

画像の動き補償予測 サブバンド階層符号化

Subband-based Scalable Video Coding Schemes with Motion Compensated Prediction

木下 毅†
Tsuyoshi KINOSHITA

沢田 克敏‡
Katsutoshi SAWADA

ABSTRACT: This paper describes scalable coding schemes which use subband picture decomposition and motion compensated interframe prediction. In the scalable coding, a lower resolution picture can be obtained by decoding only a subset of the total bitstream, while a full resolution picture is obtained by decoding the total bitstream. Two types of subband-based scalable coding schemes are studied. In the first type (scheme A), an input picture is first decomposed to subband pictures, then MC prediction coding is carried out in the subband picture domain. In the second type (scheme B), MC prediction is first carried out in the full band picture domain and then subband decomposition is performed for the prediction difference picture. Coding performance for these two types of schemes was estimated by computer simulation experiments. The performance comparison between scalable and non scalable coding schemes was also carried out. The experimental results have demonstrated that the scheme B is superior to scheme A.

1. はじめに

画像の階層化符号化¹⁾²⁾では、フル解像度画像の符号化データのビットストリームの一部のみを復号化することにより低解像度画像を得ることができ、一方、ビットストリーム全体を復号化することにより元のフル解像度画像が再生される。この階層符号化は HDTV と TV のように異なった解像度のビデオシステム間のコンパティビリティを実現するための重要な手法の一つである。

階層化は、デジタル TV の地上放送や ATM 伝送において "グレースフルデグラデーション (Graceful Degradation)"³⁾⁴⁾ を実現する上でも有効な

手法である。階層符号化のためには、画像解像度の分割が必要であるが、サブバンド技術は効率的な符号化方法だけでなく解像度分割のための優れた方法でもある。

一方、動画の符号化のためには動き補償 (MC : Motion Compensation) 予測が、効率的で欠くことができない方法であることもよく知られている。従って、MC 予測サブバンド階層符号化の効率的な構成方法を明らかにすることは重要かつ、興味深い課題である。

本稿では種々の MC 予測サブバンド階層符号化法とその符号化特性について述べる。具体的には、サブバンド符号化の2つの方式について論じる。1 番目の方式 (以下、方式 A) では、入力画像は最初にサブバンド画像に分割され、次に MC 予測符号化がサブバンド画像領域で行われる。2 番目の方式 (以下、方式 B) では、最初に MC 予測をフルバン

† 愛知工業大学 大学院工学研究科
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)

ド画像領域で実行する。次にサブバンド分割が予測差分画像に対して行われる。これらの階層符号化方式の詳細は次の 2 章で述べる。コンピュータシミュレーション実験とその結果については, 3 章で説明する。

2. サブバンド階層符号化方式

2.1 サブバンド分割・合成

符号化方式 A と B について以下に述べる。サブバンド分割は方式 A の場合には入力画像に対して, また方式 B の場合には MC 予測差分画像に対して実行される。サブバンド画像フォーマットとサブバンド分割の過程をそれぞれ図 1, 2 に示す。最初,

水平方向に対して直交ミラーフィルタ (QMF) によりフィルタリングが実行され, 続いて 1/2 サブサンプリングが行われる。垂直方向においても同じ処理が行われた後に, 4 つのサブバンド画像 LL, LH, HL, HH が得られる。記号 "L" と "H" は, それぞれ低周波と高周波成分を表す。例えば "LH" は水平低周波成分, 垂直高周波成分を意味する。この論文では, 簡単のためにサブバンド "LL" に対して単に

