

プロジェクタ・カメラシステムを用いた色覚障害者への色情報提示

宮木理恵*, 山下淳, 金子透 (静岡大学)

Color Information Presentation for Color Vision Defective by Using a Projector-Camera System

Rie Miyaki*, Atsushi Yamashita, Toru Kaneko (Shizuoka University)

Abstract

There are individual differences in color vision. It is difficult for a person with defective cones in the retina to recognize the difference of specific colors. We propose a presentation method of color information by using a projector-camera system. The system projects border lines or color names on real object surfaces when they have specific color combinations. Registration of projected images and real objects is made by using projected markers. 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，色覚支援，バリアフリー

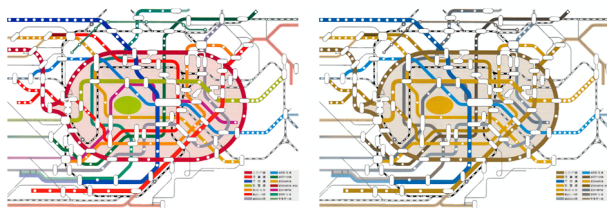
(Projector Camera System, Color Vision Assistance, Barrier Free)

1. 序 論

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，図 1(a) のように緑色と橙色や青色と紫色の路線などの区別がつく．それに対し，図 1(a) を 2 型 2 色覚者が見た場合をシミュレーション[†]した結果である図 1(b) では，緑色と赤色の路線の区別が付きにくい．



(a) Normal color vision (b) Deuteranope Simulation

図 1 色覚の個人差の例

Fig. 1. Example of individual difference in color vision

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をする，見分けやすい色の組み合わせなどの方法で支援が進めら

れている．しかし，このような支援は設備が不完全であり，一部の路線図や街中の看板・ポスターなどでは未だに障害が残っている．

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．例えば，田中ら⁽²⁾や鈴木ら⁽³⁾などの文字情報の抽出に関する研究や田所⁽⁴⁾の歩行の支援に関する研究などがあげられる．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，筒井ら⁽⁵⁾の研究が挙げられる．文献⁽⁵⁾では，カメラ，ヘッドマウントディスプレイ (HMD)，PC 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．

情報提示に色情報に HMD を用いる場合，狩塚ら⁽⁶⁾や緒方ら⁽⁷⁾の研究において次のような特徴が挙げられている．HMD 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が，使用者に拘束感を与え長時間の使用に不向きなどの欠点がある．その他，中里ら⁽⁸⁾の HMD を用いた研究などでは，実物体と表示画像の位置合わせに使用者やカメラの位置・姿勢推定に事前に実物体に添付したマーカーを用いているため，使用場所が限定される．

それに対し，プロジェクタを用いて実物体に直接映像を投影することで情報を提示する手法が提案されている．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ないため使用場所が限定されないという利点がある．文献⁽⁹⁾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．

[†] 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．

2. 研究目的

本研究では、プロジェクタ・カメラシステムを用いることで、使用場所を限定されず個人の色覚特性に対応したシステムを提案する。カメラは色情報を取得するために用い、プロジェクタは実物体に光を投影することで色情報を提示するために用いる（図2）。

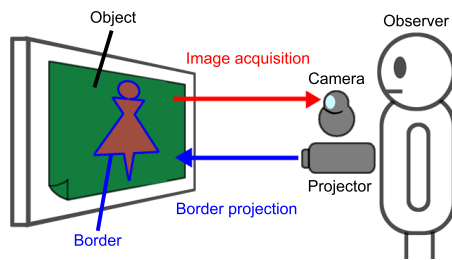


図2 システム構成

Fig. 2. Proposed projection camera system

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

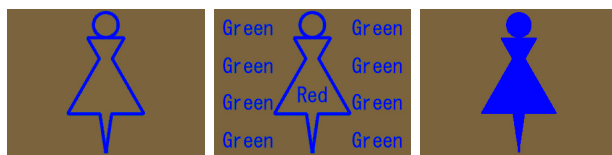


(a) Normal color vision (b) Deuteranope Simulation

図3 判別困難な配色の例

Fig. 3. Example of color combination difficult to distinguish

そこで、本研究で提案する手法は、図3のように判別が困難な配色が存在した場合、判別が困難な配色部分を検出し、境界線表示（図4(a)）または色名表示（図4(b)）や別の色での塗潰し（図4(c)）を行うことで、色情報を提示する。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。



