

[研究論文]

クラスタリング手法による 色相値決定を用いたカラー手袋を装着した手指形状認識

菅谷隆浩¹・板垣泰弘¹・西村広光²・田中博²

1 博士前期課程情報工学専攻

2 情報工学専攻

Hand Shape Recognition with Color Glove using Hue Values Decision by Clustering Scheme

Takahiro SUGAYA¹, Yasuhiro ITAGAKI¹, Hiromitsu NISHIMURA², Hiroshi TANAKA²

Abstract

This paper presents a hand shape recognition method using a visible light camera. Color gloves, with different colored finger tips, are used to realize high performance hand shape recognition. Hue values are used for color detection. However, the illumination conditions affect these hue values and cause a deterioration in hand shape recognition performance. Two methods are introduced to enhance recognition performance, namely, frame rejection based on color error detection and a calibration process using a clustering scheme to decide hue values automatically. The effectiveness of the proposed methods was confirmed by experiments carried out under three different illumination conditions.

Keywords: Hand shape recognition, Color glove, Color detection, Hue value, Clustering scheme

1. はじめに

ジェスチャーや手話、指文字などを認識することで、聴覚障がい者のコミュニケーションを支援するシステムがこれまでに数多く提案されている¹⁾²⁾³⁾。本研究では、スマートフォンなどの携帯端末での利用の可能性が期待でき、表現者のコミュニケーション表現習得が容易な方法について検討を進めた。

近年のジェスチャー認識は、カメラに加えて骨格モデル情報の解析や赤外線を用いた距離センサを備えた Microsoft 社が開発した Kinect を利用した研究開発⁴⁾⁵⁾が幅広く活用されている。Kinect の普及によって、距離画像の取得が容易になってきたものの、携帯端末ではそのようなセンサの実装が難しい。加えて、現在報告されている画像のみを利用して手話などを認識する際には、明るさが異なる環境下で高速に動く手指の検出が難しい。肌色輪郭を高精度に推定する手法⁶⁾が報告されているものの、複雑な指先の動きまでを検出することは難しい。さらに、ジェスチャー認識は利用者が多様な表現を表す身振りを習得する必要があるため、利用者負担が大きいこと、手話も表現方法が多彩であ

り手話習得者は聴覚障がい者でも一部に限られているという問題がある。

指文字の認識に関しても、従来から画像処理の研究として進められているが、その認識精度は、指形状の正確な検出に大きく影響される。高精度な指形状認識のため、専用ハードウェアの使用を前提とした手指形状認識⁷⁾などのカメラ以外の装置を利用する手法も報告されている。

本研究では手軽に持ち運べるシステムであることを重視し、殆どの携帯端末が搭載しているカメラのみを利用して手指形状を正確に認識する手法を検討した。手指形状認識には、カラー情報を利用しない手法⁸⁾やカラー情報に加えて明るさ情報を応用して手の凹凸情報に着目して手形状を抽出する手法⁹⁾などが報告されている。本研究では、利用者に軽度の負担を求めるものの、手の特定領域検出に優れ、オクルージョンにも対処しやすいカラーグローブを利用した指文字の認識手法¹⁰⁾について検討した。

既存の指文字を利用するためには、全ての文字表現の手指形状を覚える必要があるため、利用者の負担が大きい。そこで本研究では、左右の手それぞれで 50 音

表の縦横の各順列を表現することで単純な手指形状かつ記憶負担が少ない手法を考案した. 本手法でユーザの記憶負担が少ないコミュニケーション支援のための手指形状と, 統制した光源での高精度な手指形状認識を実現したものの, 使用環境の違いによって明るさが異なる場合に安定した認識精度を確保できなかった¹¹⁾. カラー手袋を用いた手指形状認識に関する検討はあるものの¹²⁾, 環境の相違による明るさの変化を考慮した検討はほとんど見られない. そこで本論文では, 使用環境によりカラー手袋を撮影した際の色情報の変化がある場合でも安定した手指形状認識ができるように, 色検出閾値を使用環境にあわせて自動決定する手法を明らかにし, 実験によってその効果を確認した.

2. 提案する手指形状と認識手法

2.1 提案する手指形状とカラー手袋

筆者らは, 複雑な手指の形状や動きを認識する前段階として指の曲げ伸ばしで表現可能であり, 比較的単純な手指形状を高い精度で認識することを当面の目標としている. 認識対象である提案する手指形状の一例を Fig.1 に示す.



Fig.1 Examples of finger patterns to be recognized.

指を折り曲げた箇所を 0, 指を伸ばした箇所を 1 として解釈することにより, 単純な手指形状であるものの理論的には 5 ビットの情報を表すことができる. また, 指の曲げ伸ばしを親指, 人差し指, ... という順序にすることにより, ユーザが記憶しやすい手指形状であると考えられる.

