

## Cuantizarea vectorială Partea a II-a. Cuantizarea vectorială adaptivă

Ș.I. ing Cornel Balint  
Prof. dr. ing. Miranda Nafornită  
Universitatea Politehnica Timișoara

ABSTRACT. In last years, vector quantization becomes a powerful technique for data compression, in particular for image and speech signals. This paper, structured as two part series, present a tutorial on vectorial coding, introducing the fundamentals vectorial quantizer and of adaptive vectorial coding as a method for coding nonstationary sources. Part two presents a general mathematical definition of adaptive vector quantization and an original classification.

### 1 Cuantizarea vectorială adaptivă

În cele mai multe aplicații practice, vectorii care urmează a fi codati nu sunt staționari, și de cele mai multe ori nu sunt nici independenți și nici uniform distribuiți în spațiul  $P^k$ . În acest caz, fiecare vector particular conține și o cantitate mai mare sau mai mică de informație despre „vecinii” săi, informație care poate fi folosită pentru a îmbunătăți performanțele cuantizorului. În literatură [GG93], [FA97], [GY85], se face referire la cuantizarea adaptivă în două sensuri, de unde rezultă o primă clasificare a metodelor de cuantizare adaptivă:

a) *Un cuantizor este adaptiv în sensul de mai sus, dacă va extrage din semnalul ce urmează a fi codat acele caracteristici care sunt conținute și de vecinii săi și va cuantiza rezultatul folosind un cuantizor fix.*

În acest sens, se poate vorbi de două tehnici de adaptare:

- *adaptarea înapoi*, la care informațiile adiționale se extrag din vectori care deja au fost codati, exploatând cunoașterea trecutului pentru a coda vectorul curent;

- *adaptarea înainte*, la care informațiile adiționale se extrag din vectorii care urmează a fi codați. Exemple de astfel de metode de cuantizare sunt cuantizarea cu adaptarea mediei și cuantizarea cu adaptarea câștigului [GER93], [BGG80].

b) *Un cuantizor este adaptiv în sens temporal, dacă dicționarul folosit sau regulile de codare se modifică în timp astfel încât să exploateze caracteristicile locale ale semnalului.*

Acest sens al noțiunii de cuantizare adaptivă va fi analizat în continuare.

Un model matematic al cuantizorului adaptiv, reprezentat schematic în figura 1 [FOW96], presupune existența unui dicționar universal,  $C^* \subseteq \mathbb{R}^k$  de mărime corespunzătoare, eventual chiar infinită, care este fix pentru orice moment de timp  $t$  și a unor dicționare momentane,  $C_t \subset C^*$ .

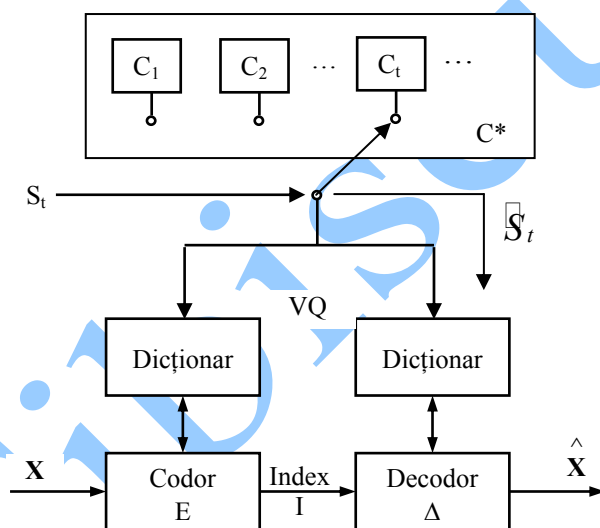


Figura 1.1. Cuantizorul vectorial adaptiv

Cuantizorul vectorial adaptiv va realiza în acest caz o asociere între un vector din spațiul euclidian  $k$  – dimensional și dicționarul activ în acel moment:

$$Q_t : \mathbb{R}^k \rightarrow C_t \quad (1.1)$$

iar semnalul de ieșire va fi

$$\hat{\mathbf{X}}_t = Q_t(\mathbf{X}) \quad (1.2.)$$

Presupunerea că există un dicționar de mărime suficientă (chiar infinit) asigură existența unui vector de cod optimal pentru orice vector de intrare.

