

ジョブショップスケジューリング問題への SA の適用と温度に関する検討

SA for Job-shop Scheduling Scheduling and investigations into temperature

輪湖 純也

Junya WAKO

Abstract: The Job-shop Scheduling Problem is one of the most difficult NP-hard combinatorial optimization problems. This paper confirmed an important temperature in JSP for applying simulated annealing(SA), and proposes a new SA method whose search concentrates on the important temperature. Experimental results shows the proposed method outperformed other existing local search algorithms.

1 はじめに

ジョブショップスケジューリング問題 (Job-shop Scheduling Problem: JSP) は, NP-困難な組合せ最適化問題の中でも特に難しい問題の一つとされている. JSP は, 複数の異なる仕事を処理するため, 共通資源である機械群の時間的な割り当てを決定する問題である.

本研究で扱う JSP は, 次のように記述できる. n 個の仕事を m 台の機械で処理することを考える. 各仕事を処理する機械の順序 (技術的順序), および各機械上での各仕事 (作業) の処理時間はあらかじめ与えられている. JSP は, この条件の下で, すべての仕事を完成させるまでの時間 (makespan) を最小にするような, 各機械上での仕事の処理順序をすべて決定する問題である.

JSP の主な解法は, 分枝限定法によるものであるが, その他にもシミュレーテッドアニーリング (SA) や遺伝的アルゴリズム (GA) などの汎用近似解法を用いた方法が提案されている. 組合せ最適化問題に SA を適用する場合, 一般的に温度パラメータが解探索性能に重要な影響を及ぼす. 従来 SA を JSP に適用する際, JSP の近傍構造に注目した報告はいくつかなされている^{1) 2)}. しかし, 温度パラメータが解精度に及ぼす影響に関して, 十分な説明は行われていない.

そこで, 本研究ではまず, SA を JSP に適用する際に用いられる近傍構造について性能比較を行う. 次に温度パラメータが解に与える影響について検討し, JSP に SA を適用する際の温度設定に関する指針を得ることを目的とする.

2 JSP における近傍構造

2.1 クリティカルブロック

スケジュールされた作業は, 「スケジュールに余裕がなく, 動かすと makespan を左右する作業」と「スケジュールに余裕のある作業」の 2 つに分けることができる. この makespan を左右する一連の作業列をクリティ

カルパス P という. クリティカルパス上の作業列 B は, 次の性質が成り立つときクリティカルブロックと呼ばれる (Fig. 1 参照).

1. B のすべての作業は同一機械上にある.
2. B の最初 (最後) の作業の同一機械上での直前 (直後) の作業は (存在する場合) P 上にない.

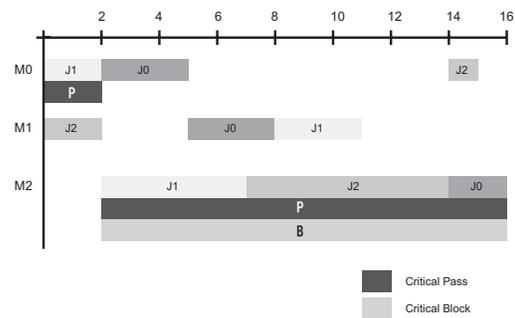


Fig. 1 Critical Pass and Critical Block

2.2 クリティカルブロック近傍

これまでに, 山田らが用いている SA では, クリティカルブロック内の作業順序を入れ換える遷移操作を考え, 近傍としてこの遷移の結果得られる解全体の集合を用いている¹⁾.

その作業順序を入れ換える方法として, 次の 2 つの方法が提案されている.

- AS 近傍
クリティカルブロック内の連続する二つの作業の処理順序を反転させる遷移操作.
- CB 近傍
クリティカルブロック内の任意の作業を, ブロックの一番先頭もしくは一番最後に移動させる遷移操作.

