

可視画像からの指静脈認証のなりすまし可能性の検討と その対策手法

大金 建夫¹ 越前 功¹

概要: 生体認証が普及し、パソコンやスマートフォンといった個人用デバイスにも生体認証の導入が進んでいる。一方でデジタルカメラなどに搭載される光学センサーの進化により、生体情報を遠隔から撮影し不正に利用される可能性が指摘されている。本論文では市販のデジタルカメラを使って撮影した指の画像から指静脈を復元し、指静脈認証においてなりすましが可能であるかどうかを検討し、そうした意図しない遠隔からの撮影に対して指静脈の復元を防止する対策手法について提案する。

キーワード: バイオメトリクス, 指静脈認証, 盗撮, なりすまし

Possibility of Spoofing Fingervein Recognition from Visible Wavelength Images and Its Countermeasures

TATEO OGANE¹ ISAO ECHIZEN¹

Abstract: Biometric authentication is becoming popular, and is now installed on personal devices such as PCs and smartphones. On the other hand, it has been pointed out that digital cameras can be used to capture people's biometric informations remotely, leaving them at risk of illegal use. In this article we consider whether fingervein can be obtained from photographs using commercial digital camera that can be used to spoof fingervein authentication, then we propose countermeasure against restoration of fingervein from surreptitious photography.

Keywords: biometrics, fingervein authentication, surreptitious photography, spoofing

1. はじめに

生体認証が普及し、パソコンやスマートフォンといった個人用デバイスにも生体認証の導入が進んでいる。主要な生体認証手法の一つである指静脈認証は、日本の主要銀行 57 行で指静脈認証機能付き IC カードが導入されるなど^{*1}、一般消費者にとっても身近なものになりつつある。一方でデジタルカメラなどに搭載される光学センサーの進化により、従来専用の機器によってしか取得できなかった生体情報が遠隔から撮影され、なりすましや不正なログインに使用される可能性が指摘されている。2014 年には、ド

イツのハッカーが市販のデジタルカメラで撮影した政治家の写真から指紋を復元することに成功し [1]、また 2017 年には同ハッカーが近赤外領域で撮影された写真を使って虹彩認証スマートフォンのロック解除に成功した [2]。これらの生体特徴は顔と同時に撮影されることが多く、顔と生体情報を紐づけることによって、生体情報の持ち主に関する詳細な情報をインターネットから取得される可能性がある。また生体特徴はパスワードと違って終生不変であるため、いったん盗まれると生涯にわたって不利益を被るおそれがある。

指静脈認証は一般的に近赤外線を使って行われ、これまで可視領域において撮影された画像を使ってなりすましに成功したという事例は存在しない。しかし 2016 年には可視領域で撮影した複数の指を使った指静脈認証の手法が提

¹ 国立情報学研究所
National Institute of Informatics

^{*1} 2018 年 8 月現在 (筆者調べ)。

案されており [3], 可視画像から指静脈を復元できる可能性がないわけではない. そこで本論文では, デジタルカメラを使って撮影された単一の指の写真から画像処理によって指静脈を復元できるか検討を行う. 続いて, そうした遠隔からの撮影に対して, 指静脈の復元を防止する対策手法について提案する.

本論文の 2 章では指静脈認証の原理およびなりすましに関する従来研究を紹介し, 3 章では可視領域で撮影された写真から指静脈を復元する方法について述べる. これを受けて 4 章ではユーザーによる正当な指静脈認証を可能にしつつ, 遠隔から撮影された画像からの指静脈の復元を防止する手法について検討する. 続く 5 章では評価実験によって可視領域における遠隔からの指静脈の復元手法および対策手法の効果について評価を行い, 6 章では本研究の課題を挙げて本論文を締めくくる.

2. 関連研究

本章では, 指静脈認証の原理およびなりすましに関する従来研究について紹介する.

指静脈認証は, 透過光を用いて撮影した指の静脈パターンによって個人を識別する個人認証技術である [4]. 手の甲側から照射された光が指の生体組織内を散乱しながら指を透過し, 手のひら側にある光学センサーによって撮影される. このとき, 手のひら側にある静脈のヘモグロビンが光を吸収することによって血管像が得られる. 透過光としては, 生体組織の透過率およびヘモグロビンの吸収率が高い, 波長 700nm ~ 1200nm の近赤外領域が用いられる [5]. 認証においては, 撮影された画像を輝度値の行列とみなし, 2 次元の相互相関によって 2 つの画像の類似度を求める. 撮影された血管像は局所的に不鮮明であり, そこから安定して静脈パターンを抽出するため, 隣接する最も暗いピクセルを反復的に追跡する手法や [6], 画像の断面において最大曲率を計算することによって静脈の中心線を取得する手法 [7] などが提案されている.

他の生体認証方式と同様に, 指静脈認証においても生体由来でない人工物を使って不正に認証できるという問題が指摘されている. こうした人工物提示攻撃の例として, カットした大根や樹脂製の人工指を用いたもの [8] や, 紙に印刷した静脈パターンによるもの [9] などが報告されている. いずれも何らかの方法で指静脈のパターンを入手することを前提とし, それは特殊なセンサーによってしか得られないため, 攻撃には高い専門技術を要するとされる [10]. そこで本研究では, 市販のデジタルカメラを用いて撮影した単一の指の画像から指静脈が復元できる脅威を示すとともに, その対策手法を提案する.

