

移動体の通過順序付けにおけるタブーサーチの改良

Improvement of Tabu Search for Objects Ordering

澤田めぐみ† 白石将† 尾崎敦夫† 松村寛夫‡
 Megumi Sawada Masashi Shiraiishi Atsuo Ozaki Nobuo Matsumura

1. はじめに

複数の移動体が関与する交通システムでは、同一領域を移動体間で共有して通過することが多い。このような領域への入域点では、移動体間の通過順序付けが必要であり、一般に先着順方式が採用されることが多い。先着順方式は、移動体間の公平性が確保できるとの利点がある。しかし、先着順方式を適用する場合、先行する移動体に遅延が発生すると後続の移動体に遅延が伝播し、交通全体として大きな遅延が発生する危険性がある。そこで、公平性を大きく損なわない範囲内で先着順からの順序入替えを許容し、総遅延時間（全体の遅延）を最小化する順序入替え方式を提案している[1]。提案方式では、順序付けの決定に、最適化手法の1つであるタブーサーチ(TS:Tabu Search)[2]を用いている。TSは、解を一つ保持し、その解を少し変化させた近傍解集合の最良解を選択することを繰り返すことで評価値の良い解の探索を行う。その際に、探索のループを防ぐため、選択した最近の解の生成方法に関する情報（タブー属性）をタブーリスト（短期記憶）に記憶し、一定期間、その属性を持つ解の選択を禁止する。このようにして、TSは局所最適解に陥ることを防ぎ、探索の多様化を図る。提案方式を簡単なシナリオで評価したところ、先着順方式と比べ、公平性を大きく損なわない範囲で総遅延時間を約20~50%に抑制する効果があることを確認した[1]。

本稿では、提案方式で利用するTSの性能向上を図るべく、長期記憶[2]を導入した結果について述べる。

2. 想定する交通モデル

本稿では、入出域点各1点の共有領域（図1）を複数の移動体が通過するにあたり、出域時に所与の規定間隔を遵守する交通を想定する。ここで、規定間隔を満たすための調整法としては、「共有領域における速度調整」と「待機場所の利用（定められた待機時間か、その整数倍の時間だけ、そこで待機可能とする）」があるものとする。

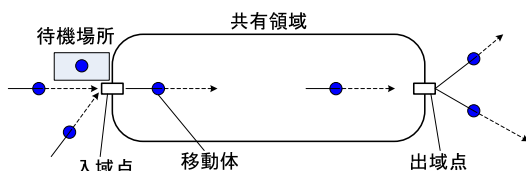


図1 想定する交通モデル

3. 順序入替え方式

順序入替え方式（提案方式）は、移動体の共有領域への入域順序を、待機場所を利用して先着順から入れ替えるこ

とにより、遅延伝播を解消し、総遅延時間の最小化を図る方式である。この順序入替えには最適化手法であるTSを利用する。まず、提案方式の処理の流れを述べた後に、提案方式で利用するTSへの長期記憶の導入について述べる。

処理の流れ

- 提案方式は、以下のループ処理を規定回数だけ繰り返し、評価値が最も良いスケジューリングを採用する（図2）。
- (1)「移動体の順列」および対応する評価値に基づき、最適化手法を用いて、新たな順列を複数生成する。
 - (2)スケジューラは、最適化手法が出力する各順列に関し、先頭の移動体から順に1台ずつ出域時刻を計算し、その時刻を時間軸上に割り当てていく。その際、スケジューリング済みの移動体との規定間隔制約を違反する場合は、待機場所を利用して当該移動体の入域時刻を遅らせ、再度、出域時刻の計算と割り当てを試みる。
 - (3)生成された複数の移動体スケジューリングのそれぞれの評価値を算出する。

