

動き情報を考慮したプロジェクタ・カメラシステムによる色覚障害者への色情報提示 Color Information Presentation for Color Vision Defective by Using a Projector Camera System in Dynamic Situations

宮木 理恵† 山下 淳† 金子 透†

Rie Miyaki†, Atsushi Yamashita†, Toru Kaneko†

†静岡大学

†Shizuoka University

E-mail: f0930064@ipc.shizuoka.ac.jp

Abstract

色覚には個人差があり、中でも、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、特定の色の組み合わせにおいて色の判別が困難となることがある。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、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。また、本研究では、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、システムの動きを検出することにより安定した情報提示を行う。

1 序論

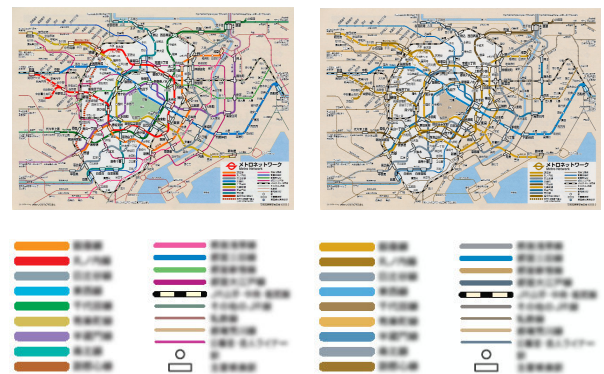
色覚には個人差がある。特に顕著な色覚の個人差は、眼球内で色を感じる 3 種類の錐体のうち、いずれかが欠損している場合である。錐体はそのスペクトル感度の違いにより、L 錐体、M 錐体、S 錐体に区別される。

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もある。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)のように赤色と緑色と茶色や灰色と青竹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障害が残っている。



(a) 一般色覚

(b) 2 型 2 色覚
シミュレーション*

図 1. 色覚の個人差の例

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]の文字情報の抽出に関する研究や田所[3]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[4]の研究が挙げられる。この研究では、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。

* 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。

色情報の提示に HMD を用いる場合、狩塚ら[5]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[6]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[5]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[7]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 研究目的

本研究では、使用者がプロジェクタ・カメラシステムを手にとって用いることで、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)。

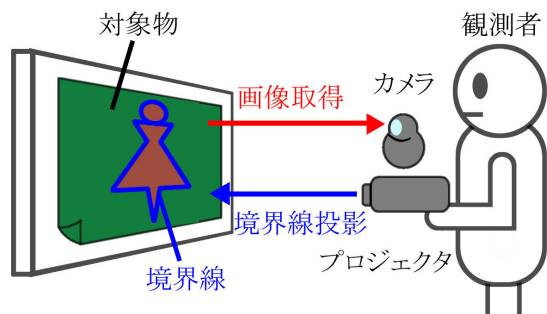


図 2. システム構成

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つかなくなる。

上記の問題を解決するために筆者らは次のような色情報の提示方法を提案した[8]。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、色情報を提示している。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。

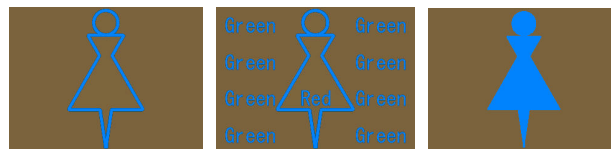


(a) 一般色覚

(b) 2 型 2 色 覚

シミュレーション

図 3. 判別困難な配色の例



(a) 境界線

(b) 色名

(c) 塗潰し

図 4. 色情報提示方法(2 型 2 色 覚シミュレーション)

しかしながらそこで示したアルゴリズムには、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。

そこで本論文では、それぞれの色情報提示方法における手法の改良について述べる。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、5 章、6 章、7 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、マーカーの検出を行い、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。

