カラー画像の適応的可変ブロック形状 KL 変換符号化

学生会員 松田 一朗[†], 正会員 伊東 晋[†], 名誉会員 宇都宮 敏男[†]Adaptive KL-Transform Coding of Color Images
Based on Variable-Shape-BlocksIchiro Matsuda[†], Susumu Itoh[†] and Toshio Utsunomiya[†]

Abstract This paper proposes a new transform coding scheme which partitions a color image composed of luminance signals and two color difference signals into variable-shape-blocks. This partition reduces interference such as mosquito noise and blocking effects. The shapes of the blocks for the above three signals accord with one another in order to reduce the amount of computation required for image segmentation and derivation of basis vectors in a KL-transform, as well as the information load related to the block shapes. This scheme attains segmentation and bit allocation for color images by minimizing the power of residual signals which are obtained through the application of a new adaptive smoothing filter, and the final mean square error in the RGB signal space. Simulation results demonstrate that this scheme improves SNR to about 2 dB more than what is attained by a JPEG Baseline System, and reproduces better images with less interference.

1. ま え が き

DCT 等を用いた直交変換符号化方式は、低レートにおいても優れた符号化効率を示すことから、現在、画像符号化の分野で最も広く利用されている。一般に、直交変換符号化では対象画像を 8×8 画素程度の一様な正方ブロックに分割した後、各々のブロックに対して直交変換が適用される。このため、画像の輪郭部周辺では、変換係数の量子化誤差がブロック全体に拡散し、モスキート雑音と呼ばれる直交変換符号化特

有の雑音が発生する。また、画像の平坦部では人の視覚特性が鋭敏になるため、ブロック境界部で生じる信号の不連続性が検知され易く、ブロック歪みと呼ばれる画質劣化が問題となる。

筆者らは、これら直交変換符号化特有の問題点に対する抜本的な解決を図るため、領域分割符号化¹⁾²⁾の概念を取り入れた新しい変換符号化(可変ブロック形状 KL (Karhunen-Loève) 変換符号化)の研究を行っている^{3)~5)}。この方式では符号化対象画像をその内容に則した可変形状のブロックに分割しており、このと

キーワード：画像符号化、カラー画像、領域分割、適応補間、KL 変換符号化、適応制御

1991 年 7 月 24 日、1991 年テレビジョン学会年次大会で発表

1993 年 3 月 2 日受付、1993 年 5 月 31 日再受付

[†] 東京理科大学 理工学部電気工学科 (〒278 千葉県野田市山崎 2641, TEL 0471-24-1501)

[†] Faculty of Science and Technology, Science University of Tokyo (2641, Yamazaki, Noda-shi, Chiba 278, Japan)

き、ブロック境界は画像の主要な輪郭にフィットするため、モスキート雑音が発生しにくいという特徴を有している。また、補間フィルタを用いた新しいブロック分割アルゴリズム⁴⁾を開発することにより、符号化効率の改善とブロック歪みの低減とを同時に実現している。

本論文では、これまでモノクローム画像を対象に検討を加えてきた可変ブロック形状KL変換符号化を、カラー画像符号化に拡張する。具体的には、Y, C_R, C_B信号に色座標変換されたカラー画像を対象として、これに適したブロック分割アルゴリズムを開発すると共に、上記3信号に対する適切な符号化歪みの配分法について検討することにより、従来の正方ブロックに基づいた直交変換符号化の特性を上回る高い符号化効率を実現している。また、補間フィルタの適応化によるブロック歪みの更なる低減法についても新たに検討を加え、再生画質のより一層の向上を図っている。

2. カラー画像の可変形状ブロック分割

2.1 ブロック分割アルゴリズムの概要⁵⁾

ここでは、従来のモノクローム画像を対象としたブロック分割アルゴリズムの概要について述べる。

可変ブロック形状KL変換符号化では、すべてのブロック形状を四角形に限定している。したがって、各ブロックの形状はそのブロックを構成する4頂点の位置情報のみによって記述できる。そこで、まず画像を8×8画素の正方ブロックに分割し、これを初期状態として、またこのときの各頂点間の接続状態を保持したまま、以下に示す頂点位置更新アルゴリズムを実行する。

