

高速・高精度での本人確認を実現する非接触指静脈認証システムに関する研究

研究代表者

鈴木 裕之

東京工業大学科学技術創成研究院 助教

1 はじめに

近年生体認証は、これまでに利用されてきた携帯電話や銀行 ATM 等以外にも利用範囲が拡大し、イベント会場やテーマパークなどの入場ゲートでも利用されるようになった[1]。このような場面では、大人数を短時間で処理する必要があるため、処理の高速性が求められるが、現在この要求に見合う生体認証技術としては、顔認証が主流である。しかし顔認証に用いる顔画像は、常に露出している情報であるため本人以外でも容易に入手可能であり、なりすましなどの危険性を抱えている。また認証精度としても、表情の違いや照明環境、メガネ等の装飾品などの影響を受けやすく、他の高精度な認証精度を有する生体認証に比べると課題が多く存在する。一方、指や手のひらなどの静脈パターンを利用して本人確認を行う静脈認証は、体の内部構造を生体特徴として認証に利用するため、顔や指紋と比べるとその情報漏えいの危険性は極めて低く、銀行 ATM など大人数のユーザーが対象となるサービスでの利用も実現している。また、照合精度についても高い精度を有することが示されていることから、前述のイベント会場のような場面でも安全性や精度の面で高いパフォーマンスが期待できる。

このような背景から、我々は、撮影装置付近に手を近づけるだけで指静脈画像を非接触で取得し、高速かつ高精度な静脈認証を実現するためのシステムを提案している[2]。本研究では、この静脈認証システムに用いる撮像装置について、露光時間を短くしつつ光源を明るくし、強い赤外光による人体の悪影響を軽減する仕組みとして、パルス型の LED 光源を照明光として利用することとし、低フレームレートでもブレの無い画像を撮影可能な撮像システムについて検討を行った。また、静脈画像の照合手法として、従来利用していた Normalized Cross Correlation (NCC) では位置ずれに弱いことや複数指の利用が難しいことが課題であったが、本研究では合成や位置合わせが不要な SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) 特徴量を利用した手法を適用し、照合精度や照合時間の改善を検討した。さらに、非接触指静脈認証を実時間でを行うプロトタイプシステムの構築を行い、提案技術の有効性を評価した。

2 撮像システムの改良

従来研究で利用していた静脈撮像システムでは、低フレームレートのカメラで撮影していたため、手を早く動かすと静脈画像がブレてしまい、正しく照合を行うことが困難であった。そこで本研究では、指に照射する光源をパルス発光させることで、強い光による人体の悪影響を軽減しつつ、低フレームレートでもブレの無い画像を撮影する仕組みを開発した。

手を早く動かした場合でもブレの少ない画像を撮影するためには、1 フレーム当たりの露光時間を短くすることが必要になるが、露光時間を短くすると露光量が減り、S/N が低下する。一方、露光量を高めるために強い光を照射すると、人体への悪影響が懸念されるため、照明光強度は低いことが望ましい。そこで今回、短時間にパルス状の光源が照射されるよう時間制御する仕組みを導入する(図1)。この仕組みにより、露光時間は短く、また露光量も十分高いが、人体に照射する総露光量は抑えた撮像が実現できる。

