Pulse Coded Modulation

PCM (Pulse Coded Modulation) este o tehnica de codare a semnalului vocal definită în standardul ITU-T G.711 şi este metoda care se foloseşte în telefonia digitală pentru a coda semnalul de voce.

Primul pas în conversia semnalului vocal analogic în semnal digital este **filtrarea** semnalului analogic, adică limitarea la banda de frecvenţă telefonică [300 Hz, 3400 Hz]. Următorul pas este **eşantionarea**, la o frecvenţă care să respecte teorema eşantionării, Fe > 2*Fm, astfel frecvenţa de eşantionare a fost aleasă Fe = 8 kHz. Se poate observa că filtrarea are rolul de a preveni apariţia fenomenului de aliere. După ce a avut loc eşantionarea, următorul pas este **compresia semnalului,** proces ce se realizează prin **cuantizare neuniformă**.

Compandarea

Compandarea este procesul de compresie a semnalului, la sursă, iar apoi expandarea lui la destinaţie (compandare = <u>comp</u>resie + exp<u>andare</u>). Această operaţie este efectuată conform **legilor de compresie**, legea μ (1) şi legea A (2).

Legea μ	Legea A
$f(x)=\mathrm{sgn}(x)\cdot\dfrac{\ln(1+\mu\cdot\lvert x\rvert)}{\ln(1+\mu)}, 0\le x<1 \quad (1)$ - folosită în Statele Unite ale Americi şi Japonia cu μ=255	$f(x)=\begin{cases}\dfrac{A\cdot x}{1+\ln(A)}, 0\le\lvert x\rvert<\dfrac{1}{A}\\ \mathrm{sgn}(x)\cdot\dfrac{1+\ln(A\cdot\lvert x\rvert)}{1+\ln(A)}, \dfrac{1}{A}\le\lvert x\rvert<1\end{cases} \quad (2)$ - Folosită în Europa cu A = 87.6, valoare pentru care se obţine continuitate

Exerciţiu : Determinaţi expresiile matematice corespunzătoare caracteristicilor de expandare pentru legile de compresie de mai sus (valoarea x în funcţie de y).

În Figura 1 se dă schema bloc a unui compandor :

- eşantioanele semnalului vocal se cuantizează uniform pe 16 biţi
- se aplică una dintre legile de compresie (1) sau (2)
- se elimină cei mai puţin semnificativi 8 biţi (Figura 2)

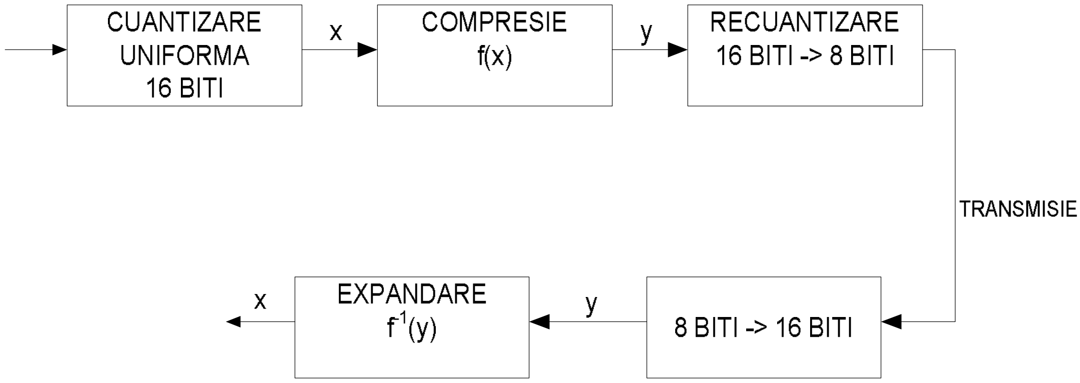

Figura 1 – Schema bloc a compandorului

La destinație se trece din nou la 16 biți prin completarea celor 8 biți eliminați cu valoarea 10000000_2 (128_{10}), ceea ce reduce la jumătate valoarea maximă pe care o poate lua eroarea de cuantizare. Următorul pas este de a aplica funcția de expandare corespunzătoare celei de compresie folosite la sursă.

