# ドアノブ型認証装置を用いたバイオメトリック個人認証

寺下　訓史[1]・鷺　浩二[2]

[1]電気電子情報工学専攻（平成18年度修了生），[2]制御情報工学科

物理的セキュリティにおいて生体認証（バイオメトリクス）が注目されている．しかし，従来の多くの認証装置では利用者に特定の行動を強いるため，利用者に心理的抵抗感が発生するという問題があった．そこで，通常の行動と認証動作とを一体化させて心理的抵抗感を抑え，かつ，利便性を向上させる方法として，掌の情報を用いたドアノブ型の認証装置を考案した．

実験では実際に認証装置を製作して画像を取得し，パターンマッチングや位相限定相関法など，掌の形状や掌紋を利用するいくつかの認証アルゴリズムを比較検討して認証を行った．現在は認証率はまだ高くないものの，ドアノブ型認証装置における個人認証の実現可能性を示した．

**キーワード**：バイオメトリクス，全方位鏡，パターンマッチング，位相限定相関法

## １．まえがき

現在の個人認証の方法には，暗証番号やパスワードを用いた個人の知識による認証，鍵やICカードを用いた個人の所有物による認証，指紋や虹彩など個人の生物学的特徴による認証の3つがある．中でも近年，利便性の高さや高いセキュリティ性から3つめの生物学的特徴を用いた生体認証（バイオメトリクス，バイオメトリック認証）が注目されており，市場規模も徐々に拡大している[1)]．しかし，バイオメトリクスの中で現在最も普及している指紋認証では特別な装置に指を乗せたり，網膜認証ではカメラをのぞき込んだり，掌形認証ではピンのついた板の上に手を押し当てるなど，利用者に特定の行動を強いるため利用者の心理的な負担が大きいという問題点があった．そこで，我々は利用者の心理的負担を軽減させるため，通常の人間の行動に基づいた個人認証システムとして，全方位鏡を使用してドアノブと認証装置を一体化させた新しい個人認証システムを考案した．バイオメトリクスを環境の中にさり気なく取り入れることで，利用者の心理的抵抗を軽減させ，かつ，それまでの認証装置よりも利便性を向上させることが可能となる．

## ２．画像処理による個人認証方法

我々は，バイオメトリクスを行う際の生物学的特徴として日常の行動でよく用いる手に着目し，掌の特徴量と，掌の形状（掌紋を含む）を認証に利用することを考えた．ここでは，掌の特徴量を用いた認証の方法と，掌の形状，掌紋を用いた認証の方法を述べる．

### (1) 掌の特徴量を用いた個人認証[2)]

CCDカメラから取得した掌形のカラー画像を，まずグレースケール画像に変換する．グレースケール化した画像をモード法により二値化し，回転補正を加えて登録画像と入力画像として用いる．これらの画像から，掌の形状の特徴量として，掌の面積，指部分の輪郭線の長さを求めた．この特徴量を用いて認証を行う．

### (2) 掌の形状を用いた個人認証

#### a) パターンマッチングを用いた方法

登録画像と入力画像の掌形状の全体の相関をパターンマッチングの手法[3)]を用いて計算する．パターンマッチングは通常，あらかじめ用意したパターンと類似性の高いパターンが探索対象画像の中にあるか，もしくはどこにあるかを検出する手法であり，探索対象画像のほうが用意したパターンよりも大きい．ここでは，探索対象画像と用意したパターンをそれぞれ大きさの等しい登録画像と入力画像として計算を行う．2つの画像間の類似度の評価尺度は正規化相関係数とする．正規化相関係数は1から-1の値を取り，同一画像ならば値は1になり，輝度値の反転した画像ならば値は-1になる．2つの画像間に全く相関がない（似ている場所がない）場合には値が0となる．

