

指静脈認証精度向上法の検討

—多段階の明るさでの静脈撮影—

Improvement of Finger Vein Verification
—Finger Vein Images Taken by Various Luminance—

保 黒 政 大*

Masahiro HOGURO

服 部 公央亮*

Koosuke HATTORI

はじめに

パソコンや携帯電話など、様々な情報端末で個人認証が用いられている。この認証には様々な方法があり、ユーザ ID とパスワードを用いるのも個人認証の一つである。パスワードを利用する方法は、事前に登録したパスワードと確認用に入力されたパスワードを比較するだけで簡単に一致確認ができる。しかし、忘却や紛失により本人確認ができなくなったり、パスワードの漏洩や盗難により他人を本人と間違えて認証されたりする恐れがある。これに代わる個人認証法として注目されているのが、身体特徴を利用して個人を識別する生体認証である。生体認証では、利用者自身の身体的特徴を事前に登録しておき、本人確認時に再入力して比較する。このため、パスワードのように覚える必要が無く、定期的にパスワードを変更する必要も無いため、安全性だけでなく利便性も高い本人確認手段である。

これまでに様々な身体特徴を用いた生体認証法が提案されている。代表的なものとして

*宇宙航空理工学科 — 音声・画像情報処理工学

Department of Astronautics and Aeronautics — Speech and Media Information Technology

して、顔認証、虹彩認証、掌紋認証、指紋認証、静脈認証がある¹⁻²⁾。顔認証は、他の生体認証法と比べて識別精度があまり高くはない。しかし、収集と利用が容易であり、携帯電話やパソコン利用時の本人確認手段として使われたり、出入国管理等に利用されたりしている。虹彩認証は、高い識別性能を有するものの身体特徴データを取得するために特殊な撮像系が必要であり、虹彩画像撮影時の操作性に難がある。指紋認証は、様々な入力装置が開発されて世界中で利用されている。指の表面がセンサに直接触れる装置が広く利用されており、指の乾燥や汗などの影響で指紋画像が劣化して認証率が低下することがある。指静脈パターンを用いる静脈認証は、近赤外領域を撮影できるカメラと近赤外 LED 光源を組み合わせることで、比較的簡単に静脈画像を撮影することができる。また、静脈パターンは偽装、改ざんが極めて困難であり、生涯にわたりほとんど変化しないという性質を持つため安全性、利便性に優れた生体認証法である。

しかし、指の静脈パターンを撮影する際に、指の光透過特性に個人差が存在するため、鮮明な静脈画像を得ることが課題である。静脈撮影時の照射光量を手動で調節することにより認証する方法も提案されている³⁾が、実用的な認証システムを構築するためには、装置で撮影条件を自動制御する必要がある。この問題に対応するため、静脈撮影に使用する近赤外 LED に印加する電圧を制御して、照射光量を制御する手法が提案されている⁴⁾。また、著者らは光源照射強度を複数の固定値で変化させ、多段化した照射強度で撮影した静脈画像にて距離（類似度）を算出し、得られた複数の距離値の統計量（平均、最大、最小など）を用いて認証を行う方法を提案している⁵⁻⁶⁾。複数の距離値の最小値を用いることで、最適な明るさで撮影したと考えられる画像を用いた場合よりも高い認識率が得られる。

このような所見を踏まえ、これまでより多段階の光源照射強度変化を実現しつつ、撮影時間を短縮することで撮影中の指の位置ずれが少ない静脈画像を取得できる装置を製作する。また、本装置を利用して得た静脈画像を活用して認証精度の向上を目指す。

1. 静脈画像

1.1. 指静脈撮影装置

静脈撮影においては、血液中のヘモグロビンが近赤外光を吸光する特性を利用して静脈画像を得る⁷⁻⁸⁾。しかし、近赤外光の透過特性には個人差があり、一定の照射強度で静脈撮影を行うと、きれいな静脈像を得られる人もいれば、まったく静脈が観察