(a) Borderline (b) Color name (c) Painting

図4 色情報提示方法 (2型2色覚シミュレーション)

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

また、以前著者らが提案した手法⁽¹⁰⁾では、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という問題点が存在した。

そこで、それぞれの色情報提示方法においてその手法を改良する。境界線表示においては、判別困難な配色の隣接判定手法を変更することで、境界線の微動や欠損を低減する。

また、プロジェクタ・カメラ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。

3. 処理の流れ

処理は大別して色情報提示、位置合わせ、動き検出がある。それぞれの処理については、4章、5章、6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（図5）。尚、本研究では、プロジェクタとカメラ間の位置姿勢関係は変化しないものとする。

まず、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、検出したマーカー位置から射影変換行列を算出して、投影画像と実物体の正確な位置合わせを行う。投影画像と実物体の位置合わせ後に、色情報を投影する。色情報が投影された後、カメラを用いて対象物を撮影し、新たに画像を取得する。新たに取得されたカメラ画像から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。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れば、先ほど得られた投影画像を投影し続ける。システムと対象物の相対的な位置関係の変化が大きければ、新たに投影画像を作成するため色情報提示処理と位置合わせ処理を行う。

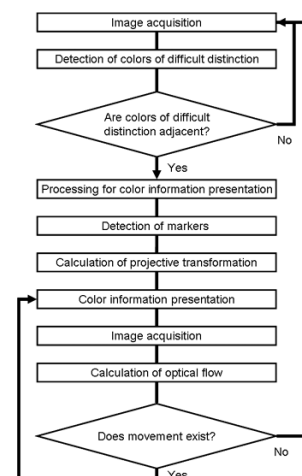


図5 処理の流れ

Fig. 5. Processing flow

4. 色情報提示

まず、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処理を行う。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4.1節、4.2節、4.3節で詳

しく述べる．

判別困難な配色の推定には，混同色線を用いる．混同色線とは，図 6(a) のように xy 色度図上において色覚の種類ごとに与えられる混同色中心点から放射状に伸びる直線である．この直線上の色同士は，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．

具体的には，2 色の混同色線のなす角が小さく，かつ xy 色度図上での距離が離れている場合，判別が困難な配色であると推定する．

例えば，取得されたカメラ画像中のある画素の色が図 6(b) の点 a として与えられた場合，混同色線は直線 A のようになる．直線 A となす角が小さい直線 B 上の点 b, c が与えられたとする．点 b では，2 色の混同色線のなす角は小さいが， xy 色度図上での距離が近いいため，判別が困難な配色と判定されない．点 c では，2 色の混同色線のなす角は小さく，かつ xy 色度図上での距離が遠いため，判別が困難な配色と判定される．

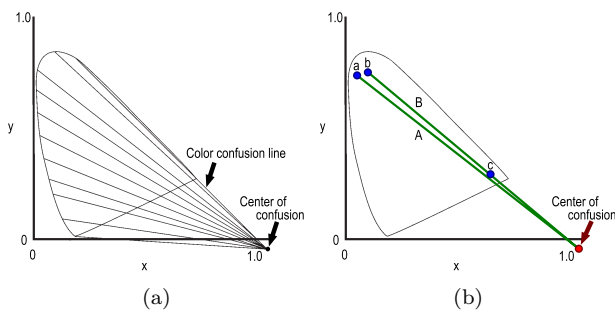


図 6 混同色線

Fig. 6. Color confusion line

4.1 境界線表示 判別が困難な配色が隣接しているかを判定する．そして，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．

4.2 色名表示 判別が困難な配色が取得したカメラ画像中に存在するかを判定する．判別が困難な配色が存在した場合，それぞれの色の領域を検出し，色名の表示位置を算出する．そして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．

4.3 塗潰し表示 判別が困難な配色が取得したカメラ画像中に存在するかを判定する．判別が困難な配色が存在した場合，それぞれの色の領域を検出する．そして，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

