

調整対象作業の分割を考慮した 需要平滑化を指向する工程計画変更案探索への GA の適用

九州共立大学工学部 学生員 黒 木 英 文
九州共立大学大学院 正 員 三 原 徹 治
九州共立大学大学院 学生員 王 克 成
第一復建(株) 正 員 千々岩浩巳

1. はじめに

本研究でいう「需要量平滑化」とは、人員、電力、設備などの資源を有効利用するためにプロジェクト単位時間あたりの需要量の変動幅を最小にする状態を指す。 $r(t)$ を第 t 作業時刻の需要量、 r^* を需要量の平均値、 T をプロジェクト期間とすると式(1)に示す偏差平方和 s^2 を最小化する最適化問題となる。

$$\text{Minimize} \left[s^2 = \sum_{t=1}^T (r(t) - r^*)^2 \right] \quad (1)$$

本研究では、遺伝的アルゴリズム GA を最適化ツールとし、調整対象作業である非クリティカル作業の作業開始時刻の変更¹⁾に加え、分割可能な場合への $nT(s)$ 変換²⁾の応用による対応も示す。

2. 作業開始時刻の最適化¹⁾

非クリティカル作業 k のトータルフロート TF_k を利用して先行作業を考慮した上で作業開始時刻 TS_k のみを調整するものであり、 TS 最適化と呼ぶ。

(1) 調整方法

調整対象作業 k の全先行作業の作業終了時刻のうち最大のものを β_k とすると、 β_k と最早開始時刻 ES_k との大小関係によって2つの場合が考えられるが、McComick branch (if $\bullet \geq 0$ then $[\bullet] = \bullet$ else then $[\bullet] = 0$) によって統合される式(2)により TS_k を調整することができる。

$$TS_k = ES_k + [\beta_k - ES_k] + \alpha_k \quad (2)$$

where $\alpha_k = 0, 1, \dots, TF_k - [\beta_k - ES_k]$

(2) GA のための遺伝子線列構成

ダミー作業および需要量=0の作業を除く非クリティカルな作業 k のみに関して、そのトータルフロート TF_k を表現できる最小の2進数線列(サイズ= $\lceil \log_2(TF_k + 1) \rceil + 1$, $[\bullet]$ は

ガウス記号)を、非クリティカル作業の数だけ並べた線列をGAによる最適化計算の遺伝子線列として用いる。

3. トータルフロートと作業時間の最適配置

非クリティカル作業 k が分割可能な場合には、そのトータルフロート TF_k と作業時間 D_k を分割配置することができる。調整対象作業の1つでも分割可能な場合の調整を TF 最適化と呼ぶ。

(1) 分割可能作業の調整方法

TS 最適化と同様に分割可能作業 k の全先行作業の作業終了時刻のうち最大のものを β_k とする。

$\beta_k \leq ES_k$ の場合には、作業 k の全先行作業は作業 k の開始時刻より前に終了しているので{作業時間 D_k +トータルフロート TF_k }の長さの線列に D_k 個の"1"と TF_k 個の"0"とを任意に配置する。

逆に $\beta_k > ES_k$ の場合には、作業 k を本来の最早開始時刻 ES_k に開始した場合などには先行作業条件が満足されなくなるので{作業時間 D_k +トータルフロート $TF_k - (\beta_k - ES_k)$ }の長さの線列に、 D_k 個の"1"と $\{TF_k - (\beta_k - ES_k)\}$ 個の"0"とを任意に配置する。

(2) GA のための遺伝子線列構成

非クリティカルかつ分割可能な作業 k に関して、準備された線列に D_k 個の"1"を任意のビットに配置するとともに、残りのビットに"0"を配置することができれば、作業時間 D_k の分割配置を表現することができる。しかし、単に"0/1"を与える方法では交差オペレーションにより"1"の個数が D_k 個ではない致死遺伝子が多く生成されてしまう危険性が高い。この問題の対策として、ここでは $nT(s)$ 変換²⁾を用いる。

$nT(s)$ は、「"1"の個数= n の場合の2進数数列の値を昇順に並べたとき、 s 番目の数列が表現する10進数値。」と定義され、GA

における遺伝情報として必要なのは n 値と s 値だけであり, しかも s 値は 1 から始まる順序数であるため遺伝子線列から s 値への変換は一意に行われる. この場合の線列長は式(3)で算出される.

$$\lfloor \log_2 ({}_m C_n - 1) \rfloor + 1 \quad (3)$$

where $m = D_k + TF_k, \quad n = D_k$

4. 数値実験

ノード数 = 6, 作業数 = 7 の小さなモデルを対象に数値実験を行った.

まず, モデルのグラフと CPM 解析結果を表-1 に示す. 表-1 において k は作業番号, r_k は単位時間あたりの需要量, ES_k は最早開始時刻, LF_k は最遅終了, TF_k はトータルフロートである. 作業 $\boxed{1}, \boxed{4}, \boxed{6}, \boxed{7}$ がクリティカル作業であり全体工期 = 11 である. したがって, 非クリティカル作業 $\boxed{2}, \boxed{3}, \boxed{5}$ が調整対象になる.

