

セル生産システムに対する汎用プランニングの適用

遠藤 翔馬† 浅井 政太郎‡ 福永 Alex‡

†東京大学教養学部

‡東京大学大学院総合文化研究科

1 はじめに

多品種少量生産を旨とし製造品目の柔軟な切替・調整が可能なセル生産方式は、近年の需要の多様化を受けて広く普及しつつある大量生産システムである。セル生産方式ではその特徴から新たに作る品目の製造プランを頻繁に立てる必要があるが、この作業は熟練者の手作業で行われることが一般的であり、効率化の余地が大きいという問題点を抱えている。

このような問題に対応可能な汎用的技術として、人工知能分野で研究されているドメイン非依存プランニング技術がある。プランニングは「初期状態・ゴール状態・適用可能な行動」を入力として、「初期状態からゴール状態へ到達するために取るべき行動の列」を出力する問題として定式化され、その記述には PDDL (Planning Domain Description Language) のような言語が用いられる。

本研究はこのプランニング技術の適用による、セル生産方式における製造プラン作成のさらなる効率化を目的とする。そのために既存の手法を改良し、プランニングの適用による製造プラン作成を効率良く行う局所探索手法を提案する。また実験によって手法の評価を行い、その有用性を検証した結果を報告する。

2 先行研究とその課題

セル生産方式へのプランニングの適用に関して、本研究と関連の深い研究から steady-state モデルの概念とそれを基にした Automated Cyclic Planner の技術を紹介する。

2.1 steady-state モデル

プランニングはその名の示す通りプランを立てるための技術であるが、これをそのままセル生産方式のような大量生産システムに適用することは困難を伴う。その理由は立てるべきプランが長くなりすぎるためである。一般的なプランニングでは立てるべきプランが長くなるほど計算複雑性が指数的に増加する。セル生産

のような多品種少量生産のシステムでも一度に作る製品の個数は 100 個や 1000 個のオーダーになり、これは単純なプランニングで現実的な時間内に解ける規模ではない。

そこで Ochi ら [3] が提案したのが steady-state モデルである。これはプランニングに「ループ」の概念を導入し、大量生産システムにおける立てるプランの長さを大幅に短くしてプランニングに必要な計算量を大きく削減するモデルである。例えば「100 個の製品を作る」というプランを立てるという問題が与えられた際、製品 100 個の自由な全組み立てプランを一度に計算するのではなく「少数の製品を組立てる繰り返し作業」の 1 周分だけを計算するように問題を変換し解くようにするのが steady-state モデルのコンセプトである。繰り返し作業の 1 周分のプランさえ得ることができれば、ただそれに従って作業を繰り返せば当初の目的が達成できるため、残りの工程について計算を行う必要がなくなり、計算量の大幅な縮減が可能となる。

2.2 Automated Cyclic Planner

Automated Cyclic Planner (ACP) は steady-state モデルの枠組みを完全に自動化して実行できるよう実装されたプランニングシステムである [1]。Ochi ら [3] による提案段階では steady-state モデルは「ループ化すれば効率良くプランニングできる」ことを示したが、「どのようにループ化するのか」ということには答えていない。ACP は与えられた一般的なプランニング問題の入力から「ループ終始状態」、すなわちループのスタート・終了状態となる状態の自動検出を可能にし、この問題を解決した。

3 提案手法

2 章で説明した状況を踏まえ、本章では Asai ら [1] の提案した Automated Cyclic Planner (ACP) の探索アルゴリズムを改善し、その性能を向上させる手法を提案する。

与えられた生産モデルの作業工程におけるループ点の検出・評価を行う際、ACP の元々のアルゴリズムでは単純な全列挙戦略を採っている。すなわちループを行うことができるループ終始状態を時間内に可能な限り列挙・評価し、その中からそのループにかかるコスト

Application of Domain-independent Planning to Factory Cell Assembly Manufacturing

