

静脈パターンを用いた個人認証

宮 武 孝 文

Personal Identification Using Vein Pattern

Takafumi MIYATAKE

Among the many previously proposed biometric methods, vein pattern identification is the only method which utilizes the internal characteristics of the human body. Due to this feature which leads to difficulty in forgery, vein pattern identification has recently attracted considerable attention as a promising biometric method of the next generation. At near-infrared wavelengths, hemoglobin has higher absorbance than other proteins in the tissue. Therefore transmitting near-infrared light through a hand or finger is suitable for acquisition of its vein pattern. In this paper, I introduce the outline of vein pattern imaging and matching technique that are important techniques for making a personal identification system using vein pattern.

Key words: vein pattern, near-infrared light, personal identification, biometrics, hand, finger

1. 個人認証と静脈パターン

近年、情報化社会の発展に伴い個人認証技術の需要が拡大している。特に、従来の個人認証で用いられている鍵やパスワードなどにかわり、利便性が高く、盗難、紛失、不正譲渡、忘却の生じにくい個人の身体的特徴を利用したバイオメトリクス認証が注目されている。

バイオメトリクス認証システムでは、安全性、利便性が重要であり、特に認証精度が高く、応答速度が速いことが要件となる。現在、指紋、虹彩、顔、音声、静脈パターンなどに基づくさまざまなバイオメトリクス認証技術が提案されている。こうした中で、静脈認証は、特に安全性や利便性にすぐれている。静脈認証は各種バイオメトリクスの中で、唯一生体内部の隠された特徴を利用しているため、偽造などに強い次世代バイオメトリクスとして注目されている。

静脈パターンが個人認証に利用されるようになってきたおもな理由は、以下の3つである。

- (1) 人間の血管構造が個人ごとにユニークな特徴をもち、一卵性双生児でも異なること

- (2) 皮下の血管が近赤外光を用いて、無侵襲かつ非接触で撮影できるようになったこと

- (3) 血管の特徴が大きくて安定であり、低分解能のイメージセンサーとシンプルな画像処理で認証システムが構築できること

これらにより、静脈認証は、高精度認証、偽造困難、高速応答、低コスト、衛生的、抵抗感小など、バイオメトリクス認証の要件を数多く満たす利点が得られている。

本稿では、(2)の静脈パターンのイメージング技術、(3)の静脈パターンの照合技術を中心に解説する。

2. 静脈パターンのイメージング

かつては光は生体を透過しにくいとされていたが、吸光スペクトルをみると、波長700~1200 nmの近赤外領域は部分的に吸光度が低く、「生体における光の窓」となっており、この波長域の光はヘモグロビン、メラニンなどの色素以外の生体組織をよく透過する²⁾。この性質を用いて、静脈パターンが撮影できる。静脈認証システムで実用化されているイメージング方法には2つの方式があり、手の甲や手

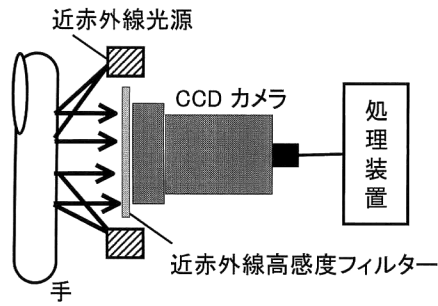


図1 静脈認証のための反射光方式の光学系。

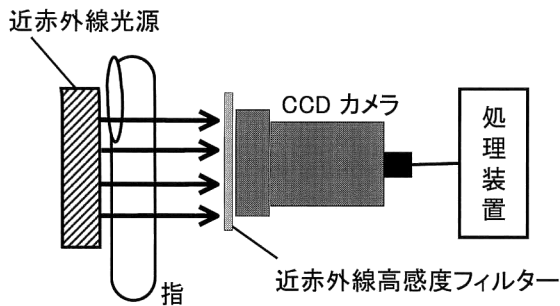
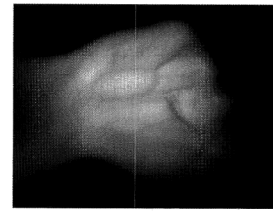


