

肌理を利用したマイクロ生体認証： ユーザビリティ向上のためのプロトタイプシステム改良

藤田 真浩^{†1} 眞野 勇人^{†1} 佐野 絢音^{†1}
高橋 健太^{†2} 大木 哲史^{†1} 西垣 正勝^{†1}

概要： 筆者らは[藤田 17]にて、肌理を利用したマイクロ生体認証のプロトタイプシステムを構築した。しかし当該システムには、ユーザが認証時に、(i)目視上で位置合わせをした後、(ii)マイクروسコープの撮影画像をリアルタイムで確認しながら拡大画像上で位置合わせをする、という二つの手順を実施する必要があった。そこで本稿では、従来システムより広範囲の微細肌理領域をテンプレートとして利用することで、(ii)拡大画像上での位置合わせが認証時に必要のないプロトタイプシステムを実現する。これによって、肌理を利用したマイクロ生体認証の認証時のユーザビリティが格段に向上される。

キーワード： 生体認証, 微細生体情報, なりすまし, 追跡可能性, ユーザビリティ

Micro Biometric Authentication using Skin Texture: Usability Improvement of Prototype System

Masahiro Fujita^{†1} Yuto Mano^{†1} Ayane Sano^{†1}
Kenta Takahashi^{†2} Tetsushi Ohki^{†1} Masakatsu Nishigaki^{†1}

Abstract: We developed a prototype system of micro biometric authentication using skin texture [Fujita 17]. In the authentication phase of the system, users need to do two tasks. (i) They need to press the microscope to the skin near the mark. (ii) They need to search for the template area while checking the images taken by the microscope. In this paper, we improve the prototype system. The system uses a wider area as the template, thus they do not need to do the task (ii) on the system. We conducted a basic experiment, and the result showed the effectiveness of the improved system.

Keywords: Biometric Authentication, Minute Pattern of Human Skin Texture, Masquerade Attack, Traceability, Usability

1. はじめに

生体認証とは、人間の身体的特徴や行動的特徴から個人を認証する技術である。通常、事前に採取した生体情報をテンプレートとして登録し、認証時に取得した情報とテンプレートを比較することで認証を行う。近年では実用化が進み、PC、ATM、パスポートの認証手段としても利用されてきている。最近では、オンライン認証の新業界標準の確立を狙う Fast Identity Online Alliance (FIDO) [1]が、ユーザ端末をアクティブさせる認証手段として生体認証を有力視していることから、生体認証に益々注目が集まっている。また、公開鍵基盤 (PKI) における秘密鍵を生体情報で置き換える「テンプレート公開型生体認証基盤 (PBI)」が提案されている[2]。FIDO や PBI によって、今後さらなる生体認証の普及が予想される。生体認証は、パスワードやトークンを用いた認証方式と異なり、忘却・紛失・盗難の

恐れがないという利点がある。しかし一方で、生体認証には生体情報を用いるが故の課題がある。「生涯不変の情報であり、取り替えが効かない」ことに起因する「なりすまし」および「追跡可能性」の問題である。

「なりすまし」は、攻撃者が生体情報を入手して偽造生体を作成する攻撃である。実際に、攻撃者が盗んだ生体情報から顔写真や人工指を複製し、なりすましに成功した例が報告されている[3][4][5]。近年では、カメラの高性能化により、遠距離から虹彩や指紋の高精細な画像を盗撮することも困難ではなくなっている。また攻撃者は、生体情報読取装置を正規ユーザの生活環境内に密かに仕込んで生体情報を収集したり、生体認証によってログインする正規の Web サービス提供サイトを装ったダミーサイトを設置したりして生体情報をフィッシングすることも可能である。生体認証を実現するにあたっては、この「なりすまし」に対する耐性を有する必要がある (要求 1: なりすましに対す

^{†1} 静岡大学
Shizuoka University
^{†2} (株)日立製作所
Hitachi, Ltd.

る高い耐性)。

「追跡可能性」に関して、生体情報は、パスワードやトークンのように変更や交換によって本人との間の紐づきをリセットできないため、匿名ユーザ群または仮名ユーザ群の中から生体情報を用いて同一ユーザを名寄せすることが可能である。たとえば、ある生体情報を秘密情報として用いて「アカウント A」のユーザ名でシステムに登録していた正規ユーザが、アカウント A の登録を削除し、同じ生体情報を用いて「アカウント B」として再登録したとする。このとき、システム管理者はアカウント A とアカウント B の秘密情報が同一の情報であることを確認することによって、アカウント A と B が同一ユーザのものであることが判明してしまう。追跡可能性の観点から、生体情報の漏えいを防ぐ必要がある(要求 2: 追跡可能性に対する考慮)。

