

外観に基づく顔認識技術の応用と展開

—Future Developments and Applications For Appearance-based Face Recognition Technology—

森沢 幸博

MORISAWA Yukihiro

With the improved ability of computers to handle complex calculations, applications and digital equipment that come with face-recognition functions have become widespread, as have entertainment services and content using face-recognition technology.

At present, with the release of face-recognition API (Application Programming Interfaces) that can be included in smartphones, digital cameras, and tablet devices, environmental conditions needed for the development of Web applications have also progressed.

In this paper, we summarize important face-recognition technology that use an Appearance-based Approach to generate facial feature quantities from an Active Appearance Model (AAM) applied to a sampling of facial features quantities, and we outline services that use face-recognition technology and actual cases of various products and related problem areas in need of further study.

In addition, we discuss next-generation communication support systems with emotion-recognition functions that will become possible with the extension of face-recognition technology.

1. はじめに

コンピュータの計算処理能力の向上によって、顔認識技術を応用したエンタテインメントサービスやコンテンツ、顔認識機能を実装したアプリケーションやデジタル機器の普及が進んでいる。顔は身体の中でも民族性や地域性などの影響を受けず、万国共通で喜怒哀楽といった感情を視覚で理解することができる部位である。現在の顔認識技術は、PC やスマートフォンといったデジタル端末に内蔵された Web カメラなど使った高精度な顔検出や認証機能によって、顔の形状や個人の属性情報をリアルタイムに認識することができる。

顔認識技術は、顔の形状検出技術や属性識別アルゴリズムなどの要素技術が集まったものであり、顔認識処理によって得られる情報は、性別や年齢などの個人の属性情報と身体状態や表情などから判断する内面的な情報の2種類に大別される。顔から取得出来る表面的な情報と環境変動や表情パターンを組み合わせることで、文字情報だけでは難しいとされる感情などの情報伝達も可能になると考えられている。

現在では、スマートフォンやデジタルカメラ、タブレットデバイスに実装可能な各種 API の公開によって、Web アプリケーション開発のための環境整備も進んでおり、顔認識機能を有した Web サービスや各種コンテンツの普及拡大が予測される。

本論文では、顔の特徴点抽出に対応した Active Appearance Models (AAM) から特徴量を生成する Appearance-based Approach による顔認識技術について概説するとともに、顔認識技術を利用したサービスや各種製品の事例や課題について論述する。

2. 顔認識技術について

2-1. 顔認証技術の概要

顔認識技術は、顔画像の特徴点位置を検出して特徴量を生成することで、画像の中から人間の顔を特定する技術と定義される。主な顔認識の技術には、線形判別分析 (Linear Discriminant Analysis: LDA)、主成分分析 (Principal Components Analysis: PCA)、伸縮バンチグラフマッチング法 (Elastic Bunch Graph Matching: EBGm) などがある。

顔認識手法において重要な顔器官や特徴点の検出精度の向上のために、特徴点の位置などの個

人差に考慮した顔のモデルベース手法を利用する。モデルベース手法は、顔の局所特徴量を認識するモデルや2次元の構造モデルを有するもの、3次元の構造モデルからなるものがある。3次元の構造モデルをもつ手法では、照明等の環境変動に影響を受けにくくなるが、特定するパラメータが多くなるため、深索空間が広がる欠点がある。

主な挙動の推定手法としては、Feature-based Approach と Appearance-based Approach があある。Feature-based Approach は、検出した特徴点間の配置や特徴記述子を作成する手法であ

