Tratarea erorilor în sistemele de comunicatii mobile

Scopul lucrării:

a) Descrierea caracteristicilor mediului radio din punct de vedere al ratei şi tipului erorilor.

b) Studiul soluţiilor de control al erorilor în sistemul de telefonie mobilă ***GSM****: codarea canalului, întreţeserea biţilor*.

1. Caracteristicile sistemelor de radiotelefonie mobile

1.1. Caracteristici generale

Sistemele publice de telecomunicaţii mobile terestre numerice sunt sisteme mobile terestre destinate asigurării de *servicii telefonice, transmisii de date şi alte servicii*, urmând a fi conectate la:

- reţele telefonice publice comutate;
- reţele numerice cu integrarea serviciilor (**ISDN**);
- reţele publice de date.

Obiectivele generale urmărite în realizarea sistemelor publice de telecomunicaţii mobile terestre numerice sunt următoarele:

- mobilitatea utilizatorului;
- creşterea eficienţei utilizării spectrului de frecvenţă şi ca urmare, creşterea numărului de utilizatori;
- oferirea unei largi game de servicii (telefonice şi netelefonice, compatibile cu cele oferite de reţelele publice fixe);
- accesul între reţele;

- punerea la dispoziţia utilizatorilor a unor sisteme mobile cu staţii portabile dotate cu interfeţe telefonice şi netelefonice;
- reducerea costului, greutăţii, dimensiunilor şi consumului electric prin adoptarea tehnologiilor digitale şi a **LSI**;
- realizarea de servicii de calitate la un preţ rezonabil.

1.2. Caracteristicile mediului radio

Pentru a beneficia de avantajul mobilităţii terminalelor oferit de reţelele de comunicaţii mobile trebuie "plătit" preţul impus de mediul radio, ce oferă condiţii de operare mult mai restrictive decât cele ale mediilor prin cablu (cablu metalic, fibră optică). Principalele caracteristici specifice mediilor fără fir sunt:

- zgomotul foarte mare;
- lărgimea de bandă limitată şi costisitoare;
- variaţia calităţii semnalului recepţionat (*fading*), fenomen dependent atât de timp, cât şi de localizarea spaţială a terminalului mobil.

Toate aceste caracteristici conduc la o rată a erorilor foarte mare în mediile radio, ce poate ajunge până la 10^{-3}. O îmbunătăţire a ratei erorilor poate fi obţinută prin utilizarea unui set extins de funcţii de control al erorilor în subsistemul de transmisie/recepţie. Obiectivele funcţiilor de control al erorilor sunt următoarele:

- realizarea unui compromis între rata acceptată a erorilor şi eficienţa utilizării lărgimii de bandă, ştiut fiind că orice control al erorilor (coduri detectoare/corectoare de erori, control prin retransmisie automată) introduce o redundanţă în transmiterea informaţiei, consumând astfel din lărgimea de bandă disponibilă;

- realizarea unui compromis între rata erorilor şi întârzierea şi variaţia întârzierii (*jitter-ul*) pachetelor prin reţea.

În plus, trebuie ţinut cont de o restricţie suplimentară introdusă de mobilitatea terminalelor şi anume accesul limitat la sursele de energie electrică. Relaţia dintre capacitatea de stocare a energiei şi greutatea bateriei impune contrângeri severe asupra dimensiunilor şi performanţelor terminalelor mobile. Scopul şi calitatea serviciilor disponibile în comunicaţiile personale vor depinde foarte mult de consumul de energie necesar noilor tehnologii de transmisiune şi de prelucrare a informaţiei.

