

# カラー動画像の可逆符号化のための パラメータ自動設定

峯澤 彰<sup>†</sup> 松田 一朗<sup>†</sup> 伊東 晋<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 東京理科大学 理工学部

〒278-8510 千葉県 野田市 山崎 2641

E-mail:{minezawa,matsuda,itoh}@itohws01.ee.noda.tus.ac.jp

本稿では、YUV 4:2:0 フォーマットのカラー動画像データを対象とした高能率可逆符号化方式について述べる。この方式では、フレーム毎に各信号をブロック適応 3 次元予測手法を用いてそれぞれ符号化する。各予測器の係数やブロック単位の割り当て状況は、フレーム毎に付加情報としてビットストリームに多重化されるため、各信号で用意する予測器の数や予測次数は、付加情報も含めた全体の符号化性能を左右する主要なパラメータとなる。従来はこれらのパラメータを固定値として与えていたが、本稿ではそれぞれの値をフレーム毎に自動設定する手法を導入し、符号化効率の改善を図った。シミュレーションの結果、提案方式は従来方式よりも 1.8 % 低い平均符号化レートを達成することが確認された。

## Automatic Setting of Coding Parameters for Lossless Coding of Color Video Signals

Akira MINEZAWA<sup>†</sup> Ichiro MATSUDA<sup>†</sup> Susumu ITOH<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science

2641 Yamazaki, Noda-shi, Chiba 278-8510, Japan

E-mail:{minezawa,matsuda,itoh}@itohws01.ee.noda.tus.ac.jp

This paper describes an efficient lossless video coding scheme of color video signals provided in YUV 4:2:0 format. A luminance (Y) signal and chrominance (U, V) signals are encoded by using a block-adaptive 3D prediction method, one by one. Since the optimized 3D predictors and their assignment must be sent as side information for each frame, the number of the predictors and their prediction order are important parameters which affect a tradeoff between the amount of side information and accuracy of the prediction. This paper describes a method of setting the respective parameters automatically for each frame. Simulation results indicate that the proposed method reduces an average coding rate by 1.8 % compared with our previous work.

### 1 はじめに

動画像の可逆符号化は、文化的価値の高い映像の保存を目的とするデジタル・アーカイブや業務用マスタ映像の記録などといった、高品質な動画像を扱う分野で必要とされる技術である。現在、これらのアプリケーションで利用されるカラー画像データは、YUV 4:2:0 フォーマットと呼ばれる形式で与えられる場合が多い。このフォーマットは、撮像素子で取得された RGB 4:4:4 信号を輝度 (Y) と色差 (U, V) に色座標変換し、更に色差信号にサブサンプリングを施したものであり、本来の映像信号が持つ情報を全て表現しているわけではない。しかし、MPEG 等の非可逆符号化方式における標準フォーマットであり、現在多くの映像機器が準

拠している ITU-R BT.601 (旧 CCIR 601<sup>1)</sup>) 規格との親和性も高いことから、当面の間は符号化の対象となる映像ソースが YUV 4:2:0 フォーマットで供給される状況が続くものと予想される。

そこで筆者らは、YUV 4:2:0 フォーマットで与えられたカラー画像データを高能率に可逆符号化する方式の開発に取り組んでいる<sup>2)</sup>。本方式では、フレーム毎にまず Y 信号をブロック適応 3 次元予測手法に基づいて符号化する。この手法は、動き補償された前フレームと当該フレームの符号化済み画素を同時に参照する 3 次元線形予測器を複数用意し、それらを 8×8 画素のブロック単位で適応選択することにより、画像の局所的な性質に追従した高精度な時空間予測を可能としている<sup>3)</sup>。さ

