

バスの運行状況と遅れを考慮した経路探索の提供

Providing Buses Situation and Route Search Considering Delays of Buses

石崎 美文[†] 金谷 直樹[†] 伊藤 昌毅[†]

Yoshifumi Ishizaki[†] Naoki Kanatani[†] Masaki Ito[†]

笹間 俊彦[†] 川村 尚生[†] 菅原 一孔[†]

Toshihiko Sasama[†] Takao Kawamura[†] Kazunori Sugahara[†]

[†] 鳥取大学大学院 工学研究科 情報エレクトロニクス専攻

1 はじめに

路線バスなどの公共交通機関は自家用車などを持たない人にとって重要な移動手段である。しかし、路線バスは道路状況によっては時刻表通りに運行できないため、利用者にはバスがいつ来るかわからない、遅れが原因で乗り換えるべきバスに乗れないかもしれないという不安要素が存在する。そこで我々はこの不安を解消するためにバスの運行状況を把握し、その情報を利用者に提供するバスロケーションシステムの開発を行った。本システムは我々が開発しているバスネット[1]というバスの乗換案内システム上で路線バスの遅れや位置の情報を提供する。従来のバスネットでは運行ダイヤのみを元に乗換案内を行っていたため、バスが遅れた場合、間に合うことのない乗換案内をする可能性があったが、このバスロケーションシステムによって測定された遅れを乗換案内に反映することでこの問題も解消した。また、利用者の声を聞くためのアンケートや実験としてバス会社の協力の下、本システムを実路線で約2ヶ月間運用し、その評価を行った。

2 スマートフォンを用いたバスロケーションシステム

バスロケーションシステムとは、列車やバスといった公共交通機関において、利用者向けサービスのために、バスの位置や運行状況といった情報を提供するITSの一つである。日本ではほぼ全国のバス会社にバスロケーションシステムが導入されている。一般的なバスロケーションシステムはバス停通過状況や遅れをバス停やターミナルで提供している。また、日本だけでなく海外でも同様のシステムや研究が存在している。例えば、鉄道やバスの位置をGPSで測定し、その情報を提供するもの[2]。その応用研究として、専用機器を用いてバスのリアルタイムな到着時間を提供するものもある[3, 4, 5, 6]。また、バスの到着時間を推定するアルゴリズムに関する研究も存在する[7, 8]。本研究では、それらの研究の応用としてバスの遅れや現在位置、遅れに応じた経路案内情報を提供するためのシステムを開発した。

2.1 システム概要

図1に我々の開発したバスロケーションシステムの構成を示す。本システムでは、路線バスにGPS機能



図1: バスロケーションシステムの構成

を持ったスマートフォンを搭載し、毎分、緯度や経度、運行される便の情報をバスネットのサーバに送信する。サーバはそれらの情報を基にバスの遅れを測定し、管理する。また、バス停の通過情報も管理し、スマートフォンからデータが届くたびにそれらの情報を更新する。本システムは、我々が開発を行っているバスネット上に実装する。バスネットには実験地域に存在するバス停や便の情報が登録されており、これを用いることで新たに膨大なデータを用意することなく本システムを実装することができる。また、スマートフォンという既存の端末を用いることで、一般的なバスロケーションシステムよりも安価にシステムを構築できる。

2.2 システムの特徴

本システムは、既存の多くのバスロケーションシステムのようにバスの遅れを案内するだけではない。我々の開発したバスロケーションシステムでは算出した遅れをバスネットの乗り換え案内機能に反映させる。そうすることで同じ条件で経路を探索した場合でも動的に経路が変化し、その状況にあった経路が表示されるようになる。また、本システムではサーバで管理され

