立ち位置変動を考慮した顔照合セキュリティシステム「FacePass」の開発

“FacePass” — Development of a Face-Recognition Security System Unaffected by Entrant's Stance

佐藤 俊雄^{†,††}, 助川 寛[†], 横井 謙太郎[†],
土橋 浩慶[†], 緒方 淳[†], 正会員 岡崎 彰夫[†]

Toshio Sato^{†,††}, Hiroshi Sukegawa[†], Kentaro Yokoi[†], Hironori Dobashi[†], Jun Ogata[†] and Akio Okazaki[†]

Abstract A face-recognition security system for access control is described that is unaffected by the stance of the entrant. Although face recognition has several advantages compared to other biometric techniques, the similarity value used for recognition is affected by the direction that the entrant is facing, the entrant's position relative to the equipment, and the lighting conditions. The proposed system eliminates the second problem by using feedback to stabilize the entrant's position and an efficient method to update the registered data. A six-month evaluation of a prototype system showed that it had a FAR(false acceptance rate) of 0.1% and a FRR(false rejection rate) of 1%. Simulation of one-to-many identification showed that contact-less security is feasible using this system.

キーワード：動画像，セキュリティ，顔認識，バイオメトリクス，部分空間法

1. ま え が き

セキュリティへの関心が高まっている最近の状況において，本人特定手段のひとつである生体照合技術が注目されている¹⁾．生体照合技術として多くの方法が提案されている中で，顔照合は，非接触照合における使い勝手の良さや²⁾，人間にもわかりやすい映像を入力情報にできる点など独特の特長がある．この特長により，顔照合技術を入退室管理などのセキュリティシステムへ応用する試みが従来よりなされているが³⁾，ID入力などで登録データを選ぶ操作を必要としており，顔照合方式の非接触入力という良さが十分に生かされていない．

我々は，照合処理の全てを非接触に実施できる（これを「ハンズフリー」と呼ぶ）顔照合セキュリティシステムの実現を目指している．これを実現するためには，ドアを通過するときの一般的な姿勢である直立状態での顔照合における性能と，ユーザに登録データの選択操作をさせることなく複数の登録データと比較する照合（これ

を「1対多照合」と呼ぶ）の性能に関する評価を行っておく必要がある．

直立の状態で顔を照合する場合には，カメラの前に立つ人物の状態により顔パターンが変動することを考慮しなければならない．具体的には，顔の向きの変化や，立ち位置が変化することにより発生するパターンのサイズや照明に対する陰影等の変動について考える必要がある．顔の向きの短期的な変化に対しては，動画像から得られる複数の画像を用いる相互部分空間法などのアルゴリズムが有効であることが報告されている⁴⁾⁵⁾．本論文では，この相互部分空間法による顔パターン照合をベースに，新たに立ち位置変動への対応を加えることで，実用的な顔照合セキュリティシステムが実現できることを示す．

立ち位置の影響を受けにくい顔照合を実現する方法として，変動そのものを低減させることと，変動を考慮したパターン認識手法を適用することの2つが挙げられる．変動そのものを低減させる方法として，立ち位置に関する適切なフィードバックをユーザに与えることが考えられる．例えば，入力画像と処理結果を表示することにより³⁾⁴⁾，ユーザに繰り返し同じ位置に立たせる工夫が考えられるが，その効果については充分検証されていない．本論文では，まず顔に関する検出結果を画面に表示するフィードバックを検討し，その効果の確認を行う．

しかし，フィードバックをユーザに与えても変動を完

2001年12月3日受付，2002年5月2日最終受付，2002年5月16日採録

[†]株式会社 東芝 e-ソリューション社

(〒212-8501 川崎市幸区柳町70, TEL 044-548-5734)

^{††}福井大学

(〒910-8507 福井市文京3-9-1, TEL 0776-23-0500)

[†]e-Solutions Company, Toshiba Corporation

(70, Yanagi-cho, Saiwai-ku, Kawasaki, 212-8501, Japan)

^{††}Fukui University

(3-9-1, Bunkyo, Fukui, 910-8507, Japan)

