

地下鉄利用者ガイドのための 行動認識手法と車内ビーコンによる補強

杉 直之^{1,a)} 村尾 和哉^{1,b)} 望月 祐洋^{2,c)} 西尾 信彦^{1,d)}

概要: 近年、様々なセンサを搭載したスマートフォンの普及にともない、ユーザの行動や状況を認識することで、適切なタイミングで必要な情報を提示するサービスが登場してきた。主要な地下鉄構内は複雑な構造であり、乗客は車両を降りた後どのように進むべきかを把握するのが困難であるため、降りようとするタイミングに降車位置からの駅の経路案内情報を閲覧できるようなシステムが求められる。しかし、既存の地下鉄利用時の状況を認識する研究では、乗車している車両や、降車しようとするユーザの行動を認識できないため、このようなシステムを構築することはできない。本研究では、地下鉄乗車中に各駅で観測される Wi-Fi 情報を用いて停車駅を認識し、ユーザの車内でのステップから降車しようとする行動を認識することで、閲覧に適したタイミングでユーザに駅情報を提示するシステムを提案する。また、車両運行情報を BLE ビーコンとして配信する装置を車両に導入することで取得できる情報を補強し、乗車中の車両を認識することにより降車位置からの経路案内情報を閲覧できるようなシステムの提案を行う。評価実験として、車両認識の精度が安定する車内でのビーコン装置の配置方法を評価した結果、ビーコン装置を各車両の両端に1つずつ設置する場合が適していることがわかった。また、降車しようとする場合と、降車しようとしなかった場合の行動の認識率はいずれも90%以上となり、高い精度で降車行動を認識できることがわかった。

SUGI NAOYUKI^{1,a)} MURAO KAZUYA^{1,b)} MOCHIZUKI MASAHIRO^{2,c)} NISHIO NOBUHIKO^{1,d)}

1. はじめに

近年、スマートフォンなどの複数のセンサを搭載したデバイスが普及し、日常の様々な行動や周囲の状況を認識することが可能となってきた。例えば Moves[1] は、GPS や Wi-Fi などの情報を用いて推定される位置情報を元に、ユーザが滞在していた場所や詳細な移動手段を記録することができる。また、Google Now[2] は、ユーザの日々の繰り返し移動履歴から自宅や職場を自動で認識し、ユーザが帰りたいタイミングで交通情報やルート案内のような個人に特化した情報を提示することができる。このように、所持しているデバイスから得られるセンサデータから行動

や状況を認識し、その場に適した情報をユーザに提示するサービスが近年増えつつある。

地下鉄構内は立体的に通路が入り組むような構造をなしており、主要な駅の地下鉄になるほどより複雑な構造であることが多い。このような周囲の環境が複雑な構造であることや、利用者が車両を降りる位置が毎回異なる場合があることから、車両を降りた後に目的の場所に行くにはどのように歩き出せばよいのかということを、地下鉄利用者が即座に把握するのは容易ではない。スマートフォンを持ち歩くだけでユーザが次の停車駅で降りようとしていることを認識することができ、それにより適切なタイミングで駅の情報を提示することができれば、より地下鉄の利便性を向上させられると考えられる。

スマートフォンを用いた地下鉄利用時の状況認識の研究として、渡邊ら [4] は乗車中の車両が走行中であるか停車中であるかの認識をしており、日向ら [5] は停車駅の推定を行っている。また、鈴木ら [6] は降車後に過去のどの期間に乗車していたのかといったことを認識している。しかし、いずれの研究もユーザが乗車中に次の駅で降りようとして

¹ 立命館大学大学院 情報理工学研究所
Graduate School of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University

² 立命館大学 総合科学技術研究機構
Research Organization of Science and Technology, Rit-
sumeikan University

a) shishamo@ubi.cs.ritsumeikan.ac.jp

b) murao@cs.ritsumeikan.ac.jp

c) moma@ubi.cs.ritsumeikan.ac.jp

d) nishio@cs.ritsumeikan.ac.jp

いるかどうかを認識することはできず、また地下鉄では衛星電波が届かず GPS による測位ができないことから、乗車中の車両位置を認識できないため、次の駅で降りた後にどう歩き出せばよいのかといったことをユーザに知らせることはできない。

