

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：34416  
研究種目：挑戦的研究（萌芽）  
研究期間：2018～2022  
課題番号：18K19791  
研究課題名（和文）スマートホンによる耳認証システムの構築

研究課題名（英文）Ear Authentication System Using Smartphone

研究代表者  
梶川 嘉延（Kajikawa, Yoshinobu）  
関西大学・システム理工学部・教授

研究者番号：30268312  
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,600,000円

研究成果の概要（和文）：生体認証技術が普及し、指紋認証と顔認証が現在では主流となっている。これらと同等の認証率を達成できる他の生体情報による認証技術の確立は今後のさらなる情報サービスの拡充により必要不可欠である。ここで、ヒトの耳介についてもヒトそれぞれに形状の違いによる特徴があり、個人認証の研究対象になっている。これまでも、耳介の音響伝達関数を利用した認証システムが研究されているが、認証装置の位置が認証の度に変動するため、認証精度が低下することが問題視されてきた。そこで本研究では、耳介伝達関数を用いたマルチモーダル個人認証ならびに音響時系列データを用いたシングルモーダル個人認証を提案し、その有効性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義  
生体認証を使用するには、利用者個人の生体情報を提供する必要がある。現在主流の生体認証は指紋認証や顔認証だが、これらは使用する生体情報のプライバシー性が高く、生体情報の提供に抵抗感がある。そこで、本研究では、耳介と音響信号を用いる個人認証システムを提案している。これらを用いることで、目に見えない情報を用いて認証が可能のため、提供する情報のプライバシー性を下げて生体認証を使用することが可能になる。したがって、医療施設や介護施設における個人認証などプライバシー保護が重要な施設への導入や、スマートホンなどの情報端末への導入が期待される。

研究成果の概要（英文）：Biometric authentication technologies have become widespread, with fingerprint and face recognition now the mainstream. The establishment of other biometric authentication technologies that can achieve the same authentication rate as these is essential for the further expansion of information services in the future. The human auricle is also a subject of research for personal authentication, as each human has its own unique characteristics due to differences in shape. Authentication systems using the acoustic transfer function of the pinna have been studied in the past, but the problem has been that the position of the authentication device fluctuates each time the authentication is performed, which reduces the accuracy of authentication. In this study, we proposed a multimodal personal authentication system using the pinna related transfer function and a single-modal personal authentication system using acoustic time series data, and verified the effectiveness of the two systems.

研究分野：音響信号処理

キーワード：耳認証 個人認証 バイオメトリクス認証 機械学習 音響時系列データ 耳介伝達関数

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) パスワードを用いる認証技術に代わる個人認証技術の必要性が高まっており、特に生体認証技術が近年注目されている。生体認証は個人の生体情報を利用した認証技術であり、指紋、虹彩、さらには顔などの身体的特徴や歩き方、発話音声などの行動的特徴を利用して個人認証を行う。そのため、新しい生体認証のための生体情報の研究が急務であった。そこで、本研究では身体的特徴として耳介に着目した。

(2) 耳介の形状は16歳前後でその変化がなくなることが知られており、顔などと異なり加齢に伴う変化が少ない。この点に着目して、耳介画像を利用して認証する方法がこれまで精力的に研究されている。その研究を通じて、耳介の形状は複雑であり、大きな個人差があることが報告されている。一方で、立体音響分野における研究においては耳介形状の個人差が影響して、汎用的な立体音響技術の確立が困難となっていることが知られており、これは裏返せば耳介形状は視覚的な差異のみならず、それに伴う音響的特徴においても大きな差異があることを示唆している。

(3) 以上の点に着目し、耳介や外耳道の音響伝達関数を用いた認証システムの実現可能性がいくつか報告されている。先行研究では、イヤホン、ヘッドホン、携帯電話を通じて測定した耳介伝達関数(PRTF: Pinna Related Transfer Function)による個人認証の可能性について簡単な実験検証が行われ、イヤホンおよびヘッドホンにおいては個人認証が可能であることが示唆されている。このことはカナル型イヤホンを用いた耳介認証技術として某メーカーにおいても検討が行われており、初期的実験では認証誤差は1%以下と報告されている。しかし、認証毎にヘッドホンやイヤホンを装着する必要がある認証システムはかなり特殊な環境および状況でのみの利用となり、利便性が著しく損なわれると考えられる。一方で携帯電話やスマートホンを利用できれば、気軽に個人認証が可能である。例えば、呼び出し音が鳴った際に、スマートホンを耳に当てるだけで、その時の呼び出し音の反射音で個人認証ができれば、特別な操作なしに個人認証した上で会話を楽しむことができる。

### 2. 研究の目的

(1) そこで本研究では、スマートホンを利用して個人の耳介形状の違いに伴うPRTFの差異から個人認証を行うシステムについて、その可能性とシステム構築を目指す。スマートホンにより個人の耳介形状の違いに伴うPRTFの差は大きいことから個人認証が可能であると考えられる。