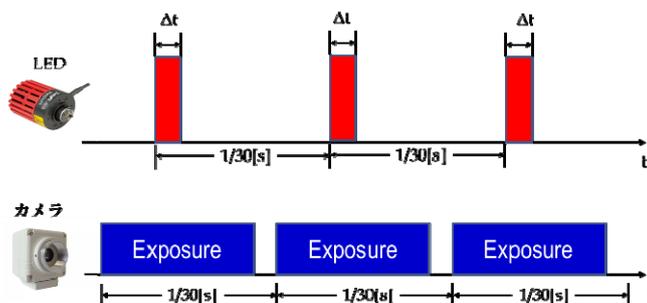


図1. パルス照射型撮像の原理

今回の実験に用いた撮像システムの概略図を図2に示す。また、構築した撮像システムの外観図を図3に示す。このシステムでは、カメラと光源の前にクロスニコル配向となるよう偏光板を設置し、これらの間にかざした指を透過または反射する近赤外光を撮影する。カメラは近赤外対応のCMOSカメラ (xiQ: MQ013RG-E2) を利用し、光源には波長 850nm の LED (THORLABS: M850LP1) を用いた。また、関数生成器 (Keysight Technologies: ファンクションジェネレータ 33522B) からのパルス状トリガ信号を LED 光源に入力することで、短時間に強い光が照射されるよう光源の制御を行った。図4に撮影した静脈画像の例を示す。これらの静脈画像は、歩行時に自然な動きで手をセンサーにかざす動作を想定して撮影した画像である。これらの結果画像を見ると、透過型、反射型いずれにおいても、パルス幅を短くすることにより、手を早く動かした場合でもブレの少ない静脈画像を撮影できていることが確認できる。また、透過型と反射型を比較すると、透過型では、光源を覆うように撮影できる指の位置では明瞭な静脈パターンが得られるが、位置によっては背景光が指の内部に入り込んでしまい、不鮮明な静脈パターンとなってしまう。一方、反射型では、透過型に比べ静脈パターンのコントラストは低い、指の場所によらず鮮明な画像が得られている。

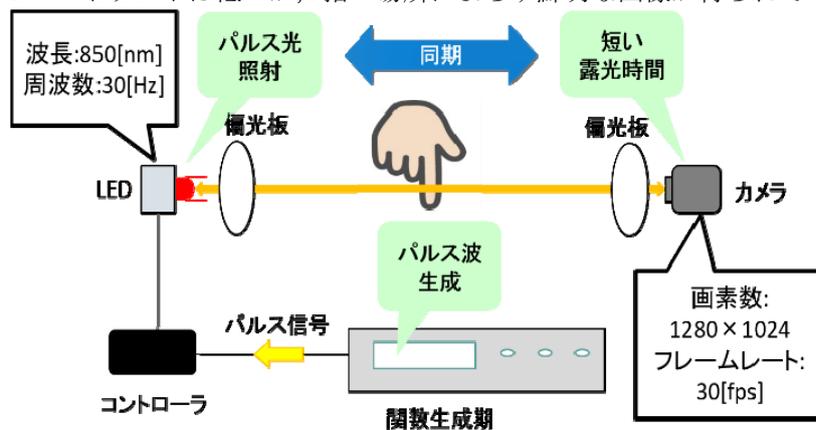


図2. 撮像システムの概略図

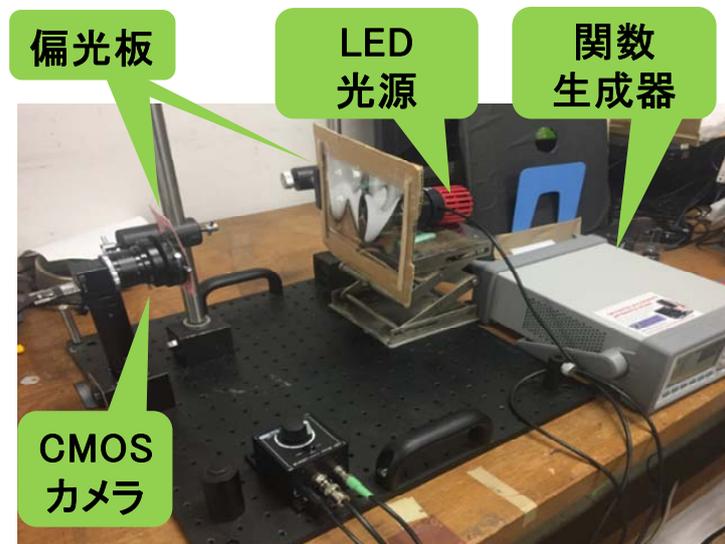
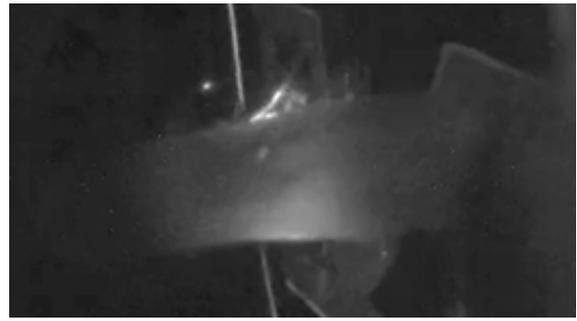