らに U, V 信号に関しては, 符号化済みの信号も利用するように拡張された予測手法を導入することで, より高精度な予測を実現している. また, 3次元予測器の係数やブロック単位の割り当て状況, 動ベクトルといった復号時に必要なパラメータは, 各信号についてそれぞれフレーム毎の符号量が最小となるように繰り返し最適化され, 付加情報としてビットストリームに多重化される. したがって本方式では, 予測の精度を高めようとするればするほど多くの付加情報が必要となり, 予測誤差と付加情報それぞれに要する符号量の間にトレードオフの関係が生じる. 従来は, 付加情報の符号量を決める主要なパラメータである予測器の数および各予測器が使用する参照画素数 (予測回数) の設定値を, 色信号毎に多数の予備実験に基づいて事前に決定していた<sup>2)</sup>. しかし, 上記のトレードオフ関係は画像サイズや絵柄などによって異なるため, これらの設定値を符号化対象画像に応じて適切に制御することで符号化効率を更に改善できると考えられる. そこで本稿では, 予測器の数と個々の予測器における予測回数を, 反復最適化処理に基づいて自動設定する手法の導入を図る.

## 2 符号化手順

本方式では, 各フレームのカラー画像を構成する 3つの信号を  $Y \rightarrow U \rightarrow V$  の順序で符号化するものとし, 最初に符号化される Y 信号に関しては, 先に報告したモノクローム動画像用の可逆符号化方式<sup>3)</sup> と同一の符号化手順を適用する. また, 色座標変換を適用後も, 信号間の相関は完全に除去されていない場合が多いことから, U, V 信号に関してはブロック適応 3次元予測に色信号間予測<sup>4)</sup> の手法を導入する. V 信号を例に具体的な手順を以下に述べる. 各フレームの V 信号は, 図 1 のように  $8 \times 8$  画素の正方ブロック毎に  $M$  通りのクラスに分類されており, ラスタスキャン順に走査され

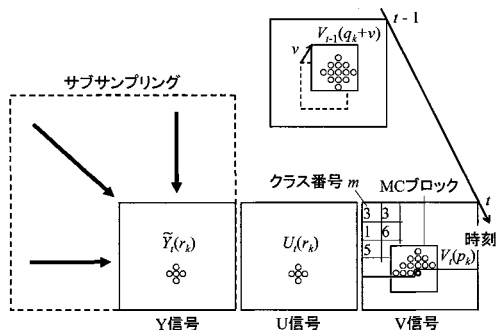


図 1 V 信号における 3次元予測

る画素に対し, それぞれが属するクラスに対応した線形予測器が割り当てられる. このとき各予測器は, 符号化対象信号 (V 信号) だけではなく, 同一フレームで既に符号化済みの信号 (Y および U 信号) も同時に参照するよう拡張されている. 但し, Y 信号のサンプリング位置は U, V 信号のそれとは異なるため, 図 1 に示すように元の信号  $Y_t(\mathbf{r}_k)$  をアンチエイリアシングフィルタとサブサンプリング処理によって色差信号と同一サイズに縮小した  $\tilde{Y}_t(\mathbf{r}_k)$  を予測に使用する. ここで, 当該フレームおよび前フレームの V 信号をそれぞれ  $V_t(\mathbf{p}_k)$ ,  $V_{t-1}(\mathbf{p}_k)$  と表記すると, 注目画素  $\mathbf{p}_0$  に対して  $m$  番目 ( $m = 1, 2, \dots, M$ ) の予測器を適用した際の予測値  $\hat{V}_t(\mathbf{p}_0)$  は次式により算出される.

$$\hat{V}_t(\mathbf{p}_0) = \sum_{k=1}^{K_p} a_m(k) \cdot V_t(\mathbf{p}_k) + \sum_{k=0}^{K_q-1} a_m(k+K_p+1) \cdot V_{t-1}(\mathbf{q}_k+\mathbf{v}) + \sum_{k=0}^{K_r-1} a_m(k+K_p+K_q+1) \cdot U_t(\mathbf{r}_k) + \sum_{k=0}^{K_r-1} a_m(k+K_p+K_q+K_r+1) \cdot \tilde{Y}_t(\mathbf{r}_k) \quad (1)$$