そこで、本研究で提案するシステムとして、地下鉄乗車中に各駅で観測される Wi-Fi の情報から接近している駅を認識し、車内でのユーザの降車行動をデバイスの加速度センサを用いて認識することで、車両を降りる前の適切なタイミングでユーザに駅情報を提示するシステムを提案する。

また現在本研究室では、大阪市交通局と共に新しい車両 [3] の設計に関わっており、BLE ビーコンを使って車両運行情報をスマートフォンに直接配信する車内ビーコンを車両に導入する提案を行っている。そこで、本研究では前述したシステムに加え、車内ビーコンによって補強される情報を用いて実現できるシステムについても提案する。

提案システムの評価を行い、車両認識の精度を行うことで車両の両端に 1 つずつビーコンを配置するのが適切であることがわかり、降車行動認識機構の精度評価により高い精度で降車行動を認識できることがわかった。

以降本論文では、第 2 章で地下鉄利用時の状況認識に関する研究の紹介を行い、第 3 章で本研究の目的と満たすべき要件について述べる。第 4 章では既存の地下鉄環境で実現できるシステムと、新たに車内ビーコンを導入することで実現できるシステムについて提案を行う。第 5 章では本研究で提案した車両認識の評価について述べ、第 6 章では行動認識機構の評価について述べる。第 7 章では、本論文のまとめと、今後の課題について述べる。

2. 関連研究

本章では、地下鉄利用時の状況認識に関する研究を紹介する。

2.1 停車駅を認識する研究

渡邊らは、スマートフォンに搭載された気圧センサを用いて、地下鉄移動の際の停車駅を認識する研究を行っている。地下鉄路線内は地理的な条件による高低差によって、気圧が変化する。さらに、通気口などの影響によって空気の流れが変化する地点を通過する際にも気圧が変化する。このような地下鉄路線内での地理的、構造的な気圧変化は各路線の各駅間によって固有のものであることから、あらかじめ各駅間で取得した気圧値を基にテンプレートマッチングを行うことで、類似度の高いものを推定結果としている。

これに対し日向らは、車内気圧の分散の差によって走行中と停車中を判別し、停車駅の推定駅の標高差による駅間での気圧差を用いることで停車駅を推定している。

しかし、これらの研究では、走行する区間によって推定

精度に差があり認識に失敗する場合があることや、ユーザがどの車両に乗車しているのかといったことまでは認識できない。

2.2 地下鉄に乗車している期間を抽出する研究

スマートフォンを持ち歩くだけでユーザの滞在した場所や移動手段を自動で判別し、日々の行動を記録する Moves などのアプリケーションが登場している。Moves は徒歩やランニング、サイクリング、交通機関などの移動手段を判別することができるが、バスや電車等の交通手段を区別することはできない。

鈴木らは、移動中のライフログからより細かい交通手段の判別を行った。鈴木らの手法では、まず滞在した場所間での移動を徒歩による徒歩区間と乗り物を使った乗り物区間に分類し、乗り物区間で利用した乗り物種別の判別を行っている。地下鉄路線を走行中は車内気圧が大きく変動することから、スマートフォンの気圧センサを用いることで利用した乗り物が地下鉄車両であるかどうかを判別している。また、降車後のリズムカルな歩行を検知し、それより前の期間を乗車していた期間として抽出する。しかし、この研究では乗車していた期間を降車した後にしか知ることができず、これから降車しようとするユーザの行動は認識できない。

3. 目的と要件

本章では、本研究の目的とそれを満たすための要件について述べる。

3.1 研究目的

本研究では、スマートフォンを持ち歩くことで地下鉄車両でのユーザの降車行動や次の停車駅を認識し、降車しようとしている駅の情報を適切に提示する駅情報案内システムの提案を行う。また、現在我々の研究室では、大阪市交通局に対し地下鉄の利便性を向上させるシステムの提案を行っており、車内ビーコンを用いて車両運行情報を乗客のスマートフォンに配信するシステムの提案を行っている。車両から配信される車両運行情報をスマートフォンで受信することで、乗車中の車両や路線上の位置情報を扱うことができるようになる。

そこで、提案する駅情報案内システムのうち、まず初めに現状の地下鉄車両で実現できるシステムについて述べ、その後、車両運行情報をビーコンとして受信することで補強される情報を用いて実現できるシステムについて述べる。