本研究では，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．

手順としては，まず，投影面にプロジェクタを用いてマーカーを投影する．次に，投影されたマーカーをカメラで撮影し，取得されたカメラ画像からマーカーを検出する．そ

して，検出されたマーカーのカメラ画像中の位置を用い実物体と投影画像の位置合わせのための射影変換行列を算出する．最後に，算出された射影変換行列で投影画像全体を射影変換し，対象物と投影画像の位置を合わせる．

本研究では，プロジェクタ・カメラシステムを使用者が身につけて使用することを想定するため，システムと対象物の相対的な位置・姿勢が常に変化することが予想される．そこで，常に実物体と投影画像の位置合わせを行うため，マーカーの投影・検出をカメラ画像取得の度に行う．

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，図 7 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抽出する．

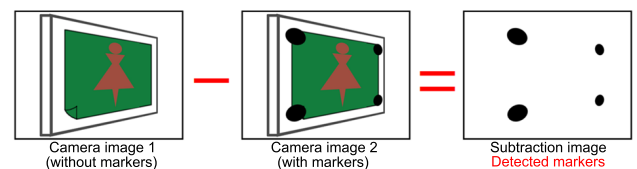


図 7 差分によるマーカー検出

Fig. 7. Marker detection by subtraction

マーカーを検出した後は，色情報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．この処理を繰り返すことで，画像中でのマーカー位置を更新する．

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 (1) を用いて 3×3 の射影変換行列 H を算出する．

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

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 H は次式のように表される．

$$H = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

算出した 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. 動き検出

色情報を投影した後，新たに取得したカメラ画像を用いて，システム系と対象物の相対的な位置関係の変化を算出する．算出された変化量が微小である場合には，プロジェクタ・カメラシステムと対象物の間に相対的な位置関係の変化がないと判定できるため，前フレームの色情報を投影し続ける．それ以外の場合には，システムと対象物の間に

相対的な位置関係の変化があったと判断し、新たに色情報を更新し投影する。

本研究では、プロジェクタ・カメラ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⁽¹¹⁾の手法を用いる。

具体的には、図 8(a), (b) のような 2 枚の画像を取得した場合に、2 枚の画像の各画素の動きのベクトルを算出すると、図 8(c) 中の赤線のようにオプティカルフローが求まる。図 8(b) は図 8(a) に対し、プロジェクタ・カメラシステムが反時計回りに回転した状態を表している。

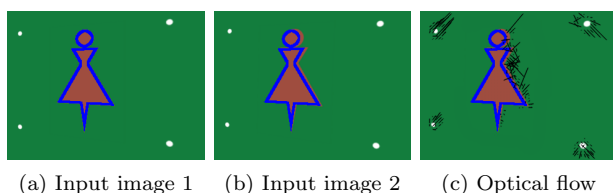


図 8 オプティカルフロー算出
Fig. 8. Calculation of optical flow

7. 実験

7.1 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、図 9 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。

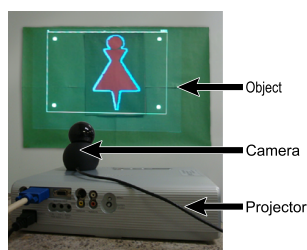


図 9 実験装置
Fig. 9. Experimental equipment

実験に用いる対象物として、シンボルマーク（図 10(a)）が印刷された平面状の対象物、色による対応表示（図 10(b)）が印刷された平面状の対象物、路線図（図 10(c)）が印刷された平面状の対象物を用い、それぞれ境界線・色名・塗潰し表示による色情報提示を行う。図 10(a) では左から暗緑色地に暗赤色のシンボルマーク、黄緑色地に橙色のシンボルマーク、白色地に赤色のシンボルマークが描かれており、図 10(b) では上から順に暗赤色・水色・暗緑色の四角形が並び、図 10(c) では暗赤色と暗緑色の路線が含まれている。図 10(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。

