

ベクトル量子化を用いたサブバンド画像符号化

Subband Image Coding Using Vector Quantization

宮澤 康臣 †
Yasumi Miyazawa

沢田 克敏 ‡
Katsutoshi Sawada

Abstract Image subband decomposition enables efficient coding matched to the statistics of each subband and human visual characteristics. Vector quantization (VQ) provides a powerful means of bit rate reduction taking advantage of remaining intra and inter band correlation of the decomposed subband images. This paper describes image coding schemes which combines subband decomposition and VQ for still pictures and video sequences. For still picture coding, we propose "same orientation" inter-subband VQ with vector power "thresholding" and "subband limitation". For video sequence coding, we propose subband VQ of motion compensated (MC) prediction difference. Computer simulation results present that 1) "thresholding" and "subband limitation" are very effective for low bit rate coding of still pictures and 2) "same orientation" inter-subband VQ of MC prediction difference shows higher performance than intra-subband VQ for video sequences.

1. はじめに

画像情報は、音声、データ等の他のメディアに比べて莫大な情報量を持つため、伝送や蓄積においては情報圧縮、すなわち画像情報を能率的に符号化することが不可欠である。特にテレビ電話等、通信容量が小さな伝送路では高能率符号化が必要である。

高能率符号化の有効な手段として、サブバンド符号化とベクトル量子化(VQ: Vector Quantization)がある。サブバンド符号化は、フィルタリングによって複数の帯域信号に分割し、各帯域信号の特性に応じた情報量を割り当て、符号化を行う方法である。またベクトル量子化は、複数の入力信号を一つにまとめて量子化を行う方法で、効率的な情報圧縮に有

効な手段である。この両者を組み合わせたサブバンドVQ符号化により、一層効率的な画像情報の符号化が期待できるため、これまでにさまざまな検討がなされてきた。^{1) 2)}

本論文では、このサブバンドVQ符号化の性能向上をねらって、静止画像に対してはVQにおける閾値処理とサブバンド帯域制限、動画像に対しては動き補償(MC)予測差分の方向別サブバンドVQについて検討した。以下、2. ではベクトル量子化、サブバンド符号化、及び両者を組み合わせたサブバンドVQ符号化について概要を述べる。3. では静止画像のサブバンドVQ符号化において、閾値処理と帯域制限を提案し、計算機シミュレーション実験による検討を行う。4. では動画像について、MC予測差分画像に対しサブバンドVQ符号化を行う方式を取り上げ、方向別VQを提案し、同じくシミュレーション実験による検討を行う。

† 愛知工業大学大学院 電気電子工学専攻 (豊田市)

‡ 愛知工業大学 情報通信工学科 (豊田市)

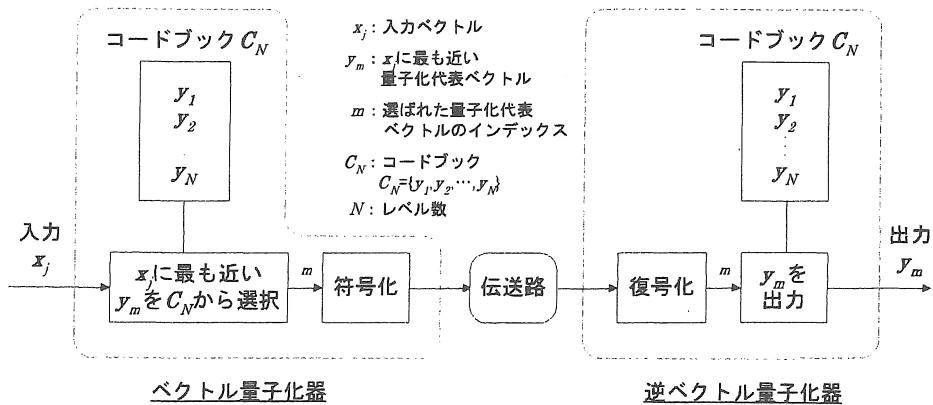


図 1 ベクトル量子化器の動作

2. サブバンド画像に対するベクトル量子化

2. 1 ベクトル量子化

連続値を離散値で近似すること、また離散値をさらに粗く近似することを、量子化という。このとき、一つ一つの入力値を独立に量子化する方法をスカラー量子化(SQ : Scalar Quantization)、それに対し、複数の入力値をひとつにまとめ、ベクトルとして量子化する方法をベクトル量子化 (VQ : Vector Quantization) という。

