Vol.2017-UBI-55 No.4
Vol.2017-ASD-9 No.4
2017/8/24

携帯電話の取出し動作に基づく画面ロック解除手法のなりすまし耐性の評価

出田 怜[1]　村尾和哉[2]　寺田 努[1,3]　磯 俊樹[4]　稲村 浩[5]　塚本昌彦[1]

概要：スマートフォンなどの携帯携帯端末に保存されている情報を保護する方法のひとつとして画面ロックが広く一般的に用いられている．しかし，携帯端末をポケットなどから取り出すたびに PIN を入力するなどの認証操作を行って画面ロックを解除する必要があり煩雑である．筆者らは, ユーザが意図して認証のための操作を行う必要がない新たな概念として *Casual identification* を提唱し，携帯端末に搭載された加速度センサと圧力センサを用いて，携帯端末をポケットから取り出す動作の加速度と端末の把持圧力から画面のロック解除を行う手法を提案した．*Casual identification* は認証のための意図した操作を必要としない認証であるため，他人受入率（FAR: False Acceptance Rate）が十分低くなるようにパラメータを設定すれば，本人拒否率（FRR: False Rejection Rate）が頻繁に認証に失敗する程度の値だとしても，認証システム全体としてのユーザの操作量は増えない．*Casual identification* の一例であるポケットからの取出し動作は携帯端末使用前に必ず行う動作であり，PIN や指紋のように他人から隠すことができない．従って，動作を模倣されたとしても，適切に認証を行うことができる必要がある．そこで，本論文では，携帯端末の日常生活での使用を想定して，ズボンのポケットからの取出し動作および机の上に置いている携帯端末の持ち上げ動作の模倣による成りすまし耐性の評価を行う．評価実験では，ズボンのポケットからの取出し動作の模倣による成りすまし耐性を 5 つの手法で評価した結果，FAR は最小 0.00，最大 0.10 であった．また，机の上に置いている携帯端末の持ち上げ動作の模倣による成りすまし耐性を 5 つの手法で評価した結果，FAR は最小 0.00，最大 0.52 であった．

キーワード：携帯端末；　画面ロック解除；　行動的特徴；　加速度センサ；　圧力センサ

1. はじめに

スマートフォンなどの携帯端末には電話番号などの個人情報，SNS のアカウント情報，インターネットバンキングのログイン情報などの重要な情報が記録されており，悪意のあるユーザから情報を保護する必要がある．携帯端末に保存されている情報を保護する方法のひとつとして画面ロックが広く一般的に用いられている．画面ロックとは，携帯端末の画面を OFF して，再度 ON する際に認証を求められる機能である．現在，携帯端末の画面ロック解除のための個人認証手法として PIN（Personal Identification Number）が広く用いられている．PIN は，数字の組合せ数によって安全性が保たれており，一般的な携帯端末用 OS の PIN は 10 進数 4 桁で，一万通りの組合せが存在する．PIN 以外の認証手法として，文字列パスワードやストロークパターンなどが用いられている．文字列パスワードはユーザの好きな文字や数字を使うことができ，PIN より組合せ数が多い．ストロークパターンはスマートフォンの画面上の格子点を指でなぞることで認証を行い，主に Android 端末で採用されている．また，指紋 [1] や指先の静脈の模様 [2]，声紋 [3]，眼球の虹彩 [4] などの身体的特徴を用いた手法がある．身体的特徴を用いた認証手法は身体の一部分をデバイスにかざすだけで認証できる．携帯端末では，Apple 社が開発している iPhone シリーズのように，指紋センサが搭載された機種が登場しており，指紋によって画面ロックの解除やアプリ購入時の本人確認を行うことができる．しかしながら，携帯端末は端末を使用するたびに画面ロック解除を行うため，一日に数十回も PIN の入力や

1　神戸大学
Kobe University, Kobe, Hyogo 657-8501, Japan
2　立命館大学
Ritsumeikan University, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan
3　科学技術振興機構さきがけ
PREST, JST, Chiyoda, Tokyo 102-0076, Japan
4　NTT ドコモ先進技術研究所
Research Laboratories, NTT DoCoMo, Yokosuka, Kanagawa 239-0847, Japan
5　はこだて未来大学
Future University Hakodate, Hakodate, Hokkaido 041-0803, Japan

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

指紋を照合する操作を行うこととなる．これに対し，ジェスチャ [5] や把持 [6]，歩容 [7] などの行動的特徴を用いて認証を行う手法も提案されている．行動的特徴として携帯端末を使用する直前の端末の動きの情報を用いれば，ユーザは意図的に画面ロック解除のための操作を行うことなく本人認証され，画面ロックが解除される．しかし，行動的特徴を用いた認証はユーザの行動の再現性の低さから，認証精度が低い点が欠点として挙げられる．

一般的に認証性能を評価する指標として本人拒否率（FRR: False Rejection Rate）と他人受入率（FAR: False Acceptance Rate）があり，ともに低いほど性能が良いことを示す．これらはトレードオフの関係にあり，パラメータによって調整できる場合がある．ここで，FAR が十分低くなるようにパラメータを設定すれば，FRR が頻繁に認証に失敗する程度の値で，かつ失敗後に従来の認証手法によって画面ロックを解除しても，認証システム全体としてのユーザの操作量は増えない．本論文のモチベーションは現在普及している PIN や指紋認証に替わる認証システムの構築ではなく，既存の認証手法に付加的に利用し，時々認証に成功することで既存の認証手法をスキップする新たな認証手法の構築であり，筆者らはこのような認証を *Casual identification* と呼ぶ．

