

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—

Improvement of Finger Vein Verification

—Consideration of Using Optimal Luminance Images—

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、各種情報端末で用いられる個人認証には、様々な方法がある。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。しかし、パスワードを利用する方法では、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として、身体特徴を利用して個人を識別する生体認証が注目されている。生体認証では、利用者がパスワードを覚える必要が無く、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と言える。

現在は様々な身体特徴が生体認証に使われており、代表的なものとして、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、識別精度があまり高くないが、取得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、出入国管理に利用されたりしている。虹彩認証は、高い識別性能

*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

を有するものの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。指紋認証では、入力装置として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ことが課題として確認されている。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、システム側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⁾。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。しかしながら、この方法では複数の明るさで撮影した静脈画像から得た情報を保存しておく必要があり、また、これらを比較照合して本人認証する必要がある。

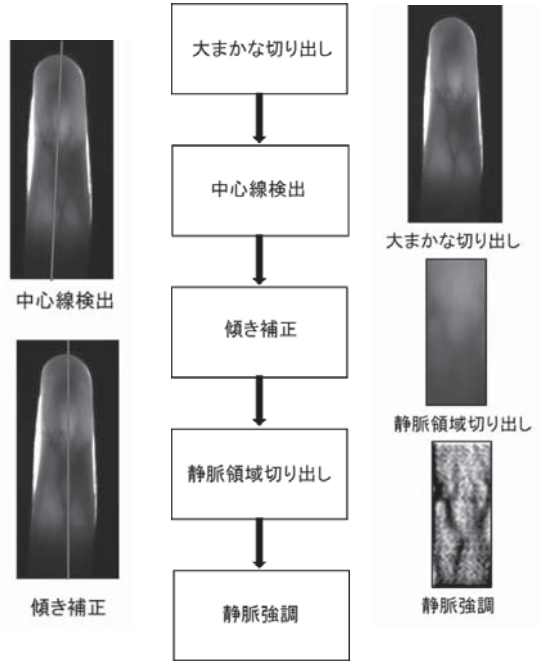
本稿では、複数の距離値の最小値を用いることで認証率が向上した理由を分析すると共に、人が目で見て最適な明るさで撮影されたと判断する画像を用いて認証率を向上する方法を検討する。

1. 静脈認証手法

1.1. 静脈画像の撮影と静脈強調処理

指静脈は、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。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 1 に示す。

図 1 静脈強調処理の流れ



1.2. 画像比較

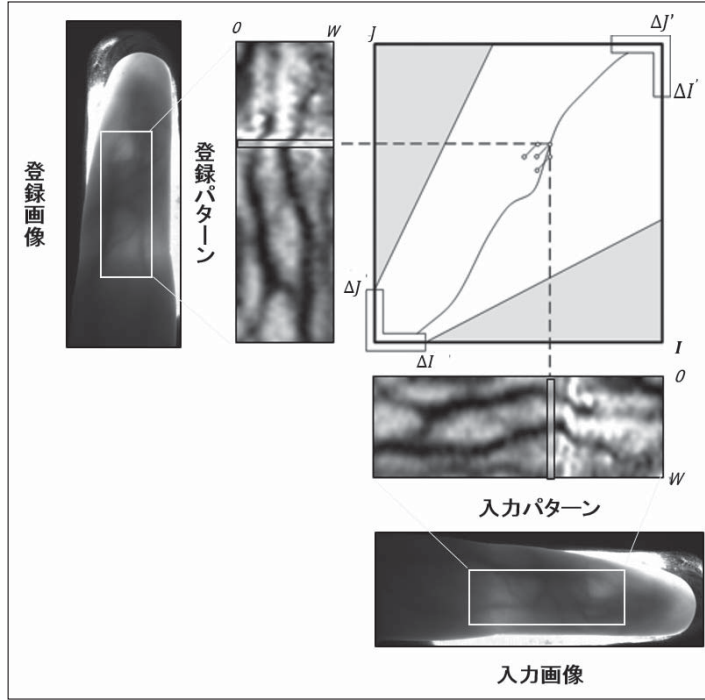
静脈画像の比較には DP マッチングを利用する。DP マッチングでは、比較対象データパターンの伸縮や位置ずれを考慮しながら比較することができる。ここでは指の縦方向の伸縮や位置ずれを吸収するために利用する。DP マッチングの適用例を図 2 に示す。なお、横方向の位置ずれも発生するため、DP マッチングと同時に横方向に少しずつずらしながら比較する「ずらしマッチング」を利用する。

