一般社団法人　電子情報通信学会
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS,
INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

信学技報
IEICE Technical Report
BioX2016-31,MBE2016-45,NC2016-30(2016-10)

肌理画像を利用したマイクロ生体認証の長期実験に関する報告

藤田　真浩† 　眞野 勇人† 　村松 弘明† 　高橋　健太‡ 　西垣　正勝†

†静岡大学 〒432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1
‡株式会社日立製作所　〒244-0817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 292
E-mail: †nisigaki@inf.shizuoka.ac.jp

あらまし　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．静的な微細部位を利用することによって，なりすましに対する高い耐性を有し，プライバシ（追跡可能性）に対する配慮がなされ，かつ，実用レベルの認証精度を確保することが可能な認証方式である．筆者らは，マイクロ生体認証の一事例として[Fujita 16]にて，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マイクロ生体認証を提案している．本稿では，肌理画像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を利用して，長期間（数ヶ月）に渡るユーザ実験を実施した．実験の結果，提案方式は，マーカを基準にして登録部位を正確に特定さえできれば，数ヶ月の運用においても比較的高い精度で個人識別が可能であること（肌理の経時変化の影響は少ないこと）が示唆された．

キーワード　生体認証，プライバシ保護，微細パターン，肌理

Report on Long-term Experiment of Micro Biometric Authentication using Human Skin Texture

Masahiro FUJITA† 　Yuto MANO† 　Hiroaki MURAMATSU† 　Kenta TAKAHASHI‡ and 　Masakatsu NISHIGAKI‡

†Shizuoka University　3-5-1 Johoku, Naka-ku, Hamamatsu, Shizuoka, 432-8011 Japan
‡Hitachi, Ltd.　292 Yoshida, Totsuka-ku, Yokohama, Kanagawa, 244-0817 Japan
E-mail: †nisigaki@inf.shizuoka.ac.jp

Abstract　Micro biometric authentication is an authentication mechanism which applies minute patterns of a user's body parts into physiological biometric authentication. This mechanism has three advantages: (i) higher tolerance against a masquerade attack, (ii) consideration of the issue of traceability, and (iii) higher authentication accuracy. As the first attempt, depicted in [Fujita 16], we have proposed a micro biometric authentication scheme that uses minute patterns of human skin texture. In this paper, we developed a prototype system of the scheme. We conducted a long-term experiment using the system (i.e., observed the human skin texture patterns over several months). The result suggested that our system guarantees relatively high authentication accuracy for a few months if finding the registered area by using a fiducial mark.

Keywords　Biometric authentication, Privacy Preservation, Minute patterns, Skin texture

1. はじめに

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．最も大きな課題が，生体情報の「基本的に生涯不変であり，任意に更新できない」という性質に起因する，なりすまし，および，追跡可能性に関する課題である．

「なりすまし」は，攻撃者が正規ユーザの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[1][2]．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て生体情

報をフィッシングしたり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：なりすましに対する耐性）．

「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，複数の Web サイトのアカウントで同じ生体情報を認証情報として利用していた場合，生体情報からそれらのアカウントが同一ユーザに利用されてい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 を達成する既存方式が，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[3]，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[4]．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．文献[4]では，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マイクロ生体認証のプロトタイプシステムを実装し，3 日間にわたるユーザ実験を実施した．その結果，肌理を利用したマイクロ生体認証の短期期間（3 日間）における有用性（要求 1〜3 を満たすこと）を示した．

しかし，文献[4]で実装したプロトタイプシステムは，マッチングにおける位置合わせを人力で行っていた．そこで本稿では，文献[4]で実装したプロトタイプシステムを改良し，マッチングの自動化を実現する．そのうえで，プロトタイプシステムを利用し，より長期的な実験を行い，肌理を利用したマイクロ生体認証の長期利用における有用性と課題を明らかにする．

本稿の構成は次のとおりである．2 章では，文献[4]で提案した「マイクロ生体認証」のコンセプト，および，その一事例（肌理を利用したマイクロ生体認証）を再度論ずる．3 章では，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する．開発したシステムを用いて 4 章で実験を行ったのち，その結果について 5 章で議論をする．6 章でまとめと今後の課題を述べる．