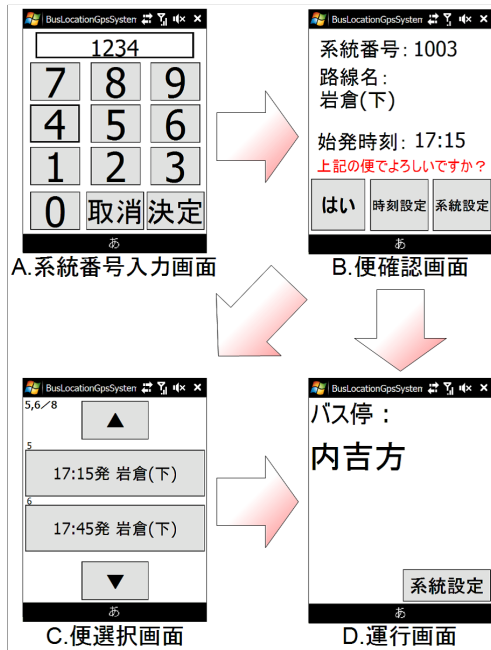


図 2: アプリケーションの画面遷移

ている位置情報を使って、Google Maps 上へのバスの現在位置の表示を行う。さらにバス停通過情報をつかって経路探索結果からバスが現在通過しているバス停を知ることができるようにした。本システムにより利用者はバスの位置やバスがいつ来るのかが把握でき、妥当なバスの乗換案内情報を得られる。

3 位置情報と運行情報の取得

本システムでは GPS 機能を持ったスマートフォンをバスに搭載し、現在位置や運行される便についての情報をサーバに送信する。しかし、単純に数多く運行される便の中から一つを選択するのは困難である。また、スマートフォンを扱うのはバスの運転手であり、機械の扱いに疎い方が多い。そこで我々は、便の選択が簡単にでき、操作が簡単なスマートフォン用アプリケーションの開発を行った。

3.1 スマートフォン用アプリケーション

図 2 にアプリケーションの画面遷移を示す。本アプリケーションでは便の選択方法に系統番号というバス会社が用いる路線の識別番号を用いる(図 2-A)。この系統番号を用いることにより、バスの運転手にとって慣れた方法での運行する便の選択を可能にし、サーバ側でも対象となる便についての情報の探索が容易となる。また、系統番号を入力した後は、現在時刻にもっとも近い便が画面に表示される(図 2-B)。しかし、遅れて運行するときなど、別の始発時間の便を運行する場合があるので始発時間の選択画面を用意している(図 2-C)。そして、運行する便が決定されると運行画面となり、随時通過したバス停が表示される(図 2-D)。

3.2 データの送信と管理

便が決定後は 1 分毎にバスネットのサーバにデータを送信する。送信するデータはバスの位置情報と運行



図 3: バスの運行状況表示機能

する便の情報である。これらの情報はサーバ側で管理され、データが届く度に最新の情報に更新する。また、サーバでは便が運行している間のみ情報を管理し、運行が終了した便の情報は削除される。

4 バスの遅れ算出

我々の開発しているバスネットでは詳細な道路地図情報を管理してはいない。そのため、バスの現在位置と各バス停との正しい距離を知ることは難しく、正確な遅れ時間が算出できない。そこで、バスの現在位置と通過するバス停の緯度・経度から直線距離を求め、それを基におおよその遅れ時間を計測するアルゴリズムを用意した。以下にそのアルゴリズムを示す。

1. 位置情報を基に、バスとその便が通る全バス停との距離を求める
2. 1. で求めた距離が最短のバス停を最寄バス停とする
3. 最寄バス停の通過予定時刻を基にバスの現在位置の通過予定時刻を算出する
4. 3. で算出した値と現在時刻との差を遅れとする

バスの現在位置はスマートフォンの GPS により得ることができる。その得られた値を用いて、上記のアルゴリズムでバスの遅れを算出する。上記の動作はスマートフォンからデータが送られる度にサーバ上で実行される。

5 バスの運行状況の表示

本システムではバスロケーションシステムによって得られたバスの遅れや位置を用いて、Google Maps でのバスの現在位置、経路探索結果からバス停通過情報の表示機能を作成した。その機能を図 3 に示す。図に示される GoogleMaps ではそのバスの運行している便や遅れ時間を把握することができる。バス停通過状況表示は経路探索結果画面から表示でき、視覚的にバスが通過したバス停と現在どのバス停を通過中かを知ることができる。

6 遅れを考慮した経路探索

本来、バスの遅れを考慮した経路探索を行うにはサーバに管理された各便のバス停通過予定時刻を書き換える必要がある。しかし、遅れが発生する度にデータベースを書き換えるのは手間である。ここでバスネットにおいては検索の高速化のために便のバス停通過予定時刻が記された専用のバイナリファイルを作成している。そこで、このバイナリファイルに遅れの値を加算すればバスの遅れに柔軟に対応できると考えた。