筆者ら [8] は，*Casual identification* の一例として，ユーザが携帯端末を把持したときの把持圧力および腕の動きを行動的特徴として着目し，加速度センサと圧力センサを用いたポケットからの取出し動作による画面ロック解除手法を提案した．提案手法ではズボンのポケットから携帯端末を取り出す動作を用いることで，携帯端末をポケットから取り出すだけで画面ロックを解除でき，スムーズに携帯端末を利用できる．また，携帯端末を取り出す動作で画面ロック解除に失敗したとしても，PIN などの従来の認証システムによって画面ロック解除を行うため，ユーザへの負担が増加することはない．つまり，ユーザが携帯端末を取り出して操作しようとするときに，高い頻度ではないが，取り出し動作から認証が成功すれば画面ロックを解除してそのまま利用でき，認証が失敗すれば通常の認証手法で画面ロック解除を行う．また，取り出し動作による認証が失敗した後，通常の認証手法によって本人であることが判明するため，失敗した取り出し動作を本人のデータとして学習でき，事前のデータ収集が不要で，使い続けるにつれて取り出し動作による認証の性能が向上するという利点がある．また，現在，携帯端末で使用されている PIN や指紋などによる認証システムはのぞき見や複製の危険性があるが，動作を用いた認証システムは，PIN や指紋認証と比較して，目視のみでは複製が難しいとされている．そこで，本論文では，筆者らが提案した画面ロック解除手法の動作の模倣によるなりすまし耐性の評価を行う．

以下，2 章で関連研究を紹介し，3 章で認証の手順について説明する．4 章で評価を行い，最後に 5 章で本論文をまとめる．

2. 関連研究

2.1 動作を用いた認証システム

動作を用いた認証システムの例として，Ohta ら [5] は携帯端末に搭載された加速度センサを用いて腕を振る軌跡から認証する手法を提案している．評価実験より，加速度データの変化の大きい動作データを正解データとすることで，*FRR* を 1.5%未満，成りすまし成功率を 1%未満にまで抑えることに成功している．Luca ら [9] は携帯端末に搭載されているストロークパターン認証において，入力中の画面をタッチしている座標とタッチの強さの情報を付加することでより性能の高い認証手法を提案している．崎田ら [10] は Web カメラで指先をトラッキングし，認識した文字の筆跡を用いて個人認証する手法を提案している．このように動作を用いた認証システムは腕を振る，画面をタッチする，指で文字を描くなどの認証のための操作を必要とし，ユーザに負担をかける．一方で，Pohl ら [11] は物理ボタンの押し方で個人識別を行う手法を提案している．この手法ではボタンを押すだけで個人識別可能であり，複雑な操作，装置を必要としない．評価実験で，家族内やオフィス内といった小さなコミュニティ内での個人識別であれば十分な精度で認識できることを確認している．

2.2 圧力センサを用いたインタフェース

近年，圧力センサが搭載された携帯端末が登場しており，携帯端末の把持状態を認識して，入力インタフェースに応用したシステムが組み込まれている．HTC 社が 2017 年に発表したスマートフォン U11[*1] にはスマートフォンの側面片側に圧力センサが搭載されており，強い把持と弱い把持を認識して，入力インタフェースに利用できる．また，Synaptics 社の FUSE[*2] や NTT ドコモの Grip UI[*3] などにも圧力センサが搭載されており，圧力センサの導入コストがさらに下がれば，加速度センサのように多くの携帯端末に搭載される可能性がある．また，製品として登場しているアプリケーションでは，音量を調整する，電話に出るなどといった，従来，携帯端末に備わっていた物理ボタンの代替としての使用が目立つが，圧力センサを用いた入力インタフェースに関する研究は数多く行われていることから，今後幅広く使用されることが想定される．Spelmezan ら [12] は携帯端末の側面に 2 つの圧力センサを取り付け，センサを押す強さを 2 段階で識別し，押されたセンサと強さの組合せで，文書閲覧アプリケーションのスクロールや

*1 U11, HTC Corporation. http://www.htc.com/jp/smartphones/htc-u11/, 2017
*2 FUSE, Synaptics. http://www.synaptics.com/, 2010.
*3 Grip UI, NTT DoCoMo. http://www.diginfo.tv/v/12-0177-r-en.php/, 2012

Vol.2017-UBI-55 No.4
Vol.2017-ASD-9 No.4
2017/8/24

表 1 各認証手法の比較.

Ref.	Identifier	Performance	Extra task	Time
[5]	Body motion	FRR = 0.05 FAR = 0.08	Yes	Long
[6]	Grip gesture	EER = 0.02	Yes	Short
[9]	Stroke pattern	FRR = 0.19 FAR = 0.21	Yes	Short
[11]	Button press	Accuracy = 0.95	No	Short
[14]	Grip	FRR = 0.22 FAR = 0.09	No	Long
[15]	Grip	FRR = 0.11 FAR = 0.17	No	Long
[16]	Grip	EER = 0.10	No	Long

ページ遷移などに割り当て入力インタフェースを提案している．Miyaki ら [13] は片手で携帯端末を操作できる Grasp Zoom を提案している．圧力センサを携帯端末とその保護ケースの間に挟み込み，画面のタッチ操作などに圧力データを付加することで，例えば，地図アプリの地図の拡大・縮小のような，従来の携帯端末では両手を使わないと困難であった操作を片手で容易に操作できるようにしている．