- (1) 各ブロックにおいて、そのブロックに属する画素群^{*}の平均輝度値 $\bar{x}_L$ を算出する。ここで、各画素の輝度値を $x(i, j)$ 、その画素が属しているブロックを示すラベルを $l(i, j)$ とし、ブロック L に属する画素群を集合 $B_L = \{(i, j) | l(i, j) = L\}$ で記述すると、 $\bar{x}_L$ は次式にて表される。

$$\bar{x}_L = \frac{1}{N_L} \sum_{i,j \in B_L} x(i, j) \quad (1)$$

ただし、 N_L は集合 B_L の要素数、すなわちブロック L に属する画素の数を示している。

- (2) 各ブロックの境界部に位置する画素(図1に

^{*} 各ブロックの4つの頂点を理想的な直線で順番に結び、これにより四角形を定義する。ある画素 p の中心がこの四角形の内部に含まれるならば、画素 p はこのブロックに属するものとする。各ブロックに属する画素群はこのようにして決定されるので、実際のブロック境界(すなわちブロックの各辺)は必ずしも理想的な直線とはならない。

図1 頂点位置の更新と補間フィルタ
Renewal of the position of the vertex P and the smoothing filter.

○で示したように、上下左右の4近傍の画素のいずれかが他のブロックに属している画素)に対して上記の平均輝度値のみを用いた補間フィルタを適用し、その出力を $x''(i, j)$ で記述する。

$$x''(i, j) = \frac{1}{9} \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 \bar{x}_{l(i+m, j+n)} \quad (2)$$

ただし、この補間フィルタの適用対象外となるブロック内部の画素では $x''(i, j) = \bar{x}_{l(i, j)}$ とする。

- (3) 補間画像 $x'(i, j)$ を次式により生成する。

$$x'(i, j) = x''(i, j) + \{\bar{x}_{l(i, j)} - \frac{1}{N_{l(i, j)}} \sum_{m,n \in B_{l(i, j)}} x''(m, n)\} \quad (3)$$

この操作により、補間画像 $x'(i, j)$ のブロック毎の平均値は $\bar{x}_{l(i, j)}$ に等しくなる。

- (4) 注目する頂点Pについて、1ブロック形状に関する評価パラメータ $T_1 = S_A + S_B + S_C + S_D$ を算出する。ただし、 $S_L (L=A \sim D)$ は次式に示すように頂点Pを取り囲む4つのブロック(図1のA~D)の各々における補間残差信号の2乗和である。

$$S_L = \sum_{i,j \in B_L} \{x(i, j) - x'(i, j)\}^2 \quad (4)$$

- (5) 頂点Pを上下左右に1画素分だけ移動させ、それぞれの場合について T_1 と同様に評価パラメータ $T_2 \sim T_5$ を算出する。なお、頂点Pの移動によって形状の変化するブロックはA~Dのみであり、 $\bar{x}_L$ および $x'(i, j)$ はこれら4ブロックについてのみ再度算出すればよい。
- (6) $T_1 \sim T_5$ の中から最小値を選択し、頂点Pの位置を対応する位置に更新する。

以上の手順を、すべての頂点に対して画面内の左上

図 2 頂点の移動可能な範囲
Movable areas of vertices.

