

3

安心安全を守る バイオメトリクス技術

今岡 仁¹ 溝口 正典² 原 雅範²

¹NEC 情報・メディアプロセッシング研究所 ²NEC 第二官公ソリューション事業部

バイオメトリクス個人認証技術

社会の電子化やオープンネットワーク化に伴い、本人認証を必要とする機会がますます増えてきている。我々の身の回りだけでも、コンピュータへのログイン、銀行 ATM でのキャッシュカードの利用、クレジットカードの利用、会社やマンションへの入退場など、その例として挙げることができる。通常、これらの場面で個人認証を行う場合には、パスワードや暗証番号などを利用する知識認証と呼ばれる方法、または磁気カードや IC カードを用いる所有物認証と呼ばれる方法が一般的である。しかし、これらの方法は、パスワードを忘れたり、カードを盗まれたり偽造される危険性があり、十分な方法であるとはいえない。生体認証技術はその点、パスワードや暗証番号による認証方式とは異なり、紛失や忘れることがないという利点がある。これまで、生体認証には指紋や静脈や顔など、さまざまな特徴を使って認証する方式が提案されている。

長年にわたり指紋や顔の自動照合技術における精度向上の研究開発が進められてきた。指紋や掌紋については、逮捕された犯罪者がすでに前科のために登録されている人物と同一人物であるかを識別することや、容疑者の指紋や掌紋と犯行現場に残された遺留指紋や遺留掌紋とを比較した結果を証拠として提供するために用いられている。特に現場に残された指紋や掌紋を撮影した画像には、さまざまなノイズが重畳している場合があり、コンピュータを用いた指紋や掌紋の照合を行う場合においても、このよ

うなノイズが重畳した画像から対象とする指紋や掌紋の照合に用いる特徴量を抽出することが、非常に重要になってきている。また、指紋照合は本人認証へも応用されているが、画像認識技術という面では、皺や傷、乾燥指などに起因して採取画像が低品質な場合に照合精度が低下する問題があるため、ノイズ除去と強調の画像処理は実用化において重要な技術であると言える。

一方、顔については、パスポート顔写真における個人認証や、警察での犯罪捜査、駅や街頭など公共施設における映像監視など、さまざまな用途に利用されている。顔における照合技術特有の利点として、(1) 入力された顔が履歴として残るため、不正利用や誤認識した場合にその本人の特定が容易であり、不正行為を事前に抑止する効果が期待できる、(2) 入力デバイスとしてカメラを利用するため、ある程度離れた距離からでも照合することが可能である点が挙げられる。

本稿では、バイオメトリクス個人認証技術の中でも指掌紋と顔における照合技術や課題、応用事例を紹介する。

指紋掌紋画像照合技術

◆ 指紋掌紋画像の照合処理における技術課題

指紋の自動照合の研究を開始してからまもなく 40 年を迎えようとしている。これまで、照合精度を向上させるための画像前処理技術、特徴抽出技術、照合処理技術のそれぞれの研究開発で多くの

利用分野	用途	技術課題(高精度化, 高速化, 高セキュリティ化)
犯罪捜査	十指カード照会 遺留照会	画像強調(ノイズ除去) 特徴抽出(低品質画像対応) 紋様分類(大規模DB検索範囲制限) 4指Slap画像からの個別指分離(セグメンテーション) 高解像度スキャナ対応(高精細による情報量増) 第3レベル特徴抽出(汗腺孔などの微細特徴利用) 画像データ圧縮(高圧縮率)
公共	パスポート 出入国管理 国民ID 社会保障	ICカード連携(国際標準化, 発行管理, アクセス管理) 自動化ゲート連携(高速化, 偽変造指対策) 大規模DB照会(広域ネットワーク, 多重登録防止) 高品質画像採取(高対応率: 誰でも利用可)
民間・一般	職員認証 会員認証 電子マネー	IDM連携 テンプレート保護(Cancelable Biometrics) ICカード連携(On-Card-Comparison, System-On-Card)

