

路線バスの遅れを考慮した経路探索システムの開発

The development of Bus Route Search System with Time Delay

高山 貴寛[†] 川村 尚生[†] 笹間 俊彦[†] 菅原 一孔[†]

Takahiro TAKAYAMA[†] Takao KAWAMURA[†] Toshihiko SASAMA[†] 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

路線バスはとりわけ地方において、重要な公共交通機関である。鉄道やタクシーなどによる移動の手段が豊富な都市部とは異なり、地方を走る路線バスは移動のための重要な手段である。しかし、地方では過疎化などによる利用者の減少のため、路線の統廃合が進められている。これによるバスの便数の減少を受けて、普段バスを利用している住民は移動するのに不便である。我々はこういった状況の中でバスの利用を手助けするシステムは作れないかと考えた。バスの不便な点として、目的地へ行くための乗り換えの方法が分からなかったり、バス停の場所が分からなかったりする点が挙げられる。

そこで、我々はそのような情報の提供によって、路線バスの利用を促進する路線バス経路探索システム（バスネット [1]）をバス会社や他の企業と共に開発し、運用を行っている。バスネットは鳥取県全域に対応しており、路線バスの乗り換え案内や時刻表などの情報を Web アプリケーションとして提供している。そのため、インターネットに接続できる環境があればどこからでも利用できる。自宅などではパソコンから利用でき、パソコン版ではバス停時刻表を作成する印刷用時刻表作成機能 [2, 3] を利用できる。また、出先などでは携帯電話から利用できるため、実際にバスを利用する時に経路を確認することができる。

これまでのバスネットは決められた運行ダイヤの情報を元に経路探索を行い、その結果を出力するというものであったが、バスは交通や気象などの状況により遅れが生じることがある。このような状態で乗り換えを行う場合、バスの到着が遅れたために探索した経路では乗り換えができないという問題が起きていた。そこで、バスに GPS 機能付の携帯電話（GPS 端末）を搭載し、そこから送られてくるバスの位置情報を元に、バスが運行ダイヤと比べてどれだけ遅れているかを算出し、その遅れを経路探索に反映する機能を開発した。

また、バスに遅れが生じた場合、バス停で待っている人は現在バスがどこを走っているのかが分からないため、もうすでにバスが通過してしまったのではないかと勘違いさせてしまうこともある。そこで、バスの現在位置とバス停通過情報を知らせるバスロケーションシステムも開発した。

2 路線バス経路探索システム

バスネットにおける主要な機能として経路探索機能 [4, 5] がある。これは路線バスや鉄道での移動に加えて、徒歩移動も考慮した経路探索を行うことができる機能である。一般に鉄道のみを利用した経路で乗り換えを行う場合は、路線が交差している駅で乗り換えを行う。しかし、路線バスの場合は必ずしもそうする必要は無く、途中のバス停で下車して別の路線のバス停まで徒歩で移動して乗り換えた方が所要時間が短くなるという場合が考えられる。バスネットにおける徒歩移動はバス停から目的地への移動のみならず、あるバス停から別の路線のバス停まで移動して乗り換えるということも含んでいる。

探索の出発地や目的地にはバス停や駅だけでなく、観光地や商店などのランドマークも指定することができる。現在約 10000 箇所のランドマークが登録されている。また、地図を用いて直接場所を指定することもできる。このため、利用者はバス停の場所を知らなくても路線バスを利用することができ、既存のシステムに比べて自由度の高い経路探索を行うことができる。探索は所要時間が最も短い経路や、徒歩移動が最も少ない経路などの複数の評価基準に基づき最適な経路を出力する。図 1 に経路探索結果を示す。

2009/10/9

●15:30発 鳥取大学
↓ 徒歩 (8分)
◇15:38着 鳥大前(バス停)
| ※2分待ち
◎15:40発《時刻表》
↓ 日ノ丸(0857-22-5155) 湖山鳥大線 鳥大附属校経由 鳥大附属校行 (16駅, 23分)
◇16:03着 鳥取駅(バス停)
| (7分待ち)
◎16:10発《時刻表》
↓ 日本交通(0857-23-1122) ゆめぐりエクスプレス線 湯村温泉行 2番乗り場 (1駅, 24分)
◇16:34着 砂丘センター展望台(バス停)
↓ 徒歩 (7分)
◆16:41着 鳥取砂丘

