

カメラを用いたオンライン署名認証 －署名データ補正による高精度化－

村松 大吾*

Camera-based Online Signature Verification -Modification of Signature Data-

Daigo Muramatsu*

ABSTRACT : Several online signature verification systems that use cameras have been proposed. These systems obtain online signature data from video images by tracking the pen tip. Such systems are very useful because special devices such as pen-operated digital tablets are not necessary. One drawback, however, is that if the captured images are blurred, pen tip tracking may fail, which causes performance degradation. To solve this problem, here we propose a scheme to detect such images and modify the pen tip position associated with the blurred images. Preliminary experiments that use private database show that the proposed algorithm improved performance in terms of verification accuracy.

Keywords : online signature verification, particle filter, change detection, tracking, biometrics

(Received September 22, 2010)

1. はじめに

ヒトの身体的特徴や行動的特徴を用いて認証を行うバイオメトリクスと呼ばれる手法が近年盛んに研究され、一部実用化されてきている¹⁾。

バイオメトリクスには指紋や虹彩、静脈、掌形などの身体的特徴を用いたものと、筆記動作（署名）や歩行動作、キーストロークなどの行動的特徴を用いたものがあり、それらは個別に研究・利用されるだけでなく、複数の特徴を組み合わせることで認証を行なうマルチモーダル手法も盛んに研究されている²⁾。マルチモーダル手法は認証精度の向上が期待できるだけでなく、攻撃耐性を高めることができるなどの利点もあり有望な手法と考えられている。しかしながら、マルチモーダル手法の利点を最大限に活かすためには、複数の異なる特徴を同時にかつ同じデバイスで取得することが望ましい。それらの条件を満たす手法として本稿では署名筆記動作を用いた認証に注目する。

署名筆記動作を用いた認証としては、署名筆記時のペン先軌跡データを取得し、筆記平面上での署名生成過程

から得られる動的特徴を認証に用いる手法³⁻⁴⁾（本稿では以後「オンライン署名認証手法」と呼ぶ）が最も一般的であり、盛んに研究されている⁵⁻⁸⁾。一方、ペン先軌跡データ以外にもペンの持ち方やペンを握る強さに注目した手法なども報告されている⁹⁻¹⁴⁾。例えば文献 9)10) はデータグローブを用いて筆記する際の指の曲げ方に注目して認証を行っており、文献 11-13) はカメラを用いてペンの持ち方特徴を取得し認証に用いている（以後ペン持ち方に注目した手法を「ペン持ち方認証」と呼ぶ）。

ペン持ち方認証とオンライン署名認証を組み合わせることにより、署名筆記という一つの動作から同時に取得できる複数特徴を用いたマルチモーダル手法が可能になる。しかしながらオンライン署名認証用データは一般にタブレットとペンを用いて取得されることが多いのに対し、ペン持ち方特徴はデータグローブやカメラを用いて取得されているため、一般的な手法を組み合わせるだけでは一つのデバイスでオンライン署名認証用データとペン持ち方認証用データを取得することは困難である。そこで、本稿ではオンライン署名認証用データをタブレットで取得するのではなく、カメラを用いて取得する手法¹⁵⁻¹⁶⁾に注目する。

カメラを用いてオンライン署名認証用データを取得す

* : エレクトロメカニクス学科助教

る場合は撮影された画像空間においてペン先を追跡する。しかしながら、ペンが速く動かされる時刻では、撮影された画像においてペン先がぼけてしまうことがあり、これにより追跡失敗が起こりえる¹⁶⁾。この場合作成されたオンライン署名認証用データ内におかしな部分が存在することになり、カメラを用いたオンライン署名認証の精度劣化につながる。この追跡失敗は画像自体のぼけに起因するため、追跡アルゴリズムの改良だけでは解決することが困難である。

