

筆記者識別のためのペンの持ち方特徴量の評価

Evaluation of pen holding feature for writer identification

田中 緑†

中井 満†

Midori Tanaka Mitsuru Nakai

1. はじめに

個人の癖などの行動的特徴を用いた認証方法にオンライン署名認証がある。この手法では、筆跡以外にも筆点の移動速度や筆圧などの情報を利用できる [1]。これらに加わる新たな情報として署名時のペンの持ち方があり、手の輪郭などの図形的な特徴が提案されている [2]。これに対し、本研究では手の骨格形状より個人（筆記者）識別に有効な特徴を調査した。

2. ペン把持情報による筆記者識別原理

2.1 特徴抽出

図 1 に示す流れで筆記者の識別を行う。まず、カメラを用いてペンを持つ手の動画を撮影し、手骨のモデルのフィッティングにより、手・指の骨格情報を取得する。動画のフレームごとに骨格データから特徴量を抽出し、時系列特徴量を得る。センサ（カメラ）と手の距離・手の向き・中心からのずれ等により同じ手形状でも差が生じる。そこで前処理として平行移動、回転、拡大縮小による補正を施す。まず、手のひらの中心を原点ととり、位置ずれの問題を解消する。次に手の姿勢の pitch 角と roll 角の情報を用いて手のひらが水平になるように回転し、yaw 角の情報を用いて向きを基準に合わせる。最後に 5 本の指の平均長を基準として、手の大きさを正規化する。特徴量には、以下の 3 つを用いる。

- (1) 指先・指関節の位置特徴量（72 次元）
骨格情報から得た指先 5 箇所と指関節 19 箇所の 3 次元位置情報を特徴量とする。
- (2) 指関節の角度特徴量（14 次元）
関節を成す 2 つの骨の方向ベクトルから算出する。親指は 2 つの関節、その他の指は 3 つの関節の計 14 箇所の角度を使用する。この特徴量を使用する場合は前述の前

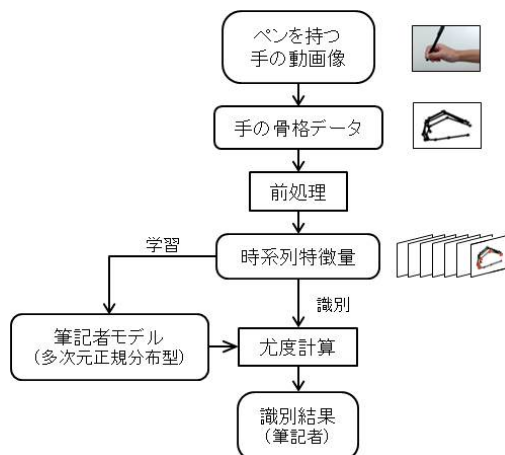


図 1: 筆記者識別の流れ

処理（平行移動、回転、拡大縮小）は不要である。

- (3) 指先・指関節間の距離特徴量（276 次元）
位置特徴量として用いる指先・指関節 24 箇所の任意の 2 点間の距離、計 276 通りを使用する。この特徴量では前処理のうち、平行移動と回転は不要である。これらの特徴量を組み合わせて識別の特徴量とする。

2.2 識別器

識別器には単純ベイズ法を用いる。抽出した時系列特徴量を $O = o_1 o_2 \dots o_T$ とする。ここで、 T はフレーム数である。また、 t フレーム目の特徴量を $\vec{o}_t = (q_{1t}, q_{2t}, \dots, q_{Dt})$ とする。 D は次元数であり、選択した特徴量によって異なる。筆記者 k を登録するときは、特徴量の各次元 d の平均 μ_{kd} と分散 σ_{kd}^2 を学習する。識別するときは、 t フレーム目 d 次元目の特徴 q_{dt} が筆記者 k のものである尤度を $P(q_{dt}|\mu_{kd}, \sigma_{kd})$ とし、これを正規分布関数で与える。筆記者 k の尤度 $L(k)$ は、

