Vol.2011-MBL-57 No.8
Vol.2011-UBI-29 No.8
2011/3/7

クラウドによる携行可能な指先での署名認証システムの開発

寺西良太† 三好健文† 入江英嗣† 吉永努†

映像を元にした署名による既存の認証システムは，カメラが取り付けられた台やLEDスタンドといった特殊な装置を必要とし，それらが基本的に固定されていることから，特定の場所で使用されることが前提となっている．そのため，それらを携行することは困難である．
本論文では，映像を元にした署名による認証システムを携行可能にするための手法を提案する．我々の手法では指先を入力デバイスとして用い，机の天板に署名する．その様子をモバイル機器で撮影し，クラウドで処理することにより，携行可能なシステムを実現した．
実装したシステムで指先検出に基底放射関数をカーネルとする SVM の分類器を用いると，SVM 処理時間の 80%近くを要する．線形カーネルの分類器をテストしたところ，基底放射関数のものと比較して 2.7 倍程度高速に動作することが分かった．

Development of cloud based portable fingertip signature authentication system

RYOTA TERANISHI† TAKEFUMI MIYOSHI†
HIDETSUGU IRIE† TSUTOMU YOSHINAGA†

Previously developed vision based signature authentication systems have a problem to require special devices like camera attached board or led light stand. These devices are basically fixed and assumed to use in certain place. Therefore, It is difficult to carry them.
In this paper, we propose a method to make a vision based signature authentication system portable. We use fingertip as input device and make signature on the top board of the table. By recording signature movie using a mobile device and processing it at cloud , portable system is realized.
We tried two types of kernels, trained with a radial basis function (RBF) and a linear function, for a SVM (Support Vector Machine) classifier to detect a fingertip. We confirmed classifier trained with liner kernel is 2.7 times faster and has nearly same prediction precision to the RBF one.

1. はじめに

近年，Apple 社の iPhone や Google 社のモバイル向け OS である Android を搭載したスマートフォンの普及が国内外を問わず，急激なペースで進行している．これまでも市場には Symbian や Black Berry，Windows Mobile といった OS を搭載したスマートフォンが流通していたが，北米においては 2010 年の第 2 四半期の時点で首位の Black Berry のシェア 33%に対して Android 搭載端末が 27%，iPhone が 23%と猛追を見せている[1].

スマートフォンは国内で流通してきたいわゆるフィーチャーフォンとは異なり，アプリケーションを開発するための SDK が広く一般に公開されているスマートフォンが備えているネットワークへのアクセス機能のみならず，カメラや GPS，および加速度センサといった機能を活用したアプリケーションを容易に開発することができる．特にネットワークを利用したアプリケーションに関しては，HTTP 等のプロトコルでサーバ等からコンテンツをダウンロードし，それをユーザに提示するフロントエンドの役割を果たすものが数多く見受けられる．そのようなアプリケーションがサーバに保持されたプライベートな情報にアクセスする場合，スマートフォン自体が正規の端末であることを認証するのは元より，その端末の利用者が正規のユーザであることを確認できることが望ましい．

本研究では，サーバサイドでスマートフォンの利用者が正当なユーザであることを確認するため，スマートフォンで撮影した指先での署名による認証の手法の 1 つを提案する．カメラで撮影されたペンや指先による署名の筆跡を利用して個人認証を行うための手法は多数提案されているが，いずれも光源を取り付けたペンや，Web カメラを取り付けた台ないし LED スタンドといった専用の装置を必要とするもので, 携行することが困難である[2][3][4]．そこで，本研究ではスマートフォンが Web カメラと同程度の動画を撮影可能なカメラを有していることに着目し，携行可能な署名による認証システムを開発した．このシステムでは机の天板に指先で署名する様子をスマートフォンで撮影し, 署名動画からの指先の検出と署名の一致判定はクラウドで実現する．全ての処理をモバイル機器上で完結させない理由は，①今回の実装に用いたスマートフォンの演算能力が PC 等と比較して低く，②カメラと通信機能を有しているデバイスでさえあれば提案する認証を利用可能にするためである．本研究では，最終的に図 1 のようなシステムを目指している．

† 電気通信大学大学院情報システム学研究科
Graduate School of Information Systems, the University of Electro-Communications

