

探索空間限定による高速ベクトル量子化

3P-3

田村 謙吾 永田 尚 内田 千博 横山 光男 松下 温
(慶應義塾大学理工学部)

1. まえがき

画像が人間に与えるインパクトは極めて大きく、直感的に全体を把握出来るという点で大変優れた情報伝達の手段である。しかし、画像のデータ量は膨大であるため原データをそのまま使用することは効率が悪く、通信をする際の伝送路、蓄える際のメモリなどの有効利用のためには、高能率符号化の技術が必須である。その中でも現在最も研究が盛んに行われているのがベクトル量子化である。ベクトル量子化の問題点の一つとしてコードワード探索時における膨大な計算量をいかに処理するかがある。我々は探索領域を狭める事によって計算量を減少させ高速化する方法を提案する。

2. ベクトル量子化⁽¹⁾⁽³⁾

ここでベクトルの次元がKの場合を考える事にする。K次元信号空間を R^K と表し、 R^K をいくつかの領域に分割する。分割数をNとし各領域をSで表すと $S=\{S_1, S_2, \dots, S_N\}$ と成る。ただし

$$S_1 \cup S_2 \cup \dots \cup S_N = R^K \quad (2-1)$$

$$S_i \cap S_j = \emptyset \quad i \neq j \quad (2-2)$$

ここで各分割領域 S_i の代表点である出力ベクトルを Y_i と表し、 Y_i の集合を $C=\{Y_1, Y_2, \dots, Y_N\}$ と表し、Cをコードブックと呼ぶことにする。ベクトル量子化は次のように定義される。

$$\text{符号化 } x \in P \quad Q(x) \rightarrow Y_i \quad (2-3)$$

$$\text{複合化 } i \rightarrow Y_i \quad (2-4)$$

ここで入力ベクトルと出力ベクトルの間の歪を $d(x, Q(x))$ とすると量子化器の性能は平均歪Dによって評価される。

$$D = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d(x^j, Q(x^j)) \quad (2-5)$$

一般に画像においては歪測度として2乗歪測度が用いられる。

$$d(x, Y_i) = \sum_{k=1}^K (x_k - y_{ik})^2 \quad (2-6)$$

平均歪Dを最小とするためには以下の2つの条件を満たさなければならない。

- a) K次元ベクトル空間の分割が与えられたとき、その出力ベクトルは各分割領域内のベクトルの重心でなければならない。(2乗歪測度の場合)
- b) コードブックが与えられた時、あるコードワードに属するベクトルのそのコードワードとの歪は

他のコードワードとの歪より常に小さくしなければならない。

Lindeらは上記の条件を繰り返し用いることによって、入力ベクトルの確率分布を十分に反映したトレーニング系列が与えられた場合の量子化器設計の方法を提案している⁽³⁾。これはL.B.Gアルゴリズムと呼ばれている。

3. 探索領域の限定法

3-1 領域限定のための閾値の決定法

ベクトル量子化によって分割されたK次元信号空間の各領域から(3-1)式によって判定閾値 Th を求める。 $Th_i^2 = \min(D(Y_i, x \in S_i))$

$$i=0 \sim N \quad (3-1)$$

これは、出力ベクトルから最も遠いその領域内のベクトルと出力ベクトルとの距離である。この閾値をコードワードと共に保持しておく。

3-2 探索方法

トレーニングシーケンスが入力ベクトルの確率分布を十分に反映しているとすると、あるコードワード Y_i を選択するベクトルは Y_i から Th_i 以内の距離に有ることが(3-1)式より保証される。従って Y_i を選択するベクトルの各成分は $y_{ij} \pm Th_i$ の範囲に入っていないなければならない(3-2式)。このことを利用して次のように探索を行う。

- a) 入力ベクトルとコードワードの各成分の間で(3-2)式の比較を順次行い、成立しなかったときは、そのコードワードは最適な出力ベクトルではあり得ないので、その時点でそのコードワードとの成分の比較をやめ、次のコードワードとの比較に移る。
- b) 比較計算が全成分に対して成り立たった場合、歪計算を行う。

$$\text{入力ベクトル } x = (x_1, x_2, \dots, x_K)$$

$$\text{コードワード } C = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_N\}$$

$$|x_j - y_{ij}| \leq Th_i$$

$$(j=0 \sim K, i=0 \sim N) \quad (3-2)$$

実際には入力ベクトルと出力ベクトルの歪誤差が1成分だけに依存することはなく、各成分にほぼ均等に依存すると考えられる。従って Th の値を小さくし、歪計算をするコードワードを減らすことが

出来る。ここで新しい Th を Th' とすると最高で $Th'=Th/K$ まで小さくできる(歪誤差の寄与が全く均等な場合)。この場合、出力ベクトルの最適性は保証されないが計算量は大幅に減少できる。ただし、 Th をあまり小さくし過ぎると、全コードワードにたいして、b)の条件が成立しなくなることがある。その場合は敷居値を Th に戻して計算し直すため比較計算の回数が増加してしまう。従って、最適な Th' の値はシミュレーションによって求める。

