

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12030

研究課題名（和文）大規模かつ多様な問題に対応可能な3次元パッキング問題解法

研究課題名（英文）A flexible solver for large scale 3D-bin-packing problem

研究代表者

間下 以大（Mashita, Tomohiro）

大阪大学・サイバーメディアセンター・准教授

研究者番号：00467606

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では3次元のパッキング問題において、メタヒューリスティックな解法の利点を生かして、解の評価に物理シミュレーションによる動的な揺れに対する評価を導入し、さらに、より大規模な問題に対応できる手法の開発である。研究成果として、輸送中の揺れに対して頑健な解を得ることに成功し、さらに様々な条件に対しても対応可能な解法を示した。また、深層強化学習による3次元パッキング問題の解法の効率化を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

複数の荷物(Cargo)を容器(Container)に詰め込む3次元パッキング問題は社会の様々な場面で発生している問題である。また、個々の問題はそれぞれに異なる条件を持つため、ヒューリスティックな解法ではそれぞれの条件を組み込んだアルゴリズムの開発が必要であった。対して、本研究ではより現実に近い揺れや積みつけの条件を物理シミュレーションと評価関数の設計という形で実現しており、他様な問題に対応できるため、従来より柔軟で実用的かつ応用範囲の広い解法として社会的・学術的な意義が大きい。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we developed a method for solving 3D packing problem, which is a meta-heuristic approach with the evaluation of multi-body dynamics. As a result of our research, our method obtained a solution that is robust against shaking during transportation, and we also demonstrated a solution that can be applied to various conditions. In addition, we have improved the learning performance for solving 3D packing problems using deep reinforcement learning.

研究分野：Computer Vision

キーワード：3次元パッキング問題 遺伝的アルゴリズム

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

複数の荷物(Cargo)を容器(Container)に詰め込む3次元パッキング問題は社会の様々な場面で発生している。パッキングの最適解を求める問題の多くはNP困難な問題とされており、3次元のパッキング問題は特に困難である。それゆえ、実社会のパッキング問題では人間の経験や勘で解を得ている。また、実際のパッキング作業では、詰め込む荷物の重さ、丈夫さ、上積み禁止、天地無用、積み下ろしの順序といった様々な条件が加わるため、より問題を複雑にしている。3次元のパッキング問題の解法は、様々な制約条件をアルゴリズムに組み込んだヒューリスティックな解法と、遺伝的アルゴリズム(GA)等によるメタヒューリスティックな解法がある。ヒューリスティックな解法では、コンテナの稠密度の他に積荷の安定性など、様々な条件を考慮してアルゴリズムが開発される。このようなアルゴリズムは言わば一品物であり、問題のサイズや条件が変化した場合に適用できなくなったり、良い解が得られなくなったりする可能性が高い。また、3次元のパッキング問題が非常に困難な問題であることから、得られる解も良いとは言えない場合も多い。一方、メタヒューリスティックな解法の場合、解法と解の評価を分離することができるため色々な条件を折り込みやすく、多様な問題に対して柔軟に対応できるという利点がある。しかし、一般的に計算量が大きく、特に問題が大きくなるとヒューリスティックなアルゴリズム以上に良い解が得られない場合が多い。本研究課題の問いは、メタヒューリスティックな解法の利点を生かしつつ、より大規模な問題に対応できる手法の開発である。

2. 研究の目的

本研究の目的は物理シミュレーションを解評価に用いることで実際の輸送を想定した3次元パッキング問題の解法をより大規模に実現する手法の開発である。本研究では物理シミュレーションを大規模な問題に適用可能にするために、

- ・機械学習による物理シミュレーションの近似
- ・エンコーディング手法の開発
- ・強化学習による状態評価と学習の効率化

を研究目的とする。

3. 研究の方法

物理シミュレーションによる評価は、計算コストが大きく、解評価に用いるには適さないと考えられていた。しかし、UnityやUnreal Engineといったゲームエンジンの発展によって、物理シミュレーションが比較的簡単に利用できるようになり、小規模な問題であれば適用可能であることを申請者の研究で示した。しかし、その計算コストは依然ボトルネックの一つである。大規模な問題になればより複雑で多くの解を評価する必要がある、その影響は無視できない。本計画では事前計算によるデータと機械学習によって評価値の近似値を得る手法の開発を目的とする。

GAによってパッキング問題を解く場合、パッキング手順を遺伝子として、世代交代を繰り返しながら良い解の探索を行う。この、手順からパッキング状態を生成することをデコーディングと呼ぶが、図1に示すように、Bottom-left-back manner等の代表的なデコーディング手法では問題の規模が大きくなると良い解が得られないことが申請者の研究で分かっている。本研究計画では、このエンコーディング/デコーディング手法を改良し、より大規模な問題に対応可能な手法の開発を目的とする。

上述のように手順の自由度を大きくすることはすなわち、探索空間が広がることを意味する。その結果、単純なCrossoverとMutationによるGAでは良い解が得られないことが予想される。パッキングのような問題では、途中までの手順が変化するとその後の手順に影響を及ぼすため、手順を入れ替える単純なCrossoverでは効率的に解にたどり着かない。その問題を解決し、効率的な探索を行うには、手順の途中の状態の良し悪しを評価し、探索に組み込む必要がある。本研究計画では、どのような途中までの手順が最終的に良い解になりやすいかという中間状態の評価を行う評価関数を機械学習によって実現する。これは、言わば将棋や囲碁のAIによる盤面の評価と同じ発想である。本研究ではその発想をパッキング問題に取り入れ、パッキングにおける定石や良い手順を機械学習によって獲得する。