Fig.1 で示した指の曲げ伸ばしによる手指形状は理想的には片手で $2^5 = 32$ 種類表すことができるが, 形成が難しい手指形状が存在する. そこで, 片手で表現できる 32 種類全ての手指形状に対して, 手指形状の形成しやすさを評価した¹¹⁾. 評価結果から, 薬指を伸ばして小指を折り曲げる手指形状の形成が難しいことを確認した. そこで, 薬指と小指を一体化させて手指形状を表現することとし, 形成が難しい手指形状を除いた $2^5 - 16 = 16$ 種類の手指形状を片手で表現する手指形状とする.

本手指形状認識では, 入力画像を右手用画像と左手用画像に分割することにより左右の手指を独立して認識する. ここで, 左右の手指が交差しないことを前提とする. 左右の手指を独立して認識することによって,

一動作で $16 \times 16 = 256$ 種類の情報提示が可能となり, 50 音表の文字表現以外にも多くの応用システムへの展開が期待できると思われる.

本研究で提案する手指形状の認識精度確保のためには, 各指を明確に検出する必要がある. ここで, 手指の形状を認識する方法として, 手が肌色であることや手の輪郭にそってエッジが出ることを利用した方法¹³⁾がある. しかし, この方法は, 他の肌色領域との区別がつかないことや, 各指の識別, 重なった指の区別が難しいなどという問題が有り, 認識精度の面から不利であると考えられる. そこで, 筆者らは各指を独立して認識し, 高い認識精度が期待できるカラー手袋を用いることとした. 本研究で使用するカラー手袋を Fig.2 に示す.

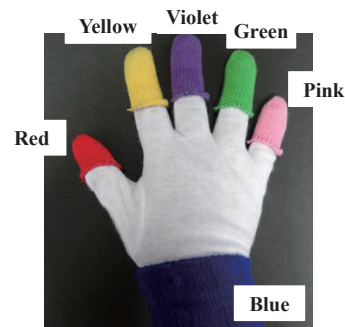


Fig.2 Color glove to be used.

指の先端に色を彩色するとともに後述する手とカメラ間の距離依存性に対し, 手首に一定の大きさのリストバンドを装着し, 撮影距離の指標とした. ここで, カラー手袋は市販品の白色手袋¹⁴⁾と色付き手袋¹⁵⁾, リストバンド¹⁶⁾から作成した. カラー手袋を使用する方法は, 認識する際に手袋を着用する必要があるというデメリットはあるものの, 各指を正しく検出できる, 各指の識別が容易である, などのメリットがある. なお, 前述で述べたとおり右手と左手の判別を行なっているため, カラー手袋の右手と左手に同一色を使用することが可能である.

2.2 手指形状認識手法

提案する手指形状認識の処理手順を Fig.3 に示す. ここで, 画面分割後の右手用画像と左手用画像は, 共に同じ処理を行うため, 以降の説明に関しては片手に限定して述べる.

まず, カメラ画像を取得し背景差分処理を適用する. 本処理を適用することにより, 背景色が色の検出処理に与える影響を少なくする.

次に, カラー手袋に彩色した各色を検出する. 本手指形状認識では, カラー手袋に彩色した色の検出に HSV 色空間の色相 (Hue) を用いる. しかし, 取得する画像は RGB 色空間のため, 式 (1) を用いて HSV 色空間に変換し色相を取得する.

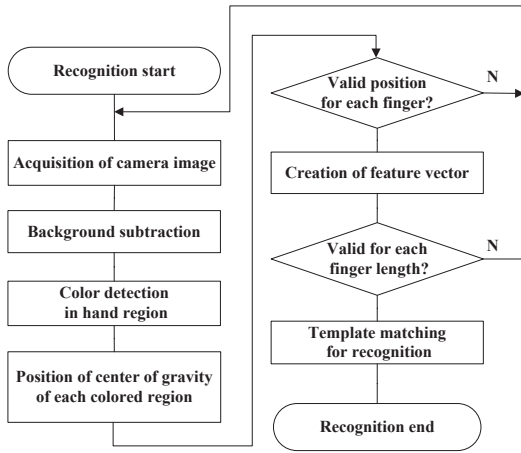


Fig. 3 Hand shape recognition sequence.

$$\begin{aligned}
 V &\leftarrow \max(R, G, B) \times 255 \\
 S &\leftarrow \begin{cases} \frac{V - \min(R, G, B)}{V} \times 255 & \text{if } V \neq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
 H &\leftarrow \begin{cases} \frac{60(G-B)}{S} \times 1/2 & \text{if } V=R \\ (120 + \frac{60(B-R)}{S}) \times 1/2 & \text{if } V=G \\ (240 + \frac{60(R-G)}{S}) \times 1/2 & \text{if } V=B \end{cases} \quad (1)
 \end{aligned}$$

ここで、

V:明度, S:彩度, H:色相

R:赤成分, G:緑成分, B:青成分

取得した色相と事前に決定した色検出閾値からカラー手袋に彩色した各色を検出し、検出された色の画素を白、それ以外の画素を黒とした二値画像を作成する。

作成した二値画像に対して、画素の連結領域の重心と連結画素数を面積として取得する。本手指形状認識では、カラー手袋に彩色した色が取得画像上に大きく映っていることを前提とし、面積が最大である画素の連結領域をカラー手袋の彩色部分とした。

