

署名形状を考慮した平均時系列データ生成とオンライン署名照合への応用 Time-Series Averaging Based on Signature Appearances for Online Signature Verification

大川 学[†]
Manabu Okawa

1. はじめに

筆者固有の書き方に着目しながら署名の真偽を判定する署名照合は、科学捜査・バイオメトリクス認証で活用されている。現代社会の押印見直しとデジタル端末の普及に伴い、オンライン署名照合は契約・書類の真正性を証明する重要な認証手段となっており、高度偽筆に対し高速認証・高照合性能を実現できるシステムの構築は喫緊の課題となっている。その対策の一つに、本人の参照署名セットで生成した時系列データから成る平均テンプレートを用いたシングルテンプレートマッチングがある [1-3]。しかし、これまでのシングルテンプレートマッチングでは、時系列データからの平均テンプレート生成時に署名本来のアピランスの考慮が未だ不十分という課題があった。

そこで本研究は、オンライン署名照合において、参照署名セットの平均時系列データである平均テンプレートの生成時に、署名本来のアピランスを考慮することで、平均テンプレートの改善を図った。さらに、提案手法の有効性を確認するため、改良型平均テンプレートを最新の local stability-weighted dynamic time warping (LS-DTW) [3] によるシングルテンプレートマッチングに適用し、実際にオンライン署名照合の性能改善を試みた。

2. 提案法

2.1. 全体概要

図 1 に本提案法の概要を示す。まず、タブレット端末から取得のペン位置座標・筆圧の時系列データから成る参照署名セットに対し、前処理（サイズ・位置補正）、関数ベースの特徴抽出を行う。次に、登録フェーズで、Euclidean barycenter-based DTW barycenter averaging (EB-DBA) [1] を基に参照署名セットの改良型平均テンプレートを生成、direct matching points (DMPs) [3] による局所安定度系列を算出する。認証フェーズでは、対象筆者の平均テンプレートとテスト署名間で計算の DMPs を DTW コスト関数の重みとした LS-DTW を求め、閾値との比較で真筆/偽筆を判定する。

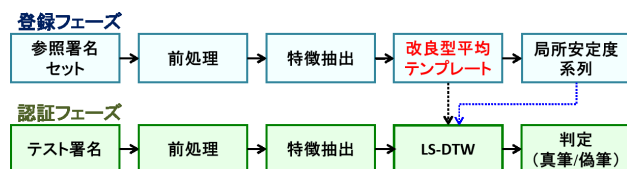


図 1: 提案法の概要

[†]警視庁科学捜査研究所, Forensic Science Laboratory, Metropolitan Police Department

2.2. 特徴抽出

オリジナルのペン位置座標 $\{x(i), y(i)\}$, 筆圧 $p(i)$ の 3 特徴に加え、次の 4 特徴 (Path-tangent angle $\theta(i)$, Path velocity magnitude $\nu(i)$, Log curvature radius $\rho(i)$, Total acceleration magnitude $\alpha(i)$) を抽出、最後に各特徴に対し z-score による標準化を適用する [1-3]。

$$\text{Ang: } \theta(i) = \arctan(\dot{y}(i)/\dot{x}(i)), \quad (1)$$

$$\text{Vel: } \nu(i) = \sqrt{\dot{x}(i)^2 + \dot{y}(i)^2}, \quad (2)$$

$$\text{Logcr: } \rho(i) = \log(\nu(i)/\dot{\theta}(i)), \quad (3)$$

$$\text{Tam: } \alpha(i) = \sqrt{\dot{\nu}(i)^2 + (\nu(i) \cdot \dot{\theta}(i))^2}. \quad (4)$$

ここで、 $(\dot{x}(i), \dot{y}(i), \dot{\theta}(i), \dot{\nu}(i))$ は次式にて計算される。

$$\dot{f}(i) = \frac{\sum_{\epsilon=1}^2 \epsilon (f(i+\epsilon) - f(i-\epsilon))}{2 \sum_{\epsilon=1}^2 \epsilon^2}. \quad (5)$$