⇒【71分, 乗換1回, 徒歩15分】
※徒歩時間が増えています
※乗換に余裕がありません

★【75分, 乗換1回, 徒歩11分】の経路を

図 1: 経路探索結果

3 バスの遅れを考慮した経路探索

バスネットでは各バス停にセンサなどが設置されていて、バスの通過を正確に判断しているわけでない。バスに GPS 端末を搭載して、そこから送られてくる位置情報のみを元にしてバスの遅れを求める。センサを設置することに比べるとバスに GPS 端末を搭載するだけなので、低コストで遅れを考慮した経路探索を実現できる。

また、データベースにはデータ管理の煩雑さを避けるため、バスが運行する道路の情報は入っていない。利用できる情報はバスの現在位置のみなので、バス停を通過したかどうかを正確に判定できない。このため、バスの現在位置からの直線距離が最も近いバス停である直近バス停を通過したものと仮定して遅れ時間の算出を行う。従って、それにはある程度の誤差が含まれることになる。

しかし、バス停間の所要時刻は概して 5 分程度なので、発生する誤差は多くて 2~3 分である。都市の中心部ではさらにバス停間の距離が短いので、この誤差はさらに縮まることになる。従って、発生する誤差は実用上は問題の無い程度と考えることができる。バスの遅れを考慮して経路探索を行うには、以下に示す順で処理を行う。

1. データベースに登録されている運行ダイヤのどの便が運行中なのかという運行状態の管理
2. 運行中の便に対する遅れ時間の算出
3. 経路探索に用いているグラフであるバスネットワークへの遅れ時間の反映

以降それぞれの項目について述べる。

3.1 運行状態の管理

バスの遅れを経路探索に反映させるにあたって、データベースに登録されている運行ダイヤのどの便が運行中で、その便に搭載されているのはどの GPS 端末なのかということを管理しておく必要がある。GPS 端末には ID が割り振られており、データベース上でその ID と運行ダイヤの便との対応付けがなされている。運行を開始する便の情報を GPS 端末からサーバに送信すれば、その端末から定期的に位置情報を受け取り、その便についての遅れの計算を行う。

GPS 端末には現在位置の情報をサーバに送信するためのアプリケーションが常駐している。このアプリケーションには運行を開始する便の情報をサーバに送信する機能がある。図 2 にその画面例を示す。この画面には、データベースの情報に基づいてその GPS 端末が搭載されたバスが、その日 1 日に運行する便の一覧が表示される。運行開始時、バスの運転手は運行を開始する便を選択する。これによりその便は運行中として管理され、遅れ時間の算出などが行われるようになる。この操作を行った後、携帯端末からは一定間隔で現在の位置情報がサーバに送信されるようになる。

運行開始便の選択

1. 吉岡線 7:20 鳥取駅発 吉岡温泉行
2. 岩倉線 11:15 鳥取駅発 岩倉(市道)行
3. 吉岡線 15:00 鳥取駅発 吉岡温泉行
4. 岩倉線 18:50 鳥取駅発 岩倉(市道)行
5. 岩倉線 20:35 鳥取駅発 岩倉(市道)行

図 2: 運行を開始する便の選択

運行が終了すれば、開始時と同様にバスの運転手は GPS 端末のアプリケーションを操作し、運行が終了した旨をサーバに送信する。すると、その便は管理対象から外れる。

3.2 遅れ時間の算出

運行中のバスが運行ダイヤに比べてどのくらい遅れているのかは、バスの現在位置の運行ダイヤにおける本来の通過時刻と現在時刻との差を求めることによって算出する。しかし、利用できる情報はバスの現在位置のみなので、バス停を通過したかどうかを正確に知ることはできない。そのため、遅れ時間の算出にあたっては直近バス停を通過したものと仮定して計算を行う。

運行ダイヤにおける直近バス停の通過時刻を t_x 、直近バス停の直後のバス停の通過時刻を t_y とする。また、各バス停からバスまでの直線距離をそれぞれ x 、 y とおく。図 3 に例を示す。この場合は直近バス停が B バス停、直近バス停の直後のバス停が C バス停となる。