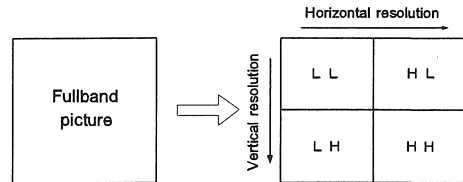


図 1 サブバンド画像フォーマット

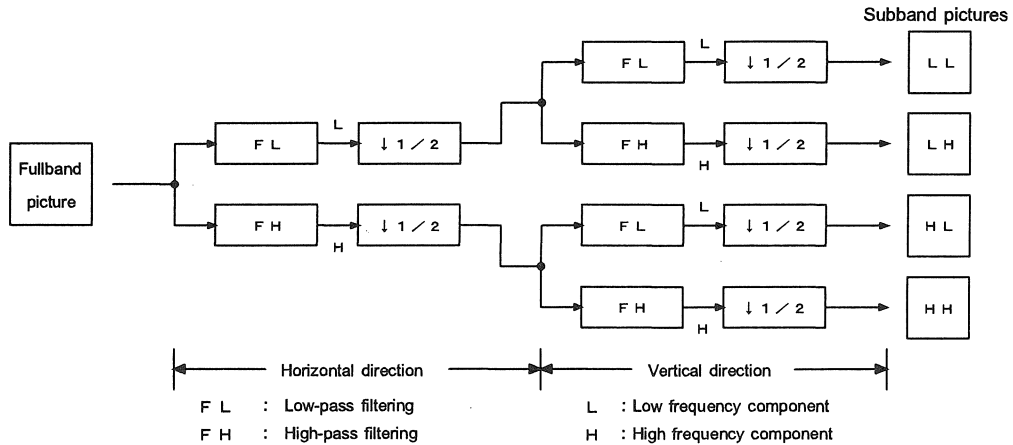


図 2 サブバンド分割

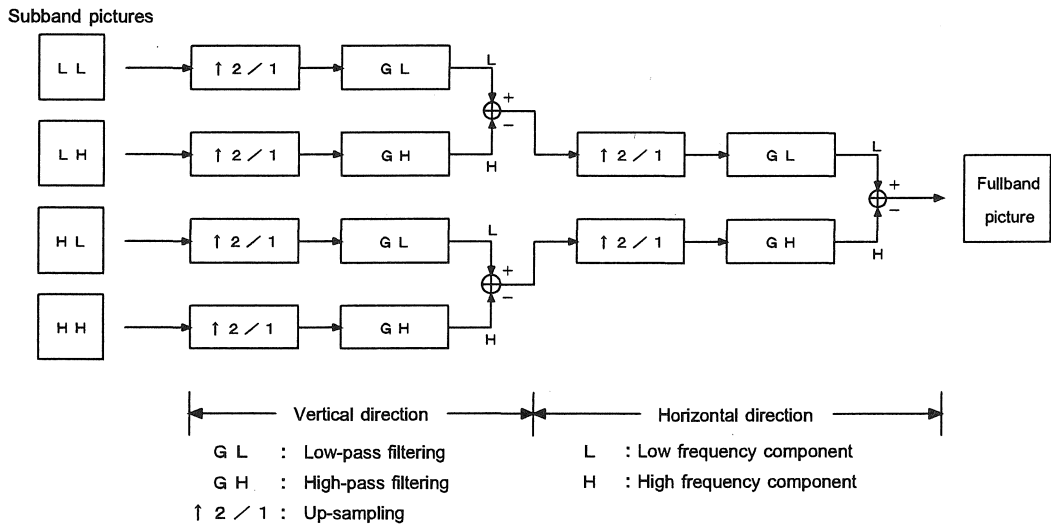


図 3 サブバンド合成

"L" を、サブバンド "LH", "HL", "HH" に対しては単に "H" を用いることがある。

次にサブバンド合成について述べる。サブバンド合成の過程を図3に示す。復号側では、2/1 アップサンプリングと合成フィルタリングを含むサブバンド合成処理が各サブバンド画像に対し行われ、フルバンド画像が再生される。

2.2 階層符号化におけるMC予測

方式 A, B はそれぞれ2つの MC 予測ループを持つ。一つは低周波サブバンド L 用、もう一つは高周波サブバンド H 用のものである。MC 予測を階層符号化に適用する時には以下の点に注意しなければならない。すなわちサブバンド L の復号器は MC 予測のために符号化されたサブバンド H のデータを用いることができないが、サブバンド H の復号器は符号化されたサブバンド L と H の両方のデータを用いることができるということである。MC 予測された画像がサブバンド L のための符号器と復号器で厳密に同じでない場合には、復号された低解像度画像の品質は数フレームの後に著しく劣化する。これはいわゆる"ドリフト"効果である。このドリフトの問題を解決するために、符号器側のサブバンド L のためのMC予測ループはサブバンド H からは独立して構成される。こうしてサブバンド L の符号器と復号器とで全く同じ予測器を構成する事ができる。