2.3. シングルテンプレートマッチング

2.3.1. 平均テンプレートの生成

テスト署名の比較用テンプレートとして、参照署名セットの各特徴に平均時系列データ生成法の EB-DBA [1] を適用し、個人内変動を反映した平均テンプレート (参照署名セットの平均時系列長 I) を特徴毎に生成する (図 2)。

2.3.2. 平均テンプレートの改良

EB-DBA により生成された平均テンプレートは、それ自体でも高い照合性能を有している [3]。ただし、そこでは最適な平均時系列データの生成に主眼を置いていた。

ここでは、2 次元空間に記載される署名本来のアピランスを考慮するため、スムーズな署名形状を生成可能な平均テンプレートとなるよう改良する。予備実験から、移動平均 (注目点中心の幅 $w = 5$ の矩形窓) をペン位置座標 $\{x(i), y(i)\}$ の平均テンプレートに適用した (図 2)。

2.3.3. 局所安定度系列の算出

続いて、認証フェーズでの LS-DTW 計算に必要な、改良型平均テンプレートの局所安定度系列 \mathcal{LS} を求める。

まず、平均テンプレートと各参照署名間で DMP (シングル対応ペア数) を求め、平均テンプレートの各基点で平均 DMP から成る $\mathcal{LS} = \{ls_i\}_{i=1}^I, 0 \leq ls_i \leq 1$ を計算する。ここで、 ls_i は、全対応点数がシングルマッチングの時に 1 となり、対応点数の増加とともに 0 に近づく。

2.4. マッチング

認証フェーズでは、平均テンプレートとテスト署名間のマッチングの際に、 \mathcal{LS} を DTW コスト関数計算時の重みとした LS-DTW を使い、筆者毎に設定の閾値 T との小/大により真筆/偽筆を判定する。

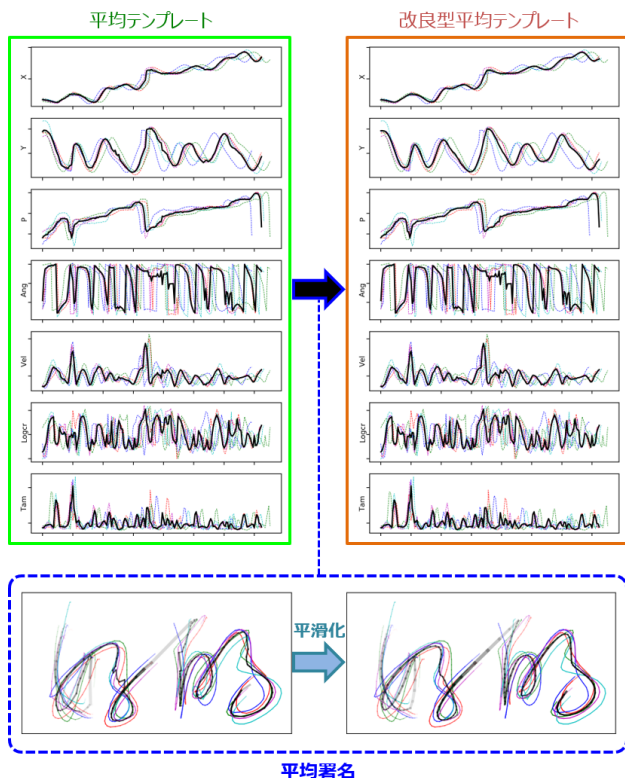


図 2: 参照署名 5 個 (色線) と平均テンプレート (黒線). 上側は時系列データ, 下側は署名画像 (画線太さにペン速度, さらに平均署名には画線濃淡に筆圧を反映).

3. 実験

3.1. 実験概要

本提案法の有効性評価のため, 公開オンライン署名データセット SVC2004 Task2 [4] を用いた. 本データセットは, ペンの位置座標・傾き・筆圧の時系列データ (サンプリングレート 100 Hz) から成る 40 人分の欧文・漢字のオンライン署名であり, 筆者毎に真筆, 訓練偽筆を各 20 個含む.

ここでは, 筆者毎に, 真筆からランダム選出した 5 個を参照署名, 残り真筆 15 個・訓練偽筆 20 個をテスト署名とし, 選択バイアス回避のため, 上記を 5 回繰り返した equal error rate (EER) の平均値により評価した.