の頂点から順に一度ずつ施す。さらに、これら一連の操作を画面全体を対象として繰り返し、徐々にブロックの形状を変形させる。ただし、反復の各段階が終了するたびに画面全体での補間残差信号電力を求めておき、この値が減少しなくなった時点で反復処理を打ち切っている。この反復処理の回数は通常 15~20 回である。

なお、本方式では図 2 に●で示すように、各頂点の移動可能な範囲をその頂点の初期位置を中心とした一定の領域内の 64 点（画像の端では外周上の 8 点）に制限している。これにより、すべてのブロック形状が四角形になることが保証される。また、各頂点の位置情報は各々 6 または 3 ビットで記述可能であり、ブロック形状を比較的低レート（約 0.09 bit/pel）で符号化できる。さらに、最終的なブロックのサイズは最大でも 225 画素となり、このようなブロックサイズの上限が存在することは、直交基底導出時の演算量および演算精度の観点から極めて有用である。

2.2 カラー画像への拡張⁴⁾⁶⁾

一般にカラー画像の高効率符号化では、符号化に先立ってカラー画像信号を輝度 (Y) および色差信号 ($C_R = R - Y$, $C_B = B - Y$) に変換することが多い。これは色座標変換によって RGB 信号間の相関を除去し、3 信号を個別に符号化した際の効率低下を防止するためである。また、この色座標変換では輝度信号のみを扱うことによりモノクローム画像が容易に得られるという利点もある。これらの点を考慮し、本方式でも Y, C_R , C_B の 3 信号を符号化の対象とする。ただし、ブロックサイズが N の直交変換符号化では、変換係数の適応量子化の過程で N 次元信号空間の次元圧縮が適応的に行われる（いいかえれば、ブロック単位で可変密度のサブサンプリングが等価的に実行される）ため、

色差信号のサブサンプリングは行わない。

また、人の視感度特性は Y, C_R , C_B 信号間でそれぞれ異なっており、高い再生画質を達成するためには Y, C_R , C_B 信号に対して視覚特性を考慮した適切な歪み配分を行う必要がある。これに対して、RGB 信号に関する視感度特性は各信号間でほぼ等しくなることが知られている⁷⁾。そこで本方式では、RGB 信号空間における符号化歪みの最小化（いいかえれば RGB 信号間での歪みの均一化）を目標として、これを達成し得るように Y, C_R , C_B 信号に対する歪み配分を決定することにした。

さらに本方式では、Y, C_R , C_B 信号のブロック形状を一致させている。これは、ブロック分割および直交基底導出時の演算量の増加を抑圧すると共に、ブロック形状に関する付加情報の低減を図るためである。このため、2.1 節で述べた頂点位置更新アルゴリズムにおいて評価パラメータ T_n の定義を、次式に示すように Y, C_R , C_B 信号の各々について算出された補間残差信号の 2 乗和 (T_{Yn} , T_{C_Rn} , T_{C_Bn}) の線形加重和に変更している。これらの重み係数は、上記の理由から RGB 信号空間での補間残差信号電力を最小化するという観点に基づいて決定されたものであり、その導出過程は 3.3 節で後述する (11) 式のそれと同様である。

$$T_n = 3.00 \cdot T_{Yn} + 1.26 \cdot T_{C_Rn} + 1.04 \cdot T_{C_Bn} \quad (5)$$

$$(n=1 \sim 5)$$

上式の T_n が最小となるように、Y, C_R , C_B の 3 信号に関して常に頂点の位置（すなわちブロック形状）を一致させながらブロックの変形を行う。このように Y, C_R , C_B 信号の補間残差信号電力を適切に評価することにより、カラー画像に適したブロック分割が実現される。また、3 信号でブロック形状が一致していることから、各画素に対してラベル $l(i, j)$ を付与する操作は Y 信号についてのみ実行すればよく、したがってブロック分割に際しての演算量を削減することができる。

3. 符号化方式

3.1 ブロックの形状と平均値の符号化

本方式の符号化構成を図 3 に示す。まず、符号化対象画像に対して先に説明したブロック分割アルゴリズムを適用し、頂点の位置情報を符号化する。Y, C_R , C_B 信号のブロック形状は常に一致しているため、符号化すべき頂点の位置情報も 1 種類のみである。次に、各ブロックの平均値 $\bar{x}_L$ を設定歪み D_{set} に応じたレベル数で線形量子化した後、これを行列予測と可変長符号とを用いて可逆符号化する。ただし、Y, C_R , C_B 信

テレビジョン学会誌 Vol. 47, No. 10 (1993)

い.

