

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12453

研究課題名(和文)顔面微小特徴点セットの3次元配置構造に基づく個人識別

研究課題名(英文)Personal indentification based on a set of mirco facial feature point

研究代表者

福井 和広 (Fukui, Kazuhiro)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：40375423

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文):本研究では,比較すべき人物の顔面特徴点群の3次元構造をそれぞれ形状空間で表し,2つの形状空間の成す正準角に基づいて顔認証を行うフレームワークを提案した.提案法では,特徴点検出の不安定性に対応し,かつ識別性能を高めるために,円形分離度フィルタにより抽出された多数の特徴点候補セットからランダムサンプリングにより複数の形状空間を生成し,それらをアンサンブル識別を行うメカニズムを導入した.これにより,毛穴のような検出が極めて不安定な超微小特徴点の情報も加味しつつ,安定かつ高精度な顔認証を実現可能とした.

研究成果の概要(英文):In this research, we proposed a face identification method based on the 3-d structure of minute facial feature points, where the 3-d structure of each feature set is represented by a shape subspace in high dimensional vector space. To enhance the advanatge of the proposed method, we introduced Grassmann discriminant analysis to extract selectively features that are more useful for identifying, thereby performing more accurate identification. The effectiveness of the proposed method is demonstrated by evaluation experiments using actual facial video data.

研究分野: コンピュータビジョン

キーワード: 顔認証 顔面微小特徴点 形状部分空間 正準角 グラスマン判別分析

1. 研究開始当初の背景

近年、セキュリティ分野を中心に顔認証の研究が盛んである。従来の顔認証では、目、鼻、口などの形状やそれらの相対的な位置関係、あるいは顔全体の見え方に基づいて識別を行っていた。しかし、これらの方法では双子のように外見が極めて類似した個人の識別は困難であった。これを解決する方法として、顔表面のホクロやシミ、毛穴など微小特徴点に基づく認証法の有効性が報告されている。顔面の微小特徴点群の配置は指紋などと同じく個人に固有のパターンを形成し、この構造パターンは指紋になぞらえ、“3次元顔紋”とも言うべき情報である。これを用いることで新たな顔認証法の確立が期待できると考えた。顔面特徴点群を用いた代表的な方法として、画像上での特徴点のマッチングに基づく方法が提案されていた。この方法はアルゴリズムがシンプルで実装が容易である反面、以下のような問題を抱えていた。まず、顔の位置と向きを3次元正規化が必要である点、3次元正規化は複雑な処理を伴い、安定に実現することは難しい。次に顔面上に3次元的に存在する特徴点を2次元に強制的に射影することで奥行き情報の損失が生じる点である。このために単純な2次元座標マッチングでは高精度な識別の実現が難しかった。

2. 研究の目的

本研究では、従来の顔面特徴点の2次元情報のみに基づく顔認証の性能を改善するために、顔面微小特徴点群の3次元配置構造に基づく顔識別フレームワークを提案し、その有効性を検証する。このフレームワークの実現に向けては、微小特徴点の検出における不安定性に如何に対応するかが重要である。これについても併せて検討する。

3. 研究の方法

(1) 提案法のフレームワーク

本研究では、比較する二人の人物の顔動画像列が与えられている状況を想定する。まず、動画像から円形分離度フィアルを用いて、複数の顔微小特徴点を抽出・追跡する。次に得られた特徴点セットの2次元座標情報に対して因子分解法を適用して、形状部分空間を生成する。この形状部分空間は特徴点セットの3次元構造をコンパクトに表す部分空間である。識別では各人物から生成した2つの形状空間の構造類似度を両者の成す正準角に基づいて測る。この構造類似度は、1) 特徴点セットの3次元構造を陽に復元せずに得られ、2) カメラと顔の相対位置関係に依存しない、という特性を有し、これによりユーザ拘束の少ない認証システムが構築できる。図1に提案法の概念図を示す。

