

手のモーションによる非接触式生体認証 Non-Contact Biometric Authentication Using the Motion of a Hand

井村 覚

Satoru Imura

法政大学情報科学部デジタルメディア学科

E-mail: satoru.imura.5x@stu.hosei.ac.jp

Abstract

The spread of mobile devices is enabling people to easily carry around a variety of data. This is increasing people's attention to security for protecting their personal information. In particular, security technology using biometric authentication is spreading among smart phones and notebook PCs. However, since most of conventional biometric authentication systems require high-speed processing units and large storage devices, the systems tend to become expensive and large. In addition, most of contact-type biometric authentication systems fail for water and dirt. In this paper, aiming at reducing the size and cost of a biometric authentication system, we propose a non-contact system adopting the motion of a hand. Using a 3D motion sensor called Leap Motion Controller, we implement a system for performing personal identification from any hand gestures. It supports various types of 3D gestures, because the user can freely move his/her hand without touching the device. Using the motions of fingertips and joints as biometric data, the system improves the accuracy of authentication. The paper also presents the results of experiments, where subjects performed three types of gestures. We evaluated the system using equal error rates.

1. はじめに

近年、モバイル端末の普及によって人々は様々なデータを手軽に持ち歩けるようになった。それに伴い、個人情報保護をセキュリティへの関心も高まっている。特に、生体認証を用いたセキュリティ技術はスマートフォンやノート PC にも用いられ大きな普及を見せている。しかし、従来の生体認証システムは高速な処理装置や大量の記憶装置が必要となり、システムが高価で大型になりがちである。また、接触式のシステムでは水や汚れによって認証が失敗するということが多々ある。

そこで本研究では、生体認証システムの小型化及び低コスト化を目指した、手のモーションによる非接触式生体認証システムを提案する。3次元モーションセンサの Leap Motion Controller を用いて、任意のハンドジェスチャをすることで個人識別をおこなうシステムを実装した。

動きの特徴ごとに分類したジェスチャを用いて実験を行い、結果として高い精度でユーザを識別可能であった。

2. 関連研究

従来のモバイル端末の多くは、ユーザを認識するためにテキストベースのパスワード方式を用いている。しかし、入力の煩わしさやログイン時間の短縮のために、脆弱なパスワードを設定するユーザが多い。また、Google の Android OS には「パターンロック」 [1] と呼ばれるタッチベースのパスワード方式が用いられている。これは複数の点を任意の順序でなぞることによる認証であるが、指の油によって画面上にパターンの軌跡が残ってしまう脆弱性がある。そこで、パスワード方式に代わる認証方法として、ユーザ個々の生体情報を用いた生体認証の研究が進められている。

生体認証には大きく分けて、身体的特徴を用いたものと行動的特徴を用いたものがある。身体的特徴には、指紋や虹彩、顔などが挙げられる。Jain らの研究 [2] では、手の幾何学的な特徴から個人識別が可能であるとした。行動的特徴には、歩行や筆圧、キーストロークなどが挙げられる。Sae-Bae ら [3] は、マルチタッチジェスチャによる生体認証技術を提案した。これは、マルチタッチ可能なデバイス上で、5本指のタッチジェスチャから個々の生体的特徴を認識する技術である。これは前述したパターンロックと同じく、デバイス画面上にジェスチャの軌跡が残ってしまう可能性がある。これらのショルダーサーフィンへの危険性に対して Kim ら [4] は、指先の圧力による認証方法を提案した。これはデバイス画面上の複数のゾーンに指先を置き、特定のゾーンに位置する指先の圧力を増加させることで認証を行う技術である。指先を一切動かさないで、デバイス画面上に指先の軌跡が残らず、ショルダーサーフィンへの強力な対策となる。

生体認証システムの精度評価の方法には、一般に等価エラー率 [5] が用いられる。

3. Leap Motion Controller

Leap Motion Controller は内蔵された 2 つの赤外線カメラと赤外線照射 LED によって、3次元空間での手や指の位置を取得する 3次元モーションセンサである。トラッキング速度は 120fps で、トラッキング精度は 1/100mm である。小型なデバイスであり、大きさは 8(横) × 3(縦) × 1.1(高さ)cm で、価格は約 1 万円と個人でも導入しやすい。