全に抑制することは困難であり、パターン認識手法による対応も合わせて考える必要がある。顔のサイズなどの線形なパターン変動は正規化処理⁴⁾により吸収できると考えられるが、照明に対する陰影状態の変化への対応は正規化処理のみでは充分ではない。また、前述した動画像を用いる相互部分空間法でも⁵⁾、照合毎に変化する立ち位置に関する変動への効果は限定的である。一方、汎用的かつ効果的にパターン変動に対処する方法としては、登録データ(辞書パターン)への学習があり、顔パターンの経時変化に対する登録データ更新の有効性が報告されている⁶⁾。そこで本論文では、立ち位置の変化も経時変化のひとつと捉えて、前述のフィードバック表示に加えて登録データにパターン変動を学習させる方法をさらに検討する。

以下、まず2章では顔照合処理の概要を述べ、続いて3章では、立ち位置の変動を抑制するフィードバックの方法について検討を行う。さらに、4章では効果的な登録データの更新方法について述べ、フィードバックの方法と合わせて6カ月間に収集したデータを用いて評価を行う。最後に、5章では、入退管理を主目的とした顔照合セキュリティシステムを実際に設計するとともに、ハンズフリー機能を実現するための「1対多照合」の実用性を示す。

2. 顔認識処理の概要

本論文では、相互部分空間法⁴⁾⁵⁾⁷⁾に基づいて顔認識処理の設計を行う。顔認識に相互部分空間法を用いることで、動画像に含まれる複数の画像を利用することができ、顔の向きなどの短期的に発生する変動の影響を抑制することが期待できる⁴⁾。

顔認識処理の手順を図1に示す。まず、ビデオカメラでとらえた1枚の画像に対して標準的な顔パターンとのマッチングにより顔領域を検出し、その範囲を中心に分離度フィルタにより抽出した特徴点から両目と鼻孔に対応する4点を抽出する⁸⁾。

検出された両目と鼻孔の4点に基づいて、元画像から眉から口までの範囲を切り出して、サイズ(30×30画素)と濃度の正規化を行う。その後、2×2画素の平均値を求めて15×15画素のパターンに変換し、さらに縦方向に差分を求めて、最終的に15×14画素の顔パターン、すなわち210次元の特徴量データを獲得する。その後、両目と鼻孔を検出できた連続する7フレームから特徴量を収集し、KL展開により7面の部分空間を求める。同様に、複数フレームから作成された登録データからも部分空間を作成しておき、入力データの部分空間との類似度を求める⁴⁾。

さらに、全データに対する差分部分空間から計算される制約部分空間と名付けた部分空間に射影することも検討する⁷⁾。この場合には、同じ射影により変換された登

図1 顔認識処理の手順。右上は顔と目鼻検出結果、右下は縦方向差分までの6フレームの中間結果の例。

A process flow of face recognition. Examples of detection of face, eyes and nostrils(right upper), and sequential images of the vertical subtraction process.

録データの部分空間との類似度を相互部分空間法を用いて計算する。この射影により、照明に対する変動を抑制し、個人間の違いを強調することが期待できる。

図1の処理は、Pentium III 700MHzのCPUを搭載したパーソナルコンピュータ(メモリ:128MB, OS:Windows98)にNTSCビデオカメラ(東芝IK-TU-40D)とビデオキャプチャカード(アイオーデータGV-VCP2M/PCI)を接続することで、10フレーム/秒で処理を実行することができる。また、入力データに対して過去7フレーム分の特徴量を保持することで、連続的に部分空間を変更して求めて類似度の出力を行う。例えば、50フレームの入力画像に対しては連続的に最大44個の類似度データを得ることができる。今回のシミュレーションでは、1回の照合を50フレームの入力とし(これを「試行」と呼ぶ)、連続して得られる類似度の中の最大値を1試行の照合結果とする。

次章以降では、図1に示す顔認識処理に破線で示す処理を改良または追加することで、直立姿勢の顔認識における性能確保を行い、またID入力を必要としない1対多照合による顔照合セキュリティシステムの実現可能性について示す。

3. 立ち位置変動を低減させるフィードバック

3.1 画面によるフィードバック

装置と顔の位置関係の変化により生じる顔パターンの変動に対して、ユーザに顔の位置や処理結果に関するフィードバックを与えることで抑制する方法を検討する。

図 2 ユーザへフィードバックを与える画面の例
An example of feedback for users

具体的には、14 型液晶ディスプレイ (VGA 出力, 横 640 画素, 縦 480 画素) をビデオカメラの上に設置し, ユーザへのフィードバックの効果を確認する。

