

リエントラントスケジューリング問題に対する モンテカルロ木探索法の選択戦略の評価

糸永 恭平† 松本 慎平† 廣末 典朗‡

†大分工業高等専門学校制御情報工学科

‡九州工業大学情報工学部知能情報工学科

1 はじめに

近年、評価関数が不要な確率的探索アルゴリズムである Monte-Carlo Tree Search (MCTS) が Coulom により提案され [1], 囲碁などの二人零和有限確定完全情報ゲームで優れた成果を上げている。また, Schadd らによって一人完全情報ゲームを目的とした Single Palyer MCTS (SP-MCTS) が提案され [2], 数値実験から従来の解法と比較してその有効性が示されている。プレイヤーの意思決定によりその状況を変化させる一人完全情報ゲームは, 状況間の依存関係をネットワーク図として記述することが可能である。特に, ネットワーク図の中でも, ゲーム終了が定義可能な問題は, 依存関係を木構造で表現できる。したがって, SP-MCTS をメタヒューリスティック解法と考えることにより, 典型的な組合せ最適化問題への応用のみならず, 現実的問題へ応用することは十分に可能であると考えられる。

本研究では, SP-MCTS の現実問題への応用可能性を検証する。現実的問題の一例として, これまで我々が取り組んできたリエントラントスケジューリング問題を取り上げ, その応用結果を報告する。本研究では, SP-MCTS のシミュレーション戦略に対して, 熟練者の知識に基づいた 2 種類の処理選択の手法を検証する。双方共に, 入力データである全工程の中から利用頻度の最も高いインクに注目した手法である。解法には曖昧な基準が含まれているため, SP-MCTS で考えられる組合せを列挙することにより, 解の精度向上を目指しながら, 知識獲得を支援する手法としての考察を行う。

2 関連研究

近年, 複雑多岐になった生産システムの情報化を目指し, 熟練者の技術を活用したスケジューリング理論に対する要求は高まってきている。これまで, スケジューリング理論は様々な方面からアプローチされている。初期のものはオペレーションズ・リサーチによる手法である。多種多様なスケジューリング問題が扱われてきたが, スケジューリング問題は容易に解けるものから

極めて難しいものまで幅広く存在している。容易な問題では, 最短経路問題, 各種フロー問題などのネットワーク問題へと置き換えることで, 効率的なアルゴリズムを適用できる。しかし, 問題に関わる様々な要因を詳細に記述し明確に定式化することは, 現実的問題にあってはほぼ不可能である。その結果, 現在, 現実的な時間で有効な近似解を求める解法が発展している。スケジューリング問題に対する様々な探索手法が存在する中で, 無数に存在する様々なタイプの現実の生産現場に対しては, 木探索手法の柔軟性は実用に耐えうる有効なアプローチ法であると考えられている [3]。木探索法の中で, MCTS は近年特に注目を集める解法である。特に, SP-MCTS はスケジューリング問題など組合せ最適化問題に応用可能な解法である。

3 問題及び解法

MCTS は評価関数を必要としない最良優先探索である。この手法では, 葉ノードにモンテカルロ評価を与えながら, 探索木を構築する。通常, MCTS の探索手法はルートのみ状態から始める。一般的に, MCTS は以下に示す 4 つの手順を, 制限時間か最大ノード数まで繰り返し実行する。

- 木のルートから始まり, 葉ノードまでを評価値を参考にしながら選択する。
- 選択された葉から終了までシミュレーションする。
- 木の葉ノードに子ノードを追加する。
- シミュレーションの結果を, 葉ノードからルートまで評価値を逆伝播により更新する。

ここで, 各ノードが持つ評価値は, 主に UCT (Upper Confidence bounds applied to Trees) により与えられる。UCT は, k -armed バンディット問題の理論に基づいた手法で, UCT に従うことで, 最も信頼できるノードを最良優先で展開することができる。

本研究は, 現実的スケジューリングの一例として, 印刷工程での生産順序計画を取り上げる。印刷工程は, 様々な種類のインクを用いた文字版での多重印刷 (重ね塗り) によって製品を処理するリエントラントスケジューリングである。多重印刷とは, ある時刻において任意のインクと文字版によって印刷されたとき, 処

†Kyohei ITONAGA †Shimpei MATSUMOTO ‡Noriaki HIROSUE
†Department of Computer and Control Engineering, Oita National College of Technology
‡Department of Artificial Intelligence, Kyushu Institute of Technology