また、Leap Motion Controller が内蔵されたノート PC も発売されており、一般的な普及も進んでいる。

4. 提案手法

本研究では、デバイスに手の動きを制限されない 3 次元モーションによる非接触式生体認証の手法を提案する。以下では本研究で用いる 3 次元ジェスチャと個人識別するための生体データについて関連研究と比較しながら説明する。

4.1. 3次元ジェスチャ

2 節で述べた Sae-Bae らの研究 [3] ではデバイスの特性上、5 本指がディスプレイに触れていなければならない、認証可能なジェスチャは 2 次元的なものに限られていた。また、動きの特徴から分類されたジェスチャのカテゴリも「手のひら」と「指先」の 2 つだけであった。

本研究では、Leap Motion Controller を用いることで、デバイスに触れることなく手を自由に動かせるため、3 次元ジェスチャに対応し、ジェスチャの種類を幅広げる。特に、タッチジェスチャでは制限されていた手首の動きが可能になり、これをジェスチャ分類に加え、「手のひら」、「指先」、「手首」の 3 つと、それらを組み合わせ合わせた「複合」の計 4 つのカテゴリにジェスチャを分類する。

Leap Motion Controller の特性上、指がセンサに隠れてしまうと正しく認識できないので、その点を考慮して以下の分類ごとにジェスチャを定める。

4.1.1. 手のひら

手のひらのカテゴリのジェスチャは、手を自然に開いた状態で、手のひらを水平に保ちつつ、任意の方向へ手を動かすジェスチャである。以下は本カテゴリにおけるジェスチャの一覧である。

HUD: 上に移動してから下に移動 (図 1 (a)).

HLR: 左に移動してから右に移動。

HFB: 前に移動してから後ろに移動。

HCWY: Y 軸方向に時計周りに移動。

4.1.2. 指先

指先のカテゴリのジェスチャは、手を自然に開いた状態から、指を任意の方向へ動かすジェスチャである。以下は本カテゴリにおけるジェスチャの一覧である。

FCO: 手を開いた状態から手を窄め、元に戻す。

FBO: 指を折って戻すを親指から小指まで順番に。

4.1.3. 手首

手首のカテゴリのジェスチャは、手を自然に開いた状態で、手首を中心に任意の方向へ動かすジェスチャである。以下は本カテゴリにおけるジェスチャの一覧である。

WUD: 上に曲げてから下に曲げる。

WLR: 左に曲げてから右に曲げる (図 1 (b)).

WCWY: 手首を中心に Y 軸方向に時計回りに回転。

WTR: 手のひらを裏返し、元に戻す。

4.1.4. 複合

上記 3 つのカテゴリに属するジェスチャを組み合わせ合わせた複合的なジェスチャを以下に示す。

UDS: ユーザ自身の苗字を空中に署名。

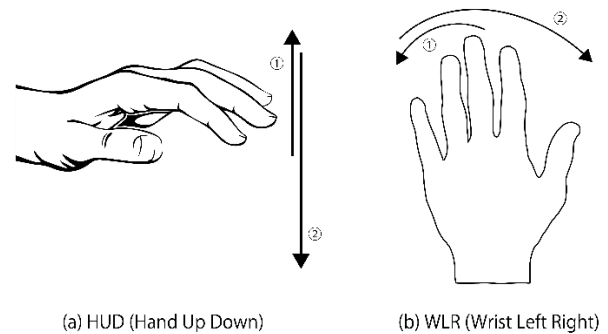


図 1 ジェスチャの例

4.2. 生体データ

マルチタッチジェスチャ [3] で用いられた生体データは、タッチされた指先のジェスチャによる 2 次元的な軌跡であった。各時刻の生体データは、(指先の x, y 座標) \times (5 本指) = 10 次元のベクトルで、次のように表される。

$$\text{Touch}_i = [x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_5, y_5]$$