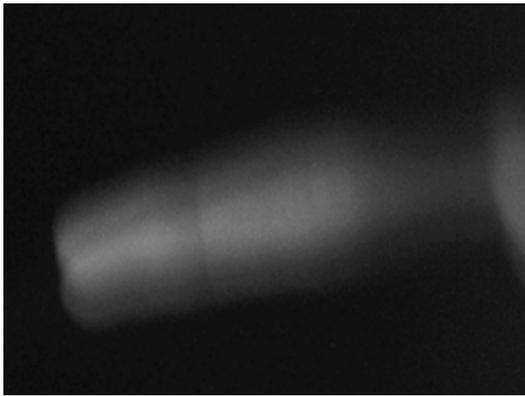
図3. 構築した撮像システムの外観



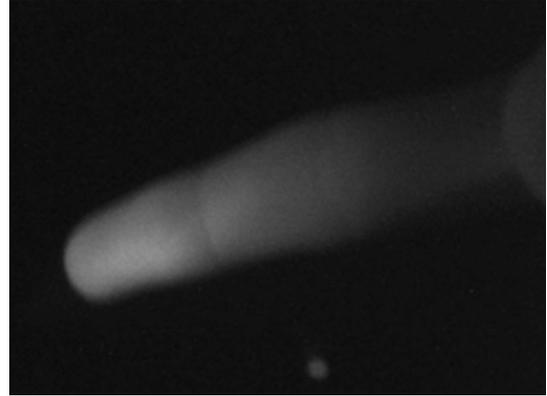
(a) 透過型, パルス幅 17[ms]



(b) 透過型, パルス幅 3.3[ms]



(a) 反射型, パルス幅 40[ms]



(b) 反射型, パルス幅 10[ms]

図 4. 高速に動かした指を撮影した静脈画像

3 照合手法の検討

提案システムにおける指静脈パターンの照合手法としては、正規化相互相関 (Normalized Cross Correlation : NCC) による照合[3]および SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) [4]を利用した照合[5]の提案を行った。

3-1 NCC に基づく手法

提案システムで撮影した指の透過光画像から指領域を抽出する手法について説明する。提案するシステムでは、指静脈領域の抽出位置精度だけでなく、演算の高速性も重要になるため、演算量の少ない処理で高精度な領域抽出手法が求められる。今回の手法では、一本の指が画像内に入ってきた際に指の先端部分を検出し、その情報をもとに指静脈が存在する領域を抽出する。指の先端部分の検出は、以下の手順にて行う。

- ① DOG フィルター
- ② Canny エッジ抽出
- ③ ハフ変換による円検出

この処理の様子を図 5 に示す。この処理により、安定的に指の先端部分を特定できる。先端部分を特定したのち、指先から指の根元へ延びる方向ベクトルを求め、その方向に沿う長方形領域を指領域として抽出する (図 6)。