表-1 指紋掌紋照合処理関連の技術課題

成果を上げてきている¹⁾。NECは米国の標準技術研究所(NIST)で実施された指紋照合関連の複数のベンチマークテストでトップ成績を収めるに至っている^{2), 3)}。指紋や掌紋の照合処理における技術課題を表-1にまとめた。これらのうちのいくつかは、NISTのベンチマークテストの項目ともなっている。なお、本稿では詳細な紹介はしないが、登録指紋のデータベースを作成するためには、高品質な指紋画像を採取できる指紋採取用のスキャナ技術も重要である。これに関しては国際的には、FBIが策定したスキャナの画像品質規格IQSの認定品を使うことが多くなっている。また、各ベンダやNISTの開発した画像品質値を用いて高品質画像を選択するようにもしている。

照合精度を本人拒否率で 10^{-3} 以下、他人受け入れ率で 10^{-6} 以下まで調べようとすれば、数千から数万規模のサンプルデータを必要とする。しかし、このような大規模なベンチマークテストを実施することはコスト的に難しい面がある。この点でNISTのベンチマークテストは他のテストに比べ実データを使った大規模なものでかつ、第三者評価である点を考慮すると信頼できる結果を提供している。結果の詳細については文献2)のURLで公開されているため誰でも容易に知ることができる。その中には遺留指紋照合の自動化を目指し、現在の技術開発状況の把握と、評価用画像を共有しながら性能改善を目指すべく実施されているEvaluation of Latent

Fingerprint Technology (ELFT) というテストがある。

現場に残された指紋や掌紋を撮影した画像には、さまざまなノイズが重畳している場合があり、コンピュータを用いた指紋や掌紋の照合を行う場合においても、このようなノイズが重畳した画像から、対象とする指紋や掌紋の情報だけを抽出することが非常に重要になっている。本稿で紹介するのは特に犯行現場に遺留された指紋画像や掌紋画像に重畳した曲線縞模様ノイズを除去する技術である。一般人の指が触れる場所は、その人間のとり得る姿勢や腕や手の動作範囲が制約されているため、同じ場所に複数の指紋が重なってしまう可能性も多いと考えられる。本技術はそのような場合にも非常に有効な技術であり、対象となる指紋や掌紋に関する豊かな経験と高度な画像処理技術力によって初めて実現可能となったものである。

◆ 指紋と曲線縞模様

曲線縞模様状の隆線によって構成される指紋は、終生不変および万人不同という特徴を持っているため、古くから犯罪捜査に利用されている。特に、犯罪現場に残された遺留指紋を用いた照合は効果的な捜査手段である。近年、多くの警察機関では、コンピュータを利用した指紋照合システムが導入されている。しかし、遺留指紋の画像は低品質でノイズを含むものが多いため、鑑識官による鑑定や照合の自