2.3 圧力センサを用いた認証システム

圧力センサの入力インタフェース以外への利用として，認証システムへの利用に関する研究が数多く行われている．Chen ら [14], [15] は自動車のハンドルに取り付けた圧力センサシートを用いて運転手の把持パターンを認識し，個人認証を行うシステムを提案している．文献 [14] では，圧力センサシートから得られた把持データから特徴量を抽出し，認証判定を行っており，文献 [15] では圧力値の時系列データを用いて認証を行っている．これらは自動車のハンドルを握るだけで認証するシステムであり，ユーザは認証のための操作を必要としないが，認証判定に約 5 秒要する．村尾ら [6] は携帯端末の側面および背面に搭載された圧力センサを用いて，携帯端末を事前に登録した任意の握り方で把持することで個人認証を行う手法を提案している．携帯端末の把持は他人が模倣することは難しく，複製される危険性が低い．しかしながら，この手法では携帯端末を使用する前に特定の握り方で把持する必要があり，ユーザに認証のための操作を強いる．携帯端末のように使用のたびに認証を行う環境では，認証のための特別な操作を必要としないシステムが有用であると考えられる．Iso ら [16] は，携帯端末側面に搭載された圧力センサアレイを用いて，端末使用中の把持状態を識別し，個人認証を行っている．このシステムでは，使用中の把持データを使用するため常時認証を行うことができるが，高い認証性能を得るために約 30 秒の動作データを要する．

Right side of the device. Left side of the device. Pressure sensor array

図 1 圧力センサの位置

2.4 関連研究のまとめ

表 1 に本章でこれまでに紹介した認証手法をまとめる．文献 [5], [6], [9] では腕を振る，端末を握る，画面に触るなどの動作をユーザに要求している．文献 [11], [14], [15], [16] は認証のための操作や動作を必要とせず，ユーザに負担はかからない．文献 [14], [15], [16] は高い認証性能を実現するために 5 秒から数十秒の動作データが必要であり，画面ロック解除のための認証には適用できない．文献 [11] はユーザに負担をかけずに高い識別性能を得ているが，物理ボタンを押すという環境に限定されており，携帯端末の画面ロック解除にそのまま適用することは難しい．

これらの認証手法を従来の PIN や指紋認証にとって代わって使用する場合，性能が低い，意図的な動作が必要である，認証に時間を要するなどの問題点がある．

3. 認証システム

本章では，携帯端末に搭載された加速度センサおよび圧力センサを用いて，ポケットから端末を取り出す際の加速度と把持圧力を取得することで画面ロック解除を行う個人認証システムについて述べる．

3.1 システム構成

本論文では携帯端末の両側面と背面に圧力センサアレイを配置する．**図 1** に携帯端末に搭載した圧力センサの位置を示す．図のように両側面および背面に 5 本の圧力センサアレイを搭載した．図 1 に示すように圧力センサアレイを携帯端末の両側面に 1 本ずつ，背面に 3 本の合計 5 本搭載した．使用した圧力センサアレイは PPS 社 *4 の DIGITACTS MODEL ♯:5420 で，一本の圧力センサアレイは 12 個のセンサエレメントから構成されており，センサエレメント一つの大きさは 4 × 6.7[mm]，センサのレンジは 5[PSI]*5 である．また，サンプリング周波数は 50[Hz] とした．各圧力センサアレイは有線で PC と接続され，PC にデータを保存する．加速度センサは携帯端末に内蔵されているものを使用する．携帯電話の機種は covia 社の FleaPhone CP-F03a であり，加速度センサのレンジ

*4 Pressure Profile System. http://www.pressureprofile.com/
*5 1[PSI]=6.895[kPa]

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

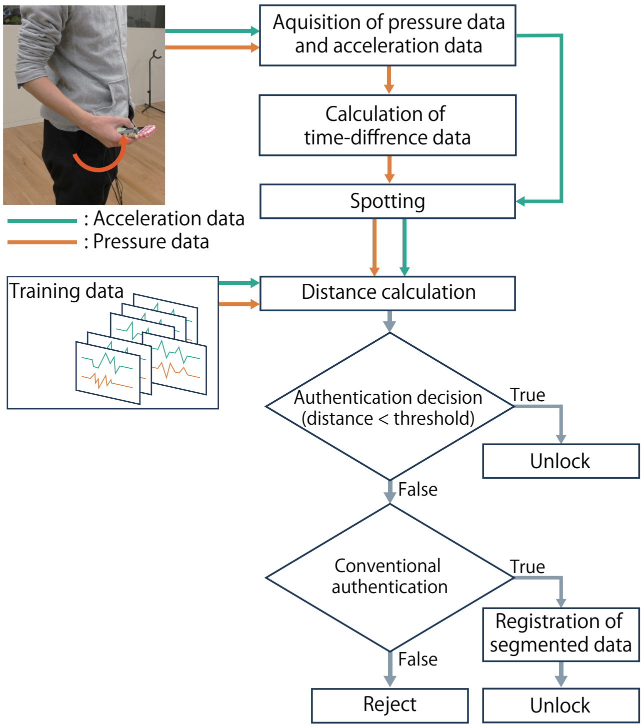

図 2　システム構成

は ±2[G] である．また，サンプリング周波数は 50[Hz] とした．加速度データはスマートフォンの内臓メモリに保存し，動作データ取得後に PC へと送信する．