ベクトル量子化器の動作を図 1 に示す。入力ベクトル x_j がベクトル量子化器に入力されると、あらかじめ与えられているコードブック $C_N = \{y_1, y_2, \dots, y_N\}$ の中から歪み量 $d(x_j, y_i)$ が最小となる量子化代表ベクトル y_m を検索する。

$$d(x_j, y_m) = \min\{d(x_j, y_i)\}, i=1, 2, \dots, N \quad (1)$$

ここでコードブック C_N は、量子化代表ベクトルの集合 $\{y_1, y_2, \dots, y_N\}$ であり、ベクトル量子化器、逆ベクトル量子化器は共に同じコードブックを持っている。 $d(x_j, y_i)$ としては解析のしやすさから、式(2)に示す x_j と y_i との差のユークリッド距離の 2 乗がよく使われる。

$$d(x_j, y_i) = \|x_j - y_i\|^2 \quad (2)$$

そして入力ベクトル x_j に最も近い量子化代表ベクトル y_m のインデックス m を符号化し、出力する。

逆ベクトル量子化器は、インデックス m を復号

し、ベクトル量子化器と同じコードブック C_N から m 番目の量子化代表ベクトル y_m を出力する。

ベクトル量子化の 1 サンプル当たりの符号化レート R は、インデックス m を等長符号で符号化する場合、式(3)で示される。

$$R = \frac{\log_2 N}{K} \text{ [bit/sample]} \quad (3)$$

N : コードブックのレベル数

K : ベクトルの次元数

2. 2 サブバンド符号化

2. 2. 1 サブバンド分割・合成

サブバンド符号化は、入力をフィルタによって周波数の異なる複数の帯域信号に分割 (サブバンド分割) し、各帯域信号ごとに符号化を行う方式である。サブバンド分割によって、各帯域の特性に応じて符号化方式やビット数割り当てを選択することにより、効率的に符号化を行うことができる。現在、画像の変換符号化では DCT (Discrete Cosine Transform, 離散コサイン変換) がよく用いられているが、この手法はブロック単位で処理を行うため、低符号化レート時ではブロック歪みが生じる。しかしサブバンド符号化はブロック単位で処理を行わないため、低符号化レート時でもブロック歪みが生じない利点がある。

画像信号に対するサブバンド分割・合成の方法を図 2 に示す。分割側では、入力信号に対し水平方向について帯域分離フィルタ (LPF : Low Pass Filter, HPF : High Pass Filter) を掛け、2 つの帯域に分離する。そしてそれぞれの帯域について

2. 3. 3 階層別サブバンドVQ

同一階層成分の相関を利用してベクトルを構成し、ベクトル量子化を行う方法を階層別サブバンドVQと呼ぶ。図4(c)に示すように、例えば階層2では、LH2、HL2、HH2を各4画素をひとまとめにし、合計12次元のベクトルを構成する。階層1ではLH1、HL1、HH1を各16画素を一つのベクトルとし、合計48次元のベクトルを構成する。

3. 静止画像に対するサブバンドVQ符号化

3. 1 静止画像に対する方向別サブバンドVQ

前述のようにベクトルの構成方法はいくつかあるが、本実験では方向別サブバンドVQを用いた場合について検討する。同一方向成分をまとめることにより、垂直(HL方向)、水平(LH方向)及び斜め(HH方向)のエッジ部分に対応させることができる。

ここでは静止画像の方向別サブバンドVQにおいて、低ビットレート時における画質向上と情報量削減のために、帯域制限と閾値処理を提案する。

3. 1. 1 閾値処理

低符号化レート時の情報量削減のため、ベクトル量子化(VQ)を行う前に閾値処理をする。図5に閾値処理のブロック図を示す。閾値処理は、入力ベクトル \mathbf{x} の電力 P が、与えられた閾値 T 以上なら有効ベクトルとしてVQを行い、それ以外は無効ベクトルとしてVQを行わない、という処理である。この処理によって入力ベクトルが「有効」もしくは「無効」を判定した情報が必要なるが、VQ全体の情報量低減をはかることができる。また無効ベクトルが多い場合はVQを行う回数が減るので、全体としての処理時間が短くて済む利点もある。