そこで本稿では、ペン先追跡に失敗した部分がオンライン署名認証用データに含まれている場合でも、認証精度の劣化を抑えることができる手法を提案する。具体的には、各時刻において追跡に成功しているのか失敗しているのかを自動的に判定し、その情報を考慮してデータを修正し認証に利用する。13 人の被験者から取得した 1950 個のオンライン署名認証用データを用いた実験では、提案手法により認証精度が改善する結果が得られた。

2. 手 法



図 1 Overall algorithm

2. 1 概 要

提案手法を含むオンライン署名認証システムの全体像を図 1 に示す。一般に認証システムには登録フェーズと認証フェーズがある。登録フェーズでは各ユーザの参照データ（リファレンスデータ）を事前に取得し、ユーザ ID とともに登録する。認証フェーズでは ID とともに署

名データが取得され、取得されたデータと入力された ID に対応するリファレンスデータを比較することで判定を行う。前述したとおり、カメラを用いてオンライン署名認証用データを取得する場合には追跡失敗により、一部おかしなデータを含んでいる可能性があるため、本稿では登録フェーズ、認証フェーズ両方において「ぼけ画像検出」と「データ修正」を行うことで修正後オンライン署名データを作成し認証に用いる。

本章の以降の節ではペン先追跡手法の概要とぼけ画像検出方法及びデータ修正方法を説明する。

2. 2 ペン先追跡

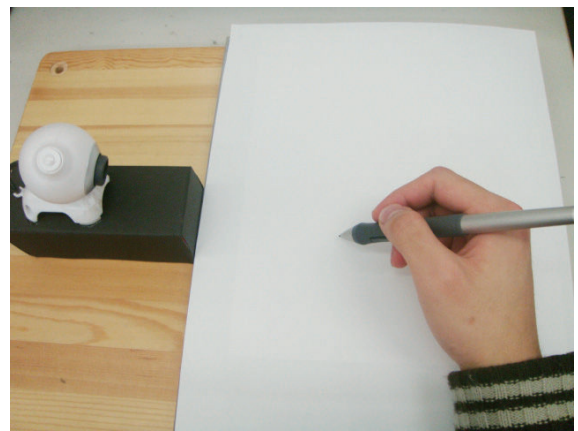


図 2 Data acquisition

本認証システムでは図 2 に示すように手の横にカメラを固定し、データを取得する。図 2 では筆記者が右利きのため筆記する手を左側から撮影している。このカメラにより画像（静止画）の時系列データが取得される。本稿では各画像をグレースケール化して用いる。

時刻 t の画像を Y_t ，取得される画像時系列データを $\mathbf{Y}$ とすると

$$\mathbf{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_T) \quad (1)$$

となる。ここで T はフレーム長である。

取得された画像時系列データからペン先を追跡し、各時刻の画像上でのペン先位置座標を取得することにより署名データを作成する。ペン先を中心とした矩形領域（ $h \times w$ ）をテンプレート（ tem ）とし、各時刻でペン先を追跡していく。本稿では時刻 t のペン先位置座標を時刻 1 から t までの画像 $Y_{1:t}$ が与えられたもとで推定する。

推定されるペン先位置座標を $\hat{X}_t = (x_t, y_t)$ とすると

$$\hat{X}_t = \int X_t P(X_t | Y_{t-1}) dX_t \quad (2)$$

として求める。ここで $P(X_t | Y_{t-1})$ は時刻 t のペン先位置の事後分布であり X_t は矩形領域 ($h \times w$ [pixels]) の中心座標である。

ベイズの公式を用いると事後分布は

$$P(X_t | Y_{t-1}) = \frac{P(Y_t | X_t) P(X_t | Y_{t-1})}{P(Y_t | Y_{t-1})} \quad (3)$$

と書き換えられる。 $P(Y_t | X_t)$ は尤度関数であり、本稿では次のように設定する。

$$P(Y_t | X_t) = \left(\frac{\lambda_t}{2\pi} \right)^{\frac{hw}{2}} \exp \left[-\frac{\lambda_t}{2} \times dif \right] \quad (4)$$

