

センサネットワークを用いたバスロケーションシステム における電波強度に基づくバス走行区間推定手法の提案

足達 元¹ 鈴木 秀和¹ 北瀬 和之² 大森 昭嗣² 旭 健作¹ 松本 幸正¹ 渡邊 晃¹

概要： 地方自治体が運営するコミュニティバスでは、低コストなバスロケーションシステムが求められている。筆者らは通信コストが不要な無線センサネットワークを利用したバスロケーションシステムを提案してきた。本稿では GPS 機能を用いることなく、無線センサネットワークの電波強度に基づいてバスの走行区間を推定する手法を提案する。走行中のバスは、街中に設置した無線センサノードが定期的に発信するビーコンの受信信号強度から最近傍ノードを特定し、事前に定義した走行ルートとセンサノードの対応関係から、走行区間を推定する。これにより、バス車載器のコストカットが可能になる。大学敷地内で簡易的な走行実験を行った結果、提案手法によりバスロケーションシステムに要求される走行区間推定精度が得られることが確認できた。

1. はじめに

近年、モータリゼーションの進展などにより、路線バス等の公共交通利用者が減少傾向にある。その影響により、路線バスは地方都市において不採算路線の縮小や廃止が進められている。しかし、路線バスは高齢者や学生といった運転免許を持たない人々の重要な移動手段である。そこでコミュニティバスを運営する地方自治体が増加している。コミュニティバスは、運行本数が少なく交通渋滞等の交通状況などにより遅延している際、利用者はバスが通過してしまったのかどうか把握できない [1]。現在普及している多くのバスロケーションシステムはバスの位置情報の収集や運行情報の配信に携帯電話網を使用している [2][3]。携帯電話網を用いたシステムはバスに GPS を搭載した車載器を設置し、収集した GPS によるバスの位置情報を各バス停や携帯端末を用いて情報提供する。したがって、低導入コストで広範囲にわたりサービス展開が可能であるが、携帯電話網を使用していることから、通信コストが発生する。したがって、財政状況が厳しい地方自治体では、運用コストが負担となり、バスロケーションシステムの運用を停止する事例もある [4]。

そこで筆者らは、通信コスト不要な無線センサネットワークを用いたバスロケーションシステムを提案してい

る [5][6]。このシステムでは、バス運行管理施設、バス、バス停、バス路線沿いの電柱や街路灯に小型の無線センサノードを設置し、広域の無線センサネットワークを構築する。構築した無線センサネットワークを利用して、サーバへのバスの現在位置の送信や、バス停への運行情報の配信を行うため、通信コストは発生せず、低運用コストでバスロケーションシステムの継続運用が可能となる。これまでに、愛知県日進市が運営するコミュニティバス「くるりんばす」 [7] の一部区間を対象に実証実験を 1 年以上実施しており、実運用が可能であることを確認してきた。

一方、筆者らが別プロジェクトにおいて、サーバに集約したバス位置情報を Google Maps 上で確認したり、スマートフォンや携帯電話などで瞬時にバスの位置を確認できる簡易マップを提供するシステムを構築している [8]。バス利用者に公開して双方の利用実態を調査した結果、簡易マップを用いたバスの位置情報提供の方が需要が大きいことが明らかとなった [9]。

また、地方自治体が運営するコミュニティバスは、バス事業者が路線廃止した不採算地域を運行している場合も多く、赤字補填には税金が投入されている。そのため、少しでもコストを抑えたいという要求もある。以上のことから、コミュニティバスにおけるバスロケーションシステムでは GPS を利用する必要はなく、GPS を利用しなければ、バスの GPS アンテナ取り付け工事が不要になり、車載器コストおよび作業コストを削減することができる。

そこで本稿では、街中に設置した無線センサノードが定期的に発するビーコンを走行中のバスが受信した際の電波

¹ 名城大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Meijo University, Nagoya, Aichi 468-8502, Japan

² 株式会社メイエレクト
MeiElec Co.,Ltd. Nagoya, Aichi 456-0031, Japan

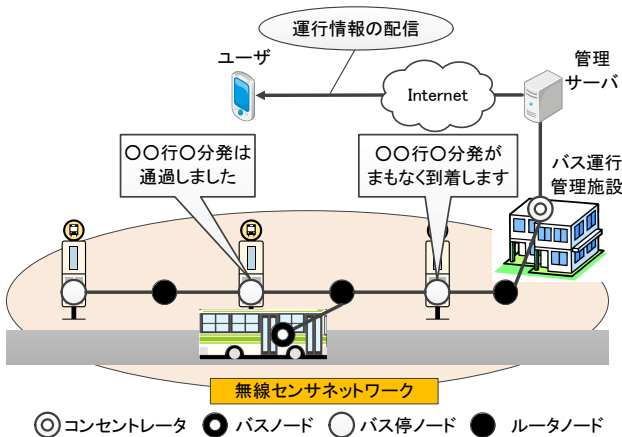


図 1 無線センサネットワークを用いたバスロケーションシステムの概要

Fig. 1 Overview of bus location system using wireless sensor network.