(2) 本研究における個人認証システムにおいては、まず学習フェーズでは、スマートホンから音響信号を放射することで登録者ならびに登録者以外のPRTFを多数測定する。そして前処理を通じて適切な特徴量を抽出する。例えば、サブバンド分割を行い、サブバンドごとに最小二乗近似による近似曲線係数を特徴量とするなどが考えられる。適切な特徴量を模索することは本研究において最も重要なミッションである。

(3) そして、その特徴量と教師ラベルを持つベクトル群に対して分類器を構築する。分類器としてはさまざまな機械学習技術が利用可能と考えており、適切な分類器ならびにその学習方法の模索も本研究における重要なミッションとなっている。以上のように耳介形状に伴う音響特徴の差異を利用した実用的な個人認証システムを確立するには多くの課題を克服する必要があり、それが本研究の目的である。

### 3. 研究の方法

(1) スマートホンにより個人の耳介形状の違いに伴うPRTFの差は大きいことから個人認証が可能であると考えられる。しかしながら、スマートホンを利用した場合には耳介に対するスマートホンの相対位置は毎回変化することから、それに伴いPRTFも変化する。このことがイヤホンやヘッドホンを利用した個人認証に対するスマートホンを利用した個人認証が困難な理由である。実際、立体音響分野の研究においても耳介に対して測定音源の放射角度が変化するとPRTFも変化するが示されていることから、耳介に対して異なる方向からPRTFを測定し、それらを有機的に結合・統合して認証に用いることで個人認証の可能性が高まると考えられる。

(2) そこで、まずスマートホンの相対的位置を様々なセンサを併用するマルチモーダル認証にすることで認証精度を向上させる方法について検討する。具体的には、スマートホンのカメラで耳介画像を撮影し、PRTFと6軸センサの情報を同時に計測することで、個人認証システムの堅牢性を向上させることを目指す。

(3) また、耳介伝達関数でない音響情報として、反射音のスペクトログラムを用いた個人認証システムについて検討をおこなう。具体的には、入力データとしてスペクトログラムや時系列データを用いる耳介音響個人認証システムを提案する。まず、スペクトログラムと2次元畳み込みネットワーク(2D-CNN)を用いるシステムを検討する。耳介から測定した音響時系列データに対して短時間フーリエ変換によりスペクトログラムに変換する。次に、特徴量である画素値の min-max 正規化処理を行う。正規化を行うことで、データのスケールを小さくして、学習速度を上げることができる。処理したスペクトログラム画像の画素値に教師信号としてラベルを加え、分類器として用いる 2D-CNN に入力する。本システムで使用する 2D-CNN は、2次元畳み込み層と最大プーリング、バッチ正規化の組み合わせを複数回繰り返して特徴を抽出し、その後2層の全結合層で本人他人のクラス分類を行う。

(4) 次に音響時系列データと1次元畳み込みネットワーク(1D-CNN)ならびに LSTM (Long Short-Term Memory)を用いるシステムについて検討する。まず、耳介から測定した音響時系列データに対し、特徴量ごとの標準化処理を行う。標準化を行うことで、データのスケールを小さくして、特徴量の値の大きな差による影響を減らすことができる。処理した特徴量に、教師信号としてラベルを加え、1D-CNN ならびに LSTM の入力とする。本システムで使用する 1D-CNN は、1次元畳み込み層と平均プーリング、バッチ正規化の組み合わせを複数回繰り返して特徴を抽出し、その後2層の全結合層で本人他人のクラス分類を行う。また、LSTM では、1つの LSTM とドロップアウトを用いて特徴を抽出し、その後2層の全結合層で本人他人のクラス分類を行う。

#### 4. 研究成果

(1) 評価基準として、本人拒否率 (FRR)、他人受入率 (FAR)、半数全誤り率 (HTER) を用いる。実験では、9種類の耳介に対して順番に1つの耳介を登録者の耳介とし、残りは偽者の耳介として使用する。この作業を繰り返し、すべての耳介が登録者となるようにし、認証結果の平均値を求める。

(2) まずマルチモーダル認証システムにおける評価においては、3つのモーダルを代表する1つのモーダルを用いて認証実験を行う。次に、2つ以上のモーダルを組み合わせる DNN に入力する場合について検討する。表1に各モーダルの組み合わせにおける評価結果を示す。

表1 マルチモーダル認証の認証率比較

Model	FRR	FAR	HTER
Acoustic	1.9%	16.7%	9.3%
Image	1.0%	4.2%	2.6%
Sensor	14.6%	5.6%	10.1%
Acoustic + Sensor	0.9%	19.4%	10.2%
Image + Sensor	1.0%	4.2%	2.6%
Acoustic + Image	0.2%	8.3%	4.3%
Acoustic + Image + Sensor	0.9%	6.9%	3.9%
Acoustic × Sensor	0.4%	13.9%	8.2%
Image × Sensor	0.7%	4.2%	2.6%
Acoustic × Image	0.5%	2.8%	1.6%
Acoustic × Image × Sensor	0.5%	2.8%	1.6%

