

画像の動き補償予測DCTスケーラブル符号化の検討

Scalable Video Coding Schemes based on DCT and MC Prediction

中村元則

沢田克敏

Motonori NAKAMURA

Katsutoshi SAWADA

ABSTRACT This paper describes scalable coding schemes which use DCT and motion compensated interframe prediction. In the scalable coding, a lower resolution picture can be obtained by decoding only a partial bitstream, while a full resolution picture is obtained by decoding the total bitstream. Two types of scalable coding scheme are studied. In the first type (schemes A), an input picture is first decomposed by DCT, then MC predictive coding is carried out in the DCT picture domain. In the second type (scheme B), MC prediction is first carried out in the full resolution picture and then DCT decomposition is performed for the prediction difference picture. Coding performance for these two types of scheme 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 schemes A.

1. はじめに

画像をデジタル化したときに必要な情報量は、音声の場合に比べて1000倍以上になるため、画像のデジタル伝送やデジタル記録には画像情報圧縮技術、すなわち高能率符号化が必須となる。動画像に対する効果的な高能率符号化として、動き補償(MC: Motion Compensation)予測¹⁾と離散コサイン変換¹⁾(DCT: Discrete Cosine Transform)を組み合わせたハイブリット方式^{1) 2)}が良く知られている。一方、符号化ビットストリームの1部分のみを復号することで低解像度画像が、残りのビットストリームを合わせて復号することで入力画像と同じ高解像度画像が得られるような符号化が考えられている。このような符号化法を画像解像度に対するスケーラブル符号化^{3) 4)}と呼ぶ。図1にその概念図を示す。この符号化法はHDTVとTVのように画像解像度の異なる映像間のコンパチビリティ⁵⁾を

現する上で重要な方法である。また、この符号化は地上波放送やATMにおけるデジタル画像伝送において、“グレースフル デグラデーション^{6) 7)}(Graceful Degradation)”を実現できるという利点がある。よってスケーラブル符号化は今後の画像通信において非常に有効になってくるものと考えられる。

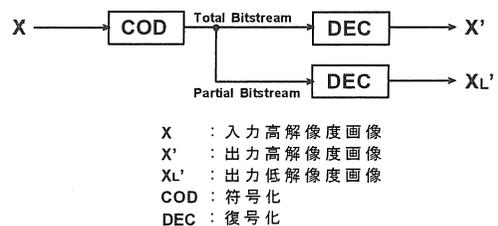


図1 画像解像度に対するスケーラブル符号化

本稿では、連続する画像フレーム間の冗長さの削減に有効な“MC予測”と1枚の画像フレーム内の冗長さを取り除くのに有効な“DCT”を組み合わせた高能率符号化において、DCTにより画像解像

度の階層化を実現する”MC予測DCTスケーラブル符号化”の構成とその特性についての検討を行う。このMC予測DCTスケーラブル符号化には大きく2種の構成が考えられる。第1は、入力画像に対してははじめにDCTを行い、階層分割された各画像に対してMC予測符号化を行う構成であり、これを方式A⁸⁾⁹⁾とする。これに対して第2は、はじめに入力画像とMC予測画像との差分をとり、得られたMC予測誤差画像に対してDCTを行う構成であり、これを方式B⁸⁾⁹⁾とする。本稿ではこれらの構成と特性について比較検討を行った。これらの構成の詳細を2章で述べ、3章で計算機シミュレーション実験とその結果を述べる。

2. MC予測DCTスケーラブル符号化の構成

2.1 DCTスケーラブル符号化

図2にDCTにおける画像ブロックと変換係数ブロックを示す。左図は変換の対象となる画像ブロックであり、水平方向M画素、垂直方向Nラインから成り、1マスを1画素に対応している。このブロックに対し水平、垂直方向にそれぞれDCTを行う。右図はDCTによって周波数成分に変換された変換係数ブロックである。DCTによってエネルギーがブロック左上に集中するため、ブロックの右下隅に偏る高周波成分をカットして逆DCT (IDCT: Inverse DCT) を行っても画像としては認識可能であり、効果的な画像圧縮が期待できる。

