

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：13801

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650093

研究課題名(和文) プロジェクタ・カメラシステムを用いた個人視覚特性適応色覚バリアフリーシステム

研究課題名(英文) A Color-vision Barrier-free System Using Projector and Camera with Adaptation to Individual Vision Characteristics

研究代表者

金子 透 (KANEKO, TORU)

静岡大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：50293600

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：色覚には個人差がある。網膜中の錐体と呼ばれる視細胞に欠陥がある人は、ある特定の色同士を見分けることが困難である。本研究では、プロジェクタとカメラを用いて色覚障害者に色情報を提示するシステムを提案する。実物体上で判別困難な配色がある場合、システムは色を判別可能となるように変換する。またテクスチャを用いたり点滅を用いることによって多数の判別困難な色の組み合わせに対処する。実験により提案方式の有効性の確認を行った。

研究成果の概要(英文)：There are individual differences in color vision. It is difficult for people with defective cones in the retina to recognize the difference of specific colors. We propose a system with a projector and a camera to present color information for color vision deficiency. When there are indistinguishable colors in real objects, the system converts a color to a distinguishable one by projection. The system also produces an image with texture and blinking light when multiple color combinations of indistinguishable colors exist. Effectiveness of the proposed method was verified through experiment.

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：画像処理 プロジェクタ カメラ 色覚特性

1. 研究開始当初の背景

近年、色を用いたデザインが急激に増えている。数年前まではモノクロ（白黒）印刷であった新聞の紙面は、現在カラー印刷の割合が格段に増加しており、これまでモノクロ液晶が使われてきた電子機器のディスプレイもカラー化が進んでいる。また街中では、建物の案内図や駅の路線図、券売機、ATM など、様々な場所において色を用いた情報提示が行われている。

色覚には個人差がある。人間は光に対する赤、緑、青色にそれぞれ反応する錐体と呼ばれる視細胞の反応値の比によって色を知覚しているが、3つの錐体のいずれかの機能が一部低下したり、働いていない場合、特定の色同士を見分けることが困難になり、日常生活で不自由に感じることがある。全ての錐体に欠損がない状態を3色覚、1種類の錐体に欠損がある状態を2色覚、2種類以上の錐体が欠損している状態を1色覚と呼ぶ。図1は緑色に反応する錐体が欠損している2型2色覚の例であり、正常な3色覚で観察される図(a)が、図(b)のようになり、互いの色の区別ができない。

視覚障害者（視力が全くない、もしくは視機能が弱い）を支援する研究例は多いが、色の区別が付きにくい色覚障害者の支援に関する研究例は数少なく、色覚に関するバリアフリー対策が非常に遅れている。



(a)3色覚 (b)2型2色覚
図1. 色覚障害による色の見え方

2. 研究の目的

本研究では、色覚障害のある人々を対象に、使用者の色覚特性に応じて、その対象者にとって区別が付きにくい色情報を提示するシステムを提案する。具体的には、図2に示すように、プロジェクタとカメラを構成要素とするシステムを用いて、色情報を対象物体に直接投影することで、使用者に色情報を提示する。

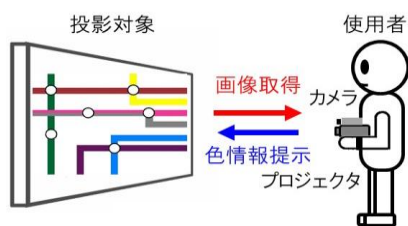


図2. プロジェクタ・カメラシステム

本研究目的を達成するための課題としては、(1) 色覚障害者にとって判別困難な色の組み合わせの自動検出、(2) 色情報を提示したい場所に投影するための実物体とプロジェクタ画像との位置合わせ、(3) プロジェクタを用いた色情報の提示、(4) 提示したい色を任意の色の物体に対して投影する色合わせフィードバックが挙げられる。

3. 研究の方法

(1) 判別困難な色の組み合わせの自動検出

本研究では、判別困難な配色の検出に、xy色度図上で与えられる混同色線を用いる（図3）。混同色線は、xy色度図上で色覚の種類ごとに与えられる混同色中心と呼ばれる座標から放射状に伸びる直線である。色覚の型によって決まる混同色中心から無限に引かれる線のグループがその色覚の混同色線である。図3(b)に、2型2色覚に対するxy色度図上の混同色中心と混同色線を示す。同一の混同色線上にある色は、互いにその色覚の人にとって判別困難である。よって、色同士が同一混同色線上に位置するか否かをそれらの色が判別困難であるかを判定する基準に用いることができる。但し、xy色度図上で同じ座標であっても、明度が異なればその2色は互いに区別することができる。一方、色覚正常者も区別できないような類似の色は判別する必要が無い。そこで本研究では、次の3つの条件を満たす色を判別困難な色として検出することにする。

