

A-004

## 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

## A Comparison of Genetic Crossover Operators on Moving Objects Ordering

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においては、同一領域を移動体間で共有して移動に用いることが多い。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、先着順の入替えを許容し、遺伝的アルゴリズム(GA: Genetic Algorithm)[1]を用いて遅延を抑制する順序入替え方式が提案されている[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、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。[2]において、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された。しかし、その際の評価では、移動体の種類を一種類とし、移動体間で保つべき規定間隔が全移動体で同じとしていた。

本稿では、移動体の種類に応じて移動体間で保つべき規定間隔が異なるシナリオにおいて、提案方式と先着順方式の比較評価を行った結果を示す。そして、提案方式で移動体の通過順序付けの決定にGAを適用するにあたり、GAの探索性能に大きな影響を持つ交叉法の比較評価を行った結果を示す。

## 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。

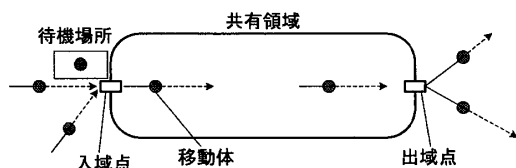


図1 想定する交通モデル

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&amp;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 &amp; 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の順序を、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、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。ここでは、まず、提案方式の処理の流れを述べた後に、GAの個体表現、交叉法等の適用詳細を述べる。

## 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ルを採用する(図2)。

- (1)GAは、「移動体の順序」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、新たな順序を複数生成する。
- (2)スケジューラは、GAが出力する各順序に関し、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評価値を、個々の移動体の遅延時間の総和として算出する。

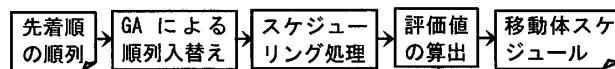


図2 順序入替え方式の処理の流れ

## GAの適用詳細

GAの各個体は、移動体をスケジューリングしていく順序を示す「移動体の順序」で表現される。この解表現は、巡回セールスマン問題(TSP)において、解を都市の訪問順序で表現する場合と類似している(この種の問題を「順序問題」と呼ぶ)。次に、適用する交叉法を述べる。交叉は個体群から取り出した個体のペア(親)に基づいて、親の形質を受け継ぐ個体(子供)を生成する遺伝操作であり、交叉により親から受け継ぐ形質の種類は「遺伝子座に対する絶対順序(TSPで示すと、何番目にどの都市を訪れるか)」と「遺伝子座の位置を考慮しない相対順序(TSPで示すと、都市を巡る順序)」として分類できる。本稿では、順序問題に対する以下の代表的な交叉法[1]を提案方式に適用し、比較評価を行う。

- **部分写像交叉(PMX)**: 親1の絶対順序が部分的に子供へ遺伝されるが、親2からは遺伝子の重複を防ぐ処理により、絶対順序や相対順序が遺伝されにくい。
- **順序交叉(OX)**: まず、親1の絶対順序を部分的に子供へ遺伝する。子供の残りの遺伝子座には、親1から子供へ遺伝済みの遺伝子を除いた状態の親2の相対順序を配置する。本評価では、親1の絶対順序の前半部分を子供へ遺伝させる方式(OX前半)と後半部分を遺伝させる方式(OX後半)を実装した。

- **循環交叉(CX)**: 両親の絶対順序の部分的な組合せにより生成される。生成される子供の事例を図3に示す。



図3 CXで生成される子供

なお、交叉以外の遺伝操作は、淘汰にエリート選択とルーレット選択の両方を、突然変異に逆位を適用した。

4. 評価

評価条件について示す。そして、提案方式と先着順方式の比較結果、および、GAの交叉法の比較結果を示す。

評価条件

シナリオ設定は移動体数 60 台、入域到達時間間隔 90 (A, B の計 2 種類の移動体が交互に到達する)、待機場所での待機時間は一回あたり 240 である。そして、出域点での規定時間間隔は移動体の種類に応じて表 1 のように設定した。ここで、時間は任意の単位における比率を示す。

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	シナリオ3
A	A	120	100	50
A	B	120	150	150
B	A	120	50	50
B	B	120	50	50

GA のパラメータ設定は、世代数 1000、個体群の個体数 100、エリート数 15、突然変異率 0.01 とした。そして、この設定において、各交叉法の GA を 100 回ずつ実行した。

