

シミュレーションによるデマンドバスにおける有用性の考察 都市サイズによる有用性の変化

Evaluation of Usefulness of Dial-a-ride system by Simulation

- Case Study on Various City-size -

平田 敏之^{*1} 野田 五十樹^{*1*2} 太田 正幸^{*2} 篠田 孝祐^{*1*2}
Toshiyuki Hirata Itsuki Noda Masayuki Ohta Kosuke Shinoda

^{*1} 北陸先端科学技術大学院大学 Japan Advanced Institute of Science and Technology
^{*2} 産業技術総合研究所サイバーアシスト研究センター
Cyber Assist Research Center
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

This paper describes a result of evaluation of usefulness of dial-a-ride bus systems for various size of cities by simulation. While dial-a-ride bus systems are introduced in several towns experimentally, the usefulness of the system has not been investigated systematically. We have been evaluation of the changes of the usefulness by comparison with fixed-routes bus systems in the case of various density of demands in a fixed size town. We extend the evaluation for the various size of towns and investigate the relation between town-size and usefulness by simulation. Experiments show that the usefulness will be improved when the average distance of a demand increases according to the size of a town.

1. はじめに

デマンドバスとは利用者の呼び出しに応じて、バスが利用者の所へ行き乗降する運行システムである。従来から実地されているが、近年、より高度な IT 技術を活用し、電話やインターネット、情報キオスク端末から予約して、バスを乗りたい停留所で利用できるシステムなどが登場している。このシステムは高齢化社会、都市部の交通弱者問題、地方の過疎化問題、環境エネルギー問題などの観点からも注目されている。現在、各地で実験されているがバスの時刻表や標準ルートが定められていないフルデマンドバスは例が少なく、現状では高知県中村市ぐらいのものが実情である。デマンドバスの実験例が各地で行われているのに反して、導入があまりされていないのには様々な理由が存在するからだと考えられる。その中の大きな理由の1つとして、システムの導入における有用性がはっきりと分かっていないという点が考えられる。過去の研究[太田 02]において、人口密度が大きくなればなるほど利便性は向上するという結論を得たが、シミュレーションにおいて面積に関する影響などが未検討であった。また、面積変化における利便性の変化について実データでシミュレーションを行った例もある[境 00]。しかし、バスごとのデマンドの配分方式はデマンドの予約をためておき、バッチ処理を行う方式をとっている。そのため、やや利便性に欠けるという問題点がある。また、従来研究の多くは、巡回セールスマン問題[Bianco 94]や車輛配送問題[Bodin 83]から派生した Dial-a-Ride 問題におけるスケジューリングアルゴリズムに関するものである。この問題に関しては、類似問題を含め高速化や効率化[境 01][内村 98]についても様々研究されている。しかし本稿では、高速化や効率化については追及することを目的としない。本稿では、都市サイズの変化を中心として、デマンドバスがどのような条件の都市であれば、より有用であるのかシミュレーションを行い、比較し検討する。

本稿の構成は以下のとおりである。2 章では、今回行ったシミュレーションの条件について説明する。3 章では、都市サイズの変化におけるシミュレーションの結果の比較と考察を行い、最後に 4 章で本稿の成果を整理し、まとめる。

シミュレーションの条件について説明する。3 章では、都市サイズの変化におけるシミュレーションの結果の比較と考察を行い、最後に 4 章で本稿の成果を整理し、まとめる。

2. シミュレーション条件

本稿では、格子状に街路が通り、全ての区画は同じ大きさの正方形であるような仮想都市を、デマンドバスを運用する都市の対象とする。都市のサイズは 11×11, 11×21, 11×31 (街路数) の 3 種類とする。これは 11×11 の都市サイズを基準として、2 倍、3 倍の大きさの都市サイズを用意している。全ての交差点上にバス停があり、乗客は各バス停において、一定時間毎に一定確率で発生するものとする。また、発生するデマンドの距離の最大値は決まっており、その範囲内で一様にデマンドの距離が決定されるものとする。バスには何人でも乗ることができ、常に一定速度で運行するものとする。ただし、乗客の乗降、右左折、U ターンには時間がかからないものとする。バスを利用するよりも歩いていった方が早い場合にはバスは利用しない。また、バスの乗り換えは行わない。シミュレーションはターン制とし、全ての条件において 100 ターンで終わるものとする。