3.2 要件

本節では、本研究のシステムを実現するために満たすべき要件について定義する。

ユーザが本システムを利用する際に、降車する駅名を事

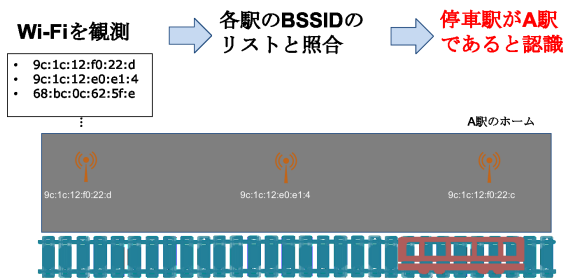


図 1 Wi-Fi の BSSID による駅の認識

前に手動で入力しておくのは手間である。駅の情報はユーザの降車行動が認識されたときに通知されるか、あるいは常にスマートフォンの通知バーなどで閲覧できるようにする。

また、ユーザが歩行している間に情報の提示が行われてしまった場合、情報を閲覧しにくい状況であることや、歩きスマホの誘発に繋がってしまう可能性があるため適切ではない。そのため、ユーザが立ち止まったときなど、システムが安全に閲覧できると判断したタイミングで情報の提示を行う。

4. 提案手法

本章では、駅情報案内システムのうち、まず現状の地下鉄環境で実現可能なシステムを構築する手法について述べ、その後、車両案内情報を配信する車内ビーコンを導入した場合に実現可能なシステムを構築する手法について述べる。

4.1 現状の地下鉄車両で実現できる駅情報案内システム

本節では、現状の地下鉄車両で実現できる駅情報案内システムを構築する手法について述べる。本手法で構築するシステムとしては、ユーザの降車行動を認識したあと、閲覧に適したタイミングで次の停車駅の情報を通知するシステムを実現する。

4.1.1 停車駅の認識

乗車中の車両の次の停車駅の認識を行う。近年、多くの地下鉄ホームにおいて、公衆無線LAN基地局が設置されるようになった。基地局から発せられるWi-Fiに含まれる情報には、BSSIDと呼ばれる機器ごとの識別IDが含まれているため、図1のように事前に各駅ごとで作成したWi-FiのBSSIDのリストと、観測されるWi-FiのBSSIDを照合することで、停車駅を認識する。

4.1.2 降車行動の認識

ユーザの車両を降りようとする行動を認識する。地下鉄に何度も乗車し、利用者の動きを調査した結果、次の停車駅で降りる乗客の多くは車両が完全に停車するまでの間に扉の前まで近寄ろうとする行動をとることがわかった。このような行動には必ず歩行を伴うため、スマートフォンに搭載されている加速度センサを用いると歩行を検知するこ

とができる。

しかし、加速度センサによる歩行の検知は、通常環境に揺れが伴わない場合には高い精度で用いることができるが、地下鉄に乗車中は車両の振動によって誤検知が頻発する可能性がある。そこで、事前調査として大阪市営地下鉄御堂筋線の各駅間を座って静止した状態で複数回乗車し、区間内のどのタイミングに誤検知が最も起こりやすいのかを調べた。調査の結果、図2のように、走行し始めと、主に区間の中盤を走行中に誤検知が起きていることがわかった。駅間の中盤を走行中に誤検知が多く観測されたのは、加速や減速が繰り返り起こるため車両の揺れが大きく、歩行による振動と似た振動が検出されるためだと考えられる。一方、車両の停車地点付近を走行中は減速し続けるため車両の揺れが少なく、誤検知がほとんど起こらなかった。

車両の停車地点付近では、スマートフォンで駅のWi-Fiを観測することができる。そこで、駅のWi-Fiを観測し始めた後に、ステップ検知を開始することで、車両の振動による影響を無視したステップ検知を行うことができる。車内のステップ検知が行われている間に、何歩かのステップが観測された場合に降車行動認識が行われたとし、その後ある一定時間の歩行の停止状態が観測された場合にスマートフォンへ車両情報の通知を行う。

