

博士學位論文

似顔絵自動生成のための画像処理基盤研究

指導教員：興水大和 教授

中京大学大学院 情報科学研究科 メディア科学専攻 博士課程

学籍番号：H30901D

氏名：徳田尚也

似顔絵自動生成のための画像処理基盤研究

徳田尚也

要旨

似顔絵は個人の特徴を捉え、それにデフォルメして記述したものである。エンターテインメントとしては、商業地や展示会で似顔絵を作成するサービス、似顔絵師同士で技量を競い合うイベントも存在する。近年では、インターネット上のアバターや名刺に似顔絵を描画するサービスなどデジタルデータとして取り扱われるようになった。さらにはコンピュータによる似顔絵生成システムの研究・開発も行なわれており、万博に出展された例や商品化された例がある。似顔絵のコンピュータを用いた似顔絵生成システムの応用例では、ユーザが自由にテンプレートを選び生成するユーザ介入型の似顔絵生成システムと、画像処理技術等の技術を用いて自動的に似顔絵を生成する自動似顔絵生成システムがある。前者は予め用意されたテンプレートを用いており、限られた表現の似顔絵生成となるが、後者は誇張方法や度合のカスタマイズが可能であるため、幅広い表現の似顔絵生成が可能である。しかしながら、似顔絵生成の基礎となる顔特徴抽出精度が不十分であるため、これらのシステムは実用化に至っていない。

顔は歯科学、心理学、芸術、工学など様々な分野で関心を持たれており、顔から創出される感性、印象、心理、物理特徴等を取り扱うことで、独自に研究され発展してきた。近年ではそれぞれの分野で他分野の知見も必要に迫られており、多分野で構成された日本顔学会が発足し、顔に関する議論がされている。このような研究の潮流の中で、工学の分野では顔印象の解析のために、顔の個人特徴を定量化することが求められている。特に似顔絵は、「目が大きい」や「顔が小さい」などの物理的な個人特徴を主に扱うことから、「美しい」等の感性的特徴を扱う歯科学や心理学の分野と比べて、先んじて工学の分野の研究で扱われている。

コンピュータを用いた似顔絵生成システムはこのような顔研究の影響を受けながら発展してきた。また、似顔絵作家の似顔絵描画におけるデフォルメ方法は、平均顔を基に特徴的な箇所を誇張しているという考え(平均顔仮説)が主流である。そのため、この仮説を基にした似顔絵自動生成システムは、PICASSO2 システムをはじめ、多く開発されている。

ここで、PICASSO2 システムは個人の顔部品や輪郭を特徴点で定義して、平均顔データとそれとの差分を誇張することで、個人の特徴を誇張した似顔絵を生成する。一方、工学の分野で顔特徴を扱う研究には、個人認証や顔属性推定、顔表情認識がある。これらの研究では、得られた顔特徴から有用な情報のみを抽出して用いている。しかしながら、似顔絵生成システムでは特徴的な情報だけでなく特徴的でない情報も重要となるため、高精度な顔特徴技術が求められる。

このようなシステムの特徴抽出は、画像処理によって得られるエッジや色、輝度等の情報を用いる方法や、濃淡のパターンを学習して輪郭を推定する方法を用いて行われる。このように、顔部品認識で用いられている技術は画像処理によって得られたエッジや色情報、濃淡情報を基にしている。

本論文では、これらのように、特徴抽出の基礎となるエッジや色情報等の抽出技術の向上を目指す。とりわけ、口と眉の抽出について取り扱う。これらは形状が個人の印象に強く影響を与える部品であるため、これらの特徴抽出精度が向上すれば、似顔絵生成システムに強く貢献できる。

平均顔仮説を用いて似顔絵を描く多くの似顔絵作家は、無意識にこのような物理特徴を考慮しつつ、似顔絵を描いているはずである。似顔絵生成システムの一つである PICASSO2 システムはこのような物理特徴と平均顔データの差分を単純に誇張したシステムであり、似顔絵生成の仕組みを端的に表現したものであると考えられる。そのため、本論文では PICASSO2 システムを本研究におけるデファクトスタンダードとして用いてその効果について検証することとした。

似顔絵の描画の過程は、顔の注視、顔特徴の把握、似顔絵の描画という流れで行っていると考えられこれらは無意識に行われていると思われる。この過程より、似顔絵生成に適した顔画像を取得する方法と口と眉の顔特徴を抽出する方法について紹介する。特徴抽出では眉や口の領域を抽出することを目的として、過抽出、未抽出を抑えた抽出手法を目指す。

高品位な顔画像取得のために、鼻孔検出手法の改善と正面顔判定手法を導入した。その結果、高品位な顔画像を取得できなかった場合の撮り直し回数を抑制できることを示し、被験者や撮像者の負担を軽減できる可能性を示した。また、顔特徴抽出手法では口抽出手法と眉抽出手法について提案して、従来用いられてきた画像特徴量よりも過抽出を抑えた手法を提案した。また、これらをすべて適用した総合評価実験を行い、それぞれ行った実験結果とほぼ同等の結果が得られ、提案する顔特徴抽出手法の有用性を確認した。

これらより、似顔絵生成システムにおいて、顔特徴点抽出技術が向上して多様な似顔絵生成システム構築の一助となる技術を示せた。

Abstract

Facial caricature is described personal feature by detecting and deformation it. In entertainment, there are service of creating facial caricature at exhibition or business district, or event that is competed technique among artists. Facial caricature has been dealt with digital data such as Avator or business card drawn it in recent year. Additionally, facial caricaturing systems by computer have been studied and developed for exhibiting Expo, commodification and etc. Facial caricaturing systems by computer are two applications that is generated by choosing templates of facial parts by users and, by automatically by technique of image processing. The systems chosen facial parts templates by users are limited expression because users chose previously prepared templates. The systems generated automatically are possible to generate facial caricature of wide range of expression because they are possible to customize methods of deformation and its degree. However these systems are not put into practical use because facial feature extraction accuracy underlying facial caricature is insufficient.

In entertainment, there are service of creating facial caricature at exhibition or business district, or event that is competed technique among artists.

Face has been interested in various fields such as Dentistry, Psychology, Art and Engineering, and it had been studied and developed by using Kansei, expression, psychology and physical feature in each field. In recent year, each field needs knowledge of other fields. Thus, Japan Academy of Facial Studies consisting of many fields members was established and members have been discuss about face. In the spirit of researches, field of Engineering is required to quantitate of personal facial feature for analyzing facial expression by another fields. Especially, facial caricature is studied ahead of another field in field of Engineering because it is mainly use personal physical feature such as “eyes are large” or “face is small”.

Facial caricaturing systems by computer have been developed while under

the influence of such face research. Many facial caricature artists draw it based on deformation idea that is deformed difference from personal face and mean face. Thus, facial caricaturing systems based on it idea have been applied to such as PICASSO2 system. Here, PICASSO2 system are defined feature points composing personal facial parts, and facial caricature is generated by deforming difference from mean face and it. On the other hand, in researches of Engineering field dealing with facial feature, there are personal authentication, face attribute estimating and facial expression recognition. These researches used only useful information from extracting facial features. However, facial caricature is required highly accurate technique of facial feature extraction because it is important information not only characteristic features but also non-characteristic features.

Facial feature extraction of these systems is obtained by image information such as edge, color, brightness and learning algorism of gray pattern. Thus, facial parts recognition is based on image processing such as information of edge, color and gray value.

In this paper, I aim to improve image processing method by using edge or color information for facial feature extraction. Especially, I deal mouth and eyebrow extraction method. Since these facial parts shape is strongly influence to the personal impression, if these feature extraction accuracy is improved, it is possible to contribute for facial caricaturing systems.

A lot of facial caricaturing artists to draw it based idea of mean face unconsciously consider physical feature. PICASSO2 is simply system which deforms difference of physical feature from personal face and mean face, it is considering that PICASSO2 is brief expression the mechanism of facial caricaturing generation. Therefore, it was examined the effect by proposed method by using PICASSO2 as de facto standard in this paper.

Process of facial caricature of drawing, it is considered that facial caricature artists unconsciously has been drawn the flow that is gaze of face, facial feature understanding, drawing facial caricature. Thus, I introduce the

methods to obtain face image suitable for facial caricaturing generation and to extract feature of mouth and eyebrow. The purpose of this paper is to extract the region of eyebrow and mouth, and it is aims that these extraction methods suppress the over-extraction and non-extraction.

Thus, I innovated methods of improving nose detection and frontal face judgment due to obtain a high quality face image. As the result, it is suggested that the number of times to retake is suppressed when it is unable to obtain a high quality face image, and it is possible that examinee and photographer was suppressed burden. Additionally, proposed methods of mouth and eyebrow extraction reduced over-extraction and non-extraction than past method. Finally, these methods were applied to the PICASSO2 system, and it was experimented about performance. As the result, these performances were almost equivalent as compared with each evaluation experiment, and it is suggested that proposed method was useful.

Therefore, I suggested the technique of facial feature extraction for the system generated variety expression facial caricature.

目次

| | |
|--------------------------------------|----|
| まえがき | 1 |
| 第 1 章 はじめに | 2 |
| 第 1.1 節 コンピュータ似顔絵生成システム | 2 |
| 第 1.2 節 顔学から見た本研究の位置付け | 4 |
| 第 1.3 節 似顔絵生成システムにおける画像処理と位置付け | 5 |
| 第 1.4 節 本研究の構成と位置付け | 7 |
| 第 2 章 似顔絵生成システムのフィールドテストと 研究課題の分析 | 9 |
| 第 2.1 節 フィールドテストでの実験環境 | 9 |
| 第 2.2 節 似顔生成システムの概要 | 10 |
| 第 2.2.1 項 顔領域の抽出 | 10 |
| 第 2.2.2 項 瞳・鼻孔の検出 | 11 |
| 第 2.2.3 項 顔部品領域設定 | 14 |
| 第 2.2.4 項 顔器官部品特徴抽出 | 14 |
| 第 2.2.5 項 fail-safe-system | 15 |
| 第 2.3 節 フィールドテストでの実験結果 | 16 |
| 第 2.4 節 似顔絵生成システムの課題 | 18 |
| 第 2.4.1 項 フィールドテストの考察と課題 | 18 |
| 第 2.4.2 項 顔特徴抽出の課題 | 18 |
| 第 2.5 節 実験に用いる顔画像データ | 20 |
| 第 3 章 顔画像取得の効率化と精度向上 | 21 |
| 第 3.1 節 はじめに | 21 |
| 第 3.2 節 従来手法の問題点とアイデア | 22 |
| 第 3.2.1 項 正面顔判定 | 22 |
| 第 3.2.2 項 鼻孔検出の改善 | 23 |
| 第 3.3 節 正面顔判定方法 | 24 |
| 第 3.3.1 項 正面顔判定に用いる特徴量 | 24 |
| 第 3.3.2 項 正面顔判定の閾値設定 | 27 |
| 第 3.3.3 項 正面顔判定実験 | 29 |

| | | |
|-----------|--------------------|----|
| 第3.4節 | 鼻孔検出の改善 | 31 |
| 第 3.4.1 項 | 従来の鼻孔検出手法と問題点 | 31 |
| 第 3.4.2 項 | 鼻孔検出の改善手法 | 31 |
| 第 3.4.3 項 | 改善手法の評価実験 | 34 |
| 第3.5節 | 顔画像取得の効率化の評価実験 | 35 |
| 第 4 章 | 口抽出手法の提案 | 37 |
| 第 4.1 節 | はじめに | 37 |
| 第 4.2 節 | 輝度・色情報を用いた口抽出 | 39 |
| 第 4.2.1 項 | 口抽出手法の概要 | 39 |
| 第 4.2.2 項 | CIE L*a*b*のパラメータ設定 | 41 |
| 第 4.2.3 項 | CFIを用いた口抽出 | 43 |
| 第 4.2.4 項 | 領域内の中央値および色差の算出 | 44 |
| 第 4.2.5 項 | 膨張・収縮処理のためのノイズ除去 | 45 |
| 第 4.2.6 項 | 膨張・収縮処理 | 45 |
| 第 4.3 節 | 提案手法の検証実験 | 47 |
| 第 4.3.1 項 | 評価実験の指標 | 47 |
| 第 4.3.2 項 | 評価実験の内容 | 48 |
| 第 4.3.3 項 | 評価実験結果 | 49 |
| 第 4.4 節 | 濃度値変換パラメータの最適化 | 50 |
| 第 4.4.1 項 | 提案手法の改善 | 50 |
| 第 4.4.2 項 | 評価実験の指標 | 50 |
| 第 4.4.3 項 | 評価実験の内容 | 50 |
| 第 4.4.4 項 | 評価結果と考察 | 51 |
| 第 5 章 | 口元検出手法 | 53 |
| 第 5.1 節 | はじめに | 53 |
| 第 5.2 節 | 口元検出手法の概要 | 54 |
| 第 5.2.1 項 | 口元検出領域の設定 | 54 |
| 第 5.2.2 項 | 口元検出のための濃淡画像生成 | 54 |
| 第 5.2.3 項 | 口元検出フィルタの設計 | 54 |
| 第 5.2.4 項 | 重み付けによる口元検出 | 55 |

| | | |
|-----------|-----------------------|----|
| 第 5.3 節 | 口元検出の実験結果 | 56 |
| 第 5.3.1 項 | 実験概要 | 56 |
| 第 5.3.2 項 | 実験結果 | 56 |
| 第 5.4 節 | 口元検出の考察 | 58 |
| 第 6 章 | 可変二値化処理による眉抽出 | 59 |
| 第 6.1 節 | はじめに | 59 |
| 第 6.2 節 | 眉抽出手法の概要 | 60 |
| 第 6.2.1 項 | 眉抽出領域の設定 | 60 |
| 第 6.2.2 項 | 眉抽出領域の再設定 | 61 |
| 第 6.2.3 項 | 眉上輪郭候補検出 | 62 |
| 第 6.2.4 項 | 領域分割と可変閾値二値化処理による眉抽出 | 65 |
| 第 6.2.5 項 | 二値化閾値の再設定 | 66 |
| 第 6.3 節 | 眉抽出評価実験 | 67 |
| 第 6.3.1 項 | 実験概要 | 67 |
| 第 6.3.2 項 | 実験結果と考察 | 68 |
| 第 7 章 | 本研究の総合評価 | 70 |
| 第 7.1 節 | 総合評価実験の概要 | 70 |
| 第 7.2 節 | 実験結果 | 70 |
| 第 7.2.1 項 | 正面顔判定と鼻孔検出実験 | 70 |
| 第 7.2.2 項 | 口抽出手法の確認実験 | 70 |
| 第 7.2.3 項 | 眉抽出手法の確認実験 | 71 |
| 第 7.3 節 | 実験の考察 | 71 |
| 第 8 章 | 顔特徴抽出技術の課題と展望 | 72 |
| 第 8.1 節 | 耳領域推定手法 | 72 |
| 第 8.1.1 項 | 耳領域の計測 | 72 |
| 第 8.1.2 項 | 耳領域の推定 | 74 |
| 第 8.1.3 項 | 耳の有無判定 | 75 |
| 第 8.1.4 項 | 耳輪郭検出の今後の課題 | 76 |
| 第 8.2 節 | 解析関数を用いた輪郭検出への応用 | 77 |
| 第 8.3 節 | 無限遠点検出法の似顔絵生成システムへの応用 | 79 |

| | |
|---------------------------|-----|
| 第 8.3.1 項 無限遠点検出手法 | 79 |
| 第 8.3.2 項 顔画像への応用 | 82 |
| 第 8.4 節 他の顔部品検出の展望 | 83 |
| 第 9 章 本研究のまとめ | 84 |
| 第 10 章 似顔絵生成システムの今後の課題と展望 | 89 |
| 第 10.1 節 本研究の課題と展望 | 89 |
| 第 10.2 節 似顔絵システムの産業応用と展望 | 90 |
| 謝辞 | 91 |
| 参考文献 | 92 |
| 本学位論文に関連する文献 | 96 |
| その他の発表文献 | 101 |
| 付録 | 102 |

まえがき

本学位論文では顔画像を用いて似顔絵を生成した結果を掲載しております。意に沿わない似顔絵になっている可能性がございますが、ご了承ください。

第 1 章 はじめに

第 1.1 節 コンピュータ似顔絵生成システム

似顔絵は個人の特徴を捉え、それにデフォルメして記述したものである。エンターテインメントとしては、商業地や展示会で似顔絵を作成するサービス、似顔絵師同士で技量を競い合うイベントも存在する。近年では、インターネット上のアバターや名刺に似顔絵を描画するサービスなどデジタルデータとして取り扱われるようになった。さらにはコンピュータによる似顔絵生成システムの研究・開発も行なわれており、これらは万博に出展された例や製品化された例が存在している。

似顔絵生成システムは、被験者が予め用意された顔パーツのテンプレートを自由に選び、似顔絵を生成するユーザ介入型の似顔絵生成システムと、被験者の顔画像に対して、画像処理等の技術を用いて自動的に似顔絵生成する自動似顔絵生成システムがある。

前者は容易に良質な似顔絵を生成でき、各顔部品の整合をとることや実装が容易であることから、多く開発、製品化[1-3]されている。しかしながら、予め用意されたテンプレートを用いるため、限られた表現の似顔絵となる。

一方、後者は誇張方法や誇張度合等のカスタマイズが可能であるため、幅広い表現の似顔絵を生成できる。これらの研究課題は大きく分けて、似顔絵生成のための特徴抽出に関する研究と似顔絵の誇張や表現に関する研究の 2 つがある。特に似顔絵の誇張や表現に関する研究[4-8]が盛んに行われている。これらの研究では、似顔絵生成の基礎となる特徴抽出は、手動により抽出を行うか、顔部品の傾きや位置などの大まかな情報のみを用いて似顔絵生成を行っている。手動による特徴抽出では、システムの専門的な知識が必要な上に非常に手間がかかる。また、大まかな情報や特徴のみでは結局は限られた表現の似顔絵となる。

このように、似顔絵に関する特徴抽出は重要な技術であるが、これら

の技術が不十分である．そこで本論文では，2次元画像を対象として，特徴抽出の基盤となる画像処理技術の改善，提案を行う．

本論文ではとりわけ，口と眉の抽出について取り扱う．顔印象において口形状が重要であるという知見[28]や，表情認識において口や眉を抽出した際の特徴点が識別に有用であるという例[40]もあり，個人の印象に強く影響を与える顔部品である，これらの特徴抽出精度が向上すれば，似顔絵生成システムに強く貢献できる．

第 1.2 節 顔学から見た本研究の位置付け

顔は様々な情報を有しているため、歯科学、心理学、芸術、美容、工学等様々な分野で関心を持たれている[9]。例えば歯科学の分野では顔を美しく見せるための歯並びや矯正について研究される例がある。心理学の分野では人物の心理状況を把握する手段の一つとして、顔の表情を解析する研究例が多くみられる。一方、肖像画や似顔絵などの人物画がマスメディア等での情報発信または娯楽などで用いられている。

これらの研究はこれまで独自に研究、検討されてきたが、近年では他分野の知見を取り入れて応用する試みが行われてきている。工学の分野では特に、顔印象の解析のために顔の個人特徴を定量化することが求められている。この中で似顔絵は、「目が大きい」や「顔が小さい」などの物理的な個人特徴を主に扱うことから、「美しい」等の感性的特徴を扱う歯科学や心理学の分野と比べて、先んじて工学の分野の研究で扱われている。

第 1.3 節 似顔絵生成システムにおける画像処理と位置付け

コンピュータを用いた似顔絵生成システムはこのような顔研究の影響を受けながら発展してきた。また、似顔絵作家の似顔絵描画におけるデフォルメ方法は、平均顔を基に特徴的な箇所を誇張しているという考え(平均顔仮説)が主流である。そのため、この仮説を基にした似顔絵自動生成システムは、PICASSO-2[10]システムをはじめ、多く開発されている。ここで、PICASSO-2 システムは個人の顔部品や輪郭を特徴点で定義して、平均顔データとそれとの差分を誇張することで、個人の特徴を誇張した似顔絵を生成する。

一方、工学の分野で顔特徴を扱う研究は似顔絵生成システムの他に、個人認証[11,12]、性別や年齢などの顔属性推定[13-15]、顔表情認識[15,40]がある。個人認証では、予め用意された顔画像データベースと個人の顔を照合して、その類似性から属性を推定する手法が主である。ここでの特徴量は、顔部品の形状やテクスチャ情報が用いられるが、主成分分析等により、それらの判別に有用な情報のみしか用いていない。顔表情認識においても、顔部品の傾き等の情報を用いるが、これらの研究も同様に、有用な特徴量のみを抽出して用いている。また、顔属性推定においても、学習アルゴリズムで属性の分類を行うが、これも有用な特徴量のみを用いている。このように、他の顔研究では有用な顔特徴のみを用いればよいが、似顔絵研究においては、特徴的な情報だけでなく特徴的でない情報も重要となるため、より高精度な顔特徴技術が求められる。

顔特徴抽出には、エッジや色、輝度等の情報を用いる方法や、濃淡のパターンを学習して輪郭を推定する方法がある。例えば、顔部品検出技術として Snakes[16]が挙げられるが、ここで用いられるエネルギー関数にエッジなどの画像特徴が用いられている。一方、特徴点の位置情報とテクスチャ情報を用いる Active Appearance Model[17]による特徴抽出手法もあるが、本研究では学習データ以外の被験者を扱うこと、特徴点の初期配置に課題があるため、静止画像には向かない。動画像を扱う場合

には、特徴点の初期配置のため、画像処理技術が必要である。

このようにして顔部品認識で用いられている技術は、画像処理によって得られたエッジや色情報、濃淡情報を基にしている。また、これらの手法では、画像特徴であるエッジ強度や濃度分布の情報を漠然と用いている。これら一つ一つの画像特徴からの特徴抽出精度が向上すれば、顔部品検出の高精度化も期待できる。そこで、本論文では、特徴抽出の基礎となるエッジや色情報等の抽出技術の向上を目指す。

ここで、平均顔仮説を用いて似顔絵を描く多くの似顔絵作家は、無意識にこのような物理特徴を考慮しつつ、似顔絵を描いているはずである。似顔絵生成システムの一つである PICASSO-2 システムはこのような物理特徴と平均顔データの差分を単純に誇張したシステムであり、似顔絵生成の仕組みを端的に表現したものであると考えられる。そのため、本論文では PICASSO-2 システムを本研究におけるデファクトスタンダードとして用いてその効果について検証することとした。

第 1.4 節 本研究の構成と位置付け

本論文の似顔絵生成システムの位置付けを図 1-1 と図 1-2 に示す．図 1-1 は 1.2 節で述べた顔学における似顔絵生成システムの位置付けである．図 1-2 のように，似顔絵の描画の過程は，顔の注視，顔特徴の把握，似顔絵の描画という流れで行っていると考えられ，これらは無意識に行われていると思われる．このプロセスは似顔絵自動生成システムでは図 1-2 の右フローのようになる．本論文では顔画像の取得，顔部品を検出を行う．また，本論文の章立ては図 1-3 のようになる．

顔画像の取得では，似顔絵生成に適した顔画像を取得する．撮像する顔画像は顔部品の特徴を抽出する必要があるため，高品質な顔画像が必要となり，かつ個人の特徴抽出が容易な正面顔画像を取得する必要がある．次に顔特徴抽出を行うが，前節までに述べたように，本論文では口と眉の特徴抽出手法について紹介する．特徴抽出は口や眉の領域を抽出することを目的として，過抽出，未抽出を抑えた抽出手法を目指す．

このように感性表現の先駆けといえる似顔絵生成システムについて取扱い，これの基盤技術である画像処理技術について紹介する．これにより似顔絵生成システムだけでなく，個人認証や顔属性推定，表情認識にも通じる顔特徴抽出技術，さらには顔研究における感性情報取得の基盤技術にもなりえる．

