

# CroW:バス車内における混雑状況推定システム

高松将也<sup>†,a)</sup> 伊達伸之輔<sup>†,b)</sup> 岩本健嗣<sup>†,c)</sup> 松本三千人<sup>†,d)</sup>

**概要:** バスは移動手段として、欠かせない公共交通機関となっている。しかし、普段から日常的にバスを利用して乗客にとって、不定期なイベントなどにより予告なくバスが混雑している状況はストレスを与える。またバスの運転手は車内の安全確保のため、車内の状況を把握する必要がある、運転の集中が妨げられるという問題がある。バスの混雑状況を知る手段として、カメラで撮られた映像を解析する手法があるが、同時にプライバシーに関する問題を含んでいる。そこで本研究では BLE と音が人の体に遮蔽されるという特徴を利用して、バス内の混雑状況を推定するシステムを構築する。本稿では、バスを模した空間において混雑状況を推定する実験を行い、本手法の精度を評価した。

**キーワード:** BLE, 音, 混雑状況, 公共交通, 状況認識

## CroW : The Estimation System for Crowded Bus Situation

MASAYA TAKAMATSU<sup>†,a)</sup> SHINNOSUKE DATE<sup>†,b)</sup>  
TAKESHI IWAMOTO<sup>†,c)</sup> MICHITO MATSUMOTO<sup>†,d)</sup>

**Abstract:** Bus has become necessary and popular as public transport. However, passengers who use the bus usually feel the stress when the bus is crowded by irregular events. Moreover, it is necessary for a bus driver to check location of passengers for safety in the bus without preventing driving operation. The camera image analysis is usually used for checking crowded bus situation, however, the method has a problem about the privacy.

In this study, we have used BLE and sound as feature of crowded situation because BLE and sound are shielded to the body of the people. In this paper, we evaluated the accuracy of these methods by the experiment for estimating crowded situation in the room of assuming the bus.

**Keywords:** BLE, Sound, Crowd Situation, public transport, context recognition

## 1. はじめに

バス車内の混雑状況を知ることは、バスの運転手、利用者の双方において重要なことである。運転手は安全確保のため車内の状況確認を強いられているが、同時に運転の集中が妨げられるため、走行中に車内の状況確認を行うのは困難である。また、バスは不定期なイベントなどにより予告なく混雑していることがあり、利用者にストレスを与える。そのため、バスの混雑状況をリアルタイムに提示できれば、利用者にバスを利用するか否か、次便のバスを利用するといった選択肢を与えることが可能である。これらのことから、簡易的に、かつリアルタイムにバスの混雑状況を知ることができると望ましい。

バス車内の混雑状況確認手段として、バス車内に取り付けるバス車載カメラシステム[1]が存在する。これは事故防止対策や防犯を目的としており、事故の場合の検証等に役立てられている。しかしカメラを用いる場合には、プライバシー保護の問題や、低コストでの導入が困難であるといった課題が存在する。

そこで、本研究では、BLE(Bluetooth Low Energy)と音を用いた2つの手法からバス車内における混雑状況の推定を試みる。BLEを用いる手法では、バス車内に複数のBLE端末と、1つの受信端末を適当な箇所に設置する。それぞれのBLE端末の受信信号強度(RSSI: Received Signal Strength Indication)が、人を遮蔽物として変化することを利用して、バス車内の混雑状況を推定する。本研究ではBLE端末としてiBeaconを用いた。iBeaconはApple社によって提案されたBLEを利用した位置と近接の検出技術である[2]。主な特徴として、省電力、低コスト、省スペースであること、さらにペアリングを必要としないことによる手軽さ等が挙げられる。音を用いる手法では、音の特定の周波数が人の遮断によって減衰することを利用して混雑状況を推定する。バス車内に設置した複数のマイクで、音源であるスピーカーから流れるピンポン音の音圧の減衰を調べる。この2つの手法を補完的に利用してバス車内における混雑状況を推定する。

## 2. 関連研究

### 2.1 BLEを用いた位置情報の推定

BLEを用いた屋内の位置推定手法は数多く提案されている。BLE電波強度による屋内測位の性能評価[3]では、

<sup>†</sup>富山県立大学工学部情報システム工学科  
a) t215028@st.pu-toyama.ac.jp  
b) s-date@puc.pu-toyama.ac.jp  
c) iwamoto@pu-toyama.ac.jp  
d) michito@pu-toyama.ac.jp

