

空中署名個人認証システムの認証精度向上に関する研究

2017SC002 青井万歩 2017SC068 杉本将吾

指導教員：石原靖哲

1 はじめに

IC チップ内蔵のデバイスやパスワードなどを用いる個人認証が現在世の中で広く普及している。しかし、これらの個人認証は盗聴、盗難、類推、貸し借り、紛失などの恐れがあり、その場合他人でも容易に本人を偽ることが可能である。そこで、指紋など固有性の高い人間の身体的特徴をデータ化して本人確認に用いるバイオメトリクス認証、いわゆる生体認証が注目されており、現在ではスマートフォンのロックを解除する際の「指紋認証」、目の虹彩の模様を用いて本人認証を行う「虹彩認証」などが使用されている [1]。

バイオメトリクス認証には大きく分けて二つのものが存在する。身体的特徴を用いたものと行動的特徴を用いたものである。指紋認証や虹彩認証などは身体的特徴を用いた個人認証で、個人で異なる生体特徴を用いる。また、高い認証率を持つため現在では主流のバイオメトリクス認証となっている。しかし、一度盗難されてしまうと変更がきかないという弱点を持っている。それに加え近年では、ゼラチンを使った指や印刷された虹彩で認証システムの突破に成功した例もあり問題点も少なからず存在する [6]。行動的特徴を用いた個人認証は個人が持つ癖などの動的特徴を用いるものである。例えば、声紋や署名などがある。これのメリットとしては個人の癖を模倣することは大変困難であるため偽造に強いということである。しかし、行動的特徴もこのようなメリットばかりではなく、問題点が多く存在する。例えば、パターン偽造される可能性がある。オンライン署名認証などの行動的特徴を用いた個人認証システムにおいて、ショルダーハッキングなどによりパターンが漏洩してしまう可能性がある。それに伴い偽造者が訓練をすれば認証システムを突破する可能性がある。他にも、偽造が発生した際の対応が困難であるという問題点がある。また、行動的特徴を用いた認証システムにおいて、オンライン署名では筆記パターンを変更することにより再登録をすることが可能であるが、個人の歩行パターンや瞬きなどの行動的特徴を用いる認証システムではパターン変更による再登録は困難である。

そういった中、畠中らは生体の指に注目し指識別情報を用いたフレキシブル空中署名個人認証システムに関する研究 [5] を行っている。しかし、畠中らの提案システムは筆記途中で指を 1 回は変えるという登録署名を行っており、登録署名の複雑度のレベルを変える検証を行っていない。

具体的には、畠中らが提案した登録署名の複雑度のレベルをさらにあげることで空中署名個人認証システムの認証精度を向上させることを目標とする。

2 関連研究

空中署名個人認証システムに関する研究は畠中らの研究以外にもあり、広木らによっても研究 [3] されている。署名を撮像するデバイスとして畠中らは Leap Motion、広木らはモーションプロセッサを使用しており、どちらも動作における特徴量を抽出することで個人認証を行うシステムの構築を試みている。

また、片桐らはビデオカメラを使用して空中署名による個人認証を研究 [7] している。片桐らの研究は、ビデオカメラとプッシュスイッチによって光るペンの 2 つの装置を使用して空中署名の筆跡を取得している。さらに、ビデオカメラとペンの間にガラス板を用意し、そのガラス板の上で署名を行うことでも筆跡を取得している。これは奥行き情報の有無による影響の評価を行うためのものである。この研究の結果として、ビデオカメラとペンの 2 つの装置を使って署名した場合のほうがガラス板の上で署名を行ったよりも他人排除率が高いことが分かっている。