3.3 補間残差信号の符号化

3.2節で導出した変換基底を用いて、当該ブロック内のY信号の補間残差信号をKL変換する。こうして得られた交流変換係数 $y_{Y,i}$ を(8)式の σ_{Y,y_i} にて正規化し、線形量子化器 Q_k とそれに付随する可変長符号とを用いて符号化する。量子化器 $Q_k(k=1\sim 10)$ の10種類は、正規化後の交流変換係数が分散1のラプラス分布に従うという仮定の下で、各々の平均符号長が1.5, 2.0, ..., 6.0 bit/coefficientとなるようにあらかじめ設計されたものである⁸⁾。このとき、各変換係数に対する適切な量子化器 Q_k の割当は以下のようにして実現している。

まず、RGBおよびY, C_R, C_B信号空間において、ある画素の符号化誤差をそれぞれ $\mathbf{e}_1=(e_R, e_G, e_B)^t$, $\mathbf{e}_2=(e_Y, e_{CR}, e_{CB})^t$ で記述すると、次式が成立する。

$$\mathbf{e}_2 = \begin{pmatrix} 0.30 & 0.59 & 0.11 \\ 0.70 & -0.59 & -0.11 \\ -0.30 & -0.59 & 0.89 \end{pmatrix} \mathbf{e}_1 \quad (9)$$

これよりRGB空間における画素当たりの平均2乗誤差 d_{RGB} は次式にて与えられる。

$$d_{\text{RGB}} = E[\mathbf{e}_1^t \cdot \mathbf{e}_1] = E \left[\mathbf{e}_2^t \begin{pmatrix} 3.00 & 0.49 & 0.81 \\ 0.49 & 1.26 & 0.10 \\ 0.81 & 0.10 & 1.04 \end{pmatrix} \mathbf{e}_2 \right] \quad (10)$$

したがって、同一画素におけるY, C_R, C_B信号の符号化誤差(e_Y, e_{CR}, e_{CB})が互いに無相関であると仮定すると、 d_{RGB} は次式で表すことができる。すなわち、RGB信号空間における符号化歪みを、Y, C_R, C_B信号各々の平均2乗誤差で表現し得る。

$$d_{\text{RGB}} = E[3.00 \cdot e_Y^2 + 1.26 \cdot e_{CR}^2 + 1.04 \cdot e_{CB}^2] \quad (11)$$

次に、変換係数 $y_{Y,i}$ への割当ビット数を $b_{Y,i}$ としたとき、 $y_{Y,i}$ の量子化に関するレート・歪み特性が $d(\sigma_{Y,y_i}, b_{Y,i}) = \sigma_{Y,y_i}^2 \cdot 2^{-2b_{Y,i}}$ で記述できるものとする、ここで想定している形状(画素数は N_L)のブロックにおいて、Y信号に関する補間残差信号の総歪み量 D_Y は次式にて表される。

$$D_Y = \sum_{i=2}^{N_L} d(\sigma_{Y,y_i}, b_{Y,i}) = \sum_{i=2}^{N_L} \sigma_{Y,y_i}^2 \cdot 2^{-2b_{Y,i}} \quad (12)$$

C_R, C_B信号についても、Y信号と同一形状のブロックにおける補間残差信号の総歪み量 D_{CR} および D_{CB} を同様に表現することができる。

$$\left. \begin{aligned} D_{CR} &= \sum_{i=2}^{N_L} d(\sigma_{CR,y_i}, b_{CR,i}) \\ D_{CB} &= \sum_{i=2}^{N_L} d(\sigma_{CB,y_i}, b_{CB,i}) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