4.1.3 降車行動が検知されない場合の対応

前述した降車行動認識アルゴリズムを用いても、降車行動を認識できない場合は存在する。例えば、事前に扉の近くに立っていて、目的の駅について際に目の前の扉を出る場合には降車しようとするための歩行は行われぬ。また、駅のWi-Fiが観測されるよりも前に扉の前に動き始めたユーザの動きに対しては、歩行検知を行う対象とならないため認識することはできない。

しかし、近年地下鉄の利用者は乗車中にスマートフォンを操作している場合が多く、また次の駅で降車するとわかっていて駅の情報を知りたいユーザは自らスマートフォンで調べる行動を取る可能性が高い。そこで、スマートフォンの通知バーに常に次の駅の情報随時更新しながら表示しておくことで、認識できない場合への対応を行う。

4.2 車両運行情報によって補強された情報を用いて実現できるシステム

本節では、現状の地下鉄環境から得られる情報に加え、ビーコンからの車両運行情報を補強することで実現できる駅情報案内システムを提案する。本手法で構築するシステムとしては、降車行動認識が行われた際に、降りた車両位置からの経路案内情報を提示するシステムを提案する。

4.2.1 車両運行情報配信システム

現状の地下鉄車両では、車内案内表示器などを用いて車内アナウンスが行われている。車内案内表示器から伝えられる情報には、図3で見られるように、現在乗車中の車両

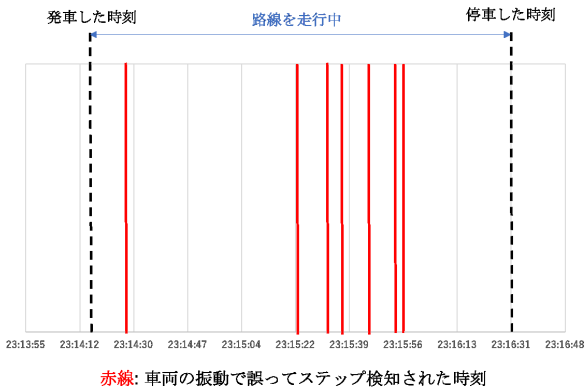


図 2 路線を走行中に列車の振動に誤って検知されるステップ

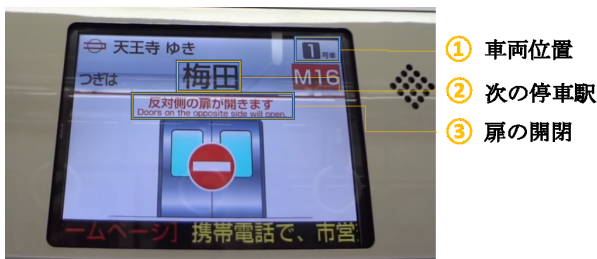


図 3 車内案内表示器を使った車内アナウンス

や次の停車駅、扉の開閉案内などがある。これらの情報は主に車内での以下の情報を元に出力されている。

- 車両番号
 - 車両ごとに割り振られている静的な情報。
- マイレージ
 - 車輪に取り付けたエンコーダから回転数を計測し、路線上の起点からの位置を示した動的な情報。
- 扉の開閉情報
 - ドア制御装置から送られるドアの開け閉めをするための動的な情報。

これらの情報は、車内案内表示器に直接送信されているため、個人のスマートフォンで受信するようなことはできなかった。

しかし、現在我々の研究室では地下鉄御堂筋線の利便性を向上するために、大阪市交通局に対しこれらの情報を無線によって配信するデバイスを提案しており、今後導入された場合には車内での個人のスマートフォンで車両運行情報を受信できるようになる。現在提案している配信システムは、図 6 のような設計で、車内案内表示器に送信されている信号情報を別の組み込みデバイスに送信し、BLE ビーコンに載せて配信を行う。近年のほとんどのスマートフォンは Bluetooth のパケットを受信することができるため、ペイロード部分の情報を読み取ることで情報の取得を可能とする。

配信する BLE ビーコンの規格は、Google 社の Eddystone[7] を採用する。近年最も普及しているビーコン規格は Apple 社の iBeacon[8] であるが、iBeacon を独自のデバイ

