

パターンデータベースを用いた大きなサイズの箱入り娘型パズルの解の探索について

加藤 貴之[†] 山本 修身[‡]

名城大学 大学院 理工学研究科 情報工学専攻[†] 名城大学 理工学部 情報工学科[‡]

1 はじめに

本稿では、箱入り娘型パズルの解を効率的に求める方法について考える。2014年の情報処理学会全国大会の発表 [1] では A*アルゴリズム [2] や IDA*アルゴリズム [3] で効率的にこのパズルと解くためのパターンデータベース (PDB) を作成し、その効率について示した。そこで作成した PDB は許容的な PDB となっており、これをそのまま用いることで最適解 (最小ステップ数の解) を求めることができる。しかし、大きさ 8×9 以上のパズルについては解くことが困難である。本稿では、この PDB の出力を線形的に大きくした評価関数を用いることで、許容的ではないことから最適解は得られないが、より大きなサイズのパズルの解を高速に求めることができるのではないかと考え、実際にいくつかのパズルについて実験を行った。

箱入り娘型パズルは箱入り娘パズル (図 1 左) を以下の制約の下で拡張したものである。(1) オリジナルの箱入り娘パズルと同様に 1×1 , 1×2 , 2×1 , 2×2 の 4 種類のコマを用いる。(2) 2×2 のコマはパズルに一つだけ用いる。(3) 盤面のサイズは $n \times m$ である。(4) コマの置かれていない空所が 2 箇所存在する。(5) パズルの目的は 2×2 のコマを出口に移動させることであると

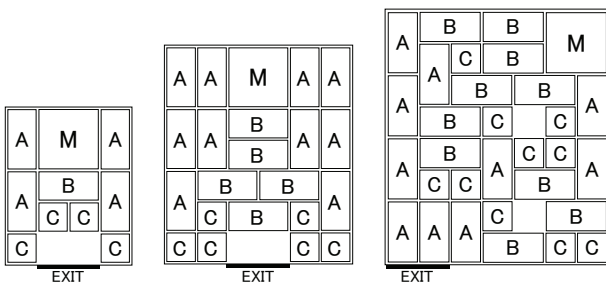


図 1: 左から順にここで用いるサイズ 4×5 , 6×7 , 7×8 の箱入り娘型パズルの初期状態。

On a Search Algorithm for Large Size Hakoiri-Musume Type Puzzles Using a Pattern Database

[†]Takayuki Kato, Graduate School of Science and Technology, Meijo University

[‡]Osami Yamamoto, Department of Information Engineering, Faculty of Science and Technology, Meijo University

定義する。

4×5 の箱入り娘パズルは比較的状态数が少ないことから、単純な幅優先探索で最適解を求めることができる。しかし、このようなスライディングパズルは一般の盤面サイズに関して PSPACE-困難であることが知られている [4]。したがって、パズルのサイズが大きくなると飛躍的に解くことが難しくなると考えられる。

2 箱入り娘型パズルのための PDB の構成 [1]

PDB は元の問題から緩和問題を作成し、その緩和問題のすべてのパターンの最短手数をデータベースに記録したものである。これを元の問題を解くための評価関数として利用する。このとき緩和問題をどのように定義するかによって評価関数の性能が変わってくる。本稿では、緩和問題として大きさ 2 のコマを 1×1 のコマ 2 つへと分割した問題を緩和問題とした。また、許容的な評価関数を作成するために手数のカウント方法に工夫を入れる。コマを分割することで、大きさ 2 のコマの 1 回の移動は 1×1 のコマ 2 回の移動になり、手数が増えてしまう。そこで緩和問題では、隣接した 2 つの 1×1 のコマは同時に同じ方向に同じ距離移動できるとすることで、許容的な評価関数を作成した。

この PDB を用いて、A*アルゴリズムおよび IDA*アルゴリズムによって箱入り娘型パズルの最適解を探索した結果、以下で述べるようになった。図 1 中央の 6×7 のパズルの場合、A*アルゴリズムでは探索時間が

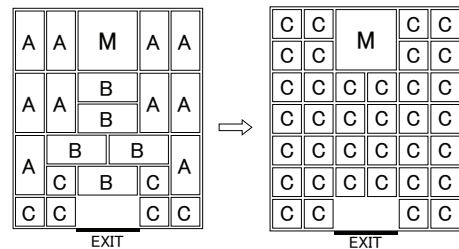


図 2: 6×7 のパズルの緩和問題。

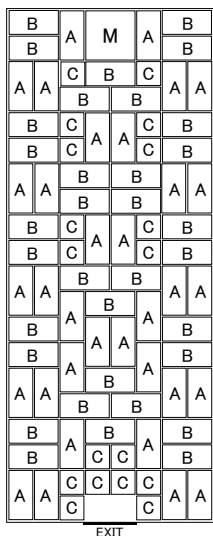


図 3: サイズ 8 × 20 の箱入り娘型パズル.

