

ハンドジェスチャによる認証技術と模倣ジェスチャへの対策

A Hand Gesture-Based Authentication Technique with a Countermeasure against Imitation Gestures

照井 秀明

Hideaki Terui

法政大学情報科学部デジタルメディア学科

E-mail: hideaki.terui.5y@stu.hosei.ac.jp

Abstract

Passwords are often used in authentication as a security measure. While passwords can be easily created, they have the disadvantage that they can be easily remembered. For this reason, static biometric methods such as fingerprint, face, vein, and iris authentication have recently become popular. Although these methods are highly accurate, they still have some problems such as poor authentication due to dirt and hygiene problems caused by direct contact with the recognition device. As a solution to these problems, this research deals with hand gesture-based authentication technology. We propose to combine multiple hand gestures in the air and to mix dummy gestures to tackle imitation. While hand gestures can be used as dynamic biometric information, they have the disadvantage that they require larger movements than other authentication methods and are easily seen by others. Therefore, we propose a method to increase the number of gestures by adding dummy gestures during authentication. In the experiment, we examined whether participants who used our system for the first time could mix dummy gestures and whether the dummy gestures worked as a countermeasure against imitation. As a result, we found that it was not difficult to authenticate with dummy gestures. We also found that adding an average of 1.75 dummy gestures to the four types of authentication gestures made it difficult to remember the gestures.

1. はじめに

セキュリティ対策の一環として、認証技術で現在よく使われているのはパスワード方式である。英数字の組み合わせで簡単に作成できる一方で、ユーザーが覚えやすいパスワードを設定し特定されやすい欠点がある。そこで最近是指紋や顔、静脈、虹彩といった静的な生体認証が普及してきた。これらの方式は精度が高い一方で、接触式の認証では汚れによる認証不良や、認識デバイスを直接触ることで衛生面の問題などが残っている。

これらの問題の解決策として本研究ではハンドジェスチャを用いた認証技術を扱う。手法としては空中で複数のハンドジェスチャを組み合わせることで認証を行い、模倣へ

の対策としてダミージェスチャを交えることを提案する。ハンドジェスチャは動的な生体情報として扱える一方で、他の認証に比べて動作が大きく、他者に見られやすいという欠点がある。そこで、ダミーとなるジェスチャを認証中に交えることでジェスチャ総数を増やし、模倣しようとする者が覚えにくくなるようにする。認証に必要なジェスチャは4種類とし、ダミージェスチャはこれらに加えていく。実験では、本システムを初めて使用するユーザーがダミージェスチャを交えられるか、ダミージェスチャが模倣への対策になっているかなどを検証した。実験後のアンケートの結果、ダミージェスチャを交えて認証を行うことは難しくないことが分かった。また、4種類の認証用ジェスチャに平均1.75個のダミージェスチャを加えることで覚えにくく、模倣への対策となっていることが分かった。

2. 関連研究

Imura ら [1]は、ハンドジェスチャを認証に用いて、指先・手首・複合の3タイプに分類できる7種類のジェスチャを提案した。ジェスチャの認証方法は、登録時のテンプレートジェスチャと認証時のデータをユークリッド距離により比較している。認証結果は7種類すべてのジェスチャが90%以上の精度でユーザーを識別し、認証することが分かった。Wang ら [2]は同様にハンドジェスチャを認証に用いる一方で、認証に機械学習を用いた手法を実現した。少ない学習回数で認証できるように、データ増強技術を用いることでデータ不足を解消している。さらにシステム利用中も学習を行い続けることでユーザーの負担軽減につなげている。そのためシステム利用直後は本人拒否率が3.58%、他人受入率が1.68%であったが、20回システムを利用後は本人拒否率が1.05%、他人受入率が0.69%と大幅に減少することに成功した。いずれの研究でも登録して認証を行うのは単一のジェスチャに対してである。

3. 準備

3.1. Leap Motion Controller

本研究ではハンドジェスチャを認識するためのセンサーとして Leap Motion Controller を使用した。これは2基の赤外線カメラと赤外線照射 LED によって構成されている。赤外線 LED によって照らされた手を赤外線カメラで

