

顔認識のための顔特徴抽出手法

横山 太郎¹⁾, 田中 克明²⁾, 久富 健介³⁾, 八木 康史¹⁾,
谷内田 正彦¹⁾, 原 文雄²⁾, 橋本 周司³⁾

¹⁾大阪大学大学院基礎工学研究科, 〒560-8531 大阪府豊中市待兼山町1-3

²⁾東京理科大学工学研究科, 〒162-8601 東京都新宿区神楽坂1-3

³⁾早稲田大学理工学部, 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1

あらまし 本稿では、標準的なオフィス環境下で、正面から撮影した顔画像から顔（瞳中心）を発見し、さらに眉、目、鼻、口といった顔器官と顔の輪郭線を抽出する手法を提案する。瞳中心の抽出は、瞳、目蓋、眉のパターンを用いた相関手法により瞳候補を発見し、肌色情報から得られた顔領域により検証する方法を用いる。顔器官の輪郭線は、エッジ列の二次曲線近似により概略輪郭を求め、動的輪郭モデルにより正確な輪郭線を求める。顎の輪郭線抽出では、軸対称拘束を持つ動的輪郭モデルと、標準顔形状を基準とする弾性輪郭モデルを適時利用する。46例の画像に対し人の手入力による輪郭線との比較を行い、従来の手法と比べ改善が見られ、また目・眉の輪郭線の約90%，瞳中心と顎の輪郭線の約80%で、手入力に非常に近い値を出すことができた。

Facial feature extraction for face recognition

Taro YOKOYAMA¹⁾, Katsuaki TANAKA²⁾, Kensuke HISATOMI³⁾, Yasushi YAGI¹⁾,
Masahiko YACHIDA¹⁾, Fumio HARA²⁾, Shuji HASHIMOTO³⁾

¹⁾ Graduate School of Engineering Science, Osaka Univ., 1-3 Machikaneyama Toyonaka Osaka 560-8531, Japan

²⁾ Faculty of Engineering, Science Univ. of Tokyo, 1-3 Kagurazaka Shinjuku-ku Tokyo, 162-8601 Japan

³⁾ School of Science and Engineering Waseda Univ., 3-4-1 Okubo Shinjuku-ku Tokyo, 169-8555 Japan

Abstract The aim of this research is to find a face in an input image, and extract the contour lines of the face and facial features, such as the eyes, mouth, eyebrows and nose in a standard office environment. The technique of eyes and mouth contour line extraction is based on the combination of quadratic approximation of edges and an active contour model, and face outline contour line extraction relies on the hybridization of a symmetrical active contour model and an elastic contour model with a standard facial shape model.

1. はじめに

コンピュータと人間との自然なコミュニケーションのためには、従来のような論理情報の伝達だけではなく、人間の心理的な側面をも考慮したより感性豊かなコミュニケーションメディアの開発が望まれている。そして、人間の日常生活において顔表情は大変重要な意味を持っており、人間と情報システムとの円滑なコミュニケーションメディアを実現するため、コンピュータによる顔情報処理の自動化は欠かせないものである。

このようなか、我々を含む複数の研究機関が連携し、情報処理振興事業協会における独創的情報技術育成事業に関わる開発テーマの一つとして、コンピュータによる顔情報処理に焦点を当てたプロジェクト「感性擬人化エージェントのための顔情報処理システムの開発」を開発してきた。本プロジェクトでは、工学のみならず心理学や医学などの分野も含めた顔関連分野における共通の実験用ツールを広く提供することを目的に、特に顔画

像の認識・合成に関わる顔情報処理システムを構築した[1]。

本論文では、本プロジェクトの成果のうち、入力画像からの顔発見ならびに顔特徴の自動抽出手法について報告する。具体的に提案手法では、正面から撮影した顔画像から顔を発見し、さらに眉、目、鼻、口といった顔器官と顔の輪郭線を正確に抽出する。

顔器官や顔の輪郭抽出が可能となれば、擬人化エージェントにおいて必要とされる顔画像の3次元モデルフィッティングの目的だけでなく、顔の追跡、個人識別、表情感情の認識等の目的にも利用できるものと考える。

2. 顔特徴抽出システム概要

本システムは、東洋人を対象に標準的なオフィス環境での利用を想定し、一般的な背景の下で、正面から撮影した顔画像から顔を発見し、さらに眉、目、鼻、口といった顔器官と顔の輪郭線を正

確に抽出する。具体的には、以下に示す4つのステップからなる。

1) 顔の発見と瞳の抽出

瞳・目蓋・眉にかけての鉛直線上における輝度分布のパターンは、個人によらず類似値を示し、その現れ方は、他の部位と比べて特徴的である。この性質を利用し、瞳周辺での輝度変化をモデル化し、瞳候補の抽出を行う。抽出された瞳候補が正しいかどうかの検証に、肌色情報に基づいて抽出された顔領域との位置関係を用いる。

