

C-021 路線バス利用援助システムのネットワーク構成法について Construction of a network of Path Planning System for Bus Network

楠神 元輝[†]
Genki Kusugami

川村 尚生[‡]
Takao Kawamura

菅原 一孔[‡]
Kazunori Sugahara

1. はじめに

鉄道などの公共交通機関で移動する際に、WWW上で、あるいはパッケージソフトとして提供されている経路探索ソフトウェア [1] を利用する人が増えてきた。経路探索ソフトウェアは、出発駅や到着駅等を入力することで、所要時間、運賃、乗換え案内などの経路情報を出力するものであり、当初は鉄道のみが経路探索の対象であった。しかし最近では、路線バスも含めた経路探索が少しずつ可能となってきている。鉄道よりも路線バスの方が経路探索の必要性は高いと言える。なぜなら鉄道では、駅の構内の路線図、運賃表から、また駅員に質問する事で上記の経路情報を入手できるが、路線バスでは入手できる情報は限られており、鉄道に比べ利用しづらい環境となっているからである。

そこで我々は、路線バス利用援助システムを開発している。これまでに、利用者が移動を開始する地点(以後、出発地と呼ぶ)から、移動の目的となる地点(以後、目的地と呼ぶ)までを移動する際に、所要時間、乗換え回数、徒歩での移動時間を指標とし、これらを減少させる経路を探索する手法を開発した。ここで、出発地からバス停まで、バス停から目的地までは徒歩での移動を考える。またバス停は設置間隔が狭いため、バス停間においても徒歩での移動が可能であると考えられる。そして、この提案手法に基づいた携帯電話から利用できる路線バス利用援助システムを作成した [2]。

このシステムでは経路探索のために、出発地、目的地、バス停を節とし、バス及び徒歩で移動する経路を辺としたネットワークを構成している。これまでは、節数を削減することが経路探索の時間減少につながると考え、同一名称を持つ上りバス停と下りバス停を区別していなかった。しかしそのため、上り下りバス停間の徒歩移動を含む経路が表示できない事が分かった。

本稿では、この問題を解決するために構築した、同一名称を持つ上りバス停と下りバス停を区別したネットワークについて述べ、その実験結果を示す。本稿の残りは以下のように構成されている。まず、2章でこれまでの我々のシステムで用いていた上り下りを区別しない路線バスネットワークとその経路探索手法を説明し、3章で新たに提案する路線バスネットワーク構成法について述べる。4章で実験結果を通じ、提案ネットワークの有効性を示す。最後に5章で結論を述べ、本稿をまとめる。

2. 上り下りを区別しない路線バスネットワークとその経路探索手法

この章では、これまでの我々のシステムで用いていた上り下りを区別しない路線バスネットワークの構成法とその経路探索手法について述べる。

2.1 上り下りを区別しない路線バスネットワーク

バス停を節、バスが運行する経路を辺とし、辺の重みを所要時間とすることで、路線バスネットワークが形成できる。同じ路線を走るバスでも時刻や曜日によっては停まる停留所の数が少ない直行便になる場合があるが、これについては一般便が通る路線とは別の路線が存在するものとして扱う。

バス停間の徒歩移動を考慮するには、バス停間を新たな辺で結び、その重みを徒歩による移動時間とする。バス停 N_1 から N_2 までの徒歩による移動時間 $T_{N_1:N_2}$ を次式で与えられるものとする。

$$T_{N_1:N_2} = [N \times d(N_1, N_2)] \quad (1)$$

ここで、 $d(N_1, N_2)$ はバス停 N_1 から N_2 までの直線距離、 N は徒歩速度の逆数である。

原理的には全バス停間を徒歩移動による辺で結ぶ必要があるが、徒歩による移動時間が一定以上の辺が経路に加わることは考えられないので、適当な T_1 を定め、徒歩による移動時間が T_1 以下のバス停間のみを結ぶこととする。

また、出発地と目的地も節としてネットワークに加える。原理的には、出発地から全バス停への辺、全バス停から目的地への辺が張られるべきであるが、同様に、適当な T_2 を定め、出発地、目的地とも徒歩による移動時間が T_2 以下のバス停のみと結ぶこととする。

2.2 経路探索手法

2.1 節で述べた方法で作成した路線バスネットワークのように、辺の重みが全て非負の重み付き有向グラフに対する単一始点最短路問題の解法として、ダイクストラのアルゴリズム [3] がよく知られている。