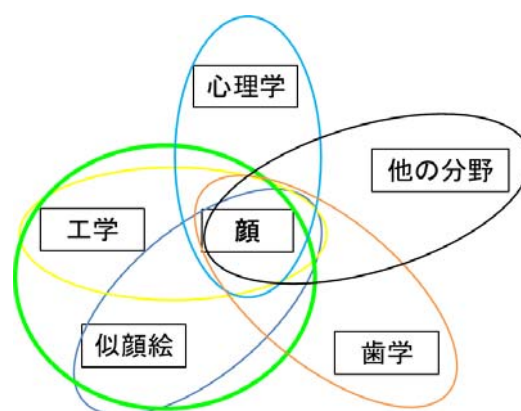


図 1-1 顔学における自動似顔絵生成システムの位置付け

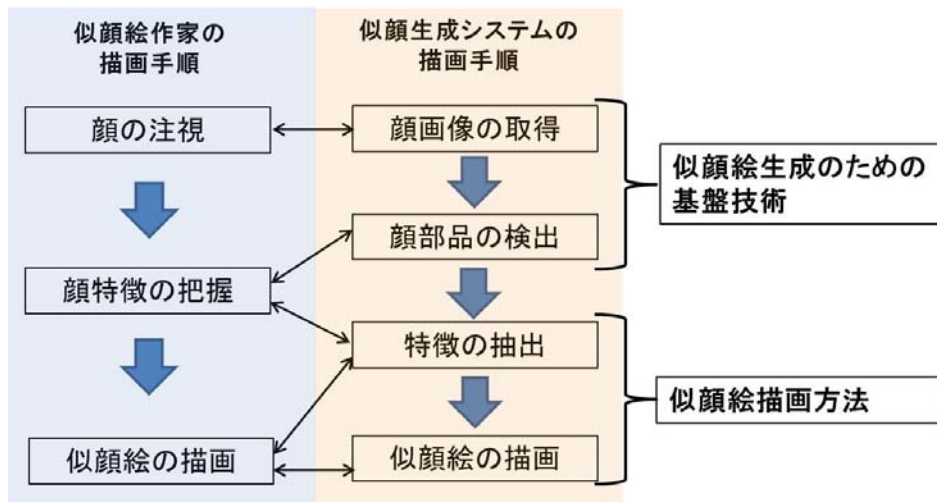


図 1-2 似顔絵作成のプロセス

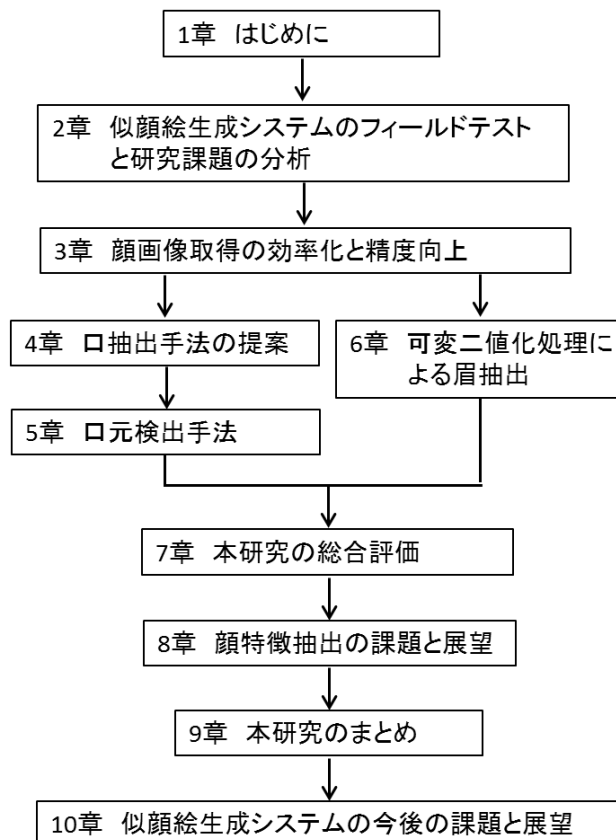


図 1-3 本学位論文の章立て

第 2 章 似顔絵生成システムのフィールドテストと研究課題の分析

似顔絵生成システムは 2005 年愛知万博のプロトタイプロボット展での出展を目的として似顔絵生成システムを開発し，これを用いたロボット[10]の展示を行った．このロボットは，似顔絵ロボット COOPER と呼ばれ，これに用いられている似顔絵生成システムのソフトウェアを PICASSO-2 と呼ぶ．このシステムは，似顔絵生成部は既存の似顔絵生成システム PICASSO[18]を拡張したものである．本章では似顔絵生成システムの概要について述べる．また，愛知万博での展示によるフィールドテストや従来アルゴリズムから，似顔絵生成システムの問題と考察を行う．

第 2.1 節 フィールドテストでの実験環境

本システムでは被験者に椅子に座ってもらい，それを撮影者が三脚に設置された CCD カメラを用いて撮像する．正面顔撮像のために，撮影者は三脚を微調整する．撮像直前に，被験者に「カメラの方を見てください」と語りかける指示を行った．また，被験者からカメラまでの距離は 1.5m 程度である．

展示会など不特定の場所でフィールドテスト(展示会デモ)を行うことから，施設内の光源等の環境光の影響を受ける．これらを軽減するため，窓が存在する場所では，直接太陽光が当たらないよう工夫している．さらに，撮影者の頭部より上方に 2 つの蛍光灯を設置し，被験者の顔の両側面に照射する補助照明を使用する．これにより，鼻孔下部やあご輪郭部に陰影が生じさせることで，画像処理の補助となっている．

第 2.2 節 似顔生成システムの概要

顔画像取得から似顔絵生成までの流れを図 2-1 に示す．図のように CCD カメラから画像を取得し，背景のブルーを除去する．画像は 1fps にて 2 枚撮像し，1 フレーム目の画像で処理の破綻が確認された場合は 2 フレーム目の画像を用いて処理をする．次に瞳・鼻孔部品の検出を行い，その後，階層的に目，鼻，口，耳の存在領域を定義する[19]．それぞれの領域内で，顔器官部品の検出，髪の毛の検出，あご部品の検出を行う．その後，特徴点を定義し，似顔絵を出力する．

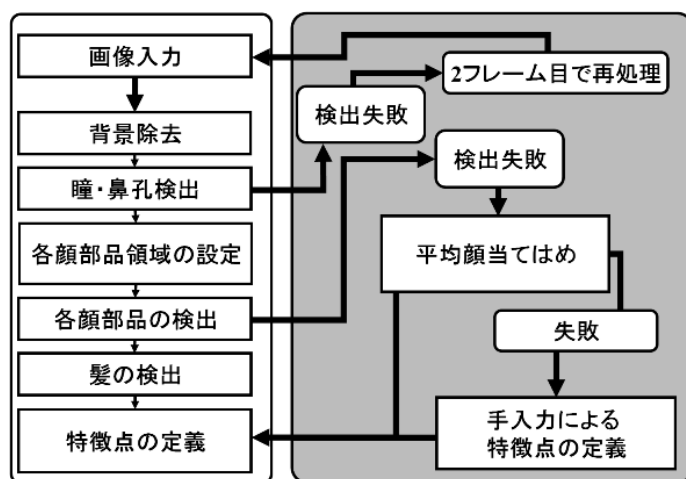


図 2-1 似顔絵生成システムのフローチャート

第 2.2.1 項 顔領域の抽出

顔特徴処理を簡単にするために，顔領域を抽出する．まず，青色背景で撮像された入力顔画像の背景除去を行う．次に，HSV 表色系を用いて肌色領域抽出をする．肌領域抽出は，初めに RGB カラー画像を用いて目や口などの肌以外の領域を除去した肌領域を抽出する．肌色は，色相において一定の範囲に属するので，色相，彩度，明度を利用した HSV 表色系へ変換した後，色相を用いて肌領域を抽出する．また抽出した肌領域に対し，図形融合（膨張/収縮処理），最大領域のラベリング処理によって図 2-3 に示すような肌領域のみを抽出する．肌色領域を定めることにより，顔器官およびあご輪郭の画像処理の ROI を決定する．入力画像と肌色領域抽出画像の一例を図 2-2，図 2-3 に示す．



図 2-2 入力画像



図 2-3 肌色領域抽出結果

第 2.2.2 項 瞳・鼻孔の検出

瞳輪郭検出ではまず，濃淡画像に対して処理領域内でコントラスト改善を行いその領域内の平均濃度値を求め，これを基準に閾値を変えた 6 パターンの二値化処理を行う．次に，これらのデータに対して外形検出を行ない，円の Hough 変換を施す．ここで，簡単に円の Hough 変換について述べる．

エッジ画像中のエッジ点を (x_i, y_i) とすると，エッジ点 (x_i, y_i) を円周上の一点に持つ円群は式(2-1)にて表すことができる．

$$(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 = r^2 \quad (2-1)$$

これはパラメータ空間 (a, b, r) においてはエッジ点の座標を中心とする円の集合として表される(式(2-2))．

$$(a - x_i)^2 + (b - y_i)^2 = r^2 \quad (2-2)$$

この集合は 3 次元の Hough パラメータ空間においては，図 2-4 に示すように高さ r ，底辺の中心 (x_i, y_i, r_{\max}) ，半径 r_{\max} とする円錐形で表すことができる．

エッジ点ごとにパラメータ空間内に円錐を描き，これらの円錐面の交差する度数を数える．この度数の最大となるパラメータの組み (a_0, b_0, r_0) を求める．求めたパラメータの (a_0, b_0) を中心， r_0 を半径とした円を描けば，結果この円が，最も多くのエッジ点の通過する円となる．

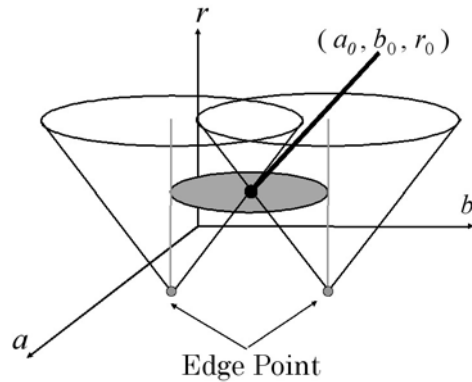


図 2-4 Hough パラメータ空間

瞳境界候補として抽出したエッジ画像に対して、円の Hough 変換を施して瞳候補を抽出する。まず、瞳境界候補であるエッジ点をパラメータ空間 (a, b, r) に投票する。

r のサイズについては投票範囲を広く設定するとノイズの影響で検出精度が悪くなるため、経験的に $(4 \leq r < 16)$ に限定したが、実際の瞳選択として、多数の瞳が瞳候補として検出されている。この候補の多数の瞳が瞳候補として検出されている。この候補の中から最良として選択しなければならない。検出した候補は、先に検出した顔領域の中央を区切りに、左右の瞳とする。

また、この方法の基本的考え方は次の事実に基づく。

- (a) 円の半径は閾値内であり、左右の半径の差が最小であること。
- (b) 左右の円の中心座標において、垂直方向の差が最小であること。
- (c) 左右の円内における濃度値の差が最小であること。

上記の諸性質を満たす、実際の瞳検出方法を次に記す。

- (i). 投票数の最大値を k とする。
- (ii). 投票数 k の円を瞳の候補として選出する。
- (iii). 選出された円の反対側から対になる円をすべて選択し、そのリストを作成する。

- (iv). 左右の円間の垂直距離が閾値以上のものをリストから削除する.
- (v). 左右の円間の半径差が閾値以上のものをリストから削除する.
- (vi). 左右の円間の水平距離 x_{dis} が最短である x_{min} を求め,

$$x_{dis} \geq x_{min} + \alpha \quad (\text{但し } \alpha \text{ は定数})$$

を満たすものをリストから削除する.

- (vii). この時点でリストに円の対の候補が 1 つ残っているのなら, それを左右の瞳として抽出する. 円の対の候補が複数残っているのなら, ほぼ等しいものとしてその中から任意の対を選び, 瞳として抽出する. もし, すべての円の対がリストから削除されているならば, $k = k - 1$ として(ii)へ戻る.

抽出された瞳位置に基づき鼻孔輪郭抽出処理領域を, 式(2-3)のように定める.

この処理領域内(図 2-5)で, 瞳抽出と同様の円の Hough 変換を利用して鼻孔抽出を行う.

$$\begin{aligned} (\text{nose}_1.x, \text{nose}_1.y) &= (\text{left_iris}.x + r, \text{left_iris}.y + 3r) \\ (\text{nose}_2.x, \text{nose}_2.y) &= (\text{right_iris}.x - r, \text{nose}_1.y + 6r) \end{aligned} \quad (2-3)$$

$(r : \text{extracted iris radius})$

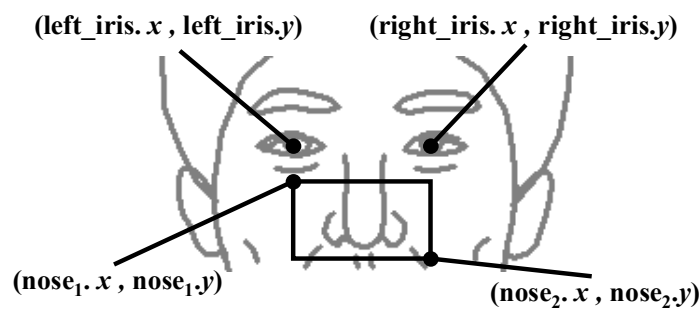
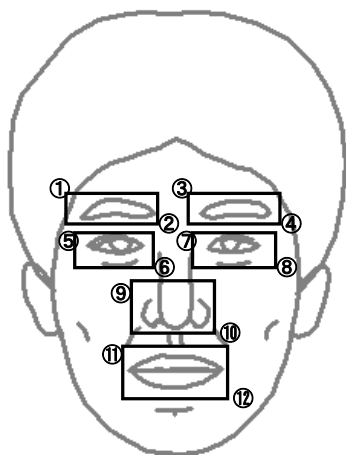


図 2-5 鼻孔抽出処理領域

第 2.2.3 項 顔部品領域設定

顔部品検出のための領域設定には，先ほど求めた瞳と鼻孔の位置を元にして設定している．各顔部品の領域設定方法は図 2-6 となる．それぞれの領域の幅と高さは，実験による経験的なものに，ある程度の余裕を持たせたものとなっている．



- ① : (left_iris.x -a, left_iris.y -b)
- ② : ((left_nostril.x+right_nostril.x)/2, left_iris.y -c)
- ③ : ((left_nostril.x+right_nostril.x)/2, left_iris.y -c)
- ④ : (right_iris.x +a, left_iris.y -b)
- ⑤ : (left_iris.x -d, left_iris.y -e)
- ⑥ : (left_nostril.x, left_iris.y +f)
- ⑦ : (right_nostril.x, right_iris.y -e)
- ⑧ : (right_iris.x +d, right_iris.y +f)
- ⑨ : (left_iris.x, (left_iris.y+left_nostril.y)/2)
- ⑩ : (right_iris.x, right_nostril.y +g)
- ⑪ : (left_iris.x -h, right_nostril.y +g)
- ⑫ : (right_iris.x +h, right_nostril.y +i)

図 2-6 顔部品検出のための領域設定

第 2.2.4 項 顔器官部品特徴抽出

先の処理で得られた顔部品領域内で，各顔部品の輪郭検出を行う．当初の仕様では，顔部品のうちあごのみ輪郭検出を行っていた．そこで，あご輪郭検出のみについて処理手順を述べる．

あごの輪郭認識は RGB カラー画像から R 成分のみのグレースケール

画像を用意し，フィルタ処理によってあごの輪郭を認識する．フィルタ処理は縦方向と横方向で図 2-7 のように，口の左右両端を境界に 3 分割して処理を行っている．縦方向では 9×7 の縦方向の成分だけを用いたエッジ検出フィルタを，横方向では 7×9 の横方向の成分だけを用いたエッジ検出フィルタを用いて処理を行っている．

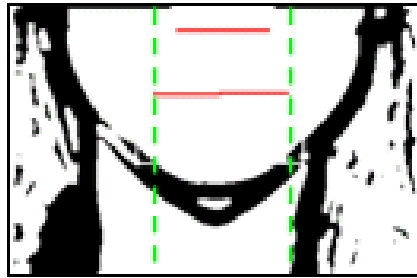


図 2-7 あごの処理領域の分割

第 2.2.5 項 fail-safe-system

平均顔を当てはめる場合，瞳・鼻孔・口の位置関係を調べ，角度を各部品の特徴量に当てはめをした．また，あらかじめ画像を 2 枚撮像しておき，1 フレーム目で瞳・鼻孔部品の検出に失敗した場合，2 フレーム目の画像を用いて処理を行うこととした．2 枚の画像は 1fps の間隔をおいて撮像される．あご部品では，顔の形状の妥当性を評価して必要の場合には平均顔を当てはめる処理を行っている．評価方法として特徴点の距離を計測し，定められた閾値を越えた場合，平均顔を当てはめる．

ここで，第 i ， $i+1$ 特徴点間の距離を L_i として，その総和を L としたとき，これが設定した閾値 L_{th} 以上となったら抽出結果を失敗と判定した．

$$L = \sum_i (L_i)$$

$$L \geq L_{th}$$

ここで，閾値 L_{th} は 500 とした．

第 2.3 節 フィールドテストでの実験結果

本システムは、愛知万博などの様々な展示会やイベントで展示を行っている。その中で多数の被験者が訪れた愛知万博を例に挙げて、出展の概要及びそこから判明した問題点について述べる。

愛知万博ではプロトタイプロボット展にて似顔絵ロボットの展示を行った。このデモ展示は、被験者の似顔絵をえび煎餅に描画してプレゼントするというものである。プロトタイプロボット展の詳細は以下となっている。

(i)場所：愛知万博長久手会場モリゾーキッコロメッセ

(ii)期間：2005年6月9日（木）～19日（日）

(iii)万博の来場者数：1,129,390人（11日間）

(iv)プロトタイプロボット展の入場者数：約123,000人

(v)出展ブース名：似顔絵ロボット絵師 COOPER

(vi)被験者数：352名

表 2-1 に顔特徴量の検出結果と似顔絵の生成結果を示す。

表 2-1 顔特徴量検出結果

| 日付 | 6/9 | 6/10 | 6/11 | 6/12 | 6/13 | 6/14 | 6/15 | 6/16 | 6/17 | 6/18 | 6/19 | 合計 |
|----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| A | 46 | 33 | 30 | 29 | 29 | 31 | 32 | 33 | 35 | 34 | 20 | 352 |
| B | 34 | 25 | 22 | 21 | 17 | 19 | 26 | 30 | 17 | 28 | 14 | 253 |
| C | 4 | 0 | 2 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 13 |
| D | 4 | 8 | 4 | 8 | 8 | 8 | 4 | 0 | 14 | 3 | 3 | 64 |
| E | 8 | 8 | 6 | 8 | 10 | 9 | 5 | 1 | 15 | 3 | 4 | 77 |
| F | 3 | 0 | 1 | 0 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 19 |
| G | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 |

表 2-1(A)は被験者数，(B)は似顔絵生成に成功した数である．表 2-1 (C)列は，1枚目の画像で瞳，鼻孔検出に失敗したが，fail-safe-systemの一つである2枚目の画像を用いることで似顔絵生成に成功した場合の数である．これは全体の約3.7%(13/352)となっており，瞳・鼻孔を検出してから，他顔器官部品を検出する階層的なシステム構造を持たせたことによって，安定した結果を得ることができたことを示している．

表 2-1 (D)列は(C)列とは異なる失敗例であり，その他(瞳・鼻孔以外)の顔部品検出が失敗したが，2フレーム目の処理で成功した場合の数である．これは全体の約18.2%(64/352)程度と高い割合となっているにもかかわらず，我々の提案するfail-safeシステムの支援により，似顔生成結果を出力するまで破綻せず安定した精度を保つことができたことを確認した．また，(E)列はfail-safeシステムの適用により似顔絵生成に成功した数であり，(C)列と(D)列の数を足した数である．

表 2-1(F)列は，目視にて顔部品の形状が破綻して似顔絵生成に失敗しているが，fail-safeシステムが作動せずに成功と判断された数である．このような場合は，顔特徴点手入力モジュールを用いて失敗した顔部品のみを修正することで似顔絵を生成した．このような完全な破綻は約5.4%(19/352)にとどまり，円滑な運営をすることができた．また，表 2-1(G)列は2フレーム目においても瞳，鼻孔の検出に失敗しており，似顔絵生成ができなかった例である．

第 2.4 節 似顔絵生成システムの課題

第 2.4.1 項 フィールドテストの考察と課題

2.3 節のフィールドテストの実験結果で、表 2-1 の(F), (G)列の失敗については、顔部品の失敗について顔特徴点を手入力にて修正することや、顔画像を撮り直すことで解決した。この手入力での修正には、顔部品の破綻具合にもよるが、30 秒程度の時間は必要となる。また顔画像の撮り直しについては、被験者の撮影から似顔絵生成の処理時間、似顔絵の確認まで約 10 秒の時間がかかる。さらに、撮り直しを行うことを被験者に伝え、再度 2.1 節の手順で似顔絵の撮り直しを行うため、被験者の負担になる。これらの失敗は 2.3 節で述べたように、撮像した顔画像が正面顔でないことが主な原因であった。そのため、正面顔の取得に失敗しないシステムの構築が必要となる。その解決のため、良質な正面顔取得方法について、3 章にて紹介する。

第 2.4.2 項 顔特徴抽出の課題

高品質な似顔絵生成のために顔部品の特徴抽出を高精度化する必要がある。1 章で述べたように、本論文では特に口、眉部品について扱う。

本論文では、日本で多くみられる黄色人種のみを対象として実験を行い、特徴抽出の精度を確認する。日本人にて基盤技術を確立できれば、これの応用によって多人種も解決できると考えられるためである。また、顔部品の特徴抽出については以下のとおりである。

口部品の特徴として、肌と比べて色差があることである。そのため、肌との色差を用いた抽出手法について 4 章にて紹介する。口元(口角部)については唇の境界部であり端に存在するため、色情報が欠落しやすい。口元は口輪郭を検出する特徴として重要であるため、検出する手法を 5 章で紹介する。

眉の特徴として、目から上方向に走査した場合、肌、眉、肌、髪の毛の順に存在する等のパターンがある程度決まっている。この特徴を用いて眉輪郭を推定して抽出する手法を 6 章にて紹介する。

また，良質な顔画像取得(3章)，口抽出手法(4章)，眉抽出手法(6章)はそれぞれ実験を行ったが，すべての手法を適用した際にこれらの検証で得られた精度が保障されているかの確認を7章にて行う．

その他の顔部品については展望のみに留める．また，髪や髭，メガネ等の付属部品の検出も似顔絵生成システムでは必要な技術であるため，これらの展望も述べる．

第 2.5 節 実験に用いる顔画像

本論文での主要となる検証実験は，3 章では 441 枚，4 章では 120 枚，6 章では 35 枚，7 章では 100 枚の顔画像を用いて実験を行う．ここで用いた画像はほとんど異なる画像であるが，重複する画像も存在する．ここで，その理由について述べる．

まず，2005 年からこれまでの間に PICASSO2 を出展して，約 2220 人分の顔画像データを得た．全ての実験の前提条件として，画像にボケが生じたデータが存在したが，本論文の指針と異なるため用いないこととする．また，瞳検出は成功した前提で実験を行うため，瞳検出に失敗した例は除外する．

良質な顔画像の取得の実験については 3 つの展示会から顔画像を用いている．これは，正面顔取得が困難な被験者は子供が多いため，子供の多い展示会のデータを用いた．

口抽出手法については 15 つの展示会から顔画像を用いている．これは，口抽出手法が髭や皺，多少の環境変動にも強いという考えのもと，これらの実証を行うため，結果的に多くの展示会の画像を用いた．

眉抽出手法については，2 つの展示会から顔画像を用いている．眉抽出手法では，両眉ともに髪等がかかっておらず，眉が黒色で人の目により形状が判別できるデータを前提条件としている．2 つの展示会では，この条件を満たす画像データが多かったため，実験データとして用いた．

また，これらのデータは統一されていないため，本論文の有用性を確証するために，これらの手法を統合して同一の画像データ 100 枚を用いて実験を行う．これらのデータは 6 つの展示会のものを用いたが，全ての実験と眉抽出手法の前提条件を満たし，なるべく他の実験データと重複しないものを用いた．また 100 枚のうち，他の実験データと 10 枚重複したが，データ数が微小であるため問題ない．