4 実験と結果

4-1条件

階調 256
 入力画像 256*256 GIRL(standard image)
 レベル数 256
 次元数 16(4*4格子)

コードワード作成にはL.B.Gアルゴリズムを用いトレーニングシーケンスには入力画像を用いた。また、初期符号はSPLIT法⁽³⁾⁽⁴⁾を用いて作成した。

4-2結果及び検討

fig.4-1に Th'/Th の値を変化させたときの1入力ベクトルあたりの歪計算の回数(t)を示す。グラフより $Th'/Th=0.4$ の時最も計算回数が少なく約25回である。全探索では256回であるので約1/10に減っている。但し比較演算を行なっているため実際の計算回数の減少率は(4-1)式に従う。減少率を r として

$$r = \frac{\text{歪計算回数} \times \text{次元数} + \text{比較計算回数}}{\text{レベル数} \times \text{次元数}} \quad (4-1)$$

Th'/Th と減少率 r の関係をfig.4-2に示す。グラフより $Th'/Th=0.45$ で約1/5になっていることがわかる。また入力画像と Th'/Th を変化させた時の原画像との1画素あたりの距離(d)をfig.4-3に示す。 $Th'/Th=0.45$ で約8.20である。全探索の時の値が7.47あることを考えると、画質は全探索と比べてほとんど劣化していないと言える。

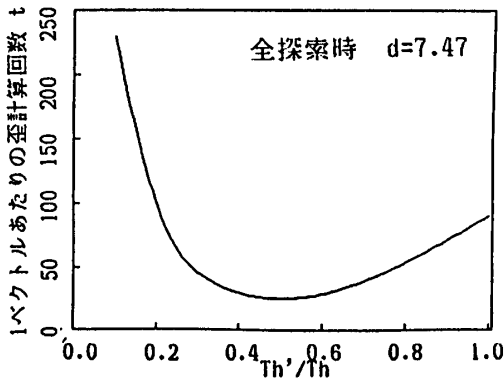


fig.4-1 Th'/Th に対する歪計算回数の変化

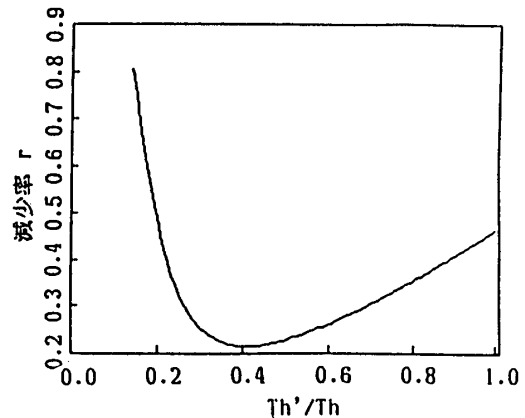


fig.4-2 Th'/Th に対する計算回数の減少率(r)の変化

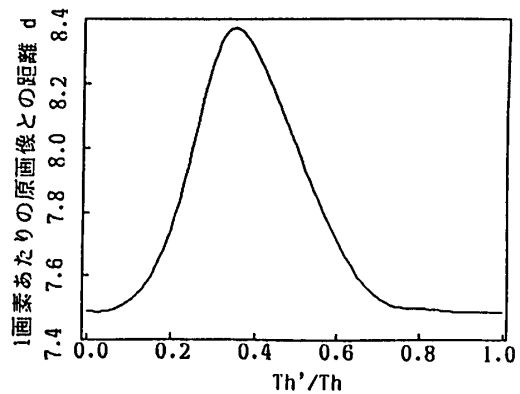


fig.4-3 Th'/Th に対する1画素あたりの原画像との距離の変化

5. まとめ

探索空間の限定をすることによってベクトル量子化のコードワード探索の際の計算量を減少する方法について述べた。本方法はまず判定閾値として Th を求める。次に、それより Th' を求め、その Th' を用いて歪計算をするコードワードを限定するというものである。我々はこの手法によって画質の劣下をほとんど伴わず計算量を全探索の際の1/5程度まで減らすことが可能なことを示した。

参考文献

- (1) 斎藤, 原島 "ベクトル量子化とその画像符号化への応用", 信学技報, IE87-3(1987)
- (2) 村上, 浅井 "画像信号のベクトル量子化器", テレビ誌38,5, pp.452-457(1984)
- (3) Y.Linde et al "An algorithm for vector quantizer design", IEEE Trans., COM-28,1, pp.84-95(1980)
- (4) 吉谷 "ベクトル量子化におけるLBGアルゴリズムの初期符号化に関する一検討", 信学技報, IT85-6(1985)