本研究ではこのアルゴリズムを、

1. 目的地を示す節の最短路推定値が決定した時点で探索を終了する
2. 動的な辺の重みに対応する

と変更し、探索に用いている。

1. は、目的地を示す節の最短路推定値が決定した後の探索は不要である事から探索時間を減少させる効果がある。

2. は、路線バスネットワークではバス停間の移動に要する時間と到着バス停での待ち時間の和が辺の重みであり、その値は現在時刻に依存して変化するため、静的には定まらないことへの対応である。ただし、この辺の重みの計算量は $O(1)$ であり、全体の計算量のオーダーは本来のダイクストラのアルゴリズムと変わらない。到着時刻によって次のバスが来るまでの待ち時間が異なる事を図1に示す例で説明する。

[†]鳥取大学大学院工学研究科知能情報工学専攻

[‡]鳥取大学工学部知能情報工学科

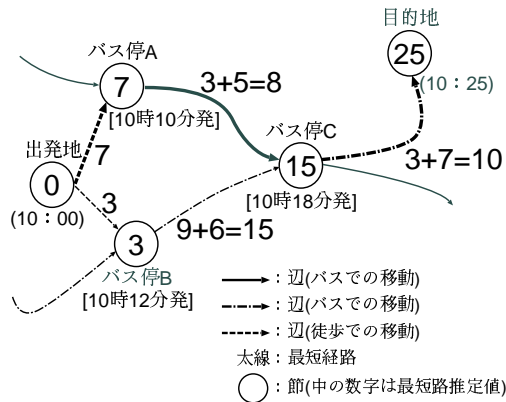


図 1: 路線バスネットワークの例

図中の○は節で、その中の数字は最短路推定値を、() 内の数字はその節への到着時刻を、[] 内の数字はその時刻に次のバスが発車することを表す。

いま、出発時刻を 10 時 00 分とすると、バス停 A に到着する時刻は 10 時 07 分である。バス停 A では 10 時 10 分にバスが出ることから、ここでの待ち時間は 3 分であり、バス停 A からバス停 C までの所要時間は $3 + 5 = 8$ 分となる。同様にバス停 C から目的地までの所要時間は $3 + 7 = 10$ 分となる。

同じ路線バスネットワークで、出発時刻を 10 時 05 分に変更した場合を図 2 に示す。この場合、バス停 B においてのみ待ち時間が生じる。出発時刻が 10 時 05 分のとき、バス停 B に到着する時刻は 10 時 08 分である。バス停 B では 10 時 12 分にバスが出ることから、ここでの待ち時間は 4 分であり、バス停 B からバス停 C までの所要時間は $4 + 6 = 10$ 分となる。

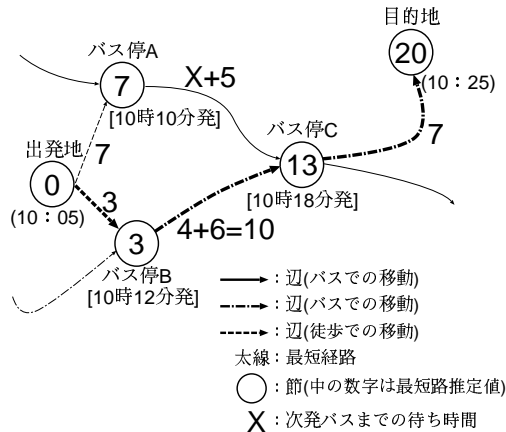


図 2: 路線バスネットワークの例 2

以上のように、バス停への到着時刻によって次のバス停までの所要時間は動的に変化する。そこで、到着時刻とバス停毎の時刻表から待ち時間を計算し、辺の重みを動的に決定できるようにした。

3. 上り下りを区別した路線バスネットワーク構成法

3.1 上りバス停と下りバス停を区別していないネットワークの問題点

同一名称を持つ上りバス停と下りバス停を区別しない場合、以下の 2 つの問題が生じる。

問題 1: 図 3 を用いて説明する。この図は、路線 1 から路線 2 に乗り換える場合を示している。図 3(a) の α_u と α_d は同一名称の上りバス停と下りバス停である。図 3(a) に示すように現実には、路線 1 のバス停 α_u でバスを降り、 α_u から路線 2 のバス停 α_d まで所要時間 W で移動し、そして α_d からバス路線 2 に乗る事になる。対して図 3(b) の上り下りを区別していないネットワークでは、上りバス停と下りバス停を一つとして扱っているため、徒歩での所要時間 W が存在しない。したがって、 α で乗換えを行うという経路が出力されるが、実際には α に路線 2 は通っていないので、 α で来ないバスを待ち続ける事になる。

