2104 マルチエージェントシステムを用いた遅延情報伝播に基づく

リアクティブ・スケジューリングに関する研究

A Study on Reactive Scheduling Based on Delay Information Propagation Using Multi Agent System

正 藤井 信忠, 正 貝原 俊也, 正 指尾 健太郎, ○大塚 太朗

神戸大学

Nobutada FUJII, Toshiya KAIHARA, Kentaro SASHIO and Taro OTSUKA

Kobe University

Reactive scheduling is one of the solutions for scheduling in huge and complex manufacturing systems. However, it is excessive reaction to rescheduling whenever the delay occurs. It is necessary to discuss when-to-reschedule problem in reactive scheduling. This study suggests a new when-to schedule policy by using delay information propagation based on multi agent system. The proposed approach gives more accurate estimation by future prospects of all the agents. The effectiveness of the proposed method is confirmed by preliminary computer simulation results.

1. はじめに

大規模化する生産システムにおいて、故障や遅延といった変動へ対応するためリアクティブ・スケジューリングの提案・研究が多くなされてきている。しかしこれまでスケジュール修正時期に関してはあまり議論がなされておらず、適切な修正時期判断を行わないと過度のスケジュール修正を招く等の問題がある¹⁾。現行の When-to-Schedule の方策の研究として Sabuncuoglu ら²⁾や諏訪ら³⁾の研究が挙げられる。これらの方策は When-to-Schedule に点検時点以前のシステム全体の遅延情報などから再スケジュールを行うかどうかを判断するという手法である。これらの手法の場合、システム全体の累計などで判断することから個々のジョブや機械等において起こりうる危機的な遅延が軽く見られてしまう可能性がある。また将来のスケジュール状況を考慮していないという問題点もある。

将来的な遅延も加味した When-to-Schedule 方策の研究では杉川らの研究⁴⁾がある。これは定期点検ごとに現在および過去の遅延状況の累計を取り、点検時点以降の残りジョブ数などから数値的に再スケジュールを行うか、現行のスケジュールを続行するかという判断を行うものである。この手法においても、実システムの遅延量の総和により判断を行うため、個々の要素ごとにおける危機的な遅延が正しく判断されない可能性が存在する。また、将来的な遅延を正確に見積もっているわけでは無いので、依然将来的なスケジュールの密度や制約によっては、遅延が緩和したり悪化したりといった可能性を考慮することが困難であると言える。

そこで本研究では、マルチエージェントシステムを用いて生産システムを構成し、各生産エージェントが遅延情報を伝播していくことで将来予測を行う。その将来予測を基にスケジュール修正を行うか否かを判断するリアクティブ・スケジューリング手法を提案し、計算機実験により有効性の確認を行う。

2. システム構成

2. 1. 遅延情報伝播による将来予測

本研究で用いる遅延情報伝播の仕組みは樋野らの手法⁵⁾を基に構築した。この遅延情報伝播は、遅延が起こった生産システムのスケジュールの整合性を保つために用いられる手法である。Fig.1 に示される図は遅延情報伝播の一例である。本手法では、生産システムの各要素はある作業において遅延が発生すると、同一の作業についてのスケジュールを持つ要素に対し遅延情報の伝播を行う。また、遅延情報

を受け取った要素は自身のスケジュールを右シフトさせていくことで整合性を保ち、その過程で発生した遅延の情報を同様に他の要素に伝播させていく。Fig.1 ではまず最初に MachineA において遅延が発生し、同一の作業のスケジュールを持つ Job1 に対し遅延情報の伝播を行う。Job1 は受け取った遅延情報に対し右シフトスケジュールを作成し、後続の作業が遅延したため、それらの作業の遅延情報を同様に伝播させていく。こうして最終的にできあがったスケジュールは最初に起こった遅延の影響に対する将来予測となると考えられる。本研究における When-to-Schedule 方策は、この遅延伝播の過程において生産システムの各要素で再

Fig 1 Delay Propagation

スケジュールの条件を満たした場合 (Fig.1 の例では納期を超えた場合)、各要素自身がスケジュールに対して再スケジュールの要請を行うことで実施される。

2. 2. マルチエージェントシステムによるモデル構築

エージェントとは自律的な存在であり、自らの力で周囲の状況を認識し、個々の目的に合致した行動を行う実行主体である⁶⁾。マルチエージェントシステムはこのエージェン

トの集団が協調により全体として知的な振る舞いを示すことを目指したシステムである。本研究におけるシミュレーションモデルは機械やジョブのエージェントの集合により構成される。Fig.2 は本研究におけるシステムの概要図である。各生産システム要素を示すエージェントはそれぞれの要素についてのスケジュールを保持している。遅延に対するリアクティブ・スケジューリングは以下のステップで行われる。

- 1. Signal (Stop, Start, Delay)
- 2. Message (Delay Propagation)
- 3. Ask to Reschedule
- - - 4. Give new Schedule
- 5. Control