3. 1. 2 帯域制限とベクトル構成

方向別サブバンドVQのベクトル構成を図6に示す。まずオクターブ分割を3回行い、10分割サブバンド画像を得る。そして同一方向成分をひとまとめにしてベクトルを構成する。一般的に、低符号化レート時に十分な画質を得ることは、もともと無理である。従って、低符号化レート時は高い解像度は不必要だと考えられるので、サブバンド画像に対し、帯域制限を行う場合について検討する。本実験では、次に述べる3種類の方式について検討する。

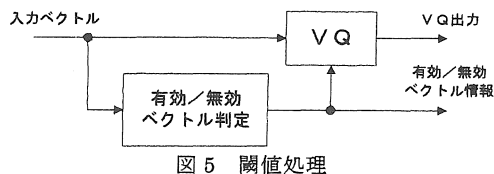
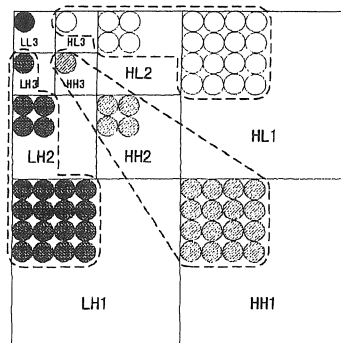
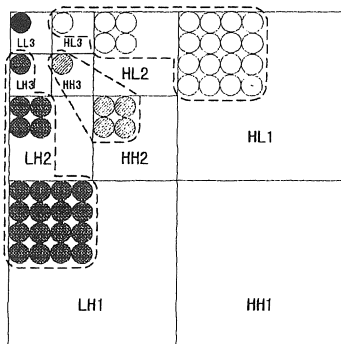


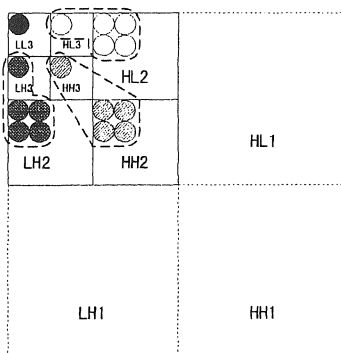
図5 閾値処理



(a) 方式A



(b) 方式B



(c) 方式C

図6 方向別サブバンドVQのベクトル構成

オクターブ分割を行った場合、LH1、LH2 及び LH3 は画像サイズが異なるだけで、いずれも水平エッジ成分を示している。HL、HH 画像についても同様である。

画像信号は画素間の相関が高いため、低周波成分 (LL 画像) に電力が集中する。またダウンサンプリングによって、サブバンド画像の総画素数は入力画像の画素数と同じである。従って、LL 画像に多くのビット数を割り当て、他の画像には少ないビット数を割り当てることにより、効率的な符号化が可能となる。

2.3 サブバンド画像に対するベクトル量子化
サブバンド画像に対しベクトル量子化を適用することにより、次のような効果が期待できる。¹⁾²⁾

まずサブバンド分割によって、電力が集中し、サイズの小さな LL 画像に多くのビット数を割り当て、他の画像は少ないビット数を割り当てることにより効率的な符号化が行える。さらにベクトル量子化を適用することによって、サブバンド画像内の画素間の相関を利用し、より効率的な符号化が行うことができる。

ベクトル量子化を行う際のベクトル構成は、サブバンド画像内の相関を利用する以外に、サブバンド画像間の相関も利用することができる。このベクトル構成方法は、次に述べる 3 種類があげられる。

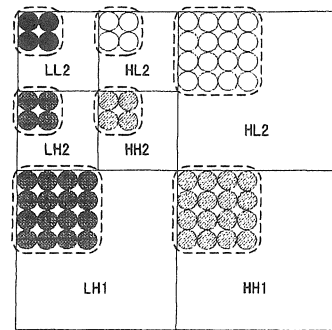
2.3.1 バンド別サブバンドVQ

各サブバンド画像内の相関のみを利用し、ベクトル量子化を行う方法をバンド別サブバンドVQと呼ぶ。例えば図 4(a)のように 7 分割されたサブバンド画像の場合、各バンドごとに独立に計 7 種類のベクトルを構成する。