本研究では、指先だけでなく指の関節部の動きにも着目した。図 2 のように、各指は 4 つ (親指のみ 3 つ) の骨で構成されており、赤丸で示す指先と関節部の動きを生体データとして用いる。また、各部の座標を 3 次元データで取得することにより、比較データが増え、認証の精度を高めるものと考えられる。各時刻の生体データは、(各部の x, y, z 座標) \times (指先 + 4 関節) \times (5 本指) = 75 次元のベクトルで、次のように表される。

$$\text{Space}_i = [x_{11}, y_{11}, z_{11}, x_{12}, y_{12}, z_{12}, \dots, x_{55}, y_{55}, z_{55}]$$

ジェスチャは、各時刻の生体データを時系列順に並べた $(75 \times n)$ 次元のベクトルとなり、次のように表される。

$$\text{Gesture} = [\text{Space}_1, \text{Space}_2, \dots, \text{Space}_n]$$

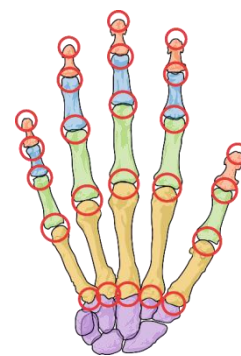


図 2 生体データ取得部分

5. 実装

3 次元モーションセンサには Leap Motion Controller, ライブラリには Leap Motion SDK, プログラミング言語には Java, 開発環境には Eclipse を用いて提案手法を実装

した．システム全体のプログラムの総行数は約 3300 行である．

一般に生体認証では，事前に個人の生体情報である「テンプレート」を採取登録し，認証時にセンサから取得されたデータと比較することで個人認証をおこなう．以下では登録と認証に分けて説明する．

5.1. テンプレート登録

テンプレートとして用いる生体データは，4.2 節に記述したように，指先と関節の 3 次元座標である．また，データ取得の際には，各時刻のジェスチャの時間経過をジェスチャベクトルと別で取得する．

図 3 に示すように，Leap Motion Controller の直上 20cm の位置を基準点に設定し，登録，認証ともに各ジェスチャのスタート地点とする．

本研究では，デバイスに制限されない 3 次元空間上での自由なジェスチャを可能としたが，その反面，同一人物が同じジェスチャを行っても動きや速さに必ず誤差が生じ，全く同じジェスチャの再現を行うのは困難である．そのため，テンプレート登録のジェスチャサンプルとして 1 回だけのジェスチャでは正確なテンプレートが取得できないので，ジェスチャを 10 回繰り返し，その平均をテンプレートとして登録する．この際に，取得した 10 回分のデータを 5.2.2 節で述べる方法でそれぞれ比較し，算出した値の平均をそのテンプレートジェスチャの閾値として設定する．

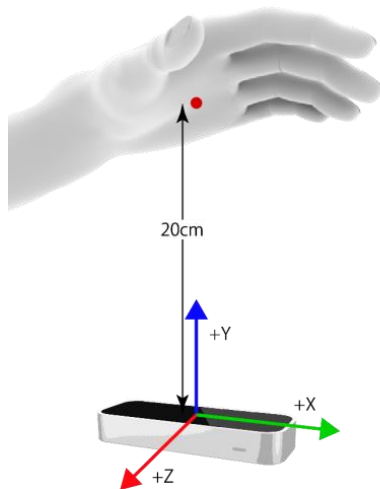


図 3 基準点

5.2. 個人認証

個人認証では，Leap Motion Controller から取得されたジェスチャデータを事前に登録されたテンプレート全てに対して比較することで認証をおこなう．登録段階では，テンプレート登録のために 10 回ジェスチャをおこなうが，認証段階では 1 回のみジェスチャをおこなう．以下ではデータのマッチングと比較方法に分けて説明する．

5.2.1. データのマッチング

5.1 節でも述べたが，全く同じジェスチャの再現はほぼ不可能であり，そのジェスチャの速さも異なる．そのた

め，テンプレートのデータ数と認証時の取得データ数に誤差が生じてしまうことがある．そこで，数の小さいデータ群を数の大きい方に合致させるようにデータを補間することで，データの比較ずれを軽減する．データの補間は前後の値の中間値を用いる．

5.2.2. データの比較方法

テンプレート，認証時の取得データともに多次元ベクトルであるので，データの比較方法としてユークリッド距離を用いた．式は以下の通りである．

$$d(\mathbf{p}_i, \mathbf{q}_i) = \sqrt{\sum_{k=1}^5 \sum_{j=1}^5 \{(x_{pjk} - x_{qjk})^2 + (y_{pjk} - y_{qjk})^2 + (z_{pjk} - z_{qjk})^2\}}$$