Fig 2 System configuration in the proposed system

- STEP 1. 現実の各生産システム要素からの“開始”，“終了”，“遅延”信号を基に各エージェントは自身の持つスケジュールと照らし合わせ進捗状況を確認する。
- STEP 2. 遅延が発生した場合前述の遅延情報伝播を行いスケジュールの整合性を保つ。
- STEP 3. 遅延情報伝播の過程においてあるエージェントで再スケジュールを要請する条件を満たした場合，条件を満たしたエージェントがスケジューラに対し再スケジュールの要請を行う。
- STEP 4. 再スケジュールの要請を受けたスケジューラは新規スケジュールを立案し，各エージェントに新規スケジュールを与える。
- STEP 5. 新規スケジュールを受け取った各エージェントはその情報に合わせて行動するよう現実生産システムの各該当要素に働きかける。

3. 計算機実験と考察

提案手法の有効性を確認するために動作確認実験を行った。実験のための対象問題はベンチマーク問題である FT6 問題⁶⁾を基に作成した。元々の FT6 問題は 6 機械 6 ジョブのメイクスパン最小化を目的としたジョブショップスケジューリング問題であるが，以下の条件を加えた。

- 各ジョブ毎に納期を設定する（各ジョブの加工時間の和と納期係数との積で与える TWK 法⁷⁾によって設定）
- 生産システムの運用段階においてあるジョブに対し遅延を発生させる。この遅延は対象ジョブの終了予定時刻ではじめて遅延することが発覚したものとし，遅延時間は明確に分かっているものとする。
- 作業時間を原問題の割合のまま 1000 倍した値を用

いた。

前節のシステム構成に従いモデルを構築し，対象問題の実行過程でエージェントが各々の遅延を認識し整合性を保った上で再スケジュールの要請を行えるかどうかを実験した。なお，システムの構築は Java におけるオープンソースのエージェントプラットフォームである JADE⁸⁾を使用した。また，計画段階のスケジューリング及び再スケジューリングには遺伝的アルゴリズムを用いた。遺伝的アルゴリズムはメイクスパン最小化を目的関数とし，遺伝子は全機械の作業順序，個体数は 800 で 100 世代行なった。再スケジューリングの場合は開始済みの作業の順序に変更を加えないという制約を設けている。今回の実験では再スケジューリングの要請条件は各ジョブエージェントに定められた納期を超えた場合とした。Table 1 は運用時の各段階におけるメイクスパンの変化である。

Table 1 Make Span at each phase

Phase	Plannning (Before Start)	Delay An- nounced	After Re- scheduling
MakeSpan	55000	60000	56000

計画段階におけるメイクスパンが遅延が起こったことにより増大したことが分かる。また，この遅延により，遅延が発生した作業のジョブとは別の納期が 59799 であるジョブが納期を越えたことにより再スケジュール条件を満たし，それにより再スケジューリングが行われ納期を満足する再スケジュールが得られたという動作が確認できた。

4. おわりに

本研究ではマルチエージェントシステムを用いた遅延情報伝播に基づくリアクティブ・スケジューリングの When-to-Schedule 方策について述べ，動作確認実験によってその挙動の確認を行い，遅延に対し適切な時期に再スケジューリングを行うことができることを示した。今後の課題としては有効性を示すための比較実験，確定的な遅延だけではなく，未確定の遅延に対する考察などが挙げられる。

参考文献

- 1) 諏訪晴彦，三道弘明：“遅延タスク数を基準とした制御限界方策に基づくリアクティブ・スケジューリング”，システム制御学会論文誌，Vol.17，No.9，pp.371-378，2004
- 2) I.Sabuncuoglu and O.B.Kizilisk: “Reactive scheduling in a dynamic and stochastic FMS environment”, International Journal of Production Research, Vol.41, No.17, pp.4211-4231, 2003
- 3) 杉川智，諏訪晴彦：“予測遅延に基づくリアクティブ・スケジューリング方策”，スケジューリング・シンポジウム 2005 講演論文集，pp.198-203，2005
- 4) 樋野励，森脇俊道：“再帰的伝播法による分散型ジョブショップスケジューリング”，日本機械学会論文集（C 編），Vol. 66，No. 647，pp.335-341，2000
- 5) 生天目章：“マルチエージェントと複雑系”，森北出版株式会社，1998
- 6) 相吉英太郎，安田恵一郎：“メタヒューリスティクスと応用”，オーム社，2007
- 7) R.W.Conway, W.L.Maxwell and L.W.Miller（関根智明監訳）：“スケジューリングの理論”，日刊工業新聞社，1971
- 8) F.Bellifemine, G.Caire, A.Poggi, G.Rimassa :“JADE A White Paper”, Telecom Italia EXP magazine, 3, No.3, pp.6-19, 2003