

利用者の歩行特性と乗降車順を考慮した バス内混雑状況推定手法の提案

細川 諒† 白石 陽†

公立はこだて未来大学システム情報科学部†

1 はじめに

近年、公共交通機関は人々にとって欠かせない移動手段となっている。都市部の公共交通機関は、通勤や帰宅によるラッシュ時だけでなく、日中も混雑している。都市部において同時間帯に行先が同じ路線バスが到着する場合、先発のバスは混雑するが、後発のバスは混雑しない状況が頻繁に発生する。バス利用者に接近中のバスの混雑状況を提示できれば、バス利用者は混雑状況を考慮したバスの便を選択できる。その結果として、バス利用者が複数のバスに分散し、混雑の緩和が期待できる。

混雑時のバス利用者は、乗車後、他のバス利用者を避けながらバス内を移動するため、回避動作が多くなることが考えられる。そこで、バス利用者の歩行動作に関するデータを収集し、利用することで混雑状況を推定できると考える。歩行動作に関するデータを収集するためにスマートフォンを利用して、複数のバス車両内の混雑状況を共有するために参加型センシングという方法を利用する。参加型センシングとは、計測対象に位置する多数の協力者が携帯端末に搭載されているセンサを利用して計測したデータを相互に共有する方法である。

そこで本研究では、スマートフォンを用いた参加型センシングを利用して、バス利用者の歩行動作に関するデータを収集し、収集したデータを利用して混雑状況推定を行う。また、バス利用者の様々な歩行特性や乗降車順を考慮することで、推定精度の向上を図る。

2 関連研究

関連研究として、参加型センシングを利用して公共交通機関の混雑状況を推定する研究がある[1-3]。

携帯端末に専用のセンサを取り付けて混雑状況を推定している研究がある[1]。この研究では、端末に取り付けられた感圧センサと加速度センサを利用して電車利用者の姿勢を推定することで、座席の空席状況を判断している。また、携帯端末に取り付けられたCO₂センサを利用して電車内の二酸化炭素濃度を計測することで、電車内の乗客数を推定している。しかし、この研究では専用のセンサを携帯端末に取り付けることを想定しており、多くの電車利用者は、携帯端末に専用のセンサが取り付けられていないため、多くの利用者から計測したデータを収集することが望めないと考えられる。

電車利用者のスマートフォンを利用して混雑状況を推定している研究として、Bluetooth通信を利用した研究がある[2]。この研究では、Bluetooth通信によるRSSI (Received Signal Strength Indication) の減衰に関するデータを収集し、収集したデータを利用して混

雑状況推定をしている。しかし、この研究は電車内でBluetooth通信を行っているため、バス内でBluetooth通信を行った場合に、座席の並びによってBluetooth通信が阻害され、RSSIの減衰に影響する可能性がある。また、混雑状況に応じて電車利用者が電車内に留まる位置の違いから混雑状況を推定している研究がある[3]。スマートフォンに搭載された加速度センサと角速度センサから電車利用者の歩行動作に関するデータを収集している。また、座席が空いていない場合、電車利用者は背もたれのある位置や扉付近に留まる。混雑状況に応じて、電車利用者が電車内に留まる位置の違いが生じることに着目して混雑状況を推定している。しかし、この研究は電車内に留まる位置の違いが生じることを利用しているため、バスに適用した場合に電車内にあるような背もたれのある位置が少ないため、電車内と同様の混雑状況推定をすることが難しいと考える。

3 提案手法

3.1 研究目的とアプローチ

本研究の目的は、路線バスの混雑を緩和するために、接近中のバスの混雑状況を推定することである。バス利用者は混雑時に他のバス利用者を避けるために回避動作を行う。混雑時の回避動作は、複数存在することが考えられる。また、乗降車の順番によって混雑状況推定の結果に違いが生じることが考えられる。

3.1.1 様々な歩行特性に有効な特徴量の検討

バス内の混雑時のバス利用者の回避動作は、複数存在することが考えられる。具体的には、体を横に捻る動作や肩をすぼめて移動する動作、体を横に向けながら移動する動作がある。本稿では、体を横に捻る動作と肩をすぼめて移動する動作を対象動作とする。体を横に捻る動作は、体の鉛直方向に対する角速度の変化を利用して検出する。肩をすぼめて移動する動作は、体を横に捻る動作や体を横に向けながら移動する動作と比較して、乗車してから静止するまでの移動時間がより長くなることを利用して検出する。

3.1.2 乗降車時の乗客数の変化を考慮した混雑状況推定

バス内の乗客数は、バス利用者の乗降車時にも変化するため、バス利用者の乗降車の順番によっては、混雑状況推定で得られる結果が異なる可能性がある。例えば、バス待機列の最初に乗車したバス利用者のデータに基づいた混雑状況が「中」と推定されたとする。しかし、バス待機列の最後に乗車したバス利用者のデータに基づいて混雑状況を推定した場合、それより前に待機していたバス利用者を含めた混雑状況を推定するため、混雑状況が「高」と推定される可能性がある。本研究では、乗降

A Proposal of a Method to Estimate the Crowdedness Situation in a Bus Considering User's Walking Characteristics and the Order of Getting on and off a Bus

