色情報を用いた顔画像からの眼鏡フレーム領域の抽出と 眼鏡フレーム除去画像の生成

非会員 村口 孝明* 非会員 池田 美鈴*
正 員 中村 納*

Extraction and Removal of Spectacles from Facial Area by Using Color Information

Takaaki Muraguchi*, Non-member, Misuzu Ikeda*, Non-member, Osamu Nakamura*, Member

In this paper, a new effective algorithm for isolating spectacles from facial images is presented.

In the biometric person authentication through facial images, many faces with spectacles must be taken into account. However, the verification of the two images between one face with spectacles (input image, for instance) and another face without spectacles (registered image, for instance), which are taken from the same person, are not considered in the conventional system and have not been investigated thus far. In the practical case, however, these conditions are frequently considered.

To expect a high matching ratio and stability for distinguishing a person from others, an effective method of isolating spectacles from facial images with spectacles must be developed.

From this point of view, an effective method to isolate spectacles from facial images and the results of the experiment that occurred are presented.

By using many types of spectacles, the efficacy of the proposed method was examined. As a result, 81.2% of extraction accuracy was obtained.

キーワード：顔画像，眼鏡，Biometrics，個人認証

Keywords: Facial image, Spectacles, Biometrics, Personal identification

1. はじめに

本論文では，顔画像からの眼鏡フレーム領域の抽出と眼鏡フレーム除去画像の生成手法について述べる。

近年，顔画像を用いた表情認識や個人の識別に関する研究が各所で盛んに行われている。しかし，それらの研究においては，一般的に被験者は，眼鏡やアクセサリを着用していないことを仮定しているか，あるいは着用している場合でも入力画像および登録画像の双方で同一の条件で着用していることを前提として行われている場合がほとんどである。例えば，顔画像を用いた人物識別システムにおいて，入力，または登録画像の一方で眼鏡を掛け，他方で眼鏡を外している場合を想定し，この両者の間で識別を試みた場合，たとえその両者が同一人物であったとしても識別精度は低下する。

日本人に関していえば，約 56%⁽¹⁾ が眼鏡を掛けているといわれており，その影響は決して小さくはない。より汎用性の高いシステムを構築するためにはこれらの問題を考慮した方式を考える必要がある。

眼鏡フレーム領域の抽出法としては，その領域の色が肌色とは異なった色をしていることから，微分オペレータを用いてエッジの検出を行い，抽出する手法が提案されている⁽²⁾⁽³⁾。しかし，このエッジ抽出による手法では他の領域，例えば肌領域と髪領域の境界などが誤って抽出される場合がある。

そこで，本論文では，眼鏡フレームの色は肌色とは異なっている場合が多い（但し，フレーム無しの場合は除く）という点に着目し，この色情報を用いてまず線領域そのものを強調し⁽⁴⁾，次いで眼鏡フレーム領域を抽出して，この領域を除去するという手法について提案する。

提案手法では，まず，眼鏡フレームは顔領域内で肌色とは異なる色の線の領域として現れることに着目し，色情報を用いて線の領域を強調することで，眼鏡の候補となる領域の抽出を行う⁽⁴⁾。肌色とは異なる色の線を強調する理由

* 工学院大学

〒163-8677 東京都新宿区西新宿 1-24-2

Kogakuin University

1-24-2, Nishi-Shinjyuku, Shinjyuku-ku, Tokyo 163-8677

としては、エッジ強調による手法と比べ、以下の点で優れていると判断したためである。

- ・顔領域内の眼鏡以外のエッジが誤抽出されない。
- ・眼鏡フレームの太さに対し比較的口バストである。

次いで、欠けている領域を半円形のテンプレート等を用いて補正した後、詳細な眼鏡フレーム領域の抽出を行う。眼鏡フレームは、光源の影響により鏡面反射を起こしやすく、その場合、眼鏡の候補となる領域が欠けて抽出される。しかし、このような補正を行うことで、光源の影響に対しても、安定した形状の眼鏡フレームを抽出できる。

眼鏡フレーム領域除去後の顔画像に対しては、除去された領域を周囲の肌色情報を用いて補間を行う。ただし、単純な補間では、眼鏡の輪郭部分に不自然な部分が生じてしまい、眼鏡除去後の個人識別等の手法によっては多大な影響を及ぼす可能性がある。このことから、本手法では、眼鏡領域の補間後、更に平滑化処理を行うことで、不自然な部分の除去を行い、眼鏡フレーム除去画像を得る。

2. 本方式の概要

本方式は以下の5段階から成る。

- (1) 前処理 (顔領域の抽出)
- (2) 眼鏡フレーム候補領域の抽出
- (3) 眼鏡の有無の判定
- (4) 眼鏡フレーム領域の補正
- (5) 眼鏡フレーム領域除去画像の生成

(1)の前処理では、色情報と動き情報を用いて顔領域を抽出する⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾。(2)の眼鏡フレーム候補領域の抽出では、顔領域から眼鏡フレーム領域である可能性が高い領域として眼鏡フレーム候補領域を抽出する。(3)の眼鏡の有無の判定では、(2)の眼鏡フレーム候補領域内に真の眼鏡フレーム領域が存在するか否かを唇領域の位置情報を基にして行う(但し、唇領域の具体的抽出法については文献⁽⁵⁾を参照頂くこととし、本論文では割愛させて頂く)。(4)の眼鏡フレーム領域の補正では、眼鏡の形状情報を基に(2)で抽出された眼鏡フレーム候補領域を補正し、眼鏡フレーム領域を抽出する。(5)の眼鏡フレーム除去画像の生成では、眼鏡フレーム領域を周囲の肌色情報を基に補間し、眼鏡フレーム領域除去画像を得る。