2. マイクロ生体認証とその一事例

2.1. コンセプト

1 章に示したとおり，要求 1〜3 を満たす生体認証が求められる．静的な生体情報を利用すれば，要件 3 を満たすことが可能である．しかし，（通常の）静的な生体情報は，なりすましが容易であり，ワンタイム化が困難であるため，要求 1 と 2 を満たさない．そこで，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する．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：

一般に，模倣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，模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：

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が変更され，追跡可能性が分断されることになる．

要求 3：

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）高いことが期待される．

2.2. 肌理を利用したマイクロ生体認証

マイクロ生体認証の一事例として，拡大した肌理画像を生体認証へと応用する．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．

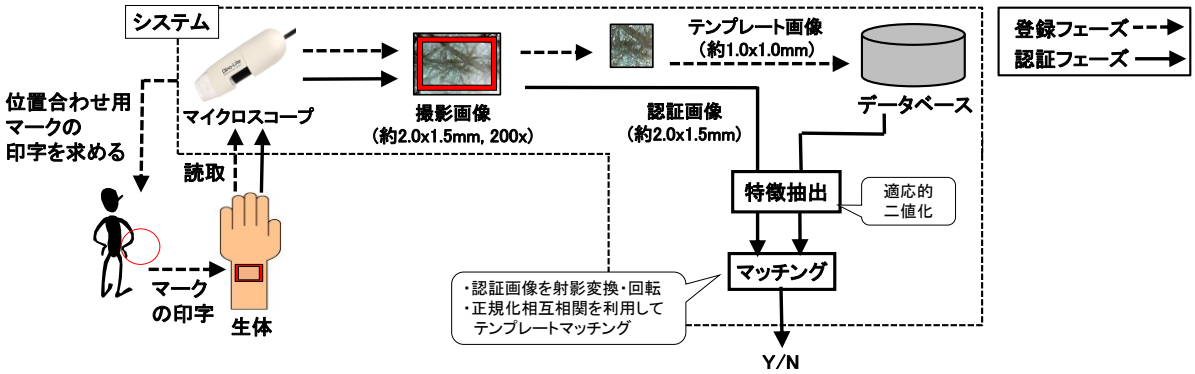

図 1　プロトタイプシステム構成図

2.3. 肌理を利用したマイクロ生体認証の認証手順

拡大した肌理画像を利用したマイクロ生体認証の認証手順を説明する．

【登録フェーズ】

① ユーザは，ユーザ ID を決定しシステムへ登録する．

② システムは，登録部位を示す位置合わせ用のマークの印字をユーザに要求する．

③ ユーザは，自分の身体の任意の位置にマークをつける．

④ システムは，マークの近くの部位の生体情報を読み取り，その特徴量を X とする．X はデータベースに登録される．

【認証フェーズ】

認証フェーズにおいては，ユーザが身体にマークを保持し続けることが前提となる

① ユーザは，ユーザ ID をシステムに入力する．

② システムは，マークで示された部位の生体情報を読み取り，その特徴量を X'とする．

③ システムは，データベースからユーザ ID と紐付いている登録情報 X を取り出す．

④ システムは，X と X' が十分類似していれば認証成功とする．

3. プロトタイプシステムの実装

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．その構成を図 1 に示す．なお，本システムは文献[4]で実装したシステムの一部を改良したものである．

3.1. 登録部位の発見

システムが登録部位（肌理）を発見するために，ユーザが肌の表面にマークを印字する必要がある．本システムでは,「油性インクによってマークを印字する方法」を採用した．

3.2. 生体部位の撮影

本稿では，マイクロスコープを利用する方法を採用した．使用したマイクロスコープは AM2001-Dino Lite Basic（サンコー株式会社製）である．本システムにおいては，200 倍に拡大したマイクロスコープで撮影した肌理画像（640×480 pixel, 約 2.0×1.5mm）の中央 256×256 pixel（約 1.0×1.0mm）を切り出し，それをテンプレート画像として利用する．

3.3. 特徴抽出

肌理の凹凸パターンを特徴量として利用する．安定した特徴を得るために，テンプレート画像，および，認証画像は，マッチング前に適応的 2 値化を施して 2 値化画像に変換する．適応的 2 値化は，OpenCV Ver. 2.4.9 に実装されている関数 cvAdaptiveThreshold()によって行った．関数のパラメータは，inThresholdType を CV_THRESH_BINARY_INV, inBlockSize を 25 とした．