しかし、このフレームワークを構築するにあたって次のような課題が残る。

(1) 毛穴のような超微小な特徴点の検出は

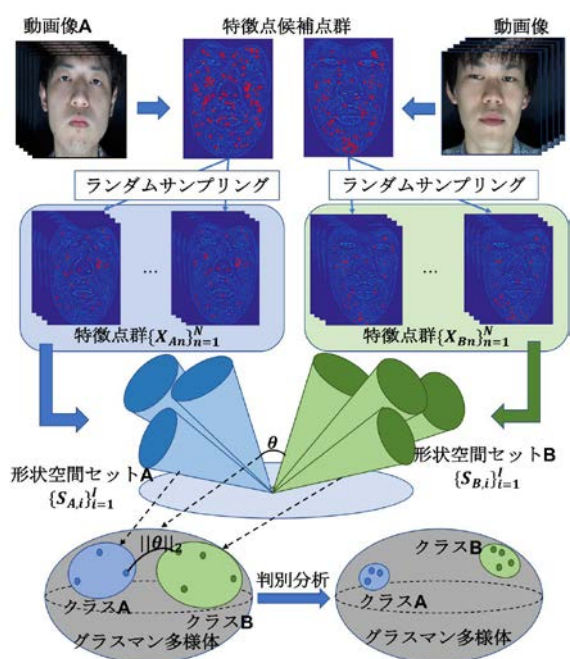


図1 提案法の概念図

極めて不安定であり、顔向きや照明条件の僅かな変化の影響により未検出となる場合が多く、逆に非特徴点までが過剰に検出される場合が多い。

(2) 顔面微小特徴点は紫外線の影響を受ける頬骨上部などに発生し易く、必然的に3次元顔紋の配置構造は類似してくる。このために配置構造類似度による単純な識別だけでは、高いクラス分離性能は期待できず、等価エラー率(Equal Error Rate; EER)も低くなる。

(2) 課題解決

本研究では、上記課題に対して以下の解決法を提案する。

【課題1の解決法】 同じクラスの異なる動画から検出された2つの特徴点群をL1とL2とする。また、L1とL2に共通して存在する特徴点から成る点群をSとする。L1とL2からそれぞれSを抽出することができれば、高い識別精度が期待できる。しかしながら、実際には不確定な要素が多く、Sが何時点で構成されているかさえ不明であり、Sを正しく求めることは困難である。そこで提案法では、L1とL2からそれぞれランダムサンプリングを複数回、行うことで様々なパターンの点群を生成する。このようにして生成された点群同士を先に述べた形状部分空間に基づく方法で識別することで、多数の識別結果を得る。最終的にはこれらの多数の識別結果を平均することでアンサンブル識別することで、より安定な識別結果を得る(図1参照)。

【課題2の解決法】 多数の特徴点セットから個性を強く反映した識別に有効な特徴点群

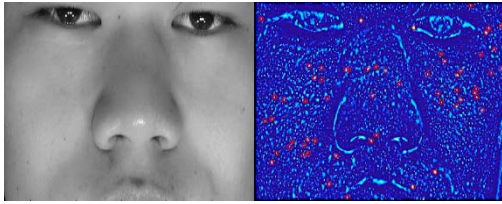


図2 抽出された特徴点候補

を如何に抽出・選択するかは重要な課題である。先に述べたように類にはシミが発生し易く、これらの領域にある特徴点の識別への貢献度は低いと考えられる。これらの特徴点を抑制しつつ、識別に有効な点を選択するためのアイデアが形状部分空間の判別空間への射影である。判別空間は、同じ次元の部分空間の集合であるグラスマン多様体上で判別分析を行うグラスマン判別分析(Grassmann Discriminant Analysis)を用いて生成する。判別空間は形状部分空間の3次元構造差異を表すので、各形状部分空間を判別空間へ射影することで、識別に有効な構造情報(識別時に有効な特徴点)を抽出できる。

(3) 提案法の流れ

提案フレームワークは大きく学習フェーズと識別フェーズに分かれる。図3に提案法の流れを示す。以下、この図に沿って各フェーズについて説明する。

【学習フェーズ】

識別すべきクラス数を C 、各クラスの学習データセット数を L 、ランダムサンプリング回数を N 、学習データの動画を $V_{\{c,i\}}$ ($c=1, \dots, C$, $i=1, \dots, L$) とする。

(a) 動画像列 $V_{\{c,i\}}$ から円形分離度フィルタを用いて特徴点を検出し、動画像上で追跡を行う。図2は円形分離度フィルタを用いて抽出された特徴点候補を示している。

(b) 最終フレームまで追跡が成功した点を候補点群とし、そこからランダムサンプリングを N 回行い、 N 個の特徴点群 $X_{\{c,i,n\}}$ ($n=1, \dots, N$) を得る。

