

受動型ステレオビジョンを用いた 3 次元顔認証システム A 3D Face Recognition System Using Passive Stereo Vision

早坂 昭裕[†] 柴原 琢磨[†] 伊藤 康一[†] 青木 孝文[†] 中島 寛[‡] 小林 孝次[‡]

Akihiro Hayasaka Takuma Shibahara Koichi Ito Takafumi Aoki Hiroshi Nakajima Koji Kobayashi

1. まえがき

ユビキタス情報社会における個人認証として、鍵・ICカード・パスワードを使った従来の認証にかわり、身体的・行動的特徴を使ったバイオメトリクス認証が注目されている。バイオメトリクス認証は、本人の身体的・行動的特徴を用いるため、記憶や所持が不要であり、信頼性が非常に高い。バイオメトリクス認証に用いられる特徴には、指紋・顔・虹彩・掌形などがある。その中で、利便性と受容性の高さから、顔を利用した認証技術のニーズが高まっている [1]。

顔認証は、顔画像の取得にカメラを用いるため、非接触・非拘束で認証できる特長がある。一方、照明や表情、顔の向きの変化に認証精度が大きく左右される問題がある。そのため、近年では、顔の 3 次元情報を用いた顔認証に関する研究が盛んに行われている [1]。3 次元顔認証では、3 次元スキャナを使って顔の 3 次元情報 (構造) を取得し、得られた構造間の類似度により認証する。これまでに研究開発されている 3 次元顔認証システムは、撮影した画像から 3 次元計測を行うための顔領域を手動で指定しなければならない半自動システムである。

これに対し、本論文では、全自動で 3 次元顔認証を行うことができる実用的な認証システムを提案する。筆者らは、現在までに、受動型 3 次元計測法であるステレオビジョン法に基づいた 3 次元計測システムを用いて顔の 3 次元形状を取得し、ICP (Iterative Closest Point) アルゴリズムに基づいて照合する 3 次元顔認証システムを開発してきた [2]。このシステムに AdaBoost [3] を用いた顔検出を取り入れることにより、全自動で 3 次元顔認証できるシステムを提案する。また、性能評価実験を通して、提案するシステムが高い認証性能を有することを示す。

2. 顔検出

提案する顔認証システムでは、ステレオカメラから 2 枚の顔画像を取得し、その画像を用いて顔の 3 次元形状を計測する。ここでは、取得した画像から顔領域を自動的に抽出する顔検出処理について述べる。

顔検出には、色や動き、形状、外観を利用した手法がある。本論文では、検出精度と処理速度の点でもっとも優れた手法である AdaBoost を用いた顔検出手法 [3] を用いる。AdaBoost は、逐次的に例題の重みを変化させながら異なる識別器を生成し、それらを組み合わせることでより精度の高い識別器を構成するブースティングと呼ばれる学習アルゴリズムの 1 つである。識別器の学習では、顔画像と顔以外の画像を用いることで、顔検出に適した識別器を生成する。そして、生成した弱識別器を信頼度で重み付けて多数決をとったも

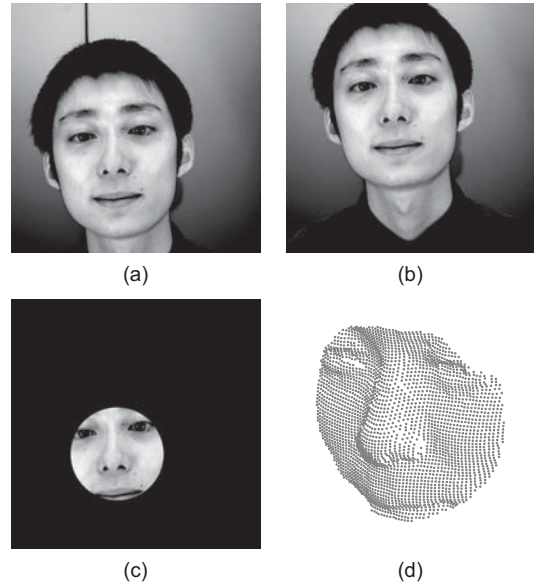


図 1: 顔の 3 次元データ取得の流れ: (a), (b) ステレオ画像, (c) 検出した顔領域, (d) 再構成した顔の 3 次元データ

のを最終的な識別器 (強識別器) とする。強識別器単体では検出結果に誤検出が多く含まれてしまうため、強識別器をカスケード接続することで検出精度を向上させる。本論文では、顔画像 200 枚と非顔画像 1916 枚のサンプルを用いて識別器を学習した。

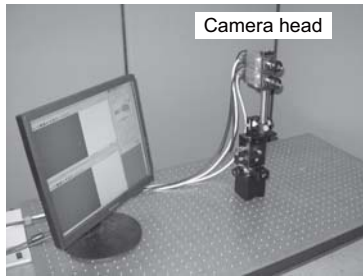
以上の手法を用いて画像中から自動的に顔領域を検出するが、実際には、検出した顔領域全体ではなく、鼻周辺の領域のみを 3 次元計測する。鼻周辺の領域のみを使って認証することで、表情の微小な変化に対してロバストになるだけでなく、処理速度の向上や保存データ量の削減などの効果もある。一連の顔検出処理の流れを図 1 に示す。

3. 3 次元顔認証システム

提案する 3 次元顔認証システムでは、顔の 3 次元データを取得するために、図 2 に示すステレオビジョンシステムを用いる。ステレオビジョンシステムで用いられているカメラヘッドは、平行に配置された 2 つのカメラで構成されている。このカメラヘッドの大きな特徴は、その基線長が可能な限り短くなるように配置されていることである。本論文では、基線長をカメラの大きさによって制限された値である 46 mm に設定した。基線長を短くすることで、画像間の対応付けを容易に行うことができるが、再構成した 3 次元データの精度が低いという問題がある。この問題を解決するために、本論文では、位相限定相関法 (Phase-Only Correlation: POC) を用いた高精度画像マッチング手法によりサブピクセル精度の対応付けを実現している