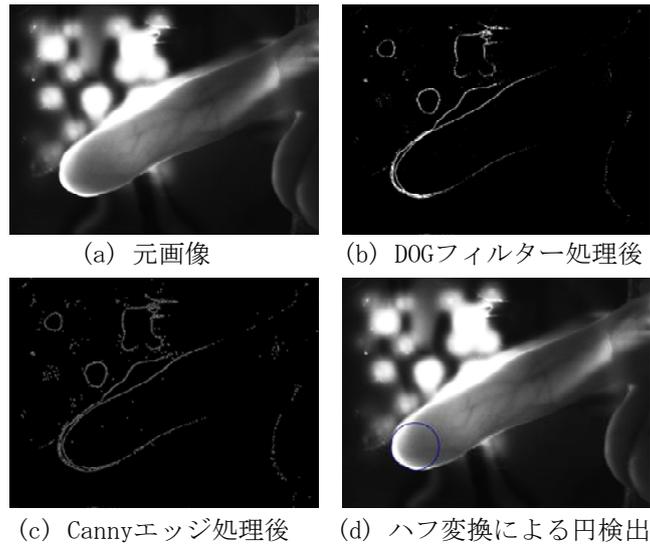


図5. 指先端部の検出

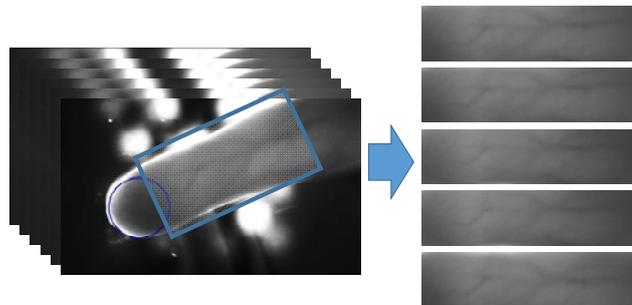


図6. 指静脈領域の抽出結果

動画の複数フレームから指静脈部分を抽出した後、それらを用いて生体特徴画像を生成する。この手法として、フィルタリングや2値化等の画像処理と、複数画像の合成を組み合わせる。その組み合わせ方法として、以下の3種類を検討した。

- A 前処理→合成→2値化
- B 前処理→2値化→合成
- C 前処理中に合成→2値化

前処理手法としては、メディアンフィルター、ガウシアンフィルター、濃度ムラの除去を行った。合成手法としては、単純に足し合わせを行った。2値化は局所領域内における判別分析法に基づく2値化を行ったのち、モルフォロジー処理を施した。Cの手法については、メディアンフィルターを施した後に合成を行い、その後ガウシアンフィルター、濃度ムラの除去を行い、最後に2値化を行った。それぞれの組み合わせで得られた静脈パターンを図7に示す。

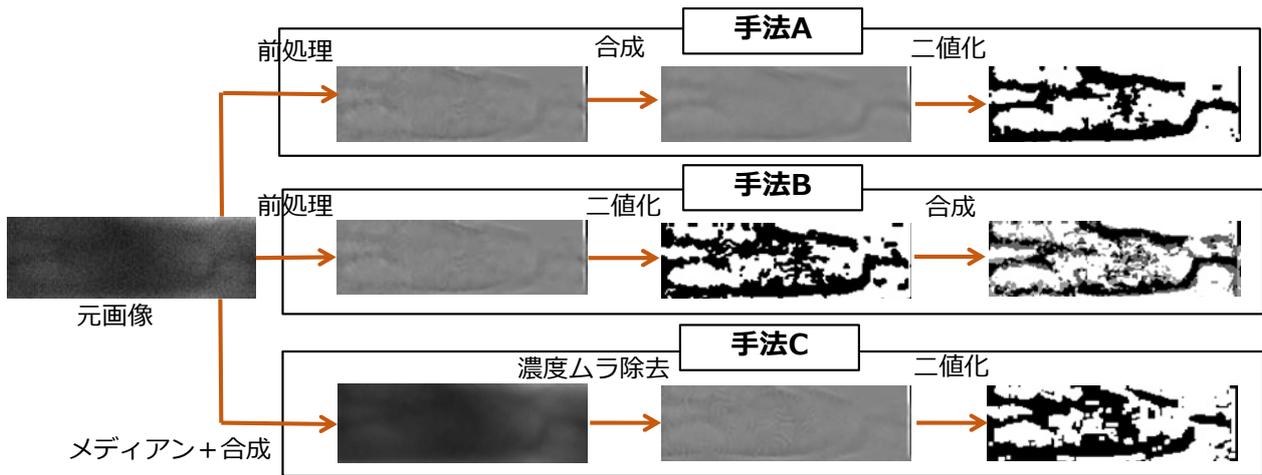


図 7. 生体特徴画像の生成過程

これらの手法の照合精度を比較するため、照合実験を行った。この照合実験では、生体画像生成手法のみの性能評価を目的としているため、指領域の抽出については前節で述べた手法は用いず、テンプレートマッチングを用いて高精度に位置合わせを行った指領域抽出画像を用いた。また得られた指静脈パターンを類似度の指標には、正規化相互相関 (Normalized Cross Correlation : NCC) を用い、照合精度の評価値として等価エラー率 (Equal Error Rate: EER) を使用した。表 1 に実験結果を示す。結果として、3 種類の手法の比較については、全ての合成枚数において手法 B が最も良い精度であった。また、合成枚数を増やすことによって照合精度は良化する傾向が見られ、おおむね 3 枚で収束している。

表 1. 照合精度検証実験の結果 (EER[%])

合成枚数	1	2	3	4	5
手法 A	5.5	5.5	1.6	2	2.1
手法 B	5.5	2	0.5	1.8	0.8
手法 C	5.7	3.7	3.4	4	3

