

デマンド・バスのルート探索について

阪急電鉄 正 員 ○青木和善

1. まえがき

バスが対象地域内の街路網上のどのルートを通して運行するかは、そのバスにわりあてられた客の乗降地点によって決定される。そこでどの順序で客を乗降させていくかが問題となる。ルート探索のアルゴリズムがいかなる状況においても最適解を与えるならばそれは理想的であるが問題があまりにも複雑なため最適化を定式化できないこと、かりに定式化できたとしても、それが実用的な時間内に解けないことにより不可能である。例えば、One-to-Many型の輸送パターンに限ればルート探索の問題がトラック配車問題に帰着できる。しかしながらこれにより求めた結果がシステム全体として最適解であるかどうかについては何んらの保証もない。なぜならデマンド・バスのように確率的で動的なシステムにおいて、つぎに発生するであろう事象について考慮することなく最適解を求めることはできないからである。また実用的な時間内に解くことも不可能である。そこで最適解ではないが十分に妥当性のある解を求めることになる。

2. ルート探索のアルゴリズム

このアルゴリズムは(1)ルート変更、(2)受け入れチェック、(3)バスわりあて、の三つの部分に分けられる。

(1) ルート変更 新しいデマンドが発生したとき、あるバスがそのデマンドを受け入れるとすれば、そのバスは予定ルートを変更しなければならない。このルート変更については従来のルートの一部を修正して新デマンドの乗降地点を組み込むものとする。デマンドの受け入れはそのバスの乗客および予約客のそれぞれに時間的損失を与える。ここでは、この損失が少なくなるようにバスは予定ルートからなるべく逸脱しないように運行させる。

(2) 受け入れチェック 運行中の全バスについて前項のルート変更により新デマンドを受け入れるときの新しいルートを求められるが、各地点には遅くともいつまでには到着していなければならないといった時間的制約があるので、求められたルートがこの制約条件を犯しているか否かをチェックしなければならない。いま地点*i*におけるバス乗車人数を n_i 、予想到着時刻を t_i^E 、最遲到着時刻を t_i^L とすると、制約条件は $n_i \leq C \cdots (1)$ 、 $t_i^E \leq t_i^L \cdots (2)$ (C : バス定員) となる。ここでPERTの考えを用いて $S_i = t_i^L - t_i^E$ とおくと、 S_i はトータル・フロートに相当し、これが0のときにはクリティカル・バスに相当して、地点*i*に到着するまでは寄り道を許されないことを示す。またフリー・フロートに相当するものとして $P_i = \min_{j=1, n} S_j$ を定義すると、これは予定ルート上のどの地点に対してもその許容時間制約を破ることなしに区間 $i-1, i$ において使用できる余裕時間である。以下に受け入れチェックのアルゴリズムを列記する。(n : 乗降地点数)

Step 1. $i=1, 2, \dots, n+1$ について、 $t_{i-1}^E + d_{i-1}^0 \leq t_i^L < t_i^E + d_i^0$ を満足する*i*を求め*i*₁とする。
ただし、 d_i^0 は地点*i*とデマンドの乗車地点との距離で、 $t_0^E=0$ 、 $t_{n+1}^E=\infty$ 、 $d_{n+1}^0=\infty$ 。

Step 2. $i=1, 2, \dots, i_1$ について、 $e_i^0 \leq p_i$ を満たす e_i^0 のうち最小値を e_0 とし、そのときの i の値を i_0 とする。ただし e_i^0 は区間 $i-1, i$ に新地点を挿入する場合の逸脱距離で、 $e_{n+1}^0 = d_n^0$ 、 $p_{n+1} = \infty$ 。ここで求めた i_0 が $i_0 \leq n$ ならば Step 3.へ、 $i = n+1$ ならば Step 7.へ、また i について、すべて $e_i^0 > p_i$ ならば受け入れ不可能として終了する。

Step 3. $i = i_0, i_0+1, \dots, n+1$ について、 $t_i^E = t_i^E + e_0$ 、 $t_{i-1}^E = t_{i-1}^E + d_{i-1}^0$ 、 $S_i' = S_i - e_0$ 、 $d_{i-1}^0 = d$ 、 $P_i' = p_i - e_0$ 、 $e_{i_0}^0 = d + d_{i_0}^0 - d_{i_0}^0$ を計算し、すべての i について $S_i' \geq 0$ かつ $n_{i_0}+1 \leq C$ ならば Step 4.へ、そうでなければ受け入れ不可能として終了する。（ d : デマンド乗降地点間距離）

Step 4. $i = i_0, i_0+1, \dots, n+1$ について、Step 1.と同様に $t_{i-1}^E + d_{i-1}^0 \leq t_i^E < t_i^E + d_i^0$ を満たす i を求め i_2 とする。満たすものがなければ受け入れ不可能として終了する。

Step 5. $i = i_0, i_0+1, \dots, i_2$ について、Step 2.と同様に e_0 を求める。ただし $e_{n+1}^0 = d_n^0$ 、 $i_0 \leq n$ ならば Step 6.へ、 $i_0 = n+1$ ならば $e_0 = d_n^0$ 、 $i_0 = n+1$ とし受け入れ可能として終了する。すべての i について $e_i^0 > p_i$ ならば受け入れ不可能として終了する。

Step 6. $i = i_0, i_0+1, \dots, n$ について、 $S_i'' = S_i' - e_0$ を計算し、すべての i について $S_i'' \geq 0$ ならば Step 8.へ、そうでなければ受け入れ不可能として終了する。

Step 7. $t_n^E + d_n^0 + d \leq t_0^E$ ならば、 $e_0 = d_n^0$ 、 $e_0 = d$ 、 $i_0 = n+1$ 、 $i_0 = n+2$ とし、受け入れ可能として終了する。 $t_n^E + d_n^0 + d > t_0^E$ ならば受け入れ不可能として終了する。

Step 8. $i = i_0+1, i_0+2, \dots, i_0$ のすべてについて $n_{i_0}+1 \leq C$ ならば、受け入れ可能、そうでなければ受け入れ不可能として終了する。

(3) バスわりあて 受け入れ可能なバスが2台以上ある場合、どのような規準でバスを選択するか問題となる。この戦略のいかんによってシステムの良否の決定に大きな影響を及ぼす。ここではつぎの4つの戦略について考慮する。

- 現在、システムにわりあてられている所要時間・待時間の増加を最小化する。
- 新デマンドの待時間を最小に維持し、かつ新デマンドの所要時間を最小化する。
- 新デマンドを受け入れることによって増加するバスの走行距離を最小化する。
- バスの乗車率を高めることによってバス台数を最小化する。

以上4つの戦略のうち、あらかじめどれをとるか決めておき、受け入れ可能なバスの中からその戦略に適合するバスに新デマンドをわりあてる。

4. あとがき

デマンド・バス・システムの成否はルート探索技術にかかっており、これはシステムのサービス能力および運営費などシステム全体の効率に直接的な効果をもたらすから、その評価・検討をおこなう必要がある。ルート探索においてどのような戦略のもとにおこないまたその戦略の違いがどのような結果をもたらすかについてはシミュレーションを通してこのアルゴリズムの検討をおこなえばよい。

参考文献 1) 兼重一郎 渡辺弘 デマンド・バス・システムのロジック

オペレーションズ リサーチ 1970年10月

2) M.I.T. Urban System Laboratory Computer Aided Routing System 1969年9月