2.3 符号化方式 A : サブバンド画像のための

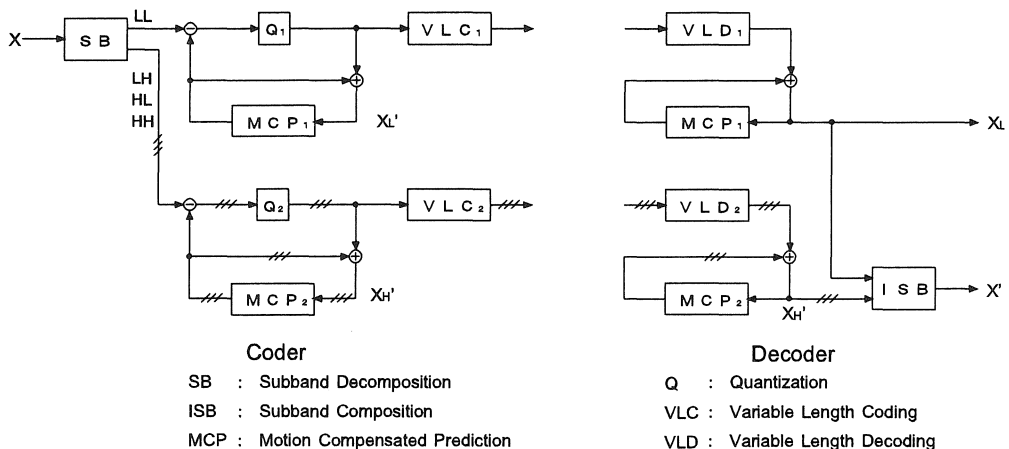


図4 階層符号化方式 A-1

MC 予測階層符号化

(1) 基本方式 (A-1)

階層符号化の符号器と復号器の最初のタイプ (方式 A) の基本構成⁵⁾ を図4に示す。この論文では"方式 A-1"と呼ぶ。入力画像は最初にサブバンド分割により4枚のサブバンド画像 LL, LH, HL, HH に分割される。MC 予測符号化は各サブバンド画像領域で行われる。サブバンド L とサブバンド H の画像はそれぞれ MC 予測 (MCP), 予測差分画像の量子化 (Q), 可変長符号化 (VLC) を経て符号化される。復号器では、低解像度画像はサブバンド L の符号化データのみを復号することにより得られ、フル解像度画像はサブバンド L と H の両方の符号化データを復号することにより再生される。

(2) 改良方式 (A-2)

上に述べた方式 A-1 では、サブバンド H の MC 予測の特性は折返しのために制限される。図5に方式 A-1 の改良版を示す。本論文ではこれを"方式 A-2"⁶⁾と呼ぶ。サブバンド L の MC 予測符号器の構成は、方式 A-1 と同様である。サブバンド H の MC 予測ループにおいて、サブバンド合成とサブバンド分割があることが異なっている点である。ISB (サブバンド合成) においては復号サブバンド H の画像 X_H' だけでなく復号サブバンド L の画像 X_L' も復号フルバンド画像 X' を再生するために必要とされ、最初に MC 予測画像はフルバンド画像領域で作られる。次にこのフルバンド予測画像は SB2