2・1 前処理 (顔領域の抽出) CCDカメラにより動画像として入力された画像サイズ720×486の入力画像に対し、修正HSV表色系^{†(8)(9)}における色相成分(H)および修正彩度成分(Qc)、また、動き情報を利用するため差分

[†] RGB表色系からの修正HSV表色系への変換式

$$\begin{aligned} \cdot \text{色相: } H &= \cos^{-1} \left\{ \frac{(G-B) + (G-R)}{2\sqrt{(G-B)^2 + (G-R)(B-R)}} \right\} \\ \cdot \text{修正彩度: } Qc &= \sqrt{\left(\frac{(R-G) + (R-B)}{2} \right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}(G-B)}{2} \right)^2} \\ \cdot \text{強度: } I &= \frac{R+G+B}{3} \end{aligned}$$

図1 顔領域の抽出

Fig. 1. Extraction of facial area.

画像等を用いて顔領域を抽出する(図1)⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

2・2 眼鏡フレーム候補領域の抽出 眼鏡フレーム領域は顔領域内では、修正彩度成分(Qc)および強度成分(I)に関して、肌とは異なった色の線領域として表される。この特徴を利用すれば、微分処理を行うことで眼鏡フレーム領域を強調することはできるが、一方、この微分処理だけでは眼鏡フレーム領域以外のエッジ成分も同時に強調することになる。そこで、本論文では大きく以下の2段階の手法で眼鏡フレーム領域を抽出することとする。すなわち

- ・線領域強調処理による眼鏡フレームの大局的な抽出
- ・微分処理による眼鏡フレーム形状の詳細な抽出

である

具体的処理は以下の通りである。

- (1) 顔画像の修正彩度成分 $f_{Qc}(x, y)$ (図2(a)) および、強度成分画像 $f_I(x, y)$ (図2(b)) に対しそれぞれ、Roberts のオペレータを適用し、微分画像 $f'_{Qc}(x, y)$ (図2(c))、および $f'_I(x, y)$ (図2(d)) を作成する。

また、これとは別に修正彩度成分画像と強度成分画像から線領域強調画像 $F_{Qc-strip}(x, y)$ (図2(e))、および $F_{I-strip}(x, y)$ (図2(f)) を作成する(尚、線領域強調画像の作成方法に関しては後の2・3で詳しく述べる)。

- (2) $f'_{Qc}(x, y)$ と $f'_I(x, y)$ 、および $F_{Qc-strip}(x, y)$ と $F_{I-strip}(x, y)$ の相乗平均 $f'_{Gm(Qc, I)}(x, y)$ 、および $F_{Gm-strip}(x, y)$ をそれぞれ式(1)および(2)で求める。

$$f'_{Gm(Qc, I)}(x, y) = \sqrt{f'_{Qc}(x, y) \cdot f'_I(x, y)} \cdots \cdots \cdots (1)$$

$$F_{Gm-strip}(x, y) = \sqrt{F_{Qc-strip}(x, y) \cdot F_{I-strip}(x, y)} \cdots \cdots \cdots (2)$$

ここで相乗平均を用いた理由としては、眼鏡フレームは修正彩度と強度の両方に対して強い線領域として現れる。また、どちらか一方が強く現れる領域は、眼鏡フレーム領域である可能性は低いと考えられる。従って、2つの値の大小関係が大きく異なる場合、相乗平均は相加平均より値が特に低くなるという性質から眼鏡フレーム領域の抽出には相乗平均の方が適していると判断したためである。

- (3) $f'_{Gm(Qc, I)}(x, y)$ と $F_{Gm-strip}(x, y)$ をそれぞれ二値化

図 2 眼鏡フレーム候補領域の抽出 (1)

Fig.2. Extraction of candidate area of the spectacles(1).

し，微分二値画像 $f'_{Bin}(x, y)$ ，および線領域二値画像 $F_{Bin-strip}(x, y)$ を求める。

すなわち

$$f'_{Bin}(x, y) = \begin{cases} 1 : f'_{Gm(Qc, I)}(x, y) \geq t_{p1} \\ 0 : \text{Otherwise} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$F_{Bin-strip}(x, y) = \begin{cases} 1 : F_{Gm-strip}(x, y) \geq t_{p2} \\ 0 : \text{Otherwise} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (4)$$

とする。

ここで，しきい値 t_{p1} および t_{p2} については P-タイル法に基づいて決定した。微分相乗画像 $f'_{Gm(Qc, I)}(x, y)$ については，その微分ヒストグラムの低い方から 90%，線領域強調画像 $F_{Gm-strip}(x, y)$ については，その濃度ヒストグラムの低い方から 90%の所でその値を設定した（尚， t_{p1} および t_{p2} の評価については後に述べる）。

(4) $f'_{Bin}(x, y)$ ，および $F_{Bin-strip}(x, y)$ に対し一回の拡大・縮退処理⁽¹⁰⁾を実施し，得られた画像をそれぞれ微分二値平滑化画像 $\hat{f}'_{Bin}(x, y)$ (図 3(a)) および線

図 3 眼鏡フレーム候補領域の抽出 (2)

Fig.3. Extration of candidate area of the spectacles(2).

図 4 スリット状マスクとその方向

Fig.4. Slit-like masks and the directions.