各色の色相は、照明位置や太陽光の強さなどの環境光の変化によって変動する。色相が変動することによって伸ばしている指の色が取得画像上に検出されない現象(以降、色の未検出と呼ぶ)や、カラー手袋の彩色部分以外に色が検出される現象、または、カラー手袋の彩色部分に異なった色として検出される現象(以降、色の誤検出と呼ぶ)が発生し、色の検出精度が悪化する。色検出に失敗したフレームの一例を Fig.4 に示す。

Fig.4 の左は色の誤検出の一例であり、小指に彩色したピンクがカラー手袋の彩色箇所以外に検出されていることが確認できる。また、Fig.4 右は色の未検出の

一例であり、親指に彩色した赤色が取得画像上に検出されていないことが確認できる。

Fig.4 で示した現象が発生することにより、実際に形成している手指形状と認識結果である手指形状が異なり、認識精度が悪化する。この解決手段を提案、実証することが本論文のテーマであり、その第一ステップとして、2つの方法を提案する。

まず、色の未検出を回避するため、設定する色検出閾値の範囲を可能な限り広く設定する。具体的には、本手法を適用する室内空間は 5Lux~400Lux であることを想定し、5Lux と 400Lux での色相範囲の和集合をとることによって色検出閾値を設定した。設定した色検出閾値を Fig.5 に示す。なお、実験に使用したカメラは Logicool HD Pro Webcam C910(500万画素)である。ここで、色相の値が重なる色同士は、両者の中間の値をとることとした。

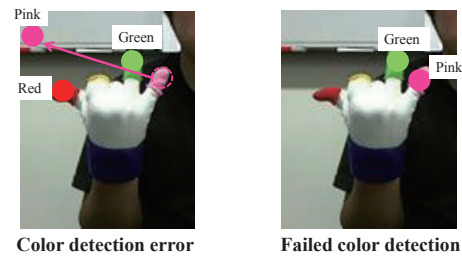


Fig. 4 Examples of color detection failures.

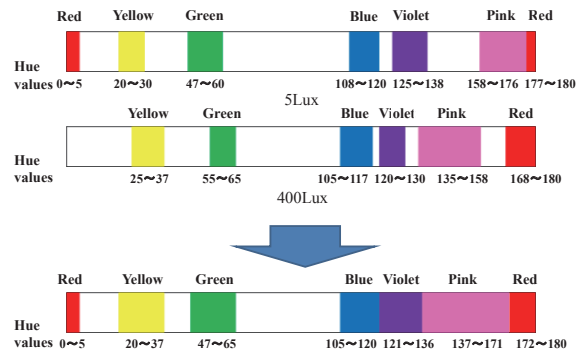


Fig. 5 Measured hue value threshold pattern for color detection.

次に、色の誤検出を解決するため、フレーム拒否判定手法を提案する。この手法は、手指形状の身体的特徴から形成した手指の形状の妥当性を判定することにより、認識精度を向上させる手法である。手指の形状が妥当であると判定した場合はそのまま認識処理に入り、妥当でないと判定した場合は色検出に失敗しているとして、そのフレームを認識対象から除外し、次のフレームへ移る。

まず、指の位置関係の妥当性を判定する。本研究で提案する手指形状の形成では、カメラの前で手の甲を正対させ、その状態で指の曲げ伸ばしを行うため、指

同士が交差したり、手がカメラに対して横になるという事は起きない。したがって、手を開いているときの各指の位置関係が保持されることになる。この特徴を利用し、色が正しい位置に検出されているかどうかを判定する。

具体的には Fig.6 において、画像上の座標原点を左上とした場合、身体的な手指の形状の特徴として、親指、人差し指...の順にその先端の x 座標値は大、また、 y 座標値に関しては手首の重心位置が指に比べ大、となる条件を設定し、その条件を満たさない場合は、色の誤検出が発生したとして、そのフレームを認識対象から除外する。

さらに指の長さから色検出の妥当性を判定する。まず、手首の中心から各指先までの彩色部分の重心間距離を式(2)で算出し、5次元の特徴ベクトル \mathbf{d} を構成する。ここで、手首と各指先間の重心間距離はカメラとユーザとの距離に依存するため、手首に彩色した色の面積 S で正規化を行う。

$$d_i = \frac{\sqrt{(fx_i - wx)^2 + (fy_i - wy)^2}}{\sqrt{S}} \quad (2)$$

ここで、

(fx_i, fy_i) : 各指先の彩色部分の重心位置

($i = 1, 2, 3, 4, 5$)

(fx_i, fy_i) : 手首の彩色部分の重心位置

S : 手首の彩色部分の面積

式(2)で算出した特徴ベクトルの各要素を指の長さで定義する。ここで、事前調査から式(2)で求める指の長さは 1.5~3.5 の範囲内となることが判明している。そこで、指の長さに若干個人差があることを考慮し、指の長さの条件を式(3)のとおりを設定した。式(3)を満たしていない場合には、色が誤検出していると判定してそのフレームを拒否し、次のフレームへ移る。

