

遺伝的アルゴリズムによる協調作業計画問題の解探索

青山学院大学 ○長井 志江 富山 健

Genetic Algorithm for Scheduling Problem of Cooperative Tasks

○ Yukie NAGAI Ken TOMIYAMA: Aoyama Gakuin Univ.

Abstract – In this paper, genetic algorithm (GA) is applied to a scheduling problem of cooperative tasks by multiple robots. At first operations for objects are scheduled. Then the operations are shared with multiple robots, and each robot puts into order the shared operations.

Key Words: Genetic Algorithm, Scheduling Problem, Cooperative Task

1 はじめに

ロボットが効率良く作業を行うためには、あらかじめ作業順序を決定し、それに従って作業を遂行する方法が有効と考えられる。また、複数のロボットで協調して作業を行う場合、各ロボットへの作業分担が必要となる。本研究では、以上のような作業順序及び作業分担の決定を含む問題を、協調作業計画問題と定義する。本問題は、複数のロボットが同一の作業目的を有した問題であり、経路計画問題や戦略決定問題等、各ロボットが別々の作業目的を有した問題とは異なる。これらの問題に対しては、これまでも様々なアプローチが見られた¹⁾²⁾が、本研究で扱う協調作業計画問題に対しては研究例が少なく、著者らの研究³⁾においても作業計画問題は扱っていなかった。そして協調作業計画問題に関する研究⁴⁾においても、実時間での作業計画を重視し、作業全体の最適化を考慮していない等の問題点が見られた。

これまで一般的に扱われてきた協調作業計画問題の特徴の一つとして、作業を遂行するロボットの台数が作業設定時から固定されていた。しかし、実環境では作業を行うロボット台数は、同一の作業においてもその時々により異なる。そして、作業中でもロボットの突然の故障等で、ロボット台数が変化することが考えられる。さらにもう一つの特徴として、作業の進行にともなって作業環境の制約条件が動的に変化するような問題は、あまり扱われていなかった。ロボットが行った作業によって環境が変化し、次の作業の段階で前の作業の時と環境の制約条件が変わってしまうような問題である。これらの問題に対しては、従来のようにロボットがとる行動の順列を生成する方法では、作業計画の立案が非常に困難である。

そこで本研究では、作業対象物が受ける作用の順列を生成する協調作業計画アルゴリズムを構築し、それに遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, 以下 GA)⁵⁾を適用する。作業対象物が受ける作用に関する計画を行うことにより、ロボット台数の変化にも柔軟に対応でき、また作業環境の制約条件の動的変化を、計画立案段階で全て考慮に入れることが可能である。建設作業においては作業対象物そのものが作業環境を構成するため、本手法のように作業対象物を中心にした作業計画が有効であると考えられる。本稿ではまず、作業対象物が受ける作用の順列を生成する協調作業計画アルゴリズムについて説明する。そして、本手法の性能を検証する実験について述べる。

2 協調作業計画アルゴリズム

本研究で構築した協調作業計画アルゴリズムを Fig. 1 に示す。まず作業対象物が受ける作用の順列を生成し、ロ

ボット台数に応じて、各ロボットへその作用を分担する。そして、最後に個々のロボットにおいて行動の順列を生成する。本手法では、これらの処理を4つのタスクに分割し、順に処理を行うことで一つの協調作業計画を実現する。本研究では、このうち作業対象物が受ける作用に関する計画部 (Object Level Scheduling I・II)、及びロボットの行動計画部 (Robot Motion Scheduling) の一部を構築した。以下で、各タスクの処理内容について順に説明する。

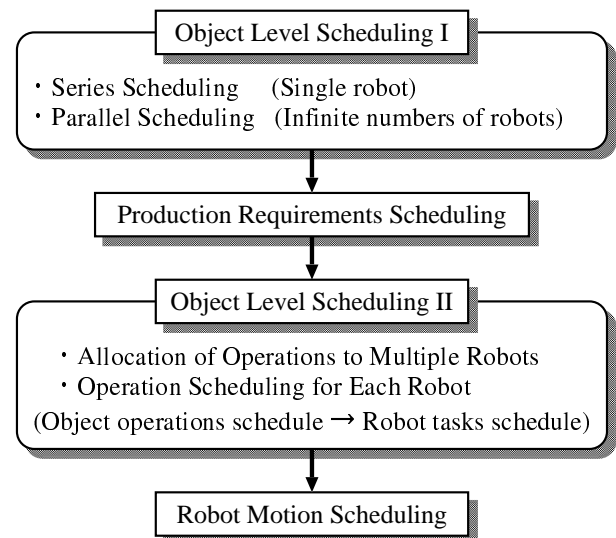


Fig. 1 : Scheduling Algorithm for Cooperative Task

2.1 Object Level Scheduling I

まず作業対象物に関し、それらが受ける作用の順列が最適となるような計画を、GAにより立案する。この時点でロボットの台数は未定であり、作業対象物のみを考慮した最適計画が立てられる。ここで立案される計画は、ロボット台数を1台のみとした場合の計画と、無限台とした場合の計画の2種類である。ロボットの台数を1台のみとした場合、作業対象物が受ける全ての作用が直列的につながれた計画が立案される。また、ロボットの台数を無限台とした場合、作業対象物が受ける作用が、制約条件を満足する範囲内で並列的に並べられた計画が立案される。これら2種類の計画を始めに立案しておくことで、ロボットの台数が決定された際の各ロボットごとの作用順列が容易に生成され、ロボット台数の変化にも柔軟に対応できると思われる。

2.2 Production Requirements Scheduling

Object Level Scheduling Iで立案された作業計画に対し、時間・エネルギー・コスト等を最適とする工数（ロボット台数）を決定する。ここではこの工数計画部は他の研究にゆずり、ロボット台数は人間によって任意に決定されるものとする。

