

1005 分散型ジョブショップスケジューリングのための 情報交換手順に関する研究

Study on Information Exchange Procedure for Decentralized Job Shop Scheduling

正 ○ 樋野 励 (神戸大), 正 森脇 俊道 (神戸大)

Rei HINO, Kobe University, Dept. of Mechanical Engineering, Rokkodai, Nada, Kobe, 657-8501

A new information exchange method named recursive propagation is proposed in order to solve job shop scheduling problems in decentralized manufacturing systems. The message exchange method is related to procedures of information processing exchanged among machines, and makes them to identify the status of the whole system when each machine changes the sequence of task operations. In this paper, the recursive propagation method is improved in order to reduce the number of the information exchanges required among machines. The proposed method is implemented onto plural computers which can communicate by using UDP/IP on a network. The feasibility of the methodology proposed is also verified by computational simulations.

Key Words : Information exchange procedure, Decentralized Job shop scheduling

1. 緒 言

生産活動を行う機械自身がスケジュールの立案を行ういわゆる分散型スケジューリングは、次世代の生産システムを構築する上で有効な手段の一つとして認識され、多くの研究が行われている。スケジューリング問題の中でも、製品ごとに使用する機械の順序が異なる場合は、ジョブショップスケジューリング問題と呼ばれ、変種変量生産を取り扱う上で重要な課題であると考えられる。

多くの分散型スケジューリングの場合、個々の機械による処理内容の決定については、それぞれの機械が独自に行うが、機械間の依存関係の調整については、調停者やマネージャと呼ばれる装置がその処理を受け持つ場合が多い。

著者らは、このような特別な装置を必要とせず、分散型のジョブショップスケジューリングを行うための情報交換方法を提案し、再帰的伝播法と名づけている⁽¹⁾。このような検討は、単に分散型の生産システムを構築するために有効だけでなく、生産システム内の機械の意思決定の結果がシステム全体にどのような影響を与えるかを理解する上でも有益であると考えている。

本報告では、提案する情報交換手順を機械間の情報交換数の点から再考し、意思決定のための効率化を試みた結果について報告する。

2. 情報交換手順

2.1 再帰的伝播法 本研究では、各機械は自分に割り当てられた作業に対して一定期間だけ将来のスケジュールを持ち、着手していない作業に対しては、その処理順序を変えることができるものとする。個々の機械は、状況に応じてみずから割り当てられた作業の処理順序を変更することにより、システム全体の生産効率を考慮したスケジュールを立案する。このようなスケジューリング手法は、単に新規に作業を機械に割り当てた場合だけでなく、機械に故障が生じたり、システムに新たな機械を投入した場合の再スケジューリングにも応用できると考えている。このように機械が、作業の処理順序の変更を行った場合、次の2つの処理が必要になる。

- (1) 変更を他の機械に伝え、システム内で処理されるすべての作業の処理時刻の整合性を維持する。
- (2) 変更の結果システム全体に生じた影響を定量的に把握する。

作業の処理時刻の整合性を維持するためには、作業の先行関係を考慮に入れた調整が必要になる。しかし、一つの作業の処理時刻の変更は、複数の機械の複数の作業に影響を与える。そのため、機械は単にシステム内の特定の機械が作業の処理順序を変えたという事象を知るだけでは、変更の影響を受ける作業の処理時刻の調整は行うことができず、順序だった情報の取得が必要になる。さらに、ジョブショップスケジューリング問題の場合、製品ごとに機械の依存関係が異なるため、問題はよりいっそう複雑になる。このように、ジョブショップスケジューリング問題において、処理時刻の整合性を保つための手続きを分散的に行うためには、比較的複雑な処理を必要とする。

著者らは、割り当てられた作業の処理順序、すなわち作業の処理予定時刻の変更を行った機械は、単に後続の処理を受け持つ機械にのみその変更を伝え、その結果生じる他の機械が管理する作業の新たな変更については、通知先の機械に依頼する手法を提案している。この手法においては、伝達の対象となる機械は、作業が終了した後に未完成の製品を渡す機械にほかならず、その存在を知っていることを仮定している。

作業の処理順序の変更に関する情報を受け取った機械の処理は、以下のように記述される。ただし、実際の情報交換では、他の機械に変更を通知後、その結果に対する情報を待っている間に、別の作業の変更に関する通知を受け取ることが有りうるため、以下の記述は厳密なものではない。正確な情報交換手順は既論文⁽¹⁾に詳述してある。

```

Recv( $r_{\eta,i}^{\zeta}, \tau$ )
repeat
 $\hat{s}_{\zeta,v} = \max(f_{\zeta,v-1}^{\zeta}, r_{\zeta,v}^{\zeta})$ 
 $\hat{f}_{\zeta,v} = \hat{s}_{\zeta,v} + p_{\zeta,v}$ 
 $\Delta t' = s_{\zeta,v} - \hat{s}_{\zeta,v}$ 
if  $\Delta t' \neq 0$  AND  $j_{\eta,i+1} \neq \{\phi\}$ 
  Send( $\hat{f}_{\zeta,v} (= \hat{r}_{\eta,i+1}^{\zeta}), \varphi$ )
  Recv( $\Delta t, \varphi$ )
 $\Delta t'' = \Delta t'' + \Delta t$ 
 $v = v + 1$ 
until  $\Delta t' = 0$  AND  $j_{\zeta,v} \neq \{\phi\}$ 
 $\Delta t'' = \Delta t'' + \Delta t'$ 
Send( $\Delta t'', \tau$ )