図 2 に, ディスプレイに表示するビデオカメラの入力画像と円で表現された目鼻検出結果の例を示す。ビデオカメラの入力画像については, 左右反転させて鏡のように自分の顔をモニタすることができる。ユーザには, 目鼻検出処理の成功を示す円が, 画面に表示されるように立つことを事前に指示している。これにより, ユーザが適切な位置に自ら移動したり, 繰り返し同じ位置に立つことを期待している。

目鼻検出結果については, 前章で説明した方法で検出した目の 2 点 (x_{el}, y_{el}) および (x_{er}, y_{er}) と, 鼻孔 (x_{nl}, y_{nl}) および (x_{nr}, y_{nr}) に対応する 4 点の座標値から, 以下に示す中心座標 (x_c, y_c) と半径 r から指定される円として, 入力画像にスーパーインポーズさせて表示する。

$$x_c = (x_{el} + x_{er})/2$$

$$y_c = (y_{el} + y_{er} + y_{nl} + y_{nr})/4$$

$$r = |x_{el} - x_{er}|$$

また, 顔が一定サイズから外れる場合にも結果を表示しないように設計しているので, 前後方向の立ち位置に対するフィードバックとしても機能する。これら表示は, 10 フレーム/秒で収集される各フレームに対して実時間で行っているため, 時間遅れの発生による違和感なく立ち位置や姿勢が調整できる。

3.2 フィードバックの効果

68 名の被験者に対して, 立ち位置を拘束せずに顔画像を登録させ, その直後に同じ位置で照合した場合を基準に, 前節で検討したフィードバック方法と, 画面の代わりに鏡を置いた場合との性能比較を行い, その効果を確認する。鏡は横 240mm, 縦 365mm のサイズのものを用い, 中心位置を合わせてカメラの上に設置する。鏡を用いる場合には, 映る範囲がカメラの画像とは一致せず, 目鼻検出結果も伝わらない。

登録データとの類似度は, 前章で説明した相互部分空

間法を用いて計算するが, ここではフィードバックの方法を比較評価することが目的であるので, 処理を簡単化するために制約空間への射影処理を省略している。得られる類似度に対して, 照合閾値 $THR1$ 以上の場合に「受入」と判定し, それ未満を「排除」と判定する。図 3 には, 他人の登録データに対する誤受入率 (他人受入率, FAR) と本人の登録データに対する誤排除率 (本人排除率, FRR) を $THR1$ を変化させて求めた結果を示している。ここで, FAR については, 68 名それぞれの登録データに対して自分以外の 67 名の照合データとの類似度を求めた $68 \times 67 = 4,556$ データに基づいて計算し, FRR については, 68 名の登録データに対する自分の照合データとの類似度から求める。なお, 図 3 の FAR と FRR の分布が次章で示す結果に比べて閾値の高いところに分布しているのは, 制約空間への射影を省略しているからである。

図 3 には, 直後に同じ位置で照合した場合 (Same Position), 画面によるフィードバック (LCD) と, 鏡を用いたフィードバック (Mirror) における, FAR および FRR の変化を示している。 FRR については, データ数は 68 と少ないが, 図 3 から, 鏡によるフィードバックで顔の位置を調整する方法に比べて, 今回検討した画面表示によるフィードバック方法が, 本人誤排除率を改善させていることがわかる。

表 1 には, FAR と FRR が同じ値をとるエラー率 (EER) を示している。ここでは, $THR1$ を変化させて FAR と FRR の差が最小となる組を求め, その FAR を EER の値としている。表 1 から, この EER においても画面表示によるフィードバックが優れていることがわかる。ま