7.2 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。

まず、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実験を行った。左側が緑色、右側が

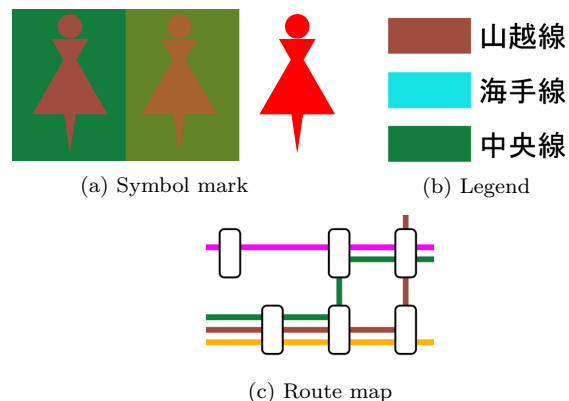


図 10 実験に用いる対象物
Fig. 10. Objects in experiment

赤色の対象物を使用した。

図 11(a) のマーカー非投影時のカメラ画像と図 11(b) の投影時のカメラ画像を取得した。図 11(a) と図 11(b) の差分結果が図 11(c) である。

図 11(c) で検出された各マーカー領域の重心を算出した結果がカメラ画像中でのマーカー位置となる。

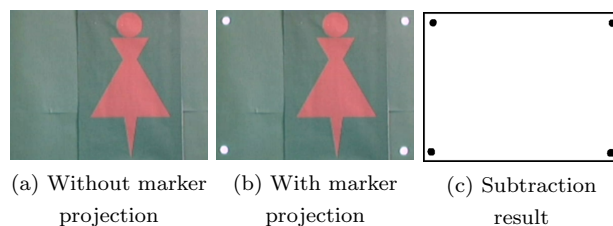


図 11 マーカー検出結果
Fig. 11. Result of marker detection

図 11(c) において検出されたマーカー位置情報を元に、次のフレームでは色を用いてマーカーを検出する。

算出されたカメラ画像中のマーカー位置とマーカー投影に用いた投影画像中のマーカー位置の関係から式 (1) を用いて射影変換行列を算出した。算出された射影変換行列を用いて、投影画像全体を射影変換し、実物体と投影画像の位置合わせを行った。

位置合わせを行わずに境界線を投影した結果を Fig.12(a) に示す。ここで、Fig.12(a) 中の破線が 2 つの領域の実際の境界線を示している。また、射影変換により位置合わせを行った後に境界線を投影した結果を Fig.12(b) に示す。

図 12(a) では 2 つの領域の実際の境界線（破線）と投影した境界線にずれが生じているのに対し、図 12(b) では両者が一致している。

次に、対象物またはプロジェクタ・カメラシステムが動く状況においてリアルタイムでの境界線表示を行った結果を図 13 に示す。図 13(a) ~ (c)、図 13(d) ~ (f)、図 13(g) ~ (i) には、それぞれ 0.2 秒の時間差が存在する。

図 13(a) ~ (c) 間は、プロジェクタ・カメラシステムおよび対象物の移動がない場合である。図 13(a), (b) 間のオブ

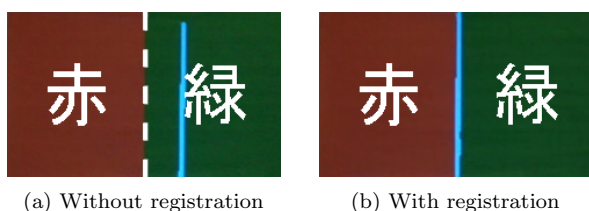


図 12 実物体と投影画像の位置合わせ

Fig. 12. Registration of projection image and real object

ティカルフロー計算結果は図 14(a) となり、動きが検出されていないことが分かる。動きを検出した場合のみ再投影を行っているため、静止時の投影は図 13(c) のようになり投影情報のちらつきがなくなる。

図 13(d) ~ (f) 間は、対象物が移動した場合である。図 13(d), (e) 間のオプティカルフロー計算結果は図 14(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、図 13(f) のような情報が投影される。

図 13(g) ~ (i) 間は、プロジェクタ・カメラシステムが移動した場合である。図 13(g), (h) 間のオプティカルフロー計算結果では、対象物が移動した場合と同様に動きが検出される。そのため次の瞬間には、図 13(i) のような情報が投影される。