図-1 対象指紋画像



図-2 第1のノイズ画像

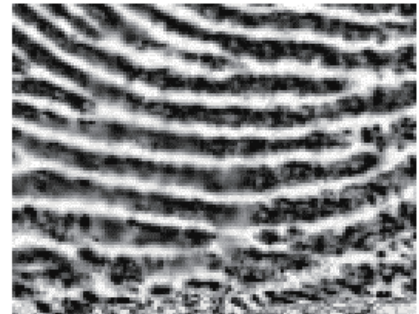


図-3 第2のノイズ画像

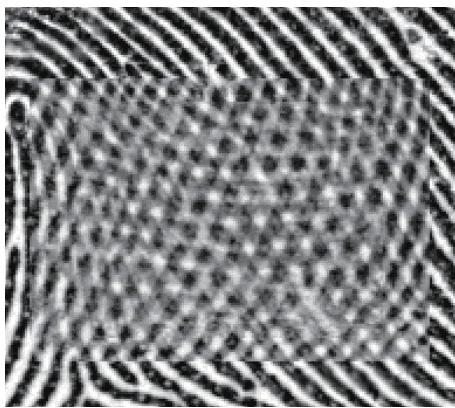


図-4 第1と第2のノイズ画像が重畳したノイズ重畳画像

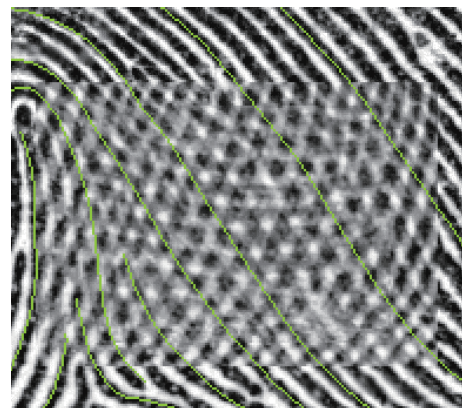


図-5 ノイズ重畳画像で対象指紋の隆線方向を指示したもの

動化が困難な場合があった。

遺留指紋の画像には2つ以上の指紋の隆線が重なった重複指紋の画像や、曲線縞模様状になった擦れを含む画像がある。重複指紋の場合、1つの指紋を処理対象とすると、他方は背景ノイズと見なすことができる。以下では曲線縞模様状の背景ノイズを曲線縞模様ノイズと呼ぶ。曲線縞模様を成す文字やかすれも曲線縞模様ノイズに該当することになる。この曲線縞模様ノイズは、曲線縞模様である点が処理対象の指紋と共通している。したがって、重複指紋から対象指紋情報のみを抽出することや、対象指紋を劣化させずに、ノイズと見なされる曲線縞模様を除去することは非常に困難であった。

◆ 対象指紋の曲線縞模様のノイズ除去強調処理アルゴリズム

ここでは3種類の指紋画像が重畳した画像を例にシミュレーションを用いて、開発した隆線の強調

処理アルゴリズムの効果について紹介する。図-1がここで対象とする指紋画像であるとする。図-2、図-3はそれぞれ第1、第2のノイズとなる指紋画像である。そしてこれらが重畳したものが図-4であり、事件現場から採取された画像を模したものとする。したがって、この強調処理での目標は図-4からいかに図-1を再現できるかということになる。

この問題に対してこれまでいくつかの処理方式が提案されている。たとえば、局所的な2次元フーリエ変換によって、縞模様の周期(線の間隔)と方向を解析し利用する方法がある。たとえば、図-5は人手により対象画像のノイズを含む領域において、着目する隆線方向を曲線で大まかに1本おき程度に示したものであるが、このように示された方向の成分だけを残す方法がいくつか提案されている。しかしながら、ノイズの縞模様の方向と対象指紋の曲線状縞模様の方向が近い領域では、2次元フーリエ変換された空間で、着目する隆線紋様に起因する成分と

