

プロジェクタ・カメラシステムを用いた色覚障碍者への色情報提示

非会員 宮木 理恵* 正 員 山下 淳*
非会員 金子 透*

Color Information Presentation for Color Vision Defectives by Using a Projector Camera System

Rie Miyaki*, Non-member, Atsushi Yamashita*, Member, Toru Kaneko*, Non-member

Color perception varies from individual to individual. It is difficult for a person with defective cones in the retina to recognize the difference between specific colors. We propose a method for presenting color information by using a projector camera system. The system projects border lines or color names on real object surfaces for specific color combinations. Registration of the projected images and real objects is executed by using projected markers. The effectiveness of the proposed method is verified through experiments.

キーワード：プロジェクタ・カメラシステム，色覚，色情報提示

Keywords: Projector Camera System, Color Vision, Color Information Presentation

1. 序 論

本研究では，プロジェクタとカメラで構成したシステムを用いて，色覚の特性により実物体に判別が困難な色の組み合わせが存在したとき，その配色部分に境界線や色名などを投影することで色の判別を可能とするシステムの構築を目的とする。

色覚には個人差がある．特に顕著な色覚の個人差は，眼球内で色を感じる3種類の錐体のうち，いずれかが欠損している場合である．錐体はそのスペクトル感度の違いにより，L錐体，M錐体，S錐体に区別される．

全ての錐体に欠損がない状態を3色覚，L錐体が欠損している状態を1型2色覚，M錐体が欠損している状態を2型2色覚，S錐体が欠損している状態を3型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⁽¹⁾．

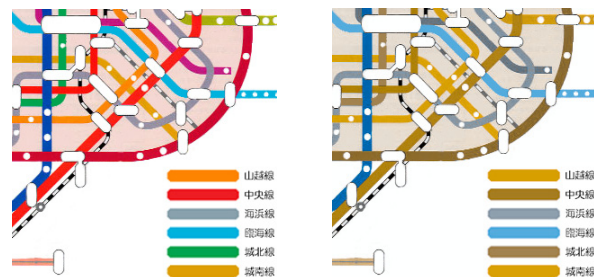
錐体が欠損している場合，特定の色同士を見分けることが困難になり，日常生活で不自由を感じることがある．例えば，色で路線を区別している路線図を3色覚者が見た場合，Fig.1(a)のように赤色と緑色の路線などの区別がつく．それに対し，Fig.1(a)を2型2色覚者が見た場合をシミュレーション[†]した結果である Fig.1(b) では，緑色と赤色の

路線の区別がつきにくい．

ユニバーサルデザインやバリアフリーなどにより障害者や高齢者への自立支援が進められている．色覚に関しても，色のみで区別せずに形状や色名などを併用して区別する方法や，見分けやすい色を組み合わせる方法などにより支援が進められている．しかし，このような支援は配備が不完全であり，一部の路線図や街中の看板・ポスターなどでは未だに問題が残っている．

画像処理を用いた視覚障害者支援の研究は多く存在する．しかし，視覚障害者支援の研究の中で色覚特性に対応した研究は少ない．

色覚特性に対応する支援では，文献⁽²⁾において，カメラ，ヘッドマウントディスプレイ（HMD），コンピュータから構成される装置を用い，取得したカメラ画像から判別が困難な色の組合せ（配色）を検出し，HMDにより判別が困



(a) Normal color vision (b) Deuteranope simulation

Fig.1. Example of individual difference in color vision.

* 静岡大学工学部機械工学科

〒 432-8561 静岡県浜松市中区城北 3-5-1

Department of Mechanical Engineering, Shizuoka University
3-5-1 Johoku, Naka-ku, Hamamatsu-shi, Shizuoka, 432-8561

† 本研究では色覚シミュレーションに東洋インキ製造株式会社製のUDing Simulatorを使用している。

難な配色部分に境界線を表示することで、色情報を提示している。しかし、色情報の提示方法が境界線表示のみでは、実際に何色であるのかわからず、会話で色名を用いる必要がある場合などに問題が生じる可能性がある。

その他にも、HMDを使用する場合には、光の影響を受けない、情報を個人のみで保持できるなど、野外や多数の観測者がいる環境下における利点がある一方で、使用者に拘束感を与え長時間の使用に不向きであるなどの欠点がある。

それに対し、プロジェクタを用いる場合には、HMDのような拘束感がなく、マーカーを事前に実物体に添付する必要があるため使用できる場所が限定されないという利点がある。文献⁽³⁾においてもプロジェクタを用いることは、人間の視覚補助として有用であることが述べられている。

2. 研究アプローチ

本研究では、使用場所を限定せず、かつ個人の色覚特性に対応したシステムを提案する。プロジェクタ・カメラシステムは使用者が手に持って用いる。色情報を取得するためにカメラを用い、実物体に光を投影することで色情報を提示するためにプロジェクタを用いる (Fig.2)。

暗緑色の中に暗赤色のシンボルマークが描かれている様子を Fig.3(a) に示す。Fig.3(a) に対し2型2色覚の見え方をシミュレーションすると Fig.3(b) のように緑色と赤色の判別が付きにくくなる。

そこで、Fig.3 のように判別が困難な配色が存在した場合、

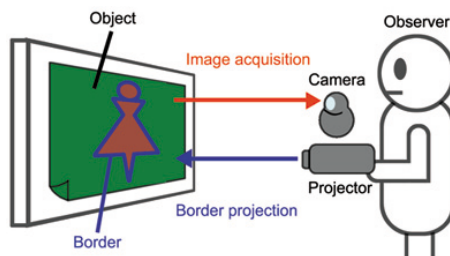


Fig. 2. Proposed projector camera system.