#### b) ガボールフィルタを用いた方法

前項で述べたパターンマッチングによる認証法は掌全体の形状を用いた認証であるが，ガボールフィルタを用い

た認証は主に掌紋を用いた認証である．画像のフィルタリングとは，元の画像と点広がり関数の畳み込みを行うことである．このときの点広がり関数をフィルタと言い，ガボールフィルタはガボール関数（正弦波とガウス関数の積）をフィルタとしたものである．ガボールフィルタリングを行うと，画像中の特定の方向と幅のエッジを抽出することができる．これにより，掌のしわ（掌紋・手相）を強調して抽出できる．ガボールフィルタはパターン認識において効果的なフィルタと言われている[4-5]．

**c）位相限定相関法を用いた方法**

掌紋を用いた別の認証として，位相限定相関法（Phase-Only Correlation : POC法）を用いた．POC法は画像の位相情報を用いた照合手法であり，振幅情報を考慮しない．POC法は，ガボールフィルタを用いた認証方式などのようなそれぞれの画像から抽出した特徴量間の距離に基づく認証アルゴリズムよりも高精度な認証ができ，バイオメトリクスへの適用による有効性が確認されている[6-9]．

**d）3手法の比較**

ここまでで説明した，画像全体のパターンマッチングを用いた認証，ガボールフィルタを用いた認証，位相限定相関法を用いた認証の3つについて，実際にこれらの手法を用いたプログラムを適用して比較した．その結果を，計算速度，認証率，汎用性のそれぞれについてまとめたものが次の表-1である．ここで汎用性とは，登録画像・入力画像の解像度が変化した際に，どの程度認証プログラムを書き換えずに済むかを表わすものとする．

表中で特筆すべきこととして，ガボールフィルタによる認証の汎用性の低さが挙げられる．ガボールフィルタを用いた認証では，画像によってフィルタサイズや関数制御角度，空間周波数など多くのパラメータを適切に設定しないと認証率が大きく低下するという問題があった．そのため，今回は実験中に画像サイズを変更することもあったので，パラメータ設定に時間のかかるガボールフィルタによる認証の採用を見送った．

## ３．実験方法

### (1) 実験装置

実験装置は，全方位鏡，全方位鏡に取り付けるCCDカメラ，カメラをコントロールするパソコン，そして三脚から構成される．三脚は，カメラと全方位鏡が通常の建物でのドアノブの高さ（95cm）になるようにセットされている．図-1(a)に示す全方位鏡に，1台のカメラを取り付けたものが全方位イメージセンサである．全方位鏡は側面がガラスでできた円筒形をしており，内部に360度を見渡せる特殊な鏡が置かれている．これをドアノブとすることで，手でノブを握ったときに内側から見た画像を取得することができる．画像を撮影する際に，掌以外の背景や，背景の光の強さが変化すると，認証時にそれらが大きな外乱となり認証しにくくなる．表-1に示した3手法は光量変化にロバストな認証方法であるが，掌の特徴量を用いた手法は光量変化に対して非ロバストな認証方法である．そこで，画像を撮影する際には全方位鏡の周りにカバーを取り付け，背景の光量変化などを抑えている．得られる画像の例が図-1(b)である．この画像を解析することで特徴を抽出し，個人認証を行う．図-1(b)の画像中で白く見えている部分がカバーの内側にあたり，図-1(b)の画像の四隅の黒い部分は，図-1(a)の全方位鏡の上部の黒い部分（カメラ取り付ける部分）がカメラから直接見えているものである．

**表-1**　3手法の比較

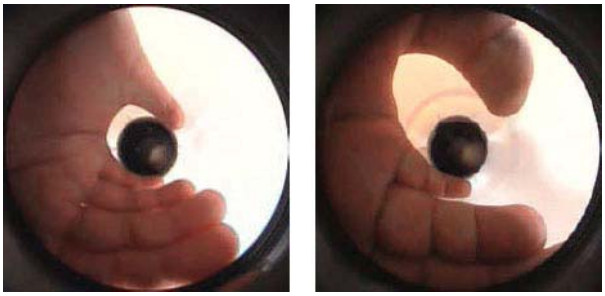
| | 計算速度 | 認証率 | 汎用性 |
|---|---|---|---|
| パターンマッチング | ○ | △ | ◎ |
| ガボールフィルタ | ○ | ○ | △ |
| 位相限定相関 | △ | ◎ | ○ |