2. Formarea semnalelor transmise în cadrul sistemelor de comunicatii mobile

2.1. Codarea canalului vocal *full-duplex*

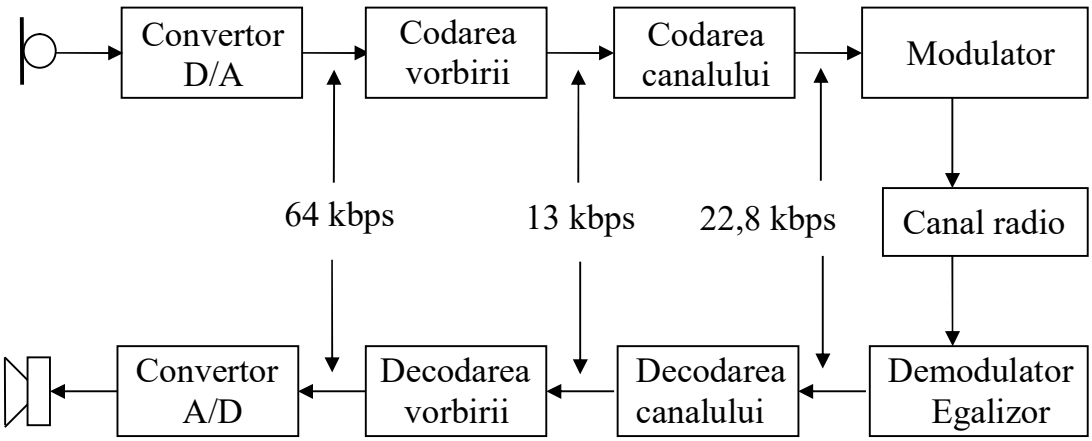

Fig. 1. Lanţul de transmisie a semnalelor

Codarea canalului (Fig.1) are ca scop îmbunătăţirea calităţii transmisiei în condiţiile perturbării semnalului. Codarea constă în adăugarea unei informaţii

suplimentare la sursa de date originală, informaţie calculată pe baza datelor originale. Codurile pot fi clasificate în:

- *coduri bloc*: prelucrările necesare obţinerii proprietăţilor de detecţie sau de corecţie se fac în blocuri de ***n*** simboluri;
- *coduri convoluţionale*: prelucrarea simbolurilor generate de sursă nu se face pe blocuri, ci în mod continuu.

Blocul de codare a canalului (Fig.2) este cel care realizează codarea necesară în vederea modulării şi transmiterii semnalului pe canalul radio. La intrarea acestui bloc ajung pachetele cu lungimea de 260 de biţi obţinute la ieşirea codorului vocal, dispozitiv ce realizează compresia semnalului. În timpul codării digitale a canalului sunt adăugaţi biţi suplimentari astfel încât să se poată corecta erorile introduse de canal.

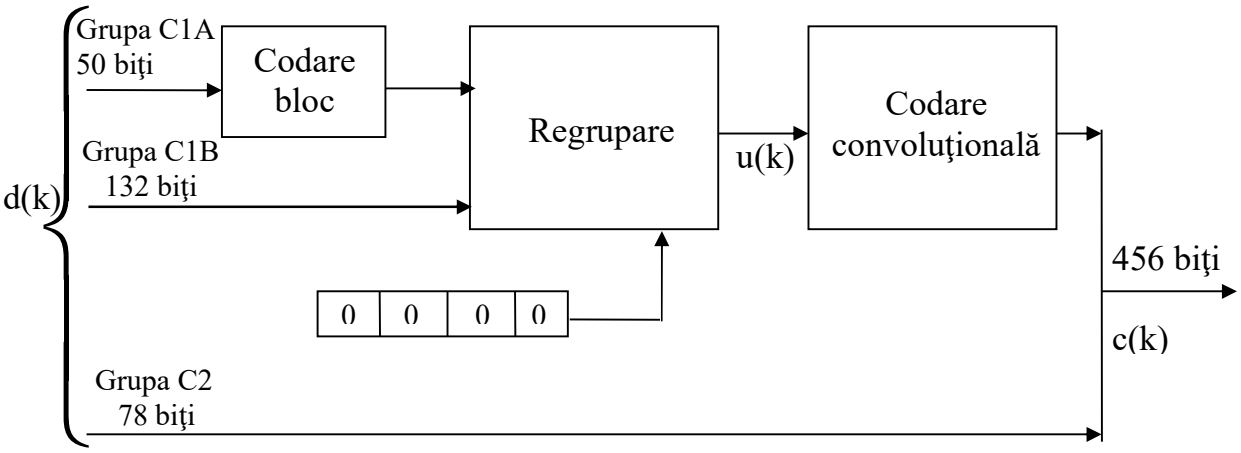

Fig. 2. Codarea canalului. Schema bloc

Conform standardului **GSM** cei 260 de biţi din pachet sunt grupaţi în trei grupe, în funcţie de influenţa lor asupra calităţii semnalului vocal:

- **Grupa C1A**, care cuprinde 50 de biţi, ***d(k)***, **k=0..49**, este cea mai importantă şi de aceea este codată atât cu un cod bloc corector de erori,

cât şi cu un cod convoluţional; erorile de transmisie a acestor biţi au rezultate dezastruoase asupra inteligibilităţii vorbirii; în cazul în care apar erori ale biţilor de clasă **C1A**, întregul bloc este ignorat;

- **Grupa C1B** este formată din 132 de biţi de importanţă medie, ***d(k),*** **k=50..181**, cărora li se aplică doar codarea convoluţională;
- **Grupa C2** are în compunere cei mai puţin importanţi 78 de biţi, ***d(k)***, **k=181..259**, astfel că această grupă nu este protejată.