†Shoma ENDO ‡Masataro ASAI ‡Alex FUKUNAGA

†The University of Tokyo

‡Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo

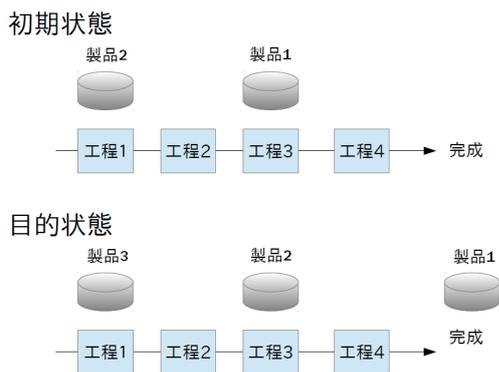


図 1: steady-state モデルにおける 1 ループ分のプランニング

が最も小さいものを採用してプランニングを実行する、という方法である。提案手法ではこのプロセスに着目し、全列挙に代えて局所探索を導入することで ACP の探索効率の改善をめざす。

導入した局所探索は最急勾配法とランダム勾配法の 2 種の山登り法である。最急勾配法では現在考慮しているループ終始状態候補のすべての近傍を評価し、その中から最もコストの小さい候補へ移動する。ランダム勾配法では近傍をランダムな順番で評価していき、現在の候補よりコストの小さい候補が見つかった時点でその候補へ移動する。提案手法ではいずれの方法においても局所最適解が見つかった時点で探索を打ち切り、新たな出発点を指定する仕様としている。

4 提案手法の評価

提案手法の効果を検証するため以下のような設定で実験を行った。先行研究の実験において用いられているものと同様の問題モデル 5 種についてそれぞれに提案手法を用いたプランニングを行い、出力として得られたプランのコストを先行研究で示されている値と比較して評価した。

表 1: 実験結果 (一部)。ACP の値は Asai ら [1] より引用

問題	最急勾配法	ランダム勾配法	ACP
model2a	49.0	49.0	77.0
model2b	61.0	61.0	61.0
model3a	129.0	131.0	141.0
model3b	56.0	56.0	63.0
model3c	107.0	100.0	145.0

実験の結果、提案手法によって改良したプランニングでは先行研究の実験結果と比較して、特にサイズの大き

く複雑な問題に対しては 1.5 倍程度効率の良いプランが得られた。逆にサイズの小さく単純な問題においては得られたプランのコストはほとんど、あるいは全く変わらない値であり、改善効果は見られなかった。これは実験の時間内において単純な全列挙戦略でも最適解やそれに近い値に到達できるほど問題の探索空間が小さかったことが原因と考えられる。一方全列挙では最適解を得られない程度に複雑な問題の場合は局所探索の導入による探索の効率化の効果がはっきりと表れていることを確認することができた。

5 おわりに

本研究ではセル生産方式のプランニングにおいて、局所探索の導入によりプランニング問題の steady-state 化を行う際の探索性能を向上させる手法を提案した。そしてその効果の検証を行い、新たに導入した局所探索法が従来手法の単純な列挙戦略よりも高い性能を示していることを実証した。特にサイズが大きく複雑性の高い問題に対しては、より高い効果をもたらしていることを示した。

本稿ではセル生産方式を提案手法の主な適用対象として議論を行ってきたが、steady-state モデルや ACP は流れ作業による製造システム全般に適用可能な技術である。ゆえに本研究で提案した手法はセル生産方式以外の対象においても汎用的な有用性を持つことが期待される。

参考文献

- [1] Masataro Asai and Alex Fukunaga. Fully automated cyclic planning for large scale manufacturing domains. *To appear in The International Conference on Automated Planning and Scheduling*, 2013.
- [2] Richard E Fikes and Nils J Nilsson. Strips: A new approach to the application of theorem proving to problem solving. *Artificial intelligence*, 2(3):189–208, 1972.
- [3] Kimitomo Ochi, Alex Fukunaga, Chikako Kondo, and Munehiko Maeda. A steady-state model for automated sequence generation in a robotic assembly system. *Proceedings of the 7th Scheduling and Planning Applications woRKshop*, 2013.
- [4] Stuart Russell and Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach (2nd Edition)*. Prentice Hall, 2002.