Multiplexing*) multiplexarea spațială. (C7)

**STC** (*Space Time Coding*) codarea spațială. (C7)

**Subcanalul**, se obține prin gruparea mai multor subpurtătoare adiacente. (C9)

**TBS** (*TETRA Base Stations*), stații de bază TETRA. (C3)

**TDD** (*Time Division Duplexing*), duplexarea în timp are drept obiectiv transmiterea semnalelor simultan (în același interval de timp) în cele două direcții – de la emițător la receptor și de la receptor la emițător. (C9)

**TDMA** (*Time Division Multiple Access*), tehnică de acces multiplu cu multiplexare în timp. (C9)

**TETRA PDO** (*Packet Data Optimized*), pentru transmisiuni de date în pachete, care include serviciul TETRA V+D. (C3)

**TETRA Broadband**, pentru transmisiuni de voce și date la debite comparabile cu generația 4G a sistemelor de comunicații mobile. (C3)

**TETRA V+D** (*Voice + Data*), pentru transmisiuni de voce și date. (C3)

**Sistem TRUNKED**, este un sistem de radiotelefonie care constituie un “trunchi” de canale radio cu exploatarea acestora în comun de către un număr precizat de utilizatori. (C1, C3)

**SCN** (*Switching Centre Node*) echipament TETRA de comutare. (C3)

**Cartela SIM**, identifică utilizatorul rețelei GSM precum și serviciile la care s-a abonat. (C1)

**VLR** (*Visitor Location Register*), bază de date la MSC - registrul stațiilor mobile vizitatoare. Conține informații referitoare la toate stațiile mobile aflate în zona de serviciu a MSC. (C5)

**Voice Coders**, codoare de voce. (C5)

**Vocoderul de canal** (*Channel Vocoder*), folosește numai anvelopa semnalului pentru codarea semnalului vocal. (C5)

**Vocoderul de formanți** (*Formant Vocoder*) are drept scop identificarea formanților din vorbire, codarea și transmiterea lor la receptor. (C5)

**UMTS** (*Universal Mobile Telecommunications System*), tehnologie 3G pentru comunicații mobile cu acces radio **WCDMA** (*Wide CDMA*). (C6)

**USIM** (*UMTS Subscriber Identification Module*), SIM pentru rețele UMTS. (C6)

**UTRAN** (*UMTS Terrestrial RAN*), sinonim RAN dacă accesul radio este de tip WCDMA (*Wide CDMA*). (C6)

**UTRA**, vezi UTRAN. (C6)

**ZigBee**, tehnologie wireless. (C8)

**WAP** (*Wireless Application Protocol*), este un standard (protocol) care permite utilizatorilor sistemelor wireless mobile GSM să acceseze servicii din generația a treia, spre exemplu World Wide Web (www). (C5)

**W-CDMA** este o tehnică de acces CDMA pentru o bandă de frecvență a canalului de 5MHz și un debit de chip de 3.84Mchps. (C9)

**WiFi** (*Wireless Fidelity*) este o tehnologie wireless, standard 802.11. (C7)

**WiMax** (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) este o tehnologie wireless, standard 802.16, cu componentele **Fixed WiMax** și **Mobile WiMax**. (C7)

**WML** (*Markup Language*), limbaj de descriere a paginilor Web. (C5)

## BIBLIOGRAFIA

1. Ames P., Gabor J., *The Evolution of Third-Generation Cellular*, Intel Technology Journal Q2, 2000;
2. Bulbrook D., *WAP: A beginner's guide*, McGraw-Hill, 2001;
3. Croitoru V., M. Kizik, S. Stoica, *Comunicații digitale*, Ed. Presa Națională, 1997 ;
4. Croitoru V., M. Kizik, S. Stoica, *Comunicații digitale*, Ed. Presa Națională, 1997 ;
5. Dinan E., Kurochkin A., Kettani S., *Technical Paper*, Bechtel Telecommunications Technical Journal, Decembrie 2002;
6. Hills A., Johnson D. B., *A Wireless data Network*, Intel Technology Journal, 2000;
7. Jeker E., *UMTS: La 3ième Génération Présentation Personelle*, Telecom France, Dec. 2002;
8. La-Maire R. O., *Wireless LANs and Mobile Networking: Standards and Future Directions*, IEEE Comm. Magazine, August 1996;
9. Leitao M.J., *TETRA*, Universidad de Porto, 2009;
10. Mansvelt N. G., *An Examination of FDD and TDD on the UMTS Air Interface*, TELKOM SA, Pretoria, South Africa;
11. Marza E., Simu C., *Comunicatii mobile*, Editura de Vest, Timișoara, 2003;
12. Marghescu I., *Transmisiuni analogice și digitale*, Ed. Tehnică, 1995;
13. Marghescu I., Coțanis N., Nicolaescu St., *Comunicații Mobile Terestre*, Ed. Tehnică, București 2004;
14. Mateescu Ad.,ș.a., *Rețele și Sisteme GSM*, Ed. Tehnică;
15. Marza E., C. Simu, *Comunicatii mobile*, Editura de Vest, Timișoara, 2003;
16. Marza E., *Radiocomunicații mobile*, EOU, Timișoara, 2001;
17. Nicolaescu, V., *Sisteme de comunicații mobile celulare GSM*, Ed. AGIR, București, 1999;
18. Nijhof J., *Mobile Communications (ET4 153) – Wireless Systems and Standards – DECT*, Delft, 2000;
19. Nilsson Peter, *TETRA - Project report for Wireless Systems*, 2014;
20. Richardson K.W., *UMTS overview*, Electronics & Communication Engineering Journal, iunie, 2000;
21. Saldanha K., *“Performance evaluation of DECT in different radio environments”*, Blacksburg, Virginia, 1996;
22. Stepler Martin,s.a., *Evolution of TETRA, To a 4G All-IP Broadband*, P3 communications GmbH, 2011;