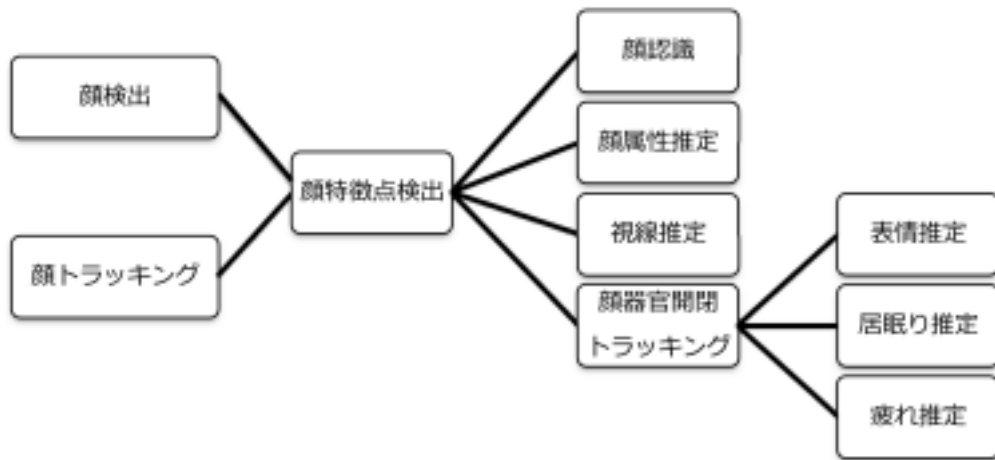


Figure1：顔画像認識の要素技術

Table1：主要な顔認識技術の概要

技術	概要
線形判別分析 (Linear Discriminant Analysis: LDA)	線形判別分析では、収集されたデータセットをもとに新しいデータセットの属性を判断する。LDA で収集された情報は2次元情報として処理され、人物の顔データ群で構成された画像データセットを多重分解して、重複する特徴をもった部位（目、口など）をもとに分析される。
主成分分析 (Principal Components Analysis: PCA)	顔画像から特徴点を抽出してベクトル変換する。変換されたベクトルより距離や比率を測定する。取得されたデータは1次元の情報として扱うため、情報が削減できるが、正面画像からのトラッキングをもとにしているため、特徴点のフィッティングを正確にあわせる必要がある。
伸縮バンチグラフマッチング法 (Elastic Bunch Graph Matching: EBGGM)	線形状への変換によって失われた光源、向き、表情などの要素を取り入れる手法。伸縮性のある標高グリッドによって各結線点の特徴を抽出する。顔の特徴部位の位置を正確に把握することが難しいため、PCA や LDA との併用によって認識の信頼性を高めている。

り、Appearance-based Approach は、顔全体の輝度値から得られた顔特徴点の情報をもとに、サイズや方向などを正規化した顔パターンの抽出を行う手法である。Appearance-based Approach では、照明変化や画像変形などの影響に対して頑健性を向上させるために、複数の解像度と方位を変化させた Gabor-Wavelets Filter や周辺画素との相対的な輝度差パターンを符号化する Local Binary Pattern (LBP)、それらの組み合わせによる Local Gabor Binary Pattern などのフィルタリング技術が採用されている。

2-2. AAM による顔特徴点抽出

顔特徴点抽出の代表的な手法としては、Cootes らによって提案された Active Shape Model (ASM)¹や Active Appearance Models (AAM)²といった方法がある。ASM は、Active Contour Model³を拡張した手法で、学習データを多数用意して次元圧縮をおこなう。特徴点の形状変化については、平均パラメータと基底形状ベクトルの線形和で表現される。ASM にテクスチャ情報を付加した AAM は、特徴点の形状 (shape) と特徴点の輝度値である appearance (texture) を主成分として、基底画像からの変化の差異を線形結合で顔モデルを表現する手法である。shape と texture は、学習データを用いた各主成分分析 Principal Component Analysis (PCA) によって学習され、各主成分のベクトルを重み付けパラメータによって顔形状と見え方の値を変化させる。最適な重み付けパラメータへのマッチング計算処理された結果、顔の特徴点の変化に追従するトラッキングが可能となる。

顔画像の学習開始時には、顔の特徴点となる下顎のラインや脛、鼻筋や口唇などを形状に合わせて登録する。登録された特徴点をもとに、数式(1)で表される shape の変形に沿って texture を変化させる。AAM は、少ないパラメータで顔の方向変化や照明などの環境変動に対して影響を受けにくい、基底画像より特徴点を正確に検出することが可能となる。

