

氏名	今野 慎介
学位名	博士（システム情報科学）
学位記番号	第30号
学位授与年月日	平成28年3月24日
学位論文題目	マルチバイオメトリクス導入による歩行動作特徴を考慮した個人認証法 A Personal Authentication Method Based on Features of Walking Motion with Multibiometrics
論文審査委員	主査 高橋 修 副査 藤野 雄一 副査 佐藤 仁樹 副査 白石 陽

論文要旨

スマートフォンをはじめとした携帯端末は、不正利用から守るためのセキュリティ機能が強化され続けている。個人認証機能もその一つであり、従来の personal identification numbers (PINs) による認証から、近年は不正解除が困難なパターンロックや指紋認証などを搭載した機種も存在している。しかしながら、その操作の煩わしさが原因となり、約半数のユーザは個人認証機能を利用していないとの報告が、複数のニュースやアンケートでなされている。

この問題を解決するため、個人認証機能の利用時に感じる不便さや煩わしさを軽減する目的で、端末を振る動作やディスプレイを軽く触れるタップなど、簡単な動作を基に個人認証を行う研究がされてきた。しかしながら、これらの認証法は意識的な認証動作を行う必要があり、ユーザが感じる煩わしさを完全に解決することはできない。その一方で、日々繰り返される動作により、個人認証を確立できる可能性も存在する。そのような認証手法は、意識的な操作とは関係なく、バックグラウンドで端末のロック解除を行うことが可能となる。本研究で対象とする歩行動作に基づく認証も、このような認証法の一つである。

本研究は、ユーザが認証操作に対して感じる煩わしさを無くすために、認証操作と意識しない動作である歩行動作を基に個人認証を行う手法（以下、歩行認証）について研究を行うものである。歩行認証は、歩行動作をウェアラブルセンサを使用して計測する。ユーザは歩行中であれば、意識的な認証操作することなしに、スマートフォンのロックを解除することができる。歩行認証の従来研究は、認証精度の低さや、日常生活に取り入れることが困難な部位で歩行動作の計測を行っていた問題があった。本研究は、ユーザが煩わ

しさを感ずずに受け入れ可能な端末所持部位としてズボン前ポケットを採用する。本研究の目的は、ズボン前ポケットにおいて高精度な認証法を確立することである。本研究では、認証精度低下の複数の要因に対応するために、1つの認証システムに、以下の複数の手法を適用する。

1. SVMを用いて本人／本人以外の認証を行う際に、入力信号とテンプレート信号間で算出した以下の複数の距離を特徴量とすることにより、認証精度を改善する。

- (1) 3軸加速度ベクトルの方向の違いによる距離
- (2) 角速度信号のマンハッタン距離
- (3) 加速度信号のマンハッタン距離

また、認証精度向上に寄与する信号間距離を取得するために、以下の手法を歩行認証のプロセスへ導入した。

2. 時間領域における認証用信号の抽出手法
3. テンプレート信号の複数選出による照合手法

各提案手法の詳細は以下のとおりである。

1. SVMを用いた複数の距離を特徴量とする認証法

認証システムの基礎となる提案手法は、マルチバイオメトリクス of 1 手法であるマルチセンサを採用した。本研究におけるこの認証法は、身体の一部に取り付けた複数センサ（加速度・角速度）の信号から得た複数の距離を基に、SVMを用いて認証を行う。従来研究の多くは単一のセンサを使用して様々な特徴量を用いた認証法が試みられていたが、被験者数が多い場合は十分な認証精度は得られていなかった。その一方、身体複数の部位にセンサを取り付けた従来研究は高い精度を報告していたが、ユーザにとって負担の大きな認証法となる。一つのスマートフォンに複数のセンサを搭載することは可能であり、ユーザは煩わしさを感じることなく、体の一個所に身に付けた複数のセンサを使用した認証を実現できる。

単一センサを用いた従来研究において、類似度や距離に基づいた認証法の方が、信号から抽出した特徴量による認証法より優れた性能を示していた。この結果は、歩行認証には振幅情報だけでなく時間情報も重要であることを示していると考えられる。従来研究においては、距離を特徴量とする識別器を用いた認証法は試みられていなかった。このことから、Dynamic Time Warping (DTW) を使用して計算された複数センサ信号の信号間距離を基に、SVMによってユーザの認証を行うスコアレベル Fusion を導入することを提案した。この手法に加えて、異なるタイプのセンサによって計測された信号は異なる特性を持つので、それぞれのセンサのタイプに合わせた以下の最適な距離計算法を提案した。