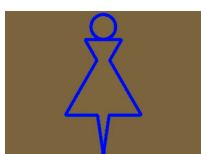


(a) Normal color vision

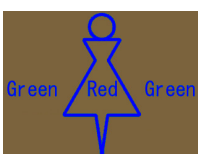


(b) Deuteranope simulation

Fig. 3. Example of color combination difficult to distinguish.



(a) Borderline



(b) Color name



(c) Painting

Fig. 4. Color information presentation method (simulation of deuteranope).

判別が困難な配色部分を検出し、境界線表示 (Fig.4(a)) または色名表示 (Fig.4(b)) や別の色での塗潰し (Fig.4(c)) を行うことで、色情報を提示する。なお、色情報の提示方法は、使用者が自身でそのとき必要とする情報に合わせて選択する。色情報の提示方法の選択は、システムが自動的に行うことが望ましいと考えられる。しかし、そのためにはシステムが対象物の分類を識別し、適した表示方法を検討するといった処理が必要となる。多種多様な対象物をシステムが分類識別することは非常に困難である。また、本研究の目的が対象物の認識ではないことから、表示方法は使用者自身が選択することとする。

3. 提案手法

処理は大別して色情報提示、位置合わせ、動き検出がある。色情報提示処理については4章、位置合わせ処理については5章で詳しく説明する。処理の大まかな流れは以下の通りである (Fig.5)。

はじめに、プロジェクタを用いてマーカーを投影するとともに、カメラを用いて対象物を撮影し、画像を取得する。次に、カメラ画像から判別が困難な配色を検出する。そして、判別が困難な配色が存在した場合は色情報提示のための処理を行う。さらに、マーカーを検出を行い、投影画像と実物体の正確な位置合わせを行う。そして、色情報を投影する。最後に、新たにカメラ画像を取得し、システムと対象物の相対的な位置関係の変化を算出する。変化が微小であれば、先ほど得られた投影画像を投影し続ける。変化が大きければ、新たに投影画像を作成するために色情報提

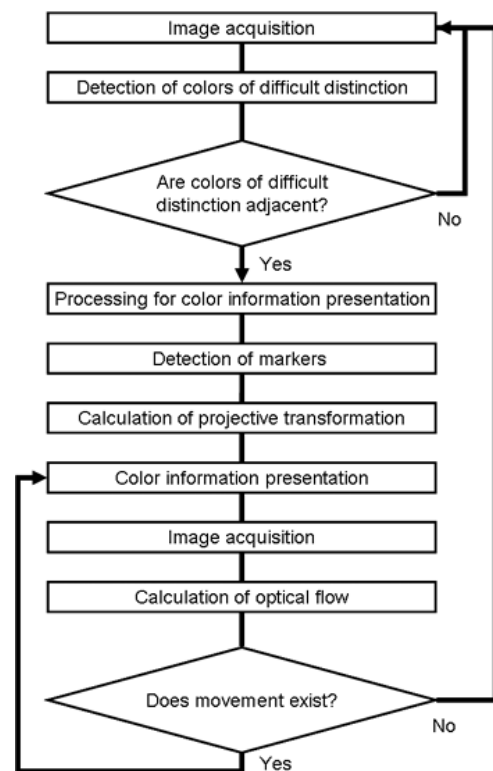


Fig. 5. Processing flow.

示処理と位置合わせ処理を行う。

本研究では色覚の種類により、色相が異なるが判別が困難となる色の組合せを判別困難な配色とする。例えば、Fig.6(a)のように暗緑色、暗赤色、緑色の3色が存在する場合、暗緑色と暗赤色は色相が異なるが2型2色覚ではFig.6(b)のように判別が困難となる色の組合せである。それに対し、暗緑色と緑色は色相がほぼ同じであるため色覚の種類に関係なく似ている色に見える。本研究では、暗緑色と緑色のように色覚の種類にかかわらずほぼ同じ色として観測される色の組合せに対しては情報を提示することを想定せず、暗緑色と暗赤色のように特定の色覚の場合にだけ判別が困難となる色の組合せに対して色情報の提示を行うこととする[†]。提示すべき配色の検出は、混同色線⁽⁴⁾を用いて自動的に行う。

また、色情報の提示に用いる色は、使用者が判別できる配色となるように色覚に合わせ設定する。例えば、使用者が2型2色覚の場合にはFig.7のように設定する。判別が困難な色が紫色から青緑色の間に存在する場合、提示には赤色を用いる。判別が困難な色が青緑色から赤色の間に存在する場合、提示には青色を用いる。