- ・混同色線同士のなす角が小さい
- ・色同士の明度の差が小さい
- ・一般色覚での色同士の色差が大きい

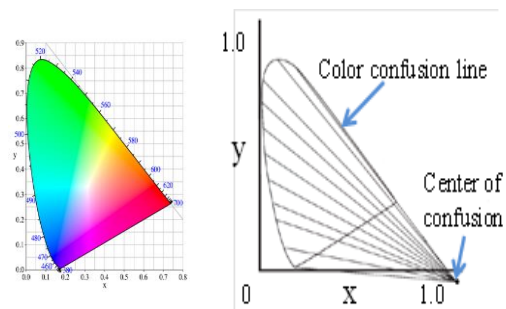


図3. xy色度図と混同色線

(2) 実物体とプロジェクタ画像の位置合わせ

本研究では、使用者が自由に持ち運んで使用可能なシステムの構築を行う。そのため、プロジェクタ・カメラシステムと実物体の位置関係は未知である。そこで実物体と投影画像の位置合わせが必要となる。具体的手法としては、プロジェクタとカメラの同期を正確に取り、一瞬だけマーカを投影する。マーカ投影前と後の画像の差を検出することで、画像中のマーカ位置を検出する（図4）。そして検出したマーカの位置座標から、プロジェクタ・カメラシステムと実物体の位置関係を推定し、実物体とズレの無い画像を投影する。

また使用者が本システムを手持ちで扱うことにより、システムと実物体の位置関係は常に揺動する。そこで本研究では、オプティカル・フローという方法を用いて、画像中の変化から実物体に対するプロジェクタ・カメラシステムの動きを随時検出し、動きに対応した新たな投影画像を生成し再投影する。

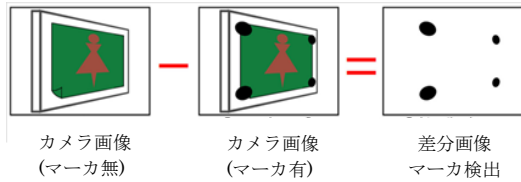


図4. マーカを用いた位置合わせ

本研究では、平面状の壁に貼られた掲示物などを実物体として想定している他、複数の平面で構成される立体面上の絵柄なども対象とする。この場合、立体面を構成する平面ごとに対応する投影画像を作成し、これを合成して実物体に投影する。具体的処理としては、立体的な物体に対して瞬間的に格子状パターンを投影して対象物の3次元形状を測定し、その形状に応じて再構築した画像を投影する。この際、すべての場所においては3次元形状を正確に計測できず、部分的に位置ずれが発生するが、このような場所に対しては、見え方の情報をフィードバックすることで位置ずれを解消する。本システムでは、画面上の適当な範囲で格子点の組を設定し、その格子点の内側の領域を平面とみなして投影画像を作成する。そして対象物のみと対象物に投影画像を重畳した時との画像を比べ、両者の図の一致度が高ければそのまま投影画像を投影しつづけ、また一致度が低い場合は当該領域が複数の平面で構成されているとみなして、その領域を分割して各領域で図の一致度を調べる。このような動作を繰り返すことにより、複数の面で構成される立体的な対象物に色情報を投影する。

(3) 色情報の提示

本システムでは、色覚障害者にとって判別困難な色の組み合わせを検出し、これを判別可能な情報に変換して提示する。具体的な提示方法としては、図5に示す境界線表示、塗り潰し表示、色名表示、テクスチャマッピングによる方法の他、片方の色の領域を点滅表示させる方法がある。

ここで判別困難な色の組み合わせの中、一方の色を互いに判別可能な色に変換するにあたって、色の変換を R, G, B や X, Y, Z 等の表色系の表すパラメータを変えることで行うと、色覚障害者に判別可能な色を体系的に求めることができず、全探索となって効率的でない。そこで本研究では、 $L^*a^*b^*$ 表色系のクロマネティクス指数 b^* 、明度 L^* を変更することで色の変換を行う。この表色系では図6に示

すように、 L^* が明度を表し、 a^* が緑から赤へ、 b^* が青から黄への色相の要素を表している。

色の変換方法としては、まず変換する色領域の代表色の b^* を変化させたときの色差を調べ、それが閾値をこえるときの b^* を求める。そして b^* の変更のみで十分な色差が得られないときは、色差が閾値を超えるまで L^* を変化させる。 L^* を変化させても十分な色差が得られない場合は、次に示すテクスチャマッピングまたは点滅表示を行う。