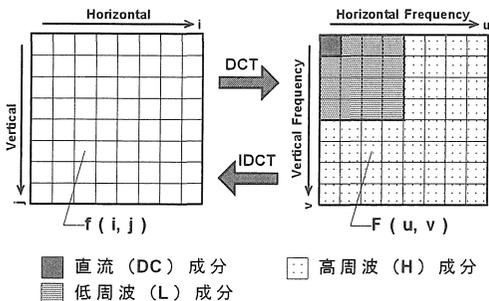


図2 DCTにおけるブロック

本稿で検討するMC予測DCTスケーラブル符号化は、DCTを用いることで画像解像度の階層化を実現している。図3に周波数領域に変換したDCT

ブロックを階層分割する様子を示す。はじめにDCTで8画素(水平)×8ライン(垂直)のブロックに分割された画像に対し、ブロックごとに2次元DCTを行う。そして周波数領域に変換されたブロックは、図に示すように左上に集中した16個の係数値よりなる低周波成分(L成分: 4×4)と、残りの48個の係数値よりなる高周波成分(H成分: 64-16)とに分割される。L成分データを処理する階層を低周波階層(L階層)とし、H成分データを処理する階層を高周波階層(H階層)としてそれぞれの階層ごとに符号化を行う。

それぞれの階層でIDCTを行う際、L階層ではDCTで分割除去されたH成分に係数値を0とした48個のH成分データを挿入する。同様にH階層ではDCTで分割されたL成分に係数値を0とした16個のL成分データを挿入する。このようにしてDCTを行う前の画像と同じサイズの低周波成分画像および高周波成分画像を得る。また、こうして得られたL階層の低周波成分画像と、H階層の高周波成分画像との和をとることで、入力と同じフル解像度の画像を得る。すなわち、L成分データのみから低解像度画像が、L成分データとH成分データからフル解像度画像を得ることができ、DCTによりスケーラブル符号化を実現できる。

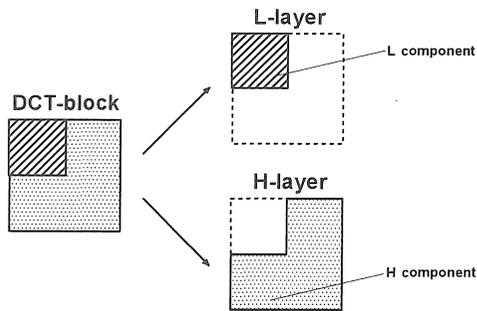


図3 DCTブロック分割

2.2 方式Aの構成と動作

最初に入力画像に対してDCTを行う方式Aの各種構成と動作について述べる。

2.2.1 方式A・基本型

図4に方式A・基本型の構成を示す。符号器側に

において、入力画像 (TV) に対して最初に8画素×8ラインのブロックサイズで2次元DCTを行い、各ブロック64個のDCT係数をL成分(4×4)と、H成分(64-16=48)の2つの成分に分離した上でそれぞれMC予測符号化を行う。各階層ごとにMC予測符号化を行うMC予測ループ内においては、IDCTでいったん画像領域に戻した後、動き補償予測器(MCP)で動き補償予測(MC予測)を行う。そして得られた画像(MC予測画像)に再度DCTを施してMC予測DCT画像を得る。こうして階層ごとのMC予測ループ内で得たMC予測DCT画像と入力DCT画像との差分から得られるMC予測DCT誤差画像を量子化(Q)、可変長符号化(VLC)し、階層ごとに伝送する。各階層のMCPで使用される動きベクトル(MCベクトル)は入力画像より求め、各階層共通のMCベクトルとして使用し、そのベクトルに対しても可変長符号化し、伝送する。

復号器側においては符号器側出力データを受信後、可変長復号器(VLD)で可変長復号化を行い、階層ごとのMC予測DCT誤差画像を得る。これらの予測誤差画像とMC予測ループ内で得られたMC予測DCT画像との和をとり、さらにIDCTを行うことで復号器側の出力画像を得る。またこの画像に対してMCPでMC予測を行い、さらにDCTを行うことで次フレームのMC予測DCT画像を得る。以上のようにして復号化が行われる。

ここで、L階層のL成分符号化データのみでの復号を行えば、低解像度画像のみを得る。さらにH階層のH成分データを復号して付加すれば、入力と同じフル解像度の画像を得る。