表 1 フィードバックによる EER の変化
Changes of EER by feedback

条件	EER
立ち位置同じ	0.01%
画面によるフィードバック	1.54%
鏡によるフィードバック	3.43%

図 3 フィードバックの有無によるエラー率の変化
Recognition results with and without feedback

た、図3からすべての場合でFARはほぼ同じ特性であることから、このEERは主にFRRの変化をとらえていると考えることができる。

以上の結果から、立ち位置によるパターン変動に対して、入力画像と検出結果を提示する画面によるフィードバックは、単純に顔を写す鏡以上の効果を持っていることがわかる。画面によるフィードバックでは、画像における顔の位置および大きさの情報だけでなく、円表示の有無により処理が顔を検出していることをユーザーに伝達している。位置や大きさのフィードバックについては、鏡にマークを貼付することで類似した効果が期待できるが、目鼻検出ができていているという情報については与えられない。したがって、今回検討した画面によるフィードバックは、これらの情報が立ち位置の抑制に効果をもたらす点において優位であると考えられる。今回は目鼻検出の結果だけを表示する簡単な方法であったが、顔のサイズに対して範囲を限定するなどの工夫を行えば、さらに立ち位置を抑制できる可能性がある。

4. 負担の少ない登録データの更新方法

4.1 登録データの更新方法

続いて、立ち位置の変化を含めた様々な変動の影響を低減させるために、登録データの更新方法について検討を行う。登録データの更新では、ユーザーの負担が少ないことと、不適切な更新が行われないことが重要である。例えば、暗証番号などによる従来の本人確認手段を併用することは、これら問題を解決する可能性を持っている。

本論文では、図4に示すように、照合閾値 $THR1$ 未達の類似度の場合は、暗証番号など別の方法でユーザー本人を確認することで、入退室が許可されるとともに、更新閾値 $THR2$ 未達かつ $THR3$ 以上の類似度の場合は、その失敗の照合画像を用いて登録データを更新する方法を検討する。これにより、ユーザーが特別に意識することなく、登録データを随時更新することができる。また、更新閾値 $THR3$ を設けることで不適切なデータによる更新の防止が期待できる。

随時更新を行うために、部分空間を計算するための相関行列と、作成に利用したデータ数を保持しておく。これらに対して収集データを用いて更新し、新しい部分空間を求めることで新しい登録データを作成する⁹⁾。また、今回は制約空間への射影パラメータについては最初の登録時に作成し、その後は更新しないことにする。

4.2 実験

実験により、前節で検討した登録データの更新方法による照合性能への効果について確認する。実験には、図5に示す実験装置を用いて収集した6カ月間の顔画像データを利用する。実験装置は8.4型カラー液晶ディスプレイを搭載しており、VGA出力(横640画素、縦480画素)にて前章で検討したユーザーへのフィードバックを

図4 辞書更新の手順
A flow to update registered data

出力している。ビデオカメラ(東芝 IK-TU-40D)は、液晶ディスプレイの下端から40mm下の位置に、上向き30度で取り付けられている。また、照度の変動を受けにくくする目的で、装置の右端と下端に、冷陰極管による照明を設置している⁹⁾。その他の装置構成および顔の認識方法は2章で説明した内容と同一である。なお、この装置は窓から離れた室内に設置し、太陽光が直接装置に入らないようにしている。

この実験装置を利用し、89名の被験者に対してフィードバックを与えて6カ月間運用を行い、18,639試行のデータを収集した。各試行に対して50フレームの画像(10フレーム/秒)を記録している。また、登録直後に各ユーザー毎に別の20試行のテストデータを収集し、このデータによる初期更新と、前節で検討した登録データの更新方法とを比較する。今回の実験では、収集した18,639試行のうち、部分空間の作成に必要な7フレーム以上にわたり両目と鼻孔が抽出できている18,296試行を照合性能の評価対象にしている。

このデータを用いて、図4の手順のうち更新閾値を $THR2 = 550$ および $THR3 = 300$ に固定し、照合閾値 $THR1$ を変化させてFARとFRRを求める。この結果を、登録データの更新がない場合の結果および、登録直

図5 試作した顔照合実験装置
A face recognition prototype system

後に別系列として収集した 20 試行のテストデータにより登録データを更新した場合の結果とを比較し、提案する方法の効果を評価する。

この 20 試行は、照合と同じ操作で画面によるフィードバックにしたがって、毎回立ち位置決定して収集したデータである。したがって、このデータを用いることで、フィードバックでは抑え切れない立ち位置の変動に関する登録データへの学習が期待できる。ただし、実際のシステムではこのような登録データの更新方法は、ユーザへの直接的な負担となるので導入しにくい。ユーザに意識させることなく、随時に辞書更新ができる前節で説明したような方法で同等の学習効果が得られることが望ましい。