強度から、バスの走行位置を推定する手法を提案する。バスの走行ルート上にどのように無線センサノードが配置され、バスが走行中にどのような順番で認識できるのか既知であり、この対応関係を走行区間リストとして定義する。走行中のバスは受信したビーコンの電波強度から最近傍の無線センサノードを特定し、過去の推定結果と走行区間リストと照らし合わせることで、現在の走行区間を推定することができる。大学敷地内で簡易的な検証実験を行った結果、GPS を利用しなくても簡易マップなどで求められるバス走行位置の精度を満たす推定結果を得られることを確認した。

以後、2章で無線センサネットワークを用いたバスロケーションシステムの概要について示す。3章で提案手法について示す。4章で提案手法を用いた学内の簡易実験による結果と評価を示し、5章でまとめる。

2. 無線センサネットワークを用いたバスロケーションシステム

2.1 システム概要

筆者らは通信コストをかけず、低コストで運用可能な無線センサネットワークを用いたバスロケーションシステムを提案している [5][6]。図 1 にシステムの概要を示す。このシステムは、バス運行管理施設、バス、バス停、バス路線沿いの電柱や街路灯に IEEE802.15.4[10] 準拠の小型無線センサノードを設置し、マルチホップ通信可能な広域無線センサネットワークを構築する。これらのセンサノードをそれぞれコンセントレータ、バスノード、バス停ノード、ルータノードと呼称する。バスノードは定期的に GPS により自車の位置を測位し、測位結果を記載した位置情報フレームをコンセントレータへ送信する。ルータノードはバスノードが送信する位置情報フレームやコンセントレータが送信する運行情報フレームを受信し、通信の中継を行う。

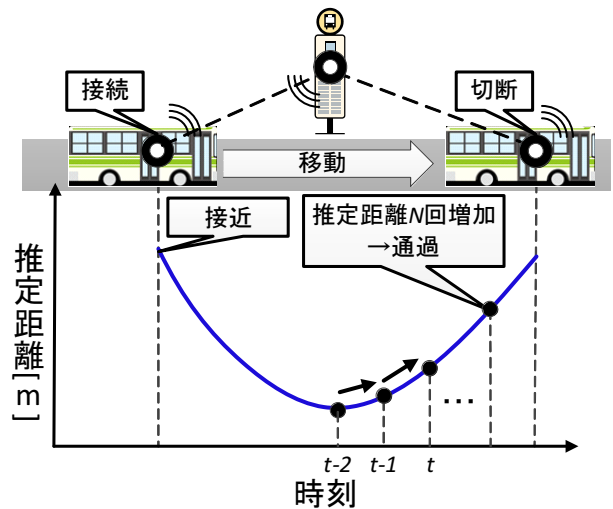


図 2 バスの接近通過判定の原理

Fig. 2 A principle of the judgment in the approaching and passing bus.

コンセントレータは収集した位置情報をシリアル接続された管理サーバに蓄積する。管理サーバは蓄積したバスの位置情報から運行情報を生成し、無線センサネットワークを経て各バス停、インターネットを通じて携帯端末などに運行情報の配信を行う。バス停ノードはルータノード同様、通信の中継を行うほか、コンセントレータから送信される運行情報を受信し、バス停に設置したディスプレイに表示する。また、コンセントレータから配信する情報は運行情報だけでなく、地域行事の情報やバス停周辺の案内情報などの配信も行う。バスの位置情報の収集、運行情報の配信に無線センサネットワークを用いることから、通信コストが発生せず、低コストでシステムの運用が可能となる。

街中に構築したセンサネットワークはバスロケーションシステムだけでなく、バス停のディスプレイを用いて災害時における緊急情報の提供や、小型のセンサノードを用いて高齢者や子供に見守りに活用することを検討している。

2.2 バスの接近通過情報の提供

バス停は管理サーバから送信された運行情報を受信することにより、情報提供することが可能である。しかし、無線通信区間におけるフレーム欠損や経路上のノードの故障などにより、情報提供不可となる可能性がある。そこで筆者らは、事前にバス停周辺における電波の距離減衰モデルを利用して、バス停が自立的にバスの接近および通過を判定する手法を検討している [11]。

図 2 にバスの接近通過の判定原理を示す。バス停ノードはバスノードが定期的に送信する位置情報フレームを初めて受信した時点、バスの接近と判断する。接近判定後、バス停ノードは事前に作成したバス停ノード周辺における電波伝搬環境を考慮した距離減衰モデルを使用し、その後も受信する位置情報フレームの電波強度（以後 RSSI :