3-2 SIFT に基づく手法

NCC を用いた照合では、画像のスケール変化や回転といった影響を受けやすいため、照合前に登録画像と照合画像の位置合わせを行う必要があった。また上記手法では、複数フレームの合成を行っており、そのため位置合わせも必要であった。これらの位置合わせ処理は演算負荷が高く、高速化のためにはこの位置合わせ処理の回数を減らす、もしくは位置合わせ不要な手法を適用すべきである。そのため今回は、画像の拡大縮小、回転や移動に不変な画像特徴を抽出することが可能な SIFT を照合手法として利用する。SIFT を用いることで、各フレームにおける静脈領域の特定が不要になり、また NCC のような厳密な位置合わせが不要であるため、高速な処理が期待できる。また、指の本数が何本であっても SIFT 特徴量の算出方法は変わらないため、複数指の利用も可能である。

SIFT は、画像中で輝度変化が大きい点などを特徴点として抽出し、特徴点周辺の勾配情報から SIFT 特徴ベクトルを算出する手法である。生体認証に適用する場合には、登録用画像と照合用画像でそれぞれ特徴点および SIFT 特徴ベクトルを算出し、すべての SIFT 特徴ベクトル同士の類似度を計算することで、登録・参照の二つの生体画像間で対応する (同じ位置の特徴点と思われる) SIFT 特徴ベクトルを求める。この対応する SIFT 特徴ベクトルの個数がある閾値以上の場合には、登録と参照用画像が同一人物の生体画像であると判定される。

今回の改良手法では、4 本の指を撮影した 1 枚のフレーム画像に対して SIFT を適用し、登録及び照合を行うこととした。具体的には、以下のステップで照合を行う。

- ① 1枚のフレーム画像から4本の指領域を抽出
- ② 静脈強調処理
- ③ 特徴点およびSIFT特徴ベクトルの算出
- ④ 対応するSIFT特徴ベクトルの算出
- ⑤ 照合（対応するSIFT特徴量の個数を数える）

以下に提案手法を指静脈画像に適用した例として、意図的に回転を加えた画像との照合を行った結果と、本人と他人との照合を行った結果を示す。実験に用いた画像は、ある一枚の指静脈画像（図8(a)）に対し、指静脈領域の抽出を行った上で、静脈強調処理を行った画像（図8(b)）である。ここでの指静脈領域の抽出については、本来指の動きに合わせて動的に領域を変化させるべきであるが、今回はLED光源が存在している固定領域を指静脈領域とした。また静脈強調処理は、ガウシアンフィルタ→高域強調フィルタ→メディアンフィルタ→二値化→モルフォロジー処理の順に処理を行った。図9にSIFTを適用して特徴点を算出した結果を示す。赤円は、抽出された特徴点の位置を示す。図9(b)は、図9(a)を回転させた画像である。図9の各特徴点に対し、特徴点の周囲の輝度勾配情報であるSIFT特徴ベクトルを比較し、図9(a)と図9(b)で同じ特徴点であると判定された点（対応点）を図10に示す。この結果より、静脈画像に回転があった場合でも、同じ位置の特徴点を対応点としておおむね正確に抽出できていることが確認できる。また本人同士と本人・他人の静脈画像の照合を行った結果の例を図11に示す。この結果より、本人同士と本人他人のマッチング結果では、対応付けられた特徴点の個数に差がでていることが確認できる。