RSSIによる屋内測位をCentroid方式、Fingerprinting方式で行い、それぞれの性能を評価している。BLEシグナルとPDRによるハイブリッド屋内測位手法の基礎検討[4]では、RSSIによる測位と端末センサを利用した相対位置測位技術であるPDR(Pedestrian Dead Reckoning)を組み合わせたハイブリッド屋内測位手法の基礎検討を行っている。また、BLE端末間の電波干渉についても述べられており、BLE端末間の干渉の影響は、数dBmの誤差であるため、無視できる範囲であるとしている。

その他にも、ビーコンのRSSI変化を利用した技術として、視線方向に応じた情報通知のためのBluetoothビーコンを利用した身体向き推定機構の実現[5]がある。これは、ユーザの正面方向にビーコン受信機を携帯させ、複数台のビーコン発信機からの電波を受信する。この時、ユーザの正面方向から送信されたビーコンのRSSIは、反対の方向から送信されたビーコンよりも強いという特徴がある。このように人体をビーコンの電波の遮蔽物として扱うことで、ユーザの正面方向を推定することを目的としている。

## 2.2 音を用いた位置情報の推定

音声や環境音を用いて人や物の位置情報を推定する研究は盛んに行われている。複数話者の位置を推定する研究[6]では、複数のマイクを用いた同期乗算という手法で位置情報を推定している。同じような話者推定技術にはこのほかに、同期加算による方法、相関を用いる方法、空間周波数分析を用いる方法など[7][8]が存在するが、この同期乗算による方法では同時に音を発する複数話者の位置情報を自由に配置された複数のマイクから推定することが可能であるという特徴がある。

自律移動ロボットが曲がり角先などの視野外にいる歩行者との衝突を避ける手段[9]として、音情報が利用されている。音は反射、回折するという特徴があるため、物陰の歩行者でも、足音などの歩行者から発する音を取得することができる。

上記以外の方法として、音楽電子透かし技術を用いたモバイル端末位置情報の検出手法[10]がある。音響信号の中に情報を埋め込み、その音響信号をモバイル端末のマイクで收音することでモバイル端末の位置情報を測定する。

## 2.3 センサを用いた混雑状況推定

混雑状況の推定にセンサを用いる研究は盛んに行われている。スマートフォンを活用した屋内環境における混雑センシング[11]では、スマートフォンに内蔵されたマイク及び加速度センサを用いて、混雑時の周囲の音及びユーザの歩行動作をセンシングし混雑状況を推定する手法を提案している。この手法では、ユーザの周囲の状況に応じた歩行者ナビゲーションを実現するために、地下街や商業ビルなどにおいて、各地点の混雑状況を把握することを目標とし

ている。個々のユーザのデータを収集し、サーバ上で処理を行い、混雑を可視化している。しかし、このような参加型のセンシングはユーザの協力が必要であることが課題である。また、スマートフォンを用いることのメリットの1つが、大掛かりな装置を必要とせず、安価に検知することが可能という点である。近年、この手法のように混雑状況を安価に検知する方法論や技術は注目され始めている。

## 2.4 本研究の目的

本研究では、バス車内の混雑状況をBLEと音の遮蔽特性を用いて推定する。カメラを用いることで混雑状況を運転手及び利用者には知らせることは比較的容易に実現できるが、コストの問題とプライバシーの問題がある。そのため、本システムでは安価に実装出来て尚且つプライバシーを考慮した手法で混雑状況を推定する。また、バスの乗客には、スマートフォンを利用することに慣れていないお年寄り、普段バスを利用しない人、対応したアプリをスマートフォンにインストールしていない人などが含まれていることを考え、ユーザに一切の負担がない手法で行う必要がある。BLEを用いた混雑状況推定の手法は、BLE端末を特定の場所に設置し、受信端末でそれぞれのBLE端末から得られるRSSIの減衰を混雑状況推定の特徴量として利用する。一方、音を用いた混雑状況推定の手法は、対象が話者や歩行者など音を発する場合は一般的であるが、バス車内では人の会話は極めて少なく、またバスの走行中利用者は音が出るような動きをすることが少ないため、対象をバス利用者ではなくバスのピンポン音を音源とし、マイクまでの人の遮蔽による音の減衰を混雑状況推定の特徴として利用する。

