

## 複数エージェント集配問題の解法における経路制御による支援手法の一検討

松井俊浩†

名古屋工業大学†

## 1 はじめに

MAPD (複数エージェント集配) [1] は倉庫内の自動搬送ロボットなどを動機づけとして広く研究されている。一般的な解法では、マルチエージェント経路探索問題の解法に基づき、各エージェントに割り当てられた集配タスクについて時空間上でエージェントの衝突が無い経路を探索する。しかし基本的な手法ではタスクや経路の大域的状況をさほど考慮しないため、その探索と結果には冗長性を含む場合があると考えられる。本研究では、エージェントに共通の経路情報を集約し利用することにより、各エージェントの経路探索と移動を効率化する手法の基礎検討を実験的に行う。

## 2 従来研究

## 2.1 MAPD 問題

MAPD 問題 [1] は、複数エージェント経路探索問題の拡張であり、オンデマンドに発生する集配タスクを複数のエージェントに割り当て、衝突の無い経路を計画することを目的とする。問題は、倉庫などの環境(地図)を表すグラフ、エージェントの集合、オンデマンドに発生するタスクの集合から成る。各タスクは集配位置を指定する。タスクを割り当てられたエージェントは現在位置から集荷位置を経由して配達位置に移動する。エージェントはグラフの頂点間を移動するが、同時に同一の頂点に位置することはできず、同一の辺を2体のエージェントが同時刻に逆向きに移動することはできない。全てのMAPDが解けると限らないが、解決可能な条件が示されている。エージェントの経路の両端および集荷位置となりうる頂点をEP(endpoint)と定義する。各エージェントの経路が、その両端と集荷位置以外のEPを経由しない、かつ、各エージェントの経路の終端が他のエージェントの経路のEPではない、という条件を満足する順序で経路を割り当てるとき、それらの経路はデッドロックしない。このような経路を構成できる問題を well-formed MAPD 問題と呼ぶ [1]。集配位置の task EP と、エージェントの初期位置/退避先の non-task EP が区別される (図 1)。

## 2.2 TP

TP (Token Passing) [1] は token と呼ばれる共有メモリを介して、各エージェントが順番にタスクと経路を割り当てる well-formed MAPD 問題の貪欲的解法である。Token は現在発生しているタスクのリストと、既に予約されたエージェントの経路を含む。タスクが未割当のエージェントは、token のタスクリストから、経路割り当て可能なタスクを選択して自身に割り当て、先行する経路の予約と競合しない経路を時空間上で A\* アルゴリズムにより求め予約する。そのようなタスクが無ければ、現在位置に留まるが、token のタスクリストにあるタスクの集配位置の task EP に位置する場合は、non-task EP を選択して退避しロックを解消する。本研究では TP を解法の基礎とする。

## 3 提案手法

## 3.1 Task EP と non-task EP の統合

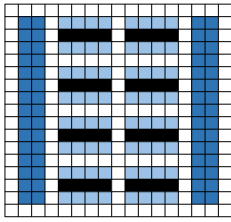
従来研究では task EP と non-task EP を区別し、エージェントが non-task EP に退避することにより、自身が割り当てを阻害しているタスクを速やかに割り当て可能にする規則を用いる。その一方で、環境中には多数の EP があるため、スペース利用上の冗長性が高い。また、本研究で構想する、エージェントの経路割り当て状況を集約し、探索やタスク割り当てに活用するための分析においては、エージェントが滞在可能な EP が多数あることや、環境中に異なる構造の個所があることは、初期の検討の難度を高くする要因と考えられる。

そこで、エージェントの初期位置と退避先を non-task EP に限らず、任意の EP とするよう一般化し、さらに non-task EP を除去した環境で検討する (図 2)。一般化した解法では、エージェントが退避する際に、可能であれば最も近い EP を退避先として優先して選択する。ただし、解法の正しさを維持するために、先行する経路予約を阻害する EP は選択しない。また、未割当てのタスクの割り当てを阻害する EP も選択しない。Task EP と十分な数の non-task EP がある環境では、退避可能な task EP が無い場合は non-task EP に退避できる。

しかし、non-task EP が無い環境では退避可能な EP がない状況が起こりうる。その場合は退避せずに、現在の EP に留まる。これにより、未割当てのタスクの割り

A Study of Routing-Assisted Approach for Multiagent Pickup and Delivery Problem

†Toshihiro Matsui · Nagoya Institute of Technology



白: 通路, 黒: 障害物 (柵), 淡色: task EP, 濃色: non-task EP

図 1: 環境 1 (non-Task EP あり)

