

領域ベース低ビットレート符号化方式

鈴木信也 茂木健 藤村恒太

三洋電機(株)ハイパーメディア研究所

我々は、国際符号化標準 MPEG-4 への提案を目指し、均等色空間における領域分割手法を基にした、低ビットレート符号化方式の開発を進めている。本方式は MPEG-4 に要求される内容に依存したスケーラビリティを実現することに主眼を置き、領域の色および動き情報による領域情報の階層性、また幾何的情報表現の階層性の二種類を組み合わせることにより、より柔軟な情報量の制御を可能とする。

Region-based Low bit-rate Coding Method

Nobuya Suzuki Takeshi Mogi Kouta Fujimura

Hypermedia Research Center Sanyo Electric Co.,Ltd.

This paper describes the new method for low bit-rate video coding with color segmentation in the uniform color space. This scheme with limited color table makes good segmentaion images without much CPU time. Succeeding phased region integration scheme can easily control of the number of regions and makes hierarchical segmentaion informations.

1 はじめに

1998年の標準化に向けMPEG-4の標準化作業が進められている。MPEG-4では、次世代の符号化技術として、符号化効率の向上は当然ながら、それよりもまして重要となるのは、内容に依存したスケーラビリティの実現である。これは、時・空間・画質等のスケーラビリティの実現によって、符号化レートやデコーダの能力に応じた形で画像情報の供給を可能にする。

画像内容に依存したスケーラビリティ実現のためには、MPEG-2等で培ったDCTをベースとした既存の画像符号化手法では対応することは難しい。そのため輪郭や領域といった画像の持つ構造化可能な情報を利用した符号化手法の研究が進められている。

我々は、領域情報の分割統合手法を発展させることにより、将来的には、画像内の対象物の抽出や画像内容のモデル化を目指し、領域ベースの画像符号化手法の研究を行なっている⁽¹⁾⁽²⁾。

2 領域分割符号化手法の課題

領域分割手法を画像圧縮に適用する研究は、これまでも数多く行なわれている⁽³⁾⁽⁴⁾。しかし、領域分割手法を用い、リアルタイムに低ビットレートで動画像符号化を行なう場合、以下のような課題をクリアする必要がある。

- 領域の分割・統合の計算コストが高い
- 画像により変動する領域数(情報量)の制御が難しい
- フレーム間の領域の追跡が困難(対応問題)
- 効率の良い領域や領域の変形の表現方法が無い

これらの課題を解決するために、均等色空間を使った領域分割手法を用い、低ビットレート動画像符号化適用の検討を行なった。また、色及び動き情報を利用した領域情報の階層性と幾何的な輪郭情報の階層性を合わせ持つ符合化手法の検討を行なった。

3 均等色空間

色空間には、他の色空間に比べて、より人間の視覚特性に近いと考えられる均等色(HVC)空間を採用した。RGB空間からCIE $L^*a^*b^*$ 色空間へ変換し、最終的に色相H、明度V、彩度Cとした。その変換の過程を以下に示す。⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6067 & 0.1736 & 0.2001 \\ 0.2988 & 0.5868 & 0.1141 \\ 0.0 & 0.0601 & 1.1150 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} L^* &= 116 \times \left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{\frac{1}{3}} - 16 \\ a^* &= 500 \times \left[\left(\frac{X}{X_0}\right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{\frac{1}{3}}\right] \\ b^* &= 200 \times \left[\left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_0}\right)^{\frac{1}{3}}\right] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} H &= \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \\ C &= (a^{*2} + b^{*2})^{\frac{1}{2}} \\ V &\approx \frac{L^*}{10} \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 X_0, Y_0, Z_0 は、完全拡散反射面の三刺激値である。

均等色空間を採用したことにより、領域分割および統合に、人間の色知覚特性に合致した色差計算の利用が可能となった。

4 限定色による領域分割

一般的に領域分割を行なう場合には、クラスタリングや領域成長法等を使うことが多い。それらの場合には、高品質な領域分割画像を得ることが可能であるが、残念なことに計算コストがかかる。特に、リアルタイムで画像を転送する場合には、高価なハードウェアが必要になり、MPEG-4