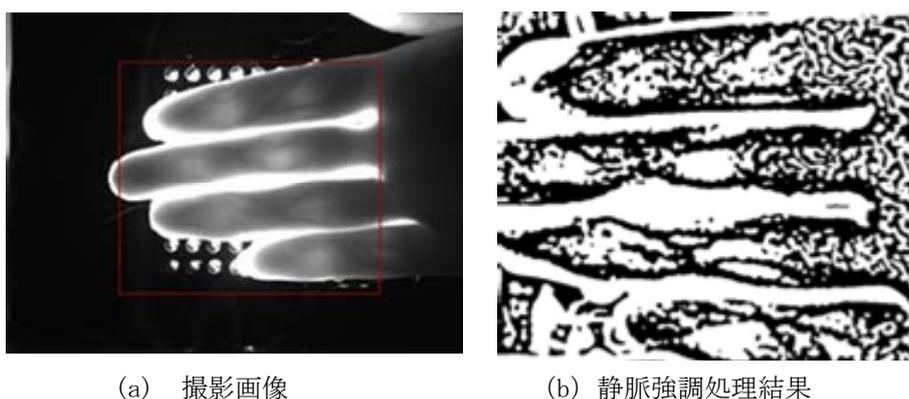


図8. 実験に利用した静脈画像

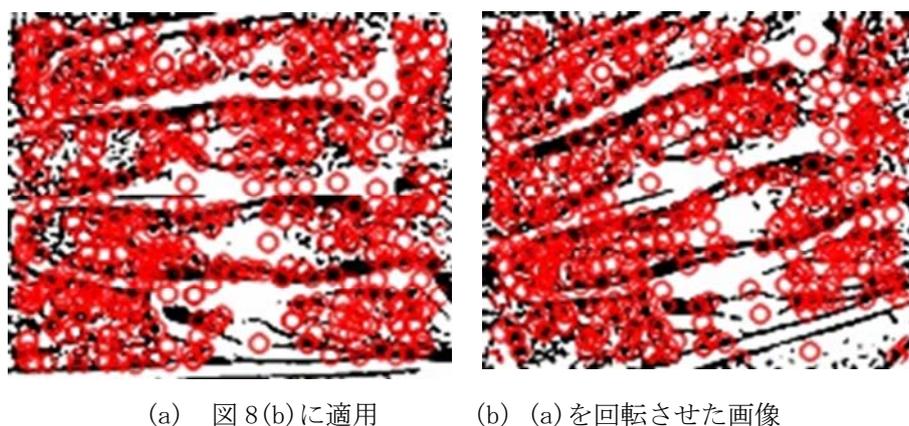
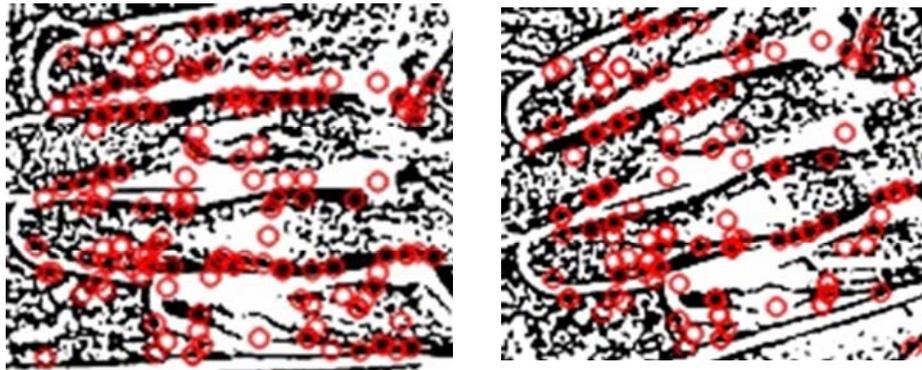


図9. 抽出した特徴点



(a) 図 9(a)の対応特徴点 (b) 図 9(b)の対応特徴点

図 10. 回転画像を照合した際の対応する特徴点

提案手法の有効性を評価するための実験として、本人、他人を識別する照合実験を行った。使用した指静脈画像については、3名の被験者の指動脈を撮影した動画画像からランダムに10フレーム抽出し、10フレームすべてに対して画像の回転(±15度, ±30度)及び移動(縦方向に±30pixels, ±60pixels)の処理を加え、1人あたり90枚の照合用画像を用意し照合実験を行った。従来手法との比較として、NCCを用いた従来手法[3]での照合も行い、照合精度および照合にかかる処理時間の比較を行った。なお提案手法は1フレームのみを用いて照合を行っているのに対し、従来手法は、指静脈領域画像を抽出した15枚のフレーム画像から連続しない5フレームを合成して得られた画像を用いて照合を行った結果である。照合精度の評価としては等価エラー率(Equal Error Rate: EER)を用いた。

図 11に本人と他人の照合スコア(対応する特徴点の数)分布を示す。この結果から、本人と他人の分布は十分に分離されていることがわかる。また、EERと処理時間の結果を表1に示す。この結果を見ると、今回の提案手法であるSIFTに基づく提案手法では、1フレームのみを用いた手法であるが、5フレームを利用したNCCの結果よりも高い精度が得られている。処理時間については、今回の手法では指領域を固定としており、領域抽出のための処理を行っていないため、公平な評価とは言えないが、4本指の領域抽出を高速に実装することができれば、非常に高速な処理の実現が期待できる。