ここで(11)式を考慮すると、上記のブロック形状に関

するRGB空間での補間残差信号のブロック当りの平均2乗誤差 D_{RGB} は次のようになる。

$$D_{\text{RGB}} = 3.00 \cdot D_Y + 1.26 \cdot D_{CR} + 1.04 \cdot D_{CB} \quad (14)$$

一方、このようなブロックの補間残差信号に割り当てられる総符号量 B_T は次式で表される。

$$B_T = \sum_{i=2}^{N_L} (b_{Y,i} + b_{CR,i} + b_{CB,i}) \quad (15)$$

したがって、ラグランジェの未定乗数法を用いて、 B_T 一定の拘束条件の下で D_{RGB} の最小化を図ることにより次式の関係を得る。

$$\left. \begin{aligned} d(\sigma_{Y,y_i}, b_{Y,i}) &= D/3.00 \\ d(\sigma_{CR,y_i}, b_{CR,i}) &= D/1.26 \\ d(\sigma_{CB,y_i}, b_{CB,i}) &= D/1.04 \end{aligned} \right\} (i=2, 3, \dots, N_L) \quad (16)$$

ただし、 D は定数である。上記の第1式は、Y信号のすべての変換係数に対して一定の設定歪み($D_{\text{set}} = D/3.00$)を与えればよいことを示している。しかし、本方式で使用する量子化器 Q_k は10種類と有限であるため、そのレート・歪み特性は離散的になる。そこで、変換係数 $y_{Y,i}$ を Q_k にて量子化した際の理論的な量子化誤差電力($\sigma_{Y,y_i}^2 \cdot D(k)$)が設定歪み D_{set} に一番近くなるように、次式に基づいて適切な量子化器 Q_k を割り当てることにした。

$$\min_{(k)} \{ \sigma_{Y,y_i}^2 \cdot D(k) - D_{\text{set}} \} \quad (k=0, 1, \dots, 10) \quad (17)$$

ただし、 $D(k)$ ($k=1\sim 10$)は分散1のラプラス分布に対する Q_k の理論的な平均2乗誤差を表しており、また $D(0)=1$ である。ここで、 $k=0$ を選択した変換係数は符号化しない。

C_R, C_B信号の変換係数についても同様にして量子化器 Q_k を割り当てることことができる。ただし、これらの変換係数に対する設定歪みは(16)式からわかるように、Y信号の変換係数に対する設定歪みをそれぞれ2.38倍、2.89倍したものになる。このように、Y, C_R, C_B信号に対して設定歪みを(1:2.38:2.89)の比率で与えることにより、RGB信号間で符号化歪みが均一化され、視覚的にも優れた再生画質が得られるものと考えられる⁷⁾。

3.4 適応制御手法

本方式では、補間残差信号電力を最小化するようにブロック形状を決定しているため、Y信号の補間残差信号電力($\sigma_{Y,x}^2$)が設定歪み D_{set} を下回るようなブロックが多数出現する。これらのブロック(OFFブロック)では補間画像を再生した段階でY信号の平均2乗誤差が D_{set} 以下となるため、補間残差信号の符号化は不要になる。そこで本方式では、ブロック毎に $\sigma_{Y,x}^2$ と D_{set} を比較し、 $\sigma_{Y,x}^2$ の方が大きいブロック(ONブロック)に対してのみKL変換符号化を適用す

さらに、これらの ON ブロックにおいては Chen の ADCT⁹⁾ と同様のクラス分類に基づいた適応制御手法を導入する。すなわち、各 ON ブロックをその $\sigma_{Y,x}^2$ の大きさに基づいてクラス分類しておき、実際の符号化に際しては(8)式の $\sigma_{Y,x}^2$ として、あらかじめクラス毎に算出された平均値を使用する。したがって、この $\sigma_{Y,x}^2$ の平均値はクラス毎に、また、ON/OFF 制御およびクラス分類情報はブロック毎に付加情報として伝送される。なお、補間残差信号電力の値は同一ブロックにおいても Y, C_R, C_B 信号で異なり、さらに、これら 3 信号で D_{set} の設定値も異なるため、 Y 信号を例にして述べた本節の適応制御は 3 信号の各々に関して個別に実行される。

