

制約付配送経路問題の分散解法に関する研究

函館高専 ○神山 剛輝 浜 克己

要 旨

本研究の目的は、有軌道空間における配送経路問題を効率的に解決することである。本研究では、マルチエージェントシステムを採用し、エージェント同士の交渉等の処理を導入して、計算負荷の軽減を図るとともに時間制約や渋滞情報などを設定する機能を装備した、より実践的なシステムの開発を試みる。

1. 緒 言

本研究では、有軌道空間における配送経路問題について、配送先の選択および配送経路の設計を行うとともに、負荷の軽減や柔軟性を持たせるため、配送先の選択および配送経路の選定を各トラックが行う方式を採用する¹⁾。これにより、負荷を分散させつつ柔軟性に富んだ処理が可能となり、さらに発見的手法を用いることによって、準最適解となりうる経路を探索できるようにした。本報では、このような発見的方法を基礎とする分散型の手法を提案し、計算機実験を通じてその有効性を調査する。

2. 問題設定

対象となる空間を2次元の平面と仮定し、トラックエージェント（以下 TA）に以下の前提を置く。

- 1) 空間内は有軌道であり、TA はその軌道に沿って移動しなければならない。
- 2) 各 TA には、最大移動可能距離に制限がある。
対象問題 P は、以下の三項組で表現する。

$$P = \{S, Q, A\} \quad (1)$$

S : 2次元空間内の状態集合

$$S = \{(x, y, s, tht) \mid 0 \leq x \leq X, 0 \leq y \leq Y, s \in \{0, 1\}, tht \in \{1, 2, 3\}\}$$

X : 空間の X サイズ, Y : 空間の Y サイズ

s : 移動の可否 (0: 移動可, 1: 移動不可)

tht : 通行に必要な時間 (1: 通常, 2, 3: 渋滞)

Q : 拠点の状態集合

$$Q = \{(Q_i, q_i, e_i, l_i) \mid i = 0, 1, \dots, N_Q\} \quad N_Q: \text{店舗数,}$$

Q_i : 拠点番号 ($i=0$: センター, $i \neq 0$: 店舗)

$q_i \in S$: 拠点位置 e_i : 最早配送可能時間

l_i : 最遅配達可能時刻

A : TA の状態集合

$$A = \{(A_i, a_i, r_i, t_i, w_i, T_i, g_i) \mid i = 1, \dots, N_A\}$$

N_A : TA 数, A_i : TA 番号

$a_i = \{(x, y) \mid (x, y, 0, tht) \in S\}$: 現在位置

r_i : 配送店舗数, w_i : 待ち時間, t_i : 配送移動時間,

$T_i = (Q_0, \dots, Q_j, \dots, Q_0)$: 配送経路, g_j : 到着時刻

各 TA は、配送センターから出発して、配送センターに戻ることをとする。また、渋滞情報を含め、距離はすべて移動時間として扱うこととする。

これより、評価関数 E を以下のように設定する。

$$E = E_t + E_w \quad (2)$$

$$E_t = \sum_{i=0}^{N_A} t_i : \text{総移動時間}$$

$$E_w = \sum_{i=0}^{N_A} w_i : \text{総待ち時間}$$

以上より、配送経路問題は以下のように定式化される。

$$\begin{aligned} & \text{Find } T_i \text{ for } \forall i \text{ such as minimizing } E \\ & \text{subject to } t_i \leq t_{\max}, g_j \in [e_j, l_j] (j = 1, 2, \dots, N_Q) \end{aligned} \quad (3)$$

3. マルチエージェントシステムの適用

(1) 初期経路の設定

各 TA は、最大移動可能距離の範囲内で配送する店舗群を時間的制約を満たしながらランダムに決定し、配送すべき店舗がなくなるまでこの処理を続ける。この時各店舗の位置は既知である。一般的な配送経路問題と異なり、本研究では有軌道空間を対象とするため、各 TA は周囲4方向の状態を検出できるセンサを有し、その状態に応じて移動できる方向へランダムに移動する。センターから出発し、現在の店舗から候補となる次の店舗までの経路が求まるたびに、同様の方法でその候補の店舗からセンターまでの経路も求め、それら2つの距離を現在の店舗までの距離に付加した総和が最大移動可能距離を越えなければ、TA はその候補の店舗を自らの管轄に加えるものとする。距離の総和が制限を越えた場合には、別の TA の候補となる。

移動に関して、以下の2つを優先している。

- 1) TA の目的地である店舗の方向
- 2) 過去に探索したことのある同じ2店舗間の経路
ただし、以前に探索した経路よりも短い経路が得られない限り後者の優先度は更新されない。

すべての店舗が選出されたら、TA 毎に経路の最適化処理を行うが、計算時間の短縮のために、一度探索した店舗間の経路と距離を記憶しておき、最適化処理で再び同じ2店舗間の経路と距離が必要になった時は、この結果を呼び出して使用する。2店舗間の経路探索は、以後もランダムに指定した2店舗に対して行われ、よい結果が得られれば更新あるいは追加される。

(2) 交渉処理

必要な TA の台数を減らすために、TA 間で店舗に関する交渉を行う。 i 番目の TA は、自分が担当するすべての店舗 j 対し、(4)式を用いて不要指数を求める。

$$u_{ij} = \alpha_2 \cdot (t_b - t_a) + \alpha_3 \cdot (w_b - w_a) \quad j = 1, \dots, r_i \quad (4)$$