ここまでの処理で、手指の形状であると判定されたフレームは色の検出に成功していると判断し、認識処理に移る。認識処理では、式(2)で生成した特徴ベクトルと、事前に登録したテンプレートデータとのベクトル間距離を算出し、最近傍法により認識結果を得る。

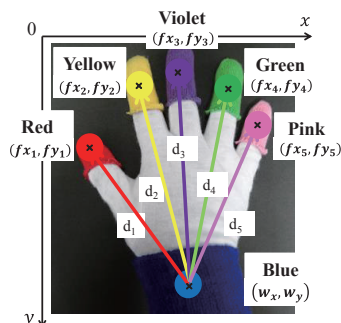


Fig. 6 Elements of feature vector of hand shape.

$$1 < d_i < 4 \quad (3)$$

3. クラスタリングを用いた色検出閾値の決定

提案した第一ステップである手指形状認識手法を用いることによって、認識精度を高められることを確認している¹⁷⁾。しかし、存在し得る指の位置で色を誤検出した場合には、第一ステップの処理では誤りを回避することができない。加えて、第一ステップの処理で判定した拒否フレームは時系列でパースト的に発生する傾向にある。これらの問題は、色検出精度が低いことに起因しているといえる。さらに、Fig.5 で設定した色検出閾値を用いる場合、今回作成したカラー手袋と完全に同一のものを同一カメラで撮影する必要があり、カラー手袋の微妙な色合い差異や撮影カメラの色感度の差異のために、環境ごとに色検出閾値を調整する必要がある。そのため、汎用的な利用を実現するためには、使用場所による環境光やカメラの変化の影響を受けづらい色検出手法を確立する必要がある。

本章では、これらの問題を解決する色検出精度を高める手法を提案する。具体的には、色検出閾値の決定方法を検討し、環境光が異なる場合においても、高精度に色を検出する手法を検討した。検討した色検出閾値の決定手順を Fig.7 に示す。

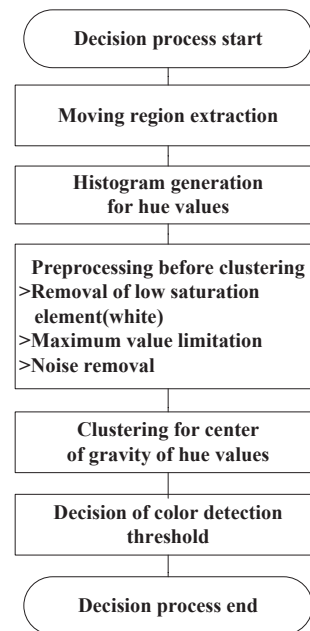


Fig. 7 Proposed hue value threshold decision.

カメラで手指を撮影する場合、その視野範囲を確認するために、手を上下左右に動作させることが多い。考案手法は、この自然に行う上下左右に動かす動作の映像を利用して、色検出閾値の決定を行うこととした。

具体的には、カラー手袋を装着した手で円を描くように動かした 100 フレーム分 (30fps) の画像を取得し、動いている情報のみを取り出すため時系列で差分画像を取得した。取得した時間差分画像を Fig.8 に示す。

次に、100 フレーム分の時間差分画像の色相出現頻度を求め、ヒストグラムを生成する。生成した色相ヒストグラムの一例を Fig.9 に示す。

研究の初期段階で求めた色相ヒストグラムから色検出閾値を求めるため、クラスタリングの代表的手法である k-means 法を用いて実験を行った。しかし、k-means をそのまま適用した場合、以下に示す問題が発生し、決定した重心が対象データの正しい位置に定まらなかった。

- (1) 手袋の白色部分や肌色部分が検出された。
- (2) カメラの色検出特性の偏りのため、色相の出現頻度に過剰な差異がみられた。
- (3) ノイズである色相が僅かな頻度で幅広く検出された。
- (4) 同一色内に複数の重心が設定することがあった。
- (5) 検出されない色が2つの検出色の中間色として重心が求められることがあった。
- (6) 初期値の与え方によって収束条件の設定を大きく変更する必要があった。

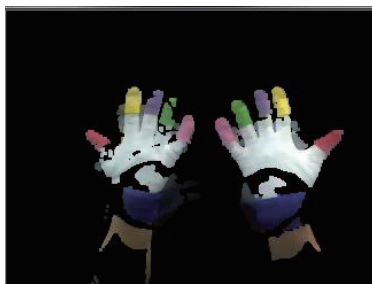


Fig. 8 Moving region image by time subtraction.