広木ら [3] の手法では、得られた速度、移動量、署名時間などの全ての値を用いて認証を行うのではなく、得られた値の中から特に署名者の特徴が現れる値を用いて認証を行っている。同じ文字を署名者によって複数回登録し、得られた値の分散値を調べ、その値が小さい値の上位 10 位を計算する。ここでの分散値が小さいというのは得られた値のばらつきが少なく、自己再現性があるということを表している。次に、上位 10 位の値の中で、最大値と最小値を除いた領域を本人認証のための有効範囲とする。最後に、署名の値が有効範囲に含まれるか含まれないかを計算し、10 個の得られた値の中で、ある閾値以上の値において有効範囲内であれば、本人としている。また、他人排除率は閾値を大きくすると高くなり、小さくすれば本人認証率が高くなる。よって、個人認証において他人排除率と個人認証率は常に、相容れない関係であるので、それに対して利用状況に応じた動的な設定が可能である。

これら関連研究の中で片桐らや広木らは署名を行うデバイス、生体を区別してこなかった。しかし畠中らの研究では指識別情報を取得することで署名を行う生体を区別していた。また署名中に指を変える検証も行っており、ほかの 2 つの研究よりもあらゆる種類の癖を得られる研究となっている。

3 畠中らによる空中署名個人認証システム

畠中らが提案している空中署名個人認証システムは Leap Motion と Processing を使い、取得した署名の座標情報、速度情報、筆記時間、指識別情報を比較するシステムである。そして、フレキシブルに指を変えることで指識別

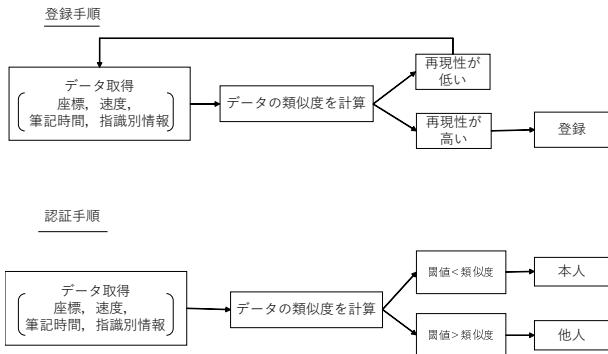


図1 当該システムにおける空中署名の登録と認証の流れ

情報を取得し、偽の署名において類似度の高い筆跡であったとしても、本人であるかそうでないかを区別することを目的としたシステムである。またこのシステムは生体的特徴の中でも行動的特徴（個人の癖）を用いる個人認証システムである。

3.1 システムの概要

図1に当該システムにおける空中署名の登録と認証の流れを示す。登録手順においては少なくとも3つの署名データを登録する。データ取得時には署名の座標、速度、筆記速度、指識別情報を取得し、3つの筆跡データの類似度を算出する。そして、類似度が高ければ登録、低ければデータを取得しなおす動作を行う。

認証手順においては、まず認証用の筆跡データを取得する。データ取得時は登録手順と同様に署名の座標、速度、筆記時間、指識別情報を取得する。そのあと3つの登録データと認証用のデータとの類似度を算出する。そして、閾値よりも類似度が大きければ本人とみなし、小さければ他人とみなす。

3.2 各情報からの特徴抽出方法

このシステムでは署名する人間の指先を距離センサである Leap Motion で確認し、 (x, y) 座標、 (x, y) 速度、筆記時間、指識別情報といった筆跡データを取得する。そして、取得した筆跡データから次の4つの特徴を正規化することで抽出する。

Leap Motion は3次元情報を取得可能だが、奥行き情報である z 軸情報は用いない。畠中らは理由として、 z 軸情報のスコアの分散がほかのスコアの分散よりも大幅に高かったためとしている。また、 z 座標列、 z 速度列の両方で本人内分散が高いという結果が得られた。これにより、 z 軸情報は個人性がないということが考えられ、このシステムでは使用されていない。

座標の特徴を抽出： 取得した各フレームの座標 (x_t, y_t)

から、式(1)を用いて大きさの正規化を行う。

$$\begin{cases} x'_t = \frac{x_t - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \\ y'_t = \frac{y_t - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} \end{cases} \quad (1)$$

なお、署名者が同じ場合の認証率低下を考慮して、取得情報の最小値は0、最大値は1になるよう正規化する。また、正規化することで得られた座標列を (x'_t, y'_t) と表す。

