

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24年 6月12日現在

機関番号：25301
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2010～2011
 課題番号：22700578
 研究課題名（和文） 個人特性モデルに基づくユビキタス時代に即した色覚特性者のための色補正技術
 研究課題名（英文） Modification of indistinguishable colors based on personal characteristic model for people with color defective vision
 研究代表者
 滝本 裕則（TAKIMOTO HIRONORI）
 岡山県立大学・情報工学部・助教
 研究者番号：10413874

研究成果の概要（和文）：我々は、原画像に対して一般色覚者が感じる色彩の印象を保持した色変換をするために、彩度修正に基づく再配色手法を提案した。さらに、メディアンカット法を用いて原画像の減色化を行い、各色クラスターの彩度修正量を計算することによって高速化処理を図った。一方、各個人の色覚特性に適した色補正を行う前処理として、色覚特性者に労力と負担をかけずにその特性を計測するため、色覚特性モデルの解析（The Farnsworth-Munsell D-15 Test）を汎用計算機・タブレット端末上で簡単に行えるシステムを実装し評価を行った。さらに、色覚特性者が識別困難な色情報を持つ画像に対して、最大距離アルゴリズムを用いることによって色変換の前処理となる最適な領域分割の自動化を図った。

研究成果の概要（英文）：Compared to people with normal color vision, people with color vision deficiency (CVD) have difficulty in distinguishing between certain combinations of colors. To address this problem, we modify saturation components of the original image to preserve visual detail when perceived by people with CVD. The proposed method can automatically construct a transformation to maintain details for people with CVD while preserving naturalness for normal viewers. In addition, high-speed processing of re-coloring is achieved by clustering based on color quantization using the median cut algorithm. On the other hand, to classify type of vision disability, we implemented the farnsworth-munsell D-15 test to a mobile device with android OS. Finally, in order to show the effectiveness of the proposed system, we performed evaluational experiments. In addition, we proposed automatic image segmentation by using the maximum distance algorithm for an image which has indistinguishable colors.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
2011 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,600,000	480,000	2,080,000

研究分野：画像工学，福祉工学

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：バリアフリー，色覚特性，画像処理

1. 研究開始当初の背景

日本人を含む黄色人男性の約5%は、特定の

範囲の色について差を感じにくいという色覚特性を有しており、これら色覚特性は俗に

「色盲・色弱」と呼ばれる。先天性色覚特性は、人間の網膜上にある3種類の錐体のうち、1つ以上の錐体が何らかの異常をきたしており、色の知覚過程における生理的過程に原因があることが多い。

様々な先行研究において、色覚特性者が混同しやすい色の組合せは、xyの2次元平面で色の種類を表現するxy色度図において求められる混同色線から推測可能であること（混同色線理論）が明らかになっている。そのため、色覚特性者にとって弁別しやすい色の組合せを用いてカラー画像を作成（補正）する研究がいくつか報告されている。

これら先行研究では、混同色線理論に基づいて混同色となる領域を検出し、各領域に対して色覚特性者が知覚しやすくなるよう再配色を行う。しかし、これら先行研究に対して多くの課題が指摘されており、特に、ユビキタな色覚バリアフリーインターフェースの実現に向けて、以下に示す5つの課題に対する対策が急務である。

- ・個人によって色覚特性の種類やその程度が異なること、また、取り扱われる画像は様々であることから、色補正処理の完全自動化が困難である。先行研究では、被験者や画像に適した領域分割の程度や色補正量などについて、手動で設定すべきパラメータが多い。
- ・色が連続的に変化している領域や、色の種類が多い画像に対する適切な色変換が困難。
- ・領域分割や色変換処理に対する計算コストが高く、手軽に持ち歩ける端末（携帯端末やPDA）などへの実装が困難。
- ・色補正処理において、色覚特性者が配色から得る感情的な情報（色彩-感性情報）や、コンテンツ制作者の彩色意図などが考慮されていない。

2. 研究の目的

我々は、色覚と感性に関する個人特性モデルに基づく、ユビキタな色覚バリアフリーインターフェース実現に向けた、感性的な配色情報を考慮しつつ知覚しやすい画像へと色補正を行う技術の開発を行う。以下に詳細を示す。