提案方式と先着順方式の比較結果

表 2 に提案方式と先着順方式により得られた移動体スケジュール (解) の総遅延時間を示す。ここで、提案方式は全交叉法, 全試行で得られた結果の最小値を記載する。

表2 各方式から得られた解の総遅延時間

	提案方式	先着順方式
シナリオ1	65923	139107
シナリオ2	10405	105960
シナリオ3	6075	105960

表 2 より、前後する移動体の種類に応じて保つべき規定間隔の違いが大きいほど、提案方式の有効性は大きくなった。これは、順序入替えにより、遅延の伝搬を打ち切るだけでなく、保つべき規定間隔が小さくなるように最適化され、スループットが向上したためである。また、図 4(a)(b) にシナリオ 2, 3 で提案方式により得られた移動体スケジュールを示す。ここで、移動体番号は先着順に付けられた番号を示す。図 4 から分かるように、提案方式より得られたスケジュールは、保つべき規定間隔が小さくなるように同一種類が続くスケジュールとなっている。

出域順序	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
移動体番号	0	1	2	4	5	3	7	8	6	10	11	9	13	14	12	16	17	15	21	19	23	20	18	22	26	27	25	29	24	28
移動体種類	A	B	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	A	A	B	B	B	B	B	A	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A

(a) シナリオ 2

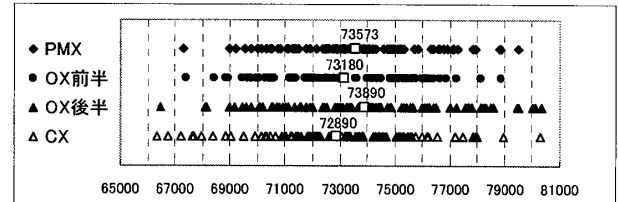
出域順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
移動体番号	0	1	2	4	5	3	7	8	6	10	11	9	13	14	12	16	17	15	19	20	18	22	23	21	25	26	24	28	27	
移動体種類	A	B	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	A	A	B	B	B	B	A	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	

(b) シナリオ 3

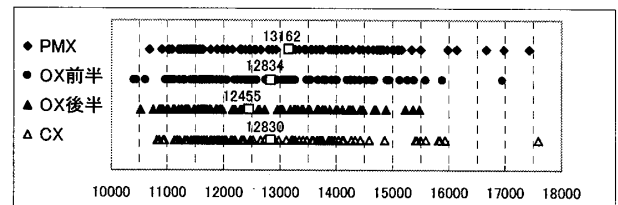
図4 提案方式より得られた移動体スケジュール

GAの交叉法の比較結果

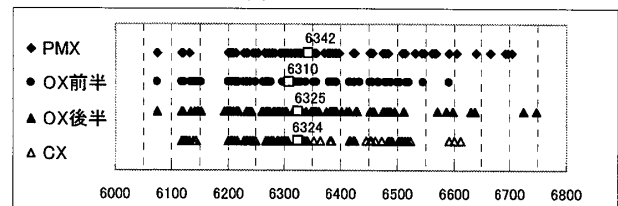
図 5(a)(b)(c) にシナリオ 1, 2, 3 において、各交叉法を適用した GA から得られた 100 個の解の総遅延時間の分布を示す。ここで、□は平均値を示す。図 5 より、どの交叉法を利用して探索性能に大きな差異は確認されなかった。TSP での交叉は相対順序の遺伝が重要となるため、PMX, CX より OX が優れる傾向がある [1]。これに対し、通過順序付け問題での交叉は相対順序と絶対順序の遺伝のどちらかが重要との傾向がないことが分かった。また、OX 前半, OX 後半も優劣が確認されなかった。よって、交叉で絶対順序を遺伝させる際に遺伝子座の区域を限定することで性能向上する傾向がないことも分かった。



(a) シナリオ 1



(b) シナリオ 2



(c) シナリオ 3

図5 各交叉法から得られた解の総遅延時間の分布

5. おわりに

本稿では、移動体の種類に応じて移動体間で保つべき規定間隔が異なるシナリオで提案方式を評価し、さらに、提案方式で利用する GA の交叉法の比較評価を行った。今後の課題は、単一の評価値のみを考慮するのではなく、公平性等も考慮した多目的最適化を導入し、検証することである。また、順序入替えをするために利用する最適化手法として GA と局所探索ベースの解法 (疑似焼きなまし法等) との比較評価も実施したいと考えている。

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”, 2010年信学会総合大会