撮影することで、画像解析によって 3 次元空間での手の位置情報を割り出す。トラッキング速度はバランスモードで 120fps、トラッキング精度は 1/100mm で、画像はフレームごとに取得している。

3.2. 指文字

本研究では登録に使用するハンドジェスチャに関して指文字を採用した。初めてハンドジェスチャによる認証を行うユーザーでも、簡単にジェスチャを考えられるように指文字を使用している。指文字（図 1）とは手話において、手の形を文字言語に対応させた視覚言語である。5 本の指を曲げたり伸ばしたり、表裏を入れ替えたりしてジェスチャを作成する。指文字は国によって異なっていて、本研究で使用するものは日本語の指文字である。指文字には五十音、アルファベット、数字が用意されている。本研究では片手でジェスチャを作成し、もう片方の手でキー操作を行うため、片手のみでジェスチャを作成できる五十音を採用した。

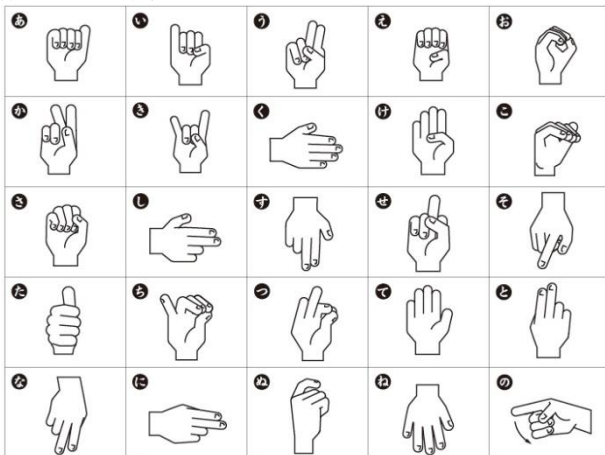


図 1. 日本語における指文字（一部） [3]

3.3. 動的時間伸縮法

本研究では Imura ら [1]が使用したユークリッド距離によるデータの比較を実装したが、Leap Motion Controller で取得した同時刻のフレームごとの比較ではなく、動的時間伸縮法 [4]を使用したフレームの比較を行っている。動的時間伸縮法とは、2 つの時系列の各点の距離を総当たりで求めて、2 つの時系列が最短となる点同士を比較対象とする。誤差となる距離の求め方はユークリッド距離以外にも、マンハッタン距離なども使える。

ユーザーが行うジェスチャは必ずしも一定ではないため、各指が同じ軌跡を描いていたとしても、ジェスチャを行うスピードが異なってしまう。そのため、図 2(a)のように同時刻のフレーム同士を単純に比較する通常のユークリッド距離の計算方法では、動きの大きい部分は誤差が出やすくなってしまいます。本研究では図 2(b)のように対応するフレームを動的に変更したデータ同士でユークリッド距離を計算することで誤差を小さくするようにした。実装部分では Salvador [4]らが作成したプログラムを使用している。

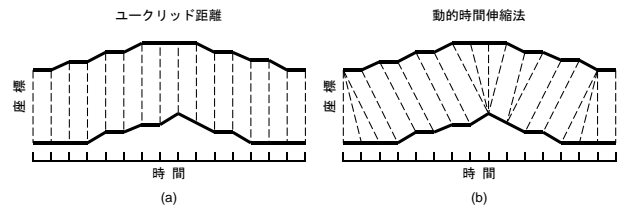


図 2. 動的時間伸縮法によるデータの対応例

4. 提案手法

本研究ではダミージェスチャを交えたハンドジェスチャによる認証を提案する。具体的には、登録するジェスチャを五十音の指文字の中から選択した 4 種類とし、認証時にさらにダミージェスチャを複数種類加えることでジェスチャ総数を増やして模倣対策とする。関連研究で 1 つのジェスチャに対して認証を行うことが可能と分かっているため、複数のジェスチャを認証に用いることで安全性やユーザーの安心感を得られるようにする。また、ハンドジェスチャは他の認証方式と異なり、手の動きが大きいため、他者に見られやすい欠点がある。人間の短期記憶は 7 ± 2 チャンクと言われている [5]ため、ジェスチャ数を増やすことで覚えにくくし、模倣が難しくなるようにする。しかし、登録するジェスチャの数自体を増やしすぎるとユーザーへ負担がかかる。そこで認証には関係のないダミージェスチャを認証時に適当に交えることで全体のジェスチャ数を増やし、どれが認証に必要なジェスチャであるかを分かりにくくする。