領域二値平滑化画像 $\hat{F}_{Bin-strip}(x, y)$ (図 3(b)) とする。

すなわち，

$$\hat{f}'_{Bin}(x, y) = \{f'_{Bin}(x, y) | \text{Exp. \& shrinking}\} \dots\dots\dots (5)$$

$$\hat{F}_{Bin-strip}(x, y) = \{F_{Bin-strip}(x, y) | \text{Exp. \& shrinking}\} \dots\dots\dots (6)$$

とする。

ここで，拡大・縮退処理を用いた理由は 2 値領域である $f'_{Bin}(x, y)$ および $F_{Bin-strip}(x, y)$ の周辺に存在する形状雑音を若干平滑化することを目的としている。

眼鏡領域は一般にその縦幅より横幅の方が大きい。従って，ここで用いる拡大・縮退処理では，そのマスクサイズは，5(x 方向)×3(y 方向)画素とした。

(5) $\hat{f}'_{Bin}(x, y)$ と $\hat{F}_{Bin-strip}(x, y)$ の論理積 $F_{Bin}(x, y)$ を次式で求める。

$$F_{Bin}(x, y) = \hat{f}'_{Bin}(x, y) \wedge \hat{F}_{Bin-strip}(x, y) \dots\dots\dots (7)$$

- (6) 唇領域を基準にして $F_{Bin}(x, y)$ が水平になるよう画像の回転を補正し, 眼鏡フレーム強調画像 $F_{Enhance}(x, y)$ とする (図 3(c)).

すなわち,

$$F_{Enhance}(x, y) = \{F_{Bin}(x, y) | \text{Rot.-compensated}\} \dots \dots \dots (8)$$

とする。

この操作は後の処理を簡単にすることを目的としたものであり, 傾いた顔画像に対しても以降の処理で眼鏡フレームをほぼ水平に捉えることが可能となる。

2.3 線領域強調画像の作成

ここでは, 上記 2.2

の (2) で用いられた線領域の強調処理について述べる。

線領域は微小領域で考えるとほぼ直線として考えることができる。この場合, その領域内においては, 線方向に沿って高濃度あるいは低濃度の画素がほぼ一定に存在し, その方向に含まれる画素以外の領域に対しては濃度値の高低は一定でない。この特徴に着目して線領域強調画像は以下のようにして得られる。

- (1) 画像 $f_{Qc}(x, y)$ および $f_I(x, y)$ に対し, $(2n+1) \times (2n+1)$ (実験では $n=3$ とした) の領域を考え, 方向 $d_i (i=0 \sim 3)$ に対し図 4 のようなスリット状のマスクを設定する。

注目画素 $f(x, y)$ に対し, 各 $d_i (i=0 \sim 3)$ のスリット状マスクに含まれる画素は以下の通りである。

$$\begin{aligned} d_0: & \{f(x-n, y), f(x-n+1, y), \dots, f(x, y), \dots, f(x+n-1, y), f(x+n, y)\} \\ d_1: & \{f(x+n, y-n), f(x+n-1, y-n+1), \dots, f(x, y), \dots, \\ & \dots, f(x-n+1, y+n-1), f(x-n, y+n)\} \\ d_2: & \{f(x, y-n), f(x, y-n+1), \dots, f(x, y), \dots, f(x, y+n-1), f(x, y+n)\} \\ d_3: & \{f(x-n, y-n), f(x-n+1, y-n+1), \dots, f(x, y), \dots, \\ & \dots, f(x+n-1, y+n-1), f(x+n, y+n)\} \end{aligned}$$

- (2) 各方向 $d_i (i=0 \sim 3)$ において, スリット状のマスクに含まれる画素の平均濃度値 $\bar{f}_i(x, y) (i=0 \sim 3)$ を求める。

- (3) $\bar{f}_i(x, y) (i=0 \sim 3)$ の最大値 $\bar{f}_{\max}$ と最小値 $\bar{f}_{\min}$ を求める。

すなわち,

$$\bar{f}_{\max}(x, y) = \max_i \{\bar{f}_i(x, y) | i=0 \sim 3\} \dots \dots \dots (9)$$

$$\bar{f}_{\min}(x, y) = \min_i \{\bar{f}_i(x, y) | i=0 \sim 3\} \dots \dots \dots (10)$$

とする。

- (4) 入力画像と大きさの等しい配列 $g_1(x, y)$ と $g_2(x, y)$ を用意し, 全ての画素を 0 とする。

- (5) $g_1(x, y)$ の各注目画素 (x, y) を中心にして, $\bar{f}_{\max}$ を与える方向 $d_{\max}$ のスリット状マスクに含まれる全ての画素に対し $(\bar{f}_{\max} - \bar{f}_{\min}) / (2n+1)$ を加える。また, $g_2(x, y)$ の注目画素に対し, $\bar{f}_{\min}$ を与える方向 $d_{\min}$ に含まれる全ての画素に対しても同様に $(\bar{f}_{\max} - \bar{f}_{\min}) / (2n+1)$ を加える。

すなわち,

図 5 線領域強調処理の模式的説明

Fig. 5. Illustration of the line segment enhancement.

$$g_1(x, y; d_{\max}) \leftarrow g_1(x, y; d_{\max}) + \left(\frac{\bar{f}_{\max}(x, y) - \bar{f}_{\min}(x, y)}{2n+1} \right) \dots \dots \dots (11)$$

$$g_2(x, y; d_{\min}) \leftarrow g_2(x, y; d_{\min}) + \left(\frac{\bar{f}_{\max}(x, y) - \bar{f}_{\min}(x, y)}{2n+1} \right) \dots \dots \dots (12)$$

とする。

ここで, 記号 $\leftarrow$ は左辺の値を右辺の値に更新するという意味である。また, $(x, y; d_i)$ は座標 (x, y) に設定されたスリット状マスク d_i の画素を表す。

一般に, 線に沿っている方向の平均濃度値はそれ以外の方向の平均濃度値に比べ, 高濃度の線であれば高くなり, 低濃度の線であれば低くなる。このことから, $\bar{f}_{\max}$ あるいは $\bar{f}_{\min}$ を与える方向 $d_{\max}$ あるいは $d_{\min}$ は線に沿った方向である可能性が高いといえる。従って, この処理は, 線に含まれる画素に対してのみ, 濃度値を加算することになる (図 5 参照)。