表1から、シングルモーダルの場合に比べて、複数の情報を用いるマルチモーダルの場合に認証率が向上していることがわかる。特に、音響情報と画像情報の組み合わせにより顕著に認証率が改善されることがわかる。したがって、従来の音響情報だけを用いるシステムよりも性能改善できることがわかった。

(3) 次に時系列データを用いた認証システムの性能評価を行う。使用した反射音の例を図1に示す。

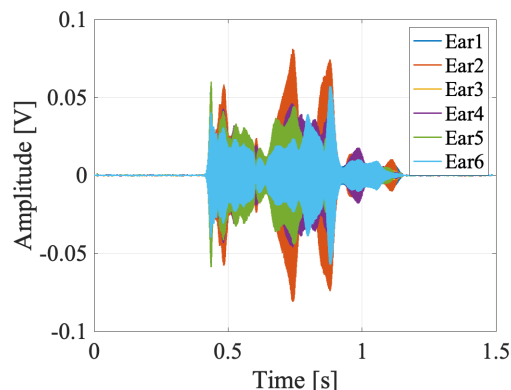


図1 各耳介に対する反射音の時間波形

図 1 から，耳介モデルごとに時間波形が大きく異なることがわかる．このことから，耳介音響時系列データには個人差があるため，個人認証に使用できると考えられる．

(4) 表 2 に提案手法と従来手法である PRTF を用いた認証システムの認証実験結果の平均値，マルチモーダルでの認証実験結果を示す．

表 2 提案認証システムの性能評価

	FRR	FAR	HTER
スペクトログラム×2DCNN	0.0 %	0.0 %	0.0 %
音響時系列データ×1DCNN	0.0 %	0.0 %	0.0 %
音響時系列データ×LSTM	0.0 %	0.0 %	0.0 %
PRTF×DNN	0.0 %	0.0 %	0.0 %
PRTF×2DCNN	1.7 %	1.2 %	1.5 %
マルチモーダル [7]	0.5 %	2.8 %	1.6 %

表 2 より，スペクトログラム×2D-CNN システムと音響時系列データ×1D-CNN システム，音響時系列データ×LSTM システムのすべての認証実験でエラー率が 0 %になっていることがわかる．これは，それぞれの深層学習モデルが入力の形式に対して適していることと耳介モデル数が不足していることが原因と考えられる．また，マルチモーダル耳介個人認証や PRTF 画像を用いた認証より提案法の方が良い精度となっていることがわかる．これより，時系列データを用いることで認証精度を改善することができた．また，学習にかかる時間の観点からは，時系列データと LSTM の組み合わせが最も効果的であると考えられる．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Itani Shunji, Kita Shunsuke, Kajikawa Yoshinobu	4. 巻 68
2. 論文標題 Multimodal Personal Ear Authentication Using Acoustic Ear Feature for Smartphone Security	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Consumer Electronics	6. 最初と最後の頁 77 ~ 84
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TCE.2021.3137474	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 S. Masuda, S. Kita, Y. Kajikawa
2. 発表標題 A Study on Personal Authentication System Using Pinna Related Transfer Function and Other Sensor Information
3. 学会等名 The 20th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 増田壮良, 喜多俊輔, 梶川嘉延
2. 発表標題 スペクトログラムを用いた耳介個人認証システムに関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会バイオメトリクス研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増田壮良, 喜多俊輔, 梶川嘉延
2. 発表標題 時系列データを用いた耳介個人認証システムに関する検討
3. 学会等名 第11回バイオメトリクスと認識・認証シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Itani, S. Kita, Y. Kajikawa
2. 発表標題 Multimodal Personal Ear Authentication Using Multiple Sensor Information
3. 学会等名 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference 2020 (APSIPA ASC 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井谷俊仁, 喜多俊輔, 梶川嘉延
2. 発表標題 センサ情報を用いたマルチモーダル耳介個人認証
3. 学会等名 電子情報通信学会バイオメトリクス研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井谷俊仁, 喜多俊輔, 梶川嘉延
2. 発表標題 耳介伝達関数および耳介画像を用いた個人認証についての検討
3. 学会等名 第10回バイオメトリクスと認識・認証シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Itani, Y. Kajikawa
2. 発表標題 Improving Robustness of Authentication System Based on Pinna Related Transfer Function
3. 学会等名 Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 東口豊, 梶川嘉延, 喜多俊輔
2. 発表標題 耳介伝達関数を用いた個人認証技術の頑健性の向上
3. 学会等名 第8回バイオメトリクスと認識・認証シンポジウム
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 個人認証システム及び個人認証方法	発明者 梶川嘉延, 井谷俊仁	権利者 関西大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-008342	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

バイオメトリクス個人認証システムに関する研究 <a href="http://joho.dens1.kansai-u.ac.jp/research-j.html">http://joho.dens1.kansai-u.ac.jp/research-j.html</a>
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	井谷 俊二  (Itani Shunji)		
研究協力者	増田 壮良  (Masuda Sora)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------