平均値 (base shape) となるベクトル s は、 $s = (x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n)^T$ のように与えられ、 x_i, y_i ($i \leq n$) は各特徴点の座標を表している。ベクトル s は PCA による求められた主成分ベクトル s_i に重み係数 P_i をかけた和を加算して求める。AAM による形状表現は、平均値からの主成分空間の差異分の和によって求められ、 P_i を変化させることで形状変化を表現している。

$$s = s + \sum_{i=1}^n p_i s_i \quad (1)$$

appearance と呼ばれる texture 情報は、数式(2)より取得する。画像内の座標 $x = (x, y)^T$ の輝

度値 $A(x)$ は、PCA により求めた texture の各主成分ベクトル $A_i(x)$ に重み係数 λ_i をかけた和の総和となる。texture ベクトルを g とすると、式 $g = (g_1, \dots, g_m)^T$ となり、 $g_i (i \leq m)$ は平均形状 \bar{s} 内部での各画素の輝度値となり、PCA から平均輝度値 \bar{g} を求めることができる。

$$A_{(x)} = A_0(x) + \sum_{i=1}^m \lambda_i A_i(x) \quad \forall x \in \quad (2)$$

shape の変形に沿って appearance の重み係数のパラメータ値 $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)^T$ を変化させることで表情の Instance を作成し、PCA によって学習された基底画像に対する入力画像の shape および texture の変化をみることができる。shape パラメータ、texture パラメータと呼ばれる基底画像からの変化を表すパラメータを b_s, b_g とすると、 s, g は \bar{s}, \bar{g} からの偏差を主成分分析して求められる固有ベクトル P_s, P_g を用いて $s = \bar{s} + P_s b_s, g = \bar{g} + P_g b_g$ と表すことができる。AAM では Basis Shape の AAM よりパラメータ値を p によって、形状を S に変化させることを Warping といい、パラメータ値を p に変更した Warping を $W(x; p)$ と表す。

AAM は変形パラメータを持つテンプレート Deformation Template⁴から発展したものであり、変形パラメータの次元を低次元圧縮によって高速な深索を実現している。

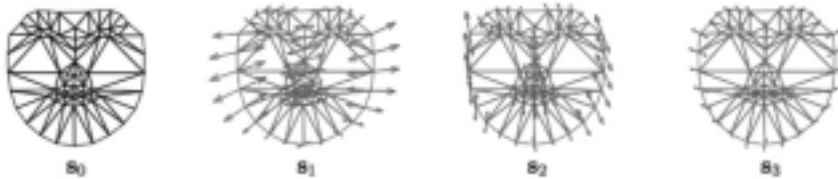


Figure2：独立した AAM の線形状モデル⁵

2-3. 動画像からの顔特徴点検出

AAM では、shape と appearance は独立して学習されるため、モデルの初期配置と特徴点の設定がずれた場合、正規位置への収束が困難となり、未学習データに対して精度が低下する欠点がある。Lanitis ら⁶は、局所濃淡画素値を使ってオクルージョンなどの影響を抑えた AAM の改良により、顔のトラッキングや3次元形状復元、性別や表情認識をおこなっている。

AAM の課題を克服するため、Edward ら⁷によって、濃淡画素値パラメータを1つのベクトルに連結して PCA をかける手法への改良が行われ、固有ベクトルによる shape と appearance に依存しない Kalman Filter を利用した動画像追跡手法の提案がされている⁸。

福井ら⁹⁾は、環境変動に影響を受けず、人物間の相違を反映させるように特徴抽出をおこなう制約相互部分空間法を提案した。照明変動の影響を直接とらえ照明条件の差を吸収して安定した識別をおこなう方法が提案されているが、従来の相互部分空間法では照明変動の影響に対するロバスト性は改善されない。制約相互部分空間法では、環境変動を含む部分空間から差分部分空間を計算によって求める。制約部分空間と呼ばれる空間においては、入力部分空間と辞書部分空間を射影することによって、環境変動の影響を受けにくい成分の特定を実現している。

一方、End-Jon らによる Selected Multi-Resolution Linear Predictors¹⁰⁾は、特徴点周辺の texture 情報と現在の位置から移動した特徴点位置を移動ベクトルと線形回帰によって対応させる手法である。注目点周辺の texture 情報から推移される移動ベクトルの計算結果をもとに、実時間での顔の移動や向きの変化に対応した特徴点を追跡する。同手法では、同時に学習できる対象は1人となるため、複数の対象を同時に検出することはできないが、独立した特徴点の検出と対象の追跡が可能である。

2-4. モデルフィッティング・トラッキング法

パラメータ AAM におけるフィッティング法には、静止画像からのモデルフィッティングと動画からのモデルフィッティングがある。AAM によるフィッティングには、Gradient Descent ベース手法と Finite Differences 法の長所を活かし、静止画と動画に対応した Inverse Compositional 法を利用する。Inverse Compositional 法は Parametric Optical Flow に対応したフィッティングの高速化手法である。