ⓒ 2011 Information Processing Society of Japan

Vol.2011-MBL-57 No.8
Vol.2011-UBI-29 No.8
2011/3/7

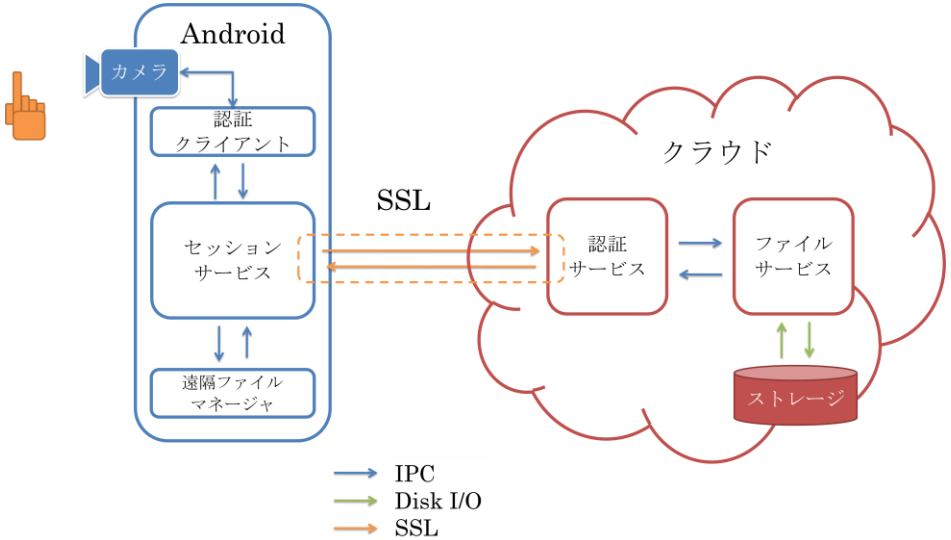


図 1　システムの構想

図 1 に示すシステムではスマートフォンとクラウド側の双方でセッションサービスと認証サービスというプロセスが実行されており，両者の間で SSL 接続を確立する．スマートフォンではセッションサービス経由で認証クライアントが署名動画を認証サービスに送信し，認証を完了させる．その状態で遠隔ファイルマネージャがセッションサービスと認証サービス経由でファイルサービスと通信し，クラウド上のストレージに保存されたファイルを参照する．セッションサービスと認証サービスで適切にアクセス制御を行うことにより，署名による認証に基づいて確立された接続を遠隔ファイルマネージャやファイルサービスといった他のプロセスと共有することを可能とする．本研究ではそのコアとなる署名による認証システムの実現にあたり，解決する必要のある課題，およびパフォーマンスを向上させる際ボトルネックとなる個所とその対処について検討する．

以下，2 節で既存の署名による認証システムについて関連研究を挙げる．3 節では提案手法について説明し，4 節で実装したシステムの評価とその結果，および考察を述べる．最後に，5 節でまとめる．

2. 関連研究

生体認証は指紋や虹彩といったユーザの身体的な特徴量をセンサ等で取得して用いる方式と，ジェスチャや署名といった行動に表れる特徴量を用いる方式の 2 つに大別できる．前者を利用するためには専用のセンサがモバイル機器に備えられていなければならない．一方で，後者は加速度センサやカメラといった汎用的な装置さえあれば利用することが可能である．署名の様子をカメラで撮影して認証に利用する先行研究として以下がある．

片桐らは天板がガラスでできたテーブルの真下からユーザが先端に発光素子を取り付けたペンで署名する様子を撮影し，その際得られた筆跡の一致判定により認証が行えることを報告している[2]．この研究ではペンで空中とガラスのプレートに署名した場合についてそれぞれ検証しており，空中で署名した場合のほうがより認証精度が高くなるという結果を得ている．

Muramatsu らはユーザから見て左手に Web カメラを取り付けた台の上でペンにより署名する様子を撮影し，その映像を元に認証を行うシステムを開発している[3]．カメラが取り付けられている位置の制約上，このシステムが署名の筆跡の一致判定の際に用いるのは前後方向へのストロークから得られる特徴量のみである．Plamondon らによれば，左右方向のストロークから得られる位置，速度，および加速度の特徴量は前後方向のストロークから得られるものに比べ，false positive と false negative の発生件数が多いことを報告している[5]．よって，前後方向のストロークのみで筆跡の一致判定を行うことは，誤認識を避けるために有効であるといえる．

中島らは LED スタンドに取り付けられた Web カメラから青いシート上に指先で署名する様子を撮影し，それを元に認証を行うシステムを開発している[4]．このシステムでは Web カメラが撮影する範囲をシート状に限定しており，閾値処理によって肌領域を抽出後，指先座標を検出している．署名のマッチに当たっては，検出された指先座標の系列のみならず，隣接フレーム間で指先が移動した際の角度，指先が移動した際の角度に急激な変化が生じた 2 点間の移動速度と角度の差，および署名に要する時間を元に判定を行っている．