図2 静脈認証のための透過光方式の光学系。

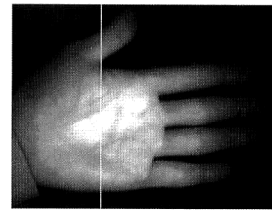
のひらの静脈パターンの撮影には反射光方式³⁾が、指の静脈パターンの撮影には透過光方式⁴⁾が採用されている。以下、この2方式について述べる。

反射光方式では、計測したい生体部位に直接近赤外光をあて、その反射光を近赤外線高感度フィルターを通して、CCDカメラで撮影する(図1)。手の甲を撮影した場合、皮下に静脈パターンがある場所では、ヘモグロビンによる光の吸収のため反射光は弱くなり、逆に静脈パターンがない場所では反射光が相対的に強くなる。したがって、撮影された画像は静脈パターンが周囲より暗く映ることになる。なお、手の甲や手のひらは撮影範囲が広いので、均一に照明するために複数の光源を面状に並べるなどの工夫が必要である。手の甲を撮影する場合、表面の皺の影響を軽減するためにこぶしを握る。ただし、人によっては手の甲の体毛が暗い影となって撮影されることもあり、撮影後の画像処理過程でこれらを除去する必要がある。一方、手のひらを撮影する場合は手を開く。ただし、運命線などの手の皺が影となって静脈とともに映りやすいので、撮影後の画像処理過程でこれらを除去する必要がある。

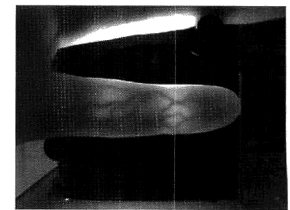
一方、透過光方式では、計測したい生体部位とは反対側から近赤外光をあて、生体を透過した光を近赤外線高感度フィルターを通してCCDカメラで撮影する(図2)。指の背面から近赤外光をあてると、指の内部で光が散乱しながら、手のひら側に抜けてくる。その際、皮膚表面に近い静



(a)反射光撮影



(b)反射光撮影



(c)透過光撮影

図3 手の甲、手のひら、指の近赤外線画像。

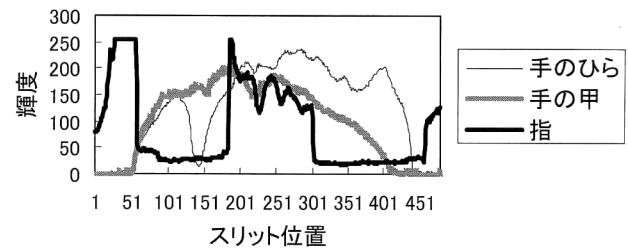


図4 各近赤外線画像の断面プロファイルの比較。

脈部で光が吸収され、静脈パターンが暗い影となって撮影される。指の深部には動脈や骨があるが、光の散乱によってそれらのパターンは消され、光が抜け出す直前の皮下数ミリ以下に存在する静脈パターンだけが撮影される。なお、指は細長いので、均一に照明するために複数の光源を指の長手方向に線状に並べる工夫が必要である。指は普通に伸ばした状態で撮影する。透過光方式では、透過光量は指の太さや関節などの影響で変化するので、認証に適した画像を獲得するために、撮影時の画像の明るさを判定して光源の光量を適切に調節する必要がある。この光量調節は、発光ダイオードを光源に用いることで瞬時に実行できる。

次に、反射光方式と透過光方式で撮影した画像を比較する。図3は同一人の手のひら、手の甲、指の近赤外線画像であり、(a)、(b)は反射光方式、(c)は透過光方式で撮影している。この例では、手のひらの血管の太さは約0.9 mm、手の甲の血管の太さは3.3 mm、指の血管の太さは0.7 mmである。