ここで、プロジェクタを用いて対象物に直接色情報を提示する場合、対象物と投影画像の位置がずれて色情報が対象物の目的の場所に投影されない場合がある。

そこで、本研究では投影画像と対象物の位置合わせを投影マーカーを用いて行う。マーカーを投影することにより、事前に実物体にマーカー添付する必要がないため使用できる場所が限定されない。尚、本研究では使用者がシステムを手を持って使用することを想定しているため、投影画像と対象物の位置合わせを随時行う。対象は看板や掲示板などを想定して対象物を平面に限定し、プロジェクタとカメラ間の位置姿勢関係は固定されているものとする。対象物が複雑な形状の場合、対象物の部位によってプロジェクタ側、カメラ側のフォーカスを変化させなければならないという問題が生じる。このような問題は例えば複数台のプロ

ジェクタ・カメラシステムを用いることにより解決可能となるが、本研究ではシステムの簡易化のため、投影範囲全体においてフォーカスが合う対象物および実験条件に限定する。

また、リアルタイムでカメラ画像を取得し、判別が困難な色を検出した場合、既に投影されている境界線などの色情報により正確に判別が困難な色を検出できず、次の瞬間には必要な色情報が正確に投影されないことが考えられる。例えば、システムと対象物の相対的な位置関係が変化せず、境界線が既に投影されている状態において、カメラ画像を取得し、判別が困難な色を検出した場合、判別が困難な色同士の間には境界線の色が存在するため2色は隣接しておらず、次の瞬間には境界線が投影されない。これは、必要な色情報が投影されていないだけでなく、境界線の投影と非投影が繰り返されることで色情報のちらつきになる。

そこで、システムや対象物の動きを検出し、システムと対象物の相対的な位置関係の変化が微小である場合には、前フレームの色情報を投影し続けることで、提示されている色情報のちらつきを低減する。

本研究では、システムと対象物の相対的な位置関係の変化の算出にオプティカルフローを用いる。オプティカルフロー算出には、文献⁽⁵⁾の手法を用いる。

4. 色情報提示

使用者にとって対象物中のどの配色が判別困難であるかを推定する。そして、各種色情報提示のための処理を行う。判別困難な配色の推定については、〈4・1〉節で詳しく述べる。色情報提示法である境界線表示、色名表示、塗潰し表示については、それぞれ〈4・2〉節、〈4・3〉節、〈4・4〉節で詳しく述べる。

〈4・1〉 判別困難な配色 判別困難な配色の推定には、混同色線を用いる⁽⁴⁾。

色彩工学や色に関する各種規格では、色彩を定量的に議論しやすいxy色度図が用いられる。RGB表色系を単純な一次変換で負の値が現れないようにCIE（国際照明委員会）が定めたXYZ表色系では、それぞれの数値と色彩との関連がわかりにくい。そこでXYZ表色系から絶対的な色合いを表現するためのxyY表色系が考案されている。このxとyを色度座標と呼び、すべての色はxとyによる2次元平面、および明度を示すYで表現できる。

判別困難な配色の推定に用いる混同色線は、xy色度図上においてある1点から放射線状に伸びる直線として与えられることが知られている。この点を混同色中心という。混同色中心は色覚障害者の混同色線を実験により求め、得られた座標である⁽¹⁾。そして、混同色中心は色覚の種類によりxy色度図上の異なる場所に与えられる。Judd-Vos修正等色関数における混同色中心の座標は、1型2色覚が、 $x_p = 0.7465$, $y_p = 0.2535$, 2型2色覚が、 $x_d = 1.40$, $y_d = -0.40$, 3型2色覚が、 $x_t = 0.1747$, $y_t = 0.0060$ である⁽⁶⁾。混同色中心から無数に引かれる直線が、その色覚

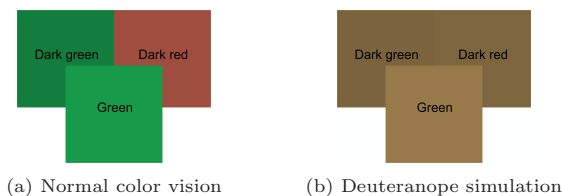


Fig. 6. Example of color combination.

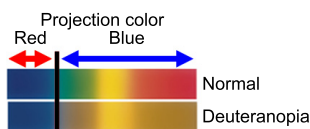


Fig. 7. Projection color.

[†] 本研究では色覚障害者への色情報の提示を主目的としている。設定を変更することで、暗緑色と緑色のような色の組合せに対しても情報を提示することも可能であるが、本研究では取り扱わない。

における混同色線である。Fig.8は、xy色度図における2型2色覚の混同色中心（center of confusion）および混同色線（color confusion line）である。混同色線上の色同士は、その色覚において判別が困難となる。本研究では、取得されたカメラ画像中の画素の色と混同色中心点を結んだ直線を混同色線として用いる。そして、この混同色線を用いて判別困難な配色の推定を行う。

具体的には、2色の混同色線のなす角 θ が閾値 θ_{max} 以下であり、かつxy色度図上での正規化された距離 d が d_{min} 以上の場合、判別が困難な配色であると推定する。xy色度図上での距離が近い場合は、色相が似ており判別する必要がないものとし本研究においては判別困難な配色としない。