3. 提案手法

3.1 従来手法の問題点と提案手法

2 節で紹介した先行研究の手法には，使用するために特別な入力装置を使用したり，特定の場所に固定された専用の装置が必要になったりするという問題がある．さらに，それらのシステムを携行可能なシステムとして使用することを試みた場合，Muramatsu らのシステムでは毎回ペン先の学習が必要となり，中島らの方式では照明

ⓒ 2011 Information Processing Society of Japan

Vol.2011-MBL-57 No.8
Vol.2011-UBI-29 No.8
2011/3/7

図 2　指先での署名の様子

条件の変化によって単純な閾値による肌領域の検出が行えなくなってしまう．

そこで，本研究では図 2 のように机の天板に指先で署名する様子を認証に用いるシステムを考える．

このシステムでは，指先での署名をカメラと通信機能を備えたスマートフォンで撮影し，それをクラウドに送信することで筆跡の抽出一致判定を行う．したがって，先行研究のように専用の入力装置が不要であり，容易に携行することが可能となる．

本研究では署名動画の各フレームより指先座標を抽出し，その系列を筆跡として用いる．与えられた動画の各フレーム中に撮影された指先を検出するためにサポートベクタマシン(SVM)を用いる．SVM では，与えられた特徴量が属するクラスを判別する，すなわち画像中のある領域の特徴量を定めることで，その領域が指であるかどうかを判定することができる．ここで指を表す特徴量として，矩形領域内の形状を表す特徴量である HoG[6]を用いる．指の形状は通常個々人で大きく違いがないため形状を判定に用いることが有効である．また HoG は特徴量の計算の過程で正規化を行うため照明条件の変化に対してロバストであるという強みがあり特徴，署名を行う場所が固定されず照明条件が変化しうる本研究のシステムにとっては適切である．ただし，HoG には回転やズームレベルの変化に対応できないという問題がある．本研究では領域分割と楕円近似を組み合わせ，指先の向きや撮影を行うスマートフォンとの距離に変化が生じた際にも一定のサイズの矩形領域として指先近辺を切り出す手法を併用する．

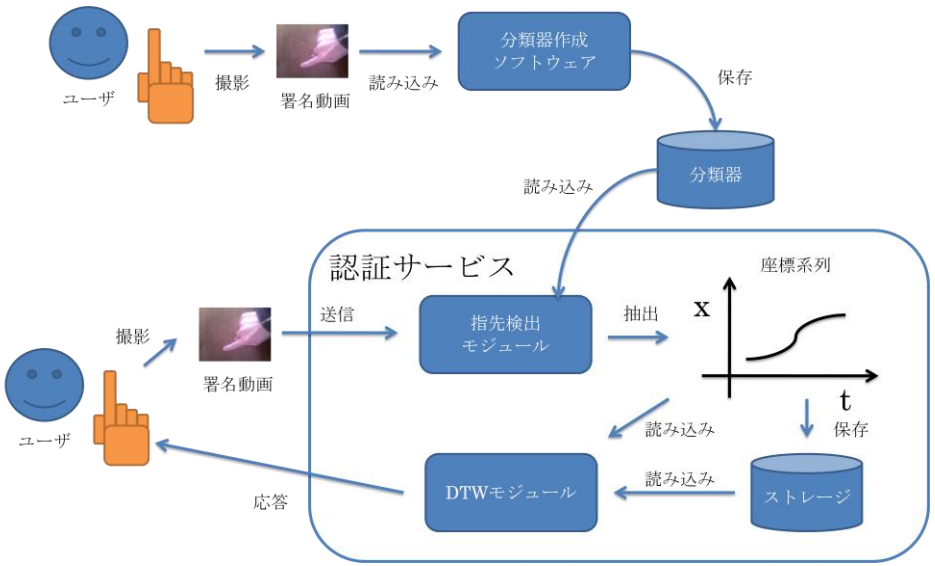


図 3　システムの構成

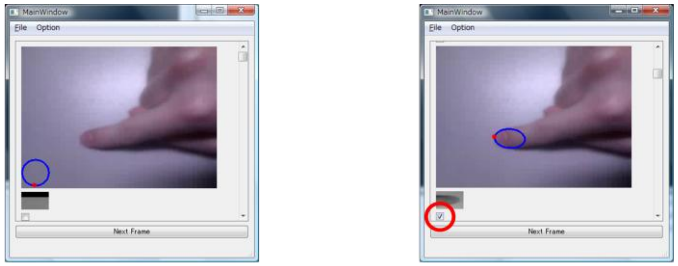
得られた署名の筆跡同士の一致判定には DTW(Dynamic Time Warping)を用いる．DTW は音声認識の分野で信号同士の類似度を求めるためのアルゴリズムとして提案された．DTW では信号の長さによらず相似の信号の一致・不一致の決定が可能である．文字が書かれる時間によらず筆跡の一致を判定することができるため，Muramatsu らの手法では DTW を筆跡一致に応用している．提案するシステムでも同様に，DTW により文字を書く際の指の動きの座標系列同士の類似度を求め，それを閾値処理することで，一致・不一致を判定する．