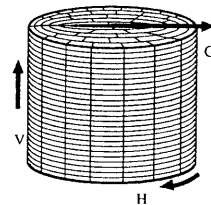


図 1: HVC 空間の分割

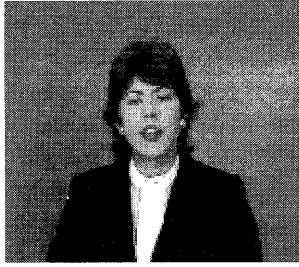


図 2: 原画像



図 3: 過分割画像



図 4: 領域分割画像

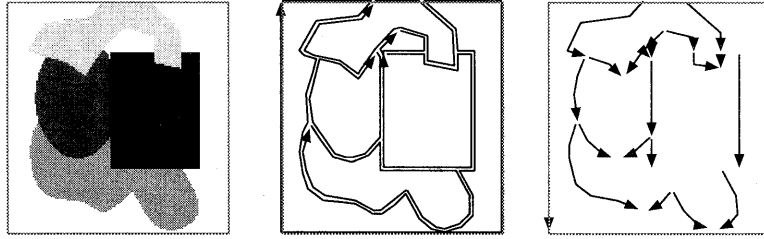


図 5: 境界線による表現 (原画、一般的表現、境界線表現)

に使用する技術としては、実用化時のネックとなるものである。

その欠点を克服するために、ここでは均等色空間上で限定されたカラーテーブルを用いた領域分割および統合を採用した。均等色空間を人間が色差 ΔE を感じない程度に⁽⁶⁾、あらかじめ細かく分割しておき(図 1)、その分割された色空間内の色をもつ画素には同じ色番号を付けた。全ての画素に色番号をつけた後に、隣接している画素が同じ色番号を持つものを集めることで、画像全体の領域分割を行なった(図 2、図 3参照)。ここでは色差 ΔE の算出に以下の MLAB 色差式⁽⁷⁾を用いた。ここで (V_1, C_1, H_1) と (V_2, C_2, H_2) はそれぞれ二つの色の各要素である。

$$\Delta E = \sqrt[3]{(\Delta L)^2 + (0.5\Delta C)^2 + (0.75\Delta H)^2}$$

$$\begin{aligned} \Delta L &= 10.0 \times |V_1 - V_2| \\ \Delta C &= 5.0 \times |C_1 - C_2| \\ \Delta H &= |25 \times 2C_1C_2(1 - \cos(|H_1 - H_2|))| \end{aligned} \quad (4)$$

次に過分割領域の統合を行なった。本手法で

は、色空間はあらかじめ細分割され、そのカラーテーブルを使いクラスタリングを行なっているために、本来ならば同一の領域として分割される、色が連続して変化しているような領域を二つ以上の領域を分割している場合があるからである。ここでは、全ての分割領域の平均色を算出しておき、隣接する領域から、一定の色差以内の領域を見つけ出し統合を進めた(図 4)。

この領域分割手法により、これまでの手法に比べ、あまりコストを掛けず、ほぼ同等の画質の分割画像を得ることが出来た。本手法によれば、全ての画素や領域に対して、統計的な処理を行なう他の方法に比べて、かなり簡単なハードウェアによる実現が期待できる。

5 領域情報の境界線表現

領域画像を符号化する場合、領域の情報表現手法が問題となる。ランレングス、チェーンコード、スプライン等の比較的エレガントな方法が提案されているが、情報量の削減効果があまり期待

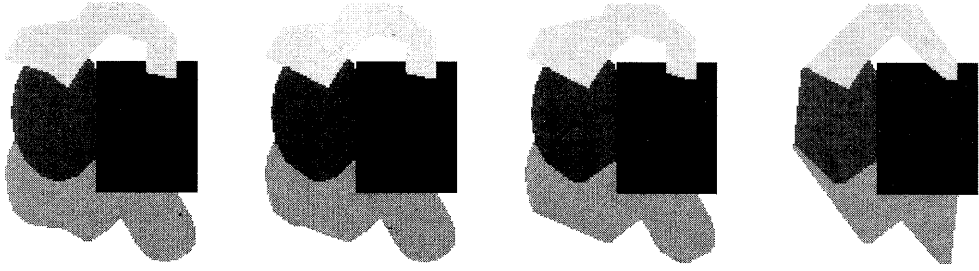


図 6: 領域画像 (rank0:232 点、rank1:209 点、rank2:178 点、rank3:73 点)

できないことや処理量が膨大であることなど、それぞれに一長一短がある。

そこで我々は、領域を隣接する領域との境界線の組み合わせで表現する方法を採用した。少なくともこの方法を用いれば、すべての領域情報を個別に表現する時の、境界線の二重定義の必要がなくなる(図 5)。