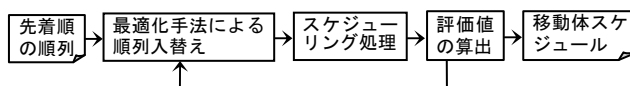


図2 順序入替え方式の処理の流れ

上記手順(3)において、移動体スケジューリングの評価値は、公平性も考慮した総遅延時間の最小化を行うために、式(1)に示す評価関数を利用して算出する。

$$F = (\text{総遅延時間}) + \alpha \times (\text{公平性の損失}) \quad (1)$$

α : 最適化項目トレードオフ調整用パラメータ

式(1)中の公平性の損失は「先着順から最も順序が遅れた移動体の順序差」として算出する。順序差とは、「先着順方式での出域順序と提案方式での出域順序の差」を示す（例えば、先着順方式で生成された移動体スケジューリングでは2番目に出域予定であった移動体が、提案方式で生成された移動体スケジューリングでは5番目に出域予定となった場合は、順序差は3となる）。また、式(1)の α は、最適化項目のトレードオフ調整用パラメータである。この α の値を大きくするほど、公平性を保つことを考慮する度合いが大きくなる（評価結果は、文献[1]を参照）。

TSへの長期記憶の導入

文献[1]で用いた提案方式において、TSは短期記憶のみを利用し、以下に示す実装を行った。

- 解表現：移動体の順列（スケジューリング順序を示す）。
- 初期解：先着順の順列。
- 近傍解の生成法：現在解のスケジューリング順序をランダムに1組交換する（図3）。



図3 近傍解の生成方法

- 短期記憶への記憶内容：現在解からの遷移で選択された「スケジューリング順序の交換位置の組（図3の場合、

† 三菱電機株式会社 情報技術総合研究所, Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corp.

‡ 三菱電機株式会社 インフォメーションシステム事業推進本部, Information Systems & Network Service Group, Mitsubishi Electric Corp.

スケジューリング順序の2番目と5番目の組)」。

本稿では TS の代表的な改良手法である長期記憶 (頻度メモリ) [2]を以下の実装で提案方式の TS に導入した。

- 長期記憶への記憶内容: 現在解からの遷移で「スケジューリング順序の交換位置の各組合せ」が選択された回数。
- 探索時の長期記憶の利用方法: 探索において局所最適解から脱出する場合 (近傍解集合の中に現在解よりも良い解が存在しない場合) に、長期記憶を参照し、頻繁に選択されている解の更新内容 (順序の交換位置の組) にペナルティを与える。具体的には、解の評価値を式(2)に示す評価関数を利用して算出する。

$$F' = F + \beta \times \text{Freq}(i, j) \quad (2)$$

{

F: 移動体スケジュールの評価値 (式(1)の値)

Freq(i, j): 解の遷移で交換(i, j)が選択された回数

β : ペナルティ値調整用パラメータ

4. 評価

交通システムモデルでのシミュレーションによる最適化の評価結果を示す。

評価条件

まず、評価シナリオについて述べる。ここで、時間は任意の単位における比率とする。移動体は全部で 60 台であり、入域点に時間間隔 90 で到達する。移動体の種類は A, B の 2 種類であり、図 4 に示す順序で入域点に到達する。そして、出域点で要請される移動体間の規定時間間隔は、表 1 に示すように、連続する移動体の種類に応じて定まる (必要な規定間隔が大きいほど、移動体間で遅延が伝播し易い状況となる)。また、待機時間は、1 回の待機あたり 240 である。移動体が共有領域の移動に要する時間は 830 ~ 920 の範囲で調整可能とする。

入域点到達順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
移動体種類	A	A	A	A	A	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	B	B	B	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	B
入域点到達順序	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
移動体種類	B	B	B	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	B	A	B	A	B	B	A	B	B	

図 4 2 種類の移動体 A, B の入域点到達順序

表 1 移動体の種類に応じた出域点での規定時間間隔

前方の移動体	後続する移動体	規定間隔
A	A	100
A	B	150
B	A	50
B	B	50

評価で比較対象とした方式を以下に示す。ここで、TS の評価パラメータの設定に関し、最適化のループ処理の終了条件 1000 回、近傍解の生成数 400 個、短期記憶長 20 は、全評価で共通とする。

