

Bluetooth 機器を用いた屋内環境における混雑度の推定

Estimating Crowd Density in Indoor Environments Using Bluetooth Devices

伴 匠生, 林 康弘

Takumi BAN, Yasuhiro HAYASHI, Yasushi KIYOKI

武蔵野大学データサイエンス学部

Faculty of Data Science, Musashino University

Email: s2122084@stu.musashino-u.ac.jp, yhayashi@musashino-u.ac.jp

あらまし：本研究は Bluetooth 機器を用いた屋内環境における人やモノの混雑度の推定を行う。本研究では、屋内環境における人やモノの混雑度は、ある屋内環境における Bluetooth 機器の個体番号の個数、Bluetooth 機器とその環境に設置される複数のセンサ群との電波強度に基づく部屋の同定、その部屋の広さを特徴量として推定される。この混雑度の把握に基づき得られる特徴量データから屋内情報システムの実現に向けて Bluetooth 機器を有する移動体の軌跡、習慣性を抽出する。今回、混雑度の推定に向けて計算方法の検討、実空間における実験環境の構築、実験を行った。その結果について示す。

キーワード：屋内位置情報, Bluetooth, データベース

1. はじめに

屋内施設（オフィス、図書館、病院、大学など）を利用する際、利用者の意図に応じた部屋や場所について現状や傾向を含めて検索できれば、利用者にとって目的の作業や行動が始めやすくなる。このような屋内空間を対象とした検索機構とそれを用いた屋内情報システムの実現に向けて、本研究は、Bluetooth 機器を用いて屋内環境における人やモノの混雑度の推定を行う。本研究では、1 人もしくは 1 個 1 台 Bluetooth 送信機（例えばスマートフォンなど）を保有すると仮定される。Bluetooth 送信機から発せられるシグナルは屋内環境に複数設置される Bluetooth 受信機群により受信される。Bluetooth の電波強度を基に、ある送信機と受信機それぞれの距離が計測される。これにより Bluetooth 機器が存在する部屋が同定される。部屋の広さと送信機の個体番号の個数からその部屋に人がどれくらい存在するか混雑度が算出される。本手法では部屋毎の推定在室人数や混雑度をデータベース(DB)に蓄積することで、時間帯毎の混雑度の特徴を見出し、未来の混雑度予測に役立てる。本方式の特徴は、混雑度の推定で得られるデータから Bluetooth 機器を有する移動体の習慣性を抽出する点にある。今回、本方式によるシステムの有効性と実現可能性について検証した。

2. Bluetooth 機器を用いた屋内環境における混雑度の推定手法

本手法では、ユーザが持つデバイス(電波送信機)と、本手法を運用する部屋に設置されたデバイス(電波受信機)間の距離推定を行う。デバイス間の推定された距離をもとに、ユーザがどの部屋にいるか判定を行い、部屋毎の混雑度の算出を行う。本手法の構成は図 1 の通り示される。

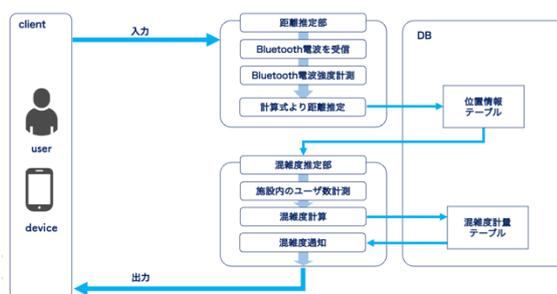


図 1 システム構成図

2.1 距離推定機能（位置の同定）

本機能ではユーザが持つ Bluetooth 送信機と、屋内環境に複数設置された Bluetooth 受信機群の間における距離推定を行う。推定された距離情報を基に、送信機から最も近い受信機を一意に定め、受信機に割り当てられた部屋名から送信機を持つ人がいる部屋の同定を行う。距離推定には送信機が発する電波強度(RSSI: Received Signal Strength Indication)の値を使用する。中井らの単位 RSSI 値の強弱の推定による位置推定精度の向上[1]によると、電波強度と距離の関係式は以下のように表現される(式 1)。

$$RSSI = MeasuredPower - N \log_{10} d \quad (1)$$

d : 距離[m]

N : RSSI 減衰定数(理論値: 20)

$MeasuredPower$: 送信機からの距離 1[m]地点における RSSI 値[dBm]

式 1 を距離 d について変形すると、送信機固有の値である $MeasuredPower$ と受信機で計測する RSSI 値から推定距離を算出することが可能である(式 2)。

$$d = 10^{\frac{RSSI - MeasuredPower}{N}} \quad (2)$$

本機能では計測した RSSI 値と、計算した推定距離を位置情報データベース内の位置情報テーブルに格納する。

2.2 混雑度推定機能

混雑度推定機能は、施設内に存在するユーザ数の推定を行う。本機能は位置情報テーブルに一定時間毎に問い合わせを行い、一定時間内に位置情報テーブルに格納された情報を抽出する。ユーザが持つデバイス(送信機)と受信機間の推定距離をもとに受信機の近くにユーザが存在するかを判定し、在室ユーザ数を推定する。推定された在室ユーザ数をあらかじめ施設毎に定めておいた定員数で割ることによって、施設内の混雑度を算出する。