†Ryo Hosokawa †Yoh Shirashi

†School of Systems Information Science, Future University Hakodate

車時の乗客数の変化を考慮するために、バスが到着してから発車するまでの時間を利用する。乗車時は4つのイベント（到着、乗車、静止、発車）、降車時は2つのイベント（到着、降車）とイベントの時刻を計測し、イベントの時刻の差を計算する。

3.2 提案手法の流れ

3.2.1 データ収集

スマートフォンの加速度センサと角速度センサを利用して歩行動作に関するデータを収集する。データ収集時は、スマートフォンを胸の前に水平に保持する。このとき、スマートフォンをX軸が体に対して横方向、Y軸が体に対して前方向、Z軸が体に対して鉛直方向に対応するように保持する。また、アプリケーションを利用して乗降車時のイベントに関するデータを計測する。

3.2.2 特徴量の抽出

体を横に捻る動作を検出するために、Z軸の角速度に閾値を設定し、閾値を超えた回数の特徴量として導入する。また、肩をすばめて移動する動作を検出するために、移動時間（乗車から静止まで）を特徴量として導入する。乗降車時のバス内の乗客数の変化を考慮するために、乗車時は4つのイベント、降車時は2つのイベントの時刻の差を計算し、特徴量として導入する。

また、上記のほかに、3軸の加速度と角速度の分散や乗車位置（前、後）、乗車姿勢（座位、立位）、乗降車（乗車、降車）を特徴量として導入する。

3.2.3 混雑状況推定

提案手法では、混雑状況を3種類（低、中、高）に分類する。3.2.2項で示した特徴量を説明変数、混雑状況を目的変数としてSVM (Support Vector Machine) による混雑状況推定を行う。また、構築した混雑状況推定モデルに対して5分割交差検証を行い、F値を算出する。

4 実験と考察

4.1 実験環境

実験は函館市内で実際に運行しているバスに乗車し、歩行動作に関するデータと乗降車時のイベントに関するデータを収集した。歩行動作に関するデータ収集にはスマートフォン (ZenFone 3)、乗降車時のイベントに関するデータ収集にはスマートフォン (Galaxy S9) を用いた。データ収集時は2台のスマートフォンを重ね、胸の前に水平に保持した。歩行動作に関するデータを収集するときの加速度データと角速度データは、サンプリングレート100Hzで収集した。

4.2 実験結果と考察

各混雑状況（低、中、高）に対して28個ずつデータを収集した。混雑状況が「高」の場合は、体を捻る動作と肩をすばめて移動する動作を対象動作として、各14個のデータを収集した。今回は、体を捻る動作を考慮した場合と乗降車時の乗客数の変化を考慮した場合を比較する。比較には、混雑状況推定の精度として、5分割交差検証をして算出したF値を利用する。

体を捻る動作を考慮した場合の混雑状況推定精度は、F値が0.76となった。分類結果を表1に示す。

表1 体を捻る動作を考慮した場合

		予測		
		低	中	高
正解	低	28	0	0
	中	0	18	10
	高	0	10	18

乗降車順を考慮した場合の混雑状況推定精度は、F値が0.76となった。分類結果を表2に示す。

表2 乗降車時の乗客数の変化を考慮した場合

		予測		
		低	中	高
正解	低	28	0	0
	中	2	14	12
	高	0	6	22

乗降車時の乗客数の変化を考慮した場合、混雑状況が「高」のデータが正しく分類させることが多くなった。これは、特徴量として到着から乗車までと静止から発車までの移動時間を考慮したからであると考えられる。しかし、体を捻る動作を考慮した場合と比較して、混雑状況が「中」のデータが誤分類されている。これは、特徴量として到着から乗車までと静止から発車までの移動時間を導入したが、バス待機列に並んでいる人数に差が無く、到着から乗車までと静止から発車までの移動時間に大きな変化がみられなかったからであると考えられる。

5 おわりに

本研究の目的は、路線バスの混雑を緩和するために、接近中のバスの混雑状況を推定することである。本稿では、歩行特性の違いと乗降車の順番を考慮して混雑状況を推定する手法を提案した。今回は体を横に捻る動作と肩をすばめて移動する動作の2つを対象動作として、歩行動作に関するデータと乗降車時のイベントに関するデータを収集し、収集したデータを利用して混雑状況を推定した。今後は、体を横に向けながら移動する場合に関するデータも考慮した混雑状況推定を行う。また、今回の実験は一人でバスに乗降車したときのデータを収集したが、複数人が同じバスに乗降車したときの混雑状況推定も考慮したいと考えている。

謝辞 本研究の一部はJSPS科研費JP17KT0082の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 大野航, 木實新一, “参加型センシングによる電車混雑推定方法の提案”, 地理情報システム学会第21回研究大会, pp. 1-4 (2012).
- [2] 前川勇樹, 内山彰, 山口弘純, 東野輝夫, “鉄道におけるBluetooth受信特性を用いた乗車車両および混雑の推定手法”, 情報処理学会論文誌, No. 55, Vol. 6, pp. 1614-1624 (2014).
- [3] 前田透, 内山彰, Moustafa Elhamshary, 山口弘純, 東野輝夫, “スマートフォンを用いた乗客行動に基づく電車混雑推定法の提案”, 情報処理学会, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, No. 26, pp. 194-197, (2018).