図 2 に提案システムの構成を示す．画面ロック解除の処理は以下に示す 5 段階からなり，本節ではそれぞれの処理手法について述べる．

- 加速度データおよび圧力データの取得
- 圧力データにおける時間差分データの導出
- 取出し動作区間の抽出
- 学習データとの距離計算
- 認証判定

3.1.1　加速度データおよび圧力データの取得

5 本の圧力センサアレイを貼り付けた携帯端末を用いて，ズボンのポケットから取り出す際の加速度および把持圧力差のデータを採取する．**図 3** に携帯端末を握った様子と，その際に採取された圧力値を示す．1 本のセンサアレイには 12 個のセンサエレメントが搭載されており，5 本のセンサアレイから 60 次元の圧力値を 1 サンプルとしたデータが取得できる．図の 5 本の青いバーが圧力センサアレイを表しており，握って圧力が加わっている部分は色が薄くなっている．このように携帯端末を握った箇所と握る力を測定することができる．図中に示すように携帯端末の左側面のセンサアレイの ID を 0 番とし，右側面のセンサアレイの ID を 4 番とする．また，同時に携帯端末に内蔵されている加速度センサから 3 軸データを取得する．合計 63 次元のセンサデータを 1 サンプルとしたデータが取得できる．加速度データと圧力センサデータの同期方法はデータ取得開始前に端末を強く握りながら振ることで，センサデータの取得タイミングを合わせる．

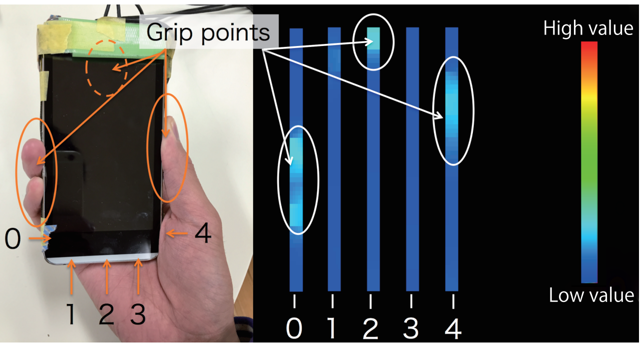

図 3　圧力センサから得られるデータ

3.1.2　圧力データにおける時間差分データの導出

本研究で用いている圧力センサアレイは柔らかく，センサに歪みが生じて，握っていないときも圧力値が出力されてしまい，加えられた把持圧力に対する出力値が一定でないことがあるため，生の圧力データではなく時間差分データを用いる．時間差分データを用いることでセンサの歪みによる影響を緩和している．具体的には，N 個の圧力センサエレメントから時刻 t に取得した生の圧力値を $\mathbf{F}(t) = (f_1(t), f_2(t), \ldots, f_N(t))^T$ とする．ただし，$f_i(t)$ $(1 \leq i \leq N)$ は i 番目の圧力センサエレメントの値であり，本論文では $N = 60$ である．$(\bullet)^T$ は $(\bullet)$ の転置行列である．次式に従い，時間差分データ $\mathbf{G}(t) = (g_1(t), g_2(t), \ldots, g_N(t))^T$ を導出する．

$$\mathbf{G}(t) = \mathbf{F}(t) - \mathbf{F}(t-1) \qquad (1)$$

3.1.3　取出し動作区間の抽出

携帯端末がポケットから取り出されている区間の波形を抽出する．加速度センサの値が変動している区間を切り出す手法では，歩行など他の動作を誤検出してしまう．そこで，動作の開始は圧力センサデータから判断する．**図 4** に携帯端末をズボンの右ポケットから取り出したときの 3 軸加速度の合成値の時系列波形とあらかじめ設定した閾値を超えた圧力センサエレメントの数を表す棒グラフを示す．提案手法では，閾値以上の圧力値を示すセンサエレメントの数が一定数を超えたときを動作開始と判断する．具体的には，センサデータを取得するたびに，$|g_i(t)| > g_{Th}$ $(1 \leq i \leq N)$ を満たすセンサエレメントの個数 N' を数える．g_{Th} はあらかじめ設定した圧力時間差分データに対する閾値であり，4 章の評価実験で集めた動作データを用いて適切に把持を判断できる値として，1.38[kPa] とした．$N' > N_{Th}$ を初めて満たす時刻 $t = T_a$ を取出し動作の開始点とし，圧力データおよび加速度データの取得を開始する．N_{Th} はあらかじめ設定した閾値であり，本論文では，4 章の評価実験で集めた動作データから適切に開始点を判断できる値として，$N_{Th} = 3$ とした．

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

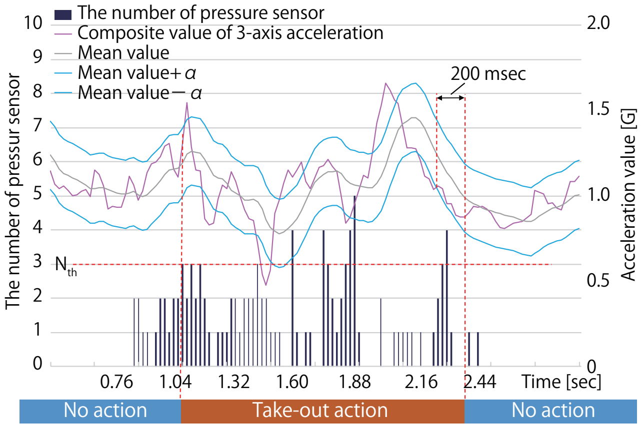

図 4 ポケットからの取出し動作区間の抽出

取出し動作が開始された後，動作の終了を検出を行う．動作の開始前と異なり，動作終了後も携帯端末は把持されたままであるため，動作の終了を圧力時間差分データから判断することは難しい．従って，3 軸加速度の合成値の現在値と移動平均値の乖離から取出し動作の終了を検出する．具体的には，時刻 t における 3 軸加速度の合成値は以下の式より導き出される．