但し,  $K_p$ ,  $K_q$ ,  $K_r$  はそれぞれ当該フレーム, 前フレーム, 符号化済みの各信号に割り当てた参照画素の数,  $a_m(k)$  ( $k = 1, 2, \dots, K_p + K_q + 2K_r$ ) は各参照画素に関する予測の重み (予測係数) である. また, 前フレームに配置する参照画素群  $\mathbf{q}_k$  ( $k = 0, 1, \dots, K_q - 1$ ) は, 四分木分割に基づいた可変サイズのブロック (MC ブロック) 毎に算出された動ベクトル  $\mathbf{v}$  に従って動き補償されている<sup>3)</sup>. 最終的に (1) 式によって得られる予測誤差  $e = V_t(\mathbf{p}_0) - \hat{V}_t(\mathbf{p}_0)$  は, コンテキストモデリングと呼ばれる手法に基づいて適応的に算術符号化される. これら一連の手順を復号器において実行するために必要な予測係数 ( $a_m(k)$ ) やブロック毎のクラス番号 ( $m$ ), 動ベクトル ( $\mathbf{v}$ ) といった付加情報は, 当該フレームで発生する符号量が最小となるよう繰り返し最適化された後, ビットストリームに多重化される.

## 3 双予測方式の導入

次世代の動画像符号化方式である H.264 では, 2枚の参照フレームを用いて動き補償を行う双予測方式が採用されている<sup>5)</sup>. これは, 時間方向の制約無しに任意の符号化済みフレームを 2枚参照できる方式であり, 符号化の際にフレームの順序を並び替えることなく, 双予測を適用する B ピクチャを連続して設定可能としている. またこの方式を,

参照フレームをブロック毎に適応選択する手法（マルチフレーム MC）と組み合わせることにより更に予測性能を向上させることができる。本方式では、これらの要素技術をブロック適応 3 次元予測の枠組みの中で実現している。図 2 は、マルチフレーム MC と双予測方式に基づいたブロック適応 3 次元予測を V 信号に適用した例を示している。ここで、動ベクトル  $\mathbf{v}$  が参照するフレームは常に直前（時刻  $t-1$ ）に固定し、もう一本の動ベクトル  $\mathbf{v}'$  が参照するフレームのみ、過去に符号化した  $R$  枚（時刻  $t-1, t-2, \dots, t-R$ ）の中から適応選択することで、参照フレームの適応選択に要する演算量と付加情報の増加を抑えている<sup>6)</sup>。以下に、V 信号を例に双予測方式を導入した際の予測値の算出式を示す。

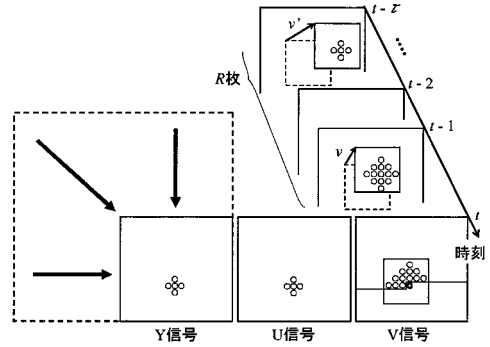


図 2 双予測に基づいた 3 次元予測（V 信号）

$$\begin{aligned} \hat{V}_t(\mathbf{p}_0) = & \sum_{k=1}^{K_p} a_m(k) \cdot V_t(\mathbf{p}_k) \\ & + \sum_{k=0}^{K_q-1} a_m(k+K_p+1) \cdot V_{t-1}(\mathbf{q}_k + \mathbf{v}) \\ & + \sum_{k=0}^{K'_q-1} a_m(k+K_p+K_q+1) \cdot V_{t-\tau}(\mathbf{q}_k + \mathbf{v}') \\ & + \sum_{k=0}^{K_r-1} a_m(k+K_p+K_q+K'_q+1) \cdot U_t(\mathbf{r}_k) \\ & + \sum_{k=0}^{K_r-1} a_m(k+K_p+K_q+K'_q+K_r+1) \cdot \tilde{Y}_t(\mathbf{r}_k) \end{aligned} \quad (2)$$

