

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18760103
 研究課題名（和文） 共進化多目的リアクティブスケジューリングによる情物一体化製造環境の動的管理
 研究課題名（英文） Dynamic production management by co-evolutionary multi-objective reactive scheduling in information integrated manufacturing system
 研究代表者
 谷水 義隆 (TANIMIZU YOSHITAKA)
 大阪府立大学・工学研究科・准教授
 研究者番号：60275279

研究成果の概要（和文）：研究代表者は、これまでに、遺伝的アルゴリズムの手法を用いて、状況の変化に対し、生産活動と並行して、生産スケジュールを迅速に改善する“リアクティブスケジューリング”の研究を行ってきた。本研究では、生物の共進化の機構を用いた多目的リアクティブスケジューリング手法の提案を行うとともに、リアクティブスケジューリングシステムのプロトタイプを開発し、提案手法の有効性を検証する。

研究成果の概要（英文）：Previous researches provided a reactive scheduling method based on a genetic algorithm. The existing method was able to modify and optimize disturbed initial production schedules without interrupting the progress of manufacturing processes. This research proposes a multi-objective reactive scheduling method based on a co-evolutionary approach, and develops a prototype system of reactive scheduling in order to evaluate the effectiveness of the proposed method.

交付額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2006年度 | 1,200,000 | 0 | 1,200,000 |
| 2007年度 | 1,100,000 | 0 | 1,100,000 |
| 2008年度 | 1,200,000 | 360,000 | 1,560,000 |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,500,000 | 360,000 | 3,860,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 生産工学・加工学

キーワード：リアクティブスケジューリング, 遺伝的アルゴリズム, 共進化

1. 研究開始当初の背景

生産活動中に、作業の遅延や機械の故障など、生産現場の状況が変化した場合、あらかじめ作成した最適な生産スケジュール通りに生産活動を行うことができない。そこで、このような生産現場における予測できない状況の変化に対して、適切に生産スケジュールを改善する動的なスケジューリング手法が必要とされている。

研究代表者は、これまでに、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, 以下 GA) の手法を用いて、状況の変化に対し、生産活動と並行して、生産スケジュールを迅速に改善する“リアクティブスケジューリング (Re-active scheduling)”の研究を行ってきた。これにより、生産活動を停止しないで、あらかじめ作成した生産スケジュールを適切に改善することができる。

2. 研究の目的

本研究では、リアクティブスケジューリング問題において交叉法の改良を行うとともに、多目的のリアクティブスケジューリング手法を提案する。次に、生物の共進化の機構を用いて、リアクティブスケジューリングの手法を拡張するとともに、リアクティブスケジューリングシステムのプロトタイプを開発し、計算機実験を行うことで、提案したリアクティブスケジューリング手法の有効性を検証することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 遺伝子の優位性を考慮した交叉法

既存の交叉法では、交叉域内の遺伝子全てを2つの親個体間で交換して新たに子個体を生成する。その際、交叉域はランダムに決定されるため、親個体が獲得した優秀な特質が子個体へ適切に継承されるとは限らない。そこで、本研究では、交叉の際に、遺伝子1つずつに対して目的関数における優位性を評価し、優れた遺伝子を子個体へ継承するとともに、劣った遺伝子のみを取り替える新たな交叉法を提案した。これにより、優れた親個体の特質を子個体に継承することができる。

(2) 多目的リアクティブスケジューリングにおける交叉法

p 個の目的関数からなる多目的問題の場合、各目的関数において遺伝子の優劣を表す評価値 rc^s_{ij} ($g=1,2,\dots,p$) を遺伝子に与えて $J^k(rc^1_{ij}, rc^2_{ij}, \dots, rc^p_{ij})$ とする。親個体の交叉域内の遺伝子が全ての評価値 rc^s_{ij} において $rc^s_{ij}=0$ の場合、 $J^k(0, 0, \dots, 0)$ は交換せずに子個体へ継承する。一方、任意の評価値 rc^s_{ij} において $rc^s_{ij}=1$ の場合、もう一方の親個体と同じ遺伝子を自身の遺伝子の中から探し、それと交換することで子個体を生成する。また、総納期遅れ時間と総滞留時間を目的関数とする場合、交叉域よりも前方に同じ遺伝子があれば、それと交換する。

(3) 加工順序と投入順序のモデル化

共進化 GA の手法をリアクティブスケジューリングに適用するために、加工順序と投入順序の情報を種別の異なる個体としてモデル化する。投入順序を表す個体は、オペレーション O_{ij} のジョブ名 J_i を遺伝子として用いる。初期スケジュールにおいて、開始時刻 st_{ij} の小さいオペレーション O_{ij} のジョブ名 J_i を1列に配置し、投入順序の個体一つを生成する。一方、加工順序を表す個体は、オペレーション O_{ij} のリソース名 R_j を遺伝子として用いる。初期スケジュールにおいて、開始時刻 st_{ij} の小さいオペレーション O_{ij} のリソース名 R_j から順に1列に配置し、加工順序の個体一つを生成する。初期の個体集合は、この遺伝子の順序をランダムに入れ替え、生成する。