速度の特徴を抽出： 取得した各フレームの指先の速度座標 (v_{x_t}, v_{y_t}) から、式(2)を用いて速度の正規化を行う。

$$\begin{cases} v'_{x_t} = \frac{v_{x_t} - v_{x_{\min}}}{v_{x_{\max}} - v_{x_{\min}}} \\ v'_{y_t} = \frac{v_{y_t} - v_{y_{\min}}}{v_{y_{\max}} - v_{y_{\min}}} \end{cases} \quad (2)$$

正規化することで得られた座標列を (v'_{x_t}, v'_{y_t}) と表す。その結果得られた速度列 (v'_{x_t}, v'_{y_t}) を用いて距離計算を行う。

筆記時間の特徴を抽出： 筆記開始から終了までの時間を用いる。

指識別情報の特徴を抽出： 署名時に使う人差し指、小指を用いる。

3.3 類似度計算方法

まず、正規化によって得られた座標列と速度列を用い、DP マッチングによって距離計算を行う。DP マッチングはパターン間の距離をエネルギーとして、そのエネルギーを動的計画法により最小化したものを距離とする方法である。座標列、速度列の特徴については DP マッチングで距離を計算し、筆記時間の特徴については差の絶対値を距離とする。次に、求めた距離を式(3)によって正規化(スコア化)する。これは文献[2]で提案された方法によって行う。

$$score = \exp\left(-\frac{distance^2}{2c^2}\right) \quad (3)$$

なお、 $distance$ は DP マッチングによる距離計算で得た値であり、 c は各特徴量から得た分散である。これによって求めた x, y 座標列のスコア、 x, y 速度列のスコア、筆記時間のスコアの5つの積を求めることで類似度を計算する。

この実験では登録した3つの署名と認証用の署名の類似度を比べた時、すべての類似度が閾値 0.49 以上であった場合本人とみなしている。

3.4 畠中らの研究結果と課題

先行研究の実験によって3本の指で行った登録署名が認証可能だとわかっており、指ごとでの類似度の差に大きな差はなかったことも分かっている。そして、このシステムの有用性も実験によって確認されている。一方、指識別情報を用いたフレキシブル空中署名個人認証システムと登



図2 Leap Motion での署名の例

録署名と認証用の署名の複雑度のレベルをあげるという検証をほとんど行っていないため、それによってどれほど認証精度に影響が出るのかを調べる余地はまだ残っていると我々は考えている。実際に畠中らの研究では署名時に2文字の漢字を1文字ずつ指を変えて検証を行っているため、自分のタイミングで指を変えることで認証精度向上につながる可能性もある。よって本論文ではこの方法で検証を行う。

4 本研究で提案する精度向上のための方法

4.1 閾値の設定

本研究では畠中らの研究と同様に Leap Motion と Processing を使い、署名、データ取得を行う。図2に Leap Motion で得られた署名の例を示す。まず初めに、本研究における閾値を設定するための動作を行った。4つの署名(「人差し指から中指に移動させることで筆記した署名」、「人差し指から親指に移動させることで筆記した署名」、「中指から人差し指に移動させることで筆記した署名」、「親指から人差し指に移動させることで筆記した署名」)を登録し、認証用の筆跡データを3つ取得する。従来、登録署名は1個のみで行っていた[5]が、本人の再現性を考慮し、再現性の高い4個の署名の登録を行う手法[5]を用いる。そのあと式(1)と式(2)を用いて得られた各フレームの座標と速度座標の正規化を行う。

そして、正規化することで得られた座標列、速度列、筆記時間のそれぞれを用い、DP マッチング[4]によって距離計算を行う。次に、文献[2]で提案された手法によってスコア化を行う。DP マッチングで求めた各距離は各特徴で大きく異なる値となるため、各距離を0.0～1.0のscoreに正規化する。scoreが1.0に近いところでは、距離分布が大幅な減少であっても、scoreによる分布では、大幅な減少がなく本人の変動を吸収するため、本人拒否を低減すると考えられる。また、scoreが0.0に近いところでは、スコアが大幅に減少するので、他人受入の大幅な増加は起こりにくいと考えられる[2]。最後に式(3)を用いて正規化し、それらのscoreの積をとり類似度計算を行う。

