

小型無線端末を用いた大学内ソーシャルディスタンスモニタリングシステムの検討

A System for Monitoring Social Distance using Wireless Devices in University Campus

小林 佑太郎[†] 谷口 義明^{†,‡} 多田 昌裕^{†,‡} 波部 齊[†] 越智 洋司[†]
 Yutaro Kobayashi Yoshiaki Taniguchi Masahiro Tada Hitoshi Habe Youji Ochi
 溝渕 昭二[†] 半田 久志^{†,‡} 井口 信和^{†,‡}
 Shoji Mizobuchi Hisashi Handa Nobukazu Iguchi

1. はじめに

新型コロナウイルス COVID-19 の感染拡大防止のための取り組みが世界中で行われている。我が国では 2020 年 4 月初頭に緊急事態宣言が発出されたが、2020 年 5 月末に宣言が解除され、2020 年 7 月現在、規制緩和の動きが出ている。しかし、大学にはさまざまな地域からさまざまな活動を実施している人が集まり、また、教室の移動などに伴う人の入れ替わりが激しい。そのため、大学は感染のリスクが高い環境と考えられる。したがって、有効な治療薬やワクチンが普及するまでは、登校規制や入構人数制限等の規制が継続されることが予想される。

新型コロナウイルス対策として、3つの密（密閉、密集、密接）を避ける、ソーシャルディスタンスを確保する、などが有効であるとされている。近畿大学東大阪キャンパスでは、緊急事態宣言が解除された後の 2020 年 6 月以降、学内における密状態を回避するために、1 日当たりの入構学生数を制限している。また、学生が大学に入構する場合、警備員による検温を受けた後、自身の ID 付き学生証を RFID リーダーにかざしてから入構する。しかし、現状、入構後の学生の行動や密状態が起きている場所の把握は行われていない。学内の密状態を把握できれば、密環境の改善や学生の行動変容を促す学内インフラ整備、学生登校計画、授業計画改善等に活用できる。

学内の密状態を把握するシステムとしてはさまざまな方式のものが考えられるが、本稿では、小型無線端末（以降、端末）を用いて学内での学生の行動を記録し、密状態を可視化するモニタリングシステムを提案する。本稿で提案するシステムの概要を図 1 に示す。端末は入構時に入構許可証に装着して配布する、あるいは単純に端末を入構許可証として配布するものとする。端末としては、BLE (Bluetooth Low Energy) および WiFi 機能を持つ M5StickC などの小型端末を想定し、ストラップを使って首からかけた状態で使用することを想定する。提案システムでは、端末間で送受信される BLE ブロードキャストにより端末同士のおおよその距離を測定し、得られた情報を大学内無線 LAN を用いて学内サーバに収集する。また、端末の接続先の無線 LAN アクセスポイントの情報から、学内における端末のおおよその位置を推定する。さらに、感染リスクが高い状況が検知された場合には、端末自体でアラートを出すと共に、管理者に通知を行う。本システムを用いることにより、学内の密状態を把握できる。また、万一、感染者が入

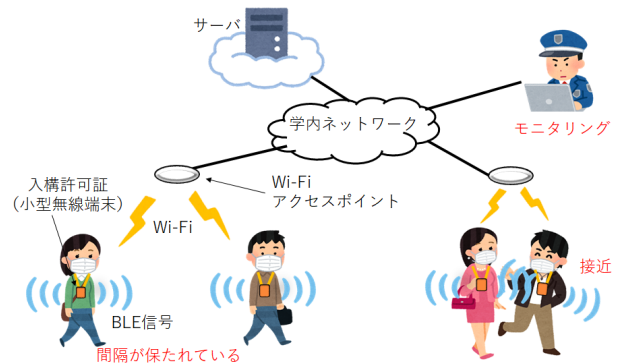


図1 提案モニタリングシステムの概要

構した場合でも濃厚接触者の把握が可能となる。本稿では、提案するシステムの実現可能性を検証するための基本検証実験を行う。

本稿の構成は以下のとおりである。まず、2章で関連研究について述べる。3章で大学内でソーシャルディスタンスを計測するためのシステムを提案する。4章で提案システムの実装について述べ、5章でシステムの実現可能性を示すための基礎検証実験結果について述べる。6章でまとめと今後の課題を述べる。

2. 関連研究

本章では関連研究について述べる。

2.1 人数推定・混雑度推定

コンピュータビジョンの分野では、カメラから得られる画像から人の数や混雑度を推定する研究が多数行われている [1-3]。カメラを用いる場合、例えば、カメラの撮影角度や混雑度によっては画像上で人と人が重なり合うオクルージョンが発生し精度が低下する問題がある。また、画像中に個人を特定できる情報が含まれる場合にはプライバシーの問題が発生する。