シミュレーションにおいては各バスが各々いくつかのデマンド (乗客の出発地点と到着地点のペア) を持っており、そのデマンドを達成する最適な経路を計画して運行し、各デマンドを処理していく。デマンドの配分方式はより利便性が高い以下の方法を用いている。

- リアルタイム配分方式: デマンドが発生した時点で、運行しているバスのうちそのデマンドを処理するのに最も適したバスに配分する。

一般に、このような方法で最適な配分および経路探索をする問題は、動的な巡回セールスマン問題と等価であり、完全な最適解を求めることは計算量の点で難しい。そこで今回のシミュレーションでは、以下に述べる逐次最適挿入方を用いて準最適解を求める方法を取った。

- (1) デマンドの出発地点と目的地点に分割され、各バスはこれらの経路地点のリストとして配分されたデマンドを保持している。バスが各経路地点に到着した場合には、その地点はリストから取り除かれる。また、一旦保持された経路地点の列の順序関係は変更されないものとする。
- (2) 各バスは各時点において、自分が抱えているデマンドの達成予定時刻を計算する。この到達予定時刻は、そのバスが新たにデマンドを抱えずにリストにある各経路地点を順序通り回ると仮定して計算する。
- (3) 新たにデマンドが発生した際、各バスはデマンドの出発地点および目的地点を各々現在の経路地点リストの任意の場所に挿入し、全経路地点における挿入により生じる遅延の総和を、上で求めた到達予定時刻と比較して求める。さらに、新しいデマンドの到達予定時刻も求め、この到達予定時刻と遅延の総和を挿入コストとする。出発地点と目的地点の挿入場所のペアの全ての組み合わせ(出発地点のほうが目的地点より前に挿入される)について、コストが最小となるペアを新デマンドの受け入れ候補とする。ただし、挿入により既存あるいは新しいデマンドのいずれかの締め切り時間を過ぎてしまう場合は、その挿入は候補から除外される。
- (4) すべてのバスについて上記の受け入れ候補を求め、最も挿入コストが小さくなるバスにそのデマンドを配分する。ただし、バスと徒歩の速度比は 8:1 とし、1 ターンでバスは 8 区画進み、徒歩では 1 区画進むものとする。

体的に遅らせてしまうためだと考えられる。また、デマンドの最大距離を固定させた場合は、都市サイズを大きくすればするほど平均到達時間は大きくなっている。しかし、デマンドの最大距離を増加させた場合は、都市サイズを大きくしていても平均到達時間は大きくなることはなく、やや減少している。これはバスのスケジューリングの選択肢が多い(1)と違い選択肢が少ないことから、都市サイズを大きくすることによる移動範囲が広がるというデメリットよりも、デマンドの最大距離が大きくなったことによるバスを利用するメリットの方が大きかったためだと考えられる。

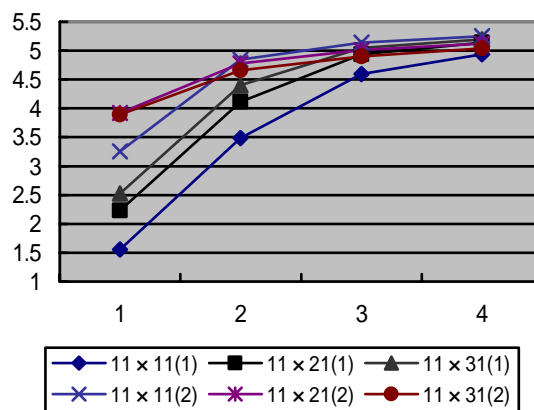


図 1 平均到達時間

3. シミュレーション結果

3.1 バスの台数を固定した場合

バスの台数を固定し、単位時間あたりのデマンド発生頻度を变化させた時の平均到達時間及びデマンド拒否率の変化を、以下の2通りの条件で行った。

(1) デマンドの最大距離を一定にした場合

全ての都市サイズのデマンドの最大距離を 10 とし、11x11 の都市サイズにおいてバスの台数を 2 台とする。都市サイズを 2 倍、3 倍とするとともにバスの台数も 4 台、6 台と变化させる。この条件においてデマンド発生頻度を变化させた場合の平均到達時間は図 1 にデマンド拒否率は図 2 に示す結果を得た。

