

近似マンセル色空間MTMとSVFの比較

Comparison of Approximate Munsell Color Spaces MTM and SVF

小林 光夫
小川 佳美

Mituo Kobayasi
Yoshimi Ogawa

電気通信大学 情報通信工学科
電気通信大学 情報工学科

The Univ. of Electro-Communications
The Univ. of Electro-Communications

キーワード : 色空間, 変換, Munsell, XYZ, MTM, SVF

key words : Color Space, Transformation, Munsell, XYZ, MTM, SVF

1 はじめに

Munsell 表色系と XYZ 表色系の対応づけは、いろいろな意味で重要である。色値変換の立場からは、両表色値間の対応表の探索と補間という、従来のアルゴリズムで十分である(変換の高速化に対しては、アルゴリズムの IC チップ化などで対応可)。しかし、近年 Munsell 色属性値の等歩度性が色覚モデルの検証に使われることから、両表色系間の数学的な対応づけが必要となる。

これまでに、XYZ 色空間から簡易な数式により対応づけられるいくつかの近似 Munsell 色空間が提案されている [1, 2 など]。本稿では、カラーテレビにおける符号化の研究を前提とし、宮原らによって作成された MTM 色空間 [1] と、人間の色覚モデルを考慮し T.Seim および A.Valverg によって作成された、SVF 色空間 [2] を取り上げ、これらを XYZ-Munsell 間の色値変換に利用したときの変換精度および変換速度を比較検討する。

2 MTM による変換

MTM の色値 (H, V, C) は、物体色の三刺激値から次のアルゴリズムによって定義される。ただし、以下の X, Y, Z は三刺激値を 100 で除いたものである。

i) 明度関数 $v(x) = 11.6x^{1/3} - 1.6$ を用いて、まず、以下の式により M_1, M_2, V を計算する。

$$\begin{aligned} M_1 &= v(1.02X) - v(Y), \\ M_2 &= 0.4[v(0.847Z) - v(Y)], \\ V &= v(Y). \end{aligned} \quad (1)$$

ii) つぎに、 $h = \tan^{-1}(M_2/M_1)$ とし、

$$\begin{aligned} S_1 &= [8.88 + 0.966 \cos(h)]M_1, \\ S_2 &= [8.025 + 2.558 \sin(h)]M_2 \end{aligned} \quad (2)$$

を求める。

iii) 最後に、次の結果を得る。

$$\begin{aligned} H &= \tan^{-1}(S_2/S_1), \\ C &= (S_1^2 + S_2^2)^{1/2} \end{aligned} \quad (3)$$

上と逆に、 (H, V, C) を与えて (X, Y, Z) を求めるには、まず式 (3) から S_1, S_2 を求め、つぎに式 (2) を満

たす M_1, M_2 を求める。このとき、文献 [1] では 2 次元の Newton 法を用いているが、1 次元の Newton 法を用いて行なうことも可能である [3]。最後に式 (1) より (X, Y, Z) を計算する。

3 SVF による変換

物体色の三刺激値 (X, Y, Z) から SVF の色値 (H, V, C) を求めるには、次のアルゴリズムによる。

i) まず、3 種類の錐体応答に相当する S'_1, S'_2, S'_3 を求める。

$$\begin{aligned} S'_1 &= 0.520X + 0.589Y - 0.102Z, \\ S'_2 &= -0.194X + 0.569Y + 0.034Z, \\ S'_3 &= 0.007X - 0.015Y + 0.907Z. \end{aligned} \quad (4)$$

つぎに、基準白色の三刺激値 X_w, Y_w, Z_w を式 (4) により変換した値 $S'_{1w}, S'_{2w}, S'_{3w}$ を用いて、

$$S_1 = S'_1/S'_{1w}, \quad S_2 = S'_2/S'_{2w}, \quad S_3 = S'_3/S'_{3w}$$

を得る。

ii) 明度 V および反対色応答 p_1, p_2 を

$$\begin{aligned} V &= 40v_1(Y), \\ p_1 &= v_1(S_1) - v_1(Y), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_3 \leq Y \text{ のとき } p_2 &= v_1(Y) - v_1(S_3), \\ S_3 > Y \text{ のとき } p_2 &= v_2(Y) - v_2(S_3) \end{aligned}$$