(1) 色覚特性者に対する個人モデル解析法の提案

各個人の色覚特性に適した色補正を行うため、色覚特性モデル（特性の種類と程度）や感性モデル（各色彩に対して持っている感情的な情報）を構築する必要がある。また、個人別の両モデルを構築するために必要な特性計測は、被験者に対して労力と負担をかけずに行うことが求められる。

(2) 画像領域分割手法(MDA)の完全自動化と最適化

先行研究では、色補正の前処理において、混同色となり弁別しにくい領域を自動で判断することが困難であり、ユーザが複数パラメータを決定するなど、インタラクティブな操作が求められていた。我々は、色覚特性者別に最適な画像の領域分割を行う手法を開発する。

(3) 彩度差が色覚特性者に与える影響の解析

先行研究において課題であった、再配色処理の高速化に加え、彩度差が色弁別に与える影響の解析を行う。提案手法は、識別性（コントラスト）と自然性の観点から定量的に評価する。

3. 研究の方法

(1) 色覚特性者に対する個人モデル解析法の提案

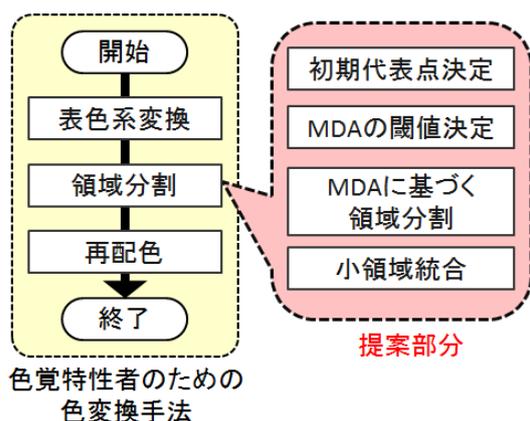
各個人の色覚特性に適した色補正を行う前処理として、色覚特性者に労力と負担をかけずにその特性を計測する必要がある。そこで我々は、色覚特性の型と度合いを診断する方法であるThe Farnsworth-Munsell D-15 Testをモバイルタブレット端末上で簡単に行えるシステムを実装する。

The Farnsworth D15 Testは、16個の色票を被験者に提示し、その色票を色相順に並び替えさせる検査法である。The Farnsworth D15 Testでは、本来、色票の並びから専門医が色覚異常の有無や、その型と度合いを判定する。我々は、Vingrysらによって提案されたThe Farnsworth D15 Testの採点法をAndroid OSが動作するモバイルタブレット端末上で実装する。

(2) 画像領域分割手法(MDA)の完全自動化と最適化

我々は、色覚特性者が識別困難な色情報を持つ画像の自動領域分割手法を提案する。自動で領域分割を行うことにより、処理の高速化とシステム利用者の負担を軽減することが可能である。本提案手法は、図1において、色変換プロセスの中で領域分割部にあたる。まず、画像の画素値情報を取得し、RGB表色系からLab表色系へ変換する。次に、最大距離アルゴリズム(Maximum Distance Algorithm: MDA)における初期代表点および閾値を自動で決定し、MDAを用いて混同色領域の自動分割を行う。最後にノイズとして残った小領域を除去し、分割された比較的面積の大きい領域(意味のある領域)のみからなる画像を出力する。

提案手法では、領域分割手法としてMDAを用いており、MDAによるクラスタリングはLab



色覚特性者のための
色変換手法

図1 画像領域分割手法の概要

表色系における色相 (a と b) によって表現される ab 色度図上で行う。

MDA では、初期クラスタの代表点はランダムに決定されるため、ab 色度図上において画素値のばらつきが大きい画像に対して適用した場合、好ましい結果が得られない可能性がある。そのため、我々は、原画像における画素値のばらつきを考慮した、MDA の初期クラスタ代表点の決定法を提案する。

さらに、MDA では、画像のクラスタ数を決定するパラメータとして、最適な閾値 r を求める必要がある。我々は、ab 平面上での画素値のばらつきを考慮した自動閾値決定法を提案する。既存研究より、ab 色度図において、同一 a 軸上にある色は赤緑色覚特性者には似た色 (混同色) に見えることが報告されている。そこで、ab 色度図平面での原画像の画素値のばらつき (各軸方向のばらつきの比) を用いて、自動で閾値 r を決定する。