Gruparea biţilor a fost realizată în urma unor teste subiective.

Codarea bloc se realizează prin adăugarea a 3 biţi blocului de 50 de biţi ce formează grupa **C1A**, cei 3 biţi reprezentând restul divizării *modulo 2* a polinomului de 50 de biţi cu polinomul:

$$G(D)=1+D+D^3 \qquad (1)$$

Implementarea codorului bloc este ilustrată în Fig.3. Modul de operare este următorul: în intervalul corespunzător primelor 50 de perioade ale ceasului comutatorul rămâne deschis, iar pentru ultimele intervale, cuprinse între 51 şi 53, comutatorul este trecut pe poziţia închis.

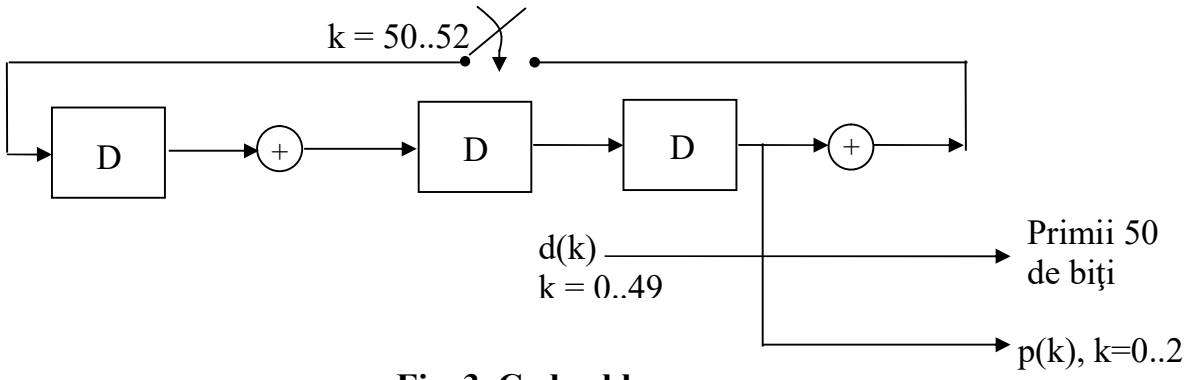

Fig. 3. Codor bloc

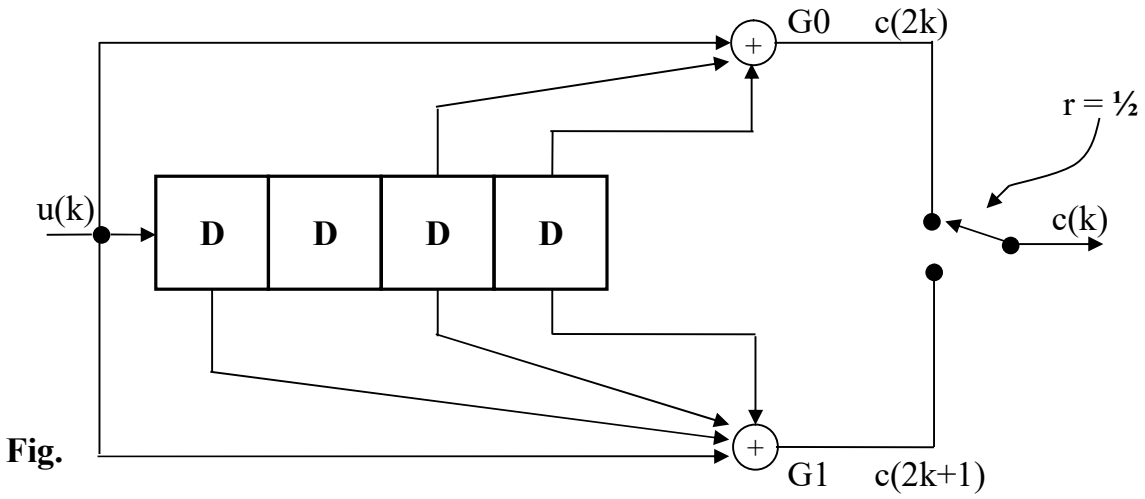

Fig. 4. Codorul convoluţional. Schema de principiu

Înainte de codarea convoluţională are loc o regrupare a biţilor. De asemenea, sunt adăugaţi la sfârşitul secvenţei patru biţi egali cu zero utilizaţi pentru resetarea codorului convoluţional. După codarea bloc şi regrupare, se obţine următoarea secvenţă:

$$\begin{cases} u(k) = d(2k) \text{ şi } u(184-k) = d(2k+1), \text{ pentru } k = 0..90 \\ u(91+k) = p(k), \qquad \text{pentru } k = 0..2 \\ u(k) = 0, \qquad \text{pentru } k = 185..188 \end{cases} \quad (2)$$

Schema de principiu a codorului convoluţional este cea din Fig.4. Codorul utilizează o rată de codare **r=1/2** şi un registru de întârziere cu dimensiunea **k=4**. Aceasta înseamnă că se utilizează cinci biţi consecutivi pentru calculul biţilor de redundanţă şi că pentru fiecare bit de date se adaugă un bit de redundanţă. Sunt utilizate polinoamele:

$$G_0(D = 1+D^3+D^4 \quad (3)$$

$$G_1(D)= 1+D+D^3+D^4 \quad (4)$$

La ieşirea codorului canalului se va obţine secvenţa:

$$\begin{cases} c(2k) = u(k) + u(k-3)+u(k-4), & \text{pentru } k = 0..188 \\ c(2k + 1) = u(k) + u(k - 1) + u(k - 3) + u(k - 4), & \text{pentru } k = 0..188 \\ & \text{cu } u(k) = 0, \text{ pentru } k < 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$c(378 + k) = d(182 + k), \qquad \text{pentru } k = 0..77$$

2.2. Întreţeserea datelor (*interleaving*) pentru canalul vocal *full-duplex* (TCH)

Tehnicile de corecţie a erorilor utilizate pentru a combate efectul erorilor datorate zgomotului şi interferenţei introduc biţi de redundanţă, crescând astfel debitul datelor. De exemplu, debitul rezultat în urma codării vocale este de 260 biţi la fiecare 20 ms (13kbps). După codarea canalului, numărul biţilor creşte la 456, deci va fi 22,8 Kbps. Aceste tehnici de corecţie a erorilor au efect numai pentru erorile necorelate şi nu dau rezultate în cazul *erorilor în rafale*. Deoarece pe canalul radio erorile apar frecvent în rafale, se recomandă *întreţeserea datelor*. Întreţeserea reprezintă o distribuire a biţilor de date într-o ordine diferită de cea în care au fost generaţi. Efectul este cel al separării biţilor consecutivi ai mesajului, astfel încât erorile în rafale vor fi de fapt împrăştiate în interiorul mesajului recepţionat, iar corelarea erorilor va fi mult mai slabă.

Pentru a descrie metoda de întreţesere utilizată în sistemul de telefonie mobilă **GSM**, este utilă o prezentare prealabilă a structurii pachetului de date

transmis într-un interval elementar al cadrului **TDMA** (*Normal Burst* - ***NB***).

Modul de formare a **NB** este prezentat în Fig.5. Pachetul este încadrat de două secvenţe de încadrare şi conţine 114 biţi de date. Biţii de date sunt separaţi în două părţi de o secvenţă de antrenare a egalizorului cu lungimea de 26 de biţi. Biţii fanion se utilizează pentru a semnala un canal de control, când au valoarea **1**, altfel valoarea lor este **0**. La sfârşitul fiecărui pachet se lasă un interval de gardă echivalent cu 8 ¼ biţi. Lungimea totală a pachetului este de 156,25 biţi (0,577 ms).