6.1 経路探索の概要

バスネットにおける経路探索 [9, 10] はバス停を節、バスや鉄道が運行する経路や徒歩移動による経路を辺、辺の重みをバス停間の所要時間とするグラフを構築して行う。グラフの節と辺は、バス停などの節とその間をつなぐ辺 (運行バス) のように、時刻表のみに基づいて生成できる静的な部分とバス停以外の節、つまり利用者の現在位置などとその間をつなぐ辺 (徒歩移動) のように、何時、何処から出発するかといった利用者の希望する条件次第で変わり時刻表からは生成できない動的な部分に分けられる。しかし、経路探索の度にこのグラフの全てを構築しては経路探索に掛かる時間が大きくなってしまふ。そこでデータベース内に保持しているバス停情報や時刻表といったデータからこのネットワークの静的な部分はあらかじめ作成しておき、専用のバイナリファイル (バスネットワークファイル) として保存し、これを利用することで経路探索の時間を短くしている。また、経路探索は時刻表上のバス停通過予定時刻に基づいて行われるので、同じ条件で経路探索を行えば、実際のバスの遅れに関係なく常に同じ経路が表示される。

6.2 経路探索への遅れの反映

遅れを考慮した経路探索を行うには、算出された遅れを経路探索に反映させる必要がある。そこで経路探索時に、バスネットワークに記述されたバス停通過時刻に変更を加え、その場合に最適な経路が割り出されるようにした。その流れを以下に示す。

1. バスロケーションシステムにより遅れを算出する
2. 経路探索時に、遅れが生じた便の各バス停通過時刻に遅れの値を加算する
3. 変更したバス停通過時刻を基に経路探索を行う

本システムでは、遅れ情報を速やかに経路探索へ反映させるために、どの便が何分遅れているかといった情報を記したバイナリファイルを用意し、経路探索時にバスネットワークファイルと共に読み込み、反映させるようにした。また、バイナリファイルは隔分毎に更新され、その都度、最新の遅れ情報が記述されるようにした。

6.3 バスの遅れを考慮した経路探索

次に遅れを考慮した経路探索の例を示す。図4では出発地を湖山駅前、目的地を国分寺 (国府町) にした

```

●10:10 湖山駅前(バス停)
| (14分待ち)
◎10:24発《時刻表》
↓ 日ノ丸(0857-22-5155) 湖岸線 鳥取駅行 (11駅, 17分, 340円)
◇10:41着 県庁日赤前(バス停)
| (7分待ち)
◎10:48発《時刻表》
↓ 日ノ丸(0857-22-5155) 中河原線 大石經由 雨滝行 (16駅, 18分, 270円)
◇11:06着 宮ノ下(バス停)
↓ 徒歩 (19分)
◆11:25着 国分寺(国府町)(バス停)

⇒【75分, 乗換1回, 徒歩19分, 610円】

```

図 4: 経路探索結果 1

```

●10:10発 湖山駅前(バス停)
↓ 徒歩 (7分)
◇10:17着 湖山駅(JR 山陰本線)
| (※4分待ち)
◎10:21発《時刻表》
↓ JR西日本 山陰本線 鳥取駅行 (1駅, 4分, 180円)
◇10:25着 鳥取駅(JR 山陰本線)
↓ 徒歩 (3分)
◇10:28着 鳥取駅(バス停)
| (12分待ち)
◎10:40発《時刻表》
↓ 日ノ丸(0857-22-5155) 中河原線 雨滝行 3番乗り場 (22駅, 26分, 270円)
◇11:06着 宮ノ下(バス停)
↓ 徒歩 (19分)
◆11:25着 国分寺(国府町)(バス停)

⇒【75分, 乗換1回, 徒歩29分, 450円】

```

図 5: 経路探索結果 2

場合の経路が表示されている。この結果では県庁日赤前というバス停で「日ノ丸 湖岸線 鳥取駅行」を降りて、7分後に「日ノ丸 中河原線 大石經由 雨滝行」に乗る経路となっている。ここでもし、「日ノ丸 湖岸線 鳥取駅行」が8分遅れたとすると、「日ノ丸 中河原線 大石經由 雨滝行」に乗れなくなる。この遅れを考慮した経路が図5である。図5で表示された経路ではバスを使わずに「JR 西日本 山陰本線 鳥取駅行」を使うことで次の目的地に向かう。このようにバスの遅れによって経路が変化することがわかる。

