

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月21日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500155

研究課題名(和文) 色覚バリアフリーのための実時間映像処理ハードウェアシステムの開発

研究課題名(英文) Development of Real-time Color Barrier-Free Hardware System for Movie

研究代表者

末竹 規哲 (SUETAKE NORIAKI)

山口大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：80334051

研究成果の概要(和文)：画像・動画像を対象に、一般的な色覚特性を有する人と1・2色型色覚特性を有する人の双方にとって、色弁別を容易にした画像・動画像を提供するハードウェア向きの色変換アルゴリズムを開発し、それを実時間処理可能なFPGAベースのハードウェアシステムの構築を試みた。提案の色変換アルゴリズムでは、種々の画像を用いた実験を通して、その有効性を確認した。ハードウェアシステムの完成後には、動画に対応した実時間色変換システムの実現が期待される。

研究成果の概要(英文)：

The hardware-oriented color conversion algorithm, which can provide color barrier-free image and movies, was proposed here. Moreover the FPGA-based hardware system to execute the algorithm was tried to build. In the study, the effectiveness of the proposed algorithm was verified by the color conversion experiments using various images. After the completion of the hardware system, it is expected that color barrier-free movie can be provided in a real time.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学，知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：色覚バリアフリー，色変換

1. 研究開始当初の背景

近年，多くの分野で画像・映像をフルカラーのデータとして取り扱うことが一般化され，その重要性は日々増している．これはPCやカラープリンタの急速な普及によるこ

ろが大きい．しかし，画像・映像をフルカラー表示すればするほど，全ての人にとって有効になるというわけではない．日本人を含む多くの黄色人種では，男性の約5%，黒人男性では2～4%，白人男性にいたっては8～10%の人が，1または2色型色覚という視覚特性を

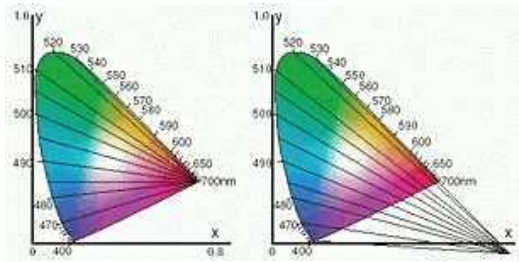


図 1：2 色型第 1 (左), 第 2 (右) 色覚の混同式線

有しており、特定の範囲 (例えば、多くの 2 色型色覚者では、赤と緑、青と紫など) の色弁別に困難を感じている。そのため、配色によっては、情報が正確に伝わらないという問題があった。そこで、全ての人にとって、見やすく、分かりやすい画像・映像 (動画像) を表示するために、現在、「色覚 (カラー) バリアフリー」を実現する画像・映像処理法の開発が急務となっている。

1, 2 色型色覚 (網膜上の錐体細胞の種類が, 1, 2 種類しかなく, 色弁別が困難) を有する人が見分け難い色の組み合わせに関する代表的な研究として, D. B. Judd らの混同色線理論がある。これは, 図 1 に示すように, xy 色度座標上の 1 点 (混同色中心) から引かれる直線 (混同色線) 上に位置する全ての色が 2 色型色覚特性を有する人にとって弁別困難になるというものである。実際に, フルカラーの画像データを xy 色度座標上に射影すると, 同一の混同色線上に多数のデータが存在する。これらを弁別しやすくするためには, 画像データを RGB 空間から xy 色度座標上に射影し, 同一混同色線上にあるデータの色 (座標) をずらし, 線上から外した後に, 再度, RGB 空間に戻せばよいということになる。しかし, ずらした先で新たな混同色ペアが生じる場合もあり, 組み合わせ最適化の観点からみても困難な問題となる。また, 原画像の配色を大きく変えると, 一般的な色覚特性を有する人にとって画像の印象は激変し, 場合によっては, 見苦しく, 奇妙な配色となってしまう。

