

# 角速度センサを用いたドアの開閉動作にもとづく 入退室者の認識手法

深尾あかり<sup>1</sup> 双見京介<sup>1</sup> 村尾 和哉<sup>1</sup>

**概要:** 複数人で共有する部屋は日常生活において多く利用されている。個人認識のための手法は多く提案されているが、入退室者の認識にあたっては、ユーザに不要な作業や機器携帯を要するなど心理的・身体的な負担の観点で課題がある。本研究では入退室に伴う動作であるドアの開閉動作を利用することで、入退室者を認識する手法を提案する。提案手法は、ドアの開閉動作にはユーザごとに異なる特徴があるとする仮説にもとづく。そして、ドアノブに角速度センサを設置し、ユーザが入退室した際のドアの開閉動作から8種類の特徴量を抽出し、機械学習を用いて入退室者を認識する。提案手法のプロトタイプシステムを一般的なレバーハンドル式のドアに実装し、一般家庭を想定して被験者4名を対象に実験を行い、入室動作と退室動作の認識をそれぞれ行った。その結果、退室動作のF値は最大0.90で認識でき、また、入室動作のF値は最大0.73で認識でき、提案手法の実現可能性を確認した。

## 1. はじめに

我々は日常生活において、家庭やオフィスといった複数人で共有する場所を利用している。このような場所において利用者を認識できれば、有用なサービスが実現できる。例えば、場所の利用者のログを残したり、個人に合わせたサービスの提供や、部屋の入退室者管理に利用できる。

このような場所における入退室者の認識にあたっての重要な要件として、次のものが考えられる。

- 本来不要な作業をさせない  
入退室の際に本来は不要な作業を個人認識のためだけに行わせない方がよい。
- 室内でのプライバシーに配慮する  
認識のためのセンサがプライバシー侵害の議論対象となるものは避けた方がよい。
- 本来不要な機器を携帯・装着させない  
本来は不要な機器を個人認識のために持ち運びさせない方がよい。
- 既存環境への手法の適用が容易  
既存の部屋の環境への設置が容易であることが望ましい。

個人認識のための手法は多く提案されているが、入退室者の認識にあたっては、ユーザに不要な作業や機器携帯を要するなど心理的・身体的な負担の観点で課題があり、前述の条件を満たすことは困難である。たとえば、キーパッ

ドによる暗証番号入力や、ジェスチャによる認識は不要な動作をさせる。また、カメラやマイクの利用はプライバシーの面で課題がある。電子的なカードキーは、携帯の煩わしさや入退室の際に特別な動作が伴い、設置が容易ではない。

そこで本研究では入退室に伴う動作であるドアの開閉動作を利用することで、入退室者を認識する手法を提案する。提案手法ではドアノブに角速度センサを設置し、ユーザが入退室した際のドアの開閉動作を解析することで入退室者を認識する。ドアの開閉動作はドアがレバータイプの場合、ドアノブを捻る、ドアを開ける、ドアを閉じる、という一連の動作から成り、これらの動作に個人ならではの特徴があると本研究では想定している。そこでまずは一般家庭環境を対象にして、レバーハンドル型のドアに提案手法を実装する。そして提案手法の認識精度を評価する。

以降、2章では、本研究の関連研究について紹介する。3章では、提案手法と実装方法について述べる。4章で評価実験について述べる。5章で結果と考察を述べ、6章でまとめる。

## 2. 関連研究

本章では個人認識および人物位置推定に関する研究について述べる。

部屋の入退室者の認識に利用できる手法は多く提案されている。そのひとつとして、人の動作特徴を用いた個人認識手法がある。石原ら [4] は加速度センサを搭載したデバイスを空中で振り、本人の認識を行っている。また、古賀