テクスチャマッピングは、そのテクスチャのパターンの違いによって、異なる色の領域であることを示すことができる。但し、テクスチャを埋め込めるだけの大きさが当該の色領域に必要である。十分な大きさが無いときはその色の部分全体に白い光を点滅表示することで、他の領域と区別する。

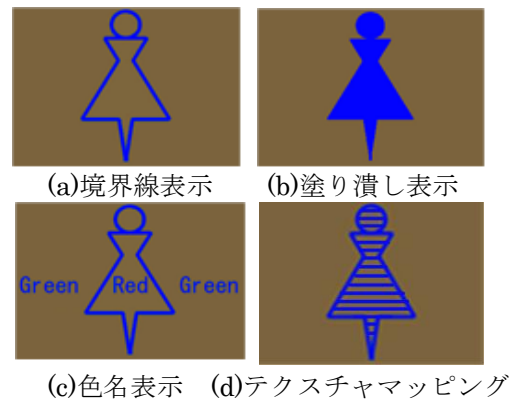


図5. 色情報の提示法

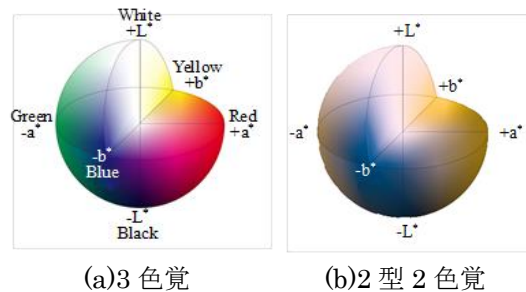


図6. $L^*a^*b^*$ 表色系

(4) 色合わせフィードバック

目標画像を投影対象物体にそのまま投影しても、観測される見かけは目標とする見かけにはならない。そのため、投影結果をフィードバックして目標の見かけとなるような投影画像を生成する必要がある。本研究では、対象物の反射率推定を行い、モデル予測制御と呼ばれる手法を用いることで、観測される見かけを目標とする見かけに制御する方式を採用する。

4. 研究成果

(1) 色情報の提示

構築したプロジェクタ・カメラシステムによる色情報提示の実験結果を示す。

図7に示す実験環境にて、図8に示す図を対象に、色情報提示の実験を行った。図9(a)

はプロジェクタによる情報提示を行う前の撮影画像であり、図9(b)は2型2色覚のシミュレーションである。同図において、図8の褐色の領域と緑の領域が互いに判別困難となっており、また青と紫の領域も判別困難である。色変換による塗り潰しの結果が図10に示されているが、図8の褐色と明褐色の領域が判別困難である。図11は点滅表示のための投影画像であり、(a)は点滅光がオン、(b)はオフのものである。図12と13はテクスチャマッピングと点滅表示を組み合わせた色情報提示であり、それぞれ点滅光がオンとオフのものである。この結果では、図8における青と紫の領域を判別するために、青領域の色を変換している。また褐色と緑の領域を判別するために、褐色の領域にテクスチャを投影し、ピンクと灰色の領域を判別するためにピンク領域に点滅表示を行っている。

以上、実験により、本研究における色情報の提示法の有効性を確認した。

(2)立体面への投影

2つの平面からなる立体面を用意し、図14(a)に示すような2つの図形をそれぞれの面に位置するように張り付けて、実験を行った。図14(b)は(a)に対して、格子パターンを重畳投影したものである。この投影パターン中から適当に格子点を選択して、平面の位置を推定した。

図15(a)は撮像画像全体を1つの平面と仮定して格子点の組を選んで平面のパラメータを推定し、そのパラメータを用いて色情報提示用の境界線をプロジェクタにより投影したもので、全体を強制的に1つの平面とみなしているために、投影境界線の一致度が低く、投影の位置合わせに失敗している。

一方、図15(b)は左右の平面それぞれが正しく推定されるように格子点の組を2つ別グループとして選択した場合を示したもので、それぞれの図形の境界線が一致度良く表示され、投影の位置合わせに成功していることがわかる。

以上、実験により、本研究における色情報の立体面投影法の有効性を確認した。

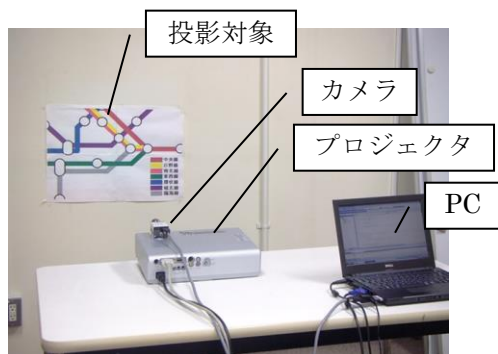
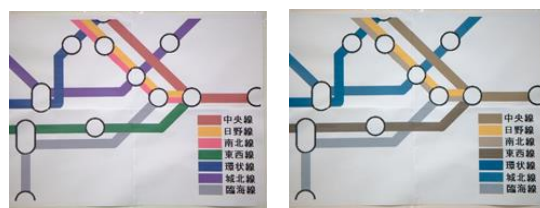