4.3 辞書更新の効果

シミュレーションにより求めた 3 種類の条件の FAR 曲線および FRR 曲線を図 6 およびその拡大を図 7 に示す。ここで、FAR については、各試行に対して本人と異なる 88 名の登録データとの類似度を求めた $18,296 \times 88 = 1,610,048$ データに基づいて計算し、FRR については、18,296 試行のそれぞれについて本人の登録データとの照合結果を用いて計算を行っている。エラー率が 5.5% 以下の領域を拡大した図 7 から、今回検討した随時更新が、更新がない場合に比べて、大幅に本人排

表 2 登録データの更新方法の違いによる EER の変化 Changes of EER by update of registered data		
条件	EER	更新回数
更新なし	1.24%	0
直後 20 回更新	0.44%	(20 × 89 =)1780
認証 NG 時随時更新	0.37%	981

除率を改善し、テストデータ 20 試行による更新と同等の照合性能をもたらしていることがわかる。

表 2 には、それぞれの場合の EER と更新回数を示す。この結果から、辞書更新を行う 2 つの場合で認識性能が改善されることがわかる。さらに、この 2 つの場合において更新回数を比較すると、認証 NG 時に随時更新を行う方が少ない更新回数となり、ユーザへの負担は少ないことがわかる。

また、この結果は 6 カ月間の照合結果でもあることから、立ち位置を含めた経年変化に対して、登録データを随時更新することにより高い照合性能を長期間維持できることがわかる。例えば、照合閾値 $THR1$ を 450 と設定した場合には、6 カ月間の運用で $FAR = 0.06\%$ 、 $FRR = 0.87\%$ の数値が得られており、従来の顔照合の性能³⁾⁶⁾と比較しても高い照合性能を達成していることがわかる。この認識性能は他の生体照合に匹敵するもので、充分実用的なセキュリティシステムが実現できると考えられる。

5. 顔照合によるセキュリティシステム

5.1 入退管理を主目的とした「FacePass」の設計

前章までの検討結果に基づいて、実際の顔照合入退管理システムを設計する。システムには、図 8 に示すように、入力画像と処理結果を表示する 6.4 型カラー液晶ディスプレイと、ユーザの ID 番号または認証失敗時における暗証番号を入力するためのキー入力デバイスを設置している。前章で検討したように、認証を失敗した試行に対して、暗証番号入力によりユーザを通行許可し、同時に登録データを自動的に更新できるようにする。

実際の照合は、10 フレーム/秒で収集しながら、目鼻を検出できた 7 フレームが収集された時点で類似度が計算され、照合閾値 $THR1$ 以上となれば認証されるので、おおむね 1 秒程度で処理は終了する。また、各フレームにに対してリアルタイムに検出結果を画面に表示して

図 6 顔照合エラー率
Error rates of face recognition

図 7 顔照合エラー率 (拡大)
Error rates of face recognition (magnified)

図 8 顔照合セキュリティシステム「FacePass」の外観
A face recognition security system, "FacePass"

いるので、フィードバックを含めて良好な使用感が得られる。

このシステムは、電気制御のドア錠と接続することができ、顔照合によるドア解錠を行うことが可能である。特に、顔照合は、網膜や指紋照合に比べて抵抗感が少なく、照合自体は非接触であることからユーザへの心理的負担が少ない入退管理システムが実現できると考えられる。また、可視光での顔画像データが収集されるので、履歴データとして画像を保存できるほか、遠隔からの監視を行うことも可能である⁹⁾。

5.2 IDを入力しない1対多照合

前章までは、ID番号を入力することを前提とした本人確認としての顔照合の実験を進めてきた。一方、生体照合情報は、個人に特有であるため、ID番号を入力することなく、個人を特定する使われ方も期待される。IDを入力しない個人照合が可能になれば、顔照合では完全に非接触での本人認証が実現できる。具体的には、登録ID数が N の場合に、 N 個の登録データの中から最も近いものを選択し、それが照合閾値 $THR1$ 以上の類似度である場合に、登録データのユーザとして認証することを考える。