2色の混同色線のなす角 θ は、それぞれの色の混同色線の傾きを θ_1 、 θ_2 とし、式(1)を用いて算出する。

$$\theta = |\theta_1 - \theta_2| \dots\dots\dots (1)$$

また、xy色度図上での正規化された距離 d は、式(2)を用いて算出する。同式において、 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) はそれぞれの色のxy色度値であり、 l は式(3)で与えられる。式(3)において、 (x_{si}, y_{si}) 、 (x_{ei}, y_{ei}) ($i = 1, 2$)はそれぞれの (x_i, y_i) の混同色線とxy色度図上の純紫軌跡、スペクトル軌跡[†]との交点であり（Fig.9）、交点間の距離の長い方を l とする。

$$d = \frac{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}}{l} \dots\dots\dots (2)$$

$$l = \max \left(\sqrt{(x_{s1} - x_{e1})^2 + (y_{s1} - y_{e1})^2}, \sqrt{(x_{s2} - x_{e2})^2 + (y_{s2} - y_{e2})^2} \right) \quad (3)$$

例えば、取得されたカメラ画像中のある画素の色がFig.10

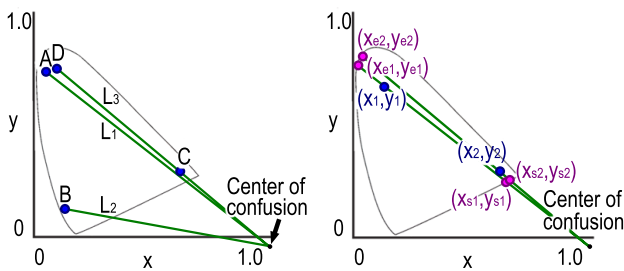


Fig. 8. Color confusion line. Fig. 9. Normalized distance.

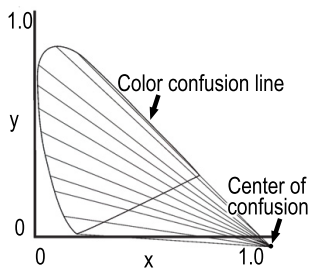


Fig. 10. Exemple of color confusion line.

[†] xy色度図の境界線のうち、釣鐘状に湾曲している部分を「スペクトル軌跡」と呼び、直線上の部分を「純紫軌跡」と呼ぶ。

の点Aとして与えられた場合、混同色線は直線 L_1 のようになる。同様に点Bの混同色線は L_2 、点Cと点Dの混同色線は L_3 のようになる。点Aと点Bの場合、直線 L_1 と直線 L_2 のなす角が大きいため、点Aと点Bの色は判別が困難な配色と判定されない。直線 L_1 と直線 L_3 はなす角が小さく、点Aと点Cはxy色度図上での距離が遠いため、点Aと点Cの色は判別困難な配色と判定される。一方、点Cと同じ混同色線上の点Dでは、点Aとのxy色度図上での距離が近いため、判定不要な配色とする。

〈4・2〉 境界線表示 最初に、判別が困難な配色が隣接しているかを判定する。具体的には、ある画素に注目したとき、注目画素の周辺を探索し、判別が困難な配色の色がそれぞれ1画素以上検出された場合、判別が困難な配色が隣接していると判定する。そして、これを取得画像の全画素に対して行う。最後に、隣接していると判定された画素に対応する実物体の場所に使用者が判別できる色を投影する。

〈4・3〉 色名表示 最初に、取得画像を等分割し、分割した各領域において一定以上の画素数をもつ色をその領域の色とする。次に、各領域の色同士を比較し、判別困難な配色が存在するかを判定する。そして、判別困難な配色が存在した場合、各色の領域において色名の表示位置を算出する。最後に、算出された表示位置に対応する実物体の場所に使用者が判別できる色で色名を投影する。

〈4・4〉 塗潰し表示 最初に、取得画像中に判別困難な配色が存在するかを判定する。次に、判別が困難な配色が存在した場合、使用者がどの色を塗潰すかを指定する。そして、使用者が指定した色の領域を検出する。最後に、検出された色の領域に対応する実物体の場所に使用者が判別できる配色となるよう別の色を投影して塗潰す。

5. 実物体と投影画像の位置合わせ

プロジェクタで投影したマーカーを用いて実物体と投影画像の位置合わせを行う。

マーカー位置算出については〈5・1〉節、実物体と投影画像の位置合わせについては〈5・2〉節で詳しく説明する。

本研究ではシステムと対象物の相対的な位置・姿勢が変化する場合がある。そこで、マーカーの投影・検出をカメラ画像取得の度に実物体と投影画像の位置合わせを行う。

〈5・1〉 マーカー位置算出 射影変換のためにマーカーを検出し、マーカー位置を算出する必要がある。

本研究では、最初に、差分を用いてマーカーの領域を検出する。具体的には、Fig.11のようにマーカーを投影していない時のカメラ画像とマーカーを投影した時のカメラ画像の差分画像を算出し、差の大きい部分をマーカーとして検出する。そして、検出されたマーカー領域の重心をマーカー位置とする。