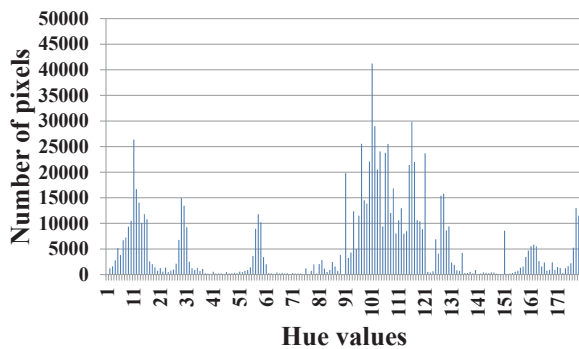


Fig. 9 Example of generated histogram of hue values.

そこで、上記の問題を解決するための方法を提案する。まず、色相のヒストグラムに対し以下の前処理を与えた。

- (1) 白色は低彩度で安定した範囲で検出ができるため、彩度の閾値判定によって白色を除去した。また、肌色は個人差があるため除去が難しいため、カラー手袋に彩色した6色と同様にクラスタリングの対象とし、環境光の違いに影響されない色にした。

- (2) 色相ヒストグラムの最大値を、その値がクラスタリングに過剰な影響を与えないように、全画素数 / 色相範囲の2倍に制限した。
- (3) 色相ヒストグラムの最大値が、全画素数 / 色相範囲の半分に満たない場合はノイズとして除去した。

さらに、k-means 法に対してクラスタリング対象の特性を考慮し本対象に特化したアルゴリズムとして改良を行った。

- (4) 検出対象の色相は、それぞれ十分に離れている色を選択している。そのため、対象の色相値を考慮して各色の重心は3°以上離して検出することとした。
- (5) 色の重心を求める判定ではなく、検出色の中から代表色を選出する処理であるため、現実を反映しない色相の出現数が0の箇所には重心を設定しないこととした。
- (6) 検出する色が決まっているので、安定した色検出閾値の決定を行うために、各クラスターの重心の初期値を各色の色相に近い箇所に設定(肌色:15, 黄色:30, 緑:60, 青:110, 紫:130, ピンク:165, 赤:175)した。

ここで、着用している衣服の袖が色検出閾値の決定に影響を与える可能性が考えられるが、今回は低彩度の色でなおかつ半袖の衣服を着用していることを前提としたため、無視できるものとしている。

以上のヒストグラムに対する前処理と、独自のクラスタリング手法を用いて、対象データから各クラスターの重心を取得した。取得した各クラスターの重心の一例を Fig.10 に示す。ここで、各クラスターの重心は、肌色:11, 黄色:29, 緑:57, 青:116, 紫:127, ピンク:162, 赤:177である。

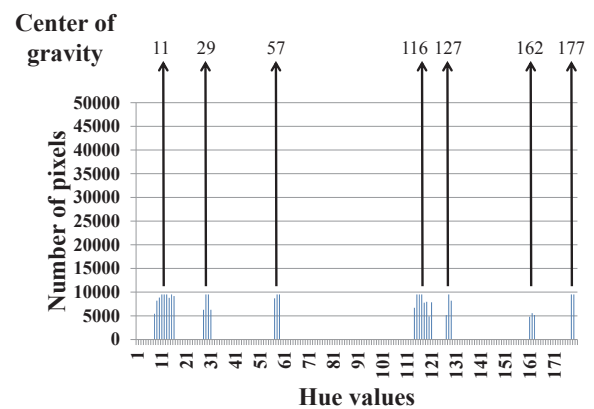


Fig. 10 Example of center of gravity of each cluster.

最後に、各色の色相の範囲を指定し、色検出閾値を決定する。ここで、各色の色相の範囲を環境光の明るさを変えて調査した。その結果、カラー手袋に彩色し

た色の色相の範囲は、ピンクが約 20°, その他の色は約 10°であることを確認した。これらの値を、重心位置を中心として色検出閾値の範囲とした。また、各色の色相判定範囲が重なった領域では、より近い重心の値で色判定することとした。

実際に、複数の環境下で、提案した手法を用いて色検出閾値を決定する。決定した色検出閾値の一例を Fig.11 に示す。

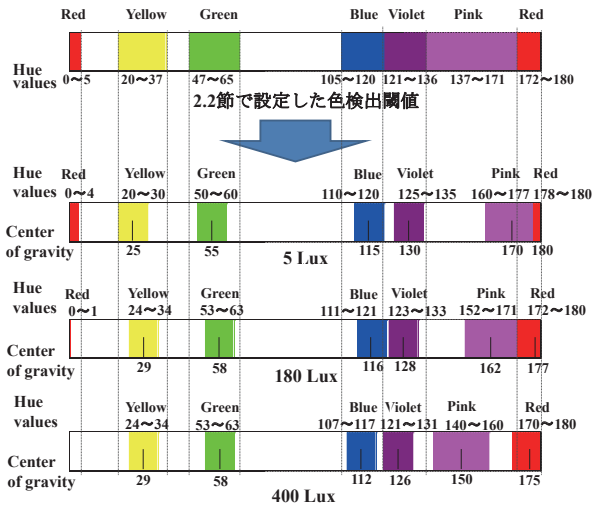


Fig. 11 Example of hue value threshold pattern for color detection.