(2) デマンドの最大距離を増加させた場合

11x11 の都市サイズのデマンドの最大距離を 10 とし、都市サイズを 2 倍、3 倍とするとともにデマンドの最大距離も 20、30 と变化させる。バスの台数は 1 台とし、都市サイズを 2 倍、3 倍とするとともにバスの台数も、2 台、3 台と变化させる。この条件においてデマンド発生頻度を变化させた場合の平均到達は図 1 にデマンド拒否率は図 2 に示す結果を得た。この結果において、平均到達時間は 11x11 の都市サイズを基準として比べる。そのため、11x21 および 11x31 の都市サイズの平均到達時間はそれぞれの平均到達時間をデマンドの平均値(10.5 及び 15.5)を 11x11 の平均値(5.5)で割った値で割って算出している。

図 1 および図 2 からデマンドの発生頻度の増加に従い平均到達時間及びデマンド拒否率は増加し、最終的にはその値は頭打ちになることが分かる。これは、デマンドがたくさん発生し、各バスが乗客を出来る限り乗せてしまうことにより到達時刻を全

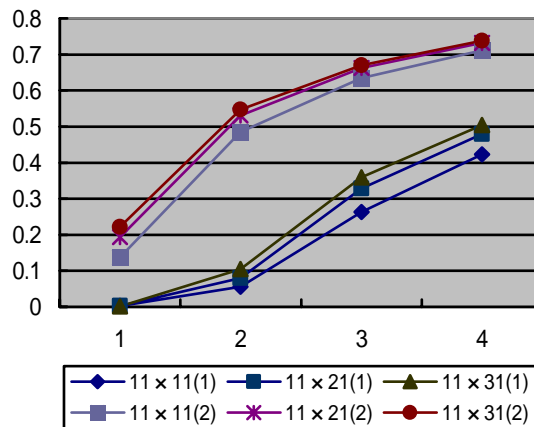


図 2 デマンド拒否率

3.2 バス 1 台あたりのデマンド頻度を固定した場合

デマンド頻度とバスの台数の比を固定し、デマンド発生頻度を变化させた時の平均達成時間及びデマンド拒否率の変化を、以下の 2 通りの条件で行った。

(1) デマンドの最大距離を一定にした場合

全ての都市サイズのデマンドの最大距離を 10 とする。バスの台数とデマンドの比は 1:1 とし、11x11 の都市サイズではバス 1 台から变化させる。都市サイズを 2 倍、3 倍とさせていくごとにバスの台数もそれに応じて増やしていく。この条件において平均達成時間図 3 にデマンド拒否率の変化は図 4 に示す結果を得た。

(2) デマンドの最大距離を都市サイズの比に固定した場合

11×11 のデマンドの最大距離を 10 とし、都市サイズを 2 倍、3 倍とするとともにデマンドの最大距離も 20, 30 と変化させる。バスの台数とデマンドの比は 1:1 とし、11×11 の都市サイズではバス 1 台から変化させる。都市サイズを 2 倍、3 倍とさせていくごとにバスの台数もそれに応じて増やしていく。この条件における平均達成時間は図 3 にデマンド拒否率の変化は図 4 に示したような結果を得た。また、平均到達時間に関しては、3.1 と同様にして出している。

図 3 および図 4 からデマンドの発生頻度の増加に従い、平均到達時間およびデマンド拒否率は減少していている。これは、バスの台数が増えることによりスケジューリングの選択肢の幅が広がり、より有用性が高くなるからだと考えられる。そのため、デマンド拒否率は急激に減少していている。また、3.1 と同様にデマンドの最大距離を固定するか大きくするかによって、都市サイズごとの平均到達時間に変化が出ている。3.1 と同様に平均到達時間が、都市サイズが大きくなっていくごとに大きくなり、むしろ一部で減少するのは、デマンドの最大距離が大きくなったことにより、バスに乗ることのメリットが大きくなるためだと考えられる。