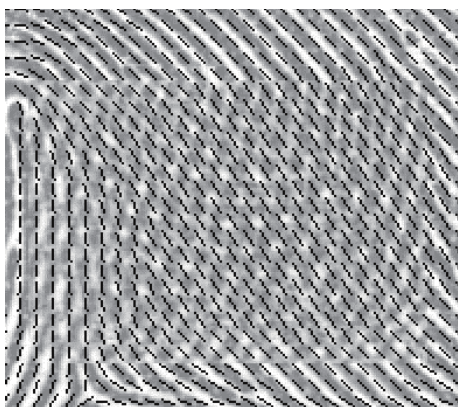


図-6 ノイズ重畳画像の局所領域別隆線方向推定結果



図-7 ノイズ重畳画像から対象画像を強調処理した結果

ノイズに起因する成分が近傍に存在するため、ノイズ成分だけをうまく分離し除去することができないという欠点があった。

今回開発した新技術では、まず図-5の人手による対象指紋に対する隆線情報をもとに、図-6のような対象画像を細かなブロックに分けた局所領域ごとに隆線方向を推定した画像を作成する。次に人手による対象指紋の隆線情報は使わずに、すなわちノイズ重畳画像だけからブロックごとの局所領域の隆線方向を推定した画像を作成し、各局所領域ごとに、人手による情報を用いて得られた図-5の隆線方向との差異を見て、あらかじめ設定した規則に従って、ノイズを除去した画像を生成する。この例では2種類のノイズが重畳しているため、いったん生成したノイズ除去画像に対して、さらにもう一度局所領域ごとの隆線方向抽出を行い、その画像に対して局所領域ごとに図-5をもとにした人手による対象指紋の方向情報との差異を求め、あらかじめ設定した規則に従ってノイズを除去した画像を生成する。図-7はこのようなノイズ除去処理を2回行った結果を示したものである。図-1に示した対象画像がかなり正確に再現されていることが分かる。

ノイズ除去を行う際に、あらかじめ設定した規則に従って行うと述べたが、ここでは従来手法で用いた2次元フーリエ変換処理による、局所領域単位で隆線方向に合わせるような処理は行っていない。本手法では、対象とする隆線方向に沿った画像の濃淡値の変化を見る点に特徴がある。ノイズが重畳して

いなければ対象画像の隆線方向に沿った濃淡値がほぼ一定であるのに対し、ノイズの重畳がある場合には濃淡値に大きな変動が生じる。つまり対象とする隆線方向に沿った濃淡値の大きな変動からノイズ成分の存在を直接把握している。得られたノイズ方向成分を除去する際には、濃淡値変動から推定した縞模様ノイズ成分の方向が、対象とする隆線自体の方向と近い場合にはノイズ除去の度合いを弱め、対象とする隆線情報まで除去されることを防いでいる。本手法は、3つ以上の方向成分があった場合でもノイズ成分を順次除去することで対処でき、ノイズが縞模様状と見なせるものであれば有効である。

◆ ノイズ除去処理の実証例

実際のノイズ重畳画像に対する本手法の適用例を紹介したいと思う。図-8は右上部分に他の指紋によるとと思われるノイズ、右下に文字ノイズがそれぞれ重畳している。これに対し、図-9に示したような対象隆線方向を人手により指示したとき、得られる最終的なノイズ除去強調画像が図-10である。

このようなノイズが重畳した画像からでも、より正確に隆線情報を抽出できることになったのである。従来はノイズが重畳したままの画像を見ながら隆線連続性や特徴点を調べるという非常に複雑で困難な作業を必要としていたが、比較的簡単な「大まかな対象隆線の流れをいくつか指示する」という作業を行うだけで、ノイズ除去強調画像を用いた隆線情報のより正確な抽出ができるようになった。