<sup>1</sup> 立命館大学 情報理工学研究科

ら [8] はアンドロイド端末の加速度センサにより手首の癖から個人認識しパスワードの代替を提案している。崎田ら [2] はカメラ映像から筆記中の指先を検出し、筆記時の癖を読み取ることでユーザを認識する手法を提案している。長田ら [3] はカメラ映像から手のひら全体を撮影し、手指の動かし方の個人差を利用してユーザを認識する手法を提案している。Muramatsu ら [5] は歩行時の映像を解析し、身体的特徴および歩行の速度より個人認証を行う手法を提案している。人物がカメラの前を歩行することでカメラとの相対位置が変化するため、ひとつのカメラを使用して複数の観測方向から撮影した画像を得ることができ、観測方向の異なる画像から得られる顔および歩容の特徴を抽出することで本人認証を行うことができる。これらの手法のようなジェスチャ入力、ユーザに本来不要な作業をさせることになるため、本研究の対象場面において入退室者を認識するために適切な手法ではないと考えている。また、センサとしてカメラを利用する手法は、ユーザのプライバシー配慮の観点から好まれない場合があるため、本研究の対象場面において適切ではないと考えている。

また、人の身体的特徴や生体情報を用いた個人認識手法がある。戸田ら [9] は単眼カメラを用いて手足の長さや骨格など身体的特徴を検出して、個人認証を行う手法を提案している。山口ら [10] は物体検出器を搭載したカメラを用いて顔特徴と衣服特徴から人物認識を行う手法を提案している。Hayashi ら [11] は Microsoft 社の Kinect の深度映像を用いて、身体部位の長さや手振り動作に基づく個人認識手法を提案している。佐藤ら [12] はドアノブにカメラを設置し、掌の画像情報から個人認証をするシステムを提案している。その他にも、指紋認証や虹彩認証など身体的特徴を用いた認証手法もあり、これらは認識精度が高く、個人認証に要する時間が短いとされている。これらの手法のように個人認識のために身体的特徴のデータを取得することは、ユーザに心理的抵抗を抱かせることも多いと報告されており [13]、この点が本研究の対象場面においては適切な手法ではないと考えている。

### 3. 提案手法

本章では、入退出の際に自然に伴うドアの開閉動作を利用することで、入退出者を認識する手法について述べる。

#### 3.1 システム要件

本研究では、複数人で利用する場所において入退室者を認識することを目的としている。このような場所としては、例えば家庭内の部屋、浴室やトイレなどが挙げられる。こういった場所において入退室者を認識するシステムの要件としては、次のものが挙げられるが、既存手法でいずれかの点に課題がある。

**要件 1: 本来不要な作業をさせない**

本来は不要な作業を個人認識のためだけに行わせない方がよい。例えば、キーパッドによる暗証番号入力や、ジェスチャで入力させる手法は適さない。

**要件 2: 室内でのプライバシーに配慮する**

認識のためのセンサがプライバシー侵害の議論対象となるものは避けた方がよい。例えば、カメラなどを用いて身体的特徴や生体情報を認識する手法は適さない。

**要件 3: 本来不要な機器を携帯・装着させない**

本来は不要な機器を個人認識のために持ち運びさせない方がよい。例えば、電子的なカードキーや、動作取得のためのウェアラブル機器などは適さない。

**要件 4: 既存環境への手法の適用が容易**

すべての部屋への設置を想定すると、既存の部屋の環境への設置が容易であることが望ましい。例えば、電子的なカードキーは適さない。

#### 3.2 システム設計

以上の要件を満たす手法として、本研究では、ドアの開閉動作から入退室者を認識する手法を構築する。一般的な部屋にはドアがあり、入退室の際にドアの開閉動作が伴う。また、ドアの開閉動作には、ユーザごとに異なる特徴があると考えられる。このことから、ドアの開閉動作を利用することで、前述の要件を満たして、入退室者の認識を行えると考えている。提案手法は、認識のためだけの作業をユーザにさせることなく、プライバシーにも配慮しており、認識のための機器をユーザが持ち運ぶ必要もなく、既に存在しているドアに安価なセンサを設置するだけで認識環境が整うことから既存環境への手法の適用が容易と考えている。

