

電子連結車両を用いた端末交通システムにおける 運行スケジュールの最適化手法

根本 晃輔* 長谷部 浩二† 加藤 和彦†

* 筑波大学 情報学群 情報科学類

† 筑波大学大学院 システム情報系 情報工学域

1 背景と目的

今日の公共交通システムは、電車や長距離バスなどに代表される基幹交通システムと、それらの駅と旅客の出発地・目的地を接続する端末交通システムから構成されている。しかしながら、端末交通システムには、乗り換えに時間を要することや、旅客の需要がある多数の停留所のそれぞれで乗降に時間を要し、速達性が失われてしまうことなどの問題点が存在する。

こうした問題を解決するために、著者らは、電子連結により隊列走行可能な車両を用いた端末交通システムの開発を進めている [1]。その最大の特徴は、運行中に動的な電子連結および切り離しを行う車両を用いることで、旅客の移動リクエストに基づき動的に車両編成を組み替えながら運行可能であり、交通網内における旅客の車両間の乗り換えが不要となる点にある。

本交通システムでは旅客の移動リクエストを逐次受け付け、それらを反映した運行経路を車両ごとに設定することが可能である。この特徴を活用するために、このような端末交通システムに対する車両編成の組み換えおよび走行経路の決定からなる運行のスケジューリングを行う必要がある。

このような問題については、旅客が車両間を乗り換え可能な場合の研究が既に Bögl らによって行われている [2]。しかし、旅客の乗り換えを行わず、複数の旅客が乗車している車両の編成を組み換える交通システムでは、既存の手法を適用することは困難である。

本研究では、上で述べたような、旅客の移動リクエストを逐次受け付け、動的な車両の行先の設定と車両編成の組み換えを行って端末交通システムを対象に、リアルタイムで旅客の移動時間を最適化する手法を提案する。また、単純な形の交通網を仮定し、従来の交通手段との間で、旅客の移動時間と最短所要時間との差である遅延時間を比較したシミュレーションによってその有用性を示す。

2 先行研究

この交通システムは、複数の乗客の移動リクエストとして出発地・目的地・移動したい時刻の組み合わせが与えられ、それらをできるだけ多く満たせるように車両を運行するというモデルである。その運行スケジュールおよび運行経路の最適化問題は dial-a-ride problem として知られており、既にいくつかの研究 [2][3] がなされている。これらの研究は、旅客の乗り換えを前提とした交通システムの経路設定およびスケジューリング手法や、探索経路数の削減に基づく並列化・高速化の手法を提案しているものである。

一方で、本交通システムは旅客が乗換えを行わず、動的に車両編成を組み替えて走行するという特徴があるため、このような既存手法を全体に対し適用することは困難である。

3 提案手法

3.1 前提

本交通システムの交通網について、図 1 のような複数のローカルエリアと、それらを結節点とよばれる 1 つの停留所で相互に接続する 1 つの幹線ルートが構成していると仮定する。ローカルエリアは周回経路であり、幹線ルートは周回経路以外の経路が存在可能である。

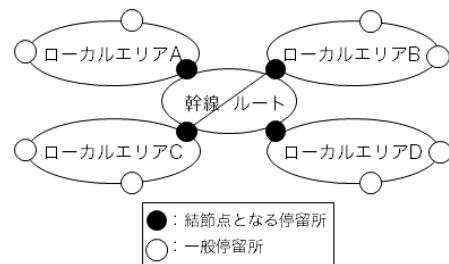


図 1: 交通網の例

本交通システムにおいては、隊列走行を行う電子連結車両を用いる。車両には先導車両と後続車両の 2 種類が存在し、先導車両は後続車両を電子連結により牽引し交通網内を走行する。後続車両が単独で、あるいは後続車両のみの車列によって交通網内を周回することはない。また、先導車両は同じエリア内を周回し、それぞれに行先が設定された後続車両を結節点で組み替える。

3.2 最適化の対象

本提案手法は、旅客全体の集合 R に属する各旅客 r の実際の移動時間 $time(r)$ と最短所要時間 $taxi(r)$ に対し、各旅客の実際の移動時間と最短所要時間の差として表される遅延時間 $over(r) = time(r) - taxi(r)$ の最小化を全体の目的関数と置く。また、旅客の移動についてはそれぞれの最短所要時間 $taxi(r)$ をもとに待機の上り時間 $wait_u(r)$ を設定し、常に $over(r) < wait_u(r)$ となるように配車を行う。したがって、(1) 目的関数 および (2) 最も基本的な制約条件は

$$\text{Minimize } overtime(R) = \sum_{r \in R} over(r) \quad (1)$$

$$\text{Subject to } over(r) < wait_u(r) \quad (2)$$

An Optimization Method for Last Mile Transport with Electrically-Connected Platooning Vehicles

*Kousuke Nemoto, University of Tsukuba, College of Information Science.