Funcția selector  $S_t$  realizează alegerea dicționarului local  $X_t$  care se va folosi la momentul de timp  $t$  [FOW96]. Dicționarul local  $X_t$  se va realiza cu ajutorul unei variabile binare definite astfel:

$$s_t(\mathbf{c}) = \begin{cases} 1, & \text{dacă } \mathbf{c} \in C_t \\ 0, & \text{dacă } \mathbf{c} \notin C_t \end{cases} \quad (1.3.)$$

care va indica acele cuvinte de cod  $\mathbf{c}$  din  $X^*$  care vor compune  $X_t$ .

## 2. Dicționarul universal

Dicționarul universal folosit în cuantizorul vectorial își are originea în ideea de codare universală a unei clase de surse de informație [NGD75] și poate fi inclus explicit în cuantizor, caz în care trebuie să fie de mărime finită, sau poate să nu fie inclus implicit în cuantizor, caz în care poate fi și de mărime infinită. În cel mai general caz, dicționarul universal poate cuprinde întreg spațiul  $P^k$ . Se cunosc în literatură două modele de dicționar universal [DPB82], [RRG98], [Fow96], [ZBL94]:

a) *Dicționarul universal cunoscut apriori*, care este disponibil simultan atât la codare, cât și la decodare. În acest caz, la codare se introduce o funcție selector  $S_t$ , care va selecta dicționarul  $X_t$  folosit la momentul de timp  $t$ . Informația  $S_t$  va trebui transmisă la decodor ca informație suplimentară și va contribui la creșterea ratei cuantizorului, care devine:

$$R = R_Q + R_S, \quad (2.1.)$$

unde:

$R$  este rata totală,

$R_Q$  este rata cuantizării vectorului propriuzis,

$R_S$  este rata corespunzătoare transmiterii informației  $S_t$ .

Informația corespunzătoare dicționarului  $X_t$  folosit la momentul de timp  $t$ , notată  $S_t$  în figura 1 și transmisă sub forma codată  $\bar{S}_t$  către decodor, se numește informație colaterală (side information) și se transmite alături de indicele rezultat în urma cuantizării prin canalul de comunicație. Dacă dicționarul universal are o mărime finită, de dimensiune  $N^* = |C^*|$ , informația colaterală se va putea transmite fără pierderi. Pentru un dicționar momentan de mărime constantă  $N$ , există  $C_N^N$  combinații posibile în care se poate realiza dicționarul  $X_t$  din elementele dicționarului  $X^*$  și prin urmare pentru a coda informația colaterală cu un cod de lungime fixă sunt necesari un număr de biți egal cu

$$L(\bar{S}_t) = \frac{1}{K} \lceil \log_2 C_{N^*}^N \rceil \quad (2.2.)$$

unde K este mărimea unui vector din dicționar.

În general codarea  $\bar{S}_t$  cu un cod de lungime fixă va conduce la un număr de biți mai mare decât cel indicat de relația (2.2.) și sunt necesare tehnici de a reduce această informație [ZBL94]. Este posibil să se transmită direct adresa, în cod binar, a celor  $N^*$  cuvinte de cod din  $X^*$  folosite curent, fiind necesar pentru aceasta un număr de biți egal cu

$$L(\bar{S}_t) = \frac{N}{K} \lceil \log_2 N^* \rceil \quad (2.3.)$$

Cea mai simplă tehnică rămâne transmiterea în mod direct a celor  $N^*$  cuvinte de cod care constituie dicționarul curent [FOW96], fiind necesari pentru aceasta un număr de biți egal cu

$$L(\bar{S}_t) = \frac{N^*}{K} \quad (2.4.)$$

Situația se schimbă radical în cazul în care dicționarul universal  $X^*$  are o dimensiune infinită, când transmiterea acestuia la decodor devine imposibilă din punct de vedere teoretic. O situație similară se poate considera în practică un dicționar universal de mărime foarte mare, pentru care transmisia nu se poate realiza practic. În acest caz, se acceptă o transmisie cu pierderi, sau se adoptă următoarea categorie de dicționar universal, cel inductiv.