このモデルは問題規模が小さく, 解法として GA を用いること自体に問題があるが, あくまでも解法の妥当性の検証を目的として著者らが独自に開発した scsGA によって最適化計算を行った. TS 最適化も TF 最適化も人口数 = 10 (その他の GA パラメータ: 交配個体数 = 2, 3, 突然変異発生確率 = 0.3, 計算世代数 = 10) で簡単に最適解が得られた.

表-1 モデルのグラフと CPM 解析結果

k	D_k	r_k	ES_k	LF_k	TF_k	先行作業
$\boxed{1}$	3	3	0	3	0	ナシ
$\boxed{2}$	2	2	0	7	5	ナシ
$\boxed{3}$	1	2	3	7	3	$\boxed{1}$
$\boxed{4}$	4	1	3	7	0	$\boxed{1}$
$\boxed{5}$	4	2	4	11	3	$\boxed{2}, \boxed{3}$
$\boxed{6}$	1	3	7	8	0	$\boxed{4}$
$\boxed{7}$	3	1	8	11	0	$\boxed{6}$

一般に用いられる全作業の TS を各々の ES とした場合の需要分布を図-1 に示す. $t = 1, 2$ と 8 で大きな需要が発生し, 結果的に $s^2 = 24$ とかなり大きなばらつきが生じている.

非クリティカル作業 $\boxed{2}, \boxed{3}, \boxed{5}$ の TS を調整した TS 最適化の結果を図-2 に示す. 作業 $\boxed{2}, \boxed{5}$ がそれぞれ 3 ずつ, 作業 $\boxed{3}$ が 2 だけ調整され図-1 に比較して需要分布が平滑化されてい

ることがわかる. しかし, $t = 7, 8$ のばらつきから $s^2 = 8$ が限界である.

そこで, 作業 $\boxed{2}, \boxed{3}$ は分割不能, つまり TS 調整のみとし, $\boxed{5}$ のみを分割可能とした TF 最適化を行った. 作業 $\boxed{2}, \boxed{3}$ は TS 最適化と同じ調整結果であるが, 作業 $\boxed{5}$ は $t = 7$ と $t = 9, 10, 11$ とに分割され, $s^2 = 0$ と完全平滑化された.

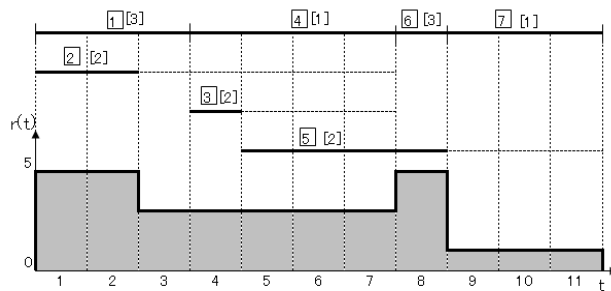


図-1 $TS = ES$ とした需要分布

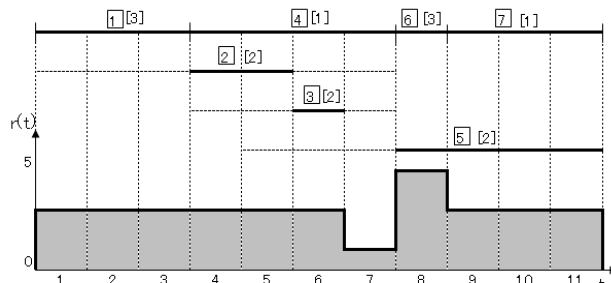


図-2 TS 最適化の需要分布

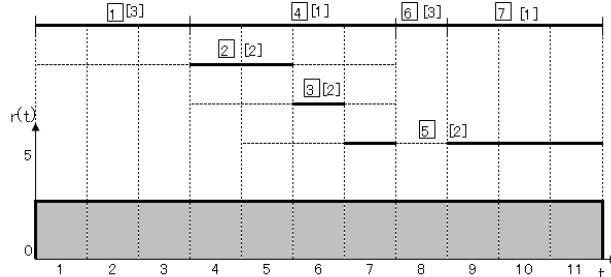


図-3 TF 最適化の需要分布

5. おわりに

数値実験の結果, 必要な線列長は TS 最適化の 7 に対して TF 最適化では 11 と大きくなる問題点も浮き彫りになったが, ${}_n T(s)$ により解の自由度が増大するため良好な解が得られることが判明した. 今後, モデル規模を大きくして解法特性を検討する必要がある.

参考文献

- 梶本誠, 三原徹治ほか: 需要平滑化を指向する工程計画変更案探索への GA の適用に関する基礎的考察, 平成 18 年度土木学会西部支部研究発表会, 2007.3
- 王克成, 三原徹治ほか: n 個の 1 を有する 2 進数の昇順順序付け, 平成 19 年度土木学会西部支部研究発表会, 2008.3.