

顔の向きの変化に強い瞳検出方法の研究

加島 英樹† 本郷 仁志‡ 加藤 邦人† 山本 和彦†
†岐阜大学 工学部 ‡HOIP, ソフトピアジャパン/科技団

本研究では顔の向き変化や個人差に対応した瞳検出方法を提案し、これらの処理をリアルタイムで行うことを目的とする。本研究の瞳検出は大きく分けて顔部品抽出処理と瞳の位置検出処理から成る。顔部品抽出処理は、4方向面特徴とUV値の色の情報を利用したテンプレートマッチングにより顔の向きの変化や個人差に対応した抽出を行う。瞳の位置検出処理は、色の情報を用いた瞳の切り出しとHough変換により高速かつ安定した検出を行う。顔の向き異なる顔画像に対して実験を行った結果、目領域抽出率は平均で約98%、瞳検出率は平均で約93%であった。

A Research of the Iris Detection Method Adapted for the Direction of the Face

Hideki Kashima† Hitoshi Hongo‡ Kunihito Kato† Kazuhiko Yamamoto†
†Faculty of Engineering, Gifu University ‡HOIP, Softopia Japan/JST

We propose the iris detection method adapted for the change of the face direction and the individual difference of the face. Our iris detection method consists of facial parts extraction processing and iris position detection processing. The facial parts extraction performs the eyes and mouth extraction against changing of face direction and the individual difference by template matching using the four directional features field and UV value field. The iris position detection performs high speed and stable detection by segmentation of iris region using color information and the Hough transform. The experiments showed that the rate of eye extraction was approximately 98%, and the rate of iris detection was approximately 93% from the various directions of the faces.

1 はじめに

瞳の位置情報を用いたアプリケーションの研究が多数行われている[1][2][3]。その中に赤外光を用いて視線方向を検出するものがある[1]。赤外光を用いたものは高精度である反面、装置が複雑となり、計測範囲が限られている。カメラを用いた研究も多数行われている[2][3]。視線方向の検出を行うためには様々な角度を向いた顔画像に対して処理を行う必要

がある。しかし、多くの論文では顔の向きに対する瞳抽出精度は詳しく述べられていない。また、検出精度を向上させるために、対象人物を特定したものもある[3]。そこで本論文では顔の向きの変化や個人差に対応した瞳の位置検出方法を提案し、顔の向きによる顔部品の形状変化に対するロバスト性を評価する。我々はすでに4方向面特徴と色情報をあわせもつテンプレートによる顔部品抽出方法を提案してい

る[4]。本論文では色の情報を用いた瞳領域の切り出しと円の Hough 変換を用いて瞳検出を行う。

2 顔部品抽出方法

2.1 顔領域抽出手法

まず、目領域を抽出する前に顔領域の抽出を行う。入力画像中から先に顔領域を決定することで顔部品の探索範囲を狭め、顔部品抽出の処理時間の短縮を図る。顔領域の抽出方法として色相値を用いたものがあるが[5]、これらは背景中に同色系が存在する場合に誤抽出を起しやすいためといった問題点がある。そこで、同色系が存在する背景に対しても比較的強い LUV 表色系を用いて顔領域の抽出を行う。

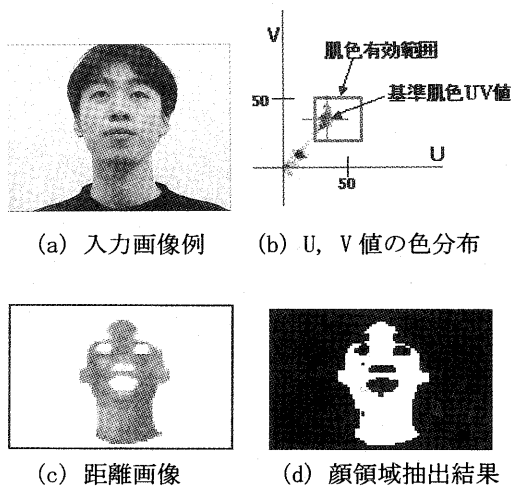


図1. 肌色抽出処理

まず、入力画像の各画素に対して RGB 値から LUV 値へ変換する。入力画像の例を図 1(a)に示す。そして、各 U, V 値の組み合わせとなる画素数を計算し、図 1(b)のような U, V 値の色分布を作成する。日本人をサンプルとしてあらかじめ定めた肌色有効範囲内で画素数が最大の U, V 値を基準肌色 UV 値とし、次に、入力画像の各画素の U, V 値と基準肌色 UV 値との距離を