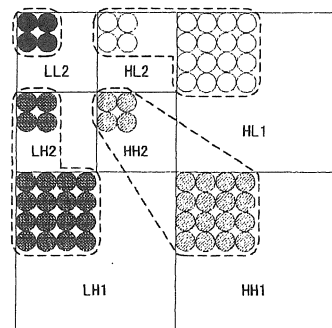
2.3.2 方向別サブバンドVQ

図 4(b)に示すように、各サブバンド画像において同じ性質の画像をひとまとめにしてベクトルを構成する。LH 画像の場合、LH1 画像と LH2 画像を用いて一つのベクトルを構成する。HL 画像及び HH 画像についても同様にベクトルを構成する。このように空間周波数の方向別にベクトルを構成する方法を、方向別サブバンドVQと言う。

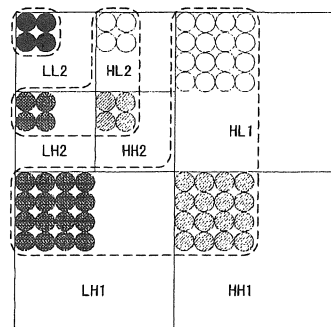
またベクトルの構成においては、最低周波数の画



(a) バンド別



(b) 方向別



(c) 階層別

図 4 ベクトルの構成例

素数に対応した各バンドの複数画素をひとまとめにする。例えば LH 方向は LH2 で 4 画素、LH1 で 16 画素をまとめて 1 つのベクトルとし、合計 20 次元ベクトルを構成する。

同様に HL、HH 方向についてもこのようにベクトルを構成する。なお、LL2 画像は、この画像に最も電力が集中しているため、他の画像と比べて精度の高い量子化が必要である。

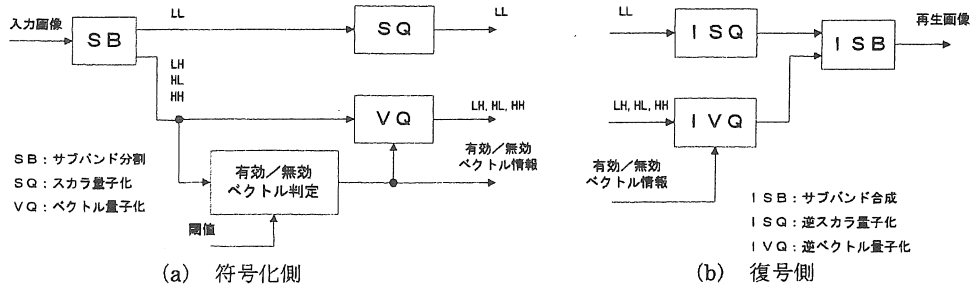


図 7 符号化構成図

方式 A では、図 6(a)に示すように、すべての階層を用いてベクトルを構成し、LH、HL、HH 各方向とも 21 次元ベクトルを構成する。方式 B では、図 6(b)に示すように、HH 方向のみ階層 1 (HH1 成分) をカットし、LH と HL 方向は 21 次元、HH 方向は 5 次元ベクトルを構成する。方式 C では、図 6(c)に示すように、階層 1 をすべてカットし、LH、HL、HH 方向とも 5 次元ベクトルを構成する。また各方式とも LL3 成分はスカラ量子化を行う。

3. 1. 3 方向別サブバンド VQ の符号化構成
静止画像に対する方向別サブバンド VQ の符号化構成を図 7 に示す。

符号化側では、入力画像をサブバンド分割し、10 分割の画像を得る。LH、HL、HH 方向成分は、前節で述べたように各方向ごとにベクトルを構成する。各ベクトルは、閾値処理によって有効ベクトルと判定された場合は VQ を行い、無効ベクトルと判定された場合は VQ を行わない。また、LL 成分は 8 [bit] スカラ量子化を行う。

復号側では、LL 成分は逆スカラ量子化、LH、HL、HH 成分は有効/無効ベクトル情報に応じて逆ベクトル量子化を行う。そしてサブバンド合成を行い再生画像を得る。

3. 2 シミュレーション実験

3. 2. 1 実験の諸元

(1) 評価画像

① 標準画像 lenna :