今回、これらの2つの近傍に加え、ある機械上の、任意の2つの作業を全くのランダムに入れ換える遷移操作（以下ランダム近傍と呼ぶ）を定義し、この3つの近傍について性能比較を行う。

なお、遷移の結果得られるスケジュールの内いくつかは実行可能でないことがあるが、それらはGT法⁴⁾と呼ばれるアクティブスケジュールを生成する手法によりすべて実行可能解に修正される。

2.3 近傍構造の性能評価実験

本研究ではまず異なる3つの近傍構造をもつSAの性能比較を行う。対象問題は、JSPの代表的なベンチマーク問題から10仕事×10機械問題（FT10）、20仕事×5機械問題（FT20）を用いた。FT10の最適解は930、FT20は1165である。

実験で用いたパラメータを、以下のTable 1に示す。最高温度と最低温度は、文献¹⁾を参考にし、それ以外は経験的に決定した。

Table 1 Parameters of SA

総アニーリング数	32000
温度数	32
最高温度	50.0
最低温度	5.0

Fig. 2にFT10における、各近傍構造を用いたSAの探索履歴を示す。以下、CB近傍を用いるSAをCBSA、AS近傍を用いるSAをASSA、ランダム近傍を用いるSAをRNSAとする。

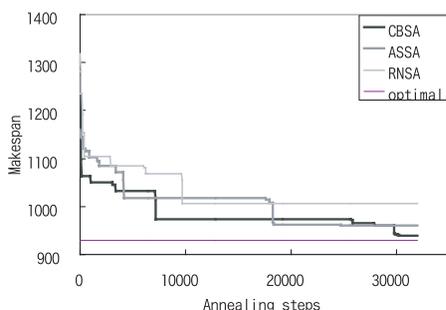


Fig. 2 Search history of CBSA, ASSA and RNSA

Fig. 2より、ASSAやRNSAが局所解に陥っているのに対し、CBSAは局所解に陥ることなく、効率的に探索できていることが分かる。

次にFT10とFT20の解精度の比較をFig. 3, Fig. 4にそれぞれ示す。横軸に近傍構造、縦軸にmakespanをとり、値が小さいほどよい結果を示す。結果は20回試行の平均である。

Fig. 3, Fig. 4より、FT10, FT20ともにクリティカルブロックに注目したCBSAやASSAは近傍をランダムに決定するRNSAよりも、優れた結果を示していることが分かる。また、3手法の中でCBSA法が最もよい性能を示していることが分かる。

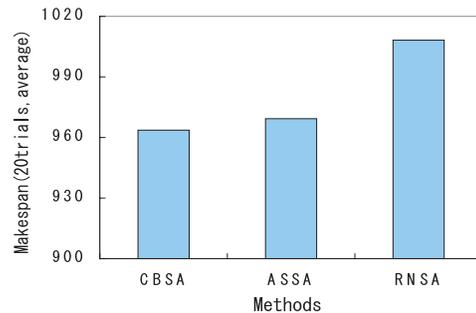


Fig. 3 Comparison between CBSA, ASSA and RNSA (20 trials, average) in FT10

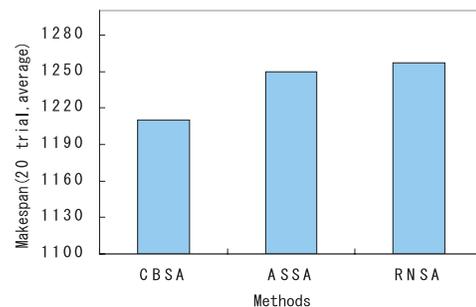


Fig. 4 Comparison between CBSA, ASSA and RNSA (20 trials, average) in FT20

3 JSPにおける重要温度領域

従来の組合せ最適化問題にSAを適用した研究において、特定の温度でのアニーリングがSAの解探索性能に大きく影響することが分かっている。しかしSAをJSPに適用する場合において、この効率的に解探索を行うことができる温度領域（重要温度領域）の存在は確認されていない。そこで、一定温度でアニーリングを行うSAをJSPに適用し、良好な解が得られる重要温度領域の存在を明らかにする。

実験では、温度パラメータを50.0から1.0まで等比的に32分割し、一定温度で探索を行う。各温度について総探索数は、32000とした。FT10とFT20の実験結果を以下のFig. 5及び、Fig. 6にそれぞれ示す。横軸に温度、縦軸にmakespanをとり、結果は20回試行の平均である。