#### 3.3 ドアの開閉動作

本研究におけるドアの開閉動作とは、ドアを開けてから閉めるまでのユーザの一連の行動を指し、以下から成る。

- (1) ドアノブを握って捻る
- (2) ドアを開ける
- (3) ドアを閉じる・ドアノブを放す

ユーザがドアノブを握って捻る際に、ドアノブは支柱を軸として、特定の方向に回転する。この時、ドアの開く角度や速度は、ユーザによって特徴が出得る。そして、ドアを開ける際に、ドアは支柱を軸として、ドアが開く方向に回転する。この時、ドアの開く角度や速度は、ユーザによって特徴が出得る。最後に、ドアを閉じる且つドアノブを放す際に、ドアは支柱を軸として、ドアが閉まる方向に回転し、また、ドアノブも支柱を軸として、特定の方向に回転する。この時、ドアを意図して閉めるユーザや、閉めることなく放すユーザがいると考えられ、ドアの閉まる速度やドアノブが回転するタイミングなどは、ユーザによって特徴が出得る。以上のように、ドアの開閉動作にはユーザごとに特徴が出得る点がある。

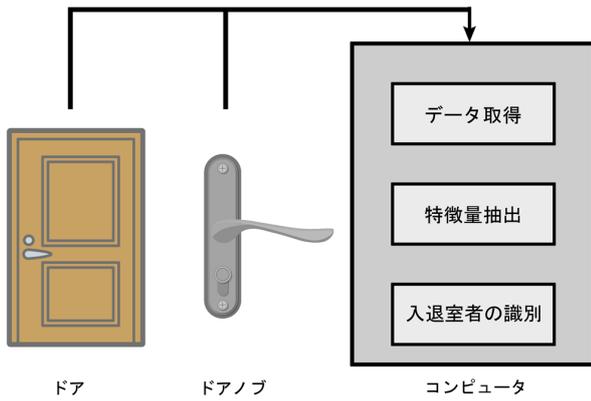


図 1 システムフロー



図 2 X 軸：ドア全体の回転



図 3 Z 軸：ドアノブの回転

### 3.4 システムの構成と流れ

提案システムの構成と流れを図 1 に示す。提案システムは、ドアノブ、角速度センサ、およびコンピュータから成る。角速度センサはドアノブの軸上に設置される。コンピュータは、データ取得、特徴量抽出、入退室者の認識を行う 3 つのモジュールから成る。

システムの流れは次のようになる。まず、データ取得のモジュールでは、ドアの開閉動作のデータを取得する。このとき、取得するセンサデータは、図 2 のようにドアノブの回転を検出する x 軸成分と、図 3 のようにドア全体の回転を検出する z 軸成分である。取得したデータは bluetooth 等の通信によってコンピュータへ送られる。次に、特徴量抽出のモジュールでは、取得したデータから入退室者を認識するために波形を切り出し特徴量を算出する。特徴量を算出するために必要な部分ごとに波形を切り出す。最後に、入退室者の認識のモジュールでは、機械学習を用いて、取得した特徴量と、データベースに事前記録した各ユーザの正解データを基にして、入退室者の認識を行う。データは入室動作と退室動作に分けて扱われる。

### 3.5 開閉動作と開閉動作開始時間の抽出

図 4 にドアを開いた際の波形を示す。図中の上の波形は角速度 X を示し、下の波形は角速度 Z を示す。開閉動作における特徴量を計算するために、開閉動作の開始時刻および終了時刻を決定する為に波形を切り出す。角速度 X で 0 が継続する時を閉まっている状態として、開いている状態