なお、 $\tau (= 1, 2, \dots, R)$  は動ベクトル  $\mathbf{v}'$  が参照するフレームの番号、 $K'_q$  はこのフレームに配置される参照画素の数をそれぞれ表している。さらに、参照フレームの候補数  $R$  について、本稿では予備実験の結果<sup>2)</sup>に基づき  $R = 5$  に設定している。

#### 4 予測器の数の自動設定

従来手法<sup>2)</sup>では、予測器の数  $M$  を固定値として与えるという前提の下で、その適切な設定値を色信号毎に実験的に決定していた。しかし、 $M$  の設定値と符号化効率の関係は、同一の信号においても画像サイズや絵柄によって異なり、その最適値はフレーム毎に変動するものと考えられる。そこで本稿では、各色信号について、フレーム毎の初期値として十分な数の予測器を用意し、反復最適化手順の中で不要な予測器を徐々に削減する手法<sup>7)</sup>の導入を図る。具体的な手順を以下に示す。

- (1) まず、 $M = \min(M_{max}, 2M')$  種類の予測器を初期値として用意する。但し、 $M'$  は前フレームの符号化に使用した予測器の数である。具

体的には、前フレームで使用した  $M'$  種類の予測器はそのまま初期値として利用し、更にランダムに選んだ 2 組の予測器の係数を平均したもの ( $M - M'$  組) を新たな予測器として初期値に加える。なお、先頭フレーム (I ピクチャ)、2 番目のフレーム (P ピクチャ) および 3 番目のフレーム (最初の B ピクチャ) については、従来手法<sup>3)</sup>と同様な手順によって  $M_{max}$  種類の予測器を新たに設計する。

- (2) フレーム全体の符号量  $J$  をコストとして各パラメータの最適化手順<sup>3)</sup>を一通り実行する。
- (3)  $m$  番目の予測器を削除すると仮定した場合の符号量を表すコスト  $J_m$  を  $m = 1, 2, \dots, M$  について算出する。このとき、 $m$  番目の予測器を選択していたブロックについては残りの予測器で代用することとなるため、削除した予測器に関する付加情報が不要となる一方、予測誤差の符号量は増加する。
- (4) 上で算出した  $J_m$  ( $m = 1 \sim M$ ) の最小値を求め、その値が予測器を削減する前に比べて減少する場合のみ、実際にその予測器を削減する。
- (5) (4) の処理を削除対象となる予測器が存在しなくなるまで繰り返し、更にこの状態を新たな初期値とみなして、(2) 以降の手順を反復的に実行する。

ここで、 $M$  の上限を決めるパラメータ  $M_{max}$  については、予備実験の結果に基づいて Y 信号では  $M_{max} = 100$ 、U, V 信号では  $M_{max} = 50$  にそれぞれ設定している。また、予測係数の符号化に際しては、各係数を  $\frac{1}{64}$  精度で一様量子化後、前フレームで使用した予測器の中から最も類似するものを

一つ選び、それとの差分値を符号化することで、フレーム間で予測器の数や対応関係が変化した場合でも効率的な符号化を可能にしている<sup>7)</sup>。

## 5 参照画素配置の自動設定

これまで予測に用いる参照画素群は、符号化対象画素  $p_0$  および対応する各参照フレームの画素  $q_0$ ,  $r_0$  からの市街地距離が一定以内の領域に様に配置していた<sup>2)</sup>。しかし、提案方式において予測次数を制御するパラメータは最大で  $K_p$ ,  $K_q$ ,  $K'_q$ ,  $K_r$  の4通りとなり、色信号毎にそれぞれの適切な値の組み合わせを事前に決定することは容易ではない。また、予測器の特性は予測次数だけではなく予測に用いる参照画素の配置にも大きく依存し、その最適な条件は予測器が割り当てられる個々の領域で異なると考えられる。そこで本稿では、参照画素の配置可能な範囲を表1に示した十分大きな値に設定しつつ、前節の手順(2)の中で実行される予測係数の修正処理において零と非零の係数を区別して扱うことにより、参照画素の配置を含めた最適化を実現している<sup>7)</sup>。V信号における修正処理の流れを以下に示す。