$$c(t) = \sqrt{x(t)^2 + y(t)^2 + z(t)^2} \quad (2)$$

現在時刻を $t = T$ とすると，次式に示すように時刻 $t = T$ から過去 10 サンプル（200 ミリ秒）の 3 軸加速度の合成値の移動平均値 $\overline{c}(T)$ を求める．

$$\overline{c}(T) = \frac{1}{10}\sum_{t=T-9}^{T} c(t) \quad (3)$$

動作中は加速度の合成値と移動平均値との差は大きいと考えられる．$|c(T) - \overline{c}(T)| < c_{Th}$ を T' ミリ秒間満たした時刻を動作の終了と判断し，$t = T_b$ を終了点とする．本論文では 4 章の評価実験で集めた動作データを用いて適切に終了点を判断できる値として c_{Th} を 0.2[G]，T' を 200 ミリ秒と設定した．$T_b - T_a$ 間の圧力および加速度データを取得し，次式に示す行列を得る．

$$\mathbf{G} = \begin{pmatrix} g_1(T_a) & g_1(T_a+1) & \cdots & g_1(T_b) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ g_{60}(T_a) & g_{60}(T_a+1) & \cdots & g_{60}(T_b) \\ x(T_a) & x(T_a+1) & \cdots & x(T_b) \\ y(T_a) & y(T_a+1) & \cdots & y(T_b) \\ z(T_a) & z(T_a+1) & \cdots & z(T_b) \end{pmatrix} \quad (4)$$

3.1.4 学習データとの距離計算

入力された動作データと事前に登録されている本人の学習データとの距離を算出する．時系列データの類似度の算出はデータマイニングの分野において広く利用されており，最も単純な算出方法として，ユークリッド距離が用いられる．しかしながら，ユークリッド距離は比較する 2 つの時系列データの長さが同じでなければならず，ジェスチャデータの比較には不向きである．2 つの異なる長さの時系列データの類似度算出手法として，Dynamic Time Warping（DTW）[17] がよく用いられる．DTW は動的計画法に基づく非線形圧縮距離を計算することで，長さや部分的に速さの異なる時系列データの距離を算出することができ，ジェスチャ認識の主要な距離計算アルゴリズムである．提案手法では，この DTW を用いて，時系列データの距離計算を行う．

同じポケットからの取出し動作の軌跡は再現性が高い．一方，携帯端末の把持の仕方は，同じポケットからの取出しであっても状況によって変化する．したがって，両センサデータともそのユーザの明確な特徴が現れていないため，工夫が必要である．把持と取出し動作には相互に関係していると考えられる．そこで，把持情報である圧力時間差分データと動作の情報である加速度データを相互的に利用する手法を検討する．距離計算手法の一例の概要を **図 5** に示す．図の左側の波形はポケットからの取出し動作中の圧力波形を示しており，右側のデータ波形は加速度データを示している．また，圧力時間差分データは見やすくするため，図中では 1 次元で表現している．長さ L の入力データを $\mathbf{L}_p = (x_{p,1}, x_{p,2}, \ldots, x_{p,L})$ とし，長さ M の学習データを $\mathbf{Y}_p = (y_{p,1}, y_{p,2}, \ldots, y_{p,M})$ とする．まず最初に $d_p(i,j) = |x_{p,i} - y_{p,j}|$ より定義される $L \times M$ 行列を作成する．次に図 5 の左側に示すように，入力された圧力時間差分データとあらかじめ学習しておいた圧力時間差分データ $\mathbf{X}_p$ と $\mathbf{Y}_p$ のインデクスのペアからワーピングパス $W = (w_1, \ldots, w_k)$ を検索する．W は次の 3 つの条件を満たす．

- Boundary:
  $w_1 = (1,1), w_k = (l,m)$
- Seriality:
  $w_k = (a,b), w_{k-1} = (a',b') \Rightarrow a - a' \leq 1 \wedge b - b' \leq 1$
- Monotony:
  $w_k = (a,b), w_{k-1} = (a',b') \Rightarrow a - a' \leq 0 \wedge b - b' \leq 0$

上記の条件を満たす最小のパスを検索するため，以下の手順を適応する．

Initialization:

$f(0,0) = 0$
$f(i,0) = \infty$ for $i = 1, \ldots, L$
$f(0,j) = \infty$ for $j = 1, \ldots, M$

Do for $i = 1, 2, \ldots, L$
 Do for $j = 1, 2, \ldots, M$

$$f(i,j) = d_p(i,j) + min \begin{cases} f(i-1, j-1) \\ f(i-1, \quad j \quad) \\ f(\quad i \quad, j-1) \end{cases} \quad (5)$$

Output:

Return W

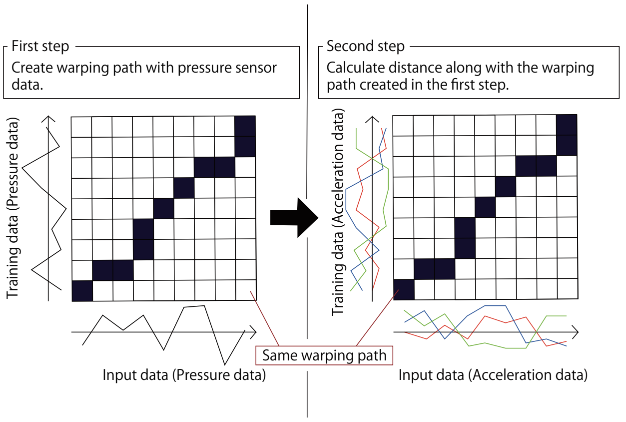

図 5 センサデータを相互的に利用した距離計算手法の一例

そして，図 5 の右側に示すように，作成したワーピングパス W を用いて，入力された加速度データと学習された加速度データとの DTW 距離を算出する．ワーピングパス $W = (1,1), \ldots, (w_i.X, w_i.Y), \ldots, (w_{L_W}.X, w_{L_W}.Y)$ を用いて，DTW 距離 $DTW(\mathbf{X}_a, \mathbf{Y}_a)$ を算出する．

Do for $i = 2, 3, \ldots, L_W$

$$f(w_i.X, w_i.Y) = d_a(w_i.X, w_i.Y) + f(w_{i-1}.X, w_{i-1}.Y) \quad (6)$$

Output:

Return $DTW(\mathbf{X}_a, \mathbf{Y}_a) = f(w_{L_W}.X, w_{L_W}.Y)/(w_{L_W}.X + w_{L_W}.Y)$

L_W はワーピングの長さである．$w_i.X$ は圧力時間差分データを用いて作成したワーピングパスの入力データ側の i 番目のインデクスであり，$w_i.Y$ はワーピングパスの学習データ側の i 番目のインデクスである．DTW 距離は比較する時系列データが長くなると大きくなるため，得られた DTW 距離 $DTW(\mathbf{X}_a, \mathbf{Y}_a)$ を入力データと学習データの長さで割ったものを 2 つの時系列データの距離とし，認証判定に用いる．図 5 で説明した手法の他にも，加速度データを用いてワーピングパスを検索し，圧力時間差分データを用いて距離計算を行う手法，圧力時間差分データを用いてワーピングパスを検索し，圧力時間差分データを用いて距離計算を行う手法，加速度データを用いてワーピングパスを検索し，加速度データを用いて距離計算を行う手法，圧力時間差分データと加速度データを用いてワーピングパスを検索し，圧力時間差分データと加速度データを用いて距離計算を行う手法の 5 通りの手法が考えられる．

3.1.5 認証判定

算出された $DTW(\mathbf{X}_a, \mathbf{Y}_a)$ とあらかじめ設定した閾値 d_{Th} を比較して認証判定を行う．$DTW(\mathbf{X}_a, \mathbf{Y}_a) < d_{Th}$ を満たすとき，システムは画面ロックを解除する．満たさなければ，PIN や指紋認証などの従来の認証システムを起動する．従来の認証システムで画面ロックの解除を行った時，その時の取出し動作データを学習データとして更新もしくは追加することで，ユーザに意図させることなくシステムに動作データを登録させることができる．

閾値 d_{Th} を高く設定すると他人でも容易に画面ロックを解除できてしまう．d_{TH} を低く設定するとセキュリティレベルは高くなり，FAR は低くなる．

4. 評価

動作を模倣することによって，他人でも携帯端末の画面ロックを解除できる可能性がある．そこで本節では，ズボンのポケットからの取出し動作の模倣による成りすまし耐性の評価および日常生活での使用を想定して，机の上に置いている携帯端末の持ち上げ動作の模倣による成りすまし耐性の評価を行った．

4.1 ポケットからの取出し動作の模倣による成りすまし耐性の評価

4.1.1 実験の手順

20 代の被験者 10 名にある被験者が携帯端末をズボンのポケットから取り出している動作の動画を視聴してもらい，その後，その動作を 10 回模倣してもらって，合計 100 回分の圧力データおよび 3 軸加速度データを採取した．被験者にはこの携帯端末の取出し動作で画面ロックの解除を行うことができることを知らせ，動作をできる限り忠実に再現するよう指示した．手本にした動作データ 1 回を提案システムに登録しておき，取得した動作で画面ロックの解除を試みる．認証判定に用いる閾値 d_{Th} は任意の被験者の 10 回の動作データを本人データとして登録し，閾値 d_{Th} を変化させながら FAR を算出する．FAR= 0 となる最大の d_{Th} を算出し，10 人分の d_{Th} の平均値を評価で用いた．この閾値での FAR および FRR を算出する．なお，本人の動作データは 24 回分取得した．また，3 章で述べた認証システムでは，学習データとの距離計算において 2 種類のセンサデータのうち，どちらか一方，もしくは両方のセンサデータを用いてワーピングパスを作成し，作成したワーピングパスを用いて距離計算を行う．従って，5 通りのパターンが存在する．そこで，加速度データからワーピングパスを検索し，圧力時間差分データを用いて距離計算を行う手法を手法 1，圧力時間差分データからワーピングパスを検索し，加速度データを用いて距離計算を行う手法を手法 2，圧力時間差分データからワーピングパスを検索し，圧力時間差分データを用いて距離計算を行う手法を手法 3，加速度データからワーピングパスを検索し，加速度データを用いて距離計算を行う手法を手法 4，圧力時間差分データと加速度データからワーピングパスを検索し，圧力時間差分データと加速度データを用いて距離計算を行う手法を比較手法 5 として，それぞれの手法で FAR および FRR を算出する．