Frame Type	TxPower	Namespace ID	Instance ID	RFU
1B	1B	10B	6B	2B

※ Frame Type : 使用するビーコンフレームの種類
TxPower : ビーコンの電波強度
NameSpace ID : ショッピングモールなどの大規模な単位で割り当てるID
Instance ID : 店舗などの小規模な単位で割り当てるID
RFU : 予備の領域

図 4 通常の Eddystone の UID フレーム

Frame Type	TxPower	車両番号	ドアの開閉	マイレージ	RFU	RFU
1B	1B	10B	1B	4B	1B	2B

図 5 車両情報を載せた Eddystone の UID フレーム

スで利用する場合には Apple の認証 [9] を受けなければならず、高い利用料と使用に関しての制約が求められる。一方、Eddystone はオープンな規格で誰でも自由な用途で利用することができ、パケットにどんな情報を載せても構わない。これらの理由からビーコン規格には Eddystone を採用する。

現在 Eddystone は、3 種類のフレーム (UID Frame, URL Frame, TLM Frame) を切り替えて任意の情報をビーコンに載せて配信することができる。そのうち UID Frame は図 4 のような構成となっており、通常ではペイロード部分の Namespace ID と Instance ID に任意の値を載せることで、ビーコンを発信している機器の位置を発信する用途で使われる。そこで今回、図 5 のように、UID フレームを通常の位置の配信という用途だけでなく、車両の走行距離に応じて動的に変化するマイレージや、扉の開閉情報を載せて配信し、リアルタイムに変化する車両運行情報を送信パケット単位で切り替えながら配信する。

このような構成のビーコンを配信できるデバイスを、各車両の車内案内表示器の中に埋め込み、車両の走行に合わせて情報を動的に変化させながら配信する。

4.2.2 車内ビーコンによって補強された情報を用いたシステム

降車後の経路案内情報を提示するためには、現在どの車両に乗車しているのかといった情報が必要である。これまでの地下鉄では GPS が利用できないことから、乗車している車両の位置までは認識することができなかった。そこで、今回新たに導入する車内ビーコンに含まれる車両番号情報を用いることで、現在どの車両に乗車しているのか認識する。

このようにして車両情報が得られることにより、降車行動認識が行われた場合に、乗車していた車両位置からの構内の各場所への経路案内図をスマートフォンに通知することで、降車後の経路案内情報を降りる前に知ることができるようになる。また、車内ビーコンから得られる車両運行情報に含まれるマイレージ情報を用いることで、降車行動認識を行う際の歩行の誤検知を削減する。前述したよう

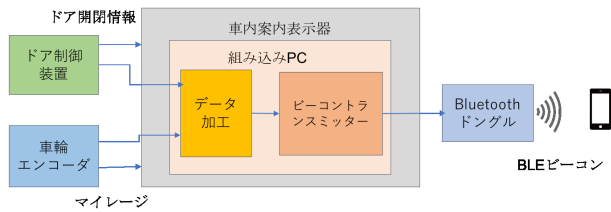


図 6 車両運行情報配信システム

に、車両が停車地点に近づいた際には駅の Wi-Fi が観測される。しかし、駅の Wi-Fi が検出されて歩行検知を開始するタイミングと、車両の振動による誤検知が起きなくなるタイミングと同じではない。そのため、歩行検知が始まるタイミングが遅すぎてそれ以前の行動を認識できない場合や、誤検知が起こる区間であるにもかかわらず検知を開始してしまう可能性はある。そこで、マイレージの値から、路線で誤検知が起こりにくくなる地点を過ぎたことを検知し、より適切なタイミングで歩行検知を開始するアルゴリズムを採用する。

5. 車両認識の精度評価

2種類の配置方法で BLE ビーコンを発信し、本研究で提案した車両認識の精度を評価した。

5.1 評価方法

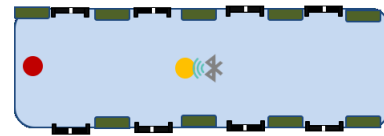
大阪市営地下鉄御堂筋線の各車両において、図 7 のように車両の中央に 1 つの場合と、車両の両端に 1 つずつ向かい合うように持った場合の 2 種類の配置で、手に持った Raspberry Pi から一定時間発信 BLE ビーコンを発信させた。観測者は車両の中央と端でスマートフォンを手前に持ち、それぞれの地点で体の向きによる電波減衰を考慮するため、図の左、上、右方向を向いて 10 秒間静止しながら BLE ビーコンの観測を行った。