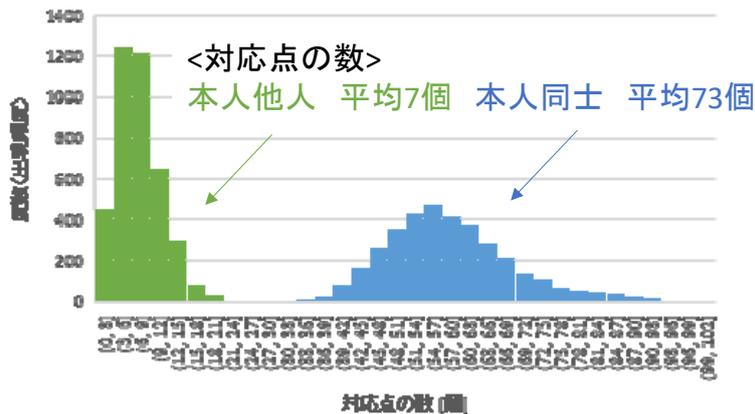


図 11. 照合スコアの分布

4 実時間照合システム

非接触指静脈認証を行うプロトタイプシステムの構築を行った。NCCに基づく照合手法を実装したプロトタイプシステムの処理画面を図12に、SIFTに基づく照合手法を実装したプロトタイプシステムの処理画面を図13に示す。NCCに基づく照合では、厳密に指静脈領域の位置を特定し、正確な位置合わせを行う必要が

あるが、そのためには多くの演算を要するため、高速かつ高精度な照合を安定して実現することは難しい。また複数指を利用するためには、各指の対応付けを行う必要があるため、今回は一本指のみのシステムを構築している。これに対し SIFT に基づく照合手法では、複数指を利用した場合でも、指の対応付けが不要であるため、高い照合精度が期待できる。また厳密な指静脈領域位置の特定も不要であるため、簡便な領域抽出処理で対応が可能であり、安定した高速処理が期待できる。