4.1. 認証用ジェスチャ

ダミージェスチャは本人以外が見た時、どれが認証に用いているジェスチャなのか分からないようにすることが重要である。図 1 から分かるように指文字では、文字ごとに 5 本の指のうち曲がっている指と伸びている指がある。また、手のひらも表と裏を使用したジェスチャとなっている。本研究では指文字のこれらの特徴を活かして、認証用ジェスチャとダミージェスチャを区別できるようにする。具体的に、ユーザーはジェスチャ登録時に、認証用ジェスチャが満たすべき手の条件をあらかじめ 1 つ設定する。本研究で用意した認証される手の条件は、(1)手のひらが下を向いているか、(2)上を向いているか、(3)親指が伸びているか、(4)曲がっているか、(5)人差し指が伸びているか、(6)曲がっているか、(7)中指が伸びているか、(8)曲がっているか、(9)薬指が伸びているか、(10)曲がっているか、(11)小指が伸びているか、(12)曲がっているかの 12 種類である。

4.2. ダミージェスチャ

ダミージェスチャはユーザーが設定した条件に満たないジェスチャを行うことで作成できる。認証時にその場で考えてもらうため、必ずしも五十音の指文字の中から選んで作成する必要はない。ダミージェスチャの判別では、例えば親指が曲がっている状態を認証する手の条件と決めておけば、親指が伸びている状態の指文字はすべてダミージェスチャとして認識されて、認証されないよ

うになる。親指以外が曲がったり、伸びたりするジェスチャをダミーとして交えることで、本人以外は 12 種類の条件を設定しているのかわかりにくい状態で多くのジェスチャを行うことができる。

認証の際、認証用ジェスチャは順番を変えずに行うが、ダミージェスチャはどこに追加しても良い。登録するジェスチャ 4 種類を順に g_1, g_2, g_3, g_4 とし、ダミージェスチャを d_1, d_2, \dots, d_n とすると、7 つのジェスチャからなる正当なジェスチャの列として次が考えられる。

$$P_1 = (g_1, d_1, g_2, g_3, d_2, d_3, g_4)$$

$$P_2 = (d_1, g_1, g_2, d_2, g_3, g_4, d_3)$$

一方、例えば以下は、認証用ジェスチャの順番が変わっているため、不正なジェスチャの列となる。

$$P_3 = (g_1, d_1, g_3, g_2, d_2, d_3, g_4)$$

5. 実装

3次元モーションセンサーは Leap Motion Controller, ライブラリは Leap Motion SDK, 言語は Java, 開発環境は Eclipse を用いて実装した。なお、プログラムの総行数は約 1100 行である。

5.1. テンプレート作成

認証を行う上で最初にジェスチャのテンプレート登録を行う。ユーザーは 4.1 節の 12 種類の手の条件のうちから、認証用ジェスチャが満たすべき条件を 1 つ選択する。予備実験の段階で、ユーザーは 4 種類のジェスチャを登録するのが最適との意見が多かったため、上記で決めた 12 種類の条件のうち、選択した状態に合うジェスチャを指文字の中から 4 種類選ぶ。取得するデータは Imura ら [1] と同様、Leap Motion Controller のフレームごとに

$$\begin{aligned} & (\text{各部の } x, y, z \text{ 座標}) \times (\text{指先} + 4 \text{ 関節}) \times (5 \text{ 本指}) \\ & = 75 \text{ 次元ベクトル} \end{aligned}$$

を用いる。登録するジェスチャをそれぞれ 5 回行い、テンプレートは 5 回のデータの各フレーム時刻での平均を計算して登録する。認証に用いる閾値の計算方法に関しては Imura らの手法を採用した。

Imura らの手法と異なり、取得する手の位置情報に関して、取得した座標をそのまま使用するのではなく、正規化された 3 次元座標を使用している。これは図 3 のように手のモデルを画面に表示させやすくするためである。取得するデータは Imura らが使用した上記のデータ以外にも 5 本の指それぞれが伸びているか、曲がっているかの情報、ピッチ、ロール、ヨーなどの値を追加で取得している。これらの情報はダミージェスチャを判別するときに使用するデータである。