23. Törnqvist D., *Transmission Timming in WCDMA Terminals*, Linköping, 2003;
24. Tuch B., "Development of WaveLAN and ISM Band Wireless LAN", AT&T Tech. vol.72, nr.4, 1993;
25. Wiesbeck W., *Advanced Radio Communications*, Karlsruhe, 2003/2004;
26. Vior M., *Interfețe radio - Referat doctorat*, Politehnica Timișoara, 2001;
- 27.\*\*\* Data manual, *WaveLAN*, AT&T Wireless Communications and Network Division, July 1995;
- 28.\*\*\* <http://www.cwc.nus.edu.sg/~cwcpub/zfiles/apcc.pdf> ;
- 29.\*\*\* Ashcom Systems Ltd., *TETRA network*, 2014;
- 30.\*\*\* <http://www.bakom.ch/imperia/md/content/>;
- 31.\*\*\* <http://www.bechtel.com/PDF/BIP/25661.pdf>;
- 32.\*\*\* <http://www.cpk.auc.dk/~tatiana/Courses/ComSys2/Chapter8>;
- 33.\*\*\* COMT 220;
- 34.\*\*\* <http://www.dect.ch>, *DECT - The standard explained*, 1997;
- 35.\*\*\* <http://docpacks.tcom.ch/data/UMTS/UMTS.pdf>;
- 36.\*\*\* <http://developer.intel.com/technology/itj/q22000/>;
- 37.\*\*\* <http://www.e-austin.org/articles/wireless101.htm> "Wireless 101";
- 38.\*\*\* <http://www.ep.liu.se/exjobb/isy/2003/>;
- 39.\*\*\* <http://www.iec.org>, Web ProForum Tutorials,;
- 40.\*\*\* <http://www.iec.org/>, Wireless Application Protocol (WAP);
- 41.\*\*\* <http://www.iec.org/online/tutorials/acrobat/umts.pdf>;
- 42.\*\*\* Mercedes Benz, *Domestic Digital Bus, Training material*, 2004;
- 43.\*\*\* <http://www.mobitel.ro/istoric/>;
- 44.\*\*\* <http://www.nuntius.com/solutions24.html>;
- 45.\*\*\* <http://www.privateline.com/3G/WCDMA.pdf>;
- 46.\*\*\* TE-040899, *Digital Cordless Telephone*, Sony, 1998;
- 47.\*\*\* Rhode&Schwarz, *TETRA*, R&S BICK Mobilfunk GmbH, 2014;
- 48.\*\*\* [www.tetramou.com](http://www.tetramou.com);
- 49.\*\*\* <http://www.tcom.ch/Tcom/team/ELS/>;
- 50.\*\*\* <http://www.tsp.ece.mcgill.ca/Telecom/Docs/cdma.html>;
- 51.\*\*\* <http://www.umtsworld.com/technology>;
- 52.\*\*\* <http://www.wapforum.org/>, WAP Forum;
- 53.\*\*\* <http://www.lin-subbus.org>;
- 54.\*\*\* <http://www.can-cia.org>;
- 55.\*\*\* <http://www.wraycastle.com>, *LTE/SAE Engineering Overview*, Wray Castle, 2013;
- 56.\*\*\* Motorola, TSPG, 8/16 bit Division 2014;

- 57.\*\*\* [www.csr.com](http://www.csr.com), *Bluetooth 4.0: Low Energy*, Joe Decuir, CSR plc, 2014;
- 58.\*\*\* <http://www.thisisant.com/developer/ant/ant-basics/> ;
- 59.\*\*\* <http://electronicdesign.com/mobile/> ;
- 60.\*\*\* <http://www.bluetooth.com/Pages/low-energy-tech-info.aspx>;
- 61.\*\*\* <http://zigbee.org/zigbee-for-developers/.../zigbeepro/>;
- 62.\*\*\* CC253x User's Guide – CC253x *System-on-Chip Solution for 2.4 GHz*;
- 63.\*\*\* <http://intranet.da-iict.org/~ranjan/sn/papers/Zigbee.pdf>.