できない人もいる。そこで、近赤外LEDの印加電圧制御回路を自動的に制御して近赤外光の照射強度を変化させる。また、電圧変化時にカメラの撮影トリガを操作して静脈画像を撮影する。このような処理を、マイコンとマイコンで制御できる電圧制御回路を組み合わせて図1の静脈撮影装置を製作した。本装置では、LEDへの印加電圧を1.4[V]から5.0[V]までを0.1[V]刻みで変化させることができ、約1秒間で37枚の静脈画像を撮影できる。なお、LEDには75[Ω]の電流制限抵抗を直列に接続している。使用機器の諸元を表1～3に示す。

図1 静脈撮影装置

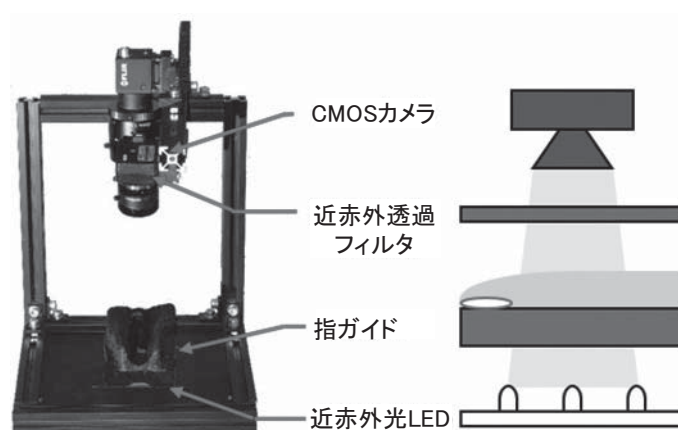


表1 静脈撮影カメラの諸元

メーカー	FLIR Systems
型番	FMVU-03MTM-CS
有効画素数 [pixel]	752×480
センサタイプ	CMOS
外観	

表 2 レンズの諸元

メーカー	computar
型番	M0814-MP2
焦点距離 [mm]	8
最大口径比	1 : 1.4
絞り範囲	F1.4~16
外観	

表 3 近赤外 LED の諸元

メーカー	OptoSupply
型番	OSI3CA5111A
ピーク波長 [nm]	850
順電圧 V_f [V]	1.35
放射強度 [mW/Sr]	45
外観	

1.2. 静脈画像データベース

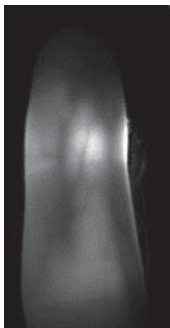
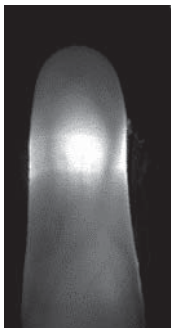
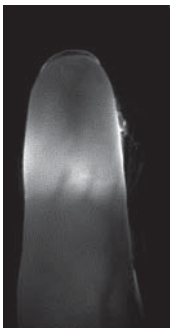
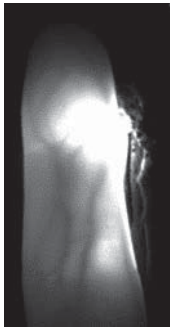
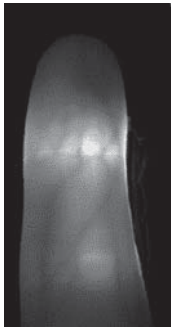
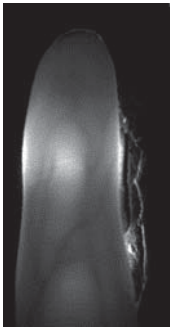
LED への印加電圧を 1.4[V] から 5.0[V] までは 0.1[V] 刻みで変化させ、約 1 秒間で 37 枚の静脈画像を近赤外カメラで撮影した。LED (OSI3CA5111A, $V_f = 1.35[V]$) には $75[\Omega]$ の電流制限抵抗を接続しているため、LED に流れる電流の理論値は 0.7 [mA] から 48.7[mA]、約 1.3[mA] 刻みである。

それぞれの電圧で 9 人の左右・人差し指と中指をそれぞれ 9 回ずつ撮影し、評価用静脈画像データベースを構築した。評価用静脈画像データベースの概要を表 4 に、画像例を表 5 に示す。