第 3 章 顔画像取得の効率化と精度向上

第 3.1 節 はじめに

個人特徴の抽出には，顔画像処理の素材である正面顔画像の取得が重要である．正面顔を用いる研究例として，CG 世界に自分をキャストさせるシステム[20]がある．このシステムは，3 次元スキャナ[20]を用いて正面顔画像の取得や高精度な顔特徴抽出を行っている．また 2 章で述べたように，似顔絵生成システムにおいて顔画像の撮り直しは被験者の負担となる．一方，正面顔画像取得に成功した場合でも個人特徴の抽出に失敗する場合があります，その場合も顔画像を取り直す必要がある．ここで顔部品における鼻孔は，顔のほぼ中心に存在するため，顔部品の位置関係を認識する上で有効な情報である．実際に，顔認識にこれを用いる研究例[15,21-24]もある．これらの観点から，簡易かつ被験者の負担にならない正面顔画像の撮像を目的として，正面顔判定手法の提案と鼻孔検出手法の改善を行い，被験者の負担軽減を図る．

第 3.2 節 従来手法の問題点とアイデア

第 3.2.1 項 正面顔判定

正面顔判定における類似研究として顔方向推定手法があるが、本手法は二次元画像を対象としているため、3次元情報[20]を用いることができない。また、二次元画像を対象とした手法では、常時 Pitch 回転方向に大きく歪曲した画像を取得する必要のある例[25]や、カメラと人物の距離を固定するという条件を必要とする例[26]がある。前者は正面顔画像が得られず、後者はカメラと人物の距離の設定がシビアであるため、本研究の目的とは一致しない。また本システムでは、顔方向を推定する必要はなく、正面顔かどうかのみ判定すればよい。

正面顔の特徴は、両瞳が水平であること、また、横座標のみを考慮した場合、顔の重心が両瞳の中心座標とほぼ一致することが顕著である。そこで、Roll 回転は両瞳の水平成分の傾きから判定する。Yaw 回転は両瞳の水平成分の中心座標と肌領域の水平成分の重心の差を用いて判定する。以降では、両瞳の水平成分の中心座標は両瞳の中心座標、肌領域の水平成分の重心は肌領域の重心と記述する。ここで、本研究における正面顔は、Yaw 回転による顔の傾きにより本論文にて定義する顔部品の隠れがなく、かつ Roll 回転による傾きの小さい状態と定義する。Roll 回転は画像回転により対処することが考えられる。しかしながら、正面を向いていても瞳が水平でない被験者の存在も確認されており、このような場合、画像回転は余分な処理コストを生む。さらに、画像回転を行うより撮り直しを行う方が確実に良質な画像を得られ、この処理はシステムの許容範囲時間内に撮り直しを行える。よって、本研究ではこのような画像回転の手法を用いないこととした。また、Pitch 回転は被験者とカメラの距離が十分であり、三脚による高さの調整も容易であるため、大きく歪曲した画像は得られない。よって本研究ではこれを考慮しない。

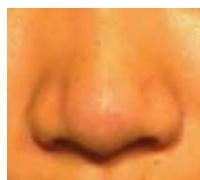
第 3.2.2 項 鼻孔検出の改善」

鼻孔検出を用いた研究[15,21-23]では，鼻孔が確実に確認できる状態を前提とした撮像条件があり，顔の下方より撮像する必要があるため，本論文において入力顔画像として必要としている正面顔よりも大きく歪曲した画像しか得られない．また照明や顔向きに頑健な鼻孔検出手法[24]もあるが，膨大な学習データが必要である．本システムでは不特定多数の被験者の検出を想定しているため現実的でない．

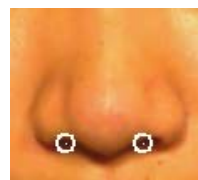
これより，本システムでは輪郭の欠けに強い Hough 変換により鼻孔を検出する手法を提案している．また鼻孔が確認できない場合，鼻の下部等の陰影部が検出されることがあるが，位置情報の取得としては問題ない．例えば，図 3-1 に示すように，鼻孔のほとんど確認できない例においても鼻の下部を検出できる．

しかし本手法では，抽出すべき領域に口が接触ないし部分的に含まれる場合，口の凹凸に起因する陰影部を誤検出する例がみられた．この場合，似顔絵生成が破綻してしまう．

そこで，エッジ情報と色情報を併用することで鼻孔の存在領域を再設定する．エッジ情報を用いる理由は，濃淡情報では口領域の輝度が低い被験者が多くみられるためである．さらに，色情報を用いて口を抽出し，この領域を除去する．この結果に対してラベリング処理を施し最大面積を抽出する．これによって鼻の下部が抽出できると考えた．これを用いて存在領域を限定することができ，そこに存在領域に口が含まれないようにできる．



(a) 入力画像



(b) 出力結果

図 3-1 鼻孔が確認できない例での鼻孔検出結果例

第 3.3 節 正面顔判定方法

第 3.3.1 項 正面顔判定に用いる特徴量

正面顔の特徴は，両瞳が水平であること，また，横座標のみを考慮した場合，顔の重心が両瞳の中心座標とほぼ一致することが顕著である．そこで，Roll 回転は両瞳の水平成分の傾きから判定する．Yaw 回転は両瞳の水平成分の中心座標と肌領域の水平成分の重心の差を用いて判定する．顔の Roll 回転と Yaw 回転の定義を図 3-2 に示す．以降では，両瞳の水平成分の中心座標は両瞳の中心座標，肌領域の水平成分の重心は肌領域の重心と記述する．

まず，両瞳の座標の算出方法について説明する．瞳は 2.2.3 項で述べた方法と同様に，円の Hough 変換を用いて検出する．検出された左右それぞれの円にて中心座標を算出して，それを両瞳の座標とする．

次に，肌領域の重心の算出方法について説明する．まず，図 3-3 に示すような入力画像を HSV 表色系に変換する．色相と明度が閾値の範囲内の画素を肌領域として抽出する．抽出結果を図 3-4 に示す．肌領域抽出の閾値の範囲は，色相が 19 以上 65 未満として，輝度は 71 以上 205 未満とした．この抽出結果に対してラベリング処理して，図 3-5 のようにマスク処理を施す．これはラベリングされた領域に対して各縦座標の左端座標と右端座標を求め，その座標内に存在する領域とした．次に図 3-6 に示すようにマスクされた領域内で口領域を抽出する．口領域抽出の閾値の範囲は，色相が 271 以上 360 未満または 0 以上 15 未満とし，輝度は 71 以上 205 未満とした．そして，抽出された口領域の上端座標と下端の座標を求める．肌領域の重心は，マスク処理結果を上端座標と下端座標の範囲で限定した領域にて算出する．マスク領域を限定した結果は図 3-7 の斜線で示す領域となる．肌領域の重心 P_g の算出式を式(3-1)に示す．ここで， $f_{i,j}$ はマスク領域では 1，領域外では 0 となる二値画像である．

$$P_g = \frac{\sum_{(i,j)} x f_{i,j}}{\sum_{(i,j)} f_{i,j}} \quad (3-1)$$

Roll 回転の度合は，両瞳の座標から得られる直線と水平成分との角度 R_e とする．Yaw 回転の度合は，両瞳の中心座標 E_c と肌領域の重心 P_g の水平成分の差を正規化したデータ N_f とする．正規化したデータ N_f の算出方法を式(3-2)に示す．ここで， E_r は右瞳の座標 E_l は左瞳の座標であり，これらの計算は横座標の座標値のみを用いて計算される．

$$N_f = 100 \cdot \frac{|E_c - P_g|}{E_r - E_l} \quad (3-2)$$

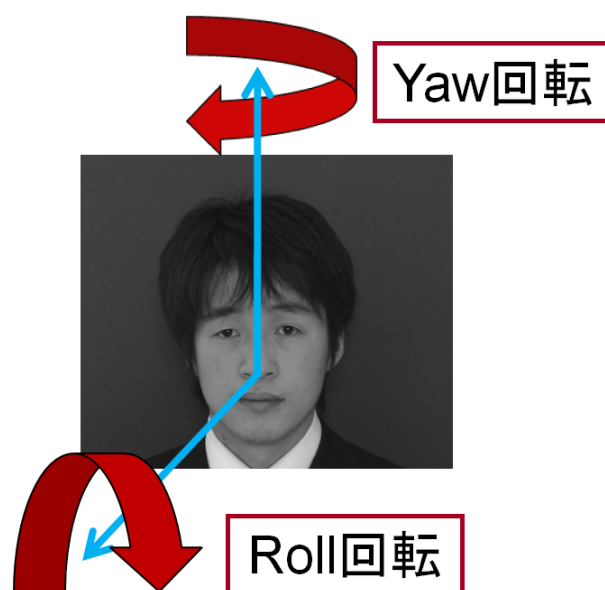


図 3-2 Roll, Yaw 回転の定義



図 3-3 入力画像



図 3-4 肌領域抽出結果



図 3-5 肌領域のマスク処理結果

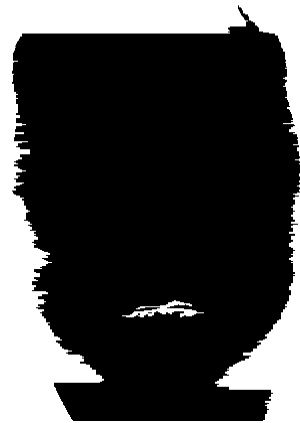


図 3-6 マスク領域内での口抽出結果



図 3-7 重心算出のための領域決定結果例

第 3.3.2 項 正面顔判定の閾値設定

本研究ではまず、正面顔判定の閾値決定のために予備実験を行った。実験方法として、事前に目視評価にて正面顔、顔の Yaw 回転や Roll 回転により正面ではない顔の判定を行い、本手法で得られる数値でどの程度分離できるかを調べる。ここでの評価は、顔は顔部品の位置や形状に個人差があり非対称であることから、定量的な評価が困難であるため、目視にて評価を行っている。この結果を基に判定のための閾値を決定する。正面顔の判定基準として、Yaw 回転では片耳が半分以上隠れている例や同程度回転していると判断した例を Yaw 回転の顔とした。また、Roll 回転では図 3-8 に示すような例(この例では約 12.3 度)を Roll 回転として、これより傾きが小さいと判断した例は正面顔とした。また、正面顔と非正面顔の判定は、似顔絵システムについて熟知した 1 名の判定者にて目視により行った。

画像データは愛知万博で得られた画像データを用いた。この際、瞳検出や肌領域の抽出に失敗した例は除外した。具体的には、瞳検出の場合では瞳以外のものを誤検出した例、肌領域の抽出の場合では、服を誤抽出した例は除外して、口を誤抽出した例も除外した。画像データの中で Yaw 回転のデータは 25 枚、Roll 回転のデータ 49 枚存在し、正面顔データは 50 枚用いて実験した。

実験結果を図 3-9、図 3-10 に示す。この図は、画像毎に R_e 、 N_f を算出し、これをヒストグラムとして表示したものである。例えば、図 3-9 中の出力値 12 の箇所は N_f が 11 以上 12 未満であったデータが、正面顔では 1 例、Yaw 回転した例では 2 例存在したことになる。

図 3-9、図 3-10 に示すように、良好に正面顔とその他を分離するような結果が得られた。図 3-9、3-10 から視察できるように、Yaw、Roll 回転ありと目視判定されたサンプルが正面顔と誤判定される例、またその逆の誤判定もあったが、それらはいずれも少数であったので、実験結果は提案手法の有効性を示すものであった。

本手法では確実に正面顔を取得することを目標とするため、Yaw 回転

の顔では N_f の最小値 9.6 を, Roll 回転の顔では R_e の最小値 10.7 を閾値とした.



図 3-8 Roll 回転の目視判定の基準

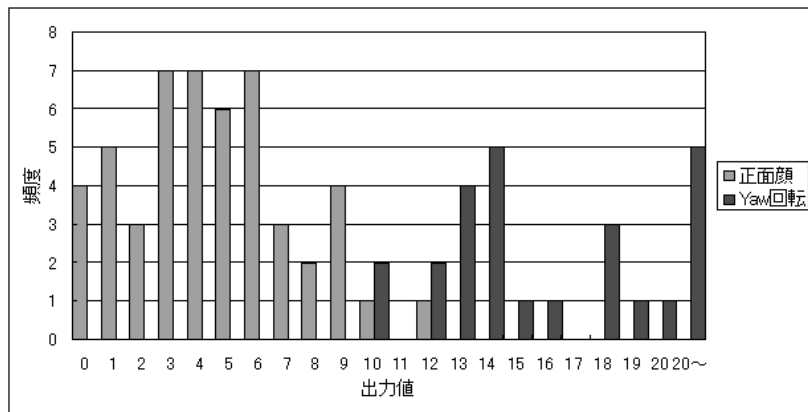


図 3-9 正面顔と Yaw 回転の顔のヒストグラム

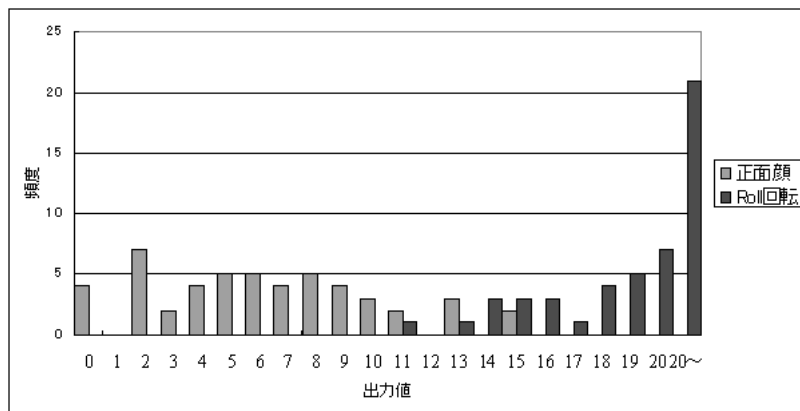


図 3-10 正面顔と Roll 回転の顔のヒストグラム

第 3.3.3 項 正面顔判定実験

3.3.2 項で決定した閾値を用いて正面顔判定精度の評価実験を行った。実験方法は、予備実験と同様の評価基準にて顔画像に事前に正面顔、Yaw 回転の顔、Roll 回転の顔の判定をした。そして、決定した閾値にて正面顔判定した結果が、どの程度合致したかを確認する。画像データは 3 つの展示会で得られた画像から、瞳検出に成功したデータのみ選出した。画像データの詳細は、2009 年 11 月 22 日開催の「あいち ITS ワールド」で得られた 190 枚、2007 年 9 月 29 日、30 日開催の「フォーラム顔学」で得られた 120 枚、2006 年 11 月 11 日開催の「各務原市産業農業祭」で得られた 131 枚の合計 441 枚である。このうち、目視にて Yaw 回転の顔は 39 枚、Yaw 回転でない顔は 402 枚あり、Roll 回転の顔は 72 枚、Roll 回転でない顔は 369 枚であった。Yaw 回転の顔であり、Roll 回転の顔でもあるデータは 7 枚存在し、非正面顔は 104 枚であった。これらは限定された画像データであるが、提案手法に都合の良いデータを集めたものではない。

まず、Roll 回転の顔の評価実験の結果、Roll 回転顔の判定では目視判定と 72 枚中 67 枚合致し、非 Roll 回転顔の判定では 369 枚中 322 枚が目視判定と合致した。Yaw 回転の顔の評価実験の結果、Yaw 回転顔の判定では目視判定と 39 枚中 28 枚合致し、非 Yaw 回転顔の判定では 402 枚中 341 枚が目視判定と合致した。正面顔判定で誤判定する原因は、図 3-11 に示すようなカメラ視線の被験者や、瞳の個人差によるものであった。カメラ視線により両瞳が水平に近くなる例や、カメラ視線や個人差により両瞳の中心軸がずれる例が存在した。また、肌抽出や口抽出の失敗により誤判定する例が多く見られた。

総合的に、441 枚中 355 枚の約 80%正面顔判定に成功し、高い正答率を得た。



図 3-11 Yaw 回転の顔判定失敗例

第 3.4 節 鼻孔検出の改善

第 3.4.1 項 従来の鼻孔検出手法と問題点

従来の PICASSO-2 の鼻孔検出では、まず検出された瞳の位置情報から鼻孔の存在する領域を推定する。その領域内でカラー画像を RGB の R 成分による濃淡画像に変換し、これをさらに二値化する。この二値化処理では、2.1 節で述べた照明環境により鼻下部に陰影が生じるため、これが抽出される。この二値化結果の輪郭を検出し、これに円の Hough 変換を適用することで鼻孔を検出する。円の Hough 変換を用いる理由は、検出するための輪郭の欠けに強いためである。また二値化以降の処理は、輪郭の輝度変化に対応するために、閾値を変化させた 6 パターンについて行っている。これらの結果の中で、投票度数（丸い瞳らしさを表す Hough 変換の指標）、円の左右対称性、大きさを評価し、最も評価の高い一対の円を鼻孔として検出する。

本手法の問題として、抽出すべき領域に口が接触ないし部分的に含まれる場合、口の凹凸に起因する陰影部を誤検出する例がみられたことである。これは、位置情報として重要な鼻孔の水平成分を大きく誤検出することにつながる。

第 3.4.2 項 鼻孔検出の改善手法

本手法の処理フローを図 3-12 に示す。従来手法では検出した瞳の位置情報から図 3-13 に示すような白色で囲まれた矩形領域を設定して、この領域内で鼻孔を検出していた。

提案手法ではこの領域を再設定する。まず、この領域内でカラー画像から RGB の R 成分を用いた濃淡画像に変換する。さらに、Sobel フィルタを用いてエッジを抽出する。抽出されたエッジ画像に対して二値化により鼻孔候補を抽出する。鼻孔候補抽出結果を図 3-14 に示す。ここで、二値化閾値は 100 とした。一方、領域内で HSV 表色系の色相を用いて閾値の範囲内にて候補を抽出する。口候補抽出結果を図 3-15 に示す。口候補抽出における閾値の範囲は、色相が 301 以上 360 未満または 0 以上 15 未満とした。ここで、3.3.1 項の口抽出と閾値が異なるが、鼻孔検出では

陰影を含めた口領域の抽出を目的とし、かつ余分なノイズを抽出しないため、輝度の範囲を設定せず、また色相の範囲を 3.3.1 項の方法より厳しく設定した。

図 3-14, 図 3-15 のように得られた 2 つの二値画像を用いて、論理積により図 3-16 に示すような画像を得る。ここで図 3-16 は、図 3-14 のエッジ領域(白色領域)で、かつ図 3-15 の口でない領域(白色領域)を抽出することになる。この結果に対してラベリングにより最大面積の領域を抽出して、こうして得られた領域の下端座標から 10pixel 下の座標を鼻孔の存在領域の下辺として再設定する。図 3-17 で示すように黒色の矩形で囲まれた領域が再設定した領域である。この処理領域内にて鼻孔を検出する。

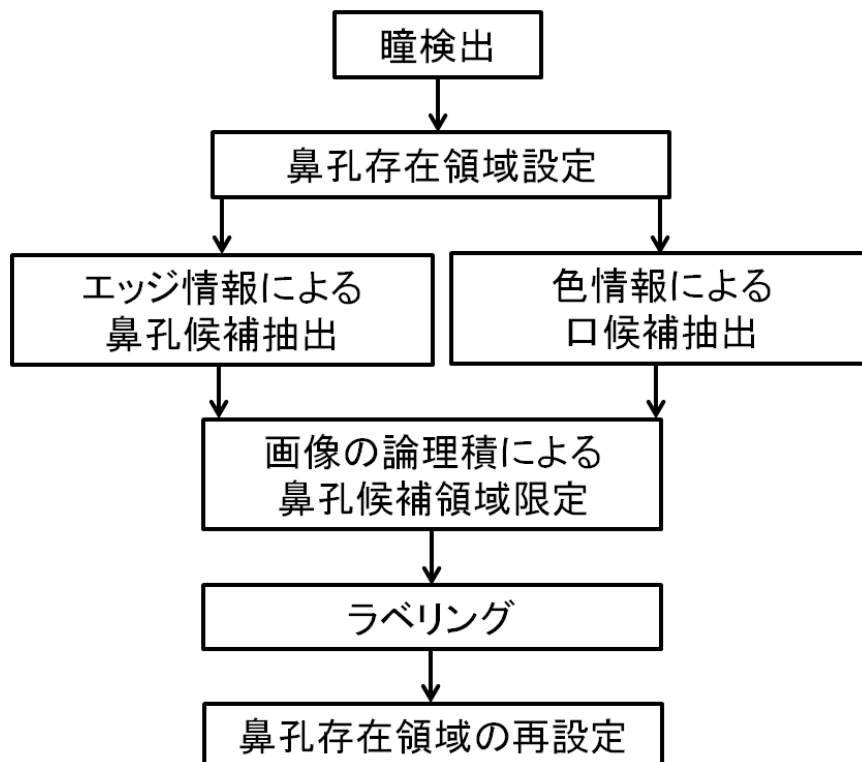


図 3-12 鼻孔の存在領域の処理フロー

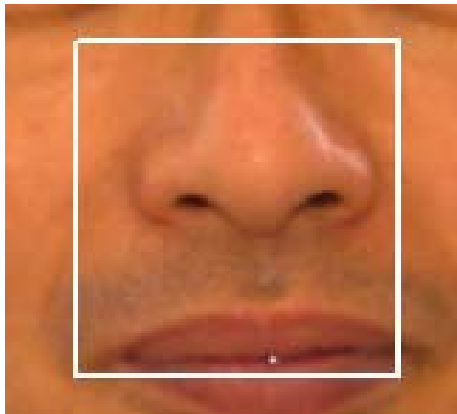


図 3-13 鼻孔の存在領域設定



図 3-14 エッジ情報による鼻孔候補抽出結果例



図 3-15 色相を用いた口候補抽出結果例



図 3-16 画像の論理積による鼻孔候補限定結果例

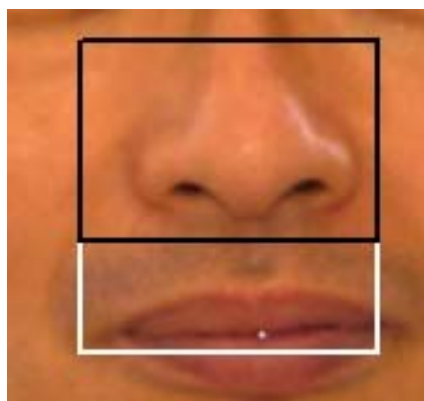


図 3-17 鼻孔の存在領域の再設定例

第 3.4.3 項 改善手法の評価実験

本手法を用いて検出精度の実験を行った。実験方法は検出結果を目視により下記に示すような 4 段階により評価した。

A 両鼻孔ともに検出成功

B 片方の鼻孔のみ検出成功

C 両鼻孔の検出に失敗したが鼻の下部の陰影部を検出できた

D 両鼻孔の検出に失敗し他の顔部品検出に影響が出た

画像は 3.3.3 項と同様の 441 枚の顔画像データを用いた。

また、本研究では PICASSO2 システムで用いている改善前の鼻孔検出手法を従来手法として、比較した。

評価結果を表 3-1 に示す。また、本手法の改善例数、改悪例数の詳細を表 3-2 に示す。例えば、表 3-2 の提案手法が A、従来手法が B に対応するセルが 9 となっているが、これは従来手法では評価 B であったが、提案手法にて A に改善された例が 9 例存在したことを示す。結果として、他の顔部品検出の破綻を招く評価 D となる結果の 24 例中 12 例を改善することができた。改善結果例を図 3-18 に示す。従来手法にて評価 D となる結果はすべて口を検出するものであった。従来手法の傾向として、顔部品の位置関係において、相対的に瞳が離れている例や瞳から口までの距離が短い例、または口を開いた例にて失敗がみられた。また、本手法で改善できなかった例として、口の赤みの弱い例、口の開いた例にて失敗した例も存在した。

評価 D 以外の例では改善例が 28 例、改悪例が 25 例あった。これらは領域が限定されることにより、ノイズを軽減し改善される例や、一方でエッジの一部が途切れることで他を誤検出し、改悪される例が見られ、一長一短の結果となった。