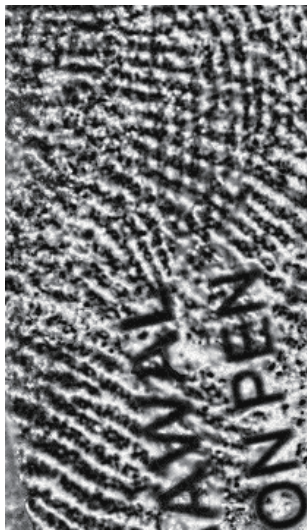


図-8 実際の文字ノイズ重畳画像

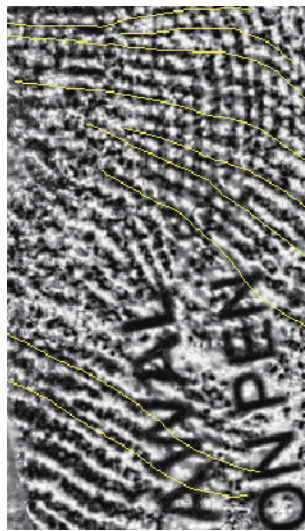


図-9 対象隆線方向の指示

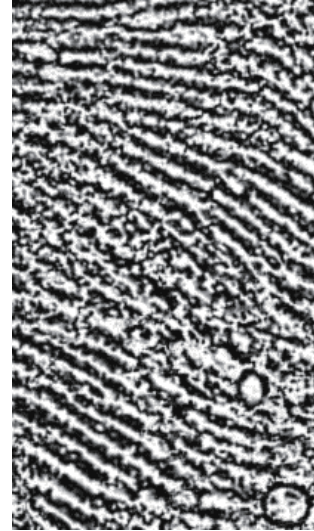


図-10 ノイズを除去した結果画像

さらにノイズを除去した画像の品質が比較的良好な場合には、コンピュータによる自動指紋照合を行う特徴の自動抽出ができるようになった。従来の遺留指紋の照会処理では、遺留指紋画像が不鮮明なことが多く、ノイズの強度が比較的大きいため、コンピュータによる自動照合用の特徴抽出までの自動化はなかなか困難であった。しかしながら、本技術によって、照合のための特徴抽出の仕様のかなりの部分をコンピュータ化することができるようになってきたと言えるのである。

◆ 今後の展開

本稿で紹介した指紋掌紋画像のためのノイズ除去強調画像処理技術では、対象とする隆線方向を人手で指示する必要があった。これをすべて自動化することも期待されており、これが実現すれば犯罪現場での利用がより簡便になるだけでなく、近年国際問題となっているテロ対策に向けた大規模な捜査等においても、このノイズ除去機能の高い自動化照合技術の導入は大きな効果があると考えられる。

顔画像照合技術

顔画像照合技術の歴史は長く、1960年代には米国で国家安全保障の観点から研究が始まっている。当初の顔照合技術は目や鼻などの特徴点を手動

で与え、特徴点間の距離の比率などを比較することにより、照合する方式であったが、90年代に入り、TurkとPentlandにより固有顔法と呼ばれる主成分分析を用いた方法が発表され、それ以降、研究開発や製品化が活発化した。現在では、主成分分析を用いた固有顔法のほか、線形判別分析を用いたFisherface法、弾性バンチグラフマッチング法、隠れマルコフモデル法など、数多くの手法が提案されている。

◆ 顔照合処理の概要

図-11に顔照合システムにおける処理の流れを示す。比較対象となる画像を登録画像と照合画像とし、それぞれの画像に対して、顔検出処理を行い、画像中から顔位置を特定する。顔検出処理については、AdaBoost、ニューラルネットワーク、GLVQ等を用いた手法が提案されており、画像の端から順にサーチして、図-12に示すように小領域が「顔」か「非顔」の2クラス識別器を用いて判定する手法が一般的である。

次に検出された顔に対して、瞳中心や鼻下や口端などの顔の特徴点の位置を検出する。特徴点位置検出処理については、Elastic Bunch Graph Matching (EBGM) や Active Appearance Model 等が知られており、たとえばEBGMでは、顔パターン上に設定されたいくつかの特徴点（たとえば、瞳中心、鼻