Received Signal Strength Indicator) からバスノードとの距離を推定する。バスがバス停に徐々に接近すると RSSI が増加し、推定距離が減少する。一方、バスがバス停を通過すると RSSI が減少し、推定距離は増加する。したがって、バス・バス停間の推定距離が最小値付近から徐々に増加する場合を通過と判断する。この通過判定方法では、推定距離が閾値以下になった場合、通過判定処理を開始し、時刻 t における推定距離 d_t と時刻 $t-1$ における推定距離 d_{t-1} を比較する。この比較を繰り返し、 d_t が d_{t-1} より大きい場合を N 回連続で繰り返した場合に、バスが通過したと判断する。この手法により、各バス停が自立的に接近通過をリアルタイムに判断し、接近通過情報の提供が可能となる。

これまでの研究成果により、RSSI は周辺の環境に応じて大きく変動するが、送受信間距離が短い場合の変動幅は小さく、屋外においても比較的安定した RSSI 値を取得できることを確認している。

3. 提案手法

これまで検討してきた電波強度に基づくバスの接近通過判定手法の考え方に基づいて、ルータノードが全てバス停ノードと考えれば、バスの走行位置を連続的に捉えることが可能である。そこで、本章では GPS 測位をすることなく、電波強度に基づいてバスの走行区間を推定する手法について提案する。

3.1 要求される位置情報精度

無線センサネットワークを用いたバスロケーションシステムは、コミュニティバスを対象としている。コミュニティバスはバス停間の距離が短く、複雑なバス路線を走行する場合は考えられるが、バス停におけるバスの位置情報の提供は図 3 のように、バスが走行中の区間を表示する形式を想定している。図 3 のようなバスの位置情報提供の場合、GPS のように特定の地点を示す位置情報ではなく、バスの走行区間を把握できる程度の位置情報の精度でよい。

3.2 GPS 測位を行わないことに伴う仕様変更

GPS 測位を行わない場合、バスノードが位置情報フレームに代わるフレームを送信することで、2.2 節の手法により、ルータノードがバス停ノード同様に接近通過を判定し、走行区間を把握することが考えられる。しかし、周辺にバス停ノードやルータノードが複数存在する場合、経路上の各ノードが独立してバスの接近や通過を判断してしまい、正しい走行区間を特定できない可能性がある。

そこで、バス停ノードやルータノードが定期的にビーコンを送信し、走行中のバスがビーコンを受信するよう、送受信の関係を逆転させる。バスノードがビーコン受信時の RSSI 値から最近傍のルータノードを把握し、バスの走行

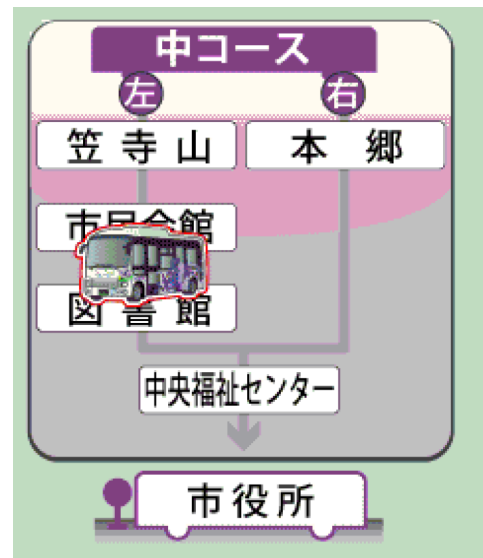


図 3 バス停におけるバスの走行位置表示例

Fig. 3 Display example of bus traveling position on a bus stop.

区間を推定する。推定した走行区間を GPS 測位情報の代わりに位置情報フレームに記載して、コンセントレータおよび近隣のバス停ノードへ送信する。走行区間を推定する場合、バスノードと経路上の各ノード間の距離情報は不要である。またバスノードは常に移動しているため、電波の受信環境が時々刻々と変化し、距離減衰モデルを事前生成することは極めて困難である。そのため、閾値以上の強さの電波を受信したという事象により、最近傍ルータノードを判定する仕様に変更する。

また、バス停側でバスの接近通過を判定できなくなるため、バスノード側はバス停ノードのビーコンを受信した場合、応答を返すことにより、バス停がバスの接近を検知するよう変更する。その後、バスノードからの応答がなくなった時点で一定時間通過情報の表示を行う。

3.3 走行区間の定義

無線センサネットワークを用いたバスロケーションシステムは、センサノードを運行経路付近に沿って設置することを想定している。したがって、バスの運行経路付近に設置された各ノードからバスの走行道路に直交する垂線を下ろし、その交点間を走行区間と定義する。なお、経路上のノードの設置間隔が狭く、短い走行区間が連続する場合はそれらの区間をまとめて 1 つの区間と定義する。

3.4 走行区間の推定手順

図 4 に提案手法の概要を示し、以下にバスが走行区間を推定する手順について述べる。

- (1) ルータノードとバス停ノードは自身の ID 情報を付加したビーコンを定期的送信する。
- (2) バスノードはビーコン受信時に RSSI を測定し、RSSI