3.2　システムの構成

図 3 は提案するシステムの構成図である．本研究のシステムでは，認証サービスを受けるために，ユーザは撮影した署名動画を送信する．認証サービスでは，指先検出モジュールによって，送信された動画から指先を検出し，その座標系列を抽出する．登録モードでは得られた座標系列をユーザ情報としてストレージに格納する．一方，認証モードでは，得られた座標系列とストレージに格納されている署名動画の座標系列との一致・不一致を DTW によって判定する．指先検出には，図 3 中に示した分類器作成ソフトウェアによって作成された SVM の分類器が用いられる．本節では，分類器の作成手法，指先検出モジュール，及び DTW モジュールについて述べる．

ⓒ 2011 Information Processing Society of Japan

Vol.2011-MBL-57 No.8
Vol.2011-UBI-29 No.8
2011/3/7



(a)指先がマークされていない画像　(b)指先がマークされた画像

図 4　分類器作成用のソフトウェア

3.3 分類器の作成

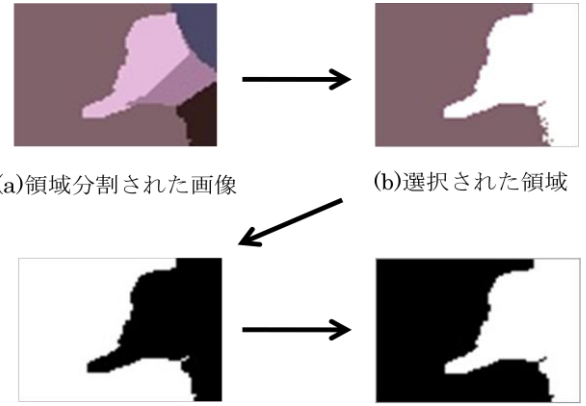
指先を SVM で検出するため分類器の作成手法について述べる．図 4 に示す分類器作成用に開発した専用のソフトウェアの結果を示しながら説明する．ソフトウェアは，図 4 に示すように，与えられた動画の各フレーム中で HoG によって示される指先に類似した矩形領域を，指先の候補として青い楕円でマークし，ユーザに提示する．ユーザは図 4(b)のように，ソフトウェアが示した領域がマークされている場合，チェックボックスにチェックをいれ，図 4(a)のように指以外の個所がマークされている場合にはチェックしないことで指先かそうでないかを判定する SVM 分類器を作成することができる．全フレームに対して上記の作業が完了した後，このソフトウェアはチェックボックスの状態と青い楕円近辺から算出される HoG を元に分類器を作成する．

署名動画を読み込み，各フレームから指先とその他の個所の HoG を算出し，分類器を生成を行うまでの一連のプロセスについて説明する．まず，署名動画より読み込まれた生のフレームに対して Comanicu らが提案した領域分割[6]を適用する．図 5 は生のフレームとそれ対して領域分割を適用したものである．図 5(b)は(a)と比較して階調数が減少し，指先と机の天板とが分離されていることが分かる．本研究では元の動画を 1/16 のサイズに縮小したうえで，領域分割を適用する．これは，①処理時間を短縮するため，②高解像度では指と机の天板とが多数の領域として分割されてしまうためという 2 つの理由による．

領域分割を適用したフレームの各領域に対応した 2 値画像を作成する流れを図 6 に示す．最終的には図 6(c)に示す各領域に対応する 2 値画像を反転し，図 6(d)に示す 2 値画像を作成する．反転した 2 値画像を作成した理由は，図 6(d)のように天板の領域である図 6(c)を反転することで，指の領域を得られる場合があるためである．ここで，各 2 値画像の白い領域に着目すると，指先の座標はその外周上に存在する．指の先端の形状に着目すると，指先の座標と重心との距離はその前後の 2 点と重心との距離よ