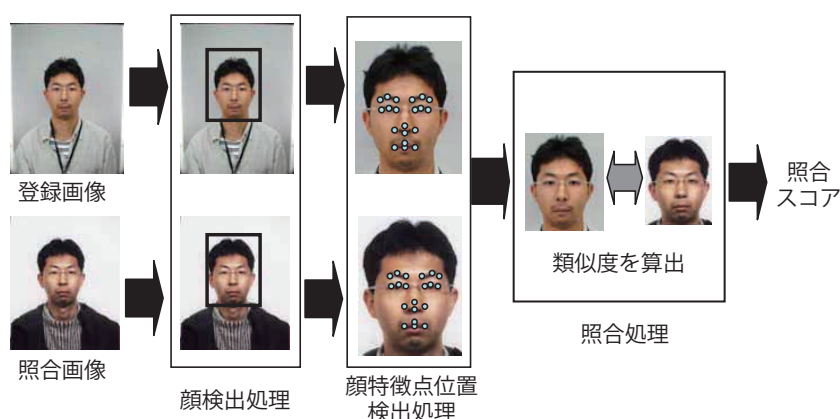


図-11 顔認証処理の概要

先、口端など）を端点としたグラフにより顔パターンを表現し、画像から抽出された特徴量とグラフの形状を用いて部品位置を決定する。

最後に、顔の特徴点位置を用いて顔のサイズや位置を正規化した画像を生成した後、照合処理を行う。照合処理については、姿勢照明や加齢や表情の変化など、種々の顔画像の変動要因に対して頑強な方式が望まれている。このような課題に対して、1枚の顔画像から照明や姿勢の異なる複数の画像を生成する変動画像生成法や、学習により識別に有効な特徴を抽出する方法など、種々のアプローチがとられている。

◆ 顔照合結果例

図-13に照合結果例を示す。左側が照合画像で、右側が登録画像である。上段の照合画像と登録画像は同一人物の画像であり、下段の照合画像は異なる人物の画像である。照合スコアは中列に棒グラフで表され、閾値以上の場合には本人、閾値以下の場合には他人と判定されたことを意味している。上段の結果は照合スコアが閾値よりも高いため本人と判定され、下段の結果は照合スコアが閾値よりも低いため他人と判定され、正しく判定されたことが分かる。

◆ NISTによる性能評価

顔照合では、処理の概要で述べたように画像の変動により性能低下することが問題となっており、安

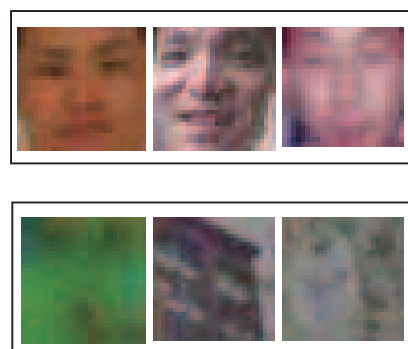


図-12 顔（上段）と顔以外（下段）の画像例

心安全を守る技術を確認するためには、照合の高精度化が最重要課題である。

NISTでは、顔照合技術に関する性能評価を1993年から数年おきに継続的に実施している。筆者らのグループは2010年に実施された最新の評価プログラム Multiple Biometrics Evaluation^{4), 5)}に参加し、犯罪記録から抽出した160万人の顔画像から92%の1位検索率、ビザ申請時に使われた180万人の顔画像から95%の1位検索率という他の参加組織に比べて高い検索精度を得ている。また、照合精度についても、誤照合率（他人受入率を0.1%にしたときの本人拒否率）については、犯罪記録の顔画像に対しては4%、ビザ申請顔画像に対しては0.3%となった。特にビザ申請顔画像における誤照合率は、他の参加組織に比べてほぼ1桁高い性能を得ている。

