

Wi-Fi 電波強度を用いた歩行通路上における人数推定

倉聖美† 白石陽†

公立ほこだて未来大学システム情報科学部†

1. はじめに

近年、学校やビ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、屋内の空調制御を行うなど屋内エネルギー管理システム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 Wi-Fi パケットを用いた研究[1]では、Wi-Fi 機能を有効にしている端末を携帯している人のみを対象として人数推定を行っており、Wi-Fi 機能を無効にしている端末の携帯者や、端末非携帯者を考慮した人数推定を行うことが困難という問題がある。この問題を解決する手法として、Wi-Fi 電波強度を用いた手法[2,3]がある。Wi-Fi の送信機と受信機の間（以下、送受信機間）の電波が人によって妨害されることで生じる電波強度の変動から人数を推定する手法である。電波強度を利用していることから、端末非携帯者を考慮した人数を推定することが期待できる。しかし、これらの研究は Wi-Fi の送受信機を設置している空間を往来する人や一定時間滞留する人を対象としていることから、通路を歩行するような送受信機間を短い時間で通過する人を対象とした人数推定を行うことが難しいという問題がある。

そこで本研究では、Wi-Fi 電波強度を用い、歩行通路上の歩行者を対象とした人数推定手法の提案を行う。歩行通路上の人数を推定する場合、Wi-Fi 送受信機間を短い時間で人が通過することから、通過した際に生じる電波強度の変動を分析することで、人数推定に有効な特徴量を検討する。そして、その特徴量を使用し人数推定を行う。

2. 関連研究

無線パケットを用いる人数推定手法[1]では、Wi-Fi ルータの付近に存在する Wi-Fi 機能を有効にしたスマートフォンを携帯している人数を推定している。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のみを対象としている。よって、Wi-Fi 機能を無効にしている端末の携帯者や端末の非携帯者を考慮してデバイスフリーな人数推定を行うことができないという問題が挙げられる。

一方で、デバイスフリーな人数推定を可能とする手法として文献[2,3]では、Wi-Fi 送受信機間を往来する人や滞留する人による電波の妨害によって生じる電波強度の変動から人数推定を行っている。特に文献[2]は、送受信機間を自由に歩行している人数を 300 秒毎に推定し、最大 2 人の誤差で推定が可能な手法を提案している。文献[3]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留する人の影響により変動する電波強度を複数の受信機から収集している。そして、収

Counting People on Corridors with Wi-Fi Power Measurements

†Satomi Kura †Yoh Shiraishi

†School of Systems Information Science, Future University Hakodate

集したデータを統合し、300 秒毎の在室人数の推定を行っている。これらの Wi-Fi の電波強度を利用し人数推定を行う研究では、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。また、推定間隔が長いという特徴がある。このことから、施設内を移動する際に通らなければならない歩行通路のような、短い時間で送受信機間を通過する人を対象としていない。

3. 提案手法

学校やビルなどの屋内施設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[2,3]のような広場や部屋などの空間内を往来または滞留する人を対象とした人数推定を行うのではなく、歩行通路上を歩行している人を対象とした人数推定を行う。

本稿では、Wi-Fi 電波強度を用いて歩行通路上の計測範囲における人数推定手法の提案を行う。人数推定を行う環境として、図 1 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。送信機として Wi-Fi ルータ、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。この送受信機間には、歩行者により電波強度への影響が生じる範囲（以下、計測範囲）が存在する。本稿では、この計測範囲を人が短時間で通過した際に生じる電波強度の変動から特徴量を検討し、分類アルゴリズムを適用することで人数推定を行う。

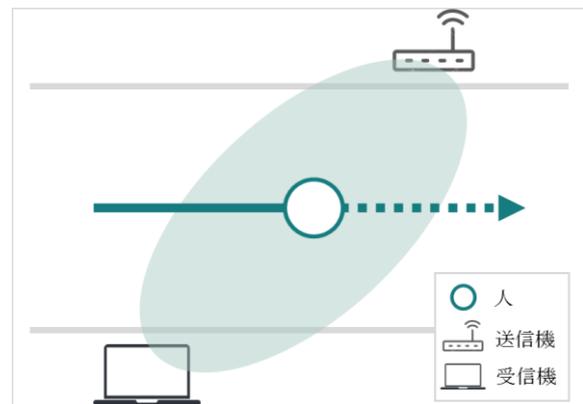


図 1 人数推定手法の想定環境

3.1 通過判定方法の検討

著者らは、人が計測範囲を通過することによって電波強度の変動が生じるかの調査を行い、歩行人数の変動と電波強度の変動の関係性の分析を進めている。先行研究[4]では、人が計測範囲に進入した際は、電波強度の減衰が起り、人が計測範囲を通過し終えると電波強度が増加する傾向が見られた。

図 2 に計測範囲を人が通過する際の電波強度の変動と、通過した人数のグラフを示す。図 2 の左の縦軸は電波強度（単位は dBm）、右の縦軸は人数（単位は人）、横軸はサンプル数である。本研究では、図 2 の実線部である電波強度の減衰時に人が通過したと判定する。