差分によりマーカーを検出した後は、色相および明度を用いてマーカーの領域を追跡する。ここで、フレーム間ではマーカーが微小量しか移動しないことを利用し、前フレー

ムにおけるマーカー位置の周辺のマーカー色を探索する。そして、検出されたマーカー色の領域の重心をマーカー位置とする。この処理を繰り返すことで、画像中でのマーカー位置を追跡する。

〈5・2〉 射影変換 算出されたカメラ画像中での各マーカー位置 $(x_i, y_i, 1)^T$ と投影画像中での各マーカー位置 $(x'_i, y'_i, 1)^T$ の対応関係から式 (4) を用いて 3×3 の射影変換行列 $\mathbf{H}$ を算出する。

$$\begin{pmatrix} x'_i \\ y'_i \\ 1 \end{pmatrix} = \mathbf{H} \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 i はマーカー番号 ($i = 0, 1, 2, \dots$) である。

また、射影変換行列 $\mathbf{H}$ は次式のように表される。

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (5)$$

算出した $\mathbf{H}$ を用いて投影画像を射影変換する。投影画像を変換することで、実物体と投影画像の位置合わせを行う。

6. 実 験

〈6・1〉 実験条件 実験装置は、プロジェクタ、カメラ、コンピュータから構成され、Fig.12 のように配置した。実験は、蛍光灯による照明のある室内で行った。

実験における判別困難な配色の条件は、 $\theta_{max} = 1 \text{ deg}$, $d_{min} = 0.1$ とする。

実験には、シンボルマーク (Fig.13(a)) が印刷された対象物、色による対応表示 (Fig.13(b)) が印刷された対象物、路線図 (Fig.13(c)) が印刷された対象物を用い、それぞれ境界線・色名・塗潰し表示による色情報提示を行った。Fig.13(a) では左に暗緑色地に暗赤色のシンボルマーク、右に黄緑色地に橙色のシンボルマークが描かれており、Fig.13(b) では上から順に暗赤色・水色・暗緑色の四角形が

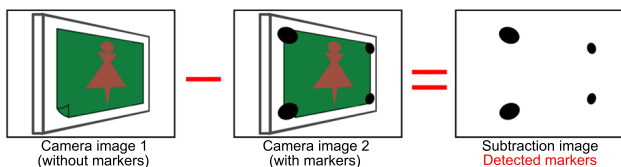


Fig. 11. Marker detection by subtraction.

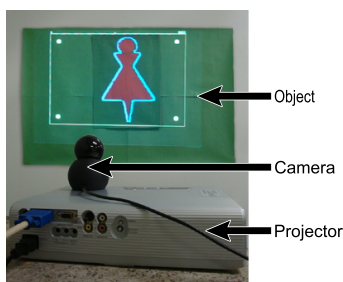


Fig. 12. Experimental equipment.

並び、Fig.13(c) では暗赤色と暗緑色、紺色と紫色の路線が含まれている。Fig.13(a) において複数の色の組合せを使用しているのは、4 章で述べた判別困難な配色の検出手法が有効であるかを検討するためである。

〈6・2〉 実験結果 実物体にプロジェクタを用いて色情報を投影する実験を行った。

はじめに、対象物が静止している状況において、実物体と投影画像の位置合わせの精度評価実験を行った。実験には、Fig.14(a) の格子柄が描かれた平面を使用した。実験は、条件ごとに各 3 回ずつ行い、Fig.14(b) のように、格子の交点 9 箇所について取得したカメラ画像上での投影対象と投影画像の位置ズレを計測し、位置ズレの平均値を求めた。

位置合わせ精度に対するマーカーの大きさの影響に関する実験では、対象物に対してプロジェクタ・カメラシステムが正面に位置する条件のもと、マーカーの大きさを変化させた。実験条件および結果を Table 1 に示す。Table 1 では、取得画像中の投影マーカー半径を変化させたときの取得画像中の投影対象と投影画像の位置ズレを示す。対象物とプロジェクタ・カメラシステムの位置関係の影響に関する実験では、マーカーの大きさ一定の条件のもと、対象物に対してプロジェクタ・カメラシステムの位置を変化させた。実験条件および結果を Table 2 に示す。Table 2 では、位置関係の条件を水平角および垂直角で表し、その条件における取得画像中の投影対象と投影画像の位置ズレを

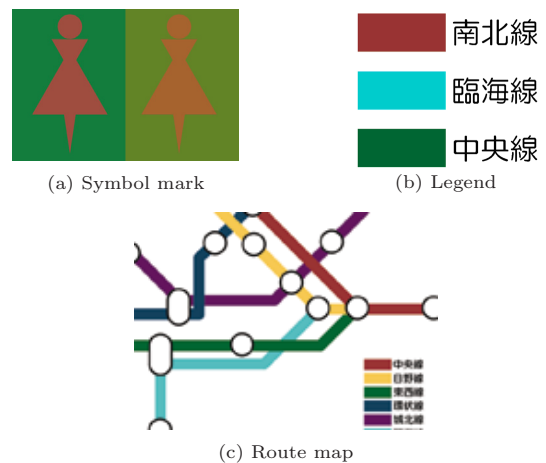


Fig. 13. Objects in experiment.