表 4 評価用静脈画像データベース

撮影人数	撮影指数 [本 / 人]	撮影回数 [回 / 指]	総データ数 [枚]
9 人	4	9	324

表 5 静脈画像の例

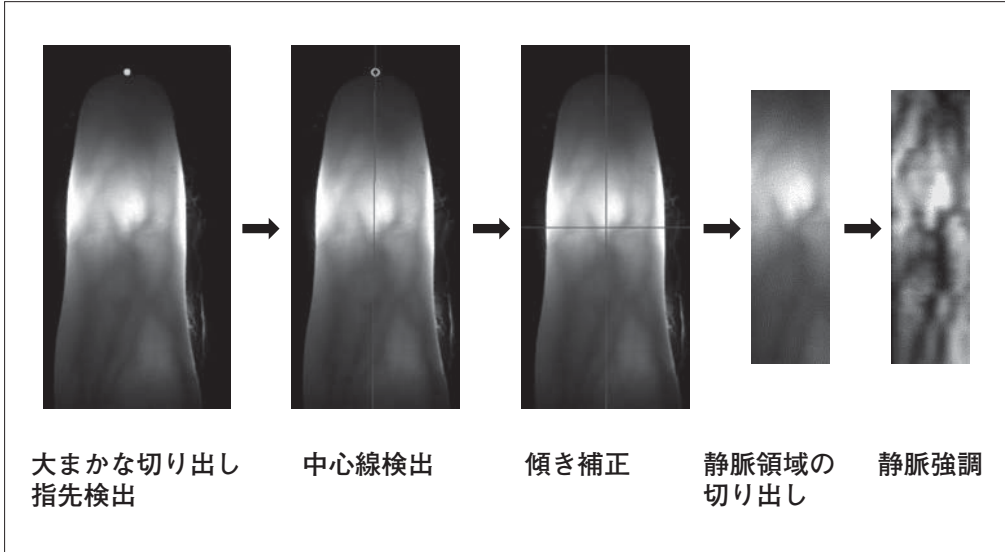
	A 氏	B 氏	C 氏
静脈画像			
	D 氏	E 氏	F 氏
静脈画像			

2. 静脈認証手法

2.1. 静脈領域の切り出しと静脈強調処理

指静脈画像の取得は、近赤外光を指に照射してカメラで撮影する。カメラで撮影した静脈を含む画像から、静脈認証に利用する画像を生成する。撮影画像から大まかに指領域を切り出し、画像処理により指先を検出する。画像中の指は、必ずしも垂直に置かれているとは限らないため、指中心線を基準に回転補正する。なお、指先座標と指の中心線には、複数の明るさで撮影した画像の統計値を用いている。また、近赤外光を用いて撮影した静脈像は、周囲の影響でボケていたり周囲の明るさが不均一であったりするため、周波数フィルタリングにより強調処理を施す。処理の流れを図 2 に示す。

図 2 静脈画像処理の流れ



2.2. 画像比較

静脈画像の比較には DP マッチングを利用する。DP マッチングでは、比較対象データパターンの伸縮や位置ずれを考慮しながら比較することができる。ここでは指の縦方向の伸縮や位置ずれを吸収するために利用する。DP マッチングの適用例を図 3 に示す。なお、横方向の位置ずれも発生するため、DP マッチングと同時に横方向に少しずつずらしながら比較する「ずらしマッチング」を利用する。

本稿で用いた DP マッチングは、 i, j における最小累積距離を式 (1) により計算する。 a は横方向のずらし幅である。

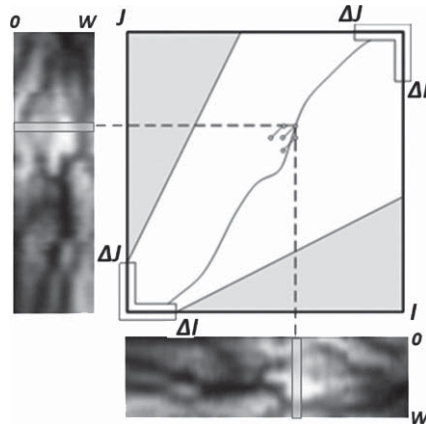
$$g(i, j, a) = \min \left\{ \begin{array}{l} g(i-1, j-2, a) + 2d(i, j-1, a) \\ g(i-1, j-1, a) + d(i, j, a) \\ g(i-2, j-1, a) + 2d(i-1, j, a) \end{array} \right\} + d(i, j, a) \quad (1)$$

