脳での視えの最適化を目的とする新しい画像符号化

A Novel Image Coding Algorithm for Aiming at Optimizing Appearance in Human Brain

1051014

研究代表者　　千葉大学大学院融合科学研究科　准教授　　堀内　隆彦

共同研究者　　小寺イメージング研究室　　小寺　宏曄

［研究の目的］

無線通信技術の進歩により，カラー画像の伝送は益々需要が増している。一般にカラー画像の伝送帯域は限られているため，画像データの適切な符号化が重要となる。現行の画像符号化方式は，画像を画素単位の信号として定義し，エネルギー最小化などの信号処理問題として設計されている。しかし，それは実際に人間が脳で視ている画像とは異なるため，人間の視えにとっては適切でない。本研究では，人間の知覚特性を利用した新しい画像符号化技術の創出を目的とする。本研究の成果は，脳での視えを最適にする画像符号化を実現するだけでなく，人間にとって重要な画像情報の順序付けが可能となり，災害時の限られた通信帯域における有効な画像伝送への応用などが期待できる。

［研究の内容，成果］

1. カラリゼーション画像符号化

本研究では，申請者が提案してきた「カラリゼーション」と呼ばれるモノクロ画素への着色技術を基盤として，カラー静止画像を対象とした新しい符号化手法の構築を目指した。本章では，本研究の基礎となったカラリゼーション画像符号化の概要を述べる。

カラリゼーション符号化は，2004 年に申請者らによって提案されたカラー画像の符号化手法である。カラリゼーション符号化の概念図を図1に示す。

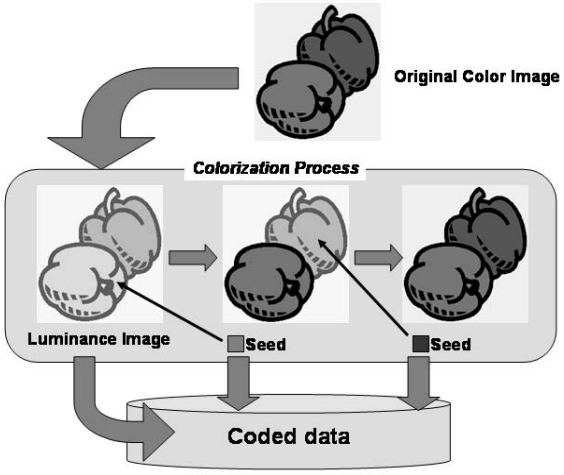


図１　カラリゼーション符号化の概念図

本研究で用いているカラリゼーション手法は，「種画素(Seed)」と呼ばれる色画素をモノクロ画像上に撒布することにより，モノクロ画像全体を着色する技術である。カラリゼーション符号化では，入力画像を輝度画像と色度画像に分解し，輝度画像上に種画素を撒布していく。カラリゼーション技術によって，輝度画像を着色し，所望の精度のカラー画像が得られたとき，このときの輝度画像と種画素を符号化データとする。

さて，申請研究の目的を実現するための技術的課題として，5つの解決を目指していた。

（課題1）脳での視えを考慮したカラー画像から輝度画像の分離方法

（課題2）輝度画像と代表色点による画像全体の色の推測方法

（課題3）輝度画像と代表色点のそれぞれのデータ圧縮方法

（課題4）画像に依存した最適な代表色点の選択方法

（課題5）プロトタイプシステムの構成と処理速度の評価

以下では，それらの研究成果を述べる。

2. 課題１～課題３に対する成果

2.1. 課題１

（課題1）に関しては，文献 1)において，RGB 空間をはじめとして，YUV，YIQ などの各色空間において検討を行った。符号化を試みてきたが，本研究のアプローチである脳での視えの最適化を考慮して，S-CIELAB 空間における輝度信号 O_1 を利用することとした。S-CIELAB 空間は，Zhang らによって提案され，視距離と解像度をパラメータとして与えることにより，任意のカラー画像の脳での視えをシミュレートできる色空間である。この色空間で再現・評価を行うことにより，脳での視えを最適化することが可能となる。提案手法では，視覚フィルタを通過した後の画像の視えを考慮するために，フィルタを通過した後の輝度画像 O_1’を輝度の符号化データとすることとした。本論文で提案する符号化手法を図2にまとめる。