(a)　　(b)

**図-1**　(a)全方位鏡，(b)取得画像例

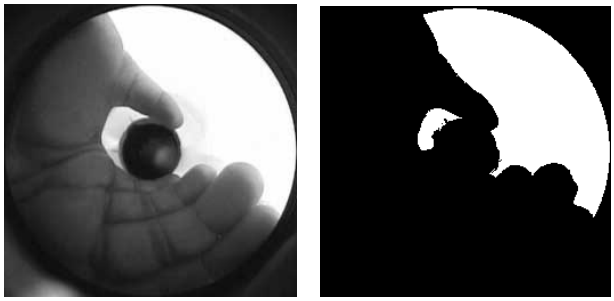
### (2) 画像データの取得

掌のデータは，25人の被験者にドアノブに見立てた全方位鏡を右手で握ってもらい，その状態の画像を1人につき8枚ずつ撮影し，合計200枚の画像を取得した．画像を1枚撮影するたびに一度手を離し，全く同じ画像が生成されないように注意した．撮影した画像には余剰な部分があるため，図-1(b)のような画像にするために一定の大きさ分だけ切り出し，画像サイズを変更した後にbitmap形式で保存する．こうして保存された1つの画像は256×256ピクセルの24ビットカラー画像で，約196KBのデータサイズである．取得データの中には，図-2(a)のように掌全体が理想的に写っているものもあれば，図-2(b)のように大きく歪んでいるものも存在する．



(a)　(b)

**図-2**　(a)理想的な画像，(b)歪んだ画像



(a)　(b)

**図-3**　(a)取得画像，(b)二値化画像

## 4．認証アルゴリズム

認証時，新たに取得した画像の掌の持ち主がデータベースに登録されている者であるかどうかを調べる方法として，2つの方法を検討した．その2つとは，（1）掌の特徴量である掌の面積，指部分の輪郭線の長さを用いた方法と，掌形状をパターンマッチングで比較するという方法の2つの方法を組み合わせた認証方法，（2）POC法を用いて主に掌紋部分を抽出して認証する方法である．（1）の方法は掌の形状を，（2）の方法は掌紋を主な判断要素にしている．

認証には1対1認証と1対多の認証がある．1対1認証は例えば，登録されている多数の掌紋データからID番号を入力して本人のデータを引き出した後で掌紋入力を行って比較するような場合である．一方，1対多認証は最初に特定のデータの引き出しをせず，入力データと多数の登録データを比較するような場合のことである．提案する認証装置の目的のひとつに，環境の中にさり気なく取り入れることで利便性を向上させるということがあるため，初めにID番号等を入力するようなことはなるべく避けたい．しかし，1対1認証のほうが計算時間も短く効率が良い．この問題は，非接触ICチップなど別の技術を利用することでID入力を個人が行うことなく1対1認証を行うことができると考えている．本章では1対多認証を前提としたアルゴリズムを説明する．また，登録画像を$f(n_1, n_2)$，入力画像を$g(n_1, n_2)$として説明する．

### (1) 掌の形状を用いた認証

新規入力画像が得られたら，それに二値化や回転補正等の事前画像処理を施す．その後，まず面積と指の輪郭線の長さを取得する．掌の面積は，画像を二値化して対象画素数を数えることで測定が可能である．実際のプログラムでは掌領域でなく背景領域（図-3(b)の白い部分）の画素数を数えているため，間接的に掌の面積を求めることになる．また，指の輪郭線の長さの定義は，二値画像の右端のラインの上から1/4程度のところから左側にラスタ走査を行って鏡の縁を求めて起点とし，そこから左回りに輪郭線追跡をして元の点に戻ってくるまでに通過した画素数とした．