始端点フリー区間では式 (2) に示すような $(i+1)$ および $(j+1)$ で重み付けされたパスを用いる。 $\Delta I, \Delta J$ は端点フリー区間である。

$$g(i, j, a) = \min \left\{ \begin{array}{l} g(0, 0, a) = 0 \\ g(i, 1, a) = g(0, 0, a) + (i+1)d(i, 1, a) \\ g(1, j, a) = g(0, 0, a) + (j+1)d(1, j, a) \end{array} \right\} + d(i, j, a) \quad (2)$$

$$(1 \leq i \leq \Delta I, 1 \leq j \leq \Delta J)$$

図3 DP マッチングの例



終端点フリー区間は、式(3)で表される正規化累積距離 $G(i, j, a)$ の最小値を正規化最小累積距離 D として式(4)のように定義し、これを画像間の類似度とする。

$\Delta I'$, $\Delta J'$ は終端点フリー区間である。

$$G(I, J, a) = \min \left(\frac{g(I, J, a)}{I+J} \right) \quad (3)$$

$$D = \min \begin{cases} G(i, j, a) & (I - \Delta I' \leq i \leq I) \\ G(I, j, a) & (J - \Delta J' \leq j \leq J) \end{cases} \quad (4)$$

3. 静脈認証実験

3.1. 単一電圧での認証

照明用 LED への印加電圧が 1.4[V] から 2.3[V] において撮影した静脈画像を用いて認証実験を行った。なお、印加電圧 2.4[V] から 5.0[V] では、サチュレーションを生じた画像が多く見られたため、認証実験で使用する電圧は 1.4[V] から 2.3[V] とした。単一電圧でのみ静脈画像を比較しているため、人により静脈が鮮明に見えている場合とそうでない場合がある (図 4, 表 6)。

認証実験では撮影条件による精度差が出やすいように、登録画像と評価入力画像は各1枚として、クロスバリデーションにより画像対を比較して認証率を求める。作成したデータベースにおいて、14枚の画像が前処理に失敗したため認証実験から除外する。今回の実験での総組み合わせ数48205であり、本人同士の組み合わせ数

1198, 他人の組み合わせ数 47007 である。

まず, 画像対を DP マッチングにより比較して画像間の距離を求める。この距離が設定された閾値より小さい場合に本人, 大きい場合には他人と判断する。閾値を変え

図 4 照明強度を変化した場合の静脈画像例

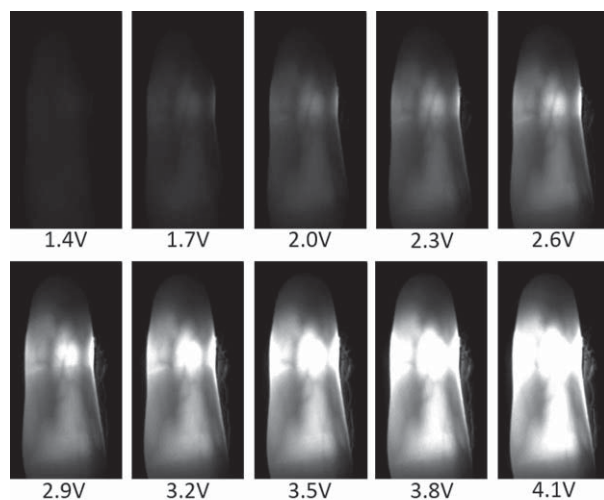


表 6 単一電圧で撮影した静脈画像の例

	A 氏	B 氏	C 氏	D 氏
電圧 [V]	2.0			
撮 影 画 像				
静 脈 強 調 画 像				

ることにより、他人を本人と誤認証する割合（FAR；False Acceptance Rate，他人受入率）や本人を他人と誤認証する割合（FRR；False Rejection Rate，本人拒否率）が変化する。認証精度の比較用尺度には、FARとFRRが一致する点を表す等価エラー率(EER)を使用する。本稿では等価エラー率を誤認証率と表記して精度比較を行う。誤認証率が小さいほど高精度であり、大きいほど精度が低くなる。

