

ルールに基づく2目的ジョブショップ・スケジューリング

02201844 摂南大学 *諏訪 晴彦 SUWA Haruhiko
 01501824 神戸大学 藤井 進 FUJII Susumu
 01604524 神戸大学 森田 浩 MORITA Hiroshi

1 はじめに

著者らはこれまでに、ルールベース・スケジューリング・システム [1] におけるルール自動獲得方法の確立を目的として、多数のスケジュールの特性を解析することにより、それに内包されている適切なスケジューリング・ルールを獲得する方法について考えてきた [2]. この方法では、ルール獲得に対するアルゴリズムに、帰納的学習法の一つである C4.5 学習アルゴリズムを適用し、学習データとなる事例をスケジュール上の仕事対の入れ換え操作に対応させて、多数の事例群からルールを帰納することを行っている。また、単一目的のジョブショップ問題を対象として、獲得したルールを局所探索法に適用し、効率的な近傍探索が可能であることを示した [3].

ここでは、より複雑な対象問題として、2目的ジョブショップ問題を取り上げ、多目的問題に対する獲得ルールの適用方法を提案し、その可能性について検討する。スケジューリングに利用するルールは、単一目的のジョブショップ問題で獲得したルールとし、多目的問題に特化するような変更を加えないことを考える。スケジューリングは獲得ルールを利用した多スタート局所探索法によって行われる。また、評価関数ごとのルール・セットの利用率の変化に応じて、評価関数の重要度に応じた解の導出を試みる。

2 多目的ジョブショップ問題

ジョブショップ問題を以下のように定義する。 n 個の仕事 J_i ($i = 1, \dots, n$) を m 台の機械 M_k ($k = 1, \dots, m$) で加工するものとする。各仕事 J_i は、 n_i 個のタスク $O_{i,j}$ ($j = 1, \dots, n_i$) からなり、機械を通過する順序は与えられているものとする。すなわち、各タスクは $O_{i,1} \rightarrow O_{i,2} \rightarrow \dots \rightarrow O_{i,n_i}$ ($i = 1, \dots, n$) の先行関係を有する。また、各タスク $O_{i,j}$ は機械 $\mu_{i,j}$ 上で処理時間 $p_{i,j}$ で分割なしに加工され、同一機械上では2回以上加工されない ($\mu_{i,j_1} \neq \mu_{i,j_2}; j_1, j_2 = 1, \dots, n_i, j_1 \neq j_2$) ものとする。仕事 J_i ($i = 1, \dots, n$) には納期 d_i があるものとし、各仕事の加工完了時刻を C_i とする。このとき、仕事 J_i の完了時刻と納期とのずれ L_i は $C_i - d_i$ 、スケジュールの総所要時間は

$\max_i \{C_{i,n_i}\}$ で与えられる。

ある実行可能スケジュールにおいて、所与の総所要時間で完了させるために少しでも遅らせることのできないクリティカルなタスクが各機械上に存在する。各機械上で連続して処理される (隣接した) 2つ以上のクリティカルなタスクの集合をブロックと呼ぶこととする。このとき、ブロック内の隣接するタスク対を入れ換えることにより得られるスケジュールは実行可能となる。

ここでは、(A) 総所要時間 ($\sum C_i$) と (B) 納期遅れ仕事数 ($\sum U_i$) の2つの評価基準の最小化を目的とする2目的ジョブショップ問題を対象とする。ただし、

$$\begin{cases} U_i = 1 & \text{if } L_i > 0 \\ U_i = 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

とする。以下では、所与のスケジュール s の総所要時間および納期遅れ仕事数を $f_1(s)$, $f_2(s)$ とする。

多目的スケジューリングでは評価関数間のトレードオフが生じるため、非劣解集合を意思決定者に提示するような方策をとる場合が多い。非劣解は、あるスケジュール s の r 個の評価関数 $f_1(s), \dots, f_r(s)$ を要素とする評価値ベクトル $f(s) = (f_1(s), \dots, f_r(s))^T$ に対して、

$$f(s') \leq f(s) \text{ かつ } f(s') \neq f(s)$$

となる評価値ベクトル $f(s')$ を有するスケジュール s' が実行可能領域に存在しないような $f(s)$ のことであり、 s は非劣スケジュールと呼ばれる。

3 ルールに基づくスケジューリング

スケジューリングに利用するルールは、仕事対入れ換えに基づくルール獲得方法 [3] による得られるルール・セットを利用する。紙数の都合上、ルール獲得の手続きおよび得られたルールの表記は省略する。獲得ルールは、例えば、タスク対 O_{i,π_k}, O_{j,π_k} ($O_{i,\pi_k} < O_{j,\pi_k}$) について、

$$\begin{aligned} & \text{if } (C_{i,n_i} - C_{i,\pi_k}) - (C_{j,n_j} - C_{j,\pi_k}) < 0 \\ & \text{and } (d_i - p_i) - (d_j - p_j) < 0 \\ & \text{then good (スケジュール評価値の改善)} \end{aligned}$$