ここで dif は画像 Y_t 内の X_t を中心とする矩形領域とテンプレートとの非類似度であり、Sum of Square Difference (SSD) を用いて計算される。また λ_t はハイパパラメータでありオンラインで学習される。

本稿ではペン先の推定及び λ_t の学習にはパーティクルフィルタを用いる。ペン先追跡の詳細アルゴリズムについては文献 16) を参照されたし。

2. 3 ぼけ画像検出

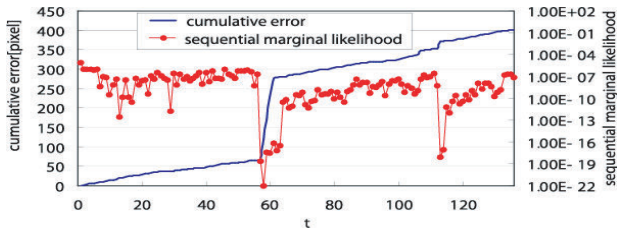


図3 Cumulative error and sequential marginal likelihood

画像のぼけ判定には本稿では式 (5) で定める逐次周辺尤度を用いる。

$$P(Y_t | Y_{t-1}) = \int P(Y_t | X_t) P(X_t | Y_{t-1}) dX_t \quad (5)$$

この逐次周辺尤度は式 (3) の分母であり、変化点検出問題¹⁷⁾、環境変化を伴う顔検出問題で有効性が報告されている¹⁸⁾。

式 (5) は尤度 $P(Y_t | X_t)$ の予測分布における期待値を計算しているとみなせるが、画像がぼけている場合には本来ペン先があると予想される場所でも画像のぼけにより尤度が小さくなるため、式 (5) の値も小さくなると考えられる。図3はペン先追跡の累積誤差と逐次周辺尤度

$P(Y_t | Y_{t-1})$ の関係を示したものである。時刻 $t=57$ で累積誤差が突然大きくなっている。その理由は画像 Y_t のペン先がぼけており、追跡に失敗しているためであると考えられるが、この同時刻において逐次周辺尤度が突然減少していることも確認できる。このことより逐次周辺尤度がぼけ画像検出に有効であると考えられる。本稿ではこの対数逐次周辺尤度を利用して、式 (6) により画像のぼけ判定を行う。

$$Y_t = \begin{cases} \text{ぼけ画像} & \text{if } \log(P(Y_t | Y_{t-1})) < TRD_{lk} \\ \text{正常画像} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

ここで TRD_{lk} はぼけ画像検出用のしきい値である。

2. 4 データ修正

ぼけ画像検出で時刻 t の画像 Y_t がぼけ画像と判定された場合、本稿ではその時刻でのペン先推定位置は正しくないと考えられる。そこで、ぼけ画像判定の結果を用いてオンライン署名データを修正する。データの修正には様々な手法が考えられるが、本稿ではぼけ画像と判定されたデータは欠損したと考え、欠損部分に対し、異なる処理を施すことでデータを修正し、修正後オンライン署名データを作成し認証に利用する。

3. 実験

3. 1 署名認証アルゴリズム

3. 1. 1 前処理

ペン先追跡及びデータ修正により得られたオンライン署名データ $\hat{X}_t = (\hat{x}_t, \hat{y}_t), t=1,2,...,T$ を次式により位置・サイズ補正を行う。

$$\begin{aligned} \bar{x}_t &= \frac{\hat{x}_t - x_g}{x_{\max} - x_{\min}} \\ y_t &= \frac{\hat{y}_t - y_g}{y_{\max} - y_{\min}} \end{aligned} \quad (7)$$

ここで

$$x_g = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{x}_t, y_g = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{y}_t \quad (8)$$

であり、 $x_{\min}, x_{\max}, y_{\min}, y_{\max}$ はそれぞれ署名の $\hat{x}, \hat{y}$ の最小値及び最大値である。