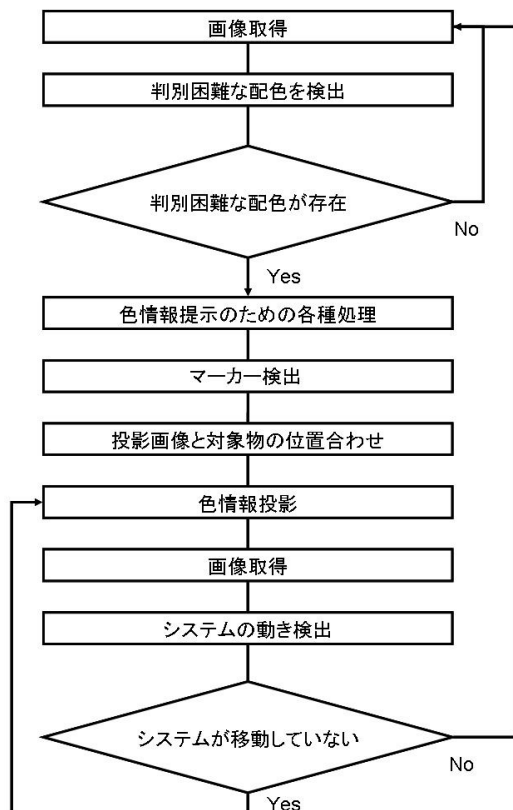


図 5. 処理の流れ

4 判別困難な配色検出

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、推定された色を検出する。本研究において、判別困難な配色とは、色相が異なるが色覚特性により判別が困難となる色の組合せである。

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。 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ならない。

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 L_1 のようになる。直線 L_1 となす角が大きい直線 L_2 上の点 B 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大きく、 xy 色度図上での距離も遠いため、判別困難な配色と判定されない。また、直線 L_1 となす角が小さい直線 L_3 上の点 C、D が与えられたとする。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、判別困難な配色と判定される。点 D 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場合、判別困難な配色と判定されない。

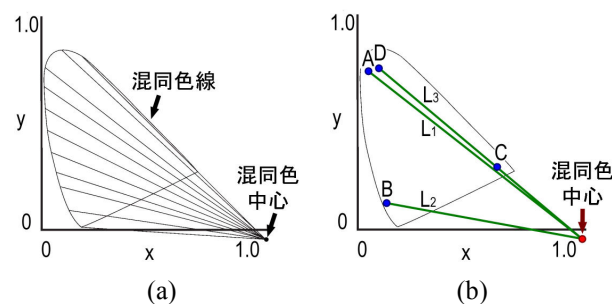


図 6. 混同色線

取得画像の全画素に対し、混同色線を算出し xy 色度図上での角度および混同色中心からの距離を保持し、判別困難な配色の検出を行う。

5 色情報提示

5.1 境界線表示

取得画像の全画素において、各画素の近傍にその画素に対し判別困難な配色となる色の画素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。

5.2 色名表示

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。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。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。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。

5.3 塗潰し表示

取得画像中に判別困難な配色が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。

6 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手に持っ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。

6.1 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。

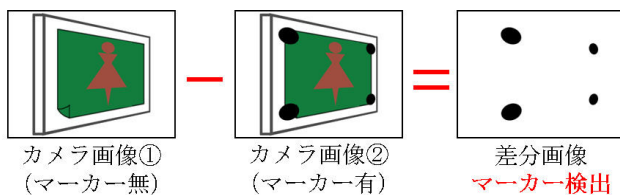


図 7. 差分によるマーカー検出

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。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。

6.2 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 $\mathbf{H}$ を算出する。

$$\begin{pmatrix} x'_i \\ y'_i \\ 1 \end{pmatrix} = \mathbf{H} \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{H} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

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

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。

7 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の算出には文献[9]の方法を用いる。

取得画像全体の算出されたオプティカルフローの総和が一定以下の場合、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し、前フレームの色情報を投影し続ける。

このことにより、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、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解決される。

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

一が求まる. 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.

