

大規模物流センターにおけるピッキングナビゲーションシステムの開発

北海道大学工学部情報工学科 ○宮脇 恵里, システムラボムラタ 三添 朗宏
旭川高専 渡辺 美知子, 北海道大学大学院情報科学研究科 古川 正志

本研究では、物流センターにおけるピッキングの大規模ナビゲーション問題の TSP による解法を提案し、その検証を行った。ピッキング棚間のコストをダイクストラ法(Dijkstra)法で求め、巡回セールスマン問題(Traveling Salesman Problem, TSP)に局所クラスタリング組織化法(Local Clustering Organization, LCO)を適用する方法を使い、従来より約7%改善することが判明した。

1. はじめに

工場から消費者へと製品が流通する過程において、大規模物流センターの設置が多く行われている。特に、インターネット購買やカタログによる製品の販売は、多種類少量の製品を顧客の納期に合わせて、一括した在庫管理と配送を行うための大規模物流センターを必要としている。

このようなセンターでは、無搬送車やピッキング・ロボットを用いるのではなく、コンピュータに支援されたナビゲーション・カートを使用して、作業者がカートに割り当てられた伝票に従い、注文された製品を集めて廻るのが普通である。しかしながら、多くの場合、製品を集めて廻るためのセンター内での経路の決定は作業者に任せられている。従って、作業者によるセンターの製品集配送効率に大きな差がで、かつ作業が公平に作業者に割り当てられない不具合をも生じさせている。

本研究では、このような大規模物流センターにおける製品の集配作業を行う作業者に対し、適切な製品の集配経路を指示するコンピュータ支援ナビゲーションシステムの方法を提案し、その有効性を示す。

2. 従来の研究

類似した研究として古川等¹⁾は、一方方向レーンをもつ工場のGAに基づく加工先へ被加工物をAGVにナビゲーションするスケジューリング方法を開発し、20~50%の改善が得られることを報告している。また、古川等²⁾は、同問題に対してAGVを学習エージェントと見なした被加工物をナビゲーションする方法も開発し、エージェント数が少ないときは20%の改善がGAに対して行われるがエージェント数が多いときはGAによるスケジューリングの方が結果が良いことを報告している。これらの結果は、このようなナビゲーション問題に対してはエージェントアプローチよりも数理的なアプローチの方がエージェント数の多いときは有効であることを示している。

一方、これらの研究では工場の経路トポロジーが一方方向に巡回する方法を取っており、待ちが生じたときはそこを一度パスし、再度巡回する方法をとって、問題を簡略化している。

本研究では、作業者が20~30人程の多数エージェントとなり、かつトポロジーがより巡回ではなく、復路のあるより複雑な問題を、複数エージェントのナビゲーション・カート

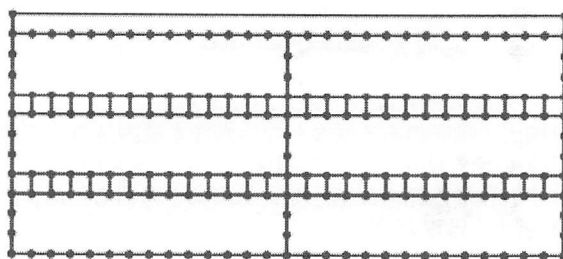


Fig. 1 Topology of physical distribution center (156 stocks)

の経路決定を巡回セールスマン問題(Traveling Salesman Problem, TSP)とみなし、大規模な TSP にも高速に適用可能な局所クラスタリング組織化法(Local Clustering Organization, LCO)³⁾を適用する方法を提案する。

3. 問題設定

本研究では、大規模物流センターの倉庫における作業者の商品ピッキングの効率化を図るために、カートに複数の伝票で指示されている製品を格納した棚を最短経路でピッキングする経路を作成し、作業者に支援することを目的としている。そのために、カートをエージェントと見なすと、問題はエージェントの平均滞留時間の最小化問題として、以下のよう定式化される。

$$\text{minimize} \sum_j \sum_i F_j(A_i) / |A_i| \quad (1)$$

ここで、 A_i は個々のエージェントを示し、 j は j 回目のエージェントの巡回経路、 $F_j(A_i)$ は j 回目のエージェントの巡回経路を伝票に指定されたときの経路時間である。ここで、 $F_j(A_i)$ は以下の TSP を解くことによって与えられる。

$$\text{minimize}_{x_k, x_l} F_j(A_i) = \sum_k \sum_l C_{kl} x_k x_l \quad (2)$$

$$\text{subject to } \sum_k x_{kl} = 1, \sum_l x_{kl} = 1 \text{ and } x_{kl}(1-x_{kl}) = 0 \quad (3)$$

ここで、 $k, l \in O(i, j)$ であり、 $O(i, j)$ は j 回目のエージェントの巡回経路を与える伝票による製品の格納棚のノード番号である。