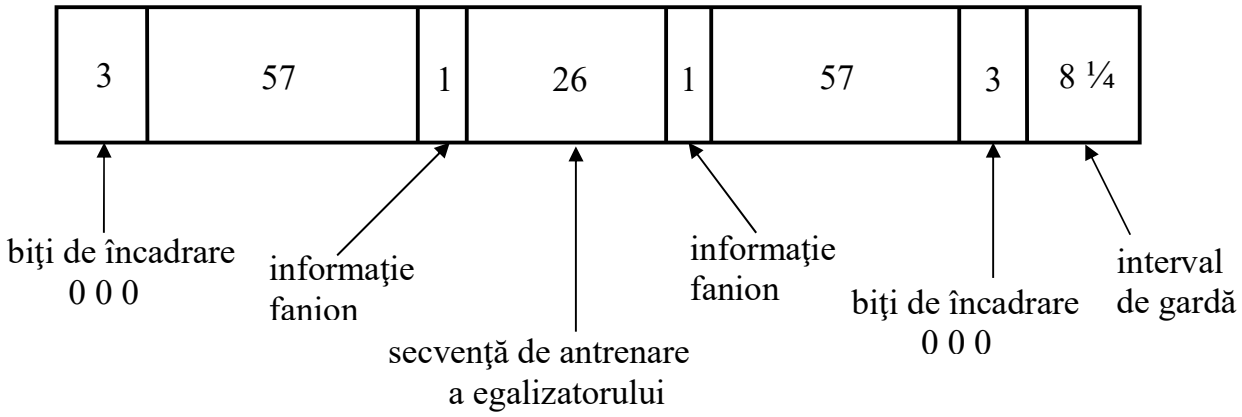

Fig. 5. Structura unui interval elementar al cadrului TDMA (NB)

Detaliile procesului de întreţesere a celor 456 = 8 x 57 de biţi la fiecare 20 ms obţinuţi în urma codării sunt oferite în Fig.6. În prima fază, blocul de 456 biţi este înscris într-o matrice **RAM** de 8 coloane şi 57 linii. Scrierea biţilor se face pe linii. Biţii sunt citiţi apoi pe coloane, formând astfel 8 subblocuri a câte 57 biţi fiecare. Fiecare **NB** conţine 114 biţi de informaţie care vor fi împărţiţi de două subblocuri în două blocuri vocale adiacente. Fiecare bloc împarte **4NB** cu blocul predecesor şi **4NB** cu blocul succesor. Astfel, un bloc vocal va fi transmis pe parcursul a 8 cadre **TDMA** consecutive, în slotul temporal atribuit în interiorul cadrului. Se obţine o adâncime a întreţeserii egală cu opt. Biţii

subblocurilor 0÷3 utilizează poziţiile pare ale biţilor de informaţie din **NB**, iar subblocurile 4÷7 pe cele impare.