Parametric Optical Flow による画像のフィッティング法には、Additive、Compositional、Inverse Additive、Inverse Compositional のアルゴリズムがある。AAM では、Inverse Compositional 法を採用することで、Basis Shape における Appearance を基準とした画像から入力された変化量の計算によりトラッキングをおこなう。Parametric optical Flow によるフィッティングでは、顔形状の初期化に多少の時間がかかるが、フィッティング完了後には、高速処理によるトラッキングを実現している。

顔認識技術の精度向上のため、2次元画像からのデータと3次元画像認識技術を併用する手法も開発されている。動画から顔画像を高速で認識するデバイスとしては、Microsoft の開発した Kinect がある¹¹⁾。Microsoft の開発した Kinect を利用した顔認識では、RGB カメラからの映像から各特徴点の奥行き情報を取得することで、2.5次元画像より深度と形状の変化から表情を読み取る顔認識が可能となった。

2012年5月にアップデートされた Kinect for Windows SDK Version 1.5には、開発ツール「Kinect Studio」などに加えて、新しく顔認識機能を有する「Face Tracking Visualization」、「Face Tracking Basics-WPF」、「Face Tracking 3D-WPF」といった Face Tracking SDK が追加されている。Kinect を使って認識された顔画像のフィッティング後、リアルタイムで3D メッシュを取得することによって、頭部の向きや眉、口のかたちなどの変化に対応したトラッキング結果をもとに、CG キャラクターの表情をアニメーション表現することができる。

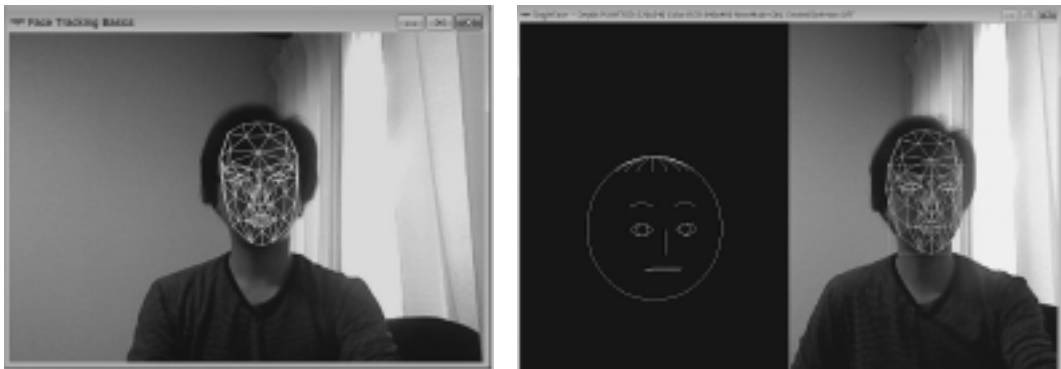


Figure3 : Face Tracking SDK の実行画面

3. 顔認識技術の活用事例

次に、国内外で開発が進んでいる顔認識技術を利用したセキュリティシステム、ソーシャルメディアやエンタテインメント分野のソフトウェア、インターネットで提供される Web サービスの事例などについて概説する。

3-1. デジタルカメラ・ビデオ

国内外のデジタル機器メーカー各社は、顔検出による顔オートフォーカスやオートアイリス機能をもつデジタルカメラを開発している。OKI 電気は、2006年4月に顔認識に関するセンシング機能を持つソフトウェアライブラリ「FSE-Face Sensing Engine Ver.4」を公開している。ソフトウェア開発キットの利用によって、デジタルカメラなどで利用できるアプリケーションや、美颜画像補正機能を利用したサービスを短期間で開発、提供することができる。

2007年9月には、オムロンが人物の笑顔度を測定できる「リアルタイム笑顔測定技術」を開発している。同社が2005年2月に開発した「OKAO Vision 顔認識センサ」は、顔器官の特徴点間の弾力的な位置関係を持つグラフと特徴点周辺における Gabor フィルターによる濃淡特徴周期性と方向性を特徴量として認識する技術である。OKAO Vision ソフトウェアライブラリによって、顔の特徴点検出後に笑顔の特徴である口角が上がる、口の周りにしわができる、目尻が下がる、目が細くなるといった変化を捉えることで笑顔度推定を実現している。