2.3 位置情報 DB へのデータ蓄積

位置情報データベース(DB)はユーザのデバイス(送信機)が発する電波強度と送信機と受信機間の推定距離を格納する「位置情報テーブル」、位置情報テーブルに格納された情報をもとに算出された混雑度を格納する「混雑度テーブル」から構成される。混雑度テーブルに格納された推定混雑度の情報は、ユーザにリアルタイムに施設の混雑度情報を提供するために使用される。

3. 実現方式

本方式は、屋内環境に設置された Bluetooth 受信機群によって Bluetooth 送信機が発する電波強度の測定を行い、計算された受信機と送信機間の推定距離をサーバ上のデータベース内の位置情報テーブルに格納する。サーバ上では Bluetooth 送信機の位置情報を基に一定時間毎に部屋毎の混雑度の算出が行われており、その結果がデータベース内の混雑度テーブルに格納される。ユーザが混雑度の検索を行いたい部屋名を入力し、本方式によって実現されるシステムに問い合わせを行うと、入力に対応した部屋の混雑度が出力される。システムの実装には Python, DB には PostgreSQL が用いられる。

4. 実験と考察

本手法で用いる距離推定を行うには、送信機から 1[m]離れた地点における RSSI 値(MeasuredPower)をあらかじめ算出しておく必要がある。そこで我々は MeasuredPower の計測を行った。送信機には micro:bit(型番: SEDU-052634)を使用し、受信機には Raspberry Pi4 を使用した。計測した MeasuredPower の値とその平均値は表 1 の通りである。この結果から、今回測定を行った環境における MeasuredPower の値は -62[dBm]として距離推定を行う。

表 1 MeasuredPower の測定結果

計測回数	1	2	3	4	平均
RSSI[dBm]	-62	-63	-62	-61	-62

デバイス間の距離によって測定される電波強度がどのように変化するか調べる実験を行った。本実験は遮蔽物がない空間で、送信機と受信機間の距離を 1[m]毎に設定し、0[m]から 17[m]までの各地点で

RSSI 値を測定した。その結果は図 2 に示される。

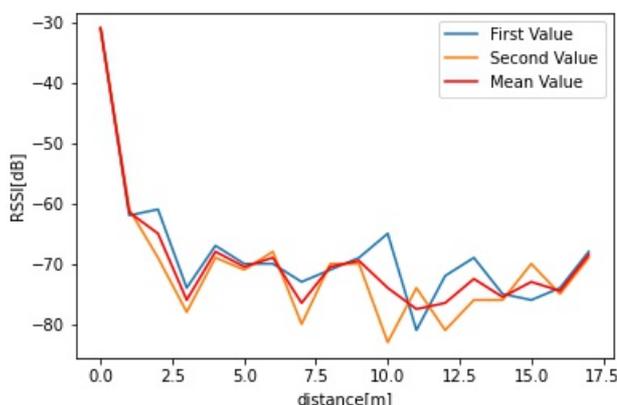


図 2 デバイス間距離と電波強度の関係

本実験を通して、2つのことが明らかになった。1つ目は、1回目の測定値と2回目の測定値に大きな差が開くことである。最も測定値の差が大きい 10[m]地点では、1回目と2回目の測定値の差は 18[dBm]にのぼる。1度測定した RSSI 値を距離推定に用いると、推定された距離と実際の距離が乖離する可能性がある。2つ目は、測定されるデバイス間の RSSI 値が誤差を含む可能性があることである。本実験の仮説として、デバイス間距離を大きくすると測定されるデバイス間の RSSI 値が単調減少すると思われた。しかし実際はデバイス間距離が離れても測定される RSSI 値が増加することもあった。本実験を通して明らかになったことから、屋内位置情報による混雑度推定手法では2度測定したデバイス間の RSSI 値の平均値を距離推定に用いる。

5. まとめと今後の課題

Bluetooth 機器を用いた屋内環境における混雑度の推定手法とその実現方法について示した。

今後の課題として、デバイス間距離推定の精度向上が挙げられる。受信機の台数を増やすことにより、送信機と受信機間の実距離が離れないように屋内環境を整備する。実験を通して1台の受信機によって測定される RSSI 値と理想的な RSSI 減衰曲線との誤差が小さく(誤差 $\pm 2\sim 3$ [m]程度を想定)なる領域を定める。その領域を単位面積として各部屋の広さに応じた数の受信機を設置し、距離推定精度の向上を図る。

参考文献

- (1) 中井若菜, 川濱悠, 勝間亮: “単位 RSSI 値の強弱の推定による位置推定精度の向上”, 2017 年度情報処理学会関西支部 支部大会 (2017).
- (2) 新田 拓真, 林 康弘, 清木 康: “介護分野における行動・状況推定に向けた屋内位置追跡システムの構築”, 第 45 回教育システム情報学会全国大会予稿集, SP-5, 2020.