(a)生のフレーム　(b)領域分割を適用したフレーム

図 5　領域分割の適用



(a)領域分割された画像　(b)選択された領域

(c)2値画像化された領域　(d)反転された2値画像

図 6　2 値画像の作成

ⓒ 2011 Information Processing Society of Japan

Vol.2011-MBL-57 No.8
Vol.2011-UBI-29 No.8
2011/3/7

(a)指先候補点に対応する楕円　　(b)生のフレーム上の楕円

図 7　楕円近似の結果

りも長くなる．そこで，白い領域の重心が$c = (x_c, y_c)$で，外周のピクセル数を l とするときの外周上の座標$e_i = (x_{ei}, y_{ei})(i = 1, \cdots, l)$に対し，指先の候補の座標は式(1)と(2)を満たすe_iである．

$$\sqrt{(x_c - x_{ei})^2 + (y_c - y_{ei})^2} > \sqrt{(x_c - x_{ei-1})^2 + (y_c - y_{ei-1})^2} \quad (i = 2, \cdots, l) \tag{1}$$

$$\sqrt{(x_c - x_{ei})^2 + (y_c - y_{ei})^2} > \sqrt{(x_c - x_{ei+1})^2 + (y_c - y_{ei+1})^2} \quad (i = 1, \cdots, l - 1) \tag{2}$$

式(1)と(2)を満たしうる座標は多数存在する．より指先の候補を絞るために，式(3)と(4)を導入する．これらは，ある基準となる座標から遠ざかる点が次々と重心と接近することを示す式である．(1)と(2)を満たす点及び，その点と隣接する点が式(3)と(4)を満たす場合，それらの点から成る曲線は基準点を頂点とし，重心に向かって凹にカーブする，すなわち指先である可能性が高い．指の向きを決めるために，点群の座標を最小二乗法で楕円近似し，重心と短径および長径を求める．ここで，経験上 δ は 20 とする．

$$\sqrt{(x_c - x_{ej})^2 + (y_c - y_{ej})^2} > \sqrt{(x_c - x_{ej-1})^2 + (y_c - y_{ej-1})^2} \quad (j = i, \cdots, i - \delta) \tag{3}$$

$$\sqrt{(x_c - x_{ej})^2 + (y_c - y_{ej})^2} > \sqrt{(x_c - x_{ej+1})^2 + (y_c - y_{ej+1})^2} \quad (j = i, \cdots, i + \delta) \tag{4}$$

図 6(d)に示す画像から指先の候補点を求め楕円近似を行った結果を，図 7 に示す．

図 7(a)中の青い楕円は，前述の判定方法により指先であると判定された点群から近似された楕円を示す．図 7(b)は，同じ楕円を生のフレームに描写したものである．楕円の 1 つが確かに指先に該当していることが分かる．

得られた各楕円を SVM の分類器として利用できるように，各楕円の特徴量を決定する．3.1 節で述べたように，指先候補である楕円の特徴量である HoG を算出する．まず，図 7(b)に示すように，楕円に囲まれた生のフレームにおける領域を矩形領域として切り出す．楕円の中心座標を$e_c = (x_{ec}, y_{ec})$，長径と短径の長さをそれぞれa_{major}，a_{minor}とすると，左上頂点の座標が$(x_{ec} - 3 \times a_{major} / 2, y_{ec} - a_{minor})$で，幅と高さが$a_{major}$，$a_{minor} \times 2$を切り出す．次に，切り出した画像を長径が水平になるように回転し，サイズを正規化する．得られた矩形領域の画像の特徴量である HoG を算出する．今回は，得られる特徴量の次元数の大きさと，正しく指先に該当した楕円から切り出された矩形領域がおおよそ$a_{major} : a_{minor} = 1.5 : 1$であったため，得られる特徴量の次元数を考慮して，矩形領域を 45×30 に正規化することとした．

図 4 に示したソフトウェアを使って，ユーザは，各矩形領域が指先か否か，チェックボックスの選択/非選択により解答を与える．すなわち，指先か否かを 2 値のラベル +1/-1 で与えるとき，各矩形領域に対し，(HoG, ラベル)のペアが得られる．このペアによって libsvm を使って所望の SVM の分類器が作成できる．

3.4 指先検出モジュール

認証システムの指先検出モジュールは，ユーザが送信してきた署名動画から指先を自動で検出し，署名の筆跡である座標系列に変換する機能を提供する．指先の検出に当たっては，分類器作成ソフトウェアと同様に，ユーザが送信してきた署名動画を逐次フレームにデコードし，各フレームに対して領域分割，楕円近似，および HoG の算出を行う．得られた HoG は 3.3 節で作成した分類器により，指先とその他の個所のいずれの HoG であるかを判定する．

ここで，3.3 節で述べた分類器の生成により決定された HoG の n 個のサポートベクタを$x_i (i = 1, \cdots, n)$，各サポートベクタのラベルを$y_i (i = 1, \cdots, n)$，学習時に決定されたパラメータを$\lambda_i (i = 1, \cdots, n)$ b とすると，被評価対象の矩形領域の HoG である x のラ