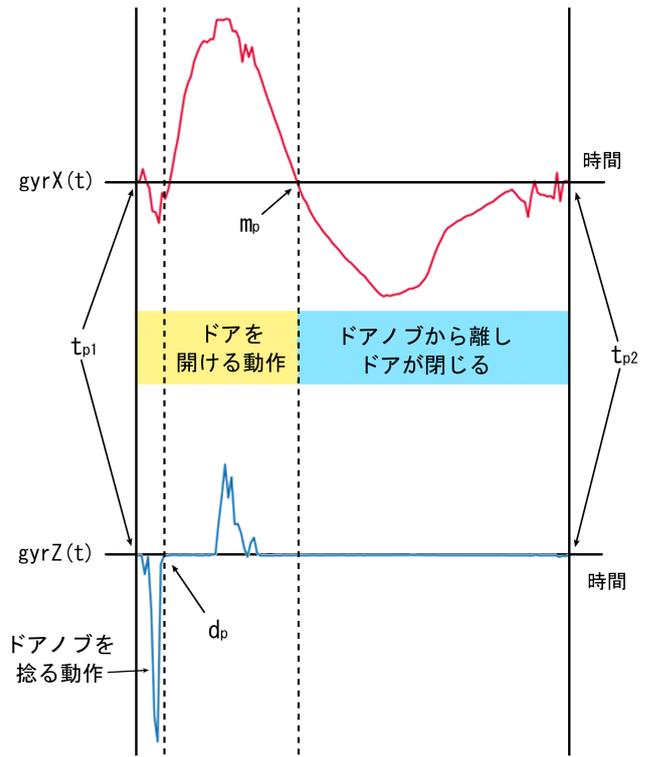


図 4 切り出した波形

を切り分け、個々の波形の開始点を開閉動作開始時刻  $t_{p1}$  とし終了点を開閉動作終了時刻  $t_{p2}$  とする。また、ドアが開いている状態で角速度 X が 0 になった時刻をドアが開く動作から閉じる動作への転換点であるため、 $m_p$  とする。また、ドアノブが回転している状態を抽出する。ドアノブから手を離れた時を  $d_p$  とする。

### 3.6 特徴量抽出

特徴量として、以下の 8 種類を計算する。

- *Angle*: ドアが開けられた最大角度

$$Angle = \sum_{t=t_{p1}}^{m_p} gyrX(t) \quad (1)$$

- *OC*: 開動作の所要時間

$$T_{open} = m_p - t_{p1} \quad (2)$$

- *Aveopen*: ドアを開く動作中の角速度の平均値

$$Ave_{open} = \sum_{t=t_{p1}}^{m_p} \frac{gyrX(t)}{m_p - t_{p1}} \quad (3)$$

- *Maxopen*: 開動作中の瞬間最大角速度

$$Max_{open} = \max_{t_{p1} \leq t \leq m_p} gyrX(t) \quad (4)$$

- *Varopen*: 開動作中の角速度の分散値

$$Var_{open} = \sum_{t=t_{p1}}^{m_p} \frac{Ave_{open} - gyrX(t)}{m_p - t_{p1}}^2 \quad (5)$$

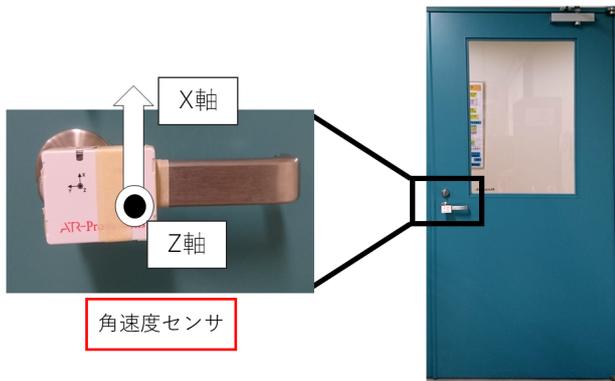


図 5 角速度センサ付きドアノブのプロトタイプシステム

- $D_{twist}$ : ドアノブを捻ってから手を離すまでの所要時間

$$D_{twist} = d_p - t_{p1} \quad (6)$$

- $M_{intwist}$ : ドアノブを捻る動作の瞬間最大角速度

$$M_{intwist} = \max_{t_{p1} \leq t \leq d_p} gyrZ(t) \quad (7)$$

- $V_{artwist}$ : ドアノブを捻る角速度の分散値

$$V_{artwist} = \sum_{t=t_{p1}}^{d_p} \frac{Ave_{twist} - gyrZ(t)^2}{d_p - t_{p1}} \quad (8)$$