2.2. 課題２

（課題2）に関しては，S-CIELAB 空間における適切なカラリゼーション手法の構築が目的であった。本研究では，はじめに，従来提案してきた $L^*a^*b^*$空間におけるカラリゼーション手法が持つ問題点の改善に取り組んだ。従来手法では，エッジ部分付近での誤着色や，種画素間の境界部分付近に歪が見られるなどの問題点があった。これは，適切な色表現を行うためには，多量の種画素が必要であることを意味しており，画像符号化においてはデータ量の増加を招くことになる。そこで，本研究において，「種画素のブレンドによるカラリゼーション手法」を考案し，この問題点を解決した。

本研究で提案したアルゴリズムを述べる。一般に，自然画像には，以下の2つの性質があることを実験的に確認した。一つは，カラー画像において，任意の2つの画素間の距離が近ければ色度差は小さく，距離が遠ければは大きいという性質である。もう一つは，任意の2つの画素の輝度差が小さければ色差も小さく，輝度差が大きければ色差も大きいという性質である。これらの2つの性質を，以下の2種類の距離によって定義する。

(NED: Normalized Euclidean Distance)

任意の画素 Iと種画素 S_pの NED $d_1(I,S_p)\in[0,1]$

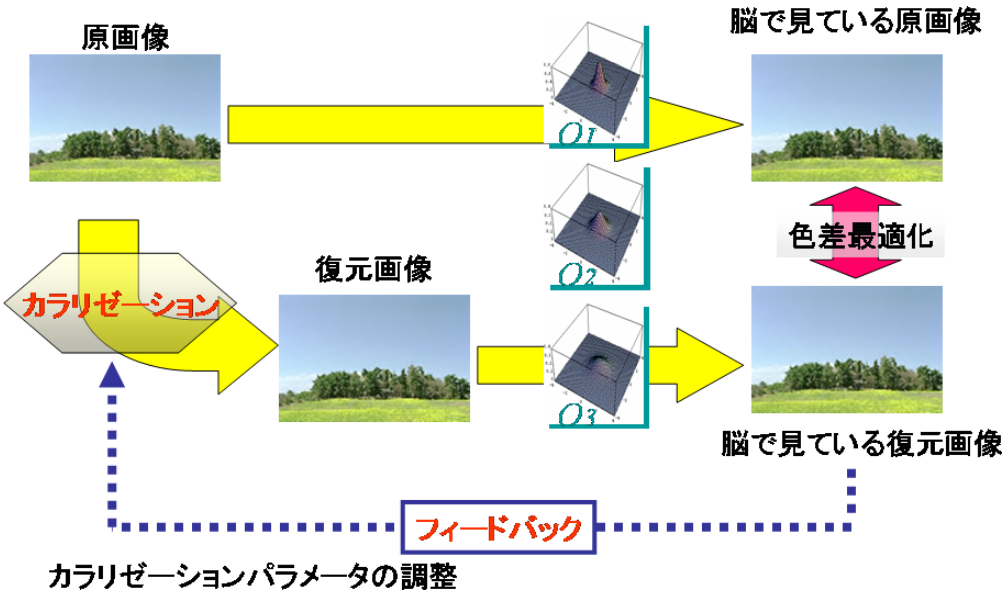


図２　提案する符号化モデル

を，

$$d_1(I,S_p) := \frac{\|I,S_p\|^2}{\sqrt{width^2 + height^2}} \quad (1)$$

によって定義する。ただし，*width* と *height* は，画像の横と縦の画素数である。

(NLD: Normalized Luminance Distance)