OKAO Vision のライブラリでは、笑顔の特徴的な変化を2クラス識別機によって事後確率を算出するために、Viola と Jones によって提案された特徴点座標付近において高速演算が可能な Haar-like 特徴量を用いて笑顔度を数値化している。

3-2. Photo アルバム・Web アプリケーション

Apple が2009年1月に発表した専用アプリケーション iPhoto'09では、顔の自動認識機能により登録された写真の中から特定の条件の写真を検索、整理することができる。2010年に Apple に買収される Polar Rose 社は、2009年4月に自社の顔認識技術による Flickr のアルバムに顔認識機能を追加したサービスを開発している。同社は SNS の情報取得に顔検出・顔認識技術を利用したスマートフォン向けアプリ「Recognizr」などの開発実績があり、Apple も iPhone の iOS 5に対応した顔検出機能を含む API を公開している。iOS5の顔検出機能を追加した API には、CIFaceFeature クラスと CIDetector クラスがあり、iPhone のカメラ機能による顔検出を使ったアプリケーションの開発が進むと考えられる。

Google は、2006年に買収した NevenVison 社の生体認証技術をベースに開発された自動顔認証機能を2009年9月よりオンラインアルバムサービス Picasa に追加している。Web アルバム内のフォトライブラリから人物を特定して自動的にタグ付けすることで、写真共有を通じた Google +ユーザのオンラインコミュニケーションを促進するものである。

また、Google が提供する Android4.0に対応したアプリケーションの開発環境として、頭部の向きや姿勢変動に対応した3D 顔トラッキング機能を含む API が公開されている。

こうした Android4.0 SDK の公開によって、顔検出や3D 顔トラッキング機能が Android 端末に標準搭載されるようになった。

一方、Facebook 向け顔認識技術を有する Face.com は、2010年5月に face.com API と OpenCV API を活用した顔画像認識 API を公開している。API を利用した「Photos tagger」と呼ばれる Facebook 上のフォトアルバムから友人の顔を検索することができるアプリケーションを開発し

ている。2011年12月には、Facebook API によって開発された AR (拡張現実) を用いた Android アプリケーション「remenbAR」が公開されている。「remenbAR」は、Facebook に登録された情報より友人承認や確認を顔画像でおこなうことができるアプリケーションである。

インクリメント株式会社は、2010年5月に顔画像から目や鼻、口などの器官位置座標を検出することができる顔認識 API 「detectFace ();」¹²を提供している。顔の特徴点50個の二次元座標を取得することができるもので、API を利用した Web サービスの開発もおこなわれている。

2012年2月には、detectFace ();を拡張した iPhone アプリ向け顔認識ライブラリ「detectFace (); for iOS」を公開している。iOS 5は顔認識 API を搭載しているため、顔認識ライブラリを活用することによって、顔画像から取得した特徴点の位置情報を用いたアプリケーションの開発が短期間で可能となる。

3-3. セキュリティ・認証システム

顔認識技術を利用した室内入退出時の監視カメラやセキュリティシステムの技術開発も進んでいる。高感度な赤外線撮影技術を用いることで、リアルタイムに3D 顔画像のキャプチャリングをおこなう高速な顔認証装置も製品化されている。

NEC が開発した顔認証技術「NeoFace」を使ったユニバーサルスタジオジャパン (USJ) の入場管理システムでは、年間パスポート会員の顔情報を登録することで、入場ゲートを顔パスできるというエンタテインメント性をもったユーザ認証を実現している。

一方、顔認証機能を搭載したパソコンやスマートフォンアプリも実用化されている。1999年5月には、Sony がパソコン用顔認識ソフトウェア「FaceIt」を搭載した Biometric Screensaver for VAIO を発表している。1999年6月には、東芝がスクリーンロック解除やアプリケーションの起動などをおこなう「Smartface」¹³をバンドルした PC 「Libretto ff 1100」を発売している。

顔認証をモバイル端末のセキュリティ機能として利用する事例も増えている。Google は Android4.0より、顔認証によるスクリーンロック解除機能「FaceUnlock」に標準対応している。Android4.0端末に搭載されているカメラで撮影された顔画像より、登録されたユーザの顔を識別して端末のスクリーンロックを解除することができる。