(c) 各特徴点群の運動軌跡に因子分解法を適用し、 N 個の形状空間 $S_{\{c,i,n\}}$ ($n=1, \dots, N$) を生成する。以上より求めた $C \times L \times N$ 個の形状空間を辞書セットとする。

【識別フェーズ】

識別フェーズは、 N 個の形状空間を生成する処理まで学習フェーズと同じ処理を行う。

(a) 入力された動画像 D_{in} から得られた N 個の形状空間を $S_{\{in\}}$ ($n=1, \dots, N$) とする。

(b) 入力形状空間 $S_{\{in\}}$ と任意の辞書形状空間 $S_{\{c,i,n\}}$ において、自己相関行列に基づく点群の対応付けを行い、 $S_{\{in\}}$ と $S_{\{c,i,n\}}$ ができるだけ類似するように $S_{\{c,i,n\}}$ の行ベクトルの並び順を入れ替える。

(c) 2つの形状空間の成す正準角に基づき類

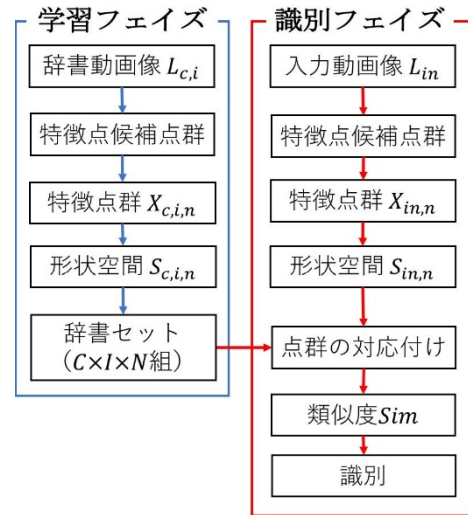


図3 提案法の流れ

似度 $\text{Sim}(S_{\{in\}}, S_{\{c,i,n\}})$ を求める。

このようにして全ての入力形状空間と、入りに合わせて行の並び替えを行った辞書形状空間の類似度を計算する。その後、先に説明した識別手順に従って入力形状空間を最も構造類似度が高いクラスに識別する。

(4) 評価実験

提案法の有効性を検証するために、2種類の実験を行った。第1の実験では、ランダムサンプリングの有効性を確認した。第2の実験では、サンプリング点数とサンプリング回数を変化させ、どのように識別性能が変化するかを調べた。

【実験条件】

10人の被験者から40~60フレームの動画を30セットずつ取得した。収集時には、正面、上、右の順に顔を向けてもらった。10回の撮影毎に立ち上がって座り直してもらった。こうして得た時系列画像の顔領域に対し円形分離度フィルタを適用して特徴点検出を行った。分離度フィルタの閾値を下げることで非常に多数の特徴点候補を検出することができるが、計算時間などのバランスを考慮し、分離度が閾値(0.4)より大きい点を特徴点候補として検出した。検出した特徴点を KLT tracker で追跡を行い、最後まで追跡が成功した点のうち全フレームでの分離度の平均値が高い点から120点を候補点とした。各動画からは、ランダムサンプリングを N 回行って、 $10 \times 30 \times N$ 個の形状空間を生成した。

【実験1】

ランダムサンプリングの有効性を確認するため、次の3つの場合で性能比較を行った。Case1(提案法)では120点の候補点から10回ランダムサンプリングすることで100点の点群を10セット取得した。Case2(従来

表 1 識別性能の比較

	ER(%)		EER(%)	
	MSM	GrDA	MSM	GrDA
Case 1	1.66	1.66	19.98	1.53
Case 2	6.66	11.00	28.25	4.05
Case 3	6.33	8.00	27.37	3.13

法)では単純に全フレームでの平均分離度が高い点から100点を取得した。Case3(従来法)では全候補点120点を用いた。表1に各方法の識別性能を示す。これから提案法(Case1)が従来法に対して高い性能を実現できることを確認できた。特にグラスマン判別分析を用いた方法(GrDA)は非常に高い識別性能を達成していることが分かる。これから判別分析への射影がうまく特徴抽出が行えていることが確認できる。

【実験2】

図4と図5はサンプリングする特徴点数(P)と回数に対するER(Error rate)とEERの変化をそれぞれ示している。これらの結果から、単純にサンプリング回数を多くすれば安定した精度が得られるように思えるが、サンプリング回数を増やすと、処理時間も指数的に増大するのであまり現実的ではない。したがって、実際にシステム構築する際は、特徴点数P