要求 1, 2 を部分的に達成する方法として、テンプレート保護型生体認証方式が提案されている。その代表例が、生体情報と乱数情報を組み合わせることにより、テンプレートを保護するキャンセル生体認証[6]である。乱数情報によって生体情報が秘匿されるため、テンプレートからの生体情報の漏えいが防がれ、要求 1 を満たす。また、乱数情報を変更することによってテンプレートの更新が可能となるため、要求 2 も満たしている。しかし、生体情報そのもの(テンプレート以外の経路での生体情報)の漏えいに対する対策にはなり得ていない。

生体情報そのものが漏えいしてしまったとしても、要求 1, 2 を達成する方式が、生体情報のワンタイム化である。テキスト独立(text independent)型あるいはテキスト指定(text prompted)型の手書き署名認証や音声認証がその実例である。しかし、生体情報のワンタイム化が可能なのは基本的に動的な生体情報に限られる。一般に動的な生体情報を利用した場合の認証精度は低いことが知られており[7]、静的な生体を利用することで高い認証精度を確保することが望ましい(要求 3: 静的な生体情報の利用による認証精度の確保)。

これら要求 1~3 を満たすため、筆者らは、新たな生体認証メカニズム「マイクロ生体認証」を提案した[8]。マイクロ生体認証は、人間の微細部位の生体情報を利用した生体認証である。その後、文献[9]で、マイクロ生体認証の一事例として、マイクロスコープによって撮像される肌理画像を利用した、肌理を利用したマイクロ生体認証のプロトタイプシステムを実装した。

しかし、文献[9]で実装したシステムは、認証時においてユーザに大きな負荷を強いていた。認証時にユーザは、(i)登録位置を示すマークに目視で合わせてマイクロスコープを肌にあてた(目視での位置合わせ)後、(ii)マイクロスコープの撮影画像をリアルタイムで確認しながら、テンプレートが写る位置までユーザ自身がマイクロスコープを移動させる(拡大画像上での位置合わせ)、という 2 段階の位置

合わせをユーザ自身が実施する必要があった。このうち、(ii)はマイクロスコープの位置を μ メートルの精度で移動する操作が求められるため、認証時のユーザビリティが非常に低くなってしまっていた。

そこで本稿では、より「広範囲」の微細肌理領域をテンプレートとして利用することで、認証時に、(i)目視での位置合わせだけで済み、(ii)拡大画像上での位置合わせが必要のないプロトタイプシステムを実現する。「広範囲」の程度を求めるために、ユーザが目視で位置合わせをしたとき、位置ずれがどの程度の範囲で発生するかを求める。その後、その結果を利用して、求めた広範囲のテンプレートを登録したプロトタイプシステムを実装し、実験によってその有効性を検証する。

以下、2章でマイクロ生体認証および肌理を利用したマイクロ生体認証について紹介する。さらに、文献[9]で構築したプロトタイプシステムの説明、問題点、本稿で実現するユーザビリティ向上のアイデアを説明する。3章でプロトタイプシステムの実装行ったのち、4章でテンプレートとして登録する肌理領域の範囲を求める。その後、5章で基礎実験を行ったのち、6章で考察を行う。最後に、7章でまとめと今後の課題を述べる。

2. 肌理を利用したマイクロ生体認証と既存のプロトタイプシステム

2.1 マイクロ生体認証のコンセプト

筆者らは、静的な生体情報の微細部位を生体認証へと応用することで、要求 1~3 を満たすことを実現した。このメカニズムを「マイクロ生体認証」と呼ぶ。マイクロ生体認証は、下記のとおり、要求 1~3 を満たす。

要求 1 (なりすましに対する耐性) :

一般に、偽造品をより細部まで作り込むにつれて、その製造にかかる手間が非常に高くなるが、ズームレンズを使って対象物の細部を撮影することは、偽造に比べはるかに容易である。この「撮影と偽造のコストの非対称性」を利用し、ある微細部位の生体情報をテンプレートとして登録することによって、たとえその部位の情報が盗まれたとしても偽造に大きなコストを要する生体認証が実現される。

要求 2 (追跡可能性に対する考慮) :

生体部位を微細にすることで、生体部位の更新可能回数(微小部位を 1 つずつ使っていった際に未使用部位が枯渇するまでの回数)が激増する。ユーザは、パスワードの変更やトークンの交換と同様の感覚で、その必要が生じた際に、ユーザ自身の意思で、今まで利用していた生体部位を別の生体部位に変更する。ユーザが生体部位を更新する度に、認証に用いる生体情報に変更され、追跡可能性が分断されることになる。

要求 3 (静的な生体情報の利用による認証精度の確保) :

