

複合センサを用いた屋内環境における行動認識デバイスの開発

小島聖哉¹ 中沢実¹

概要: 家電の省エネ制御といったホームオートメーションや高齢者見守りシステム等の生活を支援するサービスの実現に向けて, 屋内の人物の生活行動を自動認識する研究が盛んに行われている. 本研究では低コストかつプライバシーに配慮した屋内の生活行動を認識することを目的とする. 屋内の行動認識手法は様々な研究が行われており, カメラ画像を用いた画像処理により行動認識を行う手法や, ユーザの所持しているスマートフォンやウェアラブルデバイスに内蔵された加速度センサなどを用いて行動認識を行う手法, また部屋の様々な箇所にセンサが設置されたスマートホームにおいて多数のセンサ情報から行動を認識する手法などがある. しかしながら, カメラを用いるものではユーザのプライバシーを侵害する恐れがある. ウェアラブルデバイスを用いる手法ではユーザがデバイスを装着しないと行動を認識することができない. スマートホームを用いる手法では, 多種多様のセンサを複数個所に設置するため導入コストや管理コストが高いという問題がある. そこで先行研究では 10 種類のセンサを 1 箇所に設置しセンサデータから機械学習により 38 種類の行動を認識する汎用センサを構築した. しかし, センサを 1 箇所に設置しているため, 行動がどこで起きているのか, また行動に対して複数人による行動か一人での行動であるかの区別をすることができない. 本研究ではこの 2 つの課題を解決するために, 人の位置や人数を検出できるミリ波センサの追加と 1 チャンネルマイクを 4 チャンネルマイクアレイに変更を行い 2 つの課題を解決することを目指した行動認識デバイスを開発した. 提案手法の実現に向けて, 2 つの予備実験を行った. 予備実験の結果, 2 人の場合でも人の位置を平均 90% の精度で認識することができた. また 2 人のどちらか 1 人が使用している機器の音源方向を推定することができた.

Development of Behavior Recognition Device in Indoor Environment using Compound Sensor

SEIYA KOJIMA¹ MINORU NAKAZAWA¹

1. はじめに

家電の省エネ制御といったホームオートメーションや高齢者見守りシステム等の生活を支援するサービスの実現に向けて, 屋内の人物の生活行動を自動認識する研究が盛んに行われている. 本研究では低コストかつプライバシーに配慮した屋内の生活行動を認識することを目的とする.

屋内の行動認識手法は様々な研究が行われており, カメラ画像を用いた画像処理により行動認識を行う手法や, ユーザの所持しているスマートフォンやウェアラブルデバイスに内蔵された加速度センサなどを用いて行動認識を行う手法, また部屋の様々な箇所にセンサが設置されたスマートホームにおいて多数のセンサ情報から行動を認識する手法などがある. しかしながら, カメラを用いるものではユーザのプライバシーを侵害する恐れがある. ウェアラブルデバイスを用いる手法ではユーザがデバイスを装着しないと行動を認識することができない. スマートホームを用いる手法では, 多種多様のセンサを複数個所に設置するため導入コストや管理コストが高いという問題がある.

上記で述べた問題点に対し, Laput[1]らは 10 種類のセンサを一か所に設置しセンサデータから機械学習により 38 種類の行動を認識する汎用センサを構築した. しかし,

センサを 1 箇所に設置しているため, 行動がどこで起きているのか, また行動に対して複数人による行動か一人での行動であるかの区別をすることができない. 本研究ではこの 2 つの課題を解決するために, 人の位置や人数を検出できるミリ波センサの追加と 1 チャンネルマイクを 4 チャンネルマイクアレイに変更を行い 2 つの課題を解決することを目指した行動認識システムを提案する. 行動が起きた位置を認識するためにミリ波センサを用いてユーザの位置を推定する. またマイクアレイを用いて音源方向を推定することで, 複数人の誰が行動しているか推定する.

提案手法の実現に向けて, 2 つの予備実験を行った. 予備実験 1 では 2 名の被験者に部屋の中で歩く, 立つ, 座るという 3 種類の行動をしてもらった. 人の位置や人数を毎秒 20 回推定を行った. 予備実験 2 では, 被験者 2 人が部屋にいる状態でどちらかの一人がドライバーを利用してもらった. 音源方向を毎秒 10 回の推定を行った. 予備実験の結果, 2 人の場合でも人の位置を平均 90% の精度で認識することができた. また 2 人のどちらか 1 人が使用している機器の音源方向を推定することができた.

¹ 金沢工業大学大学院工学研究科 情報工学専攻

2. 関連研究

屋内環境における行動認識に関して様々な研究が行われている。最近ではIoT機器やスマートスピーカーの普及により活発に研究が行われている。行動認識を行う研究では、カメラ画像や動画を処理し行動認識を行う手法やユーザーが所持しているスマートフォンやスマートウォッチ等のウェアラブルデバイスに内蔵されている加速度センサ等を用いて行動認識を行う手法、また多種多様なセンサを多数設置したスマートハウスでの行動認識の手法がある。以下の節では、それぞれの屋内環境における行動認識の手法に関する既存研究について述べる。

2.1 カメラを用いた行動認識

カメラを用いた手法では、Jalalら[2]はデプスカメラを利用し画像処理により、生活行動認識手法を提案している。この研究では、人の骨格を検出することで、料理、テレビを見る、運動、手拍子、歩く、掃除の6つの行動を平均92.33%の精度で認識することができる。しかし複数人の行動は認識することができない。またカメラを利用しているためユーザーが障害物などに隠れてしまうと認識することができない。Castroら[3]は、首から下げたスマートフォンのカメラを使用し、画像をディープラーニングにより料理、食事、運転、テレビの視聴、ショッピングなどの19種類の日常生活行動を83.07%の精度で認識するシステムを構築した。この研究では認識できる行動は多いが、カメラを身に着けるためユーザーのプライバシーを侵害する恐れがある。

2.2 スマートフォン等のウェアラブル端末を用いた行動認識

スマートフォンには、加速度センサ、ジャイロセンサ、マイク、照度センサ、カメラなどの多数のセンサが内蔵されている。多くの研究では加速度センサを利用し行動認識したものが多い[4][5][6]。加速度のみを使用するものでは歩く、走る、階段の上り下り、静止、運動などの身体の状態を表す行動を認識するもの[4]や、自転車に乗っているという大きな括りの行動を認識するもの[6]が多く。詳細な生活行動を認識するものは少ない。Ouchiら[7]は加速度センサとマイクを用いて行動認識手法を提案している。加速度センサで歩行、安静、作業の3状態を推定し作業の場合ではマイクを用いて7種類(歯磨き、皿洗い、アイロンがけ、掃除機、トイレ/手洗い、電動髭剃り、ドライヤー)の作業を推定する。歩行、安静、作業の3状態では95%以上、7種類の作業では、平均85.9%の精度で推定することができる。Shoab[8]らはスマートフォンの加速度センサと腕に装着した加速度センサを用いることで、歩く、座るといった行動に加えて、食事、PC作業、喫煙、コーヒーを飲むといった生活行動を認識する手法を提案した。行動認識にスマート

フォンを用いることで、内蔵されている様々なセンサを利用できることと、ユーザーが新たにデバイスを購入する必要がない。そのため導入・維持コストは比較的少ない。しかしユーザーが常にデバイスを身に着ける必要があり、ユーザーへの負担が大きいという問題がある。さらにバッテリーの交換や充電を行う必要がある。

2.3 多数のセンサを設置したスマートホームによる行動認識

多数箇所にセンサを設置したスマートハウスを用いて行動認識する手法では、異なる多数のセンサを設置し行動認識する手法[9]や同じ種類のセンサを多数設置しセンサネットワークを構築し行動認識する手法[10]がある。

Kasterenら[9]は、ドアや引出の開閉を測定するリードスイッチ、圧力マット、浮力センサ、温度センサなどのセンサが多数設置されたスマートホームにおいて、食事、テレビ観賞、トイレ、シャワー、洗濯、着替え、睡眠などの日常生活行動を認識するシステムを構築した。49-98%の精度で認識ができる。この研究では、認識できる行動の種類は多いが、多くのセンサが必要で導入コストが高く、行動の種類によっては認識の精度が低いという問題点がある。

Chenら[10]は、圧力センサ、モーションセンサ、チルトセンサ、近接センサなどが多数設置されたスマートホームにおいて、お茶をいれる、歯を磨く、テレビを見る、入浴する、手を洗うといった複雑な生活行動を平均94.44%以上の精度で認識するシステムを構築した。これは、知識ベースのオントロジーにより生活行動を識別しているため、機械学習のような大量の訓練データを必要としないという利点がある。しかし、多数かつ多種のセンサを使っており、導入コストが高いという問題がある。また屋内で電化製品が使用されているかを検知する研究が多く行なわれている。Guptaら[11]は、家庭内の一点の消費電力を計測することで、電化製品によって生成されるEMIを用いてどの家電が使用されているかをリアルタイムに分類する手法を提案した。しかし屋内での行動では食事等の電化製品を使用しない行動もあり、使用されている電化製品のみで家庭内の行動全てを認識することは困難である。

いずれのスマートハウスを用いた手法では多数かつ多種のセンサを必要とするため導入コスト及びバッテリー交換などの維持コストがかかるという問題がある。

2.4 先行研究

Laputら[1]は流通している多種多様なセンサは、1つのセンサが1つの行動の認識しかできないため多くの行動を認識しようとする多種類のセンサを複数箇所に設置しなければいけないという問題を解決するために汎用的な行動を認識するセンサを構築することを目的に、赤外線アレキセンサ、カラーセンサ、照度センサ、磁気センサ、温

度センサ, 湿度センサ, 気圧センサ, 加速度センサ, 人感センサ, マイク, EMI センサの多種類のセンサを一家所に設置し行動認識を行っている. 温度, 湿度, 気圧, 照度, 磁気, WiFi-RSSI, 赤外線アレイ, および PIR モーションセンサは 10 Hz でサンプリングされ, 3 軸加速度センサの 3 つの軸はすべて 4 kHz, マイクは 17 kHz, EMI センサは 500 kHz でサンプリングされる. 10Hz でサンプリングされる低周波のセンサの場合は 7 つ (最小値, 最大値, 範囲, 平均値, 合計値, 標準偏差, 重心値) の統計的特徴と, 高周波センサである加速度センサ, マイク, EMI センサは 100 ミリ秒ごとに FFT を行いそれぞれの特徴量に対して機械学習を用いて 38 種類の行動を平均 96% の精度で認識するシステムを構築した. しかしセンサを一家所に設置しているため検出された行動がどこで行われているかわからない. またその行動を行ったユーザが複数人によるものか 1 人なのかを区別することができない.

3. 屋内での行動認識における課題

2 章でも述べたように屋内での行動認識手法にはそれぞれ以下の課題があった. カメラによるプライバシーの侵害, ユーザがデバイスを常に装着することによる負担, バッテリーの問題. そして導入・維持コストが高いという課題を解決するための研究開発が行われている.

先行研究では, カメラを使用せず代わりに多種類のセンサを使用することで, プライバシーに考慮している. そして多種類のセンサを一家所に設置することで, バッテリーの問題とユーザがセンサを装着しなければいけない問題を解決している. 導入・維持コストでは多数個所にセンサを設置する手法より低コストとなる. しかし一家所にセンサを設置したことにより, スマートハウスを用いた手法では, 推定できていた, どこで何が起きたかの「どこ」である行動が行われた場所が, 推定できなくなった. また推定された行動が複数人による行動か, 一人での行動であるかの区別をすることができない. 行動が起きた場所が推定できないため, 例えば複数窓がある場合では, ユーザが窓を開けたことは推定できるがどの場所の窓を開けたのか推定できない. このように同じものが複数ある場合に区別することができない. また複数人での行動を区別することができないので, ユーザが 1 人の場合では問題ないが, 複数人の場合ではそれぞれの行動が区別できず問題となる. そのため, 先行研究を実際のサービスに適応することは難しいと考えられる.

4. 提案手法

本研究では, 3 章で述べた先行研究の課題を解決するために, 新たにセンサを導入し, ユーザの人数及び位置そし

て音の発生方向を検出する. 先行研究では, 人の位置を認識することができず, 行動がどこで行われたのか推定することができない, そのため人の位置を検出するセンサを追加することで解決できるのではないかと考えた. そして複数人での行動を区別できないという課題には先ほどの人の位置及び人数を検出するセンサに加えマイクアレイを追加し音源定位や音源分離を行うことで複数人の行動を区別し行動を認識できるのではないかと考えた.

人の位置や人数を検出できることで, より複雑な行動を認識することができる. 例えば, 今まで会話していると推定されていた行動でも本システムでは, 電話等を使用して一人で会話しているのか複数人で会話しているのかを区別することができる. また, どこが掃除できていないかを検出することができる. 応用としては, 複数人が同居する場合での見守りサービスの実現や位置情報を組み合わせることで, 人のいるところだけ暖房や照明を使用するといった省エネ制御が考えられる.

4.1 センサの追加, 変更

新たにミリ波センサを追加し, マイクを従来の 1 チャンネルマイクから 4 チャンネルマイクアレイに変更した. また電化製品から出る電磁ノイズをセンシングする目的で先行研究では EMI センサを使用していた. しかし本研究では, 電波を発するミリ波センサを追加したため EMI センサにミリ波センサからのノイズが混入するため ENI センサを削除した. 以下の項にて新たに使用するセンサの説明をする.

4.1.1 ミリ波センサ

TI 社の AWR1642BOOST というミリ波センサ (図 1) は自動運転システムにも用いられているミリ波レーダーを 1 チップ, オンボード・アンテナ化し小型の開発ボードにしたものであり 76GHz~81GHz を使用する. ミリ波センサでは, 図 2 に示すように最大 6m の範囲で人の位置また人数を検出し追跡することができる. 図 2 の左の図が人と検出した点群及びその追跡である. 右の図が検出した人の位置を表しており点群の重心を中心にして円を表示している. 人の位置及び人数の検出には TI 社のリファレンスデザイン[12]を参考に作成した. このリファレンスデザインでは水平面で 120° 最大 6m の範囲で最大 250 個の物体を検出し最大で 20 人を認識し追跡することができる. またチャープ構成の変更で距離の変更ができる. ミリ波センサは内部に信号処理用の DSP と ARM Cortex R4F マイコンが内蔵されておりミリ波センサ単体で人の位置及び人数を検出することができる.

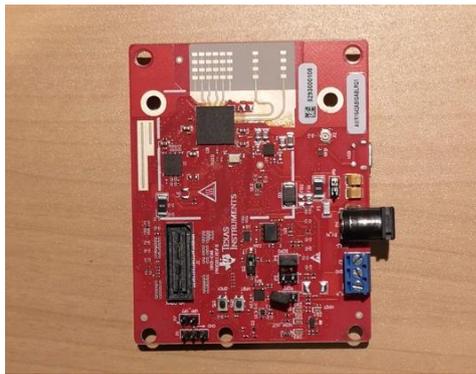


図1 ミリ波センサ

Figure 1 millimeter wave sensor

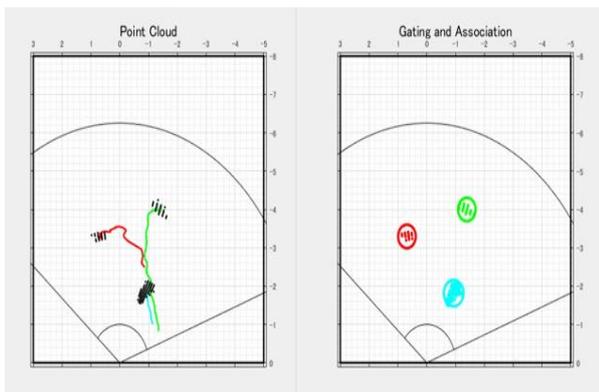


図2 ミリ波センサによる人数カウント及び追跡

Figure2 People count and tracking by millimeter wave sensor

4.1.2 マイクアレイ

先行研究では1チャンネルのマイク ADMP401 を使用していたが、本研究では seed 社のマイクが4チャンネル搭載された ReSpeaker Mic Array v2.0 (図3) を使用する。このマイクアレイはスマートスピーカーのような音声アシスタントシステムを想定し設計されているため内部には XMOS XVF-3000 プロセッサが搭載されておりマイクアレイ単体で DOA (Direction of Arrival) による音源方向推定やノイズやエコーの低減が行える。



図3 マイクアレイ

Figure3 Microphone array

4.2 行動認識デバイス

それ以外のセンサは図4に示すように先行研究と同じものを使用した。左上から右に3軸加速度センサ (MPU6500),

PIR センサ (AMN2111), 赤外線アレイセンサ (AMG8833) 左下から右に磁気センサ (MAG3110F), 照度/カラーセンサ (TCS34725), 温度センサ/湿度センサ/気圧センサ (BME280) である。これらのセンサは ESP32 マイコンが搭載された M5Stack に接続され得られたセンサデータを microSD に CSV で保存している。サンプリング周期は、加速度センサが 100Hz, その他の PIR センサ, 赤外線アレイセンサ, 磁気センサ, 照度センサ, カラーセンサ, 温度センサ, 湿度センサ, 気圧センサは 10Hz となっている。ミリ波センサは 20Hz, マイクアレイは 16kHz また推定した音源方向を 10Hz で取得している。WiFi を使用し LAN 内のサーバーにデータを送信しておりリアルタイムにセンサデータを確認できるようになっている。

新たに追加したミリ波センサでは、1.5m 以上の高さに設置することが推奨されている。先行研究のようにコンセントに設置する方法では高さが足りなかったため、本棚等に設置できるようなデバイスとした。図5に示すように上部にミリ波センサを搭載することで、推奨される高さを得られるようにした。最上部にはマイクアレイが搭載されている。最下部には人感センサと赤外線アレイが搭載されている。中部にはそれ以外のセンサとセンサに接続された M5Stack が搭載されている。内部には、Raspberry Pi3 が搭載されている。この Raspberry Pi3 にマイクアレイを USB 接続されており4チャンネルでの録音及び内部プロセッサで計算された音源方向を保存している。ミリ波はプラスチックや紙等を透過するのでセンサの周囲を覆った状態でも使用することができるため図5の右に示すようにデバイスを覆う外枠を塩化ビニル版で作成した。覆われていると正常に動作できない PIR センサと赤外線アレイは最下部に設置し外枠の影響を受けないようになっている。こうすることで一般家庭に設置しやすいデザインにすることができた。

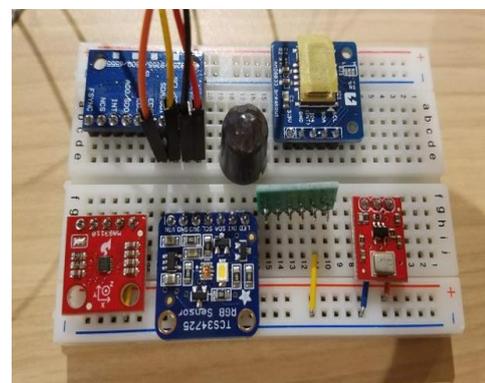


図4 搭載しているセンサ

Figure4 Sensor mounted on device

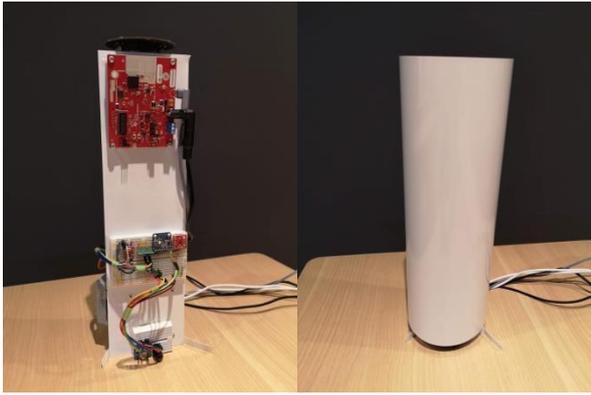


図5 開発した行動認識デバイス

Figure5 Behavior recognition device developed

5. 実験

提案手法で開発した行動認識デバイスを用いた行動認識システムの実現に向けて、予備実験を行った。実験環境は図6に示す横4.3m縦8.2mの部屋を使い、被験者2名（教授、大学院生）で行った。その行動の様子を開発した行動認識デバイスとwebカメラを用いて記録した。

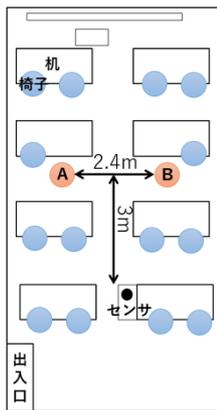


図6 実験環境

Figure6 Experiment environment

5.1 実験の目的と方法

予備実験1の目的は複数人のユーザの位置と人数を正しく認識及び追跡できるか確認するためである。

予備実験1では部屋の中で歩く、立つ、座るという3種類の行動をしてもらった。出入口から図6に示すA、Bの場所に移動してもらい30秒間その場に立ち、30秒間椅子に座りその後立ち上がり出入口に移動する。この一連の流れを1人でAに移動する場合とBに移動する場合の2パターンと2人で同時にA、Bに移動する計3パターンをそれぞれ5回ずつ行った。

予備実験2の目的は、複数人の中から機器を使用している人について音源方向を用いて特定するために機器が発する音の音源方向を推定できるか確認することである。

予備実験2では、被験者2人が部屋のA、Bの位置にいる状態でどちらかの一人が30秒間ドライバーをそれぞれ

5回ずつ利用してもらった。音源方向は30秒間で毎秒10回の推定を行った。

5.2 実験結果と考察

図7はミリ波センサが人を認識している様子である。図7の左側のPoint Cloudは認識された人の軌跡、図7の右側のGating and Associationは人と認識された点群となっている。予備実験1の結果を表1、2、3に示す。それぞれの表は歩く、立つ、座るという3種類の行動時において人が認識された割合を示している。認識率は、それぞれの行動を行っているときに図7のようにミリ波センサから得られた点群から、正しく人を検出できた割合である。

歩いている状態での認識率が他の行動より低い理由として、ミリ波センサの範囲外から人が移動しているため認識するまで遅延が発生しているためである。また座っている状態では、一時的に認識が外れることがあり認識率にばらつきが生じた。その理由としては、動いている点群を人として認識するため動きが少ないと静的なオブジェクトとして認識されてしまうためである。表3では2人を認識しているときに人を認識したとして認識率を算出した。2人の場合では、立っている状態では99%と最も高く、座っている状態が82%とほかの行動に比べ低い結果となった。1人の時よりも認識率が低下しているが、2人を同時に認識できていた。このことから、2人でも人の位置と人数を認識することが確認できた。

次に予備実験2の結果を表4、5に示す。それぞれの表はドライバーを使用している人の音源方向をマイクアレイから推定した角度を示したものである。

Bの位置でドライバーを使用した1回目では、標準偏差0.67と最も小さくなり、音源方向の推定がされた。しかしAの5回目とBの3回目の結果では標準偏差が大きくなっている。その理由としてドライバーを使用し音が発生したのちに音源方向を推定されるまでに時間がかかったためである。A、Bのどちらの位置でも5回とも音源方向を正しく推定することができた。そのため2人の中で音源方向を用いてドライバーを使用している人を認識することは可能であることが確認できた。

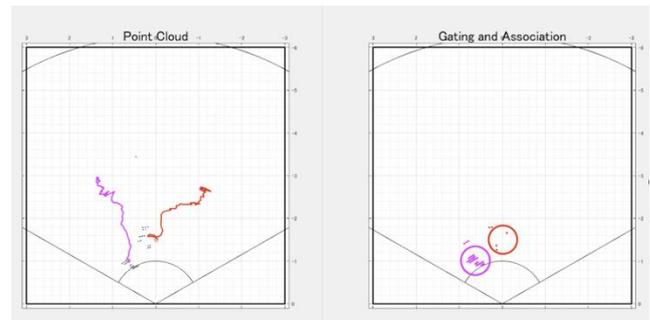


図7 予備実験1の様子

Figure7 State of preliminary experiment 1

表 1 A に人がいる場合の結果

Table 1 Result when there are people in A

| | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 | 平均 |
|----|------|------|------|------|------|------|
| 歩く | 98% | 95% | 94% | 91% | 98% | 95% |
| 立つ | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| 座る | 74% | 100% | 100% | 100% | 100% | 95% |

表 2 B に人がいる場合の結果

Table 2 Result when there are people in B

| | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 | 平均 |
|----|------|------|------|------|------|------|
| 歩く | 80% | 93% | 96% | 97% | 96% | 92% |
| 立つ | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| 座る | 100% | 100% | 100% | 100% | 82% | 96% |

表 3 A,B に人がいる場合の結果

Table 3 Result when there are people in A and B

| | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 | 平均 |
|----|-----|------|------|------|------|-----|
| 歩く | 87% | 91% | 65% | 77% | 90% | 82% |
| 立つ | 99% | 100% | 100% | 100% | 100% | 99% |
| 座る | 73% | 83% | 89% | 100% | 100% | 89% |

表 4 A がドライヤーを使用している場合の結果

Table 4 Results when A is using a dryer

| | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 平均 | 121.34 | 121.83 | 121.84 | 117.49 | 123.89 |
| 中央値 | 121 | 122 | 122 | 118 | 120 |
| 標準偏差 | 0.9 | 1.07 | 1.4 | 9.05 | 26.38 |

表 5 B がドライヤーを使用している場合の結果

Table 5 Results when B is using a dryer

| | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 平均 | 55.87 | 54.88 | 60.83 | 57.81 | 56.18 |
| 中央値 | 56 | 55 | 57 | 58 | 56 |
| 標準偏差 | 0.67 | 1.75 | 3397 | 0.81 | 0.72 |

6. まとめと今後の課題

本論文では、一か所に設置した複数のセンサを組み合わせることで屋内での行動を認識するデバイスの開発と予備実験を行った。先行研究で使用していたセンサに加えてミリ波センサとマイクアレイを用いて、複数人のユーザの位置と人数、音源方向を推定し認識された行動の位置の推定及び複数人の行動の区別するシステムを提案した。提案システムの実現に向けて、予備実験を行った。予備実験の結果、複数人の場合でも人の位置を平均 90%の精度で認識することができた。また 2 人のどちらか 1 人が使用している機器の音源方向を推定することができた。

今後の課題として、今回は 2 人で実験を行ったがより多い人数の場合でも認識できるか、検証を行う必要がある。また同時に音が発生している場合では認識できるのか検証を行う必要がある。音源方向を用いて機器を使用している人の認識をするため同角度に複数人いる場合では、認識す

ることができないためそれを解決する手法の検討を行う。そして、食事、料理、入浴、テレビの視聴、睡眠などの日常生活動作を対象として提案手法の評価実験を行う必要がある。

参考文献

- [1] Laput, G., Zhang, Y. and Harrison, C.: Synthetic sensors: Towards general-purpose sensing, Proc. CHI 17, pp.3986–3999, ACM(2017).
- [2] Jalal, A., Kamal, S. and Kim, D.: A depth video sensor-based life-logging human activity recognition system for elderly care in smart indoor environments, Sensors, Vol.14, No.7, pp.11735-11759 (2014).
- [3] Castro, D., Hickson, S., Bettadapura, V., Thomaz, E., Abowd, G., Christensen, H., Essa, I.: Predicting daily activities from egocentric images using deep learning. proceedings of the 2015 ACM International symposium on Wearable Computers pp.75-82, ACM(2015).
- [4] Shoaib, M., Bosch, S., Incel, O., Scholten, H., Havinga, P.: A survey of online activity recognition using mobile phones, Sensors, Vol.15, No.1, pp.2059-2085 (2015).
- [5] Lu, Y., Wei, Y., Liu, L., Zhong, J., Sun, L., Liu, Y.: Towards unsupervised physical activity recognition using smartphone accelerometers, Multimedia Tools and Applications, Vol.76, No.8, pp.10701-10719 (2017).
- [6] Siirtola, P., & Rönning, J.: Recognizing human activities user-independently on smartphones based on accelerometer data, IJIMAI, Vol.1, No.5, pp.38-45 (2012).
- [7] Ouchi, K. and Doi, M.: Smartphone-based monitoring system for activities of daily living for elderly people and their relatives etc, Proceedings of UbiComp 2013, pp. 103-106, ACM (2013).
- [8] Shoaib, M., Bosch, S., Incel, O., Scholten, H. and Havinga, P.: Complex human activity recognition using smartphone and wrist-worn motion sensors, Sensors, Vol.16, No.4, pp.426 (2016).
- [9] Kasteren, T. L., Englebienne, G. and Kröse, B. J.: An activity monitoring system for elderly care using generative and discriminative models, Personal and ubiquitous computing, Vol.14, No.6, pp.489-498 (2010).
- [10] Chen, L., Nugent, C. D. and Wang, H.: A knowledge-driven approach to activity recognition in smart homes, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol.24, No.6, pp.961-974 (2012).
- [11] Gupta, S., Reynolds, M. S. and Patel, S. N.: ElectriSense: single-point sensing using EMI for electrical event detection and classification in the home, Proceedings of the 12th ACM international conference on Ubiquitous computing, pp.139-148, ACM (2010).
- [12] Texas Instruments : TIDEP-01000 ミリ波レーダー・センサを使用する人数追跡 / 計測のリファレンス・デザイン | TIJ.co.jp, Texas Instruments (オンライン), 入手先
(<http://www.tij.co.jp/tool/jp/TIDEP-01000>) (参照 2019-5-12).