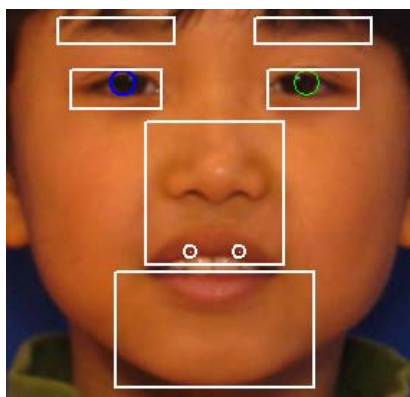
しかしながら、顔部品検出の破綻を招く口を誤検出する割合は、全体の 5.4%から 2.7%に低減できた。

表 3-1 鼻孔検出結果

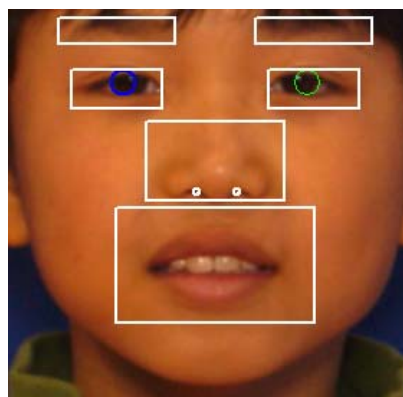
| | A | B | C | D |
|------|-----|----|-----|----|
| 従来手法 | 252 | 75 | 90 | 24 |
| 提案手法 | 264 | 65 | 100 | 12 |

表 3-2 鼻孔検出の改善改悪結果

| | | 従来手法 | | | |
|------|---|------|----|----|----|
| | | A | B | C | D |
| 提案手法 | A | 240 | 9 | 13 | 2 |
| | B | 4 | 53 | 6 | 2 |
| | C | 8 | 13 | 71 | 8 |
| | D | 0 | 0 | 0 | 12 |



(a)従来手法



(b)提案手法

図 3-18 鼻孔検出の改善結果

第 3.5 節 顔画像取得の効率化の評価実験

正面顔判定の導入と鼻孔検出の改善を適用した場合の本手法の似顔絵システムへの効果を検証する．画像入力から各顔部品領域の設定までのフローチャートを図 3-19 と図 3-20 に示す．ここで，図 3-19 は提案する 2 手法を適用する前のフローチャートであり，これらの 2 手法を適用した場合のフローチャートを図 3-20 に示す．瞳検出の後に正面顔判定を行

うことで顔画像の取得をして、鼻孔検出の改善により、正確な顔特徴を抽出する。本研究では、正面顔を取得しかつ鼻孔を検出できたかを検証する。

具体的には、1回の撮像で、10sec 必要とする撮り直しがどの程度の確率で発生するかを評価した。これを撮り直し率とした。提案した2手法を適用しない場合、非正面顔が存在したデータ分の撮り直しが必要となるため、これと比べどの程度撮り直しを抑制できたか確認した。画像は3.3.1項と同様の441枚を用いて行った。

評価実験の結果、提案した2手法を適用しない場合は441枚中118枚で約27%の撮り直し率であった。また、提案手法では441枚中283枚が正面顔として取得され、そのうち12枚がRoll, Yaw回転した顔であったため、1枚の画像に対しての撮り直し率は約4%であった。また、実際にはRoll, Yaw回転した顔として除去された158枚のデータが存在するため、これを考慮すると撮り直し率は5%程度である。すなわち、展示会場などにおける画像撮り直しが大いに抑制できる。本手法を導入前では、撮像者の腕や被験者によって撮り直しが発生する可能性が高くなるが、本手法により2回以上の撮り直しが発生する状況を限りなく0%に近づけることができた。

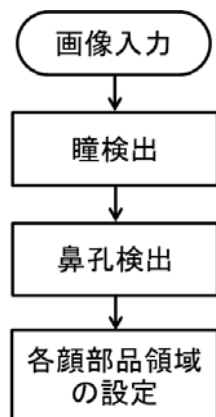


図 3-19 従来のフローチャート

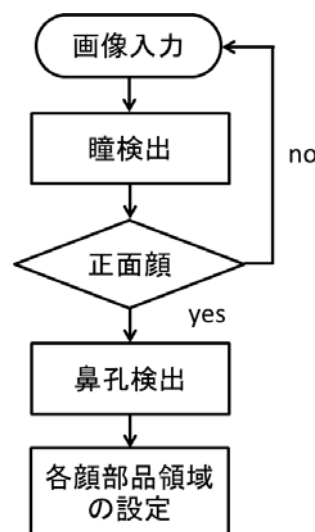


図 3-20 提案手法のフローチャート

第 4 章 口抽出手法の提案

第 4.1 節 はじめに

似顔絵の品質向上の指標として、以下のような見解が述べられている。芸術の分野では、似顔絵を描く上で輪郭内における目、眉、鼻、口の位置関係にはいくつかの配置パターンがあり、個人に適したパターンで似顔絵を描くことが重要である[27]とされている。また、心理学の分野では顔部品の位置・形状と顔の彫りの深さ・頬の隆起から顔タイプを判別する研究[28]があるが、顔印象において口と頬によって判別されると述べられている。これらの知見より、口輪郭を正確に描画することで、芸術的な観点と心理的な観点において個人の特徴を表現することができ、品質の良い似顔絵を生成できると考えられる。

本システムにおける口抽出の従来手法は、検出された瞳・鼻孔の位置・形状から、口輪郭の位置・角度を推定し平均顔の口輪郭を当てはめることで口輪郭の描画を行っていた。従来手法では口自体の情報を用いていないため、個人の特徴を正確に抽出しているとはいえない。また、似顔絵生成における口抽出の問題点として、似顔絵は、娯楽の場で描かれることが多く様々な年齢・性別の人が体験するため、様々な状況を想定しなければならない。例えば、口および口周辺において髭や皺、口角や下唇によって生じる陰影などの要因によるノイズの影響を、他の顔部品と比べ大きく受けやすい。本論文では、髭が肌領域に存在するデータを髭ノイズ、皺が肌領域に存在するデータを皺ノイズと呼ぶ。また、似顔絵システムは屋内で用いられるが、窓の有無などにより環境が一定でないため環境光に頑強である必要がある。このように阻害要因が多く、正確な位置・形状を抽出することが困難である。本論文では、環境光によってもたらされる輝度変化による陰影、皺ノイズの抑制、髭の存在を考慮した口抽出手法を提案する。

口抽出は個人認証[29]や、口腔外科における口唇裂症などの患者の治療[30]、読唇[31-33]、また似顔絵における特徴抽出[34]にも用いられている。口抽出は、色情報を用いて口の位置・形状を推定して抽出する手

法が主であり，色情報における処理が重要となる．

色情報を用いた口抽出手法として，ファジィ推論を用いた手法[29]があるが，処理の過程で CIE L*a*b*表色系における知覚色度指数 a^* とメトリック色相角 h_{ab} のヒストグラムの判別分析法結果を用いており，皺や髭などのノイズが発生した場合，判別分析法での推定が困難となる可能性がある．また，判別分析法を行う範囲を設定することで，ノイズを抑制することが可能だが，口紅は様々な色が存在し，設定した範囲外に口が存在した場合，閾値設定失敗の原因となる．

また，色情報における口推定方法として，唇と肌それぞれにおいて，HSV 表色系における 3次元のヒストグラムをテンプレートとして複数用意し，唇と肌のテンプレートを組み合わせたヒストグラムと抽出対象における口領域のヒストグラムとの類似度から最適な閾値を推定する手法があるが[31]，環境光によってヒストグラムは大きく変化するため，抽出が困難になり実用的でない．分離度マスクを定義し，マスク内における RGB の分布に対して，分離度を最大化するように射影軸を決定し分離度をエッジ強度とし抽出する手法[35]があるが，大きな髭領域が存在した場合，唇と肌を分離するような射影軸の設定が困難になり，境界の抽出が困難になると考えられる．HSV などの色変換により口位置を推定し，動的輪郭モデルを用いて抽出する手法[30,32,33]があるが，口位置推定の際の閾値の設定を固定で行っているため，環境によって抽出精度が変化すると考えられる．そこで，色差を用いて顔領域内での明るさの変動に頑強なノイズを抑制した口抽出手法を提案する．

第 4.2 節 輝度・色情報を用いた口抽出手法

第 4.2.1 項 口抽出手法の概要

口領域は赤みを帯びているが肌と口の色差は顕著ではない。また、口抽出での問題として髭や陰影や皺などのノイズの存在が挙げられる。そこで本手法では、輝度を一定にすることで陰影や髭ノイズを抑制して、口の赤味成分を強調することで、肌と口領域を分離しやすいデータを得る。具体的には、RGB 表色系から CIE $L^*a^*b^*$ 表色系に変換し、 L^* 成分を一定にして a^* 成分の強調を行う。これを RGB 表色系に戻したデータに対して口抽出を行う。ここで、CIE $L^*a^*b^*$ 表色系は輝度成分と赤味成分のパラメータが取り扱いやすいため用いた。また、R, G, B のうち、 a^* 成分に該当する、R 成分か G 成分が有効と考えられる。しかし、RGB に戻す際に R 成分に対する L^* 成分の係数を算出すると非線形の式が得られるが、G 成分と比較し L^* 成分の影響を大きく受けると考えられる。そこで、本論文では G 成分を用いた。

このように得られたデータに対して、共起度数画像 (CFI: Co-occurrence Frequency Image)[36]を用いて二値化処理し、口を抽出する。本手法において、処理領域内の L^* 値を全ての画素で同じ値にすることが大きな特徴といえる。本手法の処理は図 4-1 に示すような手順で処理される。

まず、①入力画像を RGB 表色系から②CIE $L^*a^*b^*$ 表色系に変換する。③CIE $L^*a^*b^*$ 表色系の L^* 値を全ての画素で同じ値にする。この処理により、色相環にて同じような値は RGB 表色系でも同じような値となり、髭が口付近に混在する場合に、白い髭・黒い髭に関わらず似た値となる。また、陰影や皺の影響も同様に抑制することができる。さらに、④ a^* 値を重み付けすることで口輪郭を強調する。

⑤変換されたデータを RGB 表色系に戻し、G 成分を用いて濃淡化する。⑥濃淡画像に対して CFI を用いて二値化処理をする。CFI は共起ヒストグラム (CH: Co-occurrence Histogram) の頻度を用いて生成される。CH は画像内の注目画素 f_{ij} と参照画素 $f_{i+k, j+L}$ とで定義される一対の画素に基づ

き，その濃度値のペアの頻度から生成されるヒストグラムである．ここで得られた共起頻度において閾値を設定することで二値化する．また，⑦予めこの濃淡画像に対して濃度値の中央値を算出し中央値以下の領域における分散を算出する．この分散値を肌と口の色差とする．

得られた二値画像のノイズを除去する．濃淡画像の濃度値の中央値を閾値として設定して，濃淡画像における濃度値が閾値以上の領域は肌か髭ノイズの可能性が高いためノイズとして判定する．これは，⑥濃淡画像に対するCFIによる二値化結果と⑧濃度値の中央値を用いた二値化結果の⑨論理積を求めることと相等である．

⑩ノイズ除去された二値化結果に対して色差によって異なる手順で膨張・収縮処理を行う．

⑪最終的にラベリング処理により口を抽出する．

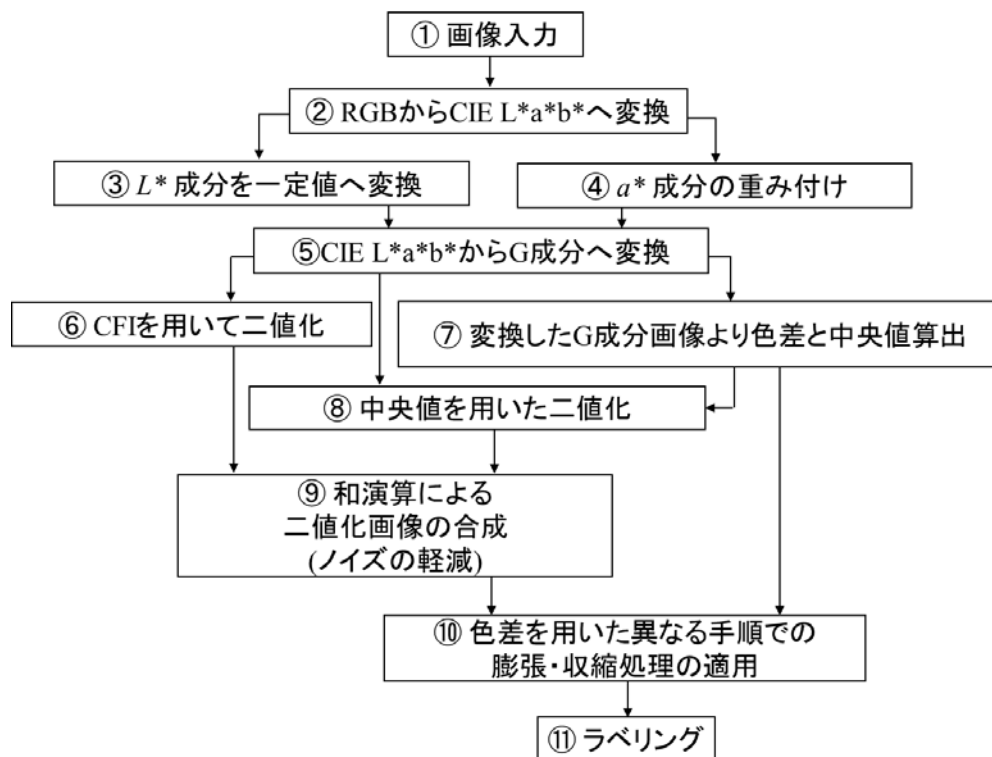


図 4-1 提案する口抽出の処理フロー

第 4.2.2 項 CIE L*a*b*のパラメータ設定

本手法では RGB 表色系の G 成分を用いるため，CIE L*a*b*表色系に変換する．RGB 表色系から CIE L*a*b*表色系への変換式及び RGB 表色系から CIE L*a*b*表色系の変換式を示す．式(4-1)に示すように RGB 表色系から XYZ 表色系に変換し，式(4-2)～式(4-4)に示すように XYZ 表色系から CIE L*a*b*表色系に変換する．

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 100 \cdot \left(0.393 \cdot \left(\frac{R}{255} \right)^{2.2} + 0.365 \cdot \left(\frac{G}{255} \right)^{2.2} + 0.190 \cdot \left(\frac{B}{255} \right)^{2.2} \right) \\ 100 \cdot \left(0.212 \cdot \left(\frac{R}{255} \right)^{2.2} + 0.701 \cdot \left(\frac{G}{255} \right)^{2.2} + 0.086 \cdot \left(\frac{B}{255} \right)^{2.2} \right) \\ 100 \cdot \left(0.018 \cdot \left(\frac{R}{255} \right)^{2.2} + 0.112 \cdot \left(\frac{G}{255} \right)^{2.2} + 0.957 \cdot \left(\frac{B}{255} \right)^{2.2} \right) \end{bmatrix} \quad (4-1)$$

$$L^* = \begin{cases} 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 & \text{if } \left(\frac{Y}{Y_n} \right) > 0.008856 \\ 903.29 \cdot \left(\frac{Y}{Y_n} \right) & \text{if } \left(\frac{Y}{Y_n} \right) \leq 0.008856 \end{cases} \quad (4-2)$$

$$a^* = 504.3 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (4-3)$$

$$b^* = 201.7 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (4-4)$$

ここで， X_n, Y_n, Z_n は式(4-5)のような標準の光 C[37]での値を用いる．

$$(X_n, Y_n, Z_n) = (98.072, 100.000, 118.225) \quad (4-5)$$

提案手法では CIE L*a*b*表色系を用いて式(4-6)と式(4-7)に示すような変換式によりデータを変換する．ここで， i, j は処理領域内における座標であり， L^* は変換後の L^* 値， a^* は変換後の a^* 値， p, q は定数である． q は 1.0 以上の実数値となり，また p は 4.3.2 項にて述べる．式(4-6)に 2.2.3 項で設定された処理領域内の全ての画素の L^* 値を同じ値にする．これより，陰影や皺情報のような照明による輝度変化のノイズを抑制する．また式(4-7)に示すように口領域を強調するために a^* 成分に重みを付ける．

$$L'_{ij} = p \quad (4-6)$$

$$a'_{ij} = q \cdot a^* \quad (4-7)$$

本手法では L^* 値と a^* 値の重みは経験的に良好な値を設定した。最終的に式(4-8)～式(4-11)に示すように RGB 表色系に変換し，G 成分の濃淡画像を得る。

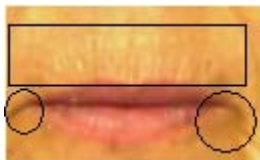
$$Y' = Y_n \cdot \left(\frac{L'^* + 16}{116} \right)^3 \quad (4-8)$$

$$X' = X_n \cdot \left(\frac{a'^* + \frac{L'^* + 16}{116}}{500} \right)^3 \quad (4-9)$$

$$Z' = Z_n \cdot \left(\frac{L'^* + 16}{116} - \frac{b'^*}{200} \right)^3 \quad (4-10)$$

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 255 \cdot \left(3.506 \cdot \frac{X'}{100} - 1.740 \cdot \frac{Y'}{100} - 0.544 \cdot \frac{Z'}{100} \right)^{\frac{1}{2.2}} \\ 255 \cdot \left(-1.069 \cdot \frac{X'}{100} + 1.977 \cdot \frac{Y'}{100} + 0.035 \cdot \frac{Z'}{100} \right)^{\frac{1}{2.2}} \\ 255 \cdot \left(0.056 \cdot \frac{X'}{100} - 0.197 \cdot \frac{Y'}{100} + 1.051 \cdot \frac{Z'}{100} \right)^{\frac{1}{2.2}} \end{bmatrix} \quad (4-11)$$

CIE $L^*a^*b^*$ 表色系を用いた変換結果例を図 4-2 と図 4-3 に示す。ここで，図 4-2(a)は入力画像，図 4-2(b)は変換結果である。また，図 4-2 は 60 歳以上の被験者である。図 4-2(a)の楕円で囲まれた領域内の陰影，矩形で囲まれた領域内の皺を抑制した変換結果を得ることができた。また，図 4-3 に示すように，口領域が陰影・髭と比べ濃度値が低くなり，口を抽出しやすい画像を得ることができた。白い髭であっても黒い髭であっても，肌と似た濃度になるかそれより高い値になることが判明している。



(a) 入力画像



(b) 変換画像

図 4-2 皺や陰影を除去した変換結果例

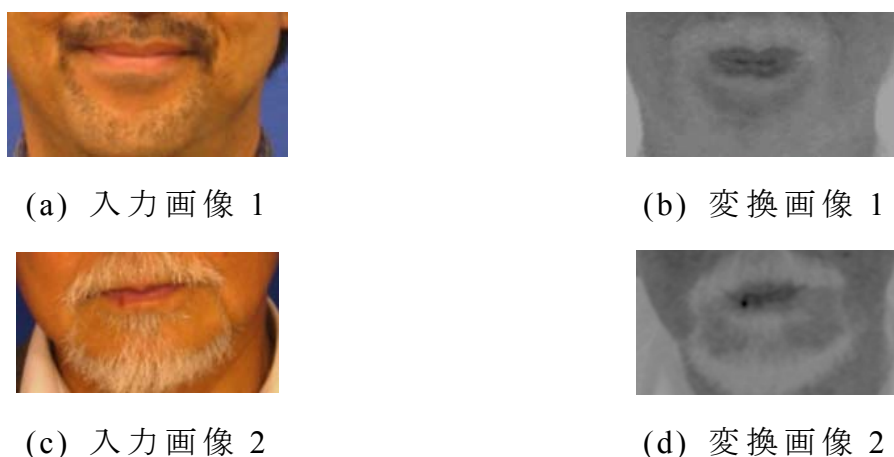


図 4-3 CIEL*a*b*表色系による画像変換結果例

第 4.2.3 項 CFI を用いた口抽出

口抽出方法として二値化処理が考えられるが、閾値の設定問題がある。閾値決定手法として判別分析法があるが、髭などのノイズの存在によって口と肌の閾値決定が困難である。そこで、本手法では 4.2.2 項にて得られた画像を基に、CFI を用いて抽出を行う。抽出方法として、エッジ情報を用いる方法があるが、口と肌の境界は緩やかなエッジであり、エッジでの抽出が困難な場合がある。一方、口領域は大きく分けて、口、肌、口と肌の境界部の 3 つの領域に分けられる。CFI は画像中の低頻度な領域の抽出が可能であることから、弱エッジでもこのような境界部を抽出できると考えられる。

本手法では、CFI にて K, L を $(K, L) = (2, 2), (2, 0), (0, 2), (2, -2)$ の 4 つの二値画像を作成して、これらの 4 つの画像を合成することで口を抽出した。ここで、これら 4 つの K, L のパラメータは、図 4-4 の左図に示すようなエッジ方向に対応したパラメータである。また、CFI はパラメータ値が小さいほど似た値の濃度共起が発生するため低頻度の画素対が微小になる傾向がある。一方、パラメータ値が大きいほど低頻度の領域が大きくなるが、抽出する領域は広くぼやける傾向がある。本研究では、パラメータを 1 とした場合では、ほとんどの例にて領域を抽出できなかったため上記のパラメータを用いた。生成結果例を図 4-5(c)に示す。また、入力画像を図 4-5(a)、CFI 作成に用いた変換画像を図 4-5(b)に示す。

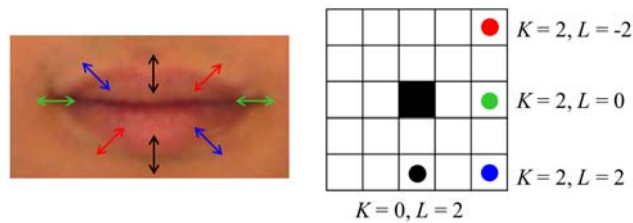


図 4-4 口境界とパラメータの関係



(a)入力画像



(b)変換画像



(c)CFI を用いた二値化画像



(d)ノイズ除去画像

図 4-5 CFI を用いた二値化

第 4.2.4 項 領域内の中央値および色差の算出

4.2.3 項で得られる画像にはノイズも含まれるため、後処理にてその除去をする。その際、抽出された領域におけるテクスチャのばらつきを、ノイズ除去の指標に用いる。以下のように予め中央値と色差の算出をする。ここで中央値は、処理領域内における濃淡画像(図 4-2(b))の濃度値を用いて算出する。

処理領域内における濃度値が中央値以下の領域にて分散値を算出する。この分散値を色差と定義する。本手法の性質より中央値以下の領域においては、口と一部の肌が存在する領域であると考えられる。また中央値以下の値を用いたのは、髭などが混在する場合において影響を受けにくくするためである。

分散の算出方法として、式(4-12)のように算出を行う。ここで σ^2 は処理領域内における中央値未満の領域の分散、 n は処理領域内における中

中央値未満の画素の総数， x_i は処理領域内における中央値未満の濃度値， \bar{x} は中央値未満の濃度値から算出された平均値である．

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4-12)$$

第 4.2.5 項 膨張・収縮処理のためのノイズ除去

4.2.3 項で得られた画像に対して，膨張・収縮処理により口輪郭を抽出する．しかし，抽出したい輪郭にノイズが存在する場合，膨張・収縮処理をする際にノイズが輪郭に吸収されてしまい，抽出が困難である．これらのノイズを軽減するために，膨張・収縮処理を行う前に口領域の濃度が低いことを利用し除去を行う．

4.2.4 項で算出した中央値を閾値として設定し，閾値以上の値は肌か髭ノイズの可能性が高いためノイズとして判定する．この処理を図 4-5 (c)の画像に対して適用した場合，図 4-5(d)のようなノイズ除去された画像が得られる．

第 4.2.6 項 膨張・収縮処理

口の色は化粧だけでなく個人差があり，口の色が赤色に近い場合や茶色に近い場合，その人自身の肌の色に近い場合など様々である．図 4-6 (a), (b)に示すように，肌の色に近い場合や茶色に近い場合は色差が小さく，前処理の際に肌の濃度と口領域の濃度が似た値となり，CFI に変換した際に抽出されない箇所がある．また，図 4-6(c), (d)に示すように，赤色に近い場合は色差が大きく口領域全体が抽出される．図 4-6(b)の結果に対しては，何度か膨張処理を行った後に収縮処理を行いたい．また，図 4-6(d)の結果に対しては，何度か膨張処理を施すと口周辺のノイズを吸収する可能性があるため，膨張処理を 1 回のみ行った後に収縮処理を行いたい．そこで，本論文では，これらの場合に応じて膨張・収縮処理を行う．