### 3.7 プロトタイプシステムの実装

プロトタイプシステムを実装した。ドアには一般的なレバーハンドル式のドアを使用した。図 5 に示す。センサはドアノブの軸に近い部分に設置された。コンピュータには Lenovo 社の ThinkPad X1Yoga (CPU: Intel Core i7-7500 2,7GHz, RAM: 16.0GB) を用いた。機械学習には weka を用いて、分類器には最近傍法とランダムフォレストを用いた。角速度センサには ATR-Promotion 社の TSND151 を用いた。センサの周波数は 20Hz とした。

## 4. 評価実験

提案手法の有効性を検証するためにドアの開閉動作の認識精度を評価する。被験者は 4 名で、年齢は 21-24 歳、性別は男性 2 名と女性 2 名、利き腕は右利きが 3 人で左利きが 1 人であった。実験のタスクとして、被験者は入室動作と退出動作を約 15 秒間でそれぞれ 1 回ずつ行う試行を、連続して 20 回繰り返した。これによって取得したデータセットは入室動作と退室動作について、各被験者からそれぞれ 40 個ずつ、合計で 160 個であった。

### 4.1 結果と考察

認識には weka を用いてランダムフォレストおよび最近傍法の二種類の分類器を使用し、10 分割交差検証を行った。ランダムフォレストの認識結果を表 1 に示し、最近傍

表 1 ランダムフォレストによる分類結果

	入室動作			退室動作		
	再現率	適合率	F 値	再現率	適合率	F 値
被験者 A	0.95	0.95	0.95	0.95	1.00	0.97
被験者 B	0.60	0.50	0.55	0.85	0.77	0.81
被験者 C	0.45	0.60	0.51	0.90	1.00	0.95
被験者 D	0.85	0.81	0.83	0.85	0.81	0.83
平均	0.71	0.72	0.71	0.89	0.90	0.89

表 2 最近傍法による分類結果

	入室動作			退室動作		
	再現率	適合率	F 値	再現率	適合率	F 値
被験者 A	0.85	0.90	0.87	0.95	0.86	0.90
被験者 B	0.80	0.59	0.68	0.85	0.90	0.87
被験者 C	0.45	0.64	0.53	0.85	1.00	0.91
被験者 D	0.85	0.85	0.85	0.95	0.86	0.91
平均	0.74	0.75	0.73	0.90	0.90	0.90

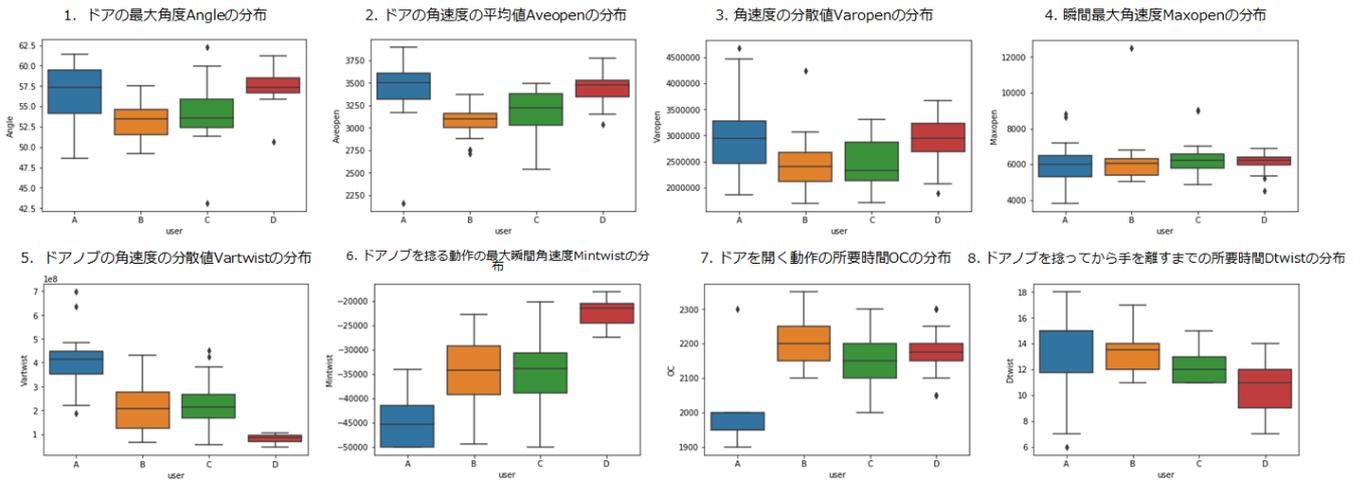
法の認識結果を表 2 に示す。適合率は、認識結果の中にどの程度正解が含まれるかを示すため、認識結果に誤りがない方が、数値が高くなる。一方、再現率は、正解をどの程度認識できたかを示すため、認識結果に誤りがあっても正解を認識した数が多い方が数値が高くなる。一般に適合率と再現率はトレードオフの関係にある。F 値はこれらの調和平均であり、総合的な結果として利用される。