- (1) 非零の係数を持つ画素をランダムに1つ選び、その係数  $a_m(i)$  を量子化精度に対応した微小値  $\pm \frac{1}{64}$  だけ修正した時の符号量を表すコスト  $J$  を算出する。
- (2)  $a_m(i)$  と組になる係数  $a_m(j)$  ( $j = 1, 2, \dots, K_p + K_q + K'_q + 2K_r | j \neq i$ ) を順に選び、 $a_m(i)$  と  $a_m(j)$  に正負逆の修正項 ( $\pm \frac{1}{64}$ ,  $\mp \frac{1}{64}$ ) を加えた場合についてそれぞれコスト  $J$  を評価する。
- (3) 上の手順において  $a_m(j) = 0$  であった場合に限り、 $a_m(i)$  と  $a_m(j)$  の値を交換した場合についても同様に評価を行う。

Table 1 予測次数の設定条件

ピクチャ タイプ	信 号	参照画素の数 (予測次数)			
		$K_p$	$K_q$	$K'_q$	$K_r$
I	Y	110	-	-	-
	U	56	-	-	41
	V	56	-	-	41 (×2)
P	Y	72	113	-	-
	U	42	61	-	41
	V	42	61	-	41 (×2)
B	Y	72	113	85	-
	U	42	61	41	41
	V	42	61	41	41 (×2)

- (4) (1)~(3) の修正パターンの中でコスト関数  $J$  が最小となるものを最終的に採用し、実際に修正を加える。
- (5) 以上の手順を一定回数実行し、更に各予測器 ( $m = 1, 2, \dots, M$ ) について順に適用する。

## 6 特性評価

3種類のサイズのカラー動画像 (YUV 4:2:0 フォーマット) を対象とし、25フレーム分を1つのGOP (IPBBB...) として符号化実験を実施した。表2は各画像について色信号別に付加情報を含めた符号化レート (25フレーム分の平均) を求めた結果である。但し、「固定方式」は予測器の数  $M$ , 予測次数  $K_p$ ,  $K_q$ ,  $K'_q$ ,  $K_r$  を表3に示す値に固定した従来手法<sup>2)</sup> による符号化結果である。一方、「クラス数自動設定」は「固定方式」をベースに4で提案した予測器の数の自動設定を導入した方式、「参照画素自動設定」は「固定方式」に5で提案した予測次数と参照画素配置の自動設定を導入した方式、「提案方式」はこれら2つの手法を組み合わせた方式をそれぞれ表している。なお、提案方式の符号化レートの横に示した括弧内の数字は、フレーム当たりの平均予測器数 ( $\bar{M}$ ) と予測器当たりの平均予測次数 (非零係数の個数の平均:  $\bar{K}$ ) を表している。また、太字で示した符号化レートは各信号について最も優れた性能であることを示している。これより、全ての色信号において「クラス数自動設定」と「参照画素自動設定」は、それぞれ「固定方式」よりも優れた平均符号化レートを達成していることがわかる。更に、これらの手法を組み合わせた「提案方式」は「固定方式」に比べ平均で0.072 bits/pel 低い符号化レートを達成している。図3は、V信号における各フレームで使用した予測器の数  $M$  の推移を示したものである。同図および表2中の  $\bar{M}$ ,  $\bar{K}$  の数値は、提案方式によって色信号毎に画像サイズや絵柄に応じた適切な値が自動的に得られていることを示唆している。

最後に、本方式の符号化性能を客観的に評価するため、代表的な可逆符号化方式について符号化レートの比較を行った結果を表4に示す。ここで、「FRExt」はH.264を拡張したFidelity Range Extensions<sup>8)</sup>の可逆符号化モード (IPBBB..., 参照フレーム5枚, CABAC符号化), 「JPEG-LS」は静止画像用の可逆符号化方式であるJPEG-LS<sup>9)</sup>をYUV信号それぞれに独立して適用する方式である。これより、「提案方式」は、「FRExt」に対して18%, 「JPEG-LS」に対して39%それぞれ低い平均符号化レートを達成しており、カラー動画像の可逆符号化方式として優れた性能を有していることがわかる。

