

IV-425 マン・スケジューリング問題における 各種解法のハイブリッド化について

信州大学大学院 学生員 小笠原 貴道
信州大学工学部 正会員 奥谷 巖
信州大学工学部 非会員 風間 克則

1. はじめに

プロジェクトスケジュールにおいて、作業員や資材などの資源の利用を取り扱う重要な問題として、マン・スケジューリング問題がある。これは、順序関係を持つ複数の作業が一つのプロジェクトを構成しているものとしたとき、プロジェクトの納期或使用可能な作業員等の制約のもとで経済効率的に望ましい各作業の開始時刻を決定する問題である。本研究ではこの問題の解法として、既存解法である従来法、遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm, GA）、タブー探索法（Tabu Search, TABU）を組み合わせたハイブリッド化を図り、実験を通してその有効性と問題点を明らかにすることを目的とする。

2. 問題の設定

プロジェクトの流れは、図1のようにネットワークで表現し、ノードを作業に、アークを作業間の先行後続関係に対応させる。余裕を持つ作業の先送りは、プロジェクトを表す初期ネットワークに存在しないアークを人為的に追加することによって実現できる。この新しいアークをコンピュータ上で表現するため、作業間 i, j の結合関係を規定する次のような変数 δ_{ij} を導入する。

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & i \text{ から } j \text{ へ向かうアークが存在} \\ -1 & j \text{ から } i \text{ へ向かうアークが存在} \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad (i < j)$$

コンピュータでは δ_{ij} の集合であるビット列 X が初期ネットワークに追加するアークを表す。例として、図1のビット列、初期ネットワークにアーク $(2, 4)$ 、 $(3, 5)$ を追加したときのビット列を示す。

$$X = (\delta_{14}, \delta_{24}, \delta_{34}, \delta_{15}, \delta_{25}, \delta_{35}, \delta_{45}, \delta_{56}) = (0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0)$$

ビット列 X の操作によって行ったスケジューリングを数値的にプログラム上で評価するために、計画目標をもとに以下のような評価関数を導入する。なお、本研究のスケジューリングの計画目標には、プロジェクト終了時刻 T_s の短縮、最大投入資源量 R の最小化、投入資源の平滑化（平滑度 H の最小化）を設定した。 $f_1 \sim f_3$ は、それぞれ0～1の値で各目標を標準化したものであり、それらの線形和を目標とする。

$$F = \alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2 + \alpha_3 f_3 \quad \alpha_i : \text{各目標の重みを表す総和1の係数}$$

$\alpha_1 \sim \alpha_3$ の重みを変化させることにより、多岐にわたるプロジェクトの要望に応えることができる。

3. ハイブリッド化に用いる解法

まず、従来法とはネットワーク条件（先行後続関係など）に矛盾しないように作業の優先順を決め、それに従い資源量の制限値を変えながらその制限値を越えないようにできるだけ早い時間に各作業を割り当てるようにする解法である¹⁾。この解法の特徴として、他の解法に比べて計算時間が短いこと、求められる解の数が限られ、多数の優秀な解が必要なおときには限界がある、などが挙げられる。

GA は、生物の進化にならった探索アルゴリズムである。初期段階にランダムにスケジュール（ビット列）を発生させ、その初期個体群に対して、淘汰・交差・突然変異という遺伝操作を施しながら、新しいスケジ

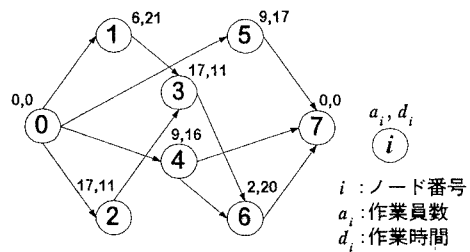


図1 サンプルネットワーク

ルールを生成して次世代を形成し、最終的に多数の優秀な解を残す解法である^{2), 3)}。この解法は、最終解の周辺に早く近づき、大域的な探索に優れるが、局所探索能力に弱いことがわかっている。

TABUとは、まずランダムに一つのスケジュール（ビット列）を作成し、この初期解に対して、tabu（タブー）と呼ばれる制約を犯さない範囲で可能性のある探索点の中で最も有望な点を選んで探索を進めていく解法である。探索手法はSWAP操作と呼ばれ、その方法は種々考えられるが、本研究では、その中で最も良いと判断したSWAP操作を採用する^{4), 5)}。すなわち1回の探索でδ_{ij}一つのみを変化させる操作で、他のSWAP操作に比べ計算時間を要するが、その最適解への接近の確実性が認められた操作である。