計算する。図 1(c)の画像は距離を計算した結果であり、色が黒いほど基準肌色 UV 値に近いことを表している。そして、基準肌色 UV 値からの距離のヒストグラムを作成して判別分析法により 2 値化を行い、顔領域を抽出する。図 1(d)は顔領域が抽出された結果である。

2.2 顔部品抽出手法

本研究では、顔部品の抽出にテンプレートマッチング法を用いる。形状に着目した顔部品の抽出は以下の2つの問題点が考えられる。まず、対象とする人物の違いにより各顔部品の形状が異なること。次に、対象とする人物が同一であっても顔の向きの変化が生じたときに各顔部品の形状も変化することである。そこで本研究では 4 方向面特徴[6]と色の情報をテンプレートとして持ち、形状変化に対応したテンプレートマッチングを行う。

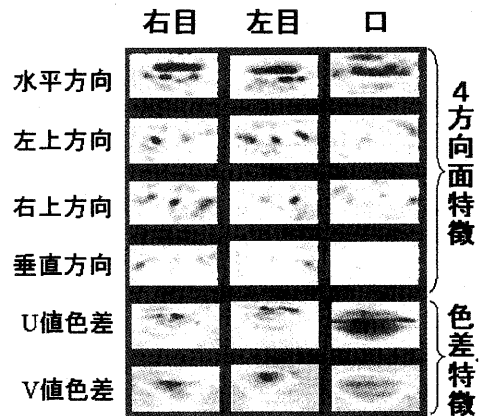


図2 各顔部品6種類のテンプレート

まず、テンプレートの作成方法について述べる。テンプレートは図 2 に示すような右目、左目、口のそれぞれに 4 方向面特徴のテンプレート 4 枚と、基準肌色 UV 値からの U, V 値の差のテンプレート 2 枚とで合計 6 枚ずつ作成する。4 方向面特徴とはエッジ成分を水平方向、左上がり方向、右上がり方向、垂直方向に分けてからガウシアンフィルタによりぼかし処理

を施したものである。エッジ成分にそのままぼかし処理を施すのに比べ、4方向面に分けることにより形状情報を保持する特徴がある。よって4方向面特徴は、ぼかし処理を施すことで形状変化に強くなる。また、基準肌色 UV 値からの U, V 値の差の情報は、顔の向きの変化が生じて顔部品の形状が大きく変化した場合でも色の変化は比較的少ないため形状変化に対して有効であると考えられる。U, V 値をテンプレートとするのではなく基準肌色 UV 値との差をとったのはテンプレート作成時と入力画像との環境の違いを吸収するためである。

以上のようにして作成したテンプレートを用いてテンプレートマッチングを行う。先に求めた顔領域に対して、膨張、収縮処理を行い、ノイズを除去する。そして、ラベリング処理を行い面積が最大のもを抽出した後、穴埋め処理をする。以上の処理を施した後、その領域を対象に各顔部品の存在する可能性として評価値 V を計算する。評価値 V は4方向面特徴の相関値 E と色の情報の相関値 C にある重み w をかけたものの和により決定する。本論文では $w=1$ とした。評価値 V 、相関値 E 、 C の計算式を下の式 1(1), (2), (3) に示す。式 1 の I, t はそれぞれ入力画像とテンプレートの各画素を表す。式 1(1) の $E1$ から $E4$ はエッジの方向を表す。式 1(2) の $m \times n$ はテンプレートのサイズを、 u, v はそれぞれ U, V 値を表す。式 1(c) による評価値を、閾値で判別して各顔部品の候

補領域を決定する。各顔部品の候補領域の全組み合わせに対して右目は左目より右にあるとか、口は目より下にあるといった簡単なルールを適応し、明らかに誤った組み合わせを排除する。この様に制限された組み合わせの中から評価値の最も高い組み合わせを顔部品抽出結果とする。

3 目領域抽出実験

3.1 実験データ

顔の向きに対する本手法の精度を評価するために顔の向きの異なる画像を撮影した。撮影環境を図 3 に示す。被験者を椅子に座らせ、視標 A, B, C の方へ鼻先と視線を向けさせる。それぞれの視標を見ている時に被験者の前方に図中のように設置した 15 個のカメラで撮影することで、上下方向に 0, 5, 10 度、左右方向に 0, 5, 10, 15, 20 度の組み合わせの合計 45 方向の顔の向きの画像を収集できる。