- ・ 画像サイズ水平 512[画素]×垂直 512[ライン]
- ・ 8[bit]濃淡画像

② 標準画像 barbara :

- ・ 原画像サイズ水平 720[画素]×垂直 580[ライン]から、左上より水平 512[画素]× 512[ライン]を切り出して使用
- ・ 8[bit]濃淡画像

(2) サブバンド

- ・ Daubechies の 4 タップ
フィルタ係数を表 1 に示す。
- ・ サブバンド分割 : 10 分割 (図 3(c) 参照)

(3) VQ

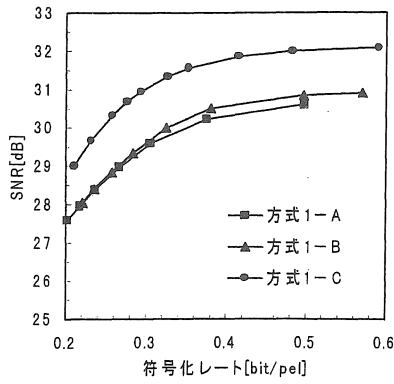
- ・ コードブック : LBG アルゴリズム³⁾で作成。
- ・ トレーニング系列は静止画像 7 枚を使い、評価画像はその中に含まれていない。
- ・ 量子化代表ベクトルの検索法 : 全探索
- ・ 閾値処理とベクトル構成 (図 5、図 6 参照)

○ 方式 1 : 閾値処理を行う

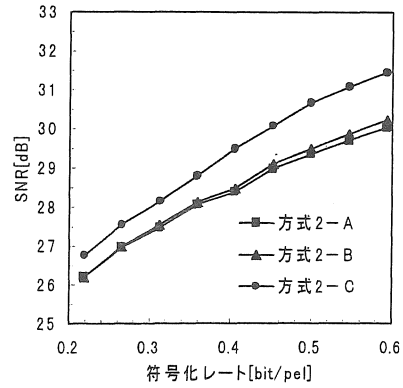
- 方式 1 - A : LH、HL、HH 方向とも各 21 次元
- 方式 1 - B : LH、HL 方向は 21 次元
HL 方向は 5 次元
- 方式 1 - C : LH、HL、HH 方向とも各 5 次元

表 1 Daubechies の 4 タップフィルタ係数

HPF 係数	LPF 係数
$\frac{1+\sqrt{3}}{4}$	$\frac{1-\sqrt{3}}{4}$
$\frac{3+\sqrt{3}}{4}$	$\frac{-3+\sqrt{3}}{4}$
$\frac{3-\sqrt{3}}{4}$	$\frac{3+\sqrt{3}}{4}$
$\frac{1-\sqrt{3}}{4}$	$\frac{-1-\sqrt{3}}{4}$