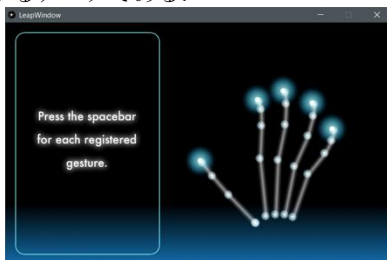


図 3. テンプレート作成時の画面

5.2. 認証

5.2.1. ダミージェスチャの判別計算

5.1 節で登録した 4 種類のジェスチャに加えて、認証はダミージェスチャを交えながら行う。プログラムでは行ったジェスチャごとに手の表裏、各指の曲げ伸び状態をフレームごとに記録している。手の表裏の判別は取得したデータ内のロール値を使い、一定範囲内なら手のひらが下、それ以外なら上を向いていると判断する。各指の折り曲げについては、各フレームでの指の曲げ伸びを Leap Motion Controller で取得し、ジェスチャを行っている時間全体で 30% 以上曲がっている状態であれば指が曲がるジェスチャであると判断するようにしている。

5.2.2. 取得データの比較

5.2.1 節でダミーでないかと判断されたジェスチャについては、対応するテンプレートと比較を行って本人のジェスチャであるかを計算で比較する。動的時間伸縮法を用いることで多少はジェスチャを行うスピードの差に考慮できるようになったが、Imura らが提案したデータの補間も本研究では行っている。また、ジェスチャを行う位置は完全に再現できないため、認証時に取得したデータは、テンプレートの初期位置に並行移動してから計算を行うことで多少の位置ずれによる誤差を解消している。データの比較は動的時間伸縮法を使用して、対応付けされたフレームごとにユークリッド距離を計算する。そのユークリッド距離の合計和がテンプレートの閾値よりも小さい場合に認証するようにしている。

6. 実験

提案する 12 種類の条件を判別できるか調べるために男性 12 人 (平均年齢 22.0 歳) に対して実験を行った。ハンドジェスチャによる認証が初めてのユーザーでも十分操作できるか、ダミージェスチャを交えることで模倣対策になるかを調べた。

6.1. 実験方法

実験では被験者ごとに 12 種類の条件のうちから 1 つを選択してもらって、その条件で実験を行った。ジェスチャを行う手の動きによって個人を識別するため、図 3 のように手を開いた状態で開始終了をするようにしてもらった。実験内容は、指文字から選択した 4 種類のジェスチャを 5 回ずつ実行してテンプレートを作成。その後、ダミージェスチャなしで 5 セットずつ認証を行い、さらにダミージェスチャを 2~6 種類追加して操作できるかを実行してもらった。追加するダミージェスチャに関しては、被験者がその場ですぐに考えるように指示した。また、他人が操作している動画を見てもらい、何種類ダミージェスチャが混じると覚えることができなにかを調べた。実験後には、アンケートを行い、以下の項目で 1 (とても難しかった) から 5 (とても簡単だった) までの 5 段階で評価してもらった。

1. ハンドジェスチャによる認証は難しかったか。
2. ダミージェスチャを交えた認証は難しかったか。
3. ダミージェスチャを自身で考えて追加することは難しかったか。

また、上記評価とは別に、被験者には以下の質問で該当するジェスチャ数についてのアンケートも行った。

4. 何種類のダミージェスチャを加えることがちょうど良いと思うか。
5. 他の人が操作する動画を見て、何種類のダミージェスチャが追加されると覚えることができないか。

6.2. 実験結果

アンケートの結果を表 1 に示す。初めてハンドジェスチャによる認証を行ったユーザーも難なく操作することができたことが質問 1 の結果から分かる。ダミージェスチャを自身で考えて追加することもユーザーはそこまで負担でなかったことも質問 3 から読み取れる。追加したいダミージェスチャの数は 2.92 個であったのに対し、覚えられるダミージェスチャ数は 1.75 個であった。