2) 顔器官の概略位置決定

瞳中心点の位置を基準にして、眉・目・鼻・口の各顔器官が標準的に含まれる方形領域を設定、その領域内でテンプレート照合を行い、各顔器官の概略位置ならびに各顔器官が含まれる最小矩形領域を決定する。

3) 顔器官の輪郭抽出

顔器官のうち、目並びに口は、鼻や眉と比べ、頻繁に動くため輪郭抽出においては、正確さが要求される。そこで目と口に関しては、各顔器官の最小矩形領域内で矩形中心を囲む二次曲線を発見し、その曲線を初期位置とした動的輪郭モデルを利用し正確な輪郭形状を抽出する。鼻ならびに眉に関しては、輪郭線があいまいな場合でも形状抽出が安定に行いやすいテンプレート照合の結果に基づいた輪郭抽出を行う。

4) 顔輪郭の抽出

各顔器官の概略位置から顔器官を含む多角形領域を設定し、その位置を初期位置とし、動的輪郭モデルを適用して顔輪郭の抽出を行う。なお動的輪郭モデルでは、顔の一般的な特徴である左右対称性の拘束を行うモデルと標準的な顔形状モデルを選択的に利用する新たなモデルである。

3. 顔の発見と瞳の抽出

多様な環境下で撮られる顔画像に対応するため、瞳の抽出には、相互相関による瞳候補の抽出法と、肌色情報を基にした顔領域の抽出法とからなり、顔領域と瞳候補の位置関係を評価し瞳の決定を行う。

3.1. 相互相関による瞳候補の抽出

本手法では、第一に濃淡画像中から複数の瞳座標の候補を抽出する。ここでは、著者らの提案した相互相関による手法[2]を用いることとする。以下、瞳候補抽出手法の処理手順を説明する。

瞳から鉛直線に沿った眉までの顔画像の輝度分布は、顔が多少回転しても瞳の鉛直上方には瞼、その上に眉があり、瞳の黒、瞼の肌色、眉の黒という輝度値パターンの配列は変わらない、そこで、図1に示すような瞳中心から眉までの鉛直線に沿った輝度値の分布パターン（基底）を予め複数の顔画像から抽出し、画像全体についての輝度値の分布パターンとの相互相関により、画像中で最も基底と類似している場所を検索することで

瞳候補を抽出する。なお、詳細は文献[2]に示す。

従来手法では、相互相関値の上位2候補を瞳として選択していた。ところが、背景が煩雑な場合必ずしも譲位2候補に両目の瞳が入るとは限らない。そこで、以上の処理で得られた瞳候補の内、相互相関値上位10個を瞳候補として選び、それぞれの座標とその候補の候補順位を3.3節の処理に引き渡すこととした。

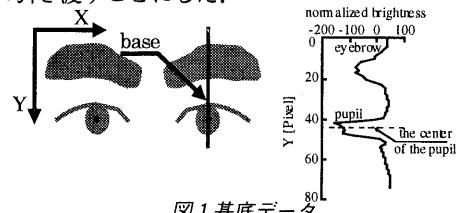


図1 基底データ

3.2. 肌色情報を基にした顔領域抽出

3.2.1. 動的肌色抽出

多様な顔画像に対応するために、肌色の定義を固定せず、画像から動的に変更する以下の手法を用いた。まず、色相画像から色相ヒストグラムを生成し平滑化する。得られた図2のような色相ヒストグラムについて、一般的な肌色範囲よりやや広めにとられた図2中の肌色可能域下限、上限の範囲でピクセル数が最多の点を最大色相点 h_{max} とする。この色相ヒストグラムの関数を $H_{hue}(h)$ とする時、 h_{max} を基点とし $\frac{d}{dh}H_{hue}(h)$ が反転する色相を h_{low} , h_{high} とし、 $H_{hue}(h_{low})$, $H_{hue}(h_{high})$ の内大きいほうを P_t とした。さらに、次のように肌色閾値となるピクセル数 p_s を求める。

$$p_s = \{H_{hist}(h_{max}) - P_t\} h_const + P_t$$

ただし、 h_const : 定数 ($0 < h_const < 1$)

得られた p_s 以上の色相を h_{max} 周りで探索し肌色上限、下限とした。

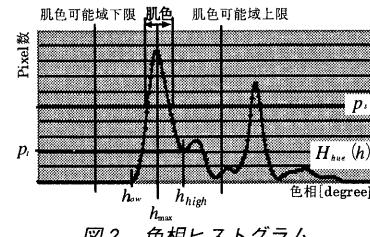
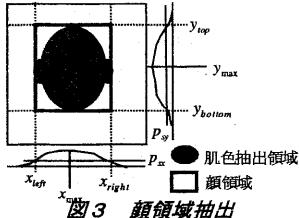