のように計算する。ここに、 v_1 および v_2 は、以下に定義される神経の反応を模した関数である。

$$\begin{aligned} x > 0.43 \text{ のとき } v_1(x) &= \frac{(x - 0.43)^{0.51}}{(x - 0.43)^{0.51} + 31.75}, \\ x \leq 0.43 \text{ のとき } v_1(x) &= 0. \\ x > 0.1k \text{ のとき } v_2(x) &= \frac{[(x/k) - 0.1]^{0.86}}{[(x/k) - 0.1]^{0.86} + 103.2}, \\ x \leq 0.1k \text{ のとき } v_2(x) &= 0. \end{aligned}$$

ここに、 $k = 0.140 + 0.175V$ 。

iii) 最後に、修正された反対色応答として、

$$F_1 = 700p_1 - 54p_2, \quad F_2 = 96.5p_2$$

を得、これを用いて、

$$\begin{aligned} H &= \tan^{-1}(F_2/F_1), \\ C &= (F_1^2 + F_2^2)^{1/2} \end{aligned}$$

を求める。

(H, V, C) から (X, Y, Z) を求めるには、上のアルゴリズムを逆にたどればよく、MTM のように数値解法を必要としない。

4 変換精度および変換速度の評価

MTMおよびSVFそれぞれについて、 $XYZ \rightarrow HVC$ 、 $HVC \rightarrow XYZ$ のアルゴリズムを VisualBasicVer.6.0 により実装し、変換精度および変換速度を調べた。

変換精度 JIS 標準色票の色値対応表 [4] の無彩色を除いた 1795 色を実際に変換し、その結果を規定値と比較した。 $XYZ \rightarrow HVC$ では変換元の XYZ 値に対応する HVC 値と変換後の HVC 値との Godlove の色差を、 $HVC \rightarrow XYZ$ では変換元の HVC 値に対応する XYZ 値と変換後の XYZ 値とをそれぞれ $L^*a^*b^*$ 値に変換し ΔE_{ab} を求めた。

全体の誤差の平均と標準偏差を表 1 に示す。

表 1: 変換による誤差

	$XYZ \rightarrow HVC$		$HVC \rightarrow XYZ$	
	MTM	SVF	MTM	SVF
平均値	0.709	0.652	3.440	3.221
標準偏差	0.356	0.412	2.332	2.105

図 1 および図 2 は、 $V = 3$ の色票をそれぞれ $XYZ \rightarrow HVC$ 変換および $HVC \rightarrow XYZ$ 変換したときの誤差の分布を示す (点線が MTM, 実線が SVF)。誤差の大きさに小円の半径が比例する。図 3 および図 4 は、色相区分ごとにまとめた誤差の分布を示す。平均 (折れ線グラフ) および標準偏差 (縦棒) を示す。これらの図からわかるように色相 G のあたりでは SVF が劣っているものの、色相 PB のあたりでは SVF のほうが誤差が顕著に小さくなっている。全体としては、SVF の方がやや勝る。