Apple も独自に顔認証アルゴリズムの開発を進めており、2012年4月には、iPhone 向けの顔認証システムを利用したアプリケーション「FaceVault」が公開されている。スマートフォン内に保存された写真へのアクセスを顔認証機能により保護するもので、iOS 機器のフロントカメラで取得された顔画像を Eigenface アルゴリズムによって分析する。

こうした顔認証機能を利用したアプリケーションは、静止画像からのアンロックや顔画像の誤認識などの課題が残るため、登録画像の撮影環境による影響を軽減する研究が進んでいる。

3-4. デジタルサイネージ

デジタルサイネージへの顔認識技術の導入については、大日本印刷の広告効果測定ソリューション「ヒトログ」や NEC の電子ディスプレイなど、多数の企業が顔認識機能を付加したサイネージディスプレイや映像コンテンツを開発している。

Intel はデジタルサイネージのシステムベンダやソフトウェア開発者に対して、PC にインストールして利用するデジタルサイネージ向け顔認証視聴者測定システム「Intel AIM Suite」¹⁴を提供している。アプリケーションソフトの機能を利用することで、PC と Web カメラなどの光学センサによってキャプチャした画像より、視聴者の顔の位置や大きさ、性別や年代（5分割—子供、ティーンエイジャー、青年、成人、壮年）、視聴者行動を検出することができる。検出した視聴者の属性情報より、視聴者に最適化された映像コンテンツ配信、視聴者情報の測定ができる。

一方、JR 東日本ウォータービジネスは、購入者の年齢と性別を顔の特徴点より判別することができる顧客属性判定用センサ内蔵の次世代自動販売機を開発している。14パターンに分類される属性の識別精度は75%程度であるが、購入履歴や購入者属性情報を活用したマーケティングや購入者情報に最適化された商品を推奨するコンシェルジュとしての機能をもつ情報システム端末として実用化されている。自動販売機は顔認識技術を導入することで、物品を購入するための道具からインタラクティブな対話型の次世代コミュニケーションシステムへと進化している。

また、TruMedia Technologies は、TV やサイネージに組み込む「iCapture」と呼ばれる視聴者測定システムを開発している。顔認証機能を利用した専用ソフトの導入によって、不特定数の顔画像から滞留時間や人数、性別、年齢群といった属性情報の収集、解析を自動的に自動化によって送信された視聴者情報をもとに、デジタルサイネージに配信する広告内容を時間帯や利用者層に応じてリアルタイムに変化させることが可能となっている。

3-5. その他

その他の顔認識技術の応用事例としては、広域での人物検索、犯罪捜査や災害時の安否確認などで利用されるシステムなどへの応用事例がある。

エンタテインメント性の高いコンテンツとしては、アイメイクを補正して目を大きく見せるブ

リントシール機や、似顔絵作成や人相占い、類似顔診断エンタテインメントシステム、家庭用ゲーム機や携帯アプリ向けのゲームや、ソーシャルメディアで利用される3Dアバターキャラクターの表情制御、AR-Augmented Realityによるフィッティングミラー、眼鏡やヘアスタイルのフィッティング、リアルタイムメイクアップシミュレータなどがある。

また、顔画像認識はユーザに意識させないで認証をおこなうことができるため、他の生体認証では不自然になる接触動作を伴わない利点がある。顔認識機能を搭載した自律型ロボットは、表情変化や視線移動といったノンバーバル情報を利用したコミュニケーションが可能となる。

NECが開発したコミュニケーションロボット「PaPeRo」は、前述のNeoFaceを採用した顔認証システムにより、ロボットに搭載されたカメラを使って検出された顔の特徴情報から、顔に含まれる条件の変化に対応したユーザ認証を実現している。



Figure4：次世代自動販売機とコミュニケーションロボット「PaPeRo」¹⁵

4. 顔認識技術の実応用課題

証明写真などのように正面の顔画像による認識が可能な「協力型の認証方式」と監視映像などから個人を特定する場合のような「非協力型の認証方式」では、顔認識に必要な特徴点の検出において考慮する環境要因が異なる。動画像からの顔認識率を高めるためには、環境変動や姿勢変動に対応した照合性能の向上が不可欠であり、歩行中の人物から顔の特定をする場合は姿勢が不