3. 撮影された写真からの指静脈復元

筆者らの知る限り, 可視領域で遠隔から撮影された写真

を使って指静脈認証のなりすましに成功した例は報告されていない. その理由として以下の 2 点が挙げられる.

- (1) 近赤外線と比較して可視光の生体組織に対する透過率が低く, 皮膚の表面近くにある指静脈であっても鮮明な血管像が得られない.
- (2) カメラから見た指の位置と方向が指静脈センサーのガイドに置いた時の状態と異なるので, 血管パターンの形状が一致しない.

筆者らは予備実験の結果, 上記の問題点を克服し, 可視領域で遠隔から撮影した写真から指静脈を復元することに成功した. 以下に指静脈の復元手順を説明する.

3.1 可視領域で撮影された指静脈の復元

デジタルカメラの撮像素子は, 単色のセンサーを用いてカラー画像を得るため, 各素子に RGB のカラーフィルタを配置している. 一般的なデジタルカメラの分光感度特性を分光器を使って測定した結果によると, RGB 各チャンネルのピーク波長はそれぞれ 600nm, 530nm, 460nm である [11]. よって, デジタルカメラにおける撮影画像は, 3 波長によるマルチスペクトルイメージとみなすことができる.

図 1 は同じデジタルカメラを使って撮影された指画像のサンプルである. 左側が撮影画像, 中央の列が各チャンネル, 右側の列はチャンネル間の演算結果 (差の絶対値) である. これを見ると, R と G および R と B の差から指静脈のパターンが識別できるのに対し, G と B ではほとんど違いがないことが分かる. このことから, 可視領域における指静脈パターンは, 赤色光に対する反射吸収特性の違いとして取得することができる.

上記の考察に基づき, 撮影された写真から指静脈パターンを抽出するため, 指静脈を強調するアルゴリズムを検討した. 画像 I の座標 (x, y) における R, G, B 成分の画素値を

$$I(x, y) = \{I_R, I_G, I_B, \alpha\}, \alpha = \begin{cases} 1 & (x, y) \in \text{指領域}, \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases} \quad (1)$$

とする. 各成分は 0 以上 1 以下の値である. ここで, α は座標 (x, y) におけるマスクを表す. 次に $I(x, y)$ の R 成分の画素値 I_R と B 成分の画素値 I_B の差の絶対値をとり^{*2}, 画像 $I_1 = \{I_1(x, y)\}$ を得る.

$$I_1(x, y) = \alpha |I_R^{1/\gamma} - I_B| \quad (2)$$

とする. ここで γ はガンマ値であり, 皮膚の地の色の差がなくなりかつ指静脈の色の差が際立つように補正を行う. 次にヒストグラムの平均化を行い階調を反転し, 画像

^{*2} 筆者らの環境では B と G でほとんど違いがみられなかったため B を選択したが, 一般的なデジタルカメラはベイヤー配列のカラーフィルタを採用し, G の素子が B の 2 倍存在するため, G を使用の方が適切である可能性がある.

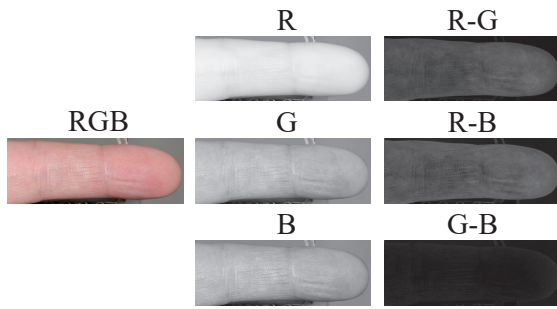


図 1 可視領域で撮影された指画像およびそのチャンネル表示
Fig. 1 Finger image photographed in visible wavelength and its channels

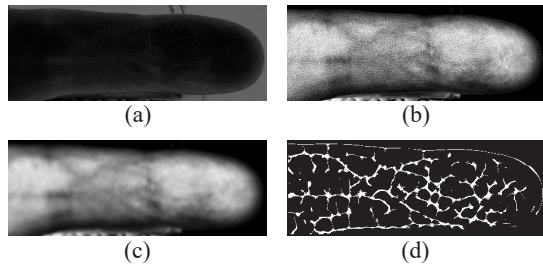


図 2 画像処理ソフトウェアを使った指静脈パターンの抽出手順
Fig. 2 Procedure of extracting fingervein pattern using image processing software

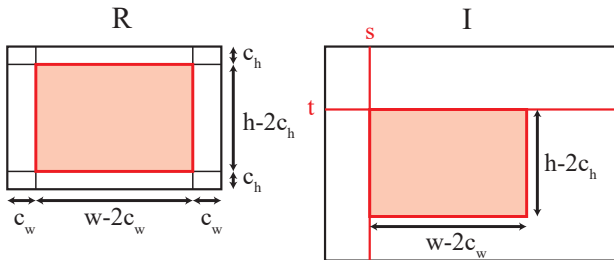


図 3 リファレンス画像と入力画像の相関
Fig. 3 Correlation between reference and input images

$I_2 = \{I_2(x, y)\}$ を得る .

$$I_2(x, y) = 1 - \frac{I_1(x, y)}{\max(I_1)} \quad (3)$$

ここで $\max(I_1)$ を xy 平面における $I_1(x, y)$ の最大値とする . 続いて空間フィルタリングによって画像 I_2 から指紋などの微細な要素を消去し , 指静脈パターンを残した画像 I_3 を得る .

$$I_3 = I_2 * G \quad (4)$$

例えばここで G はガウシアンフィルタ

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5)$$

であり , 標準偏差 σ に適切な値をとることによって指静脈パターンを分離することができる .