実験データは被験者 8 人、1 方向 1 枚、1 人 45 枚、合計 360 枚、入力画像の解像度は 640×480 であり、背景は単純背景である。これは本実験では顔領域抽出手法の環境へのロバスト性を評価するのではなく、顔の向きの変化に対する顔部品抽出手法を評価するためである。なお、カメラと被験者との距離は固定されており、入力画像には被験者の頭部と肩が含まれる。

$$E = \frac{\left\{ \sum_i \left((I_i^{E1} \times t_i^{E1}) + (I_i^{E2} \times t_i^{E2}) + (I_i^{E3} \times t_i^{E3}) + (I_i^{E4} \times t_i^{E4}) \right) \right\}^2}{\sum_i \left((I_i^{E1})^2 + (I_i^{E2})^2 + (I_i^{E3})^2 + (I_i^{E4})^2 \right) \times \sum_i \left((t_i^{E1})^2 + (t_i^{E2})^2 + (t_i^{E3})^2 + (t_i^{E4})^2 \right)} \quad \dots(1)$$

$$C = 1 - \frac{\sum_i (I_i^u - t_i^u)^2 + \sum_i (I_i^v - t_i^v)^2}{2 \times U_{\max} \times V_{\max} \times m \times n} \quad \dots(2) \quad V = E + wC \quad \dots(3)$$

式 1 (1) 相関値 E の計算 (2) 相関値 C の計算 (3) 評価値 V の計算

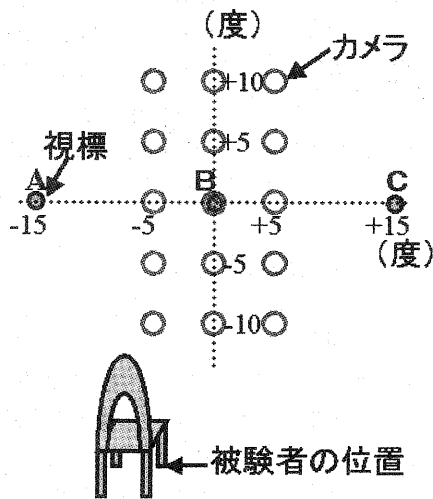


図3 実験データ撮影環境

3. 2 実験結果と考察

実験で使用したテンプレートは実験データと別の画像から5人分を平均して作成した。なお、テンプレートマッチングで抽出する領域は72×48(ピクセル)である。目視により、抽出領域内に目が入っているとき抽出成功とした。実験の結果を図4に示す。図4(a)は顔の向きが正面から水平方向に変化したときの抽出率を表す。図4(b)は顔の向きが上(+)/下(-)に変化したときの抽出率を表す。両方のグラフより、顔の向きが変化するほど抽出率が低下することが示された。しかし、顔の向きが最も変化したときでも95%以上の抽出率を得た。また、特定人物のテンプレートを用意しなくても平均で98.2%と良好な結果を得た。図5は実験結果例である。それぞれの矩形は右目、左目、口を抽出した結果である。抽出の失敗の多くは目と形状の似ている眉を誤抽出するものであった。眉の誤抽出に対して今後対策が必要であると思われる。