**図-4**　極座標変換した掌画像

こうして求めた面積と輪郭線の長さの数値が，登録者データベース中の一人ひとりの特徴量の誤差を考慮した範囲に収まっていれば，その人である可能性が高いと判断する．このとき，入力画像と誤差によっては登録者データベース中の複数人と適合してしまう場合があるため，適合したものは登録者候補という扱いにする．この2つの特徴量に合格すれば，最後に，新たに得られた画像と各候補者のテンプレート画像の全体の相関を求める．類似度の判定は，2つの画像をパターンマッチングの手法で処理し，相関係数で判定している．これによって得られた各候補者の相関係数が最も高い者が最終候補となる．この最終候補者の相関係数が高いほど，新規取得画像の掌の持ち主が，データベースに登録されている可能性が高いと言える．

### (2) 掌紋を用いた認証

まず，POC法を用いて掌紋の比較を行う前に，画像中に写っている掌の面積を用いて，最終的に入力データと比較する登録データがなるべく少なくなるように前もって選別しておく．入力画像$g(n_1, n_2)$の掌の面積が，登録している複数人のそれぞれのデータからの許容誤差を考慮した範囲に収まっていれば，その登録データの持ち主が入力画像$g(n_1, n_2)$の候補者となる．その後，選別した登録画像$f(n_1, n_2)$と入力画像$g(n_1, n_2)$の手相部分（掌の中心近く）を

抽出する．図-2(a)のような掌が円形になった画像では掌の中心を求めにくいため，まず，極座標変換を行って図-2(a)の中心から切り開いた状態のパノラマ画像を生成する（図-4）．今回は極座標変換時に，半径方向の座標を対数間隔でサンプリングするlog-polar変換を用いた．log-polar変換は，原点を画像の中心とした際に原点周りの回転と拡大・縮小に不変な変換であり，単純な座標変換よりも歪みの少ない画像を生成することができる[10]．このとき，極座標変換を行うのは掌が写っている部分だけとし，図-2(a)に見られる画像の中心と四隅の領域はマスクして除外する．ドアノブを握る角度によっては，パノラマ画像を生成した際に掌や指が図-5(a)のように画像の左端と右端に分かれて途切れてしまうことがあるため，そうなった場合には掌全体がひとつの領域になるように画像全体をシフトし，図-5(b)のように補正を行った．

次に，展開した画像から掌の中心部分を求める．画像に掌全体が写っている場合には，$n_1$方向と$n_2$方向に対する画素値の投影を利用した重心計算や指の角度から掌の中心付近を求めることが可能である．しかし，今回撮影した画像には，データ取得の際の被験者の自由度や全方位鏡自体の大きさの関係もあり，掌全体が写っていない画像も多数含まれていたため，全ての画像の掌の中心を計算によって求めることが困難であった．そこで，今回は掌の中心付近の座標を手動で調節した．

掌の中心付近の座標が決定したら，掌以外の陰影情報を除去するため，求めた座標を中心に登録画像$f(n_1, n_2)$と入力画像$g(n_1, n_2)$の双方に2次元窓関数を適用する．適用する窓関数は2次元ハニング窓とした．図-6 (a)の画像がハニング窓適用前，図-6(b)の画像がハニング窓適用後の画像である．

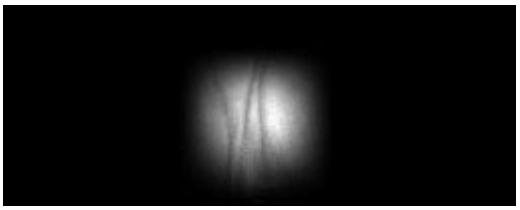
この後にPOC法を用いて拡大・縮小，回転，平行移動の補正や共通領域抽出，照合を行うのであるが，これらの詳細なアルゴリズムについては文献9を参照されたい．

(a)

(b)

**図-5**　(a)極座標変換失敗例，(b)位置補正後

(a)



(b)

