

履物裏に貼り付けた BLE ビーコンによる歩数推定手法

大鐘 勇輝¹ 榎堀 優² 梶 克彦³

概要: 医療技術の発達による寿命の延伸と、これに伴う高齢化によって、介護業界の人手不足が社会問題となっている。高齢者介護施設では日常生活の介助の他に、健康維持を目的とした活動量の把握・管理が求められる。この作業の負担軽減を目指す試みとして、加速度センサやスマートフォン、カメラを用いた活動量推定が提案されているが、導入コストの問題により広く普及するには至っていない。そこで本研究では、低コストで導入・運用が行える活動量推定を目指し、BLE ビーコンをセンサとして使用する歩数の推定手法を提案する。BLE ビーコンから発信される電波は、受信機との距離や遮蔽状態の違いによって変化しやすい。この特徴に着目し、履物裏に BLE ビーコンを貼り付け、歩行動作によって変化する受信電波強度から歩数を推定した。ただしこの際、貼り付ける履物の素材や歩行速度、受信機の設置位置が、受信電波強度に影響を与える可能性がある。本稿ではこれらの影響についても調査を行い、提案手法の有効性を確かめた。評価実験では、任意の速さで 100 歩分歩いてもらい、実際の歩数と推定歩数を比較して評価を行った。その結果、91.6%の精度で推定が行えると判明した。

A Method for Estimating the Number of Steps Taken Using a BLE Beacon Attached to the Back of Footwear

YUKI OGANE¹ YU ENOKIBORI² KATSUHIKO KAJI³

1. はじめに

医療技術の発達や医療制度の充実により、日本は世界有数の長寿国となっている。厚生労働省が公開している『平成 30 年簡易生命表』[1]によると、2018 年時点の平均寿命は、統計を開始した 1947 年から男女ともに 30 年以上伸びており、男性では約 81 年、女性では約 87 年と公表されている。

一方で、高齢者介護施設に入居する高齢者も増加しており、介護業界では職員の人手不足が深刻化している。公益財団法人介護労働安定センターの『平成 29 年度介護労働実態調査結果』[2]によると、平成 29 年度では全体の 66.6% の介護事業所が従業員の不足を感じていると回答している。介護業界の人員不足の主な原因として、高い労働負荷が挙げられる。例えば、高齢者介護施設では日常生活の介助だけでなく、健康維持を目的とした活動量の把握・管理まで求められる。活動量は健康維持に深く結び付いてお

り、例えば長期間歩かなかった場合には足の筋力が低下し、寝たきりの状態になる可能性がある。もし、寝たきりの状態になった場合、廃用症候群となり身体的機能だけでなく、精神的機能の低下に繋がる場合もある。そのため、日頃から活動量を注意深く確認し、未然に怪我や病気を予防する必要がある。この作業の負担軽減を目指す試みとして、加速度センサやスマートフォン、カメラ、室内位置情報などを用いた活動量推定や行動認識が提案されている [3], [4], [5], [6], [7]。しかし、導入コストの問題により、これらのシステムが広く普及するには至っていない。

この問題の解決策として、我々は先行研究にて、高齢者介護施設における BLE ビーコンを用いた活動量の推定手法 [8] を提案している。この研究は、自力での移動が困難な車椅子使用者をターゲットとしており、自力で歩ける高齢者は対象としていない。しかし、実際に活動量の推定システムとして運用する場合、車椅子使用者なのか、自力で歩ける健常者なのかに関係なく推定できるのが望ましい。そこで本研究では、自力で歩ける高齢者を対象とした歩数の推定手法を提案し、先行研究の拡張を行う。推定には先

¹ 愛知工業大学大学院 経営情報科学研究科

² 名古屋大学大学院 情報科学研究科

³ 愛知工業大学 情報科学部

行研究と同じく BLE ビーコンを使用し、センサとしての BLE ビーコンの新たな応用例を示す。

提案手法は図 1 に示す通り、履物の裏側に BLE ビーコン (図 2) を貼り付ける。そして、室内に設置した受信機における、BLE ビーコンの受信電波強度をもとに歩数の推定を行う。これまで、BLE ビーコンは広告配信や位置推定のための電波を発する文字通りビーコンとして使用されてきたが、センサとして使用されている例はあまりない。BLE ビーコンから発信される電波は、受信機との距離や遮蔽状態の違いによって減衰する。特に履物では、歩行時のステップに合わせて変化が現れるため、センサとしての活用が望める。また、本手法は介護施設での使用を想定しているため、電池交換といった管理コストや機器の導入コストは少ない方が望ましい。その点、BLE ビーコンは省電力なため長期間の稼働が可能であり、サイズ・重さともに小さいため設置も容易である。加えて BLE ビーコンの電波はスマートフォンで受信できるため、電波の受信に特別な機器を必要とせず、UUID, Major, Minor の情報から各ビーコンの識別が行えるため、1 台のスマートフォンで複数の BLE ビーコンの監視が可能である。ただし、BLE ビーコンの電波は Wi-Fi 等と比べて出力が弱いため、建物構造や部材、ネットワーク機器による電波ノイズの影響を受けてしまい、正確に推定を行えない可能性がある。この問題を解決するため、本研究では測定データへのデジタルフィルタの適用や、受信機の最適な設置位置の検討を行い、安定した推定の実現を目指す。

本稿の構成は以下の通りである。2 章では、人の動きのセンシングに関する既存研究を紹介し、その特徴や問題点について述べる。3 章では、既存手法における問題点を解決するために、BLE ビーコンを使用した歩数推定の手法について述べる。4 章では、履物の素材や受信機の設置位置の違いによる影響の評価を行う。5 章では、本研究で提案した手法の評価を行い、最後に 6 章でまとめを行う。

2. 関連研究

本章では、人の動作センシングに関する既存研究を紹介し、その特徴やメリット・デメリットを述べる。既存研究では主に、人がセンサを身につける手法と、環境側にセンサを設置する手法の 2 つで行われている。それぞれの手法について節を分けて紹介する。

2.1 人がセンサを身につけてセンシングする研究

人がセンサを身につける手法として、加速度センサや角速度センサ、気圧センサ等を用いた研究が多く行われている [3], [9], [10], [11], [12]。これらの研究は直接動きのデータを測定できるため、測定ノイズの影響を受けにくく、正確なセンシングを行える。この特徴を応用して、GPS による測位が困難な屋内での行動推定やモニタリング、位置推



図 1 提案手法の概要

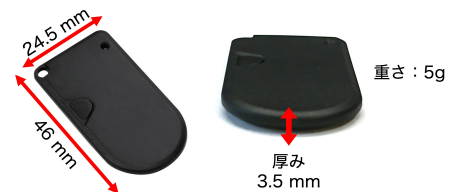


図 2 BLE ビーコン

定を目指す研究が、PDR(歩行者自律航法) という形で提案されている [13], [14], [15], [16]。しかし、正確にセンシングできる一方、常にセンサを身につける必要があるため対象者への負担が大きく、長期間のセンシングには不向きである。

この問題の解決策として、日常的に使用するモノにセンサを取り付ける手法が提案されている [17], [18]。これらの研究は靴にセンサを取り付け、靴をウェアラブルデバイスとして使用している。これにより、対象者はセンシングに必要な機器について意識する必要がなくなるため、精神的負担や身体的負担を軽減できる。

また、スマートフォンに内蔵されているセンサを活用して、行動認識や介護施設でのモニタリングを行う研究がある [4], [5], [19]。スマートフォンは日常的に携帯・使用するものであるため、専用のセンサを使用する場合と比べて、運用コストを軽減できる。現在販売されているスマートフォンには、加速度センサやジャイロセンサ、環境光センサなど多くの高精度センサが搭載されており、OS が提供する API を通して簡単に扱えるようになっている。この特徴により、少ないコストで実装を行えるだけでなく、実装後はスマートフォンアプリという形で配布が可能である。加えて、スマートフォンは広く普及しているため入手が容易であり、GUI にて操作が行えるため設定の変更や取得し

たデータの可視化が容易に行える。

2.2 環境側にセンサを設置してセンシングする研究

環境側にセンサを設置するセンシング手法として、カメラ [20], [21] や電波 [22], [23], [24], [25], [26], 消費電力変化 [27], [28] を利用した研究が行われている。カメラを用いた手法では、あらかじめ目印となる物とその座標を結びつけておき、カメラでその目印を検出して位置推定を行う。画像データから対象物の絶対位置が推定できるため、加速度センサ等で位置推定を行う場合と異なり、推定誤差が蓄積しない。この特徴を用いて車椅子ナビゲーションや、軌道追跡を実現する研究がある [20], [21]。これらの研究は目印となる物を設置するだけで位置推定環境が整うため、専門知識がない人でも容易に導入を行える。しかし、センシングに際しては常に対象者を撮影する必要があるため、個人のプライバシーを保護する仕組みが求められる。

次に、電波を用いたセンシング手法では、Wi-Fi やドップラーレーダを用いた研究が行われている [22], [23], [24], [25], [26]。これらの手法は、人の動きに合わせて変化するチャンネル状態情報 (CSI) や反射波の周波数情報を用いて、動きを間接的に推定する。不可視かつ非接触で推定を行えるため、センシング対象者の負担が少なくプライバシーも守られる。しかし、その特徴ゆえ、連続的な動きや細かい動きを推定するのは困難である。また、電波を用いたセンシングでは、受信機との距離や障害物の有無によって推定精度に影響が出やすい。そのため、機器の設置に際しては最適な設置位置の検討が求められる。

最後に、消費電力変化を用いたセンシング手法では、家電に消費電力を計測する機器を取り付け、その利用状況から家庭内行動を推定する研究が行われている [27], [28]。使用時のみ電気を消費する家電であれば、使用時と未使用時の変化から家電の操作を認識できる。反対に、常に電気を消費する家電であっても、運転モードの切り替えに起因する変化から家電の操作を認識できる。家電の操作が認識できると、時系列の使用情報と家電の位置情報との組み合わせによって、大まかな行動認識が行える。この手法は、機器の設置が容易であり、プライバシーを侵害するリスクも無い。一方で、電気を使用しない家具や雑貨に対しては適用が不可能であり、推定の粒度も家電の数に左右される問題がある。この問題の解決策として、先行研究 [27], [28] では、特徴の異なる複数のセンサの組み合わせによって、より詳細な推定を実現している。

3. BLE ビーコンを用いた歩数推定

本研究では BLE ビーコンと、スマートフォンを組み合わせ使用。先行研究 [4], [19] では、スマートフォンのみで対象の動きを推定するものもあるが、対象が複数だった場合、その数だけスマートフォンを用意する必要があり、

金銭的コストが大きくなってしまふ。我々は過去にモノの状態推定 [29] や睡眠位置認識 [30], 車椅子の移動認識 [31] といった研究を行っており、様々な場所や人、モノのモニタリングを研究の到達点と位置付けている。そのため、スマートフォンを複数台使用して推定するのは、費用面で望ましくない。そこで、受信機となるスマートフォンの使用は1台のみとする。また、BLE ビーコンについても設置コストや運用コストの観点から、使用は1つのみとする。

3.1 機器の取り付け

提案手法では、歩行動作における受信電波強度の変化から歩数を推定するため、BLE ビーコンを履物 (右足) の裏側に貼り付ける。この際、BLE ビーコンが歩行の邪魔にならないよう、図3のように BLE ビーコンの大きさに合わせて履物中央に穴を開け、埋め込むように貼り付ける。穴を開ける場所としては履物の上側や下側も考えられるが、人によって足の大きさは異なるため、確実に BLE ビーコンの真上に足が来るように中央部分に貼り付けた。BLE ビーコンの受信機についてはスマートフォンを使用し、室内中央の床に設置を行う。BLE ビーコンの受信機としては Raspberry Pi のようなマイコンが使用される場合が多いが、それらは稼働に本体とは別に電源が必要となる。それに比べて、スマートフォンの場合はバッテリーと一体となっているため、単体のみで稼働できる。また、スマートフォンは BLE の電波を受信できる機器の中で最も普及しており、GUI で操作が可能のため、IT に詳しくない人でも容易に操作を行える。



図3 履物への BLE ビーコンの貼り付け

3.2 受信電波強度データの収集とノイズ軽減処理

本手法では、BLE ビーコンの受信機としてスマートフォンを使用し、アプリとして独自に作成したものを使用する。アプリはすでに公開されている既存のものもあるが、BLE ビーコンの電波スキャン間隔が変更できない、ファイルに記録する機能が無い等の問題があった。そこで本研究では、独自に作成した Android アプリケーションを用いる (図4)。本アプリはスキャン間隔の設定や記録する BLE

ビーコンの選択が可能であるため、特定のスリッパを任意の時間分解能で測定できる。このとき測定したデータは、測定結果を解析するプログラム側で扱い易いよう、CSV形式で保存される。また、本アプリはバックグラウンドで実行でき、BLE スキャンにおける電力使用も僅かであるため、本アプリが電池残量に与える影響は軽微である。具体的な値として、田中らの研究 [32] によると、BLE USB ドングルにおける BLE スキャン時の消費電力は 52.8mW であったと評価されている。この値は、直径 3mm の白色 LED*1 の消費電力 108mW の約半分の値である。

図 5 は、スリッパに BLE ビーコンを貼り付けた状態で、図 6 の室内を矢印の通り 100 歩歩いた際の受信電波強度の波形である。最初と最後の約 15 秒間は静止しており、残りの部分は歩行している。受信電波強度の波形を確認すると、静止区間では波形の変化が少ないのに対し、歩行区間 (20 秒～100 秒付近) では波形が上下に大きく変化している。この結果から、歩行動作に合わせて受信電波強度は変化すると認められた。よって、1 歩ごとの変化を抽出できれば、歩数推定が実現できる。ただし、この生データにはノイズが乗っているため、そのまま使用すると歩数推定の精度に影響を及ぼす。そこで、ノイズを軽減するための処理として、本研究では FFT とハイパスフィルタを使用する。具体的には、FFT で周波数成分を解析し、ハイパスフィルタで歩行時の変化と関係ないノイズ成分を除去する。図 7 に FFT による周波数解析と、ハイパスフィルタの適用結果を示す。ハイパスフィルタの適用結果を見ると、歩行と関係ないノイズ成分が除去され、静止成分と歩行成分 (ステップ成分) の違いがより明確になっている。



図 4 BLE ビーコンの受信電波強度を測定する Android アプリ

3.3 ピーク値の検出と歩数推定

歩数は、ハイパスフィルタ適用後の波形のピーク値の個数を用いて推定する。ピーク値とは、ある範囲内における極大値・極小値の値であり、本研究では BLE ビーコンの振幅が最も大きく・小さくなる所に当たる。ここで歩数推定には、極大値のピーク個数と極小値のピーク個数を使う

*1 LG イノテック製 3mm 白色 LED (LEBWL34A06AA00)

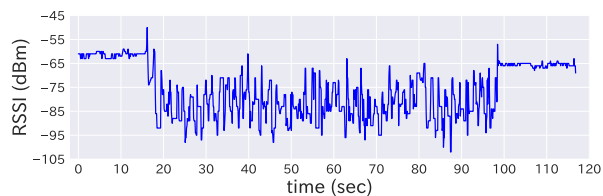


図 5 受信電波強度の生データ

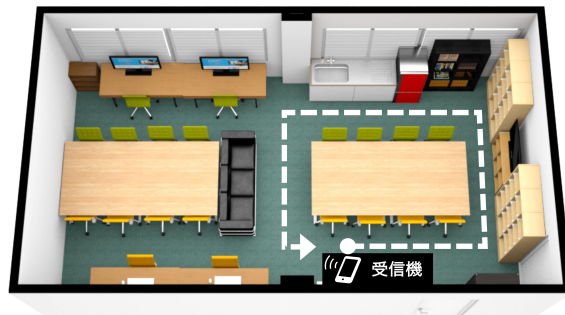


図 6 室内の見取り図

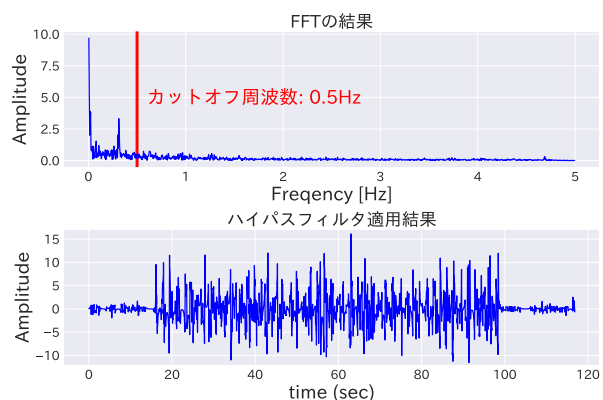


図 7 FFT とハイパスフィルタの適用結果

方法が考えられるが、極小値のピーク値は振幅が小さく正しく検出できない場合がある。そのため、本手法では極大値のピーク個数のみを歩数推定の指標として使用する。

また、歩行状態や BLE ビーコンの電波状態によっては、ハイパスフィルタで除去しきれないノイズが発生し、ピーク値の判定を誤る場合がある。これを防止するため、ピーク値同士の時間間隔とそれぞれの振幅に閾値を設けて誤検出の抑制を行う。今回は時間の閾値として 1.5 秒、極大閾値として 4~15 と設定している。図 8 にピーク値の検出結果を示す。

ピーク値が検出できたらその数を集計し、歩数を推定する。本研究では、BLE ビーコンを右足の履物だけに貼り付けるため、推定歩数はピーク個数を 2 倍した値となる。したがって、図 8 内のピーク個数は 48 個であるが、推定歩数は 2 倍した 96 歩となる。

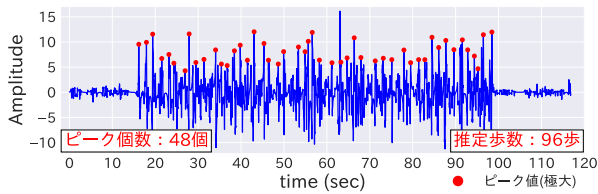


図 8 ピーク値の検出と歩数の推定

4. 履物の素材や受信機の設置位置の違いによる受信電波強度への影響の評価

本研究では、歩行動作にともなって変化する BLE ビーコンの受信電波強度をもとに歩数を推定する。しかし、受信電波強度は障害物や受信機との距離によって影響を受けやすい。そのため、BLE ビーコンを貼り付ける履物の素材や歩行速度、受信機の設置位置が、受信電波強度にどのような影響を与えるか評価するのが望ましい。そこで本研究では、様々な素材の履物や歩行速度、受信機の設置位置で受信電波強度を測定し、その影響を確かめた。

4.1 履物の素材や種類の違いによる受信電波強度への影響評価

履物の素材や種類の違いによって受信電波強度に違いが出るか確かめるため、3つの素材のスリッパと1種類のスニーカー(図9)を用意した。履物の素材は、ポリ塩化ビニル、合成樹脂、ゴム、レーヨン*2であり、それぞれ図3のように裏面に穴を開け、BLE ビーコンを貼り付けた。この状態で、60bpm(1秒に1回)のメトロノーム音に合わせて腿上げを行い、各素材における受信電波強度を測定した。なお、静止している間の受信電波強度も比較するため、最初の15秒間は静止している。図10に結果を示す。

測定の結果、素材や種類が異なっても静止・腿上げどちらの状態においても、受信電波強度に大きな変化は見られなかった。時間経過と共に受信電波強度の極小の値が緩やかに減衰しているが、これは腿上げをするうちに受信機から体が離れてしまったのが原因である。したがって、本手法においては履物の素材による影響を特段考慮する必要はないと考えられる。



図 9 履物の一覧

*2 履物のソール部分の素材名である

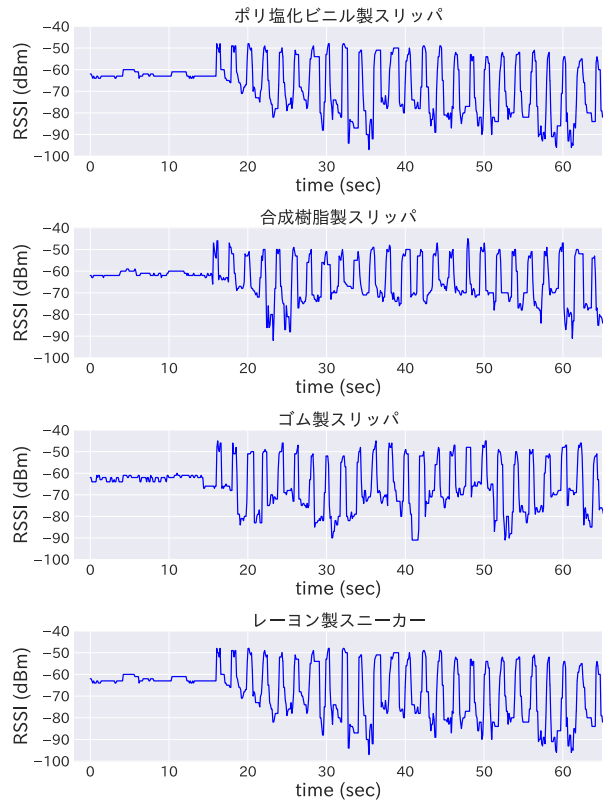


図 10 各素材のスリッパにおける受信電波強度

4.2 歩行速度の違いによる受信電波強度への影響評価

本研究では、歩行時に足が地面から離れ、受信電波強度が強くなる部分を捕捉して歩数を推定する。しかし、歩行速度は人によって異なるため、人によっては受信電波強度に変化が出にくい可能性がある。例えば、歩行速度が速い人の場合、足が地面から離れている時間も短くなるため、変化が短時間でノイズの影響を受けやすく、推定が困難になる可能性がある。そこで、メトロノームを用意し、その場で60bpm、120bpm、180bpmの3つの速度で腿上げを行い、各速度における受信電波強度を測定した。歩行ではなくその場で腿上げを行い測定した理由として、歩行で測定すると受信機との距離が変化し、歩行と関係ないノイズが乗ってしまい比較が難しくなるためである。図11に結果を示す。なお、測定にはゴム製のスリッパを使用しており、最初の15秒間は静止している。

測定の結果、180bpm(1秒間に3回)の速い速度で腿上げを行っても、動作に合わせて受信電波強度にしっかりと変化が現れた。本研究は、高齢者介護施設をターゲットとした研究であるため、実際の歩行速度は180bpmより遅い場合がほとんどである。したがって、本手法においては歩行速度が推定精度に与える影響は小さいと考えられる。

4.3 受信機の高さの違いによる受信電波強度への影響評価

電波を使用してセンシングを行う場合、受信機の設置位置は精度を左右する重要なポイントとなる。とりわけ、室

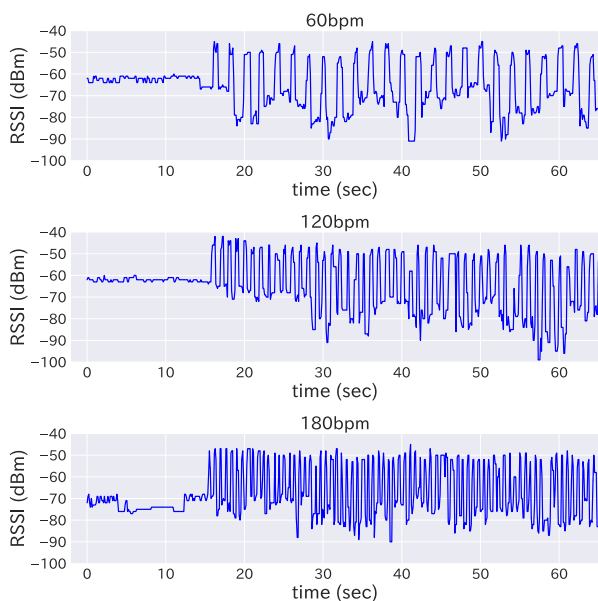


図 11 複数の腿上げ速度における受信電波強度

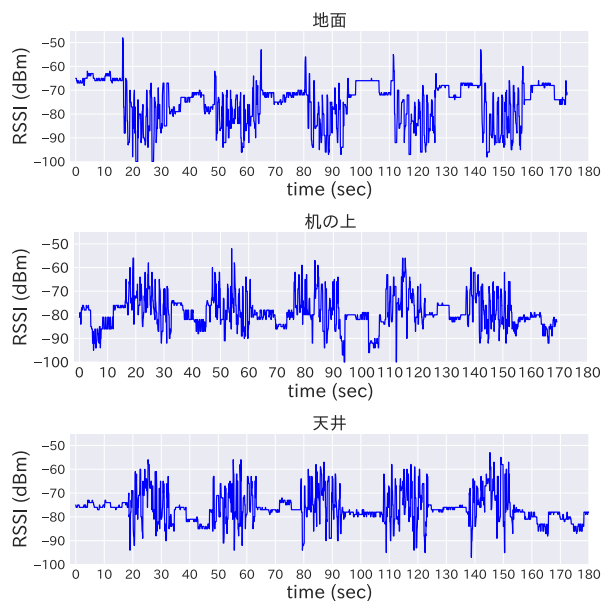


図 12 複数の受信機の高さにおける受信電波強度

内を対象として測定を行う場合、家電や家具といった障害物によって受信電波強度が減衰するため、それらを考慮して設置位置を決める必要がある。そこで本研究では、地面、机の上(金属製)、天井の3つの高さを受信機を設置し、図6の部屋を矢印の通り歩行した際の受信電波強度を比較・評価した。なお、測定にはゴム製のスリッパを使用しており、最初と1周するごとに15秒間静止している。図12に結果を示す。

測定結果として、受信機の高さの違いによって歩行時の受信電波強度の変動幅に違いが現れた。具体的には、受信機を地面に設置した場合には、歩行時の受信電波強度の変動幅が約-95~-70dBmなのに対し、天井に設置した場合には約-90~-60dBmとなった。受信機を天井に設置すると、地面に設置するより障害物の影響を受けにくいと考えられる。また、机の上に設置した場合には、天井に設置した場合と近い結果になった。この机は金属製であるため、地面や天井に設置した場合と比べて受信電波強度は減衰すると思われたが、予想に反して影響は見られなかった。測定環境が室内であるため、反射や回折によって電波が回り込みこのような結果となったと考えられる。

以上の結果から、受信機の設置位置によって受信電波強度の変動幅の違いが出ると判明した。しかし、歩行動作に合わせて受信電波強度は顕著に変化しているため、歩数推定に与える影響は小さいと考えられる。したがって、受信機の設置位置を決める際は、障害物の影響よりも受信機の設置やメンテナンスにかかるコストを重視して問題ないだろう。

5. 評価実験

本稿で提案した手法の推定精度を確かめるため、評価実

験を行った。評価は20代の健常者を被験者とし、推定結果と実際に歩いた歩数を比較して、歩数推定の精度を算出した。

5.1 実験端末の選定と設定

Bluetoothのセンサ精度は端末ごとに異なるため、実験に用いる端末は変化を正しく捉えられるものが望ましい。我々は以前、ZenFone 4, Xperia XZ2, Nexus 6Pの3機種を用いて、機種の違いによる受信電波強度の差異の評価を行っている[29]。この評価では、金庫の内部にBLEビーコンを設置した状態で蓋の開閉を行い、その際の受信電波強度を各端末で収集して比較した。その結果、ZenFone 4とXperia XZ2では開閉動作に合わせて顕著な変化が現れたのに対し、Nexus 6Pでは全体的に変化が小さく細かいノイズも乗っていた。このように、同じ条件でも受信電波強度の値は端末によって異なる。よって本評価では、良好な結果が得られたXperia XZ2をBLEビーコンの受信機として使用する。

また、本研究では履物の裏側にBLEビーコンを貼り付けるため、使用する機器はできるだけ小さい方が望ましい。そこで、今回の評価実験では小型・軽量で取り付けが容易という理由から、フォーカスシステムズ社のFCS1301(図2)を使用する。機器の設置場所については、BLEビーコンはゴム製のスリッパの裏側(図3)に設置し、受信機は図6の位置に設置した。BLEビーコンの発信間隔と受信機の受信間隔については、ともに100msと設定した。なお、この100msという値は、今回使用したBLEビーコン(FCS1301)で設定できる最短送信間隔である。

5.2 歩数推定における推定精度の評価

歩数推定における推定精度を確認するため、被験者に図6の部屋を矢印の通り歩いてもらい評価を行った。実験設定として、高齢者介護施設を対象とした研究であることを伝え、任意の速さで100歩分歩いてもらい歩数推定を行った。被験者は5人であり、最終的な精度は5人分の正解率の平均値とした。歩き出す位置は全員同じで、終了地点は100歩歩き終わった地点とした。また、最初に踏み出す足は右足とし、歩き出す前と、歩き終わった後には15秒間ずつ静止をしている。

推定処理に用いるパラメータは、ハイパスフィルタのカットオフ周波数は0.5Hz、ピーク検出時の極大閾値は4~15、ピーク間の時間閾値として1.5秒とした。歩数の推定結果を図13に、推定正解率を表1に示す。正解率は被験者順に、96.0%、92.0%、86.0%、96.0%、88.0%となり、平均正解率は91.6%となった。

5.3 実験結果の考察

評価実験の結果、歩数の平均推定精度は91.6%となり、本研究の有効性が確認できた。提案手法では、FFTとハイパスフィルタを用いて、受信電波強度のデータから歩行成分を抽出し、歩数推定を行っている。これにより、歩行動作と関係ないノイズ成分の影響を受けずに推定を行えたため、91.6%という精度を実現できたと考えられる。しかし、JIS規格(日本工業規格)では、歩数計の誤差は3%以内であることを基準としており、本研究の精度はこれを満たしていない[33]。そのため、1歩の誤差も許されない用途より、大まかに活動量を把握する用途の方が向いている。本研究は、高齢者介護施設における活動量の把握を目的とした研究である。したがって、この誤差割合であれば問題なく、歩数推定の手法として十分な精度だと考えられる。

今後、推定精度を向上させるにあたっては、いくつか改良点も判明した。まず、歩行に合わせて振幅が大きく変化しているが、ピーク値の判定が不十分で捉えられていない箇所がみられた。また反対に、被験者2の推定結果においては、静止している区間であっても2つのピークの誤検出があった。これらの原因として、ピーク検出における閾値の設定が不十分であったと考えられる。今回の評価実験では、ピーク検出における極大閾値は4~15、ピーク間の時間閾値は1.5秒として推定を行ったが、これらのパラメータは限られた数のデータから導き出された値である。そのため、推定精度をより向上させるには多くのデータを収集を行い、最適な閾値を検討する必要がある。

6. おわりに

本稿では、履物の裏にBLEビーコンを貼り付け、歩行動作によって変化する受信電波強度から、歩数を推定する手法を提案した。人の動作センシングでは、加速度センサ

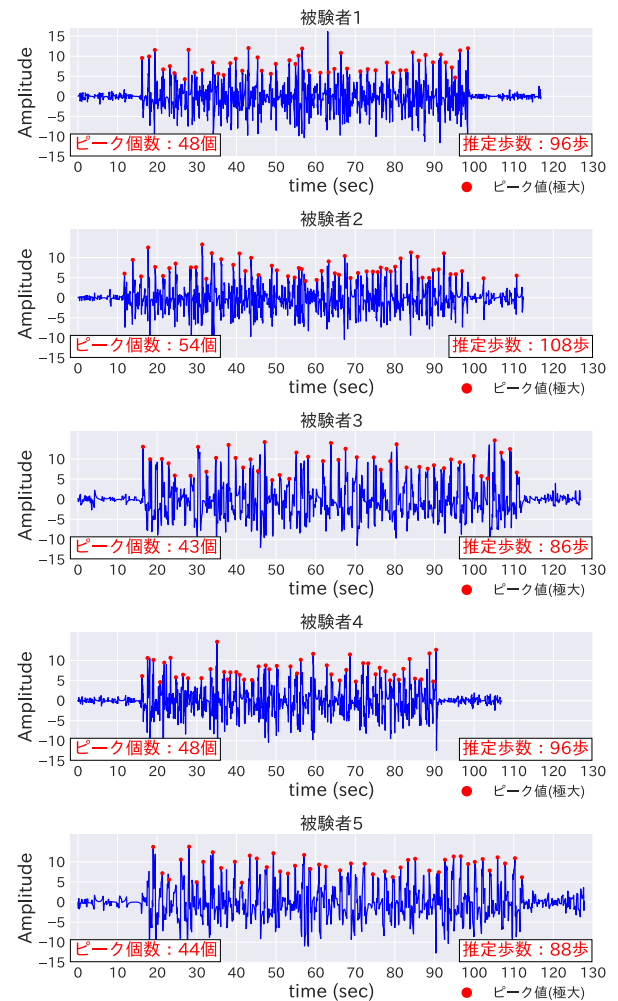


図13 100歩歩いたデータにおける推定結果

表1 自走・介助における推定精度

Table 1 Estimation accuracy in self-propelling / assisting

被験者	推定歩数	正解との差	正解率
1	96歩	-4歩	96.0%
2	108歩	+8歩	92.0%
3	86歩	-14歩	86.0%
4	96歩	-4歩	96.0%
5	88歩	-12歩	88.0%
平均正解率	91.6%		

やWi-Fi電波、カメラを用いた手法が一般的であるなか、我々は今までに無かった手法としてBLEビーコンを採用した。BLEビーコンから発信される電波は、受信機との距離や遮蔽状態の違いによって変化しやすい。この特徴に着目し、低コストで導入・運用が行える歩数の推定手法を目指し、BLEビーコンをセンサとして使用した。しかし、測定データにはノイズが乗るため、FFTとハイパスフィルタによってノイズを軽減し、推定精度の向上を図った。

評価実験では、5人の被験者に任意の速さで100歩分歩いてもらい、実際の歩数と推定歩数を比較して評価を行った。その結果、91.6%の精度で推定が行えると判明した。

この精度は、JIS規格で定められた歩数計の誤差基準3%以内 [33] という基準は満たせていないが、同程度の精度で推定が可能であると示している。本研究は、高齢者介護施設における活動量の把握を目的とした研究であるため、1歩単位の精度は求められない。したがって、91.6%の精度を実現できている本手法は、歩数推定の手法として有効だと考えられる。

今後の課題と展望としては、追加の評価と研究拡張の2つが挙げられる。前者については、本稿で行った評価実験は20代の健常者を被験者としており、高齢者で評価できていない。高齢者では、健康状態によって歩行速度や歩行リズムが異なるため、若年者と同じ歩数カウントアルゴリズムを用いると正しい推定結果が得られない場合がある。実際、Cyartoらの研究 [34] によると、高齢者介護施設の利用者を対象に通常歩行時の歩数をカウントしたところ、55%の誤差が確認されたとしている。そのため、介護施設に入所している高齢者に協力してもらい、実際の環境で十分な推定精度を得られるか評価する必要がある。また、後者については、我々は先行研究としてBLEビーコンを用いたモノの状態推定 [29] や睡眠位置認識 [30]、車椅子の移動認識 [31] を提案している。これらの研究は、BLEビーコンのみでの様々な場所や人、モノのモニタリングを目指している。将来的にこれが実現できれば、他のセンサの代替となり得るだけでなく、手法同士の組み合わせによって、より包括的なモニタリングの実施が望める。現状では、各センシングに最も適した機器と比べて、BLEビーコンは精度面では劣るが、設置や保守、対象者の負担面については勝るところもあり、センシングをする側・される側の双方にとって理想な手法となり得る。よって、今後は更なる推定精度の評価と研究拡張を行い、センサとしてのBLEビーコンの可能性を追求していく。

参考文献

[1] 厚生労働省. 平成30年簡易生命表. <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/life/life18/dl/life18-15.pdf>, 2018. (Accessed on 03/12/2022).

[2] 公益財団法人介護労働安定センター. 平成29年度介護労働実態調査結果について. http://www.kaigo-center.or.jp/report/pdf/h29_chousa_kekka.pdf, 2018. (Accessed on 03/12/2022).

[3] 牧川方昭. 加速度センサを用いた日常身体活動のモニタリング. 生体医工学, Vol. 54, No. 3, pp. 96-103, 2016.

[4] 大内一成, 土井美和子ほか. ActivityAnalyzer: 携帯電話搭載センサによるリアルタイム生活行動認識システム. 研究報告 ユビキタスコンピューティングシステム (UBI), Vol. 2011, No. 3, pp. 1-8, 2011.

[5] 高間康史, 藤本泰成, 山口亨, 新田収, 寄崎恵美子, 糴谷香美. 介護老人福祉施設におけるセンサログを用いた介護スタッフ・入居者の活動分析. 知能と情報, Vol. 29, No. 4, pp. 619-627, 2017.

[6] Gheorghe Sebestyen, Ionut Stoica, and Anca Hangan. Human activity recognition and monitoring for elderly people. In *2016 IEEE 12th international conference*

on intelligent computer communication and processing (ICCP), pp. 341-347. IEEE, 2016.

[7] 関弘和, 多田隈進. 全方位センサのベイジアンネットワーク表現に基づく高齢者非日常行動検出モニタリングシステム. 電気学会論文誌 D (産業応用部門誌), Vol. 128, No. 8, pp. 1052-1059, 2008.

[8] 大鐘勇輝, 榎堀優, 梶克彦. BLE ビーコンを用いた車椅子使用者における活動量及び自走・介助の判定手法. マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2021 論文集, 第 2021 巻, pp. 1200-1207, 2021.

[9] Bijan Najafi, Kamiar Aminian, Anisoara Paraschiv-Ionescu, François Loew, Christophe J Bula, and Philippe Robert. Ambulatory system for human motion analysis using a kinematic sensor: monitoring of daily physical activity in the elderly. *IEEE Transactions on biomedical Engineering*, Vol. 50, No. 6, pp. 711-723, 2003.

[10] Abderrahim Bourouis, Mohamed Feham, and Abdelhamid Bouchachia. Ubiquitous mobile health monitoring system for elderly (UMHMSE). *International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT)*, Vol. 3, No. 3, 2011.

[11] 岡崎純己, 保科篤志, 池田悠平, 菅谷みどり. 歩幅推定によるリハビリテーション促進ロボットの検討. 研究報告 ユビキタスコンピューティングシステム (UBI), Vol. 2016, No. 12, pp. 1-8, 2016.

[12] 渡邊孝文, 上坂大輔, 村松茂樹, 小林垂令, 横山浩之. 気圧センサを利用した昇降状態を含む移動状態推定 (モバイルマルチメディア通信). 電子情報通信学会技術研究報告: 信学技報, Vol. 111, No. 296, pp. 19-23, 2011.

[13] 星尚志, 藤井雅弘, 羽多野裕之, 伊藤藤, 渡辺裕. スマートフォンを用いた歩行者デッドレコニングのための進行方向推定に関する研究. 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 1, pp. 25-33, 2016.

[14] 太田麗二郎, 廣津登志夫. 手に保持された端末の慣性センサ・ジャイロセンサを用いた歩行者移動状態推定及び移動経路推定. 第76回全国大会講演論文集, Vol. 2014, No. 1, pp. 171-172, 2014.

[15] 柏本幸俊, 荒川豊, 安本慶一. デッドレコニングの高精度化に向けた超音波による歩幅推定法 (モバイルネットワークとアプリケーション). 電子情報通信学会技術研究報告 = IEICE technical report: 信学技報, Vol. 114, No. 479, pp. 253-258, 2015.

[16] 田中優希, 森野博章. スマートフォンの回転ベクトルセンサを利用した屋内 pdr におけるステップ単位でのユーザー移動状態認識. 電子情報通信学会技術研究報告; 信学技報, Vol. 119, No. 406, pp. 53-54, 2020.

[17] 大島一将, 石田泰之, 木實新一, 戸辺義人. 靴型ヒューマンプローブ実現に向けた圧力センサと加速度センサの適用可能性の検討. In *IEICE Conferences Archives*. The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 2009.

[18] 佐藤匠, 廣森聡仁, 山口弘純, 東野輝夫. 靴型ウェアラブルセンサによる通行路状況推定手法の提案. 研究報告 コンシューマ・デバイス & システム (CDS), Vol. 2015, No. 9, pp. 1-8, 2015.

[19] Jer-Vui Lee, Yea-Dat Chuah, and Kenny TH Chieng. Smart elderly home monitoring system with an android phone. *International Journal of Smart Home*, Vol. 7, No. 3, pp. 17-32, 2013.

[20] 池田克, 清田公保, 志和洋, 三好正純. マーク認識による位置姿勢推定を用いた車椅子ナビゲーションシステムの開発. 研究報告 ユビキタスコンピューティングシステム (UBI), Vol. 24, No. 9, pp. 1-6, 2009.

[21] Kai Nakamura and Kazuyuki Kojima. Development of Trajectory Tracking System for Wheelchair Basketball.

- In *2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, pp. 490–491, 2018.
- [22] Yunze Zeng, Parth H. Pathak, and Prasant Mohapatra. WiWho: WiFi-Based Person Identification in Smart Spaces. In *2016 15th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN)*, pp. 1–12, 2016.
- [23] Qifan Pu, Sidhant Gupta, Shyamnath Gollakota, and Shwetak Patel. Whole-Home Gesture Recognition Using Wireless Signals. In *Proceedings of the 19th Annual International Conference on Mobile Computing Networking*, MobiCom 13, pp. 27–38. Association for Computing Machinery, 2013.
- [24] Changlai Du, Xiaoqun Yuan, Wenjing Lou, and Y. Thomas Hou. Context-Free Fine-Grained Motion Sensing Using WiFi. In *2018 15th Annual IEEE International Conference on Sensing, Communication, and Networking (SECON)*, pp. 1–9, 2018.
- [25] Shinya Misaki, Keisuke Umakoshi, Tomokazu Matsui, Hyuckjin Choi, Manato Fujimoto, and Keiichi Yasumoto. Non-Contact In-Home Activity Recognition System Utilizing Doppler Sensors. In *Adjunct Proceedings of the 2021 International Conference on Distributed Computing and Networking*, pp. 169–174, 2021.
- [26] Youngwook Kim and Hao Ling. Human Activity Classification Based on Micro-Doppler Signatures Using a Support Vector Machine. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 47, No. 5, pp. 1328–1337, 2009.
- [27] 本田美輝, 山口弘純, 東野輝夫ほか. 在不在と家電利用データの集約による家庭内行動認識システムの試作と展開. 研究報告マルチメディア通信と分散処理 (DPS), Vol. 2018, No. 25, pp. 1–8, 2018.
- [28] 上田健揮, 玉井森彦, 荒川豊, 諏訪博彦, 安本慶一ほか. ユーザ位置情報と家電消費電力に基づいた宅内生活行動認識システム. 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 2, pp. 416–425, 2016.
- [29] 大鐘勇輝, 水野涼雅, 梶克彦. 物体内部に設置した BLE ビーコンの電波強度を用いた状態推定手法. マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2019 論文集, 第 2019 巻, pp. 792–799, 2019.
- [30] 水野涼雅, 大鐘勇輝, 榎堀優, 梶克彦. BLE ビーコンの受信電波強度を用いた睡眠位置認識及び褥瘡防止への応用. マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2020 論文集, Vol. 2020, pp. 1071–1078, 2020.
- [31] 大鐘勇輝, 水野涼雅, 榎堀優, 梶克彦. 車輪に取り付けた BLE ビーコンによる車椅子移動認識手法. マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2020 論文集, Vol. 2020, pp. 1061–1070, 2020.
- [32] 田中直也, 湯素華, 小花貞夫. モバイル端末の消費電力削減のための BLE を用いた Wi-Fi ウェイクアップ制御方式の提案と実装. デジタルプラクティス, Vol. 9, No. 1, pp. 198–217, 2018.
- [33] 日本産業規格. 歩数計, JIS-S-7200, 1993.
- [34] ELIZABETH V Cyarto, Anita Myers, and Catrine Tudor-Locke. Pedometer accuracy in nursing home and community-dwelling older adults. *Medicine and science in sports and exercise*, Vol. 36, No. 2, pp. 205–209, 2004.