生体部位の静的な情報を利用するため、認証精度も(動

的な生体情報を利用する認証と比較して) 高い。

2.2 肌理を利用したマイクロ生体認証

文献[8]では、マイクロ生体認証の一事例として、マイクロSCOPEで拡大した肌理画像を生体認証へと応用した。人の皮膚表面を細かく観測すると凹凸があることが認められる。これらは「皮溝」と呼ばれる種々の深さや長さの溝、「皮丘」と呼ばれる浅く細い皮溝で囲まれる細かい隆起、「皮野」と呼ばれるやや深い皮溝で囲まれる多角形の隆起により構成される。その他にも毛穴や汗腺などの要素もあり、毛穴は皮溝の交点に多く見られ、ほとんどの場合で開口部の面積と深さは比例していることや、汗腺は皮丘の頂上に開いていることが報告されている。肌理はこれらの要素により形作られる皮膚紋様であり、そのパターンは大きくとも数百 μm 程度で微細であり、一様ではないため、精密に模造することは困難であることが期待できる。肌理の特徴量としては、表層状態(凹凸パターン)を利用することが可能である。肌の凹凸パターンに個人認証可能な十分な多様性が認められることは、筆者らの過去の実験によって確認されている。

2.3 プロトタイプシステムの実装

文献[9]では肌理を利用したマイクロ生体認証のプロトタイプシステムを実装した。実装したプロトタイプシステムの動作の流れは以下のとおりである。

【登録フェーズ】

- ① システムは、位置合わせ用のマークの印字をユーザに要求する。文献[9]では、図1に示すような3点のマークを利用した。
- ② ユーザは、自分の身体の任意の位置にマークを印字する。
- ③ ユーザは、マークの近くの部位の微細生体領域 T をマイクロSCOPEで撮影し、テンプレートとして登録しておく。文献[9]では、3点のマークを左上、左下、右上とした長方形の領域(約 $2.0 \times 1.5\text{mm}$) を T として利用した。

【認証フェーズ】

- ④ ユーザはマークを参考にして、微細生体領域 T を特定して撮影する。このとき撮影した情報を X とする。
- ⑤ システムは、T と X をマッチングし、得られたスコアが閾値より大きかったとき、「認証成功」とする。

ここで、マイクロSCOPEが撮影する対象は微細生体領域である。手順④の撮影において、目視でマークに合わせて肌にマイクロSCOPEをあてただけでは、図2のように T とは少し離れた領域を撮影してしまう。したがって、文献[9]で開発したプロトタイプシステムでは、(i) マークに目視マイクロSCOPEを肌にあてて位置合わせをした後、(ii) マイクロSCOPEの撮影画像をリアルタイムで確認し

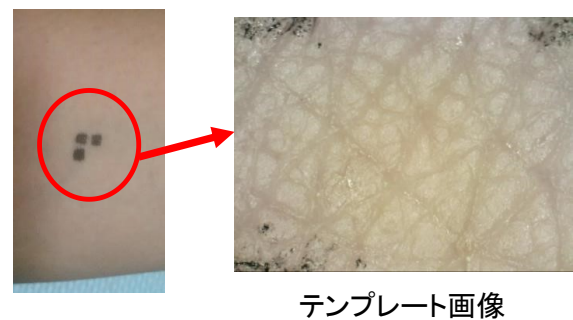


図1 テンプレートとマーク
Figure 1 Template and mark



図2 領域 T と異なる場所が撮影される様子
Figure 2 User take different area from area which user wants to take.

ながら、マイクロSCOPEの撮影画像内に T が写る位置まで、ユーザ自身がマイクロSCOPEを移動させる(拡大画像上での位置合わせ)、という2段階の位置合わせをユーザが実施する必要があった。よって、手順④ではこれら二つの操作を総称して「特定する」と述べている。これは、確実な方法ではある一方、(ii)ではマイクロSCOPEの位置を μ メートルの精度で動かす必要が求められるため、認証時におけるユーザの負荷が非常に高いという課題があった。

2.4 ユーザビリティ向上のアイデア

前述のように、文献[9]で開発したプロトタイプシステムでは、(ii) 拡大画像上での位置合わせ必要がある点で、ユーザビリティが低いという課題があった。ユーザが、(i) 目視上での位置合わせだけで認証できることが望ましい。そこで本稿では、より広範囲の微細肌理領域をテンプレートとして利用することで、認証時に拡大画像上での位置合わせが必要ないプロトタイプシステムを実現する。

本アイデアは、認証で使用される可能性のある領域をあらかじめ予測しておき、その予測された全体をテンプレートとして登録するものである。N回認証することを仮定すると、ユーザが i ($1 \leq i \leq N$) 回目の認証時でマークに目視で位置合わせして撮影する肌理領域は、 X_i と表される。目