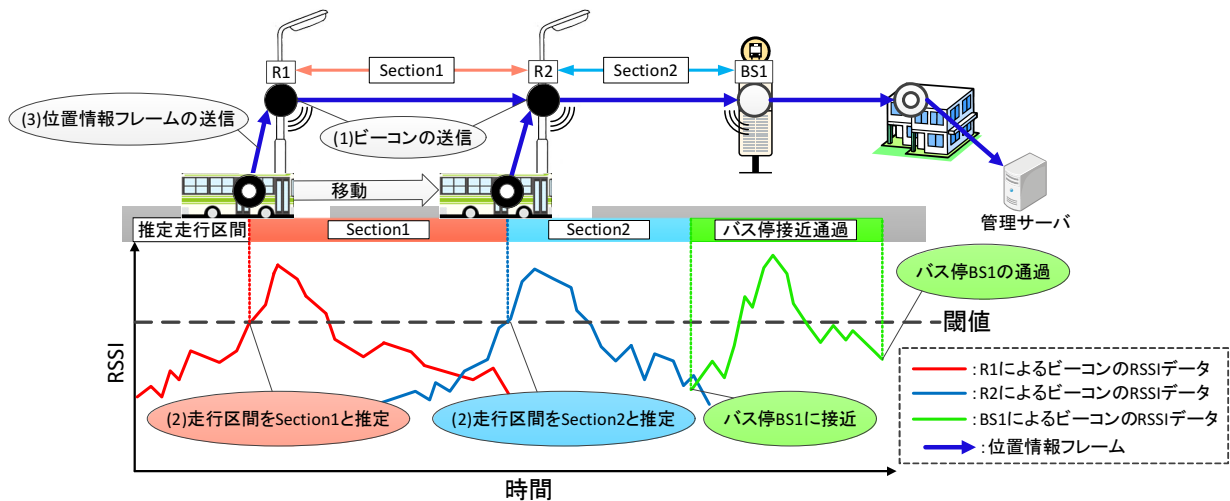


図 4 提案手法の概要

Fig. 4 Overview of the proposed method.

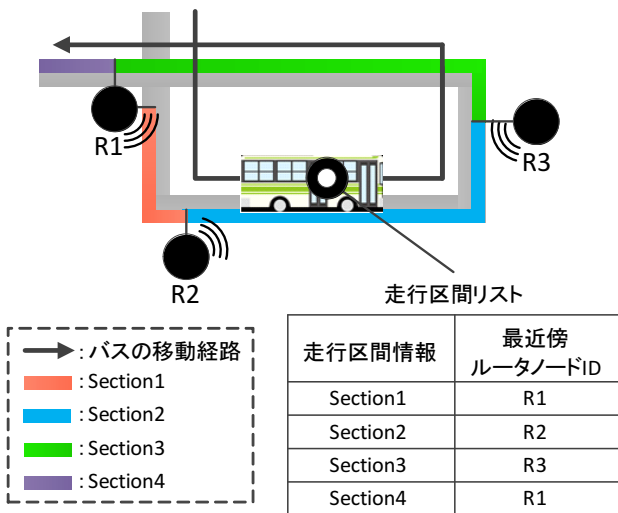


図 5 バスの移動経路と走行区間リストの関係

Fig. 5 Example of relationship between moving path of the bus and section list.

値が設定した閾値を超えた場合、ビーコンに記載されているルータノードの ID 情報から最近傍ルータノードを判定する。なお、閾値を超える RSSI データを複数観測できた場合は、RSSI 値が最大のビーコンに記載された ID 情報を持つルータノードを最近傍ルータノードと判定する。

- (3) 判定した最近傍ルータノードから走行区間を推定し、走行区間と時刻情報を含む位置情報フレームをコンセンタレータ、近隣のバス停へ送信する。

以上の手順により、バスの走行区間を推定することが可能となる。また、バス停における接近通過は 3.2 節に示したように、バスノードがバス停ノードのビーコンを受信した場合の応答を用いて接近、通過を判断する。

3.5 走行区間の判別方法

コミュニティバスは、複雑なルートを走行するケースも多々ある。そのため、一度最近傍ルータノードと判定したルータノードを再び最近傍ルータノードと判定する可能性がある。バスの周辺に存在する複数のルータノードが発信するビーコンの RSSI が低い値で拮抗するような場合、実際には最近傍ではないのにも関わらず、最近傍と判定されてしまうことが考えられる。ただし、バスの運行経路とルータノードの配置は事前に既知であり、バスが通過する最寄りのルータノードの順番は予め把握することが可能である。そこで、図 5 のように運行コース毎に走行区間とその最近傍ルータノード ID を関連付けた走行区間リストを新たに定義し、バスノードが保持する。バスノードは最近傍ルータノードの ID 情報と保持する走行区間リストを用いて、バスが現在走行中の区間を推定する。この時、過去のバスの走行区間推定結果を考慮して、一度判定済みの走行区間は除外して推定を行う。これにより、複雑なバス路線であっても、バスの走行区間をより正確に推定することが可能となる。