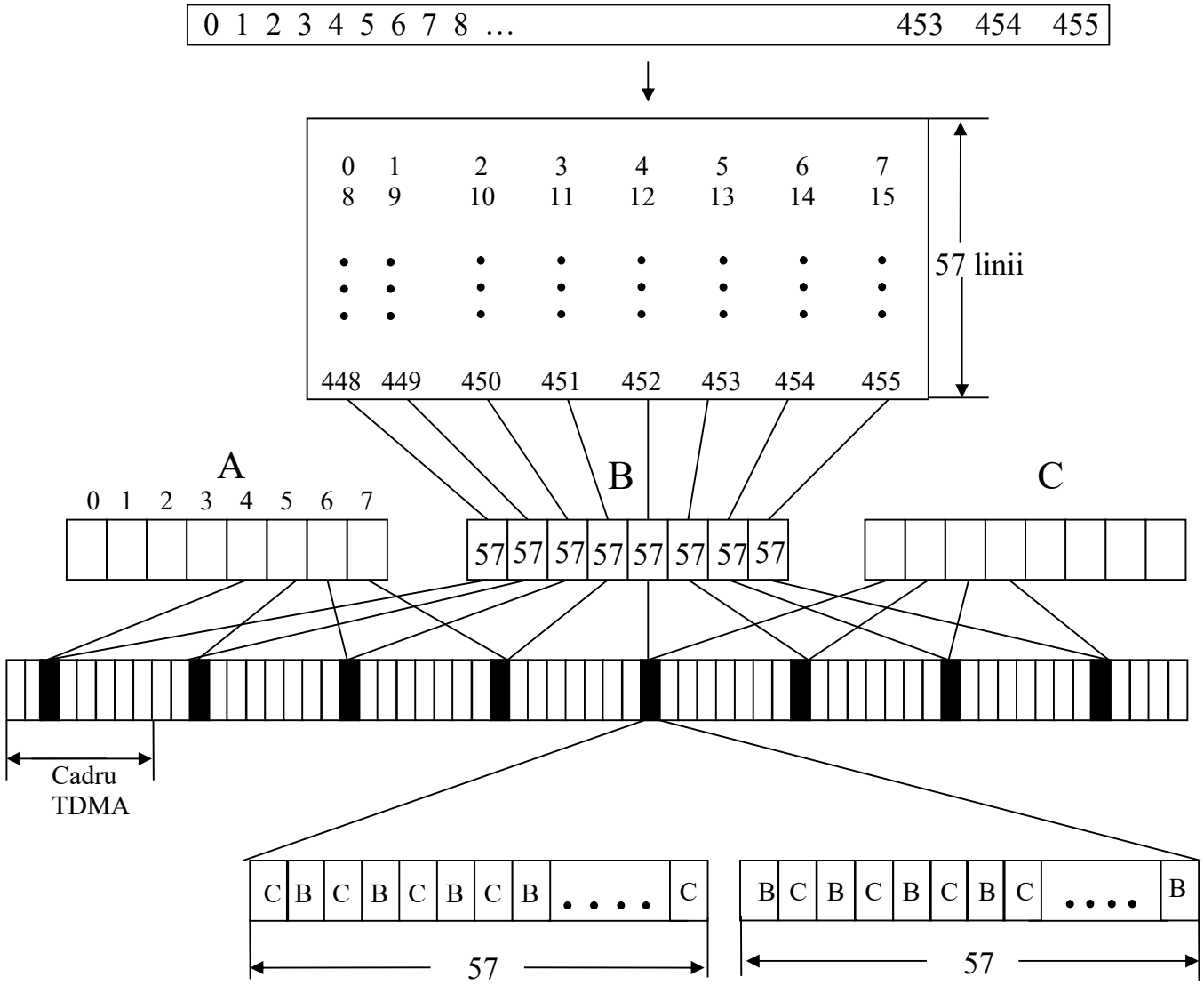

Fig. 6. Detaliile procesului de întreţesere

2.3. Prelucrarea datelor pentru canalul de date de 9,6 kbps

Debitul net (debitul înainte de codare) necesar pentru canalele de date **TCH** este mai mare decât rata de transmisie a informaţiei. De exemplu, pentru serviciul de 9,6 kbps sunt necesari de fapt 12 kbps pentru că sunt transmise şi semnalele de stare (de exemplu: ***DTR*** – *Data Terminal Ready* pentru **RS-232**). Fluxul de date al utilizatorului este divizat în 4 blocuri de câte 60 de biţi fiecare. Pentru toţi cei 240 de biţi se realizează codarea convoluţională. Nu se utilizează codarea bloc deoarece detecţia erorilor este realizată în terminalul de date. Celor 240 de biţi le sunt adăugaţi 4 biţi egali cu zero pentru resetarea codorului. Parametrii codării convoluţionale sunt **r = 1/2** şi **k = 4** (ca în cazul codării vocii). Rezultă 488 de biţi, deci un exces de 488 – 456 = 32 biţi. Pentru a reduce numărul de biţi, se renunţă la 32 de biţi după o regulă care să permită recuperarea datelor la recepţie.

2.4. Prelucrarea datelor pentru canalul de date de 2,4 kbps

Canalul de date de 2,4 kbps utilizează aceeaşi schemă de întreţesere ca şi canalul vocal **TCH**. Aceasta implică o modificare a codorului convoluţional, care va avea **r = 1/6** şi **k = 4**. Debitul efectiv al datelor sosite de la echipamentul terminal este de 3,6 kbps, incluzând aici şi biţii pentru codul corector de erori utilizat de echipamentul terminal. Datele utilizatorului sunt divizate în blocuri de 72 de biţi la care se adaugă 4 zerouri. După codarea convoluţională, vor rezulta 76 x 6 = 456 biţi.

2.5. Prelucrarea datelor pentru canalul de control al semnalizărilor

În cazul canalelor de semnalizare, subsistemul radio primeşte de la nivelul legătură de date al stivei de protocoale (vezi modelul **OSI**) blocuri de 184 de biţi. Aceştia sunt protejaţi cu un cod bloc ciclic, potrivit pentru detecţia şi corecţia erorilor în rafale, care utilizează 40 de biţi de paritate. După adăugarea celor 4 zerouri este efectuată codarea convoluţională, având ca parametri pe cei

utilizaţi în cazul canalului **TCH**. Întreţeserea utilizează şi ea aceeaşi schemă ca în cazul canalului **TCH**, cu excepţia datelor din canalele **SCH** şi **RACH**.

3. Desfăşurarea lucrării

3.1. Se apelează programul *Gsmlab.exe* şi se urmăreşte schema bloc a sistemului GSM. Se selectează **codorul digital al canalului** apăsând butonul ***Digital Channel Encoder***.