ビーコン装置を車両の中央に 1 つ設置した場合と、両端に 1 つずつ向かい合うように設置した場合において、隣の車両からのビーコンとの RSSI の差がどれだけあるのかをそれぞれ比較し、どちらの配置方法でビーコンを発信すれば車両認識を高い精度で保てるかを評価する。比較する値として、10 秒間の平均の RSSI の 5 回分の実験結果の平均を平均した値を用いた。

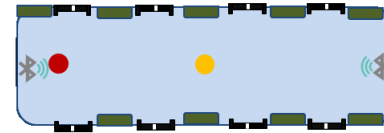
5.2 評価結果と考察

ビーコン装置を中央に設置した場合と両端に設置した場合の結果はそれぞれ、表 1、表 2 のようになった。ビーコン装置を車両の中央に設置した場合は、中央で観測した場合に RSSI の差が 15 以上と大きくなり、明確に車両を区別することができたが、車両の端で観測した場合には体の向きによって RSSI の差が急激に小さくなる場合があり、認識精度が下がることがわかった。

ビーコン装置が中央に1つの場合



ビーコン装置が両端に1つずつの場合



● :観測地点1 ● :観測地点2 ⇄:ビーコン装置

図 7 ビーコン装置の設置位置と観測地点

表 1 ビーコン装置を中央に設置した場合

観測地点	左向き (dBm)	上向き (dBm)	右向き (dBm)
端で観測	6.33	15.07	14.29
中央で観測	17.41	18.55	26.84

表 2 ビーコン装置を両端に設置した場合

観測地点	左向き (dBm)	上向き (dBm)	右向き (dBm)
端で観測	20.70	16.90	18.34
中央で観測	24.57	15.26	24.57

一方、ビーコン装置を車両の両端に設置した場合は、すべての場合において RSSI の差が十分に大きくなり、車両のどこにいても認識精度が高くなることがわかった。

6. 行動認識機構の精度評価

Wi-Fi が観測され始めるタイミングと、BLE ビーコンを用いて車両が減速されはじめて駅のホームが見え始めるタイミングの 2 種類のタイミングでステップ検知を開始し、本研究で提案した降車行動認識の評価を行った。

6.1 評価方法

被験者 3 名に対し大阪市営地下鉄御堂筋線の 20 駅中 10 駅で降りようとする行動を行ってもらい、残りの 10 駅では降りようとしないうる行動を行ってもらった。被験者には、Wi-Fi が観測され始めてからステップ検知を開始する場合と、駅のホームが見え始めたタイミングで評価者が発信したビーコンを受信してからステップ検知を開始する場合の 2 種類のアプリを使用してもらい、降りようとした場合と降りようとしなかった場合にバイブレーションにより通知される質問にタップしてもらい、それぞれの場合で正しく認識されたかを記録してもらった。また、被験者には普段通りのタイミングや動作で降りようとする行動を行っても

表 3 降りようとした認識の成功回数 (Wi-Fi)

被験者	降りようとした認識	降りようとしなかった認識
被験者 1	10 駅	8 駅
被験者 2	10 駅	10 駅
被験者 3	8 駅	10 駅

表 4 降りようとした認識の成功回数 (BLE)

被験者	降りようとした認識	降りようとしなかった認識
被験者 1	8 駅	10 駅
被験者 2	10 駅	10 駅
被験者 3	10 駅	10 駅

らった。

6.2 評価結果と考察

駅の Wi-Fi が観測され始めてからステップ検知を開始した場合に、降りようとした行動と降りようとしなかった行動のそれぞれの認識が正しく行われた回数は表 3 のようになり、降りようとした場合の認識率は 93.3%、降りようとしなかった場合の認識率は 93.3% となった。

車両が減速し始めて駅のホームが見え始めたタイミングからステップ検知を開始した場合に、降りようとした行動と降りようとしなかった行動のそれぞれの認識が正しく行われた回数は表 4 のようになり、降りようとした場合の認識率は 93.3%、降りようとしなかった場合の認識率は 100% となった。