図2 色相ヒストグラム

3.2.2. 顔領域の抽出

求められた肌色画像から顔領域を求めるには、 x , y 軸の肌色ヒストグラムを用いる。それぞれの軸についてヒストグラムを生成し平滑化した後ヒストグラムの最大となる x , y 座標を求める。

x 座標, y 座標それぞれで、ヒストグラムの最大値を基準に閾値を求め最大値周りで閾値以上の区間を顔領域とする。



3.3. 瞳位置の確定（瞳候補の絞込み）

動的肌色抽出によって求められた顔領域の結果と瞳候補の位置関係から、正しい瞳の候補の組を抽出する。実際には、図4のようなマスクを用いる。瞳候補が正しい場合、右目、左目はそれぞれ図4中①、②領域に存在するはずである。このマスクを抽出された顔画像に当てはめ、瞳候補がそれぞれ①、②領域に入っているかをチェックする。入っていないときには、領域内に存在する候補中、最上位のものを瞳位置とする。

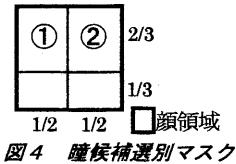


図4 瞳候補選別マスク

3.4. 瞳中心抽出例

前述の手法による実験の例を示す。図5は相互相関法による抽出結果である。複雑な背景を伴い、抽出結果が背景へいってしまっていることがわかる。図6は肌色情報を基にした顔領域を用いた瞳候補の修正の後の結果である。3.3節の絞込みを行ったことにより、領域外の候補が取り除かれ、正しい瞳候補が選ばれていることがわかる。



図5 相互相関法による
瞳抽出結果

図6 肌色領域を用いた
修正の後

4. 瞳を中心とした顔器官位置関係限定

本章では、眉・目・鼻・口の各顔器官を含む領域を抽出する手法について述べる。本手法では2段階の処理で各領域を獲得する。まず、1)顔器官の相対位置関係がすべての人に対して共通であるという特徴を利用し、3章で求めた瞳座標を基準に、各顔器官の確実に含まれる矩形領域を推定する。次に、2)各器官の形状的な特徴を利用し、1)の各領域内に対し個別の処理を行い、各器官が含まれる最小の領域を決定した。

4.1. 顔器官領域の抽出

4.1.1 顔器官の概略位置の限定

3章で求めた瞳座標を基準に、眉・目・鼻・口の各顔器官の大まかな存在領域を限定する。汎用性を考慮して、30人の6基本表情についてこれらの領域を調べ、最終的に全ての対象の全ての表情において、眉、目、鼻、口がそれぞれ含まれる領域を求めた。顔画像をCRTに表示し、マウスを用い、図7の23点の座標値を入力した。最終的に獲得した領域を図8に示す。各領域の大きさは、左右瞳間距離を1とした場合の割合で示してある。

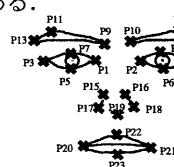


図7 顔器官領域を獲得す
るための特徴点

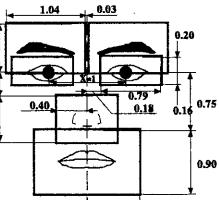


図8 顔器官領域

4.1.2 実験結果

2つの瞳中心点の中点を基準として、瞳中心点が水平となるようアフィン変換を行い、顔器官を含む領域を獲得した。顔器官領域の抽出結果を図9に示す。

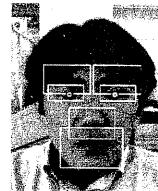


図9 顔器官領域抽出結果

4.2 顔器官を含む最小領域の抽出

本節では、4.1で求めた領域内で各器官ごとの形状特徴を利用し、さらに各顔器官抽出のための特徴量の抽出を行う。

4.2.1 目領域の獲得

目の輪郭は瞳を中心にその周囲に存在するという特徴から、瞳座標を中心とする楕円領域を求め、楕円に外接する矩形領域を目領域とする。このとき、目周辺の髪の毛、眉はノイズとなるので、これを除去するために楕円の長軸、短軸は、瞳中心間距離に比例させた（図10）。

さらに、次章で述べる処理において、楕円領域内を瞳座標を中心とする放射状にデータ検索を行うため、横方向に角度(deg)、縦方向に瞳座標からの距離(y)をとったマップを作成しておく。作成したマップの大きさは横方向(角度)は3度毎として120点、縦方向は瞳座標からの最大距離とする。データが無い座標はその角度の最大距離の輝度とする。以上の処理により作成したマップを図11に示す。