2章で述べた補間フィルタは、主として画像の輪郭において補間残差信号電力を低減する効果を示す。これは、通常の自然画像の輪郭部では信号成分がステップ関数のように急峻に変化することが少なく、したって、補間フィルタを用いて各ブロックの平均値をブロック境界部で滑らかに接続することにより、補間画像の近似精度が改善されるためである⁵⁾。このよう各ブロックの平均値を用いた補間は、一般に画像の平坦部におけるブロック歪みの低減にも効果を示す。しかし、上記の補間フィルタは輪郭部での補間残差信号電力を低減する目的で設計されているため、フィルタのサイズ(タップ数)やフィルタリングの適用範囲が限定されており、対象画像によっては必ずしも充分なブロック歪み抑圧効果を示さない。

$$C(i, j) = \prod_{m=-1}^1 \prod_{n=-1}^1 c(i, j, m, n) \quad (18)$$

$$c(i, j, m, n) = \begin{cases} 1; & |\bar{x}_{l(i+m, j+n)} - \bar{x}_{l(i, j)}| \leq Th \\ 0; & |\bar{x}_{l(i+m, j+n)} - \bar{x}_{l(i, j)}| > Th \end{cases}$$

1282 (16)

$$x''(i,j) = 1/9(3\bar{x}_B + 6\bar{x}_D) \quad \cdots (2) \text{ 式}$$

図 4 適応補間フィルタ
Adaptive smoothing filter.

$$x''(i, j) = \frac{\sum_{m=-3n-3}^3 \sum_{n=-3}^3 c(i, j, m, n) \cdot \bar{x}_{l(i+m, j+n)}}{\sum_{m=-3n-3}^3 \sum_{n=-3}^3 c(i, j, m, n)} \quad (19)$$

5. 特性評価

テレビジョン学会誌 Vol. 47, No. 10 (1993)

(a)
VBAF

(b)
VBF

(c)
VB

(d)
SB

写真 1 ブロック内平均値のみから再生された補間画像 (Lenna)
Interpolation images reconstructed by using only mean values of blocks.

(a)
原画像

(b)
VBAF

(c)
VBF

(d)
JPEG

写真 2 原画像と再生画像の例 (1 bit/pel)
Original image and examples of reproduced images.

図5 符号化特性
Coding performance.

Segmentation) の平均値のみによる再生画像である。写真1(a)～(c)では、ブロック分割に際してそれぞれ異なった補間フィルタを使用しているため (VBでは補間フィルタを使用せず、(4)式において $x'(i, j) = \bar{x}_{i(i, j)}$ としている)、最終的なブロック形状も互いに異なっている。これらの画像では可変形状ブロック分割の導入によって、写真1(d)に比較して画像の概略が把握可能である。しかし、写真1(c)ではブロック歪みがはっきりと認められ、また、斜めに走る輪郭が不自然なギザギザの線として再現されている (この現象はエイリアシングと呼ばれている)。一方、写真1(b)では補間フィルタの効果によりエイリアシングは解消されているが、肩や顔などの部分において依然としてブロック歪みが観測される。これに対して写真1(a)では適応補間フィルタの導入によりブロック歪みもほとんど目立たなくなり、良好な補間画像が得ら