ⓒ 2011 Information Processing Society of Japan

Vol.2011-MBL-57 No.8
Vol.2011-UBI-29 No.8
2011/3/7

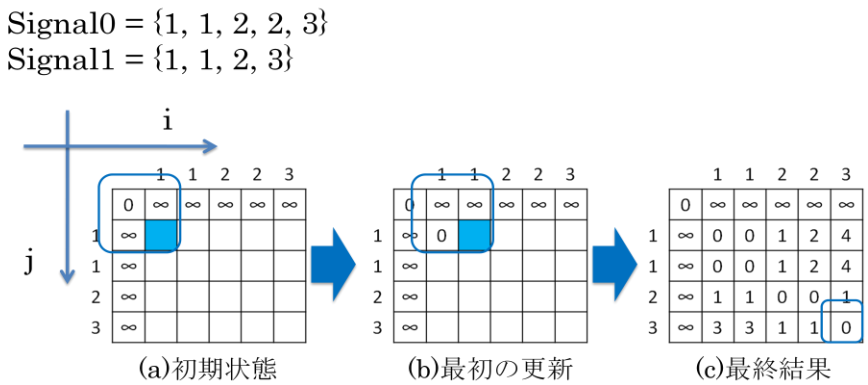


図 8　DTW の適用例

ベル y は式(5)より得られる．

$$y = f(x) = \mathrm{sign}\left(\sum_{i=1}^{n} \lambda_i y_i K(x_i{}^t x) + b\right) = \begin{cases} +1 & \text{指先の場合} \\ -1 & \text{指先以外の場合} \end{cases} \quad (5)$$

式(5)の$K(x_i{}^t x)$は特徴量を分布する空間から別の空間へ写像するカーネル関数である．SVM の作成に用いた libsvm の既定のカーネル関数は式(6)の基底放射関数である．

$$K(x_i{}^t x) = e^{-\gamma |x_i - x|^2} \quad (6)$$

式(6)の基底放射関数によって特徴量を別空間へ写像した場合，もともと分布する空間で線形分離できなかったとしても，写像先の空間で線形分離可能になり，分類精度が向上することを期待できる．

3.5 DTW モジュール

DTW モジュールは認証サービスが認証モードで動作している際，指先検出モジュールが出力した座標系列とストレージに保存された座標系列に DTW(Dynamic Time Warping)[8]を適用して系列間の類似度を求め，その結果をユーザに通知する．DTW は 2 つの信号系列同士の類似度を求めるために利用されるアルゴリズムである．例として，図 7 の Signal0 と Signal1 に DTW を適用することを考える．

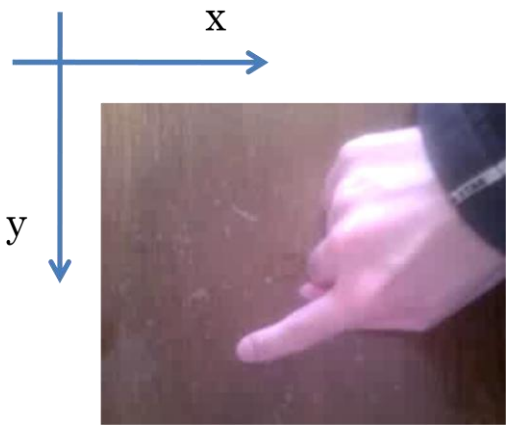


図 9　フレームに設定される座標軸

Signal0 と Signal1 を指先検出モジュールが出力する座標系列の軸を図 7 に示す．本研究では図 7 の x 軸の座標系列同士に DTW を適用する．y 軸に対して DTW を適用しないのは，Plamondon らの報告によれば y 軸方向からの情報を元にした署名の一致では生ずる false positive と false negative の件数が多くなるためである[5].

4. 評価

提案する認証システムのうち認証サービスの処理時間の評価を示す．実装した認証システムのいずれの処理がボトルネックになっているかを明らかにするため，認証サービスの各関数が処理に要する時間をプロファイラで計測する．

4.1 評価手法

図 10 に認証サービスの動作時のフローチャートを示す．図 10 に示すフローチャートのうち，どの個所が処理に多くの時間を要しているのかプロファイラによって計測する．実験のために認証サービスを動作させる計算機の構成を表 1 に示す．