一方、レーザーレンジスキャナや人感センサ、赤外線画像センサなどを用いて人の数や混雑度を推定する研究や [4-6]、人に RFID などのデバイスを持たせて人数を計測する研究もある [7]。また、人が持つスマートフォン等の WiFi 端末から送信されるブロードキャスト等の信号に基づき人数や人流等を計測する研究や [8, 9]、WiFi デバイス等から得られる受信電波強度 (RSSI: Received Signal Strength Indication) やチャネル状態情報 (CSI: Channel State Information) を利用することで、人に特殊なデバイスを持たせることなく人数計測等を行う取り組み [10-12] もある。

しかしながら、これら、新型コロナウイルス流行以前から実施されている従来の研究のほとんどは、ある領域内の人数や混

[†] 近畿大学理工学部, Kindai University, Faculty of Science and Engineering

[‡] 近畿大学情報学研究所, Kindai University, Cyber Informatics Research Institute

雑度を推定することを考えており、新型コロナウイルスの感染リスクを高める要因である人同士の距離（ソーシャルディスタンス）を計測することを想定していない。一方、2020年初頭からの世界的な新型コロナウイルスの流行への対策として、ソーシャルディスタンスの確保や管理、監視に急速に注目が集まっている。2020年7月現在で、例えば、ソーシャルディスタンスの計測のためにカメラを用いるもの [13, 14]、スマートフォンを用いるもの [15–17]、独自デバイスを用いるもの [18, 19]、などが開発されている。これらについて次節で述べる。

2.2 スマートフォンを用いたソーシャルディスタンス計測

ソーシャルディスタンスを計測するためのシステムとして、スマートフォンの BLE 機能を利用したスマートフォンアプリが多数開発されている。従来、ゲーム端末やモバイル端末同士のすれ違い通信に関する研究 [20, 21] や、BLE を用いた測位、追跡 [22, 23] の研究などが多数行われているが、それらの端末間通信技術、距離測定技術等を応用したものである。

例えば、厚生労働省は 2020 年 6 月に新型コロナウイルス接触確認アプリ COCOA (COVID-19 Contact Confirming Application) [15, 16] を公開している。これは、2020 年 5 月に Apple と Google が提供を開始した新型コロナウイルス感染症の Exposure Notification Framework を利用したものである。この Exposure Notification Framework を利用したアプリについては、公式アプリストアで公開できるものが 1 国につき 1 つと制限されており、我が国では COCOA がこれに該当する。このアプリでは Bluetooth を利用してスマートフォン同士の距離を計測しており、スマートフォン同士が 1 メートル以内の範囲で 15 分以上近接した場合、近接に関する情報が記録される。このことにより、万が一、感染者が出た場合には濃厚接触者の特定が可能となる。なお、近接に関する情報は 14 日後には消去される。しかし、このアプリでは接触の起きた位置を把握するような用途は想定されていない。

MAMORIO 社は 2020 年 5 月より自身の製品である紛失防止システム MAMORIO [17] にソーシャルディスタンス管理機能を追加している [24]。スマートフォン間の距離計測には同様に Bluetooth を用いている。このアプリを用いることにより、個人ではディスタンスレベルの把握、法人内では濃厚接触度の測定レポートの取得が可能となる。

Google は 2020 年 5 月に AR を用いてソーシャルディスタンスを確認可能な Web アプリ Sodar を公開している [25]。この Web アプリは Google Chrome を使って特定の URL にアクセスすることで使用できる。しかし、このアプリは、個人が他人との距離を推定する際に用いるものであり、端末同士で自動的に端末間距離を推定するものではない。

大学生の多くはスマートフォンを保有しており、スマートフォンアプリによるソーシャルディスタンスの計測は安価、迅速に展開できると考えられる。しかし、スマートフォンは、カバンに収納する、ポケットに収納する、専用のケースに入れて体に装着する、手に持つ、など持ち運び方が人によって異なるため、スマートフォン周辺の電波伝搬環境がさまざまに異なる。加えて、学生はそれぞれ異なるメーカー、機種、スマートフォンを用いており、スマートフォンの形状、材質、使用される無線チップ、アンテナの位置などが様々に異なる。そのた

め、これらが距離測定の精度に影響を与えると考えられる。加えて、使用しているスマートフォンの性能上、新たにスマートフォンアプリを導入できない場合も考えられる。これに対して、本稿で提案するシステムでは単一の小型無線端末を首から装着することにより距離を測定することを考えており、スマートフォンと比較すると機種差や周辺環境の影響を受けづらいつと考えられる。