- (6) 上記 (1)~(5) までの処理を $f_{Qc}(x, y)$ および $f_I(x, y)$ にそれぞれ適用し, それぞれの $g_1(x, y)$ および $g_2(x, y)$, すなわち, $g_{1, Qc}(x, y)$, $g_{1, I}(x, y)$ および $g_{2, Qc}(x, y)$, $g_{2, I}(x, y)$ の大きい方をとることで, 高濃度および低濃度の線が強調された線領域強調画像 $F_{Qc-strip}(x, y)$ および $F_{I-strip}(x, y)$ を求めることができる。

$$F_{Qc-strip}(x, y) = \max_{x, y} \{g_{1, Qc}(x, y), g_{2, Qc}(x, y)\} \dots \dots \dots (13)$$

$$F_{I-strip}(x, y) = \max_{x, y} \{g_{1, I}(x, y), g_{2, I}(x, y)\} \dots \dots \dots (14)$$

2.4 眼鏡領域の有無の判定

眼鏡フレーム強調画像 $F_{Enhance}(x, y)$ に対しラベリングを行い, 最も面積の大きい連結 (8-連結) 領域を眼鏡フレーム候補領域 $F_{Candidate}(x, y)$ として求める (図 6(a)).

すなわち,

図 6 眼鏡の有無の判定

Fig. 6. Evaluation of the existence of the spectacles.

$$F_{Candidate}(x, y) = \max\{F_{Enhance}(x, y)\} \dots \dots \dots (15)$$

とする。

ここで、 $F_{Candidate}(x, y)$ が以下の 2 つの条件を全て満たすとき、眼鏡フレーム領域は存在すると判定する (図 6(b))。すなわち

- $F_{Candidate}(x, y)$ の水平方向の幅が唇領域の幅より大きい。
- 唇領域の左右の端点を結ぶ線分に対する垂線を、唇領域の中心から引いたとき、その垂線が $F_{Candidate}(x, y)$ を通過する (図 6(b) 参照)。

2・5 眼鏡フレーム領域の補正 ここでは、以下の 4 段階の処理で上記 2・4 で得られた眼鏡フレーム候補領域 $F_{Candidate}(x, y)$ を補正し、最終的に抽出される眼鏡フレーム領域とする。

- (1) 眼鏡フレームの垂直方向の幅の限定
- (2) 眼鏡フレーム左右両端の除去
- (3) 半円形テンプレートによるリム外側の補正
- (4) 眼鏡フレーム領域の抽出

まず、上記 (1)(2) では眼鏡フレーム強調画像 $F_{Enhance}(x, y)$ および眼鏡フレーム候補領域 $F_{Candidate}(x, y)$ の情報を基に、眼鏡の存在する範囲を限定する。次いで (3)(4) で眼鏡フレーム候補領域 $F_{Candidate}(x, y)$ の補正を行うことで眼鏡フレーム領域を抽出する。

2・5・1 眼鏡フレームの垂直方向の幅の限定 眼鏡フレームのブリッジ (眼鏡フレームの中央部分) を基準として、 $F_{Enhance}(x, y)$ の右の領域を”右眼鏡フレーム領域”と呼び、左の領域を”左眼鏡フレーム領域”と呼ぶことにする。

左右の”眼鏡フレーム領域”の縦方向の範囲を、もう一方の眼鏡フレーム領域の縦方向の情報を手掛りとして限定する。この処理により、左右眼鏡フレーム領域のうち、片方が眉とつながっている場合には、この眉の除去が可能となる。

右眼鏡フレーム領域の上端を $y_t^{(r)}$ 、下端を $y_b^{(r)}$ とし、左眼鏡フレーム領域の上端を $y_t^{(l)}$ 、下端を $y_b^{(l)}$ (図 7 参照) としたとき、 $F_{Enhance}(x, y)$ を以下の式で限定する。

すなわち

$$\left. \begin{aligned} F_{Enhance}(x, y) &= 1; & y_t^* \leq y \leq y_b^* \\ F_{Enhance}(x, y) &= 0; & \text{Otherwise} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (16)$$

但し、

図 7 眼鏡フレームの垂直方向の幅の限定

Fig. 7. Restriction of the vertical length of the spectacles.

$$\left. \begin{aligned} y_t^* &= \max\{y_t^{(r)}, y_t^{(l)}\} \\ y_b^* &= \max\{y_b^{(r)}, y_b^{(l)}\} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (17)$$

2・5・2 眼鏡フレーム左右両端の除去 眼鏡フレームの左右の端が耳や髪とつながっている場合がある。この問題に対処するため、左右眼鏡フレーム領域のそれぞれの領域に対し垂直方向の幅を $P(x)$ (但し x は水平方向の位置座標を表す) としたとき、 $P(x)$ の谷の部分の値を与える $x_{\min}$ (求め方については次節 2・5・3 で説明する) および最大値を与える $x_{\max}$ を求める。 x を $x_{\min}$ からブリッジの外側の方向に向けて走査し、 $P(x)$ が式 (18) を満足するとき、 x より外側の眼鏡フレーム領域は除去される。

すなわち、

$$\left. \begin{aligned} F_{Enhance}(x, y) &= 0; & P(x) > \frac{P(x_{\max}) + P(x_{\min})}{2} \\ F_{Enhance}(x, y) &= 1; & \text{Otherwise} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (18)$$

但し、

$$x_{\max} = \max_x P(x) \dots \dots \dots (19)$$

とする。

2・5・3 $x_{\min}$ の求め方 ここでは、眼鏡フレーム領域の垂直方向の幅の分布 $P(x)$ から、その谷の部分の値を与える $x_{\min}$ を求める手法について説明する。