[†] 東北大学大学院情報科学研究科

[‡] 株式会社山武



(a)



〔仕様〕

- Camera: Adimec-1000m/D
10 bits digital resolution
monochrome
- Image size: 1000x1000 pixels
- Lens: μ TRON, FV1520
15 mm focal length
- Image grabber: Coreco Imaging
X64-CL-DUAL-32M
- Measurement range: 400 ~ 600 mm
- Lighting: Ambient light

(b)

図 2: ステレオビジョンシステム：(a) システム構成，
(b) ステレオカメラヘッドとその仕様

[4] .

まず，ステレオビジョンシステムを用いてステレオ画像を撮影する．次に，AdaBoost を用いた顔検出を利用して画像から自動で顔領域を検出し，その領域に対して 3 次元計測を行う．そして，3 次元点群として得られた顔の 3 次元データを用いて認証を行う．提案する顔認証システムでは，3 次元データのレジストレーション手法である ICP (Iterative Closest Point) アルゴリズムを用いて認証する [2] . ICP アルゴリズムは，学習や特徴点抽出などの前処理を特に必要としないシンプルなアルゴリズムである．まず，ICP アルゴリズムを用いて登録されている顔の 3 次元データと入力された顔の 3 次元データの位置合わせを行う．そして，位置合わせが行われたあとの 3 次元データ間の距離をデータ間の類似度とする．同一人物の 3 次元データ間では距離が短くなり，異なる人物の 3 次元データ間では距離が長くなる．

4. 実験・考察

提案する 3 次元顔認証システムの性能評価実験について述べる．本論文では，ほぼ一定の照明条件下で撮影した平常時 (無表情) の正面顔のデータベースを利用した．このデータベースは，22 人の被験者に対して同日に 3 回，数日後に 2 回撮影することにより得た計 110 セット (22 人 \times 5 回) のステレオ画像から構成される．このとき，本人照合の組み合わせは 220 組 (22 人 \times 5C_2 通り)，他人照合の組み合わせは 5775 組 (${}^{110}C_2 - 220$ 通り) であり，合計で 5995 組に対して認証実験を行った．

認証実験の際の顔検出精度は，検出位置がやや正解位置からずれている場合もあったが，そのずれは認証においてすべて許容できる程度であることをデータベー

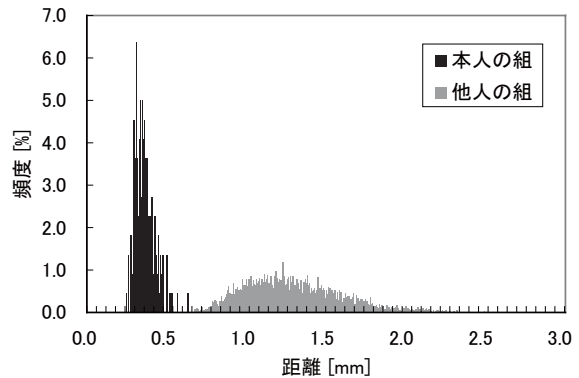


図 3: 距離の分布

表 1: 本人の組み合わせと他人の組み合わせの距離の
平均値・最大値・最小値 (カッコ内の数値は従来シス
テムの結果)

	平均値 [mm]	最大値 [mm]	最小値 [mm]
本人	0.36 (0.41)	0.63 (0.73)	0.24 (0.26)
他人	1.30 (1.71)	2.76 (3.33)	0.64 (0.94)

ス内の全画像について確認した．図 3 に，本人の組と他人の組の距離分布を示す．この分布から，本人の組は距離の小さい方に，他人の組は距離の大きい方に集中して分布していることが確認できる．また，表 1 に本人の組と他人の組の距離の平均値・最大値・最小値を示す．この表から，0.6380 mm ~ 0.6400 mm の値を閾値とすることにより，本人と他人を 100 % の精度で識別することができる．以上の結果から，提案する 3 次元顔認証システムにより，手動で最適な顔領域を指定する従来システム [2] と同等のきわめて高精度な認証が実現できることが確認できた．

5. まとめ

本論文は，受動型 3 次元計測法であるステレオビジョン法と AdaBoost を用いた顔検出手法を組み合わせることにより，自動的に顔の 3 次元データの取得および認証を行うことができる高性能な顔認証システムを提案した．認証実験を通して，提案する顔認証システムを用いてきわめて高精度な認証を全自動で実現できることを示した．

参考文献

- [1] S. Z. Li and A. K. Jain, *Handbook of Face Recognition*, Springer, 2005.
- [2] N. Uchida, T. Shibahara, T. Aoki, H. Nakajima, and K. Kobayashi, "3D face recognition using passive stereo vision," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Image Processing 2005*, pp. II-950-II-953, September 2005.
- [3] P. Viola and M. Jones, "Robust real time object detection," *Proc. of 2nd Int. Workshop on Statistical and Computational Theories of Vision - Modeling, Learning, Computing and Sampling*, pp. 1-25, July 2001.
- [4] K. Takita, T. Aoki, Y. Sasaki, T. Higuchi, and K. Kobayashi, "High-accuracy subpixel image registration based on phase-only correlation," *IEICE Trans. on Fundamentals*, Vol. E86-A, No. 8, pp. 1925-1934, August 2003.