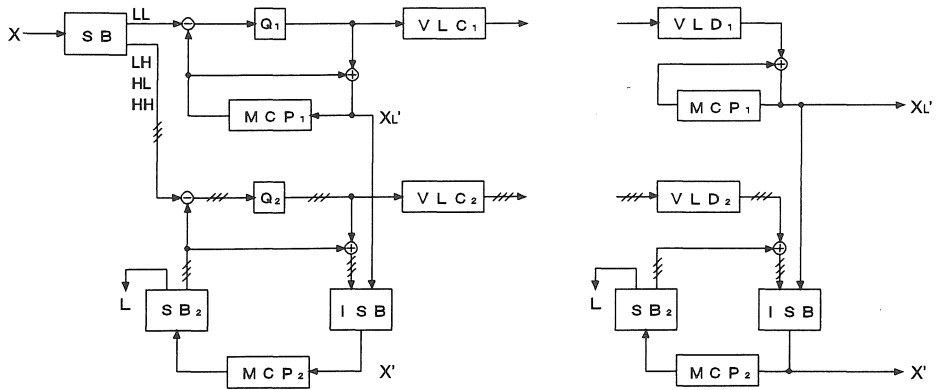


図5 階層符号化方式 A-2

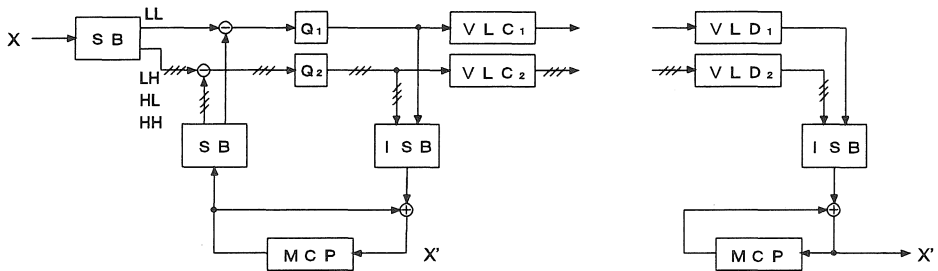


図6 方式Aに対応する非階層符号化方式

において再び分割される。SB2 出力のサブバンド L は破棄され、サブバンド H だけが H サブバンドの最終的な予測画像として使用される。この方式では方式 A-1 よりも高い MC 予測特性を達成することができる。

比較のために図 6 に方式 A に対応した非階層符号化の構成を示す。復号側ではフルバンド画像のみ再生できる

2.4 符号化方式 B : MC 予測差分画像に対するサブバンド階層符号化

図 7 に階層符号化方式の 2 番目のタイプの基本構成を示す。この論文では "方式 B"^{m)} と呼ぶ。最初に入力画像 X とその MC 予測画像 X'' との間の減算が、予測差分画像 D を得るためにフル画像領域で行われる。それは次式で表される。

$$D = X - X'' \quad (1)$$

次に差分画像 D は SB でサブバンド L と H に分割される。それらは Q で量子化される。量子化されたサブバンド差分画像は ISB1, ISB2 に入力される。そして 2 つのフルサイ

