

マン・スケジューリング問題におけるタブー探索法の応用について

信州大学 正員 奥谷 巖

信州大学 非会員 OBertrand S.Huppe

1.はじめに

プロジェクトスケジューリングにおいて、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。本研究は、この問題へのタブー探索法の適用を図り、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している。

2.問題の記述

ここで述べるマン・スケジューリング問題とは、まずいくつかの作業*i*に作業時間 d_i や必要な作業員 a_i 、作業間の先行関係(i, j)に関する制約条件を与えたとき、それらを満足しながら計画目標(プロジェクト終了時刻の短縮、投入資源の平滑化など)を達成するように各作業をどの時刻に開始するかを決定する問題である。本研究ではプロジェクトの流れを図1のようにPERT形式で表現し、ノードを作業に、アークを作業間の先行関係に対応させる。

3.タブー探索法の適用

<3.1> タブー探索法の概要 タブー探索法では、まずランダムに一つの解を作成し、この初期解に生成された条件(タブー)を侵さない範囲で、ある操作を行う。この操作のもとで解が改善されていき、最終的には最適解またはそれに近い解が求められる。

<3.2> 問題の表現 余裕をもつ作業をその余裕以内に開始時刻を先送りすると、ネットワーク条件(先行関係など)に矛盾せず、投入資源の平滑度またはその最大値を操作することができる。作業*j*を作業*i*終了後に先送りするには、ネットワーク的に作業*i*から作業*j*へ向かうアーク(i, j)を作成し、このアークをもとのネットワーク(初期ネットワーク)に加えることで実現できる。この新しいアークをコンピュータ的に表現するため、ノード*i*とノード*j*($i < j$)の結合関係を規定する次のような変数 δ_{ij} を導入する。

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

また作業関係から求められた初期ネットワークのアークはいうまでもなく固定される。図2に示した例では、初期ネットワーク(図1)にアーク{(1,3),(3,2),(3,5)}を加えることになる。

<3.3> 解の操作 図2に示したようなビット列を一つの解とし、この解を次のように操作する。即ち、ビット列の適当な位置を二つ(p_1, p_2)を決め、この p_1 と p_2 間のビットの順番を逆にする(図3)。

<3.4> 計算手順 以下のように繰り返し計算を行う。

step0. 初期ネットワークのPERT計算と投入資源の山積み計算を行う。

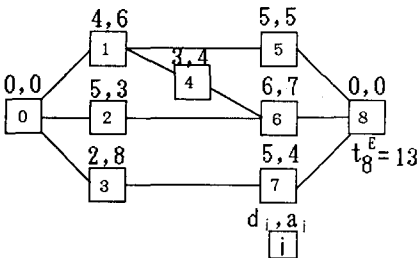


図1.計算例のためのネットワーク

$$\begin{matrix} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \delta_{13} & \delta_{17} & \delta_{23} & \delta_{25} & \delta_{27} & \delta_{35} & \delta_{45} & \delta_{47} & \delta_{57} \end{matrix}$$

図2.ビット列(解)の例

$$\begin{matrix} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \downarrow & & & & & \downarrow & & & & & & & & & & & & \\ p_1 & & & & & p_2 & & & & & & & & & & & & \end{matrix}$$

操作前

操作後

図3.ビット列(解)の操作

- step1. プロジェクトの制約(納期、先行関係など)を満足する解(ビット列) X_{in} をランダムに作成する。
- step2. <3.3>に示した解の操作をn回まで行い、最良の解Xを記憶する。
- step3. XはBest X(ベストスケジュール)より良ければXをBest Xに代入する。
- step4. ビット列Xを X_{in} に代入する。list1(後述)を参照しながらstep2,3をN回まで繰り返す。
- step5. 終了条件(設定時間、解の精度など)を満足したら終了。そうでなければlist1の要素(適数)をlist2(後述)に入れた後list1をリセットし、list2を参照しながらstep1-4を繰り返す。

(i) list1: step3において、XはBest Xを改善した場合、list1を次のように更新させる。即ち、Xと X_{in} の各位置に対応したビット(δ_{ij})を比較し、変更があったとき、Xのその位置と δ_{ij} の値をlist1に入れる。そしてその後の手順で作成されるビット列において、list1に示されたビットの位置と δ_{ij} を固定する。list1のサイズを適当に決定する。

(ii) list2: 探索した解を再び実現することを防止するためのlistである。list1の要素いくつかを選択し、list2に入れる。list2に示される位置と δ_{ij} をタブーとみなされる。よって、Best Xを改善しない限り、後の手順で作成される解(ビット列)において、list2に示された位置と δ_{ij} と一致してはならない。

step4による繰り返しは、ある一つの探索空間だけの最良解(局所解)を求めるのに対し、step5による繰り返しは、この局所解から脱出し、異なる探索空間で探索を行い、最終的に大域最適解を図るものになる。

4. 数値例と実験結果

本章では、図1に示したネットワークデータを用いて提案手法の有効性を説明する。このデータに対し、我々は納期を13日として、 a_i を15人に設定しておく。このネットワークにPERT計算を行うと、最短工期は13日となる。計画目標は、最短工期で終了するスケジュールにおいて、できるだけ最大投入人員数を最小にし、そして全体の投入人員数の平滑化を図ることである。初期スケジュールでの山積み図(図4)から、資源の最大投入量は17人となり、プロジェクトの制約を侵すことがわかる。そこで、両制約を満足するようなスケジュールを本手法で解いてみる。

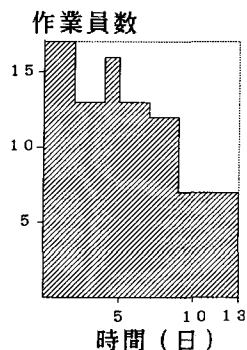


図4. 初期ネットワーク
の山積み図

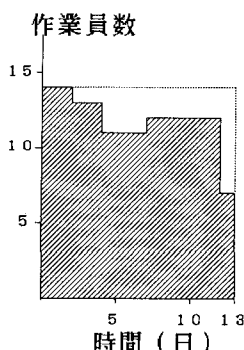


図5. 本手法を適応し
た後の山積み図

まず次のようにパラメータを設定する。即ち、 $n=3, N=5$ とする。また終了条件としてstep5でstep1~4を3回繰り返すと終了するようにする。計算結果を図5に示す。図5を見ればわかるように、初期ネットワークと比較すると、最大投入人員数や人員投入の平滑さがかなり改善されたことが容易にわかる。ちなみに従来法(参2)を適用したところ、両制約を同時に満足する解はみいだせなかった。

5. むずび

提案手法の最大の特長は従来法と異なって、局所最適解を回避し、大域最適解への収束を図ることが可能である。よって、従来法で見いだせな

った解も本手法で求められることは明かである。

参考文献

1. M. Malek, et al: "Serial And Parallel Simulated Annealing And Tabu Search Algorithms For The Traveling Salesman Problem", Annals of Operations Research, 21(1989), pp. 59-84.
2. 杉永: PERT系のプログラミング, (1972)朝倉書店