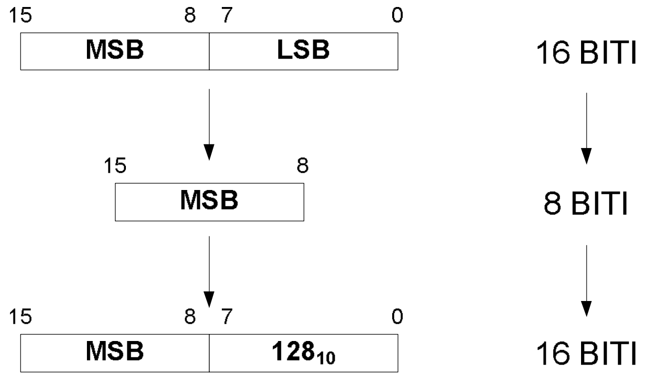

Figura 2 – Procesul de recuantizare

Legea de compresie μ

În Figura 3 este dată caracteristica de compresie normalizată a legii μ pentru diverse valori ale lui μ, iar în Figura 4 este dată caracteristica segmentată a legii μ.

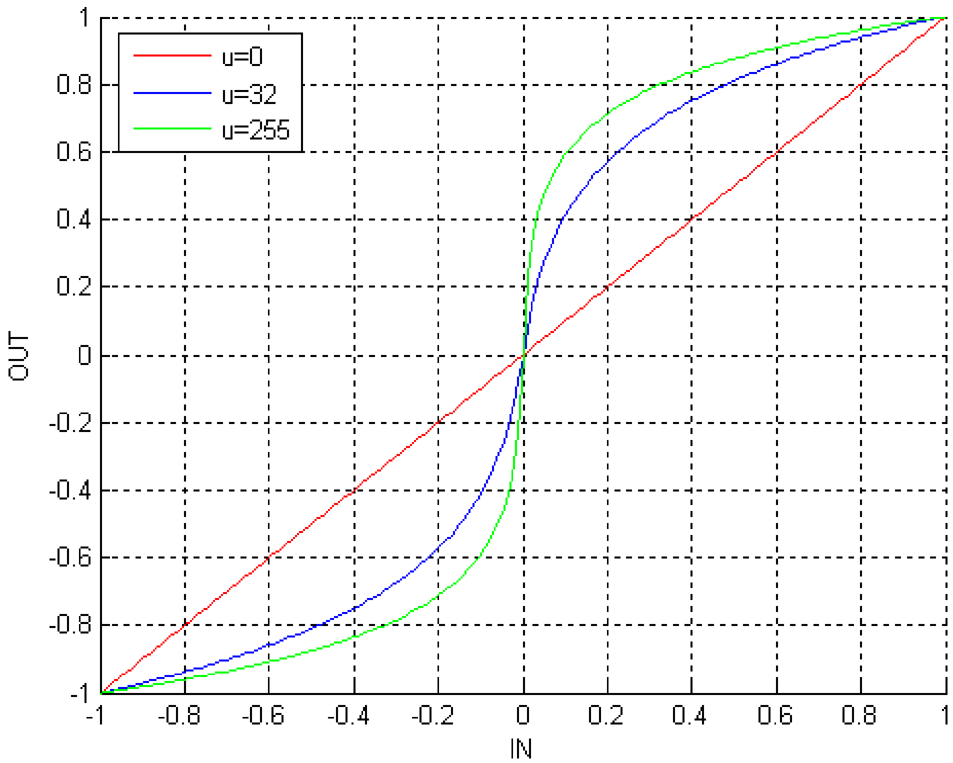

Figura 3 – Caracteristica de compresie normalizată a legii μ

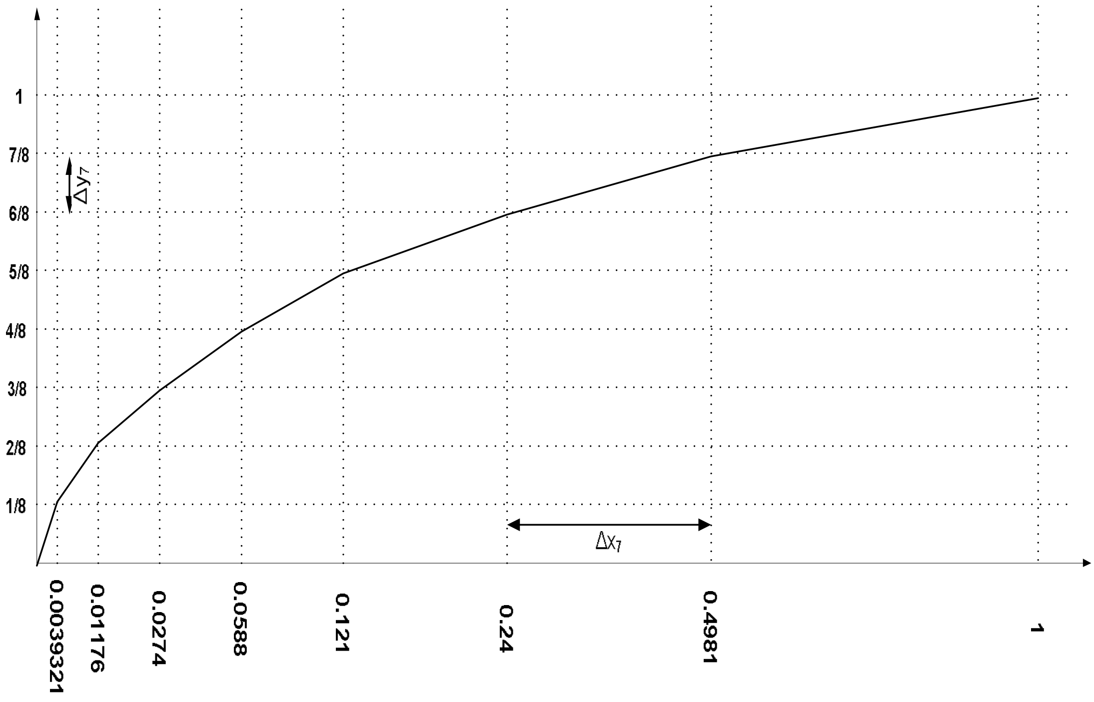

Figura 4 – Caracteristica segmentată a legii μ – partea pozitivă

În practică caracteristica din Figura 3 (μ=255) se aproximează în 16 segmente, 8 pe partea pozitivă şi 8 pe cea negativă (Figura 4), iar fiecare segment este împărțit în 16 subsegmente (Figura 5). În cadrul fiecărui segment de pe axa X se efectuează o cuantizare uniformă pe 4 biți.

