

# 無線センサネットワークにおける 受信信号強度に基づくバス位置推定に関する研究

133430001 足達 元  
鈴木研究室

## 1. はじめに

近年、バスの利便性向上のために、バスロケーションシステムを導入する地域自治体やバス事業者が増加している。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に携帯電話網を使用していることから、通信コストが発生し、運用コストが高価である。そこで、通信コスト不要な無線センサネットワーク (WSN) を用いたバスロケーションシステムが提案されている [1]。このシステムでは、街中に構築した WSN を利用してバスの位置情報の収集を行うため、通信コストは発生せず、低運用コストでシステムの運用が可能となる。

本研究では、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受信中のバスが受信した際の RSSI (Received Signal Strength Indicator) から、バス走行区間推定手法、およびバス停における接近通過判定手法を提案する。提案手法を実装したセンサノードを用いて、実際のバス路線コースで検証実験を行った。

## 2. WSN を用いたバスロケーションシステム

図 1 に WSN を用いたバスロケーションシステムの概要を示す。このシステムでは、バス運行管理施設、バス車内、バス停、バス路線沿いの電柱や街路灯などに IEEE802.15.4 準拠のセンサデバイスを取り付ける。これらのデバイス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し、WSN を構築する。バスノードは GPS から取得した位置情報を WSN を利用して管理サーバへ送信する。収集した位置情報に基づき、バス利用者が所持するスマートフォンや各バス停にバスの所在地や遅延情報等を提供する。このシステムはバスの位置情報の収集とバス停への情報配信に WSN を用いているため、通信コストが不要であり、低運用コストでシステムの実現が可能である。

しかし、このシステムは街中に多数の無線センサノードを配置するため、導入コストが高価である。また、このシステムはコミュニティバスを対象としたバスロケーションシステムであり、財政が乏しい地域自治体も存在するため、少しでも導入コストを低下させる必要がある。さらに、コミュニティバス利用者へのアンケート調査から、バスの現在位置情報の提供は Google Maps 上で GPS の位置情報を提供より、簡易マップによる情報提供の方が需要が大きい。以上のことから、GPS を必ずしも利用する必要はなく、GPS を利用しなければ、バスの GPS モジュール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。

## 3. 提案手法

WSN を用いたバスロケーションシステムは WSN を用いている。したがって、センサノード間で送信されるメッセージフレーム受信時の RSSI を用いることでバス走行中の最近傍ルータノードの判定が可能であると考えられる。そこで、RSSI を用いたバスの走行区間推定手法、およびバス停における接近通過判定手法を提案する。図 2 に提案

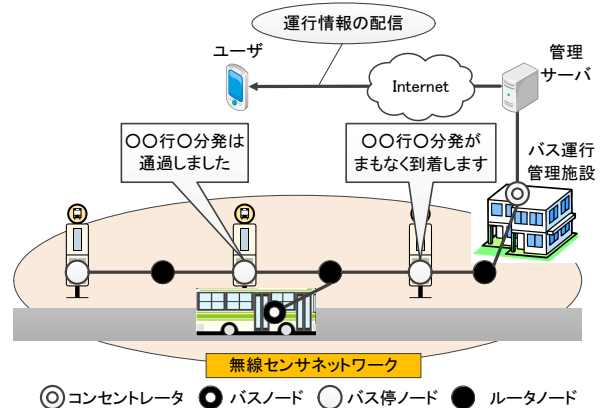


図 1: WSN を用いたバスロケーションシステムの概要

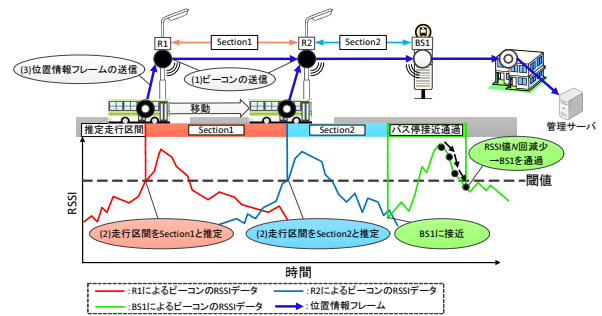


図 2: 提案手法の概要

手法の概要図を示す。

### 3.1 走行区間推定手法

街中に設置したルータノードは自身の ID 情報を付加したビーコンを定期的を送信する。バスノードはバス走行時のビーコン受信時の RSSI の測定する。測定した RSSI 値が設定した閾値を超えた場合、そのビーコンを送信したルータノードを最近傍ルータノードと判定する。また、バスノードは走行区間推定のために、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保持する。最近傍ルータノードを判定したバスノードは自身が保持する走行区間リストと判定した最近傍ルータノード ID を用いて、最近傍ルータノードに対応した走行区間を推定する。さらに走行区間推定後、走行区間情報を位置情報フレームとしてコンセントレータへ送信する。位置情報フレームを受信したコンセントレータはシリアル接続された管理サーバに位置情報フレームを記録し、走行区間情報をバス利用者へ提供する。

コミュニティバスはバス路線が複雑であり、同じルータノード付近を複数回走行する場合がある。そのため、走行区間リストはテキスト形式のものを使用し、一度判定され

た走行区間は判定されないようにする。以上により、バス車載器に GPS モジュールを用いることなく、複雑なバス路線において走行区間を推定し、バス利用者にバス位置情報の提供が可能である。