2・2・2 方式A・改良型

図5に方式A・改良型の構成を示す。この構成は、前節に示した方式A・基本型に対して性能向上を狙って改良した方式である。基本型では入力画像をDCTにより階層分割後、L階層画像は16個のL成分データと係数値を0とした48個のH成分からIDCTにより得ている。同様にH階層画像は係数値を0とした16個のL成分データと48個のH成分からIDCTにより得ている。これに対し改良型はH階層画像を得る方法が異なっている。H階層のIDCTにおいては、基本型のように係数値を0とした16個のL成分を用いるのではなく、L階層より得られるL成分データをそのまま使用するという改良を行っている。したがってH階層におけるMC予測ではフル解像度画像を用いることになり予測精度が向上する。こうしてIDCTして得たH階層フル解像度画像に対しては、再度DCTを行う際に出力L成分を破棄し、H成分のみをH階層予測DCT画像とする。このような構成をとることで非階層型から基本型へと、スケーラブル符号化を行った際に生ずる情報量の増加を抑制することができる。以上に示した改良点を除けば、符号器側は基本型と全く同じ符号化手順をとる。

復号器側でも同様、H階層のMC予測ループ内のIDCTにおいてL階層のL成分データを使用している。そのため、入力画像と同じフル解像度の画像を出力する際、基本型で必要であったIDCTが不要となり、基本型と比較して構成がやや簡単になる。