任意の画素 Iと種画素 S_pの $NLD\, d_2(I,S_p) \in [0,1]$ を，

$$d_2(I,S_p) := \frac{\left|L(I) - L(S_p)\right|}{100} \quad (2)$$

によって定義する。

これらの２つの距離を統合した距離 $d(I,S_p) \in [0,1]$を，以下のように定義する。

$$d(I,S_p) := \alpha d_1(I,S_p)^r + (1-\alpha) d_2(I,S_p)^r \quad (3)$$

ここで，αは2つの距離の荷重である。$\alpha = 1$のときに，種画素散布法と一致する。$r \in \Re^+$は種画素の影響力を制御するパラメータであり，実験によると$r = 5$程度が適切であった。

式(3)を用いて，種画素の荷重$W(I,S_p) \in [0,1]$を以下の式で定義する。

$$W(I,S_p) = \frac{d(I,S_p)^{-1}}{\sum_p d(I,S_p)^{-1}}, \sum_p W(I,S_p) = 1 \quad (4)$$

式(4)の荷重を用いて種画素の色度をブレンドすることによって，モノクロ画素 I のカラーは，CIELAB 空間では以下のように決定される。

$$\begin{cases} L(I) \\ a(I) := \sum_p W(I,S_p) a(S_p) \\ b(I) := \sum_p W(I,S_p) b(S_p) \end{cases} \quad (5)$$

従来は，最近傍種画素の色情報のみを利用して色の推定を行っていたが，複数の種画素の情報をブレンドすることによって，少数の種画素でもテクスチャのような小領域が混在する画像の色表現が可能となった。CIELAB 空間では，輝度軸と色差軸が直交していたが，本研究で扱う S-CIELAB の反対色空間では，輝度軸と色差軸が斜交している。そこで,式(6)を S-CIELAB の反対色に適用する方法を考案した。また，視覚フィルタを通した後の色が，色域を超え得るという新たな問題のあることが判明し，何らかの色域写像を施す必要があることが判明した。これに関しては，現在研究を継続中である。

2.3. 課題３

検証実験を通じて，輝度信号に対しては直交変換符号化を施し，色差信号に対しては算術符号化を施すことに効果がある見通しが得られた。構築したシステムでは，具体的に輝度信号の符号化には，Wavelet 符号化と DCT に基づいた JPEG 符号化を検討した。

2.4. 課題４

符号化の種画素を選択する方法として，

(1) ランダムに選択する方法
(2) 輝度ヒストグラムの最頻値から選択する方法
(3) CIELAB 空間に置かれた格子内の密度の高い色画素から選択する方法
(4) CIELAB 空間における K-means クラスタリングに基づいて選択する方法

のそれぞれに対して検証実験を行った。その結果，(4)の選択方法が最も安定して良好な結果が得られた。

2.5. 課題５

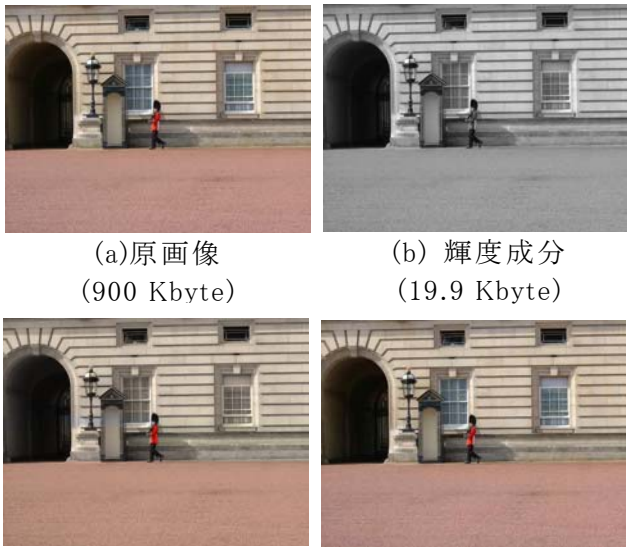
以上のアルゴリズムを用いて，Linux OS 上で画像符号化システムを構築した。評価実験のために，設備経費によって広色域のプリンタ，および sRGB 出力可能なカラー液晶ディスプレイを購入して利用した。詳細は次章で述べる。