この境界線表現から画像を再構成する方法は、境界線をはさむ領域情報から、境界線の右側の領域の色が決定できるから、該当する色を横方向にスキャンして画像上においていくような形になる。

また、画像内の領域が移動した場合でも、本手法を用いれば、領域の移動は境界線の移動に置き換えられるから、少なくとも移動した領域に隠されていた部位が空白となって、情報がなくなることは回避できる。また、境界線毎に動き補償等を行なえば、領域による動き補償を行なった場合の、計算誤差や情報圧縮操作により生じる、領域の重なりやずれ等がなくなる。

これらの境界線は、点情報の連続したものとして定義され、かつ、はさまれた領域間の色差情報を持たせた。各境界線の点情報には、特徴点等の、境界線中におけるその点情報の持つ重要度に応じて、ランクづけを行なった。その中で、直線部分のような全ての点を記述すると冗長になるものは、直線部の両端の点のみを定義した。具体的には、

- rank 0: 直線部分を除く全ての点

- rank 1: 長さ 3 以上の直線部分の両端の点
- rank 2: 直線部分を除く全ての点
- rank 3: 境界線の両端の点

という基準で実験を行なった。

この点毎のランク情報を利用することにより、領域情報の幾何的な圧縮操作を行なうことが可能である。図 6 に、簡単な図形に対する、このランク情報を利用した情報の圧縮を示す。

現在は領域統合後も、初期の境界線情報を基本的に保持する仕様になっているために、あまり圧縮効果は表れていないが、領域統合時に境界線情報を統合すれば、かなりの効果が期待できると考える。

この実験に使用した図形が簡単過ぎるために、境界線の両端の点情報のみを使用して画像を表現した場合(一番右)には、原型をとどめているとは言い難い。しかし、実際の自然画像では、最小単位となる領域は十分に小さく、従って境界線もほとんどが直線的なものとなるから、主観的な画像の不自然さはあまり増加しないと思われる。

6 階層性を持った領域統合

MPEG-4 のスケーラビリティの実現には、画像の時空間上の階層性だけでなく、画像内の物体毎の階層性まで要求される。これらの階層性をどこまで、そしてどのように実現するかが、MPEG-4 の機能を定める重要な要因となる。

また、リアルタイム低ビットレート動画像符合化においては、立ち上がり遅延時間の最小化や通



図 7: 境界線画像 (2142 領域,1500 領域,500 領域)

信路で発生したエラーからのリカバリー等に、画像情報の階層的な獲得が必須であると考え、我々の手法に最適な階層構造の獲得手法の検討を進めた。

一般に画像に階層性を持たせる場合、空間周波数を制限する形で行なわれる。しかし領域や輪郭情報をベースにした符号化手法の場合、一般的な解像度によるピラミッド構造はあまり向いていない。領域や輪郭情報は正確な位置情報を持つから、上位の階層に位置情報を持ち上げることは出来るが、再度元の階層に降りようとしても、位置情報は正確性を失い、エラーを持ったデータとなる。また、領域情報は単に階層を上げていっても、位置情報はいつまでも存在し、階層化による情報量の減少はあまり期待できない。

そこで、前節で述べた境界線毎に持つはさまれた領域間の色差を使い、色の近い領域をそれぞれ統合することにより、画像から複数の階層性を持った構造を抽出することを試みた (図 7)。具体的な操作としては、色差の小さい輪郭線情報を、小さい順に削除するような形になる。この作業を通して、画像中の各領域を木構造に組み上げ、情報量に応じた画像の生成が可能になった (図 8)。

動画像の連続したフレーム間の領域の追跡作業を考えると、あまり無理な統合を進めるよりもある程度のレベルで統合を終了する必要がある。ここでは、色差のみを使って統合を進めたが、次のステップとしては領域の重心等の動き情報を利用した統合処理に発展させる。

この実験により、領域分割・統合手法と境界線情報の幾何的な圧縮を併用することにより、領域数を極端に制限することなく、情報量を制御することが可能になることがわかった。境界線情報の幾何的な圧縮に関しては、統合が進んだ画像に関してはあまり効果がないが、少なくとも統合前の画像に対しては、ある程度の圧縮効果が見込めることが分かった。また、前節で予想したように、主観的な画質の劣化はほとんど無いことも確認できた。

動画像符合化システムとして完成させるためには、この階層化された領域情報を用いた動き補償手法の開発が必要となる。以前にも色情情報を用いることによる領域の追跡の可能性を示したが、⁽²⁾