図において、縦のスリット上の輝度の波形を調べ、静脈パターン部のコントラストを求める。図4は、その断面プロファイルである。図において、細線は手のひら、グレーの太線は手の甲、黒の太線は指の輝度のプロファイルであ

る。縦軸は輝度を表し、0 から 255 まで 256 段階の階調を有する。このプロファイルで、谷間になっているところが静脈パターン部に相当する。手のひら画像の静脈パターン部の谷間の深さは、深いところで 8 階調程度である。静脈パターンのコントラストを (谷間の深さ)/256×100(%) で定義すると、コントラストは 3% である。同様に、手の甲の静脈パターンのコントラストは 8%、指の静脈パターンは 25% である。反射光よりも透過光のほうが高いコントラストが得られることがわかる。

画像処理で静脈パターンの特徴を抽出する際、血管像のコントラストと血管の太さで難易度が決まる。コントラストが高くて、血管が太ければ、容易かつ安定に特徴を抽出することができる。手の甲は血管が太くてコントラストが普通であるので、特徴抽出は容易である。一方、指は血管は細いがコントラストが高いので、特徴抽出が容易である。手のひらは、血管が細くてコントラストが低いので、特徴抽出には高度な画像処理が要求される。

以上のことから、高いコントラストが得られる透過光を用いて、血管幅の太い手の甲の静脈を撮影するのが最もよさそうに思える。しかし、手の甲は厚みも大きいので、強力な光源がないと光が透過できないという課題がある。それぞれ観察する部位に応じて、適切なイメージング方式を採用する必要がある。

3. 静脈パターンの照合

個人認証では、2 章で述べたイメージングによって獲得した画像から静脈パターンを抽出して、登録パターンとの照合を行うことを基本とする。その際、高度な個人認証を実現するために、撮像部位の個人差や照明による輝度むらの影響を受けた画像から、静脈パターンをロバストに抽出する必要がある。また、手や指の置き方による幾何学的な

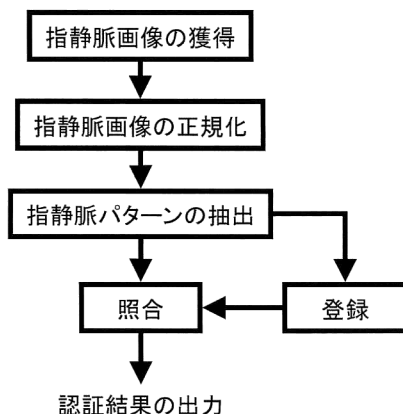


図5 指の静脈パターンによる個人認証の手順。

変動を吸収する、照合アルゴリズムが必要である。

画像上から血管のような線の特徴を抽出する手法として、マッチドフィルター⁵⁾やモルフォロジー⁶⁾による手法、そしてエッジ情報の連結による手法⁷⁾が考案されている。マッチドフィルターやモルフォロジーによる手法は、画像全体に一律なフィルター処理を施すだけで簡単に実施できるが、画像に輝度むらがある場合には特徴の強調の度合いにむらが生じ、線がとぎれることがある。また、一般的に線の連続性が考慮されないため、点状のノイズも強調されるという欠点がある。一方、エッジ情報の連結による線抽出手法は、線の連続性を考慮した線抽出が可能となるが、画像の微分演算や線の連結の最適化に要する計算量が多く、画像1枚の処理に数十分程度の時間がかかる場合もあるため、個人認証のようなリアルタイム性を必要とする分野には、特殊な信号処理プロセッサが必要となる。