**図-6**　(a)窓関数適用前，(b)窓関数適用後

## ５．実験結果

### (1) 掌の形状を用いた認証

最初に，掌の特徴量と掌形状のパターンマッチングの方法を組み合わせた場合の認証について示す．ここで言う掌の特徴量とは，掌の面積，指部分の輪郭線の長さの2つである．これに，パターンマッチングによる画像全体の相関が加わる．認証の際には他人受入率（FAR : False Acceptance Rate）と本人拒否率（FRR : False Rejection Rate）を考える必要がある．FARとは，データ登録をしていない他人であるのに受理されてしまう確率のことであり，FRRとは，データ登録されている人が認証時に間違ってはじかれてしまう確率である．設定した閾値（許容誤差）によってFARとFRRは変化する．

面積，指部分の輪郭線の長さ，画像全体の相関の認証時の閾値を少しずつ変化させ，それぞれのFRRとFARを調べた．面積特徴量のグラフを図-7に示す．傾向を把握しやすくするため，FAR曲線を点線，FRR曲線を実線で示した．図-7において，横軸は登録データからの許容誤差であり，縦軸はFARとFRRの数値である．登録データからの誤差範囲の数値に入力画像の数値が入っていれば，その登録データの持ち主を入力データ候補者扱いとする．つまり，許容誤差を大きくするほど候補者が増えることになる．実際に図-7では，許容誤差が大きくなるほどFARの値も大きくなっていることがわかる．逆に，許容誤差が大きくなるほどFRRは小さくなっているのもわかる．指部分の輪郭線の長さ，画像全体の相関のそれぞれについても同様の結果が得られた．これらの図から適当な閾値を決定する．閾値は通

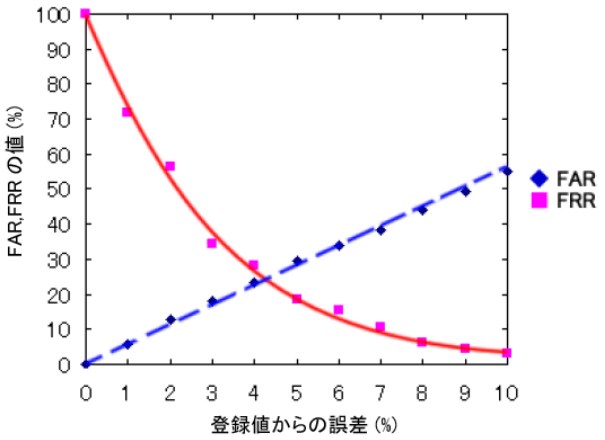



図-7　面積特徴量のFAR・FRR曲線

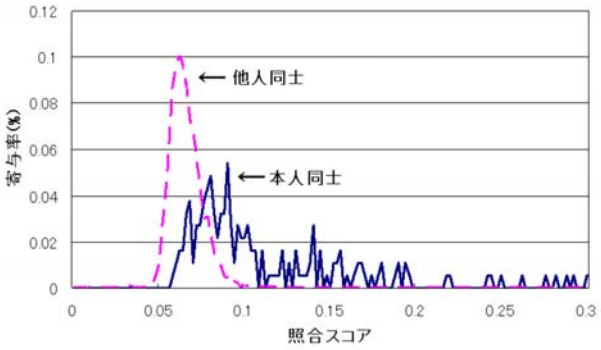



図-8　各画像ペアにおける照合スコアとその寄与率

常，FARとFRRの双方がなるべく小さくなるような値に決定する．その閾値は，図-7のFAR曲線とFRR曲線の交点に相当する．こうして，3つの特徴量の閾値をそれぞれ各曲線の交点に設定して認証を行ったところ，最終的にFAR10.6%，FRR27.3%を得た．

### (2) 掌紋を用いた個人認証

まず，参考までに，掌面積によるデータ選別を行わない場合の認証について述べる．データの選別を行わずに最初から直接POC法を用いて総当りで対象データを検索することを考える．

