

平均テンプレートと複数 DTW の重み付き統合によるオンライン署名照合 Online Signature Verification Using Mean Template and Weighted Multiple DTW

大川 学[†]
Manabu Okawa

1. はじめに

署名照合は、筆者固有の書き方に着目しながら入力署名の真偽を照合する手法であり、科学捜査、バイオメトリクス認証で長年活用され、その技術は最近の神経疾患の医療診断等にも応用されている [1, 2]。一方、近年のデジタル端末普及により動的情報に基づくオンライン署名の利用機会が急増しており、IoT・人工知能・ビッグデータの活用を目指す第 4 次産業革命時代において、高照合率を維持しながら高セキュリティ・高速認証を実現するオンライン署名照合対策は喫緊の課題となっている [3-5]。しかし、従来のオンライン署名照合では、マルチテンプレートを用いたテンプレートマッチング法が主流であり、その場合、高照合性能を発揮できる一方、認証時には全登録署名のデータをシステムに直接保持しながら入力署名と全登録署名を比較する必要があり、高セキュリティ・高速認証の実現は困難な状況であった。

そこで本研究は、オンライン署名照合において、リファレンス署名から生成した平均テンプレートと入力署名間の複数の dynamic time warping (DTW) に対し、機械学習で算出した距離重要度により重み付き統合して照合するシングルテンプレートマッチング法を構築し、性能面・運用面の両方の観点から総合的改善を試みた。

2. 提案法

2.1. 全体概要

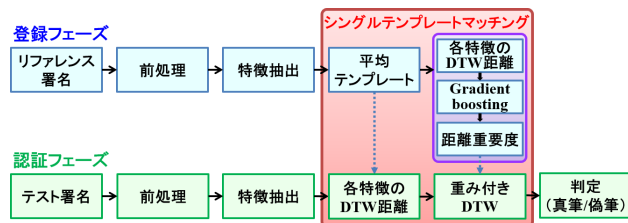


図 1: 提案法の概要

図 1 に、本提案のシングルテンプレートマッチング法の概要を示す。まず、ペンの位置座標・筆圧の時系列データから成るリファレンス署名セットに対し、サイズ・位置補正の前処理、時間関数に基づく特徴抽出を行う。次に、登録フェーズでは、Euclidean barycenter-based DTW barycenter averaging (EB-DBA) [5] によりリファレンス署名セットの平均テンプレート生成、gradient boosting (GB) 分類器による距離重要度算出を行う。認証フェーズでは、テスト署名と対象筆者の平均テンプレート間の DTW を特徴毎に計算し、距離重要度を用い重み付き距離を算出後、閾値との比較により真筆/偽筆を判定する。

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

2.2. 特徴抽出

デジタル端末から取得される、ペンの位置座標 $\{x(i), y(i)\}$ 、筆圧 $p(i)$ をベースに、先行研究で有効性が示されている時間関数に基づく 7 特徴を用いる [3-5]。

具体的には、前処理 (サイズ・位置補正) 後の時系列データ $\{\hat{x}(i), \hat{y}(i), p(i)\}$ の 3 特徴、それらから導出される path-tangent angle $\theta(i)$, path velocity magnitude $\nu(i)$, log curvature radius $\rho(i)$, total acceleration magnitude $\alpha(i)$ の 4 特徴を用い、それぞれ以下で計算される。

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

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

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

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

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

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

最後に、各特徴に z-score による標準化を適用する。

2.3. テンプレートマッチング

2.3.1. 平均テンプレート生成

テスト署名との比較用シングルテンプレートとして、リファレンス署名セットから平均テンプレートを生成する。ここでは、複数の時系列データからの平均時系列データ生成法の EB-DBA [5] を適用し、個人内変動を反映した平均テンプレートの特徴毎に生成する (図 2)。

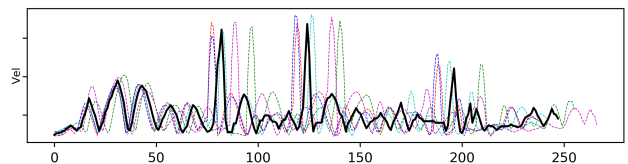


図 2: Path velocity magnitude の時系列データ 5 個 (カラー点線) とその平均テンプレート (黒色太線) の例。

2.3.2. DTW 計算

抽出した N 個の特徴 (本研究では $N = 7$ の時系列データ) に対し、平均テンプレートと入力署名の間で、次の 2 種類の DTW を計算する [3-5]。

- “DTW_I”: 各特徴単位で 1 次元時系列データの DTW セット, $\{\text{DTW}_I^n\}_{n=1}^N$ を計算する。
- “DTW_D”: N 次元時系列データに対し、 N 次元ユークリッド空間における単一のワーピングパスを求め、 N 次元時系列データから直接 DTW を計算する。

2.4. DTW の重み付き統合

個人差強調のため 8DTW ($= 7 \times DTW_I + DTW_D$) を距離重要度により重み付き統合した距離を算出する。

具体的には、対象筆者の平均テンプレートと対象筆者のリファレンス署名・他者の平均テンプレートの各間で計算した個人内距離群・個人間距離群から 2 クラス分類器 GB を構築し、距離重要度 $\{\alpha_n\}_{n=1}^{N+1}$ を算出する (図 3)。続いて、8DTW に対し、正規化後の距離重要度により重み付き統合した DTW_W を次式で算出する。

$$DTW_W = \sum_{n=1}^N \alpha_n \times DTW_I^n + \alpha_{N+1} \times DTW_D. \quad (6)$$