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。

図 2 DP マッチングの例



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

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

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。

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

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

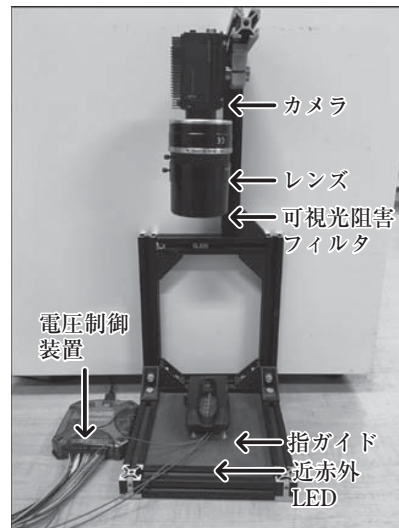
2. 評価用データベース

2.1. 撮影装置

透過型撮影装置を使用する。本稿で使用した透過型撮影装置は、指の甲を下向きにして撮影装置の指ガイドに置き、指の下に配したLEDにより近赤外光を照射する。指の腹側に透過した光をカメラで指の上部から撮影する。近赤外LEDは、指の広範囲を撮影できるように6個を一行に並べた。使用した静脈撮影装置を図3に示す。

近赤外光の透過特性には個人差があり、LEDの照射強度を一定にて静脈撮影を行うと、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画像になる人もいる。そこで、LEDに印加する電圧を外部から制御できるようにして、近赤外光の照射強度を変えながら静脈画像を撮影する。

図3 静脈撮影装置



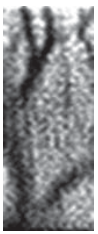
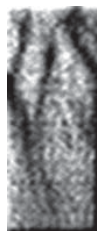
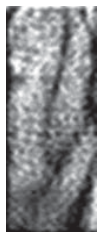
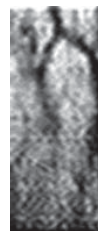
2.2. 静脈画像データベース

LEDに印加する電圧を自動的に制御しながら、電圧3.9[V]、4.1[V]、4.3[V]、4.5[V]、4.7[V]、4.9[V]、5.1[V]で静脈画像を撮影した。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10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1に示す。

表1 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	10	360

表 2 静脈画像の例

	A 氏	B 氏	C 氏	D 氏
静脈画像				
静脈強調画像				

3. 複数画像を用いた静脈認証

3.1. 最適な明るさで撮影した画像による認証

目視により最適な明るさを決定して静脈画像を撮影して認証実験を行った。静脈が鮮明に見える明るさを、指ごとに目視により判定する。目視により最適な明るさを選択した画像の例を表 4 に示す。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。今回の実験での総組み合わせ数 116640 であり、本人同士の組み合わせ数 3240、他人の組み合わせ数 113400 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