4.8 × 10⁴ ミリ秒, IDA*では 1.0 × 10⁵ ミリ秒, 幅優先探索では 3.3 × 10⁶ ミリ秒であったことから A*アルゴリズムを用いた場合, 幅優先探索と比べて約 100 倍の高速化ができた. 図 1 右の 7 × 8 のパズルの場合, A*アルゴリズムでは探索時間が 9.8 × 10⁵ ミリ秒, IDA*アルゴリズムでは 8.7 × 10⁵ ミリ秒であった. さらに, 6 × 7 のランダムに作成した 100 個の問題について, PDB を用いて探索を行い平均を採った. その結果, 幅優先探索に比べて, A*アルゴリズムでは約 1000 倍程度, IDA*アルゴリズムでは約 100 倍程度高速化することができた.

このようにサイズ 7 × 8 までの大きさのパズルであれば, PDB を用いることで最適解を得ることができる. しかし, これ以上の大きさのパズルについては最適解を求めることは困難である. そこで PDB の出力を α 倍したものを評価関数値とすることによって, 最適解は得られなくなるが, より大きなサイズのパズルを解くことができるかどうかを実験した.

3 実験結果

PDB の出力を定数倍したとき, 図 3 のサイズ 8 × 20 のパズルを A*アルゴリズムにより解いた結果を表 1 に示す. 8 × 20 と大きなサイズのパズルであっても解くことができている. α = 9 のときが最も速く解を得られており, 約 22 秒であった. α = 7 のとき, 得られた解は 319 でこれが一番少なかった. また, 6 倍以下では 10 分以上探索をしても解は得られなかった. さらに, サイズ 10 × 20 のパズルも同様に実験を行ったが, 解は得られなかった.

表 1: 8 × 20 のパズルを A*アルゴリズムにより探索した結果.

α	Time(ms)	Node	# of steps
7	158,238	96,977	319
8	34,478	55,425	330
9	22,685	60,319	330
10	109,689	104,019	320
11	50,201	89,500	333
12	70,915	104,592	382
13	242,835	121,807	379
14	356,236	142,966	329
15	606,760	167,294	336

PDB サイズ: 1,898,130 byte
PDB 作成時間: 203 秒

4 今後の課題

本稿ではサイズの大きな箱入り娘パズルを PDB によって解くことを試みた. 緩和問題の最適解のステップ数は元の問題よりもかなり小さいと考えられ, 許容性が成立しなくてもよければある程度の係数をかけることにより大きな問題が解けると考えられる. 我々の PDB はギャップ集合の手法 [5] を組み合わせることにより, さらに 2 倍程度通常の最適解の探索を高速化することができている [6]. 今後, 最適解でない解を得るためのより効率的な手法について考えていく予定である.

参考文献

- [1] 加藤貴之, 山本修身. パターンデータベースを利用した箱入り娘型スライディングパズルの最適解の探索. 情報処理学会 第 76 回全国大会, 1U-1, 2014.
- [2] Peter E Hart, Nils J Nilsson, and Bertram Raphael. A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths. *Systems Science and Cybernetics, IEEE Transactions on*, Vol. 4, No. 2, pp. 100–107, 1968.
- [3] Alexander Reinefeld and T. Anthony Marsland. Enhanced iterative-deepening search. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, Vol. 16, No. 7, pp. 701–710, 1994.
- [4] Robert A Hearn and Erik D Demaine. The nondeterministic constraint logic model of computation: Reductions and applications. In *Automata, Languages and Programming*, pp. 401–413. Springer, 2002.
- [5] 山本修身, 佐藤根寛. ギャップ集合を用いた 15 パズルの最適解探索の高速化. 人工知能学会論文誌, Vol. 26, No. 2, pp. 419–426, 2011.
- [6] 加藤貴之, 山本修身. ギャップ集合を用いた箱入り娘型スライディングブロックパズルの最適解の探索. 人工知能学会全国大会, 4L1-1, 2014.