遅れの算出はまず、バスが現在走行中の区間（この場合 B バス停から C バス停の間）において進んでいる割合を求める。次に、その割合よりバスの現在位置の運行ダイヤにおける本来の通過時刻を求める。そして、その通過時刻と現在時刻の差が遅れとなる。

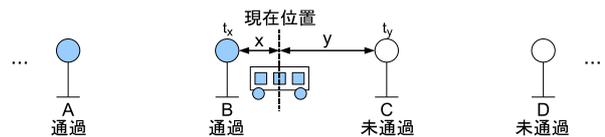


図 3: 遅れの算出

バスが現在走行中の区間において進んでいる割合 p は式 1 で表される。

$$p = \frac{x}{x + y} \quad (1)$$

これより、バスの現在位置の運行ダイヤにおける本来の通過時刻 t_p は運行ダイヤにおける直近バス停の通過時刻に、走行中の区間の所要時刻に進度の割合を掛けた時間を足して求める。これは式 2 で表される。

$$t_p = t_x + (t_y - t_x)p \quad (2)$$

なお、時刻の計算をする際は時を h 、分を m として式 3 で表される整数 t を用いて計算を行う。

$$t = h \times 60 + m \quad (3)$$

従って、運行ダイヤに対するバスの遅れ t_d は式 4 に示すように、本来の通過時刻 t_p と現在時刻 t_{now} との差を求めることによって算出される。

$$t_d = t_p - t_{now} \quad (4)$$

3.3 バスネットワークへの遅れ時間の反映

バスネットにおける経路探索はバスネットワークと呼ばれる有向グラフを用いて行う。バスネットワークにおける各ノードは路線系統ごとのバス停を表しており、始発バス停から終着バス停までの一連の経路が繋がっている。ノードにはその路線系統におけるバスの通過時刻の一覧が記されている。エッジにはそのバス停間の所要時間が重みとして与えられている。バス停は路線系統ごとに分割されているので、1つのバス停でも複数の路線が乗り入れるようなバス停は複数のノードに分かれている。これらの同一バス停は所要時間 0 のエッジによって相互に結合している。

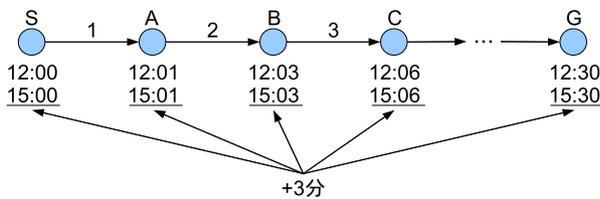


図 4: 遅れ時間適用前のバスネットワーク

運行ダイヤに対するバスの遅れ時間をバスネットワークに反映させるためには、前節によって求められる遅れ時間を該当するバスの便の全バス停における通過時刻に加える。バスネットワークに遅れを適用する前の例を図 4 に示す。この例では始発バス停が S バス停であり、終着バス停が G バス停である。この路線には 2 本の便が存在している。ここでは 15:00 発の便が 3 分遅れているものとして、これをバスネットワークに反映させる。この場合は始発バス停から終着バス停までの全てのバス停の通過時刻に 3 分を加える。これにより、バスの遅れをバスネットワークに反映させることができる。バスネットワークに遅れを適用した後の例を図 5 に示す。

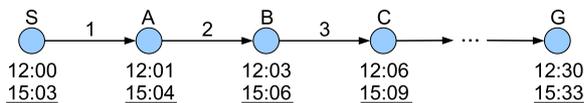


図 5: 遅れ時間適用後のバスネットワーク

4 バスロケーションシステム

バスの現在の位置を知らせるのがバスロケーションシステムである。これは、地図表示を用いたバスの位置表示とバス停通過情報の 2 つの機能からなる。前章にも示したように、バスネットでは、バス停にセンサ

などが設置されていたり、バスが運行する道路の情報がデータベースに入っていたりするわけではない。利用できる情報はバスの現在位置のみなので、バス停を通過したかどうかを正確に判定できない。バスの位置表示は単にバスの位置を地図に表示するだけなので、バスの現在位置の情報さえあればよい。しかし、バス停通過情報に関しては、バス停を通過したかどうかの判断をしなければならない。そこで、その表示に関しては複数のバス停区間のいずれかにバスがいるという表示を行う。以降にそれぞれの機能の詳細を示す。