- TS_Short: 短期記憶のみを利用。
- TS_Long: 短期記憶と長期記憶 ($\beta=10$) を利用。
- TS_Reset: 短期記憶のみを利用し、最良解が 200 回未更新となった場合に初期解 (先着順の順列) から探索を再スタートする。この再スタートは初回 1 回のみ実施する。

評価結果

TS_Short, TS_Long, TS_Reset をそれぞれ 200 試行実行し、各試行で得られた解の評価値 (式(1)で定義した移動体スケジュールの評価値) の分布を図 5 に示す。図 5 の一は平均値を示す。図 5 より、TS_Long は TS_Short と優劣がつけ難い結果となった。一方、TS_Reset は TS_Short と比べ、評価値の平均は同程度であるが、分散を減少する効果が確認された。TS_Long が TS_Short と比べて探索性能が向上しなかった理由は、本問題の性質として、先着順に近い順序を持つ解が良い評価値を持つ傾向があり、長期記憶による多様化では、先着順の順列と大きく異なる局所最適解へ陥った場合に、局所最適解から脱出し、かつ、先着順に近い解へ探索を進めることが難しいためであると考えられる。

5. むすび

移動体の順序入替え方式において順序決定に利用する TS の探索性能の向上には、長期記憶を用いるよりも、最良解が一定期間未更新となった場合に探索を初期解 (先着順の順列) へ戻し、再スタートする方が良いことを確認した。

参考文献

- [1] 澤田めぐみ, 白石将, 尾崎敦夫, 松村寛夫, “移動体の通過順序付けにおける最適化手法の比較評価,” FIT2011 講演論文集, P217-218(第 1 分冊), 2011.
- [2] 白石洋一: 組合せ最適化アルゴリズムの最新手法, 丸善, 2002.

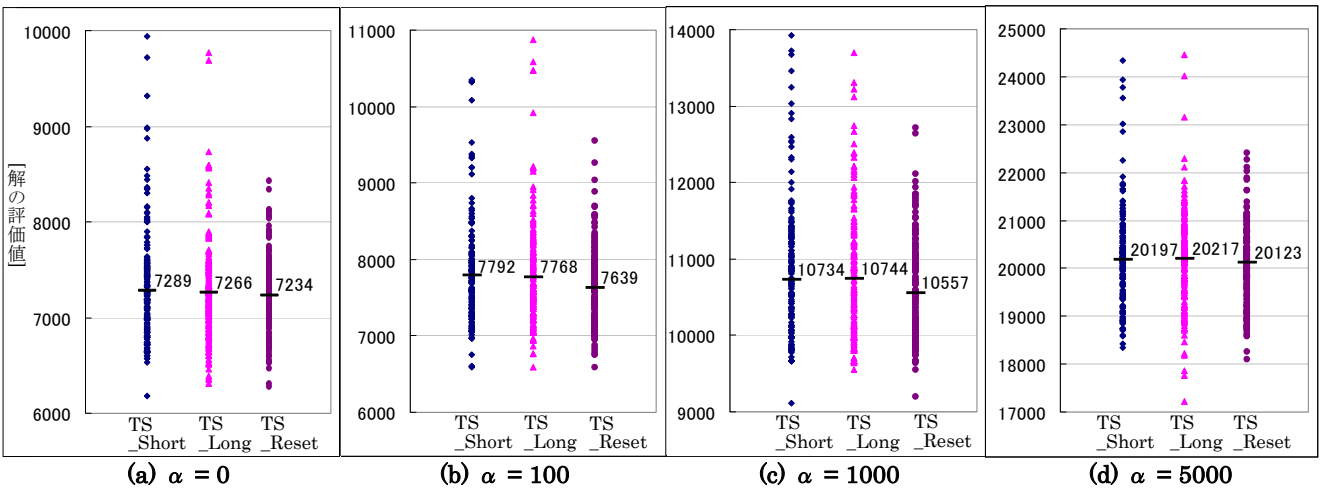


図 5 TS_Short, TS_Long, TS_Reset から得られた解の評価値 F (式(1)) の分布