

施設内における BLE を用いた混雑度推定システムの評価

Evaluation of congestion estimation system using BLE in facilities

今尾 廉† Ren Imao 谷口 義明‡§ Yoshiaki Taniguchi 井口信和‡§ Nobukazu Iguchi

1 序論

現在でも新型コロナウイルス感染症の流行は収束に至らず、日常生活や経済に多大な被害を与えている。令和 4 年 7 月に厚生労働省が実施した調査¹⁾によると日本国内の新型コロナウイルス感染症の陽性者数は 1000 万人に迫っており、死者数は 3 万人を超えている。厚生労働省は感染の拡大を抑えるために新しい生活様式を取り入れることを国民に求め、新しい生活様式のなかでは 3 つの密と呼ばれる密集、密接、密閉を回避することが求められている。

大学内では授業やガイダンスなど学生の意思では密集を避けられない場合がある一方で、自習や食事など学生の意識次第で密集を避けられる場合もある。学内の過去や現在の混雑度を知ることができれば混雑している場所や混雑が予想される場所を回避できるようになり、密集を避けやすくなると期待できる。また、過去や現在の混雑度を把握することは大学などの施設運用や施設利用の面において様々な活動における指針となるため、重要な利点となりえる。

そこで我々はこれまでに大学入構者が持つスマートフォンやビーコン端末を用いて大学内の混雑度をモニタリング、可視化するシステムを提案してきた^{2,3)}。本システムは Bluetooth の低コストと低電力に特化した規格である BLE (Bluetooth Low Energy) を用いて混雑度を推定する。しかし、これまでの検討は初期検討にとどまっており、実環境における評価はなされていない。そこで、本研究では大学内で実際に使用されている施設を用いて混雑度推定システムの評価を行う。本研究ではシステムの測定結果と実際の在室人数を比較することでシステムの実環境での有効性を評価する。

2 関連研究

大学内を対象とした特定の範囲における人数や混雑度を推定する研究として、静岡理工科大学では Wi-Fi アクセスポイントで収集される情報を用いて自動的に教室の混雑度を確認できるシステムを研究、運用している⁴⁾。このシステムではスマートフォンと PC など Wi-Fi に接続されている端末を複数持つ場合は重複して計測されてしまう。

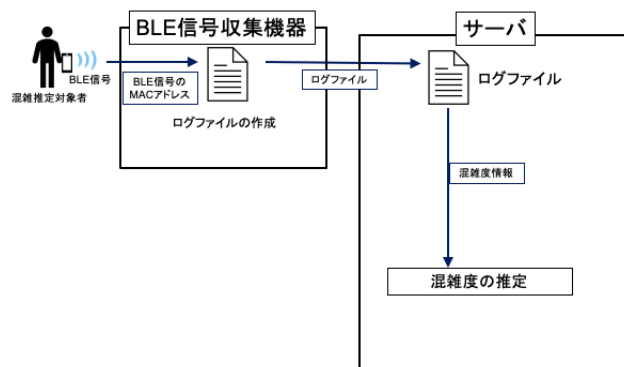


図 1 システム構成図

東京大学では新型コロナウイルス対策のためのスマートフォンアプリとして MOCHA (MOBILE Check-in Application)⁵⁾が研究、開発されている。このアプリでは新型コロナウイルス接触確認アプリ COCOA の補完機能が備わっており、学内の混雑状況の可視化や学内における公共スペースの予約ができる。それに対して本研究のシステムでは施設内での混雑度の推測を主な目的としており、新たなアプリケーションをスマートフォンに導入する必要がない。

3 システム詳細

本章ではこれまでに検討、開発してきたシステム^{2,3)}の概要を示す。本システムの構成を図 1 に示す。本システムでは BLE 信号収集機器が収集したデータをログファイルにしてサーバに送信し、サーバで混雑度を推定する。