以上のような課題に対して、実用化が進んできた手の甲の静脈パターンの照合と指の静脈パターンの照合方法について、その概要を述べる。

3.1 手の甲の静脈パターンの照合^{1,3)}

手の甲の静脈パターンによる認証では、バーを握ることで手の位置を固定したうえで撮影し、以下の6つのステップで照合を実施する。

- 1) 入力した濃淡画像から手の甲部と背景を分離し、手の一番大きい内接四角形の領域 (ROI; region of interesting) を抽出することで、手の甲の観察領域を切り出す
- 2) ROI にガウシアンローパスフィルターを施し、画像を平滑化する
- 3) 平滑化画像にハイパスフィルターを施し、血管を強調する
- 4) 血管強調画像をある閾値で二値化する。なお、この二

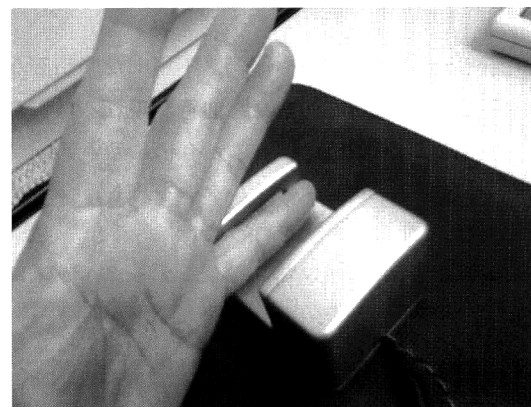


図6 指静脈撮像装置。

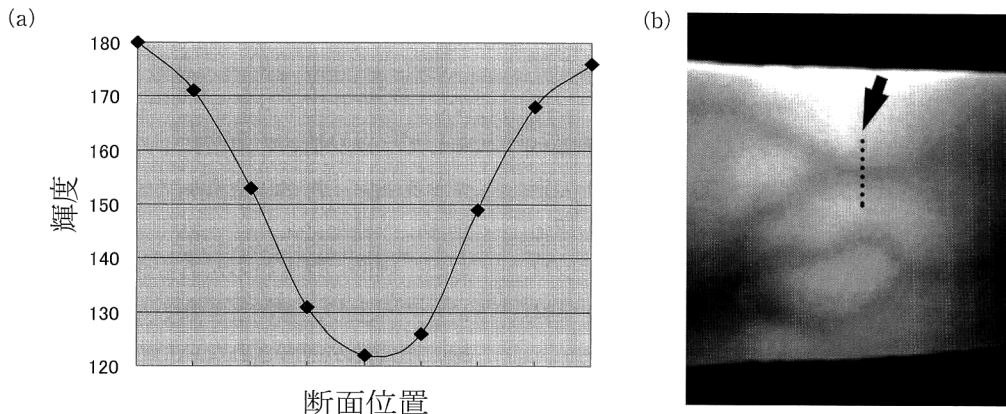


図7 指静脈画像の断面プロファイル。(a) 断面プロファイル, (b) 断面位置。

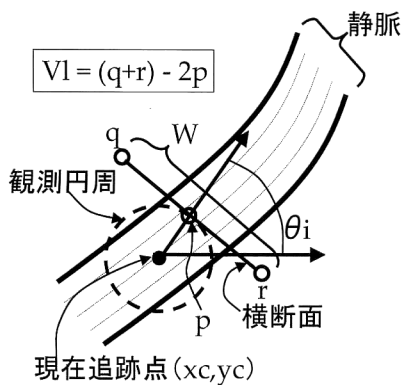


図8 追跡用の線評価関数。

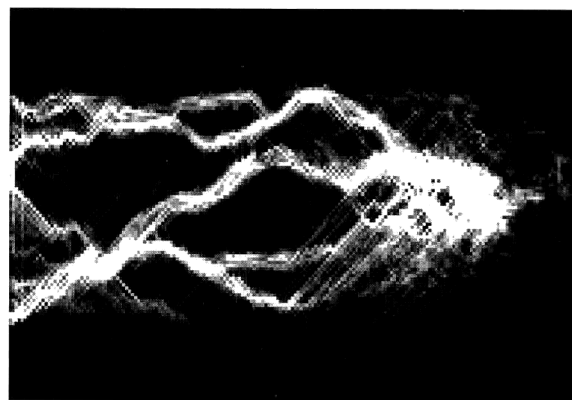


図9 指静脈パターンの抽出例。

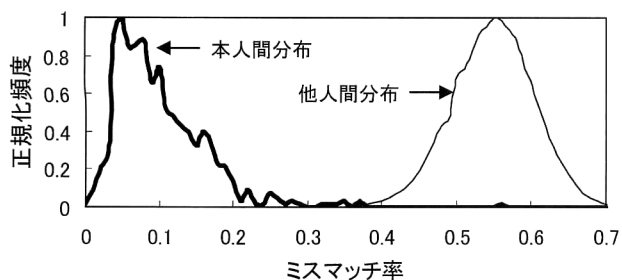


図10 指静脈による本人間・他人間の照合結果分布。