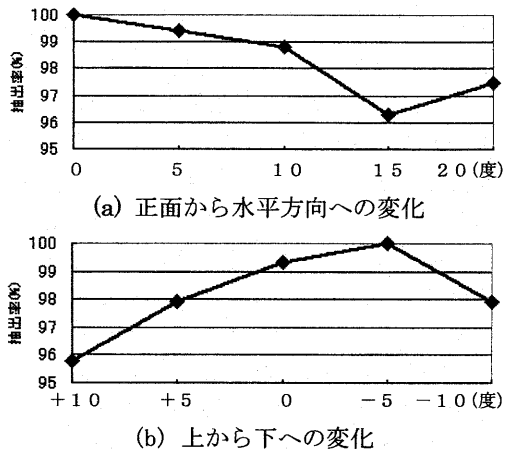


図4. 目領域抽出実験結果



図5 目領域抽出実験結果例

4 瞳の位置検出方法

先に抽出した目領域から瞳の位置を検出する。視線検出への応用を考え、瞳の輪郭を円で近似し瞳の中心点がわかるようにする。本研究では瞳の円を検出する手法として Hough 変換 [7] を用いた。Hough 変換の特徴として、画像情報を大局的にとらえ、パターンの一部が現れていなくても検出できることが挙げられる。瞳は個人差によらず円形で近似できること、また、瞳の一部がまぶたに隠れている場合でも検出できると考え Hough 変換を用いた。一方、Hough 変換は特徴点1点につき1本の Hough 曲線を描くため特徴点の数に比例して計算時間が多くなるといった欠点もある。しかし、本手法では瞳の位置を絞り込み、余分な特徴点を排除することで処理時間の短縮と精度の向上を図った。本手法による瞳の位置検出方法は以下の通りである。

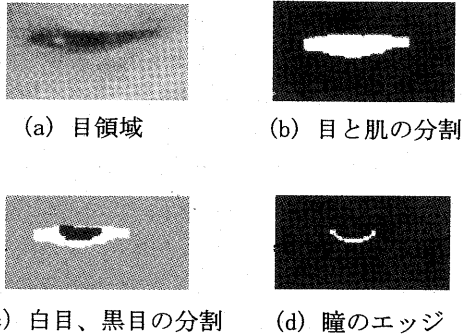


図 6. 瞳抽出処理

図 6(a)に示すように抽出した目領域内で、肌の部分は彩度値が高いのに比べ目の部分は彩度値が低いことに着目して、彩度値のヒストグラムを作成し判別分析法により 2 値化を行い図 6(b)のように目の部分と肌の部分に分割する。次に、目の部分で白目の部分は輝度値が高いのに比べ黒目の部分は輝度値が低いことに着目し、目の部分の輝度値のヒストグラムを作成し判別分析法により 2 値化を行い図 6(c)のように黒目の部分と白目の部分に分割する。分割した黒目の部分の形状から瞳の位置を矩形で切り出す。そして、入力画像中から瞳の位置に対応する部分よりエッジ抽出を行う。図 6(d)はエッジ抽出をした結果である。このエッジ点群を特徴点として Hough 変換により瞳の円検出を行う。

5 瞳の位置検出実験

我々は前に、瞳の輪郭上から 4 点をサンプリングし、最小二乗法により瞳の円を近似する手法を提案している [8]。従来手法ではエッジ上から図 7 のような 4 点をサンプリングする。4 点は最端点の 2 点とその 2 点間の半分の距離になる 2 点を最下点から探索して抽出したものである。本実験では従来手法と本手法による瞳検出の比較実験を行い瞳検出の顔の向きに対する精度を評価した。また、画像のキャプチャから瞳検出を行うまでの全ての処理に要する処理時間を調べた。

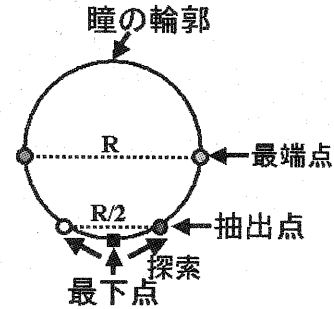
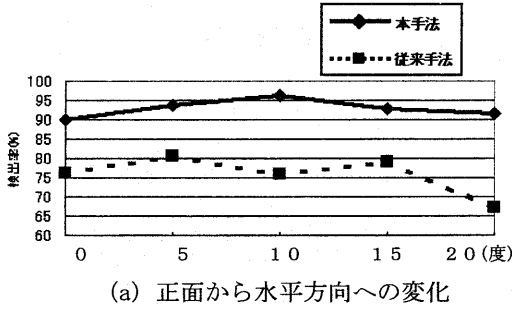