3.4. マッチング

システムは，位置合わせ用のマークによって，テンプレート画像とほぼ同じ位置の肌理画像（認証画像）を得ることができる．しかし，マイクロスコープのわずかな傾きや位置ずれによって，この画像は（テンプレート画像と比較して）歪みや位置ずれを起こしている場合が多い．これらは，ノイズとなり，マッチングスコアの低下(認証率の低下)を引き起こす．そこで，撮影した画像に対して，射影変換とアフィン変換（回転）を施して，これらのノイズを吸収したのち，テンプレートマッチング（正規化相互相関）を利用してスコアを求めた．テンプレートマッチングは，Open CV Ver2.4.9 で実装されている cvMatchTemplate()で行い，引数 method（テンプレートマッチングの方法）の値は CV_TM_CCOEFF_NORMED を利用した．

以上をまとめたマッチングアルゴリズムの概要を図 2 に示す．本稿では，紙面の関係上，マッチングアルゴリズムやパラメータ設定に関する詳細な議論は割愛する．

4. ユーザ実験

肌理を利用したマイクロ生体認証の数ヶ月の認証

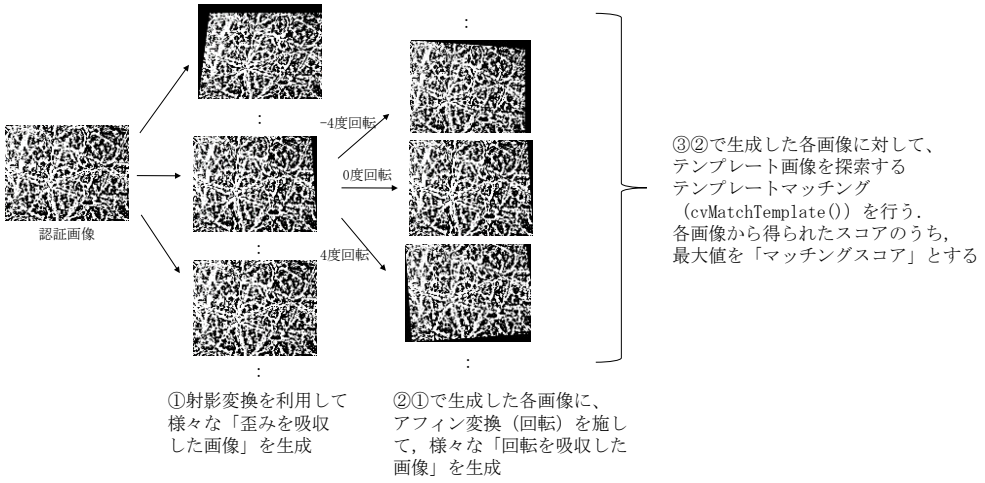

図 2　マッチングの概要

精度をユーザ実験によって調査する．

4.1. 肌理画像の収集

静岡大学の学生 6 名(全員男性)に協力してもらい，1 名当たり任意に 5 箇所の肌理を採取した．体毛が少ないことや,撮影が比較的容易な部位であることから，撮影範囲は前腕部内側に限定した．利用する腕は，被験者に希望を尋ね，左右のいずれかを選択してもらった．

実験初日（1 日目）にテンプレート画像の撮影を行った．各被験者の前腕部 5 箇所に油性インクでマークを印字し，それぞれのマークを基準にして,(マーク近くの) 肌理をマイクロスコープで撮影した．3.2 節で示したとおり，この画像の中央 256×256 pixels をテンプレート画像として利用する．

2 日目以降，30 日目まで毎日 1 日 1 回，各被験者の各箇所に対して，認証画像の撮影を行った．ただし，土日祝日は,撮影を行わなかった.具体的な撮影日は，2～5 日目，8～12 日目，15～19 日目，22 日～26 日目，29 日目，30 日目である．実験期間中に，油性インクのマークが消えそうになった場合，できる限り同じ場所に印字がなされるよう,(消えそうになったマークの上から）再度マークを印字した．ただし，微小なマークを完全に再現することはできないため，再印字したマークには若干の位置ずれが発生する．これに対処するため，認証画像の撮影の際に，実験実施者（著者）が目視で調整を行った．具体的には，肌に印字された各マークを参考にして，登録部位のおおよその位置を発見したのち，撮影する肌理画像の見た目がテンプレート画像（登録部位）とできる限り一致するように撮影を行った．