ここで、 b と a は、店舗を除く前と除いた後の各状態を示

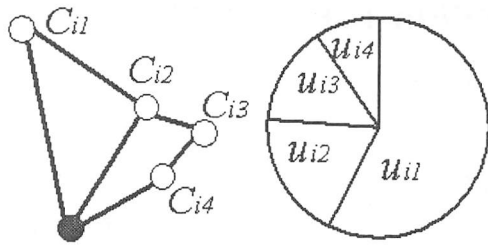


図1 放出店舗の決定

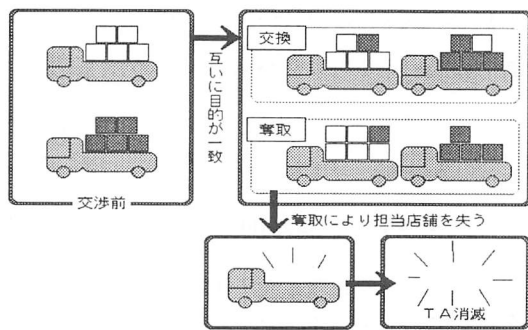


図2 交渉処理の概略

す。図1の左図をみると C_{i1} を除いた時に一番経路長が短縮できる、このように、各経路に対して求めた不要指数の値に基づき(5)式を用いて右図のルーレットを作成する。

$$j \text{ 番目の店舗がばれる確率 } C_{ij} = \frac{u_{ij}}{\sum_{k=1}^n u_{ik}} \quad (5)$$

各 TA は、これにより選ばれた店舗を交渉のために放出し、2台の TA 間で奪取や交換などが行われる。その概略を図2に示す。奪取は TA 数を削減するのが狙いで、配送すべき店舗をほかの店舗から奪うことによって実行され、交換より優先して行われる。一方、交換は全体の経路長や待ち時間を短縮させるのが狙いで行う。交渉終了後、焼きなまし法(SA :Simulated Annealing)を用いて経路の最適解を求める。自分の管轄する店舗の配送順序を任意に入れ替えた時、(2)式の評価値 E が改善される場合は無条件で解を更新し、改善されない場合も(6)式に基づいた確率で解を更新する。

$$\text{解を更新する確率} \quad C = e^{-\frac{\Delta}{T}} \quad (6)$$

更新された解が、最も小さな評価値 E である場合は、その解を最良の解として保存していく。

4. 計算機実験

本研究では、以上の方法論にしたがい計算機実験を行った。実験条件は以下の通りである。また実験に使用する対象空間を図3に示す。

<実験条件>

- ・対象空間のサイズ：41×61（配送センターは中央）
- ・配送先の店舗数：50

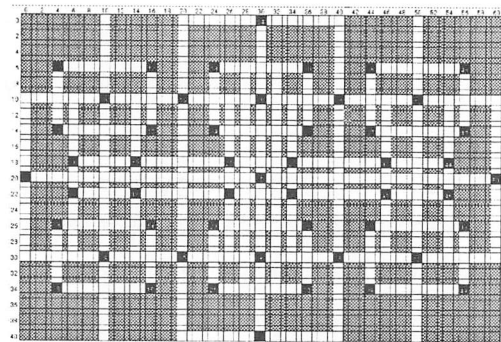


図3 問題空間の設定

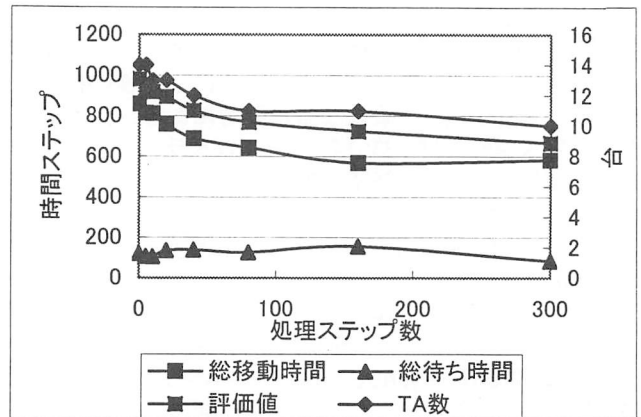


図4 計算機実験による結果の推移

- ・各 TA の最大移動可能時間：500

初期経路を決定した後、各 TA に交渉処理を1回ずつ行わせ、その後ランダムに2店舗を選び、それらの間で経路探索を行い、改善された場合にその経路と通過必要時間を更新する。交渉処理からここまでの流れを1ステップとして、200ステップまで繰り返す。

図3にこれらの処理を適用した結果を図4に示す。処理ステップ数の増加とともに、TA台数が減少し、それに伴って総移動時間も減少して、準最適解へ近づいた。TA台数が減ると一時的に待ち時間が増えているが、これはステップ数を重ねることによりまた減っていくことがわかった。改悪になる解でも、交渉処理時のルーレット戦略や、経路最適化処理時の焼きなまし法による確率的な処理の導入によって局所解から抜け出し、安定して準最適解まで辿り着けるようになった。

5. 結言

本研究では、各 TA が自己の状況を考慮した分散システムを構築した結果、時間制約、渋滞情報を有する問題にもある程度対応できることが確認された。今後は、センターの複数配置、能力の異なる TA による特徴を生かした配送経路設定とともに、道路状況等の動的な変化にも対応できる機能の実現を検討する予定である。

参考文献

- 1) Thangiah, S.R. et. al., SAC2001, 517-521, 2001