表 2 各手法における FAR と FRR（A:加速度データ, P:圧力データ）

手法（ワーピングパス，距離計算）	FAR	FRR
手法 1（A，P）	0.07	0.13
手法 2（P，A）	0.02	0.08
手法 3（P，P）	0.10	0.25
手法 4（A，A）	0.00	0.25
手法 5（A+P，A+P）	0.10	0.79

表 3 各手法における FAR と FRR（A:加速度データ, P:圧力データ）

手法（ワーピングパス，距離計算）	FAR	FRR
手法 1（A，P）	0.49	0.04
手法 2（P，A）	0.00	0.16
手法 3（P，P）	0.15	0.04
手法 4（A，A）	0.52	0.2
手法 5（A+P，A+P）	0.00	0.2

4.1.2 結果

表 2 にズボンのポケットからの取出し動作の各手法における FAR と FRR を示す．表中の A と P は使用するセンサデータの種類を表しており，例えば，手法 1(A,P) というのは，加速度データを用いてワーピングパスを検索し，圧力時間差分データを用いて距離計算を行う手法であることを示している．FAR が最小となったのは手法 4 であり，$FAR = 0.00$ であった．このときの FRR は 0.25 であり，取出し動作の模倣による成りすまし耐性は高く，また，4 回に 3 回の頻度で，携帯端末の画面ロックを解除できる．FRR が最小となったのは手法 2 であり，FRR= 0.08 であった．また，手法 2 の FAR は 0.02 と低いため，閾値を適切な値に設定すれば，手法 4 と同等の性能になると考えられる．手法 2 と手法 4 はともに加速度データを用いて，距離計算を行っている．今回の評価実験で被験者が履いていたズボンには様々な形状のポケットがついており，ポケットからの取出し動作はポケットの形状に影響されるため，正解の取出し動作で使用していたポケットと異なるポケットであった場合は，模倣が困難であったと考えられる．また，把持は再現性が低いため，手法 3 のように圧力時間差分データのみを用いて認証判定を行うと，FAR, FRR ともに高くなっている．手法 1 や手法 2 のように，センサを相互に利用することで，FAR，FRR ともに低くすることができている．

4.2 机の上の携帯端末の持ち上げ動作の模倣による成りすまし耐性の評価

4.2.1 実験の手順

20 代の被験者 10 名にある被験者が机の上に置いている携帯端末を持ち上げる動作の動画を視聴してもらい，その後，その動作を 10 回模倣してもらって，合計 100 回分の圧力データおよび 3 軸加速度データを採取した．被験者にはこの携帯端末を持ち上げる動作で画面ロック解除を行うことができることを知らせ，動作をできる限り忠実に再現するよう指示した．手本にした動作データ 1 回を提案システムに登録しておき，取得した動作で画面ロックの解除を試みる．認証判定に用いる閾値 d_{Th} は任意の被験者の 10 回の動作データを本人データとして登録し，閾値 d_{Th} を変化させながら FAR を算出する．FAR= 0 となる最大の d_{Th} を算出し，10 人分の d_{Th} の平均値を評価で用いた．この閾値での FAR および FRR を算出する．なお，本人の動作データは 24 回分取得した．前節のズボンのポケットからの取出し動作の模倣による評価と同様に，加速度データからワーピングパスを検索し，圧力時間差分データを用いて距離計算を行う手法を手法 1，圧力時間差分データからワーピングパスを検索し，加速度データを用いて距離計算を行う手法を手法 2，圧力時間差分データからワーピングパスを検索し，圧力時間差分データを用いて距離計算を行う手法を手法 3，加速度データからワーピングパスを検索し，加速度データを用いて距離計算を行う手法を手法 4，圧力時間差分データと加速度データからワーピングパスを検索し，圧力時間差分データと加速度データを用いて距離計算を行う手法を比較手法 5 として，それぞれの手法で FAR および FRR を算出する．

4.2.2 結果

表 3 に机の上の携帯端末の持ち上げ動作の各手法における FAR と FRR を示す．表中の A と P は表 2 と同様に使用するセンサデータの種類を表している．FAR が最小となったのは手法 2 と手法 5 であり，FAR= 0.00 であった．このときの FRR は手法 2 では 0.16 であり，手法 5 では 0.2 であった．手法 1 と手法 4 では他の手法と比較して，FAR が高く成りすまし耐性が低い．手法 1 と手法 4 はワーピングパスの検索に加速度データを用いているが，携帯端末の持ち上げ動作は再現性が高く，模倣しやすいため，FAR が高くなったと考えられる．ワーピングパスの検索に把持を用いた場合，FAR が低くなっている．持ち上げ動作の目視では，携帯端末の把持している位置は把握することはできるが，把持の力の強さはまで把握することができなかったため FAR が低くなったと考えられる．従って，机の上に置いている携帯端末の持ち上げ動作のように模倣しやすい動作の場合は把持力を用いることで，認証性能が向上すると考えられる．

5. まとめと今後の課題

本論文では，新しい認証手法の概念である *Casual identification* の一例として，圧力および加速度センサを用いて，携帯端末をポケットから取り出す動作により携帯端末の画面ロックを解除を行う手法について述べた．取出し動作と把持という 2 つの行動的特徴を認証に用いることで，従来の認証手法のようなパスワードの入力や腕を振る動作といった画面ロック解除のための特別な操作なしに画面ロックを解除できる．評価実験より，ズボンのポケットからの取出