4. 検証実験

提案手法の実現可能性を検証するため、簡易的な走行区間判定の実験を行った。以下に実験方法とその結果について報告する。

4.1 実験方法

名城大学天白キャンパス内において、図 6 に示す約 1km のコースに 9 台のルータノードを 50~100m 間隔で配置した。センサノードには東京コスモス電機株式会社の TWE-001 STRONG*1 を採用し、これを格納した防塵防水ボツ

*1 <http://tocos-wireless.com/jp/>

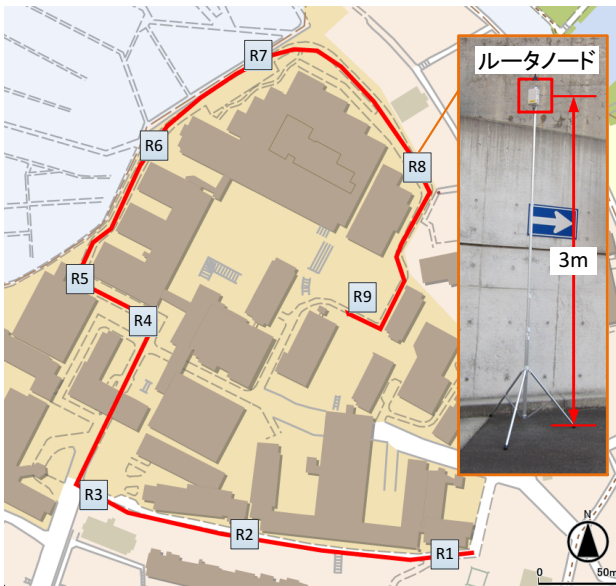


図 6 走行コース
Fig. 6 Travel course.

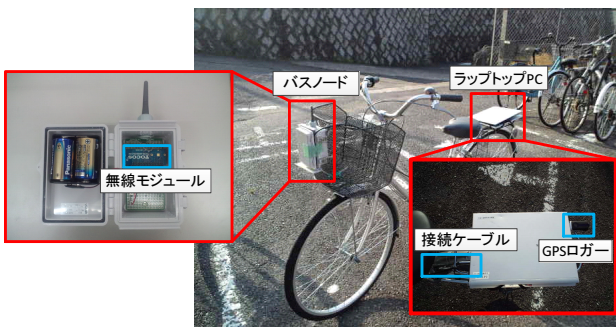


図 7 自転車へ設置したバスノードとデータ解析用ラップトップ PC
Fig. 7 Bus node and laptop computer for data analysis mounted on the bicycle.

クスを高さ 3m の三脚に取り付けたものをルータノードとした。なお、ビーコンの送信間隔は 1 秒に設定した。学内での試験ということもあり、バスと同じ走行速度で自動車を運転することは危険であったため、代わりにバスに見立てた自転車で走行した。図 7 のように自転車の前カゴにバスノードを装着し、荷台部分にデータ解析用のラップトップ PC および、データ分析用として利用する位置情報を取得するための GPS ロガーを装着した。コース走行中は、ルータノードから送信されるビーコン受信時の RSSI をバスノードにて測定した。その後、バスノードにおいて測定した RSSI データに対して、閾値 -40dBm 、 -50dBm とした時のコース走行中の最近傍ルータノードを特定し、走行区間を推定した。また、走行中は GPS ロガーにより取得した位置情報の変化と共に、各地点における最近傍ルータノードの変化および走行区間推定結果を確認した。なお、コース走行は 10 回行った。

4.2 結果

10 回中の 1 回分のコース走行時の RSSI データを図 8a に示す。実験時における自転車の平均速度は $12\sim 15\text{km/h}$ であったが、実環境におけるバスは約 $20\sim 40\text{km/h}$ で走行している。そこでバスの速度を考慮し、図 8a のデータ量を $1/3$ に間引いたグラフを図 8b に示す。図 8b からでも、ルータノード付近を走行中は RSSI が大きくなっていることが分かる。次に図 8b のデータを使用し、閾値 -40dBm 、 -50dBm で走行中の最近傍ルータノードの判定を行い、走行区間を推定した。

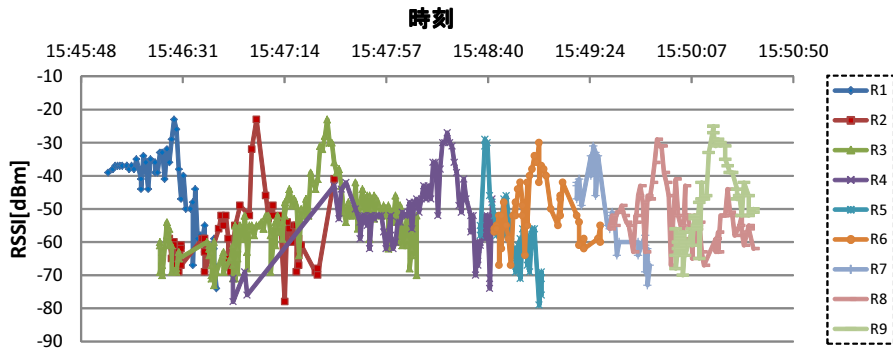
今回はルータノード R_n を最近傍とする走行区間を S_n とする走行区間リストを定義し、閾値より強い RSSI を観測した時点で、該当最近傍ルータノード ID から走行区間を推定した。走行区間推定の結果を図 9、図 10 に示す。図 9、図 10 は共に、上段に図 8b と各閾値設定における推定走行区間、下段にコース走行中の GPS による位置情報と走行区間の変化を示している。また、図 10 上段の推定走行区間 (1) は走行区間リストを適用しない場合、推定走行区間 (2) は走行区間リストを適用した場合の推定走行区間を示す。なお、図 10 下段は推定走行区間 (2) の走行区間の変化を示している。図 9 を見ると、走行区間を正しい順序で推定できていることが確認できる。また、推定走行区間 S_n の多くが、ルータノード R_n を起点としていることも確認できる。これは閾値を高く設定したことにより、ルータノードにできる限り接近しないと最近傍ルータノードとして判定されないためである。