表 4 目視により最適な明るさを選択した画像の例

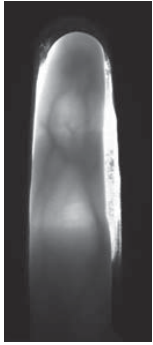
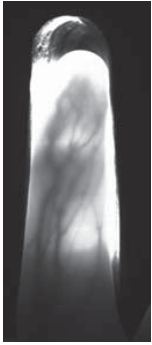
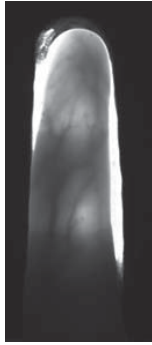
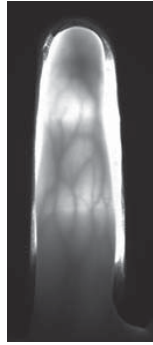
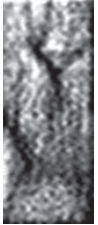
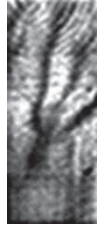
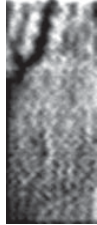
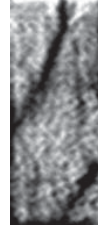
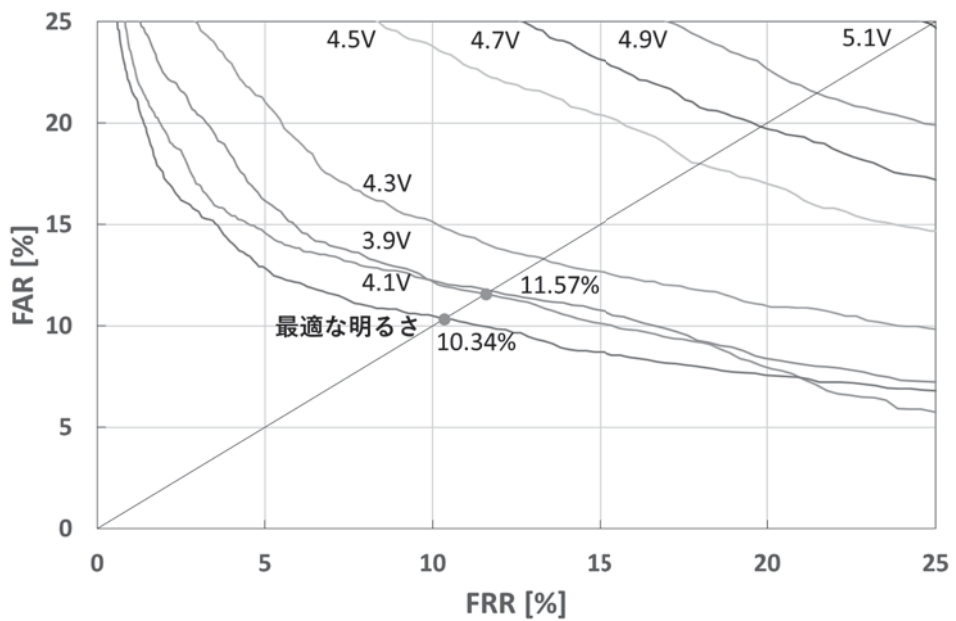
	A 氏	B 氏	C 氏	D 氏
電圧 [V]	4.1	4.3	4.1	4.5
静脈 画 像				
静脈 強 調 画 像				

図 4 FAR と FRR との関係 (単一電圧)



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。

最適な明るさで撮影した画像を用いたときの誤認証率と、他の電圧で撮影した画像を用いた場合の誤認証率を図4に示す。

目視により最適な明るさを選択して撮影した静脈画像を用いた場合、誤認証率が10.34[%]であり、画像撮影時のLED印加電圧を4.1[V]に固定したときより誤認証率が1.23[%]改善する。

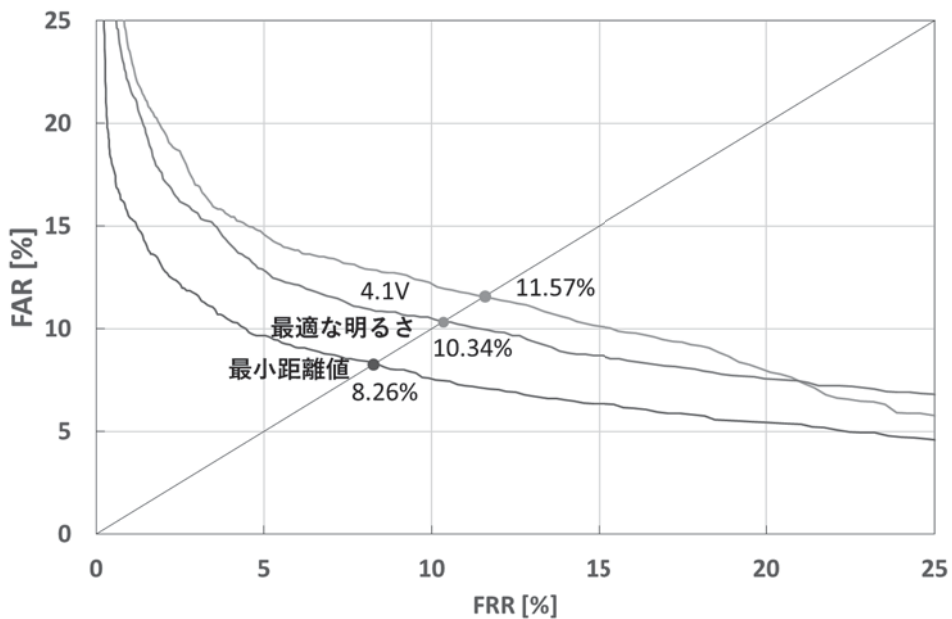
3.2. 複数画像を用いた認証

3.2.1. 最小距離値

電圧3.9[V], 4.1[V], 4.3[V], 4.5[V], 4.7[V], 4.9[V], 5.1[V]の電圧で撮影した画像から求めた距離の最小値を、新たな距離値として認証を行う。