筆者らは画像処理ソフトウェア (Adobe Photoshop) を使い , 撮影された写真に上記の強調処理を実行した . 指静

脈パターンの抽出については指静脈認識フレームワーク `xbob.fingervein`[12] を使用し , 複数の指静脈抽出アルゴリズムから文献 [7] の実装を選択した . 図 1 の撮影画像に対して上記の各ステップを実行した結果を図 2 に示す . (a) は式 (2) の , (b) は式 (3) の , (c) は式 (4) の結果 , (d) は (c) から抽出した指静脈パターンである . なお , Photoshop では式 (5) の σ は輝度が $e^{-0.5}$ 倍 (約 61%) に減少する半径である [13]*3 . 図 1 の画像 (解像度 360ppi 相当) に対する実測値では , 指紋間隔 5-6 ピクセル (約 0.35-0.42mm) に対して指静脈幅が 9-13 ピクセル (約 0.62-0.92mm) であったため , $\sigma = 4$ ピクセル (直径 8 ピクセル) としてフィルタを適用した .

上記の指静脈復元手法の有効性を確認するため , 筆者らは以下の簡易実験を行った . 市販のデジタルカメラ (Canon EOS 80D) を使って日中・晴れの屋外 (被写体照度約 2 万 5000 ルクス) で約 50cm の距離から指の写真を撮影し , 上記の手順を用いて復元した指静脈パターンをレーザープリンタを使い普通紙に印刷した . その後印刷した紙を撮影した指と異なる指に巻き付けて市販の指静脈センサーに置いて認証を試みた . 筆者ら 2 人の両手の親指を除く 16 本の指で試した結果 , 16 本中 11 本の指で偽指による認証に成功した .

3.2 復元した指静脈によるマッチング

本節では指静脈のマッチング手法について解説する . 以下の説明はソフトウェア [12] の実装に基づく . 図 3 に示すように , リファレンス画像 R に対して入力画像 I をマッチさせるとする . 画像の領域外をサンプリングしないように , R の上下および左右にそれぞれ c_h, c_w のマージンを設ける . このとき I の座標 (s, t) を原点とする領域と R との相互相関 $N_m(s, t)$ は以下のように表せる .

$$N_m(s, t) = \sum_{y=0}^{h-2c_h-1} \sum_{x=0}^{w-2c_w-1} I(s+x, t+y)R(c_w+x, c_h+y) \quad (6)$$

ここで R を 180 度回転させた画像を R_{rot} とすると , これは以下の畳み込みと等価である .

$$N_m(s, t) = \sum_{y=0}^{h-2c_h-1} \sum_{x=0}^{w-2c_w-1} I(s+x, t+y)R_{rot}(w-c_w-1-x, h-c_h-1-y) \quad (7)$$

相関 N_m が最大になるような I の座標を (s_0, t_0) とし , 画像 R, I のマッチングスコアを以下のように定義する .

$$score = \frac{N_m(s_0, t_0)}{\sum_{j=t_0}^{t_0+h-2c_h-1} \sum_{i=s_0}^{s_0+w-2c_w-1} I(i, j) + \sum_{j=c_h}^{h-c_h-1} \sum_{i=c_w}^{w-c_w-1} R(i, j)} \quad (8)$$

*3 カーネルサイズはフィルタの半径から最適な値が計算される .

分母は画像 R, I の指静脈ピクセルの合計, 分子は一致する指静脈のピクセル数を表す. よって不一致の場合はゼロ, 完全一致の場合は 0.5 となり, 値が大きいほど相関が高いことを示す. 一致と判定するための閾値をどこに設定するかはシステムに依存する.

3.3 マッチングに対する指の回転の影響

市販の指静脈センサーには指を置くガイドが取り付けられており, それによって登録時および認証時の指の状態 (サイズ, 方向, ポーズ) を一致させることができる. それに対し, 撮影された写真ではカメラと被写体の位置関係は様々であり, 指の状態を登録時の状態に正規化しない限り, 登録された指静脈とマッチさせることは不可能である. そこで指静脈の認証アルゴリズムがサイズや方向の違いに対しどの程度許容されるかを考察した.

図 4 に示すように指とカメラの位置関係を定義する. 指の腹からカメラに向かう方向を z 軸とする右手座標系を設定し, x, y, z 軸周りの回転をそれぞれロール, ピッチ, ヨーと定義する.