3.1 BLE 信号収集機器

BLE 信号収集機器は、学生が持つスマートフォンやビーコン端末からブロードキャスト送信される BLE アドバタイジングパケットを収集する機器である。BLE 信号収集機器には Raspberry Pi 4 を使用し、OS には Raspbian GNU/Linux 10 (buster) を用いた。本システムでは BLE アドバタイジングパケットの取得や Wi-Fi を介したサーバへのデータ転送には Raspberry Pi 4 の内蔵モジュールを使用しているため、追加モジュールなしで BLE 信号収集機器として動作する。

BLE アドバタイジングパケットのキャプチャには Python および Python ライブラリである bluepy を使用する。BLE 信号収集機器は BLE アドバタイジングパケットを常に監視しており、パケットを受信するとそのパケットの受信時刻、送信元 MAC ア

†近畿大学大学院総合理工学研究科,
Graduate School of Science and Engineering,
Kindai University.

‡近畿大学情報学部, Faculty of Informatics,
Kindai University.

§近畿大学情報学研究所, Cyber Informatics Institute,
Kindai University



図 2 オンデマンドサロンの様子

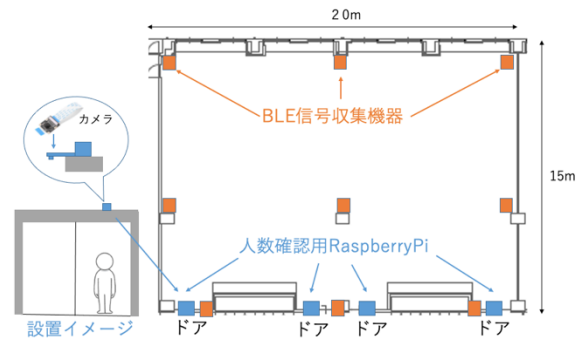


図 4 オンデマンドサロンでの機器設置の位置



(a)ドアの上部に設置 (b)三脚を用いて設置

図 3 BLE 信号収集機器

ドレス、RSSI や UUID (Universally Unique Identifier) といった情報をログファイルに保存する。BLE 信号収集機器は近畿大学全学無線 LAN に接続されており、ログファイルは cron により 10 分に 1 回、rsync を用いてサーバに送信される。

3.2 サーバ

本研究では標準的な Linux PC (OS: Ubuntu) をサーバとして用いた。サーバの処理はほとんどが Linux の標準的なコマンドのみで実現されているため、他環境への移植は容易であると考えられる。本研究ではサーバを情報収集のみの用途で用いるが、今後は混雑度の可視化のような処理もサーバで実施する。

4 実験方法

本章では本研究における実験の方法について述べる。

4.1 概要

本学情報学部にはオンデマンド授業やメディア授業を受けるための教室として、図 2 に示すようなオンデマンドサロンという教室がある。オンデマンドサロンは自由に出入りができるため人の流れが激しく、利用人数も曜日や時間帯によって大きく変化する。本研究では、オンデマンドサロンに BLE 信号収集機器を設置し、周辺の BLE アドバタイジングパケットを計測することによって混雑度を推定する。また、目視またはオンデマンドサロンの入口に設置したカメラによって実人数を測定し、推定した値と比較する。

実験は 7 月 12 日から 7 月 15 日までの 4 日間データの計測を行った。各日、オンデマンドサロンの

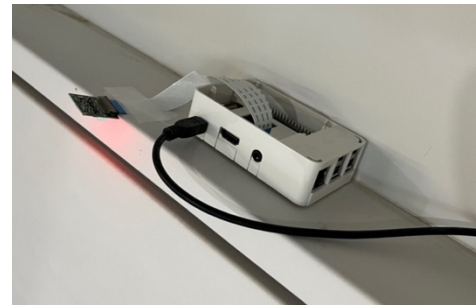


図 5 ドアの上に設置されたカメラ

利用時間である 8:45 から 18:30 までデータを計測した。

4.2 BLE 信号収集機器の設置

オンデマンドサロンに 9 台の BLE 信号収集機器を設置した。機器として用いる Raspberry Pi 4 は BLE アドバタイジングパケットをなるべく取得しやすいよう、障害物の影響を受けづらい上部に設置した。ドア付近のエリアでは図 3(a) のようにドアの上部に、それ以外のエリアでは図 3(b) のように三脚に固定し地上から 2 m 離れた場所に設置した。オンデマンドサロンのレイアウトと 9 台の BLE 信号収集機器の配置を図 4 に示す。

