4C－8

問題の段階的な簡単化に基づく大規模なスケジューリング問題の近似解法

河野 貴憲　中西 正和
慶應義塾大学大学院 理工学研究科 計算機科学専攻

1. はじめに

工学に現れる組合せ最適化問題の多くはNP困難またはそれに準ずるクラスに属し，その最適解を現実的な時間で求めることは難しい．そのためそのような問題に対しては種々の近傍探索法 [1] や，GA[2]，タブー探索法 [3] によるものなど準最適解を現実的な時間で求める近似解法が数多く提案されているが，その多くは問題が定義する可能解の集合の中をを探索するものであり，類似の問題における解の情報を利用するような解法の研究は少ない．

本研究では，困難な組合せ最適化問題の１つであるスケジューリング問題について，問題の段階的な簡単化に基づく手法を提案し，大規模な問題に対しその有効性を示す．

2. 先行研究

以前に解いた同じクラスに属する問題の解を利用する研究は幾つか行なわれている．

TSP における挿入法は比較的良い近似解を与えるアルゴリズムであることが知られているが，これは問題を３都市の問題に簡単化し，そこで得られた解を順次改善して行く手法とみなすことができる．また，新妻らは帰納的アルゴリズムと呼ばれるメタ解法を提案し [4][5]，大規模な TSP やナップザック問題に適用し良い結果を得ているが，これも問題の系列を生成し以前に解いた問題の解を利用する手法である．

この他にも，免疫的探索システムにおいて以前に解いた問題を記憶細胞として問題の特徴とともに貯えておき，それをもとに新たな問題の探索の際の初期集団を生成する機構を導入することで探索の性能が向上することが示されている [8].

An approximation algorithm for the large-size job-shop scheduling problem based on phasing-down method
Takanori KAWANO Masakazu NAKANISHI
Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Keio University 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa 223, Japan

3. 本研究の手法

２節に述べたように，類似した問題の解を利用することは近似解の探索に有効であると思われる．そこで，本研究では困難な組合せ最適化問題の１つであるジョブスケジューリング問題 (JSSP) について，問題を段階的に簡単化し，簡単化した問題の解から元の問題の解を構成してゆく手法を提案する．

3.1 ジョブショップスケジューリング問題

機械及び機械の上で処理される作業の列である仕事が与えられたとき，各機械上での仕事の処理順序を最適に決定する問題をスケジューリング問題とよぶ．

ジョブショップスケジューリング問題 (JSSP) とは，各機械について機能，そして仕事の処理順序共に異なるという制約の元で最大完了時間を最大にするスケジュールを求める問題である．

JSSP の問題は作業を頂点，処理順序を有効辺とするグラフ (離接グラフ) によって表すことができる (図 1).

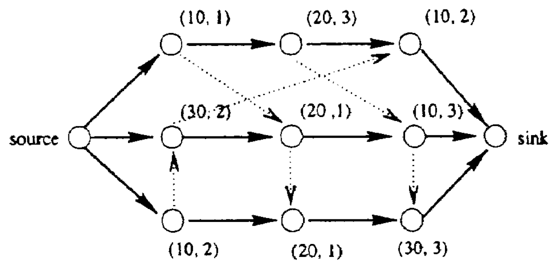

図 1: JSSP のグラフによる表現

グラフの頂点において作業を（処理時間，機械）の組で表している．また，グラフにおいて，実線の辺は各仕事内の作業の先行順序を表し，点線の辺は各機械上での処理順序を表している．

閉路ができないように点線の辺を定めることでスケジュールが決定される．

3.2 問題の簡単化

問題の簡単化は離接グラフの辺の縮約及び頂点の削除によって行なう.

- 処理時間が短い作業に接続している(実線の)辺を縮約する. このとき例えば$(t_1, m_1), (t_2, m_2)$の間の辺を縮約するとすると, 辺を縮約した場所に新たに(t_3, m_3)の作業を置く. ただし$t_3 = t_1 + t_2$, m_3は処理時間が大きい方の作業の機械とする.