本研究では、この2つの手法を同時に利用することで、バス車内における混雑状況を推定することを目的とする。特にバスの運転手に乗客の状況を正確に伝えられること、バスの利用者にとって混雑状況を簡易的な方法で提示することが重要である。そのため、本研究における混雑状況は、混雑している、空いているという2値化された情報ではなく、バス車内において、どのエリアにどの程度人が乗車しているのかという情報を混雑状況とする。

## 3. 提案手法

本研究で提案する手法についての概要を述べ、BLEと音の混雑状況推定を行うための予備実験を行った。

### 3.1 提案手法の概要

本研究で提案するシステムCroWの全体的な概要を図1に示す。CroWは、BLE、音のそれぞれを用いた手法で得られたデータを同一サーバに集約し、バスの混雑状況をWebアプリや、スマートフォンアプリを媒体としてリアルタイムで提供するシステムである。

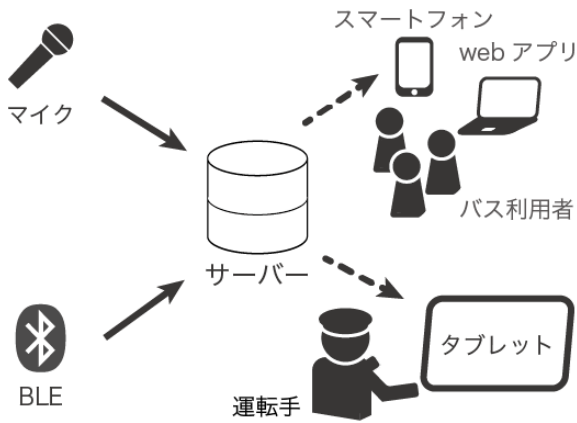


図 1 CroW の概要

3.1.1 BLE を用いた混雑状況推定手法の概要

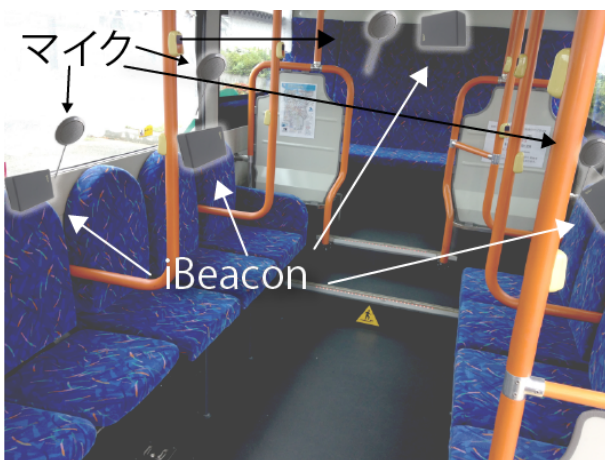


図 2 提案手法のイメージ図

提案手法のイメージ図を図 2 に示す。BLE を用いた提案手法では、図 2 のようにバス車内に BLE 端末を複数台設置し、バスの中心に受信端末を設置する。受信端末は、常に複数の BLE 端末からの電波を受信する。BLE 端末と受信機の間人が存在すると、RSSI は減少する。これは、人を遮蔽物として、BLE 端末からの電波を遮っているためである。このように、提案手法では、RSSI が人を遮蔽物として減衰することを利用して混雑状況を推定する。

3.1.2 音を用いた混雑状況推定手法の概要

音を用いた提案手法では、3.1.1 節の図 2 のように、複数のマイクを設置して録音を行う。またバス車内にあらかじめ設置してあるスピーカーから流れる「ピンポン」を音源とする。スピーカーからマイクに音が届くまでに遮蔽物が存在すると、音圧が減衰することは一般的に知られている。これは遮蔽物に音が衝突した時に、一部の音は回折または透過してマイクに届くが、一部は反射、吸収によって音がマイクまで届かない。この遮蔽による音圧の減衰を見ることが、混雑状況を推定する。

3.2 混雑状況の推定

3.2.1 予備実験の概要

BLE と音から人数と位置を推定するための予備実験を行った。BLE を用いた手法では、1 つの BLE 発信端末より得られる RSSI から人数と位置を推定するための予備実験を行い、音を用いた手法では、特定周波数の音圧から人数と位置の推定が可能であることを確認するための予備実験を行った。各機器の配置を示した予備実験環境を図 3 に示す。図 3 において、①~④は人を配置する位置を表している。また、予備実験を行った人の配置方法のパターンについて表 1 に示す。無人状態とは、人がいない状態を指す。