3.2. 実験結果

表 1 に, SVC2004 Task2 データセットを用いた最新の先行研究との比較結果を示す.

表 1 から, シングルテンプレートマッチングにおいて, 改良型平均テンプレートを用いた提案法が, 従来の平均テンプレートを用いた手法 [3] よりも EER を削減し, さらに他の先行研究よりも性能改善できることがわかる.

したがって, 提案法を 1 マッチングで照合可能なシングルテンプレートマッチングに適用することにより, 高速認証下でエラー率を削減できることから, 性能面・運用面の両面からオンライン署名照合の総合的改善を図れることを確認した.

表 1: SVC2004 Task2 データセットの EER (%) 比較.

手法	EER
Multiple DTW measures + gradient boosting [2]	2.98
特徴選択 + DTW with signature curve constraint [5]	2.60
DTW + warping path-based features [6]	2.53
Shape contexts and function features [7]	2.39
平均テンプレート + LS-DTW [3]	2.08
改良型平均テンプレート + LS-DTW (提案法)	1.97

4. まとめ

本研究では, オンライン署名照合において, 参照署名セットから署名本来のヘアランスを考慮した改良型平均テンプレートを生成し, LS-DTW によるシングルテンプレートマッチングに適用することで性能改善を図った.

5. 今後の展望

改良型平均テンプレート・平均署名は, 筆圧・筆速等の豊富な情報を含む時系列データで構成されることから, バイオメトリクス認証での署名のデータ拡張システム [8], 手書き文字の自動生成システム [9] 等で必要な基準署名・平均手書き文字の生成に, よりリアリティを持たせることが可能となり, システム向上が期待される.

さらに, 法科学の筆跡鑑定 [10] では, 通常の手書き文字のような“字体”のない記載者独自のデフォルメを含む署名の検査において, 基準署名生成・可視化ツールとして検査プロセスの説明性・透明性の向上も期待される.

謝辞

本研究の一部は, JSPS KAKENHI Grant Number JP 21H04330 の助成を受けたものである.

参考文献

- [1] M. Okawa, “Template matching using time-series averaging and DTW with dependent warping for online signature verification,” *IEEE Access*, vol.7, pp.81010–81019, 2019.
- [2] M. Okawa, “Online signature verification using single-template matching with time-series averaging and gradient boosting,” *Pattern Recognit.*, vol.102, p.107227, 2020.
- [3] M. Okawa, “Time-series averaging and local stability-weighted dynamic time warping for online signature verification,” *Pattern Recognit.*, vol.112, p.107699, 2021.
- [4] D.-Y. Yeung, H. Chang, Y. Xiong, S. George, R. Kashi, T. Matsumoto, and G. Rigoll, “SVC2004: First international signature verification competition,” *Biometric Authentication (Proc. ICBA 2004)*, pp.16–22, 2004.
- [5] X. Xia, X. Song, F. Luan, J. Zheng, Z. Chen, and X. Ma, “Discriminative feature selection for on-line signature verification,” *Pattern Recognit.*, vol.74, pp.422–433, 2018.
- [6] A. Sharma and S. Sundaram, “On the exploration of information from the DTW cost matrix for online signature verification,” *IEEE Trans. Cybern.*, vol.48, no.2, pp.611–624, 2018.
- [7] Y. Jia, L. Huang, and H. Chen, “A two-stage method for on-line signature verification using shape contexts and function features,” *Sensors*, vol.19, no.8, p.1808, 2019.
- [8] J. Galbally, R. Plamondon, J. Fierrez, and J. Ortega-Garcia, “Synthetic on-line signature generation. Part I: Methodology and algorithms,” *Pattern Recognit.*, vol.45, no.7, pp.2610–2621, 2012.
- [9] 田村沈希, 中村聡史, “ひとを騙す手書き自動生成手法の提案と実装,” *情報処理学会研究報告*, vol.2020-HCI-186, no.3, pp.1–8, 2020.
- [10] M. Okawa and K. Yoshida, “Offline writer verification based on forensic expertise: Analyzing multiple characters by combining the shape and advanced pen pressure information,” *Jpn. J. Forensic Sci. Tech.*, vol.22, no.2, pp.61–75, 2017.