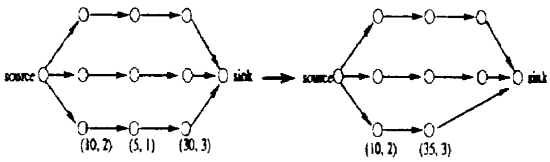

図 2: グラフの縮約による簡単化

3.3 解の構成法

元の問題をP_0とし, 簡単化によって得られた問題の列を$P_0, P_1, P_2, \ldots$とするとき, P_{i+1}の解s_{i+1}を元にP_iの解s_iを次のように構成する.

- P_iにおいて作業$(t_1, m_1), (t_2, m_2)$を結ぶ辺が縮約されP_{i+1}において作業(t_1+t_2, m_1)が作られているとき, s_{i+1}において機械m_1上の処理順序において作業$(t_1 + t_2, m_1)$を作業(t_1, m_1)に変更し, 機械m_2上の処理順序に作業(t_2, m_2)を挿入したものをs_iとする.

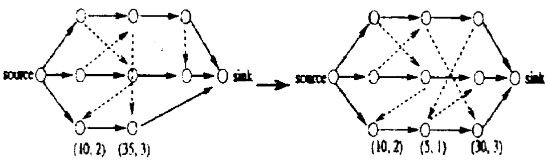

図 3: 解の構成

3.4 探索のアルゴリズム

以上に述べた問題の簡単化及び解の構成法を用いた次の探索アルゴリズムを提案する.

1. 解くべき問題P_0から, 簡単化によって問題の系列$P_1, P_2, P_3, \ldots, P_n$を作成する. ただし, P_nは各仕事がただ1つの作業から成るような問題とする.
2. P_iの解候補の集合をS_iとする.
3. P_nの自明な解を求め, S_nに加える.
4. for $i = n$ to 1 { S_iの各要素からP_{i-1}の解を構成し, S_{i-1}に加える. その後, S_{i-1}の要素の内最大完了時間が長いものを一定数選びだし, 残りを削除する. }
5. S_0のうち, 最大完了時間が最も短いものを近似解として得る.

4. 局所探索法の併用

今回提案した手法は, 近似解を高速に求められる可能性はあるが, 精度の良い近似解を求めるのに適しているとは言いがたい. そのため提案手法を局所探索の際の初期解構成法として用い, 近傍探索等の局所探索によって解の近似度を上げることが考えられる.

5. 今後の課題

以上に述べた方針に従って実装を行ない, 標準的なベンチマーク問題において他の近似解法との比較検討を行なう. その際, 問題を簡単化する際の縮約辺の選定方法, 解を構成する際の作業の挿入場所を様々に変えて実験を行ない, 結果を比較する. また, その上で適当な局所探索法を併用したアルゴリズムを構築する.

なお, 結果については発表時に報告する.

参考文献

[1] S.S.Panwalker and Wafix Iskander, *A survey of scheduling rules.*, Operations Research, 25(1), pp.45-61, 1977

[2] H.L.Fang, P.Ross, D.Corne, *A Promising Genetic Algorithm Approach to Job-Shop Scheduling, Rescheduling, and Open-Shop Scheduling Problems*, 5th International Conference of Genetic Algorithms, pp. 223-230 1993

[3] E.Taillard, *Robust Taboo search for the job-shop-scheduling problem.*, Parallel Computing, 17, pp. 443-455, 1990

[4] 新妻 清三郎, 村田 安永, 山田 和年, 帰納的アルゴリズムに基づく巡回セールスマン問題の解法, 人工知能学会誌, Vol11, No 1, pp. 130-140, 1996

[5] 新妻 清三郎, 中島 努, 複雑さの制御による問題解決, 電子情報通信学会技術報告, 1997-05, pp. 23-30, 1997

[6] 山田 武士, B.E.Rosen, 中野 良平, *Critical Block Simulated Annealing for Job Shop Scheduling.*, 電気学会論文誌, 114-C, pp. 476-482, 1994

[7] 久保 幹雄, 離散構造とアルゴリズム *IV*. 第4章, 近代科学社, 1995

[8] 吉田 威典, 米津光浩, 中西正和, 適応性を持つ記憶のサーチを利用した *IA* の性能改善, 情報処理学会第55回全国大会講演論文集, 1998