(3) 彩度差が色覚特性者に与える影響の解析

我々は、原画像に対して一般色覚者が感じる色彩の印象を保持した色変換をするために、彩度修正に基づく再配色手法を提案する。さらに、メディアンカット法などの色量子化手法を用いて原画像の減色化を行い、色クラスタごとの彩度修正量を計算することによって高速化処理を図る。Lab 色空間に基づく減色化 (領域分割) と個人の色覚特性モデルを用いることで、色覚特性者別に最適な画像の領域分割を行うことが可能であり、それら領域に対して再配色を行うことにより、見やすい画像を作成することが可能であると考えられる。

原画像中の画素対 i と j について、Gooch らによって提案された signed color distance (符号付き色距離) に基づく色距離を定義し、それを画素対間の彩度差となるような色変換を行う。符号付き色距離については、ab 色度図 (均等色空間) 上での色差と、混同色線理論に基づく xy 色度図上での混同色線

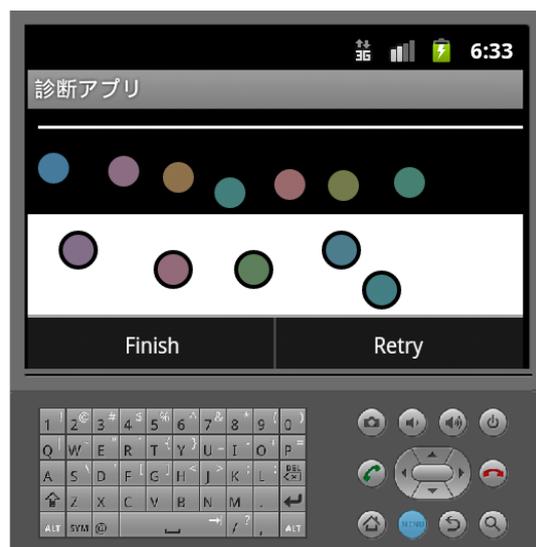


図2 色覚特性計測アプリの画面例

の距離とを用いることで、最適な彩度差となるよう提案した。また、提案手法を用いて彩度の修正を行った際、ディスプレイにおける表示可能範囲 (色域) 外となる可能性がある。この場合、色域内の値に再修正する必要がある。我々は Lab 色空間における色域把握法を用いて、高速に色域補正を行った。

一方、処理の高速化を図るとともに、再配色後の画像に対する評価指標を明確に定義することにより、再配色のためのいくつかのパラメータを効率的に決定することが可能であると考えられる。そこで、提案手法の有効性を検証するための評価指標として、色覚特性者に対するコントラストに関して2つの指標を、正常色覚者のための自然性について1つの指標を定義した。評価実験においては、様々な評価用画像に対して提案手法と従来手法とを定量的に評価する。

4. 研究成果

(1) 色覚特性者に対する個人モデル解析

我々は、Android OS 上で動作する The Farnsworth D15 Test を実装するため、Java Development Kit と Android Development Tool 等を用いた。

実装した画面例を図2に示す。図2の先頭 (左上) の色票は決められているため、その他のバラバラにした色票から、先頭に近い色の色票を先頭の隣に置く。次に、先ほど置いた色票に一番近い色の色票を残りの色票から選択し、その隣に置く。この操作を繰り返して全ての色票を並べる。並べ終わったら、[Finish] ボタンを押すことにより、Vingrys らによって提案された手法を用いて結果を定量的に被験者に提示する。本システムでは、並べ替えた色票における隣り合う色票間の色差を合計したトータルエラースコア、異常

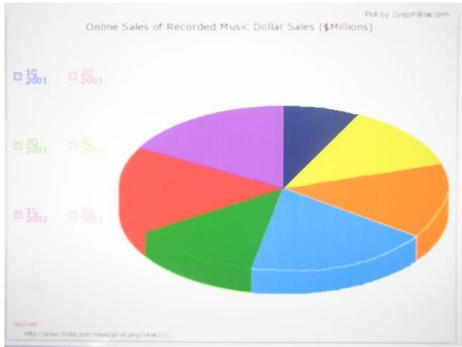


図3 評価用画像

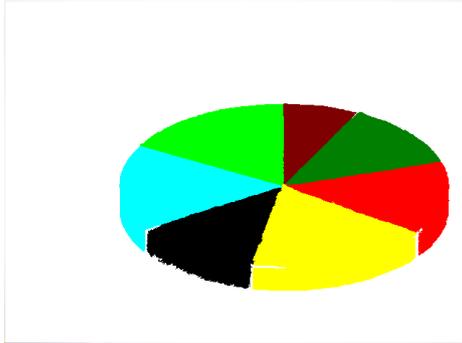


図4 領域分割結果

の型を特定する confusion angle, 色損失の程度を定量的に表す confusion index を計算する. 本システムを用いることにより, 被験者による色票選択も含めて, 色覚特性の種類とその度合いを2分程度で得ることが可能となった.