図 13 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。

以上の処理を随時行い色情報を投影した結果を図 15, 図 16, 図 17 に示す。

境界線表示の結果が Fig.15, 色名表示の結果が Fig.16, 塗潰し表示の結果が Fig.17 である。

図 15 において、左端の暗緑色の混同色線と暗赤色の混同色線とのなす角は 1 度以内と小さく、かつ xy 色度図上の距離は十分離れている。そのため、暗緑色と暗赤色の境界には線が投影される。同様に図 15 の中央の黄緑色の混同色線と橙色の混同色線とのなす角は 1 度以内と小さく、かつ xy 色度図上の距離は十分離れている。そのため、暗緑色と暗赤色の境界には線が投影される。しかし、図 15 の左端の暗緑色の混同色線と中央の黄緑色の混同色線とのなす角は 2 度以内と小さいが、 xy 色度図上の距離は近い。そのため、暗緑色と黄緑色の境界には線が投影されない。また、図 15 の右端の白色と赤色は xy 色度図上の距離は十分離れているが、白色の混同色線と赤色の混同色線とのなす角は 10 度以上と大きい。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。

図 15(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、図 15(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。

図 16(b) では暗緑色の部分に Green の文字、暗赤色の部

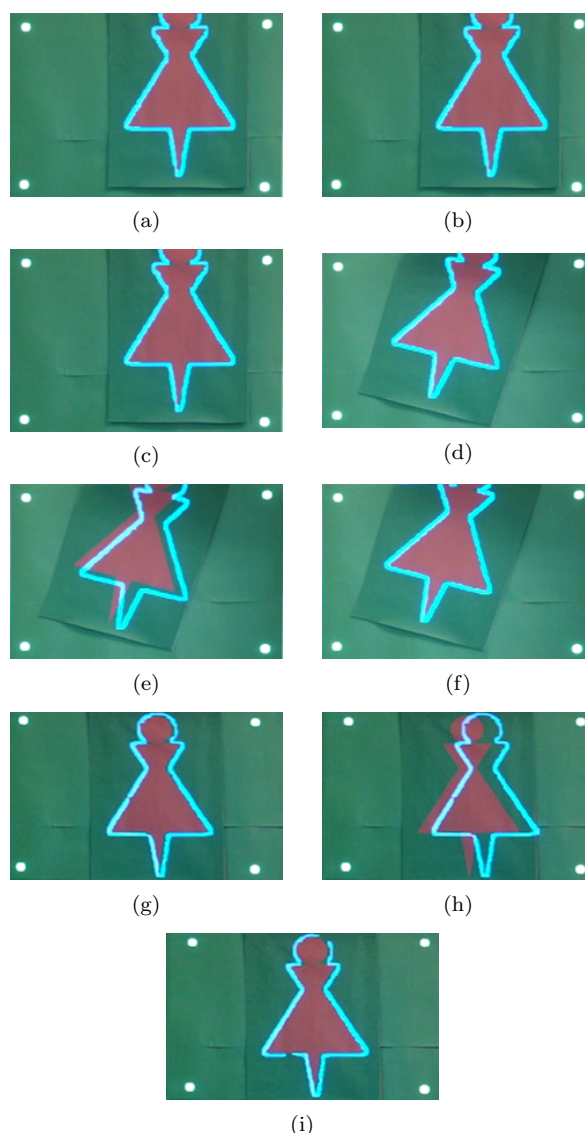


図 13 リアルタイムでの境界線表示結果

Fig. 13. Result of real-time border projection



図 14 動き検出結果

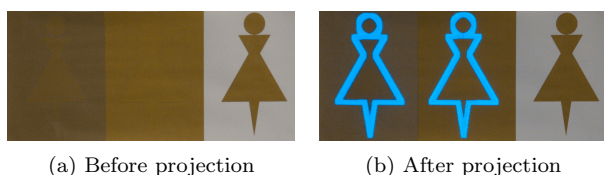
Fig. 14. Result of motion detection

分に Red の文字が投影され、図 16(a) では区別がつきにくかった上段と中段の区別がつきやすくなっている。

図 17(b) では暗緑色の部分が青色に塗潰され、図 17(a) で見分けづらかった路線が見分けやすくなっている。

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。



(a) Before projection (b) After projection

図 15 境界線表示結果 (2 型色覚シミュレーション)