図7. 実験環境



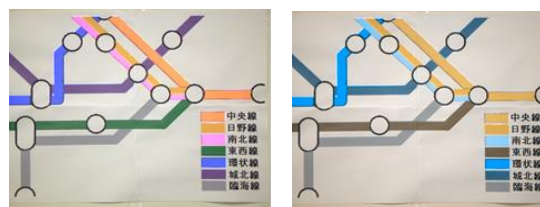
図8. 処理対象



(a)3色覚

(b)2型2色覚

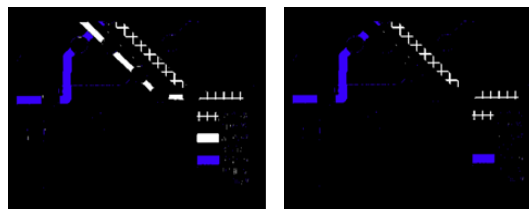
図9. 投影処理前



(a)3色覚

(b)2型2色覚

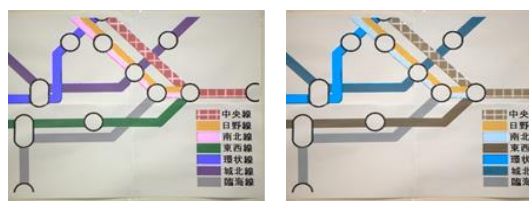
図10. 投影処理後



(a)点滅光オン

(b)点滅光オフ

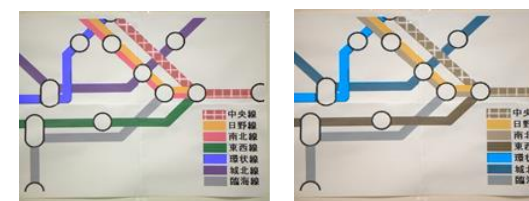
図11. 投影画像



(a)3色覚

(b)2型2色覚

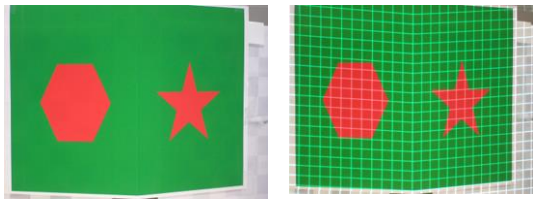
図12. 投影処理画像 (点滅光オン)



(a)3色覚

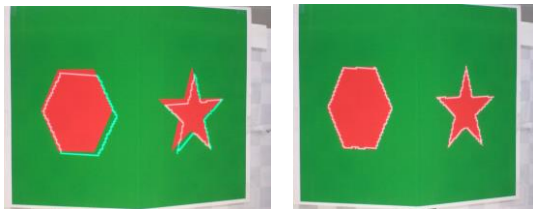
(b)2型2色覚

図13. 投影処理画像 (点滅光オフ)



(a)処理対象 (b)格子パターン投影

図14. 立体面上の対象



(a)失敗 (b)成功

図15. 立体面への位置合わせ

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3件)

- ① Daiki Kawakami, Kaito Makino, Yuichi Kobayashi, Toru Kaneko, Atsushi Yamashita and Hajime Asama: "Projector Camera System Presenting Color Information for Color Vision Deficiency", International Conference on Simulation Technology (JSST2013), Meiji University(Tokyo), 2013年9月11日.
- ② 牧野 海渡, 川上 大樹, 小林 祐一, 金子 透, 山下 淳, 浅間 一: "プロジェクタ・カメラシステムを用いたテクスチャマッピングと点滅表示による色情報提示", 映像情報メディア学会メディア工学研究会サマーセミナー2013, 石和びゅーほてる(山梨県), 2013年8月19日.
- ③ 川上 大樹, 山下 淳, 金子 透, 浅間 一: "プロジェクタ・カメラシステムを用いた情報提示における提示色フィードバック", 第18回画像センシングシンポジウム(SSII2012), パシフィコ横浜(神奈川県), 2012年6月8日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金子 透 (KANEKO TORU)
静岡大学・工学研究科・教授
研究者番号：50293600

(2) 研究分担者

山下 淳 (YAMASHITA ATSUSHI)
東京大学・工学系研究科・准教授
研究者番号：30334957

(3) 研究分担者

浅間 一 (ASAMA HAJIME)
東京大学・工学系研究科・教授
研究者番号：50184156