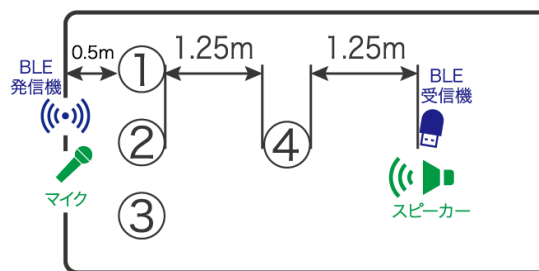


図 3 予備実験環境

表 1 予備実験で行った実験パターン

パターン	人数	人の位置
無人状態	0 人	なし
パターン A	1 人	②
パターン B	1 人	④
パターン C	2 人	②, ④
パターン D	2 人	①, ②
パターン E	2 人	②, ③
パターン F	3 人	①, ②, ③

本研究では、BLE 発信端末として Aplix 社のビーコン端末 MB004 を使用した。iBeacon は、全ての端末が固有の UUID, Major 値, Minor 値を持ち、それぞれ任意に設定することが可能である。受信端末として Raspberry Pi Model B+に Bluetooth ver4.0 LE/EDR 対応 Dongle を使用した。また、使用したマイクは一般的な無指向性の PC マイクである。使用したビーコン端末の仕様を表 2 に、外観を図 4 に示す。

表 2 MB004 仕様表

製品名	MB004
送信出力	-20dBm~0dBm
無線周波数	2.4~2.4835GHz
アドバタイズメント周期	100ms~125ms
Major 値, Minor 値	それぞれ 2 <sup>16</sup> 通り



図 4 MB004

### 3.2.2 BLE に関する予備実験，特徴量の定義

BLE 端末から得られる RSSI が，人によって遮蔽されることを用いた混雑状況推定が可能であることを確認するために予備実験を行った．予備実験では，表 1 に示した人の配置のパターンごとに，受信端末で BLE 端末から得られる RSSI を 30 秒間取得する．図 3 の予備実験環境における，無人状態での RSSI グラフを図 5 に示す．

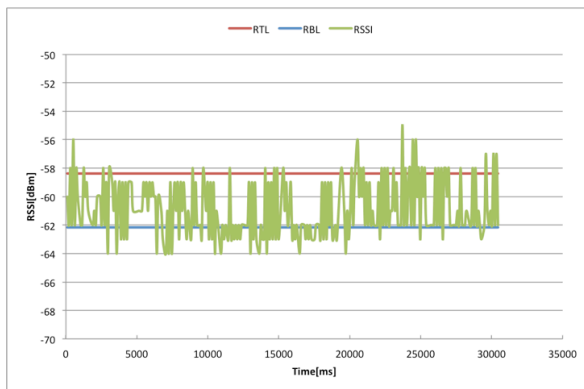


図 5 無人状態での RSSI

BLE の RSSI は一般に一定の数値で安定しないことが知られており，図 5 のグラフからも明らかである．しかし，無人状態において RSSI は大きく乱れることはなく，ある一定範囲の中で変動する．本稿では，この一定範囲の上限を RTL(RSSI Top Line)，下限を RBL(RSSI Bottom Line)と定義する．RTL,RBL の算出方法に関しては 3.2.3 節で示す．

1 組の BLE 端末と受信端末から人数と位置を推定するための予備実験を行った．実験環境は図 3 と同様で，人の配置パターンは表 1 の A~F である．無人状態とそれぞれのパターンにおける 30 秒間の RTL,RBL を表 3 に示す．

予備実験により，RBL,RTL に特徴が現れることがわかった．表 3 より，無人状態とそれぞれのパターンを比較した結果，パターン A~F の RTL,RBL はそれぞれ無人状態よりも低い数値を示していることがわかる．このことから，全てのパターンにおいて RSSI が人に遮蔽され，RTL,RBL の値に影響を及ぼしていることがわかる．パターン A,B,C,F に関しては，RTL, RBL のそれぞれの値に特徴があるため，

容易に推定可能だと考えられる．

予備実験より得られたデータを，データマイニングツール weka[12]を用いて分類した．この時，RTL,RBL の 2 つの特徴量を用いて，交差検証を 5 フォールドとし，分類器には J48 を用いた．その結果，無人状態とパターン A~F を 97.75%の精度で分類することができた．

表 3 パターンごとの RTL,RBL

パターン	RTL	RBL
無人状態	-58.38	-62.16
パターン A	-63.97	-74.03
パターン B	-60.42	-68.50
パターン C	-65.47	-70.89
パターン D	-67.95	-74.23
パターン E	-67.19	-75.38
パターン F	-61.33	-74.13