各被験者のジェスチャごとの認証率は表 2 のようになった。認証率は被験者ごとにバラつきがあり、被験者 2 のように著しく低い場合もあれば、被験者 5 のように比較的良い結果になった場合もある。また、12 人の被験者のダミージェスチャの試行回数合計 240 回のうちダミージェスチャを認証するエラーは計 9 回であったため、エラー率は 0.0375% となった。

表 1. アンケート結果

質問番号	平均	分散
1	2.67	1.56
2	2.92	1.74
3	3.25	1.35
4	2.92	0.24
5	1.75	0.69

表 2. 各被験者のジェスチャごとの認証率

被験者	g_1 (%)	g_2 (%)	g_3 (%)	g_4 (%)	平均(%)
1	40	60	70	70	60.0
2	0	0	10	20	7.5
3	0	90	70	20	45.0
4	30	30	10	60	32.5
5	90	80	70	30	67.5
6	40	40	60	0	35.0
7	30	30	100	0	40.0
8	100	80	60	20	65.0
9	30	10	40	0	20.0
10	20	10	30	90	37.5
11	0	0	70	90	40.0
12	20	80	30	20	37.5

7. 議論

アンケートの質問 3 の結果から被験者はダミージェスチャをその場で考えて追加することはそこまで難しいと感じていないことが分かった。これは、認証されるべき条件が 1 つ決まっただけで、ダミージェスチャはそうでないものを実行するという単純さによるものと考えられる。

質問 5 から、ダミージェスチャは 1.75 個追加するだけで覚えにくくなることが分かる。つまりこれは、認証に

用いる 4 種類のジェスチャを加えて合計で 5.75 個のジェスチャで模倣しにくくなるということである。一般的に人間の短期記憶は 7 ± 2 チャンクと言われているため、ジェスチャにおいてもその範囲内に収まっていることが分かった。質問 4 からは 2.92 個のダミージェスチャを追加することがユーザーは適していると考えているため、合計で 6.92 個のジェスチャを行えば十分に覚えにくく、模倣の対策になっていることが言える。

表 2 から各ジェスチャの認証率は関連研究の認証率と比べても著しく低下していることが分かる。被験者ごとに異なるジェスチャを行ったため単純比較をすることは難しいが、ジェスチャごとに見ても 90% 以上の認証率が出たのは少ない結果となった。原因としては単一ジェスチャと比べて、複数のジェスチャを行うことでユーザーの集中力が散漫になり、1 回 1 回のジェスチャの再現が低下したと考えられる。各ジェスチャの実行時間の分散を確認すると登録時よりも認証時の分散は大きく、実行している時間に大きなバラつきがあることが分かった。

8. おわりに

本研究ではダミージェスチャを交えたハンドジェスチャによる認証を提案した。ハンドジェスチャの認証という点では認証率が低い結果となったが、ダミージェスチャを 1.75 個交えることで模倣への対策となることが分かった。また、ダミージェスチャを誤判定するエラー率は 0.0375% と低い値を取ったため、ダミージェスチャの判別は十分に行うことができた。

今後の課題としては、複数のジェスチャを扱うことで、1 回ミスをする途中でのやり直しが効かないために、始めから再び行うことへの不満が被験者からあったため、やり直し機能をつけることなどを検討する。認証率に関しては、Wang ら手法を用いることでどれくらい変化があるか調べてみるなどがあげられる。

文 献

- [1] I. Satoru and H. Hosobe, "A Hand Gesture-Based Method for Biometric Authentication," *Proceedings of the 20th International Conference on Human-Computer Interaction, LNCS*, vol. 10901, pp. 554-566, 2018.
- [2] X. Wang and J. Tanaka, "GesID: 3D Gesture Authentication Based on Depth Camera and One-Class Classification," *Sensors*, vol. 18, no. 3265, pp. 1-23, 2018.
- [3] Wikipedia, "指文字," 12 1 2020. [Online]. Available: <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%8C%87%E6%96%87%E5%AD%97>.
- [4] S. Salvador and P. Chan, "Toward Accurate Dynamic Time Warping in Linear Time and Space," *Intelligent Data Analysis*, vol. 11, no. 5, pp. 561-580, 2007.
- [5] M. A. George, "The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information," *Psychological Review*, vol. 63, no. 2, pp. 81-97, 1956.