- (1) x のとりうる値の範囲を $x_1 \leq x < x_2$ としたとき (図 8 を参照)、上記範囲内の全ての x に対し以下のような $s_1(x)$ を求める。

$$s_1(x) = \sum_{k=x_1}^{x-1} G_1(k) \cdot \sum_{k=x+1}^{x_2} G_1(k) \dots \dots \dots (20)$$

但し、

$$G_1(k) = \begin{cases} 1 & (P(k) > P(x) \text{ のとき}) \\ 0 & (P(k) \leq P(x) \text{ のとき}) \end{cases} \dots \dots \dots (21)$$

とする。

x が x_1 と x_2 の中間付近に位置し、かつ $P(x)$ の値が小さい場合は、 $s_1(x)$ の値は大きくなる。従って、 $s_1(x)$ の値が大きければ、その値を与える値 x は谷の部分である可能性が高いといえる。

図 8 $P(x)$ における x_1 および x_2

Fig. 8. The position x_1 and x_2 in the graph $P(x)$.

- (2) $P'(x) = P(x+1) - P(x)$ となる $P(x)$ の微分 $P'(x)$ のグラフを作成し, $x_1 \leq x < x_2$ の範囲における全ての x に対し以下のような $s_2(x)$ を求める。

$$s_2(x) = \sum_{k=x_1}^{x-1} G_2(k) \cdot \sum_{k=x}^{x_2-1} G_3(k) \dots \dots \dots (22)$$

ただし,

$$G_2(k) = \begin{cases} 1 & (P'(k) < 0 \text{ のとき}) \\ 0 & (P'(k) \geq 0 \text{ のとき}) \end{cases} \dots \dots \dots (23)$$

$$G_3(k) = \begin{cases} 1 & (P'(k) > 0 \text{ のとき}) \\ 0 & (P'(k) \leq 0 \text{ のとき}) \end{cases} \dots \dots \dots (24)$$

とする。

x がグラフの谷の部分に存在する場合には $s_2(M)$ の値は大きくなる。

- (3) $x_1 \leq x < x_2$ の範囲における全ての x に対し, $s_1(x) + s_2(x)$ が最大となるときの x を $x_{\min}$ とする。

2.5.4 半円形テンプレートによるリム外側の補正
眼鏡フレーム候補領域の特に外側の領域は光源の影響等で、欠けている場合が多い。そこで、右および左眼鏡フレーム領域に対し、それぞれ眼鏡フレーム候補領域の上端 (x_c, y_t) 、および下端 (x_c, y_b) を通り、ブリッジ x_{bridge} の外側に対して弧を描く半円形のテンプレートを作成する (図 9)。テンプレートの作成式は以下の通りである。

$$(x - x_c)^2 + \left(y - \frac{y_t + y_b}{2}\right)^2 = \left(\frac{y_b - y_t}{2}\right)^2 \dots (25)$$

但し,

$$\begin{aligned} x &\leq x_c & (x_c \leq x_{bridge}) \\ x &> x_c & (x_c > x_{bridge}) \end{aligned} \dots \dots \dots (26)$$

ここで、半円形テンプレートに含まれる画素で、かつ $F_{Enhance}(x, y) = 1$ となる画素数が最大となると、そのテンプレートを眼鏡フレーム候補領域 $F_{Candidate}(x, y)$ に加える。また、眼鏡フレーム強調画像 $F_{Enhance}(x, y)$ のうち、テンプレートに含まれる連結領域 (図 10(b)A 参照) をその中に含む連結領域全体も $F_{Candidate}(x, y)$ に加える (図 10 参照)。

この処理を行うことによって、例えば、図 9 や図 11(b)

図 9 半円形テンプレート

Fig. 9. Half circle template.

(a) $F_{Candidate}(x, t)$ extracted with defected parts. (b) Compensation of the defected parts.

図 10 リムの補正

Fig. 10. Compensation of the rim.

に示すような、若干角ばった眼鏡に対しても、その領域を正しく検出することが可能となる。

2.5.5 眼鏡フレーム領域の抽出 眼鏡フレーム候補領域 $F_{Candidate}(x, y)$ の上記 2.5.4 で作成された半円形テンプレートの内側 (図 11(a) の灰色の部分) には、目領域が含まれている場合がある。そこで、 $F_{Candidate}(x, y)$ の領域の外周を 7×7 画素のマスクを用いて走査し、このマスクに含まれる $F_{Candidate}(x, y)$ の画素と半円形テンプレートの画素を改めて眼鏡フレーム領域として抽出する。但し、バーのある眼鏡の場合、この処理だけではバーとブリッジの間に存在するリムの一部 (図 11(b) の a および b の部分) が抽出されない場合がある。従って、眼鏡フレーム領域抽出後、 $F_{Candidate}(x, y)$ のバー周辺も眼鏡フレーム領域とする処理を後処理として加え、最終的眼鏡フレーム領域 $F(x, y)$ とする。

以上の処理により図 11(c) のような眼鏡フレーム領域 $F(x, y)$ が抽出され、眼鏡フレーム領域除去画像は図 11(d) のようになる。

2.6 眼鏡フレーム領域の除去と補間画像の生成 顔の肌色領域は濃度値が連続的で、しかもなだらかに変化しており、画素間の距離が小さい場合は濃度値の差も小さいと考えられる。従って、眼鏡フレーム領域の補間は画素間の距離の逆数を重みとして考慮した手法で行う。しかし、通常用いられる補間法だけでは眼鏡フレーム領域の輪郭部分に不連続な部分が生じるため、微分オペレータ (実験ではラプラシアンオペレータを用いた) による微分画像を作成し、微分値の高い箇所を特定し、この場所に位置する画素に対しては後に述べるように微分値の大きさによって定まる回数の平滑化を施すことにより輪郭部分を平滑化する。

図 11 眼鏡フレーム領域の抽出

Fig. 11. Extraction of spectacles.