$\mathbf{p}_i, \mathbf{q}_i$ は時刻 i の指の座標ベクトルであり，それぞれ

$$\mathbf{p}_i = [x_{p11}, y_{p11}, z_{p11}, x_{p12}, y_{p12}, z_{p12}, \dots, x_{p55}, y_{p55}, z_{p55}]$$

$$\mathbf{q}_i = [x_{q11}, y_{q11}, z_{q11}, x_{q12}, y_{q12}, z_{q12}, \dots, x_{q55}, y_{q55}, z_{q55}]$$

となる．上記で導出されたジェスチャの各時刻のユークリッド距離の和がジェスチャの類似性を示す．式は以下の通りである．

$$S = \sum_{i=1}^n d(\mathbf{p}_i, \mathbf{q}_i)$$

この値が最も小さいテンプレートジェスチャが最も類似性が高いと言える．そして，その値が閾値よりも小さい場合，取得されたジェスチャはテンプレートジェスチャと等しいと見なし，認証成功とする．しかし，ジェスチャの速さがテンプレートジェスチャのものと比較した際に，差が大きい場合は認証失敗とする．

6. 実験

被験者 9 人(男性 9 人，平均年齢 21.8 歳)に対して実験を行った．ジェスチャの開始と終了をキータップによって判定する．他人同士が同じジェスチャを同じ手で行った場合にも差が見られるか確認するため，試行を行う手を左手のみに限定した．しかし，UDS に関しては署名を行うため，ユーザの利き手でジェスチャを行った．4.1 節にて 4 つのカテゴリでジェスチャを定めたが，手のひらのジェスチャは腕が大きく動くためジェスチャの再現性が低くなり，他のジェスチャに比べると認証精度が大きく下がってしまうことが予備実験で判明した．このため，実験で行うジェスチャは手のひらのカテゴリを除く，7 個のジェスチャとした．以下では方法と結果に分けて説明する．

6.1. 方法

5 節で述べたように，認証を行うには事前にテンプレートの登録が必要である．それぞれのテンプレート登録を行う前に，登録するジェスチャを数回練習し，おおよそ同一の動きが再現できるようになり次第テンプレート登録を行う．すべてのテンプレート登録が完了した後，7 個のジェスチャをそれぞれ 10 回ずつ行い，個人認証を行う．認証を行った際，各テンプレートとの比較で算出された類似度，本人認証の成否が得られる．

6.2. 結果

実験で得られた認証の成否の割合から、ジェスチャごとの認証精度を図 4 に示す。どのジェスチャも 90%以上の精度でユーザを正しく識別し、認証していることが分かった。カテゴリごとに見ると、指先のジェスチャは平均 90.5%，手首のジェスチャは平均 94.7%，複合のジェスチャは平均 100%となり、ジェスチャ全体の平均は 94.2%という結果になった。