れている。

図5には Lenna および SIDBA のカラー画像 Girl を対象として、シミュレーションによって求めた VBAF, VBF および JPEG の符号化特性を示す。JPEG は静止画像の国際標準符号化方式である JPEG の Baseline System に基づいた方式であり、3 信号 (Y, C_R, C_B) に対する量子化テーブルとしては各々 JPEG 推奨のものを使用すると共に、ハフマン符号テーブルは画像毎に、また各信号毎に最適なものをダウンロードしている。なお、同図の横軸が示す画素当たりの符号化レートには、ブロック形状等の付加情報も含めたすべてのビット数が含まれており、縦軸の S/N は次式にて定義した。

$$SNR(dB) = 20 \cdot \log_{10}(255 / \sqrt{\text{平均 2 乗誤差}}) \quad (20)$$

また写真2には、Lenna の原画像と上記 3 方式による再生画像の例 (符号化レートはいずれも 1.0 bit/pel) を示す。図5および写真2から以下のことがわかる。

まず、提案方式 (VBAF) は JPEG に比較して、Y 信号では 0.7 bit/pel 以上の符号化レートにおいて 2～3 dB, C_R, C_B 信号ではより広い範囲にわたって 1 dB 以上の S/N の改善が認められる。また JPEG では、帽子、髪の毛、顔、目などの輪郭に沿ってモスキート雑音が観察されるが、可変形状ブロック分割に基づいた VBAF, VBF ではモスキート雑音は大幅に低減されている。次に、VBAF は VBF に比較して SN 比の改善量は極く僅かであるが、VBF の顔や肩の部分で見受けられるブロック歪みが VBAF ではほぼ完全に解消しており、視覚的に優れた再生画像が得られている。これは、本論文で提案した適応補間フィルタの効果である。

なお、JPEG では視覚特性を考慮した量子化テーブルを使用しているため、再生画像の S/N という点では必ずしも高い値を示さない。これに対して、提案方式は平均 2 乗誤差を評価基準として設計されているため、 S/N に基づいた性能評価に際して JPEG のみを比較対象とするのは適切ではないと考えられる。そこで、ブロック形状が 8×8 画素の様な正方ブロックであることを除き、提案方式と全く同一の手順に基づいた符号化法 (SB) についてもシミュレーションを行った。その結果、SB の S/N は確かに JPEG を上回るものの、提案方式と比較した場合には、0.5～1.5 dB 程度低い値しか達成されることが確認された。また、SB の再生画像にはモスキート雑音とブロック歪みが明瞭に認められる。このことから、提案方式は

ブロック形状に関する付加情報を必要とするにもかかわらず、それが不要なSBよりも優れた符号化性能を有することがわかる。

6. む す び

本論文では、筆者らが先に提案した可変ブロック形状KL変換符号化の、カラー画像符号化への応用に関して検討を行った。本方式では、 Y, C_R, C_B 信号に色座標変換されたカラー画像を符号化の対象とする。また、可変形状ブロック分割アルゴリズムにおいては、上記3信号でブロック形状を共有することにより、ブロック分割やKL変換基底の導出に要する演算量およびブロック形状に関する付加情報の増加を抑圧している。この際、各ブロックの頂点位置更新時に使用する評価パラメータを、 Y, C_R, C_B 信号の各々より算出された補間残差信号電力の線形加重和で定義し、その重み係数についてはRGB信号空間での補間残差信号電力を最小化し得るように決定した。また、これと同様の考え方に基づいて、KL変換係数の量子化に際して必要となる Y, C_R, C_B 信号に対する設定歪みの比率に関しても、その最適化を図った。

さらに本論文では、輪郭部における補間残差信号電力と平坦部におけるブロック歪みとを同時に、かつより一層低減するために、従来の補間フィルタの適応化についても新たに検討を加えた。シミュレーションの結果、本方式はブロック形状に関する付加情報を必要とするにもかかわらず、それが不要なJPEG等の正方ブロックに基づいた方式よりも高いSN比を達成すると共に、モスキート雑音やブロック歪みといった直交変換符号化特有の雑音が大幅に低減された高い再生画質を与えることが確認された。