IDを入力しない1対多照合の動作については表3に示す5種類に分類することができる。このような動作分類に従って、認証動作のエラー発生率として、本人排除率と他人受入率を考える。他人受入率については、別の登録ユーザと誤って判断される率(FAR_{m1})と、登録外メンバに対する受入率(FAR_{m2})とを分けて検討する必要がある。本人排除率 FRR_m と、この2種類の他人受入率 FAR_{m1} および FAR_{m2} を以下の様に定義する。

$$FRR_m = \frac{(\text{動作 B}) + (\text{動作 C})}{(\text{動作 A}) + (\text{動作 B}) + (\text{動作 C})}$$

$$FAR_{m1} = \frac{(\text{動作 B})}{(\text{動作 A}) + (\text{動作 B}) + (\text{動作 C})}$$

$$FAR_{m2} = \frac{(\text{動作 D})}{(\text{動作 D}) + (\text{動作 E})}$$

この数値について、画面フィードバックと辞書更新を含めた前章のデータを用いてシミュレーション実験を行う。表4に、 N を10, 25, 50と変えて実験を行った結果を示す。表4の結果から、今回の実験では、 $N=50$ 程度までの登録人数に対する FAR_{m1} は、 FAR_{m2} に比べて小さいことがわかる。したがって、ここでは、登録外メンバに対する他人受入率 FAR_{m2} に注目して評価を

表3 IDを入力しない1対多照合における動作の分類
Classification of verification without ID inputs

動作の分類	入力	判定	動作の正誤
動作 A	登録メンバ	本人として受入	正
動作 B	登録メンバ	登録メンバの他人として受入	誤
動作 C	登録メンバ	登録メンバに合致せず排除	誤
動作 D	登録外メンバ	受入	誤
動作 E	登録外メンバ	排除	正

表4 IDを入力しない1対多照合におけるFARとFRR
FAR and FRR of verification without ID inputs

		THR1=400	450	500	550	600
N=10	FRR_m	0.34	0.86	2.16	5.42	12.25
	FAR_{m1}	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00
	FAR_{m2}	3.98	0.58	0.08	0.02	0.00
N=25	FRR_m	0.37	0.87	2.14	5.30	11.90
	FAR_{m1}	0.07	0.04	0.01	0.00	0.00
	FAR_{m2}	9.27	1.45	0.20	0.05	0.01
N=50	FRR_m	0.41	0.88	2.20	5.41	12.09
	FAR_{m1}	0.14	0.08	0.04	0.01	0.01
	FAR_{m2}	18.02	3.11	0.42	0.09	0.01

図9 IDを入力しない場合のエラー率
Error rates without ID inputs

進める。

$N=10, 25, 50$ と変えて FRR_m と FAR_{m2} を求めた結果を図9に示す。図の $N=1$ は4章で検討したIDを入力する照合における FRR および FAR である。グラフから、 FRR_m は N に関わらずほとんど変化が見られないが、 FAR_{m2} については、 N が大きくなるにしたがって高くなっていることがわかる。

登録していない他人を排除するというセキュリティ応用を考えると、低い FAR 設定、例えば $FAR=0.1\%$ でも本人誤排除を表す FRR が低いことが望ましい。表4の結果から、照合閾値 $THR1$ を550に設定すると、 $N=50$ までで FAR_{m2} が0.1%以下のとき FRR_m が6%以下という性能が得られていることから、IDを入力しない1対多照合において実用的なセキュリティシステムを実現できると考えられる。

6. む す び

本論文では、顔照合入退管理システムにおける立ち位置の変動の影響を低減させるユーザへのフィードバックと、ユーザの負担が少ない登録データの更新方法を考案し、その効果を確認した。また、6カ月にわたる実験により、 FAR が0.1%以下かつ FRR が1%以下という高い照合性能が得られることを確認した。さらに、IDを入力しない1対多照合について検討し、ハンズフリーの顔照合セキュリティシステムについて実現可能性を示した。