安定になるので、安定した連続画像フレームの取得が課題となっている。顔認証技術を組み込み機器でも使用できるようにするためには、特徴量の次元数を減らして計算処理に必要なハードウェアのメモリ使用量を抑える必要がある。

一方、顔認証により取得されるデータは個人の特徴や属性を含む情報であるため、利用時にはプライバシーに配慮することが重要となる。インターネットに公開される画像や動画データはインデックス情報を追加しなければ検索対象にならないが、顔画像や動画データから特徴を抽出することによって個人の特定が可能になれば、写真画像や動画などのコンテンツデータを直接収集して解析することによるプライバシー侵害が懸念される。Google の提供する SNS 「Google+」の自動タグ付与機能については、オプトイン制度を採用しているため、ユーザのプライバシーに配慮したシステム設計になっているといえるが、Facebook が導入した自動タグ付与機能については、セキュリティ関連企業がプライバシー保護の観点から注意を呼びかけており、ドイツ・ハンブルグ州政府は、プライバシー侵害であり違法との見解を表明している。顔認識機能の利用を許可しているソーシャルメディアでは、オンライン上に公開された顔画像はすべてが検索対象となるため、ユーザに承認することなく顔写真にタグが自動的に付加されることで、特定個人や組織に対する権利侵害が発生する可能性がある。

5. むすびにかえて

本論文では、顔認識技術や顔検出の要素技術について概説するとともに、顔認識機能を利用した製品やサービスと普及課題について述べてきた。顔認識技術を応用したサービスやコンテンツ、ハードウェアやアプリケーションの用途範囲は多岐にわたり、本稿で取り上げた事例の他にも、デジタル端末や家電、公共空間や交通機関などへの応用事例が増えている。

一方、顔認識技術は高い識別精度を期待されているが、顔画像の撮影条件や照明変化などの環境的要因、加齢による経年変化や人種性別などの生体要因、生活環境や文化、風習などの社会的要因といった3つの精度低下要因が相互に影響し合うため、顔画像や動画を取得するハードウェア側の複雑な環境変化への対応などの技術課題が残る。

また、ソーシャルメディア上に掲載される顔画像から、個人属性や行動記録、購買履歴などを収集するマーケティング手法や広報戦略が注目されているが、前述のプライバシーに対する懸念が払拭できない状況において、こうした顔認証技術を積極的に活用するマーケティング手法は本

格的な普及には至っていない。ユーザの個人の行動履歴や顔認識機能の利用に対する抵抗感が高く、個人情報拡散することによって、他者へのなりすましなどの問題も複雑化すると考えられる。顔認識技術を使った個人認証や Web サービスが普及するためには、高精度な識別率を実現する信頼性の高いアプリケーションの開発とともに、個人情報の公開や再配布に関する利用規定の遵守を基本としたネット社会の実情に即したルール策定が望まれる。

参考文献

- 松田龍英, 原朋也, 前島謙宣, 森島繁生, “幾何学的制約を考慮した Linear Predictors に基づく顔特徴点自動検出”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2011) 論文集, pp.773-779, 2011
- Mingcai Zhou, Yangsheng Wang, and Xiangsheng, Huang, “ Real-time 3D Face and Facial action tracking using Extended 2D+3D AAM” *Proceedings of the IEEE Conference on International Conference on Pattern Recognition*, pp. 3963-3966, 2010
- Shiro Kumano, Yoichi Sato ”Joint Estimation of Facial Pose and Expression Using Variable-Intensity Templates” *CVIM-167(1)*, pp.1-16, 2009
- 勞世竝, 山口修, “実用化が進む顔画像処理とその応用事例 (前編) 顔画像処理技術の動向” *情報処理*, 50 (4), pp.319-326, 2009
- Nicholas Dowson, Richard Bowden, “Mutual Information Lucas-Kanade Tracking (MILK): An Inverse Compositional Formulation” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 30, No. 1, pp.180-185, 2008
- Chun-Wei Chen, Chien-Chih Wang, “3D Active Appearance Model for Aligning Face in 2D Images” *In Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'08)*, pp.3133-3139, 2008
- 小西嘉典, 木下航一, 勞世竝, 川出雅人, “リアルタイム笑顔度推定” *情報処理学会シンポジウム論文集*, pp.47-48 2008
- 井上清司, “携帯向け顔画像処理ミドルウェア FSE (Face Sensing Engine) の開発” *沖テクニカルレビュー* 74(1), pp.66-69, 2007
- 岩井儀雄, 勞世竝, 山口修, 平山高嗣, “画像処理による顔検出と顔認識” *情報処理学会研究報告 CVIM*, Vol.2005, No. 38, pp.343-368, 2005
- Jing Xiao, Simon Baker, Ian Matthews, Takeo Kanade, “Real-Time combined 2D+3D active appearance models” *In Proceeding of the IEEE computer society conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.535-542, 2004
- 西山正志, 山口修, 福井和広, “アンサンブル学習を用いた多重制約相互部分空間法による顔認識” *MIRU*