- (1) 3軸加速度ベクトルの方向の違いによる距離

加速度は運動の中心からの距離に比例する。脚を振る動作を円運動と見なし、加速度信号間距離は3軸加速度ベクトルの方向の違いを距離として計算した。

(2), (3) 角速度信号及び, 加速度信号のマンハッタン距離

各センサでは測定される信号の性質が異なることから, センサの種類に応じた最適な信号間距離計算法を適用することを提案した. 単一軸の角速度信号と加速度信号の距離は予備実験の結果を基に, 2乗平均平方根 (RMS) で振幅を正規化した後に距離計算を行った.

2. 時間領域における認証用信号の抽出手法

信号間距離の計算には, 認証用信号を正確に抽出することが重要である. 極大値の選出と DTW を組み合わせた時間領域での信号のセグメンテーション手法を導入した.

3. テンプレート信号の複数選出による距離計算法

信号の多様性に対応するためにテンプレート信号数を複数使用し, 1周期の入力信号との間で求めた距離の中央値とした.

複数の提案手法を組み込んだ認証システムの最高精度は被験者が 50 人の場合は, equal error rate (EER) の値が 0.6%であった. 更に, より実際の使用環境に近いデータを用いて認証精度の検証を行うために, 実際の使用状況に近い状況下で 17 人の被験者から収集したデータに提案システムを適用した結果を, この論文では報告した. この実験における提案システムは高い認証精度を保った. その最高精度は EER=0.2%であった. 実験結果は, 身体の 1箇所にセンサを装着した従来研究と比べて, 提案システムは利便性を損なうことなく,

高い精度で認証できることを示した. これらの結果により, 本研究で提案する歩行認証システムは, ユーザが感じる認証操作の煩わしさと, 低い認証精度の 2つの問題を解決することができ, ユーザにとって受け入れ易い認証法として実現可能であることを示すことができた.

キーワード: 歩行認証, スマートフォン, 加速度センサ, 角速度センサ, dynamic time warping, マルチセンサ, マルチサンプル, スコアレベル fusion

審査結果の要旨

学位論文は以下の構成となっており, 審査委員からのコメントを反映したものであり, 博士論文として十分な内容となっている.

・学位論文の構成

第 1 章 序論

第 2 章 関連研究

第 3 章 提案手法

第 4 章 提案手法の評価

第 5 章 結論

近年、スマートフォンをはじめとした携帯端末は重要な機能や情報が携帯端末に搭載・蓄積されるようになり、不正利用から守るためのセキュリティ機能も強化されている。個人認証機能もその一つであり、従来のPINによる認証から、近年は不正解除が困難なパターンロックや指紋認証などを搭載した機種も存在している。しかしながら、その操作の煩わしさが原因となり、約半数のユーザは個人認証機能を利用されていないとの報告がある。本研究は、ユーザが認証操作に対して感じる煩わしさを無くすために、マルチバイオメトリクスの一つである複数のウェアラブルセンサを用いて歩行動作を計測して個人認証を行う手法（歩行認証）に関するものである。歩行認証の従来研究では、認証精度の低さや、日常生活に取り入れることが困難な部位で歩行動作の計測を行っていたことが問題となっていた。本研究は、これら課題に着目し、新しい歩行認証方式の有効性を評価している。これらの成果は、歩行認証方式として実用的に適用することが可能である。

提案方式の有意性については、認証精度を従来方式と比較することなど、定量的に評価することにより実証しており、信頼性の高い内容となっている。

本研究では、最初にバイオメトリクス認証の現状を整理し、その一つである歩行認証について、問題点と課題を明確にしている。また、それらを解決する提案方式を示すとともに、プロトタイプシステムを構築して提案方式の有効性を実証評価している。これらのアプローチ方法、提案内容はともに新規性が高く、またトップクラスの認証精度を得ている。

本研究は、実用的な歩行認証を実現するために必要な時系列信号処理技術の組合せ方法や最適なパラメータの設定方法を含む新しい認証方式を提案しており、情報通信技術の発展に大きく寄与するものである。