### 3.2 接近通過判定手法

走行区間の推定と同様に、バス停における接近と通過の判定も RSSI を用いて判定する。バスがバス停に接近し、バスノードがバス停ノードからのビーコンフレームを受信すると、バスの接近と判断し、バス停ノードに接近を通知する。接近判定後、通過判定処理に移行し、その後 RSSI が  $N$  回減少した場合に通過と判定し、判定結果をバス停に送信する。提案する接近通過判定手法を用いた徒歩による基礎的な通過判定実験を行った。その結果、接近通過判定手法により接近検知、バス停通過後約 15m の地点で通過の検知が可能であることを確認している [2]。

## 4. 検証実験

### 4.1 実験方法

走行区間推定が可能であるか検証するため、走行区間推定手法をセンサノードに実装した。実装したセンサノードをバスに見立てた自家用車、愛知県日進市のコミュニティバス「くるりんばす」の一部エリアに設置した。今回は自家用車のダッシュボード上にバスノードとデータ解析用のラップトップ PC を設置した。ラップトップ PC にはデータ解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。また、管理端末とコンセントレータ 1 台を日進市役所内に設置し、1 秒間隔でビーコンフレームを送信するルータノードは日進市が管理する街路灯や道路案内標識柱に合計 22 箇所を設置した。

バスノードはコース走行中に最近傍ルータノードの判定、走行区間の推定を行い、コンセントレータに判定した走行区間情報を送信する。バスノードがコンセントレータに送信した走行区間情報は、コンセントレータと接続されている管理端末で受信ログとして保存した。また、走行区間は 1 つの区間で複数のルータノードを含む 200~400m 程度になるように定義をした。なお、コース走行は 10 回行った。

### 4.2 結果

1 回のコース走行中のバスノードの RSSI 受信結果と、その RSSI データにおける閾値  $-50\text{dBm}$  の時の推定走行区間の変化を図 3 に示す。これを見ると、コース走行中に区間切り替わり地点に設置されたルータノードを正しい順序で最近傍ルータノードと判定し、区間判定がされていることが分かる。区間の切り替わりのタイミングは各区間毎に違いがあり、ルータノードから約 80m 離れた場所で区間が切り替わる箇所も存在する。この誤差は大きいように見えるが、区間が切り替わるタイミングはすべての区間において区間切り替わり地点に設置されたルータノードの手前である。さらに、区間切り替わり地点に設置されたルータノードからは各区間切り替わり地点に存在する自家用車を目視することができる。したがって、バス利用者は区間切り替わり地点に設置されたルータノード付近から区間が切り替わったタイミングでバスを目視することができる。

また、各推定区間毎の推定精度を算出した。表 1 にその結果を示す。なお、走行区間の推定精度は GPS 位置情報を取得した地点において、RSSI による区間推定が正しいかどうかを区間毎に算出した。表 1 を見ると、全区間平均は約 90% であることが分かる。以上のことから、今回の実験の誤差は十分許容できると考え、提案手法による走行区間の推定が十分可能であることを確認した。

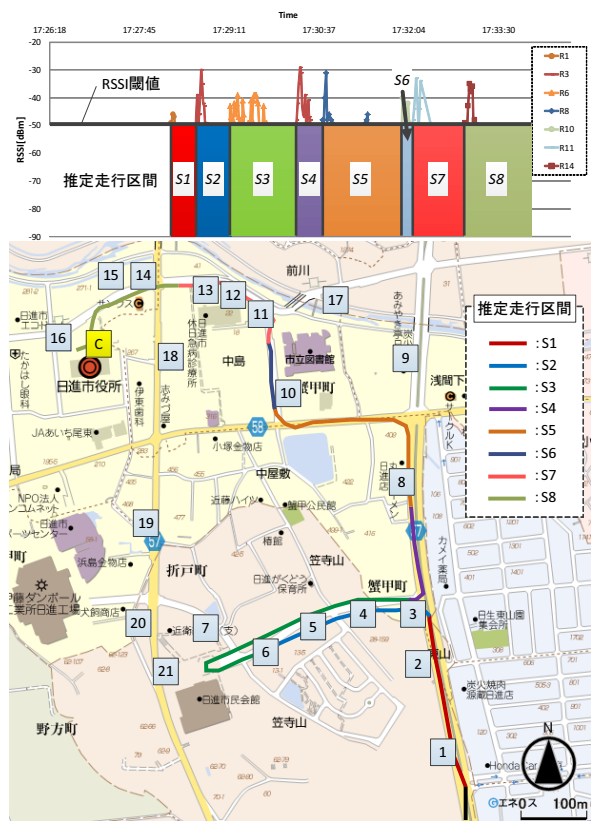


図 3: コース走行時の走行推定区間の変化

表 1: 走行区間の判定精度

区間	判定精度 [%]		
	平均	最低	最大
S1	97.1	94.7	100
S2	81.3	78.2	86.7
S3	94.9	93.5	96.5
S4	86.1	80.0	95.5
S5	94.1	91.1	96.1
S6	98.3	95.3	100
S7	80.2	76.9	84.6
S8	89.7	84.2	93.3
全区間	90.1	85.6	94.1

## 5. まとめ

GPS を用いることなく、バスの走行区間推定、接近通過を判定する手法を提案し、自家用車を用いた実験を行った。その結果、十分許容できる誤差で、バスの走行区間推定が可能であることを確認した。今後は実際のバスを使用した走行区間推定実験および接近通過判定実験より検証を行う。

### 参考文献

- [1] M. Hata, et al.: Proc. of the 20th ITS World Congress, 2013.
- [2] 足達. 他: 情報処理学会研究報告, Vol.2013-MBL-68, No.11, pp.1-7, 2013.