デコーディングでは、個体から生産スケジ

ュールを生成するために、加工順序と投入順序の一对の個体が必要である。投入順序の個体をデコーディングする場合、既存の研究で定義したように、ジョブ毎にまとめた加工順序の情報に基づき、投入順序を表す個体の先頭のジョブから順番にオペレーションを割当て、開始時刻と終了時刻を決定し、生産スケジュールを生成する。一方、加工順序の個体をデコーディングする場合、リソース毎にまとめた投入順序の情報に基づき、加工順序を表す個体の先頭のリソースから順番にオペレーションを割当て、開始時刻と終了時刻を決定し、生産スケジュールを生成する。

(4) 共進化プロセス

加工順序と投入順序の個体は、図1に示すように、交互に進化を繰り返す。進化は、個体の持つ適応度に応じて、選択、交叉および突然変異といった遺伝的操作を個体に施し、次世代の個体を生成する。適応度には、生産スケジュールの評価関数である総所要時間を用いる。そのため、適応度計算には、加工順序と投入順序の一对の個体が必要である。

まず、初期スケジュールから加工順序と投入順序の個体の一つずつ生成する。次に、投入順序の個体群を生成し、遺伝的操作を行う。投入順序の子個体で適応度の最も高い個体と加工順序の個体をエリート個体ペアとして保存し、現行の生産スケジュールを変更する。さらに、投入順序の全ての子個体に対してルーレット選択を行い、投入順序の個体一つを保存する。次に、加工順序の個体群を生成し、遺伝的操作を施す。この際、加工順序の個体の適応度は、投入順序の個体の進化プロセスにおいて、ルーレット選択で選出した投入順序の個体を用いて計算する。加工順序の子個体の適応度が、保存したエリート個体ペアの適応度よりも高い場合は、その加工順序の個体と投入順序の個体の組を新たなエリート個体ペアとして入れ替えるとともに、現行の生産スケジュールを変更する。次に、加工順序の子個体に対してルーレット選択を行い、加工順序の個体一つを保存する。保存した加工順序の個体を用いて、投入順序の

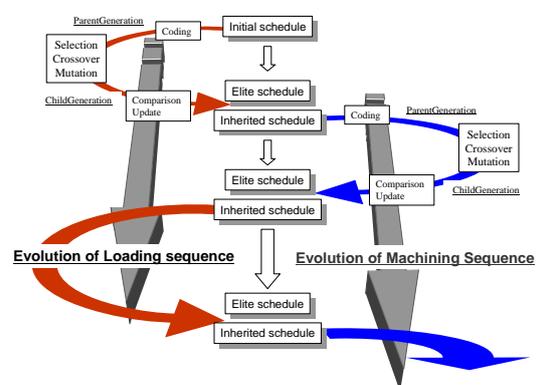


図1 共進化プロセス

個体群の適応度を再評価し、遺伝的操作を施す。投入順序の個体の適応度が、エリート個体ペアよりも高い場合は、その投入順序の個体と加工順序の個体の組に入れ替え、現行の生産スケジュールを変更する。このように、投入順序の個体の進化と加工順序の個体の進化を交互に繰り返し、総所要時間が、あらかじめ定めた基準値を満たすか、変更できるオペレーションがなくなれば、共進化プロセスを終了する。

4. 研究成果

(1) 多目的リアクティブスケジューリングにおける交叉法の改良

既存のリアクティブスケジューリング手法において、総納期遅れ時間および滞留時間に対する遺伝子の優位性を考慮した交叉法を提案した。この手法は、交叉の際に、遺伝子1つずつに対して目的関数における優位性を評価し、優れた遺伝子を子個体へ継承するとともに、劣った遺伝子のみを取り替える。これにより、優れた親個体の特質を子個体に継承することができる。

(2) スケジューリングシステムの開発

オブジェクト指向言語 Smalltalk を用いて、リアクティブスケジューリングシステムのプロトタイプを開発した。これを用いて、総納期遅れ時間と総滞留時間を目的関数とする二目的のリアクティブスケジューリング問題の計算機実験を行った。ここでは、リソース数 10、ジョブ数 50 のジョブショップスケジューリング問題を用いた。

まず、GA を用いて、納期遅れなしで、総滞留時間が最小となる初期スケジュールを作成する。次に、生産活動の開始後、複数のオペレーションに遅延を発生させる。これに対して、従来の手法と新たな手法を用いて、リアクティブスケジューリングの結果を比較した。新たに提案した手法は、納期遅れの観点からは、従来の手法よりも生産スケジュールを改善した。しかし、総滞留時間はあまり改善していない。これは、総納期遅れの改善に、局所的な収束が起り、総滞留時間の改善が進まなくなったことが考えられる。