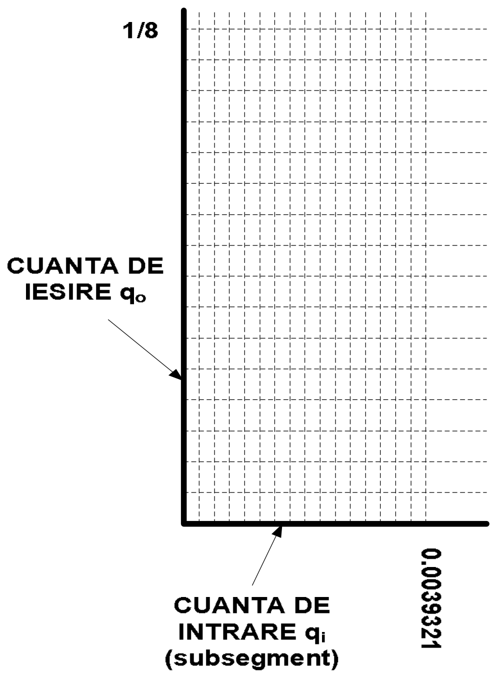

Figura 5 - Segmentul 1 (împărțirea în subsegmente)

Codarea semnalului de intrare se face în felul următor (Figura 6):

- cel mai semnificativ bit, b_7, indică polaritatea semnalului;
- următorii 3 biți, b_6 b_5 b_4 indică segmentul;
- ultimii 4 biți , b_3 b_2 b_1 b_0, indică subsegmentul

b_7	b_6	b_5	b_4	b_3	b_2	b_1	b_0
SEMN	SEGMENT			SUBSEGMENT			

Figura 6 – Semnificația biților

Întrebări :

1) Pentru o caracteristică de compresie cu 4 segmente, fiecare segment fiind împărțit în 8 subsegmente, de câți biți e nevoie pentru realizarea codării?
2) Pentru caracteristica de compresie (0,0) – (0.1,0.25) - (0.3,0.5) - (0.6,0.75) – (1,1) dați coordonatele punctelor care definesc caracteristica de expandare.