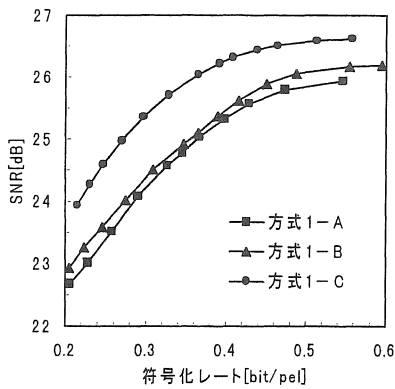


(a) 方式 1

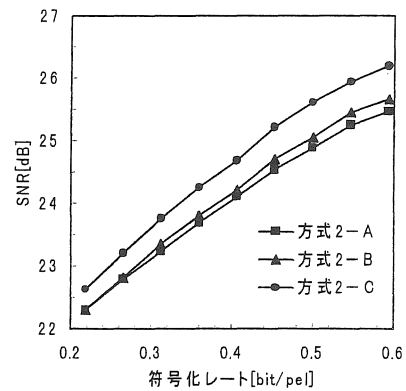


(b) 方式 2

図 8 画像 lenna に対する符号化特性

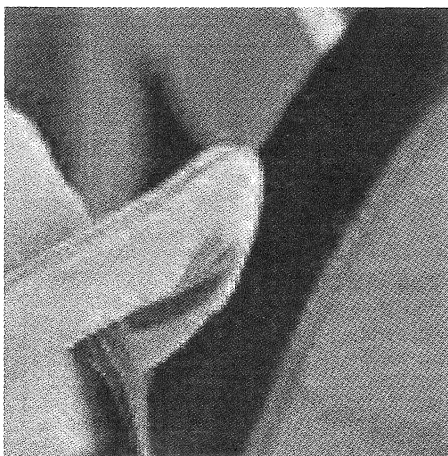


(a) 方式 1



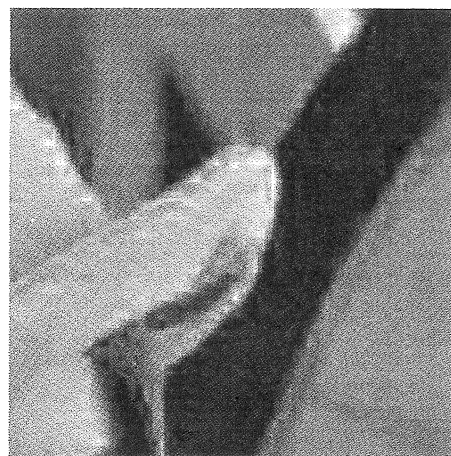
(b) 方式 2

図 9 画像 barbara に対する符号化特性



Rate : 0.3533 [bit/pel], SNR : 31.56 [dB]

(a) 方式 1 - C



Rate : 0.3594 [bit/pel], SNR : 28.06 [dB]

(b) 方式 2 - A

図 10 画像 lenna の再生画像の一部

○方式 2 : 閾値処理を行わない

方式 2 - A : LH, HL, HH 方向とも各 21 次元

方式 2 - B : LH, HL 方向は 21 次元

HL 方向は 5 次元

方式 2 - C : LH, HL, HH 方向とも各 5 次元

(4) LL 成分の量子化方法

LL3 成分は 8[bit] スカラ量子化を行う

3. 3 実験結果及び考察

図 8 に画像 lenna に対する符号化特性、図 9 に画像 barbara に対する符号化特性を示す。まず帯域制限の効果について検討する。図 8(a) より、方式 1 - C は方式 1 - A と方式 1 - B と比べて、同一符号化レートにおける SNR が高くなっている。図 9(a) も同様に方式 1 - C が最も SNR が高い。これは方式 1 - C は他の方式と比べて低周波成分により多くのビット数が割り当てられるため、低解像度成分の再生品質が良くなったためと思われる。方式 1 - C は帯域制限を行い解像度が低くなっているはずだが、その影響は見られなかった。従って VQ のベクトルを構成する際、低符号化レート時には帯域制限を行った方が有利であると言える。

次に閾値処理の効果について検討する。画像 lenna の場合、図 8(a) と (b) を比較すると、符号化レートが 0.2 ~ 0.4[bit/pe] では閾値処理を行った(a)の方が各方式とも SNR が高い。これは閾値処理により電力の小さなベクトルは無視され、有意なベクトルのみ効率的に VQ を行ったためだと考え

られる。

総合的に最も良い符号化特性を得られたのは、帯域制限と閾値処理の両方を行った方式 1 - C である。この 2 つの処理のいずれも行わない方式 2 - A と比較すると、同一符号化レートにおける SNR が約 2 ~ 4[dB] 程度向上している。主観的な評価を行うため、この 2 つの再生画像を図 10 に示す。方式 2 - A と比較して方式 1 - C は、エッジ部分の雑音が軽減され、再生画像品質が向上していることが分かる。よって低符号化レートで静止画像を符号化する際、帯域制限と閾値処理が有効であることが明らかになった。