具体的手法は以下の通りである。

- (1) 眼鏡フレーム領域内の全ての画素 $f(x, y)$ に対し, その周囲 $(2n + 1) \times (2n + 1)$ ($n = 3$ とした) の画素濃度を用い, 以下の式で補間処理を実施する (図 12(a))。

$$g(x, y) = \sum_{k=-n}^n \sum_{l=-n}^n a(x+k, y+l) f(x+k, y+l) h(x, y; k, l)$$

$$h(x, y; k, l) = \frac{d(x, y; k, l)}{\sum_{p=-n}^n \sum_{q=-n}^n a(x+p, y+q) d(x, y; p, q)}$$

$$d(x, y; k, l) = \frac{1}{\sqrt{(k-x)^2 + (l-y)^2}} \dots \dots \dots (27)$$

但し,

$$\begin{cases} a(x, y) = 0 : f(x, y) \in F(x, y) \\ a(x, y) = 1 : f(x, y) \notin F(x, y) \end{cases}$$

また,

$$g(x, y) = f(x, y); \forall a(x, y) = 0 \dots \dots \dots (28)$$

とする。

- (2) 微分オペレータ (ラプラシアン) を用いて上記 (1) で得られた補間画像の微分画像 $f'(x, y)$ を作成する。
- (3) 前記 2.5×5 で検出された眼鏡フレーム領域 $F(x, y)$ に対し, 3×3 画素のマスクを用いた一回の拡大処理を実施し, 拡大眼鏡フレーム領域 $\hat{F}(x, y)$ を求める。

すなわち

$$\hat{F}(x, y) = \{F(x, y) | \text{Expansion}\} \dots \dots \dots (29)$$

とする。

- (4) 拡大眼鏡フレーム領域 $\hat{F}(x, y)$ の中で, 上記 (2) で作成された微分画像の平均値 $\bar{f}'$ を求める。

図 12 眼鏡フレーム領域の補間

Fig. 12. Generation of the face without spectacles.

- (5) 眼鏡フレーム領域内の $f(x, y)$ に対し, 画素 (x, y) を中心とした 3×3 画素のマスクによる平滑化を行う。但し, 各画素の平滑化の回数 Sm は以下の通りである。

すなわち,

$$Sm = [(f'(x, y) - \bar{f}') / Fr] + 1 \dots \dots \dots (30)$$

$$f'(x, y) > \bar{f}' \dots \dots \dots (31)$$

とする。

ここで, 記号 $[\cdot]$ はガウス記号を表し, 式 (30) は微分値が大きければ大きいほど, 平滑化の回数が多くなることを意味している。また, Fr は予備実験に基づき $Fr = 5$ とした。

以上の処理で得られた画像を平滑化後の補間画像 $\bar{g}(x, y)$ とする (図 12(b))。

3. 実験結果および考察

リムのある眼鏡を掛けた被験者 32 名, 合計 2700 フレームの顔画像に対し, 眼鏡フレーム領域の抽出実験を行った。2700 フレームのうち 1447 フレームがカメラに対し正面を向いており, 残り 1253 フレームは傾いた顔である。

3.1 眼鏡フレーム領域の抽出精度 抽出された眼鏡フレーム領域に対し, 目視により正確な抽出が行われているか否かを評価した。眼鏡フレーム領域が全て抽出されているもの (図 13(a)), もしくは一部が眼鏡フレーム領域とは別の領域として抽出されたが, 眼鏡フレーム領域除去画像にはほぼ影響が無いと考えられる場合は正抽出であると判定した。また, 全く眼鏡フレーム領域とは別の領域を抽出した場合は誤抽出 (図 13(b)) と判定した。抽出結果を表 1 に示す。表 1 から正抽出率は傾き顔を含めた平均で 81.2% という結果を得た。

眼鏡フレーム領域の抽出においては, 眼鏡フレームの色が銀色などの場合でも良好な抽出が行われた。これは, 線成分の強調により抽出を行うため, 修正彩度が高い色の眼鏡フレームであったとしても, 肌色領域と等しい値でなければ, 抽出に影響はなかったためであると考えられる。

また, 傾き顔に対しても, 傾きの度合いがあまり大きくなければ, 比較的良好に抽出を行うことができた (図 14)。

図 13 抽出結果

Fig. 13. The results of isolating spectacles.

表 1 眼鏡フレーム領域抽出実験結果

Table 1. Experimental results.

	Frontal face	Angled face
Correct extraction	1246	947
False extraction	201	306
The number of images used	1447	1253
Correct extracting accuracy	86.1%	75.6%

図 14 傾いた顔における眼鏡フレーム領域の抽出

Fig. 14. Extraction of spectacles from angled face.

図 15 眼鏡フレーム領域誤抽出の例

Fig. 15. An example of false extraction.

これは、色情報を中心に眼鏡フレーム領域の抽出を行ったため、眼鏡フレームの形状が歪んでいたとしても色情報には大きな影響がなかったというのがその理由であると考えられる。

誤抽出の原因として最も多かったのが眼鏡フレーム候補領域に眉が含まれた場合であった。その場合、半円形テンプレートによる補正や外周の走査による眼鏡フレーム領域の抽出処理で、眼鏡フレームではない領域を余計に抽出し、その結果、良好に眼鏡フレーム領域が抽出されない場合が

図 16 しきい値 $t_{p1} = 70$ および $t_{p2} = 70$ の場合

Fig. 16. In the case of $t_{p1} = 70$ and $t_{p2} = 70$.