3.3.1 リサイズおよび指のヨー方向の回転

撮影された画像のリサイズおよび指のヨー方向の回転について検討する. 画像のサイズについては被写体の外見や持ち物などから推測し, 方向およびポーズについては指の腹をカメラに向けたまっすぐな指の写真を選択することによってある程度正規化可能である. また, 攻撃者が人工物を指静脈センサーに置くときに接触面との距離や角度を変えることによって微調整することが考えられる. 近赤外領域で撮影された 2 枚の写真から指静脈パターンを復元し, そのうち一方についてリサイズおよび回転を行った結果では, $\pm 5\%$ のリサイズおよび $\pm 2^\circ$ の回転に対してマッチングスコアはほぼ変わらないことが分かった.

3.3.2 指のロール方向の回転

次に指のロール方向の回転について考察する. 指の内部の血管は立体的に分布しているが, 指静脈認証に使われる指静脈は指の表面近くに分布することから, その配置は平面的であり, 回転に対するパターンの変化は比較的予測可能であると推測される. 図 5 は指のロール方向の回転に対する指静脈パターンの変化を示すが, 指静脈は互いの位置関係を変えないまま, 見かけ上は平行移動しているように見える.

3.3.3 指のピッチ方向の回転

続いて指のピッチ方向の回転について考察する. 指のピッチ角に応じて指静脈パターンの指先方向の長さが減少する. 図 6 は指のピッチ方向の回転に対する指静脈パターンの変化を示すが, その割合はピッチ角 10° に対して $\cos 10^\circ \simeq 0.98$ なので, 影響は非常に小さい. 加えて, 指の血管は指の根元から指先に向けて伸びているので, 指静脈のマッチングは指先方向の変化に対して頑健であると推

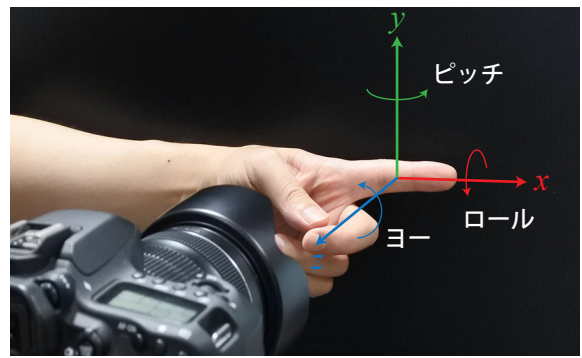


図 4 指とカメラの位置関係

Fig. 4 Position relation between finger and camera

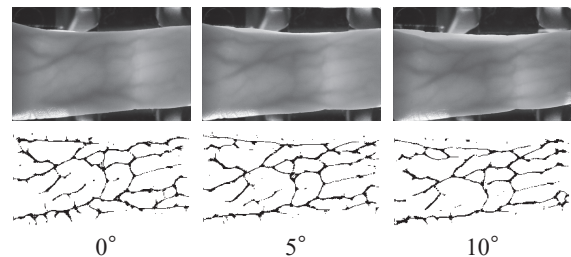


図 5 指のロール角に対する指静脈パターンの変化

Fig. 5 Variation in fingervein pattern against finger roll angle

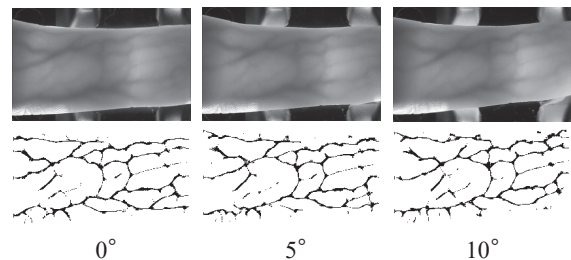


図 6 指のピッチ角に対する指静脈パターンの変化

Fig. 6 Variation in fingervein pattern against finger pitch angle

測される.

4. 提案手法

本章では, ユーザーの意思に基づいて遠隔からの指静脈の撮影を防ぐ手法を提案する. 最も簡易な対策として手袋を着用することが挙げられる. しかし, 正当な指静脈認証を行う際には手袋を外さなければならず, ユーザーの利便性を損なう. よって提案する対策手法は以下の要件を満たす必要がある.

- (1) 装着した状態で本人の指による正当な指静脈認証が可能である.
- (2) 装着した状態で遠隔から撮影された写真からの指静脈認証が不可能になる.
- (3) カメラや認証システムの改修を必要とせず, ユーザーの意思に基づいて任意に付け外し可能である.

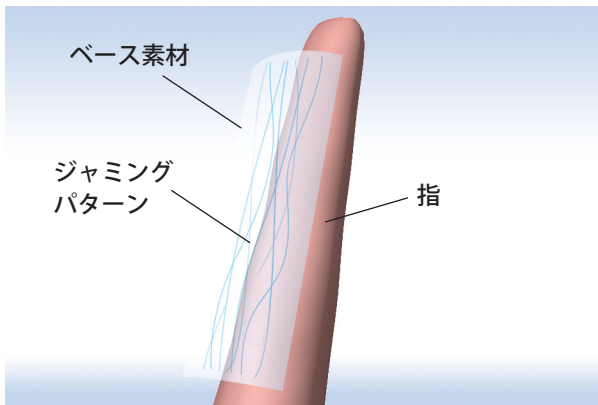


図 7 提案手法の概要

Fig. 7 Overview of proposed method

表 1 既存製品による認証結果

Table 1 Authentication results of existing products.