単一電圧で求めた距離値のみを用いたときの誤認証率を図5に、FARとFRRの関係を図6に示す。

LEDへの印加電圧が2.0[V]のときに誤認証率3.34[%]を得た。このときLEDに流れる電流は約8.7[mA]である。この撮影条件での静脈画像を観察すると、人の目には少し暗く見える静脈画像があるものの、全体としてサチュレーションを生じる画像が少ないため、総合的に最も良い誤認証率になったと考える。

3.2. 複数画像を用いた認証

電圧1.4[V]から2.3[V]の電圧で撮影した画像から求めた距離の平均値，最小値，最大値およびメジアンを，新たな距離値として認証を行う。

複数の電圧（2.0[V]，2.1[V]，2.3[V]）で撮影した画像による距離の最小距離値を用いて認証したときが最も良く，誤認証率2.97[%]を得た（図7）。次点として，メジアンを利用した場合に1.4[V]，1.5[V]，2.0[V]，2.1[V]，2.3[V]の組合せで3.09[%]を得た。

単一電圧で最も良い誤認証率を得た2.0[V]付近で，最小となる距離値を利用したときに最も良い誤認証率となった。最小距離値を用いることにより，個人に最適な画像を用いた比較が行われたと考える。

図5 単一電圧での誤認証率

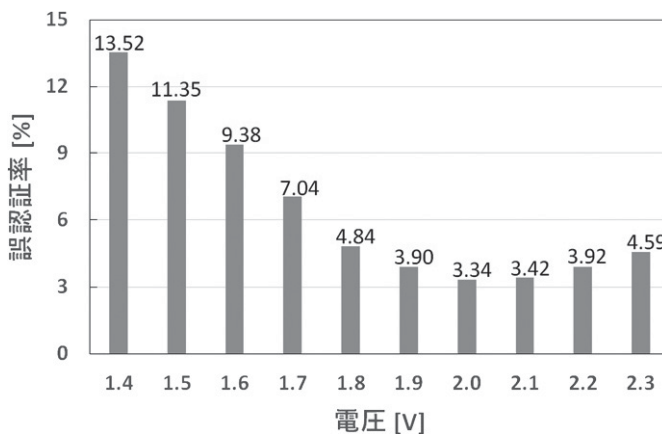


図 6 FAR と FRR との関係 (単一電圧)

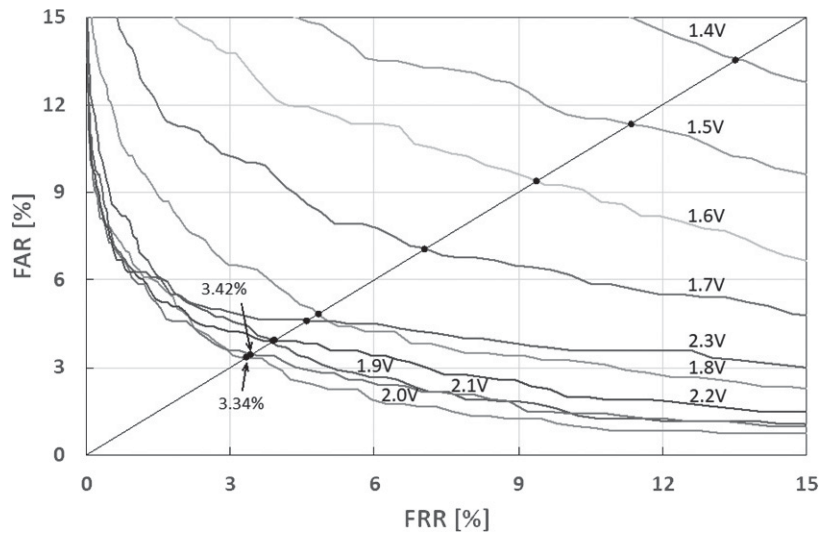
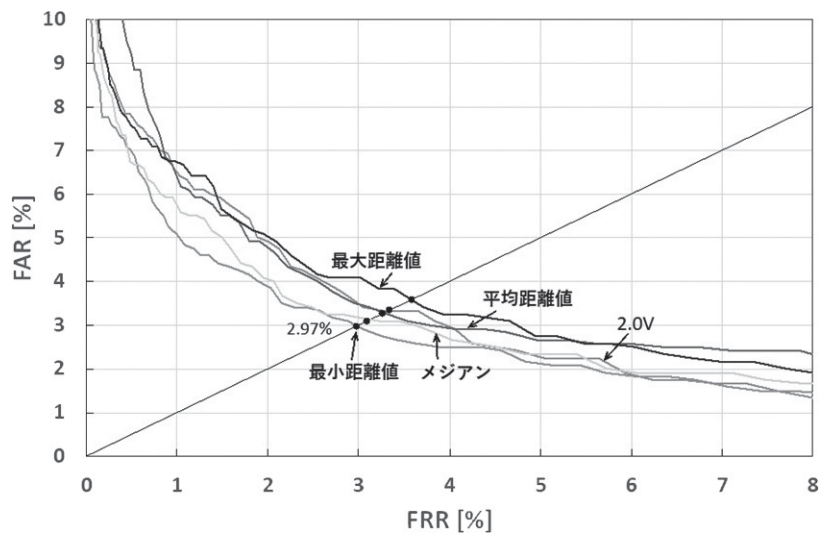