図 17 しきい値 $t_{p1} = 95$ および $t_{p2} = 95$ の場合

Fig. 17. In the case of $t_{p1} = 95$ and $t_{p2} = 95$.

あった(図 15)。このような誤抽出を防ぐためには、眼鏡フレーム候補領域の上下の幅の限定処理等のさらなる工夫が必要である。

また、眼鏡フレーム候補領域の左右の幅の限定処理においても、耳や髪の毛の領域が、眼鏡フレーム領域としてつながって抽出される等、本論文で述べた限定処理だけでは対処できない場合があった。

また、この場合とは逆に眼鏡フレームの左右の幅の限定処理によって、眼鏡フレーム領域のリムの部分が除去される場合も存在した。

その他の誤抽出の原因としては、光源の影響で、眼鏡フレームの一部が肌領域と等しい濃度および修正彩度を持つ場合などがある。

3.2 しきい値 t_{p1} および t_{p2} の評価 前記 2.2 において微分二値画像 $f'_{Bin}(x, y)$ および線領域二値画像 $F_{Bin-strip}(x, y)$ 作成の際に設定したしきい値 t_{p1} および t_{p2} の評価を行った。

眼鏡フレーム領域 $F(x, y)$ の抽出精度は一般に、しきい値 t_{p1} および t_{p2} の値によって以下のように変化する。

- t_{p1} および t_{p2} の値が小さい場合：眼鏡フレーム領域 $F(x, y)$ は眼鏡フレーム以外の領域を含んで抽出される場合がある(図 16)。

その原因として微分二値画像 $f'_{Bin}(x, y)$ と線領域二値画像 $F_{Bin-strip}(x, y)$ の論理積 $F_{Bin}(x, y)$ に真の眼鏡フレーム領域以外の領域が多く抽出されることが考えられる。

図 18 しきい値の評価に用いた真の眼鏡フレーム領域

Fig. 18. The spectacles area extracted manually.

図 19 R_{Bin} としきい値 t_{p1} および t_{p2} の関係

Fig. 19. Relationship between R_{Bin} , t_{p1} , and t_{p2} .

- t_{p1} および t_{p2} の値が大きい場合：眼鏡フレーム領域 $F(x, y)$ は欠けて抽出される場合がある (図 17)。
その原因は微分二値画像 $f'_{Bin}(x, y)$ および線領域二値画像 $F_{Bin-strip}(x, y)$ の論理積 $F_{Bin}(x, y)$ が眼鏡フレーム領域を一部含まない画像となったためであると考えられる。

従って、より正確な眼鏡フレーム領域を求めるためには、 $F_{Bin}(x, y)$ が真の眼鏡フレーム領域を多く含み、かつその他の領域を含まないものであることが望ましい。そこで真の眼鏡フレーム領域 $F_{Truth}(x, y)$ に含まれる $F_{Bin}(x, y)$ の割合 R_{Bin} ，すなわち

$$R_{Bin} = \frac{F_{Truth}(x, y)}{\{F_{Bin}(x, y) \in F_{Truth}(x, y)\}} \times 100 [\%] \dots \dots \dots (32)$$

および $F_{Bin}(x, y)$ 中に含まれる真の眼鏡フレーム領域 $F_{Truth}(x, y)$ の割合 R_{Truth} ，すなわち

$$R_{Truth} = \frac{F_{Truth}(x, y)}{F_{Bin}(x, y)} \times 100 [\%] \dots \dots \dots (33)$$

の 2 つの値でしきい値の評価を行うこととした。

10 人の被験者に対して真の眼鏡フレーム領域 $F_{Truth}(x, y)$ を手動で図 18 のように設定し、 t_{p1} と t_{p2} の値を 70 から 95 の範囲で 5 ずつ変化させながら R_{Bin} および R_{Truth} を求めた。 R_{Bin} および R_{Truth} それぞれの 10 人の平均を図 19 および図 20 に示す。

これらの結果から、 R_{Bin} と R_{Truth} の双方に対し、より大きい値を与える t_{p1} および t_{p2} が眼鏡フレーム領域を正

図 20 R_{Truth} としきい値 t_{p1} および t_{p2} の関係

Fig. 20. Relationship between R_{Truth} , t_{p1} , and t_{p2} .

図 21 眼鏡フレーム領域の補間実験結果 (1)

Fig. 21. Results of interpolation(1).

確に抽出可能なしきい値であると判断し

$$\left. \begin{array}{l} t_{p1} = 90 \\ t_{p2} = 90 \end{array} \right\} \dots \dots \dots (34)$$

と設定した。

3.3 眼鏡フレーム領域の補間 良好に抽出された眼鏡フレーム領域をもとに、眼鏡フレーム領域補間画像の生成を試みた。図 21 および 22 にその一例を示す。

主観評価においても良好な眼鏡フレーム領域補間画像が得られた。しかし、眼鏡のフレームが目にも極端に近い位置に存在する場合は、目領域も同時に平滑化され、図 23 に示したように目の周辺が若干”ぼけ”た画像になる場合もあった。

また、フレームの太い眼鏡に対して処理を行った場合、フレーム自体は正確に抽出できても、肌領域にフレームの影が写り、影だけが顔領域に残る場合のあることが確認されている。

図 22 眼鏡フレーム領域の補間実験結果 (2)

Fig. 22. Results of interpolation(2).

図 23 眼鏡フレーム領域の過剰平滑化の例

Fig. 23. An example of the image smoothed more than necessary.

