

## G-14 副問題としての双対問題を用いたマルチエージェント迷路探索アルゴリズム A Multi-Agent Maze Search Algorithm Using Dual Problems as Subproblems

稲葉隆太<sup>†</sup> 榎崎修二<sup>†</sup> 吉田紀彦<sup>†</sup>

Ryuta Inaba Shuji Narazaki Norihiko Yoshida

### 1 はじめに

マルチエージェントの考え方が有効な問題として分散探索がある。分散探索は部分的に知識を共有する複数の探索主体(以下エージェントと呼ぶ)で探索を行う手法である。分散探索では、実時間性、探索空間または解空間中での適切な分散、探索中の解くべき問題の定性的な特徴の抽出・学習などが課題となる。

分散探索の代表的な問題として、迷路探索や Tileworld などがある[1]。迷路探索に用いることができる探索アルゴリズムに、Knight によるマルチエージェントリアルタイム A\*アルゴリズムがある[2]。これは、ゴールまでの距離を表すヒューリスティックスを基にしたオンライン並列探索アルゴリズムである。このマルチエージェントリアルタイム A\*アルゴリズムにエージェント同士の生存競争を取り入れることでより探索の効率を向上させた選択法が北村らによって提案されている[3]。

この選択法はエージェント間の適切な解空間中での集散を実現している。ここで集散とは、よいヒューリスティックスが存在するときはその情報を基にエージェントが解空間中で適切な解候補に集合し、逆にヒューリスティックスが適切でない場合には、多くの候補を並列に探索し、特定の解候補に過度に収束することを防ぐことである。

本研究では、選択法を基に集散を実現する手法を提案し、評価を行った。s

### 2 袋小路への対処

ヒューリスティックスを用いた迷路探索アルゴリズムにおいては、大きな袋小路が存在した場合、探索に時間がかかる。これは問題に対する不完全な情報であるヒューリスティックスを用いる以上避けることが出来ない。いったん袋小路に突入するとエージェントが袋小路から抜け出すには、袋小路内をしらみつぶしに探索することになる。従って、よい探索アルゴリズムはこの袋小路への適切な対処能力を持っていることが必要である。

これまでに提案されたマルチエージェント探索手法はいずれも、適切に探索開始点を変える事により所与の問題を効率よく解決しようとするものである。しかし、袋小路からの脱出という点に関しては十分な解決法が与えられていない。我々の研究室では履歴情報を選択候補として導入する履歴を用いた選択法を開発したが、全体的に選択法よりもよい結果を残しているものの、その差は大きなものではなかった[4]。実際に、効率のよい袋小路からの脱出を実現するためには、

1. 現在、袋小路に入っており、ヒューリスティックス主導の探索が妥当ではなくなっていることを認識できる

こと

2. 袋小路から抜け出し、ヒューリスティックス主導の探索が有効な状況にまで効率よくバックトラックできること

が必要であると考えられる。(1)の判断には履歴を用いた選択法を実現する際に用いた、最良ヒューリスティックスの更新が停滞していることを判断基準として用いることができる。

次に(2)の処理であるが、これは迷路の探索ではなく、その副問題を解くことに対応すると考えることができる。多くのプランニングや問題解決の研究において、問題を副問題に分割するという手法の有効性が認められている。

提案する手法は、分散探索において袋小路に突入した場合は、問題のゴールを目指すのではなく、問題解決の障害状況からの脱出を副問題として明示的に目指すという手法である。

### 3 双対問題探索法

今回提案する探索手法では、いかに袋小路から速く抜け出すかが重要となる。袋小路の入り口を見つけるという副問題を解く手間は、袋小路を通常の手法でしらみつぶしに探索し脱出する手間と変わらなければ、副問題へと分割する意味はない。

そこで、我々は道と壁との双対性に着目して、袋小路の入り口を探るときに壁と通ることにより、より早い副問題の解決を図った(図 1 参照)。これは袋小路の内部の「道」をしらみつぶしに調べるより、袋小路を構成する壁の中を探索するほうが効率が良い、あるいは、少なくともその両者を同時に探索することによってより早く袋小路の出口を見つけることができるはずというアイデアに基づいている。壁の中を探索するには、図 1.b に示すように、与えられた迷路の道を壁に、壁と道に、そして与えられた問題での探索開始点をゴール点と見なし、この迷路の上でヒューリスティックスがそれ以上更新されない点を見つけることになる<sup>1</sup>。言い換えれば、与えられた問題の双対問題を解くことである。問題の副問題として双対問題を用いるため、この手法を双対問題探索法(Dual Problem Search)と呼ぶことにした。