4.3 実人数の計測

本実験で推定された混雑度の正確性を検証するために目視とカメラによる撮影によって、オンデマンドサロン内の実際の在室人数を把握した。図 4, 5 のようにオンデマンドサロンの入口上部にカメラ付きの Raspberry Pi 3 を設置した。目視で一定時間ごとに実際にいる人数を数えるとともに、カメラで動体検知を用いてオンデマンドサロンへの入退室の様子を頭上から撮影し、その後目視で出入りする人数を数えることで、各時刻における実際の在室人数を取得した。

5 測定結果

各時刻における実際のオンデマンドサロン内の在室人数と BLE 信号収集機器から得られた BLE アドバタイジングパケットの MAC アドレス数の関係を図 6 に示す。ここで、本研究において混雑度の推定に用いるデータは、COCOA の UUID が含まれており、5 分以上検知されたもののみを対象とした。また、図中、点線は線形近似を示している。

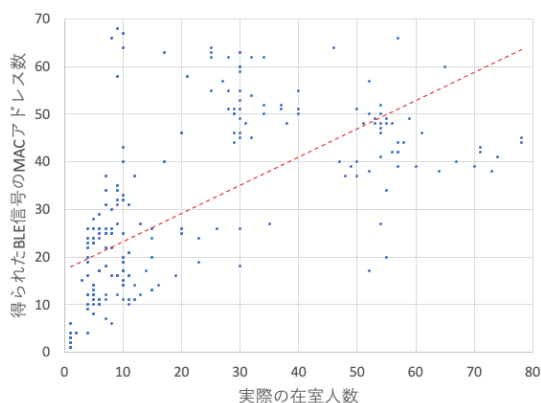
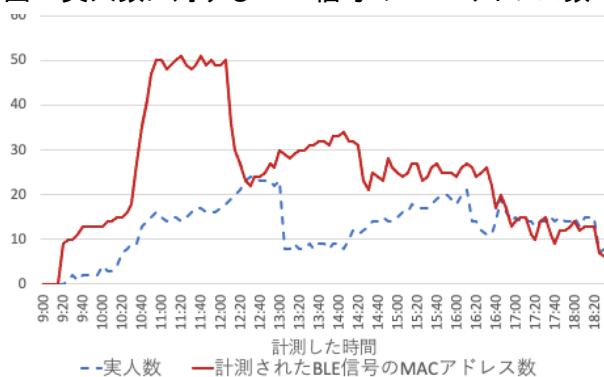
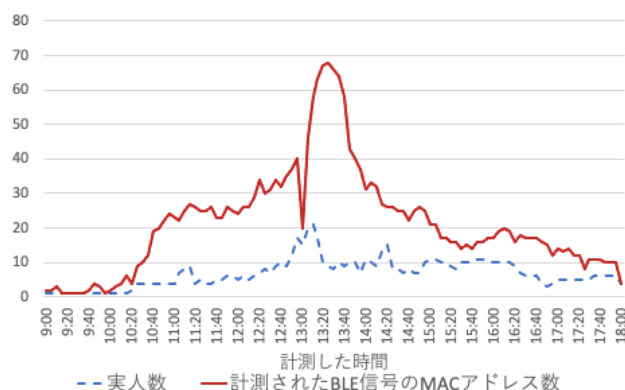