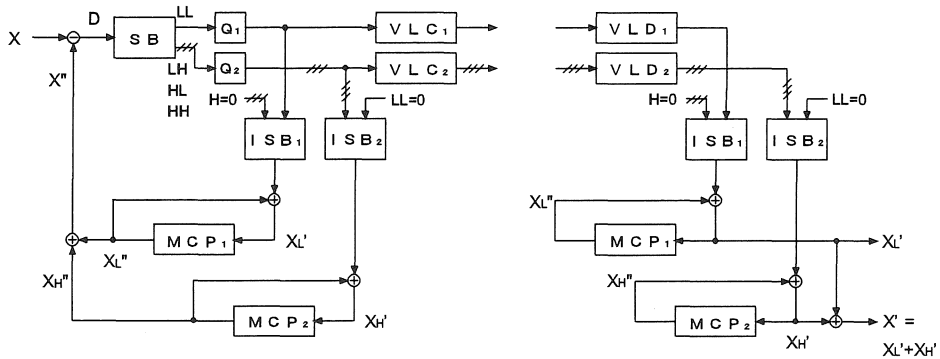


図7 階層符号化方式 B

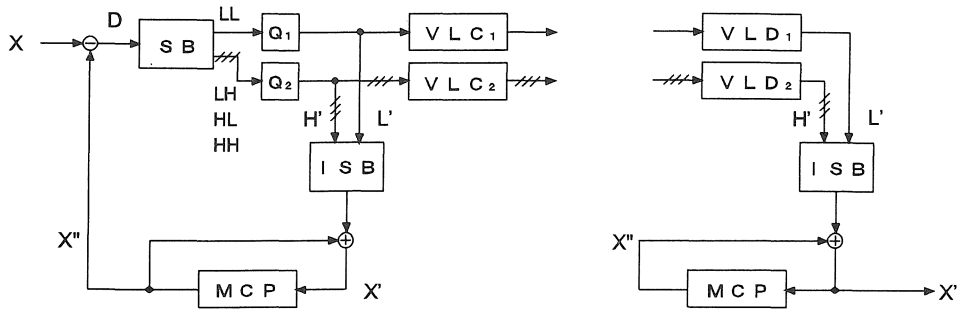


図8 方式Bに対応する非階層符号化方式

ズ（ただしフルバンドではない）差分画像が再生される。2つのMC予測器，MCP1，MCP2によって，2つの予測画像 X_L'' と X_H'' が作成される。これらは式(2)に示すように加算され最終的なフルバンド画像 X'' になる。

$$X'' = X_L'' + X_H'' \quad (2)$$

比較のために図8にこの方式Bに対応した非階層符号化の構成を示す。この場合，ISBはMC予測ループの前に位置し，単一のMC予測器が再生されたフルバンド画像領域において使用される。

3. 実験

3.1 実験条件

前節までに述べた階層符号化方式の符号化特性を明らかにするために，コンピュータ・シミュレーション実験を行った。以下に実験の諸元を述べる。

(1) 実験テスト画像

- ・ CCIR601規格画像 "Mobile & calendar"
"Flower garden"
- ・ 画像サイズ水平720画素，垂直480ライン
- ・ 輝度画像の第1フレームから第5フレームの5フレームの奇数フィールドを使用

(2) サブバンド・フィルタリング

32タップQMFフィルタを使用。垂直方向の処理はフィールド領域で行う。

(3) 動き補償

- ・ ブロックマッチング法
- ・ 1画素精度全探索
- ・ MCブロックサイズ 水平8画素，垂直8ライン
- ・ 探索範囲 水平16画素，垂直8ライン

(4) 量子化

デッドゾーンを持つ線形量子化器を使用。サブバンドLとHに異なった量子化特性を適用する。すなわちLにはより細かいステップサイズを，Hにはより粗いステップサイズを用いる。デッドゾーンとステップサイズは，符号化ビットレートを制御するために変化させる。

(5) 可変長符号化

符号化エントロピー E_c をビットレートの評価のために用いる。 E_c は次式で与えられる。

$$E_c = E_q + E_{mc} \quad (3)$$

E_q は量子化された予測差分誤差エントロピー， E_{mc} はMCベクトルエントロピーを表す。

(6) 特性評価

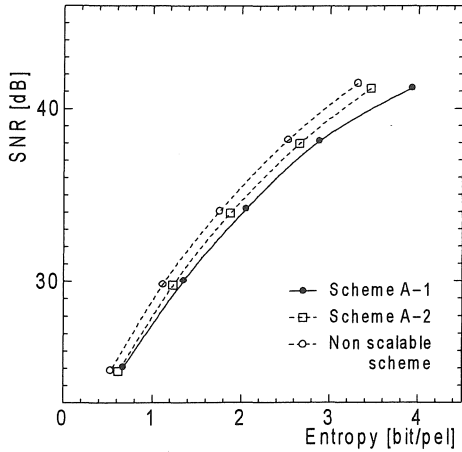
信号対雑音比 SNR を符号化されたフルバンド画像評価のために用いた。ここでSNRは

