

格子状空間を移動するエージェント群の協調動作について

4N-5

水野 升裕

山崎 哲哉

渡辺 尚

水野 忠則

静岡大学 工学部

1 はじめに

分散協調システムとは、単独エージェントでは解決できない問題、または非効率的にしか解決できない問題に対して、複数のエージェントが協力・妥協を通して効率的に解を得るシステムである。分散協調システムでは、初期状態において最適解を求めるのではなく、エージェントがある段階において、自律的に副目標を生成し達成するという動作を繰り返すことによって、最終目標を達成するというアプローチをとる。したがって、各エージェントの副目標の生成が全体の効率を大きく左右する。

協調メカニズムの基礎的考察を行うモデルとして提案されているものに、Tileworld[1]、追跡問題[2]、バベルの塔[3]などがあるが、これらを現実に対応させた例はほとんどない。

既に著者らはバベルの塔におけるエージェント群の協調動作の基礎的な考察を行っている[4]が、本研究では、現実に促したバベルの塔を考え、副目標生成に関する知見を得ることを目的とする。すなわち、副目標を生成するために必要となる観測にかかるコストと、ブロックの搬送・移動にかかるコストのトレードオフを考察するために、エージェントに担当領域を設け、エージェントの観測コストを考慮した制約付きのバベルの塔において、エージェント群の協調動作の考察を行う。

2 現実性を考慮したバベルの塔

2.1 バベルの塔

バベルの塔を以下に定義する。

- (1) 格子状の2次元空間上に1から順に番号のふられたブロックが散乱している。
- (2) 平面上に存在する台座にブロックを1から順に積み上げることがバベルの塔の最終目標である。
- (3) エージェントは1ブロックを自分の上に乗せて運ぶ。
- (4) エージェントは1単位時間に隣接する格子点に進むことができる。
- (5) エージェントは問題解決の最中に障害物となるブロックが現れても、それを移動させることはできない。

2.2 エージェントの担当領域

バベルの塔においては、エージェントは対象となる格子空間全体を移動・観測することができる。しかし、バスケーションシステムや物流システムのように、実際には一部の領域を担当させ、その領域内で作業させると

いうことは日常的に行われている。そこで、エージェントに担当領域を設け、その領域内を移動・観測させるバベルの塔（以下、移動制約付きバベルの塔と呼ぶ）を考察する。

2.3 観測コストと移動コスト

副目標を生成する際に、ブロックが動的に生成される環境では、担当できるブロックを認識するために自分の担当領域の中にあるブロックを観測しなければならない。全観測コストは以下の要素に比例する。

(1) 担当領域の面積

担当領域の面積が大きいと観測コストは大きくなるが、担当できるブロックの数も多くなり、より効率がよくなると考えられるブロックを担当することができ、移動コストが減少する。一方、担当領域が小さいと、場合によってはブロックが1つのエージェントの担当領域に偏り、担当できるブロックがないエージェントが発生するため、バベルの塔を効率的に達成できず移動コストは増加するが、観測コストは小さくならんと考えられる。

(2) 1回の観測にかかる単位観測コスト

1格子点をAステップ移動するコストで観測できるときAを単位観測コストと定義する。

また、他のエージェントの副目標を知る手段として通信を利用する。本稿では、通信範囲は格子空間全体とし通信コストについては考慮しない。

2.4 ブロック決定アルゴリズム

著者らは、バベルの塔を効率よく解決するためのアルゴリズムをすでにいくつか開発している[4]。そのなかで、副目標を達成したとき（台座に到着したとき）に、副目標を生成できるアルゴリズムとしては、DMax(q)アルゴリズム(Delay Maximizing Algorithm, 遅れ時間最大化アルゴリズム)が最も効率がよいことがわかっている。

以下では、 m エージェントと n 個のブロックが存在する環境において、あるエージェントが番号 k のブロック b_k を台座に載せた瞬間とする。

DMax(q)アルゴリズムは、残っているブロックの中で番号が最小のものから q 個のうち他のエージェントが台座にブロックを置いてから自分がブロックを置くまでの予想の時間（予想遅れ時間）が最も大きくなるブロックを選択するアルゴリズムである。このアルゴリズムを移動制約付きバベルの塔に適用すると、最終目標を達成できないサンプルが存在する。たとえば、自分だけがブロック b_d を副目標にすることができ、かつブロック b_d よりも予想遅れ時間が大きくなるブロック $b_l (l > d)$ が q 個のなかにあるとき、エージェントはブロック b_l を副目標とするので、デッドロックに陥る。この点を改良するために、LM-DMax(q)アルゴリズム(Limited Movement - Delay Maximizing Algorithm)を提案する。このアルゴリズムは、 q 個のうち、自分しか担当できないブロッ

On a Coordination strategy with Distributed Agents
in a Lattice World

Masuhiko MIZUNO, Tetsuya YAMAZAKI,
Takashi WATANABE, Tadanori MIZUNO

Faculty of engineering, Shizuoka University
3-5-1, Johoku, Hamamatsu, 432 Japan

クがある場合には、ただちにそのブロックを担当し、それ以外の場合には DMax(q) アルゴリズムを適用する。すなわち、エージェント a は以下により副目標 b_j を生成する。

$$D = \{i | b_i \notin W, b_i \in G_a, i = k+1, \dots, k+m-1\}$$

$$\text{if } D \neq \phi$$

$$j = \min D$$

$$\text{else}$$

$$Y = \{i | b_i \in S_a, i = k+m, \dots, k+m-1+q\}$$

$$\text{if } Y \neq \phi$$

$$j = \min Y$$

$$\text{else}$$

$$f = \max \{t_i | b_i \notin W, b_i \in G_a, i = k+m, \dots, k+m-1+q\}$$

$$V = \{v | t_v = f, v = k+m, \dots, k+m-1+q\}$$

$$j = \min V$$

W : 全エージェントが副目標としているブロックの集合
 G_a : エージェント a が担当できるブロックの集合
 S_a : エージェント a だけが担当できるブロックの集合
 t_i : b_i を副目標としたときの予想遅れ時間