	製品	本人	偽指
A	タトゥーシール	10/10	3/10
B	サージカルテープ	1/10	0/10
C	タトゥー隠し 1	0/10	0/10
D	タトゥー隠し 2	0/10	0/10
E	タトゥー隠し 3	0/10	0/10

4.1 提案手法の概要

上記の要件を満たす提案手法の概要を図 7 に示す。これはユーザーの指に貼り付ける非侵襲的なジャミングパターンである。ベースとなるシールは透明で可視光および近赤外線透過する。シールの上にプリントされたジャミングパターンによって、撮影された写真から本人の指静脈パターンの取得を防止する。ジャミングパターンは、形状を特定されるとマスキングによって無効化される可能性があるため、人工的な指静脈パターンを生成する手法 [14] などを使用し、1 点ごとに異なる疑似血管形状になることが望ましい。

4.2 素材の検討

提案手法はユーザーの指に直接装着することを前提とする。そこで皮膚に直接貼り付ける製品をいくつか購入し、それらを装着したまま指静脈認証および撮影された写真からの指静脈パターンの取得が可能であるか、以下の簡易実験を行った。使用した製品はタトゥーシール、サージカルテープおよびタトゥー隠し (3 種類) である。各製品を指に貼り付け、3.1 節と同様の環境で撮影し、復元した指静脈パターンをレーザープリンタを使って普通紙に印刷した。3.1 節と同じ指静脈センサーを使い、本人の指については各製品を貼り付けた部位を直接、人工物 (偽指) については印刷した紙を複製した指と異なる指に巻き付けて指静脈センサーに置き、10 回のうち何回認証に成功するかを調査した結果を表 1 に示す。タトゥーシールは絵柄をプリント

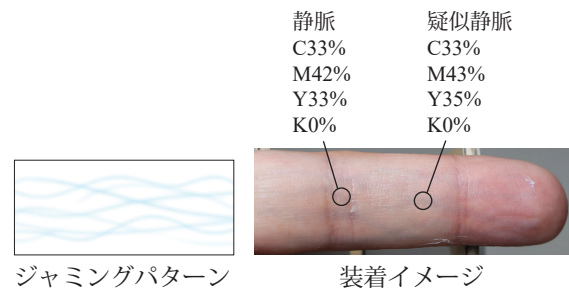


図 8 ジャミングパターンおよび装着イメージ

Fig. 8 Jamming pattern and its attaching image

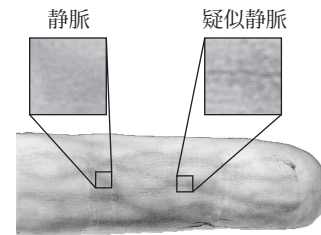


図 9 撮影された画像における静脈と疑似静脈の見え方の違い

Fig. 9 Difference in appearance between real and pseudo-ferveins in photographed image

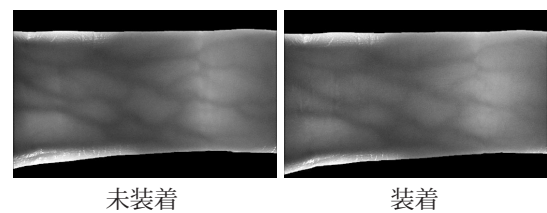


図 10 近赤外領域におけるジャミングパターンの効果

Fig. 10 Effect of jamming pattern in near-infrared band

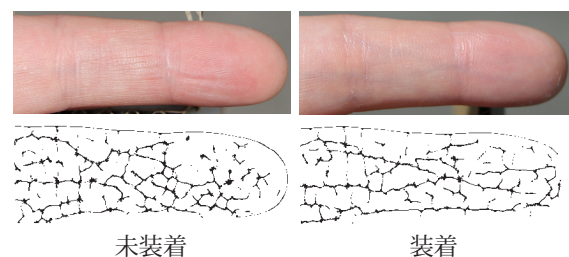


図 11 可視領域におけるジャミングパターンの効果

Fig. 11 Effect of jamming pattern in visible wavelength band

しない状態では非常に透過率が高く、本人および偽指双方の認証に成功した。偽指の認証に失敗することがあるのはシールの光沢による。残りの 4 製品は可視領域で不透明であるため、偽指の認証は全て失敗したが、近赤外線の透過率も不足しているため、本人の認証ではサージカルテープがわずかに成功した以外は全て失敗した。

4.3 パターンの検討

上記の結果から、筆者らは市販のタトゥーシールにイン

クジェットプリンタを使ってパターンを印刷し、提案手法の簡易的なプロトタイプを作製した。ジャミングパターンは $5.8 \times 2.5\text{cm}$ (180ppi) の大きさで、手描きで波状の線を重ね、半径 3 ピクセルのぼかしをかけた後、シアン 50% で塗りつぶした。インクジェットプリンタなどの印刷機器では、シアン、マゼンタ、イエロー、ブラックの減色混合によって色を表現する。人間の静脈は皮膚を通して見ると灰色に近い色であるが [15]、マゼンタとイエローは皮膚の色に含まれているので、シアンの濃度を調整することにより、パターンの色を本人の指静脈の色に近づけることができる*4。作製したジャミングパターンおよびプロトタイプを装着した写真を図 8 に示す。ジャミングパターンによる疑似静脈が本人の指静脈と違和感なく溶け込んでいることが確認できる。なお、インクジェットプリンタは微細なドットで階調を表現するため、図 8 の装着イメージに画像処理を行った結果では、疑似静脈の部分に粒状のテクスチャが表れている(図 9)。これでは疑似静脈の特定が可能であるため、より自然に見える印刷手法の検討が将来の課題となる。