視での位置合わせをただけでは、マイクロスコープが実際に撮像する領域が少しずつ異なるため、 X_0, X_1, \dots, X_i にはそれぞれ違う領域が撮影されている可能性が高いことに注意されたい。このとき、 X_0, X_1, \dots, X_i がすべて含まれるような領域 T をテンプレートとして、あらかじめシステムへ登録しておけばよい。認証時には、撮影した認証画像 X_i とこの領域 T 全体をマッチングすることによって、正規ユーザが否かを判定する認証が可能となる。領域 T は、 X_0, X_1, \dots, X_i がすべて含まれるような領域であるため、マイクロスコープの1回で撮影できる領域より大きな領域であることに注意されたい。

以上を踏まえた、今回実装するシステムの手順は以下のとおりである。

【登録フェーズ】

- ① システムは、位置合わせ用のマークの印字をユーザに要求する。
- ② ユーザは、自分の身体の任意の位置にマークをつける。
- ③ ユーザは、マイクロスコープで、「目視でマークに合わせて撮影したとき、撮影されうる領域」 T を撮影する。

【認証フェーズ】

- ④ ユーザは目視でマークに合わせて画像を撮影する。撮影された画像 X と T をマッチングし、得られたスコアが閾値より大きかった場合、「認証成功」とする。

本アイデアを実現するにあたっては、「目視でマークに合わせて撮影したとき、撮影されうる領域」 T の範囲を求める必要がある。以下、3章で本アイデアに基づくプロトタイプシステムを実装した後、4章でこの領域の範囲を求める。

3. プロトタイプシステムの実装

本章では、2.4節で説明したアイデアに基づき、プロトタイプシステムを実装する。実装したプロトタイプの大まかの流れを以下に示す(図3も参照されたい)。本プロトタイプシステムは、C++で実装されており、ライブラリとしてOpen CV Ver.2.4.9[10]を利用している。

3.1 マーク

本システムでは、図4に示すように、円形のマークを利用した。図4のとおり、円形のマークは、マイクロスコープの先端と同様の形状・サイズをしており、テンプレートや認証画像の撮影時に、ユーザがより位置合わせをしやすくと考えられるため、このマークを採用した。

a 実際の運用では、登録時には、別のマイクロスコープや撮影機器を利用して、一度の撮影で T 全体を撮影することが望ましい。本稿では用意できた機器の制約上、このような撮影の形態をとった。

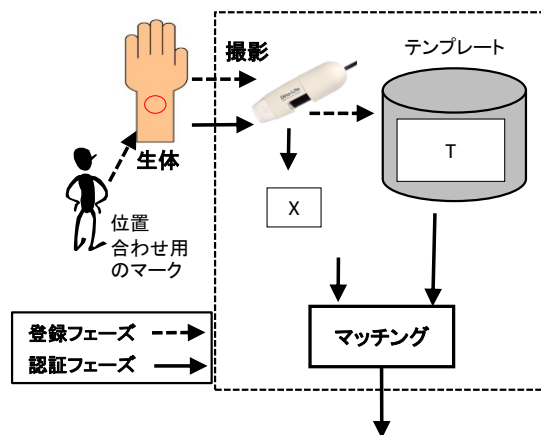


図3 システムの構成図

Figure 3 System overview



図4 今回使用したマーク

Figure 4 Mark used by system

3.2 テンプレートの撮影

本システムで使用するマイクロスコープはサンコー株式会社製の型番 DINOAM7915MZT のマイクロスコープ[11]である。

登録時にユーザは「3.1に示した円形マークに、目視で位置合わせをした際に、撮影されうる領域」のすべてをマイクロスコープで撮影しておき、これをテンプレート T として記録する。ただし、前節で説明した通り、 T はマイクロスコープで1回に撮影できる範囲より大きな範囲である[a]。したがって、本システムでは、図5に示すようにパノラマ写真をとる要領で、 T に含まれる領域内で、マイクロスコープ少し動かす→撮影するという作業を繰り返すことで領域 T 全体を撮影した。図5においては、マイクロスコープの初期位置で撮影した画像が T_0 であり、少し下に動かしたタイミングで撮影した画像が T_1 である。このようにして撮影していった $T_0, T_1, T_2, \dots, T_n$ から1枚のテンプレート画像 T を作成することも可能であるが、画像と画像の継ぎ目がテンプレート中に存在してしまう。そこで、今回は、 T の領域内で撮影した $T_0, T_1, T_2, \dots, T_n$ という n 枚の画像をテンプレートとして登録することとした。

