

# 移動体の通過順序付けにおける公平性を考慮した遅延最小化

## Passing Objects Ordering for Delay Minimization Considering Fairness

澤田めぐみ† 白石将†  
Megumi Sawada Masashi Shiraiishi

尾崎敦夫† 松村寛夫‡  
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。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、先着順からの入替えを許容し、全体の遅延を最小化する順序を遺伝的アルゴリズム(GA: Genetic Algorithm)[1]を用いて決定する順序入替え方式を提案した[2]。GAは生物進化に基づく確率的な最適化アルゴリズムの1つであり、複数の解(個体群)を保持し、その個体群への交叉・突然変異・淘汰の遺伝的操作の適用を反復することにより、解の評価値を向上する方向に個体群を進化させる手法である。提案方式を簡単なシナリオで評価したところ、先着順方式と比較して、全体の遅延を最大半分程度、抑制する効果があることが確認できた(以後、全体の遅延を総遅延時間と呼ぶ)[2]。しかし、総遅延時間が抑制される一方、大きな遅延を被る移動体が生じることも確認された。これは、先着順を崩すことで、公平性が失われた結果と考えられる。

そこで、本稿では、公平性を考慮した総遅延時間の最小化を行うために、総遅延時間だけでなく、公平性も評価値に取り入れた多目的最適化を提案方式に対して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、入出域点が各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、出域時に指定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。

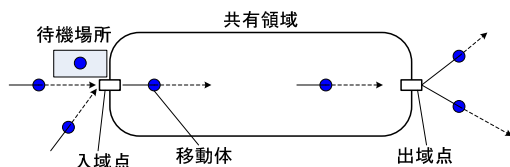


図1 想定する交通モデル

以上より、移動体スケジュールは個々の移動体の待機場所の利用状況および、(速度調整後の)出域点通過時刻で定まる。

† 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.

### 3. 順序入替え方式

[2]で提案した順序入替え方式は、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。この先着順入替えにはGAを利用する。提案方式の処理の流れを以下に示す。

#### 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ルを採用する(図2)。

- (1)GAは、「移動体の順列」および対応する評価値に基づき、交叉・突然変異・淘汰などの遺伝操作を適用して、新たな順列を複数生成する。
- (2)スケジューラは、GA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、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ルのそれぞれの評価値を算出する。

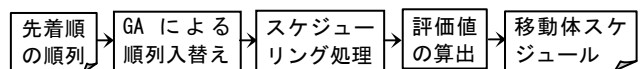


図2 順序入替え方式の処理の流れ

上記手順(3)において、移動体スケジュールの評価値の算出に際し、[2]では、個々の移動体の遅延時間の総和である「総遅延時間」のみを利用していただけ。しかし、本稿では、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移動体スケジュールの評価値を算出する。

$$F = (\text{総遅延時間}) + \alpha \times (\text{先着順からの最大遅れ}) \quad (1)$$

$\alpha$ : 最適化項目トレードオフ調整用パラメータ

ここで、式(1)に記載されている「先着順からの最大遅れ」とは、各移動体における先着順での出域順序からの遅れの最大値を示す(例えば、先着順では6番目に出域予定であった移動体が、順序入替え方式で生成された移動体スケジュールでは9番目に出域予定となっている場合は、先着順からの遅れは3となる)。そして、式(1)に記載されている $\alpha$ 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 $\alpha$ 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。また、 $\alpha$ の値が0の場合は、総遅延時間のみを考慮した単一指標の最適化となる。

### 4. 評価

評価条件としてシナリオ設定とGAのパラメータ設定について述べた後に、評価結果を示す。

評価条件

シナリオ設定を以下に示す。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3に示すランダムな順序で入域点に到達する。
- 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。
- 出域点で要請される移動体間の規定時間間隔は、連続する移動体の種類に応じて定まるものとし、表1のように、2種類のシナリオを設定した(必要な規定間隔が大きいくほど、移動体の間で遅延が伝播しやすい状況となる)。

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	A	B	B	A	B	A	B	A	A	B	B	B	A	B	A	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	A	B	A	B	B	B	B	B	B	B

図3 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	
		シナリオ1	シナリオ2
A	A	120	100
A	B	120	150
B	A	120	50
B	B	120	50