4.4 妨害効果の考察

前節で作製したプロトタイプを使って、ジャミングパターンが指静脈センサーによる直接認証および撮影された写真からの指静脈の復元に対して与える影響を考察した。

図 10 は近赤外領域でプロトタイプを装着していない指および装着した指を撮影した結果である。家庭用のインクジェットプリンタでは有機染料によるインクが用いられ、それらは近赤外線をほとんど吸収しないため [16]、撮影された画像にはジャミングパターンが写らず、指静脈センサーによる認証には影響しないことが分かる。

撮影された写真からの指静脈の復元に対するジャミングパターンの影響は以下の 2 点が挙げられる。

- (1) ジャミングパターンによって偽の指静脈が追加される。
- (2) ジャミングパターンの重畳によって本来の指静脈が覆い隠される。

(1) の効果については、偽の指静脈は式 (8) の分母を増加させるが、本人の指静脈も可視であるため分子は減少せず、マッチングスコアの減少は限定的である。またジャミングパターンの重畳は減色混合によって行われるので、一見 (2) の効果はないように思われる。しかし画像からの指静脈パターンの抽出手法 ([6], [7]) は、画像の局所的な輝度の勾配に基づいているため、本人の指静脈の近くに偽の指静脈がある場合、輝度のピークが後者に置かれて前者が検出されないことが起こりうる。図 11 はプロトタイプを装着していない指および装着した指を撮影した写真から指

*4 ブラックはシアンより色が濃く、より疎なドットパターンで階調を表現するので、式 (5) のようなフィルタリングによってパターンが無効化される。

表 2 評価環境

Table 2 Evaluation environment.

実装	ベース：タトゥーシール、プリント：インクジェット印刷（染料インク）
光源（近赤外撮影用）	Epitex SMB870-1100-031（レンズ付きチップ型）、ピーク波長 870nm、 5×7 個の格子状に配置
デジタルカメラ（可視撮影用）	Canon EOS 80D（2420 万画素）、ISO 感度自動、露出自動、マニュアルフォーカス
デジタルカメラ（近赤外撮影用）	Canon EOS 70D（2020 万画素）、ISO 感度自動、露出自動、マニュアルフォーカス、近赤外改造（赤外カットフィルタを除去、可視カットフィルタを装着）
レンズ	Canon EF-S 18-135mm F3.5-5.6 IS STM（焦点距離 135mm 固定）
撮影環境	屋外、晴れ（被写体照度 1 万 ~ 10 万ルクス）、撮影距離 50cm

静脈パターンを抽出した結果である。ジャミングパターンによる偽の指静脈が検出されているだけでなく、本人の指静脈が一部検出されていないことが分かる。

5. 評価

5.1 評価の概要

前章で作製したプロトタイプを使い、ソフトウェアマッチングによる数値評価によって、撮影された画像からの指静脈認証の可能性および提案するジャミングパターンの効果についての評価を行った。表 2 に評価環境を示す。

可視光及び近赤外線を使って撮影した写真から指静脈パターンを取得し、ソフトウェアを使ってパターンをマッチさせ、マッチングスコアの分布を得ることによってジャミングパターンの効果を検証した。以下の 4 セットについて、10 人の被験者から両手の人差し指、中指、薬指の写真を 3 枚ずつ、各セット 180 枚ずつの写真を得た。

- (1) 近赤外線・プロトタイプ未装着（リファレンス）
- (2) 近赤外線・プロトタイプ装着
- (3) 可視光・プロトタイプ未装着
- (4) 可視光・プロトタイプ装着

指静脈パターンの取得については [12] の指静脈検出プログラムを使い、可視光の写真については 3.1 節の手法を使って指静脈を強調し、近赤外線の写真については単純にグレースケール変換して入力ソースとした。また撮影ガイドに取り付けられたスケールから指のサイズを計算、360ppi 相当のサイズに画像を縮小し、さらに指静脈パターンの取得時に 50% に縮小して 180ppi 相当（およそ 270×140 ピクセル）に統一した。

マッチングについてはソフトウェア [12] を使い、近赤外線・未装着についてはセット内の異なる画像同士で、それ

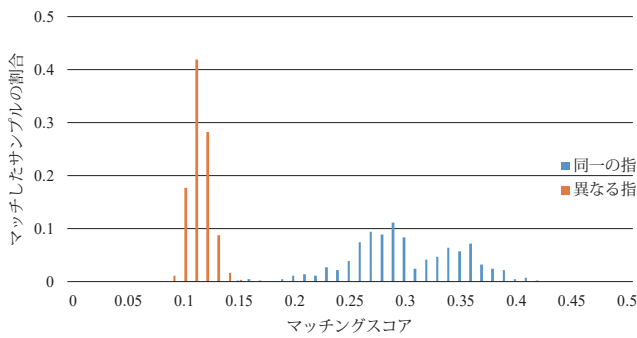


図 12 マッチングスコアの分布 (近赤外線, プロトタイプ未装着)
 Fig. 12 Distributions of matching scores under (near-infrared, prototype not attached)