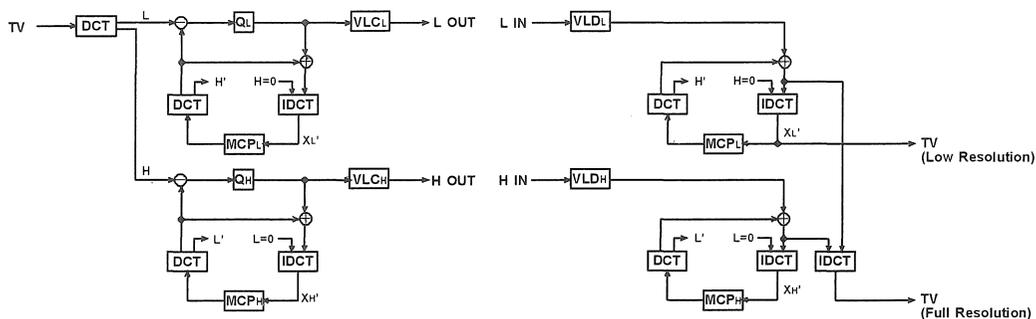


図4 方式A・基本型の構成

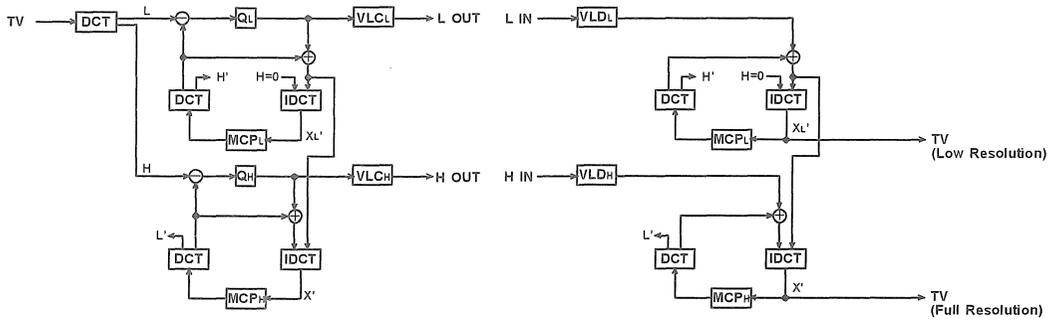


図 5 方式A・改良型の構成

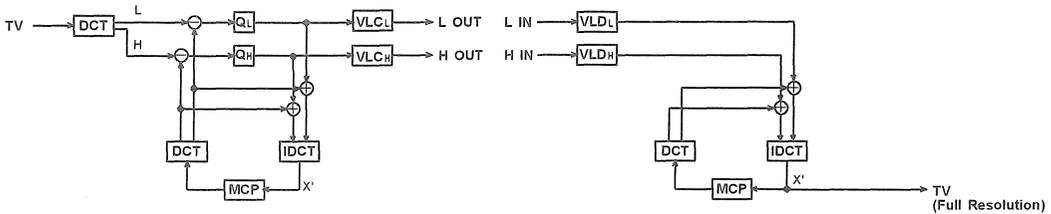


図 6 方式A・非階層型の構成

2・2・3 方式A・非階層型

比較のため図6に方式Aに対応した非階層型の構成を示す。この構成はスケーラブル符号化の機能は持たないので、復号画像は入力と同じフル解像度画像のみとなる。

2・3 方式Bの構成と動作

最初に入力画像と予測画像との差をとり、その予測誤差画像に対してDCTを行う方式Bの構成とその動作について述べる。

2・3・1 方式B・基本型

図7に方式B・基本型の構成を示す。符号器側において、最初に入力画像とMC予測画像との差をとり、得られた予測誤差画像に対して8×8のDCTを行い、16個のL成分と48個のH成分の2つに分離する。この分離された成分を個別に量子化、可変長符号化するとともにそれぞれIDCTにより画

像領域に戻す。それぞれの予測ループではIDCTして得られたMC予測誤差画像と、MC予測画像との和をとり、復号画像を得る。L階層画像、H階層画像それぞれを用いてMCPでMC予測を行うことでL階層MC予測画像とH階層MC予測画像をつくる。これら2つを加算して最終的なMC予測画像を得る。各階層のMCPで使用されるMCベクトルは入力画像より求め、各階層共通で使用され、そのベクトルに対しても可変長符号化し、伝送する。

復号器側においては符号器側出力データを受信後、可変長復号化を行い、各階層ごとにMC予測DCT誤差画像を得る。そしてIDCTによりMC予測誤差画像を得た後、各階層ごとのMC予測ループ内で得られたMC予測画像と和をとることで、復号器側の出力画像を得る。またこの画像を用いてMCPでMC予測を行うことで次フレームのMC予測画像を得る。ここでL階層のL成分符号化データのみを復号を行くことにより低解像度画像を得る。さらにH階層のH成分データを復号して付加すれば、入力と同じフル解像度の画像を得る。以上のようにして復号化が行われる。

ここで方式Bの復号器側の構成をみると、方式Aで必要とされるDCT処理が不要であり、方式Aより構成が簡単にできる利点がある。

2・3・2 方式B・非階層型

比較のため図8に方式Bに対応した非階層型の構成を示す。この構成はスケーラブル符号化の機能は持たないので、復号画像は入力と同じフル解像度画像のみとなる。

3. シミュレーション実験

前節で述べた方式A、方式Bに対して計算機シミュレーション実験を行い、符号化特性の比較を行う。

3・1 シミュレーション実験の諸元

本実験における諸元は以下に示す通りである。

(1) 使用画像

- ・CCIR-601規格画像：Flower Garden

- ・輝度画像の第1～10フレームの第1フィールドを使用
- (2) DCT
 - ・2次元DCT
 - ・ブロックサイズ：8画素×8ライン
- (3) MC予測
 - ・ブロックマッチング法
 - ・1画素精度全探索
 - ・ブロックサイズ：8画素×8ライン
 - ・探索範囲：±16画素×±8ライン
- (4) 可変長符号化
 - ・VLCにおいて可変長符号化は行わず、符号化エントロピー E_c を求める。

$$E_c = \text{量子化予測誤差エントロピー} + \text{MCベクトルエントロピー}$$
- (5) 特性評価
 - ・入力画像と復号フル解像度画像との差分を雑音としてSNRを求める。