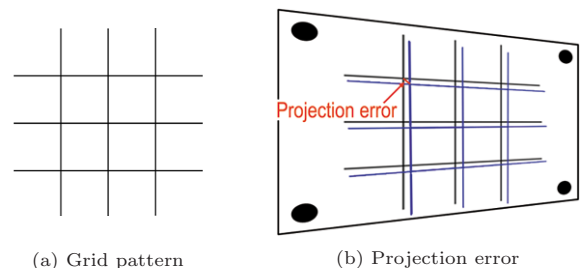


Fig. 14. Registration of projection image and real object.

示す。

Table 1 より、マーカーの大きさの影響については、本実験条件の範囲内において、投影の位置ズレは1画素以内におさまることがわかる。同様に、Table 2 より、対象物とプロジェクタ・カメラシステムの位置関係の影響については、本実験条件の範囲内において、投影の位置ズレは1.4画素以内におさまることがわかる。よって、本実験条件の範囲内において、マーカーの大きさや対象物とプロジェクタ・カメラシステムの位置関係により受ける影響は1.4画素以内の精度を保つことができた。なお、1.4画素以内の位置ズレは、肉眼ではズレをほとんど確認できなかった。

次に、対象物またはシステムが動く状況においてリアルタイムでの塗潰し表示を行った結果を Fig.15 に示す。Fig.15(a)～(e) には、それぞれ0.5秒の時間差が存在する。

Fig.15(a)～(c) 間は、システムおよび対象物の移動がない場合である。Fig.15(a), (b) 間のオプティカルフロー計算結果は Fig.16(a) となり、動きが検出されていないこと

Table 1. Result of registration (marker size change).

Radius of marker	Projection error
6.3 pixel	0.9 pixel
11.0 pixel	0.9 pixel
15.8 pixel	0.6 pixel

Table 2. Result of registration (position change).

Angle between object and system		Horizontal angle		
		0 deg	15 deg	30 deg
Elevation angle	0 deg	0.9 pixel	0.8 pixel	1.3 pixel
	15 deg	0.8 pixel	0.8 pixel	1.3 pixel
	30 deg	1.4 pixel	1.3 pixel	1.2 pixel

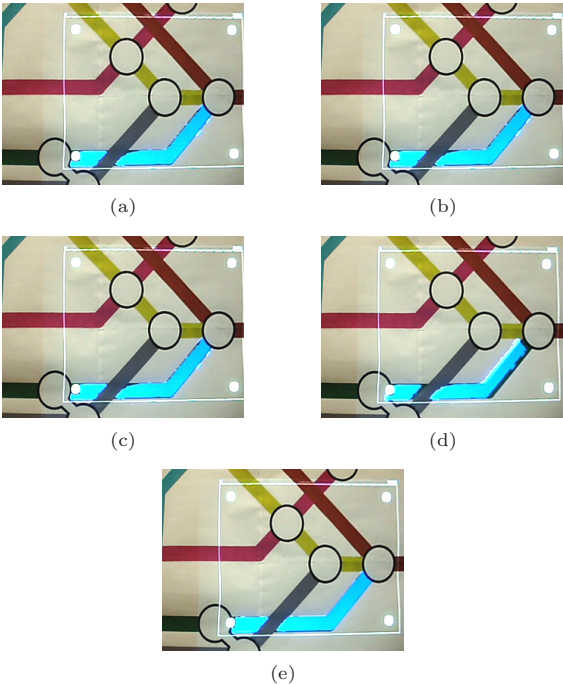


Fig. 15. Result of real-time paint projection.

が分かる。動きを検出した場合のみ再投影を行っているため、静止時の投影は Fig.15(c) のようになり色情報のちらつきがなくなる。

Fig.15(c)～(e) 間は、システムと対象物の相対的な動きがある場合である。Fig.15(c), (d) 間のオプティカルフロー計算結果は Fig.16(b) となり、動きが検出されていることがわかる。そのため次の瞬間には、Fig.15(e) のような情報が投影される。

Fig.15 より、リアルタイムでカメラ画像を取得し、判別が困難な色を検出した場合においても、必要な色情報が正確に投影されていることが分かる。

以上の処理を常時行い、境界線表示、色名表示、塗潰し表示を行った結果をそれぞれ Fig.17, Fig.18, Fig.19 に示す。また、実験において取得されたカメラ画像中の対象物の色の xy 色度値および混同色線の傾きを Table 3 に示す。境界線表示 (Fig.17) では、Table 3 の 1～4 番の色が計測された。色名表示 (Fig.18) では、Table 3 の 1, 2, 8 番の色が計測された。塗潰し表示 (Fig.19) では、Table 3 の 1, 2, 5～8 番の色が計測された。

Fig.13(a) において、左の地の暗緑色の混同色線とシンボルマークの暗赤色の混同色線のなす角 θ は、式 (1) に Table 3 の 1, 2 番の混同色線の角度を代入し、 $|(-35.1) - (-35.4)| = 0.3 \text{ deg}$ となり、 $\theta \leq \theta_{max}$ を満たす。また、距離 d は、式 (2) に Table 3 の 1, 2 番の xy 色度値を代

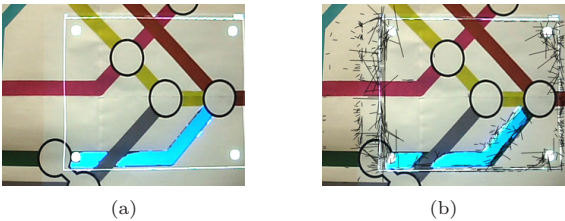


Fig. 16. Result of motion detection.