2.3 独自デバイスを用いたソーシャルディスタンス計測

独自デバイスを用いて、ソーシャルディスタンスを計測するシステムについても様々なものが開発されている。例えば、2020 年 6 月にシンガポール政府は Trace Together トークンと呼ばれるデバイスを国民に配布する計画を発表した [18]。このトークンには Bluetooth 機能が搭載されており他のトークンとの接触情報が記録される。この情報は、万が一、トークン利用者に新型コロナウイルス陽性者が出た場合に、接触者を追跡するために用いられる。なお、トークンにはインターネット接続機能や GPS 機能は搭載されておらず、また、利用者に関するデータは 25 日後に削除される。

Safe Spacer [19] は、ソーシャルディスタンスを計測するウェアラブルデバイスである。他の Safe Spacer との距離が 6 フィート以内となるとアラートを出す。また、Safe Spacer 毎に ID が割り振られており、接触履歴の追跡が可能である。このデバイスはリストバンドを用いて腕に装着する、あるいは、ストラップを使って首からぶらさげて使用する。距離の計測には Ultra Wideband (UWB) を使用しており、Bluetooth と比較して干渉の影響を受けづらく、また、より精度の高い 10 cm 単位での距離計測が可能である。

これらのシステムに対して、本稿で提案するシステムでは、接触情報だけでなく、接触が発生する場所に関する情報の推定も考えている。

3. 提案システム

本稿で提案する大学キャンパス内のソーシャルディスタンスを計測するシステムの概要を図 1 に示す。入構者は、大学入構時に小型無線端末（以降、端末）の装着された入構許可証を渡される、あるいは端末を入構許可証として渡されるものとする。端末はストラップを使って首からかけることを想定する。2020 年 7 月現在、近畿大学では、1 名単位でしか入構できないように門が制限されており、入構者は入構時に警備員による検温を受けた後、自身の ID を RFID リーダーにかざしてから入構する。本研究では、入構の際に入構許可証を渡し、出講の際に入構許可証を回収することを想定する。

端末は BLE 機能および WiFi 機能を持つものとし、学内で整備されている全学無線 LAN を介して学内ネットワークに接続されることを想定する。なお、近畿大学東大阪キャンパスには、全学無線 LAN として学内に約 1000 台のアクセスポイントが設置されている。また、端末は NTP により時刻が正しく設定されているものとする。

端末は一定の間隔ごとに BLE アドバタイジングパケットをブロードキャスト送信する。BLE アドバタイジングパケットには送信元端末の MAC アドレスや提案システムを識別するためのサービス UUID (Universally Unique Identifier) が含



図2 想定する小型無線端末の外観

まれる。端末の MAC アドレスは一意的なものが割り当てられ、ランダム化などの処理は行われたいものとする。近隣の端末は提案システムのサービス UUID を含む BLE アドバタイジングパケットを受信すると、受信時刻、BLE アドバタイジングパケットの送信元 MAC アドレス、受信電波強度、その時接続している WiFi アクセスポイントの MAC アドレス (BSSID) を端末間近接情報として内部メモリに記録する。ここで、WiFi アクセスポイントの MAC アドレスは端末のおおよその位置を推定するために用いる。これらの情報は一定の間隔で全学無線 LAN を用いてサーバに収集される。サーバでは、複数の端末から収集したこれらの情報を元に学内の密状態を推定し可視化する。このことにより学内の密状態をモニタリングできる。

端末は BLE アドバタイジングパケットを受信すると、パケットの受信電波強度を使って端末間のおおよその距離を簡易的に計測する。距離が一定以下の場合には近接しているものとし、近接している時間が一定以上の場合には端末上のモニターで注意を促す。また、端末の位置をより詳細に推定しやすいよう、その場所からアクセスできる全学無線 LAN の WiFi アクセスポイント一覧とそれぞれの WiFi アクセスポイントから送信されるビーコン信号の受信電波強度を収集し、サーバに送信する。なお、国立感染症研究所によると、新型コロナウイルス感染症における濃厚接触者の例として、「手で触れることの出来る距離 (目安として 1 メートル) で、必要な感染予防策なしで、患者と 15 分以上の接触があった者」が挙げられている [26]。距離や時間の閾値についてはこれらの値を目安に設定する。