b) *Dicționarul universal inductiv* are la bază ideea că nici codorul nici decodorul nu cunosc apriori dicționarul, ci îl construiesc pe parcursul codării [GMY85]. În acest sens, la decodare se folosește un estimant al dicționarului  $\hat{C}_t^*$ , care se construiește pe baza relațiilor de recurență:

$$\begin{aligned} \hat{C}_0^* &= C_0, \\ \hat{C}_{t-1}^* &\subseteq \hat{C}_t^* \end{aligned} \quad (2.5.)$$

În practică, de cele mai multe ori este îndeplinită condiția ca sursa de semnal ce urmează a fi cuantizat să fie cvasistaționară, adică să poată fi aproximată cu o sursă staționară pentru intervale de timp mici în raport cu durata totală a a semnalului. În plus, este îndeplinită condiția ca statistica sursei să nu se modifice esențial între vectori consecutivi. Astfel, este de așteptat ca dicționarul folosit la momentul t să nu difere foarte mult de cel folosit la momentul anterior t-1.

Se pot defini în acest sens două seturi de vectori:

$$L_v = C_t - C_{t-1} \quad (2.6.)$$

$$F_t = C_{t-1} - C_t \quad (2.7.)$$

unde:

$\Lambda_t$  reprezintă setul de vectori de învățare (learning set), care se folosesc pentru a actualiza dicționarul curent;

$\Phi_t$  reprezintă setul de vectori care se vor uita (forgetting set), care nu mai sunt necesari și se vor elimina din dicționar.

### 3. Clasificarea metodelor de cuantizare adaptivă

Diversele metode adaptive de cuantizare vectorială prezentate în literatură se pot grupa în trei mari categorii [Fow96], [Bal03].

Având în vedere considerente de ordin practic, care limitează superior fie distorsiunea maximă admisibilă, fie rata de bit realizată prin cuantizare, fie amândouă aceste caracteristici:

#### a) *Cuantizarea cu constrângeri privind distorsiunea*

Algoritmii cunoscuți în literatură care limitează distorsiunea maximă admisibilă, pe care îi vom numi algoritmi cu limitarea distorsiunii, se bazează pe metode de adaptare dinamică a dicționarului de coduri, astfel încât să se asigure distorsiunea maximă admisă  $D_{\max}$ . În acest sens, dacă nu se poate coda vectorul curent cu distorsiunea impusă  $D_{\max}$  se actualizează dicționarul  $X_i$ , prin adăugarea unui nou vector din dicționarul universal  $X^*$  astfel încât să se asigure distanța față de vectorul curent mai mică decât  $D_{\max}$  [CGH94].

#### b) *Cuantizarea cu constrângeri privind rata de bit*

Majoritatea algoritmilor de cuantizare vectorială se pot încadra în această categorie, care limitează rata binară care rezultă prin codare.

Dacă rata este definită ca entropie a ieșirii codorului, atunci se poate vorbi de cuantizare vectorială cu constrângeri asupra entropiei (Entropy-Constrained VQ) [CLG89]. În general, rata de bit este determinată de dimensiunea dicționarului și din acest punct de vedere se poate vorbi de constrângeri privind mărimea dicționarului, concretizată prin capacitatea de memorare necesară și prin volumul de calcule ce trebuie efectuat pentru a coda un vector de intrare [KB92]. În această categorie se încadrează metodele de cuantizare arborescente (TSVQ) [BGG80], cu clasificarea vectorilor [RG86], de produs [CHG94] și cu stări finite [FGD85]

În cazul general al algoritmilor adaptivi, constrângerea privind rata se poate exprima printr-o limitare a numărului de cuvinte de cod pe care selectorul de dicționar le poate actualiza la un moment dat și prin limitarea

intervalului minim de timp între două actualizări succesive. Astfel, dacă avem un dicționar universal de dimensiune  $N^*$  din care se alege un dicționar actual de dimensiune  $N$  după ce s-au codat  $\tau$  vectori de intrare, se poate exprima rata de bit obținută prin relația:

$$R(Q_t) \leq \frac{1}{K} \left( \lceil \log_2 N \rceil + \frac{1}{\tau} \lceil \log_2 C_{N^*}^N \rceil \right) \quad (3.1.)$$

*c) Cuantizarea cu constrângeri privind rata de bit și distorsiunea*

Această categorie de algoritmi are în vedere atât rata de bit cât și distorsiunea, care sunt limitate la valori superioare impuse și sunt încorporate într-o funcție de cost de forma  $J(Q) = D(Q) + \lambda L(Q)$ , unde parametrul  $\lambda$  stabilește ponderea între distorsiunea  $D$  și rata de bit  $L$  [FA97].