さらに，2 ヶ月後（約 60 日後），3 ヶ月後（約 90 日後）に二度の撮影を行った．ただし，これらの日にちのなかは,一部の被験者が都合の悪い日があったため，その場合においては，該当日前後数日以内でその被験者が都合の良い日を選択して撮影を行った．これらの日数までに，被験者の油性インクのマークが消えそうになった場合，30 日目までの実験と同様に，再度同じ場所に印字するようにした．ただし，再印字は被験者自身に依頼したため，被験者の中には，失念あるいは諸事情によってマークが消えてしまう場合があった．この問題はあらかじめ予測されたため，次に示す対応を事前に決めておき，これに従って対処した．

① 30 日目に各被験者の前腕部全体の写真(五つのマークが含まれる）を撮像しておく
② ①で撮影した写真を手掛かりに，マークが印字されていたであろう場所をおおまかに特定する
③ ②で特定した位置とテンプレート画像を手掛かりに，マイクロスコープを使って，登録部位（マークがあったであろう場所）を探索する．
④ ③の結果，発見した位置の付近に再度マークを印字しておく．次回以降は，このマークを参考にして参考に，登録部位の発見を行う．

4.2. スコアの計算

4.1 節で得た，被験者 i（i=1~6）の j（j=1~5）箇所目のテンプレート画像を $t_{i,j}$ と記載する．同様に，d 日目（d=2~5, 15~19, 22~26, 29, 30, 60, 90)の被験者 k(k=1~6）の 1（l=1~5）箇所目の認証画像を $a_{d,k,l}$ と定義する．（d=60, 90 については，4.1 節に示したとおり，実際は 60 日，90 日に対して数日前後した日のデータである場合がある.）

これらを利用して，3.3 節，3.4 節の手順に沿って，以下の二つのマッチングスコアを計算する．ただし，実験の簡素化のため,今回の評価に利用するデータは，日数 d=2, 3, 8, 15, 22, 30, 60, 90 に限定した．

① 同箇所間のマッチングスコア．すなわち，$t_{i,j}$ と $a_{d,k,l}$（i＝k, j＝l）間のマッチングスコア．このとき，$t_{i,j}$ と $a_{d,k,l}$ の組み合わせは 1 日あたり 30 通りであるため，得られるスコアの総数は 1 日あたり 30 通りである．

② 異箇所間のマッチングスコア．すなわち，$t_{i,j}$ と $a_{d,k,l}$（i≠k または j≠l）間のマッチングスコア．このとき，$t_{i,j}$ と $a_{d,k,l}$ の組み合わせは 1 日あたり 870 通りである．ただし，本稿では，実験時間短縮のため，このうち 100 通りの組み合わせをランダムに抽出し，それらのスコアを求めた．すなわち，得られるスコアの総数は 1 日あたり 100 通りである．

4.3. 結果

肌理画像の収集は，各日，6 名×5 箇所=30 枚であるが，実験実施後に確認したところ，3 日目の被験者 5 の 3 箇所目の部位 $a_{3,5,3}$ の撮影が失敗していることが判明した．したがって，認証画像は，2, 8, 15, 22, 30, 60, 90 日目については各 30 枚，3 日目については 29 枚となった．

これらの画像を利用し，各日に対して，4.2 節に示した各スコア（①同箇所間のマッチングスコア、②異箇所間のマッチングスコア）を計算し，本人と他人を切り分ける閾値を変更した場合の本人拒否率（FRR）と他人受け入れ率（FAR）を算出した．さらに，FRR と FAR から各日に対する等誤率（EER）を計算した．各日において，EER とその閾値をまとめた結果を表 1 に示す．

5. 考察

表 1 の結果より，肌理を利用したマイクロ生体認証において，30 日目までの EER は 0.0%であることがわかる．本結果は，30 日間の期間であれば，提案方式は十分な認証精度を有することを意味している．すなわち，一か月程度であれば，肌理情報は大きくは変化せず，高い認証精度を維持できていることがわかる．

一方で，60 日目，90 日目の EER は，6.8%，2.7%であり，30 日目までと比較して低下をしている．認証画像を目視で確認することによって,その原因を探った．その結果，EER が低下したのは，肌理情報が変化したのではなく，手作業による認証画像（肌理）の撮影に原因があることが推測された．具体的には，テンプレート画像撮影時と認証画像撮影時で皮膚へのマイクロスコープの当て方が異なってしまう場合があり，一部の認証画像にテンプレート画像と比較して大きなノイズ（傾きや縮尺の違い）が発生していた．具体的な例を，図 3 に示す．図 3 は，1 日目，60 日目，90 日目における被験者 5 の 2 か所目の部位画像である．画像を