Fig. 5, Fig. 6より、FT10においては温度12付近で、さらにFT20については温度7付近で精度の良い解が得

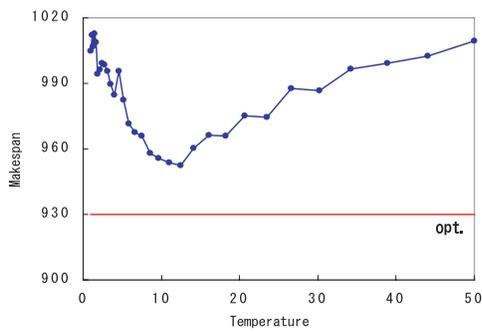


Fig. 5 Result of fixed temperature search in FT10

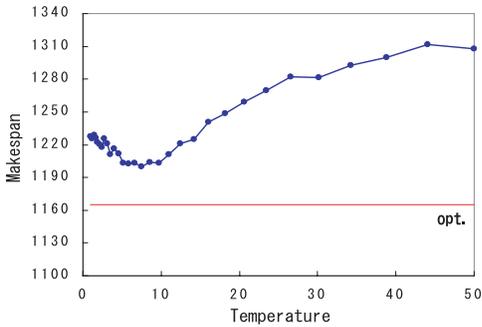


Fig. 6 Result of fixed temperature search in FT20

られており，JSP において重要温度領域の存在が確認できる．

4 重要温度領域を集中的に探索する SA

前節において一定温度の SA を JSP に適用し，重要温度領域の存在を確認した．そこで，重要温度領域を集中的に探索することで，より効率的に探索を行うことを考える．Fig. 5，Fig. 6 より FT10 における重要温度領域は 12 付近，FT20 では 7 付近であることが分かる．そこで，この重要温度領域を集中的に探索するような最高温度と最低温度を設定する．Table 2 にこの実験に用いるアニーリングパラメータを示す．なお，JSP の近傍構造には最も性能の良かった CB 近傍を用いた．

Table 2 Parameters of CBSA/IT

総アニーリング数	32000
温度数	32
最高温度	20.0
最低温度	5.0

Fig. 7 に FT10，Fig. 8 に FT20 における実験結果を示す．重要温度領域に探索を絞った SA を CBSA/IT (CBSA concentrating on Important Temperature) で示す．Fig. 7，Fig. 8 より，CBSA/IT の探索性能は CBSA よりも優れていることが分かる．

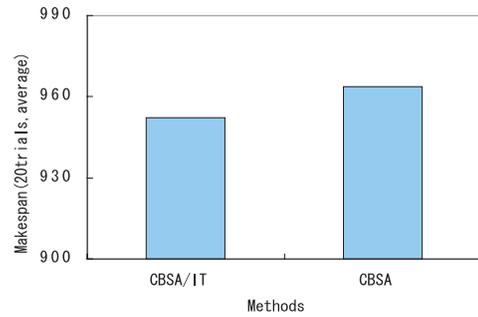


Fig. 7 Comparison between CBSA/IT and CBSA (20 trials, average) in FT10

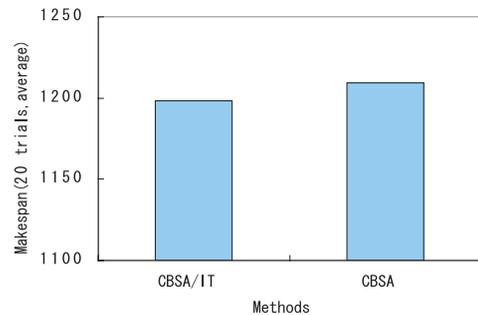


Fig. 8 Comparison between CBSA/IT and CBSA (20 trials, average) in FT20

5 結論

本研究では，SA を JSP に適用する際，効率的に探索を行うことのできる重要温度領域の存在を確認した．さらに，重要温度領域を集中的に探索する手法により，従来の近似解法よりも優れた性能を得ることができた．

今後は，重要温度領域を予備実験なしに特定し，並列化により，実行時間の短縮とさらなる探索能力向上を図る．

参考文献

- 1) 山田武士，Bruce E. Rosen，中野良平 『クリティカルブロックシミュレーテッドアニーリング法によるジョブショップスケジューリング問題の解法』．T-IEE Japan . 1994 .
- 2) 山田武士，中野良平 『確率的探索と確定的探索の組合せによるジョブショップスケジューリング問題の解法』．情報処理学会論文誌．1996
- 3) Peter J. M. , Emile H.L. Aarts , Jan Karel Lenstra. 『JOB SHOP SCHEDULING BY SIMULATED ANNEALING』．Operations Research Society of America . 1992 .
- 4) 鍋島一郎. 『スケジューリング理論』．森北出版 . 1974.