- 領域色
- 領域の特徴点
- 領域の大きさ
- 領域の重心位置
- 隣接する領域情報

等の情報を使うことにより、特定の領域情報の追跡を行ない、動き補償手法の開発を進める。

7 最後に

均等色空間で、限定したカラーテーブルを用いた領域分割手法、および色差を使った統合手法により、領域数を制御可能な階層的な領域情報を獲得できた。幾何的な輪郭情報の圧縮操作により、ある程度の圧縮効果が見込めることが確認できた。二種類の階層性を合わせもつことにより、領

域情報の情報量の制御が比較的簡単にできることが示せた。

今後の課題としては、領域ベース動き補償手法を組み込み、低ビットレート動画像符合化方式として完成させるために、

- 生成画像の画質向上
- 領域統合時の輪郭線情報の統合
- 動き情報も利用し、複数の画像の階層構造から対応する情報を抽出する方法
- 領域および輪郭線の変形の効率的な表現方法
- 階層性を持った領域情報・動き情報の冗長性の少ない伝送方法
- データの編集・操作に適したビットストリームの開発
- 移動体通信環境下でのエラー耐性の検討等がある。

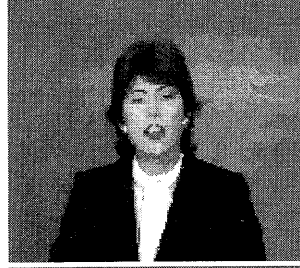
参考文献

1. 茂木 領域分割に基づく高能率動画像符号化の一検討 PCSJ94,6-3(1994)
2. 鈴木 限定色領域分割を用いた低ビットレート符合化手法 PCSJ94,10-2(1994)
3. 横山、宮本 領域分割に基づく超低ビットレート用動き補償方式 PCSJ93,4-14,pp101-102(1993)
4. 堀田、宮原、小谷 均等色空間に基づくカラー画像の領域分割 信学会論文誌 Vol.J74-D-II No.10 pp.1370-1378(1991)
5. 小黒、伊東、遠藤、袖山 色知覚特性を利用したカラー画像量子化法 IE91-122,pp41-48(1991)
6. 吉田、宮原、小谷 マンセル表色系にもとづくカラー画像の符合化 テレビジョン学会誌 Vol.44 No.12 pp.1732-1739(1990)
7. 篠原、南、大西 $L^*a^*b^*$ 均等色空間でのカラー画像の符号化 IE89-53,pp13-20(1989)

2142 領域
rank0
10560 点



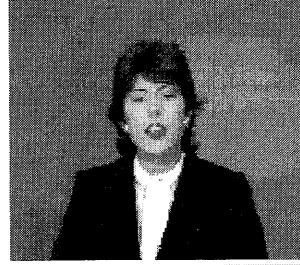
rank3
10051 点



2000 領域
rank0
9026 点



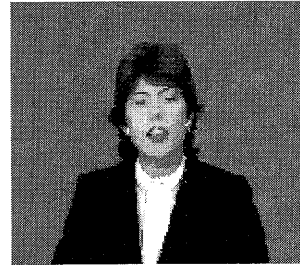
rank3
8808 点



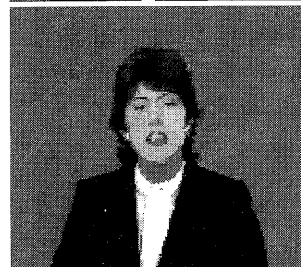
1500 領域
rank0
6761 点



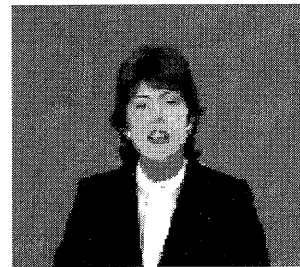
rank3
6713 点



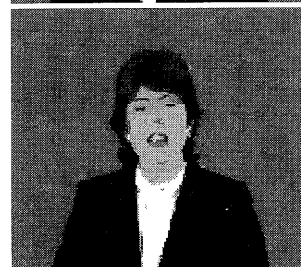
1000 領域
rank0
4897 点



rank3
4877 点



500 領域
rank0
2813 点



rank3
2804 点

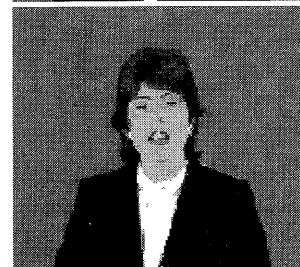


図 8: 階層的な領域情報の獲得