Table 3. Value of xy chromaticity and angle of color confusion line.

No.	Color	xy chromaticity value		Color confusion line angle [deg]
		x	y	
1	Dark green	0.282	0.387	-35.1
2	Dark red	0.383	0.322	-35.4
3	Lime green	0.341	0.397	-36.9
4	Orange	0.364	0.407	-37.9
5	Mazarine	0.265	0.309	-32.0
6	Purple	0.318	0.299	-32.8
7	Yellow	0.407	0.428	-39.9
8	Cyan	0.224	0.283	-30.2

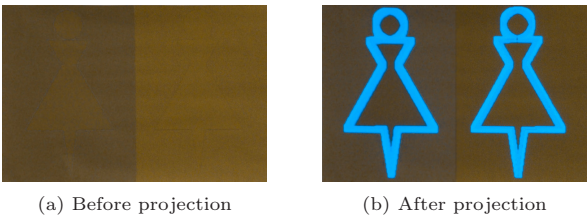


Fig. 17. Result of border projection.

入すると、 $\frac{\sqrt{(0.282-0.383)^2+(0.387-0.322)^2}}{\sqrt{(0.004-0.586)^2+(0.586-0.186)^2}}$ 0.170 となり、 $d \geq d_{min}$ を満たす。したがって、Table 3 の 1, 2 番の色の組み合わせは、判別困難な配色と判定される。そのため、Fig.17(b) のように暗緑色と暗赤色の境界には線が投影される。同様に Fig.13(a) の右の地の黄緑色の混同色線とシンボルマークの橙色はそれぞれ Table 3 の 3, 4 番の色であり、2 色の混同色線のなす角は小さく、かつ xy 色度図上の距離は十分離れている。したがって、Table 3 の 3, 4 番の色の組み合わせは、判別困難な配色と判定される。そのため、黄緑色と橙色の境界には線が投影される。しかし、Fig.13(a) の左の地の暗緑色の混同色線と右の地の黄緑色の混同色線とのなす角は 2 deg 以内と小さいが、xy 色度図上の距離は近い。すなわち、2 色の色相が近いことを意味し、色覚の種類により判別が困難な配色ではない。そのため、暗緑色と黄緑色の境界には線が投影されない。

以上の結果より、4 章で述べた手法が複数の配色に対し有効であることが示された。

Fig.17(b) では暗緑色と暗赤色との境界、黄緑色と橙色の境界に線が投影され、Fig.17(a) で見づらかったシンボルマークが見やすくなっている。

Fig.18(b) では Table 3 の 2 番の暗赤色の部分に Red の文字、Table 3 の 1 番の暗緑色の部分に Green の文字が投影され、Fig.18(a) では区別が付きにくかった上段と下段の区別が付きやすくなっている。

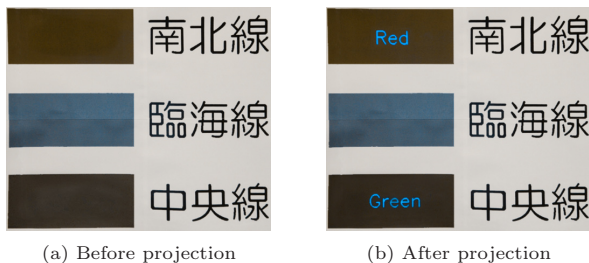


Fig. 18. Result of color name projection.

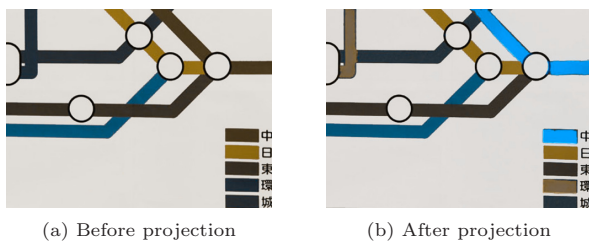


Fig. 19. Result of painting projection.

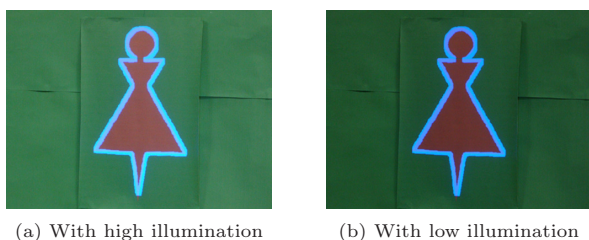


Fig. 20. Result for illumination condition.