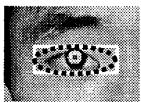


図10 瞳領域抽出結果



図11 瞳を中心とした放射状マップ

4.2.2 口領域の獲得

図12に口領域抽出の手順を示す。まず位置検出のために、8方向エッジ強調（図12-a）を行い、楕円形のテンプレートを用いたマッチングを行う（図12-b）。ここで口の外形サイズは他の顔器官に比べ大きさが様々であるため、テンプレートマッチングのみではテンプレート中央に口が位置しない場合が多い。そこでさらにテンプレート内を2値化し（図12-c）、黒の最大領域の重心を用いてテンプレートの位置補正を行った（図12-d）。最終的にこの楕円のテンプレートを囲む矩形領域を口領域とした（図12-e）。また、この重心を基準として放射状マップを作成した（図12-f）。

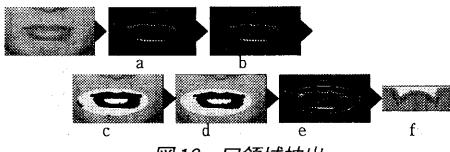


図12 口領域抽出

4.2.3 眉領域の獲得

眉は髪の毛が掛かり、眉の位置すら判断するのが困難な場合がある。そのようなノイズを除去するため、横方向エッジ強調を施し、眉の上下の輪郭を強調する。強調エッジ画像に対して、矩形テンプレートのマッチング処理を施し、テンプレート内のエッジ強度の和が最大の座標を眉の位置とした。図13に一例を示す。



図13 眉領域の獲得

左:現画像 中:横方向エッジ画像 右:マッチング結果

4.2.4 鼻領域の獲得

図14に鼻領域抽出の手順を示す。鼻領域は原画像を8方向エッジ強調し（図14-a）、テンプレートマッチングにより鼻の位置を検出（図14-b）、テンプレートの基準点より放射状データ検索用のマップを作成する（図14-c）。



図14 鼻領域抽出

4.3 獲得された顔器官領域

4.2において述べた手法による顔器官領域の抽出例を図15に示す。



図15 顔器官領域の抽出結果

5. 顔器官及び顔輪郭線の抽出

本章では、眉・目・鼻・口の各顔器官及び顎の輪郭線を抽出する手法について述べる。顔器官輪郭線の抽出は、エッジ列に対する二次曲線当てはめを基本とし、特に精度の高い抽出の求められる目、口については動的輪郭モデルを併用する。顎輪郭線については、2つの特性を持つ動的輪郭モデルの混成手法を用いる。

5.1 顔器官の輪郭抽出

目・口輪郭については、従来手法[2]を改良した新たな手法を用い、眉・鼻に関しては従来と同じ手法を使用した。そこで、本稿では目と口の手法を中心に述べ、眉と鼻に関しては概略を述べるのみにとどめる。

5.1.1 目、口の輪郭抽出

著者らはこれまで、目と口の輪郭抽出手法について“2次曲線当てはめ法”[2]と“動的輪郭モデル法”[6]の2つの手法をそれぞれ提案してきた。これらの2手法については、その手法の違いから、相反する長所と短所を持ち合わせていた。そこで、両者の長所を生かした形で組み合わせた手法を提案する。

(1) 従来手法の概要

1) 2次曲線当てはめ法

目輪郭については、まず4章で作成した目楕円領域内放射状マップ上で、暗から明という基底を用いた相互相関により瞳輪郭を抽出し、3点の基準座標を求め（図16①）、その座標より目輪郭と思われる暗部を近似し（図16②）、原画像データに座標変換することにより目輪郭を決定する（図16③）。

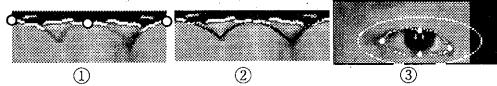


図16 二次曲線当てはめ法による目輪郭抽出

また、口輪郭については、口楕円領域内放射状マップ上で、目と同様の相互相関計算によって口の両端を基準座標として求め（図17①）、口両端点を決定する（図17②）。この点を基準とし唇中央部、唇上下部の形状を2次曲線近似する。

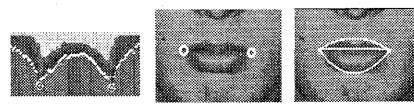


図17 二次曲線当てはめ法による口輪郭抽出

2) 動的輪郭モデル法

目や口は一般に、二つの滑らかな部分と、鋭く尖った部分によって構成されているそこで、これまで、2本の動的輪郭モデルを目や口の上下から収束させる方法を用いてきた[6]。尖った部分は、それらの交点として表現できるため動的輪郭モデルのエネルギー項として表現することなく用いることができる。