Table 2 色信号別の符号化レート (bits/pel)

画像	信号	提案方式 ( $\bar{M}$ , $\bar{R}$ )	参照画素 自動設定	クラス数 自動設定	固定方式
Coastguard*	Y	<b>3.109</b> (8.6, 35.0)	3.132	3.131	3.151
	U	1.114 (3.9, 19.0)	1.130	<b>1.110</b>	1.137
	V	0.961 (4.3, 16.4)	0.977	<b>0.956</b>	0.967
	total	<b>3.628</b>	3.658	3.648	3.677
Mother & Daughter**	Y	<b>1.673</b> (9.0, 24.7)	1.692	1.685	1.701
	U	<b>1.484</b> (2.2, 35.3)	1.508	1.490	1.524
	V	<b>1.270</b> (1.2, 37.0)	1.293	1.274	1.278
	total	<b>2.361</b>	2.393	2.376	2.401
Foreman**	Y	<b>2.684</b> (41.1, 35.3)	2.685	2.708	2.715
	U	<b>1.624</b> (12.9, 33.5)	1.626	1.635	1.632
	V	<b>1.361</b> (8.5, 34.4)	<b>1.361</b>	1.364	1.365
	total	<b>3.430</b>	3.432	3.457	3.464
Mobile & Calendar**	Y	<b>3.405</b> (54.6, 47.0)	3.441	3.433	3.489
	U	<b>1.994</b> (15.6, 29.3)	2.006	2.028	2.048
	V	<b>1.921</b> (16.2, 32.9)	1.946	1.963	1.992
	total	<b>4.384</b>	4.429	4.430	4.499
Crowded Crosswalk***	Y	<b>2.767</b> (63.2, 45.3)	2.772	2.788	2.798
	U	<b>1.888</b> (26.5, 31.2)	1.896	1.901	1.911
	V	<b>1.603</b> (17.4, 39.2)	1.610	1.618	1.626
	total	<b>3.639</b>	3.648	3.667	3.682
Green Leaves***	Y	<b>4.722</b> (77.4, 63.3)	4.775	4.779	4.850
	U	<b>2.462</b> (30.4, 36.0)	2.485	2.495	2.527
	V	<b>1.681</b> (25.5, 37.7)	1.698	1.701	1.722
	total	<b>5.758</b>	5.821	5.828	5.913
Average	Y	<b>3.060</b> (42.3, 41.8)	3.083	3.087	3.117
	U	<b>1.761</b> (15.3, 30.7)	1.775	1.777	1.797
	V	<b>1.466</b> (12.2, 32.9)	1.481	1.479	1.492
	total	<b>3.867</b>	3.897	3.901	3.939

\*QCIF サイズ (176 × 144 pels) , \*\*CIF サイズ (352 × 288 pels) , \*\*\*SD サイズ (720 × 480 pels)

Table 3 固定方式におけるパラメータの設定値

ピクチャ タイプ	信 号	予測器の 数 ( $M$ )	参照画素の数 (予測回数)			
			$K_p$	$K_q$	$K'_q$	$K_r$
I	Y	24	30	-	-	-
	U	10	20	-	-	5
	V	10	20	-	-	5 (×2)
P	Y	24	20	25	-	-
	U	10	12	13	-	5
	V	10	12	13	-	5 (×2)
B	Y	24	20	25	13	-
	U	10	12	13	5	5
	V	10	12	13	5	5 (×2)

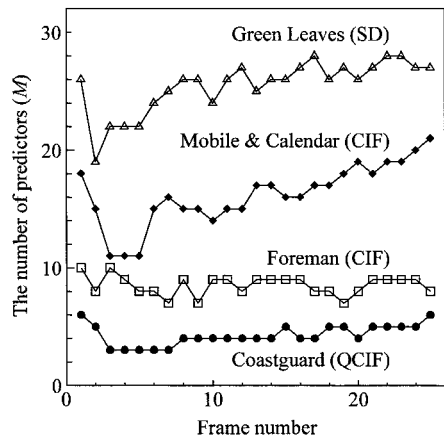


図3 各フレームにおける予測器の数 (V信号)