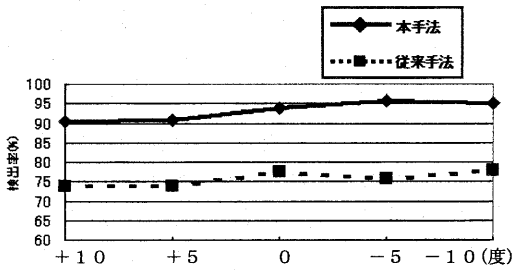
図 7 4 点のサンプリング方法

5. 1 実験結果と考察

実験データは、先目の領域抽出実験で目領域抽出に成功した画像 707 枚を使用した。予備実験より被験者の瞳の半径は 9~10(ピクセル)であったので、Hough 変換のパラメータ空間である半径の値を 7~12(ピクセル)と限定した。評価方法は目視により検出した円と瞳の輪郭がずれていないとき検出成功とした。瞳の位置検出実験結果を図 8 に示す。図 8(a)は顔の向きが正面から横方向へ変化したときの瞳の検出率を表している。図 8(b)は顔の向きが上下へ変化したときの瞳の検出率を表している。図中の実線は本手法、破線は従来手法の結果である。従来手法では平均 75.8%の検出率であったのに対して本手法では平均 93.2%と良好な結果を得た。従来手法は横を向いた場合に若干検出率が低下したが、本手法は安定した検出率であった。図 9 は実験の結果例である。左は従来手法による検出、中央は本手法による検出、右は切り出した瞳の領域と瞳のエッジを表す。従来手法は瞳の切り出しに失敗したとき、正しく瞳の輪郭上から 4 点をサンプリングできないことが多く、またサンプリングした点が 1 つでも瞳の輪郭とずれていたときに正しく円近似できなかった。一方、本手法では全ての特徴点に対して投票処理を行うことで安定した検出ができたものと考えられる。

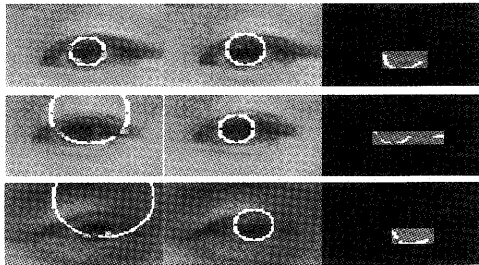


(a) 正面から水平方向への変化



(b) 上から下への変化

図8 瞳の位置検出率



従来手法 本手法 処理結果

図9 実験結果例

また、入力画像のキャプチャから瞳検出処理の終了までの計算時間は、従来手法で約 0.11 秒/フレーム、本手法で約 0.12 秒/フレームであった。使用したコンピュータは Octane (SGI 社製, R12000 300MHz) である。従来手法に比べ処理時間が少し増えたが本手法では 0.12 秒/フレームに抑えることができた。

6 まとめと今後の課題

本論文では顔の向きの変化や個人差に対応した瞳検出方法を提案した。目領域の抽出は 4

方向特徴と UV 値の情報を用いたテンプレートマッチングを行った。瞳検出は色の情報を用いた瞳領域の切り出しと Hough 変換を用いて行った。45 方向の顔の向きの画像に対して目領域抽出と瞳検出の実験を行い良好な結果を得た。また本手法は約 0.12 秒/フレームで処理することができた。今後の課題として、さらに多人数での実験を行うことと視線検出へ応用することを考えている。

謝辞

顔画像データを提供していただいた、HOIP ソフトピアジャパン/JST に感謝いたします。

参考文献

- [1] Thomas E.Hutchinson et. al. :“IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics”, Vol.19, No.6, pp.1527-1534, 1989.
- [2] 福井, 山口: “形状抽出とパターン照合の組合せによる顔特徴点抽出”, 信学論, D-2, Vol. j80, No. 8, pp. 2170-2177, 1997.
- [3] 松本, Alexander, 小笠原: “ステレオビジョンを用いた顔・視線計測システムの開発”, MIRU, Vol. 2, pp. 217-222, 2000.
- [4] 村田, 羽飼, 本郷, 加藤, 山本: “形状変化に強い目・口領域抽出法の提案”, 信学技法 PRMU97-159, pp. 55-66, 1997.
- [5] 成俊, 中村: “修正 HSV 表色系を用いた人物領域の特定法に基づく動画の超低ビットレート符号化”, 映像メディア学会誌, vol. 51, No. 10, pp. 1696-1705, 1997.
- [6] M.Yasuda, K.Yamamoto and H.Yamada: “Effect of the Perturbed Correlation Method for Optical Character Recognition”, Pattern Recognition, Vol.30, No.8, pp.1315-1320, 1997.
- [7] P.V.C. Hough: “Method and means for recognizing complex patterns”, U.S.Patent. 306954, 1962.
- [8] 羽飼, 本郷, 加藤, 山本: “顔画像からの眼部抽出方法の提案”, SII, pp. 185-190, 1998.