今回利用したマイクロスコープは、30~220倍の任意の倍率を使用可能である。偽造困難性を高めるためには、倍

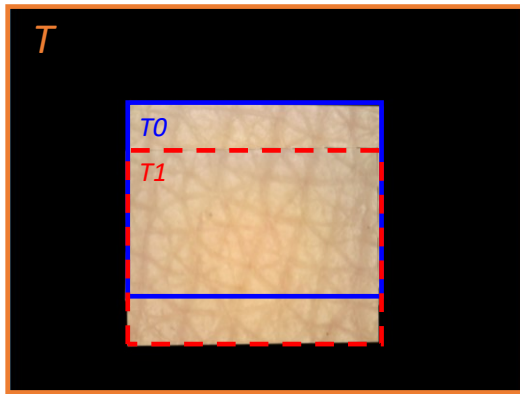


図 5 テンプレート画像の撮影の様子

Figure 5 Taking template image

率は高ければ高いほど望ましい。一方、今回の仕様においては、テンプレートをパノラマ写真を撮るように撮影しているため倍率を大きくしすぎると、テンプレート作成にかかる手間が非常に大きくなってしまふ。今回は、著者が複数倍率を試したうえで、テンプレート作成の効率と偽造困難性のバランスがもっとも最適だと思われる 60 倍の倍率とした。1 回の撮影で撮影される解像度は 640×480 pixel であり、そのサイズは約 7.0×5.0 mm である。

3.3 認証画像の撮影

ユーザの肌には 3.1 節で示した円形のマークが印字されている。ユーザは、このマークの位置に対し、目視で位置合わせをしながら、マイクロスコープの先端を合わせたうえで生体情報を撮影する。撮影された画像は X として、次のマッチング処理で利用する。

3.4 マッチング

3.2 節に示したとおり、今回のプロトタイプシステムにおいては、 $T_0, T_1, T_2, \dots, T_n$ という n 枚の画像がテンプレートとして登録されている。今回のシステムでは、次の手順を利用してマッチングを行った。

【マッチング手順】

登録されているすべての T_i に対して、それぞれ以下の手順を施す。

- ① X, T_i に対してそれぞれの画像中の SURF 特徴量を求める。SurfFeatureDetector をインスタンス化する際の第一引数は 50 に設定した。
- ② ①で求めた特徴量を利用して、 X が T_i と可能な限り一致するように、 T_i に射影変換を施す。ここで得られた「 T_i に射影変換が施された画像」を T_i' とする。画像同士の特徴の対応点を求める際に FeatureDetector::create でオブジェクトを生成するときの引数は BruteForce、射影変換行列を求めるときに用いた手法は RANSAC である。
- ③ X と T_i' の画像それぞれに対して、以下の手順でマッチングスコア算出前の前処理を施す。下記前処理を施した画像を X' 、 T_i'' とする。

(ア) toGrayScale()を利用してグレースケール化を施す

(イ) equalizeHist()を利用してヒストグラム均一化を施す

(ウ) adaptiveThreshold()を利用して適応的 2 値化を施す。adaptiveThreshold()のパラメータは、maxValue を 255、adaptiveThreshold を CV_ADAPTIVE_THRESH_MEAN_C、thresholdType を CV_THRESH_BINARY_INV、inBlockSize を 39 とした

- ④ X' の中央 200×200 pixel と T_i'' の中央 200×200 pixel 間でテンプレートマッチングを行ってスコアを求める。テンプレートマッチングにあたっては、matchTemplate() を利用した。マッチング方法は CV_TM_CCOEFF_NORMED を利用した。

以上の手順をとることで、 X と T_0, T_1, T_2, \dots に対するマッチングスコアがそれぞれ求まる。それらのスコアのうちの最大値を「 X と T のマッチングスコア」として採用する。このスコアが閾値（文献[9]に基づき、0.14 とする）を超えていた場合に、正規ユーザとして判定される。

4. 撮影されうる領域の調査

4.1 目的

目視でマークに位置合わせを行って画像を撮影したとき、撮影されうる領域の範囲を求める。ここで求めた範囲の肌理は、テンプレート T としてシステムへ登録されるものである。

4.2 データの取得

撮影されうる領域の範囲を求めるため、30 回の認証作業を行う状況を想定してデータを収集した。具体的には、静岡大学に所属する 5 名の被験者に対して、それぞれ以下の手順でデータを採取する。撮影時におけるマイクロスコープの向き（画像の回転角度に相当する）に関しては、毎回できる限り同じ向きで撮影するよう被験者に依頼をした。マイクロスコープの設定は、倍率を最低倍率である 30 倍、画素数は 640×480 ピクセルであった。このときに撮像される画像サイズは約 14×10 mm である。

- ① 被験者 i の腕の任意の場所 1 か所に 3.1 節に示した円形のマークを印字する。
- ② 被験者 i に、印字された円形マークにマイクロスコープの先端をあててもらい、画像を撮影する。ここで撮影した画像を、基準画像 B_i とする。撮影後、マイクロスコープを肌から離してもらおう。
- ③ 被験者 i に、②を実施した直後から、以下の操作を 15 回繰り返してもらおう。
 - (ア) 印字された円形マークにマイクロスコープの先端をあててもらい、画像を撮影する。ここで j 回目の試行において撮影された画像を I_{ij} とする。