3. 1. 2 特徴抽出

カメラを図 2 Data acquisition2 のように設置し筆記動作を撮影する場合には、署名の x 軸方向のデータが圧縮されてしまうため、x 方向の特徴はあまり有効ではない¹⁶⁾。そこで本稿では x 方向だけに依存する特徴は考慮せず、署名特徴として式 (7) の位置・サイズ補正後の y 特徴に加え、次の三つの特徴を計算し認証に用いる。

$$Vy_t = \begin{cases} 0 & t=1 \\ y_t - y_{t-1} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

$$\theta_t = \begin{cases} 0 & t=1 \\ \tan^{-1} \left(\frac{\bar{y}_t - \bar{y}_{t-1}}{\bar{x}_t - \bar{x}_{t-1}} \right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

$$V_{\theta_t} = \begin{cases} 0 & t=0 \\ \sqrt{(\bar{x}_t - \bar{x}_{t-1})^2 + (\bar{y}_t - \bar{y}_{t-1})^2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

3. 1. 3 非類似度計算

二つの署名時系列データ間の非類似度を計算する。本稿では提案手法の有効性を確認するために、抽出された特徴時系列毎に独立に dynamic time warping (DTW)²⁰⁾を用いて距離を計算する。リファレンスデータを *SigR*、認証フェーズで入力された署名から抽出された署名特徴時系列を *SigV* としたとき、これらの署名間非類似度ベクトル $D(\text{SigR}, \text{SigV})$ を次のように設定する。

$$D(\text{SigR}, \text{SigV}) = (D_1, D_2, D_3, D_4) \quad (12)$$

$$D_i = \left(\frac{\text{dist}(\text{SigR}_i, \text{SigV}_i)}{T_R} \right), i=1,2,3,4$$

ここで $\text{SigR}_i, \text{SigV}_i$ はそれぞれ署名 *SigR, SigV* の *i* 番目の特徴時系列であり、今回の実験では特徴は $(y, Vy, V_{\theta}, \theta)$ に対応する。 T_R はリファレンス署名のデータ長、 $\text{dist}(\cdot)$ は DTW を用いて計算した 2 つの特徴時系列間の距離である。詳細な距離計算方法は文献 16) を参照されたし。

3. 1. 4 判定

式 (12) で計算された非類似度を認証用しきい値と比較を行うことで、Accept/Reject の判定を行う。署名から複数の特徴を抽出して認証を行う場合には複数の非類似度を計算し、それらを組み合わせて認証に用いるのが一般的である²¹⁾。しかし本稿では、ぼけ画像検出・データ修正の有効性を確認するために、各特徴の非類似度を独立に、それぞれの特徴から計算された非類似度毎に判定 $F_i(Th)$ を行う。

$$F_i(Th) = \begin{cases} \text{Accept if } D_i < Th \\ \text{Reject Otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

ここで、*Th* は認証用しきい値である。

3. 2 実験設定

13 人の被験者に 1 セッションあたり真筆 10 個を筆記してもらい、それを 1 週間おきに 3 セッション行って真筆データを収集した。次に真筆筆者とは異なる 4 人の被験者に真筆を真似した署名の筆記を依頼し、偽筆データを収集した。偽筆筆者には対象となる真筆の筆記ビデオを見せ、練習した後に各真筆に対し一人当たり 30 個の偽筆を筆記してもらった。その結果、真筆データ $13 \times 30 = 390$ 個、偽筆データ $13 \times 30 \times 4 = 1560$ 個を収集することができた。各筆記動作はウェブカメラにより撮影され、静止画像 (320×240 [pixels]) の時系列データとして保存した。

3. 3 データ修正

本稿では、欠損部分のデータ修正方法として、次の方法を検討し比較を行う。

- 手法 1 (線形 (Linear)) : 線形補間¹⁹⁾
- 手法 2 (スプライン (Spline)) : 3 次スプライン補間
- 手法 3 (欠損 (Deletion)) : 補間なし (欠損のまま)