ノード数	問題1		問題2		問題3		問題4		問題5	
	提案法	従来法	提案法	従来法	提案法	従来法	提案法	従来法	提案法	従来法
10 ²	19.7	21.8	28.0	27.0	26.5	29.2	30.2	38.4	32.3	31.2
10 ³	18.4	20.7	25.7	25.8	23.8	27.8	27.9	36.8	29.4	29.8
10 ⁴	17.8	19.2	23.6	24.1	21.9	26.0	26.0	34.2	27.2	27.9
10 ⁵	17.3	18.2	22.6	22.5	21.2	24.0	25.4	31.2	25.6	25.2

図 1: 実験結果の一例

理された時間以降において再度塗り重ねる処理を決められた回数まで繰り返すことを意味している。印刷工程では、複数種類の生産シートを取り扱っているが、多重塗り回数(工程回数)や、各工程で用いるインク・文字版の種類は生産シートごとに異なっている。工程が切り替わった際、すなわちインクと文字版の種類を取り替える際、段取り作業が発生する。段取り作業には、時間や手間が発生するため、段取り作業は生産リードタイムに影響を与える。同一種類のインクと文字版による工程をまとめることで、段取り作業の回数を削減し、生産効率を改善する。

4 数値実験及び考察

従来法と提案法の知識を実装した解法を製作し、数値実験を行った。双方共に、印刷工程における熟練者の知識に基づいた解法である。従来法は、入力データである全工程の中から利用頻度の最も高いインクに注目し、前方・後方の二つの領域への分割を再帰的に繰り返しながら、最終的に生産順序を決定する解法である。提案法は、推論規則に基づき処理可能な処理を評価し、評価値の高い処理から順に割り付ける解法である。数値実験で得られた結果の一例を Fig.1 に示す。実験の結果から、前方向から各処理を評価するディスパッチングルールに基づいた解法の有効性が示された。

実験結果を踏まえて以下の通り考察する。現実的なスケジューリング問題では考慮すべき要因が多いため、対象となる問題を数理モデルとして詳細に記述することはほぼ不可能であると言っても良い。また、モデル化する時点では確認されなかった要因であっても、実運用の段階で無視できない重要な要因として顕在化する可能性が非常に高い。このことは、これまで進めてきた我々の研究からも明らかにされている。我々の従来の研究では、生産効率改善を目指した解法を理論的側面にのみ基づいて設計した。しかし、実運用の段階において、我々が設計した解法では、現場で柔軟に対応できている不確実な状況の変化に対応することが困難であった。こうした結果を踏まえ、我々は現場の熟練者が有する知識に基づいた解法の設計は不可欠である

と結論付けた。現場自身の手による解法の自立的発展と改善を可能とし、かつ実時間で有効な解を導出可能とするため、我々は知識を規則で表現するルールベース解法を採用し、その有効性を確認した。SP-MCTS を応用する動機付けは良質な解を得るだけではないと考える。SP-MCTS はヒューリスティックルールを容易に実装することができる。ルールを実装した解法が問題を解く過程を観察することで、さらなるルールの改善を促進する。その結果、新たなルール獲得を支援することができるのではないかと考える。得られたルールを SP-MCTS に搭載し、解を導出する。これらの過程を繰り返すことで、解法のより厳密な記述と知識の獲得が達成されるのではないかと考える。

5 おわりに

本研究では、従来スケジューリング問題に応用されてこなかった SP-MCTS に注目し、現実的な問題に対して利用可能であることを明らかにした。数値実験の結果から、問題に応じてパラメータの変更を行い、的確なヒューリスティックを SP-MCTS に与えることで、有効な解を得た。また、SP-MCTS が解を導く過程を観察することで、スケジュール規則の記述を支援する手法として SP-MCTS は利用可能であることを述べた。今後は、実験からスケジュール規則を獲得する過程や、改善の結果を明らかにする予定である。

参考文献

- [1] R. Coulom, Computing elo ratings of move patterns in the game of go, In Computer Games Workshop, Amsterdam / The Netherlands (2007).
- [2] M. Schadd et al., Addressing NP-Complete Puzzles with Monte-Carlo Methods, Proc. of the AISB 2008, Vol.9, pp.55-61 (2008).
- [3] N. Honda et al., Tree Based Algorithm for the Flow-Shop Model to Maximize Number of Just-In-Time Jobs, Scientiae Mathematicae japonicae, Vol.61, No. 2, pp. 371-378 (2005).