

すみわけ型進化アルゴリズムによるマンスケジューリング

信州大学工学部 正会員 奥谷 巖

信州大学工学部 ○神出 幸治

1. まえがき

本研究では、マンスケジューリング問題の解法について考える。マンスケジューリング問題とは、先行後続関係のある複数の作業が1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と使用可能な資源（作業員や機械）の制限のもとで経済効率的に望ましい各作業の開始時間を求めていく問題である。

マンスケジューリング問題には、複数の最適解が存在するが、本研究では、それら複数の解を見つけることの出来る解法としてすみわけ型進化アルゴリズムの適用を提案する。

2. マンスケジューリング問題の設定

スケジュールを表現するネットワークは、ノードを作業に、アーク（矢印）を作業の先行関係に対応させた有向グラフで表し、ノードには作業番号 i ($i=0,1,\dots,n$) を与えておく。ただし、始端ノードと終端ノードは、ダミーである。これを初期ネットワークと呼ぶことにする、なおここでは、簡単のために単一資源の問題を扱う。

まず、作業 i の必要資源量 a_i と処理時間 b_i を与え PERT 計算により初期ネットワークに対する作業 i の最早開始時刻 t_i^E を求める。初期ネットワークとして各作業を最早開始時刻に開始するネットワークを考えると、そのネットワークの下でのプロジェクト完了時刻 $T_{\min}$ が求められ、また山積み図を描くことで、初期ネットワークに対する最大資源投入量 R が求められる。

以上のような準備の下に問題を次のように設定する。まず納期 $T_{\max}$ と投入可能資源量 $R_{\max}$ を与える。 $T_{\max}$ 、 $R_{\max}$ は $T_{\min}$ 、 R を考慮に入れて任意に決める。そうすると、問題は「投入資源を $R_{\max}$ 以内に抑え、かつプロジェクトを $T_{\max}$ 以内に完了するという条件のもとに、与えられた計画目標を最適化するネットワークを求める」といえる。ここに、ネットワークを求めるということは、具体的には、各作業の開始時刻 t_i を決定することである。すなわち、納期 $T_{\max}$ が与えられた段階で最遅開始時刻 t_i^L を求めたとき、計画目標が改善されるように $[t_i^E, t_i^L]$ の範囲で t_i の値を求めるということである。ネットワークの計画目標としては、プロジェクト完了時刻 T の最小化、最大投入資源量 R （時刻 k の投入資源量を R_k としたとき、その最大値）の最小化、遊休資源を少なくするための平滑度 S ($= \sum R_k^2 - \bar{R}^2$) の最小化が考えられる。ここに、 $\bar{R}$ は R_k の平均を表している。

こうした複数の目標を同時に考慮する簡単な方法として線形結合による和を考える方法があるがここでもその

方法を採用する。これらの目標は無次元ではないので、まずそれらを無次元化し、適応度 f_i という1以下の非負数に変換する。

$$f_i = \frac{Y_{\max} - Y_i}{Y_{\max} - Y_{\min}} \quad (1)$$

ここに Y_i は $i=1,2,3$ の順に T 、 R 、 S の値をとるものとする。このときのネットワークの適応度 F を

$$F = \sum_{i=1}^3 \alpha_i f_i \quad (2)$$

とし、この最大化を図る。ただし、 α_i は和が1となる各目標のウェイトである。

3. すみわけ型進化アルゴリズムの適用

本手法の基礎となる進化アルゴリズムの基本的特徴は、

- ① N 個の個体を親として、各親がただひとつの子を作るとする。
- ② 親と子合わせて $2N$ 個の個体を、適応度のよい順に並び次の世代の親とし、残りの N を淘汰する。
- ③ ①、②のステップを決められた世代だけ繰り返す。

この手法は非常に局所解に捕まる確率が高い、そこですみわけ型の手法を用いる。

親と子、あわせて $2N$ 個の個体が存在するとき、 $2N$ 個の個体間の距離にペナルティを導入する。つまり、 $2N$ 個の個体間の距離を2個ずつ比較し、もし決められた距離 L よりも2つの個体が接近していたら、その適応度を比較し悪い方にペナルティを与える。こうして、距離 L 内に接近している個体で、悪い適応度を持つものは、ペナルティを課され、さらに悪い適応度を持つことになり、淘汰される確率が非常に高くなる。これにより、各個体は、それぞれの距離を保ちつつ制約空間の中に、すみわけることになる。

この手法を次のような計算手順でマンスケジューリング問題に適用する。

Step 0 必要なデータを与え、初期ネットワークを作る。

Step 1 ネットワークの各ノードの開始時刻 t_i を矛盾の起こらないようノード番号の小さいものから順番に、乱数で変化させる。その作業を N 回行い、それぞれ各ノードの開始時刻 t_i の違う個体を N 個発生させ親とする。世代番号 $g=1$ とする。

Step 2 N 個の親から N 個の子を発生させる。その方法は、次式によって行う。

$$t_{j+N,i} = t_{j,i} + T \tan p \quad (3)$$

ここで、 $t_{j,i}$ は j 番目の親の i 番目のノードの開始時刻を表す。 $t_{j+N,i}$ は j 番目の親から作られた子の i 番目のノードの開始時刻である。 P は、一様乱数を $(-\pi/2, \pi/2)$ の間の値に変換した数で、 T は、温度と呼ばれる係数を表す。

このとき、子の各ノードの開始時刻 $t_{j+N,i}$ が初期ネットワークで求めた最遅開始時刻 $t_{i,i}$ よりも大きいとネットワークに矛盾が生じるので、制約領域の両端における鏡像反射を使用して、制約領域内に収めて正常なネットワークとする。