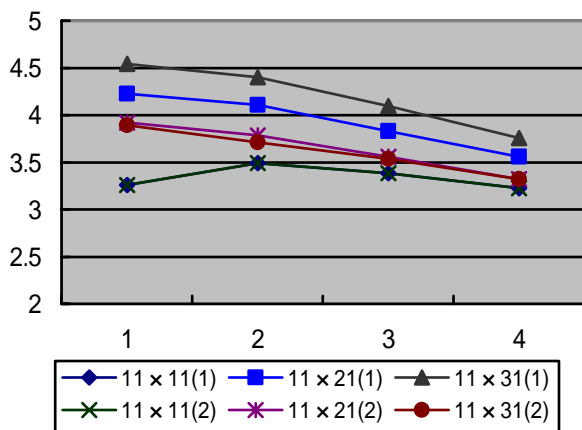


図 3 平均達成時間

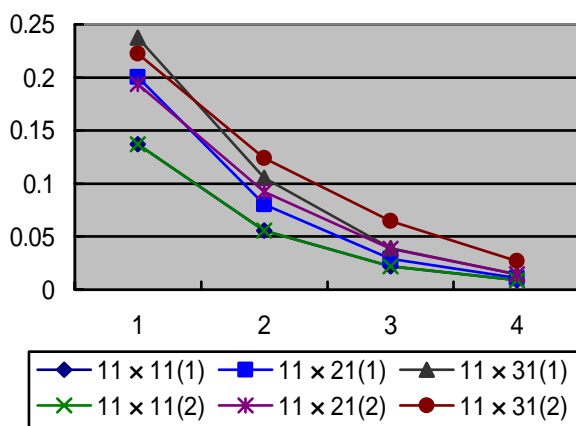


図 4 デマンド拒否率

3.3 得られた知見

今回のシミュレーション実験では大きく分けて以下の 2 つの知見が得られた。

- デマンドバスを運用する都市のサイズが大きくなるだけで、乗客の移動したい範囲が変化しない場合は、都市のサイズが大きくなればなるほど有用性は悪くなっていく。
- 乗客の移動したい範囲がデマンドバスを運用する都市の大きさに対して十分に広い場合は、都市のサイズが大きくなればなるほど有用性はよくなっていく。

4. おわりに

今回のシミュレーション実験において、都市サイズが大きくなることによって必ずしも有用性が悪くなるわけではないことが分かった。都市サイズが大きくなり、それに応じて乗客の移動したい範囲が十分に広がっていけば、逆に有用性の向上につながるという結論を得た。

今回扱ったシミュレーションにおいては、デマンドの発生が一定時間毎に一定確率で決まった数だけ発生していた。しかし、実際の都市では朝や夜などの通勤時などによって発生数に変化が出てくる。また、場所による発生頻度の差もある。そのため、デマンドの発生パターンについても色々を用意する必要があると考えられる。今後はそのような条件についても考えていきたい。

参考文献

[太田 02] 太田正幸, 篠田孝祐, 野田五十樹, 車谷浩一, 中島秀之: 都市型フルデマンドバスの実用性, 高度交通システム研究会, 情報処理学会, 2002.

[境 00] 境周平, 若林竜太, 内村圭一: デマンドバスの運用面積に関する考察, 高度交通システム研究会, number2, pages19-24, 情報処理学会, 2000.

[Bianco 94] L.Bianco, A.Mingozzi, S.Ricciardelli, and M.Spadoni, Exact and heuristic procedures for the traveling salesman problem with precedence constraints, based on dynamic programming, INFOR, volume32, pages19-31, 1994

[Bodin 83] L.D.Bodin, B.L. Golden, A.Assad, and M.O.Ball, Routing and scheduling of vehicles and crews: the state of the art, Computers and Operation Research, 10:63-211, 1983

[境 01] 境周平, 内村圭一: Dial-a-Ride システムに用いる最短路計算の高速化, 電気学会道路交通研究会資料, RTA-01-34, 2001.

[内村 98] 内村圭一, 斉藤隆司: 公共サービスにおける Dial-a-Ride 問題, 電子情報通信学会誌 A, J-81-A(4):599-600, 1998