Table 4 他方式との比較 (bits/pel)

画像	提案方式	FRExt	JPEG-LS
Carphone*	<b>3.340</b>	3.839	4.969
Coastguard*	<b>3.628</b>	4.311	5.837
Container*	<b>2.346</b>	2.805	5.314
Foreman*	<b>3.663</b>	4.249	5.807
Mother & Daughter*	<b>2.361</b>	2.948	4.522
News*	<b>1.734</b>	2.106	5.070
Carphone**	<b>3.386</b>	4.052	4.545
Container**	<b>2.810</b>	3.544	5.189
Foreman**	<b>3.430</b>	4.161	4.976
Mobile & Calendar**	<b>4.384</b>	5.552	7.264
News**	<b>1.806</b>	2.312	4.568
Tempete**	<b>4.376</b>	5.249	6.483
Church***	<b>3.651</b>	4.437	6.697
Crowded Crosswalk***	<b>3.639</b>	4.634	4.792
Driving***	<b>4.371</b>	5.334	5.837
European Market***	<b>4.078</b>	4.864	6.219
Green Leaves***	<b>5.758</b>	6.846	8.512
Japanese Room***	<b>2.877</b>	3.469	4.792
<i>Average</i>	<b>3.424</b>	4.151	5.648

\*QCIF サイズ, \*\*CIF サイズ, \*\*\*SD サイズ

## 7 まとめ

本稿では、筆者らの提案した YUV 4:2:0 フォーマットのカラー動画の可逆符号化方式<sup>2)</sup>の性能改善策として、予測器の数および予測次数をフレーム毎に自動設定する手法について検討を加えた。シミュレーションの結果、これらの手法によって、平均符号化レートが 1.8% 程度改善されることを確認した。本稿で提案した手法は、設定すべきパラメータが多岐にわたるため、その手動設定が煩雑となるカラー動画信号を符号化対象とした場合に特に有効なアルゴリズムであると考えられる。

## 参考文献

- 1) Rec. CCIR 601: "Encoding Parameters of Digital Television for Studios", 1982.
- 2) 泉俊光, 前田弘樹, 松田一朗, 伊東晋, 内藤整, 小池淳, "動き補償と色信号間予測に基づいたカラー動画の可逆符号化", 信学技報, Vol.106, No.608, pp.13-16, Mar. 2007.
- 3) 塩寺太郎, 梅津有司, 前田弘樹, 松田一朗, 森岡一幸, 伊東晋, "フレーム毎に MC と 3

次元予測を最適化する動画の可逆符号化方式", 映情学誌, Vol.60, No.7, pp.1051-1058, July 2006.

- 4) 松井浩二, 松田一朗, 森岡一幸, 伊東晋: "適応色信号間予測とコンテクストモデリングに基づいたカラー画像の可逆符号化", SITA2005 予講集, Vol.II, pp.853-856, Nov. 2005.
- 5) ITU-T Rec. H.264 | ISO/IEC 14496-10 AVC, "Advanced Video Coding for Generic Audio-visual Services," 2003.
- 6) H. Maeda, A. Minezawa, I. Matsuda, S. Itoh, "Lossless Video Coding Using Multi-Frame MC and 3D Bi-Prediction Optimized for Each Frame," EUSIPCO2006, Sep. 2006.
- 7) 峯澤彰, 松田一朗, 伊東晋, "動画の可逆予測符号化のためのパラメータ自動設定", 信学技報, Vol.107, No.40, pp.29-34, May 2007.
- 8) G. J. Sullivan, P. Topiwala and A. Luthra, "The H.264/AVC Advanced Video Coding Standard: Overview and Introduction to the Fidelity Range Extensions," SPIE Conf. on Applications of Digital Image Processing XXVII, Vol. 5558, pp. 53-74, Aug. 2004.
- 9) ISO/IEC, ISO/IEC 14495-1:1999, "Information Technology - Lossless and Near-lossless Compression of Continuous-Tone Still Images: Baseline," Dec. 1999.