†Koji Hasebe, Kazuhiko Kato, University of Tsukuba, Faculty of Engineering, Information and Systems, Division of Information Engineering

と定義される。

ここで、後続車両の組み換えを行った際には、それぞれの新しい行先も同時に設定するものと仮定する。この仮定と前提より、最適化問題を考える上では、以下の3つのアルゴリズムが必要となる。

1. 幹線ルートを行く先導車両について、次の行先を決定するアルゴリズム
2. 先導車両が各結節点に到達した際に、そのエリアの次の周回で連結する車両を選択するアルゴリズム
3. ローカルエリアを行く先導車両が連結した後続車両について、それらの次の行先を決定するアルゴリズム

これらのアルゴリズムを、次節で説明する。

3.3 最適化アルゴリズム

1. 幹線ルート内走行経路の決定

幹線ルート上を移動する先導車両は、1経路を移動するごとに、次の経路を最も効率よく移動できるように次の行先を設定する。ここで、停留所の集合を S 、後続車両の集合を F とおき、次に向かう停留所 s' と連結するべき後続車両の集合 F' を求めるための目的関数 eff を下(3)式の通り定義する。ここで、関数 eff は、 s から s' への1回の移動における移動効率を求める関数として定義され、この値が大きいほど、同じエリアを行先とする旅客をより多く目的地の近くまで運べたことになり、また、それぞれのキャビンの目的地から離れる運行をしていないということがわかる。なお、 $taxiroute(s, s')$ は2停留所 s, s' の最短所要時間を返す関数であり、 $let(s, F)$ は F 内のすべての車両の乗客の s からそれぞれの目的地までの最短所要時間の総和を返す関数である。

$$\text{Maximize } eff(s, s', F') = \frac{let(s, F') - let(s', F')}{taxiroute(s, s')} \quad (3)$$

幹線ルート内の各停留所では、このように得られた F' を連結し s' に向かうことで、最も効率の良い運行が可能になる。

2. 連結する後続車両の選択

先導車両が結節点に到達した際、結節点で新たな後続車両を連結した際、それらの後続車両について新しい行先を設定する必要がある。最適な運行のためには、行先設定の際にこれから走行するエリア内で発行されているリクエストを参照し、制約条件に違反しない範囲でできるだけ多くのリクエストを乗車させる必要がある。旅客の移動に際し、 $wait_u(r) > wait_e(r)$ なる範囲でリクエストの回収目安時間 $wait_e(r)$ を設ける。ここで、 $over(r) > wait_e(r)$ となるリクエスト r が乗車している車両は、車両編成の組み換えの際に優先して連結される。

3. 後続車両の行先設定

ローカルエリア内を走行する先導車両が結節点に到達したとき、2.のように連結された車両について、エリア内で発行されている未配車の旅客のリクエストに基づき行先の変更を行う。その際、同様に $over(r) > wait_e(r)$ となるリクエスト r に対し優先的に配車を行う。

なお、 $over(r) > wait_e(r)$ となるリクエスト r が存在しない場合、先導キャビンに連結されていて新規の行先が設定されていない車両があれば、車両の空席数を最小化するために、リクエストの多い行先から順に車両の行先を設定する。

4 シミュレーション

提案手法が既存の交通機関と比較して旅客の遅延時間を短縮するのに有効であることを、図1のような交通網上で次のシミュレーションを用いて評価した。

それぞれが7つの停留所から構成される4つのローカルエリアと、1つの幹線ルートから構成される交通網を仮定する。この交通網上に、1両の定員が3人であり、1両の先導車両に3両まで後続車両を連結可能な電子連結車両を合計36両用いる場合と、1両の定員が12人のバスを9両用いる場合を考える。

提案手法とバスを用いた交通との間で、旅客の遅延時間を比較した。そのグラフを図2に示す。

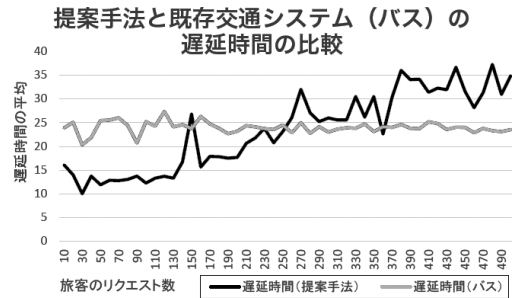


図2: 提案手法と既存手法の比較

シミュレーションの結果より、リクエスト数が概ね250未満の場合は提案手法の方が遅延時間が少なく、250以上の場合はバスの方が遅延時間が少ないということが判断できる。

このことより、旅客のリクエストの数に対し車両が十分に存在する場合、既存の交通システムより旅客の移動にかかる遅延時間を短縮可能であると考えられる。一方で、旅客のリクエストの数に対し車両が少ない場合、既存の交通システムが優位であるという結果となった。

したがって本交通システムの運行スケジューリングに際しては、車両の台数を十分に設定する必要があると考えられる。これは提案手法において、旅客がそれぞれの目的地に直接移動できる車両にしか乗らないという仮定を設けていることに起因していると考えられる。また、提案手法により、既存の交通手法において旅客が行っていた平均で1.4回の乗り換え回数を削減した。

5 結論と今後の課題

本研究を通して、旅客のリクエストに対し車両が十分に存在する場合については提案手法の有用性が示された。一方で、リクエストが車両に対し多く存在する場合は、先導車両の移動に関する制約などを緩和し、また、空車となった車両を他のエリアに配送する手法を構築することにより、現状より効率の良い運行を行うことができると考えられる。

参考文献

- [1] 長谷部浩二, 他. 隊列走行可能な端末交通システムにおける旅客輸送方式, 日本ソフトウェア科学会, 第33回大会, 2016
- [2] A. Attanasio, et al. Parallel Tabu search heuristics for the dynamic multi-vehicle dial-a-ride problem, *Parallel Computing* vol.30-3, pp.377 - 387, 2004.
- [3] M. Bögl, et al. The School Bus Routing and Scheduling Problem with Transfers. *Networks*, vol.65, no.2, pp.180-203, 2015.