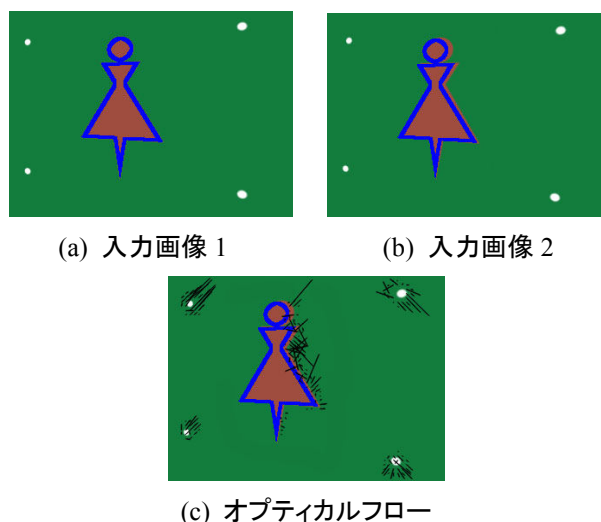


図 8. オプティカルフロー算出

8 実験

8.1 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.

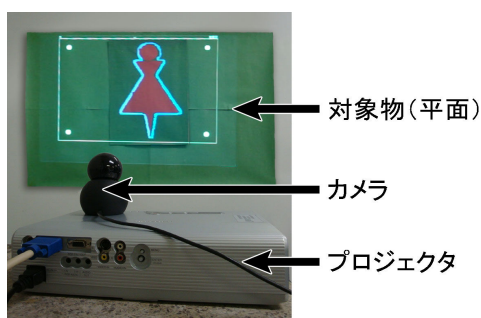


図 9. 実験装置

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, 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.

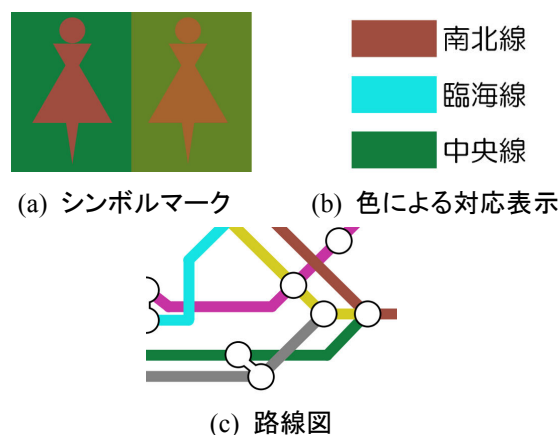


図 10. 実験に用いる対象物

8.2 実験結果

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.

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 11 に示す. 図 11(a)~(e)には, それぞれ 0.5 秒の時間差が存在する.

図 11(a)~(c)間は, プロジェクタ・カメラシステムと対象物の相対的な動きがない場合である. 図 11(a), (b)間のオプティカルフロー計算結果は図 12(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 11(c)~(e)間は, プロジェクタ・カメラシステムと対象物の相対的な動きがある場合である. 図 11(c), (d)間のオプティカルフロー計算結果は図 12(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 11(e)のような情報が投影される.

図 11 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.

境界線表示の結果が図 13, 色名表示の結果が図 14, 塗潰し表示の結果が図 15 である.

図 10(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, 図 13(b)のように暗緑色と暗赤色の境界には線が投影される. 同様に図 10(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, 黄緑色と橙色の境界には線が投影される. しかし, 図 10(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。

以上の結果より、5 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 13(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 13(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 14(b)では暗緑色の部分に Green の文字、暗赤色の部分に Red の文字が投影され、図 14(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。

図 15(b)では暗緑色の部分が青色に塗潰され、図 15(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。

9 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。

10 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。

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] 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] 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, Vol.13, No.6, pp.1-5, 2002。
- [4] 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。

- [5] 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”, 社団法人情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.2003, No.88, pp.141-146, 2003。
- [6] 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。
- [7] 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。
- [8] 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, Vol.33, No.11, pp.115-118, 2009。
- [9] 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。