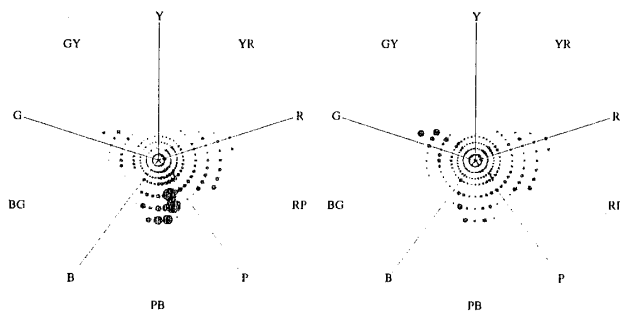


図 1: MTM(左) と SVF(右) による $XYZ \rightarrow HVC$ 変換の誤差

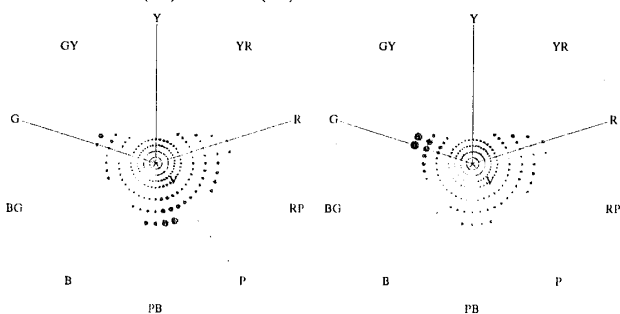


図 2: MTM(左) と SVF(右) による $HVC \rightarrow XYZ$ 変換の誤差

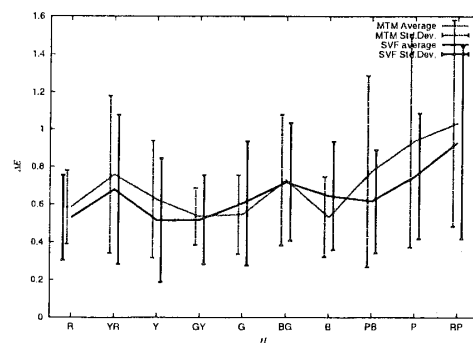


図 3: $XYZ \rightarrow HVC$ 変換における色相ごとの誤差

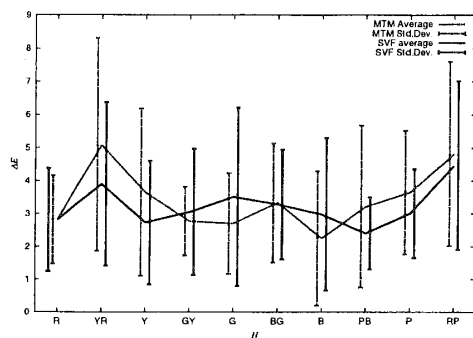


図 4: $HVC \rightarrow XYZ$ 変換における色相ごとの誤差

変換速度 変換したデータ数と変換のみに要した時間を表 2 に示す。実行には、CPU: Celeron600MHz, OS: Windows2000 の計算機を用いた。 $XYZ \rightarrow HVC$ 変換では SVF の方がやや劣るものの、 $HVC \rightarrow XYZ$ 変換では、改良した MTM と比べても SVF の方が圧倒的に速い。

表 2: 変換時間 (秒)

データ数	$XYZ \rightarrow HVC$		$HVC \rightarrow XYZ$		
	MTM	SVF	MTM 改	MTM	SVF
10332	0.119	0.190	0.303	1.296	0.116
20664	0.241	0.370	0.596	2.558	0.227
30996	0.358	0.563	0.897	3.839	0.331

5 おわりに

XYZ -Munsell の簡易変換法として MTM と SVF のアルゴリズムは利用できることがわかった。またわずかながら SVF の方がよい結果が得られた。

参考文献

- [1] 宮原誠, 吉田育弘: 色データ (R,G,B) ↔ (H,V,C) 数学的変換方法, テレビジョン学会誌, Vol.43, No.10, pp.1129-1136, 1989.
- [2] Thrstein Seim, Arne Valberg: Towards a Uniform Color Space: A Better Formula to Describe the Munsell and OSA Color Scales, COLOR research and application, Vol.11, No.1, pp.11-23, 1986.
- [3] 小川佳美: 近似マンセルシステム MTM と SVF の比較, 平成 12 年度卒業論文, 電気通信大学情報通信工学科小林光夫研究室, 2001.
- [4] JIS Z 8721 準拠 標準色票 (光沢版) 第 8 版, 日本規格協会, 1993.