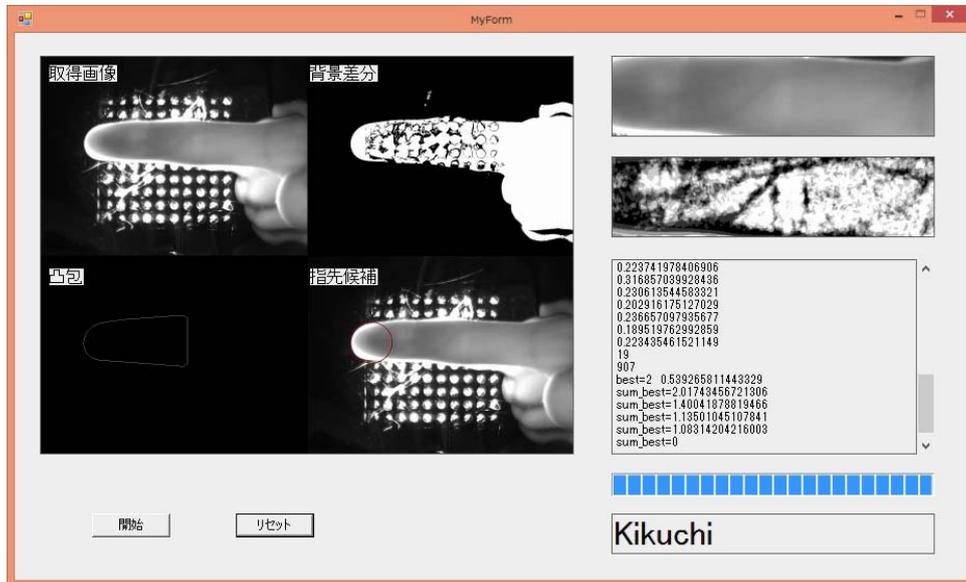


図 12. NCC に基づく照合手法を利用した実時間照合システムの画面

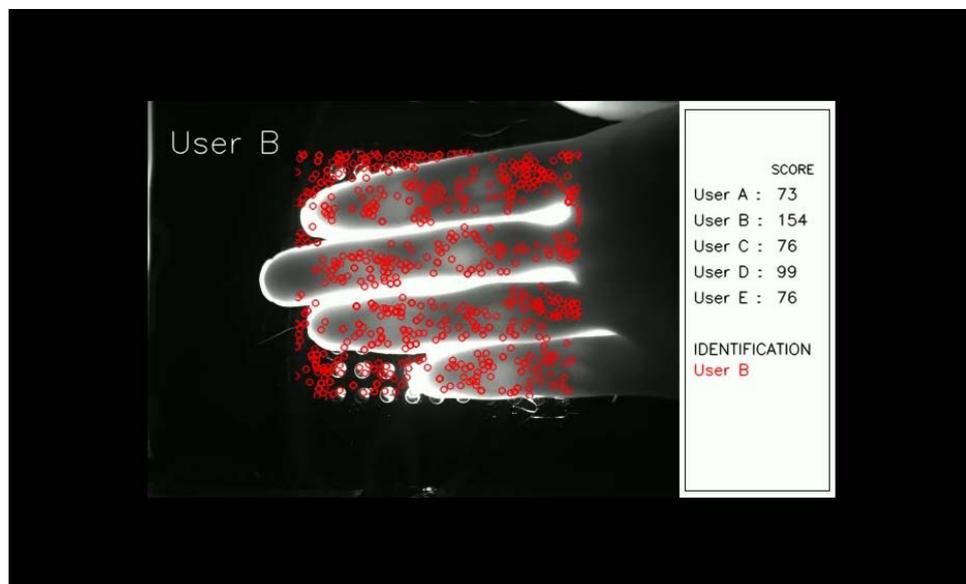


図 13. SIFT に基づく照合手法を利用した実時間照合システムの画面

5 まとめ

本研究では、カメラの露光時間を短くしつつ光源を明るくし、強い赤外光による人体の悪影響を軽減する仕組みとして、パルス型の LED 光源を照明光として利用することとし、低フレームレートでもブレの無い画像を撮影可能な撮像システムを開発した。この撮像システムで静脈撮影を行った結果、パルス幅を短くすることで、手を早く動かした場合でもブレの少ない静脈画像を撮影できることを確認した。また、静脈画像の照合手法については、従来利用していた Normalized Cross Correlation (NCC) では位置ずれに弱いことや複

数指の利用が難しいことが課題であったが、本研究では合成や位置合わせが不要な SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) 特徴量を利用した手法を適用し、位置合わせが不要であることや、複数指の適用が可能なことを確認した。また、SIFT に基づく手法を適用して照合実験を行った結果、照合精度や照合にかかる計算速度が向上することを示した。

【参考文献】

- [1] ももクロチケットインフォメーション, <https://momoclo-ticket.jp/mp/ae>.
- [2] 鈴木裕之他, “動画像撮影による手振り型指静脈認証システム”, OPJ2014 講演予稿集, 5aDS13 (2014).
- [3] 諏訪佑介他, “動画像を用いた非接触指静脈認証における指静脈取得方法に関する研究”, OPJ2015 講演予稿集, 30aES9 (2015).
- [4] Lowe, David G., "Object recognition from local scale-invariant features", Proceedings of the International Conference on Computer Vision. 2. pp. 1150–1157(1999).
- [5] 林宏樹他, “動画像を用いた指静脈認証における画像マッチング手法の検討”, OPJ2016 講演予稿集, 1pE1 (2016).

〈発表資料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
Improvement on pattern matching method for handwaving finger vein authentication	JSAP-OSA Joint Symposia 2017	2017 年 9 月
複数指に対応可能な非接触型指静脈認証システムの実装	Optics & Photonics Japan 2017	2017 年 11 月
手振り型指静脈認証システムにおける照合手法の検討	第 7 回バイオメトリクスと認識・認証シンポジウム (SBRA2017)	2017 年 11 月
動画像を用いた指静脈認証システムにおける複数フレーム合成手法の検討	2018 年暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS2018)	2018 年 1 月
非接触動画撮影による静脈認証システム	第 5 回デジタル生体医用画像の「色」シンポジウム	2018 年 2 月
手振り型指静脈認証のためのパルス照射型撮像システム	第 12 回新画像システム・情報フォトニクス研究討論会講演	2018 年 6 月