4. 提案システムの実装

本稿では提案システムの一部を試作した。本章では実装したシステムの説明を行う。

4.1 使用端末

本研究では、端末を首からかけて装着することを想定している。候補となる端末は様々なものがあるが、迅速な展開を考えると、ボードだけでなくバッテリーやディスプレイ等必要なモジュールや機能が一体化されているものが望ましい。そのような端末として、安価、低消費電力なマイクロコントローラ ESP32 をベースとした小型マイコンモジュールが多数販売されている。それらのうち国内で比較的入手しやすいものとして M5Stack、M5StickC、ATOM Matrix がある (表 1)。

本稿では、提案システムを実装するための端末として M5StickC を用いた (図 2)。M5StickC を首からかけるための

BLE Packetの構造

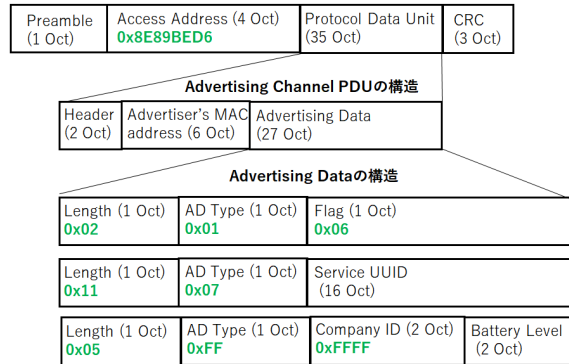


図3 試作システムの BLE アドバタイジングパケットの構造

ネクストラップとしては、サンワサプライ製の DG-ST15BK を用いた。M5StickC には加速度・角速度センサも内蔵されており、より精度の高いモニタリングを行うために端末の移動にかかわる情報を収集するような拡張も可能である。

4.2 BLE アドバタイジングパケットの構成

試作システムでは端末は 1 秒ごとに BLE アドバタイジングパケットを送信する。送信する間隔は容易に変更可能である。なお、M5StickC では送信電力の変更は行えない。試作システムの BLE アドバタイジングパケットの構造を図 3 に示す。1 つの BLE アドバタイジングパケットには合計 31 バイトまでのアドバタイジングデータを含めることができる。本稿の試作システムではアドバタイジングデータとして 1 バイトのフラグ、16 バイトのサービス UUID と 2 バイトのバッテリー電圧を含める。試作システムで端末が送信する BLE アドバタイジングパケットのサイズはプリアンブルやヘッダ、CRC 等を含めて合計 43 バイトとなる。なお、フラグ 0x06 はクラシック Bluetooth に対応していないことと常にアドバタイジングパケットを発信する General Discoverable Mode であることを表す。バッテリー電圧は消費電力の評価やデバッグのために用いる。なお、M5StickC はバッテリー電圧が 3.0 V を下回るとシャットダウンする。

4.3 WiFi を用いた端末間近接情報の収集

端末は、他の端末からの BLE アドバタイジングパケットを受信すると、受信時刻、BLE アドバタイジングパケットの送信元 MAC アドレス、受信電波強度、その時接続している WiFi アクセスポイントの MAC アドレス (BSSID) を端末間近接情報として内部メモリに保存する。これらの情報は一定間隔で近畿大学全学無線 LAN を用いて、同じネットワーク内にあるサーバに収集される。

4.4 省電力化に関する検討

現時点の試作システムでは省電力化を考慮していないが、端末はバッテリー駆動するため消費電力の削減は重要である。M5StickC では、例えば、消費電力に影響を与える CPU の動作周波数やディスプレイの明るさを変更するなどさまざまな省電力化が行える。また、M5StickC がコントローラとして使用している ESP32 には DeepSleep モードがある。例えば、授業中や教員とのミーティング中など教員の管理下にいる場合は端末をスリープさせる制御を入れることにより省電力化が行える

表1 候補となる小型無線端末の諸元

	M5Stack Gray	M5StickC	ATOM Matrix
サイズ	54×54×17 mm	48.2×25.5×13.7 mm	24×24×14 mm
重さ	93 g	33 g	14 g
コントローラ	ESP-32	ESP32-PICO	
無線	Wi-Fi (IEEE 802.11b/g/n), Bluetooth (Classic/BLE)		
バッテリー容量	150 mAh	80 mAh	(外付け)
慣性センサ	9 軸センサ (MPU9250)	6 軸センサ (MPU6886)	
ディスプレイ	320×240 LCD	80×160 LCD	25 RGB LED
値段	約 4300 円	約 2000 円	約 1400 円