Step 3 $2N$ 個の個体から 2 個ずつすべての組み合わせについて以下の計算をして距離を求める。

$$d_{jk} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (t_{j,i} - t_{k,i})^2} \quad (4)$$

(ここで、 $j=1, 2, \dots, 2N-1, k=j+1, \dots, 2N$)

個体間の距離 $d_{jk} < \text{距離 } L$ のとき 2 つのネットワークの適応度 $F_{j,i}, F_{k,i}$ と比べて悪い方の適応度にペナルティを与える。今回は、悪い方の適応度を 10^{-30} に置き換える。

距離 L は、次のようにして決める。

$$L = c \cdot d_{\max} \quad (5)$$

$d_{\max}$ は個体間の距離の最大値である。ここでは、個体間の最大値として、最大納期のときのトータルフロート、余裕時間の二乗和の平方根を用いている。 C は適当に与えられた定数である。

Step 4 $2N$ 個の個体を適応度のよい順に並び替える。適応度のよいものを N 個残し、次世代の親とし、残りを淘汰する。

Step 5 $g = g + 1$ とする。 $g \leq g_{\max}$ ならば、Step 2 に戻る。その時距離 L が大きいと、Step 4 でペナルティを課された個体が親として生き残っている場合がある、その場合はペナルティを課されていた親の適応度を元に戻す。 $g > g_{\max}$ なら終了。 $g_{\max}$ は、あらかじめ決められた総世代数である。

4. 数値例と他の解法との比較

まず、親となる個体の個体数 N を 50 個体、繰り返し世代数を、1000 世代とする。また温度 T を 0.1、距離に使う定数 C を 0.05 とする。なおこれらの値は、試行錯誤により求めるべき性格のものである。こうした条件の下で、ノード数 8, 20, 30, 38, 50, 60, 70 の各ネットワークについて計算させた。それぞれのネットワークについて、納期 $T_{\max}$ は、初期ネットワークの完了時刻 $T_{\min}$ の一割増しとし、また、投入可能資源量 $R_{\max}$ は、初期ネットワークの最大資源投入量 R を用いる。適応度 F を決めるのウェイトは、 $\alpha_1=0.3$ 、 $\alpha_2=0.4$ 、 $\alpha_3=0.3$ とする。

なお、結果は今回提案した方法の有効性を検証すべく、すでに開発されている、山崩し法、遺伝的アルゴリズム

(Genetic Algorithm, GA) による方法、およびタブー探索法 (Tabu search Algorithm, TABU) による方法との相対的比較の中で示す。

計算結果として、最大適応度、適応度の良かった Best-10 の平均値、および計算に要した時間として CPU 時間、を表 1 に示した。これより、ノード数が 30 以下の場合においては、すみわけ型の有効性が認められる。それより上のノード数の場合においては、GA よりは、良い結果がみられるが、山崩し法、TABU よりはやや劣っているといえる。原因として考えられるのは、ノード数の増加に伴い、それぞれの個体を表す変数すなわち開始時刻 $t_{i,j}$ が増えたことにより親となる個体数 50 が、個体間の個性を表すには必ずしも十分ではなかったことである。しかし、個体数を増やすと計算時間が飛躍的に増大するにもかかわらず、適応度の改善はわずかであるという事実がある。実際にノード数 70 で、個体数を 100 にしたときの計算時間は、6 時間近くかかるのに対して、最大適応度は 0.7993 とわずかの増加となった。

5. おわりに

本研究では、マン・スケジューリングの新たな解法としてすみわけ型の進化アルゴリズムを提案した。この方法は、今までに開発された GA や、TABU と同等の有効性があると考えられる。しかしながら、計算時間短縮のためのプログラムの改善についてさらなる工夫が必要である。

表 1 すみわけ型と既存の解法による計算結果の比較

ノード数	8	20	30	38	50	60	70
山崩し法							
最大適応度	0.7889	0.8161	0.8811	0.8591	0.825	0.8251	0.8369
適応度平均	0.6643	0.8326	0.8501	0.8289	0.799	0.7991	0.7971
CPU時間	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.9	1
TABU							
最大適応度	0.8121	0.8676	0.8793	0.8581	0.836	0.7949	0.8423
適応度平均	0.6743	0.8662	0.874	0.8579	0.831	0.7943	0.8402
CPU時間	0.2	7.9	32.7	63.6	144.4	265.4	459.7
GA							
最大適応度	0.8121	0.7913	0.8418	0.8211	0.703	0.7264	0.7208
適応度平均	0.7683	0.7871	0.8314	0.8121	0.701	0.7249	0.7111
CPU時間	1.5	8	35.6	87.5	188.8	512.2	832.4
すみわけ型							
最大適応度	0.8183	0.8575	0.8814	0.8242	0.826	0.7976	0.7933
適応度平均	0.8176	0.8556	0.8811	0.8228	0.824	0.7958	0.7921
CPU時間	223.7	481.1	1227.2	1741.9	3826	3691.6	5509.3

参考文献

- 1) 奥谷巖、福井紀行、風間克則：マン・スケジューリングにおけるタブー探索法の適用；土木計画学論文誌 No. 13 1996 年
- 2) 奥谷巖、Bertrand S. Huppe：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；電学論 C、114 巻 4 号 1994 年
- 3) 島孝司：すみわけ型エボリューション・アルゴリズムによる大域最適化；システム制御情報学会論文誌 Vol. 8 No. 2 pp. 94 - 96 1995 年