ここで定式化した問題を解くために、以下のような方法を採用した。

(1) 図1に示すような工場モデルのトポロジーを作成する。ここで、点は棚の位置を示し、直線は棚間の双方向経路を示す。

- (2) 隣り合うノード間の経路コスト（経路長）は 1 とする。
- (3) 各ノード間の最短経路をダイクストラ法で求め、その経路長をエージェントのノード間の経路コストとする。また、求められた経路を格納する。
- (4) エージェントはスタート時に複数伝票を割り当てられる。
- (5) 伝票より、開始・終了地点、及びピッキングに立ち寄る棚位置のノードから TSP を作成する。
- (6) 求められた最短経路をエージェントが周回するシミュレーションによって（必ずしもシミュレーションを行う必要はない）、すべての伝票が割り当てられたときのエージェントの最大滞留時間を決定する。

4. エージェントの LCO による経路決定

エージェントが指定された棚間（2 ノード間）を移動する時には、多くの経路とノードが存在するため、経路決定を直接 TSP として解くことは不可能である。このため、指定されたノード間の最短経路とそのコストを求めるためにダイクストラ（Dijkstra）法⁴⁾を導入した。

ダイクストラ法で求めた 2 ノード間の経路コストをもとに、伝票で決定された棚の周回経路を LCO で決定する。LCO のアルゴリズムはいかに示される。

- 1) n ノード間のそれぞれの経路コストを与える。
- 2) n ノードの都市間の一周経路をランダムに生成する。
- 3) ランダムに 1 ノード c を選ぶ。
- 4) c の近傍をクラスタリング方法で最適化する。
- 5) 打ち切り条件を満たした場合終了し、そうでなければ(3)に戻る

クラスタリングの方法については、単純交換法(Simple Exchange Method, SEM), 逆位交換法(Inverse Exchange Method, IEM), 平滑法(Smoothing Method, SM)がある⁵⁾。

5. 数値計算実験

5.1. LCO の検証

GA と SOM と LCO のそれぞれで TSP を解く計算時間の比較実験を行った。実験は、内円 100 都市、外円 100 都市の二重円上に配置された計 200 都市の TSP で行った。結果は表 1 のとおりである。これより、LCO が大規模な都市数の TSP に非常に有効なことが検証される。

5.2. LCO による倉庫シミュレーション

LCO を採用して以下の実験条件で最大滞留時間を計算した。また、図 2 に示すようなシミュレータを作成し、搬送の動きをシミュレートした。実験条件は以下とした。

- (1) ピッキングを行うエージェント数：10 台
- (2) エージェント（カート）1 台が一度の周回で運べる箱数：4 箱
- (3) 一つの箱に入れられる製品数：20 個
- (4) 1 台のエージェントが一度に処理できる伝票数：16 枚
- (5) 処理する伝票総数：2000 枚
- (6) 伝票はランダムで発生
- (7) 倉庫の総棚数：1000 棚

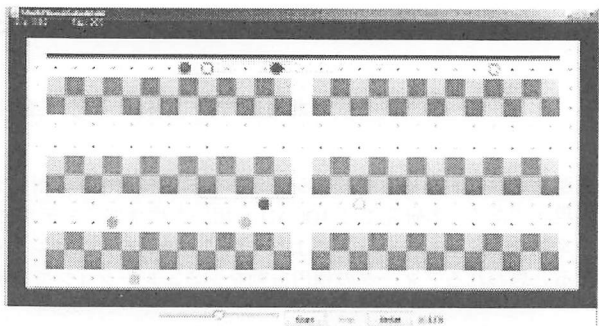


Fig. 2 Snapshot of developed simulator

Table 1 computation time of TSP (LCO) vs. (GA) vs. (SOM)

	GA	SOM	LCO
計算時間 (msec)	約 48000	464	275
精度	6.7	1.0	1.0

Table 2 Proposed method (LCO) vs. most nearest path method (NPM)

	LCO	NPM
Averaged make-span	5326	5694

図 2 のシミュレータは細い直線がダイクストラ法で求めた経路をしめし、○がエージェントを示している。このとき求めた最大滞留時間を、最近接パス法で求めたものと比較した結果を表 2 に示す。最近接パス法とは、現在地点から最も近いノードにエージェントが移動する方法である。実験結果では、最近接パス法と比較して約 7% 上回る効率を示すことが検証された。なお、シミュレーションからは最近接パス法が周回経路の後半で長い経路を作成するのに対して、提案方法では常にほぼ同じノード間の経路を選択しているのが観察された。

6. おわりに

本研究では、大規模物流センターのナビゲーション・カート問題に対して、ダイクストラ法と LCO を採用した経路決定法を提案し、その有効性を検証した。今後、製品の割り当て方法、ナビゲーション・カートへの集製品伝票の割り当て方法、カート間の衝突回避・追い越しを解決する予定である。

参考文献

- 1) 古川正志, 渡辺美知子, 嘉数侑昇, 一方向走行レーンをもつ FMS 工場における複数 AGV の運行スケジューリング (遺伝的アルゴリズムによる調和スケジューリング), 日本機械学会論文集 C 編第 62 巻第 595 号, pp407-412 (1996)
- 2) 古川正志, 渡辺美知子, 嘉数侑昇, 確率的学習オートマトンによる複数 AGV の自律的走行, 精密工学会誌 62 巻 2 号, pp260-264 (1996)
- 3) 古川正志, 渡辺美知子, 松村有祐, 局所クラスタリング組織化による TSP の解法, 日本機械学会論文集 C 編, 71 巻, 711 号, pp3189-3195 (2005)
- 4) 古川他; システム工学, コロナ社