$$SNR = 20 \log_{10} (255 / N_0) \text{ [dB]} \quad (4)$$

である。 N_0 は再生された画像の雑音実効値である。

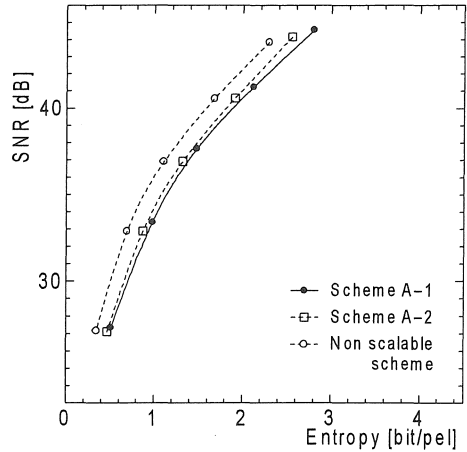
3.2 実験結果と検討

方式A-1，A-2とそれらに対する非階層符号化方式について符号化エントロピーとSNRの関係を図9と図10に示す。横軸は画像を再生するのに必要



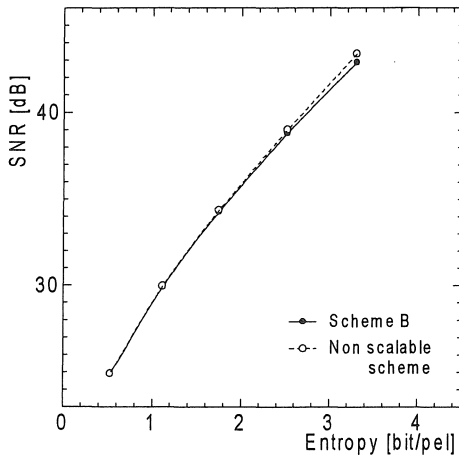
(a) Mobile & calendar

図9 方式A-1の符号化特性



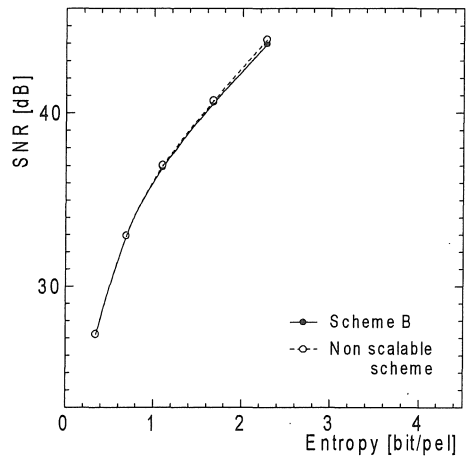
(b) Flower garden

図10 方式A-1の符号化特性



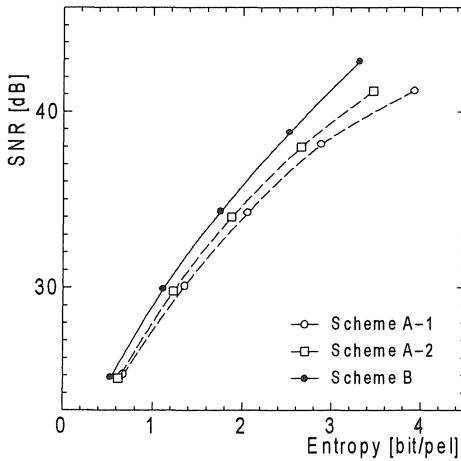
(a) Mobile & calendar

図11 方式Bの符号化特性



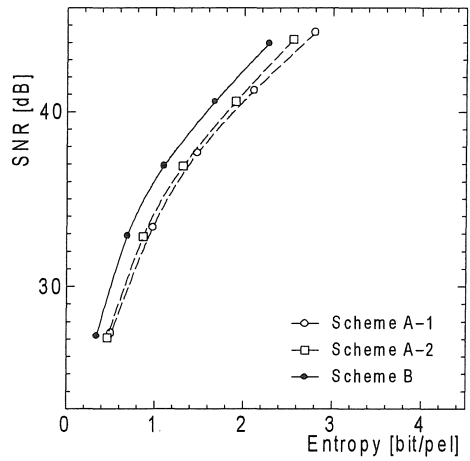
(b) Flower garden

図12 方式Bの符号化特性



(a) Mobile & calendar

図13 方式AとBの特性比較



(b) Flower garden

図14 方式AとBの特性比較

な符号化エントロピー [bit/pel], 縦軸は再生画像品質 SNR[dB]を表す。方式 A-2 は方式 A-1 と比較すると約 0.5 ~ 1.0 [dB] 特性が改善された。しかし, 方式 A-2 の特性も非階層符号化方式の結果より低下している。