ランダムフォレストによる入室動作の F 値は平均 0.71 で退室動作の F 値は 0.89 であった。最近傍法による入室動作の F 値は 0.73、退室動作は 0.90 だった。この結果から、分類器による認識結果の違いについては、最近傍法の方がランダムフォレストよりも少し認識結果が良かったが、ほとんど差はないといえる。また、入室動作の方が退室動作よりも認識結果が相対的に低いとわかり、退室動作の方が個人的な特徴が表れやすいと考えられる。

動作の特徴が表れた特徴量について述べる。図 6 に各被験者において得られた各特徴量の数値を示す。この図は横軸が被験者を示し、4 色のバーは得られた値のとり範囲を示し、上端は最大値、下端は最小値を示している。また長方形の上辺はデータを昇順に並べ変えた時の 70% の位置を示し、下辺は 25% の位置を示し、長方形の内部の線は中央値を示す。つまり長方形や線の間隔が縦に長ければ、その特徴量に関して開閉動作の試行ごとに被験者が異なるパターンを出したことを意味し、逆に、短ければその特徴量に関して被験者が似たパターンを出したことを意味する。

これらの特徴量の結果から被験者内で誤差が少なかった特徴量としては、ドアが開けられた最大角度  $Angle$ 、開動作の所要時間  $OC$ 、ドアを開く動作中の角速度の平均値  $Ave_{open}$  およびドアノブを捻る動作の瞬間最大角速度  $M_{intwist}$  が挙げられる。これら以外の特徴量は、被験者内で誤差が相対的に大きくみとれる。今後は、これらの結果を踏まえて、適切な特徴量だけを採用した手法を検討

入室動作に関する被験者ごとの結果



退室動作に関する被験者ごとの結果

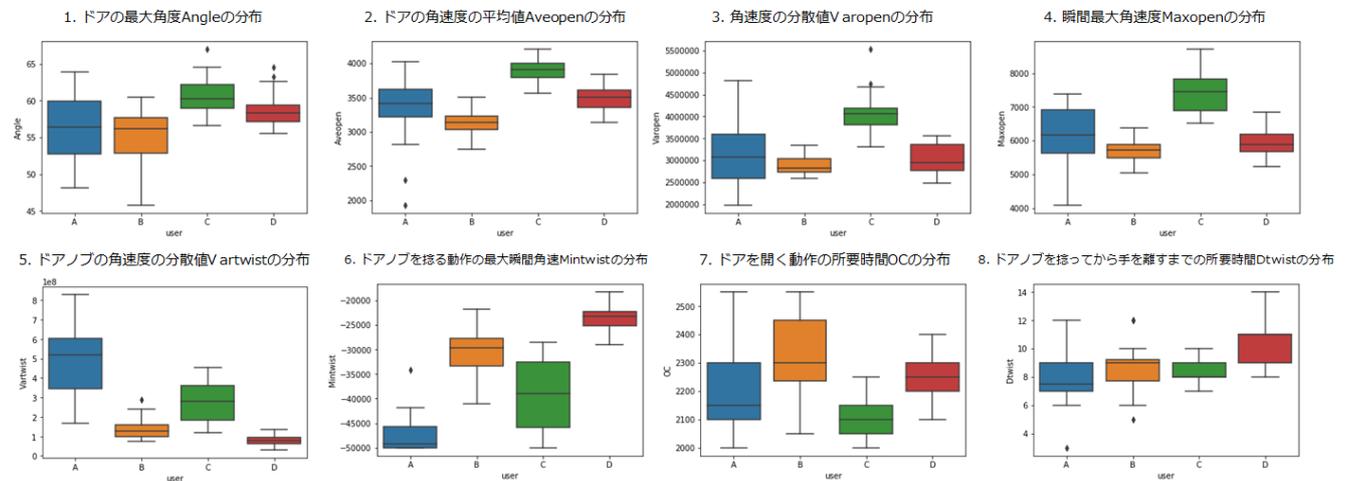


図 6 入室動作と退室動作における各特微量を被験者ごと示した結果

する必要があると考えている。

被験者ごとの認識結果には差があったことが表 1 と表 2 からわかる。例えば入室動作について、被験者 A と被験者 D は認識結果が高かったが、被験者 B と被験者 C は認識結果が低かった。この結果から被験者ごとに動作特徴の表れやすさは異なると考えられる。一方で図 6 の特微量の結果では、どの被験者についても被験者内で誤差が少ない特微量は存在しているとわかる。よって個人ごとに適切な特微量を採用することで、どのユーザに対しても高精度に認識ができると考えられ、今後はこの手法についても検討していく。

退室動作よりも入室動作の方が精度が悪かった原因は、ドアを開く最大角度 *Maxopen* にあったと考えられる。これは、図 6 の入室時の *Maxopen* の特微量に被験者間で違いがほとんど無かった結果と、退室時の *Maxopen* の特微量に被験者間で違いがあった結果に基づいた考察である。ドアの開く最大角度が入室時に全員が小さかった理由としては、今回の実験のドアが、入室の際にはドアを押し進

行するタイプだった点にあると考えられ、自身がドアの向こう側に進行するために、自身の体が通れる最低限必要な角度しかドアを開けない傾向を被験者全員がもっていたと考えられる。一方、ドアの開く最大角度が退室時に全員ばらばらだった理由としては、今回の実験のドアが、退室の際にはドアを引いて進行するタイプだった点にあると考えられ、自身がドアの向こう側に進行するために、自身の体が通れる最低限必要な角度しかドアを開けない傾向の被験者と、必要以上にドアを引いて開いてから進行する傾向の被験者が存在していたと考えられる。つまりは、ドアを開く最大角度 *Maxopen* は、ドアを押し開く場合には全員同じになるが、ドアを引いて開く場合には人ごとに特徴が出る可能性があると思定される。これについては、今後より多くの被験者を対象に調査する必要があると考えている。

実環境で提案システムを運用した場合、手法の認識率が上がる可能性と下がる可能性の両方があると考えている。前者については、日常において多くの学習データを蓄積して個人の動作の特徴をより詳細に理解できれば、手法の認

識結果が上がる可能性がある。後者については、日常生活においてドアの開閉動作が通常時と変わってしまう。例えば利き手が塞がっている際に非利き手でドアを開閉した場合には利き手で蓄積したデータとは異なる動作になると考えられ、また急いでいる場合においても同様のことがいえる。したがってこのようなドアの開閉動作を変わせる要因を考慮した手法についても、今後は検討していく必要があると考えている。

今回の結果から、ドアの開閉動作から入退室者を認識する手法の実現可能性は確認できたと考えている。しかし認識精度については十分ではなく、特に入出動作の認識結果が低かった。今後は認識精度を向上させるために、前述した結果に基づいて手法の改善を行う必要があると考えている。

## 5. おわりに

本論文では、本研究では入退室に伴う動作であるドアの開閉動作を利用することで、入退室者を認識する手法を提案し、プロトタイプシステムを一般的なレバーハンドル式のドアに実装した。ドアノブに角速度センサを設置し、一般家庭を想定して被験者4名を対象に、ユーザが入退室した際のドアの開閉動作から8種類の特徴量を抽出し入室動作と退室動作の認識をそれぞれ行った。その結果、退室動作のF値は最大0.90で認識でき、また、入室動作のF値は最大0.73で認識でき、提案手法の実現可能性を確認した。また、実験を通して、ドアノブに関する特徴量は個人ごとに違いがあることや、入室と退室ではドアの開く角度が大きく違うといった、ドアの開閉動作の特徴が表れやすい点についても調査した。今後の課題として、日常生活においてユーザの状態によって左右されることのないように、様々な条件下でデータを収集することなどが挙げられる。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費若手研究 JP19K20330 によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] D. Muramatsu, H. Iwama, Y. Makihara, and Y. Yagi: Multi-view Multi-modal Person Authentication from a Single Walking Image Sequence, Proc. of the 6th IAPR International Conference on Biometrics (ICB' 13), pp. 1-8 (2013).
- [2] 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, 電子情報通信学会技術研究報告 (パターン認識・メディア理解研究会), Vol. 107, No. 384, pp. 5964 (Dec. 2007).
- [3] 長田礼子, 尾崎 哲, 青木輝勝, 安田 浩: 手指動からの特徴抽出によるリアルタイム個人認証, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J84DII, No. 2, pp. 258265 (Feb. 2001).
- [4] 石原 進, 太田雅敏, 行方エリキ, 水野忠則: 端末自体の動きを用いた携帯端末向け個人認証, 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 12, pp. 29973007 (Dec. 2005).
- [5] D. Muramatsu, H. Iwama, Y. Makihara, and Y. Yagi: Multiview Multimodal Person Authentication from a

- Single Walking Image Sequence, Proc. of the 6th IAPR International Conference on Biometrics (ICB ' 13), pp. 18 (June 2013).
- [6] X. Li, S. Li, D. Zhang, J. Xiong, Y. Wang, and H. Mei: DynamicMUSIC: Accurate DeviceFree Indoor Localization, Proc. of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp ' 16), pp. 196207 (Sep. 2016).
- [7] S. Lee, Y. Kim, D. Ahn, R. Ha, K. Lee, and H. Cha: Nonobstructive Room level Locating System in Home Environments using Activity Fingerprints from Smartwatch, Proc. of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp ' 15), pp. 939950 (Sep. 2015).
- [8] 古賀堯志, 小高知宏, 黒岩丈介, 白井治彦: Android 端末上の加速度センサを用いた新しい生態認証システム, 福井大学大学院工学研究科研究報告, Vol. 64, pp. 4350 (Mar. 2016).
- [9] 戸田哲郎, Alessandro Moro, 梅田和昇: 単眼カメラから得られる骨格情報を用いた人物認識, 精密工学会学術講演会講演論文集 2018S(0), 267-268, 2018
- [10] 山口純平, 嶋田和孝, 遠藤勉: 顔特徴と衣服特徴に基づく人物認識, 日本知能情報ファジィ学会誌: journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics 23(2), 137-145, 2011-04-15
- [11] E. Hayashi, M. Maas, and J. Hong I: Wave to Me: User Identification Using Body Lengths and Natural Gestures, Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2014), pp. 3453-3462 (Apr. 2014).
- [12] 佐藤公則, 篠原耕成, 鹿嶋雅之, 渡邊睦: 掌紋認証を装備したインテリジェントドアノブシステムの開発, 画像電子学会誌, Vol. 40, No. 5, pp. 778-784 (Mar. 2011).
- [13] 加藤岳久, 中澤優美子, 漁田武雄, 山田文康, 山本 匠, 西垣正勝: 本人認証技術におけるユーザの性格とセキュリティ意識との相関に関する考察, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 9, pp. 25372548 (Sep. 2011).