<sup>1</sup> 与えられた迷路を解くことができるならばスタート地点に袋小路を構成する壁が接続されることはない。

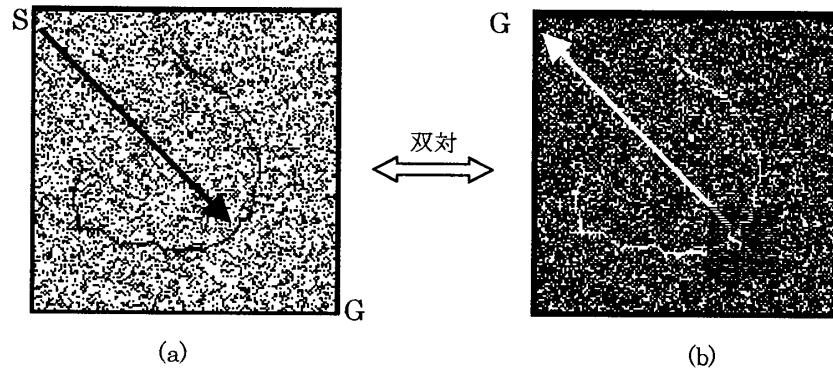


図1 双対問題の基本的な概念

(それぞれの矢印は探索方向を表す. またスタートをS, ゴールをGとする.)

#### 4 評価

双対問題作成時に必要な4近傍から8近傍への変換や迷路を囲む壁に接続された袋小路への対処などを考慮することにより, 実際に迷路のための双対問題探索方法を構成し, 選択法, 履歴を用いた選択法を比較対象とし, 比較実験を行った. 大きな袋小路があるものとならないものについて, ランダムに生成した10種類の迷路について探索の平均時間を図2に示す. 迷路のサイズは100×100, エージェント数は10でそれぞれ行った.

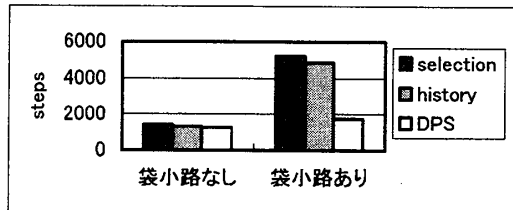


図2 迷路探索の結果

この結果からも分かるように大きな袋小路を有する迷路において, 双対問題探索法は非常に有効であることが分かる.

一方で大きな袋小路を持たない迷路では, どの手法でもベースの探索法として選択法を用いているため探索結果に大きな差が出ない. しかしこの場合, 双対問題探索法や履歴を用いた選択法が選択法より若干結果が悪くなることがあった. 履歴を用いた選択法はエージェントの選択において過去の履歴を用いるため, 袋小路のない迷路においては余計な選択肢が増えてしまい探索に若干の悪影響を与える. また, 双対問題探索法の場合は, それほど大きくない袋小路にエージェントが入ってしまったときに, 壁の中の探索が行われてしまい, その結果しらみつぶしに抜けるより探索に時間がかかるという状況が観測された. この悪化の

度合いは, 壁の探索をするため設けたヒューリスティックスの最良値の更新停滞検出の閾値に依存している. つまり, 値を大きく設定すると, 袋小路に入っているかどうかの判断が遅くなってしまい探索に影響を与えてしまう. 逆に, 値を小さく設定すると, それほど大きくない袋小路に対しても壁の探索を行ってしまい, 結果的に探索時間に悪影響を与えてしまう. この問題は双対問題と所与の問題を並列に解くことで解決できると思われる.

#### 5 まとめ

双対問題探索法を用いて道と壁との双対性をうまく利用して効率よく探索を行うことができた. 今後の課題として, 実際にこの考え方を実世界でどう応用していくかが挙げられるだろう. そのためには, 問題の持つ双対性を見つけて副問題として抽出すること, そしてそれを上手く利用することで効率が上がれば, この探索法は多くの問題に対して有効であると考えられる.

#### 参考文献

- [1] 沼岡千里, 大沢英一, 長尾確, マルチエージェントシステム, 共立出版, pp. 19-47, 1998.
- [2] Knight Kevin, Are many reactive agents better than a few deliberative ones? Proceeding of the Thirteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 432-437, 1993.
- [3] 横尾真, 北村泰彦, 淘汰を用いたマルチエージェント実時間探索の高速化: 協調探索への競争の導入. コンピュータソフトウェア, 1997.
- [4] 梅田真臣, 履歴を用いた再配置を行うマルチエージェント実時間探索法, 卒業論文, 北九州工業大学, 1998.