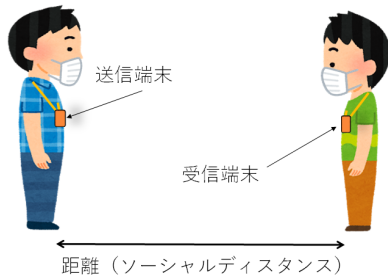


図4 距離が受信電波強度に与える影響の基礎評価実験

と考えられる。このような提案システムの省電力に関する検討については今後の課題とする。

5. 試作システムの基礎評価

本報告では提案するシステムの実現可能性を検証するため、特に端末間の BLE 通信を対象として、試作システムの基礎評価を行った。BLE 通信における受信電波強度を測定している検討は過去に多数あるが、本報告では、ソーシャルディスタンス計測のために、入構許可証として首からかけた M5StickC 同士で BLE 通信を行う場合を想定して実験評価を行う。

5.1 ソーシャルディスタンスが受信電波強度に与える影響の基礎評価

まず、2 人の実験協力者に協力してもらい、近畿大学東大阪キャンパス 38 号館 3 階エレベータホールで受信電波強度の観測実験を行った。図 4 のように実験協力者のうち 1 人に BLE アドバイジングパケットを送信する端末 (送信端末) を、もう 1 人に BLE アドバイジングパケットを受信する端末 (受信端末) を首からかけてもらった。実験協力者に互いに向かい合って立ってもらい、2 人の間の距離を 0.5 m から 5 m の範囲で 0.5 m ずつ変えながら実験を行った。それぞれの距離において送信端末から BLE アドバイジングパケットを 100 回送信した。バッテリー残量の影響を受けないように、いずれの端末も有線ケーブルによる電力供給を行った。

各距離における受信端末で受信した BLE アドバイジングパケットの受信電波強度の変動を図 5 に、距離ごとの受信電波強度の分布および平均、中央値をまとめたものを図 6 に示す。なお、0 m の場合の結果は 2 つの端末を隣接させた場合の結果である。これらの図に示されるように、同じ距離でも受信電波強度にばらつきがあることがわかる。しかし、図 6 より、受信電波強度の平均や中央値は距離によって減少することがわか

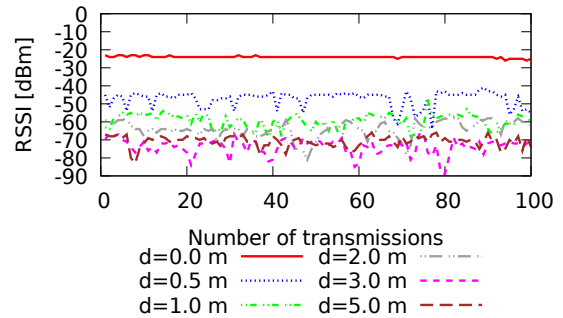


図5 距離を変えた場合の受信電波強度の変化

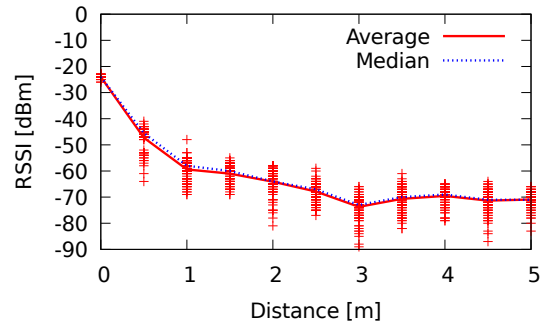


図6 距離を変えた場合の受信電波強度

る。したがって、送受信端末間である程度の回数アドバイジングパケットの送受信を行い、その平均値や中央値を用いることにより、送受信端末間のおおまかな距離の推定が可能であると考えられる。新型コロナウイルス感染症の濃厚接触者の目安としては、距離だけでなく接触時間が一定以上 (例: 15 分) であるという条件も用いられる。そのため、ある程度の回数アドバイジングパケットの送受信を行った結果を距離推定に用いることは可能であると考えられる。

さらに、最大どれだけの距離離れた端末の BLE アドバイジングパケットを受信できるか調査を行った。その結果、受信端末から最大 20 m の離れた距離にある送信端末の BLE アドバイジングパケットを正常に受信できた。したがって、単純に BLE アドバイジングパケットを受信できた場合に新型コロナウイルスの感染リスクが高まるほど近接していると判断できないことがわかる。