4.1 地図表示を用いたバスの位置表示

バスに搭載されている GPS 端末からは一定間隔で、現在位置の情報がサーバに送信される。これらの情報はデータベースに追加される。地図表示を用いたバスの位置表示の機能では、Google マップ [6] を用いた Web ページによって、最後に取得したバスの位置にマークを付けてバスの位置を示す。この Web ページは一定間隔でバスの位置をサーバに問い合わせ、自動的に最新の位置に更新される。図 6 に画面例を示す。



図 6: 地図表示を用いたバスの位置表示

4.2 バス停通過情報

バス停通過情報を表示するにあたって、利用できる情報はバスの現在位置のみであるから、直近のバス停を通過したかの判断を行うことはできない。従って、バスの位置は直近バス停の 1 つ前のバス停から、直近バス停の 1 つ後のバス停までの区間のいずれかにいるという表示を行う。

図 3 に例を示す。この場合 B バス停が直近バス停となるが、B バス停を通過したかどうか判断をすることはできない。そこで、バスの現在位置は A バス停から C バス停までの区間のいずれかにいるとの表示を行う。しかし、D バス停以降のバス停で待っている人にとっては、自分のいるバス停より前の区間にバスがいることが分かるので、実用上はこれで必要な情報を提供できると考える。

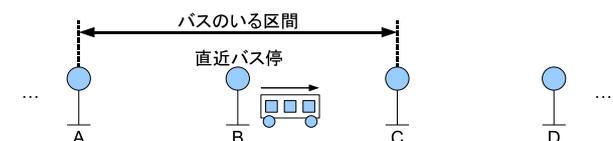


図 7: バスの現在位置の推定

図8にバス停通過情報の表示例を示す。この例では、直近バス停は「5:県庁日赤前」である。しかし、バスが直近バス停を通過したかどうかを判定することはできないので、その直前のバス停である「4:本町一丁目(鳥取市)」から直後のバス停である「6:わらべ館前」までのいずれかにいるとの表示になる。

バス停通過情報

吉岡線 7:20鳥取駅発 吉岡温泉行
(凡例: [*]通過済, [↓]通過中, [-]未通過)

1	鳥取駅
	*
2	本通り
	*
3	川端一丁目
	*
4	本町一丁目(鳥取市)
	↓
5	県庁日赤前
	↓
6	わらべ館前
	-
7	福祉文化会館前
	-
8	川端三丁目
	-
9	瓦町
	...

図 8: バス停通過情報

5 おわりに

我々は、鳥取県全域に対応した路線バスの経路探索システムを開発し運用を行っている。本研究ではこのシステムにバスの遅れを考慮した経路探索機能及び、バスの位置情報を知らせるバスロケーションシステムを開発した。バスネットでは、遅れの算出やバス停通過情報などを求めるにあたって、利用できる情報がかなり限定されている。そのため現状ではある程度の誤差が生じたり、提供できる情報量が限られている。

今後は利用できる情報が限定された上で、精度の向上が図れるようにアルゴリズムの改良を行っていきたい。また、開発した機能の実用化などを通して利便性向上を図っていききたい。

謝辞

本研究を進めるにあたり鳥取県、日本交通株式会社、日ノ丸自動車株式会社、ソنز株式会社の皆様には大変お世話になりました。関係各位の協力に感謝致します。

参考文献

- [1] : バスネット <http://www.ikisaki.jp/>.
- [2] 川村尚生, 年岡和徳, 菅原一孔: 上下バス停を同一視する路線バスデータベースからの時刻表作成について, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 8, pp. 2757-2761 (2008).

- [3] Toshioka, K., Kawamura, T. and Sugahara, K.: Web Application to Generate Route Bus Timetables, *Proceedings of the Third International Conference on Internet and Web Applications and Services*, pp. 109-114 (2008). Athens, Greece.
- [4] 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 (2005).
- [5] 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 (2007).
- [6] : Google マップ <http://maps.google.co.jp/>.