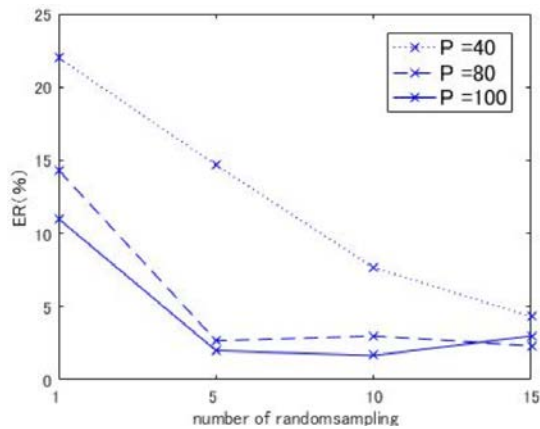


図4 サンプリング数と回数に対する ER

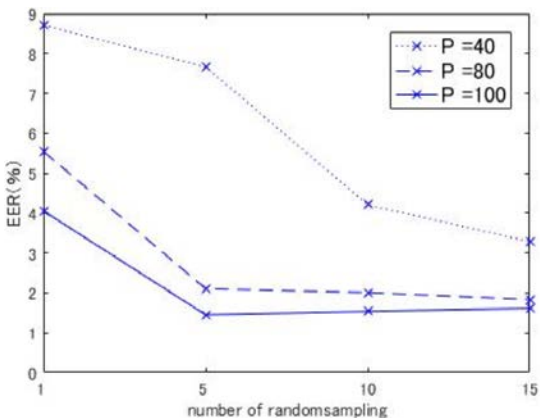


図5 サンプリング数と回数に対する EER

を多めに設定し、サンプリング回数 N は 5 ~ 10 回程度行うのが一つの解であることが分かった。

4. 研究成果

本研究では、識別すべき人物の顔面特徴点群の3次元構造をそれぞれ形状空間で表し、両者の成す正準角に基づいて顔認証を行うフレームワークを提案した。特徴点検出の不安定性に対応し、さらにクラス分離度を高めるために、特徴点候補セットからランダムサンプリングすることで複数の形状空間を生成し、それらをアンサンプル識別させるメカニズムを導入した。これにより、毛穴のような検出が不安定な超微小特徴点も含んだ場合でも、安定な顔認証の実現を可能とした。

今後の課題として、処理の高速化があげられる。提案フレームワーク中にある対応付け手法は、識別に用いる点数が増えると処理時間が指数的に増大する。解決策として、サンプリングを行う前に、ある程度、特徴点の対応付けを行い、その情報に基づいて効率的にサンプリングすることが考えられる。また特徴点の抽出領域を限定することで、精度を保ったまま処理時間の削減ができると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Kazuki Takasaka, Kazuhiro Fukui, "Face Identification Based on Randomly Sampled Minute Feature Points" Proceeding of IW-FCV2018 O3-3, 2018. 査読有
- ② 高坂和樹, 福井和広, "3次元顔紋に基づく個人識別の検討", 第7回バイオメトリクスと認識・認証シンポジウム (SBRA2017) S2-15, 2017. 査読無
- ③ 高坂和樹, 福井和広, "顔面微小特徴点群からランダム生成された形状空間に基づく顔識別" 電子情報通信学会 PRMU 研究会 vol. 117, no. 238, PRMU2017-66, pp. 19-24, 2017. 査読無

[学会発表] (計 3 件)

- ① Kazuki Takasaka, Kazuhiro Fukui, "Face Identification Based on Randomly Sampled Minute Feature Points" IW-FCV2018, 2018年2月, はこだて未来大学 (北海道 函館市)
- ② 高坂和樹, 福井和広, "3次元顔紋に基づく個人識別の検討", 第7回バイオメトリクスと認識・認証シンポジウム (SBRA2017), 2017年11月, 日本科学

未来館（東京都 江東区）

- ③ 高坂和樹, 福井和広, "顔面微小特徴点群からランダム生成された形状空間に基づく顔識別" 電子情報通信学会 PRMU 研究会, 2017 年 10 月, 熊本大学 (熊本県熊本市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福井 和広 (Fukui, Kazuhiro)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号 : 40375423