従来, この問題に対して色変換手法がいくつか提案されている。K. Rasche らや J. B. Huang らは, 色の組み合わせに関する最適化問題を設定し, これを解くことにより色変換を行う手法を提案している。M. Ichikawa らや目黒らは, クラスタリング処理により入力画像内の代表色を決定し, この代表色の組み合わせを考慮した上で色変換を行う手法を提案している。いずれの手法でも, 色変換により弁別困難色を解消できるが, 元の色と比べて著しく異なった色への変換が実行され, 原画像 (入力画像) のもつ色彩の印象が損なわれることが多かった。(具体的には, 赤色が青色に変換されるといったことが起こ

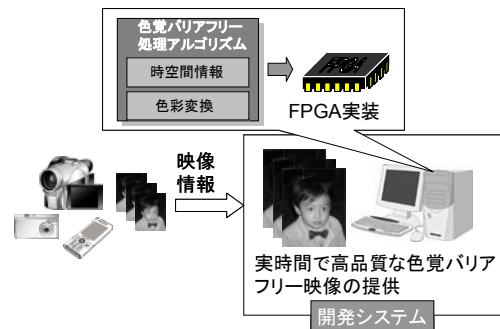


図 2：システム構成図

る。) また, 計算コストが大きいこともあり, いずれの手法も実用化されるまでには至っていない。

一方, 研究代表者は, 科学研究費 (挑戦的萌芽研究: 平成 19~21 年度, デジタルメディアにおける色覚バリアフリーを実現する色変換技術の確立) において, 1・2 色型色覚特性に対応した静止画向けの色変換アルゴリズムを構築している。しかし, これらの色変換アルゴリズムは, 映像 (動画像) には対応しておらず, 処理結果も PC モニタ上の表示に限られており, 真の「色覚バリアフリーシステム」としては不十分である。今後, 画品質, 並びに処理速度を向上させるためにハードウェア化を念頭においたアルゴリズムの開発や, そのハードウェア化が必要不可欠である。

2. 研究の目的

図 2 に示すように, 画像・動画像を対象に, 一般的な色覚特性を有する人と 1・2 色型色覚特性を有する人の双方にとって, 色弁別を容易にした画像・動画像を提供するハードウェア向きの色変換アルゴリズムを開発し, それを実時間処理可能な FPGA ベースのハードウェアシステムを構築することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

研究は, 主にアルゴリズム開発とソフトウェアによって方法論を検証するグループ (山口大学: 末竹, 内野) と, 主にハードウェア設計・開発を行うグループ (東京農工大学: 田向, 山口大学: 末竹) の 2 グループ体制で行連携取り合いながら行った。

アルゴリズム開発グループでは, Look Up Table (LUT) に基づく色空間変換法と画像の明度修正法を提案した。提案手法は,

- (1) 入力画像の印象を保持できる
- (2) 演算量が小さい
- (3) ハードウェア化が容易である

という利点をもつ。以下に, 提案アルゴリズムについて説明する。

提案手法では、画素値を CIE 1931 標準色
 色系 (XYZ 表色系) 上の値に変換して用いる。
 ここでは、正常色覚者と K 型色覚者 (K は P,
 D, T のいずれか) の感じる XYZ 値をそれぞれ、
 $\mathbf{x} = (X, Y, Z)$, $\mathbf{x}_k = (X_k, Y_k, Z_k)$ と表す。 \mathbf{x}_k は
 Brettel らによって提案された色覚モデルを
 用いて \mathbf{x} から得られる。Y は明度情報を表し
 ており、提案手法では画像内のオブジェクト
 間の区別がつくように Y_k に対して色の違い
 (輪郭情報) ΔX に基づいた修正を行う。

提案手法では、K 型色覚における明度 Y_k に
 対して入力画像における輪郭情報 (色の違
 い) に基づいた修正を行う。画素 i の修正後
 の明度は、

$$\tilde{Y}_{k,i} = Y_{k,i} + \text{sign}(\Delta Y_{k,\sigma,i}) \lambda w_{k,i,\rho} \Phi(\Delta X_{\sigma,i})$$

