

筆跡時系列の 3 次元回転位置合わせによる空中署名認証

Aerial signature authentication using time-sequential iterative closest point matching

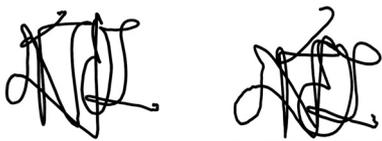
近江 亮祐†

中井 満†

Ryosuke Omi Mitsuru Nakai

1. はじめに

近年、バイオメトリクスを用いた認証が注目されており、署名認証はその一つである。紙面、電子タブレットへの署名は他人から筆跡が見られてしまい、真似しやすい。そこで本研究では、空中署名認証に注目した [1][2]。空中署名は他人から筆跡が見られない利点がある。しかし、視覚的フィードバックのない空中署名では位置関係が崩れて文字や画が重なるという問題や、入力デバイスに対して文字の向きが変わりやすいという問題がある(図 1)。前者の問題については、文献 [3] で検討した。本発表では後者の問題である署名の回転角のずれを補正するための、筆跡を点群とした回転位置合わせについて報告する。



R: 登録筆跡 X: 入力筆跡
図 1: 空中署名 (近江 x-y 平面)

2. 空中署名の収集

指先を追跡するために手の 3 次元骨格情報を取得できる Leap Motion を使った。指先以外の情報も取得できるが、空中署名を Leap Motion に限定しないよう、この研究では指先以外の情報は用いないことにする。署名取得時は最初の 1 秒間、指が静止状態であるとデータ取得が開始される。そして、次の 1 秒間、指が静止状態になるとデータ取得を終える。図 2 にデータ取得の様子を示す。被験者は 14 人で真筆を 3 日間に分けて 1 人 13 個取得した。偽筆は本人を除いた 13 人が 1 回ずつ書き、1 人に対して合計 13 個の偽筆を集めた。偽筆を集める際は空中署名の真筆、筆記時のビデオ、紙面への署名の全てを見て真似てもらった。

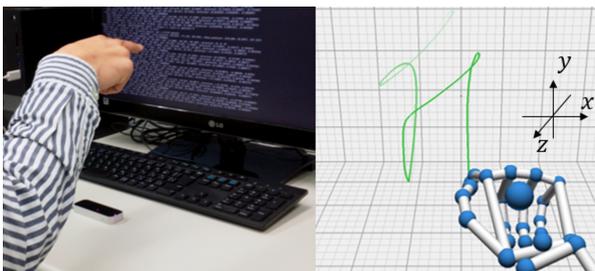


図 2: データ取得の様子

3. 3 次元筆跡の位置合わせ

3.1 位置合わせの方法

筆跡を 3 次元空間の点群とみなして ICP (Iterative Closest Point) アルゴリズムを用いて位置合わせをする [4]。ICP アルゴリズムはパターン間の点の対応を取り、特異値分解 (SVD) で回転行列と平行移動成分からなる変換行列を求める。これを繰り返すことで、回転合わせをする。ICP では、最近傍点で点の対応をとるため、回転ずれ角が大きすぎると正しくない点と対応してしまう。そこで、点の対応に時系列情報も用いることで、対応付けを拘束する。以下に、登録パターンを $R = r_1 r_2 \dots r_I$ 、入力パターンを $X = x_1 x_2 \dots x_J$ としたときの時系列対応 ICP の手順を示す。

1. 動的時間軸伸縮 (DTW) によって R と X のワーピング関数 $\phi_r(t) = 1 \sim I$ $\phi_x(t) = 1 \sim J$ を求める。
2. $\tilde{R} = r_{\phi_r(1)} r_{\phi_r(2)} \dots r_{\phi_r(T)}$ $\tilde{X} = x_{\phi_x(1)} x_{\phi_x(2)} \dots x_{\phi_x(T)}$ に伸長する。
3. $\tilde{R} = M \tilde{X}$ とおき、変換行列 M を SVD で解く。
4. $X' = M X$ によって入力パターンを変換する。
5. X を X' とおき、1 から 4 を繰り返す。

時間軸伸縮によって対応点を求めるので、空間的に遠い点と対応づけられることもある。2 節の方法による空中署名では、書き始めと書き終わりで指を静止するので、 R と X における開始点と終了点是对応するという条件を加える。したがって、回転ずれ角が大きくても、1 回目の対応付けで大きな回転が行われ、2 回目以降は微修正となる。図 4 は繰り返しによってパターン間の平均距離が減少していく様子である。およそ 3 回程度で平均距離が収束していることがわかる。時系列を考慮した場合と考慮しない場合の位置合わせの結果を図 3 に示す。この図では X を図 1 の R に合わせている。 X' は変換後のパターンである。このように署名が大きく回転している場合であっても、時系列対応 ICP では正しい向きに直すことが可能である。



回転前 (X) 時系列非対応 (X') 時系列対応 (X')

図 3: 回転合わせの結果 (x-y 平面)