図 7 FAR と FRR との関係 (複数電圧と単一電圧)



まとめ

撮影時に照射する近赤外 LED の明るさを 37 段階に変化させて静脈画像を撮影する装置を製作した。本装置では約 1 秒間で 37 枚の画像撮影を行うことができるため、指や静脈の位置ずれがほとんど無い画像群を得ることができた。

本装置により取得した指静脈画像を用いて認証性能を評価した。これまで同様に複数の電圧で撮影した画像を用いた距離の最小距離値を用いる場合が最も良い結果となり、2.97[%]の誤認証率を得た。これまでに使用していたデータベースでは 8.21[%]であったことから、今回製作した撮影装置では、従来に比べて優れた静脈画像が取得できるようになったと考える。

今後の課題は、静脈画像データベースのデータ数の増加と、複数の電圧で撮影した画像を用いた画像処理を連携するアルゴリズムの開発を行い、誤認証率を改善することである。今回作成した静脈画像データベースは、異なる電圧で撮影した静脈画像の位置ずれが少ないことが期待できるため、静脈認証時の画像処理において複数画像の処理を連携させるなどして、さらに認証精度の向上が期待できる。指の輪郭などの検出処理では、画像が暗すぎたり明るすぎたりすると失敗する場合がある。しかし輪郭検出が困難な場合でも、静脈は鮮明に写っている場合もあり、指輪郭の検出処理などと認証用の静脈像で異なる電圧での画像を利用するなどの方法が考えられる。

参考文献

- 1) 瀬戸洋一：「ユビキタス時代のバイオメトリクスセキュリティ」, 日本工業出版 (2003)
- 2) 瀬戸洋一：「サーバーセキュリティにおける生体認証技術」, 共立出版 (2002)
- 3) 石川諒治, 田口亮, 梅崎太造, 保黒政大：「静脈画像の光源波長に対する官能評価」, 電気関連学会東海支部連合大会, O-007 (2009)
- 4) 近藤真司：「透過型及び反射型静脈認証システムの開発」, 名古屋工業大学大学院研究科博士前期課程修士学位論文 (2011)
- 5) 保黒政大, 服部公央亮：「指静脈認証精度向上法の検討—明るさの異なる複数画像を用いる方法—」, 中部大学産業経済研究所, 産業経済探求, No. 1, pp. 9-20 (2018)
- 6) 保黒政大, 服部公央亮：「指静脈認証精度向上法の検討—最適な明るさで撮影することの有効性検討—」, 中部大学産業経済研究所, 産業経済探求, No. 2, pp. 33-43 (2019)
- 7) 服部公央亮, 石川諒治, 田口亮, 梅崎太造, 保黒政大：「静脈画像を用いた個人認証システムの開発」, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2010), IS3-61 (2010)
- 8) 梅崎太造, 保黒政大, 服部公央亮, 田口亮：「高精度化する個人認証技術～身体的, 行動的認証からシステム開発, 事例, 国際標準化まで～」, エヌ・ティー・エス, pp. 157-171 (2014)