図18 複数の動的輪郭モデルによる顔器官輪郭抽出

(2) 従来手法の特徴

従来の2手法は次の様な相反する特徴がある。

1) ノイズ、入力誤差の影響

動的輪郭モデル法……入力情報の結果や画像のノイズに影響を受けやすい。

2次曲線当てはめ法……入力情報である目の領域情報の影響を受けにくい。

2) 輪郭の表現方法

動的輪郭モデル法……高次の曲線として輪郭線を表現するため、複雑な曲線も表現可能である。

2次曲線当てはめ法……4本の2次曲線で最終的な輪郭線を表現することから、複雑な輪郭形状は表現しきれない。

(3) 提案手法

上記の特徴から、本手法では、2次曲線当てはめ手法により輪郭の概略形状を抽出し、その位置を、動的輪郭モデルの初期位置として顔器官の輪郭線の抽出をする。これにより、入力情報やノイズに強くかつ、微細な部分も表現可能な抽出手法となることが期待できる。処理の流れを図19に示し、以下提案手法の概略について説明する。

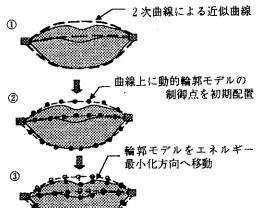


図19 顔器官輪郭抽出

まず、従来の2次曲線当てはめ法により、目輪郭を4本、口輪郭を6本の2次曲線での近似を行う(図19①)。次に、求めた輪郭上に動的輪郭モデルを初期配置し(図19②)、輪郭モデルをエネルギー最小となる形状へ変形させる(図19③)。変形が収束した輪郭モデルを最終的な輪郭抽出結果とする。

5.1.2 鼻・眉の輪郭抽出

(1) 眉輪郭抽出

眉輪郭抽出は次の手順で行う。まず、4章において求めた矩形領域内で、眉上下部の形状を2次曲線近似する(図20①)。そして形状近似曲線内の原画像を2値化し、ラベリング処理、最大領域抽出により眉輪郭を決定する(③)。

(2) 鼻輪郭抽出

鼻輪郭抽出は以下の手順で行う。目、口と同様に4章で作成した放射状データマップを用いる(図21①)。輪郭は比較的暗くなっているので明→暗→明という輝度パターンの基底により相互相關計算し輪郭と思われる暗部を抽出した(②)後、原画像に座標変換し鼻輪郭を決定する(③)。

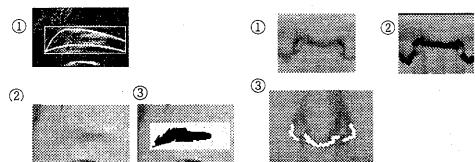


図20 眉の輪郭抽出

図21 鼻の輪郭抽出

5.1.3 顔器官輪郭線の抽出例

以上の処理を用いて抽出した結果を図22に示す。



図22 顔器官輪郭抽出結果

図23に、従来の動的輪郭モデル法、2次曲線当てはめ法による抽出結果と、両者を組み合わせた新手法による抽出結果を示す。動的輪郭モデル法では、左上の薄いひげに影響を受け誤った輪郭線を抽出しており、二次曲線当てはめでは、上唇の左右端付近で輪郭に沿わず誤っている。一方、提案手法では、ノイズの影響も受けず、また、実際の輪郭線に沿った輪郭の抽出ができる。

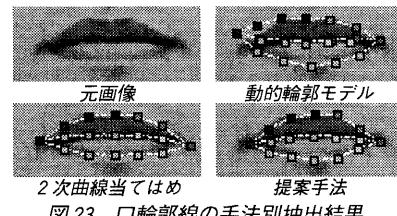


図23 口輪郭線の手法別抽出結果
2次曲線当てはめ 提案手法

5.2. 頸輪郭の抽出

本研究では、大局的特徴である軸対称性の拘束と、平均顔から作られた標準顔形状による拘束を持つ2種類の動的輪郭モデルを用意し、対象となる顔の形状に応じ切り替える動的輪郭モデルの混成手法を提案する。以下、2つの動的輪郭モデル及び、提案する頸輪郭抽出のための動的輪郭モデル混成手法を述べる。なお、動的輪郭モデルを用いるには、初期位置を設定する必要があるが、入力画像の背景は、必ずしも一様なものとは限らない。従って本報告では初期位置を、図24の黒線に示すように顔器官を外側から囲む顔内側に設定する。



図24 頸輪郭抽出のための初期位置

5.2.1. 軸対称性拘束を持つ動的輪郭モデル

混成手法に用いる一方の輪郭モデルは、軸対称性拘束を持つ動的輪郭モデルである。一般に正面顔の場合、顔輪郭の普遍的特徴として、左右対称性（軸対称性）がある。われわれは、これまで動的輪郭モデルのエネルギー項の一つとして軸対称エネルギー項を定義することで、軸対称性拘束を持つ動的輪郭モデル（以降、軸対称モデルと呼ぶ）を提案してきた[8]。軸対称モデルは、Cohenらにより拡張された動的輪郭モデル[9]を元に、収束時の各タイムステップ毎に対称軸を設定し、その軸に対する対称性を崩さないような拘束を持つモデルである。詳細は[9]を参考されたい。