値画像是手の甲の凹凸や体毛, 不規則な脂肪層などノイズが多く, 細かく切られた血管が現れる性質がある

5) 二値化した画像にモディファイドメディアンフィルター, モルフォロジーフィルターを施し, ノイズ除去やとぎれた血管の接続を行う

6) ノイズ除去後の静脈パターンと, データベースに登録されたパターンとを照合して個人認証を行う

なお, 照合にはパターンの直接照合と分岐点による特徴点照合の2つがあり, 適用するシステムのデータ容量の制約等に応じて適宜使い分ける。また, 照合までの前処理過

程でのフィルタリングの計算量が多く, 高速化のため信号処理プロセッサを用いる。

3.2 指の静脈パターンの照合⁴⁾

指の静脈パターンによる認証では, 図5に示す4つのステップで照合を実施する。

1) 指静脈画像の獲得

指静脈撮像装置を用いて, 指静脈の濃淡画像を獲得する。図6に示すように, 手の甲側から指に近赤外光を照射し, 手のひら側に透過してきた光をカメラで撮像する。

2) 指静脈画像の正規化

指の撮像位置や角度は撮像のたびに变化するため, それらを統一する。そのためにまず, 指輪郭の検出を行い, その結果に基づき幾何学的に正規化する。

3) 指静脈パターンの抽出

透過光は指が厚いほど透過しにくくなるが, 静脈の存在する部分ではさらに透過率が低下するために, 相対的に指静脈パターンが暗い線として撮像される。このとき, 指の厚みは一樣でないため輝度むらが生じる。正規化された画像には輝度むらが含まれており, 一定の閾値を用いて二値