表 1 実験結果（日ごとの EER）

日数	閾値	EER
2	0.238	0.0%
3	0.209	0.0%
8	0.192	0.0%
15	0.190	0.0%
22	0.209	0.0%
30	0.179	0.0%
60	0.127	6.8%
90	0.131	2.7%

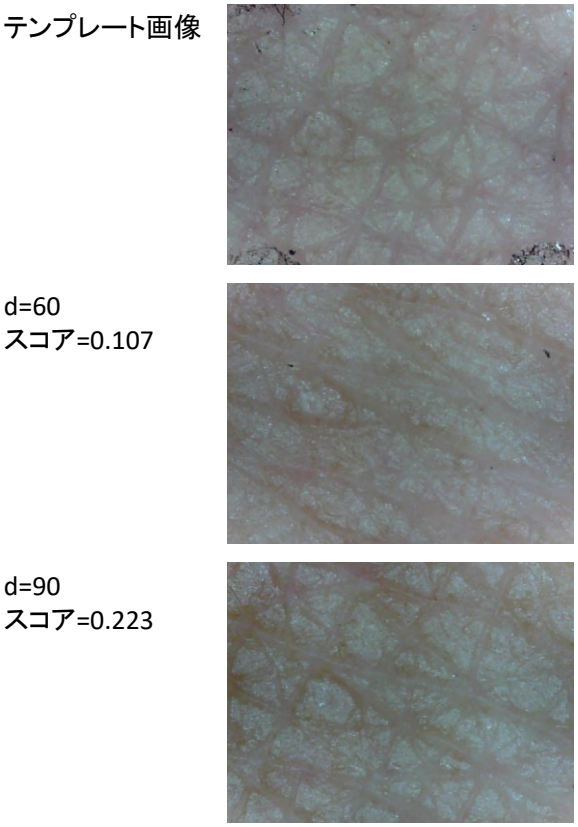

図 3 被験者 5 の 2 か所目の部位の テンプレート画像と認証画像(d=60,90)

2 次元平面として見たとき，60 日目は，テンプレート画像と比較して，第 1 象限方向に傾いており，これによって，一部の凹凸が映らない状態となっている．また，撮影の縮尺もテンプレート画像と比較して異なっていることがみてとれる．仮に肌理自体が変化したのであれば，90 日目のマッチングスコアも低い値となるであろうことに注意されたい．

以上の議論より，実験実施者がより慎重に認証画像を撮影することによって（テンプレート画像撮影時とできるだけ同環境下で撮影することによって），2 か月後，3 か月後であっても， 30 日目と同程度の EER を確保可能であることが期待される．

6. まとめと今後の課題

本稿では，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改良し，マッチングの自動化を実現した.そのうえで,プロトタイプシステムを利用し，より長期的な実験を行い，肌理を利用したマイクロ生体認証の長期利用における有用性と課題を明らかにした．今後の課題としては，撮影の自動化，マッチングアルゴリズムの改良，より多くの被験者での実験等があげられる.

謝辞

本研究は，産業技術総合研究所 大塚玲様，大木哲史様，静岡大学 中谷広正教授，佐治斉教授にご支援いただきました．本研究は JSPS 科研費 JP15K12036 の助成を受けました．深く御礼を申し上げます.

文　献

[1] “Fido Alliance”, https://fidoalliance.org/, October 2016.

[2] Y. Kaga, Y. Matsuda, K. Takahashi, and A Nagasaka, “Biometric Authentication Platform for a Safe, Secure, and Convenient Society -Public Biometrics Infrastructure-,” Hitachi Review, vol.64, no.8, 2015.

[3] T. Putte, and J. Keuning, “Biometrical fingerprint recognition: Don’t get your fingers burned,” Proc. IFIP TC8/WG8.8 Fourth Working Conf. on Smart Card Research and Advanced Application, pp.289-303, 2000.

[4] M. Fujita, Y. Mano, T. Kaneko, K. Takahashi, and M. Nishigaki, “Micro Biometric Authentication Mechanism Considering Minute Patterns of the Human Bod: A proposal and the first attempt”, Proc. 19th Int. Conf. on Network-Based Info. Systems, pp. 159-164, 2016.