Rezultatele simulărilor sunt reprezentate de numărul de biţi eronaţi pentru fiecare dintre cele 3 grupuri de biţi ai vocii codate şi de procentajele de erori asociate.

a) Se fac 5 simulări cu probabilitate de eroare 0,1 şi cu 1 rulare/simulare (butonul ***Run once***).

Se scriu in tabel procentele de erori pentru fiecare grupa de biti.

	1	2	3	4	5
C1A					
C1B					
C2					

b) Se repetă efectuarea a câte 5 simulări pentru probabilitate de eroare 0.1, utilizând opţiunea ***Run many*** (mai multe rulări/simulare) modificându-se numărul de rulări/simulare din caseta de dialog ***Number of runs***. Se vor fixa valorile 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 pentru numărul de rulări/simulare.

Se scriu in tabel procentele de erori pentru fiecare grupa de biti.

		1	2	3	4	5
2	C1A					
	C1B					
	C2					
5	C1A					
	C1B					

	C2					
10	C1A					
	C1B					
	C2					
20	C1A					
	C1B					
	C2					
50	C1A					
	C1B					
	C2					
100	C1A					
	C1B					
	C2					
200	C1A					
	C1B					
	C2					
500	C1A					
	C1B					
	C2					

Pentru fiecare valoare a numarului de rulari/simulare, se vor calcula mediile procentelor de erori (pentru cele 5 simulari) pentru C1A, C1B, C2.
Se vor reprezenta grafic procentele de erori medii (calculate anterior) in functie de numarul de rulari/simulare pentru cele 3 grupe de biti (3 grafice pe acelasi sistem de coordonate).
Se urmăreşte dispersia rezultatelor pentru fiecare *număr de rulări/simulare.* Se va alege numărul de rulări/simulare suficient de mare pentru o dispersie mică a rezultatelor. Numărul de rulări/simulare ales va fi utilizat în continuare pentru toate punctele desfăşurării lucrării.

3.2. Se repetă efectuarea unei simulări, **cu numărul de rulări/simulare ales la punctul 3.1** (pentru dispersia minima), pentru probabilitatea de eroare: 0.01, 0.02, 0.03, 0.05, 0.07, 0.09, 0.10, 0.15, 0.2, 0.3, 0.5, utilizând opţiunea ***Run many***. Se notează procentajul de erori pentru fiecare grup de biţi, pentru fiecare simulare. Se compară efectul erorilor asupra celor 3 grupuri de biţi.
Se scriu in tabel procentele de erori pentru fiecare grupa de biti

2	C1A	
	C1B	
	C2	
5	C1A	
	C1B	
	C2	
10	C1A	
	C1B	
	C2	
20	C1A	
	C1B	
	C2	
50	C1A	
	C1B	
	C2	
100	C1A	
	C1B	
	C2	
200	C1A	
	C1B	
	C2	
500	C1A	
	C1B	
	C2	

Se vor reprezenta grafic procentele de erori in functie de probilitatile de eroare pentru cele 3 grupe de biti (3 grafice pe acelasi sistem de coordonate).

3.3. Se revine la schema bloc a sistemului GSM (butonul ***Return to GSM block diagram***) şi se selectează **blocul de codare a canalului** (butonul ***CC(2,1,5)***). Se pot efectua astfel mai multe simulări, schimbând tipul biţilor de intrare prin selectarea unuia dintre butoanele radio ***Random generated*** sau ***All ones*** (generaţi aleator / toţi '1') şi tipul erorilor generate în canal prin selectarea butoanelor *"Probability of bit error, P_e"*, *"Error every ... bits"*, *"Burst errors"*

(aleatoare / la fiecare ***r*** biţi / în rafale) şi numărul de rulări într-o simulare. Pentru fiecare tip de eroare există o casetă de dialog asociată, în care se pot modifica parametrii erorilor.

Primele rezultate ale simulărilor sunt numerele de biţi eronaţi de către canal (erorile de intrare), după decodare (erorile de ieşire) şi procentajele de erori asociate. Urmează prezentarea şirurilor de biţi corespunzători ultimei rulări dintr-o simulare. În primul grup de 3 şiruri de biţi, primii sunt biţii semnalului vocal original, următorii sunt biţii eronaţi ai semnalului vocal refăcut şi ultimii sunt chiar biţii semnalului vocal refăcut. În al doilea grup de 3 şiruri de biţi, primii sunt biţii semnalului vocal codat, următorii sunt biţii eronaţi în canal şi ultimii sunt biţii semnalului vocal codat eronat de canal.