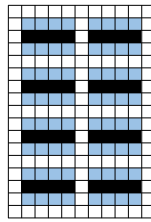
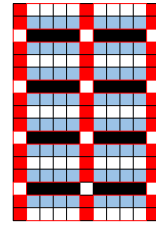


図 2: 環境 2 (non-Task EP なし)



赤枠: 領域, 赤塗りつぶし: 交差点

図 3: 領域分割

当てが遅れるが、現在タスクを実行しているエージェントのタスクはいずれ終了し、いずれかのエージェントが退避するか、タスクを割り当てる機会を得るため、デッドロックは発生しない。オンデマンドに生成されるタスク数が有限であれば、全てのタスクが実行される。(EPの数)−1体までのエージェントを環境に配備できる。

### 3.2 領域の分割と経路割り当て情報の集約

環境における個々のエージェントの経路予約状況は token に記録され、エージェントの経路探索に利用される。この情報を集約して活用するためには、環境の構造を把握し、その各部分の状況を集計することが基礎となると考えられる。本研究では、倉庫を模した例題の構造を考慮し、通路の「交差点」とそれ以外の「領域」に環境を分割する(図3)。

特に、交差点における経路割り当て状況の把握の一つとして、各領域から交差点に出る経路を持つエージェントが、その領域へ他のエージェントが入ることを妨げる期間の把握を検討する。ある領域からある交差点を出る経路を予約したエージェントが、領域に入った位置よりも先の領域内の位置へは、そのエージェントが領域を出るまではその交差点から入り到達することはできない。この情報を把握することで、各交差点の近傍の領域の混雑状況を把握することを試みる。

この計算は各エージェントの経路予約の計算に重畳して実行できる。集配タスクまたは退避の経路の始点がそれを含む領域内にエージェントが入った時刻となる、領域を経由する場合は、その領域に入った時刻を用いる。ある領域からある交差点に出る部分で、その交差点の近傍領域の情報に、エージェントによる経路の占有期間の情報を追加し集約する。時刻の経過に従い、必要とされる可能性が無い過去の情報を破棄する。倉庫を模した環境の構造のため、短い通路は無視し、柵の前の通路を含む領域についてのみ集計する。集約した情報の活用例として、エージェントの経路探索において行き詰まる状況にある経路へ進入する探索を枝刈りすることを試みる。

表 1: 実験結果 (200 タスク)

Alg.	#Agents	#Task EP	#Non-task EP	Makespan	Service Time		
					Min.	Ave.	Max.
TP	20	64	60	249	7.3	91.0	227.5
TEP				237.6	7.3	86.8	215.4
NONTEP				235.6	4.1	80.9	215.6
AUXINFO				233.4	4.4	82.0	211.2
TP	50	64	60	214	5.7	71.8	194.9
TEP				207.8	5.4	69.4	190
NONTEP				260.8	2.2	96.5	245.2
AUXINFO				255.4	2.4	96.4	237.6
TP	60	64	60	216.8	5.5	70.9	201.5
TEP				209.3	5.1	69.5	192.7
NONTEP				640.1	5.1	288.3	624.2
AUXINFO				641.2	5.1	289.0	624.8
NONTEP	63	64	0	2338.4	9.2	1129.5	2319.5
AUXINFO				2338.4	9.2	1129.5	2319.5

## 4 評価

実験により提案手法を評価した。TP, TEP: task EP にも退避可, NONTEP: non-Task EP なし, AUXINFO: 交差点と領域の情報を集約, の各手法を比較した。TP と TEP を図 1 の環境に適用し, NONTEP と AUXINFO を図 2 の環境に適用した。表 1 に実験結果を示す。Non-task EP の除去により, タスクの集配時間が増加するが, エージェント数が比較的少なく EP の空きに余裕がある場合は, non-task EP がある場合よりも集配時間を削減する場合が見られた。環境の情報の集約と経路探索の枝刈りにおける利用については, 過剰な推定と思われる状況が見られ, 集配時間への大きな影響はないか増加する場合があった。初期検討のために簡易的に実装した箇所の影響が考えられるため改善を検討する。

## 5 まとめ

本研究では, MAPD 問題において, 環境上の経路情報を集約することにより, エージェントの経路探索と移動を効率化する手法を目指して基礎検討を行った。今後は, 基礎となる解法を問題設定により適合させるための改良と, その上位階層で集約する環境情報と用途の拡充を目指す。

謝辞 本研究の一部は中部科学技術センター第 33 回人工知能研究助成による。

[1] Ma et al., "Lifelong Multi-Agent Path Finding for Online Pickup and Delivery Tasks", AAMAS 2017.