複数の電圧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結果、誤認証率8.26[%]を得た(図5)。

図5 FAR と FRR との関係 (複数電圧と単一電圧)



3.2.2. 最適な明るさでの距離値を利用した認証

最適な明るさで撮影した画像を用いて得られた距離値と、電圧 3.9[V], 4.1[V], 4.3[V], 4.5[V], 4.7[V], 4.9[V], 5.1[V] の電圧で撮影した画像から求めた距離から、新たな距離値を計算して認証を行う。

最適な明るさは、人が目で見て判断しているため、選定された電圧近辺の電圧を利用することで認証率が向上すると考えられる。そこで、①最適な明るさで得た距離値と1段階高い電圧と低い電圧で得た距離値の平均値を用いた場合、②最適な明るさで得た距離値と1段階高い電圧と低い電圧で得た距離値のうち小さな距離値との平均値を用いた場合、③最適な明るさと1段階高い電圧と低い電圧で得た距離値で最も小さな距離値も用いた場合で認証を行う（図6）。

最適な明るさと1段階高い電圧と低い電圧の平均距離値を用いた場合は、最適な明るさでの距離値を用いた場合と比べて誤認証率が0.06[%]改善したが、大差ない。最適な明るさで得た距離値と1段階高い電圧と低い電圧で得た距離値のうち小さな距離値との平均値を用いることにより、さらに誤認証率が0.43[%]改善した。また、最適な明るさと1段階高い電圧と低い電圧で得た距離値で最も小さな距離値を用いた場合には、さらに誤認証率が0.4[%]改善し、最適な明るさでの距離値のみに比べて、誤認証率が0.89[%]改善した。

しかし、依然として電圧 3.9[V], 4.1[V], 4.3[V], 4.5[V], 4.7[V], 4.9[V], 5.1[V] の電圧で撮影した画像から求めた距離の最小距離値を用いた場合の8.26%には及ばない。

そこで、最適な明るさでの撮影電圧と、距離が最小となる撮影電圧が一致する組み合わせ数を調べてみた。今回の実験での総組み合わせ数116640のうち、一致した組み合わせが19582通り（約16.8[%]）、一致しなかった組み合わせが97058通り（約83.2[%]）であった。不一致の組み合わせが80[%]以上であり、最適な明るさで撮影された画像を用いた場合が、必ずしも最良ではないということである。

様々な電圧（3.9[V], 4.1[V], 4.3[V], 4.5[V], 4.7[V], 4.9[V], 5.1[V]）にて撮影したものから、最小距離値を選択することにより誤認証率が改善する理由を考察するため、本人同士の組み合わせと他人の組み合わせにおける、各電圧での距離値の状況を観察した（表5）。なお、人と指の番号が登録と評価で一致する組み合わせが本人同士の組み合わせであり、表5は全て本人同士の組み合わせである。本人同士の組み合わせにおいて、全ての電圧において誤認証となる場合もあるものの、多くは一部の電圧で誤認証となっている。このため、最小距離値を選択することにより、本人と判断できるケースが多数存在し、これが誤認証率の改善に寄与していると考えられる。

今回の検証実験では誤認証率として FAR と FRR が一致する EER を採用している。本人組み合わせ数と他人組み合わせ数では、他人組み合わせ数が本人組み合わせ数の