†富山県立大学, Toyama Prefectural University

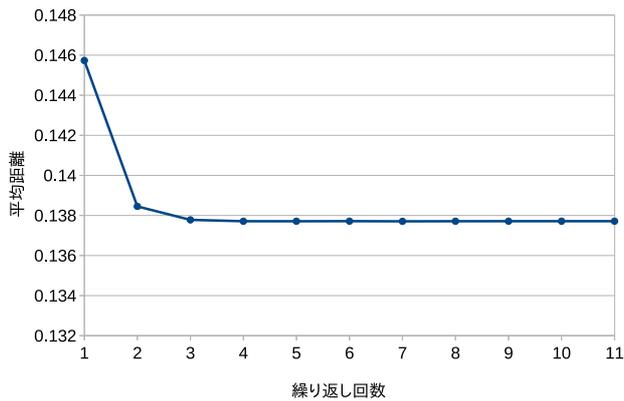


図 4: 繰り返し回数とパターン間距離の一例

3.2 角度条件

時系列非対応 ICP は回転角度が何度から正しい変換ができなくなるのか、さらに、時系列対応 ICP は回転角度をどのくらい大きくしても正しい変換ができるのかを調査した。調査については、ある署名データを 10° ずつ回転させ、回転合わせによって元の状態に戻るのか確認した。署名取得時に Leap Motion の回転や筆記面の差によって署名が回転することを想定し、最も回転が起こり得る回転軸は y 軸であると判断し、 y 軸を 10° ずつ回転させた。その結果について図 5 に示す。この図から時系列非対応の ICP では、回転角度が 50° までは距離が小さいが、それ以降は角度が大きくなると距離も大きくなっている事が分かる。一方、時系列対応 ICP では角度がどれだけ大きくても正しい回転合わせを行う事が可能であった。

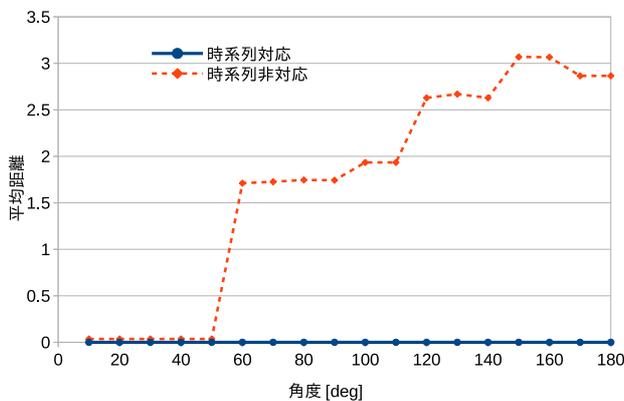


図 5: 回転角度と距離

4. 空中署名認証実験

登録筆跡 R と位置合わせをした入力筆跡 X' の距離を DTW によって求め、閾値以下の場合に本人であると認証する。比較するのは時系列非対応 ICP を用いた場合、時系列対応 ICP (繰り返し回数: 3) を用いた場合の 2 つである。本人間のパターン間距離は、1 人に対して真筆 13 個の中から 1 つ登録パターンを選び、残りの 12 個を認証パターンとして距離計算を行った。ただし、登録パターンを順に変更し、本人による認証を合計 $14(人) \times 13(個) \times 12(個)$ 通り試行した。また、他人に

よる成りすましも同様に登録パターンを決め、偽筆 13 個を認証パターンとし、合計 $14(人) \times 13(個) \times 13(個)$ 通り試行した。本人と認証する閾値を変更していき、本人拒否率および他人受入率を求めた。図 6 は縦軸に本人拒否率、横軸に他人受入率とした各回転合わせにおける ROC 曲線である。認証精度の評価として、本人拒否率と他人受入率が等しくなる等誤り率 (EER) を用いた。時系列非対応の場合は EER36% であったのに対して、時系列対応の場合は EER29% であった。時系列を考慮した回転合わせの方が認証結果は良くなる事が分かった。しかし、空中署名認証の精度として、EER30% は悪い結果となった。認証精度が良くなかったのは、筆記者の意図しない字形の崩れによって回転が正しくできなかった事が考えられる [3]。時系列非対応の回転合わせについても筆跡の崩れで正しい対応点を取れず、認証精度が良くなかったのではないかと考えられる。

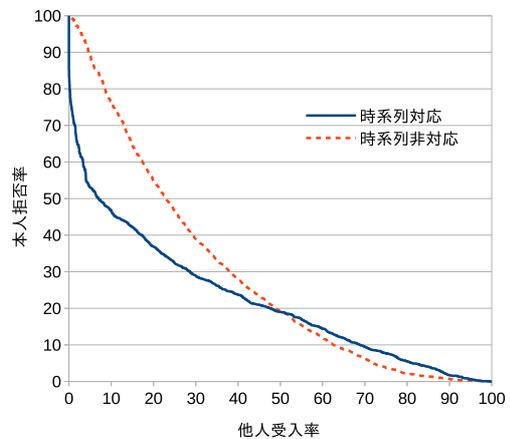


図 6: 各回転合わせにおける ROC 曲線

5. まとめ

空中署名認証における回転合わせについて ICP と時系列対応 ICP の比較を行った。認証精度は時系列対応 ICP を使用した方が良かったが、EER29% と良い結果にはならなかった。原因として字形の崩れが考えられる。筆跡の崩れによって回転合わせがうまくできず、認証精度が低かったのではないかと考えられる。署名の画数が多いほど筆記面がずれやすく、回転合わせが必要になると考えられるが、筆跡の崩れも生じやすいため、筆跡の崩れについて対策が必要である。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 17K00275 の助成を受けて行った。

参考文献

- [1] 畠中一成 他, “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,” 映像情報メディア学会誌 Vol.70, No.6, 2016.
- [2] 山田太一, 平川豊, “個別閾値を用いたオンライン署名認証システム,” 第 8 回情報科学技術フォーラム, 2009.
- [3] 近江亮祐, 中井満, “空中署名認証における筆跡崩れに頑健な特徴量の検討,” 第 16 回情報科学技術フォーラム, 2017.
- [4] 増田健, “ICP アルゴリズム,” 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア Vol. 2009-CVIM-168, No.23, 2009.