この方法は個人差によらない収束を期待することが出来るが、対称軸に垂直な方向への拘束とはならないために、輪郭のあいまいである首との境界付近の収束は不安定である。

5.2.2. 標準顔輪郭形状拘束を持つ顔輪郭抽出モデル

混成手法に用いるもう一方の輪郭モデルは、標準顔輪郭形状拘束を持つ顔輪郭抽出モデル[10]（以降、標準顔形状モデルと呼ぶ）である。このモデルは、制御点列をバネで結合させた弾性輪郭モデル[11]で、あらかじめ用意した標準顔輪郭形状との形状差からおきる弾性エネルギーと、画像特徴から得られる画像エネルギーの和を最小にすることにより輪郭線を求める方法である。

顔下部の輪郭モデルは、図25に示すような制御点と隣接2制御点間と隣接3制御点間に張られた2種類のバネから構成される。このモデルの各辺には、その収縮、拡大に比例する復元力が作用し、隣接する2辺の挾角部分にはその角度変化に

比例する復元力が作用する。あらかじめ定義しておいた標準顔輪郭形状（図25左）の辺、角度をこのモデルの自然長、自然角度とすることにより標準顔輪郭形状との差が大きい状態は、その差を減らすような力を受けより標準形状に近い形へと変化する。

この手法の特徴としては、輪郭が部分的に不明瞭な場合も、それらしい輪郭線を抽出することが出来る利点がある反面、標準顔形状から外れた輪郭の場合も標準顔形状に近い輪郭を出してしまう欠点がある。



図25 弾性輪郭モデルと標準顔輪郭形状

5.2.3. 最適モデル選択による頸輪郭抽出

軸対称モデルの問題点は、顔の縦方向の軸についての対称形拘束のため、軸と垂直方向の輪郭に對しては拘束とはならない点である。すなわち、撮影条件や被験者の特徴により、顎と首の境界が不明瞭な場合、正確な顎と首境界の輪郭線を抽出することが困難になることがある。また、標準顔形状モデルの問題点として、標準顔形状から離れた顔に対しては誤った収束をする傾向にあることと、初期位置によっては探索範囲の設定の不具合により収束結果が変わってくることが挙げられる。

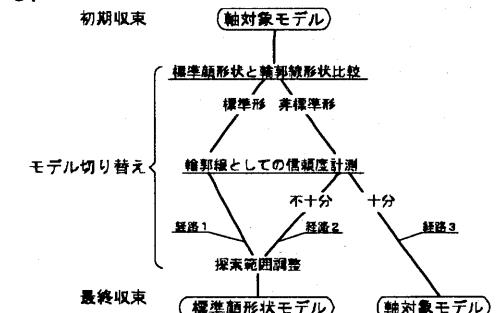


図26 混成手法処理フロー

そこで、図26のように両モデルの切り替えを用いる軸対称・標準形状の混成手法を提案する。

まず、軸対称モデルにより初期収束を行う。次に、その結果に対し、標準顔形状モデルで用いている標準顔形状との形のずれをはかる。標準顔形状モデルに近ければ、標準形状モデルを当てはめても正しく解が出せると考えられるため、最終収束は標準形状モデルで行う（図26 経路1）。

初期収束の結果が、標準顔形状から逸脱した形である場合、理由として2つのことが考えられる。対象が標準的な顔輪郭をしていなかった場合と、誤った位置に収束しつつある場合である。これを見分けるために、輪郭上各点で輪郭としての

信頼度を計り全体の信頼度により最終収束の方針を決める。信頼度評価の基準は、軸対称モデルの画像エネルギーとした。信頼度が著しく低い場合には、誤った収束をしていると判断し、標準顔形状モデルでの収束を行う（経路2）。信頼度が高い場合には、対象の顔形状が元来標準形から離れたものであったとして軸対称モデルによる収束を引き続き行い、それを最終結果とする（経路3）。また、標準顔形状モデルでの最終収束を行う場合（経路1,2）には、探索範囲の決定も前述信頼度の大きさに応じて設定した。

5.2.4. 顎輪郭線抽出例

2つの画像に対する軸対称モデル、標準形状モデルと提案手法による抽出例を図27, 28に示す。

図27では、右上の標準形状モデルが向かって右側のほほ付近で失敗している。ほほの外にある背景によってできたエッジを含めて構成される輪郭線が標準形状に近くなつたためと考えられる。提案手法と、軸対称モデルでは、問題なく正確な輪郭線を求めることができた。



図27 顎輪郭抽出例1

左：提案手法による結果、右：各手法で差異が出た部分

図28は、左上の軸対称モデルが向かって左側の首との境界付近で失敗している例である。失敗している付近では、軸対称の拘束が利きにくく、また、かなり連続した区間で不鮮明となっていることが原因である。このような画像に対して、提案手法と、標準顔形状モデルでは、正しい輪郭線を抽出することができている。