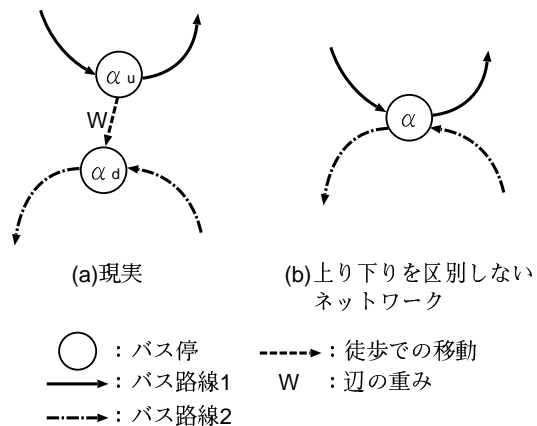


図 3: 問題 1

問題 2: 図 4 を用いて説明する。この図は、上り線の α_u から下り線の β まで移動する場合を示している。 β は上り線には存在せず、下り線のみ存在するバス停である。図 4(a) の α_u と α_d 、 γ_u と γ_d はそれぞれ同一の上りと下りのバス停名である。

図 4(a) に示すように現実には、上り線のバス停 α_u から γ_u までバスで移動し、 γ_u でバスを降り、 γ_u から下り線のバス停 γ_d まで徒歩で移動し、 γ_d から β までバスで移動する事になる。対して図 4(b) の上り下りを区別していないネットワークでは、上りバス停と下りバス停を一つのバス停として扱っているため、 γ_u から γ_d への徒歩での移動が存在せず、その結果、 α から β へ直接移動するかの様な経路が表示される。この問題は、上り線、下り線のどちらか片方しか路線が通っていないバス停が存在するという路線バス特有の例である。

3.2 上り下りを区別するネットワークの構成法

本研究では、バス停の名称よりバス停の区別をつけている。そのため、上りバス停と下りバス停を区別したネットワークを構成するには、バス停の名称を区別する必要がある。

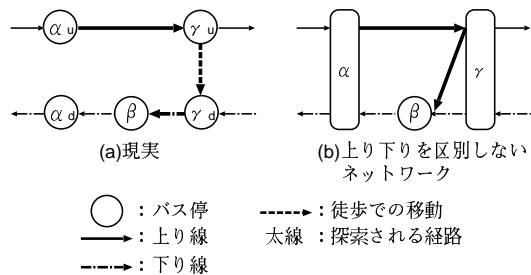


図 4: 問題 2

上りバス停と下りバス停を区別するには、バス路線がどの方向に向かっているかという情報が必要となる。本稿では、地図を基にバス路線がどの方向に向かっているかを把握し、バス停が道路の両側に存在する場合は、バス停の名称の直後に「A」や「B」などの文字列を付加する。また片側にしか存在しない場合には、名称の変更を行わない。上りバス停と下りバス停間の所要時間は、ここでは最大値をとって一律に5分とした。

4. 実験

4.1 データ

システムで扱うデータは、各路線上のバス停の名称と、バス停間の所要時間を取めた「路線データ」、各路線の始発バス停の出発時刻を取めた「時刻表データ」、全バス停のバス停の名称、緯度および経度を取めた「座標データ」の3種類である。「路線データ」と「時刻表データ」は、路線毎に分けられた各278個のファイルから構成されており、「座標データ」は1つのファイルである。また、「路線データ」と「時刻表データ」に関しては、鳥取県の日ノ丸バスと日交バスのデータを基に作成した。「座標データ」は、GPS受信器を用いて鳥取県東部に存在する915個のバス停の座標を測位し、作成した。

4.2 経路探索実験 1

同一名称を持つバス停を上りバス停と下りバス停を区別する事で、経路にどのような変化が現れるか確認するため実験を行った。

なお、2.1節の N は $1/30$ 、 T_1 は 10 、 T_2 は 10 とした。 T_1 および T_2 の値は、バス停が見つからない場合、見つかるまで 10 ずつ増やしていく。

入力条件は出発地を「市立稲葉山小学校」、到着地を「市立南中学校」、出発時刻を08時10分とし、上り下りを区別していないネットワークの探索例を図5に、上り下りを区別しているネットワークの探索例を図6に示す。

上り下りを区別していないネットワークの経路ではバス停『内吉方』で乗換えを行っているが、実際には0分で乗換えを行う事は不可能である。そのため、このバス停で8時22分の便に乗る事はできず、次の便は13時37分である事から、目的地に到着する時刻は13時53分となる。対して、上り下りを区別しているネットワークの経路では、8時41分に目的地に到着するので、区別しているの方が早く目的地に行く事が可能である。それぞれの経路を比較した図7を示す。