一方、図 10 下のマップを見ると、図 9 と比較して推定走行区間がルータノードより手前から始まっている。これは閾値を下げたことにより、ルータノードから離れた場所からでも最近傍と判定されるためである。ただし、ルータノードから離れた場所では RSSI 値が大きく変動するため、RSSI 値だけで判断してしまうと図 10 上段の推定走行区間 (1) のように、区間 S_3 を走行していると推定した後に、通過したはずの S_2 を再度走行していると判断してしまう。そこで 3.5 節で述べた方法により、走行区間リストと過去の推定結果を考慮した場合、図 10 上段の推定走行区間 (2) のように、正しい順序で走行区間を推定することができる。

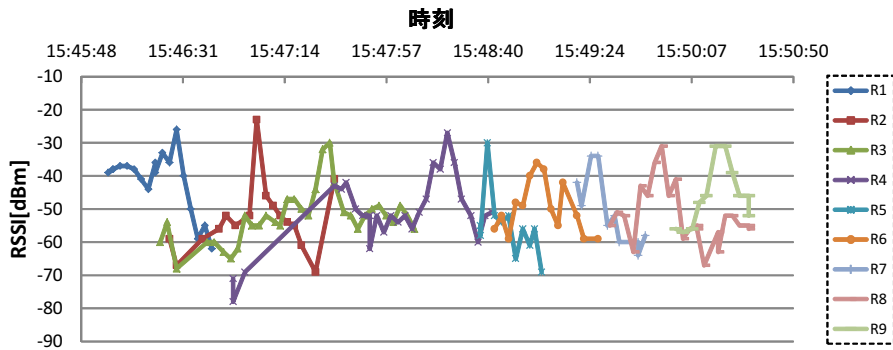
R_n から R_{n+1} までの区間を S_n とし、各ルータノード間を 1 つの区間と定義した場合における走行区間の推定精度を表 1 に示す。なお、推定精度は 10 回のコース走行すべての平均値を算出している。表 1 を見ると、 S_4 区間は GPS による誤差により、各閾値共に推定精度が高いとは言えない。しかし、その他の区間においては閾値 -50dBm の時に比べ、閾値 -40dBm の時の方が判定精度が良く、約 70% 以上の判定精度であった。

4.3 考察

上記の結果より、閾値を低く設定した場合、正しい順序



(a) 収集した RSSI データ



(b) 1/3 に間引いた RSSI データ

図 8 コース走行中に計測した RSSI データ

Fig. 8 RSSI data measured while the bicycle travels.

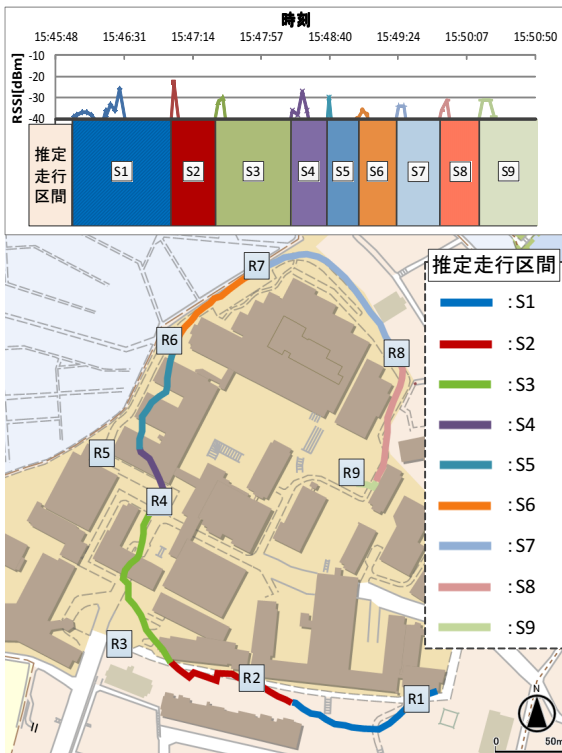


図 9 閾値-40dBmにおける走行区間の推定結果

Fig. 9 The estimated results of traveling section with threshold -40dBm.