3.4. Cu **numărul de simulări/rulare ales la punctul 3.1** se realizează simulări ale funcţionării codorului, **cu biţii toţi '1'** ***(All ones)***, pentru:
a) probabilităţi de erori aleatoare: 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, utilizând opţiunea **"*Run several*"**
Se scriu in tabel procentele de erori ECC si EOD.

		0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5
ECC							
EOD							

ECC – procentul de Erori create de canal
EOD – procentul de Erori la iesirea decodorului

Se vor reprezenta grafic ECC si EOD in functie de probilitatile de eroare (2 grafice pe acelasi sistem de coordonate).

b) pentru eroare la fiecare 2, 4, 8 biţi, utilizând opţiunea **"*Run several*"**
Se scriu in tabel procentele de erori ECC si EOD.

	2	4	8
ECC			
EOD			

c) pentru erori în rafale (simulate cu procese Markov, in care Pbirth=Pdeath =0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5) si utilizând opţiunea **"*Run several*".**

Se scriu in tabel procentele de erori ECC si EOD.

	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5
ECC						
EOD						

Se vor reprezenta grafic ECC si EOD in functie de Pbirth=Pdeath (2 grafice pe acelasi sistem de coordonate).

Se urmăreşte efectul erorilor asupra şirurilor de biţi.

3.5. Se repetă efectuarea a câte 5 simulări, cu 1 rulare/simulare, cu **biţii toţi '1'** si utilizând opţiunea ***Run once*** pentru:

a) probabilitatea de eroare: 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5

Se scriu in tabel procentele de erori ECC si EOD.

		1	2	3	4	5
0.01	ECC					
	EOD					
0.02	ECC					
	EOD					
0.05	ECC					
	EOD					
0.1	ECC					
	EOD					
0.2	ECC					
	EOD					
0.5	ECC					
	EOD					

Pentru fiecare probabilitate de eroare, se vor calcula mediile procentelor de erori ECC si EOD (pentru cele 5 simulari).
Se vor reprezenta grafic procentele de erori medii ECC si EOD (calculate anterior) in functie de numarul de rulari/simulare (3 grafice pe acelasi sistem de coordonate).

b) pentru eroare la fiecare 2, 4, 8 biţi, utilizând opţiunea **"*Run once*"**
Se scriu in tabel procentele de erori ECC si EOD.

	2	4	8
ECC			
EOD			

c) pentru erori în rafale (simulate cu procese Markov, in care Pbirth=Pdeath =0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5) si utilizând opţiunea **"*Run once*"**

		1	2	3	4	5
0.01	ECC					
	EOD					
0.02	ECC					
	EOD					
0.05	ECC					
	EOD					
0.1	ECC					
	EOD					
0.2	ECC					
	EOD					
0.5	ECC					
	EOD					

Pentru fiecare probabilitate de eroare se vor calcula mediile procentelor de erori ECC si EOD (pentru cele 5 simulari).
Se vor reprezenta grafic procentele de erori medii ECC si EOD (calculate anterior) in functie de Pbirth=Pdeath=0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5 (2 grafice pe acelasi sistem de coordonate).

Se urmăreşte efectul erorilor asupra şirurilor de biţi.

3.6. Se repetă efectuarea unei simulări, cu numărul de rulări/simulare ales la punctul 3.1, cu biţi generaţi aleator (***"Random generated"***), pentru probabilitate de eroare *n* x 0,01, începând cu 0,01, **până când se depăşeşte punctul de egalitate** a probabilităţilor de eroare de intrare şi de ieşire (ECC si EOD).

Se urmăreşte efectul erorilor asupra şirurilor de biţi.

	0.01	0.02	0.03	.....	.....
Errors created by channel (ECC)					
Errors out of decodor (EOD)					

4. Întrebări

4.1. Descrieţi alte metode cunoscute utilizate pentru combaterea erorilor în rafale pe canalele radio.

4.2. De ce pentru erorile în rafale şi pentru erori la fiecare ***n*** biţi la ieşirea decodorului de canal rata erorilor poate fi mai mare decât la intrarea sa?

OBSERVATIE

Referatul va cuprinde un sumar de teorie, tabelele cu valorile obtinute, graficele si raspunsul la intrebari.