 で得られる。ここで、

$$\text{sign}(z) = \begin{cases} +1 & z > 0 \\ -1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$w_{k,i,\rho} = \tanh(\alpha / D_{k,i,\rho}),$$

$$D_{k,i,\rho} = \frac{1}{n_\rho} \sum_{j \in N_{i,\rho}} \|\mathbf{x}_{k,j} - \mathbf{x}_{k,i}\|,$$

$$\Phi(\Delta X_{\sigma,i}) = \tanh(|\Delta X_{\sigma,i}| / \beta)$$

である。輪郭情報 ΔX_σ は X の高周波数成分で
 あり、標準偏差 σ のガウシアンフィルタ F_σ
 を用いて、

$$\Delta X_{\sigma,i} = X_i - X_{\sigma,i},$$

$$X_{\sigma,i} = F_\sigma * X$$

で得られる。ここで、* は畳み込み積分を意
 味する。明度修正式における $\Delta Y_{k,\sigma}$ も同様に
 して計算される。 $N_{i,\rho}$ は画素 i からのチェス
 盤距離が ρ 以下の画素の集合を表し、 n_ρ はその
 要素数である。 ρ は正の整数であり、 2σ 程度
 にすれば十分である。 $w_{k,i,\rho}$ は、K 型色覚にお
 ける画素 i の色の弁別困難さに基づいた重み
 である。K 型色覚において、周囲の色と画素
 i の色が弁別困難である場合、 $w_{k,i,\rho}$ は大き
 くなる。 λ , α , β は、輪郭情報 ΔX_σ を Y_k に反
 映させる程度を決めるパラメータであり、正
 の実数である。

得られた修正明度は、 $[0, 100]$ の範囲外の
 値となることがある。したがって、次式のよ
 うな補正を行う。

$$\tilde{Y}_{k,i} = \begin{cases} 0 & \tilde{Y}_{k,i} < 0 \\ \tilde{Y}_{k,i} & 0 \leq \tilde{Y}_{k,i} \leq 100 \\ 100 & \text{otherwise} \end{cases}$$

出力画像を得るには、K 型色覚における明度

が得られたものと一致するように (正常色覚
 での) RGB 値を求めなければならない。しか
 し、そのような RGB 値は無数に存在する。出
 力画素値を一意に得るには、いくつかの制約
 が必要である。提案手法では、色度に関する
 制約条件を付加することで、出力 RGB 値を得
 る。具体的には、入力画像の印象を変化させ
 ないという観点から、色変換の前後で色度 x ,
 y を保つという制約を加える。

色度 x , y の定義は以下の通りである。

$$x = \frac{X}{X+Y+Z},$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

したがって、色変換後の XYZ 値を
 $\mathbf{x}' = (X', Y', Z')$ で表すと、色度を不変とす
 る色変換は次式により実現される。

$$\mathbf{x}' = k_{k,i} \mathbf{x}_i.$$

ここで、 $k_{k,i}$ は非負の実数である。このとき、
 K 型色覚における修正後の明度 Y'_k は次式に
 より得られる。

$$Y'_{k,i} = k_{k,i} Y_{k,i}.$$

Y'_k は得られた明度に一致しなければなら
 ない。したがって、変換係数 $k_{k,i}$ は以下のよ
 うの定まる。

$$k_{k,i} = \frac{\tilde{Y}_{k,i}}{Y_{k,i}}.$$

次に、 X は $[0, X_{[w]}]$ でなければならないので、

$$X'_i = \begin{cases} X'_i & X'_i \leq X_{[w]} \\ X_{[w]} & \text{otherwise} \end{cases}$$

とする。ここで、 $X_{[w]}$ はディスプレイ上に表示さ
 れた白色の X 値である。 Y' 及び Z' につい
 ても同様の修正を行う。その後、 \mathbf{x}' をリニア RGB
 値に変換し、RGB 各成分に対して 0 未満の値
 は 0, 1 を超える値は 1 とし、 $[0, 1]$ にしたも
 のを最終的な出力値とする。最後に、修正し
 たリニア RGB 値をノンリニア RGB 値に変換し
 たものが出力画像となる。