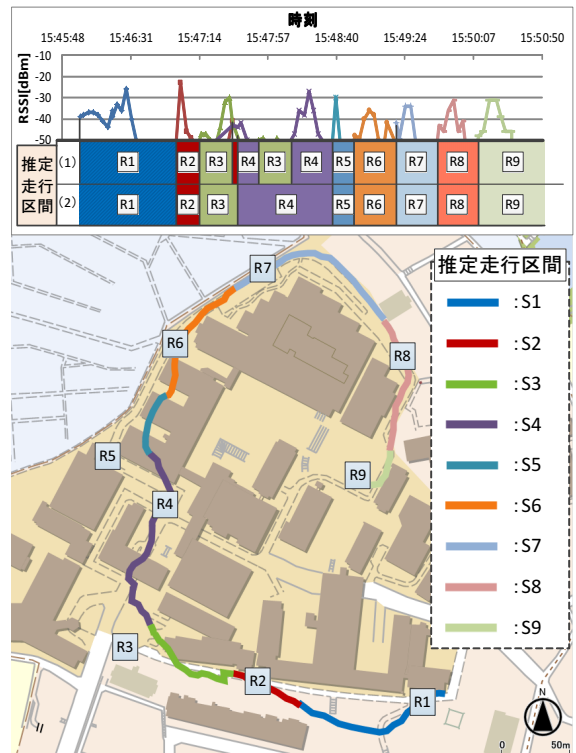


図 10 閾値-50dBmにおける走行区間の推定結果

Fig. 10 The estimated results of traveling section with threshold -50dBm.

表 1 走行区間の判定精度

Table 1 Determination accuracy of the travel section.

区間	走行区間判定精度 [%]	
	-40dBm	-50dBm
S1	71.0	65.0
S2	76.6	32.1
S3	69.6	39.5
S4	35.5	24.4
S5	81.3	52.3
S6	86.2	56.3
S7	93.1	83.1
S8	75.9	67.6
全区間平均	74.3	54.2

で区間推定はできるものの、推定走行区間長が地点によって大きくばらついている。これは、RSSI 値の変動が大きいことに起因しており、実際の道路交通状況を想定すると、さらにその影響は拡大すると考えられる。バスロケーションシステムでは正しくバスの走行位置を利用者に提供することが最大の役割であり、このことを鑑みると走行区間がある規則に基づいて推定される方が望ましい。そのため、閾値は高めに設定の方がよいと考えられる。

また、実環境におけるバス停間の距離は約 300~500m である。そこで、図 6 の R2, R5, R8 をバス停とした場合、図 3 のようなバス停間の走行区間を推定することが可能であるか評価を行った。上記の結果から、RSSI の閾値は高めに設定の方が良いと考えられるため、図 9 の場合について評価した。図 9 を見ると、バス停に見立てた R2~R5 のルータノードの間には、R3, R4 のルータノードが存在し、走行区間は S2~S4 の 3 つの区間が推定されている。R5~R8 の間も同様に複数区間が推定されている。これらの結果から、バス停間に複数のルータノードが存在する場合、さらに詳細な走行区間の推定ができるため、図 3 のようなバスが走行中のバス停区間を表示することは十分に可能である。

ただし、RSSI の閾値を高く設定しすぎてしまうと最近傍ルータを判定できず、走行区間を正しく推定できない可能性がある。また、バスの走行状況によっては閾値以上の RSSI が観測できるのにも関わらず、ビーコンの受信タイミングによっては閾値を上回る RSSI データを観測できない可能性も考えられる。これらの課題を解決する手段として、次の 2 点が考えられる。

4.3.1 ビーコン送信間隔の動的調整

ルータノードがビーコン送信間隔を短くすれば、バスノードが観測できる RSSI データ数が増加するが、ルータノードはバッテリー駆動することを想定しているため、稼働時間も短くなってしまふ。そこでバス接近時に限ってルータノードのビーコン送信間隔を短縮する。これによりバスの走行状況に関わらず、少なくとも 1 つ以上の最近傍ルー

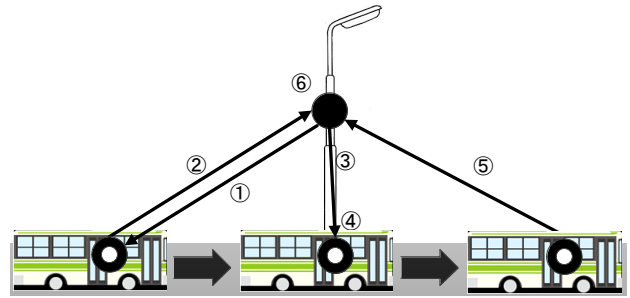


図 11 ルータノード付近の動作

Fig. 11 Action near router node.