ただし、本実験は、限られた環境下における評価結果である。今後、端末の組み合わせや、人の組み合わせ、人の姿勢、測定

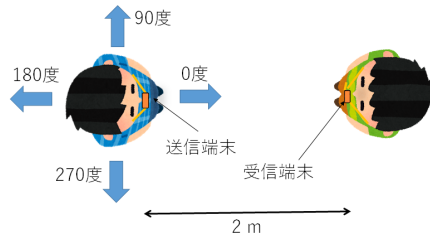


図7 体の向きが受信電波強度に与える影響の評価実験

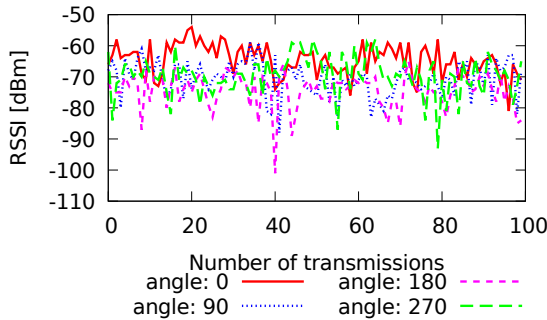


図8 体の向きを変えた場合の受信電波強度の変化

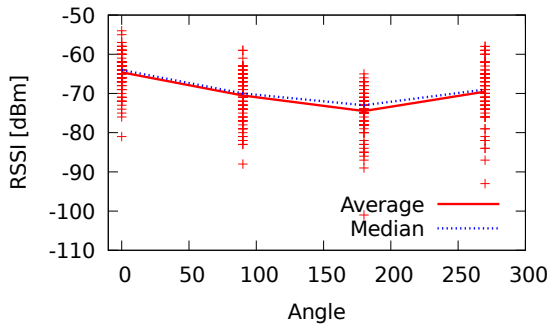


図9 体の向きを変えた場合の受信電波強度

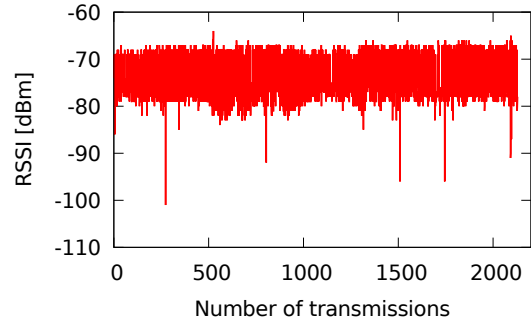


図10 バッテリー駆動した場合の受信電波強度の変化

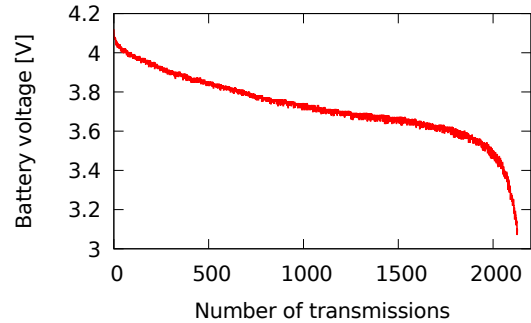


図11 バッテリー駆動した場合のバッテリー電圧の変化

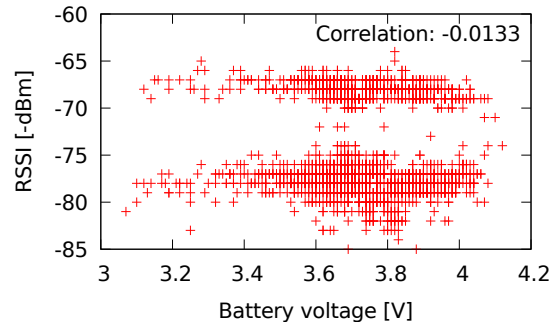


図12 バッテリー電圧と受信電波強度の関係

環境等を様々に変えて評価を行う必要がある。

5.2 体の向きが受信電波強度に与える影響の評価

体の向きによって受信電波強度がどう変わるかを検証するために、2人の実験協力者に協力してもらい、1人には送信端末をもう1人には受信端末をつけてもらい実験を行った。図7のように実験協力者間の距離は2mで固定とし、受信端末を持った実験協力者に静止してもらった状態で、送信端末を持った実験協力者の向きを90度間隔で変えてもらった。なお、2人の被験者が正対する角度を0度とした。それぞれの向きに対して100回BLEアドバタイジングパケットの送受信を行った。

それぞれの身体の向きにおいて受信端末で受信したBLEアドバタイジングパケットの受信電波強度の変動を図8に、身体の向きに対する受信電波強度の分布と平均値、中央値を図9に示す。これらの図に示されるように、受信電波強度にばらつきがあることがわかる。しかし、図9より、受信電波強度の平均値や中央値は身体の向きによって変化することがわかる。2人の実験協力者が正対する場合と比較して、一方の身体の向きが90度あるいは270度の場合は5dBm程度、一方の体の向きが180度の場合は10dBm程度、受信電波強度が下がる。学内のソーシャルディスタンスモニタリングにおいては互いに横に並