(2) 画像領域分割手法(MDA)の完全自動化と最適化

提案手法の有効性を検証するための評価実験では, 日常生活において色覚バリアとなる複数の混同色領域を持つ画像(建物の見取り図, ポスターなどに示されるグラフや地図)をテスト画像として用いた. また, 提案手法はユビキタスなアプリケーションへの応用を目的としているため, 評価画像を非接触型のデジタル撮影デバイス(デジカメ)等で撮影し, ノイズを含んだものを評価画像として定義した.

結果として, 図3に評価画像, 図4に自動閾値決定法を用いて評価画像に対して領域分割を行った結果の例を示す. 領域分割後の色は, クラス毎に異なる色を割り当てているだけであり, 再配色をしたものではないことに注意されたい. 結果より, 評価画像中の混同色領域がそれぞれ別クラスとして識別されており, 自動での領域分割が成功していることが確認できる. 結果として, 色補正のための前処理となる画像の領域分割において, ノイズを多く含む画像に対しても, 自動かつ良好に領域分割が可能であることを示した.



(a) (b)

図5 原画像



(a) (b)

図6 提案手法による再配色結果 (800色に量子化)



(a) (b)

図7 従来法による再配色結果

表1 色量子化による再配色結果の比較

	時間[s]	改善度	自然性
提案手法 (k=800)	0.40	0.630	5.955
提案手法 (k=400)	0.23	0.639	5.861
提案手法 (k=200)	0.16	0.661	5.741
提案手法 (k=100)	0.14	0.700	5.585
提案手法 (k=50)	0.12	0.715	5.426
従来法	1200	0.629	5.855

表2 彩度修正と明度修正の結果比較

	提案手法		従来法	
	改善度	自然性	改善度	自然性
Case 1	0.944	10.753	0.946	12.355
Case 2	0.929	6.825	0.937	7.134
Case 3	1.022	13.439	0.802	14.401

(3) 彩度差が色覚特性者に与える影響の解析

提案手法と, 田中らによって提案された代表的な従来法を用いて評価実験を行った. まず, 色量子化による色補正の高速化とそれに伴う画質劣化の程度を明らかにするための実験を行った. 実験に用いた画像を図5(a)に示す. 図5(b)は図5(a)に対する色覚特性者(Deuteranopia型)の見えを Brettlerらに