2004, pp. 529–534, 2004

S. Baker, R. Gross, and I. Matthews. “Lucas–Kanade 20 years on: A unifying framework: Part 4. Technical Report” *CMU–RI–TR–04014, Robotics Institute, Carnegie Mellon University*, 2004

T.F. Cootes, G.J Edwards, and C. J. Taylor “Active Appearance Models”, *In Proceeding of the IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pp.681–685, 2001

P. Viola and M. J. Jones, “Rapid object detection using a boosted cascade of simple features” *CVPR Vol. 1*, pp. 511–518, 2001

G. J. Edwards, T. F. Cootes, C.J. Taylor, “Face Recognition Using Active Appearance Models” *In Proceeding of the 5th European Conference on Computer Vision–Vol.II*, pp.581–595, 1998

T. F. Cootes, C. J. Taylor, D. H. Cooper, and J. Graham, “Active Shape Models–Their Training and Application” *Computer Vision, Graphics and Image Understanding*, 61(1), pp.38–59, 1995

<http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/develop/>

<https://picasaweb.google.com>

<http://www.face-rec.org/new-papers/>

<http://www.acure-fun.net/innovation/index.html>

<http://www.dnp-signage.jp/product/hitlog.html>

引用文献（注）

1. T. Cootes and et. al, “Active shape models – smart snakes”, In *BMVC1992*, pp. 266-275, 1992.
2. T.F. Cootes, G.J Edwards, and C.J Taylor “View-based Active Appearance Models” *Image and Vision Computing 20(2002)*, pp.657–664, 2002
3. M. Kass, A. P. Witkin, and D. Terzopoulos, “Snakes: Active contour models” *IJCV, Vol. 1, No. 4*, pp. 321–331, January 1988
4. A. L. Yuille, D. S. Cohen, and Hallinan P. W, “Feature extraction from faces using deformable templates” *In CVPR89*, pp. 104-109, 1989
5. Ian Matthews, Simon Backer “Active Appearance Models Revisited”, *International Journal of Computer Vision, Vol. 60, No. 2*, pp.135–164, 2004
6. A. Lanitis, C. J. Taylor, and T. F. Cootes, “Automatic interpretation and coding of face images using flexible models” *PAMI, Vol. 19, No. 7*, pp. 743-756, 1997
7. G.J. Edwards, A. Lanitis, Christopher J. Taylor, and T.F. Cootes. “Statistical models of face images: Improving specificity” *IVC, Vol. 16, No. 3*, pp. 203-211, 1998
8. G.J. Edwards, C.J. Taylor, and T.F. Cootes, “Improving identification performance by integrating evidence from sequences” *In CVPR99*, pp.486–491, 1999

9. 福井和広, 山口修, “一般化差分部分空間に基づく制約相互部分空間法” 信学論 (D-II), Vol. J87-D-II, No. 8, pp. 1622-1631, 2004
10. Eng-Jon et al, ”Robust Facial Feature Tracking using Selected Multi-Resolution Linear Predictors,” *IEEE International Conference on Computer Vision 2009, no.997, pp.1483-1490, 2009*
11. <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>
12. <http://detectface.com/>
13. 山口修, 福井和広, “顔向きや表情の変化にロバストな顔認識システム ‘Smartface’ ” 電子情報真学会論文誌, D-II, Vol.J84-D-II, No. 6, pp.1045-1052, 2001
14. <http://intel.cognovision.com/intel-aim-suite>
15. <http://www.nec.co.jp/products/robot/>