4. 評価実験

4.1 実験条件

提案した色検出閾値決定手法の有効性を確かめるため、環境光が大きく異なる 3 つの環境下で色検出精度と手指形状認識精度の評価実験を行った。実験環境を Fig.12 に、実験環境の照明条件を Table.1 に示す。

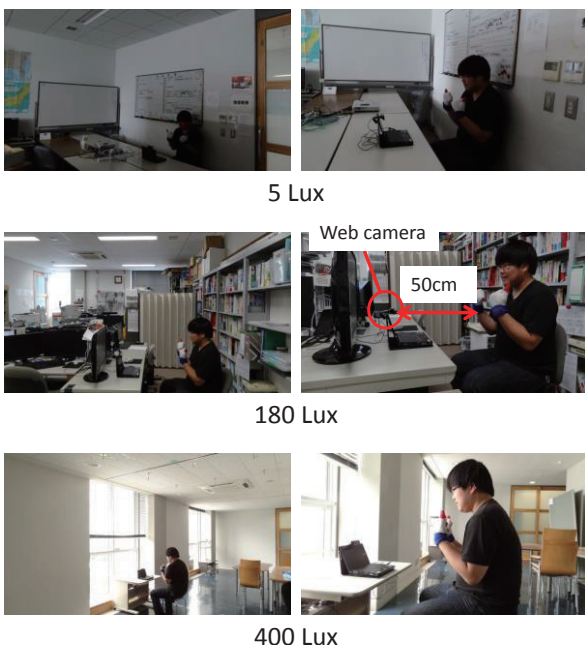


Fig. 12 Experimental environment.

Table 1 Illumination conditions of experimental environment.

Illumination	Room light conditions	Influence of sunlight
5Lux	Only overhead light turned on. All others off	Small
180Lux	All lights turned on	Small
400Lux	All lights turned off	Large

5Lux の環境は、太陽光が直接当たらない室内において、昼間に被験者直上付近の照明のみを消し、読書するには薄暗いと感じる程度の明るさである。180Lux の環境は、室内の照明を全て点灯させ、太陽光の影響が少ない環境である。400Lux の環境は、照明は消えているものの太陽光の影響を強く受ける窓際の環境である。評価対象とした手指形状を Table.2 に示す。評価対象とした手指形状は、指 1 本ずつの検出と 5 本同時の検出に問題がなければ他の手指形状での指の検出も正常にできると判断し決定した。また、実験には 2.2 節で使用した Web カメラを使用し、解像度 320×240, 30fps で撮影した動画像を利用した。

Table 2 Hand shapes used in experiment.

Finger pattern	00001	00010	00100	01000	10000	11111
Finger extended	Thumb	Fore finger	Middle finger	Ring finger	Little finger	All fingers

4.2 実験結果—色検出精度—

色検出結果の一例を Fig.13 に示す。Fig.13 では、検出された色の重心を線の交点で示している。2.2 節で述べた手法のみを用いた場合には薬指に彩色した緑以外に、カラー手袋の白色が黄色として誤検出されている。しかし、提案した色検出閾値決定手法を導入することにより、カラー手袋に彩色した色のみ検出できており、色検出に成功したことが確認できる。

色検出精度の評価結果を Table.3 に示す。Fig.13 のような処理結果を目視で確認し、検出した色の重心がカラー手袋の彩色領域内に収まっていれば色検出に成功したと判断した。

評価結果から、提案した色検出閾値決定手法の適用前後で、環境光 5Lux においては平均色検出成功率が 10.8%から 93.7%に、400Lux においては 51.7%から 99.2%に向上したことがわかる。この結果から、提案した手法を用いることで色検出精度を高められることを確認した。

色検出精度が向上した理由として、提案手法により、色検出閾値の範囲を狭く絞り込めたことによりカラー手袋の彩色箇所以外の色を検出することを抑制できたことや、他の色の閾値との間隔を広くし、カラー手袋に彩色した色どうしが誤検出しなくなった（例えばピンクが赤として検出、またはその逆など）ことが挙げられる。また、低彩度である特徴を活かして白色の除去を正確に行うことができたことも色検出精度向上に影響したと考えられる。

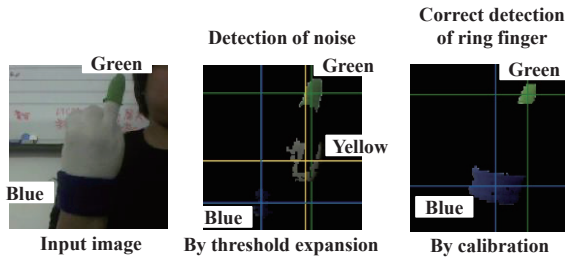


Fig. 13 Example of color detection results.

Table 3 Experimental results for color detection.