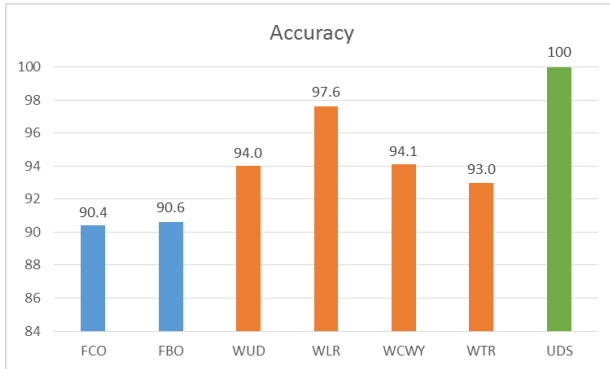


図 4 認証精度

一般に生体認証には、本人が認証を行っても類似度が閾値に満たない場合は本人でないとして判定する本人拒否率 (FRR: False Rejection Rate)と、他人が認証を行った際に類似度が閾値より高くなった場合は本人であると判定する他人受入率 (FAR: False Acceptance Rate)という指標がある。この両者はトレードオフの関係にあり、単純に一方だけを改善することは出来ない。また、FRR と FAR の分布グラフが交わる交点を等価エラー率 (EER: Equal Error Rate)と呼び、生体認証システムの精度評価に用いられる。EER の値が低いほどシステム精度は高いと言える。図 5 は FRR と FAR の分布グラフの例であり、一般に EER の部分に閾値を設けるのが最適とされている。これに基づき閾値を設定し、ジェスチャごとの認証精度と等価エラー率を表 1 に示す。等価エラー率をカテゴリごとに見ると、指先のジェスチャは平均 1.9%，手首のジェスチャは平均 2.6%，複合のジェスチャは平均 0.0%となり、ジェスチャ全体の平均は 2.0%という結果になった。

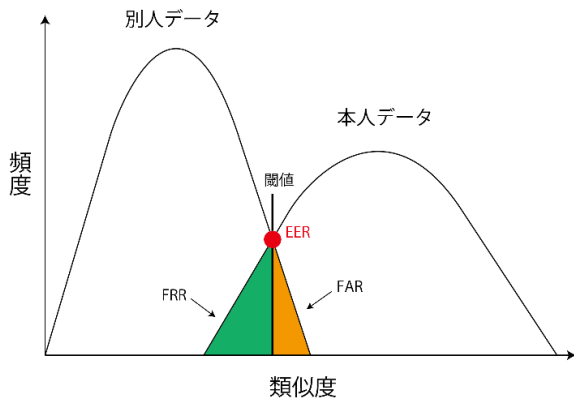


図 5 FRR と FAR の分布例

表 1 各ジェスチャの認証精度と等価エラー率

Category	Gesture	Accuracy	EER
指先	FCO	90.4	3.8
	FBO	90.6	0.0
手首	WUD	94.0	2.4
	WLR	97.6	2.9
	WCWY	94.1	2.9
	WTR	93.0	2.3
複合	UDS	100.0	0.0

7. 議論

認証精度と等価エラー率の結果から、他人同士が同じジェスチャを行った場合でも、それぞれのユーザの動きに特徴がみられ、それを正確に識別していることが分かった。特に UDS のジェスチャは、ユーザそれぞれで動きが大きく異なるため、100%という精度でユーザを認証したと考えられる。

課題としては、生体認証システムを評価するのに被験者数が十分でなかったこともあるが、等価エラー率が 0.1%未満である指紋や虹彩を用いた認証に比べるとまだまだ認証精度が低いことが挙げられる。今回は単一のジェスチャのみでの認証だったので、複数のジェスチャを順番に行うことでより認証精度を高められると考える。

8. おわりに

本研究では、デバイスに手の動きを制限されない 3 次元モーションによる非接触式生体認証の手法を提案し、4 つのカテゴリに分類したジェスチャを用いて実験を行った。その結果、すべてのジェスチャで 90%以上の認証精度が確認され、等価エラー率は 4%未満となった。今後の課題としては、指紋認証などの高精度生体認証のレベルまで精度を上げることである。

参考文献

- [1] A. Shabtai, Y. Fledel, U. Kanonov, Y. Elovici, S. Dolev and C. Glezer, "Google Android: A Comprehensive Security Assessment," *IEEE Security & Privacy*, vol. 8, no. 2, pp. 35-44, 2010.
- [2] A. K. Jain, A. Ross and S. Pankanti, "A Prototype Hand Geometry-based Verification System," *Proc. 2nd Int'l Conference on Audio- and Video-based Biometric Person Authentication (AVPBA)*, pp. 166-171, 1999.
- [3] N. Sae-Bae, K. Ahmed, K. Isbister and N. Memon, "Biometric-Rich Gestures: A Novel Approach to Authentication on Multi-touch Devices," *Proc. ACM CHI*, pp. 977-986, 2012.
- [4] D. Kim, P. Dunphy, P. Briggs, J. Hook, J. Nicholson, J. Nicholson and P. Olivier, "Multi-Touch Authentication on Tablets," *Proc. ACM CHI*, pp. 1093-1102, 2010.
- [5] 森雅博, 新崎卓, 佐々木繁, "バイオメトリクス認証技術," 雑誌 FUJITSU, vol. 54, no. 7, pp. 272-279, 2003.