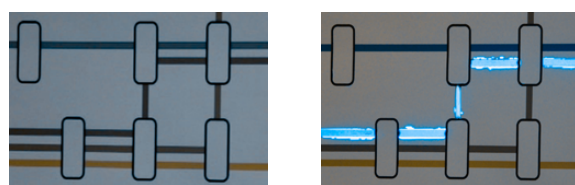
Fig. 15. Result of border projection



(a) Before projection (b) After projection

図 16 色名表示結果 (2 型色覚シミュレーション)

Fig. 16. Result of color name projection



(a) Before projection (b) After projection

図 17 塗潰し表示結果 (2 型色覚シミュレーション)

Fig. 17. Result of painting projection

8. 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の提示すること、立体の対象物に対応することなどが挙げられる。

謝 辞

本研究の一部は、財団法人日揮・実吉奨学会の補助を受けた。

参考文献

- (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) M.Tanaka and H.Goto: “Wearable Reading Assistant Device for the Blind”, IPSJ SIG Notes CVIM, Vol.2008, No.115, pp.125-130 (2008)
田中誠・後藤英昭:「視覚障害者用のウェアラブルな文字認識デバイス」, 情報処理学会研究報告, 2008-CVIM-165, pp.125-130 (2008)
- (3) Y.Suzuki, H.Hiraiwa, Y.Takeuchi, T.Matsumoto, H.Kudo, T.Yamamura and N.Ohnishi: “A System for Extracting Character Information in the Environment for Visually Impaired People”, IEEJ Transactions on

Electronics, Information and Systems, Vol.124, No.6, pp.1280-1287 (2004)

鈴木悠司・平岩裕康・竹内義則・松本哲也・工藤博章・山村毅・大西昇:「視覚障害者のための環境内の文字情報抽出システム」, 電気学論文誌 C, Vol.124, No.6, pp.1280-1287 (2004)

- (4) 田所嘉昭:「画像処理による視覚障害者歩行支援システム」, 画像ラボ, 13, 6, pp.1-5 (2002)

- (5) 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)

- (6) T.Karitsuka and K.Sato: “A Wearable Mixed Reality with an On-board Projector”, IPSJ SIG Notes. CVIM, Vol.2003, No.88, pp.141-146 (2003)

狩塚俊和・佐藤宏介:「プロジェクタ投影型ウェアラブル複合現実感システム」, 情報処理学会研究報告, 2003-CVIM-88, pp.141-146 (2003)

- (7) Y.Ogata, A.Sugamuma, AS.Shimada, D.Arita and R.Taniguchi: “Shot Supporting System with Projector-Camera System -Evaluation of Shot Supporting Information and Stance Correcting Information-”, Proceedings of Meeting on Image Recognition and Understanding 2008, pp.1114-1119 (2008)

緒方祐介・菅沼明・島田敏士・有田大作・谷口倫一郎:「プロジェクタ・カメラを用いたビリヤードショット支援システム — 撞球支援情報と姿勢の矯正情報の評価 —」, 画像の認識・理解シンポジウム 2008 予稿集, pp.1114-1119 (2008)

- (8) T.Amano and H.Kato: “Wearable Augmented Reality System Using Invisible Visual Markers”, Proceedings of Meeting on Image Recognition and Understanding 2005, pp.1614-1615 (2005)

中里祐介・神原誠之・横矢直和:「不可視マーカーを用いたウェアラブル AR システム」, 画像の認識・理解シンポジウム 2005 予稿集, pp.1614-1615 (2005)

- (9) 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)

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)

- (10) R.Miyaki, A.Yamashita and T.Kaneko: “Color Information Presentation with a Projector-Camera System Based on Registration of Projection Image and Real Object Using Projected Markers”, ITE Technical Report, Vol.33, No.11, pp.115-118 (2009)

宮木 理恵, 山下 淳, 金子 透:「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」, 映像情報メディア学会技術報告, 33, 11, pp.115-118 (2009)

- (11) 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)