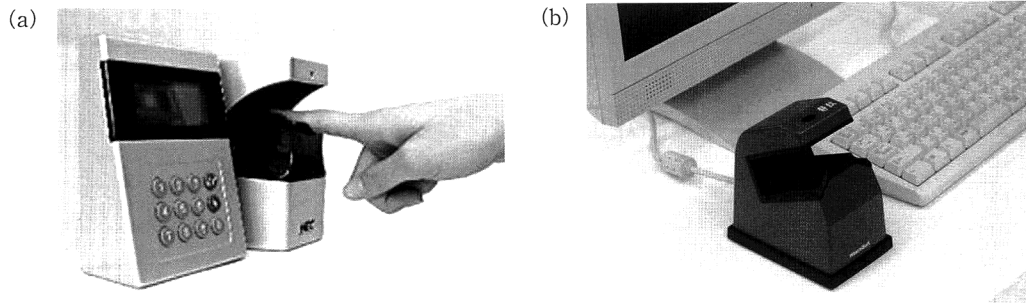


図11 指静脈認証の製品例。(a) 入退管理用(日立エンジニアリング社製), (b) PCログイン用(日立ソフト社製)。

化する従来手法では、正確な静脈パターンは抽出できない。図7は、指静脈画像の断面プロファイルの一部を示す。図に示すように、指静脈は周辺より暗い輝度値をもつ線(暗線)であり、その断面プロファイルは谷状となる。この谷の深さは輝度むらにより変動するが、谷の存在は輝度むらに不変である。そこで、暗線の追跡を、開始位置を変えつつ反復的に繰り返し、追跡の軌跡を統計的に分析することで、「静脈パターンらしさ」を計算し静脈パターンを抽出する。なお、暗線の追跡は、図8に示す線評価関数により谷の深さを評価しながら、追跡点を移動させて行う。図9に、指の静脈パターンの抽出結果を示す。

4) 照合

抽出された静脈パターンとデータベースに登録された静脈パターンとの間で相関演算を行い、一定の相関があれば、登録された個人であると認証する。

なお、この手法では、ノイズ除去やとぎれた血管の接続のために、画像全体にわたるフィルタリング処理を実施しておらず、汎用のCPUで高速な認証装置が実現できるという特徴がある。

4. 静脈認証の精度

静脈パターンによる個人認証の精度は、本人間、他人間の照合結果分布で推定できる。図10は指静脈パターンで、本人間678通り、他人間459,006通りの照合結果分布を示す。図において、横軸はミスマッチ率(非相関度)、縦軸は正規化頻度を表す。太線は本人間、細線は他人間のミスマッチ率の分布を表す。両分布は2つに分離しており、個人認証が可能であることがわかる。認証結果の判定は、ミスマッチ率に対してある閾値を設定し、閾値よりも小さければOK、そうでなければNGを出力する。このようにして得られた結果から、本人を本人でないと判定する本人拒否率(FRR; false rejection rate)、他人を本人と判定する他人受入率(FAR; false acceptance rate)、FRRとFARが

一致するときの等価エラー率(EER; equal error rate)が求められる。図10の照合結果分布によれば、EERは閾値0.376において0.145%であり、従来の指紋認証におけるEERよりも高い精度が得られている。

最近では静脈パターンを用いた個人認証装置の商用化も進んでおり、韓国のNEXTERN社から手の甲の認証装置、富士通から手のひらの認証装置⁸⁾がそれぞれ製品化されている。また、日立からは、図11に示すような2種類の指静脈認証装置が製品化されている。今後、静脈認証装置は、次世代バイオメトリクスとして、認証精度の高さと生体内のみえない特徴による安全性の高さという、他のバイオメトリクスにはない利点から、多様な分野での応用が期待される。

文 献

- 1) 日本自動認識システム協会編：これでわかったバイオメトリクス(オーム社, 2001)。
- 2) 清水孝一：“光による生体透視—光CTと生体機能イメージングの可能性—”, 病態生理, 11(1992) 620-629。
- 3) 崔 煥洙：特開平 10-295674。
- 4) N. Miura, A. Nagasaka and T. Miyatake: “Automatic feature extraction from non-uniform finger vein image and its application to personal identification,” *IAPR MVA 2002* (2002) pp. 252-256。
- 5) A. Hoover, V. Kouznetsova and M. Goldbaum: “Locating blood vessels in retinal images by piece-wise threshold probing of a matched filter response,” *IEEE Transaction on Medical Imaging*, 19(2000) pp. 203-210。
- 6) T. Walter, J. Klein, P. Massin and F. Zana: “Automatic segmentation and registration of retinal fluorescein angiographies: Application to diabetic retinopathy,” *First International Workshop on Computer Assisted Fundus Image Analysis* (Copenhagen, Denmark, May 29-30, 2000)。
- 7) P. Montesinos and L. Alquier: “Perceptual organization of thin networks with active contour functions applied to medical and aerial images,” *ICPR '96* (Vienne, Autriche, 1996)。
- 8) 森 雅博, 新崎 卓, 佐々木繁：“バイオメトリクス認証技術”, *FUJITU*, 4(2003) 272-279。

(2004年3月18日受理)