計算の結果、以下の3種類の認証方法それぞれで他人受け入れ件数が0になった。

認証方法1: 閾値0.75かつ4つの登録署名に対して1つ

表1 類似度計算によって得られた本人認証率

閾値	1つ以上 閾値を超えた 場合	2つ以上 閾値を超えた 場合	3つ以上 閾値を超えた 場合
0.60	100.0	100.0	50.0
0.61	100.0	100.0	33.3
0.62	100.0	98.3	23.3
0.63	100.0	95.0	21.7
0.64	100.0	91.7	10.0
0.65	100.0	78.3	6.7
0.66	96.7	76.7	5.0
0.67	93.3	70.0	5.0
0.68	90.0	63.3	5.0
0.69	86.7	50.0	1.7
0.70	60.0	33.3	1.7
0.71	50.0	23.3	1.7
0.72	41.7	16.7	0.0
0.73	16.7	6.7	0.0
0.74	10.0	0.0	0.0
0.75	6.7	0.0	0.0

以上類似度が閾値を超えていた場合本人とみなす

認証方法2: 閾値0.64かつ4つの登録署名に対して2つ以上類似度が閾値を超えていた場合本人とみなす

認証方法3: 閾値0.65かつ4つの登録署名に対して3つ以上類似度が閾値を超えていた場合本人とみなす

そして、それぞれの認証方法での本人認証率は以下のようになった。

認証方法1: 6.7 %

認証方法2: 91.7 %

認証方法3: 6.7 %

そこで本研究では、本人認証率が最大となる認証方法2を採用することにした。類似度計算によって得られた本人認証率を表1に示す。

4.2 認証精度向上に向けた予備実験

我々は3種類の予備実験を行った。1つ目は、利き手で3つの登録署名、認証用の筆跡データの取得から3つの登録署名と認証用の筆跡データとの類似度計算を複数回行い、利き手以外の手でも同様のことを行った。理由は慣れない動作のほうが人間のパーソナルな情報が慣れた動作よりも大きく出ると考えたためである。なお、本研究ではLeap Motionが認識しやすい人差し指、小指を使って検証を行った。あくまで2人での検証かつ利き手が右である人間での検証ではあるが、利き手の人差し指、小指と比べてそれ以外の手の人差し指と小指のほうが登録署名に対する類似度が高く結果としてあらわれたため、利き手と比べてそれ以外の手のほうが認証精度は向上する可能性があることがわかった。しかし、利き手ではない手での署名は慣れ

表2 本人認証が成功した時の平均類似度

登録方法	平均類似度	認証回数
人差し指から中指	0.75	60
人差し指から親指	0.70	60
中指から人差し指	0.70	60
親指から人差し指	0.70	60

るのに時間がかかり、実用向きではないと考える。

2 つ目は、偽筆署名に際して、「他人の手だけを見て行う方」と「他人の手とパソコンの画面に映る署名された文字を見て行う方」で分けて検証を行った。これもあくまで 2 人での検証ではあるが、後者の方が他人に真似されやすいことが分かった。そのため、空中署名認証を行う際は署名した文字を見えないようにする必要があると考える。

3 つ目は、本人認証において自分の署名の筆跡が画面上に現れないようにした場合の検証を行った。利き手の人差し指で再現度の高い「日本」という文字の登録署名を 3 回行い、認証署名も同様の「日本」という文字を人差し指で署名した。なお、登録署名においては自分の署名の筆跡が画面上に現れるようにしている。実験の結果、平均類似度が 0.21 となり、自分の署名が画面上にあらわれる場合の平均類似度と比べて低いものとなった。この原因として、Leap Motion が隣り合う指の先を伸ばしていると誤認識してしまうことにあると私たちは考えている。このことからこの検証では平均類似度が低い結果となった。