3. 4 評価方法

バイオメトリックシステムの精度を知るためには本人拒否率 (False Reject Rate (FRR)) と他人受入率 (False Accept Rate (FAR)) 2 つの指標で評価する必要があるが、一般的にはこれらの 2 つの指標から計算される等誤り率 (Equal Error Rate (EER)) により比較されることが多い。EER は $\text{FAR} = \text{FRR}$ となるしきい値におけるエラー率 (FAR もしくは FRR) でありその求め方には二通りの方法があると考えられる。

- Global EER : 全被験者に対し共通のしきい値を設定した場合の等誤り率
- Averaged EER : 被験者毎にしきい値を設定して求めた個別等誤り率の平均値

Global EER はしきい値設定方法を含め認証システム全体の精度を評価する指標であるため、認証アルゴリズムを比較するのに適した指標であると考えられる。しかしながら、この指標はしきい値の設定方法に大きく依存してしまうため、各特徴の有効性を評価する場合には Averaged EER のほうが適していると考えられる。そこで本稿では Averaged EER を有効性の評価指標として用いる。

3. 5 実験結果

ぼけ画像判定しきい値 TRD_{ik} を $-19 \leq TRD_{ik} \leq -10$ と変更した場合における 3 つの補間方法（線形、スプライン、欠損）による Averaged EER を表 1～4 にまとめる。

表 1 Averaged EER (y) [%]

しきい値	Liner	Spline	Deletion
-10	7.0	6.9	6.8
-11	7.1	6.0	5.9
-12	5.6	6.0	5.8
-13	6.4	6.1	5.9
-14	7.5	7.3	7.0
-15	8.2	8.7	8.1
-16	9.8	9.3	8.9
-17	12.3	11.6	11.5
-18	11.9	11.1	11.0
-19	12.7	12.5	12.3
補正なし	10.0		

表 2 Averaged EER (V_y) [%]

しきい値	Liner	Spline	Deletion
-10	7.1	8.3	11.4
-11	6.5	7.8	7.9
-12	5.3	6.9	6.8
-13	5.2	7.0	6.2
-14	6.2	6.2	5.5
-15	6.5	6.1	5.4
-16	7.9	7.5	6.3
-17	9.6	9.0	8.4
-18	9.7	10.0	8.6
-19	9.9	10.0	9.6
補正なし	8.3		

また比較のために、各表の最終行にペン先追跡データをそのまま認証に利用した（補正を行っていない）場合の Averaged EER も合わせて報告する。

表 3 Averaged EER (V) [%]

しきい値	Liner	Spline	Deletion
-10	8.8	12.0	13.7
-11	8.9	11.4	10.7
-12	8.2	9.8	9.0
-13	7.0	8.8	8.8
-14	7.8	8.5	8.5
-15	7.6	8.0	8.0
-16	8.5	8.9	8.9
-17	9.5	9.3	9.3
-18	9.7	19.5	9.5
-19	10.4	10.4	10.4
補正なし	9.0		

表 4 Averaged EER (θ) [%]

しきい値	Liner	Spline	Deletion
-10	5.6	5.1	4.6
-11	4.4	4.4	3.7
-12	3.5	3.5	3.2
-13	3.8	3.6	3.3
-14	3.8	3.6	3.4
-15	3.6	3.4	3.2
-16	3.4	3.3	3.2
-17	3.3	3.2	3.3
-18	3.3	3.2	3.2
-19	3.3	3.2	3.2
補正なし	3.5		

4. まとめ

本実験では逐次周辺尤度を用いてぼけ画像を検出し、その結果を用いてペン先追跡により取得された署名データを修正する手法を考え、DTW を用いたオンライン署名認証アルゴリズムに対し、3 つのデータ修正方法を適用し評価を行った。その結果最適なしきい値および修正方

法は異なるものの、各特徴においてはぼけ画像判定しきい値をうまく設定できれば、認証精度が改善される結果となった。これらの結果より、ぼけ画像を検出し、修正を行う提案手法は認証精度向上に有効であると考えられる。