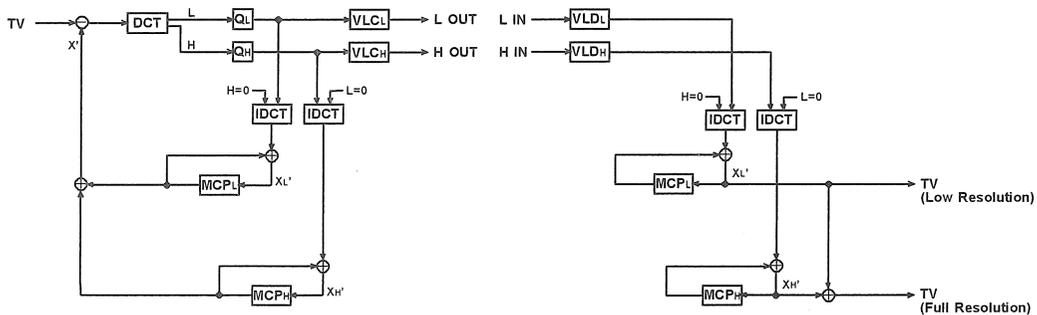


図7 方式B・基本型の構成

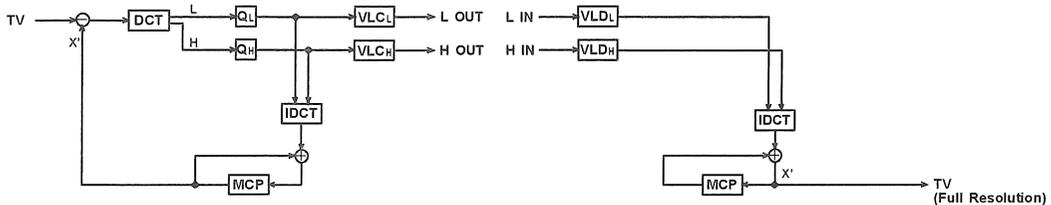


図8 方式B・非階層型の構成

3・2 実験結果とそれに対する考察

コンピュータシミュレーション実験により、量子化の粗さを5段階に変化させて得た復号画像（入力と同じ解像度）の符号化エントロピーとSNRとの関係を求めた。以下、図9～図12の特性比較図の横軸は符号化エントロピー（輝度画像量子化予測誤差エントロピー+MCベクトルエントロピー：[bit/pel]）、縦軸はSNR（単位：[dB]）を示す。1画素あたりに必要とされる情報量はより低い方が望ましい。また、同一エントロピーに対するSNRは高い方が望ましいのでその点に着目して考察していくことにする。

図9に方式Aにおける基本型と非階層型の輝度画像に対する特性比較を示す。同一エントロピーにおいて基本型は非階層型よりSNRが最大で約3[dB]程度低下している。この結果より、方式A・基本型はスケーラブル符号化を行うことで情報量の増加、あるいは画質の低下を引き起こすことがわかる。

図10に方式Aにおける改良型と非階層型の輝度画像に対する特性比較を示す。改良型の特性は非階層型の特性と比較しても同一エントロピーにおいてSNRが最大で約0.2[dB]程度の低下しかみられず、ほとんど同じ特性を示していることがわかる。

図11に方式Bにおける基本型と非階層型の輝度画像に対する特性比較を示す。基本型と非階層型を比較すると、高SNR領域では同一エントロピーにおいてSNRが最大約0.7[dB]程度の劣化するが、通常使用されるビットレート、3[bit/pel]以下では非階層型とほぼ一致する良好な特性を示している。

図12に方式Aと方式Bの輝度画像に対する特性比較を示す。まず、方式A・基本型と改良型とを比較すると、方式Aでは改良型が優れていることがわかる。続いて方式A・改良型と方式B・基本型との比較を行うと、これらの方式の特性はほぼ一致しているといえる。一方、これらの両方式の復号器側の構成を考えた場合、2・3・1節で述べたようにDCT処理を必要としない方式B・基本型のほうが簡易性の点で優れているといえる。