$$L(k) = \sum_{t=1}^T \sum_{d=1}^D \log P(q_{dt}|\mu_{kd}, \sigma_{kd})$$

で表され、これが最大となる登録者を識別結果として出力する。

3. ペンの持ち方データ

3.1 データ収集

本研究では、手指の情報を得る装置として Leap Motion Controller を用いる。このデバイスは、赤外線ステレオカメラ画像に手骨モデルをあてはめることで手の骨格情報を得る。モデルのあてはめは拡大・縮小によるので、骨の長さの比は筆記者によらず一定となり、生体的特徴（指の長さなど）の差は得られない。また、これによる関節の位置ずれが生じるが、今回はこれを無視する。

20 人の被験者にデバイス上でペンを把持してもらい（図 2 上）、静止時の手のデータを取得した。この時、Leap Motion の Visualizer（図 2 下）を用いて手の形状データが正しく取れていることを確認しながらデータを保存した。今回、手の情報は約 100 fps で取得した。3 秒間（約 300 フレーム）のデータ取得を 1 セットとし、1 人 20 セット収集した。

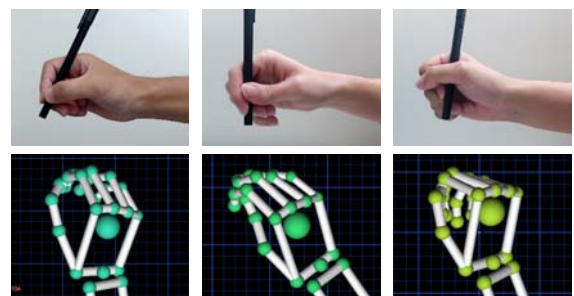


図 2: データ取得時の手とそのときの Visualizer 画面

† 富山県立大学, Toyama Prefectural University.

3.2 収集データの解析

収集した 20 人の位置特徴量 (72 次元) に対して主成分分析を行い、分布を確認した。第 1 主成分および第 2 主成分における主成分得点の分布を図 3 に示す。図 3 より、左側には指先でペンを支える持ち方が、右側にはペンを指で巻き込む持ち方が多く見られた。また、上側は指が伸びてペンに沿うような持ち方であるのに対し、下側は指が曲がりペンが垂直になるような持ち方が多くなった。

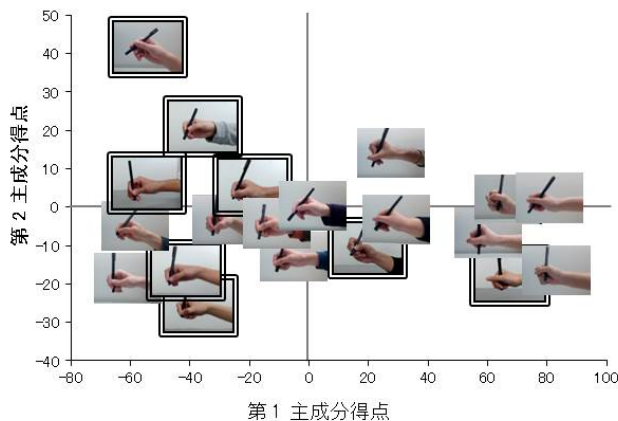


図 3: 20 人の主成分得点の分布

4. 筆記者識別実験

4.1 特徴量の比較

20 人から 8 人を選び、筆記者識別実験を行った。8 人は図 3 の二重線で囲んだ被験者である。実験には収集した各セットの 1 秒目から 1.5 秒目までの 0.5 秒間 (約 50 フレーム) を切り出したデータを使用した。評価データ 1 セットに対して評価データ以外の全てのデータを学習に用いた。交差確認を行い、全てのセットのうち正しく識別できたセットの割合を識別率とした。特徴量には 3 つの特徴量をそれぞれ用いた場合と全て用いた場合の 4 通りで比較した。また、同じ特徴量で 20 人の識別実験も行い、人数によって傾向が変わらないか確認した。表 1 に識別結果を示す。