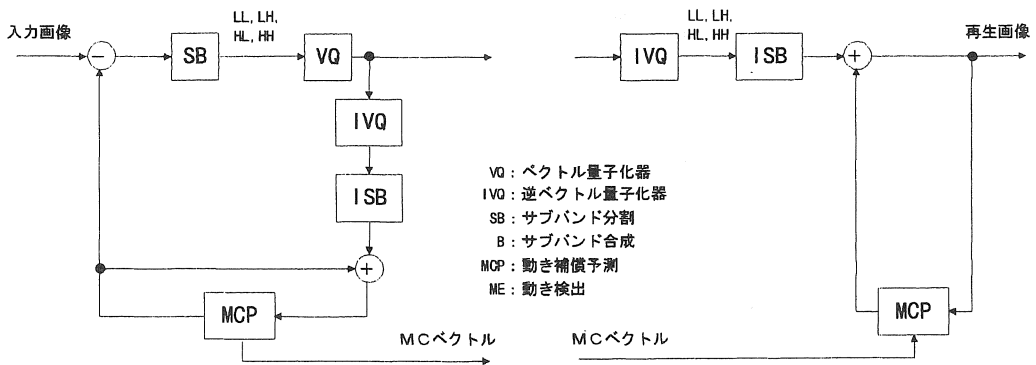
4 MC 予測差分画像に対するサブバンド VQ 符号化

4. 1 符号化構成

動画像については、図 11 に示す構成の動き補償 (MC) 予測差分画像に対するサブバンド VQ 符号化を検討する。

まず符号化側では、入力画像と MC 予測画像との差分をとり、MC 予測差分画像を得る。この MC 予測差分画像に対しサブバンド分割を行い、4 つのサブバンド画像 (LL, LH, HL, HH 方向) を構成する。各サブバンド画像ごとに VQ をを行い、MC ベクトルと共に伝送する。また IVQ (逆ベクトル量子化) と ISB (サブバンド合成) を行い、フル画像領域で MC 予測を行う。

復号側では、MC 予測画像を復元するため、IVQ と ISB を行って MC 予測差分画像を得る。また前



(a) 符号化側

(b) 復号側

図 11 符号化構成図

フレーム復号画像と MC ベクトルを使って MC 予測画像を作成する。この MC 予測画像と MC 予測差分画像を加算して、再生画像を得る。

4. 2 ベクトル構成

本実験で使用したベクトルの構成を図 12 に示す。(a) は方向別にベクトルを構成する場合、(b) はバンド別にベクトルを構成する場合を示す。

4. 3 シミュレーション実験

4. 3. 1 実験の諸元

(1) 評価画像

①標準画像 Flower garden の第 2 フレームから第 11 フレーム (第 1 フィールドのみ)

- ・画像サイズ水平 720 画素×垂直 240 ライン
- ・8[bit]濃淡画像

②標準画像 Clare の第 2 フレームから第 11 フレーム

- ・画像サイズ水平 352 画素×垂直 286 ライン
- ・8[bit]濃淡画像

(2) サブバンド

- ・Daubechies の 4 タップ (表 1 参照)
- ・サブバンド分割: 7 分割 (図 3 (b) 参照)

(3) VQ

・コードブック: LBG アルゴリズム³⁾で作成トレーニング系列は動画像 6 枚を使い、評価画像はその中に含まれていない。

- ・量子化代表ベクトルの検索法: 全探索
- ・ベクトル構成 (図 12 参照)

①方式 A (方向別 VQ):

LH、HL、HH 方向とも各 20 次元
LL 成分は 4 次元

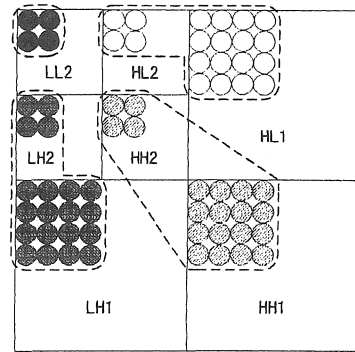
②方式 B (バンド別 VQ):

LH1、HL1、HH1 成分は 16 次元
LL2、LH2、HL2、HH2 成分は 4 次元

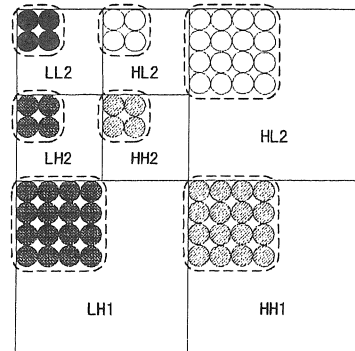
4. 3. 2 実験結果及び考察

図 13 に画像 Flower garden に対する符号化特性、図 14 に画像 Clare に対する符号化特性を示す。符号化レートと SNR はそれぞれ再生画像の第 2 フレームから第 11 フレームの平均値を示している。