7 実験

我々は本システムに関してバスネットの利用者を対象としたアンケートと実環境による動作実験を行った。

7.1 アンケート

アンケートは2010年9月に実施し、回答者人数は200名である。アンケート方法は、バスネットの使い方を実演し、その評価を記入してもらった。アンケートのバスの遅れ案内に関する評価を表1に示す。表を見るとバスの遅れ案内は80%以上の方が良いと答えている。また、意見として以下のものがあった。

1. 時間通りか遅れているかわからず不安なので教えてもらえると安心
2. バスは予定通りの運行が出来ないケースがよくあり、その時に時間が分かれば便利



図 6: 位置情報のマッピング

3. バス停を既に通り過ぎたか分からない時があったので、それを調べることが出来ると便利

これらの意見を鑑みると、バスロケーションシステムの必要性が分かる。また、本システムに対する期待も垣間見ることができた。

表 1: バスの遅れ案内に関するアンケート結果

評価	割合 (%)
非常に良い	38
良い	46
どちらでもない	13
悪い	2
無回答	1

7.2 動作実験

我々はバス会社 2 社の協力の下、2010 年 12 月から約 2ヶ月間、用意した 70 台のスマートフォンを研究地域のバスに搭載して上記システムの運用実験を行った。実験期間中にスマートフォンを搭載して運行された便の総数は 2669 本であり、その中で遅れの計測・運行状況の把握に成功したものは約 7 割であった。あるバスの 1 日の位置データのマッピングを図 6 に示す。円で示すトンネル付近でデータが途切れている。同様に、山奥で電波が届かない所でもデータが途切れる傾向があり、地理的要因によるスマートフォンからの情報送信の失敗が不具合の主要因であると判明した。つまり、今回のシステムではまだ、地理的要因による不具合の対処という課題の残る結果となってしまった。

8 おわりに

本研究で、我々はより高度なバスロケーションシステムを開発した。本システムでは、GPS により得られた位置情報からバスの遅れを経路探索機能に反映させることで、バスの実際の運行状況に応じたリアルタイムな乗換案内が出来るようになった。また、本システムをさらに高度にするために計測した遅れを統計し、

遅れやすい箇所やスムーズに走行できる箇所を洗い出し、遅れの予測が可能であると考えられる。さらに今回の実験結果やアンケートで得られた意見を基にバスロケーションシステムに改良を加え、動作実験を新たに 2011 年 10 月から開始する予定である。

参考文献

- [1] 日本トリップ LLP: バスネット: <http://www.ikisaki.jp/>.
- [2] Mintsis, G., Basbas, S., Papaioannou, P., Taxil-taris, C. and Tziavos, I. Applications of GPS technology in the land transportation system. *European Journal of Operational Research*, Vol. 152, No. 2, pp. 339–409, 2004.
- [3] Wei-hua Lin and Jian Zeng. An experimental Study of Real-time Bus Arrival Time Prediction with GPS data. *Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1666, pp. 101–109, 1999.
- [4] Ferris, B., Watkins, K. and Borning, A. OneBusAway: Results from providing real-time arrival information for public transit. *ACM*, pp. 1807–1816, 2010.
- [5] Dziekan, K. and Kottenhoff, K. Dynamic at-stop real-time information displays for public transport: effects on customers. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 41, No. 6, pp. 489–501, 2007.
- [6] Bertolotto, M., G.O 'Hare, Strahan, R., Brophy, A., Martin, A., McLoughlin, E. Bus Catcher: a Context Sensitive Prototype System for Public Transportation Users. *Proceedings Second International Workshop on Web and Wireless Geographical Information Systems (W2GIS)*, 2002.
- [7] Steven, I., Ding, Y. and Wei, C. Dynamic bus arrival time prediction with artificial neural networks. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 128, p. 429, 2002.
- [8] Amer Shalaby, University of Toronto and Ali Farhan, City of Calgary. Prediction Model of Bus Arrival and Departure Times Using AVL and APC Data. *Journal of Public Transportation*, Vol. 7, No. 1, 2004.
- [9] 川村 尚生, 楠神 元輝, 菅原 一孔. 徒歩移動を考慮するバス経路探索システム. *情報処理学会論文誌*, Vol. 46, No. 5, pp. 1207–1210, 5 2005.
- [10] 川村尚生, 菅原一孔. バスネットワークのための実用的な経路探索システム. *情報処理学会論文誌*, Vol. 48, No. 2, pp. 780–790, 2 2007.