Illumination	Finger pattern	Acquired frames	Without Calibration			Average success ratio	With Calibration			Average success ratio
			Color detection failure frames	Color detection success frames	Detection success ratio		Color detection failure frames	Color detection success frames	Detection success ratio	
5Lux	00001	300	300	0	0.0%	10.8%	40	260	86.7%	93.7%
	00010	300	160	140	46.7%		0	300	100.0%	
	00100	300	300	0	0.0%		6	294	98.0%	
	01000	300	246	54	18.0%		0	300	100.0%	
	10000	300	300	0	0.0%		17	283	94.3%	
	11111	300	300	0	0.0%		50	250	83.3%	
180Lux	00001	300	0	300	100.0%	99.2%	0	300	100.0%	98.3%
	00010	300	0	300	100.0%		16	284	94.7%	
	00100	300	0	300	100.0%		10	290	96.7%	
	01000	300	10	290	96.7%		0	300	100.0%	
	10000	300	1	299	99.7%		1	299	99.7%	
	11111	300	3	297	99.0%		4	296	98.7%	
400Lux	00001	300	154	146	48.7%	51.7%	6	294	98.0%	99.2%
	00010	300	124	176	58.7%		0	300	100.0%	
	00100	300	0	300	100.0%		1	299	99.7%	
	01000	300	271	29	9.7%		1	299	99.7%	
	10000	300	300	0	0.0%		0	300	100.0%	
	11111	300	21	279	93.0%		6	294	98.0%	

4.3 実験結果—手指形状認識精度—

手指形状認識精度の評価結果を Table.4 と Table.5 に示す. Table.4 は, 2.2 節で述べた手法のみを用いた場合であり, Table.5 は, それらに加えて色検出決定手法を導入した場合の認識結果である. このとき被験者は 1 名とし, 認識辞書テンプレートは, 被験者本人のものを各手指形状に対して 1 つ用意した. 本手指形状は曲げ, 伸ばしという単純な形状であることから, 被験者の相違やテンプレートの数に認識精度が影響されないことを事前に確認している¹¹⁾.

ここで, 取得フレーム (Acquired frames) はカメラで取得した全フレーム数, 拒否フレーム (Rejected frames) は手指形状の特徴から色検出に失敗していると判定し拒否したフレーム数, 誤認識フレーム数 (Error frames) は形成した手指形状と認識結果である手指形状が異なるフレーム数, 認識成功フレーム数 (Success frames) は, 形成した手指形状と認識結果である手指形状が一致したフレーム数である. また, 認識精度の指標には誤認識フレームの影響度を考慮してよく使われている拒否フレーム数 + 4 × 誤認識フレーム数 (Reject+4Error) を使用し, 認識成功率 (Recognition success ratio) は, 認識成功フレーム数 / 取得フレーム数で定義した.

評価結果から, 提案した色検出閾値決定手法を導入し, 色検出精度が向上したことにより, 平均認識成功率が環境光 5Lux においては 7.8% から 93.8% に, 400Lux においては 66.3% から 99.3% に向上し, 提案手法の有効性を確認した.

Table 4 Experimental results –without proposed method-.

Illumination	Finger patterns	Acquired frames	Rejected frames(R)	Error frames(E)	Success frames	R+4E	Recognition success ratio	Average
5Lux	00001	300	91	209	0	927	0.0%	7.8%
	00010	300	158	2	140	166	46.7%	
	00100	300	292	8	0	324	0.0%	
	01000	300	255	45	0	435	0.0%	
	10000	300	240	60	0	480	0.0%	
	11111	300	300	0	0	300	0.0%	
180Lux	00001	300	0	0	300	0	100.0%	98.4%
	00010	300	0	0	300	0	100.0%	
	00100	300	0	0	300	0	100.0%	
	01000	300	7	3	290	19	96.7%	
	10000	300	1	14	285	57	95.0%	
	11111	300	0	3	297	12	99.0%	
400Lux	00001	300	21	6	273	45	91.0%	66.3%
	00010	300	62	0	238	62	79.3%	
	00100	300	0	2	298	8	99.3%	
	01000	300	259	1	40	263	13.3%	
	10000	300	136	99	65	532	21.7%	
	11111	300	2	19	279	78	93.0%	

Table 5 Experimental results –with proposed method-.

Illumination	Finger patterns	Acquired frames	Rejected frames(R)	Error frames(E)	Success frames	R+4E	Recognition success ratio	Average
5Lux	00001	300	9	31	260	133	86.7%	93.8%
	00010	300	0	0	300	0	100.0%	
	00100	300	0	6	294	24	98.0%	
	01000	300	0	0	300	0	100.0%	
	10000	300	3	14	283	59	94.3%	
	11111	300	9	40	251	169	83.7%	
180Lux	00001	300	0	0	300	0	100.0%	98.2%
	00010	300	16	0	284	16	94.7%	
	00100	300	0	10	290	40	96.7%	
	01000	300	1	0	299	1	99.7%	
	10000	300	0	1	299	4	99.7%	
	11111	300	0	4	296	16	98.7%	
400Lux	00001	300	6	0	294	6	98.0%	99.3%
	00010	300	0	0	300	0	100.0%	
	00100	300	0	1	299	4	99.7%	
	01000	300	1	0	299	1	99.7%	
	10000	300	0	0	300	0	100.0%	
	11111	300	0	4	296	16	98.7%	

5. まとめ

環境光が異なる場合に発生する色の未検出, 色の誤検出という色検出が失敗する要因に対して, 色検出閾値を広く設定し, また, 提案する手指形状の特徴を考慮して, 色が誤検出したと判定したフレームを認識対象から除外した.