処理の条件分岐方法として，4.2.4 項で得られた色差を用いる．式(4-13)に示すように，算出された分散値が閾値 th 以上の場合と以下の場合にお

いて、膨張・収縮処理方法を決定する。ここでの膨張・収縮処理は経験的に良好であった手順によって処理される。

この結果に対してラベリング処理により口を抽出する。抽出された最大面積の領域を口として抽出する。

$$\begin{aligned} & \text{dilation} \rightarrow \text{dilation} \rightarrow \text{erosion} \rightarrow \text{erosion} & (\sigma^2 < th) \\ & \text{dilation} \rightarrow \text{erosion} & (\sigma^2 \geq th) \end{aligned} \quad (4-13)$$



(a) 入力画像 1



(b) 二値化画像 1



(c) 入力画像 2



(d) 二値化画像 2

図 4-6 色の異なる口に対する CFI

第 4.3 節 提案手法の検証実験

提案手法では 4.2.2 項で得られた濃淡画像を用いて口抽出を行うが、G 成分を用いる有用性を検証するため、提案手法を用いた場合、R 成分を用いた場合、B 成分を用いた場合、RGB の重み付き平均を用いた場合、 a^* 成分を用いた場合、 b^* 成分を用いた場合の口抽出精度の評価実験を行った。また、本手法と同様にノイズ耐性が強いと考えられる佐藤らの提案したファジー推論を用いた手法[29]との比較も行った。これはメンバーシップ関数を設定する際に、CIE $L^*a^*b^*$ 表色系におけるメトリック色相角 h_{ab} のヒストグラムから領域を限定した判別分析法を用いた手法である。なお、抽出率と誤抽出率はトレードオフの関係にあるため、 F 値を用いて総合的に評価した。

第 4.3.1 項 評価実験の指標

評価実験方法として、予め手入力により抽出した正解口領域を用意しておき、抽出された口領域と正解口領域の再現率と適合率の調和平均である F 値を用い、本手法の有用性を検証した。図 4-7 に示すように、左の楕円の領域を正解口領域、右の楕円の領域を抽出された領域とする。図 4-7 における正解口領域の面積を S_i 、斜線で示すような合致した画素数を S_g 、抽出された画素数を S_f とする。式(4-14)、式(4-15)に示すように、再現率 *precision* と適合率 *recall* を算出する。最終的に式(4-16)に示すような F 値を算出する。

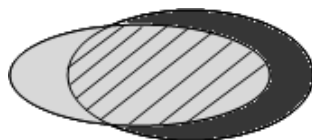


図 4-7 口抽出評価の指標

$$recall = \frac{S_g}{S_f} \quad (4-14)$$

$$precision = \frac{S_g}{S_f} \quad (4-15)$$

$$F = \frac{2 \cdot precision \cdot recall}{precision + recall} \quad (4-16)$$

第 4.3.2 項 評価実験の内容

本実験における対象画像として、髭ノイズの画像 20 枚，皺ノイズの画像 15 枚，髭，皺ともに該当しない画像である 15 枚を用いて行った．これらの画像データは本学の興水研究室が展示会に似顔絵生成システムを出展した際に得られたデータ約 2220 枚の中から用いている．また，約 2220 枚中，髭ノイズのデータは 131 枚，皺ノイズのデータは 71 枚，髭ノイズと皺ノイズを除いたデータは約 2020 枚存在した．髭ノイズは主に黄色人種のデータであり，20 代以上の男性だった．皺ノイズの画像では，黄色人種の 50 歳以上の女性のみだった．髭ノイズのデータ，皺ノイズのデータは主観的に髭ノイズの多く感じたデータ，皺ノイズの多く感じたデータを選び，皺・髭に該当しない画像は，研究紹介の場での展示会ではなく，祭りなどの娯楽目的の展示会で得られた画像データから無作為に選んだ．詳細は黄色人種の 10 歳未満の男性 3 名女性 3 名，20 代の男性 1 人女性 2 人，30 代の男性 3 人女性 1 人，50 代の男性 2 人だった．

実験対象は提案手法，従来手法，提案手法において R 成分を最終的に用いる方法，B 成分を用いる方法，RGB の重み付き平均を用いた方法，a*成分，b*成分をグレースケール化する方法の 7 つ，また色相角 h_{ab} のヒストグラムにおける判別分析法を 30° から 90° の間で限定して行い判別分析法を用いて二値化する手法の計 8 つとした．

R 成分を用いた方法，B 成分を用いた方法，RGB の重み付き平均を用いた方法では提案手法と同様に，L*成分を一定にして，a*成分に重み付けしたデータを RGB 表色系に変換し，それぞれの成分にて処理を行った．式(4-6)と(4-7)における p はそれぞれの成分にて CFI を用いた際，口と肌の境界を抽出しやすかった経験的な値を用い， q は全ての実験にて同じ値 1.8 とした． p は提案手法では 65.0，R 成分を用いた際は 50.0，RGB

の重み付き平均及び B 成分を用いた際は 55.0 とした。また、R 成分を用いた方法については提案手法の G 成分とは逆に口領域が濃度値は高く、肌・髭は口と比較して濃度値が低くなる性質があるため、濃度反転した画像に対して提案手法と同様の処理を用いた。B 成分を用いた方法と RGB の重み付け平均を用いた方法では、口領域とその他の領域を容易に分離できるようなデータが得られなかったため、CFI と膨張・収縮処理のみを用いて口を抽出した。

a*成分と b*成分をグレースケール化する方法では、a*成分と b*成分の取りうる値を考慮して 256 階調に正規化しグレースケール化したものに、CFI と膨張・収縮処理を用いて口を抽出した。

第 4.3.3 項 評価実験結果

評価実験結果を表 4-1 に示す。ここで表中における数値は 50 枚のデータを用いた際の F 値の平均値である。その結果、提案手法と色相角を用いた手法が良好であり、提案手法がその他の 6 つの手法と比べ有意な結果を得られた。

提案手法における考察として、口と肌の色差の大きなデータに対して誤抽出する例が見られた。これは、肌領域内において色差が強くなり CFI によって誤抽出した例が存在したためである。また、 q の値を小さくすると、色差が低いデータにて抽出率が低下する弊害がある。

表 4-1 F 値による口抽出

| | 提案手法 | 従来手法 | R 成分 | B 成分 | RGB の重み付き |
|-----|--------|--------|--------|--------|-----------|
| F 値 | 0.8051 | 0.6514 | 0.7524 | 0.5378 | 0.3945 |
| | a*成分 | b*成分 | Hue | | |
| F 値 | 0.6768 | 0.3343 | 0.8056 | | |

第 4.4 節 濃度値変換パラメータの最適化

第 4.4.1 項 提案手法の改善

4.3.3 項で述べた問題より，式(4-7)の q は可変にする必要がある．しかし，CIE L*a*b*表色系から RGB 表色系の変換式は非線形であるため，可変にすることは困難である．そこで，4.2.4 項の色差を求める手法を用い， q を 1.0 すなわち重みを付けずにデータに対して色差を算出して，色差に応じて場合分けにより重み付けした． σ^2 (色差)が 5.0 未満の場合において経験的な値として q を 1.8， σ^2 が 5.0 以上 8.0 未満の場合において q を 1.5， σ^2 が 8.0 以上の場合において q を 1.2 とした．

第 4.4.2 項 評価実験の指標

本論文では，抽出率と誤抽出率の両立を最終的な目標としているため，抽出率と誤抽出率を算出し詳細な評価を行った．具体的には，抽出された口領域と正解口領域の合致率と誤抽出率をそれぞれ算出することで評価した．図 4-7 におけるそれぞれの領域を 4.3.1 項と同様に定義し，領域の濃度が低い領域を S_e とする．これは，正解領域より誤抽出された領域である．式(4-17)と式(4-18)に示すように，抽出率 T と誤抽出率 E を算出する．

$$T = \frac{S_g}{S_t} \times 100 \quad (4-17)$$

$$E = \frac{S_e}{S_t} \times 100 \quad (4-18)$$

第 4.4.3 項 評価実験の内容

評価対象は 4.3.3 項で評価の高かった比較手法と 4.4.1 項の改善手法である．評価実験で用いたデータは，4.3.2 項で用いたデータと約 2220 枚の中から新たに追加した 70 枚のデータを用いて実験を行った．これらのデータは 4.3.2 項と同様に選んだ．詳細としては，愛知万博で得られたデータの中から髭ノイズのデータ 28 枚中 20 枚，皺ノイズのデータ 21 枚中 20 枚，髭ノイズのデータと皺ノイズのデータを除外したデータ約

300 枚中 20 枚，またその他の展示会で得られたデータの中から同様に髭ノイズのデータ 103 枚中 20 枚，皺ノイズのデータ 50 枚中 20 枚，髭データと皺ノイズのデータを除外したデータ約 1720 枚中 20 枚の計 120 枚のデータを用いて実験を行った．愛知万博の皺ノイズのデータが 20 枚程度であったため，これに合わせて実験を行った．

ここで，愛知万博のデータは会場に窓がなく，安定した環境で行われた展示会である．また，その他の展示会は会場に窓が存在し，外乱光の影響を受ける環境で行われた展示会である．

データの詳細は以下のようになり，髭ノイズのデータは 20 歳以上の男性のデータであった．皺ノイズのデータは 50 歳以上のデータであった．愛知万博のデータは男性 1 枚と女性 19 枚，その他の展示会のデータは男性のデータ 11 枚と女性のデータ 9 枚であった．髭ノイズのデータと皺ノイズのデータを除いたデータでは，愛知万博のデータは 10 歳未満の男性 3 人と女性 2 人，10 代の男性 2 人と女性 4 人，20 代の男性 1 人と女性 2 人，30 代の男性 2 人と女性 1 人，40 代の女性 1 人，50 代の男性 2 人であった．その他の展示会のデータは 10 歳未満の男性 3 人と女性 6 人，10 代の男性 4 人と女性 1 人，20 代の女性 2 人，30 代の男性 2 人，50 代の男性 2 人であった．

第 4.4.4 項 評価結果と考察

評価実験結果を表 4-2 示す．表の上から髭ノイズのデータ 40 枚，皺ノイズのデータ 40 枚，髭ノイズと皺ノイズを除いたデータ 40 枚，全てのデータ 120 枚に対して抽出率と誤抽出率を算出し，相加平均を求めた結果である．総じて誤抽出率にて提案手法が有用であり，抽出率においてはほぼ同等の結果が得られた．皺データにおいては，改善手法にて 2% 程度抽出率が低かったが，誤抽出率は 20% 程度抑えることができた．

環境変化の頑強さに対する評価実験として，愛知万博で得られたデータとその他の展示会で得られたデータを用い，比較実験を行った．評価実験結果を表 4-3 に示す．提案手法においてその他の展示会で得られたデータの結果は，愛知万博で得られたデータの結果と比較して，抽出率，

誤抽出率ともに低下した。しかし，比較手法のその他の展示会で得られたデータの結果との比較を行った場合，抽出率は 2%程度低かったが，誤抽出率は 10%程度抑えることができた。

また，抽出率・誤抽出率ともに極端に良好でなかった例が存在した。これは肌領域に存在するシミを CFI にて誤抽出したためだと思われる。

表 4-2 髭，皺の存在するデータと存在しないデータの口抽出評価

| | 提案手法 | | CIE L*a*b*の色相角 | |
|-----------|-------|-------|----------------|-------|
| | T | E | T | E |
| 髭のあるデータ | 89.8% | 34.2% | 88.2% | 33.3% |
| 皺のあるデータ | 95.5% | 36.8% | 97.6% | 57.8% |
| 髭，皺のないデータ | 97.2% | 33.4% | 97.8% | 35.8% |
| 全てのデータ | 94.2% | 34.8% | 94.5% | 42.3% |

表 4-3 環境光への頑健性に対する口抽出評価結果

| | 提案手法 | | CIE L*a*b*の色相角 | |
|----------|-------|-------|----------------|-------|
| | T | E | T | E |
| 安定した環境 | 97.4% | 32.3% | 95.9% | 37.0% |
| 外乱光のある環境 | 91.0% | 37.3% | 93.1% | 47.5% |

第 5 章 口元検出手法

第 5.1 節 はじめに

前章で紹介した口抽出手法は，色情報のみを用いているため陰影によって色情報が欠落した被験者や肌と口の色差が極端に小さい被験者は，正確な口輪郭の描画が困難であった．そこで本論文では特に陰影の影響を受けやすい口角の左端と右端を検出する手法を提案する．また，本論文では口角の左端と右端を口元として定義する．

口元の特徴を示した例を図 5-1 に示す．図中の黒点が口元を示している．口元の特徴として，口元は口輪郭の中で図 5-1 の図中の三角形の白線に示すような特異な形状をしている．また肌と口の境界に存在するため，口元と肌領域にて濃度値の差が大きいという特徴がある．その上，図中のグレー線に示すように，上唇と下唇の境界に存在すると考えられるため，口角の横座標の濃度値が低くなると考えられる．そこで，口形状検出フィルタと口境界検出フィルタを設計し，これらの出力を正規化し重み付けすることで，口元の可能性が高いほど値が大きくなるような口元類似度マップを生成する．口元類似度マップにおいて度数の大きい箇所を口元として検出する．

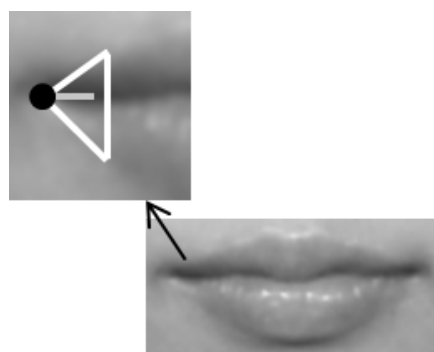


図 5-1 口元の特徴

第 5.2 節 口元検出手法の概要

第 5.2.1 項 口元検出領域の設定

4 章で得られた口抽出結果の左端と右端の周辺領域にて詳細に口元を検出する。具体的には，図中の黒色領域（口領域）の左端と右端の座標を中心座標とする矩形の処理領域を設定し，その領域内で口元を検出する。また，その処理領域は 30×30 (pixel) に設定した。

第 5.2.2 項 口元検出のための濃淡画像生成

ノイズ耐性に強い口抽出手法の性質を利用するため，式(5-1)に示すように濃淡画像を生成した。ここで， $I(i, j)$ は入力画像 $I_g(i, j)$ は変換後の画像である。また， w_g は式(5-2)に示すように算出する。ここで， $G'(i, j)$ は 4.4.2 項の方法で得られる濃淡画像である。また， $median_G'$ は画像 $G'(i, j)$ の濃度の中央値である。定数 60 は経験的な値である。この変換により，口と肌や陰影の濃度差を強調する。

$$I_g(i, j) = (1 + w_g) \cdot I(i, j) \quad (5-1)$$

$$w_g = (G'(i, j) - median_G') / 60 \quad (5-2)$$

第 5.2.3 項 口元検出フィルタの設計

本手法では 2.2.3 項にて設定された処理領域内にて，口形状検出フィルタと口境界検フィルタを用いて各画素の口元類似度を算出する。

図 5-2(a) に口形状検出フィルタを示す。図中の着色された画素を注目画素とし，各セルに表記した重み付けを用いて合計濃度値 M_{sh} を算出する。このフィルタは口元にて M_{sh} を算出した際に，値が小さくなるように設計した。すなわち重みが正の画素は口元にフィッティングした際に濃度値が低くなるように設計し，重みが負の画素は，口元にフィッティングした際に，口元の注目画素と同様の横座標は陰影の影響を強く受けると考えられるため，その領域を除いて設計した。

図 5-2(b) に，口境界検出フィルタを示す。図中の着色された画素を注目画素とし，各セルに表記した重み付けにより合計濃度値 M_{ce} を算出す

る。 M_{ce} が小さいほど、上唇と下唇の境界である可能性が高い。

図 5-2(a), (b)に示されるフィルタは左端用の口元に適応されるもので、右端の口元には左右反転させたフィルタを用いる。



(a) 口形状検出フィルタ

(b) 口境界検出フィルタ

図 5-2 口元検出フィルタ

第 5.2.4 項 重み付けによる口元検出

処理領域内の全画素にて M_{sh} , M_{ce} を算出し、 M_{sh} は全画素中の M_{sh} の最大値が 0、最小値が 1 になるような実数に正規化した。正規化後の M_{sh} を M_{r_sh} とする。 M_{ce} も同様に全画素中の M_{ce} の最大値が 0、最小値が 1 になるような実数に正規化する。正規化後の M_{ce} を M_{r_ce} とする。式(5-3)に示すように、正規化した 2 つのデータを用いて重み付けすることで、口元類似度 M_{freq} を算出し、口元候類似度数を生成する。

$$M_{freq} = v \cdot M_{r_sh} + (1-v) \cdot M_{r_ce} \quad (5-3)$$

ここで、 v は 0~1 の実数である。口元類似度マップを 256 階調で表現した画像を図 5-3 に示す。図中の 2 つの正方領域が口元類似度マップである。図のように口元付近ほど値が高くなるような結果が得られた。最終的に口元類似度マップにおいて、注目座標を中心とする 3×3 (pixel) の領域内において合計値が一番高い座標を口元として決定する。

口元の検出結果例を図 5-4 に示す。図の左画像は右画像の矩形領域を拡大した画像であり、左画像の黒点が検出された左端の口元である。また、図中の白線は 4 章で抽出された口に対して輪郭を描画したものである。



図 5-3 口元類似度マップ

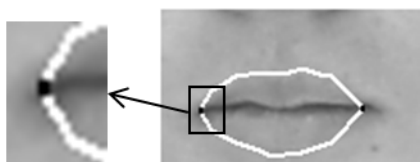


図 5-4 口元検出結果

第 5.3 節 口元検出の実験結果

第 5.3.1 節 実験概要

口元検出結果の評価実験として、2 章にて抽出された口の左端と右端の座標と、3 章で提案した口元検出結果の座標を比較した。具体的には、これらの座標と予め手動で決定した口元の座標のユークリッド距離を比較した。また、改善・改悪のデータについても確認した。

実験データとして、画像 40 枚を用いて行った。このうちノイズ耐性の確認として、髭のある被験者 10 枚、しわの多い被験者 10 枚を用い、そのほかの 20 枚は髭、しわの存在しないデータとした。口元は左右に存在するため、計 80 データで実験を行った。

第 5.3.2 節 実験結果

口元検出結果の評価実験として、2 章にて抽出された口の左端と右端の座標と、3 章で提案した口元検出結果の座標を比較した。具体的には、これらの座標と予め手動で決定した口元の座標のユークリッド距離を比較した。

ユークリッド距離算出の評価実験結果を表 5-1 に示す。ここで、表中に示す値は、各データのユークリッドの平均値である。また、改善・改悪数の結果を表 5-2 に示す。表中の「同距離」はユークリッド距離が同

じとなった例である。

結果として、多くの例にて口元検出手法が良好な結果を得ることができ、ユークリッド距離算出結果も良好な結果となった。

改善された例として、口抽出手法にて陰影部分を過検出した例や抽出精度の良好でなかった例があった。改悪された例として、口が半開きの被験者の口腔部を誤検出した例や口領域内に生じた強い陰影部を誤検出した例があった。また、髭やしわの存在する例においても全体的に良好な結果が得られたが、髭が存在するデータにて髭を誤検出した例も存在した。

表 5-1 ユークリッド距離算出結果

| | 口抽出手法 | 口元検出手法 |
|------------|-------|--------|
| 髭のあるデータ | 5.01 | 4.13 |
| 皺のあるデータ | 9.02 | 4.23 |
| 髭, 皺のないデータ | 8.03 | 4.8 |
| 全てのデータ | 7.52 | 4.49 |

表 5-2 ユークリッド距離算出結果

| | 改善数 | 改悪数 | 同距離 |
|------------|-----|-----|-----|
| 髭のあるデータ | 11 | 8 | 1 |
| 皺のあるデータ | 14 | 5 | 1 |
| 髭, 皺のないデータ | 28 | 12 | 0 |
| 全てのデータ | 53 | 25 | 2 |

第 5.4 節 口元検出の考察

本章では口抽出手法で得られた口の左右の端点座標を基に処理領域を設定し，口元を検出した．口元検出方法として，原画像を重み付け平均により濃淡化した画像を用いて，処理領域に対しフィルタ処理を施した．口形状検出フィルタと口境界検出フィルタを設計し，それらの出力を正規化，重み付けすることで口元類似度マップを生成し，これを基に口元の座標を決定した．

評価実験の結果，口抽出手法の過検出や未検出があった例を改善する例が多く存在したが，改悪された例もみられた．

第 6 章 可変二値化処理による眉抽出

第 6.1 節 はじめに

眉は，個人の特徴取得や感性情報の取得において重要と指摘する文献もある [27,38]．眉抽出を行う研究では，眉の傾き情報等，眉の一部の情報を特徴量として用いる．これらは，表情認識等の感性情報を取得する研究で多い．一方，似顔絵生成システム等では個人の特徴取得のために詳細な情報が必要である．また，眉を詳細に抽出することで様々な分野への応用が期待できることから，詳細な眉抽出を行った．

従来の眉抽出では，濃淡情報からの特徴量の抽出が困難であるため，エッジ情報により特徴量を抽出する例がみられる[39]．文献[39]では，輝度値情報よりエッジ抽出，二値化，ラベリングの順に処理をして，ラベリング結果の下辺情報より眉形状を検出している．しかしながら，エッジ情報を用いた手法でも，顔の傾斜の影響などにより濃度差が一定でないため，抽出が困難となる．一方，二値化により抽出する方法も考えられるが，同様の理由で抽出が困難であり，単一閾値で眉を抽出することは困難となる．文献[40]では顔特徴点抽出の開発ツールを用いて顔形状を抽出しており，文献[39]と同様に眉領域を抽出する手法ではない．

このように，従来の眉抽出では顔形状による濃度差が問題となっている．顔形状による画像中の輝度変化は，局所的に処理すれば輝度変化は微小となるため，これらの問題を軽減できる．そこで，領域分割により顔形状による濃度変化の影響を軽減し，領域毎に適切な閾値を設定して二値化することで眉を抽出した．

本論文では，眉が存在し，かつ髪などによる眉の隠れがなく，黒色の眉のみの被験者データを対象とする．これは，眉のない例や隠れた例では，個人特徴を正確に抽出することが難しいためである．

第 6.2 節 眉抽出手法の概要

本手法の処理の流れを図 6-1 に示す。本研究ではまず、眉の存在領域を設定する。この領域は予め検出された両瞳の位置・大きさ情報を元に設定する。この領域内にてエッジを抽出して、さらに領域を限定する。これを処理領域として、この領域内にて詳細に眉を抽出する。この領域内にて Canny 法によりエッジを検出して、これと濃淡情報より眉の上輪郭候補を検出する。この検出結果を基に存在領域を分割する。分割された局所領域内にて、眉上輪郭候補を評価指標とすることで、可変に閾値を決定することで二値化する。最終的に存在領域にてラベリングにより眉を抽出する。本節では、以下の処理は右眉のアルゴリズムについて説明する。左眉では左右対称の処理を行う。

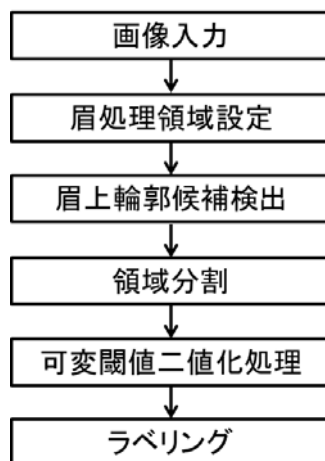


図 6-1 眉抽出の処理の流れ

第 6.2.1 項 眉抽出領域の設定

処理領域は PICASSO2 システムの瞳検出結果を用いて設定した。

ここで、瞳は円の Hough 変換を用いて検出される。これより得られた瞳の位置と大きさ情報を基に、処理領域を設定する。本手法では確実に眉領域が収まるような領域設定のため、2.2.3 項とは異なる領域設定を行った。図 6-2 に示すような円を検出された瞳、矩形領域を眉の処理領域とすると、処理領域は以下のように処理領域を決定する。本論文では、顔を正面から見た際の左側の瞳や眉を左瞳、左眉、右側の瞳や眉を右瞳、