2.3 Object Level Scheduling II

前述のタスクで決定されたロボット台数に対し、各ロボットへの作業分担を行い、個々のロボットにおいて作業順序を決定する。これらの決定をそれぞれGAにより行う。この際、Object Level Scheduling Iで立案された2種類の計画（ロボット台数を1台のみとした場合の計画と、無限台とした場合の計画）から、それぞれを初期個体として最適解の探索を行う。これにより、作業順序が全く生成されていない状態からの計画立案よりも、短時間で計画立案が可能となる。また、作業内容は変わらず、ロボット台数のみが作業中や作業直前に変化した場合、Object Level Scheduling Iの結果をそのまま利用し、本タスクからのみ再計画を行えば良い。そのため、始めからロボットがとる行動の順列を生成する作業計画に比べ、ロボット台数の変化にともなう再計画が容易である。また本タスクにおいて、作業対象物が受ける作用の順列としての作業計画から、ロボットがとる行動の順列としての作業計画への変換が行われる。

2.4 Robot Motion Scheduling

Object Level Scheduling IIをもとに、ロボットの詳細な行動計画を立案する。本タスクは、Object Level Scheduling IIとの明確な分離が困難である。また、状況設定により非常に複雑な問題も含まれてしまう。よって本タスクでは、単に個々のロボットの移動経路の生成のみを行う。

3 検証実験

前節で述べた協調作業計画アルゴリズムの検証実験として、2次元積木問題を設定する（Fig. 2 参照）。水平面内に並べられた複数の積木を、複数のロボットを用いて初期状態から目標状態まで遷移させる。作業に要する時間や、作業に費やすエネルギー・コスト等を評価関数として、GAにより準最適解の探索を行う。

3.1 問題設定

本問題において設定した条件を、以下に列挙する。

- 積木の形状は立方体、寸法も全て等しい
- 積木の数は初期状態と目標状態とで等しい
- 積木は数種類存在、それらの位置も指定可
- 積木の初期状態と目標状態は同一空間内に存在
- 積木1個は1台のロボットで移動可能
- ロボットは全て同質の水平移動型ロボット
- ロボットは積木と同程度の大きさ
- 作業空間の大きさは限界有、空間外での作業は不可

3.2 GAによる解探索

作業対象物が受ける作用の順列を、GAにより生成する。作業時間と作業に費やされるエネルギー・コスト等を適応度関数として、準最適解の探索を行う。作業計画を表現する個体は、積木の位置（ $[x, y, z]$ の座標値）と、その積木が移動する方向とを一要素とした順列で表現さ

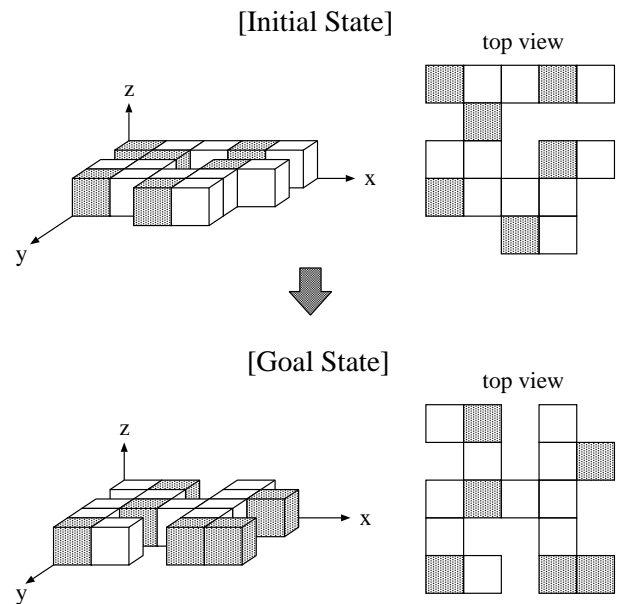


Fig. 2 : 2D Block Placement Problem

れる。また、作用の順列を生成する際、その状態に対し適用可能な作用のみが選択される。

4 おわりに

本研究では、作業対象物が受ける作用の順列を生成する協調作業計画アルゴリズムを構築し、それにGAを適用した。本手法では、まず作業対象物が受ける作用に関する計画を立案し、ロボット台数に応じて各ロボットへその作用を分担する。そして、最後に個々のロボットにおいて行動の順列を生成し、全体として協調作業計画を実現する。本稿では、まず構築したアルゴリズムについて、その処理手順と各タスクごとの処理内容を説明した。そして、本手法の性能を検証する実験として、2次元積木問題を設定し、GAによる解探索を行った。

今後は、検証実験で扱った2次元積木問題を3次元へ拡張し、同様の手法で準最適解の探索を試みる。積木問題を3次元にすることで、積木の配置に関する物理的制約が生まれ、作業の実行順序に関する条件が新たに追加される。また、積木の水平動だけでなく上下動も必要となるため、その作業を行うための新たなロボットが加えられ、異質ロボット間での協調作業というより複雑な問題となる。これらの問題をシミュレーション実験により検証する。

参考文献

- 1) 柴田崇徳, 福田敏男: 日本機械学会論文集 (C編), Vol.59, No.560, pp.1134-1141 (1993).
- 2) 太田順, 横川洋一, 新井民夫: 日本ロボット学会誌, Vol.14, No.3, pp.379-385 (1996).
- 3) Ken Tomiyama, Yukie Nagai: Proc. of the 2nd Int. Work. on Advanced Mechatronics, pp.230-235 (1997).
- 4) 浅間一, 他: 日本ロボット学会誌, Vol.10, No.7, pp.955-963 (1992).
- 5) David E. Goldberg: Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison Wesley Publishing (1989).