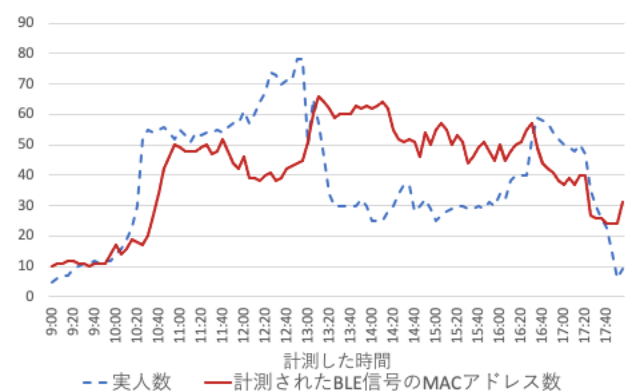
図 6 実人数に対する BLE 信号の MAC アドレス数



(a) 2022 年 7 月 13 日の計測結果



(b) 2022 年 7 月 14 日の計測結果



(c) 2022 年 7 月 15 日の計測結果

図 7 実際の値との比較

図より、実際の在室人数と MAC アドレス数は右肩あがりの関係にあることがわかる。したがって、BLE アドバタイジングパケットの MAC アドレス数から混雑度を推定することができるといえる。

図 7 は、実験期間中の実際の人数と得られた BLE アドバタイジングパケットの MAC アドレス数を 5 分ごとに取得し表示したものである。図 7 から実際の人数が増えると計測される BLE アドバタイジングパケットの MAC アドレス数も増えていることがわかる。ここで、図 7(a) の 11:00 時点や図 7(b) の 13:30 時点に加えて、図 6 でも確認できるように施設の在室人数が少ないにもかかわらず、得られた BLE アドバタイジングパケットの MAC アドレス数が多い場合がある。一方で、図 7(a) の 12:30 時点や図 7(c) の 12:00 時点のように施設の在室人数が増えたにもかかわらず、得られた BLE アドバタイジングパケットの MAC アドレス数の数が減ってしまう場合もある。これはオンデマンドサロンの近くには教室があり、他の教室にいる人が持つ機器からの BLE アドバタイジングパケットを受信しているためと考えられる。そのため、混雑度の推定に用いる MAC アドレスを適切に選定する手法を今後検討する必要がある。

6 まとめと今後の課題

本研究では BLE アドバタイジングパケットを計測することによって混雑度を推定するシステムの評価を実施した。

今後の課題として、より正確に BLE アドバタイジングパケットをキャプチャできるように各パラメータの細密な調整をすることや隣接する部屋の情報を組み合わせることによって精度を高める必要がある。さらに、推定された混雑度を容易に確認できるように可視化する機能、過去の測定結果の可視化だけでなく未来の混雑度の予測を可視化する機能を開発する必要がある。

参考文献

- 1) 厚生労働省:国内発生状況など, 入手先 <<https://www.mhlw.go.jp/stf/covid-19/kokunainohasseijoukyou.html>> (参照 2022-7-5)
- 2) Yoshiaki Taniguchi, Tomoki Mukaida, Youji Ochi, and Nobukazu Iguchi: A BLE-based Monitoring System for Estimating Congestion on University Campuses, 9-11 March 2021, LifeTech 2021, p.p.414-415
- 3) 小林 佑太郎, 橋本 啓吾, 谷口 義明, 越智 洋司, 井口 信和, 大学キャンパス内混雑度モニタリングシステムの実装と評価, 2021 年度 情報処理学会関西支部大会講演論文集 2021, 2021, p.p.7-
- 4) 梶拓真, 大場春佳, 水野信也, 密集度検出システムの構築と運用, インターネットと運用技術シンポジウム論文集, Dec. 2020, p.p. 101-102
- 5) 山下陸, 西山勇毅, 小松寛弥, 川原圭博, BLE ビーコンを用いた屋内位置推定システムの設計と実装, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション, 2020, p.p.1-7