取得した各人8枚の画像中の1枚を登録画像とし，それ以外の7枚を入力画像とする．本人同士の認証は，1枚の入力画像につき1枚の登録画像との照合が1人あたり7回，全部で25人分のデータがあるので175通りとなる．また他人同士の認証は，1枚の入力画像につき24枚の登録画像との照合が1人あたり7回であるので，計4200通りとなる．これらの全ての組み合わせにおいてPOC関数を求め，照合スコア（POC関数のピーク値）を測定したグラフが図-8である．実線で示した線が本人同士の画像を使ったとき，点線で示した線が他人同士の画像を使ったときの線である．図-8の横軸は照合スコアを，縦軸は各照合スコアにおける画像ペアのデータ分布である寄与率を示している．例えば，全画像ペアのうち0.1%のデータが照合スコア0.07程度である．図-8より，他人同士の画像の照合スコアはおよそ0.05~0.08程度にまとまっており，本人同士の照合スコアはおよそ0.06以上であることがわかる．この状態で，1枚の入力画像に対し本人を含めた25人分の登録画像との照合スコアを求め，最も照合スコアの高かったものを入力画像の掌の持ち主であるとして認証したところ，正しく認証されたのは全体の68.5%であった．

次に，認証時間の短縮と認証率の向上を目的として，データの選別を行った場合の認証を行う．データの選別には，掌紋が似ていても手の大きさが違う者もいるとの考えから，掌の面積の数値を用いた．入力画像と登録画像それぞれに写っている掌の面積を求め，入力画像の数値が登録画像の数値と大きく異なっていた場合は他人と判断し，POC法を行うデータ候補からはずすことにする．データの選別方法は，本人のデータは高確率で通し，他人のデータはある程度制限するという方法を取った．つまり，FRRをできるだけ小さくするということである．このときの入力画像の数値と登録画像の数値と許容誤差を，図-7より決定する．

データ選別は本人のデータを通して他人のデータを制限するという方法であるので，本人のデータをほぼ確実に通せるように，図-7より閾値を10%とした．閾値を10%にすると，本人のデータはほぼ確実に選別を通過し，他人のデータは50%ほどしか通過できず，残りの50%はこの時点ではじかれることがわかる．この結果から，データ選別後に行うPOC法による平均計算時間が，データ選別を行わない場合の約半分ですむことが言える．

データ選別後にPOC法によって入力画像と登録画像の照合スコアを求め，最も照合スコアの高かったものを入力画像の掌の持ち主であるとして認証したところ，正しく認証されたのは全体の72.5%であった．データ選別の結果，認証率は4ポイント増加し，平均計算時間を約5割削減することができた．

## 6．考察

掌の特徴量と掌形状のパターンマッチングの方法を組み合わせた場合の認証方法，及び，POC法を用いて主に掌紋部分を抽出して認証する方法という2つの認証方法を示したが，現在の方法では実用的な認証率（95%以上）を得ることが難しかった．このことについて，画像の取得方法と認証プログラムの面から検討した．

まず，画像の取得の際の問題点として，認証の際の利用

者の自由度が大きく，正確なデータが取りにくいことが挙げられる．特に，掌の形状を主に用いる認証では，全方位鏡の形状からノブに対して前後方向の位置ずれが入力画像を大きく歪ませ，最終的な認証率に影響を与える原因となっている．また，掌紋を主に用いる認証では，利用者側の自由度に対応できるほど全方位鏡に十分な奥行き（長さ）が無かったため，掌の中心部を十分に撮影できないという問題があった．認証率を向上させるには，指の先端ラインを合わせるなど，利用者の負担にならない程度の利用制限，もしくは，掌全体が撮影できるくらいの奥行きを持った全方位鏡を用意するということが必要であると考えている．

次に，画像取得時の問題点を認証プログラムで解決することを考えた．認証率を向上させるためには，取得画像の歪みをなるべく少なくすることが考えられる．今回，POC法を用いた認証においてlog-polar変換を利用したが，これを全方位鏡の曲率に合わせた変換方法にすることで歪みを小さくすることができると考えている．認証率7割強という数値は，実際に認証機として用いるには低く，何らかの場所で実用されている認証機は，認証率の低い音声認識でも概ね95%程度の認証率を持っている．そのため，提案手法の認証率の更なる向上が求められる．