図 1 1, 1 2 に方式 B とそれに対する非階層符号化方式の特性比較を示す。この場合, 方式 B は非階層符号化に比べて特性の劣化が見られない。さらに方式 A と B の比較を図 1 3, 1 4 に示す。符号化方式 B は方式 A-1 と A-2 よりも高い符号化特性を表している。

次に各方式におけるサブバンド成分ごとの符号化ビット割り当てを表 1, 2 に示す。方式 B は方式 A に対する非階層符号化方式および方式 B に対する非階層符号化方式とほぼ同等のビット割り当てをしていることがわかる。

表 1 各サブバンドに対するビット割り当て
(Mobile & calendar : SNR = 34 [dB])

	符号化エントロピー [bit/pel]					
	LL	LH	HL	HH	MCV	合計
A-1	0.803	0.574	0.454	0.203	0.018	2.058
A-2	0.803	0.501	0.376	0.169	0.025	1.874
A 非階層	0.681	0.501	0.377	0.169	0.025	1.752
B	0.680	0.501	0.376	0.169	0.025	1.751
B 非階層	0.680	0.501	0.375	0.169	0.025	1.749

表 2 各サブバンドに対するビット割り当て
(Flower garden : SNR = 33 [dB])

	符号化エントロピー [bit/pel]					
	LL	LH	HL	HH	MCV	合計
A-1	0.547	0.331	0.068	0.000	0.033	0.978
A-2	0.547	0.223	0.058	0.000	0.040	0.870
A 非階層	0.368	0.224	0.058	0.001	0.040	0.691
B	0.367	0.223	0.059	0.003	0.040	0.690
B 非階層	0.367	0.224	0.058	0.001	0.040	0.690

サブバンド符号化データ L により構成された低解像度画像に関しては, 2つの方式ともに妥当な品質の画像が得られ, 画像の観察結果にはそれほど違いはなかった。

これらの実験結果からサブバンド階層符号化方式 B は方式 A よりも優れていると言える。

4. むすび

本論文では動き補償予測サブバンド階層符号化の

2つの方式について構成とその特性を検討した。1 番目の方式 (方式 A) においては, 入力画像は最初にサブバンド画像に分割され, その後 MC 予測符号化がサブバンド画像領域で行われる。2 番目の方式 (方式 B) においては, MC 予測差分画像が最初に作成され, 次にサブバンド分割が差分画像領域において実行される。コンピュータ・シミュレーション実験結果により方式 B が方式 A よりも優れていることを明らかにした。

今後はさらに低解像度画像の評価と共に, カラー画像に対して同様の検討が必要である。

文献

- 1) V.M.Bove, Jr. and A.B.Lippman, "Scalable Open Architecture Television", SMPTE Journal, vol.101, pp.2-5, Jan. 1992.
- 2) C.Gonzales and E.Viscito, "Flexibly Scalable Digital Video Coding", Signal Processing-Image Communication, vol.5, nos.1-2, pp.5-20, Feb. 1993.
- 3) H. Amor, et al., "HDTV-T - A Joint Research Project on Digital Terrestrial Broadcast of HDTV", Proc. HDTV '92, vol.1, pp.16/1-16/11, Nov. 1992.
- 4) G.Schamel, "Graceful Degradation and Scalability in Digital Coding for Terrestrial Transmission", Proc. HDTV '92, vol.2, pp.72/1-72/9, Nov. 1992.
- 5) F.Boucherok and J-F. Vial, "Compatible Multi-resolution Coding Scheme", Proc. HDTV '92, vol.2, pp.71/1-71/8, Nov. 1992.
- 6) K.Tsunashima, J.B.Stampleman and V.M.Bove, Jr., "A Scalable Motion-Compensated Subband Image Coder", IEEE Trans. on COM, vol.42, No.2/3/4, pp.1894-1901, Feb. /Mar. /Apr. 1994.
- 7) 木下, 吉田, 加納, 沢田, "MC 予測差分に対するサブバンド階層符号化" 1995 信学総大, D-339, 1995 年 3 月
- 8) K.Sawada and T.Kinoshita, "Subband-based scalable coding schemes with motion compensated prediction", VCIP '95, vol.2501, pp.1470-1477, May. 1995.

(受理 平成 9 年 3 月 21 日)