筆者らは、MBEで使用する評価画像に対して、姿勢・照明変動のようなモデル化が容易な画像変動と、表情・経年変化のようなモデル化が困難な画像

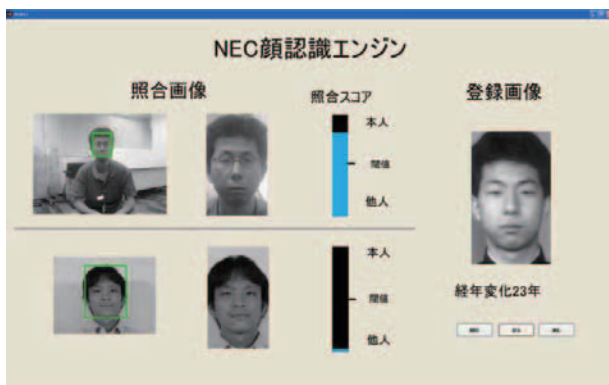


図-13 照合結果例

変動に分け、これらの問題に対して、個別のアプローチを取る方法を採用した。モデル化が容易な変動については、1枚の画像からさまざまな姿勢・照明の異なる画像を生成する「摂動空間法」や、顔から目尻、目頭や口角など多数の特徴点を抽出し、高精度な位置合わせをする手法を用いた。また、モデル化が困難な画像変動については、大量の顔画像データから個人を識別するために有効な特徴を抽出する学習ベースの手法「多元特徴識別法」を用いた。さらに、ネグロイド、コーカソイド、モンゴロイドなどさまざまな人種に対応するため、大規模かつ多人種の顔画像データベースを構築し、識別学習に利用した。このように阻害要因別のアプローチを採用したことにより、高い認証精度を達成したと考えている⁶⁾。

NISTによるこれまでの評価プログラムで、最高性能のアルゴリズムは1993年に誤照合率が79%、1997年に54%、2002年に20%、2006年に2.6%、2010年に0.3%と、年を経るごとに改善されており、今後もさらなる改良により、安心安全な顔照合技術

が確立されることを期待する。

◆ 顔照合技術の応用例

International Biometric Groupの調べでは、2009年のバイオメトリクス全体の市場は34億ドルであり、そのうち顔照合は11.4%である⁷⁾。5年後の2014年には、バイオメトリクス市場は94億ドルに拡大すると予想されている。国内でもIC旅券の発行が2006年3月から始まり、その中に顔画像情報が書き込まれたICチップが入っている。また、外国人入国者に対しては、顔や指紋の個人識別情報の提供が義務づけられており、犯罪者リストとヒットした人物に対しては入国を拒否、身柄を拘束することができる。

表-2に顔照合技術を用いた応用事例を示す。顔照合技術の応用事例として、非セキュリティ用途もあるが本稿ではセキュリティ用途に絞って説明する。まず、政府系用途としては、出入国管理や犯罪捜査などにこれまで使われてきたが、今後、照合性能が改善されるにつれて空港や公共施設などへの映像監視が広がっていくと考えられる。また、運転免許証や国民IDなどの証明書の偽造防止には、名前を変えて重複登録を行うなどの犯罪に対して、重要な役割を担うと推察される。

次に、企業系用途に関しては、オフィスビル管理の入退管理や監視に普及していくと考えられる。入退管理は指紋などの他のバイオメトリクスやICカードなどと競合になるが、顔は照合された顔画像が履歴として残るため、他の方式にはないメリットがある。照合されなかった顔に関しては、人物追跡を

利用規模	用途	応用事例
政府	出入国管理 犯罪捜査 映像監視 証明書管理	電子パスポートを用いた本人確認 犯罪者、行方不明者の顔画像による人物検索 空港など公共施設での人物行動監視 運転免許証、国民IDなどの偽造防止チェック
企業	入退管理 映像監視	オフィスビルの出入口やゲートでの入退室管理 不審者の行動追跡や人物検索
個人	入退管理 侵入者検知 ロック解除 運転支援	マンションの出入口などでの入退場管理 マンションや戸建て住宅への侵入者検知 PCや携帯でのセキュリティロック解除 わき見運転防止や居眠り検知

表-2 顔照合技術の応用事例

行うなど、映像監視技術と連携が期待される。

個人用途については、マンションの入退管理や、PCや携帯のロック解除などですでに実用化されている。また、照合用途ではないが、わき見運転防止や居眠り検知などの運転支援や、たばこ自動販売機での成人識別にも、顔画像を用いた認識技術が利用されている。

以下に、筆者らの所属する NEC の顔検出・顔照合エンジンを使った政府系の応用事例を紹介する。

香港入国管理局では、出入国審査の際に自動車に乗車したまま顔照合を行い、自動的に本人識別を行う出入国ゲート管理システムを 2007 年より導入した。香港では、全住民の ID カード化が実現しており、個人識別情報が登録されている。さらに、車ごとにドライバが 1 対 1 で登録されており、車のナンバーからドライバが特定できるため、出入国ゲート進入時に車のナンバーを識別し、ドライバが特定できる。ドライバが顔認証により本人であることが特定されると、出入国業務が完了しゲートが開かれる。本システムでは、非接触という顔認証の利点を活かし乗車したまま認証が行えるため、審査がスムーズに行える。