3. 実験結果

実験には種々のカラー画像を準備し，提案手法による符号化／復号化処理を行った後に，プリンタおよびディスプレイ出力を行った。実験では，3種類の視距離 10，30，50[cycle/deg.]を設定して符号化画像を生成し，原画像と復号化画像を表示した主観評価と，S-CIELAB 空間の色差によ

る客観的評価を行った。

主観評価の結果，CIELAB 色差に差があっても S-CIELAB 色差に差がない場合には，提案手法による符号化／復号化画像の違いも視認できないことが，プリンタおよびディスプレイの双方で確認された。しかしながら，2.2 で触れた色域を超える場合，再現画像に赤味を帯びる問題点が明らかとなった。また，従来手法の例として，JPEG と比較して客観的評価を行った例を図3に示す。図3(c)および(d)は，どちらも 30(cycle/deg.)で S-CIELAB 色差が3程度であるが,提案手法の方が JPEG より少ないデータ量で再現できている。



(a)原画像 (900 Kbyte)　(b) 輝度成分 (19.9 Kbyte)

(c) 提案手法 (20.0 Kbyte)　(d) JPEG (34.4 Kbyte)

図3 実験結果例

［今後の研究の方向，課題］

申請期間においては，図2に示される最適化のためのフィードバックについて，十分検討することができなかった。2.4 で述べたように，種画素の設定には色空間における K-means 法を用いているが，その選択には実際の画像空間の空間的情報を用いていない。そのため，空間的に種画素に偏りが生じる場合もあり，最適な符号化とは言えない。そこで，種画素の位置や，カラリゼーションの係数を微調整しながら最適化を図るフィードバック機能を検討する必要がある。

また，本研究の応用として，画像通信への応用を検討したい。

［成果の発表，論文等］

（課題1～課題3に関して）

1) M.Nishi, T.Horiuchi and H.Kotera, "A Novel Picture Coding Using Colorization Technique", Proc. IS&T's NIP21, pp.380-383,

2) T.Horiuchi and H.Kotera, "Colorization for Monochrome Image with Texture," Proc. IS&T/SID's CIC13, pp.245-250, (2005).

3) T.Horiuchi and H.Kotera, "Colorization for Monochrome Image Based on Diffuse-Only Reflection Model", Proc. AIC05, PartI, pp.353-356, (2005).

4) T.Horiuchi and H.Kotera, "Colorization Algorithm for Monochrome Video by Sowing Color Seeds", Journal of Imaging Science and Technology, Vol.50, No.3, pp.243-250, (2006).

5) T.Horiuchi, "Grayscale Image Segmentation Using Color Space", IEICE Trans. on Information and Systems, Vol.E89-D, No.3, pp.1231-1237, (2006).

6) T.Murakami, T.Horiuchi and H.Kotera, "Colorization for Monochrome Motion Pictures By Using Reliable Displacement Vectors", Proc. IS&T's NIP22, pp.386-389, (2006).

7) 堀内隆彦，小寺宏曄:「種画素のブレンドによるカラリゼーション」，カラーフォーラム JAPAN 2005, 9-2, pp.129-132, (2005).

8) T.Horiuchi and H.Kotera, "Colorization Algorithm for Monochrome Video by Sowing Color Seeds", Journal of Imaging Science and Technology, Vol.50, No.3, pp.243-250, (2006).

（課題4～課題5に関して）

9) T.Horiuchi, Y.Kohda, R.Saito and S.Tominaga, "Color Image Compression Including Texture By Colorization Technique", Proc. AIC'07, (to appear in July 2007).

10) 甲田洋三，堀内隆彦:「S-CIELAB 反対色空間を利用したカラリゼーション画像符号化」，2006 年映情メ大会，13-11, (2006).