んで座るような状況も発生すると考えられるため、濃厚接触者の推定時には5dBm程度の余裕をもって推定する必要があると考えられる。

ここで、図中、身体の向きが180度の場合に-100dBmを超える受信電波強度を観測している箇所があるが、これは外れ値である。ソーシャルディスタンス推定の際に中央値を用いることにより外れ値の影響を受けづらくなると考えられる。

5.3 端末のバッテリー残量が受信電波強度に与える影響の評価

送信端末のバッテリー残量が受信電波強度に与える影響を評価するために、2台の端末を1mの距離で固定して実験を行った。本実験は、計測時間が長期にわたることが予想されたため、近畿大学東大阪キャンパス38号館3階N317知的通信網研究室内の机上で実施した。受信端末は有線ケーブルにより電力を供給し、送信端末はバッテリー駆動とした状態で、送信端末からBLEアドバタイジングパケットを送信した。

実験開始後のアドバタイジングパケットの送信回数と受信端末での受信電波強度の変化を図10に、送信端末のバッテリー電圧の変化を図11に示す。本実験では、送信端末が2130回

BLE アドバイジングパケットを送信した後に M5StickC のバッテリー電圧が 3.0 V を下回り、M5StickC がシャットダウンした。なお、図 10 で受信電波強度が急激に減少している地点があるがこれは外れ値である。図 11 に示されるように送信端末のバッテリー電圧は徐々に減少していくが、図 10 に示されるように受信端末における受信電波強度は減少する傾向がない。

図 12 は、バッテリー電圧と受信電波強度の関係を散布図として示したものである。図に示されるように、バッテリー電圧と受信電波強度に相関関係はみられない。相関係数を計算したところ -0.0133 であった。したがって、本研究で想定する端末において、送信端末のバッテリー残量が受信電波強度に与える影響はないと考えられる。そのため、ソーシャルディスタンス計測において、送信端末のバッテリー残量による推定距離の補正を考える必要はなく、アドバイジングパケット内にバッテリー残量を含める必要はない。

6. まとめと今後の課題

本稿では、大学内のソーシャルディスタンスを把握するためのシステムを提案した。提案システムでは、入構者に対して小型無線端末を入構許可証として配布し、常時装着してもらう。端末間の BLE パケットの送受信により端末間の距離を推定し、取得したデータを全学無線 LAN を用いて収集する。本稿では、M5StickC を用いて提案システムの一部を実装した。また、端末間の BLE 通信を対象として基礎評価を行った。その結果、受信電波強度の平均値や中央値を用いることでおおまかな距離を推定可能なこと、人の向きにより受信電波強度に変化があること、送信端末のバッテリー電力は受信電波強度に影響を与えないことを確認した。

本稿では非常に単純な状況における評価を行ったが、今後の課題として、さらに大規模な環境、学内のさまざまな環境での評価が必要である。また、サーバにおいて収集したデータから密な状態を推定する具体的な手法の検討も必要である。さらに、端末の消費電力を低減するための機構を検討する必要がある。