#### 4. Concluzii

Lucrarea face o prezentare generală a cuantizării vectoriale apelând la modele matematice existente în literatură pentru o generalizare a noțiunii de cuantizare vectorială adaptivă.

Se propune o clasificare generală pentru numeroasele metode de cuantizare vectorială prezentate în literatură sub numele de cuantizare vectorială adaptivă, având în vedere pe de o parte sensul în care cuantizorul este adaptiv și pe de altă parte constrângerile de ordin practic impuse cuantizorului.

#### Bibliografie

- [BGG80] **A. Buzo, A. H. Gray, R. M. Gray, J. D. Markel** – *Speech coding based upon vector quantization*, IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-28, pp. 562–574, Oct. 1980.
- [Bal03] **C. Balint** – *Compresia vectorială a semnalului vocal*, referat în cadrul pregătirii pentru doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara, 2003.
- [CHG94] **W. Y. Chan, A. Gersho** – *Generalized product code vector quantization: A family of efficient techniques for signal compression*, Digital Signal Process., vol. 4, pp. 95–126, Apr. 1994.

- [CLG89] **P. A. Chou, T. Lookabaugh, R. M. Gray** – *Entropy-constrained vector quantization*, IEEE Trans. on Acoustic, Speech and Signal processing, ASSP, vol 37(1), 1989.
- [DBP82] **D. B. Paul** – *A 500 – 800 bps Adaptive Vector Quantization Vocoder Using a Perceptually Motivated Distance Measure*, Conference Record, IEEE Globecom, 1982.
- [FA97] **J. E. Fowler, S. C. Ahalt** – *Adaptive Vector Quantization Using Generalized Threshold Replenishment*, Proceedings of the IEEE Data Compression Conference, IEEE Computer Society Press, March 1997
- [FGD85] **J. Foster, R. M. Gray, M. O. Dunham** – *Finite-state vector quantization for waveform coding*, IEEE Trans. Inform. Theory, vol. IT-31, pp. 348–359, May 1985.
- [Fow96] **J. E. Fowler** – *Adaptive Vector Quantization for the Coding of Nonstationary Sources*, Ph. D. Dissertation, Ohio State University, 1996.
- [GG93] **A. Gersho, R. M. Gray** – *Vector Quantization and Signal Compression*, Kluwer Academic Publishers, 1993.
- [GY85] **A. Gersho, M. Yano** – *Adaptive Vector Quantization by Progressive Codevector Replacement*, Proceedings of the International Conference of Acoustics, Speech and Signal Processing, May 1985.
- [KB92] **Y-H. Kao, J. S. Baras** – *A New Deterministic Codebook Structure for CELP Speech*, Technical Research Report, 1992, website: <http://www.isr.umd.edu>
- [NGD75] **D. L. Neuhoff, R. M. Gray, L. D. Davidson** – *Fixed Rate Universal Block Source Coding with a Fidelity Criterion*, IEEE Transaction on Information Theory, vol. 21, sept. 1975.
- [RG86] **B. Ramamurthi, A. Gersho** – *Classified vector quantization of images*, IEEE Trans. Commun., vol. COM-34, pp. 1105–1115, Nov., 1986.

- [RRG98] **S. Ramakrishnan, K. Rose, A. Gersho** – *Constrained-Storage Vector Quantization with a Universal Codebook*, IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 7, No. 6, June 1998.
- [ZBL94] **K. Zeger, A. Bist, T. Linder** – *Universal Source Coding with Codebook Transmission*, IEEE Transaction on Communications, vol. 42, Feb., March, April 1994

Tibiscus