ハードウェア開発グループでは、Field
 Programmable Gate Array (FPGA) を用いた映
 像の色覚バリエーション化アルゴリズムのデ
 ジタルハードウェア設計・実装を試みた。

色空間変換では、それぞれ、色成分ごとに
 3 つの乗算器が必要となる。これらの変換式
 において、係数は常に一定であるため、LUT
 を用いた定数係数乗算器の適用が可能であ
 る。また、最近の FPGA には多数の組込乗算
 器が実装されている。低価格シリーズの

Spartan3-2000においても40個の乗算器が利用可能である。これらのリソースを用いれば、提案手法における色空間変換の実装は容易となる。

明度修正アルゴリズム中、輪かく情報を得るために、ガウシアンフィルタの実装が必要となるが、これは、係数を2の乗数として分散値を設計することで、シフトレジスタと加算器の組み合わせで容易に実装可能となった。また、明度修正における sign 関数の入力値の Most-Significant-Bit 値を その出力として用いることができる。その他、明度修正過程において、値を事前計算しておき、LUT で実装することが可能である。最後に、明度修正におけるパラメータを2の乗数とすれば、シフト演算での乗算が可能となる。

以上のことより、提案手法アルゴリズムは、乗算器・除算器無しのLUTベースのアーキテクチャで設計した。また、提案手法は画像の局所領域のみの情報、すなわち、最大でもガウシアンフィルタの窓の範囲内の画素値しか取り扱わないため、簡便なメモリアーキテクチャでの実現が可能となった。

4. 研究成果

Look Up Table に基づく色空間変換法と画像の明度修正法に基づいた2色覚におけるカラーバリアフリー色変換法を提案した。従来手法の多くは、計算時間が実用的でないものや原画像のもつ色彩の印象を著しく損なうものであった。提案手法では、2色覚における明度に対する主観的な輪郭生成の生起を考え、色の違いに基づいて入力画像の輪郭部の明度修正を行った。輪郭部のみの明度修正であり、入力画像のもつ色彩の印象を保持できる。また、提案手法における色空間の変換は線形変換のみであり、輪郭情報や弁別困難さに基づいた重みの計算も簡易なフィルタリング処理により行われていることから、提案手法の計算量は小さいと言える。

提案手法の有効性を示すために、種々の画像を用いた実験を行った。主観評価では、一般的な色覚特性を有する人にメガネ型色弱模擬フィルタ（バリエーション、伊藤光学工業株式会社製）を装着してもらい、官能検査・インタビューを実施し、提案手法が2色覚における弁別困難色のコントラスト改善と原画像のもつ色彩の印象の保持を両立した色変換手法であることを確認した。また、試験画像と自然画像の色変換結果から、提案手法は平坦部を含む人工画像に適していることが分かった。また、計算時間の結果などから、計算量に関して提案手法の有効性を確認した。

期間内に FPGA での実装が完全に終わるまでには至らなかったが、完成後はデジタルディスプレイ等の表示装置へと適用することで、映像のリアルタイム変換処理が可能になると予想される。また、このシステムはアルゴリズムの性質上、特にWEBコンテンツやアニメーションといった人工画像に対して大きな効果が期待できると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計1件)

① 田向権、関根優年、田中豪、末竹規哲、“二色覚のためのLUTによる弁別困難色コントラスト改善、”電子情報通信学会技術研究報告, Vol.112, No.207, SIS2012-16, pp.1-5, 鳥取県関西本部交流室(大阪市), 2012年9月20日。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

末竹 規哲 (SUETAKE NORISKI)
山口大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：80334051

(2) 研究分担者

内野 英治 (UCHINO EIJI)
山口大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：30168710

田向 権 (TAMUKOH HAKARU)
九州工業大学・大学院生命体工学研究科・准教授
研究者番号：90432955

(3) 連携研究者

()
研究者番号：