(3) 共進化 GA による拡張

共進化 GA の手法を用いて、既存のリアクティブスケジューリング手法を拡張し、加工対象物の投入順序だけでなく、加工順序を同時に変更するリアクティブスケジューリング手法を提案した。本手法では、適応度の最も高い個体ペアが常に次世代へ継承される。そのため、共進化によって、現行の生産スケジュールが改悪されることはない。また、ルーレット選択によって選ばれた個体が、種別の異なる個体の適応度に影響を及ぼし合うことで、局所解への収束を回避し、適切な加工順序と投入順序の組合せを迅速に探索す

ることができる。

(4) 計算機実験

共進化 GA のアルゴリズムに基づき、これまでに開発したリアクティブスケジューリングシステムの機能を拡張した。これを用いて、リソース数 10、ジョブ数 10 のジョブショップスケジューリング問題に対して、計算機実験を行った。

まず、総所要時間最短の観点から、近似最適解となる初期スケジュールを作成した。次に、生産活動開始 1 分 6 秒後に、1~100 個のオペレーションをランダムに選択し、その処理時間を 100~500% の倍率で増大させた。これにより総所要時間は 51 分 40 秒から 68 分 18 秒となり、本プロトタイプシステムは、リアクティブスケジューリングを開始した。同じ条件で計算機実験を 10 回行った結果を図 2 に示す。横軸は生産活動およびリアクティブスケジューリングの経過時間を、縦軸は各時点における生産スケジュールの総所要時間を表す。比較実験として、投入順序の個体のみを約 30 分間繰り返し進化させた後、加工順序の個体のみを進化させる実験を行った。図 2 に示すように、提案手法は、生産スケジュールを十分に改善することができたことがわかる。

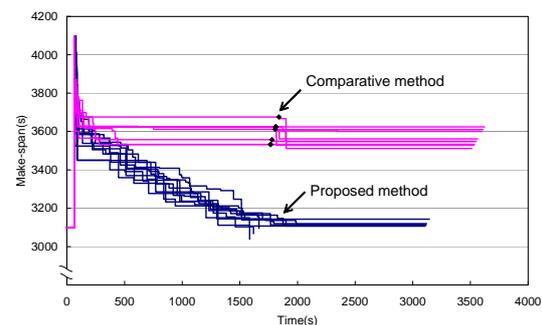


図 2 実験結果

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① Y. Tanimizu, Y. Komatsu, C. Ozawa, K. Iwamura, N. Sugimura, Extended Reactive Scheduling Method Using Co-Evolutionary Genetic Algorithms, Proc. of 20th International Conference on Production Research, CD-ROM No. 2.87, 6 pages, 2009, 査読有。
- ② Y. Tanimizu, Y. Komatsu, C. Ozawa, K. Iwamura, N. Sugimura, Co-Evolutionary Genetic Algorithms for Reactive Scheduling, Proc. of International Symposium on Scheduling 2009, pp. 121-126, 2009, 査読有。

- ③ T. Sakaguchi, T. Kamimura, K. Shirase, Y. Tanimizu, GA Based Reactive Scheduling for Aggregate Production Scheduling, Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier, Springer, pp. 275-278, 2008, 査読有.
- ④ T. Sakaguchi, T. Kamimura, K. Shirase, Y. Tanimizu, Reactive Scheduling Based on Status Monitoring for Dynamic Manufacturing Environment, Proc. of the 40th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, CD-ROM, PP1, pp. 1-6, 2007, 査読有.
- ⑤ T. Sakaguchi, Y. Tanimizu, K. Shirase, N. Sugimura, Genetic Algorithm Based Reactive Scheduling for Additional Jobs, Proc. of the 39th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, pp. 255-260, 2006, 査読無.
- ⑥ T. Sakaguchi, Y. Tanimizu, K. Harada, K. Iwamura, N. Sugimura, Genetic Algorithm Based Reactive Scheduling in Manufacturing System - Advanced Crossover Method for Tardiness Minimization Problems -, Mechatronics for Safety, Security and Dependability in a New Era, Elsevier, pp. 207-212, 2006, 査読有.
- ⑦ Y. Tanimizu, T. Miyamae, T. Sakaguchi, K. Iwamura, N. Sugimura, Multi-objective Reactive Scheduling Based on Genetic Algorithm, Towards Synthesis of Micro-/Nano-Systems, Springer, pp. 65-70, 2006, 査読有.
- ⑧ Y. Tanimizu, T. Sakaguchi, K. Iwamura, N. Sugimura, Evolutional Reactive Scheduling for Agile Manufacturing Systems, International Journal of Production Research, 44, 18-19, pp. 3727-3742, 2006, 査読有.

[学会発表] (計2件)

- ① 谷水義隆, 共進化遺伝的アルゴリズムを用いた統合型リアクティブスケジューリングに関する研究, 生産システム部門研究発表講演会 2008, 2008年7月4日, 産業技術大学院大学 (東京).
- ② 谷水義隆, 共進化GAを用いた統合化リアクティブスケジューリングに関する基礎的研究, スケジューリング・シンポジウム 2007, 2007年9月29日, 京都大学 (京都).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷水 義隆 (TANIMIZU YOSHITAKA)
 大阪府立大学・工学研究科・准教授
 研究者番号：60275279