いずれかの特徴量を用いる場合、識別率は距離特徴量が最も高く、角度特徴量が最も低いことが分かった。また、全ての特徴量を合わせて用いることで、8 人に対して 76.9% まで識別率が上がることが分かった。20 人の場合、持ち方情報だけでは識別が難しくなり、識別率は大きく低下した。しかし、有効な特徴量の傾向は変わらなかった。

表 1: 特徴量に対する筆記者識別率 (%)

使用特徴量	位置	角度	距離	全て
次元数	72 次元	14 次元	276 次元	362 次元
識別率 (8 人)	65.6	55.6	71.3	76.9
識別率 (20 人)	46.8	29.5	47.5	55.5

4.2 特徴量選択による次元削減

前節の識別実験において、位置・角度・距離の全てを用いた特徴量での識別率が最も高いことが分かったが、この特徴量は 362 次元と高次元であり、相関の高い特徴量が混入していると考えられる。本実験では、特徴量の重要度を基準に次元数を削

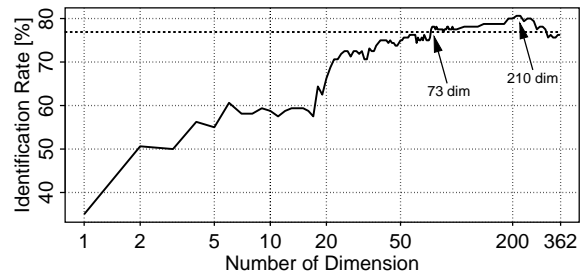


図 4: 特徴量の次元数と筆記者識別率の関係

減した。登録者は前節の 8 人とした。重要な特徴量を求める手法として、統計ソフト R のパッケージ randomForest [3] で得られる Gini importance の値 (重要度) を用いた。図 4 は特徴量の次元数と識別率の関係である。右端が 362 次元すべてを使用した場合で 76.9% の識別率である。そこから、重要度の低い特徴から順に (左方向に) 削減した。

実験の結果、最も識別率が高くなったのは 210 次元のときの 80.6% であった。更に削減していくと、73 次元までは 362 次元を使用した場合の識別率 76.9% を維持できた。このときの特徴量に關与した部位を図 5 に黒丸で示す。すなわち、白丸が削減された部位である。また、識別率は 20 次元付近で大きく低下した。このとき削除した特徴は、中指・小指の第 1 関節の角度、および親指の第 1 関節と薬指・小指の第 4 関節との距離であった。これらの特徴は識別において特に重要である可能性が高い。なお、20 人分の 362 次元データについて主成分分析を行ったところ、第 7 主成分で累積寄与率 90% を超えることが分かった。73 次元はこの結果と比較すると高次元であり、更に次元を削減できる可能性がある。



図 5: 73 次元特徴量に使用された部位

5. まとめ

ペンを持つ手の骨格形状をもとに、筆記者識別に有効な特徴量を検討した。指先・指関節の位置および距離、指関節の角度を特徴量として検討した結果、これら全てを同時に用いた場合 (362 次元) の識別精度が最も良く、8 人に対して 76.9% の精度であった。また、重要度の高い特徴のみを選択し、識別率を下げずに 73 次元まで次元数を削減できた。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 24500151 の助成を受けて行った。

参考文献

- [1] 山中 他, “3 種類の筆記情報を用いる動的な署名照合,” 2000 年映情学年次大, 2000.
- [2] 村松 他, “ペン持ち方特徴を用いたバイオメトリック個人認証,” 情処学 CVIM 研報, 2011-177, 2011.
- [3] Leo Breiman and Adele Cutler, “Random Forests,” 2004, <https://www.stat.berkeley.edu/~reiman/RandomForests/>, 2016/6/26 閲覧