左眉と定義する．左眉の処理領域の座標 $(B_{x1}, B_{y1}), (B_{x2}, B_{y1})$ は以下の式で決定する．ここで， (I_{x1}, I_{y1}) は左瞳の中心座標， (I_{x2}, I_{y2}) は右瞳の中心座標である．また，左瞳の半径を r_l とし， a, b は定数であり， r_l が 7 未満の場合は， $a = 8, b = 5$ として，7 以上の場合は， $a = 10, b = 7$ とした．

$$B_{x1} = I_{x1} - ar_l \quad (6-1)$$

$$B_{x2} = \frac{(I_{x1} + I_{x2})}{2} - 2 \quad (6-2)$$

$$B_{y2} = I_{x1} - 1.5r_l \quad (6-3)$$

$$B_{y1} = B_{y2} - br_l \quad (6-4)$$

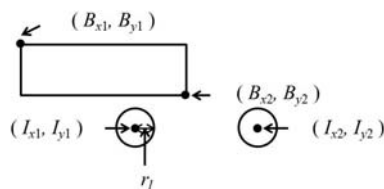


図 6-2 眉抽出のための処理領域設定

第 6.2.2 項 眉抽出領域の再設定

6.2.1 項にて得られた領域にてエッジ情報より，処理領域を限定する．まずは，設定された眉の存在領域を濃淡データに変換する．ここで，濃淡データは肌と眉の濃度差が大きい RGB 表色系の R 成分を用いる．この濃淡データに対して Sobel フィルタによるエッジ抽出を施してこれを二値化することで，眉の上輪郭が存在するであろう領域を抽出する．この領域の抽出では，眉の上輪郭は肌領域の下に眉が存在する性質を利用する．具体的には，Sobel フィルタを施した際の応答値の正負によって判断する．この結果を基に眉の処理領域を限定する．この領域内で，先程とは逆の性質を利用して，眉の下輪郭が存在するであろう領域を抽出する．この結果により限定された領域内で眉を抽出する．これらの流れを図 6-3 に示す．

以下の処理は左眉の処理手順を示すが，右眉では左右対称となるよう

に処理を行った。

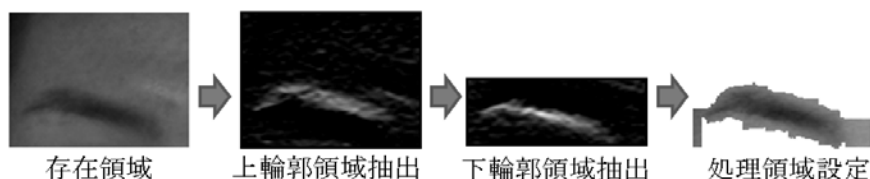


図 6-3 眉処理領域の設定

第 6.2.3 項 眉上輪郭候補検出

設定された領域内で眉の上輪郭候補を検出する。まず、濃淡画像に対して、Canny 法によりエッジを検出する。眉には個人差があるため、閾値を可変に設定する必要がある。そこで、特にエッジ検出に大きく影響を与える Canny 法におけるヒステリシス閾値の高い方の閾値を可変に設定する。

まず、1 枚の画像に対して Canny 法の上の閾値を 25 から 60 まで 5 ずつ変化させた 8 つのエッジ画像を生成した。これらのデータでは、エッジ点を注目画素とし、注目画素の上領域と下領域の濃度差が正となるエッジ点のみを検出した。この処理は、予め肌領域を抽出しておき、領域外のエッジは除去するものである。この 8 つのデータから、一番良好であると判断した結果をベストデータとした。ここで、評価方法はシステムでの評価が困難であるため目視で行った。また、良好なエッジとは、実際の眉に対して途切れがなく(連続性)、余分なエッジが少ない(ノイズ性)ものとした。

これを基準に 35 人の顔画像で左右の眉あわせて 70 データに対して目視評価を行った。ここで、顔画像データは正面を向いたデータであり、屋内で撮影されたものである。画像サイズは 1024×768 画素のカラー画像で、顔は被験者の髪からあごが確実に収まり、かつこの距離が画像の縦幅の半分以上を占める範囲で撮像されている。また、この環境下で撮像した場合、眉の面積は約 500～3000pixel 程度となった。

つぎに、目視評価にて良好なエッジデータとした 70 データに対して、

連続性，ノイズ性の算出を行った．算出方法として，6.2.2 項で抽出した眉の上輪郭が存在するであろう領域の横幅の範囲内で，図 6-4 に示すようなエッジ点数の射影を算出する．この横幅を B_{wid} として，この範囲内でエッジ点数の射影結果が 0 である数を E_b とする．この範囲内のエッジ点の総数を N とした場合，連続性 B_{con} は式(6-5)に示すように定義する．また，ノイズ性 B_{noise} は式(6-6)に示すように定義する．

$$B_{con} = \frac{E_b}{B_{wid}} \quad (6-5)$$

$$B_{noise} = \frac{N}{B_{wid} - E_b} \quad (6-6)$$

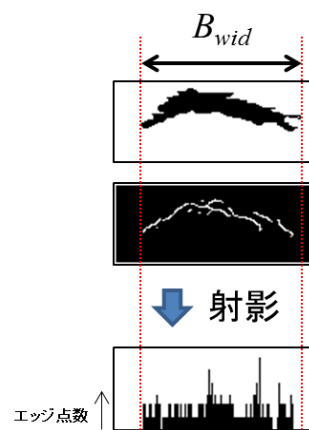


図 6-4 眉エッジ点の射影結果

これを目視で良好と判断した 70 データに対して算出する．この 70 データに対して連続性とノイズ性を算出した結果，算出値の分布はそれぞれ，図 6-5 や図 6-6 のようになった．これは，算出結果に対して，ヒストグラムを求めたものとなる．これらの算出値に対してそれぞれ，最大値，最小値，平均値を求める．平均値をベストな値として，最小値，最大値まで線形に値が減少するような評価指標を設計した．ここで，この評価指標は，ベストの値である平均値を 1 として，最大値では評価値が 0.7，最小値も同様に評価指標が 0.7 になるように，平均値から線形に評

価値が減少するように設定した。これを基に、Canny 法の上の閾値を決定する。閾値決定方法として、上の閾値を 25 から 60 まで変化させた Canny 法の検出結果に対して連続性、ノイズ性の評価指標を算出する。この指標の合計値が最大となる閾値を最終的な閾値とする。このようにして得られた上輪郭候補検出結果を図 6-7 に示す。

図 6-8(a)のような眉領域内で濃度がまばらな例に対しては図 6-8(b)のようにノイズとなるエッジ点が多く含まれる場合がある。そこで、本手法では、エッジ点を縦方向に操作した際に、画像の上方向を正とした座標系において一番高い座標値のみのエッジ点を検出した。その結果を図 6-8(c)に示す。

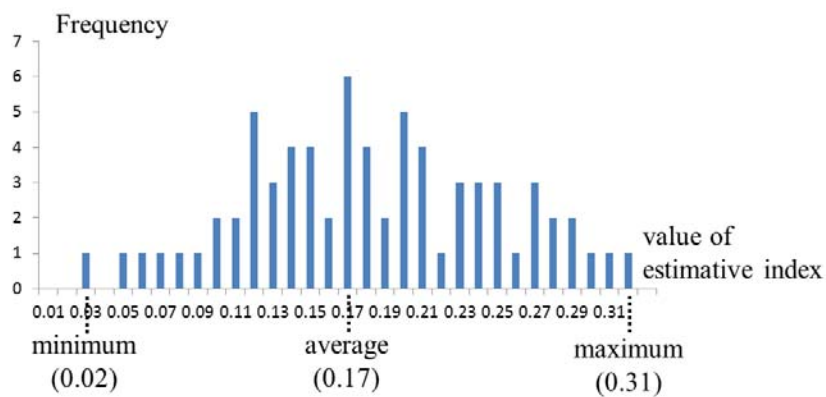


図 6-5 連続性算出結果のヒストグラム

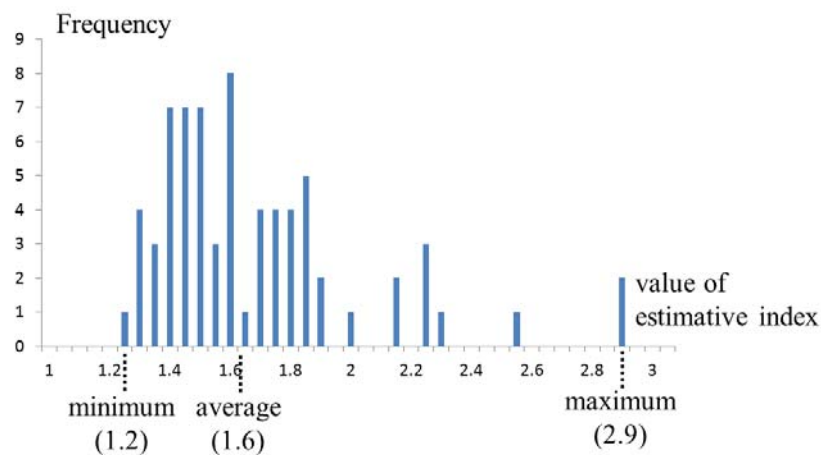


図 6-6 ノイズ性算出結果のヒストグラム



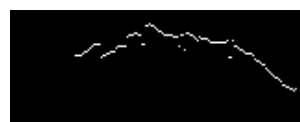
図 6-7 眉の上輪郭候補検出結果



(a) 入力画像



(b) 眉上輪郭候補



(c) エッジ点のノイズ

検出結果例

除去結果

図 6-8 エッジ点のノイズ除去

第 6.2.4 項 領域分割と可変閾値二値化処理による眉抽出

本研究では蛍光灯を用いることで環境調整を行っているが、このような環境下でも顔の傾斜により局所的に照射される光量は異なり輝度差が生じるため、単一閾値での眉抽出は困難となる。そのため、領域分割して輝度差の影響を軽減することでこの問題を解決する。

再設定された処理領域に対して領域分割をする。まず、上輪郭検出で得られたエッジ点の左端座標を求め、その座標を基準に縦座標を領域分割する。領域分割した例を図 6-9 に示す。ここで、領域分割の幅は 10 pixel に固定して分割した。

このように得られた局所領域毎に二値化処理を施す。二値化閾値の決定方法として、上輪郭検出で得られたエッジ点と濃淡画像を二値化した際の境界との距離を評価指標として、距離が最小になった二値化閾値を最適な閾値として決定する。この評価指標 D の算出方法を式 (6-7) に示す。

$$D = \sum_{i=1}^n d_i \quad (6-7)$$

ここで d はあるエッジ点から垂直方向に走査し、このエッジ点と二値化結果の境界との最短距離を d として算出する。 n は局所領域内に存在するエッジ点数である。また、 d は例外的なエッジの影響を軽減する

ために、 d が閾値以上の値になった場合は定数を代入する．ここで、本論文では閾値を 10，定数を 11 としている．これらを設定しなかった場合、眉の上輪郭から大きく離れた箇所にノイズとなるエッジ点が多く存在する例では、二値化した際に、正解のエッジ点と誤ったエッジ点の中間に白と黒の境界が設定されるような結果となる可能性がある．このような問題に対応するため、局所解に収まるように評価指標を設計した．

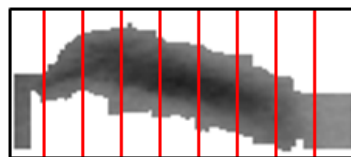


図 6-9 眉の領域分割例

第 6.2.5 項 二値化閾値の再設定

眉の下輪郭では、瞳による窪みにより陰影が発生しやすい．そのため、眉領域との濃度差が小さい場合があり、閾値処理により眉の下部まで大きく誤抽出することがある．そこで、6.2.4 項で求めた閾値を再設定する．

その方法として、局所領域毎におおよその肌領域の濃度値を推定し、その濃度値が 6.2.4 項で設定した閾値より値が小さければ閾値設定に失敗したものと判定し、再度設定する．

ここで、肌領域は図 6-10 の実線に示す領域とする．縦線は 6.2.4 項で定義した局所領域となる．横線は 6.2.1 項で求めた領域の下端から 10pixel の座標に線を引いたものとなる．局所領域毎に肌領域の平均濃度値を算出して、これが局所領域毎に設定された閾値未満であれば、閾値を再設定する．

再設定方法として、隣接する領域の肌領域の濃度値を比較して注目領域の肌領域の濃度値と近い方の閾値を採用する．それでも肌領域の濃度値が閾値未満の場合、肌領域の濃度値から 5 を引いた値を閾値とした．眉抽出結果を図 6-11 に示す．

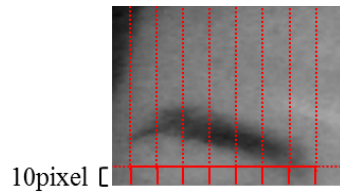


図 6-10 閾値再設定における肌領域の定義



図 6-11 眉抽出結果

第 6.3 節 眉抽出評価実験

第 6.3.1 項 実験概要

提案手法を用いて評価実験を行った。従来手法として、提案手法における領域分割をせずに一つの閾値で眉を抽出する手法と比較実験を行った。

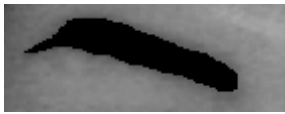
画像データは 6.2.3 項と同様の 70 データを用いて実験を行った。本論文では、目視にて眉と判断できる領域を抽出でき、顔形状による輝度変化により単一閾値では抽出が困難である眉の抽出を目指す。そこで評価方法として、人が与えた正解眉領域と提案手法による眉抽出結果の面積の合致率を評価指標とした。具体的には、過抽出率 R_o を式(6-8)、未抽出率 R_u を式(6-9)のように算出する。また、過抽出率と未抽出率はトレードオフの関係にあるため、それらを総合的に評価するために、式(6-10)に示すようにこれらの調和平均 R を算出して評価する。ここで、 S_t は抽出結果と正解眉領域の合致した領域の面積、 S_f は抽出結果の面積、 S_g は正解眉領域の面積である。

$$R_o = 1 - \frac{S_t}{S_f} \quad (6-8)$$

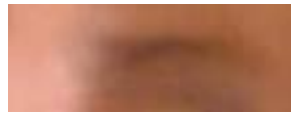
$$R_u = 1 - \frac{S_t}{S_g} \quad (6-9)$$

$$R = \frac{2(1-R_o)(1-R_u)}{(1-R_o)+(1-R_u)} \quad (6-10)$$

ここで、正解眉領域は 1 名が手入力により作成した。図 6-3 の眉に対して正解眉領域を作成した例を図 6-12(a) に示す。また、図 6-12(b)のように眉が薄く目視では眉を確認できるが、抽出が困難な例も実験対象とした。



(a) 図 6-3 の正解眉領域



(b) 眉と肌の境界の判別が難しい例



(c) (b) の正解眉領域

図 6-12 正解眉領域の例

第 6.3.2 項 実験結果と考察

過抽出率 R_o 、未抽出率 R_u 、これらの調和平均 R の算出結果を表 6-1 に示す。ここで、これらの値は算出された R_o 、 R_u 、 R それぞれの 70 データの相加平均である。表のように、総合的に提案手法の方が良好な結果が得られた。

本研究の実験環境では環境光の影響は強くないため、ハイライトの影響は受けにくい。しかしながら、顔形状により陰影が生じるため陰影を過抽出することで、眉を太く抽出してしまう。眉を細く抽出することによる未抽出率は犠牲にしても、影の部分の眉の過抽出を抑制することを主眼としているため、特に R が増加し、 R_o が減少することが重要となる。そのため、本研究では良好な結果を得られたという判断は妥当である。

表 6-1 眉抽出精度評価実験結果

| | 過抽出率 R_o | 未抽出率 R_u | R |
|------|------------|------------|-------|
| 従来手法 | 0.367 | 0.038 | 0.733 |
| 提案手法 | 0.244 | 0.181 | 0.772 |

ここで、精度が向上した結果例を図 6-13 に示す。図のように、局所領域毎に明るさが異なる場合では一意に閾値を決定することが困難であるが、領域分割を行うことで眉が抽出されていることが分かる。

ただし、図 6-14 に示すような眉が分離するような例では眉の抽出が困難であった。



図 6-13 精度が向上した例



図 6-14 抽出が困難な例

第 7 章 本研究の総合評価

第 7.1 節 総合評価実験の概要

本研究の画像処理技術について評価を行った。実験データは 100 枚の顔画像データを用いた。実験手順として、100 枚の顔画像データに対して正面顔判定を行う。次に正面顔と判定された正面顔画像にたいして、鼻孔検出改善手法、口抽出手法、眉抽出手法を用いて画像処理性能の確認実験を行う。なお、この顔画像データは瞳検出に成功して、かつ眉全体が確認できるデータを用いた。

第 7.2 節 実験結果

第 7.2.1 項 正面顔判定と鼻孔検出実験

100 枚の顔画像のうち、顔写真の撮り直しが必要となるような非正面顔画像は 35 枚であった。その結果、正面顔画像を正面顔として判定できた例は 65 枚中 60 枚、非正面顔を非正面顔として判定できた例は 35 枚中 28 枚であった。これより、撮りなおす必要のあるデータが 100 枚中 35 枚存在したのに対して、提案手法では、正面顔として取得された 66 枚中 6 枚のみであった。これより、35%の確率で起こっていた撮り直しが、10%程度に抑えられ、2 回以上撮り直しを行う状況を限りなく 0 に近づけることができた。これより、大幅に撮影者や被験者への負担を軽減できると考えられる。また、鼻孔検出実験では正面顔として得られた 60 枚のうち、評価 D となる結果が存在しなかったため、本実験では影響がなかった。

第 7.2.2 項 口抽出手法の確認実験

前項で得られた正面顔画像データ 60 枚を用いて、口抽出精度の確認実験を行った。4.4.4 項と同様の方法で口抽出精度について確認したところ、抽出率は 90.8%、誤抽出率は 22.5%となった。4 章の結果と同様に、誤抽出率を抑えつつ、高精度に口を抽出できた。

第 7.2.3 項 眉抽出手法の確認実験

前項と同様の正面顔画像データ 60 枚を用いて、抽出精度の確認実験を行った。6.3 節と同様の方法で眉抽出精度について確認したところ、過抽出率は 0.199、未抽出率は 0.275、これらの調和平均は 0.740 となった。6.3 節の評価実験と比べ、調和平均の精度が多少低下したが、過抽出率は抑えることができたため、目的通りの結果を得られた。

第 7.3 節 実験の考察

本研究について、総合評価実験を行った。その結果、正面顔判定手法では、撮影者や被験者の負担にならないような撮像環境を構築できた。口抽出、眉抽出についても、4 章や 6 章の性能評価実験と同様に、未抽出を抑えつつ、過抽出を低減できるような手法を提案できた。

第 8 章 顔特徴抽出の課題と展望

第 8.1 節 耳領域推定手法

耳を対象とした特徴抽出手法はバイオメトリクス認証や医療[41]で研究されており，個人認証や，形成外科の手術に用いられている．これらの研究では，顔の側面より耳を観測して特徴抽出する研究例があるが，正面顔を対象とした耳抽出手法は見られない．

耳特徴抽出の問題として，髪による隠れにより目視で確認できない場合がある．そのため，耳が画像中に存在するか否かについて判定する必要がある．この判定を行う際に，顔の幾何学的特徴により耳の存在する領域をある程度推定した方が耳の有無の推定や特徴抽出が容易となる．そこで，本研究ではまずは耳の有無を判定するために，耳が確認できるデータの統計より，耳の存在するであろう領域を推定する．また，推定された領域内にて耳の有無判定を行う．

第 8.1.1 項 耳領域の計測

耳領域を推定するために，まずは個人毎に耳の大きさや位置を計測する必要がある．本研究では 40 人の被験者の正面顔画像に対して耳領域を計測した．

顔画像データは，被験者とカメラの距離が一定に保たれた正面顔画像を用いる．耳が目視で確認できる成人（20 才以上）40 人の被験者の画像のみを使用する．

耳領域の計測のために，まずは図 8-1 に示すような，両瞳 2 点，両耳各 5 点を手入力にて座標を設定する．耳の 5 点のうち，正面から見て左側の耳については，上付け根，下付け根，上端，下端，左端と呼ぶ．ここで，上付け根と下付け根は，領域の右端が目視にて判定が困難である場合があるため，入力を行っている．右側の耳も左耳と同様に定義して，以降に述べる処理については左右対称に行う．ここで，両瞳，両耳各 5 点の座標は手入力にて定義した．

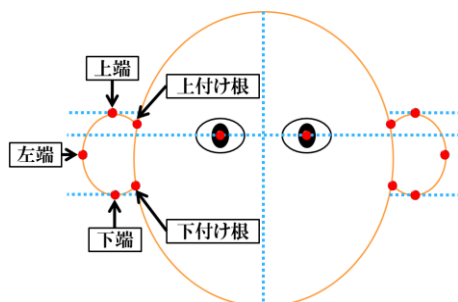
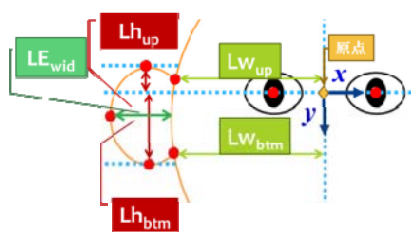


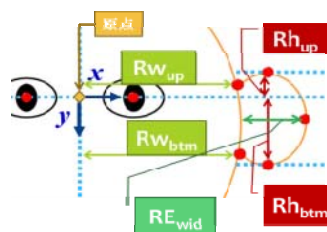
図 8-1 耳領域設定のための特徴点定義

次に、両瞳の中心座標を基準に各特徴点までの距離を計測する．ここで、図 8-2 に示すように、両瞳の中心座標を原点とする．まず、左耳の原点から各特徴点までの定義は図 8-2(a)となる．上付け根から原点を減算した距離を Lw_{up} ，下付け根座標から原点座標を減算した値を Lw_{btm} ，原点から上端までの距離を Lh_{up} ，原点から下端までの距離を Lh_{btm} ，左端から耳付け根までの距離を LE_{wid} と定義する．ここで、 Lw_{up} ， Lw_{btm} ， LE_{wid} は x 座標のみの距離， Lh_{up} ， Lh_{btm} は y 座標のみの距離である．右耳も同様に、図 8-2(b)に示すように定義する．

ここで、 Lh_{up} や Rh_{up} は、耳の上端座標が両瞳の中心座標より上下するため、負の値になることがある．



(a) 左耳領域の幅の定義



(b) 右耳領域の幅の定義

図 8-2 距離算出の定義

第 8.1.2 項 耳領域の推定

前章の方法にて，40 人分の計測データの最大値，最小値を算出した．その結果，表 8-1 のようになった．この結果より耳領域の推定を行う．

表 8-1 両瞳の中心を基準とした耳の計測統計結果

| | Lw_{up} | Rw_{up} | Lw_{btm} | Rw_{btm} | Lh_{up} | Rh_{up} | Lh_{btm} | Rh_{btm} | LE_{wid} |
|----|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| 最大 | 182 | 177 | 176.5 | 177.5 | 30.5 | 36 | 157 | 145 | 71 |
| 最小 | 134.5 | 136.5 | 115 | 114.5 | -59 | -59.5 | 44 | 39.5 | 27 |