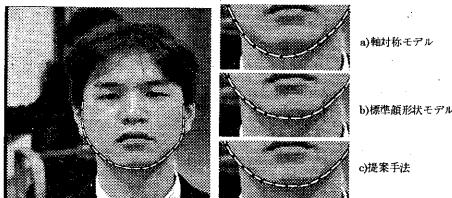


図28 顎輪郭抽出例2

左：提案手法による結果、右：各手法で差異が出た部分

6. 総合評価と検討

本章では、瞳中心、目輪郭線、口輪郭線、顎輪郭線について、手入力結果との比較実験を行つた。以下各抽出結果を示す。

6.1 実験方法

顔特徴抽出システムの検証実験には、正面から撮影された、眼鏡、ヒゲ無しの東洋人の顔画像46枚を用いた。目・口については、動的輪郭モ

デルのみを用いる方法と、二次曲線当てはめの方法、顎については、軸対称性拘束を持つ動的輪郭モデルと、標準顔輪郭形状拘束を持つ顔輪郭抽出モデルにとの比較をした。

評価のための基準として、実験を行なった顔画像上をマウスで、被験者10人に指示してもらった。1pixelは画面上、0.65mmで表わされ、顔全体は約160*220mmの大きさで提示した。指示してもらった点は、左右の瞳中心2点、左右の目輪郭点それぞれ12点、口は17点、顎は21点の計59点である。瞳中心は指示してもらった点の平均点を基準点とし、目・口・顎の輪郭は、指示してもらった点を平均化しB-Spline曲線近似を行つた曲線を基準輪郭とした。

6.2 実験結果

10人の被験者のそれぞれの入力と基準点及び基準線からの距離を求めた。各器官ごとに、求めた距離の平均、標準偏差、全データの95%が含まれる値（95パーセンタイル）を求めた（表1）。手入力でもある程度の誤差が起こることから、以降では、正解、不正解の基準を95パーセンタイルとし、それ未満を正解、それ以上を不正解であると考えることにする。

表1 手入力誤差 単位[pixel]

	瞳	目	口	顎
平均	1.28	1.05	1.11	1.37
標準偏差	0.76	0.88	0.87	1.12
95パーセンタイル	2.24	2.73	2.82	3.39

6.2.1. 瞳中心

背景は均一でないにもかかわらず、すべての画像においてほぼ正しく抽出することが出来た。基準点からの距離は、平均2.36pixel、標準偏差2.81pixelであり、内訳は図28のようになった。正解の基準である95パーセンタイル以下(2.2pixel以下)のものは77%であった。

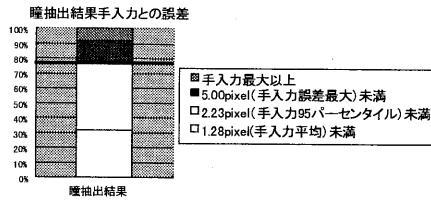


図28 瞳中心抽出結果

6.2.2. 目輪郭線

瞳抽出の誤差の大きかったものも含めすべての画像に対して、目輪郭線を抽出した結果の基準輪郭線からの距離は表2、図29のようになった。

平均、標準偏差とも他の2手法に比べ向上している。目は比較的はっきりとした輪郭線が現れるため、どの手法でも90%近くで正確な輪郭を得ることができた。二次曲線当てはめの手法は、端点の決定を誤らなければ手入力に非常に近い輪郭線を抽出できていたが、黒目と白目の境界付近も目の端点と似たパターンを示す場合があり、端点を誤り大きな誤差となってしまう場合があった。

提案手法では、そのような大きなミスは起こらなかった。

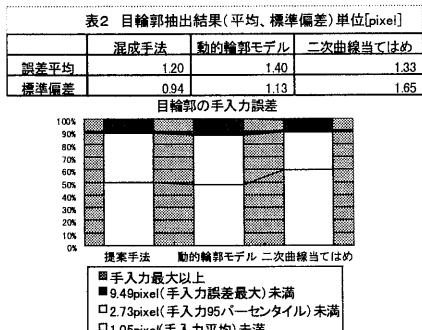


図29 目輪郭線抽出結果

6.2.3. 口輪郭線抽出結果

口輪郭線抽出結果の基準輪郭線との距離は表3 図30のようになつた。距離の平均、標準偏差、その内訳についてもすべての区分について、他の2手法と比べ向上している。また88%の輪郭点で手入力95パーセンタイル(2.82pixel)以下となつた。