また，サンプルデータの数や認証時間についても考えた．今回の被験者数は25人であり，一般的なバイオメトリクスの認証実験よりも少ない（通常は100人以上であることが多い）．このことが，図-8において他人同士の点線が滑らかに繋がっているのに対し，本人同士の実線が滑らかになっていない原因である．正確なデータ分布を得るためには，被験者数を更に増やす必要がある．しかしその代わりに，データ数を増やすと1対多認証における認証時間が増大するという問題が表れる．現在のプログラムで1対1認証を行った場合の認証時間は，CPU1.4GHz，メモリ512MBのPCにおいて，Visual C++.netで開発したパターンマッチングを用いた方法が約0.2秒程度，MATLAB6.0を用いて開発したPOC法を用いた方法では5秒程度となっている．ただし，POC法のプログラムを最適化することで0.3秒程度まで短縮できるという報告がある[9]．どちらの方法においても，データ数が多いときの1対多認証は認証時の利便性の観点から現実的ではない．そこで，実際に認証機として利用する場合には，非接触ICチップなど何らかの方法を用いて1対1認証にする検討も必要である．

## 7．むすび

ユーザの心理的抵抗の軽減と利便性の向上を目的として新たな認証装置を提案し，実験装置や認証アルゴリズムについて示し，認証の際に用いる画像処理の方法を示した．実験の結果，主に掌の形状を判断基準とする，掌の面積，指部分の輪郭線の長さ，画像全体の相関（類似度）という3つの特徴量を組み合わせた認証方法ではFAR10.6%，FRR27.3%を得た．また，掌紋を主な判断基準とする，POC法を用いた認証方法では，全入力画像中の72.5%が正しく認証された．現段階では認証率はさほど高くないものの，ある程度の認証が可能であったことから，新しいドアノブ型認証装置の実現可能性を示せた．

**参考文献**


1) バイオメトリクス・セキュリティ・コンソーシアム，“国内バイオメトリクス市場調査 調査報告書” (2005).
2) 寺下訓史，鷲浩二，“全方位イメージセンサを用いた掌形バイオメトリック認証”，FIT2006一般講演論文集，第3分冊，pp.25-28 (2006).
3) 池田光二，吉田昌司，中島啓介，桂晃洋，依田晴夫，“パターンマッチングの高速化手法について”，電子情報通信学会論文誌，Vol.J83-D-II, No.9, pp.1861-1869(2000).
4) D. Zhang, W. Kong, J. You, and M. Wong, “Online palmprint identification,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.25, no.9, pp.1041-1050 (2003).
5) J.G. Daugman, "High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.15, no.11, pp.1148-1161 (1993).
6) K. Ito, H. Nakajima, K. Kobayashi, T. Aoki, and T.Higuchi, “A fingerprint matching algorism using phase-only correlation,” IEICE Trans. Fundamentals, vol.E87-A, no.3, pp.682-691(2004).
7) K. Miyazawa, K. Ito, K. Kobayashi, H. Nakajima, T. Aoki, and T. Higuchi, “An efficient iris recognition algorism using phase-based image matching,” Proc. The 2005IEICE Int. Conf. Image Processing, pp.II-49-II-52(2005).
8) K. Ito, A. Morita, T. Aoki, Kobayashi, T. Higuchi, H. Nakajima, and K. Kobayashi, “A fingerprint recognition algorism combining phase-based image matching and feature-based matching,” Lecture Notes in Computer Science (ICB2006), vol.3832, pp.316-325 (2005).
9) 伊藤康一，青木孝文，中島寛，小林孝次，樋口龍雄，“位相限定相関法を用いた掌紋認証アルゴリズム”，画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2006), pp.370-375(2006).
10) 中田崇行，包躍，藤原直史，“三次元環境におけるLog-Polar変換を用いた図形認識”，電子情報通信学会論文誌，Vol.J88-D-II, No.6, pp.985-993(2005).


（2007.9.28受付）