謝辞

本研究の一部は科学研究費 (19K11934)、令和 2 年度近畿大学学内研究助成金 (SR08) および“オール近大”新型コロナウイルス感染症対策支援プロジェクトの助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] A. B. Chan and N. Vasconcelos, “Counting people with low-level features and Bayesian regression,” *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 21, no. 4, pp. 2160–2177, Apr. 2012.
- [2] Z. Ma and A. B. Chan, “Crossing the line: Crowd counting by integer programming with local features,” in *IEEE CVPR 2013*, Jun. 2013, pp. 2539–2546.
- [3] S. Fujisawa, G. Hasegawa, Y. Taniguchi, and H. Nakano, “Pedestrian counting in video sequences based on optical flow clustering,” *International Journal of Image Processing*, vol. 7, no. 1, pp. 1–16, Feb. 2013.
- [4] F. Bu, R. Greene-Roesel, M. C. Diogenes, and D. R. Ragland, “Estimating pedestrian accident exposure: Automated pedestrian counting devices report,” *UC Berkeley Traffic Safety Center*, Mar. 2007.
- [5] R. Greene-Roesel, M. C. Diogenes, D. R. Ragland, and L. A. Lindau, “Effectiveness of a commercially available automated pedestrian counting device in urban environments: comparison with manual counts,” *TRB 2008 Annual Meeting*, 2008.
- [6] S. Fujii, Y. Taniguchi, G. Hasegawa, and M. Matsuoka, “Pedestrian counting with grid-based binary sensors based on Monte Carlo method,” *SpringerPlus*, vol. 3, pp. 1–10, Jun. 2014.
- [7] 原田典明, 青木勝, 三上明子, 峯下聡志, 斎藤志傑, “人の行動を「見える化」する動線解析技術と活用例,” *NEC 技術報告*, vol. 64, no. 3, 2011.
- [8] Y. Wang, J. Yang, H. Liu, Y. Chen, M. Gruteser, and R. P. Martin, “Measuring human queues using WiFi signals,” in *Proceedings of ACM MobiCom 2013*, Sep. 2013, pp. 235–237.
- [9] L. Schauer, M. Werner, and P. Marcus, “Estimating crowd densities and pedestrian flows using Wi-Fi and Bluetooth,” in *Proceedings of Mobiquitous 2014*, Dec. 2014, pp. 171–177.
- [10] T. Yoshida and Y. Taniguchi, “Estimating the number of people using existing WiFi access point based on support vector regression,” *Information*, vol. 19, no. 7A, pp. 2661–2668, Jul. 2016.
- [11] T. Mabuchi, Y. Taniguchi, and K. Shirahama, “Person recognition using Wi-Fi channel state information in an indoor environment,” in *Proceedings of IEEE ICCE-TW 2020*, Sep. 2020.
- [12] T. Xin, B. Guo, Z. Wang, M. Li, Z. Yu, and X. Zhou, “FreeSense: Indoor human identification with Wi-Fi signals,” in *Proceedings of IEEE GLOBECOM 2016*, Dec 2016, pp. 1–7.
- [13] アースアイズ, “ソーシャルディスタンスカメラ,” 2020, <https://earth-eyes.co.jp/sdc/>.
- [14] N. S. Pun, S. K. Sonbhadra, and S. Agarwal, “Monitoring COVID-19 social distancing with person detection and tracking via fine-tuned YOLO v3 and DeepSORT techniques,” *arXiv:2005.01385*, May 2020.
- [15] 厚生労働省, “新型コロナウイルス接触確認アプリ (COCOA) COVID-19 Contact-Confirming Application,” Jun. 2020, https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/cocoa_00138.html.
- [16] 新型コロナウイルス感染症対策テックチーム, “接触確認アプリ及び関連システム仕様書,” May 2020, <https://cio.go.jp/node/2613>.
- [17] MAMORIO, “Mamorio,” 2020, <https://mamorio.jp/>.
- [18] Singapore Government, “TraceTogether Token: Media Statement,” 2020, <https://www.singapore.gov.sg/trace-together/token/media-statement>.

//www.tech.gov.sg/media/media-releases/

2020-06-16-tracetgether-token-media-statement.

- [19] IK Multimedia, “Safe spacer,” 2020, <https://www.safespacer.net/>.
- [20] 藤原明広, 巳波弘佳, “すれちがい通信を利用した災害時避難誘導法,” *電子情報通信学会論文誌*, vol. J96-B, no. 6, pp. 580–588, Jun. 2013.
- [21] 田畑亮馬, 林亜梨沙, 徳永清輝, 佐伯幸郎, 松本真佑, 中村匡秀, “すれちがいフレームワークのための BLE を用いた近接検知機構の実装と評価,” *電子情報通信学会技術研究報告*, vol. 115, no. 486, pp. 19–24, Mar. 2016.
- [22] 工藤大希, 堀川三好, 古館達也, 岡本東, “近接ビーコンを利用した屋内位置測位手法の提案,” *情報処理学会研究報告*, vol. 2015-MBL-77, no. 23, pp. 1–6, Nov. 2015.
- [23] 村田将之, 内藤拓也, 佐藤大介, 五十嵐雄哉, 貞清一浩, 高木啓伸, “BLE ビーコンを用いた視覚障害者向け高精度屋内外ナビゲーション,” *情報処理学会研究報告*, vol. 2016-AAC-1, no. 3, pp. 1–8, Jul. 2016.
- [24] 山田航也, “MAMORIO のすれ違い追跡で「ソーシャルディスタンス」を管理 濃厚接触者を割り出すレポート機能も追加,” 2020, <https://robotstart.info/2020/05/12/mamorio-covid-1.html>.
- [25] Google, “Sodar,” 2020, <https://sodar.withgoogle.com/>.
- [26] 国立感染症研究所, “新型コロナウイルス感染症患者に対する積極的疫学調査実施要項,” 2020, <https://www.niid.go.jp/niid/images/epi/corona/2019nCoV-02-200529.pdf>.