耳領域推定の際の矩形を構成する座標は，左端座標を lx_s ，上端座標を ly_s ，右端座標を lx_e ，下端座標を ly_e とする．上端座標 ly_s は式(8-1)に示すように Lh_{up} の最小値として，下端座標 ly_e は式(8-2)に示すように Lh_{btm} の最大値とする．左端座標は式(8-3)に示すように原点から耳の付け根までのとりうる最大値に耳幅の最大値を加算した値とする．右端座標は式(8-4)に示すように，耳の付け根までの距離の最小値とする．

$$ly_s = \min(Lh_{up}) \quad (8-1)$$

$$ly_e = \max(Lh_{btm}) \quad (8-2)$$

$$lx_s = -(\max(Lw_{up}, Lw_{btm}) - \max(LE_{wid})) \quad (8-3)$$

$$lx_e = -(\min(Lw_{up}, Lw_{btm})) \quad (8-4)$$

第 8.1.3 項 耳の有無判定

耳輪郭検出の前に存在の有無を判定することで、輪郭の描画を容易にできると考えられる。そこで、8.1.2 項で得られた測定データを用いて耳の有無の判定を行う。

耳の有無判定は、耳と耳を除いた顔の境界部の存在する領域を推定して、その領域内の肌領域を抽出してそれを用いることで行った。耳と耳を除いた顔の境界は、表 8-1 のデータより推測できる。まず、式(8-5)のような両瞳の中心から耳の付け根までの距離の最小値に式(8-6)のような耳の幅の最小値の幅を求める。両瞳の中心座標から、式(8-7)のようにこれらを減算（右耳の場合は加算）した座標を縦方向に走査した際に、肌領域が存在しなければ耳も存在しないということになる。よって、前述の場合、耳は存在しないと判定する。ここで、肌領域は HSV 表色系の色相と彩度を用いて、経験的に閾値を設定して抽出をした。

$$F_{\min} = \min(Lw_{up}, Lw_{bm}, Rw_{up}, Rw_{bm}) \quad (8-5)$$

$$E_{\min} = \min(LE_{wid}, RE_{wid}) \quad (8-6)$$

$$B_{ear} = F_{\min} + E_{\min} \quad (8-7)$$

一方、瞳の中心座標から耳の付け根の最大値を減算（右耳の場合は加算）した座標を縦方向に走査した際に、肌領域が存在すれば、耳が存在している可能性が高い。よって前述の場合、耳が存在すると判定する。

$$F_{\max} = \max(Lw_{up}, Lw_{bm}, Rw_{up}, Rw_{bm}) \quad (8-8)$$

また、式(8-7)と式(8-8)を用いて得られた座標の間に、耳の耳と耳を除いた顔の境界が存在するはずである。よって、先程の判定基準で判定できない場合は、この領域内の肌情報を用いて判定を行う。

まず、領域を縦方向に分割する。分割する際の幅は 3pixel とした。この領域毎に面積を算出する。領域を顔の中心から外側に走査し、局所領域の面積が単調減少の場合、耳が存在しないと判定する。単調減少でない場合は、面積が増加した局所領域以降の領域の合計を算出し、その面積が閾値以上であれば耳が存在する。そうでなければ存在しないとする。

本手法を用いて耳の有無判定実験を行った。本実験では耳の確認できる 8.1.1 項に用いたデータと同様の 40 枚と、耳が髪に隠れて目視にて 8

割以上確認できないデータ 20 枚を用いて有無判定を行った。その結果、耳の確認できるデータでは 40 枚中 36 枚、確認できないデータでは 20 枚中 16 枚判定に成功して、全体で 87%程度の判別率を得た。

耳が確認できるデータの失敗例として、図 8-3 に示すような例では、顔の角度や髪の影響により、局所領域の面積の変化が単調減少にならずに失敗した。耳が確認できないデータの失敗例として、髪領域を誤抽出した例があった。また、図 8-4 に示すような一部耳が確認できる例にて、面積が増加した局所領域以降の面積の合計を求めた際に、閾値を上回った例が存在した。



図 8-3 耳が確認できる例での
失敗例



図 8-4 耳が確認できない例での
失敗例

第 8.1.4 項 耳輪郭検出の今後の展望

本研究では耳の有無判定を行った後、耳が目視にて確認できる例では耳輪郭を描画して、確認できない場合は描画しないように設計したい。

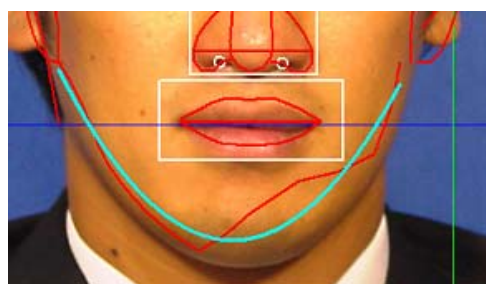
耳が確認できる際の検出方法として、まずは肌色抽出した際の輪郭の曲率より耳の付け根を検出する。検出した付け根の位置情報と肌領域抽出により耳を抽出できると考えられる。

また、本研究では耳が確認できるかできないかの 2 値判定を行ったが、実際には半分程度見えている場合等、曖昧な例が多く存在する。このような例に対しては、個人特徴として似顔絵にどのような影響を受けるのかを心理学的に検証を行なわなければならない。

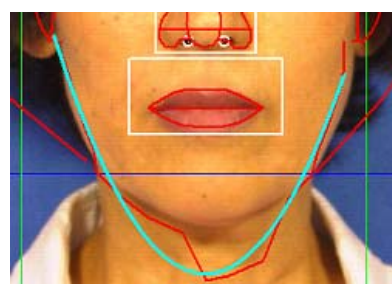
第 8.2 節 解析関数を用いた輪郭検出への応用

各顔部品の形状はある程度推定できるため，解析関数を当てはめることで，輪郭検出の補助が可能であると考えられる．そこで，本論文では最小二乗近似曲線や B-Spline 曲線を当てはめることで，輪郭を推定する方法について紹介する．また，本節ではあご輪郭を例として用いて予備実験を行う．

予備実験では，あご輪郭検出に失敗した例に対して解析関数を当てはめる実験を行った．最小二乗近似曲線を当てはめた結果例を図 8-5 に示す．ここで，図の赤線は PICASSO-2 にて検出したあご輪郭で，青線はその輪郭に対して最小二乗近似曲線を当てはめた結果となる．図 8-5(a)のように，特徴点の一部がずれた例に対してこれを当てはめると，ほぼあご輪郭に沿った曲線を描画できる．この性質を利用して，曲線から遠い特徴点を削除して，再度輪郭を検出する等して改善することが考えられる．また，図 8-5(b)のように，多くの特徴点がずれた場合にはあご輪郭から離れた曲線が描画される場合もある．このような問題に対して，曲線形状に制限を設ける等，対策をする必要がある．また，B-Spline 曲線を当てはめた結果を図 8-6 に示す．図のように輪郭が滑らかになる性質があるため，特徴点抽出が成功した例に対して当てはめれば，特徴点間の輪郭の補間や，似顔絵生成の際の描画の補助等に利用できると考えられる．

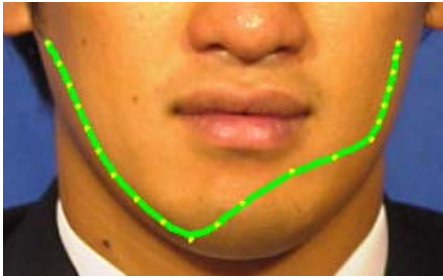


(a) あごに沿った曲線当てはめ例

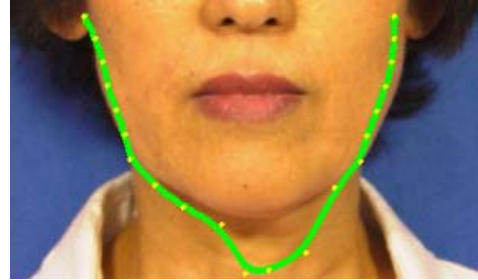


(b) 曲線当てはめ失敗例

図 8-5 最小二乗近似による解析関数当てはめ



(a) 図 8-5(a)の曲線当てはめ例



(b) 図 8-5(b)の曲線当てはめ例

図 8-6 B-Spline 曲線による解析関数当てはめ

第 8.3 節 無限遠点検出法の似顔絵生成システムへの応用

無限遠点抽出は，自動走行ロボットや ITS 等のシーン解析にて応用されている [42]-[45]．無限遠点は，遠景画像中における直線成分を複数抽出し，それらの直線による交点を基に検出することで求めることができる．このような画像中の線分を検出する方法として，Hough 変換 [46] がある．Hough 変換は微小なノイズには頑健であるが，画像中の無限遠点上に存在しない線分や多分にノイズが含まれた場合，その影響により検出が困難となることから，領域を分割することで無限遠点を検出する方法を提案した．

一方，正面顔はほぼ左右対称であり例えば正面顔画像の左右で分割して，無限遠点検出法を適用すれば新たな顔特徴量として応用できる可能性がある．また，Hough 変換による直線検出法も似顔絵生成システムに応用できると考えられる．本節では無限遠点検出手法とこれの似顔絵生成システムへの応用について紹介する．

第 8.3.1 項 無限遠点検出手法

まずエッジ検出により二値画像を生成する．ここで，本実験では VGA サイズの画像を用いた．これに Hough 変換により直線を検出する．本手法ではエッジ検出に Canny 法を用いた．以下の手順により直線を検出する．

- ① 部分領域における直線検出
- ② 画像の領域分割
- ③ 分割した画像内での直線検出

部分領域における直線検出について述べる．部分領域における直線検出では，領域内にレーンマークが存在することを想定し，直線を検出する．部分領域は図 8-7 のように設定する．ここで，灰色の領域は画像全体の領域で，赤色の領域は部分領域である．図中の L_y は部分領域の上端の座標， L_{lx} は左端座標， L_{rx} は右端座標である．ここで，これらのパラ

メータは，画像の左上の座標を $(x, y) = (0, 0)$ ，右方向と下方向を正とした場合， $L_y = 239$ ， $L_{lx} = 160$ ， $L_{rx} = 479$ と設定した．この部分領域内にて Hough 変換の ρ - θ パラメータ平面における投票値が閾値以上かつ最大の座標と 2 番目に大きい座標を用いて直線を検出する．また，局所解に対応するため非極大点の抑制を行う．抑制方法として，注目座標の投票数が，8 近傍の画素の投票数と比較して，最大でなかった場合は候補から外す．

この範囲内で Hough 変換を施し，投票値が最大であった直線を基に，画像を領域分割する．図 8-8(a) に対して領域分割を行った結果を図 8-8(b) に示す．図の赤線を基に画像が分割される．

このそれぞれの領域にて Hough 変換を施す．これにより，一方の領域に含まれるエッジの影響を受けなくなる．図 8-8(b) における画像の左領域と右領域に対して Hough 変換を施した際の ρ - θ パラメータ平面を図 8-9 に示す．ここで，画像の横座標が θ で縦座標が ρ である．このように， θ を制限することで直線の誤検出を軽減できる．

本研究では，画像 1 例に対して，目視にて評価を行った．図 8-8(a) の入力画像に対して単純に Hough 変換を用いた結果を図 8-10(a) に，提案手法を適用した結果を図 8-10(b) に示す．ここで直線検出は，部分領域では 0~2 本，左領域では投票値の大きい順に上位 10 本，右領域でも左領域同様に上位 10 本を検出した．

図 8-10(b) に示すように無限遠点上に投票される交点の数が図 8-10(a) の例と比べて増加した．しかしながら，無限遠点とは関係のない直線も検出された．これらは，さらに無限遠点を構成する直線を詳細にモデル化し ρ - θ パラメータ平面に重み付けすることで，除去できると考えられる．また，検出する直線の数についても考察する必要がある．

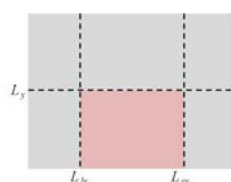


図 8-7 部分領域設定

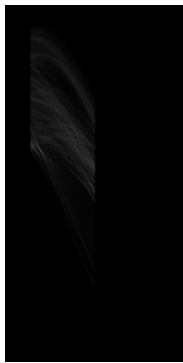


(a) 入力画像

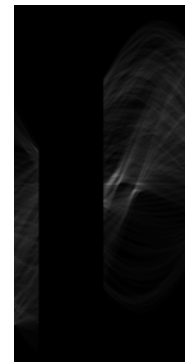


(b) 領域分割結果

図 8-8 Hough 変換による領域分割



(a) 図 8-8(b)の左領域の
 ρ - θ パラメータ平面

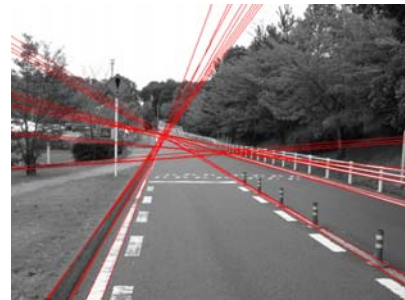


(b) 図 8-8(b)の右領域の
 ρ - θ パラメータ平面

図 8-9 提案手法における ρ - θ パラメータ平面



(a) 画像全体に Hough 変換を適用



(b) 提案手法による直線検出結果

した直線検出結果

図 8-10 無限遠点検出のための直線検出結果

第 8.3.2 項 顔画像への応用

無限遠点検出法の顔特徴量としての構想を図 8-11 に示す．ここで，図は両目の画像であり，図中の破線は画像分割する際の境界線である．また，青点は想定される無限遠点検出結果である．図のように目部品に本手法を適用することで，得られた無限遠点が，瞳の中心より下に検出されればつり目である等，顔部品の位置関係より大まかな目の特徴が推定できると考えられる．

また，Hough 変換はメガネの検出にも利用できると考えられる．目の存在する領域に Hough 変換を施し，エッジ点の投票数の多い直線を検出する．メガネが存在すれば，直線上のエッジ点は連続性があり，かつ規則的に存在すると考えられ，またテクスチャも特徴的である．このように，直線上のエッジやテクスチャを解析すれば検出できると考えられる．

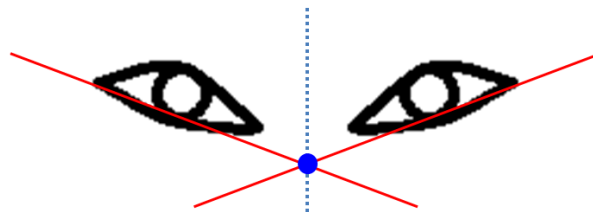


図 8-11 無限遠点検出法の顔特徴量への応用

第 8.4 節 他の顔部品検出の展望

口，眉以外の顔部品や付属部品について展望を述べる．

鼻部品の検出について，鼻翼部はエッジが存在するため検出が可能であると考えられる．鼻筋部については鼻翼の検出結果や瞳の位置情報等からおおよその位置は推定可能である．また，予め鼻翼と鼻筋部の大きさ，位置関係について計測すれば，鼻筋の存在範囲が推定可能である．鼻翼部の検出位置を基準に，8.2 節で紹介した最小二乗近似曲線等を推定できる範囲内で変形させ，曲線上の合計濃度値の低い曲線，勾配強度の強い曲線を当てはめれば検出が可能であると考えられる．

髪領域については，こちらにも存在するであろうおおまかな領域の推定が可能である．推定した領域内で肌領域を除去して，除去した領域外で一番多く占める色領域を抽出する．予めストレートヘアなどの多数のヘアスタイルのエッジの方向分布やテクスチャを解析しておき，抽出した領域内のそれと一番特徴の一致したヘアスタイルを検出する．

メガネ部品については，8.3.2 項で紹介したように，目領域に Hough 変換を施して投票数の多い直線上のエッジ点数やテクスチャの解析を行うことで，検出が可能であると考えられる．

第9章 本研究のまとめ

本論文では、似顔絵生成システムのために、顔特徴抽出のための画像処理技術について提案した。個人特徴抽出には高品質な正面顔画像の取得が重要であり、それを手動で取得しようとする手間はかかる。そのために、正面顔判定手法を導入することで顔画像の取得の効率化を図り、その有用性を示した。また、顔特徴抽出を安定して行うために、顔の中心部にあり位置情報として重要である鼻孔検出精度を向上した。

個人特徴抽出として、似顔絵師の見解や心理学的知見より口形状が重要であることから、口抽出手法の改善を行った。その方法として、色差を強調してそれを画素の共起頻度情報より抽出する手法を提案した。その結果、従来の色情報による口抽出より有用であることを示した。

一方、眉輪郭も個人特徴として重要であるため、これを検出する手法を提案した。眉は顔形状により環境光の影響を受けやすいが、濃淡画像やエッジ画像に対して単一閾値処理によって検出されてきた。そこで、領域分割することで環境光の影響を軽減して、かつ可変に閾値処理を行うことで眉を抽出する手法を提案した。その結果、多少未抽出率が悪化した。が、過抽出を大幅に抑えることができた。

高品質な顔画像を取得するための正面顔判定、口抽出手法、眉抽出手法について総合的に評価して、期待通りの顔画像の判別率、顔特徴の抽出率が得られたことを確認した。

これより、顔画像撮像の際に、2回以上の撮り直しを行う可能性を限りなく0%に近づけつつ高品質な正面顔画像を得られる可能性を示した。また、口、眉抽出はこれまでの画像特徴量より高精度に領域を抽出できることから、Active Appearance ModelやSnakes等に応用することで、顔輪郭認識の精度向上に強く貢献できる可能性を示した。

口抽出の応用として、口元検出手法を提案して、口元の形状から高精度に検出する方法について紹介した。今後の展望として、耳検出のための耳領域推定方法や耳の有無を判定する手法を紹介した。さらに、鼻部

品の検出，無限遠点検出法による特徴量の提案，また fail-safe-system の一環としての曲線当てはめ方法など本研究で未解決な顔部品の検出方法や，システムの拡張の展望について述べた．

ここで，本論文で紹介した口抽出手法と眉抽出手法を PICASSO2 システムに反映した結果を紹介する．

20 枚の正面顔画像を用いて似顔絵を生成した．似顔絵生成は，4，5，6 章で述べた口抽出手法，口元検出手法，眉抽出手法適用した似顔絵生成結果を確認した．似顔絵生成の比較対象として，2 章の PICASSO-2 システムの似顔絵生成結果を用いた．確認に用いた顔画像と似顔絵の例を図 9-1 に示す．図のように，今回は顔部品のみの評価を行うため，髪検出結果については除外した．また，図の被験者の場合，眉が隠れた被験者が存在するが，このような被験者が存在した場合，2.2.5 項で述べた平均顔を当てはめる方法で描画を行った．また，眉の隠れた例は下記のような片方みの眉が隠れた被験者が 1 名，両眉が隠れた被験者が 2 名であった．

なお，従来手法はあご輪郭以外は平均顔を当てはめる処理によって描画している．提案手法の口輪郭は，まず口元を 5 章の方法で検出して，輪郭は 4 章の口抽出結果の 2 値化結果より特徴点を検出して描画した．眉は 6 章の眉抽出結果の左右の端点を求め，口輪郭同様に抽出結果より特徴点を検出して描画した．

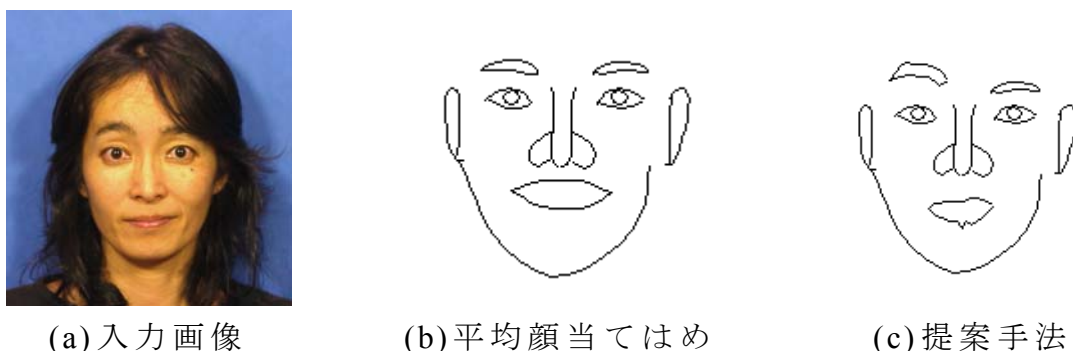


図 9-1 評価画像と似顔絵生成結果例

ここで，似顔絵生成結果例を図 9-1 から図 9-6 に示す．全体として，

平均顔当てはめを行うより似顔絵品質が向上した印象を受けた。例えば、図 9-1、図 9-2、図 9-3 の被験者は顔部品の位置関係に特徴がある被験者といえる。このような被験者は提案手法を適用することで、顔部品の位置関係が改善されたためだと考えられる。また、図 9-4 は眉、口部品の形状が改善されたため、似顔絵も改善されたと考えられる。図 9-5 は眉の特徴が捉えられているにもかかわらず、従来手法、提案手法ともに被験者と似ていない。この被験者は目が特徴的であるが、他に特徴的な箇所がないため、似なかったと考えられる。また、図 9-6 は眉の特徴はとらえられているように感じるが、従来手法より似ていない印象を受けた。これは口形状により本人と異なる印象を受けるためであると考えられる。

抽出を行った眉、口部品について確認すると、比較的眉輪郭は個人の特徴を捉えていると思われる。口部品についてはほとんどの例で、個人と似ていない印象を受けた。これは、現状では口角以外の輪郭情報は大まかに抽出しており、文献[28]で述べられているように微小な検出のずれによって大きく印象が変化するためだと考えられる。しかしながら、図 9-1、図 9-2、図 9-3 のように顔部品の位置関係の改善を行うことにより改善された例が多く存在した。

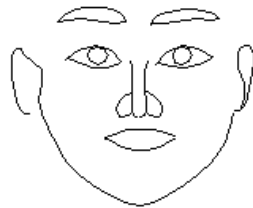
これより、口と眉抽出を改善したことにより、眉形状と顔部品の位置関係については、似顔絵に反映して改善できると考えられる。口部品については微小な輪郭のずれにより印象が変わるため、似なかった例も存在したが、顔部品の位置関係の改善はされている。

また、口と眉ともに、特徴抽出の基盤技術である領域抽出手法の精度が向上しているため、有用な結果が得られたといえる。

このように、似顔絵生成のための画像処理の基盤技術として強く貢献できる。また、他の顔研究にも通じる研究であるため、顔研究の特徴抽出のための基礎となる可能性も示すことができた。



(a) 入力画像



(b) 平均顔当てはめ



(c) 提案手法

図 9-2 評価画像と似顔絵生成結果例 2



(a) 入力画像



(b) 平均顔当てはめ

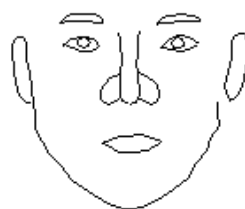


(c) 提案手法

図 9-3 評価画像と似顔絵生成結果例 3



(a) 入力画像



(b) 平均顔当てはめ



(c) 提案手法

図 9-4 評価画像と似顔絵生成結果例 4



(a) 入力画像



(b) 平均顔当てはめ



(c) 提案手法

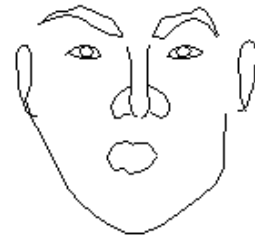
図 9-5 評価画像と似顔絵生成結果例 5



(a) 入力画像



(b) 平均顔当てはめ



(c) 提案手法

図 9-6 評価画像と似顔絵生成結果例 6

第 10 章 似顔絵生成システムの今後の課題と展望

第 10.1 節 考察と展望

本研究で提案した画像処理技術を顔輪郭検出のために応用しなければならない。特に口抽出は，抽出率，誤抽出率ともに精度が良好であったが，その結果を基にした輪郭は，個人特徴として有用ではなかった。これより口部品は個人特徴として，如何に形状が重要であるかが分かる。そのため，各顔部品に対して提案した画像処理技術を用いて，Snakes 等の輪郭検出技術に応用する。

眉抽出においては眉の有無判定の実装や眉領域が分離した場合の対処法を考案する。本研究で未解決である耳部品や鼻部品の検出，メガネ等の付属部品の検出について，本論文で述べた展望について実装と検証実験を行わなければならない。

第 10.2 節 似顔絵システムの産業応用と展望

本研究で用いた PICASSO-2 システムは 2005 年に開催された愛知万博への出展のために開発した。以降，共同研究先の変更もあったが，ほぼたえずに共同研究をしており，産業応用として非常に関心を持たれる研究であることが分かる。開発した初期の共同研究では，えび煎餅や色紙に似顔絵を描くロボットの出展を行っていた。その際，我々は似顔絵生成システムのソフトウェアの開発を担当して，共同研究先ではロボットの制御を担当するという体制であった。

近年では，ソフトウェア開発を行う企業でも関心をもたれるようになり，また似顔絵出展の活動や研究業績が認められ，現在は似顔絵生成システムのソフトウェア部分にて共同研究を行うに至った。