4. ま と め

本論文では、色情報を用いた顔画像からの眼鏡フレーム領域の抽出法および眼鏡フレーム領域除去画像の生成手法について検討し、これについて述べた。線領域を強調することで、髪等の他の領域がつながって抽出されることなく、安定した眼鏡フレーム領域の抽出が可能となった。一方、被験者によっては鏡面反射の影響により眼鏡のリムの一部が途切れ、良好な結果が得られない場合があり、この点についてはさらなる検討が必要である。

また、眼鏡フレーム領域除去画像の生成に関しては、周りの肌色領域による補間と部分的な平滑化を行うことで、眼鏡フレーム領域をより自然な肌領域に補間することができた。

今後の課題として、眼鏡フレーム領域の抽出法に関しては、鏡面反射の影響を考慮した手法、およびリムのない眼鏡やフレームが部分的に途切れている眼鏡に対しての手法の開発が挙げられる。眼鏡フレーム領域除去画像の生成に関

しては、眼鏡フレームの近傍に目などの顔部位が存在する場合や鏡面反射がある場合の補間方法の検討が挙げられる。

(平成 14 年 5 月 30 日受付)

文 献

- (1) “眼鏡白書 2002~2003”, (株) サクスイード (2002)
- (2) Y. Saito, Y. Kenmochi, and K. Kotani: “Extraction and Removal of Eyeglasses Frame Region in Facial Images Using Parametric Model of Eyeglasses Frame”, *Trans. IEICE D-II*, Vol.J82-D-II, No.5, pp.880-890 (1999-5) (in Japanese)
齊藤康之・剣持雪子・小谷一孔:「パラメトリックな眼鏡フレームモデルを用いた顔画像内の眼鏡フレーム領域の抽出と除去」, 信学論誌, D-II, J82-D-II, 5, pp.880-890 (1999-5)
- (3) A. Suina, K. Morimoto, and J. Miyamichi: “Glassframe Removal Method from Frontal Face Images and Person Identification”, *Proc. IEE*, GS13-4, pp.369-373 (2001) (in Japanese)
椎名晃悦・森本和成・宮道壽一:「人物認識のための顔画像からの眼鏡フレーム除去」平 13 電気学会・情報・システム部門大会, GS13-4, pp.369-373 (2001)
- (4) T. Muraguchi, H. Ebine, M. Ikeda, and O. Nakamura: “Extraction and Removal of Spectacles from Facial Area by Using Color Information”, *ITE Technical Report* Vol.26, No.22, pp.45-50 (2002-5)
村口孝明・海老根秀之・池田美鈴・中村 納:「色情報を用いた顔画像からの眼鏡領域の抽出および除去」映像情報メディア学会技術報告, 26, 22, pp.45-50 (2002-5)
- (5) M. Ikeda, H. Ebine, Y. Shiga, and O. Nakamura: “A Study on The Extracting Method of Facial Areas from Video Images Using Moving and Color Information”, *Conf. IEICE*, D-12-32, p.219 (2000-10) (in Japanese)
池田美鈴・海老根秀之・志賀泰博・中村 納:「動画画像から動き情報と色情報を用いた顔領域の抽出法に関する検討」, 2000 年電子情報通信学会情報・システムソサエティ大会, D-12-32, p.219, May, (2000)
- (6) M. Ikeda, H. Ebine, and O. Nakamura: “Extraction of Faces of More Than One Person from Natural Background for Personal Identification”, *CCECE*, Vol.I, pp.323-328 (2001-5)
- (7) M. Ikeda, H. Ebine, and O. Nakamura: “Extraction of Faces of More Than One Person From Natural Background Based on The Certainty Level Given to The Face Like Area”, *IEEEJ Trans. EIS*, Vol.123, No.3, pp.456-466 (2003-3)
池田美鈴・海老根秀之・中村 納:「顔らしさの信頼性に基づく自然背景からの複数顔領域の抽出」, 電学論 C, 123, 3, pp.456-466 (2003-3)
- (8) S. Matsuhashi, K. Fujimoto, O. Nakamura, and T. Minami: “A Proposal of the Modified HSV Color System Suitable for Human Face Extraction”, *The journal of the ITEJ*, Vol.49, No.8, pp.787-797 (1995-8) (in Japanese)
松橋 聡・藤本研司・中村 納・南 敏:「顔領域抽出に有効な修正 HSV 表色系の提案」, テレビジョン学会誌, 49, 8, pp.787-797 (1995-8)
- (9) S. Matsuhashi, O. Nakamura, and T. Minami: “Human-face extraction using modified HSV color system and personal identification through facial image based on isodensity maps”, *CCECE'95*, Vol.2, pp.909-912 (1995-9)
- (10) 南 敏・中村 納: 画像工学, コロナ社, p.98 (1989-8)

村 口 孝 明 (非会員) 2001 年 3 月 工学院大学工学部電子工学科情報工学コース卒業。2003 年 3 月, 同大学大学院情報学専攻修士課程修了。現在 (株) 日立 INS ソフトウェア勤務。在学中, 画像処理, パターン認識の研究に従事。

池 田 美 鈴（非会員）2000年3月 工学院大学工学部電子工学科情報工学コース卒業。2002年3月 同大学院情報学専攻修士課程修了。現在（株）凸版印刷勤務。在学中、画像処理、パターン認識の研究に従事。電子情報通信学会会員

中 村 納（正員）1969年3月 工学院大学工学部電子工学科卒業。1971年3月 同大学院修士課程修了。同年、同大学助手となる。以来、学習理論、画像処理、画像符号化等の研究に従事。1988年4月～1989年3月、ケベック大招聘教授。1992年工学院大学教授。工学博士。画像電子学会、電子情報通信学会、情報処理学会、人工知能学会、映像情報メディア学会、IEEE、Pattern Recognition Society、日本顔学会、各会員