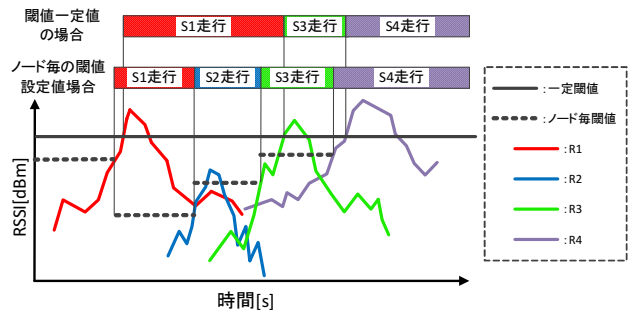


図 12 適応型閾値の適用例

Fig. 12 Application example of adaptive threshold.

タノードと判定できるビーコンを受信できる確率が向上する。ルータノードのビーコン送信間隔を動的に調整するためには、図 11 に示す以下の処理を実装すればよい。

- (1) ルータノードは定期的にビーコンを送信する。
- (2) ビーコンを受信したバスノードは、ビーコン送信元ルータノードに対して送信間隔の短縮を指示する。
- (3) ルータノードは一定時間ビーコンの送信間隔を短くしてビーコンの送信を継続する。
- (4) バスノードは継続してビーコンの RSSI 値を観測する。
- (5) バスノードは閾値以上の RSSI を観測した場合、ビーコン送信元ルータノードに対して送信間隔のリセットを指示する。
- (6) 送信間隔のリセット指示を受けたルータノードは、他のバスノードから送信間隔短縮を指示されていないければ、元の送信間隔に戻す。

4.3.2 適応型閾値の導入

上記の対策を行っても、観測した RSSI 値が閾値を下回っている場合は効果が得られない。そこで、RSSI の閾値を一定値に設定するのではなく、ルータノードが設置された地点付近の電波伝搬環境に応じて、閾値を変化させる。これにより、図 12 のように、低い RSSI 値しか観測できないような場所においては、そのビーコンを発信するルータノードの ID と低い閾値を関連づけて走行区間リストに設定し、バスノードは推定した走行区間に応じて閾値を動的に設定変更することができる。その結果、最近傍ルータノードの不検出を防止することができると考えられる。

5. まとめ

本稿では、無線センサネットワークを用いたバスロケーションシステムにおける RSSI を用いたバスの走行区間推定手法の提案を行い、名城大学天白キャンパス内で基礎的な走行区間判別の実験を行った。実験の結果、RSSI を用いて走行区間の判別が可能であることを確認した。今後はルータノードのビーコン送信間隔調整処理の実装、およびバスノードの適応型閾値を導入する。また、実際のバス路線においてルータノードを設置し、バス走行中の RSSI より走行区間判別の検証を行う。

参考文献

- [1] 高度道路交通システム ITS-国土交通省道路局：<http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/now/sisaku/koukyou/busLocation-system.html>.
- [2] 伊藤昌毅, 川村尚生, 菅原一孔: スマートフォンを利用したバスロケーションシステムの開発, 電子情報通信学会論文誌. D, Vol. J96-D, No. 10, pp. 2327-2339 (2013).
- [3] 淵一馬, 池田勝洋, 石田 梢, 菊池純男, 駒谷昇一, 北川博之, 田中二郎: 幼稚園向けバスロケーションシステムの開発, 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol. 72, No. 3, pp. 251-252 (2010).
- [4] 大谷達彦: バスロケーションシステムの運用に関する検討, *JICE REPORT*, Vol. 9, pp. 33-38 (2009).
- [5] 鈴木秀和, 畠 基成, 松本幸正, 大森昭嗣, 澤田基弘: センサネットワークを用いた新たなバスロケーションシステムの開発と災害時への適用に関する研究, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 47, No. 143, pp. 1-8 (2013).
- [6] Hata, M., Adachi, H., Suzuki, H., Matsumoto, Y. and Watanabe, A.: Proposal for Novel Bus Location System Using Wireless Sensor Network, *Proc. of the 20th ITS WORLD CONGRESS TOKYO 2013*, No. 3209, pp. 1-10 (2013).
- [7] ぐるりんばす(日進市巡回バス)|日進市:
<http://www.city.nisshin.lg.jp/shisetsu/bus/index.html>.
- [8] Sakata, A., Matsumoto, Y. and Suzuki, H.: Development of Bus Location System with Smartphone and Effect of Providing Regional Information added on Bus Information, *Proceedings of the 10th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies (EASTS 2013)*, No. EASTS.ISC-D-13-00141, pp. 1-12 (2013).
- [9] 坂田暁彦, 松本幸正, 鈴木秀和: コミュニティバスの遅延状況把握と遅延に対する利用者意識に関する研究, 土木学会第 68 回年次学術講演会論文集, Vol. 68, No. IV-124, pp. 247-248 (2013).
- [10] IEEE 802.15 WPAN Task Group 4 (TG4):
<http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>.
- [11] 足達 元, 畠 基成, 鈴木秀和, 旭 健作, 松本幸正, 渡邊 晃: 距離減衰モデルを用いたバス接近通過表示システムにおける判定精度向上に関する検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2013-MBL-68, No. 11, pp. 1-7 (2013).