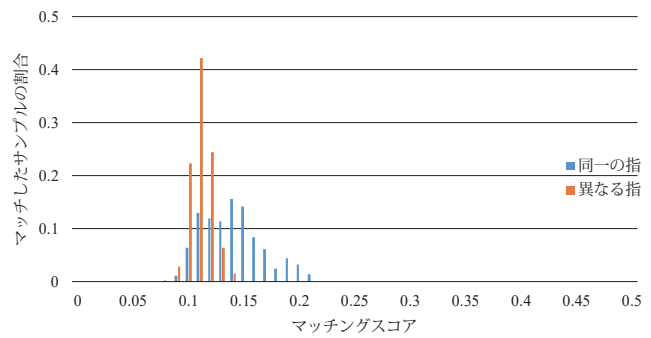


図 14 マッチングスコアの分布 (可視光, プロトタイプ未装着)
 Fig. 14 Distributions of matching scores under (visible wavelength, prototype not attached)

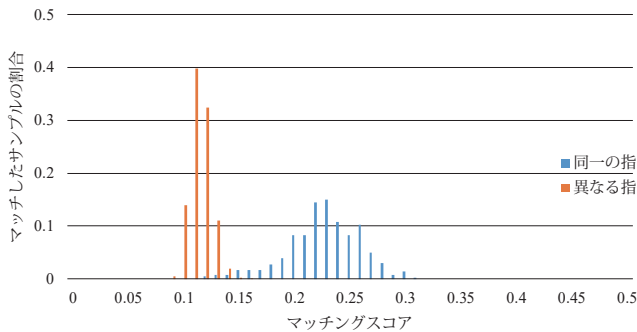


図 13 マッチングスコアの分布 (近赤外線, プロトタイプ装着)
 Fig. 13 Distributions of matching scores under (near-infrared, prototype attached)

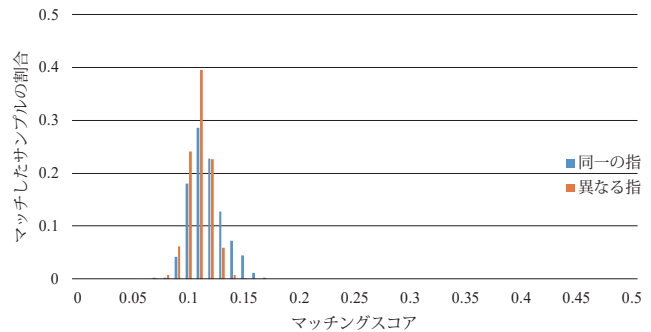


図 15 マッチングスコアの分布 (可視光, プロトタイプ装着)
 Fig. 15 Distributions of matching scores under (visible-wavelength, prototype attached)

以外のセットでは近赤外線・未装着の画像をリファレンスとして総当たりのマッチングを行い、各セットにおいて同一の指の異なる画像間で 360 個、異なる指の画像間で 4860 個のマッチングスコアを得た。

5.2 評価結果

5.2.1 近赤外線環境におけるマッチング結果

近赤外線環境において、プロトタイプ未装着時および装着時のマッチングスコアの分布をそれぞれ図 12 および図 13 に示す。青色は同一の指、橙色は異なる指に対するマッチングスコアの分布であり、それぞれの合計が 1 になるようにヒストグラムの高さを正規化した。

プロトタイプ未装着の場合、同一の指の最少スコアは 0.145、異なる指の最大スコアは 0.153 であり、閾値 $t = 0.15$ のときの他人受入率 (FAR) は $6/4860 \approx 0.1\%$ 、本人拒否率 (FRR) は $1/360 \approx 0.3\%$ となった。サンプルの数が少なく、 $t \geq 0.16$ では FAR がゼロになっているが、同一の指および異なる指のヒストグラムから、本評価環境におけるマッチングスコアの閾値を 0.15~0.19 程度の値に取るのが妥当と判断した。

プロトタイプ装着の場合、同一の指の分布がゼロ方向にシフトし、中央値は未装着時の約 0.287 から約 0.222 まで低下した。このとき FRR は $t = 0.15$ のとき $14/360 \approx 3.8\%$ 、 $t = 0.19$ のとき $26/360 \approx 7.2\%$ となった。すなわち 90% 以上のケースでプロトタイプを装着したまま正当な指静脈認

証が可能であると判断できる。撮影された画像を精査した結果、プロトタイプ未装着時と比較したスコアの低下要因はシール表面の光沢にあり、プリントされたジャミングパターンは画像に現れていないことを確認した。

5.2.2 可視光環境におけるマッチング結果

可視光環境において、プロトタイプ未装着時および装着時の写真に対するマッチング結果をそれぞれ図 14 および図 15 に示す。前節と同様に、青色は同一の指、橙色は異なる指に対する正規化された分布を示す。