考察として、降りようとした場合の認識が失敗した原因としては、ステップ検知を開始するよりも前にユーザが降車行動をし始めたため、検知されなかったことが考えられる。降りようとしなかった場合の認識が失敗した原因としては、混雑しているユーザの歩行動作とは別の動きをステップと検知されてしまったことが考えられる。

7. おわりに

7.1 まとめ

本研究では、地下鉄乗車中のユーザに対して、スマートフォンを用いて適切なタイミングで駅の情報を提示する駅情報案内システムを提案した。既存の地下鉄利用時の状況認識の研究には、停車駅の認識や車両に乗車していた期間を抽出する研究などがあるが、走行する区間によって停車駅の推定精度に差があることや、乗車している車両の位置、これから降車しようとする行動の認識ができなかった。そのため、乗車中のユーザに対して適切なタイミングでこれから降りようとする駅の情報を提示するようなサービスを提案することができなかった。そこで、本提案手法では車両運行情報を BLE ビーコンとしてスマートフォンに配信する装置を車内に導入することで、車両や走行中の路線上の位置の認識を行い、降車時のユーザのステップを加速度センサをもちいて認識することで、適切なタイミングで降

車位置からの経路案内情報を提示するシステムの構築を行った。また、BLE ビーコンを導入しない場合のシステムも提案することで、BLE ビーコンを導入した場合の有用性を示した。評価として、車両認識の精度が安定する BLE ビーコン装置の設置方法を評価した結果、車両の両端から向かい合わせで配置する方法が最も安定することがわかった。また、降車行動認識の精度は、降りようとする場合と降りようとしなかった場合のいずれにおいても 90% 以上の高い認識率となり、多くの場合において降車しようとするユーザに駅情報を提示できることがわかった。

7.2 今後の課題

7.2.1 より厳密な降車行動認識

今回ユーザの降車行動を認識するためのアルゴリズムとして、何歩かのステップを検知する方法を用いた。しかし、歩行以外のユーザの別の動きでもステップと検知されることもあり、認識に失敗する場合が存在する。今後はユーザが降車を行う際の歩行動作を機械学習することで、より厳密な降車行動認識を行う。

7.2.2 地下鉄構内での屋内測位への利用

今回提案システムによって、ユーザが地下鉄車両から降車する位置を認識することができた。降車した位置情報は、地下鉄構内で屋内測位を行う際の初期位置として利用することができるため、地下鉄を降りたてからスムーズに測位を開始できることが考えられる。

参考文献

- [1] Moves. <https://moves-app.com/>.
- [2] The google app - download the app for android and iphone. <https://www.google.com/search/about/>.
- [3] 御堂筋線に更なる快適性向上をめざした 30000 系車両を導入します. http://www.kotsu.city.osaka.lg.jp/general/announce/w_new_info/w_new/list_h27_all/20151214_R1_30000kei.html.
- [4] Takafumi Watanabe Daisuke Kamisaka, Shigeki Muramatsu, and Hiroyuki Yokoyama. At which station am i?: Identifying subway stations using only a pressure sensor. *2012 16th Annual International Symposium on Wearable Computers (ISWC)*, Vol. 00, No. undefined, pp. 110–111, 2012.
- [5] Satoshi Hyuga, Masaki Ito, Masayuki Iwai, and Kaoru Sezaki. Estimate a user's location using smartphone's barometer on a subway. In *Proceedings of the 5th International Workshop on Mobile Entity Localization and Tracking in GPS-less Environments*, MELT '15, pp. 2:1–2:4, New York, NY, USA, 2015. ACM. <http://doi.acm.org/10.1145/2830571.2830576>.
- [6] 鈴木和希, 坂本大輔, 安積卓也, 望月祐洋, 西尾信彦. 移動支援システムのための移動特性抽出の自動化. マルチメディア、分散協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集, Vol. 2014, pp. 386–393, jul 2014. <http://ci.nii.ac.jp/naid/170000086020/>.
- [7] google/eddystone/ specification for eddystone, an open beacon format from google. <https://github.com/google/eddystone/>.

- [8] ibeacon for developers - apple developer. [https://
developer.apple.com/ibeacon/](https://developer.apple.com/ibeacon/).
- [9] Mfi program - apple developer. [https://developer.
apple.com/programs/mfi/](https://developer.apple.com/programs/mfi/).