ⓒ 2011 Information Processing Society of Japan

Vol.2011-MBL-57 No.8
Vol.2011-UBI-29 No.8
2011/3/7

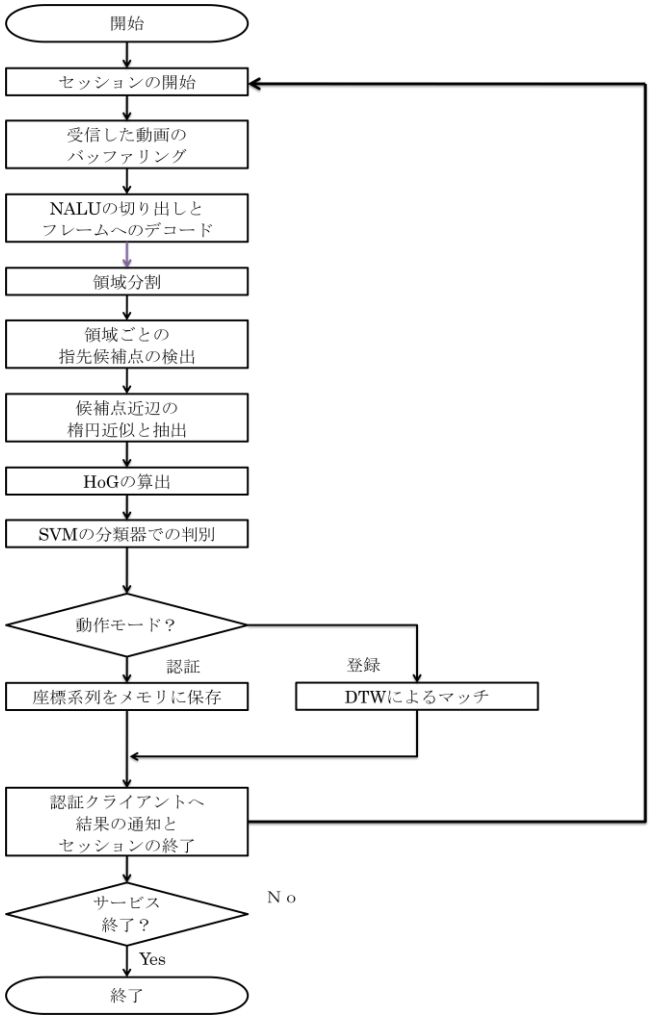


図 10　認証サービスのフローチャート

実験に使用するため，同一の被験者が「寺」と一文字署名する照明条件が異なる環境で撮影した動画を 10 種類用意した. それらの各動画を処理するのに要した時間を計測して総合することで各処理が全体に占める割合を求めた.

表 1　認証サービスを動作させたホストの構成

品名	仕様
OS	Ubuntu 10.04.1 LTS
CPU	Intel Xeon Processor W3520 2.67GHz
メモリ	3.6GB
NIC	Broadcom NetXtreme BCM5761
プロファイラ	gprof 2.20.1-system.20100303

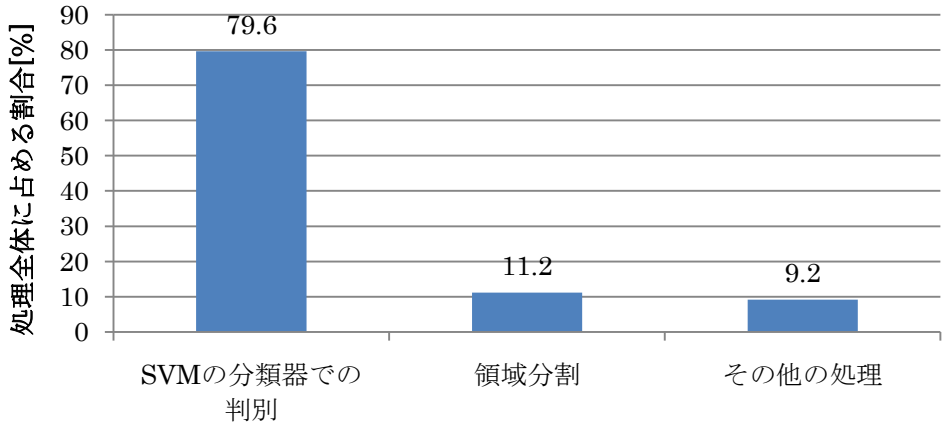


図 11　各ステップが処理全体に占める割合

4.2　評価結果

図 11 に認証サービスの各処理が処理全体に占める割合を示す. 処理時間は処理する動画に依存するものの，10 秒程度の署名動画に対して処理が完了するまで約 22～25 秒程度を要した．これはスマートフォンに対してサービスを提供するためには許容できない時間である．図 11 より，SVM で HoG の分類を行う個所が処理時間全体の 8 割近くを占めていることが分かる．従って，認証サービスの処理速度を向上させるためにはこの処理を軽量化することを考えなければならない.