◆ 顔照合技術の課題

顔照合技術がさらに普及するために克服しなければならない課題を述べる。顔照合は他のバイオメトリクス個人認証と異なり、離れた場所からでも照合できる識別しやすい特徴を使っているのが利点である。監視映像における顔照合は、カメラに対して正面を向いていないため、姿勢変動による識別性能低下の影響が大きい。また、画面上に写った顔が小さいことも多く、個人識別するための十分な解像度の画像が得られない。さらに、動画の場合には、カメラ前を横切る時間が短いため、処理速度の高速性が要求される。すなわち、映像監視に顔照合を利用するためには、姿勢変動や画質低下に対する頑強性と、リアルタイムに処理ができる高速性の両方を兼ね備えている必要がある。今後は、これらの技術が開発されることを期待したい。

今後に向けて

本稿では指紋や顔の技術や応用事例を説明した。指紋照合技術については、確立した技術という側面はあるが、照合のための情報抽出方式の高度化や、さまざまな異なる特性を持った照合方式を組み合わせるなど、改善の余地がある。顔照合技術についても、監視などで利用される斜め上方からの画像に対する照合性能の改善などが課題である。今後、これらの課題が克服されることで、バイオメトリクス個人認証技術が、安心安全な世界の実現に寄与することに期待する。

参考文献

- 1) 星野 (監修), 画像電子学会 (編集): 指紋認証技術—バイオメトリクス・セキュリティ, 東京電機大学出版局 (June 2005).
- 2) 米国技術標準局 (NIST) の指紋テスト関連 Web ページ, <http://fingerprint.nist.gov/> (Results shown from the Evaluation of Latent Fingerprint Technologies do not constitute endorsement of any particular system by the U. S. Government.)
- 3) 米国技術標準局 (NIST) の遺留指紋照合技術評価テストにおいて第 1 位の評価を獲得, NEC プレスリリース (2009.4.16), <http://www.nec.co.jp/press/ja/0904/1602.html>
- 4) 米国技術標準局 (NIST) の MBE Web ページ, <http://www.nist.gov/itl/iad/ig/mbe.cfm> (Results shown from the benchmark test results by NIST do not constitute endorsement of any particular product by the U.S. Government.)
- 5) 米国国立標準技術研究所 (NIST) のベンチマークテストにおいて, NEC の顔認証技術が第 1 位の評価を獲得, <http://www.nec.co.jp/press/ja/1006/3002.html>
- 6) 今岡, 早坂, 森下, 佐藤, 広明: 顔認証技術とその応用, NEC 技報, Vol.63 (2010).
- 7) International Biometrics Group, <http://www.biometricgroup.com/>

(平成 22 年 10 月 12 日受付)

今岡 仁 (正会員) h-imaoka@cb.jp.nec.com

1997 年大阪大学大学院工学研究科応用物理学専攻博士課程修了。同年 NEC 入社。以来、脳視覚情報処理、顔認証技術に関する研究開発に従事。現在、NEC 情報・メディアプロセッシング研究所主任研究員、博士 (工学)。

溝口 正典 (正会員) m-mizoguchi@cd.jp.nec.com

NEC 第二官公ソリューション事業部上席ソフトウェアアドバンストテクノロジスト。1980 年東京工業大学大学院総合理工学研究科電子システム専攻修士課程修了。同年 NEC 入社。以来、高並列画像処理、ニューラルネット、指紋照合処理などの技術開発に関する研究開発、製品開発に従事。

原 雅範 m-hara@da.jp.nec.com

NEC 第二官公ソリューション事業部グループマネージャ。1980 年京都大学大学院数理工学修士課程修了。同年 NEC 入社。以来、指紋照合アルゴリズムの研究開発、指紋照合システム開発に従事。