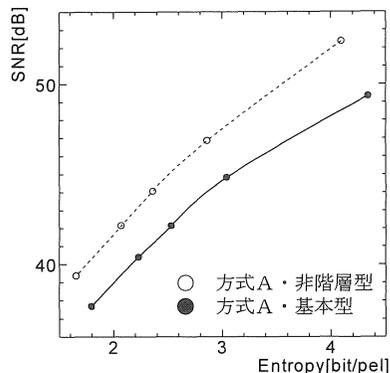


図9 方式Aにおける基本型と非階層型の輝度画像に対する特性比較

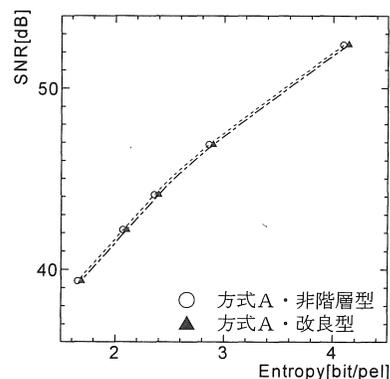


図10 方式Aにおける改良型と非階層型の輝度画像に対する特性比較

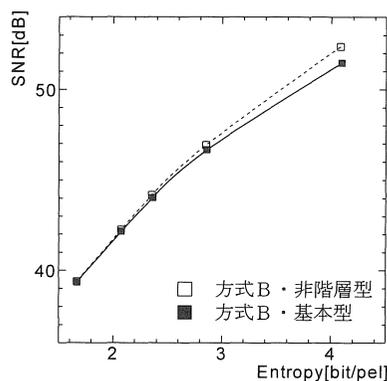


図11 方式Bにおける基本型と非階層型の輝度画像に対する特性比較

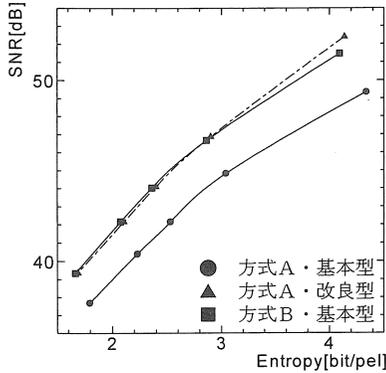


図 12 方式Aと方式Bの輝度画像に対する特性比較

4. むすび

本稿では、MC予測DCTスケーラブル符号化の2種の構成法とそれらの符号化特性を比較検討した。第1の方式は入力画像に対してDCTを行い周波数領域でMC予測DCT画像との差分をとることでスケーラブル符号化を実現する構成、方式Aであり、第2の方式ははじめに画像領域で入力画像とMC予測画像との差をとり、得られたMC予測誤差画像に対してDCTを行う構成、方式Bである。これらの構成についての計算機シミュレーション実験により得られた結果から次のことが明らかになった。

入力画像に対してDCTを行うスケーラブル符号化である方式Aにおいては、基本型と比べてH階層のIDCTでL階層データを挿入する改良型のほうが優れた特性を示し、かつ改良型は非階層型とほぼ同じ特性を示していることが確認された。また、MC予測差分に対してDCTを行うスケーラブル符号化である方式Bでは、非階層型と基本型がほぼ同じ特性を示していることがわかった。

方式A・改良型と方式B・基本型を比較すると、2つの方式はほぼ同じ特性を示しているが、復号器側の構成を考えた場合、DCTを必要としない方式B・基本型が簡易性の点で優れているという結果を得た。

今後の課題としては、各種符号化パラメータを最適化して符号化特性を更に向上させることや、視覚的な画像品質評価を行う必要がある。

文献

- 1) テレビジョン学会編：画像情報圧縮、株式会社オーム社、東京、1991.
- 2) NHK放送技術研究所編：マルチメディア時代のデジタル放送技術事典、丸善株式会社、東京、1994.
- 3) V.M. Bove, Jr, and A.B. Lippman : "Scalable Open Architecture Television", SMPTE Journal, vol.101, pp.2-5, Jan. 1992.
- 4) C. Gonzales and E. Viscito : "Flexibly Scalable Digital Video Coding", Signal Processing-Image Communication, vol.5, nos.1-2, pp.5-20, Feb. 1993.
- 5) F. Boucherock and J-F. Vial : "Compatible Multi-resolution Coding Scheme", Proc. HDTV 1992, vol.2, pp.71/1-71/8, Nov. 1992.
- 6) H. Amor, et al. : "HDTV-T-A Joint Research Project on Digital Terrestrial Broadcast of HDTV", Proc. HDTV 1992, vol.1 pp. 16/1-16/11, Nov. 1992.
- 7) G. Schamel : "Graceful Degradation and Scalability in Digital Coding for Terrestrial Transmission", Proc. HDTV 1992, vol.2, pp.72/1-72/9, Nov. 1992.
- 8) 中村、沢田：MC予測DCT階層符号化の構成に関する検討、1994年電子情報通信学会春季全国大会、情報・システムソサイティ、D-341、1995.
- 9) Nakamura and Sawada : "Scalable Codig Schemes based on DCT and MC Prediction", 1995 IEEE International Conference on Image Processing, TP7.10, Oct. 1995.
- 10) 伊東 晋：画像情報処理の基礎、東京理科大出版会、東京、1986.
- 11) 小野定康、鈴木純司：わかりやすいJPEG/MPEG2の実現法、株式会社オーム社、東京、1995.
- 12) マルチメディア通信研究会：最新MPEG教科書、株式会社アスキー、東京、1994.
- 13) マルチメディア通信研究会：実践MPEG教科書、株式会社アスキー、東京、1995.

(受理 平成8年3月19日)