図 6 FAR と FRR との関係（最適な明るさを用いた場合）

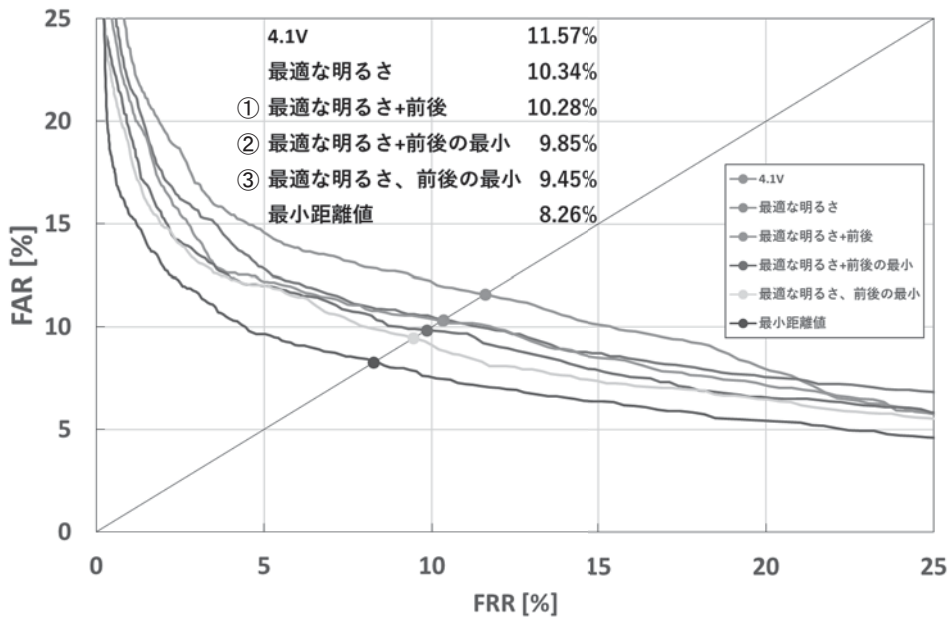


表 5 様々な電圧で撮影した画像を用いた距離値の例（本人同士）

登録画像			評価画像			距離値（閾値 3000）						
人	指	No.	人	指	No.	3.9 [V]	4.1 [V]	4.3 [V]	4.5 [V]	4.7 [V]	4.9 [V]	5.1 [V]
8	1	0	8	1	3	1268	1402	3872	4480	5322	3888	5040
8	2	0	8	2	3	1180	888	774	2302	4578	4633	4716
8	3	0	8	3	3	2229	1285	3179	3787	5173	3154	4596
8	4	0	8	4	3	3207	3551	3434	3539	2397	2634	4265
9	1	0	9	1	3	5105	5012	5150	5370	5565	5466	5796
9	2	0	9	2	3	2205	1983	1889	1910	1487	1337	1601

（太字は閾値以上であり他人と判断する距離値）

約 35 倍であり，FAR より FRR の改善が有効である。このため，最小距離値を採用して本人拒否を減少することにより，誤認証率 EER が改善したと考えられる。

また，別の見方をすると，本人同士の組み合わせにおいては，複数の電圧で撮影された静脈画像での最小距離値を採用することにより，登録画像に複数の画像を用いて認証した時と似た効果を得たと考えられる。7 枚の画像から最適な画像を，距離値を元に選択して認証に用いたことになり，本人同士の組み合わせにおいては，大きく改善できたものと考えられる。

人により最適と判断された画像を用いた認証では、最小距離値を用いた認証より改善することはできなかった。しかし、上述の考察から、登録画像1枚の条件下では適切に最適画像を選択することが誤認証の改善に有効であると考ええる。

まとめ

人が最適と判断した明るさの指静脈画像を用いることにより、認証精度が向上する可能性を考察した。これまでの研究により、様々な明るさで撮影した指静脈画像を用いて比較・照合を行い、それらの最小距離値を用いて判定することにより誤認証率が改善することが分かっている。この理由として、各明るさで撮影した静脈画像には品質の良くない画像も含まれており、それらを除外して適切な画像同士を比較した組み合わせが選択されることで本人同士の組み合わせにおける誤り（本人拒否）が減少していると考えられる。

最適な明るさで撮影した画像を用いたり、最適な明るさから1段階変化した画像を用いることにより、明るさを固定して認証した場合よりも誤認証率は改善しており、適切な明るさで撮影された画像を用いることは有用であると考えられる。

今後の課題は、適切な明るさであることの自動判定法の開発と、画像の品質判定による自動棄却の導入により、さらに誤認証率を改善することである。

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）