Fig.19(b) では暗緑色の部分が青色に、紺色の部分が赤色で塗りつぶされ、Fig.19(a) で見分けづらかった Table 3 の 1 番の暗緑色と 2 番の暗赤色、5 番の紺色と 6 番の紫色の路線が見分けやすくなっている。

さらに、Fig.13(a) の左半分を対象とし、照明条件を変化させて境界線の投影実験を行った結果を Fig.20 に示す。Fig.20(a) は照明が明るい状態、Fig.20(b) は照明が暗い状態である。どちらの状態においても、境界線が投影されていることがわかる。このことから、照明条件が変化した場合においても、対象物の色が判別困難な配色として検出されれば色情報が投影されることがわかる。ただし、今回は蛍光灯による照明変化であったのに対し、ネオン灯などの様々な色の光による照明条件の変化においては、対象物の色をカメラにより計測した場合、人が観測した場合どちらでも本来の対象物の色とは違った色が計測および観測される。そのため、対象物の色が判別困難な配色として検出されない可能性がある。しかし、これらの場合においては、人も判別困難な配色として観測していないため支障はないと考えられる。

以上の結果より、それぞれ境界線・色名・塗潰し表示が色情報提示方法として有効であることが示された。

7. 結 論

投影マーカーによる実物体と投影画像の位置合わせを用いたプロジェクタ・カメラシステムによる色情報提示の手法を提案し、実験によりその有効性を確認した。

今後の課題として、対象物の反射特性を考慮することにより正確な色情報を提示すること、立体の対象物に対応することなどが挙げられる。対象物の反射特性を考慮することにより正確な色情報を提示するという課題に対しては、天野らの研究⁽³⁾や吉田らの研究⁽⁷⁾のように対象物の反射特性を計測し、対象物を目的の色に変更することにより解決を考えている。

謝 辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (C) 21500164 及び財団法人日揮・実吉奨学会の補助を受けた。

(平成 22 年 6 月 30 日受付, 平成 22 年 10 月 31 日再受付)

文 献

- (1) 篠田博之, 藤枝一郎:「色彩工学入門 定量的な色の理解と活用」, 森北出版 (2007)
- (2) 筒井崇洋, 青木公也:「ウェアラブル式色バリアフリーシステム」, 動的画像処理利用化ワークショップ 2008 予稿集, pp.282-285 (2008)
- (3) T.Amano and H.Kato: "Appearance Enhancement Using a Projector-camera Feedback System", *Proceedings of Meeting on Image Recognition and Understanding 2008*, pp.79-86(2008)(in Japanese)
天野敏之, 加藤博一:「プロジェクタカメラフィードバック系によるアピアランス強調」, 画像の認識・理解シンポジウム 2008 予稿集, pp.79-86 (2008)

- (4) 小川剛史, 目黒光彦: 「ユーザのインタラクティブ操作による色覚特性の簡易判定」, 動的画像処理実利用化ワークショップ 2009 予稿集, pp.106-111 (2009)
- (5) B.D.Lucas and T.Kanade: “An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision”, *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp.674-679(1981)
- (6) 日本色彩学会編: 「新編 色彩科学ハンドブック [第 2 版]」, 東京大学出版会 (1998)
- (7) T.Yoshida, C.Horii and K.Sato: “Projective Texture for Mixed Reality Museum based on Color Reflection Measurement”, *Proceedings of Virtual Reality Society of Japan*, pp.79-86(2008)(in Japanese)
吉田壮伸, 堀井千夏, 佐藤宏介: 「複合現実博物館のための反射特性に基づくプロジェクタ投影テクスチャ」, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.9, No.1, pp.97-104 (2004)

宮 木 理 恵 (非会員) 2009 年 3 月静岡大学工学部機械工学科卒業. 2011 年 3 月同大学大学院工学研究科修士課程修了. 同年, オムロンソーシアルソリューションズ株式会社入社, 現在に至る. 在学中は, プロジェクタ・カメラシステムを用いた色情報提示に関する研究に従事.



山 下 淳 (正員) 1996 年 3 月東京大学工学部卒業, 1998 年 3 月東京大学大学院工学系研究科修士課程修了, 2001 年 3 月同博士課程修了. 2001 年 4 月静岡大学工学部機械工学科助手, 2006 年 11 月～2007 年 12 月カリフォルニア工科大学客員研究員, 2008 年 4 月静岡大学工学部機械工学科准教授, 現在に至る. 1996 年日本機械学会畠山賞, 2001 年総合研究奨励会石井学術奨励賞, 2004 年映像情報メディア学会研究奨励賞, 2005 年日本機械学会ロボメカ部門ベストプレゼンテーション表彰, 2006 年電気学会優秀論文発表賞, 日本ロボット学会研究奨励賞, 2010 年第 15 回ロボティクスシンポジウム優秀論文賞など受賞. 画像処理, コンピュータビジョン, ロボットの知能化などの研究に従事. 博士 (工学).



金 子 透 (非会員) 1974 年 3 月東京大学大学院工学系研究科修士課程修了. 1974 年 4 月日本電信電話公社 (現 NTT) 入社. 1997 年 4 月静岡大学工学部機械工学科教授, 現在に至る. 画像処理, ロボットビジョンの研究に従事. 工学博士.