し動作の模倣による成りすましについては，加速度データのみを用いた手法 4 を用いると，FAR= 0.00，FRR= 0.25 となった．また，机の上に置いてある携帯端末を持ち上げる動作の模倣による成りすましについては，圧力時間差分データを用いてワーピングパスを検索し，加速度データを用いて距離計算を行う手法 2 を用いると，FAR= 0.00，FRR= 0.16 となった．今後の課題として，今回，評価実験ではあらかじめ 10 回分の動作データを本人データとして登録し，FAR を算出することで閾値を決定したが，ユーザに意図させないことが *Casual identification* の利点であるため，ユーザに学習を要求しないことが望ましい．従って，閾値を動的に更新する方法を構築する予定である．また，認証性能を向上させるために，動作中の圧力データと加速度データの関係性を詳細に調査し，それらを踏まえた動作区間の抽出や距離計算，動作の学習を行っていく予定である．

本手法の長所は認証のための特別な操作が不要であることと，仮にポケットからの取出し動作で画面ロックの解除に失敗してもそのあとに他の認証手法で画面ロックを解除できることである．指紋などの身体的特徴を用いた画面ロック解除と比較して，性能は劣るが，FAR を低くし，セキュリティレベルを上げて使用することで十分に実用的な画面ロック解除システムになり得ると考えている．

参考文献

[1] Chen, C.-L., Lee, C.-C. and Hsu, C.-Y.: Mobile device integration of a fingerprint biometric remote authentication scheme, *International Journal of Communication Systems*, Vol. 25, No. 5, pp. 585–597 (2012).

[2] Suzuki, H., Shu, L., Urabe, T., Obi, T. and Ohyama, N.: Security Enhancement of Secure Finger-vein Sensor Based on Compressed Sensing, *ITE Transactions on Media Technology and Applications*, Vol. 3, No. 4, pp. 245–250 (2015).

[3] Gupta, S. and Chatterjee, S.: Text Dependent Voice Based Biometric Authentication System Using Spectrum Analysis and Image Acquisition, *Advances in Computer Science, Engineering and Applications*, Vol. 166, pp. 61–70 (2012).

[4] Schmid, N., Zuo, J., Nicolo, F. and Wechsler, H.: Iris Quality Metrics for Adaptive Authentication, *Advances in Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 67–84 (2013).

[5] Ohta, M., Namikata, E., Ishihara, S. and Mizuno, T.: Individual authentication for portable devices using motion features, *Proceedings of the 1st International Conference on Mobile computing and Ubiquitous networking*, pp. 100–105 (2004).

[6] Murao, K., Tobise, H., Terada, T., Iso, T., Tsukamoto, M. and Horikoshi, T.: Mobile phone user authentication with grip gestures using pressure sensors, *International Journal of Pervasive Computing and Communications*, Vol. 11, No. 3, pp. 288–301 (2015).

[7] Gafurov, D., Helkala, K. and Sndrol, T.: Biometric Gait Authentication Using Accelerometer Sensor, *Journal of Computers*, Vol. 1, No. 7 (2006).

[8] Izuta, R., Murao, K., Terada, T., Iso, T., Inamura, H. and Tsukamoto, M.: Screen Unlocking Method Using Behavioral Characteristics when Taking Mobile Phone from Pocket, *Proceedings of the 14th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multi Media*, pp. 110–114 (2016).

[9] De Luca, A., Hang, A., Brudy, F., Lindner, C. and Hussmann, H.: Touch Me Once and I Know It's You!: Implicit Authentication Based on Touch Screen Patterns, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 987–996 (2012).

[10] 崎田隆行，鹿嶋雅之，佐藤公則，渡邊　睦：指先トラッキングとその軌跡抽出を用いた個人認証に関する研究 (パターン認識・メディア理解のための学習理論とその周辺)，電子情報通信学会技術研究報告，Vol. 107, No. 384, pp. 59–64 (2007).

[11] Pohl, H., Krause, M. and Rohs, M.: One-button Recognizer: Exploiting Button Pressing Behavior for User Differentiation, *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, pp. 403–407 (2015).

[12] Spelmezan, D., Appert, C., Chapuis, O. and Pietriga, E.: Side Pressure for Bidirectional Navigation on Small Devices, *Proceedings of the 15th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services*, pp. 11–20 (2013).

[13] Miyaki, T. and Rekimoto, J.: GraspZoom: Zooming and Scrolling Control Model for Single-handed Mobile Interaction, *Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, pp. 11:1–11:4 (2009).

[14] Chen, R., She, M., Wang, J., Sun, X. and Kong, L.: Driver verification based on handgrip recognition on steering wheel, *Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 1645–1651 (2011).

[15] Chen, R., She, M. F., Sun, X., Kong, L. and Wu, Y.: Driver Recognition Based on Dynamic Handgrip Pattern on Steeling Wheel, *Proceedings of the 12th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing*, pp. 107–112 (2011).

[16] Iso, T. and Horikoshi, T.: Statistical approaches for personal feature extraction from pressure array sensors, *Proceedings of the Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processingn*, pp. 129–132 (2013).

[17] Myers, C. S. and Rabiner, L. R.: A Comparative Study of Several Dynamic Time-Warping Algorithms for Connected-Word Recognition, *Bell System Technical Journal*, Vol. 60, No. 7, pp. 1389–1409 (1981).

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan