

屋内施設利用者の歩行通路決定のための Wi-Fi 電波強度を用いた人数推定手法の検討

倉聖美^{†1,a)} 松林勝^{†2,b)} 白石陽^{†1,c)}

概要 近年、学校やショッピングモールなどの屋内公共施設における人数推定を行う研究が盛んに行われている。屋内施設の通路を歩行している人数を把握することは、人が多い通路を避けるなど歩行通路を決定する上で役立つと考えられる。既存の人数推定手法では、人数推定精度が屋内の温度や明暗に影響されるという課題や、携帯端末の非携帯者や無線通信機能を無効にした端末の携帯者の人数を推定することができないという課題がある。そこで、本研究では屋内施設利用者が歩行通路を決定するための Wi-Fi 電波強度を用いた人数推定手法を提案する。提案手法では、Wi-Fi ルーターなどの送信機と、Wi-Fi に接続している PC やスマートフォンなどの受信機が通路の両側に設置された環境を想定し、その送信機と受信機の間を通過する人数を推定することで、通路全体の人数を推定する。本稿では、送信機と受信機の間を人が通過した際に生じる受信機の受信電波強度の変動に着目し、計測される電波強度のデータに関する分析を行った。その結果、電波強度の減衰部分の中で減少している部分の減衰量や面積に関する特徴量が人数推定に有効であると考え、これらの特徴量を用いて、人数推定に有効なアルゴリズムを検討した。

1. はじめに

近年、学校やショッピングモールなどの屋内施設における人数推定に関する研究が盛んに行われている。人数推定を行うことで、その推定結果を混雑推定や人流推定に活用することが可能となり、屋内ナビゲーションや商用マーケティング[1]に活用することが期待される。また、屋内施設利用者が通路の人数を把握することは、人が多い通路を避けるなど、歩行通路を決定する上で有用であると考えられる。

人数推定に関する研究として、カメラや赤外線センサなどの設置型センサを用いた研究がある。カメラの画像を用いた研究としては、画像認識技術を用いることで人数を推定する手法[2][3]がある。カメラの画像を用いるため計測環境の明暗によって人数推定の精度が左右されてしまう課題がある。他のアプローチを用いた研究として、赤外線センサの前に人がいる時のセンサの値の変化に着目し、人数推定を行う研究[4][5]がある。これらの研究は、計測環境の温度によって精度が変化してしまうという課題がある。

一方で、近年、Wi-Fi などの無線通信技術が広く普及しており、無線通信技術を用いた人数推定の研究も盛んに行われている。PC やスマートフォンなどの端末が Wi-Fi の送信機に接続するために常時発信している無線パケット情報を用いて人数推定を行う研究[6]や、施設内の複数箇所に設置したビーコンのパケット情報を用いることで、ビーコン付近を通過した人数を推定する研究[7]が行われている。しかし、これらの研究は Wi-Fi や Bluetooth の無線通信機能を有効にしている端末の携帯者のみの人数推定となる。よって、文献[6][7]の手法では、端末の非携帯者や無線通信機能

を無効にしている端末の携帯者の人数推定を行うことができないという課題がある。

Wi-Fi の電波を用いた研究[8][9][10]では、Wi-Fi の送受信機が設置されている空間に往来する人や一定時間滞留する人の人数の推定を行っている。これらの研究では、文献[6]のように Wi-Fi パケットを用いて人数推定を行うのではなく、送受信機間の電波を人が妨げることによって起こる受信機の受信電波強度の変動から人数推定を行っている。そして、これらの研究は送受信機間を往来する人や滞留する人を対象にしていることから、屋内施設の広い空間を対象にしている。よって、屋内施設を歩行する際に通る歩行通路のような狭い空間に対応していないという課題がある。

そこで、本研究では、歩行通路の上の人に着目した人数推定を行う。歩行通路の上の人数を推定する場合、歩行通路の上のある空間を短時間で通過する行動が起きることに着目し、人数推定を行う。Wi-Fi 送受信機間（以下、送受信機間）を人が通過した際に生じる電波強度の変動を分析することで、必要な特徴量を検討し、これらの特徴量を用いた人数推定手法を検討する。本研究で想定している環境のイメージを図 1 に示す。

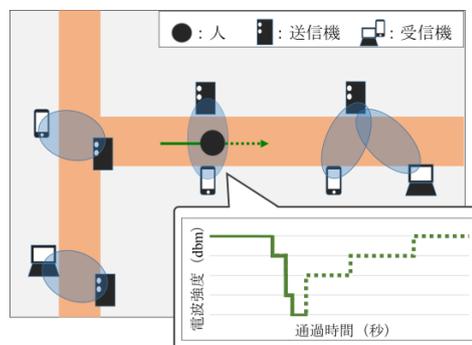


図 1 通路の上の人数推定

送信機は Wi-Fi ルーター、受信機は PC、スマートフォン

^{†1} 公立はこだて未来大学システム情報科学部
School of Systems Information Science, Future University Hakodate.
^{†2} 公立はこだて未来大学システム情報科学研究科
Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate.
a) b1013053@fun.ac.jp
b) g2116044@fun.ac.jp
c) siraisi@fun.ac.jp

などの端末を考え、これらの送受信機が通路を挟んで存在する環境を前提とする。図 1 のような複数の計測範囲での人数を推定することで、歩行通路の上の人数推定を行う。

本稿では、歩行通路を挟むように設置した Wi-Fi 送受信機間を人が通過することにより生じる電波強度の変動から人数推定に有効な、特徴量とアルゴリズムの検討を行う。

2. 関連研究

本章では人数推定に関する研究を説明する。まず、2.1 節ではカメラや赤外線センサなどの設置型センサを用いた研究について述べる。次に、2.2 節では端末の無線パケット情報を用いた研究について述べる。さらに、2.3 節では電波の性質を用いた研究について述べる。最後に、2.4 節ではまとめとして関連研究のそれぞれの概要と課題、そして本研究の概要を述べる。

2.1 設置型センサを用いた人数推定

カメラや赤外線センサなどの設置型センサを使用する手法として、カメラを用いた研究[2]では、人がいる時といない時の画像を比較し、画像解析を行うことで人数推定を行っている。文献[3]では、映像に仮想的なゲートを設置し、その通路の仮想ゲート上を通過した人の人数を推定している。これらの研究で用いられるカメラの画像を用いる技術では、計測環境の明暗の変化が推定精度を悪化させてしまう。

赤外線センサを用いた研究[4]では、部屋の天井に赤外線センサを複数箇所設置し、室内に人がいる時といない時の温度の分布の差分をとることで在室人数推定を行っている。文献[5]では、廊下の天井に赤外線センサを設置し、廊下を人が通過した時のセンサの値の変動から人の通過を判定する手法を提案している。これらの研究で用いられている赤外線センサは、計測環境の温度の変化により精度が変化してしまうという課題がある。

以上からカメラや赤外線センサなどの設置型センサを用いる研究では、計測環境の温度の変化や室内の明るさの変化によって人数推定の精度が大きく変わってしまうという課題がある。

2.2 無線パケットを用いた人数推定

文献[6]では、Wi-Fi ルーターの付近に存在する Wi-Fi 機能を有効にしたスマートフォン携帯者の数を推定している。Wi-Fi 機能を有効にしているスマートフォンが Wi-Fi に接続するために常時発信するプローブ要求を収集し、時系列解析することで、人数を推定している。このプローブ要求には、送信元の MAC アドレスが含まれており、その収集したプローブ要求内の MAC アドレス数を計測することで人数推定を行っている。しかし、この手法では、パケット

の発信機である端末の Wi-Fi 機能を有効にしている人しか人数推定を行うことができない。

文献[7]では、端末の Bluetooth 機能を有効にしている人が、ビーコンの付近を通過した数をカウントする研究を行っている。この研究は、端末の Bluetooth 機能を有効にしている人しか人数推定を行うことができない。文献[6][7]のように無線通信機能を有効にしている端末の携帯者のみの人数推定を行う手法では、端末非携帯者や無線通信機能を無効にしている端末携帯者の人数推定を行うことができないという課題が挙げられる。

2.3 電波の性質を用いた人数推定

電波の性質を用いた人数推定の研究として、文献[8][9]では、Wi-Fi 送受信機間を往来する人や群衆による送受信機間の電波の妨害によって起こる電波強度の変動から人数推定を行っている。特に文献[8]は、送受信機間を自由に歩行している人を最大 2 人の誤差で人数推定が可能な手法を提案している。文献[9]は、10 人、20 人という粒度で群衆の大まかな人数推定を行う手法を提案している。一方、文献[10]では、室内の Wi-Fi 送信機と、PC や Wi-Fi 対応のプリンタなどの端末との間に滞在する人の影響により変動する電波強度から人数推定を行う。その推定した結果を統合し、在室人数の推定を行っている。これらの電波強度を利用した人数推定を行う研究[8][9][10]では、人が送信機から受信機に向かうような歩行や、人が計測環境に滞留するような広い空間を対象にしている。しかし、屋内施設内を移動するには通路を通らなければならないが、これらの研究では、歩行通路のような狭い空間を対象としていない。よって、送受信機間を短時間で通過する人を考慮していないという課題が挙げられる。

2.4 まとめ

カメラや赤外線センサなどの屋内施設に設置する設置型センサを用いる研究[2][3][4][5]では、計測環境の温度や明暗の変化により人数推定の精度は変化してしまうという課題が挙げられる。また、Wi-Fi の無線パケット情報や Bluetooth のパケットを用いる研究[6][7]では、端末非携帯者や無線通信機能を無効にしている端末の携帯者を考慮できていないという課題がある。

一方で、Wi-Fi 送受信機間の電波強度を用いて人数推定を行う手法[8][9][10]がある。計測環境の明暗の変化や温度の変化の影響を受けず、端末非携帯者を含む人数推定を行うことが可能となる。しかし、文献[8][9][10]は、Wi-Fi 送受信機間を人が往来、滞留するような広い空間を対象に人数推定を行っており、歩行通路のように狭い空間が対象ではなく、Wi-Fi 送受信機間を短時間で通過するような環境に対応していないという課題がある。

そこで、本研究では屋内施設の歩行通路に着目し、Wi-Fi

送受信機間を人が短時間で通過する場合の Wi-Fi 電波強度の変動に着目した人数推定を行う。

3. Wi-Fi 電波強度を用いた人数推定

本章では Wi-Fi 電波強度を用いた人数推定について述べる。3.1 節では、本研究の目的、3.2 節では Wi-Fi 電波強度を用いた人数推定の概要、3.3 節では研究課題と研究課題に対するアプローチについて述べる。

3.1 研究目的

学校やショッピングモールなどの屋内施設内を移動する際には通路を通らなければならない。そこで、本研究では文献[8][9][10]のような部屋の人数推定や広場などの空間内を往来する人や滞留する人の人数推定を対象にするのではなく、歩行通路を歩行している人の人数推定を行う。歩行通路の複数の計測範囲の人数推定を行い、推定した人数を屋内地図の対応した場所に表示するなどの可視化を行う。そうすることで、屋内施設利用者が歩行通路を決定するためのツールになると考える。

本稿では、Wi-Fi 電波強度を用いて歩行通路の計測範囲における人数推定手法の検討を行う。提案手法の想定環境を図 2 に示す。

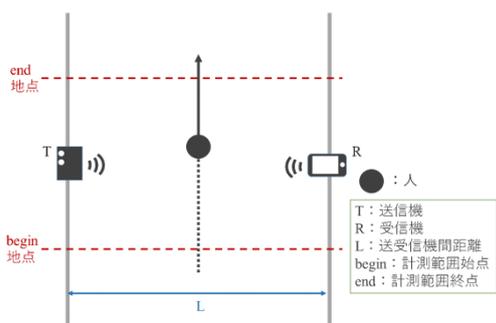


図 2 想定環境

人数推定を行う環境として、図 2 のように通路の両側に Wi-Fi 送受信機が存在する環境を想定する。これらの送信機を T、受信機を R として、T と R の間（以下、T-R 間）の長さを L とする。T-R 間を歩行者が通過する際、電波強度に影響が出始める点と影響が終わる点がある。その地点をそれぞれ、begin 地点、end 地点と表す。ここで、送信機として Wi-Fi ルーター、受信機として PC、スマートフォンなどの端末を利用することを想定する。本研究では、これらの送受信機間を人が通過した際に生じる Wi-Fi の受信電波強度の変動から人数推定を行うことを目的とする。具体的には、歩行通路の begin 地点と end 地点で囲まれる空間（以下、計測範囲）を歩行者が短時間で通過する際の人

数を推定するための特徴量、アルゴリズムを検討する。

3.2 提案システムの概要

提案システムは、屋内施設内の歩行通路の人数を推定し、各歩行通路別の推定人数を可視化する機能を持つ。提案システムの概要を図 3 に示す。

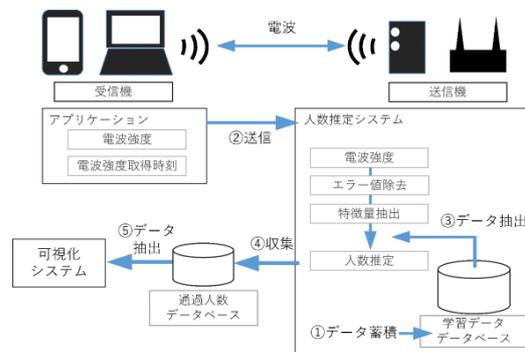


図 3 提案システムの概要

提案システムは、人数推定システム、可視化システムから構成される。処理手順として、まず事前に様々な想定されるパターンのデータを学習データとして学習データベースに蓄積する (①)。その後、アプリケーションは、受信機で取得した電波強度、電波受信時刻を人数推定システムに送信する (②)。人数推定システムでは、アプリケーションから送信された電波強度や電波受信時刻を、学習データベースから抽出したデータと比較して人数推定を行う (③)。次に、複数の計測範囲で推定した人数を通過人数データベースに登録する (④)。最後に、通過人数データベースから推定した人数を対応する歩行通路にマッピングすることで可視化を行う (⑤)。本稿では、提案システムの中で、人数推定システムに取り組み、特に Wi-Fi 電波強度の変動を用いて、歩行通路の人数推定を行うための特徴量とアルゴリズムを検討する。

3.3 研究課題とアプローチ

本研究では、屋内施設利用者の歩行通路決定のために電波強度の変動を用いた人数推定を行う。提案手法における研究課題は、以下の 3 つである。

- ① 歩行通路の人数推定
- ② 特徴量の検討
- ③ アルゴリズムの検討

研究課題①に対するアプローチとしては、歩行通路の人数を推定するために、電波の特性を考慮し、スライディングウィンドウを用いる。

送受信機間にある計測範囲内を人が通過した時に生じる電波強度の減衰は、実際の通過時間より長い時間をかけて波形に現れる。送受信機間を縦に並んだ 4 人が通過した際

の電波強度の変動とスライディングウィンドウのイメージを図 4 に示す。

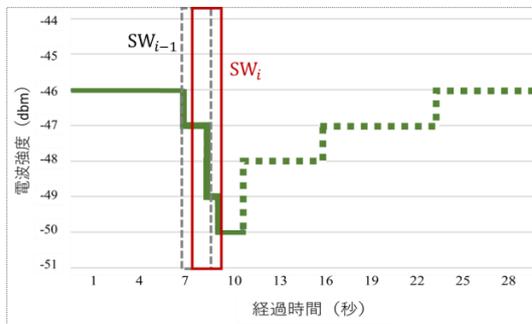


図 4 電波強度の変動 (Wi-Fi 送受信機間 4 人通過時)

図 4 の縦軸は電波強度 (単位は dBm), 横軸は経過時間 (単位は秒) である。このとき, 実際に 4 人が計測範囲を通過した時間は 6 秒だったが, 電波強度の変動は 17 秒かかっている。この電波強度の減衰の変動のグラフには, 図 4 の緑色のグラフの実線で示しているように人が電波を妨害したことによって生じる電波強度の減少部分と, 図 4 の緑色の点線で示しているように人やモノに反射した電波によって生じる電波強度の増加部分がある。また, 送受信機間の歩行人数が増加するに伴い, 減衰が大きくなる傾向が見られた。そこで, 本稿では, 人が電波を妨害したことによって生じる電波強度の減少部分に着目する。さらに, 電波強度の減衰時間は実際の送受信機間の通過時間より長いことから, 電波強度の減衰部分を一定時間ごとに切り出し, 特徴量を抽出する。一定時間ごとにデータを切り出す方法としては, スライディングウィンドウを用いる。図 4 の SW_{i-1} と SW_i のようにスライディングウィンドウを用いてデータを部分的に切り出し, 窓ごとの人数推定を行うことで, 送受信機間を短時間で通過する人による電波強度の影響を反映しやすくなると考える。

研究課題②に対するアプローチとして, スライディングウィンドウで切り出したデータごとに特徴量を抽出する。歩行人数が 0 人の時の電波強度の最頻値を基準値とした時, 窓内の最小値から基準値を減算した値 (以下, 減衰量) に着目する。他には, 窓内の基準値と減衰部分で囲まれた領域の面積に着目し, これらの減衰量や面積, 他には電波強度の最大値と最小値などを特徴量として検討する。予備実験を行い, その測定データを分析することによって, 人数推定に有効な特徴量を決定する。

課題③に対するアプローチでは, 研究課題②で抽出した特徴量を用いた人数推定のアルゴリズムの検討を行う。研究課題②において, 抽出する特徴量は複数考えられるため, これらの特徴量を用いて分類のアルゴリズムを適用することを考える。

ここで, 提案手法における基本的な処理手順を示す。

- 1 スライディングウィンドウの一定の間隔の窓内 SW_i の減衰量を計算。
- 2 SW_i の減衰量と, 一つ前の窓 SW_{i-1} の減衰量を比較。
 - 2.1 SW_i の減衰量 < SW_{i-1} の減衰量の場合, 推定人数 0 人とし, 処理を終了する。
 - 2.2 SW_i の減衰量 \geq SW_{i-1} の減衰量の場合, 通過人数が 1 人以上とし, 手順 2.3 へ。
 - 2.3 SW_i の特徴量を計算し, 分類アルゴリズムを適用し, 人数推定を行う。

スライディングウィンドウを適用し, 一定時間幅で切り出したデータの連続した 2 つの窓の減衰量を比較することで, 送受信機間を通過した推定人数が 0 人または 1 人以上かを判定する。これは, 減衰量が変化しない場合は, 電波強度の変動がないことから送受信機間の歩行人数が 0 人だと考え, また, 減衰量が変化する場合, 電波強度の変動があるということから送受信機間の歩行人数は 1 人以上だと考えるためである。このとき, 1 人以上と判断された窓の電波強度から研究課題②で挙げた特徴量を計算し, 研究課題③で決定したアルゴリズムを適用することで人数推定を行う。

4. 実験および考察

本章では Wi-Fi 送受信機間を通過した人数と電波強度の変動の関係性を確認するための実験について述べる。4.1 節では, 実験を行う上での実験環境, 4.2 節では送受信機間の歩行人数による電波強度の変動の調査のための予備実験, 4.3 節では人数推定に有効なアルゴリズムの検討, 4.4 節では追加実験およびその結果と考察を述べる。

4.1 実験環境

実験環境の設定を, 表 1 に示す。

表 1 実験環境設定

項目	詳細
場所	公立はこだて未来大学 1F
周辺環境	遮蔽物なし
送信機	Wi-Fi ルーター AtermWR165N
受信機	Android 端末 FJL22
Wi-Fi 規格	IEEE802.11n, 2.4GHz 帯
サンプリングレート	20msec

実験場所は, 公立はこだて未来大学 1 階の 10m×3m の空間で壁などの遮蔽物のない環境で行った。送信機は既設のものではなく, NEC 社製の Wi-Fi ルーター AtermWR165N で, Wi-Fi の規格は IEEE802.11n で 2.4GHz 帯のものを使用した。受信機は Android 端末 FJL22 を使用し, 受信機側に

Java で作成した電波強度計測アプリケーションを実装することで、電波強度と電波強度取得時刻を CSV ファイルへ出力した。その CSV ファイルを用いて PC 上でデータ分析を行った。電波強度の受信サンプリングレートは 20msec と設定した。また、実験条件として使用する実験パラメータを表 2 に示す。

表 2 実験パラメータ

項目	項目値
歩行人数 N (人)	1, 2, 3, 4
送受信機間の距離 L (m)	1.2, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 7, 8
受信機の利用者	いない, いる
歩行場所	P_R , P_C , P_T

歩行人数 $N=1\sim 4$ 人に通過させた。実験条件として、送受信機間の距離 $L=1.2\text{m}\sim 8\text{m}$ で 9 通り、受信機利用者がいない時という時、歩行場所を P_R , P_C , P_T の 3 通りとする。送受信機間の受信機から 0.5m 離れた地点を P_R 、送受信機間の中央を P_C 、送受信機間の送信機から 0.5m 離れた地点を P_T とする。また、スライディングウィンドウの窓幅は 5sec、滑り幅は 1sec とする。

4.2 歩行人数による電波強度の変動

送受信機間の電波が人の通過により妨害されることで発生する電波強度の変動から人数を推定することができるかの予備実験を行った。このときの実験条件は、表 2 の中で歩行人数 $N=1\sim 4$ 人、送受信機間の距離 $L=2.5\text{m}$ とし、受信機の利用者はいない状態で、歩行場所は 3 通りの全てとした。また、歩行速度を 75bpm の間隔で鳴るメトロノームの音に合わせて、1 歩 0.5m ずつの歩行とした時、歩行速度は 0.7m/sec となり、計測範囲 (歩行距離=約 2m) の歩行時間は 3sec となった。2 人以上の歩行の際は、前の人との間隔を 0.5m~1m 空けて縦に並んで歩行させた。このとき、歩行者 $N=4$ 人を縦に並んで歩行させた場合、計測範囲に存在できる最大人数は 3 人であった。この計測範囲に存在する人数を N_m とする。ここで図 5、図 6 それぞれに $N=1$ と $N=4$ 時の電波強度の変動を示す。

図 5 と図 6 は縦軸が電波強度 (単位は dbm) で横軸がサンプル数である。図 5、図 6 の丸で囲っている点が、人が計測範囲に入ってきた時刻である。図 5、図 6 の電波強度の減衰のない部分は $N_m=0$ の時であり、大きな電波強度の変動は見られない。しかし、人が計測範囲に入ってきた図 5、図 6 の丸部分から電波強度が減衰し始めている。このことから、送受信機間を通過する人の影響で電波強度は減衰することがわかる。そして $N=4$ 人である図 6 の電波強度の減衰の大きさは、 $N=1$ 人である図 5 の電波強度の減

衰と比べ、大きいことがわかる。このことから、歩行人数の増加に伴い、電波強度の減衰が大きくなるという特徴があることがわかる。よって、この歩行人数の変化に伴い変動する電波強度の減衰から特徴量を抽出することが可能であると考える。

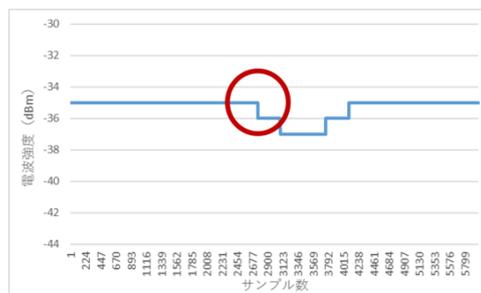


図 5 電波強度の変動 ($L=2.5\text{m}$, $N=1$ の場合)

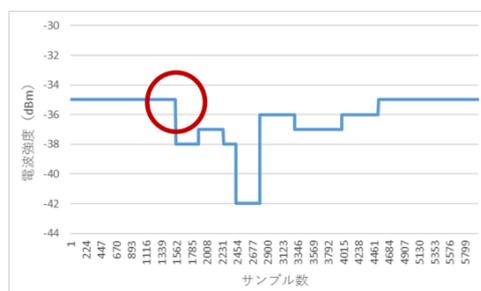


図 6 電波強度の変動 ($L=2.5\text{m}$, $N=4$ の場合)

ここで、 $N_m=1,2,3$ 人の測定データに対して、スライディングウィンドウをかけることで部分的にデータを切り出し、各窓の減衰量の最頻値と各窓の面積の平均値を計算した。その結果を表 3 に示す。

表 3 $N_m=1,2,3$ 人の減衰量の最頻値と面積の平均値

	$N_m=1$	$N_m=2$	$N_m=3$
減衰量の最頻値	1	3	4
面積の平均値	441	652	1001

表 3 から、減衰量の最頻値は N_m の増加に伴い増加している。面積の平均値も同様に増加傾向がある。よって、減衰量や面積が人数推定に有効な特徴量であると考える。

4.3 アルゴリズムの検討

本節では、3.3 節で述べた人数推定の処理手順のうち手順 2.2~2.3 についての評価を行う。

予備実験から、電波強度の減衰量や面積が、人数推定に有効な特徴量と考える。そこで、人数推定に有効な特徴量、

および、人数推定を行う上での有効なアルゴリズムの検討を行う。予備実験で検討した特徴量が人数推定に有効であるかを確かめるため、Weka[11]を用いて分析を行い、分類のアルゴリズムとして最近傍法を使用した。最近傍法で使った特徴量を表 4 に示す。

表 4 人数推定のための特徴量

属性名称	説明
base_ave	電波強度の平均値
S	減衰の減少部分の面積
change_num	電波強度の値の変化回数
depth	減衰量
max_num	電波強度の最大値の出現回数
min_num	電波強度の最小値の出現回数

表 4 の base_ave は得られる電波強度の平均値を表し、S は減衰部分の面積を表し、change_num は電波強度の変化回数である。depth は減衰量で、max_num は電波強度の最大値の出現回数、min_num は、電波強度の最小値の出現回数である。これらの特徴量で構成されたデータ 235 個を最近傍法に適用し、10 交差検定を行うことで、人数推定の評価を行った。ここで用いたデータ 235 個は、表 2 の実験条件で、歩行人数 $N=1\sim 4$ 人、送受信機間の距離 $L=2.5m$ 、受信機使用者はいない状態で、歩行場所は 3 通り全てとしたものである。

表 4 の要素を用い、最近傍法を適用すると、人数推定の正解率は 85.11% となった。この時、送受信機間を歩行者複数人に縦に直列に並んで歩行させたため、計測範囲に同時に存在することができるのは 3 人であることから、 $N_m=1,2,3$ 人の人数推定の結果を表 5 に示す。

表 5 最近傍法を用いた人数推定の結果

推定値 実測値	1 人	2 人	3 人	Recall
1 人	177	8	2	0.95
2 人	12	14	6	0.44
3 人	2	5	9	0.56
Precision	0.93	0.52	0.53	

$N_m=1$ 人の時の Recall は 0.95 であるのに対して、 $N_m=2$ 人時の Recall は 0.44、 $N_m=3$ 人時の Recall は 0.56 である。また、Precision は、推定人数が 1 人の時は 0.93、推定人数が 2,3 人の場合はそれぞれ 0.52、0.53 と低い精度となった。この結果から、 $N_m=1$ 人の Recall、Precision は高いが、 $N_m=2,3$ 人の人数推定結果の Recall、Precision はどちらも低く、十分な精度の人数推定を行うことができていない。表 5 より、特に実際の人数が 2 人の時に 1 人と推定してし

まうケースや、実際の人数が 3 人の時に 2 人と推定してしまうケースが多いことがわかる。これは、 $N_m=2,3$ 人の特徴量が他の人数の特徴量と似ているものを含んでしまっていることが原因と考える。よって、使用した特徴量が不十分であると考える。または、適用したアルゴリズムが有効でない可能性がある。

そこで、特徴量の検討を行い、アルゴリズムの比較を行う。特徴量の検討を行うために、決定木のアルゴリズムとして J48 を用いて、決定木に使用されている特徴量を確認した。その結果、主に使用していた特徴量は、表 4 のうち base_ave、S、depth であった。したがって、これらの特徴量のみを用いて、再度、最近傍法を用いて人数推定の評価を行ったところ、正解率が 2.98% 増加した 88.09% であった。推定結果を表に示す。

表 6 最近傍法を用いた人数推定の結果

推定値 実測値	1 人	2 人	3 人	Recall
1 人	182	3	2	0.97
2 人	12	16	4	0.50
3 人	3	4	9	0.56
Precision	0.92	0.70	0.60	

特徴量を検討した結果、表 5 と比べて Recall は $N_m=2$ 人の時が 0.06 ポイント増加した。また、Precision は、推定人数が 2 人、3 人の時、それぞれ 0.18 ポイント、0.07 ポイント増加しており、特徴量の選択が有効に働いたことを示す。しかし、特に $N_m=2,3$ 人の Recall に着目すると、さらなる精度向上が必要であることがわかる。

次に、アルゴリズムの比較を行う。分類のアルゴリズムとして最近傍法、J48、ロジスティック回帰分析を用いて比較を行った。前述の特徴量で構成されたデータ 235 個を各アルゴリズムに適用し、10 交差検定で精度評価を行った結果を表 7 に示す。

表 7 アルゴリズムの Recall 値の比較

人数 アルゴリズム	1 人	2 人	3 人
最近傍法	0.97	0.50	0.56
J48	0.94	0.50	0.63
ロジスティック 回帰分析	0.95	0.22	0.44

表 7 では、分類のアルゴリズムとして最近傍法、J48、ロジスティック回帰分析を適用した際の各推定人数の Recall の値を示した。 $N_m=1$ 人の時の各アルゴリズム適用時の Recall は、0.90 以上であるが、 $N_m=2$ 人の時は最近傍

法と J48 の Recall に大きな違いはなく、ロジスティック回帰分析は低い結果が得られた。また、 $N_m=3$ 人の時の各アルリズムを適用した結果は、およそ 0.50 付近の精度で、高くない結果が得られた。これらの結果から、歩行人数が 2.3 人の時の特徴量は再検討が必要である。また、歩行人数が 2.3 人の時の使用したデータ数が少ないことも精度が低い原因として考える。したがって、今後、データのさらなる収集を行い、再度特徴量の検討、適用アルゴリズムの検討を行う必要がある。

4.4 考察

本研究は、屋内施設内の歩行通路の両側に設置した Wi-Fi 送受信機間を通過した人数を推定することを想定している。提案手法をより一般的な環境で使用することを考えた場合、電波強度へ影響を与える様々な要因が考えられる。この要因について、4.4.1 では送受信機間の距離による影響の調査と考察、4.4.2 では送受信機端末使用者による影響の調査と考察、4.4.3 では歩行場所の違いによる影響の調査と考察を述べる。

4.4.1 送受信機間の距離による影響

想定している環境では、送信機は既設の無線ルーターを用い、屋内施設利用者が使用している PC やスマートフォンを受信機として利用するため、受信機が移動することが考えられる。また、屋内施設の通路の幅は様々あることから、送受信機間の距離は変化することが考えられる。このことから、送受信機間の距離が変化することで歩行人数の推定に影響が出るかを調査した。

実験条件として、表 2 より歩行人数 $N=1$ 人、送受信機間の距離は、 $L=1.2m, 2m, 2.5m, 3m, 4m, 5m, 6m, 7m, 8m$ とし、受信機使用者はいない状態で、歩行場所は P_c とした。各距離の $N=1$ 人時の電波強度の減衰量 $depth$ を比較したグラフを図 7 に示す。

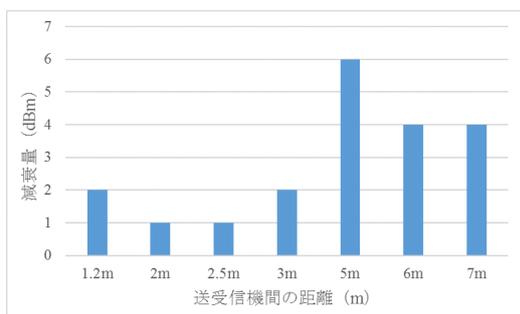


図 7 送受信機間の距離の変化に伴う電波強度の減衰量

図 7 の横軸は送受信機間の距離 L (単位は m) で、縦軸が電波強度の差である減衰量 (単位は dBm) を表している。減衰量は、 $N=0$ 人時の電波強度の最頻値である基準値から

電波強度の最小値を引いて算出した。送受信機間距離 $L=4m$ 以上では $depth$ が 3 以上であるのに対し、 $L=3m$ 以下であると $depth$ が 2 以下である傾向が見られる。図 7 より、 $L=5m$ 以上の場合と $L=3m$ 以下の場合で、減衰量に差があることがわかる。このことから、送受信機間の距離が変化すると、送受信機間の歩行人数が変化しなくても電波強度の変動が生じる。今後、送受信機間の距離が変化してしまうような一般的な環境で提案手法を使用する場合、Wi-Fi の電波強度を用いた三点測位など位置推定手法を利用することで受信機の屋内位置を推定し、送受信機間の距離を求める必要がある。

4.4.2 送受信機端末使用者による影響

想定している環境では、利用している PC やスマートフォンを受信機として使用することを想定しているため、受信機を使用している人の存在が電波強度に影響を与えるかの実験を行った。実験条件は、表 2 より歩行者は歩行させず ($N=0$ 人)、送受信機間の距離 $L=2.5m$ の時、受信機使用者をいる状態といない状態の 2 通りとした。受信機的使用者がいる時といない時の電波強度の値の出現回数に確率にしたヒストグラムを図 8 に示す。

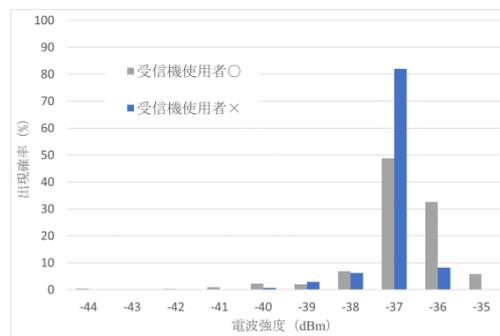


図 8 受信機使用者の存在による電波強度への影響

図 8 より受信機の使用がいる場合は、ノイズが大きく表れたため、値が分散しているが、使用者がいない場合は値が分散せず一定の値をとることがわかる。今後は、ノイズを考慮した人数推定手法の検討を進めていく必要がある。

4.4.3 歩行場所の違いによる影響

送受信機間を歩行する際、受信機から $0.5m$ 離れた地点を歩行する場合 P_R と、中央を歩行する場合 P_C と、送信機から $0.5m$ 離れた地点を歩行する場合 P_T で電波強度の変化に違いが現れるかの調査を行った。このときの実験条件は、表 2 より歩行人数 $N=1$ 人、送受信機間の距離 $L=2.5m$ 、受信機使用者はいない状態で、歩行場所は P_R, P_C, P_T の 3 通りとした。

歩行者に P_R, P_C, P_T の 3 通りを歩行させた時の電波強

度の変動を図 9 に示す。

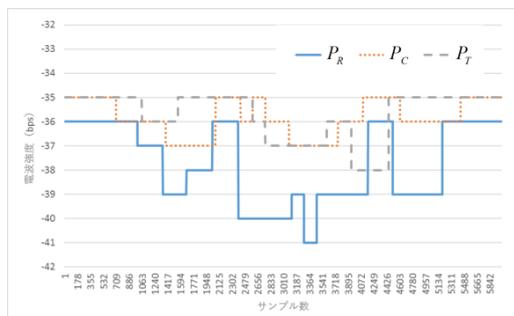


図 9 歩行場所別電波強度の変動

図 9 の横幅は、サンプル数で、縦軸は電波強度（単位は dBm）を表している。 P_R で顕著に電波強度の減衰が起こっており、この 3 ケースの中では、 P_C が一番電波強度の減衰量が小さい。このように、歩行場所により特徴量の値が変化してしまう傾向が見られた。しかし、4.3 節のアルゴリズムの検討で使用したデータは、様々な歩行場所を含めたものを使用している。推定人数が 2,3 人の時の人数推定の Recall が低いことから、歩行場所の区別を行っていなかったことが精度を下げた原因の一つとして考えられる。

4.5 今後の展望

本稿では、3.3 節の提案手法の処理手順のうち 1 人以上の人数推定の評価を行った。また、実験として送受信機間を複数人が歩行した時、縦に並んで歩行することを条件としていたことから計測範囲に存在できる人数は 3 人までであり、 $N_{in}=1,2,3$ 人の人数推定の評価を行った。今後は、複数人の歩行パターンとして縦に並んで歩行している場合の他に、横に並んで歩行しているパターンなど、さまざまな歩行パターンを考慮した人数推定手法の検討を行う。それに伴い、計測範囲に $N_{in}=10$ 人以内の人が存在する場合が考えられることから、計測範囲に存在する人数が増加することを考慮した人数推定精度の評価を行う。また、4.4 節の追加実験から送受信機間の距離や受信機端末の使用者の存在が電波強度へ影響を与えていた。今後は、これらの電波強度へ影響を与える要因を考慮した人数推定手法の検討を行う。

5. おわりに

本研究の目的は、屋内施設利用者が歩行通路を決定するための Wi-Fi 電波強度を用いた人数推定手法を提案することである。提案手法では、通路の両側に設置された送信機である Wi-Fi ルーターと、受信機である PC やスマートフォンを使用することを想定し、その送信機と受信機の間を人が通過した際に変動する電波強度に着目して人数推定を

行う。

本稿では、送受信機間を人が通過した際に生じる電波強度の変動から人数を推定することができるかを確認するための予備実験を通して、人数推定に有効な特徴量を検討し、人数推定に有効なアルゴリズムの検討を行った。人数推定に用いた特徴量は、電波強度の減衰の中で減少している部分の面積や、電波強度の減衰量を用いた。計測範囲内を 1～3 人の歩行者が歩行した時の計測データを利用し、最近傍法を用いて人数推定の評価を行った結果、提案手法の正解率は 88.09% であった。

データ分析の結果から、推定人数が 1 人の時は高精度な推定を行えるが、推定人数が 2,3 人の時は、さらなる精度の向上を行うことが必要であると考えられる。今後は、歩行人数が 2 人以上の時のデータ数を増やし、再度特徴量の検討を行い、提案手法の改良を行う。

参考文献

- [1] 株式会社パルコ・シティ, 「SC コンシェルジュ@リサーチ「人流解析@」」, INTERNETWatch (オンライン), 入手先 (http://internet.watch.impress.co.jp/docs/event/20150615_706964.html) (2016.06.08).
- [2] 川下雄大, 柴田雅聡, 増山岳人, 梅田和昇, “ステレオカメラを用いた簡易な人流計測システムの構築”, 精密工学会誌, Vol.81, No.2, 2015, pp.149-155 (2015).
- [3] 川西康友, 清水渚佐, 椋木雅之, 美濃導彦, “固定カメラ映像を対象とした回帰と通過検出の併用による通過人数カウント”, 電子情報通信学会 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識メディア理解, Vol.114, No.90, pp.49-54 (2014)
- [4] 九鬼正人, 中嶋宏, 土屋直樹, 田中純一, 畑豊, “サーモパイルアレイセンサを用いた屋内用の人モニタリングシステム”, システム制御情報学会, システム制御情報学会論文誌 Vol.27, No.4, pp.149-159 (2014).
- [5] 秦淑彦, 鹿田隆太, 小田章弘, “サーモパイルアレイセンサによる廊下での通行判定方式”, 情報処理学会 情報処理学会研究報告 Vol.2016-MBL78, No.34, pp.1-6 (2016).
- [6] 望月祐洋, 上善恒雄, 西田純二, 中野秀男, 西尾信彦, “Wi-Fi パケットセンサを利用した匿名人流解析システムの構築”, 情報処理学会研究報告, Vol.2014-MBL-70, No.45, pp.1-8 (2014).
- [7] 秦淑彦, 赤松翔, 所春希, 前原有里, Abraham Goldsmith, “タグ携帯者と非携帯者が混在する空間における非携帯者の検知と移動軌跡および人数の推定に関する一検討”, 情報処理学会研究報告, Vol.2014-UBI-43, No.4, pp.1-7 (2014).
- [8] Saandeep Deatla, Arjun Muralidharan and Yasamin Mostofi “Occupancy Estimation Using Only WiFi Power Measurements”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Volume:33, pp.1381-1393 (2015) .
- [9] Wei Xi, Jizhong Zhao, Xiang-Yang Li, Kun Zhao, Shaojie Tang, Xue Liu and Zhiping Jiang, “Electronic frog eye: Counting crowd using WiFi”, in Proceedings of IEEE, INFOCOM 2014, Apr. 2014, pp. 361-369 (2014) .
- [10] 吉田拓矢, 谷口義明, “既存 WiFi アクセスポイントからの受信電波強度を用いた在室人数推定に関する一検討”, 情報処理学会 2015 年度情報処理学会関西支部 支部大会, E-103 pp.1-8 (2015) .
- [11] Weka3 – Data Mining with Open Source Machine Learning Software in Java, INTERNETWatch (オンライン), 入手先 (<http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>) (2016.06.28) .