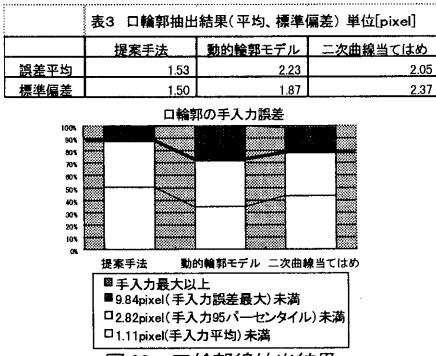


図30 口輪郭線抽出結果

6.2.4. 頸輪郭線抽出結果

提案する混成手法と、その元となる2手法を用いて輪郭抽出を行つた結果を表4、図31に示す。

誤差平均も、標準偏差も元となつた2手法の結果を上回つた。また全体の78%が95パーセンタイル(3.39pixel)以下となり、正解率も元の

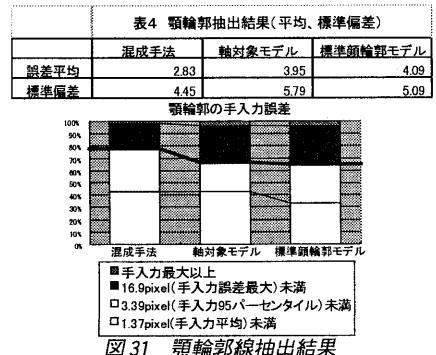


図31 頸輪郭線抽出結果

手法に比べ向上していることが分かる。軸対象モデルでは、顎と首の境界付近で首まで広がつて失敗することがあり、標準顔形状モデルでは、顎先と口の中間付近に標準形状の形に収束してしまう場合や背景によってできたエッジを含めて構成される輪郭線が標準形状に近くなつたため失敗したものもあつた。提案する手法では、そのようなケースが減り、軸対象モデル、標準顔形状モデルの欠点を補いあうことが出来た。

7. おわりに

本研究は、顔画像を3次元モデルにフィッティングするための特徴点抽出を意識し、より精度のよい顔特徴点の自動抽出手法を提案し、顔特徴抽出システムとして実装した。また、本手法を複数の被験者の手入力による基準輪郭線に対する誤差を評価し、本手法の有効性を示した。本研究で対象とした顔特徴点は、顔画像のモデルフィッティングの目的だけでなく、顔の追跡や個人認識、表情認識など様々な顔認識のために利用できるものであると考えている。本稿で報告した顔特徴抽出システムは、以下のURLより、フリーウェアとして入手できる。

<http://www.ipa.go.jp/STC/senshin-dokusou-old.html>

謝辞:

本研究を進めるに当たり、議論を行つていただいた東京大学原島博教授、電気通信大学金子正秀助教授、成蹊大学森島繁生助教授並びに、AAWG合成グループの皆様に感謝いたします。また、本研究グループを運営する上で協力していただいた(財)イメージ情報科学研究所、早稲田大学青木義満君に感謝いたします。本研究の一部は、情報処理振興事業協会(IPA)「独創的情報技術育成事業」の一環として行われたものである。

参考文献 :

- [1] 森島繁生、八木康史、金子正秀、原島博、谷内田正彦、原文雄、顔の認識・合成のための標準ソフトウェアの開発、信学技報 PRMU97-282, pp.129-136, 1998
- [2] 小林、丹下、原、『人の6基本表情の実時間認識』、日本機械学会誌テクノロジカル講演会予稿集, pp.873-876, 1995.6
- [3] 久富健介、橋本周司、『分散協調エージェントによる顔認識』、信学技報, PRMU97-133, pp.33-38, 1997
- [4] 久富健介、橋本周司、『複数の手がかりを用いた顔認識』、情報処理学会全国大会4P-07, 1998
- [5] 工藤 力記, P. Ekman and W. V. Friesen著: 瞳表情分析入門 Cpp.1-277, 誠信書房, 1988.
- [6] 横山太郎、吳海元、谷内田正彦、"動的輪郭モデルを用いた色彩画像からの顔器官の同定", 画像の認識理解シンポジウム9_6 (MIRU96).pp.319-324, 1996.
- [7] M. Kass, A.P. Witkin and D. Terzopoulos: Snakes: Active Contour Models, IJCV(1), No.4, pp.321-331, 1988.
- [8] L. Cohen and I. Cohen: A fine element method applied to new active contour models and 3D reconstruction from cross sections, Proc. 3rd ICCVision, pp.587-591, 1990
- [9] 横山 太郎、八木 康史、谷内田 正彦、吳 海元、軸対称性を考慮した頸輪郭の自動抽出、電子情報通信学会論文誌D-II, Vol.J80-D-II, No.8, pp.2178 - 2185, 1997年 8月
- [10] F.Hara,K.Tanaka,H.Kobayashi, and A.Tange:Automatic Feature Extraction of Facial Organs and Contour,6th IEEE I.W. Robot and Human Communication, pp.386-391, 1997
- [11] 上田 修功、間瀬 健二、末次 康仁: "弾性輪郭モデルとエネルギー最小下原理による輪郭追跡手法", 電子情報通信学会誌D-II Vol.J75-DII No.1 PP.111-120