În continuare vom da relațiile de calcul pentru următorii parametrii :

- **Rata de compresie pentru segmentul i**: $Rc_i = \frac{\Delta x_i}{\Delta y_i}$, unde Δx_i reprezintă dimensiunea segmentului de intrare i, iar Δy_i dimensiunea segmentului de ieşire i (Figura 4) care este egală cu 0.125 pentru oricare segment de ieşire. Când rata de compresie este mai mică decât 1 înseamnă că se realizează expandare, iar când aceasta este mai mare decât 1 se realizează compresie.
- **Cuanta de intrare pentru segmentul i :** reprezintă dimensiunea unui subsegment al segmentului de intrare i şi se poate calcula cu relația $q_i = \frac{\Delta x_i}{Nr.subsegmente} = \frac{\Delta x_i}{16}$
- **Cuanta de ieşire :** reprezintă dimensiunea unui subsegment al unui segment de ieşire şi se calculează cu relația $q_o = \frac{\Delta y_i}{16} = \frac{0.125}{16} = 0.0078125$
- **Cuanta elementară :** reprezintă cuanta cu care ar trebui cuantizat uniform semnalul pentru a se obține aceleaşi performanțe ca şi în cazul cuantizării neuniforme (14 biți în cazul legii μ) $q_e = \frac{2}{2^b} = \frac{2}{2^{14}} = 0.00012207$
- **Numărul de cuante elementare dintr-o cuantă de intrare :** $n_i = \frac{q_i}{q_e}$
- **Puterea zgomotului de cuantizare :** $Pzq_i = \frac{q_i^2}{12}$, reprezintă puterea zgomotului de cuantizare în segmentul i
- **Puterea totală a zgomotului de cuantizare :** $Pzq = \sum_{\substack{i=-8 \\ i\neq 0}}^{8} p_i \cdot Pzq_i$, unde p_i reprezintă probabilitatea ca nivelul eşantionului să cadă în segmentul i. Dacă avem aceaşi probabilitate de apariție a oricărui eşantion (distribuție uniformă) atunci probabilitatea ca acesta să se găsească în segmentul i este egală cu dimeniunea segmentului i, în cazul caracteristicii normalizate, $p_i = \Delta x_i$

- **Puterea totală a zgomotului de cuantizare (segmentele pozitive) :**

$$Pzq' = \sum_{i=1}^{8} p_i \cdot Pzq_i$$

Segment (i)	Δx_i	Rc_i	Q_i	n_i	Pzq_i
1	0.003921	0.031368	0.000245063	2.007552	5.00464E-09
2	0.007839	0.062712	0.000489938	4.013568	2.00032E-08
3	0.01564	0.12512	0.0009775	8.00768	7.96255E-08
4	0.0314	0.2512	0.0019625	16.0768	3.20951E-07
5	0.0622	0.4976	0.0038875	31.8464	1.25939E-06
6	0.119	0.952	0.0074375	60.928	4.6097E-06
7	0.2581	2.0648	0.01613125	132.1472	2.16848E-05
8	0.5019	4.0152	0.03136875	256.9728	8.19999E-05

Tabel 1 – Rezultate obținute pentru legea μ

Dacă calculăm puterea totală a zgomotului de cuantizare obținem $Pzq' = 47.39 \cdot 10^{-6}$W, iar dacă calculăm puterea zgomotului de cuantizare în cazul cuantizării uniforme cu acelaşi număr de biți, 8 biți, obținem $Pzq_{uniform}' = 5 \cdot 10^{-6}$W. Deşi puterea zgomotului de cuantizare în cazul cuantizării uniforme este mai mică decât puterea zgomotului de cuantizare total din cazul cuantizării neuniforme, se poate observa, în Tabelul 1, că puterea zgomotului de cuantizare în cazul uniform este mult mai mare decât puterea zgomotului de cuantizare în cazul neuniform pentru primele segmente, adică pentru nivelele mici ale semnalului vocal, acolo unde urechea este mult mai sensibilă la eroarea de cuantizare. Eroarea de cuantizare neuniformă este mai mare la nivele mari ale semnalului vocal unde aceasta nu este aşa de sesizabilă, dar afectează raportul semnal/zgomot de cuantizare mediu care este important pentru transmisiile de date.

Informații suplimentare :

- http://www.educypedia.be/electronics/telephonetopics.htm
- http://telecom.tbi.net

Întrebări

1) Dați avantajele/dezavantajele cuantizării neuniforme.
2) Calculați parametrii dați în Tabelul 1 pentru legea A de compandare.
3) O caracteristică de compandare este aproximată în 4 segmente : (0,0) – (1/8,0.25) – (1/4,0.5) – (1/2,0.75) – (1,1), iar fiecare segment este divizat în 4 subsegmente. Ce cod se obține dacă nivleul eşantionului de intrare este 0.755? (Coordonatele caracteristicii sunt în formatul (x,y))