### 3.2.3 RTL,RBL の導出

本節では，RTL,RBL，それぞれの導出手法を示す． $R$  を  $n$  個の rssi サンプルの集合とし． $R$  の平均値を  $A$  とする．また，集合  $R$  の要素の中で， $A$  よりも大きい要素の集合を  $R_t$ ， $A$  よりも小さい要素の集合を  $R_b$  とする． $R_t, R_b$  を式(1),(2)に示す．

$$R_t = \{x \in R \mid x > A\} \quad (1)$$

$$R_b = \{x \in R \mid x < A\} \quad (2)$$

次に， $R_t, R_b$  の要素数を  $N_t, N_b$  とし，RTL,RBL をそれぞれ算出する式を式(3),(4)に示す．

$$RTL = \frac{(\sum_{k=1}^{N_t} R_t)}{N_t} \quad (3)$$

$$RBL = \frac{(\sum_{k=1}^{N_b} R_b)}{N_b} \quad (4)$$

提案手法では新しい RSSI サンプルが取得されるたび，過去  $n$  個のサンプルを用いて RTL,RBL それぞれを算出する．

### 3.2.4 人によって遮断される音の周波数に関する予備実験

音の遮蔽を考える上で周波数は重要な要素の 1 つである．周波数帯が低い音は波長が長く，遮蔽物に対して回折する音の割合が，周波数帯が高い音に比べ多い．本システムは人の遮蔽によって起こる音の減衰から混雑状況を推定する．そのため，遮蔽物による減衰が少ない低い周波数帯の音は

適していない。そこで本システムにおいて用いるピンポン音の周波数を決定するための予備実験を行った。そして、その決定した周波数の音は、バスの実際のピンポン音と差し替えることで混雑状況を推定する。予備実験環境は図3と同様である。

この予備実験では、ホワイトノイズを音源とした。ホワイトノイズは、全ての周波数帯域において音圧レベルが均一となる雑音である。ホワイトノイズを、人を配置した環境で録音を行い、人の遮蔽での音圧の減衰を見ることで、有効な周波数を特定する。表1のパターンA~Fの人の配置で録音を行った。図6に無人状態の録音(赤)とパターンAの録音(緑)の周波数スペクトラムを示す。横軸は周波数(Hz)、縦軸は音圧レベル(dB)である。ここで、無人状態での周波数スペクトラムが、均一な音圧で出力されていないのは、スピーカーの特性とマイク特性、そして録音環境の特性が現れているためである。

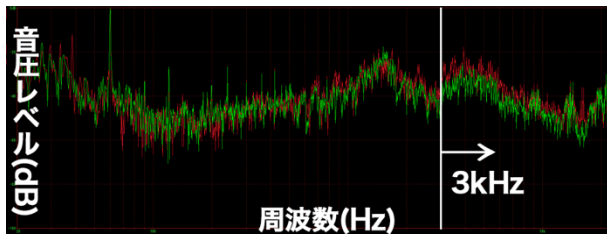


図6 ホワイトノイズの周波数スペクトラム

図6で2つのデータを見比べると、パターンAのグラフが3kHz以上の周波数帯で無人状態よりも低くなっていることがわかる。一方、低い周波数帯では互いのデータがほぼ同じである。これは低い周波数帯では音圧の減衰が少ないということを示している。また、3kHz以上の周波数の帯域では、音圧の減衰が起き、録音したデータに影響を与えたといえる。パターンA以外においても、同様のことが確認できたため、実験で用いるピンポン音は、周波数を3kHz以上となるように加工した。よって、以降の実験で音源は「周波数3kHz帯の高さのピンポン音」を用いる。

### 3.2.5 音の遮蔽に関する予備実験

音が人によって遮蔽されることを用いた混雑状況推定が可能であることを確認するために予備実験を行った。実験では無人状態の時とそれぞれのパターンを比較し、それぞれのパターンでどれだけ音圧が減衰するかを調べる。実験環境は3.2.4節同様で、人の配置パターンは表1のパターンA~Fである。無人状態での周波数スペクトラムを図7に示す。