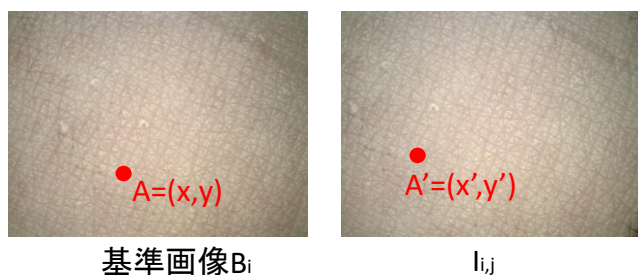


図 6 位置ずれ量の求め方

Figure 6 Method to measure position deviation amount

(イ) マイクロスコープを肌から離す。

- ④ ③の手順を完了してから、10分以上経過した後に、被験者 i に再度 15 回、③を実施してもらう。ただし、 j 回目の試行において撮影した画像は $I_{i,(j+15)}$ として記録されるものとする。

4.3 位置ずれ量の調査

最初に撮影した画像 B_i の中心を基準として、各 I_{ij} がどの程度ずれた位置で撮影されているかを求める。すなわち、 B_i の中心を基準として、 I_{ij} の中心がどの程度離れているかを求める。以下本稿では、この「 B_i と I_{ij} の中心同士の距離」を、位置ずれ量と呼ぶ。位置ずれ量は、以下の手順によって求めることができる（図 6 も参考にされたい）。

- ① 実験実施者が目視によって B_i 中から特徴的な点 $A=(x,y)$ を見つける
- ② 実験実施者が目視によって I_{ij} から A に対応する点 $A'=(x',y')$ を求める
- ③ $|x'-x|$ ピクセルが 2 枚の画像間の水平方向位置ずれ量、 $|y'-y|$ ピクセルが 2 枚の画像間の垂直方向位置ずれ量である。

なお、本来であれば位置ずれ量はスケール（マイクロスコープと肌理の距離）や回転角度（マイクロスコープの向き）にも影響を受ける。しかし、スケールが大きく異なった場合、マイクロスコープのピントがあっていないはずである。毎回の撮影時では、ピントがあっていることから、ほぼ同じスケールで毎回撮影できていると考えられる。さらに、同じ向きで撮像するユーザに指示してあることから、ある程度同じ向きで撮影されているものと期待される。よって、今回の計算ではこれら値の影響は無視したうえで計算を行っている。

今回は 5 人の被験者が、それぞれ 30 枚の画像を撮影している。よって得られる位置ずれ量は、水平方向に対して 5 被験者 \times 30 枚 = 150 個、垂直方向に対しても 5 被験者 \times 30 枚 = 150 個であり、その総数は 300 個である。

4.4 位置ずれ量の分析

4.3 で求めた位置ずれ量に関して、水平方向にも垂直方向にも同程度の範囲でずれるという仮定をおく。この仮定のもとで、位置ずれ量の累積分布を図 7 の実線に示す。位置

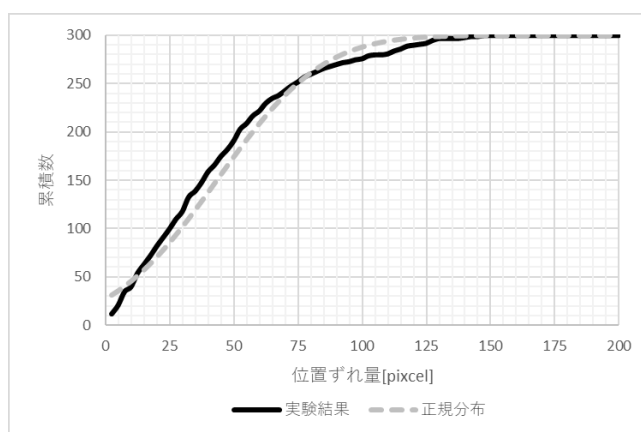


図 7 位置ずれ量の累積分布

Figure 7 Cumulative distribution of position deviation amount

ずれ量の平均値は 43.51、標準偏差は 32.35 であった。位置ずれ量の分布が正規分布にそっているという仮定の下で位置ずれ量の累積分布を求めた結果を図 7 の破線に示す。正規分布にそっていると仮定した累積分布（図 7 の破線）を分析した結果、約 99.9% のデータが、位置ずれ量 ± 145 ピクセル（約 3.2mm）以下に含まれることがわかった。

4.5 撮影されうる領域の計算

4.4 の結果からは次のことがいえる。あるユーザが自身の肌理に印字された円形のマークにあわせて、1 枚の画像 X_0 を撮影したとする。その後、マイクロスコープを離す \rightarrow 再度マークにあてて撮影する $\rightarrow \dots$ という動作を何度も繰り返して、画像 X_0, X_1, X_2, \dots を新たに取得したとする。このとき、 X_1, X_2, X_3, \dots の中心は、 X_0 の中心から垂直方向にも、水平方向にも $\pm 3.2\text{mm}$ 以内に存在することとなる。