という表現形式を持つ。

スケジュールを求める方法として、ルール・セットから選択したルールの条件に合う仕事対の入換え操作に基づく改善手続きを行うことによる、局所探索的手続きを行うこととする。さらに、評価関数ごとに獲得したルール・セットに対して利用率を与え、利用率を変化させることによって、解に多様性を持たせること、すなわち非劣解集合を求めることを考える。

評価関数 f_1, f_2 の得られたルール・セットをそれぞれ $\mathcal{R}(f_1), \mathcal{R}(f_2)$ とする。各ルール・セットに対して、利用率 λ_t ($t = 1, 2; \sum \lambda_t = 1$) を定義し、各々のルール・セットを確率的に選択する。すなわち、確率 λ_1 でルール・セット $\mathcal{R}(f_1)$ を、確率 $\lambda_2 (= 1 - \lambda_1)$ でルール・セット $\mathcal{R}(f_2)$ を選択する。このとき、基本的には以下の手順にしたがって解の更新を繰り返し行う。

1. 確率 λ_t でルール・セット $\mathcal{R}(f_t)$ を選択する。
2. 選択したルール・セット内から1つのルール r をランダムに選択する。
3. 現在のスケジュール s 上の、ルール r を満足する仕事対を入換え、

$$\begin{aligned} f_1(s') &\leq f_1(s) && \text{if } \mathcal{R}(f_1) \text{ を選択} \\ f_2(s') &\leq f_2(s) && \text{if } \mathcal{R}(f_2) \text{ を選択} \end{aligned}$$

なるスケジュール s' を見つける。

4 数値例

任意に作成した10個の10機械10仕事ジョブショップ問題 (P_1, \dots, P_{10}) について、上記の手続きを適用した。ただし、 $f_1 = C_{max}, f_2 = \sum U_i$ の利用率 λ_1, λ_2 について、 $\lambda_1 = 0.0, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0$ の5通りとし、初期スケジュールは10個とした(計50個の解を導出)。また、解探索の終了条件はルール条件を満たすタスク対が存在しないか、解の更新回数が1000回に達したときとした。

図1に P_5 で得られた解集合の一例を示す。この解集合の分布の傾向は、他の9個の問題についても同様に見られた。図1では、非劣解は (a) および (b) である。非劣解 (a) ($(C_{max}, \sum U_i) = (1001, 0)$) は、 $(\lambda_1, \lambda_2) = (0.0, 1.0)$ の利用率のときに得られた解であり、 $\sum U_i$ に関して最適解となる。また、非劣解 (b) ($(C_{max}, \sum U_i) = (898, 1)$) は、 $(\lambda_1, \lambda_2) = (1.0, 0.0)$ の利用率のときに得られた解である。 C_{max} の値に関しては予備実験において、良好な解であることがわかっている。

一方、得られた解集合の分布の形状から、 $(C_{max}$ および $\sum U_i)$ 間では明確なトレードオフ関係は成立しにくいことがわかる。 $C_{max}, \sum U_i$ のどちらかの単一目的問題として解を求めると、他方の評価関数についても良好な解となっている。しかし、ある解が C_{max} について最適解となると、 $\sum U_i$ についても常に最適解となることは保証されない。したがって、 $(C_{max}, \sum U_i)$ の2目的問題における最適解は常に1個であるとは限らない。すなわち、 $(C_{max}, \sum U_i)$ の2目的問題では、図1の解 (a), (b) のように非劣解集合が存在することとなる。獲得ルールを利用した多スタート局所探索法は、非劣解集合を求める方法として有効な手段の一つであるといえる。

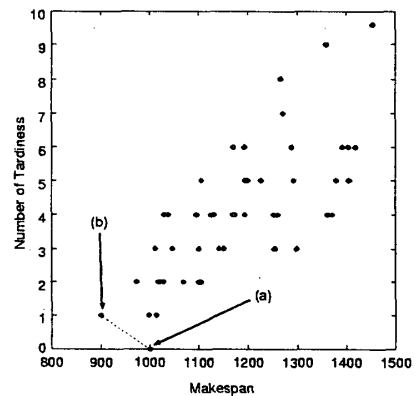


図1: ルールによる解集合

5 おわりに

本研究では、仕事対入れ換えに基づくルールを2目的のジョブショップ問題に適用した。数値シミュレーションの結果、評価関数ごとのルールの利用率を変化させることにより、非劣解集合を求めることが可能であることがわかった。

参考文献

- [1] D.E.Brown, W.T.Scherer, Intelligent Scheduling Systems, Kluwer Academic Publishers (1995)
- [2] H.Suwa, S.Fujii and H.Morita, An Acquisition of Scheduling Rules for Flow Shop Problems, Proceedings of International Conference on Advances in Production Management Systems, pp.631-636 (1996)
- [3] 諏訪晴彦, 森田浩, 藤井進”帰納的学習を利用したスケジューリング・ルールの自動獲得～納期を伴うジョブショップ問題への適用～”, 第41回システム制御情報学会研究発表講演会論文集, pp.427-428 (1997)