ⓒ 2011 Information Processing Society of Japan

表 2　カーネルと分類精度一覧

カーネル	実行時間[ms]	分類精度[%]
線形カーネル	896	89.7
基底放射関数	2507	93.4

4.3 線形カーネル

SVM の処理を軽量化するために libsvm で用いるカーネルを基底放射関数に代えて，線形カーネルを用いる場合の実行時間と分類精度を評価する．線形カーネルを式(9)に示す．

$$K(x_i{}^t x) = x_i \cdot x \qquad (9)$$

線形カーネルはサポートベクトルと未知の特徴量との内積であるため，基底放射関数とは異なり，他の空間へ特徴量を写像するために用いることができない．基底放射関数と線形カーネルの比較は，同一の動画からカーネル関数に基底放射関数と線形カーネルを用いた分類器を作成し，動画 10 フレーム分の HoG を分類した際の実行時間と分類精度を調べた．表 2 に結果を示す．表 2 より，線形カーネルを用いた場合では基底放射関数に比べて処理精度が 3.7%低下するものの，処理時間は 2.8 倍ほど高速に処理が終了している．この処理時間の差は，基底放射関数と線形カーネルを用いた SVM の分類器を構成するサポートベクタの数によって生じたものと考えられる．基底放射関数と線形カーネルの分類器を構成するサポートベクタはそれぞれ 590 個と 140 個程度，HoG の次元数が 2592 であるため，1 つの HoG を分類するために行われる浮動小数点演算は前者の場合 150 万回程度，後者の場合 36 万回程度になり，両者には 4.2 倍の差がある．よって，処理時間の差はこの個所で生じたものと考えら得る．

5. まとめ

署名による生体認証を行うことで，クラウド上のストレージのファイルにモバイル機器からアクセスするようなアプリケーションをより安全に実現できると考えられる．そこで，本研究ではそのようなシステムのコアとなる，署名による個人認証をモバイル機器とクラウドを連携させることによって実現した．実装したシステムでは，ユーザが指先で天板に署名する様子をモバイル機器で撮影し，その処理をクラウドで行うことで認証を実現する.ユーザの指先を動画の各フレームから検出するに当たっては，矩形領域から算出される特徴量である HoG を用いた．HoG はそのままでは回転やズームの変化に対応することができない．そこで，本研究では領域分割と楕円近似を組み合わせることで，指先の向きが変わったり，署名の様子を撮影するモバイル機器との距離が変化したりした場合に対処した．また，指先近辺の HoG をそれ以外の個所の HoG と区別するため，SVM の分類器を用いた．指先を検出するまでの一連の動作の中で，基底放射関数をカーネル関数として用いた SVM の処理が大半を占めていることが計測により明らかとなった．そこで，カーネル関数を線形カーネルで置き換えることにより，高速に動作させられることが分かった．今後の課題として図 1 に示したシステム全体の完成を目指し認証システムとしての有用性を評価しなければならない．また，アクセラレータとして GPU を活用することで SVM の分類器の処理を高速化することを考えている．

参考文献

1) ITMedia 「Android，米スマートフォン市場で iPhone を抜いて 2 位に――米 Nielsen 調べ」http://www.itmedia.co.jp/enterprise/articles/1008/03/news015.html
2) 片桐雅二，杉村利明: ビデオカメラを用いた空中署名による個人認証の試み，電子情報通信学会技術研究報告. PRMU，パターン認識・メディア理解, vol.101, No.125, pp.9-16 (2001).
3) Muramatsu, D. Yasuda, K. and Matsumoto, T.: Biometric Person Authentication Method Using Camera-Based Online Signature Acquisition, Proc. 10th Int. Conf. Document Analysis and Recognition ICDAR '09, pp.46-50 (2009).
4) 中島章博，鹿嶋雅之，佐藤公則，渡邊睦: 指先署名による複合個人認証システムに関する研究(テーマセッション,映像ハンドリング技術とその応用)，電子情報通信学会技術研究報告. PRMU，パターン認識・メディア理解, vol.109, No.64, pp.129-134 (2009).
5) Plamondon, R. and Parizeau, M.: Signature verification from position, velocity and acceleration signals: a comparative study, Proc. th Int Pattern Recognition Conf, pp.260-265 (1988).
6) Dalal, N. and Triggs, B.: Histograms of oriented gradients for human detection, Proc. IEEE Computer Society Conf. Computer Vision and Pattern Recognition CVPR 2005, pp.886-893 (2005).
7) Comaniciu, D. and Meer, P.: Mean shift: a robust approach toward feature space analysis, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp.603-619 (2002).
8) C. S. Myers and L. R. Rabiner.: A comparative study of several dynamic time-warping algorithms for connected word recognition, The Bell System Technical Journal, 60(7), pp.1389-1409 (1981).

ⓒ 2011 Information Processing Society of Japan