さらに, 上記の手法で解決できなかった, 色検出精度が十分でないことに起因する問題に対し, 対象の特徴を考慮した前処理を行うクラスタリングを用いた色検出閾値決定手法を導入し, 色検出閾値を自動で決定することで色検出精度を高める方法を提案した.

提案した色検出閾値決定手法の有効性を確かめるため, 環境光が大きく異なる 3 つの環境下で色検出精度と認識精度の評価実験を行った. その結果, 提案手法の適用前後で平均色検出成功率が 5Lux の環境下で 10.8% から 93.7% に, 400Lux の環境下で 51.7% から 99.2% に向上した. また, 平均認識成功率が約 5Lux の環境下で 7.8% から 93.8% に, 約 400Lux の環境下で 66.3% から 99.3% に向上し, 提案手法を用いることによる色検出精度と認識精度への効果を確認した.

参考文献

- [1] Richard A. Bold : Put-that-there: Voice and gesture at the graphics interface, SIGGRAPH'80 Proceedings of the 7th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp.262-270, (1980).
- [2] 益満健, 小林哲則: 部分隠れマルコフモデルとそのジェスチャー認識への応用, 信学技報, PRMU97-203, pp.55-62, (1998).
- [3] 中村卓, 高橋伸, 田中二郎: 大画面環境におけるハンドジェスチャーの選択手法, 信学論 (D), Vol.J96-D, no.4, pp.978-988, Apr.2013.
- [4] 松島慎亮, 桑原教彰, 森本一成: Kinect を用いた手指形状の 3 次元計測の一手法, 日本人間工学会関西支部大会講演論文, Vol.2011, pp.107-108, (Dec.2011).
- [5] 西村洋介, 今村大輔, 堀内靖雄, 川本一彦, 篠崎隆宏, 黒岩眞吾: Kinect とパーティクルフィルタを用いた HMM 手話認識手法の検討, 信学技報, PRMU2011-223, pp.161-166, (Feb.2012).
- [6] 浜田康志, 島田伸敬, 白井良明: 手話認識のための複雑背景化で高速に運動する手指の形状推定, 信学論 (D), Vol.J90-D, no.3, pp.617-627, (Mar.2007).
- [7] 肥川宏臣, 藤村紘匡, 佐藤大輔: ハードウェア向き指文字認識アルゴリズム, 信学論 (D), Vol.J92-D, no.3, pp.405-416, (Mar.2009).
- [8] 遊佐博幸, 兵庫明, 関根慶太郎: 基準抽出による 2 次元平面上における手形状認識, 信学論 (D), Vol.J80-D-II, no.5, pp.1209-1220, (May, 1997).
- [9] 三留綾, 市毛弘一, 石井六哉: マスキングと規格化処理を用いた手領域画像の特徴解析及び手指形状認識, 信学論 (D), Vol.J89-D, no.6, pp.1369-1378, (Jun.2006).
- [10] 渡辺賢, 岩井儀雄, 八木康史, 谷内田正彦: カラーグローブを用いた指文字の認識, 信学論 (D), Vol.J80-D-II, no.10, pp.2713-2722, (Oct.1997).
- [11] 菅谷隆浩, 庄司貴哉, 須崎耕平, 加藤正樹, 鈴木孝幸, 西村広光, 田中博: カラー手袋をした手の動作および手指認識を利用した文字入力に関する実験的検討, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム, pp.1287-1294, (2012).
- [12] 吉野和芳, 川嶋稔夫, 青木由直: カラー手袋を用いた手話認識手法, 情報処理学会研究報告, コンピュータビジョン研究会報告 95(68), pp.51-58, (1995).
- [13] 山田寛, 松尾直志, 島田伸敬, 白井良明: 手話認識のための見えの学習による手領域検出と形状識別, 画像の認識・理解シンポジウム, IS1-37, pp.635-642, (2009).
- [14] 白手袋大人用 L, 株式会社べりい通販部, <http://www.amazon.co.jp/dp/B0057TZN88>.
- [15] 子どもカラー軍手(全 11 色), ロリポップ, <http://www.amazon.co.jp/dp/B004E50GDS>.
- [16] リストバンド(ジャパンプルー), プリントスター, <http://store.shopping.yahoo.co.jp/radio-flyer/tp-550-rsb.html>.
- [17] 菅谷隆浩, 加藤正樹, 鈴木孝幸, 西村広光, 田中博: 周辺環境を考慮したカラー手袋による手指形状の認識実験とその評価, HCG シンポジウム 2012, HCG2012-III-2-3, pp.117-122, (2012).