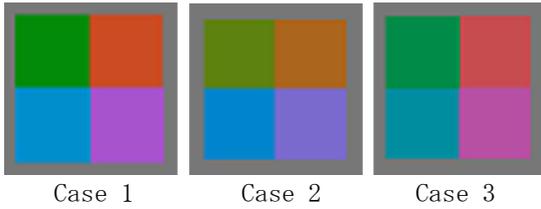


図 8 評価画像

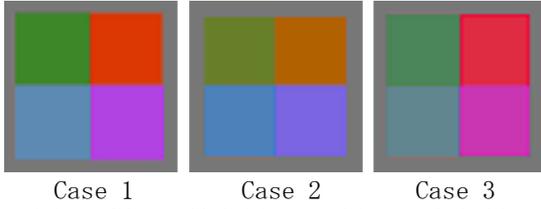


図 9 提案手法を用いて再配色した結果

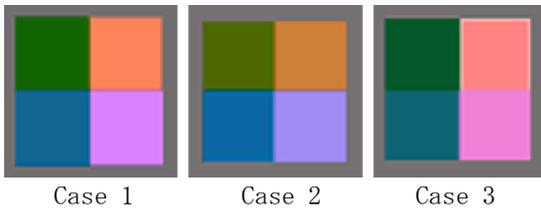


図 10 従来手法を用いて再配色した結果

よって提案された手法を用いてシミュレートしたものである。図 5(a)の評価画像に対してメディアンカット法を用いて色量子化したものに対し明度修正を行ったものが図 6, 色量子化を行わずに色変換した結果(従来法と同等)を図 7 に示す。また, 表 1 にそれぞれの手法を用いた際の処理時間に加え, 色覚特性者に対する改善度, 正常色覚者に対する自然性の結果を示す。これらにおいては, 値が小さいほど良い結果であることを意味している。また, カッコの中のパラメータ k は, 色量子化における減色数である。処理時間については, Intel Core i7 2.93GHz CPU と 8GB RAM, OS として Windows 7 を搭載した計算機上で, Intel OpenCV ライブラリにて実装することで時間を計測した。表より, 色数が多くなるほど改善度およびコントラストは良くなっていることが確認できる。一方で, 自然さは色数が少なくなるほど良くなっている。結果として, 色量子化数が 1000 色程度であれば, 正常色覚者・色覚特性者それぞれに対する画質を保ちながら高速な色変換が実現できることを確認した。

次に, 提案手法における彩度修正の有効性を評価する。評価画像を図 8 に示す。各原画像の大きさ(幅×高さ)は, 64×64 [pix.]であり, それぞれの詳細は以下の通りである。

- Case 1: $L=50, a^*=\{-50, 50\}, b^*=\{-50, 50\}$
- Case 2: $L=50, a^*=\{-25, 25\}, b^*=\{-50, 50\}$
- Case 3: $L=50, a^*=\{-50, 50\}, b^*=\{-25, 25\}$

- 共通背景: $L=50, a^*=0, b^*=0$

図 8 の評価画像について, 提案手法を用いて再配色を行った結果を図 9 に, 従来手法を用いて再配色を行った結果を図 10 に示す。また, 表 2 にそれぞれの手法を用いた際の色覚特性者に対する改善度と正常色覚者に対する自然性の結果を示す。

結果より, Case 1 と Case 2 においては提案手法の結果が良かったが, Case 3 では, 改善度において従来法に劣っていた。この原因としては, ab 色空間では, D 型色覚の混同色線は a 軸とほぼ平行であり, P 型色覚の混同色線は a 軸と平行である。Case 1 と比較すると, Case 3 では混同色である 2 色の b 値の絶対値が a 値の絶対値より小さくなるため, 弁別困難色を改善するために彩度成分を修正してもあまり効果が得られなかったと考えられる。また, 提案手法では, 彩度によって修正を行った後, 修正後の色が色域外になった場合彩度で補正を行う。そのため, 修正した結果を元に戻す方向に補正されてしまうことが課題として挙げられる。

(4) まとめ

全体として, 申請時に挙げた研究課題の多くは達成された。しかし, 「(3)彩度差が色覚特性者に与える影響の解析」における再配色のためのパラメータ自動決定については, 現在その有効性を検証するための評価実験を行っている。また, 研究発表について, 国際学術論文誌に本研究課題に関する論文を投稿中(平成 24 年度中の掲載を目標)であり, さらに平成 24 年 9 月に開催される電気学会部門大会にて発表を予定している。

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)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 3 件)

1. H. Takimoto, S. Kamio, H. Yamauchi and M. Jindai : “Modification of Indistinguishable Colors for Color Defective Vision”, Proc. of NCSP 2012, pp. 337-340, (2012 年 3 月)
2. 李 在敏, 滝本 裕則, 山内 仁, 金川 明弘 : “適応的領域分割と Winner Update 戦略を用いた高速テンプレートマッチング”, 第 13 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, pp.116 - 119, (2011 年 11 月)
3. H. Takimoto, A. Yoshida, Y. Mitsukura and M. Fukumi: “Invisible Print-type Calibration Pattern based on Human Visual Perceptio ” , 17th IEEE

International Conference on Image
Processing (ICIP 2010), pp. 2601-2604,
(2010年9月)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

滝本 裕則 (TAKIMOTO HIRONORI)
岡山県立大学・情報工学部・助教
研究者番号：10413874

(2) 連携研究者

満倉 靖恵 (MITSUKURA YASUE)
慶應義塾大学・理工学部・准教授
研究者番号：60314845

伊藤 伸一 (ITO SHIN-ICHI)
徳島大学・工学部・助教
研究者番号：90547655