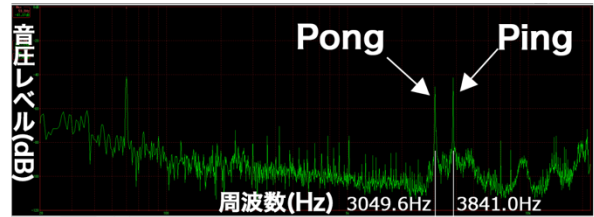


図7 無人状態でのピンポン音の周波数スペクトラム

図7の3049.6Hz帯はピンポン音における「Pong」の、3841.0Hz帯は「Ping」の音圧である。そのため、音源を発した時に大きく図7の音圧が変化するはこの2つの周波数となる。そこでこの3049.6Hz、3841.0Hz帯の音圧のピークを、無人状態とパターンごとで比較し、混雑状況が推定可能かを調べる。パターンごとの「Pong」、「Ping」のピークを図8のグラフに示した。また全てのパターンでそれぞれ3回音源を鳴らした時のピークの平均を図8に示す。

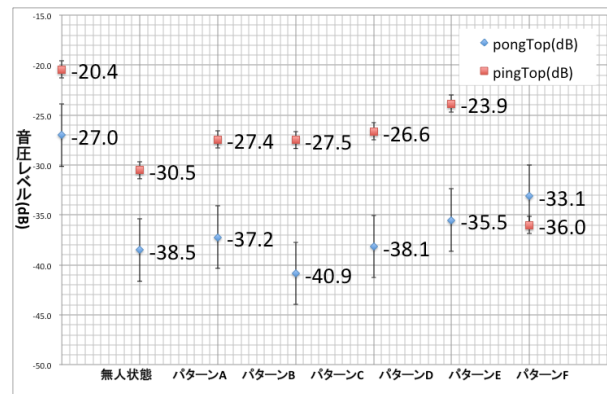


図8 Ping音(3841.0Hz)、Pong音(3096.4Hz)のピーク

図8より、Pong音は誤差がPing音と比較して大きいことがわかる。これに伴い、Pong音は基準となる無人状態以外のパターン全てがそれぞれの誤差の範囲に含まれる。一方、Ping音の誤差の範囲はB、C、D以外は他のパターンの誤差範囲に含まれていない。これより、Ping音においてはパターンA、パターンE、パターンFとパターンB~Dを一まとまりにした範囲で混雑状態を測定できる。よって、混雑状況の推定にはPing音に注目することが最適である。また、パターンAと同じ人数のパターンBの減衰は、同じ人数であるにもかかわらず、パターンAよりも減衰が小さい。これはパターンAの配置はパターンBに比べマイクからの距離に近いと考えられる。そのため、音が人によって遮蔽されることを用いた混雑状況の推定は、マイク近辺の混雑状況の推定に有効であるといえる。また、パターンC~Eは、パターンAより人数が多いが、音圧の減衰についてはパターンAよりも小さい。その上、パターンC~Eの配置にはパターンAの配置が含まれている。以上のことから、人という遮蔽物が多いからといって必ずしも音圧の減衰が大きくなるとは限らないことがわかった。パターン

AよりパターンC~Eの音圧の減衰が小さくなった原因として考えられることは、人が増えたことにより音の反射する箇所が増えたことである。パターンDの場合では、音が①の人体に衝突し、②の背後にあるマイクの方に反射したと推測できる。その結果、①が無人だった時よりも、音が多く録音されたと考えられる。

### 3.2.6 音による混雑状況推定アルゴリズム

本節では 3.2.5 節の実験の結果より音の遮蔽を用いた混雑状況推定アルゴリズムについて述べる。予め無人状態の音源を録音しておく。録音した音から Ping の周波数帯 3841.0Hz のピークを取得する。取得した無人状態のピークを基準として、どれだけ減衰したかの減衰率を求める。減衰率を求める式を式(5)、(6)に示す。

$$P = 10^{\frac{dB}{20}} \quad (5)$$

$$\text{減衰率} = \left(1 - \frac{P}{P_0}\right) \times 100 \quad (6)$$

式(5)の dB に減衰を見たいピークを代入し、dB 表記をリニア表記 P にする。その後、式(6)において式(5)で求めた P と無人状態のピークのリニア表記  $P_0$  を代入し、減衰率を得る。

3.2.5 節の予備実験を参考に閾値を定め、混雑状況の推定アルゴリズムとした。閾値のルールを表 4 に示す。

表 4 閾値のルール

減衰率	推定
75%以上	3人以上
60%~75%	マイク近傍に1人
50%~60%	その他
50%以下	無人

表 4 における「マイク近傍」とは、マイクに最も近い位置のことを表す。図 4 では、②の配置が「マイク近傍」となる。減衰率 50%~60%の範囲では、予備実験の結果だけでは細かく分類することができなかつたため、本稿では「その他」とした。