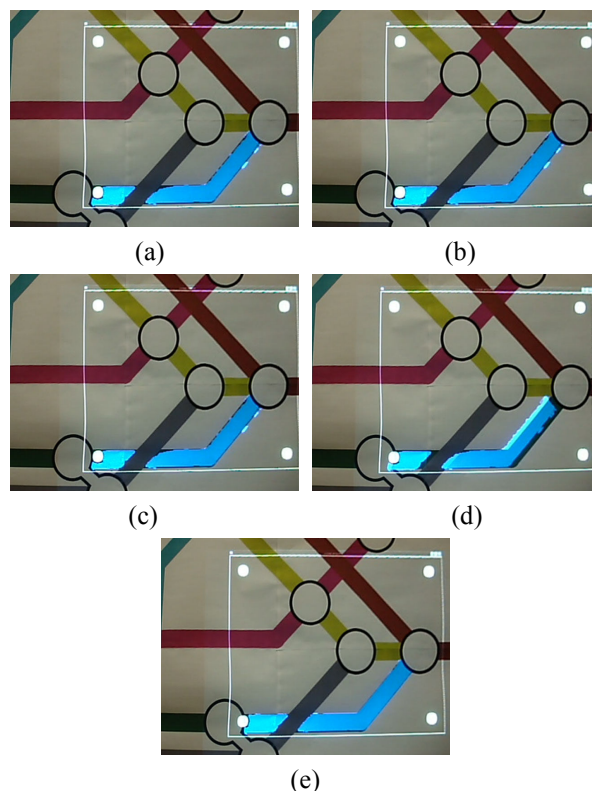


図 11. リアルタイムでの境界線表示結果

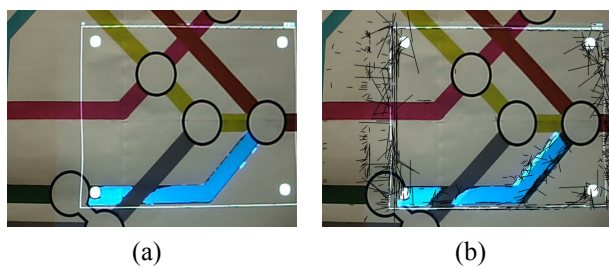


図 12. 動き検出結果

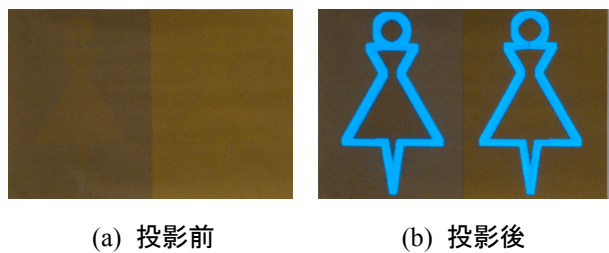


図 13. 境界線表示結果(2 型色覚シミュレーション)

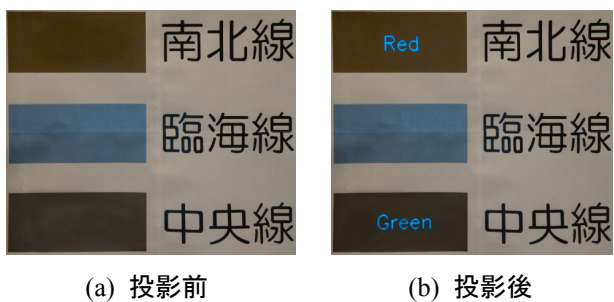


図 14. 色名表示結果(2 型色覚シミュレーション)

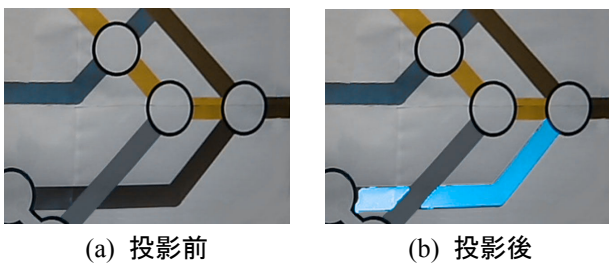


図 15. 塗潰し表示結果(2 型色覚シミュレーション)