GAのパラメータ設定を以下に示す。

- 解表現は「移動体の順列」であり、移動体をスケジューリングしていく順序を示す。
- 1世代当たりの個体群のサイズは400であり、世代数は1000である。
- 初期解集合は「先着順」と「ランダムに生成した順列(複数)」を利用する。
- 遺伝的操作の内容は以下の通り。
  - 交叉: 循環交叉 (CX: Cycle Crossover)。
  - 突然変異: 逆位 (突然変異率: 0.01)。
  - 淘汰方法: ルーレット選択およびエリート戦略 (エリート数: 30)。

評価結果

提案方式と先着順方式から得られた移動体スケジュールの総遅延時間、先着順からの最大遅れ、最大遅延時間(各移動体の遅延時間の最大値)を表2に示す。ここで、提案方式は「公平性の考慮度合い」を調整するパラメータである $\alpha$ を「0/100/1000/5000/10000」に設定して実行した結果をそれぞれ記載している。また、GAは確率的なアルゴリズムであるため、表2に記載している提案方式の結果は、100回試行の平均値である。

表2から、以下が確認された。

- $\alpha = 0$  (公平性を考慮しない総遅延時間最小化の場合) と比べ、 $\alpha \geq 100$  (公平性を考慮した総遅延時間最小化の場合) は、先着順からの最大遅れと最大遅延時間が大幅に改善されている。
- 提案方式は、どの $\alpha$ においても先着順方式と比べ、総遅延時間が短い。

以上より、提案方式は、公平性を考慮することで、先着

順からの最大遅れが少なく、最大遅延時間が短く、かつ、先着順方式よりも総遅延時間が短い移動体スケジュールを生成できることが分かった。

また、表2において、 $100 \leq \alpha \leq 1000$ における総遅延時間は、 $\alpha = 0$ の場合と大きな差異がない。一方、 $5000 \leq \alpha$ における総遅延時間は、 $\alpha = 0$ の場合と比べ、17.0~35.6%増しとなっている。このことから、 $\alpha$ の値がある程度大きくなるまでは、 $\alpha = 0$ の場合と比べて、総遅延時間が同程度でありながら、先着順からの最大遅れが少なく、最大遅延時間が短い移動体スケジュールが生成されることが分かった。

表2 各方式から得られた移動体スケジュール

(a) シナリオ1

方式	総遅延時間	先着順からの最大遅れ	最大遅延時間	
提案方式	$\alpha = 0$	66510.3	35.3	5199.1
	$\alpha = 100$	66279.8	8.4	2801.7
	$\alpha = 1000$	67222.5	4.3	2502.0
	$\alpha = 5000$	77809.6	1.1	2685.2
	$\alpha = 10000$	78808.3	1.0	2696.4
先着順方式	139117.0	0.0	4635.0	

(b) シナリオ2

方式	総遅延時間	先着順からの最大遅れ	最大遅延時間	
提案方式	$\alpha = 0$	8164.9	9.4	985.5
	$\alpha = 100$	8011.2	5.5	656.2
	$\alpha = 1000$	8148.6	3.3	516.7
	$\alpha = 5000$	11011.9	2.0	517.3
	$\alpha = 10000$	11072.9	2.0	530.5
先着順方式	51709.0	0.0	1530.0	

5. おわりに

公平性を考慮した総遅延時間最小化を行うために、多目的最適化を提案方式に導入した。その結果、提案方式により、公平性を余り損なわず、かつ、先着順方式より総遅延時間が短い移動体スケジュールが生成されることを確認した。今後は、提案方式で利用する最適化アルゴリズムとして局所探索ベースの解法(疑似焼きなまし法等)も実装し、GAとの比較評価を実施したいと考えている。また、公平性を考慮するために、本稿では、先着順からの最大遅れを評価値に取り入れたが、最大遅延時間を取り入れることも考えている。

参考文献

[1] 三宮信夫, 喜多 一, 玉置 久, 岩本貴司: 遺伝アルゴリズムと最適化, 朝倉書店, 1998

[2] 松村寛夫, 白石将, 澤田めぐみ, 尾崎敦夫, “遅延を最小化する移動体順序付け”, 信学技報 vol. 109, no. 426, SANE2009-165, pp. 35-40, 2010年

[3] 澤田めぐみ, 白石将, 松村寛夫, 尾崎敦夫, “移動体の通過順序付けにおける遺伝的アルゴリズムの交叉法の比較評価”, FIT2010