プロトタイプ未装着の場合、同一の指の分布は異なる指の分布と比較して下限が同程度だが上限はスコアを伸ばす結果となった。これは大半の写真では復元された指静脈が登録された指静脈と全く相関がないが、一部の写真ではある程度相関があることを示している。このとき本人受入率は $t = 0.15$ のとき $89/360 \approx 26.1\%$ 、 $t = 0.19$ のとき $17/360 \approx 4.7\%$ となり、撮影された画像から復元された指静脈によるなりすましの脅威が無視できない割合で存在することが分かる。マッチングスコアのばらつきが大きいのは、撮影環境における日照およびカメラのセッティングが不安定であったためであり、より安定した撮影環境による再評価を今後の課題とする。

プロトタイプ装着の場合、同一の指の分布は異なる指の分布とほぼ同様であり、本人受入率は $t = 0.15$ のとき $5/360 \approx 1.3\%$ 、 $t = 0.19$ のとき $0/360 = 0\%$ となった。近赤外線の場合と異なり、復元された指静脈の画像にジャミ

ングパターンがはっきりと表れており、今回の簡易的なプロトタイプでも撮影された写真からの指静脈の復元を効果的に防止できることが実証された。

6. おわりに

筆者らは可視領域における指静脈の復元可能性に着目し、撮影された写真から指静脈を復元し不正な認証に用いることができることを示すとともに、ユーザーの利便性を損ねずに遠隔からの指静脈の取得を防止する手法を提案した。タトゥーシールとインクジェットプリンターを用いた簡易的なプロトタイプを作製し、評価実験により提案手法の有効性を確認した。

今回の評価結果はデジタルカメラと静脈認証ソフトウェアを組み合わせた疑似的な静脈認証装置によるものであり、今後は市販の静脈センサーを用いた認証における有効性を検証する必要がある。

また、今回作製したプロトタイプには、シール表面の光沢が静脈センサーを使った認証率を下げる、インクジェットプリンターによるテクスチャが実際の静脈パターンのもとの異なるといった実装上の問題点が存在する。したがって、提案手法の本格的な実装には素材や印刷手法を慎重に検討する必要がある。

謝辞 本研究はJSPS 科研費 JP16H06302, JP18H04120 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Chaos Computer Club: Fingerprint biometrics hacked again (online), 入手先 (<https://www.ccc.de/en/updates/2014/ursel>) (参照 2018-06-26).
- [2] Chaos Computer Club: Chaos Computer Clubs breaks iris recognition system of the Samsung Galaxy S8 (online), 入手先 (<https://www.ccc.de/en/updates/2017/iriden>) (参照 2018-06-26).
- [3] 三浦直人, 中崎溪一郎, 市毛健志, 松田友輔, 長坂晃朗, 宮武孝文, (株) 日立製作所 研究開発グループ: 可視光画像における非接触型複数指静脈認証, The Sixth Symposium of Biometrics, Recognition and Authentication, pp. 23-24, 2016.
- [4] Kono M., Ueki H., Umemura S.: Near-infrared finger vein patterns for personal identification. Applied Optics. Vol. 41, No. 35, pp. 7429-7436, 2002.
- [5] 清水孝一, 山本克之: 生体の光透視と機能イメージングの可能性, BME. Vol. 8, No. 5, pp. 41-50, 1994.
- [6] Miura, N., Nagasaka, A.: Feature extraction of finger-vein pattern based on repeated line tracking and its application to personal identification, Machine Vision and Applications, Vol. 15, No. 4, pp. 194-203, 2004.
- [7] Miura, N., Nagasaka, A., Miyatake, T.: Extraction of finger-vein patterns using maximum curvature points in image profiles, IEICE Transactions on Information and Systems, E90-D, No. 8, pp. 1185-1194, 2007.
- [8] 松本勉: 金融取引における生体認証について, 金融庁・第9回偽造キャッシュカード問題に関するスタディグループ, 2005.
- [9] Tome, P., Vanoni, M., Marcel, S.: On the vulnerability of finger vein recognition to spoofing, IEEE International Conference of the Biometrics Special Interest Group (BIOSIG), pp. 1-10, 2014.
- [10] 宇根正志: 生体認証システムにおける人工物を用いた攻撃に対するセキュリティ評価方法の確立に向けて, 金融研究, 第35巻第4号, 55~90頁, 日本銀行金融研究所, 2016.
- [11] 福井貴明: デジタルカメラの色再現向上技術, 高機能化が進むデジタルカメラ, 光学, 第33巻9号, 556~561頁, 応用物理学会分科会日本光学会, 2004.
- [12] Python Software Foundation (US): xbob.fingervein (online), 入手先 (<https://pypi.python.org/pypi/xbob.fingervein>) (参照 2018-06-26).
- [13] ImageJ Documentation: Process Menu (online), 入手先 (<https://imagej.nih.gov/ij/docs/menus/process.html>) (参照 2018-07-17).
- [14] Hillerstrom, F., Kumar, A., Veldhuis, R.: Generating and analyzing synthetic finger vein images, International Conference of the Biometrics Special Interest Group (BIOSIG), 2014.
- [15] 立命館大学: 文学部 北岡明佳教授が“人間の静脈は実は灰色で、錯視によって青色に見える”ことを発見!, 入手先 (http://www.ritsumeiji.jp/news/detail_j/topics/12880/year/2014/publish/1) (参照 2018-07-24).
- [16] 一ノ瀬修一: 赤外線イメージスキャナ, O plus E, Vol. 22, No. 12, pp. 1563-1567, 1999.