共同研究では，似顔絵作家が描いたような似顔絵生成システムのモデル化について研究しており，本論文の研究と併せて，気軽にプロの似顔絵作家が描いたような似顔絵を手に入れられるようになるのも近いだろう。

謝辞

本研究を行う上で、多大な助言、御指導、御鞭撻をいただいた本学工学部 興水大和教授に深く感謝いたします。また、学位論文についてご精読いただき、助言、ご指導いただいた本学工学部 沼田宗敏教授、橋本学教授、青木公也教授に深く感謝いたします。

研究を進める上で、データ提供や多くの提案、意見、御指導および、議論をいただいたカシオ計算機株式会社 加福滋氏、島田敬輔氏、笠原大聖氏、北海道大学情報大学 藤原孝幸准教授、仙台高等専門学校 渡辺隆准教授、名古屋文化短期大学 富永将史准教授、本学工学部助教 舟橋琢磨氏、情報科学研究科 長坂洋輔氏をはじめとする興水研究室の在校生、卒業生諸君、ならびに中京大学工学部関係者各位に深く感謝いたします。

似顔絵師ロボットの製作に多大な協力をいただいた、(株)吉川機械製作所、東海 EC(株)、(株)OA 推進センター、(株)ユニメック、異業種交流会 エントロピ豊明関係者各位に深く感謝いたします。

実験諸環境を提供いただいた中京大学人工知能高等研究所、他各関係各位に深く感謝いたします。

最後に、似顔絵生成システムのフィールドテストに協力いただき、顔画像や似顔絵データを快く提供いただいた被験者の皆様に深く感謝いたします。

本研究の一部は新エネルギー・産業技術総合開発機構からの次世代ロボット実用化プロジェクト(プロトタイプ開発支援事業)研究助成の支援による。記して謝意を表します。

参考文献

- [1] 任天堂：“Mii”，
<http://www.nintendo.co.jp/3ds/software/built-in/miistudio/>
- [2] ”イラストメーカー”，<http://illustmaker.abi-station.com/>
- [3] 中洲俊信，チャンドラシリ N.P.，苗村健，原島博：“対話型似顔絵作成システム NIGAO”，映像情報メディア学会誌，Vol.61，No.6，pp779-788 (2007)
- [4] 池江竜也，田村滋基，杉浦彰彦：“表情印象操作を用いた似顔絵のポジティブ強調”，信学論 A，Vol.J91-A，No.9，pp907-908 (2008)
- [5] 花岡悟一郎，金子正秀，原島博：“描き手の画調に基づく似顔絵の自動生成”，信学論 D-II，Vol.J80-D-II，No.8，pp2110-2118 (1997)
- [6] 徐光哲，金子正秀，樽松明：“固有空間を利用した計算機による似顔絵の生成”，信学論 D-II，Vol.J84-D-II，No.7，pp.1279-1288 (2001)
- [7] 塩野充，武田哲，村山智彦：“顔画像からの似顔絵作成システム”，テレビジョン学会誌，Vol.42，No.12，pp1380-1386 (1988)
- [8] 川出雅人，細井聖，田畑尚弘，秋間正道：“イラストレータの画風を実現する似顔絵自動作成技術”，電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究技術報告，Vol.97，No.117，pp.33-40 (1997)
- [9] ”日本顔学会”，<http://www.jface.jp/>
- [10] 舟橋琢磨，藤原孝幸，渡辺 隆，徳田尚也，滝野史宜，輿水大和：“似顔絵師ロボット COOPER による新しい顔メディアの提案と愛知万博 2005 におけるフィールドテスト”，電学論 C，Vol.127，No.4，pp.659-666 (2007)
- [11] 今岡仁：“顔画像生成のための統計的な年齢特徴抽出”，映像情報メディア学会誌，vol.64，No.4，pp.468-471 (2010)
- [12] 鷲見和彦：“バイオメトリクスセキュリティ概論”，電子情報通信学会誌，vol.89，No.1，pp.27-30 (2006)
- [13] 向田茂，安藤広志，木下敬介，蒲池みゆき，千原國宏：“顔画像生成のための統計的な年齢特徴抽出”，日本顔学会誌，Vol.2，No.1，

pp.15-24 (2002)

- [14] 浅賀亮平, 黒田隆史, 菅田幸希: "Gabor 特徴を用いた顔画像からの年齢推定", 映像情報メディア学会技術報告, Vol.35, No.33, ME-2011-102, pp.77-80 (2011)
- [15] 労世竝, 山口修: "前編 顔画像処理技術の動向", 情報処理, vol.50, No.4, pp.319-326 (2009)
- [16] M.Kass, A. Witkin and D. Terzopoulos: "Snakes: Active Contour Models", Int'l J. of Computer Vision, Vol.1, No.4, pp321-331 (1988)
- [17] T.F.Cootes, G.J.Edwards, C.J.Taylor, "Active Appearance Models", European Conference on Computer Vision" (1998)
- [18] 興水大和: "似顔絵のコンピュータ自動生成", 映像情報メディア学会誌, Vol.51, No.8, pp.1147-1153 (1997)
- [19] Takuma Funahashi, Tsuyoshi Yamaguchi, Masafumi Tominaga and Hiroyasu Koshimizu: "Facial Parts Recognition by Hierarchical Tracking from Motion Image and Its Application", IEICE TRANSACTIONS on information and Systems, Vol.E87-D, No.1, pp.129-135 (2004)
- [20] 森島繁生: "フューチャーキャストシステムの舞台裏と今後の展開", 信学技報, HCS, pp.39-44 (2006)
- [21] 久保田整, 武士正美, 斎藤英雄: "鼻孔のテンプレート探索とパーティクルフィルタによるドライバの頭部姿勢追跡", 電学論 C, Vol.128, No.9, pp1447-1454 (2008)
- [22] 早川健志, 鹿嶋雅之, 佐藤公則, 渡邊睦: "顔動作の自動モーションキャプチャ手法に関する研究", 信学技報, PRMU2010-47, HIP2010-36, pp51-56 (2010)
- [23] Eric Petajan et al.: "Robust Face Feature Analysis for Automatic Speechreading and Character Animation", FG1996 (Proc. of Face and Gesture Recognition), pp.357-362 (1996)
- [24] 福井和広, 山口修: "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-II, Vol.J80-D-II, No.8, pp.2170-2177 (1997)
- [25] 林健太郎, 橋本学, 鷺見和彦: "頑健性と精緻性を備えた顔特徴点

- 追跡による顔方向推定”，信学論 D- II，Vol.J84-D- II，No.8，pp.1762-1771 (2001)
- [26] 安本護，本郷仁志，渡辺博巳，山本和彦，輿水大和：“マルチカメラ統合を用いた人物認識と顔方向推定”，信学論 D- II，Vol. J84-D- II，No.8，pp1772-1780 (2001)
- [27] 小河原智子：“小河原智子のだれでもかんたん！「ポジション式」似顔絵入門”，造事務所（編），（株）河出書房新社（2005）
- [28] 上田彩子，須賀哲夫：“一定の表情印象が与える顔タイプの物理的特徴”，顔学誌，Vol.7，No.1，pp23-34 (2007)
- [29] 佐藤慶幸，景山陽一，西田眞：“口唇の動き特徴を用いた非接触コマンド入力インタフェースの提案”，電学論 C，Vol.129，No.10，pp.1865-1873 (2009)
- [30] 関岡哲也，横川勇仁，船曳信生，東野輝夫，山田朋弘，森悦秀：“関数合成による唇輪郭抽出法の提案”，信学論(D- II)，Vol.J84-D- II，No.3，pp.459-470 (2001)
- [31] 浅野英輔，萩原照夫，柴田浩：“不特定話者に対する唇形状抽出法”，信学論(A)，Vol.J85-A，No.3，pp.398-402 (2002)
- [32] 小越康宏，井出寿登，荒木睦大，木村春彦：“読唇のための色特徴量に基づくエネルギーを用いた動的口唇輪郭抽出法”，電学論 C，Vol.128，No.5，pp.811-812 (2008)
- [33] 齊藤剛史，小西亮介：“トラジェクトリ特徴量に基づく単語読唇”，信学論 D，Vol.J90-D，No.4，pp.1105-1114 (2007)
- [34] 小林聖治，今井順一，金子正秀：“顔特徴の主成分分析に基づく似顔絵をインタフェースとした顔画像データベース検索”，映像情報メディア学会技術報告，Vol.31，No.14，pp.75-78 (2007)
- [35] 若杉智和，西浦正英，山口修，福井和広：“色分布間の分離度を用いた唇輪郭抽出”，信学論 D，Vol.J89-D，No.9，pp.2025-2032 (2006)
- [36] 山足和彦，藤原孝幸，輿水大和：“共起度数画像の提案”，電学論 C，Vol.127，No.4，pp.528-536 (2007)
- [37] 日本色彩学会編：“新編 色彩科学ハンドブック（第2版）”，東京

大学出版会 (1998)

- [38] 藤村友美, 佐藤弥, 鈴木直人: "動画および静止画表情に対する顔筋電図反応: 表情の覚醒度が及ぼす影響", 電子情報通信学会技術研究報告, HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎, Vol.108, No.317, pp23-28 (2008)
- [39] 小林宏, 木村貴宣, 高橋久憲: "Windows上の顔器官認識標準APIの開発", 電子情報通信学会技術研究報告, HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎, Vol.101, No.333, pp23-30 (2001)
- [40] 野宮浩揮, 宝珍輝尚: "顔特徴量の有用性推定に基づく特徴抽出による表情認識", 知能と情報: 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.23, No. 2, pp170-185 (2011)
- [41] 原田利宣, 山田朗, 佐藤瑛, 富田郁成: "耳介形状における曲線の分析と形成外科手術用テンプレートの開発", デザイン学研究, Vol.57, No.5, pp.21-26 (2011)
- [42] 松島緑朗, 恩田邦夫, 青木由比直: "Hough変換の性質を利用した無限遠点抽出法", 信学論(D), vol.j70-D, no5, pp.1051-1052, (1987)
- [43] 皆川明洋, 後藤敏行: "扇型受容野特質を持つオペレータを用いた消失点検出法", 信学論(D-II), vol.j80-D-II, no.6, pp1415-1422 (1997)
- [44] 数井誠人, 長谷山美紀, 北島秀夫: "複比を用いた自動走行システムのための消失点推定", 信学論(D-II), vol.j84-D-II, no.7, pp1319-1327 (2001)
- [45] 谷誠一, 河村圭, 渡辺裕: "複比を用いた複数車線検出に関する検討", 第7回情報科学技術フォーラム, H-040, pp147-148 (2008)
- [46] R.O. Duda and P.E.Hart: "Use of the Hough Tranceform to detect lines and curves in pictures", Comm.ACM, vol.15, No.1, pp11-15 (1972)

本学位論文に関連する文献

論文

- [101] 徳田尚也, 藤原孝幸, 舟橋琢磨, 輿水大和: ”輝度変換と色特性によりノイズを抑制した口抽出手法の提案”, 電気学会論文誌 D, Vol.131, No.4, pp.592-599 (2011)
- [102] 徳田尚也, 舟橋琢磨, 輿水大和: ”顔形状に対応した局所領域毎の可変閾値処理による眉抽出手法の提案”, 日本顔学会誌, Vol.14, No.1, pp.53-60 (2014)

研究ノート

- [103] 徳田尚也, 星野喬之, 渡辺隆, 舟橋琢磨, 藤原孝幸, 輿水大和: ”似顔絵生成システム PICASSO-2 システム性能評価と改善”, 情報科学技術レターズ 6, pp.309-310 (2007)
- [104] 徳田尚也, 舟橋琢磨, 沼田宗敏, 輿水大和: ”似顔絵生成システムのための正面顔判定導入と鼻孔検出改善”, 日本顔学会論文誌, Vol.13, No.1, pp.161-171 (2013)

国際会議

- [105] N. Tokuda, T. Hoshino, T. Watanabe, T. Funahashi, T. Fujiwara and H. Koshimizu: "Facial Caricaturing Robot COOPER Exhibited at EXPO2005 and Its Performance Improvement", Proc of International Workshop on Advanced Image Technology 2007 (IWAIT2007), pp.171 (2007)
- [106] N. Tokuda, T. Hoshino, T. Watanabe, T. Funahashi, T. Fujiwara and H. Koshimizu: "Facial Caricaturing Robot COOPER Exhibited at EXPO2005 and Its Improvements", Proc of Machine Vision Applications 2007 (MVA2007), pp.512-515 (2007)
- [107] N. Tokuda, T. Hoshino, T. Watanabe, T. Funahashi, T. Fujiwara and H. Koshimizu: "Caricature Generation System PICASSO-2 Exhibited at

Expo2005 and Its Performance Improvement", Proc of International Conference on Control Automation and Systems 2007 (ICCAS2007), pp.1354-1358 (2007)

- [108] N. Tokuda, T. Fujiwara and H. Koshimizu: "Experimental Performance Evaluation of Caricature Generation System PICASSO-2 Exhibited at EXPO2005 and Some Improvements", Proc of International Workshop on Advanced Image Technology 2008 (IWAIT2008), B2-2 (2008)
- [109] N.Tokuda, T.Fujiwara, H.Koshimizu: "Facial Caricaturing System PICASSO-2 Exhibited at EXPO2005 and Its Improvement by Top-down and Bottom-up Procedures", The 2nd International Topical Meeting on Optical Sensing and Artificial Vision (OSAV'08), pp.60-61 (2008)
- [110] N. Tokuda, T. Fujiwara, T. Funahashi and H. Koshimizu: "Methods of Eyebrow Region Extraction and Mouth Detection for Facial Caricaturing System PICASSO-2 Exhibited at EXPO2005", Proc of International Workshop on Advanced Image Technology 2009 (IWAIT2009), iwait-paper-0084 (2009)
- [111] N.Tokuda, T.Fujiwara, T.Funahashi and H.Koshimizu: "Proposal of Eyebrow Region and Mouth Detection for Facial Caricaturing System", 15th Japan-Korea Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2009), pp.108-113 (2009)
- [112] N. Tokuda, T. Fujiwara and H. Koshimizu: "Improvement of the Mouth Part Extraction in Facial Caricaturing System PICASSO-2", Sixteenth Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision, pp.368-371 (2010)

研究会・シンポジウム等

- [113] 徳田尚也，星野喬之，渡辺隆，舟橋琢磨，藤原孝幸，興水大和：”万博展示似顔絵ロボット COOPER の性能実績と改善”，サマーセ

ミナー2006, pp.37-40 (2006)

- [114] 徳田尚也, 星野喬之, 渡辺隆, 舟橋琢磨, 藤原孝幸, 輿水大和:”万博展示似顔絵ロボット COOPER の性能評価と改善”, 平成 18 年度 電気関係学会東海支部連合大会, o-508 (2006)
- [115] 徳田尚也, 滝野史宜, 星野喬之, 渡辺隆, 舟橋琢磨, 藤原孝幸, 輿水大和:”似顔絵生成システム PICASSO-2 の性能評価と改善”, 第 13 回画像センシングシンポジウム(SSII07), IN2-27 (2007)
- [116] 徳田尚也, 星野喬之, 渡辺隆, 舟橋琢磨, 藤原孝幸, 輿水大和:”似顔絵生成システム PICASSO-2 の性能評価実験と改善”, 第 10 回画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2007), pp.1510-1515 (2007)
- [117] 徳田尚也, 星野喬之, 渡辺隆, 舟橋琢磨, 藤原孝幸, 輿水大和:”万博展示の似顔絵生成システム PICASSO-2 の調査的再実験の考察と改良”, サマーセミナー2007, pp.19-22 (2007)
- [118] 徳田尚也, 星野喬之, 渡辺隆, 舟橋琢磨, 藤原孝幸, 輿水大和:”似顔絵生成システム PICASSO-2 の調査実験による考察と改善”, 第 12 回日本顔学会大会 (フォーラム顔学 2007), pp.226 (2007)
- [119] 徳田尚也, 藤原孝幸, 輿水大和:”似顔絵生成システム PICASSO-2 の調査実験の検証とボトムアップとトップダウンによる似顔絵品質の改善”, 動的画像処理実利用化ワークショップ(DIA2008), pp.74-79 (2008)
- [120] 徳田尚也, 藤原孝幸, 輿水大和:”似顔絵生成システム PICASSO-2 の顔部品検出の検討と改善”, 第 14 回画像センシングシンポジウム (SSII08), IN4-03 (2008)
- [121] 徳田尚也, 星野喬之, 藤原孝幸, 舟橋琢磨, 輿水大和:”似顔生成システム PICASSO-2 のトップダウンとボトムアップを用いた改善”, 情報処理・産業システム情報化合同研究会, pp.49-53 (2008)
- [122] 徳田尚也, 星野喬之, 藤原孝幸, 舟橋琢磨, 輿水大和:”似顔絵生成システム PICASSO-2 の領域抽出と顔輪郭表現の改善”, 第 11 回画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2008), pp.605-610 (2008)
- [123] 徳田尚也, 藤原孝幸, 舟橋琢磨, 輿水大和:”似顔絵生成システ

- ム PICASSO-2 の顔部品認識の改良”，サマーセミナー2008，pp.103-106 (2008)
- [124] 徳田尚也，藤原孝幸，舟橋琢磨，輿水大和：“似顔絵生成システム PICASSO-2 における顔部品認識の改善”，第 13 回日本顔学会大会(フォーラム顔学 2008)，pp.180 (2008)
- [125] 徳田尚也，藤原孝幸，舟橋琢磨，輿水大和：“似顔絵生成システム PICASSO-2 における口輪郭抽出手法の提案”，第 15 回画像センシングシンポジウム(SSII09)，IN3-23 (2009)
- [126] 徳田尚也，藤原孝幸，舟橋琢磨，輿水大和：“似顔絵生成システム PICASSO-2 における口抽出の改善”，第 12 回画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2009)，pp.448-451 (2009)
- [127] 徳田尚也，藤原孝幸，舟橋琢磨，輿水大和：“似顔生成システム PICASSO-2 における口部品抽出手法の改良”，情報処理/産業システム情報化合同研究会，pp.37-40 (2009)
- [128] 徳田尚也，藤原孝幸，舟橋琢磨，輿水大和：“似顔絵生成システム PICASSO-2 のための口部品抽出手法の改善”，第 14 回日本顔学会大会(フォーラム顔学 2009)，pp.219 (2009)
- [129] 徳田尚也，藤原孝幸，舟橋琢磨，輿水大和：“輝度変換において得られた色差を用いた口抽出手法の提案”，第 15 回日本顔学会大会(フォーラム顔学 2010)，pp.131 (2010)
- [130] 徳田尚也，藤原孝幸，舟橋琢磨，輿水大和：“一定輝度への変換とその性質を用いた口抽出手法の提案”，Vision Engineering Workshop 2010 (ViEW2010)，pp.128-133 (2010)
- [131] 徳田尚也，藤原孝幸，舟橋琢磨，輿水大和：“一定輝度への変換と色差による口抽出手法の提案”，動的画像処理実利用化ワークショップ(DIA2011)，pp.308-312 (2011)
- [132] 徳田尚也，藤原孝幸，舟橋琢磨，輿水大和：“口形状と輝度情報を用いた口元検出手法の提案”，第 17 回画像センシングシンポジウム(SSII2011)，pp.IS1-14-1-4 (2011)
- [133] 徳田尚也，舟橋琢磨，藤原孝之，輿水大和：“似顔絵ロボットの

- 画像処理の向上”，平成 23 年電気学会産業応用部門大会，pp. II
_133-136 (2011)
- [134] 徳田尚也，舟橋琢磨，輿水大和：“眉輪郭描画のための特徴抽出の一検討”，第 17 回日本顔学会大会(フォーラム顔学 2012)，pp.171 (2011)
- [135] 徳田尚也，舟橋琢磨，輿水大和：“エッジ情報と繰り返し閾値処理による眉特徴抽出手法の提案”，Vision Engineering Workshop 2011 (ViEW2011)，pp.226-229 (2011)
- [136] 徳田尚也，舟橋琢磨，輿水大和：“エッジ情報と繰り返し閾値処理による眉特徴抽出手法の性能評価”，第 18 回画像センシングシンポジウム(SSII2012)，pp.IS1-16-1-4 (2012)
- [137] 徳田尚也，舟橋琢磨，輿水大和：“顔の起伏を考慮した可変閾値処理による眉抽出手法の提案”，第 17 回日本顔学会大会(フォーラム顔学 2012)，pp.153 (2012)
- [138] 徳田尚也，舟橋琢磨，沼田宗敏，輿水大和：“無限遠点検出のための Hough 変換による直線検出法”，Vision Engineering Workshop 2012 (ViEW2012)，IS1-C6 (2012)
- [139] 徳田尚也，舟橋琢磨，輿水大和：“詳細な口輪郭検出のための一検討”，情報処理・産業システム情報化合同研究会，IP-13-003，IIS-13-044 (2013)
- [140] 徳田尚也，舟橋琢磨，輿水大和：“顔形状を考慮した可変閾値処理による眉抽出手法の性能評価”，第 19 回画像センシングシンポジウム(SSII2013)，pp.IS2-23-1-4 (2013)
- [141] 徳田尚也，舟橋琢磨，輿水大和：“似顔絵生成システムのための口元検出と眉検出の改善”，第 18 回日本顔学会大会(フォーラム顔学 2013)，pp.238 (2013)
- [142] 徳田尚也，佐々木杏里，舟橋琢磨，輿水大和：“正面顔画像を対象とした耳抽出に関する一検討”，第 20 回画像センシングシンポジウム(SSII2014)，pp.IS2-15-1-3 (2014)
- [143] 徳田尚也，佐々木杏里，舟橋琢磨，輿水大和：“正面顔における

耳特徴抽出に関する一検討”，第 19 回日本顔学会大会(フォーラム
顔学 2014)， pp.193 (2014)

- [144] 徳田尚也，佐々木杏里，舟橋琢磨，輿水大和：“正面顔を用いた
耳抽出のための一検討”，Vision Engineering Workshop 2014
(ViEW2014)，IS2-11 (2014)

その他の発表文献

特許

- [145] 特願 2012-068924，画像生成装置，画像生成方法及びプログラム，
平成 24 年 3 月 26 日，発明者：加福滋，島田敬輔，笠原大聖，輿水
大和，舟橋琢磨，徳田尚也

研究会

- [146] 徳田尚也，舟橋琢磨，輿水大和：“詳細な顔特徴を得るための画
像処理手法について - 自動似顔絵生成システムの改善 -”，第 3
回日本顔学会中部支部研究会， pp.8-12 (2012)

付録

A-1 顔画像の使用許可について

A-1 顔画像の使用許可について

実験に使用している顔画像は似顔絵システム PICASSO の展示会において、下記の手順にて顔画像の使用許可について被験者にアンケートを取り、使用許可が得られた画像のみを利用している。

1. 愛知万博の場合

タッチパネルにて、

“あなたの顔画像を今後の学術研究で利用させていただきますか？”

“Could you agree with the usage of your face image for further academic researches”

と質問を表示し、”はい”あるいは”いいえ”をタッチパネルで選択してもらった。この選択は画像と共にデータとして保存し管理している。

2. その他展示会の場合

図 A-1-1 に示すアンケート用紙を被験者に記入してもらった。アンケート用紙の受付 No.と画像番号を照会することでデータを管理している。

とよた産業フェスタ2010
似顔絵コンピュータ体験者データシート 受付No.101002-001

以下の質問に回答をお願いします。選択する()に○をつけてください。

| | | | | |
|---|-------------------|------------|------------|------------|
| 1. 性別 | 男性 (○) | 女性 () | | |
| 2. 年齢 | 9歳以下 () | 10~19歳 () | 20~29歳 () | 30~39歳 () |
| | 40~49歳 (○) | 50~59歳 () | 60歳以上 () | |
| 3. 撮影した顔画像及び似顔絵のデータを、中京大学奥水研究室の顔研究に使用させていただきます。 | | | | |
| | 顔画像・似顔絵のデータともに使用可 | (○) | | |
| | 似顔絵のデータのみ使用可 | () | | |
| | 使用不可 | () | | |

2010.10/2(土) (株)ユニメック・中京大学 情報理工学部 奥水・藤原研究室

図 A-1-1 アンケート用紙の記入例