この結果は、テンプレートとして撮影すべき領域の範囲にそのまま適用することが可能である。ユーザはテンプレートの撮影時に、円形のマークに目視でマイクロスコープをあてる。その画像の中心から、水平方向に $\pm [3.2\text{mm} + \text{画像の横幅} \div 2]$ 、垂直方向に $\pm [3.2\text{mm} + \text{画像の縦幅} \div 2]$ の領域を撮影しておき、これをテンプレートとして利用する。ユーザは認証時にも円形のマークにマイクロスコープをあてて撮影を行うが、その時に撮影した画像は上記の X_1, X_2, X_3, \dots に相当する。すなわち、 X_1, X_2, X_3, \dots は、撮影したテンプレートの中に含まれているはずであり、認証に成功することとなる。

5. 基礎実験

5.1 目的

3 章で開発したシステムに対して、4 章で調査した結果を組み込む。その結果、目視で位置合わせをするだけでユーザ認証に成功できることを確かめる。

表 1 実験結果

Table 1 Experimental result

回	スコア		
	A	B	C
1	0.589915	0.784658	0.742332
2	0.571595	0.799893	0.822820
3	0.664533	0.772440	0.748688
4	0.596144	0.771683	0.791382

5.2 諸元

被験者は静岡大学に所属する学生 3 名 (A,B,C) である。学生 3 名の肌の一部に円状のマーク一つを印字する。その後、円状のマークにあうよう、被験者自身が目視でマイクロスコープを当て、テンプレートの撮影をする。今回構築したプロトタイプシステムでは、3.2 節に示した通り、倍率 60 倍のマイクロスコープで画素数 640×480 の画像を撮影している。4 章で求めた結果より、最初にマイクロスコープをあてた地点より、水平方向に $\pm [290 \text{ ピクセル}[b] + 320 \text{ ピクセル} = 610 \text{ ピクセル}]$ 、垂直方向に $\pm [290 \text{ ピクセル} + 240 \text{ ピクセル} = 530 \text{ ピクセル}]$ の領域をテンプレートとして登録した。画像サイズとしては、約 $12\text{mm} \times 11\text{mm}$ である。その後、ユーザは、円状のマークに再度マイクロスコープをあて、認証を行い、システムが出力するマッチングスコアを確認する。各撮影においては、被験者が撮影するたびに、撮影された画像を実験実施者が確認をした。撮影された画像がぶれていたり、ぼやけていたりした場合は、撮影画像を削除した後、取り直すように指示をした。システムの操作に慣れるため、各被験者には、テンプレート登録後、認証実験の本番前に、認証のテストを好きなだけ行うことを許した。その後、各被験者につき、4 回の認証 (本番) を試行してもらい、各試行でシステムが出力をするマッチングスコアを調査した。

5.3 結果

認証の結果、システムが出力したマッチングスコアを表 1 に示す。どの認証の試行においても、文献[9]に示した閾値 (0.14) を大きく超えている。すべての認証において、認証に成功していることがわかる。登録するテンプレートの範囲を広げたことによって、目視でマークに位置合わせするだけで認証できたことがわかる。

6. 考察

6.1 テンプレートの撮影範囲と更新可能回数

今回構築したシステムでは、約 $12.0 \times 11.0\text{mm}$ の領域をテンプレートとして記録している。従来のプロトタイプシ

テムでは、約 $2.0 \times 1.5\text{mm}$ の領域をテンプレートとして記録していた。目視での位置合わせだけで認証できる方式へと改良することによって、登録面積が約 40 倍に増加していることがわかる。肌理を利用したマイクロ生体認証において、テンプレートの更新可能回数は、全身の皮膚の面積 \div 1 回あたりの登録面積である。すなわち、今回のシステムは、従来のシステムと比較して、認証時のユーザビリティを向上させ、更新可能回数 (安全性) が若干低下した仕様になっている。本稿で実装した形態は、肌理を利用した生体認証の実現において、ユーザビリティを重視した実現方法であるといえるだろう。

ただし、人間の肌の総面積は 1.6m^2 であるといわれている[12]。テンプレートの領域を約 $12.0 \times 11.0\text{mm}$ としたとしても、約 1.2×10^4 通りの登録パターンを利用可能である。服を脱がないと採取できない場所を考慮したとしても、数百から数千パターンの肌理情報を利用可能である。この値は、既存の指紋や顔といった生体認証のモダリティよりはるかに大きい値である。