4. ハイブリッド化の実験結果

本研究におけるハイブリッド化では、より良い解ができるだけ早く見つけ出せることを目的に以下の組み合わせについて実験を行った。

- ・GA + TABU：GAで大域探索を行ってから、TABUの局所探索を利用するもの。
- ・従来法 + TABU：従来法で求めた解をTABUの初期個体として利用するもの。
- ・ランダム個体作成 + 従来法 + TABU：ランダムに発生させた解を従来法で最適化した後TABUを行うもの。

$\alpha_1=0.3$, $\alpha_2=0.4$, $\alpha_3=0.3$ 及びランダムに発生させたサンプルネットワークA(ノード数8, 図1), B(ノード数20), C(ノード数30), D(ノード数38), E(ノード数50), F(ノード数60), G(ノード数70)のデータを用いて、ハイブリッド化の有効性を調べた結果は表1のとおりである。なお、公平を期すため、計算時間については全ての解法で合わせるようにした。また、表に示された評価値平均値とは、上位10個の解の平均値である。表1によると、ほぼ全ての解法についてハイブリッド化による評価値の向上が認められた。

GA + TABUでは、TABUの局所探索能力の助けを借りることで単独GAよりも評価値の向上が認められた。今回は、GAとTABUで時間的に等しく探索を行ったが、GAでの探索を少なくし、TABUの探索回数を増やすなどの工夫をすれば評価値のさらなる向上が期待できる。従来法 + TABUでは、やはりランダムに初期個体を与えるよりも従来法の解を使用することで評価値が向上することが確認された。ランダム個体作成 + 従来法 + TABUでも、計算所要時間の短い従来法で、ある程度の最適解への接近をさせたことで単独TABUよりも評価値の向上が認められた。本研究で実験を行った解法の中では最良のものと判断できる。

5. むすび

ハイブリッド化の試みは、マン・スケジューリング問題における効率的な解法を得るのに有効な手段といえる。その組み合わせ方には、単独解法におけるそれぞれの解法の性質を調査した上で、実験を行う必要がある。本研究では、単独解法で最良の解法と判断したTABUと計算所要時間の短い従来法を主体として考えた。

今後は、他の様々な組み合わせの実験、解の収束が見られた時点で他の解法に切り替えるパラメータの自動化、同じ解法を他の解法をはさんで行った場合の実験などを試み、ハイブリッド化の性質を知る必要がある。

参考文献

- 1) 須永輝雄：PERT系のプログラミング，朝倉書店(1972)
- 2) B. S. Iluppe, 奥谷 巖：マン・スケジューリング問題における遺伝的アルゴリズムの適用性，電気学会論文誌C, 114巻4号，450-455(1994)。
- 3) 奥谷 巖，加藤正高他：マン・スケジューリングにおける遺伝的アルゴリズムの用い方，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，IV-16，441-442(1995)
- 4) 奥谷 巖，B. S. Iluppe，福井紀行：マン・スケジューリングにおけるタブー探索法の応用，計測自動制御学会学術講演会予稿集，307E-5, 681-682(1994)。
- 5) 奥谷 巖，福井紀行，風間克則：タブー探索法によるマン・スケジューリングの解法，土木計画学研究・講演集，18(2)，401-404(1995)。

表1 各解法の評価値の比較

ネットワーク	A	B	C	D	E	F	G
GA	0.7851	0.7905	0.6462	0.7178	0.6830	0.6880	0.6863
	0.6520	0.7864	0.6421	0.7148	0.6817	0.6872	0.6824
TABU	0.7851	0.8402	0.6612	0.8215	0.8138	0.7611	0.7762
	0.6721	0.8350	0.6588	0.8209	0.8116	0.7609	0.7757
GA+TABU	0.7851	0.8218	0.6525	0.7945	0.7345	0.7268	0.7404
	0.6725	0.8210	0.6508	0.7939	0.7326	0.7262	0.7368
従来法+TABU	0.7851	0.8356	0.6618	0.8250	0.8146	0.7771	0.7882
	0.6485	0.8335	0.6598	0.8233	0.8146	0.7770	0.7881
ランダム+従来法+TABU	0.7851	0.8401	0.6718	0.8216	0.8200	0.7771	0.7882
	0.6456	0.8354	0.6659	0.8185	0.8196	0.7599	0.7881

注) 上段：評価値最大値，下段：評価値平均値