このアルゴリズムを適用すると、前の例では、ブロック b_d を担当し、デッドロックには陥らない。

3 シミュレーションと評価

3.1 シミュレーション仮定

本研究では、図1に示した仮定の下でシミュレーションを行った。

格子平面の大きさ	200 × 200
エージェント数	4
初期状態におけるブロック数	1000
動的に発生するブロック数	2000
エージェントの初期位置	台座
ブロックの位置	ランダム
サンプル数	50

図1: シミュレーション仮定

ブロックを動的に発生させる時間間隔 T は、 $0 < T < 100$ の一様分布とし、また、ブロック決定に関する考察を詳細に検討するため、格子点における競合はないものとした。なお、格子空間全体に占めるエージェントの担当重複領域の面積の割合を重複率 (M) とする。

3.2 LM-DMax(q) アルゴリズムの評価

ブロック決定アルゴリズムに DMax(q) アルゴリズムを適用すると、エージェントが単独で担当する領域が存在する場合 ($M < 100$) には、失敗するサンプルが存在し、特に、 $0 < M < 70$ では、すべてのサンプルにおいて失敗してしまうことがわかった。一方、LM-DMax(q) アルゴリズムでは、 $0 < M \leq 100$ において、全サンプルが成功することがわかった。

LM-DMax(q) アルゴリズムにおいて、単位観測コスト A を変化させ、重複率 M に対するトータルコスト (ブロック b_{1001} から b_{3000} を台座に運ぶまでのステップ数) を求めた (図2)。

図2より、単位観測コストが小さいほどトータルコストが小さくなることがわかった。また、トータルコストを最小にする重複率 M は、単位観測コスト $A \leq 0.005$ では、 $M = 100(\%)$ であり、 $A > 0.010$ では、 $M = 0(\%)$ である。このように、最適な重複率が両極端になってしまう原因は次のように考察できる。単位観測コストが小さいと、全観測にかかるコストはより小さくなるので、効率はブロック決定アルゴリズムに左右され、重複率が大きいほど効率がよくなる。逆に、単位観測コスト

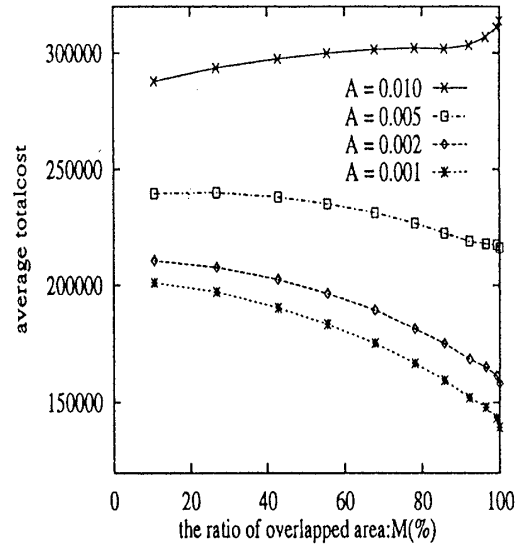


図2: 単位観測コストに伴うトータルコストの変化

が大きいと、トータルコストに占める観測コストの割合が大きくなり、効率は単位観測コストに左右され、重複率が大きいほど効率が悪くなる。一方、重複率 $A \neq 0$ かつ $A \neq 100$ では、重複率が増えるほど移動コストが減少するが、観測コストが大幅に上昇するため、トータルコストを最小にする重複率があらわれなかったものと考えられる。

また、LM-DMax(q) アルゴリズムでは、エージェントが副目標を生成する際に、他のエージェントが副目標を生成するために必要とする時間を予想遅れ時間に含めることができない。その結果、実際に台座にブロックを置くまでの時間が予想遅れ時間を大きく上まわり、台座周辺で待ち状態になることがある。

4 まとめ

本研究では、バベルの塔を現実的に促したモデルとするために、観測に必要なコストを考慮し、移動制約付きバベルの塔におけるエージェント群の協調動作の考察を行った。移動制約付きバベルの塔にも全サンプルにおいて最終目標を達成できる LM-DMax(q) アルゴリズムを提案し、さらに、トータルコストを最小にする重複率は単位観測コストによって大きく変化することを示した。

[参考文献]

- [1] Martha Pollack and Marc Ringuette: "Introducing the Tileworld: Experimentally Evaluating Agent Architectures." In Proceedings of the Eighth National Conference on Artificial Intelligence, p.p.183-189,1990.
- [2] M.Benda, V.Jagannathan, and R.Dodhiawalla: "On optimal cooperation of knowledge sources." Proceedings of the 1988 Workshop on Distributed Artificial Intelligence, May 1988.
- [3] 石田 亨: "バベルの塔: 組織指向プランニングに向けて Tower of Babel: Towards Organization-Centered Planning", 第1回マルチ・エージェントと協調計算ワークショップ (MACC '91) 資料 (1991)
- [4] 山崎 哲哉, 渡辺 尚: "分散協調システムにおける副目標の動的生成について", 第5回自律分散システム・シンポジウム資料 p.p129-134, Jan 1994