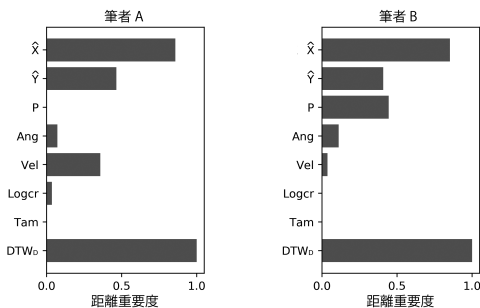


図 3: 2 筆者の各 GB 分類器による距離重要度の比較例。

2.5. マッチング

ユーザ毎に、入力署名と平均テンプレート間の重み付き距離が閾値 T との小/大により真筆/偽筆を判定し、最終的に equal error rate (EER) により評価する。

3. 実験

3.1. 実験概要

本提案法の有効性評価のため、オンライン署名データセット SVC2004 Task2 [6] を用いた。これは、40 人分の欧文・漢字のオンライン署名で、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) から成り、各筆者は真筆、訓練偽筆を各 20 個含む。

本研究では、筆者毎に、真筆からランダム選出した 10 個をリファレンス署名、残りの真筆 10 個・訓練偽筆 20 個をテスト署名とした。選択バイアス回避のため、上記を 5 回繰り返した EER (%) の平均値により評価した。

3.2. 実験結果

表 1 に、提案のシングルテンプレート法と従来のマルチテンプレート法との DTW 計算回数の比較を示す。表 1 から、提案法が従来法より、計算コストの高い DTW 計算を最大 72 回 ($= 80$ 回 $- 8$ 回) 削減が可能となる。

表 2 に、SVC2004 Task2 データセットを用いた先行研究との比較結果を示す。表 2 から、提案法の EER が従来法の EER よりも大きく改善できることがわかる。

したがって、本実験結果から、提案法を適用することにより、従来法と比較して計算コスト削減、エラー率削減を同時に達成し、オンライン署名照合において、性能面・運用面の両面から総合的改善が図れることを確認した。

表 1: 認証フェーズにおける DTW 計算回数の比較。

テンプレート	DTW	DTW 回数 (本実験の場合)	計
マルチ	DTW_I	リファレンス数 \times 特徴数 (70)	80
	DTW_D	リファレンス数 (10)	
シングル	DTW_I	特徴数 (7)	8
	DTW_D	1 (1)	

表 2: SVC2004 Task2 データセットの EER 比較。

方法	リファレンス数	EER
SVM with LCSS kernel function [7]	5	6.84
Feature selection + DTW [8]	5	3.38
Feature selection + DTW(SCC) [9]	5	2.60
DCT + sparse representation [10]	10	3.98
Template selection + DTW [11]	10	2.84
提案法	10	1.80

4. まとめ

本研究では、オンライン署名照合において、リファレンス署名セットから生成した平均テンプレートと入力署名間の多次元 DTW に対し、GB 分類器から算出の距離重要度を用いて統合した重み付き DTW により照合するシングルテンプレートマッチング法を新規構築することで、性能面・運用面の両面から総合的な改善を図った。

謝辞

本研究の一部は、JSPS KAKENHI Grant Number JP 19H00498 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] M. Okawa, "From BoVW to VLAD with KAZE features: Offline signature verification considering cognitive processes of forensic experts," *Pattern Recognit. Lett.*, vol.113, pp.75–82, 2018.
- [2] M. Okawa, "Synergy of foreground-background images for feature extraction: Offline signature verification using Fisher vector with fused KAZE features," *Pattern Recognit.*, vol.79, pp.480–489, 2018.
- [3] M. Okawa, "A single-template strategy using multi-distance measures and weighting for signature verification," *Proc. 18th IEEE Int. Symp. Signal Processing and Information Technology (ISSPIT 2018)*, pp.46–51, 2018.
- [4] M. Okawa, "Online signature verification using multi-distance measures and weighting with gradient boosting," *Proc. 1st IEEE Global Conf. Life Sciences and Technologies (LifeTech 2019)*, pp.277–278, 2019.
- [5] M. Okawa, "Template matching using time-series averaging and DTW with dependent warping for online signature verification," *IEEE Access*, 10 pages, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2923093
- [6] 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.
- [7] C. Gruber, T. Gruber, S. Krinninger, and B. Sick, "Online signature verification with support vector machines based on LCSS kernel functions," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. B, Cybern.*, vol.40, no.4, pp.1088–1100, 2010.
- [8] J.M. Pascual-Gaspar, V. Cardenoso-Payo, and C. Vivaracho-Pascual, "Practical on-line signature verification," *Advances in Biometrics (Proc. ICB 2009)*, pp.1180–1189, LNCS 5558, 2009.
- [9] 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.
- [10] Y. Liu, Z. Yang, and L. Yang, "Online signature verification based on DCT and sparse representation," *IEEE Trans. Cybern.*, vol.45, no.11, pp.2498–2511, 2015.
- [11] N. Liu and Y. Wang, "Template selection for on-line signature verification," *Proc. 19th Int. Conf. Pattern Recognit. (ICPR 2008)*, pp.1–4, 2008.