参考文献

- 1) A.K. Jain and A. Ross, "Introduction to biometrics," Handbook of Biometrics, eds. by A.K. Jain, P. Flynn, and A.A. Ross, chapter1, Springer Science+Business Media, LLC., 2008.
- 2) A.A. Ross, K. Nandakumar, and A.K. Jain, "Handbook of Multibiometrics," Springer, 2006.
- 3) J. Fierrez and J. Ortega-Garcia, "On-line signature verification," Handbook of Biometrics, eds. by A.K. Jain, P. Flynn, and A.A. Ross, chapter10, Springer Science+Business Media, LLC., 2008.
- 4) O. Henniger, D. Muramatsu, T. Matsumoto, I. Yoshimura, and M. Yoshimura, "Signature recognition," Encyclopedia of Biometrics, pp.1196-1205, 2009.
- 5) R. Plamondon and G. Lorette, "Automatic signature verification and writer identification - the state of the art," Pattern Recognition, vol.22, no.2, pp.107--131, 1989.
- 6) F. Leclerc and R. Plamondon, "Automatic signature verification: The state of the art-1989-1993," International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, vol.8, no.3, pp.643--660, 1994.
- 7) R. Plamondon and S.N. Srihari, "On-line and off-line handwriting recognition: A comprehensive survey," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.22, no.1, pp.63--84, 2000.
- 8) D. Impedovo and G. Pirlo, "Automatic signature verification: The state of the art," IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics PartC: Applications and Reviews, vol.38, no.5, pp.609-635, 2008.
- 9) N.S. Kamel, S. Sayeed, G.A. Ellis, "Glove-Based Approach to Online Signature Verification," IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 30, No. 6, pp.1109-1113, 2008.
- 10) S. Hangai and T. Higuchi, "Writer Identification Using Finger-Bend in Writing Signature," Proc. BioAW2004, LNCS 3087, pp.229-237, 2004.
- 11) G. Gluhchev, M. Savov, O. Boumbarov and D. Vasileva, "A New Approach to Signature-Based Authentication," Proc. ICB2007, LNCS4642, pp.594-603, 2007.
- 12) 村松大吾, 阿部貢士, 堀内 翔, 小方博之, "ペン持ち方情報を用いたバイオメトリック個人認証," 電子情報通信学会論文誌, J92-A, No.5, pp.392-396, May. 2009.
- 13) Y. Hashimoto, D. Muramatsu, H. Ogata, "Biometric person authentication method using features extracted from pen-holding style," Proc. SPIE, Vol. 7708, 2010
- 14) N. Wada and S. Hangai, "Online signature verification using gripping position and power," Proc. ISPACS2008, pp.647-650, 2008.
- 15) M.E. Munich and P. Perona, "Visual identification by signature tracking," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.25, no.2, pp.200-217, 2003.
- 16) K. Yasuda, D. Muramatsu, S. Shirato, and T. Matsumoto, "Visual-Based Online Signature Verification Using Features Extracted From Video," Journal of Network and Computer Applications, vol. 33, pp.333-341, 2010
- 17) T. Matsumoto and K. Yosui, "Adaptation and change detection with a sequential monte carlo scheme," IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics part B: Cybernetics, Vol.37, No.3, pp.592-606, 2007.
- 18) A. Matsui, S. Clippingdale, and T. Matsumoto, "Bayesian sequential face detection with automatic re-initialization," Proc. International Conference on Pattern Recognition, 2008.
- 19) D. Muramatsu, K. Yasuda, S. Shirato and T. Matsumoto, "Camera-Based Online Signature Verification with Sequential Marginal Likelihood Change Detector," Proc. 13th International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns, pp. 229-236, 2009.
- 20) L. Rabiner and B.-H. Juang, "Fundamentals of speech recognition," Prentice Hall, 1993.
- 21) D. Muramatsu and T. Matsumoto, "Online Signature Verification Algorithm with a User Specific Global Parameter Fusion Model," Proc. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp.492-497, 2009.