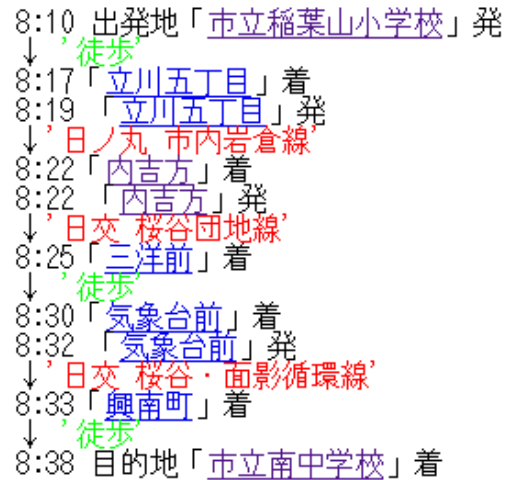


図 5: 上り下りを区別していないネットワークの探索例

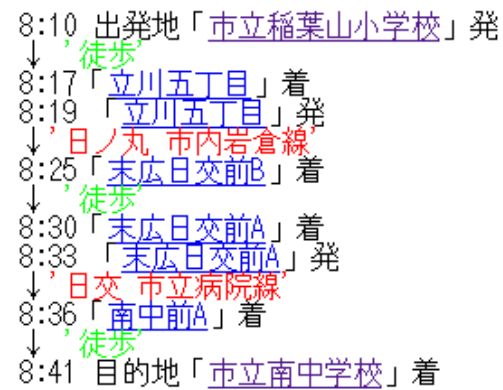


図 6: 上り下りを区別しているネットワークの探索例



——— : 上り下りを区別していない探索の経路
 - - - - - : 上り下りを区別している探索の経路

図 7: 経路の比較

4.3 経路探索実験 2

次に出発地を「川端3」, 到着地を「福祉文化会館」, 出発時刻を07時05分とした時の, 上り下りを区別していないネットワークの探索例を図8に, 上り下りを区別しているネットワークの探索例を図9に示す.

```

7:05 出発地「川端3」発
↓ 徒歩
7:11 「川端三丁目」着
7:13 「川端三丁目」発
↓ 日交 若桜線
7:28 「福祉文化会館前」着
↓ 徒歩
7:30 目的地「福祉文化会館」着

```

図8: 上り下りを区別していないネットワークの探索例

```

7:05 出発地「川端3」発
↓ 徒歩
7:11 「川端三丁目A」着
7:13 「川端三丁目A」発
↓ 日交 若桜線
7:16 「わらべ館前A」着
↓ 徒歩
7:21 「わらべ館前B」着
7:27 「わらべ館前B」発
↓ 日交 若桜線
7:28 「福祉文化会館前」着
↓ 徒歩
7:30 目的地「福祉文化会館」着

```

図9: 上り下りを区別しているネットワークの探索例

図8の経路では, 3.1節の問題2が起こっている例である. 上り下りを区別していないネットワークでも, バス停『川端三丁目』→バス停『わらべ館』(乗換え)→バス停『福祉文化会館前』という経路を得ている. しかし上り線, 下り線の区別をしていないため, 直接バス停『川端三丁目』からバス停『福祉文化会館前』に移動する経路表示になっている.

図9の経路では, 上り下りを区別しているためバス停『わらべ館A』から『わらべ館B』という経路が存在する. 同様に, 上り下りを区別しているため一つのバス停に上り線, 下り線の両線が通る事はなく, 乗換え表示が正しくできている.

5. おわりに

本稿では, 路線バスネットワークにおいて, 同一名称を持つ上りバス停と下りバス停を区別したネットワークを構成し, このネットワークを用いた路線バス利用援助システムについて述べた. また, 同一名称を持つ上りバス停と下りバス停を区別したネットワーク, 区別していないネットワークを用いた探索実験を行い, 経路に変化が現れるか確認した. 実験結果より, 同一名称を持つ上りバス停と下りバス停を区別しているネットワークでは, 区別していないネットワークで発生していた時間的に不

可能な乗換えを行う, また誤った表示を出力するという問題が解決されている事がわかった.

同一名称を持つ上りバス停と下りバス停を区別しているネットワークを用いた探索の探索時間について検討する事が今後の課題である.

参考文献

- [1] 株式会社ヴァル研究所. 駅すばあとワールド. <http://www.ekiworld.net/>.
- [2] 楠神元輝, 川村尚生, 菅原一孔. 徒歩移動を考慮した路線バス利用援助システムについて. 電気学会研究会資料, pp. 45-50, 3 2004.
- [3] T. カルメン C. ライザーソン R. リベスト. アルゴリズムイントロダクション, 第2巻, 第25章. 近代科学社, 1995.