4.3 被験者を使った認証精度向上に向けた実験

ここでは、「日本」という 2 文字の漢字を署名する人間が自分のタイミングで指を変えて署名を行った場合、認証精度にどれほど影響が出てくるのかの検証を被験者 20 人を使って行った。実験の結果、本人認証において「人差し指から中指に移動させることで筆記した署名」、「人差し指から親指に移動させることで筆記した署名」、「中指から人差し指に移動させることで筆記した署名」、「親指から人差し指に移動させることで筆記した署名」の 4 つすべてが、登録署名で認証可能であることが分かった。本人認証が成功した時の平均類似度を表 2 に示す。この 4 種類の署名において指ごとの違いはほとんどなく、どの指を使用して署名をしても本人とみなす時の条件を満たしていれば、認証可能であることが表から確かめられた。実験の結果から、複雑度のレベルを高くすることで先行研究の閾値である 0.49 に対して我々は 0.64 まで高くすることができ、本人認証率は高く維持することができた。さらに、他人認証率を 0 にすることが出来た。

5 まとめ

5.1 本研究の成果

利き手の人差し指、小指とそれ以外の手の人差し指、小指を使って行った認証精度向上に向けた検証では利き手と比べて利き手ではない方の人差し指と小指の方が類似度が高く出たため、結果として利き手以外の人差し指、小指の

署名のほうが認証精度は向上する可能性があることがわかった。偽筆署名の際、「他人の手だけを見て行う方」と「他人の手とパソコンの画面に映る署名された文字を見て行う方」で分けて行った検証では後者の方が他人に真似されやすいことが分かったため、空中署名認証を行う際は署名した文字を見えないようにする必要があるということもわかった。被験者を使った認証精度向上に向けた実験の結果から、複雑度のレベルを高くすることで先行研究の閾値である 0.49 に対して我々は 0.64 まで高くすることができ、本人認証率は高く維持することができた。さらに、他人認証率を 0 にすることが出来た。

5.2 今後の課題

今回 Leap Motion で薬指を使うと他の指が反応してしまい筆跡データをとることが大変困難であったため、その指を使うことは断念した。しかし、他の装置を使えばこの指の筆跡データをとることが可能になり、認証精度向上に影響することも考えられる。隣り合う指を誤認識してしまう課題が解決されれば自分の筆跡が現れないとしても認証が可能になり、セキュリティ面でも強固なものになることが考えられる。そのほかに、今回実験を行ってもらった被験者の人数はコロナの関係で 20 人であったが、100 人等のより人数の多い規模になれば今回設定した閾値は 0.64 かつ 4 つの登録署名に対して 2 つ以上類似度が閾値を超えていた場合を本人とみなす認証がうまくいかない場合もあるためその対処法を探ることが課題として残っている。

参考文献

- [1] 宇根正志, 松本勉. 生体認証における脆弱性について: 身体的特徴の偽造に関する脆弱性を中心に. 金融研究, Vol. 24, No. 2, pp. 35–83, 2005.
- [2] 佐藤公則, 中島章博, 鹿嶋雅之, 渡邊睦. 手形状と指先署名によるマルチモーダル個人認証システムの開発. 画像電子学会誌, Vol. 41, No. 4, pp. 371–376, 2012.
- [3] 広木誠, 近間正樹, 木戸出正継. 空中署名動作の特徴抽出による個人認証システムの試作. 情報処理学会第 65 回全国大会, 第 40 巻, pp. 1072–1103, 1999.
- [4] 内田誠一. DP マッチング概説: 基本と様々な拡張. 信学技報, PRMU2006-166, pp. 31–36, 2006.
- [5] 畠中一成, 鹿嶋雅之, 佐藤公則, 渡邊睦. 指識別情報を用いたフレキシブル空中認証個人認証システムに関する研究. 映像メディア情報学会誌, Vol. 70, No. 6, pp. J125–J132, 2016.
- [6] 平林昌史, 田辺壮宏, 松元勉. 指紋照合装置は人工指を受け入れるのか (その 6). 信学技報, ISEC2004-103, pp. 151–154, 2003.
- [7] 片桐雅二, 杉村利明. ビデオカメラを用いた空中署名による個人認証の試み. 信学技報, PRMU2001-34, pp. 9–16, 2001.