まず画像 Flower garden の場合について考える。符号化レートが約 0.5 ~ 0.85[bit/pel]では、バンド



(a) 方向別



(b) バンド別

図 12 MC 予測差分画像に対するサブバンド VQ 符号化のベクトル構成

別 VQ より方向別 VQ の方が、同一符号化レートにおける SNR は約 0.3[dB]向上していることが分かる。従って画像 Flower garden の場合、方向別 VQ はバンド別 VQ と比べて、わずかであるが良い性能を示すことが分かる。

次に画像 Clare の場合について検討する。同一符号化レートにおける SNR を比較すると、この場合もバンド別 VQ より方向別 VQ の方が約 1 ~ 2[dB]ほど高いことが分かる。

以上の結果より、MC 予測差分画像に対しサブバンド VQ 符号化を行う際、同一方向成分の相関を利用した方向別 VQ がバンド別 VQ と比べて有利であると言える。

5. むすび

本論文では、静止画像及び MC 予測差分画像に対するサブバンド VQ 符号化の構成と特性について述べた。

まず、静止画像のサブバンド VQ 符号化について検討を行った。特に方向別サブバンド VQ 符号化において、帯域制限処理と閾値処理を提案し、シミュレーション実験を行った。その結果、ベクトル量子化を行う際、帯域制限処理をしたサブバンド画像についてベクトル量子化を行うと、低符号化レート時の再生画像品質が改善されることを確認した。またベクトル量子化を行う前に、入力ベクトルの電力によってそのベクトルが有効か無効かを判定する閾値処理を施すことにより、符号化レートを低減できることを確認した。また、この帯域制限と閾値処理を同時に行うことにより、さらに符号化性能が向上することが確認できた。

次に動画像を対象として、MC 予測差分画像に対するサブバンド VQ 符号化について検討した。特にベクトルの構成方法の異なる方向別サブバンド VQ 符号化とバンド別サブバンド VQ 符号化について比較、検討を行った。その結果、MC 予測差分画像に対してサブバンド VQ 符号化を行う場合、同一 SNR の再生画像品質を得るために必要な符号化レートは、方向別サブバンド VQ 符号化の方がバンド別サブバンド VQ 符号化より少なくて済むことを確認した。

文献

- [1] P. C. Cosman et al. : "Vector Quantization of Image Subbands: A survey", IEEE Trans. Image Process., vol.5, no.2, pp.202-225, 1996.
 [2] 中澤, 他 : "多重解像度ベクトル量子化による静止画像圧縮, 信学技報", IE95-17, May 1995.
 [3] Y.Linde, A.Buzo, and R.Gray : "An Algorithm for Vector Quantizer Design," IEEE Trans. Commun., vol.COM-28, pp.84-95, Jan.1980.

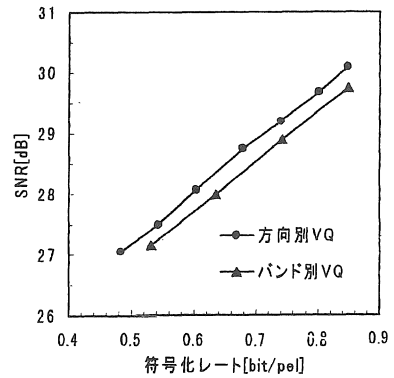


図 13 画像 Flower garden に対する符号化特性

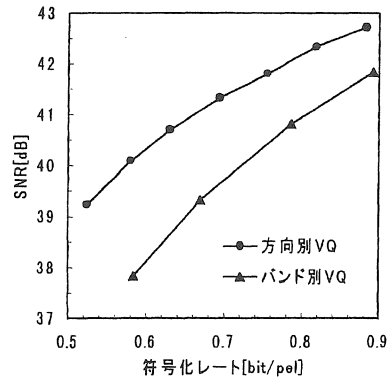


図 14 画像 Clare に対する符号化特性

- [4] 宮澤, 沢田 : "ウェーブレット変換符号化における方向別ベクトル量子化の一検討", 1997 年信学大会, D-11-14
 [5] 宮澤, 沢田 : "MC 予測差分画像に対するウェーブレット変換方向別ベクトル量子化の検討", 1997 電気関係学会東海支部連合大会, 789

(受理 平成10年 3月20日)