4. 研究成果

遺伝的アルゴリズムと物理シミュレーションによる動的な状態の解評価を行う手法を開発し、論文誌として発表した。この研究では物理シミュレーションによる解析を利用して、複数の制約

条件を持つパッキング問題への解法を示した。シミュレーションにより得られるデータを解の評価関数に用いることで、荷物の移動や回転のみならず、動的安定性や割物注意、上積禁止などの条件も評価できる。その一例として、提案手法で得られた図1に揺れに頑健な解とそうでない解の例を示す。図ではパッキングの稠密度や重力に対する安定性は同じだが、左の解は横揺れに対しても安定な積みつけになっていることがわかる。このような解は、本研究で提案した輸送中の揺れを想定した物理シミュレーションによる解評価によって得られる。また、評価関数の新たな項とシミュレーションに用いる荷物のプロパティを設定するだけでさらなる制約条件を追加することも可能だと考えられる。

解の探索においては、遺伝的アルゴリズムの染色体表現から荷物の配置へのデコーディングアルゴリズムの影響により、容器のスペースを十分に活用しきれない例がある。現在のアルゴリズムはひとつのカードから順に並べるのみで、上や横に並べて配置できる荷物の大きさにも制約があるなど、柔軟性に欠けるところがある。また、荷物をあえてカードに合わせず、スペースの真ん中に配置するなど、この方法では表現できない荷物の置き方が存在する点も課題である。これらの点を考慮した、より柔軟な別の配置アルゴリズムへの変更が望ましい。また、配置しきれなかった荷物をシミュレーションから除外してしまうことにより、解の探索において特殊な制約条件をもつ荷物が容器内に配置されにくい傾向が現れる。特殊な条件をもつ荷物は、評価値へのペナルティを条件のない荷物よりも多くもつことになるためである。この問題に対しては、制約条件の評価に対する重みづけや、配置アルゴリズムの改善が必要である。

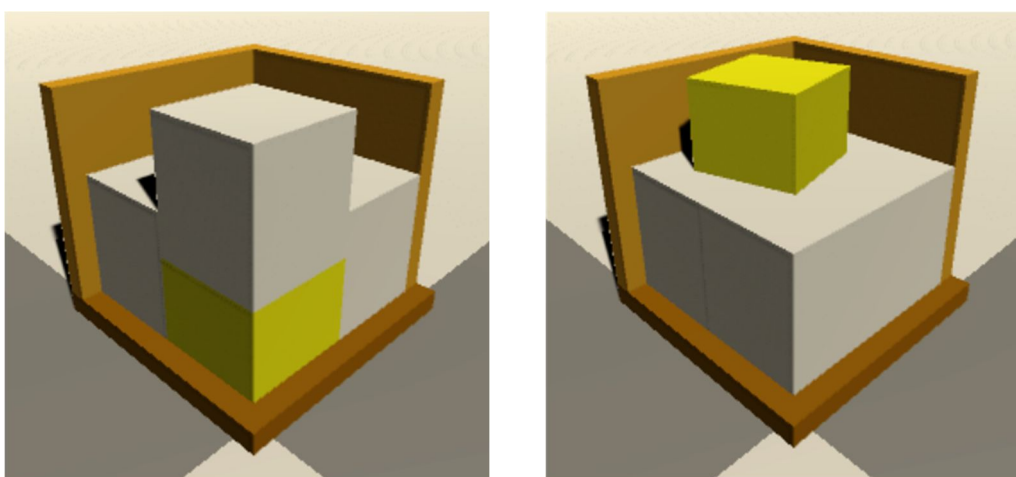


図1 本研究計画による揺れに頑健な解（左）と頑健でない解（右）

深層強化学習の効率化を行う手法を開発し、国際会議で発表した。この研究成果では、強化学習において学習の際重要となる報酬関数の設計を提示した。通常確率分布を使用したMASKと提案した手法により生成したMASKを用いて学習を行った2つのモデルについて、そのPacking精度の比較と可視化及びパラメータ数による精度の違いについて検証を行った。これによりヒューリスティックな手法を取り入れたMASKを使用した深層強化学習モデルによるPackingはより効率よく収束し、約20%のパラメータ数で同等の性能を発揮することができることを示した。この結果から、深層強化学習モデルを用いたBin Packing問題の解法において、エージェントの不利な方策を抑制するためのMASKにヒューリスティックな手法を取り入れることにより効率的な学習を行い、必要パラメータ数を削減しつつ同等の性能を維持することができることを示した。このようによりコンパクトなモデルでPackingを行うことができれば、より複雑な条件を要する現実のBin Packing問題においても深層強化学習を用いることでより現実的な時間内に学習を行い、様々な場面での課題への貢献に期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 NISHIYAMA Shuhei, LEE Chonho, MASHITA Tomohiro	4. 巻 E104.D
2. 論文標題 Solving 3D Container Loading Problems Using Physics Simulation for Genetic Algorithm Evaluation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1913 ~ 1922
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transinf.2020EDP7239	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Takumi Nakajima, Chonho Lee, Tomohiro Mashita
2. 発表標題 Efficient Deep Reinforcement Learning with Probability Mask in Online 3D Bin Packing Problem
3. 学会等名 International Symposium on Grids & Clouds (ISGC) 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	李 天鎬 (Lee Chonho) (70792737)	岡山理科大学・総合情報学部・教授 (35302)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------