6.2 マーカレス方式への発展とその問題点

6.1 で議論した内容を発展させ、認証時のユーザビリティをさらに高めていった方式として、「腕のどこかにマイクロスコープをあてるだけで」認証できる方式が考えられる。この場合、マークも不要となる。あらかじめ、ユーザの腕全体の肌理画像をシステムにテンプレートとして登録しておく。認証時にユーザは、腕のどこかにマイクロスコープをあてて、撮影して認証画像を撮影する。この認証画像が、テンプレートの中に含まれるか否かを判定することで、正規ユーザか否かを判定する方式である。

なお、この方式を実現するにあたっては「腕全体の肌理画像」という広大なテンプレートから、認証画像を高速に探索することが必要である。これは、高速画像検索技術[13]を利用することによって、実現可能である可能性が高い。

ただし、腕全体の微細肌理情報をテンプレートとして登録した場合、なりすましに対する高い耐性、高い認証精度は維持されると期待されるものの、追跡可能性に関する要求は満たせないこととなる。したがって、本方式は更新可能という安全性を犠牲にして、認証時の利便性を劇的に向上させる方式であると理解される。適用先については十分な検討をする必要があるであろう。

7. まとめと今後の課題

本方式は、テンプレートとして登録する肌理領域を広げることで、目視でマークに位置合わせするだけで認証できる、肌理を利用したマイクロ生体認証を提案・実装・評価

b 4 章では、30 倍で撮影した画像中で 145 ピクセルの位置ずれ量であることを示した。本章で利用しているマイクロスコープ 60 倍であるため、145 ピクセルを 2 倍した 290 ピクセルが考え得る最大の位置ずれ量となる。

した。提案方式実現にあたって、目視でマークに位置合わせをしたとき、どの程度の範囲の領域が撮影されうるかを実験によって求めた。求めた範囲の領域をテンプレートとして登録した実験システムを構築し、基礎実験を行い、その有効性を示した。今後の課題としては、登録時にテンプレートを一度に撮影できる機器の導入、さらに多くの被験者でより長期的な実験の実施、ぶれやぼやけた画像をユーザが撮影したときに自動的にユーザに再撮影を依頼する仕組みの実現、などがあげられる。

参考文献

- [1] FIDO Alliance, Inc.: FIDO 1.0 Specifications are Published and Final Preparing for Broad Industry Adoption of Strong Authentication in 2015 (online), available from <<https://fidoalliance.org/news/item/fido-1.0-specifications-published-and-final>> (accessed 2015/02/26).
- [2] 高橋健太, 村上隆夫, 加賀陽介ほか: “テンプレート公開型生体認証基盤, 2012 年暗号とセキュリティシンポジウム予稿集, 論文 No.1F1-3(2012).
- [3] 星野哲, 松本弘之, 松本勉: 指紋画像からの人工指作製, 電子情報通信学会技術研究報告, ISEC2001-60, Vol.101, No.311, pp.53-60 (2001).
- [4] Zoe Kleinman: Politician’s fingerprint ‘cloned from photos’ by hacker (online), available from <<http://www.bbc.com/news/technology-30623611>> (accessed 2015/02/07).
- [5] 産経新聞: 「ピースサインは危険!!!」 3メートル離れて撮影でも読み取り可能, available from <<http://www.sankei.com/affairs/news/170109/afr1701090002-n1.html>> (accessed 2017/03/17).
- [6] C. Rathgeb, and A. Uhl.,: “A survey on biometric cryptosystems and cancelable biometrics,” Journal on Information Security, pp. 1–25(2011).
- [7] バイオメトリクスセキュリティコンソーシアム: バイオメトリックセキュリティ・ハンドブック, バイオメトリクスセキュリティコンソーシアム, オーム社 (2006).
- [8] 眞野勇人, 兼子拓弥, 高橋健太, 西垣正勝: マイクロ生体認証の提案とその一事例報告, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.114, No.520, BioX2014-64, pp.153-157 (2015).
- [9] 藤田真浩, 眞野勇人, 村松弘明, 高橋健太, 西垣正勝: 肌理を利用したマイクロ生体認証: プロトタイプシステムの構築, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2017)シンポジウム論文集, pp1861-1866 (2017).
- [10] OpenCV, available from <<http://opencv.org/>> (accessed 2015/03/13).
- [11] サンコー株式会社: Dino-Lite Edge S EDR/EDOF/AMR/FLC Polarizer (偏光), 入手先<<http://www.thanko.co.jp/shopdetail/00000000705/ct42/page1/recommend/>> (参照 2017-09-27)
- [12] A. E. Bender and D. A. Bender: Body Surface Area, A Dictionary Food and Nutrition, Oxford, England: Oxford University Press (1995).
- [13] 野口和人, 黄瀬浩一, 岩村雅一: 近似最近傍探索の多段階化による高速特定物認識, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J92-D, No.12, pp.2238-2248 (2009).