## 4. 評価実験

提案手法の性能を評価するための実験を行った。本システムを評価するために、大学内の部屋に座席配置や大きさに関して実際のバスの設計図を元に、バスを出来る限り模した空間を再現した。使用した部屋の面積などの関係により、バスの座席配置を完全に再現することはできなかった。

この空間において、予備実験によって得られた結果から、1つの BLE 端末、マイクによる推定可能範囲を考慮し、BLE 端末、マイクを、バスを模した空間内に設置した。BLE 端末、マイクの設置箇所をそれぞれ図 9 に示す。3.2.1 節同様、図 9 において、①~⑪は人を配置する位置を表している。評価実験を行った人の配置方法のパターンについて表 5 に示す。なお、表 5 に示した 10 通りの実験パターンは、実際のバス環境内における乗車位置を想定したものである。

評価実験環境下における実験パターンの一例を図 10 に示す。また、BLE に関しては、それぞれの発信端末から得られる RSSI を 30 秒間測定し、音に関しては、30 秒間の間に 3 回のピンポン音をスピーカーから発し、それぞれのマイクで録音した。

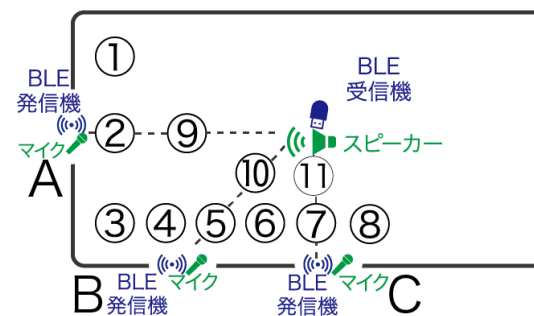


図 9 バスを模した空間

表 5 評価実験で行った実験パターン

実験	人数	人の位置
実験 1	3人	②, ⑤, ⑦
実験 2	3人	①, ②, ③
実験 3	3人	④, ⑤, ⑥
実験 4	4人	④, ⑤, ⑥, ⑦
実験 5	5人	④, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧
実験 6	4人	②, ⑦, ⑨, ⑩
実験 7	3人	⑨, ⑩, ⑪
実験 8	4人	①, ②, ③, ⑨
実験 9	5人	①, ③, ⑥, ⑨, ⑩
実験 10	5人	①, ②, ⑧, ⑨, ⑩

評価実験で取得した BLE 端末より得られたデータを、weka を用いて分類した。予備実験同様、RTL,RBL の 2 つの特徴量を用い、交差検証を 5 フォールド、分類器には J48 を用いた。図 9 の BLE 端末 A から得られたデータを 10 通りの実験パターンに分類した結果、97.38%であった。同様に、図 9 の BLE 端末 B, C から得られたデータを分類した結果、それぞれ 95.20%, 94.55%であった。また、3 つの BLE 端末から得られたデータ全てを用いて 10 通りの実験パターンに分類した結果、90.27%であった。



図 10 バスを模した空間での評価実験

weka を用いた分類結果より、今回行った実際のバス環境内における乗車位置を想定した、10 パターンの実験において、90%以上の確率で分類できることがわかった。

次に、評価実験でマイクより取得した音のデータを 3.2.5 節のルールに則って評価した。結果は、図 9 におけるマイク A の認識率が 43.3%、マイク B が 20.0%、マイク C が 23.3% となった。認識率の精度は高くなく、さらにマイク A において予備実験時とほぼ同じ環境である実験 2 を推定することができなかった。その理由として、音の反射が考えられる。評価実験の実験 2 と予備実験のパターン F との違いについて考察した結果、人の向いている角度がわずかに違っていたという可能性があった。つまり、人の向いている角度が違うことにより、音の反射角が変化し、音圧の減衰が増減したと推測できる。そのため、予備実験における閾値では混雑状況の詳しい推定が困難であることがわかった。また、バス車内を模した空間での実験は、実際のバス同様に四方を壁に囲まれている。そのため、ピンポン音が壁や床に反射し、人体に遮蔽されずにマイクに録音されたということも考えられる。しかし、3 回のピンポン音と 10 通りの実験の計 30 試行で、「無人」の認識ミスは 4 回のみだった。そのため、人の存在の有無については、音圧の減衰を見ることで確かに推測できるといえる。また、図 10 のマイク B、マイク C の認識率がマイク A よりも低くなったのは、予備実験で決め閾値はあくまでマイク A だけの時のデータだったからである。それぞれの場所にあった閾値を考える必要があり、さらに音の反射を考慮するとそれぞれの場所における特徴的な音圧の変化があると考えられる。