本論文では、RGB信号空間における符号化歪み(2乗歪み)の最小化を目標にしてビット配分(すなわち歪みの配分)を行っているため、視覚特性について必ずしも十分な配慮がなされているわけではない。この点に関しては、視覚の空間周波数特性と変換基底の周波数応答の推定値に基づいて、各変換係数に適切な量子化器を割り当てる方式が有望であると考えられ、すでに検討を開始している¹¹⁾¹²⁾。なお、本研究の一部は、平成4年度の国際通信研究奨励金および平成5年度の大川情報通信基金の援助を受けて行われた。

〔参 考 文 献〕

- 1) M. Kunt, A. Ikonomopoulos and M. Kocher: "Second-Generation Image-Coding Techniques", Proc. of IEEE, **73**, 4, pp. 549-574 (Apr. 1985)
- 2) M. J. Biggar, O. J. Morris and A. G. Constantinides: "Segmented-Image Coding: Performance Comparison with the Discrete Cosine Transform", IEE Proc., Part F, **135**, 2, pp. 121-132 (Apr. 1988)
- 3) 松田, 伊東, 宇都宮: "画像の可変ブロック形状KL変換符号化", 平3信学春季全大, D-328 (Mar. 1991)
- 4) 松田, 伊東, 宇都宮: "静止画像の適応的可変ブロック形状KL変換符号化", 信学技報, IE 91-108 (Jan. 1992)
- 5) S. Itoh, I. Matsuda and T. Utsunomiya: "Adaptive transform image coding based on variable-shape-block-segmentation with smoothing filter", Proc. of VCIP '92, **1818**, pp. 1338-1349 (Nov. 1992)
- 6) 松田, 伊東, 宇都宮: "カラー画像の可変ブロック形状KL変換符号化", 1991年テレビ年次大, 18-2 (July 1991)
- 7) 山口: "視覚特性を用いたカラー画像信号の高効率符号化—輝度, 色差差分信号のベクトル量子化—", 信学論(B), **J67-B**, 12, pp. 1377-1384 (Dec. 1984)
- 8) 山口, 伊東, 木原, 宇都宮: "画像の段階的アダマール変換符号化方式", テレビ誌, **43**, 10, pp. 1056-1064 (Oct. 1989)
- 9) W. H. Chen and C. H. Smith: "Adaptive Coding of Monochrome and Color Images", IEEE Trans. Commun., **COM-25**, 11, pp. 1285-1292 (Nov. 1977)
- 10) 松田, 伊東, 宇都宮: "画像の可変ブロック形状KL変換符号化—適応補間によるブロック歪の低減—", 1993年信学春季全大, D-243 (Mar. 1993)
- 11) 松田, 山本, 伊東, 宇都宮: "変換基底の周波数応答に基づいた可変ブロック形状KL変換符号化の画質改善", 1992年テレビ年次大, 19-2 (July 1992)
- 12) 山本, 松田, 伊東, 宇都宮: "カラー画像の可変ブロック形状KL変換符号化の画質改善", 1992年信学秋季全大, D-143 (Sep. 1992)

まつだ いちろう
松田 一朗 平成3年, 東京理科大学理工学部電気工学科卒業。平成5年, 同大学院修士課程修了。現在, 同大学院博士後期課程に在学中。画像の高効率符号化に関する研究に従事。学生会員。

いとう すすむ
伊東 晋 昭和56年, 東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程修了。同年, 東京理科大学理工学部電気工学科に勤務し, 現在, 同大学助教授。画像信号の高効率符号化, 画像認識, 生体信号処理等の研究に従事。工学博士。正会員。

うつのみやとしお
宇都宮敏男 昭和18年, 東京大学第一工学部電気工学科卒業。大学院特別研究生を経て, 23年, 東大助教授, 36年, 同教授。57年定年退職し, 東京理科大学理工学部電気工学科教授。電子回路および医用生体工学の教育・研究に従事。工学博士。東大名誉教授。名誉会員。