パターンの変動を抑制するユーザへのフィードバックについては、今回は簡単な方法を用いて一定の効果を確認するレベルに留まった。今後、このユーザインタフェースに関する研究を進めて、直立の状態顔面を照合するセキュリティシステムにおける認識性能の向上と使い勝手の良さの改善を図っていく予定である。さらに、今回は外光の影響が少ない室内での運用実験であったが、今後は外光の変動への対応も検討し⁹⁾¹⁰⁾、顔照合によるセキュリティシステムの適用範囲を拡大して行きたい。

本研究を行うにあたり、顔認識アルゴリズムでご協力を頂いた株式会社東芝研究開発センターの福井和広氏と山口修氏、およびご指導を頂いた福井大学渡辺貞一教授に感謝いたします。

〔文 献〕

- 1) 菅知之: “本人認証の全体像とバイオメトリクスの位置付け”, 情報処理, 40 11, pp.1073-1077(1999)
- 2) A. Pentland and T. Choudhury: “Face Recognition for Smart Environments”, IEEE Computer, 33 2, pp.50-55(2000)
- 3) 土居元紀, 陳謙, 眞溪歩, 大城理, 佐藤宏介, 千原國宏: “顔画像照合による解錠制御システム”, 信学論, J80-D-II 8, pp.2203-2208(1997).
- 4) 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”, 信学論, J84-D-II 6, pp.1045-1052(2001)
- 5) 前田賢一, 渡辺貞一: “局所的構造を導入したパターンマッチング法”, 信学論, J68-D 3, pp.345-352(1985)
- 6) 山口修, 福井和広: “経時変化を抑制する顔辞書更新法”, 信学技報, PRMU99-25, pp43-50(1999)
- 7) 福井和広, 山口修, 鈴木薫, 前田賢一: “制約相互部分空間法を用いた環境変動にロバストな顔画像認識—照明変動の影響を抑える制約部分空間の学習—”, 信学論, J82-D-II 4, pp.613-620(1999)
- 8) 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, J80-D-II 8, pp.2170-2177(1997)
- 9) T. Sato, H. Sukegawa, K. Yokoi, and, A. Okazaki: “A Face Recognition Terminal with Effective Illumination for Access Control Systems”, Proceedings on IAPR Workshop on Machine Vision Applications 2000, pp.140-143(2000)
- 10) Y. Adini, Y. Moses, and S. Ullman: “Face Recognition: The Problem of Compensating for Changes in Illumination Direction”, IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell., 19 2, pp.721-732(1997).

佐藤 俊雄 1985 年, 名古屋工業大学第 1 部計測工学科卒業。1987 年, 同大学院工学研究科博士前期課程生産システム工学専攻了。同年, (株) 東芝入社。1996 年から 1998 年にかけて米国カーネギーメロン大学客員研究員。現在, 柳町 e-ソリューション工場要素技術部主務。福井大学工学研究科博士後期課程システム設計工学専攻在学中。

助川 寛 1993 年, 早稲田大学理工学部電気工学科卒業。1995 年, 同大学院工学研究科修士課程了。同年, (株) 東芝入社。現在, 柳町 e-ソリューション工場要素技術部にて, 画像処理技術およびシステムの開発に従事。

横井謙太郎 1995 年, 京都大学工学部情報工学科卒業。1997 年, 同大学院工学研究科情報工学専攻修士課程了。同年, (株) 東芝入社。現在, 柳町 e-ソリューション工場要素技術部にて, 画像処理技術およびシステムの開発に従事。

土橋 浩慶 1991 年, 同志社大学工学部電気工学科卒業。1993 年, 同大学院工学研究科電気工学専攻修士課程了。同年, (株) 東芝入社。現在, 柳町 e-ソリューション工場ハードウェア設計部にて, 画像処理技術およびシステムの開発に従事。

緒方 淳 1990 年, 東京工業大学工学部制御工学科卒業。1992 年, 同大学院総合理工学研究科精密機械システム専攻修士課程了。同年, (株) 東芝入社。現在, 柳町 e-ソリューション工場要素技術部主務。画像処理技術およびシステムの開発に従事。

岡崎 彰夫 1975 年, 名古屋大学工学部電子工学科卒業。1980 年, 同大学院工学研究科情報工学専攻博士課程了。同年, (株) 東芝入社。現在, 柳町 e-ソリューション工場要素技術部主幹。画像処理技術およびシステムの開発に従事。工学博士。正会員。