本評価実験より、BLE を用いた手法による混雑状況推定では、複雑なパターンにおいても高い精度で分類することが可能であるという特徴があり、音を用いた手法による混雑状況推定では、設置したマイクの近傍における、人の存在の有無を高確率で推定できるという特徴があることがわかった。

## 5. まとめ

本稿では、BLE と音を用いた 2 つの手法を同時に利用することで、バス車内における混雑状況を推定するシステム CroW を提案し、それぞれの手法に必要な実験を行い、その性能を評価した。BLE を用いた手法では、様々な配置方法のパターンについて分類可能であることを明らかにした。しかし、BLE 端末と受信端末との位置関係が重要であるため、様々な環境において容易に対応することができない。音を用いた手法では、詳細な分類は困難であったが、マイク近傍が無人であるのか、そうでないのかを高確率で推定可能であることがわかった。また、マイクの設置箇所は音の届く範囲であれば良いと考えられるので、BLE を用いた方法よりも様々な環境に柔軟に対応することが可能である。

また、目標としているバスでの実装を想定した時、BLE を用いた手法によりバス車内全体を推定し、音を用いた手法により、優先座席や入り口付近を推定することが可能である。このように 2 つの手法を補完的に用いたバス車内の混雑状況を推定が可能であると考えられる。

今後の課題として、様々な配置パターンで網羅的に実験を行い、BLE と音を用いたそれぞれの手法において、規則性を導き出すことや、BLE 端末、マイク等の設置位置に関する最適化により、混雑度推定精度の改善を図っていく。

## 参考文献

- 1) Honda tsushin kogyo co.,ltd. バス車載カメラシステム  
[http://www.hondatsushin.co.jp/product/prod/driv\\_bussys.html](http://www.hondatsushin.co.jp/product/prod/driv_bussys.html)
- 2) iBeacon for Developers | Apple 社  
<http://developer.apple.com/ibeacon/>
- 3) 藪 耀介, 新井イスマイル: 校舎内における BLE 電波強度による屋内測位の性能評価, AN00349328, 第 77 回全国大会講演論文集, 2015, 1, p301 - 303.(2015-03-17)
- 4) 石塚 宏紀, 上坂 大輔, 黒川 茂利, 渡邊 孝文, 村松 茂樹, 小野 智弘: BLE シグナルと PDR によるハイブリッド屋内測位手法の基礎検討~Open Beacon Field Trial 参加における実験結果の共有~, 電子情報通信学会, MoNA2014-10(2014-05)
- 5) 丹羽 佑輔, 白松 俊, 大園 忠親, 新谷 虎松: 視線方向に応じた情報通知のための Bluetooth ビーコンを利用した身体向き推定機構の実現, インタラクシオン 2015, B26, (2015/3/6)
- 6) 小林 和則, 穂刈 治英, 島田 正治: 複数マイク自由配置による複数話者位置推定, 情報通信学会論文誌, 99/2V LJ82.ANo. 2
- 7) 田中 雅史, 金田 豊, 小島 順治: 音源方向推定方の室内残響下での性能評価, 日本音響学会誌 50(7), 540-548, 1994-07-01
- 8) 永田 仁史, 安倍 正人, 城戸 健一: 多数センサによる音源波形の推定, 日本音響学会誌 47(4), 268-273, 1991-04-01
- 9) 渡部 翔, 金子 正秀: 自立移動ロボットにおける視野外の状況も考慮した衝突回避 -音情報による物陰の人物の認識-, ITE Technical Report Vol.1.35, No.8, ME2011-15(Feb.2011)
- 10) 茂出木 敏雄: 音楽透かし技術を用いたモバイル端末位置情報の検出手法, 情報処理学会研究報告,(94(2008-MBL-046))
- 11) 西村 友洋, 樋口 雄大, 山口 弘純, 東野 輝夫: スマートフォンを活用した屋内環境における混雑センシング, 情報処理学会論文誌 55(12), 2511-2523, 2014-12-15
- 12) Weka 3: Data Mining Software in Java  
<http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>