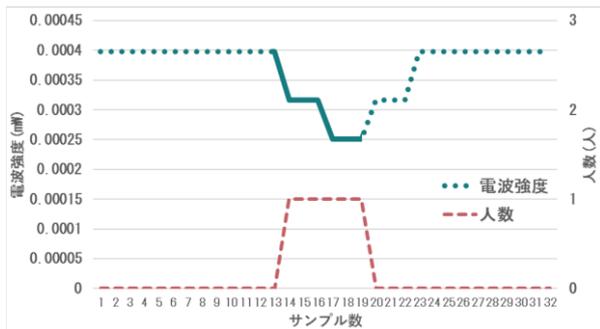


図2 人の通過に伴う電波強度の変動

3.2 短時間通過の考慮

歩行通路上の人を対象に人数推定を行う場合、人は送受信機間の計測範囲を短い時間で通過することから、短時間の通過によって生じる特徴を抽出する必要がある。さらに、電波強度の変動時間は実際の計測範囲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。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への影響を反映しやすくなると考える。

3.3 特徴量の検討

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。特徴量を検討するにあたり歩行人数と電波強度の変動の関係性を調査し、複数の特徴量を抽出した。そして、これらの特徴量を利用して決定木による分類を行い、特に人数推定に有効である特徴量を選定した。先行研究[4]では各窓内において、電波強度の平均値、電波強度の減衰部分の面積、電波強度の値の変化回数、減衰量の最大値、電波強度の最大値の出現回数、電波強度の最小値の出現回数を特徴量としていた。しかし本稿では先行研究[4]で使用した特徴量は使用せず、窓内の最小値の出現割合と窓内の最初の値、窓内の最後の値を特徴量とした。検討の結果、それぞれの特徴量は歩行人数の変動に伴い変動する傾向が見られた。

4. 実験および考察

4.1 実験環境

実験は、公立はこだて未来大学の通路を対象として行い、図1に示すように送受信機を通路に対して斜めになるよう設置した。このとき送受信機間の距離は2.5mとなるよう設置した。送信機はNEC社製のWi-FiルータAtermWR165Nを使用し、Wi-Fiの規格はIEEE802.11b/g/n、2.4GHz帯のものを使用した。受信機はAndroid端末FJL22を使用し、受信サンプリングレートは0.3Hzとした。

4.2 精度評価と考察

人数推定の精度評価を行うために機械学習ツール Weka を用いることで、精度評価を行った。3.3節で述べた特徴量で構成されたデータ2,491個にk近傍法(k=1)を適用し、10-分割交差検定でF-measureを算出した。その結果を表1に示す。

表1より、各推定人数におけるF-measureにおいて0.90以上の精度を得た。このことから、今回の実験環境では

十分な人数推定を行うことができていると考える。

表1 k近傍法適用時の人数推定結果

	推定人数				
	0人	1人	2人	3人	4人
F-measure 値	1.00	0.98	0.98	1.00	1.00

先行研究[4]では、1人~3人の人数推定のF-measureの平均が0.70であった。これは、実際の歩行人数が1人から2人に増加する際の特徴量に大きな違いが見られないことが原因で精度が低かった。しかし、本稿では特徴量を再検討した結果9割以上の人数推定の精度を得ることができていることから、窓内の最小値の出現割合、窓内の最初の値や窓内の最後の値が特徴量として人数推定に有効であることが示唆された。

5. おわりに

本研究の目的は、Wi-Fi電波強度を用いた歩行通路上における歩行者の人数推定手法を提案することである。提案手法では、通路の両側に送信機と受信機を設置することを想定し、その送信機と受信機の間を人が通過した際に生じる電波強度の変動に着目して人数推定を行う。

本稿では、送受信機間に存在する計測範囲を人が通過した際に生じる電波強度の変動から通過判定方法を検討、人数推定に有効な特徴量を抽出し、提案手法の精度評価を行った。人数推定に用いた特徴量は、窓内の最小値の出現割合と窓内の電波強度の最初の値や窓内の電波強度の最後の値を用い、k近傍法を適用した。精度評価の結果から、計測範囲を通過する歩行人数(0人~4人)を9割以上の精度で推定することができた。

しかし、本稿では一つの通路のみの実験による人数推定の精度評価を行ったことから、今後の予定として他の通路においても同等の精度で人数推定を行うことが可能であるか調査する必要がある。また、1対の送受信機に着目したことから、一つの歩行通路上の一区画の通過人数の推定であった。よって、今後は歩行通路上の複数箇所における送受信機間の人数推定の結果を統合し、歩行通路全体に存在する人数を推定する。

参考文献

- [1] 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).
- [2] Saandeep Depatla, 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).
- [3] Takuya Yoshida and Yoshiaki Taniguchi, “Estimating the number of people using existing WiFi access point based on support vector regression,” *Information*, Vol.19, No.7A, pp.2661-2668, 2016.
- [4] 倉聖美, 松林勝, 白石陽, “屋内施設利用者のための歩行通路決定のためにWi-Fi電波強度を用いた人数推定手法の提案”, 第24回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp.76-83 (2016).