```

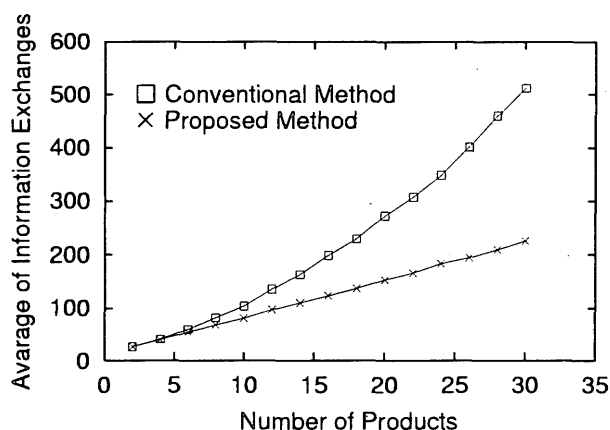


Fig. 1 Relationship between number of products and average of information exchanges among machines

ここで、 $j_{\eta,i}^{\zeta,v}$ は、機械 ζ が v 番目に処理を行う作業 (job) であり、同時に、製品 η を製造するための i 番目の工程を表すものとする。また、 s 、 p 、 f および r はそれぞれ、処理開始時刻 (starting time)、処理時間 (processing time)、処理終了時刻 (finishing time)、搬入時刻 (release time) を、 $\hat{s}$ 、 $\hat{f}$ および $\hat{r}$ は変更後の値を意味する。たとえば、 $j_{\eta,i+1}^{\varphi,w}$ は、製品 η を造るために $j_{\eta,i}^{\zeta,v}$ の次に別の機械 φ によって処理される作業を意味し、この作業を機械 φ は w 番目に処理することを意味する。また、機械 ζ による作業の終了時刻 $f_{\eta,i}^{\zeta,v}$ は、機械 φ が作業を受け取る時刻 $f_{\eta,i+1}^{\varphi,w}$ と等しい。なお、添え字が省略されている場合は、処理を行う上で必要のない情報か、あるいは処理の主体となる機械が知り得ない情報である。

また、情報の送信、および受信には次の記述を用いている。

Send(a,b) a: 発信情報, b: 受信先の機械名

Receive(a,b) a: 受信情報, b: 発信元の機械名

この手順は、機械 ζ が機械 τ から、自分が処理を受け持っている作業 $j_{\eta,i}^{\zeta,v}$ についての情報を受け取った場合の情報の処理手順を表している。情報を受け取った機械 ζ は、該当する作業の処理開始時刻 $s_{\eta,i}^{\zeta,v}$ および処理終了時刻 $f_{\eta,i}^{\zeta,v}$ の修正を行う。変更があり次の処理を行う機械があれば、変更後の終了時刻 $f_{\eta,i}^{\zeta,v}$ を機械 φ 伝える。機械 φ にとっては、この時刻は作業 η の $i+1$ 番目の搬入時刻 $r_{\eta,i+1}^{\varphi,w}$ になる。このことは機械 ζ が機械 τ から情報を受け取る場合に対応する。すなわち、作業時刻の変更の通知は他の機械への新たな通知を誘発し、情報は機械間を伝播される。このような処理はプログラミング上は再帰呼び出しという。提案する情報交換方法を再帰的伝播法と呼ぶのはこの理由による。

この処理は、作業の処理時刻に変更があり、同時に割り当てられた作業がある限り機械間で繰り返し実行される。一方、機械は最後に処理をした時刻を通知元に対して返すものとする。このとき、その機械が他の機械からの報告を受けていれば、その値も加算して返す。結果的に、通知を出した機械は自らの変更がシステム全体に与えた影響を把握することができる。

2.2 処理手順の改善 再帰的伝播法では、ひとつの作業の処理時刻の変更は、複数の作業の処理時刻の変更に影響を与える。個々の変更がさらに複数の作業の処理時刻の変更を生み出すため、機械や製品の数が増えるほど、必要な通信量が膨大になることが懸念される。実際には、スケジュール内に存在する作業を行わない時間、いわゆる遊休時間内での調整が行われ、情報の伝播が打ち切られるためこのような問題は生じることではない。しかし、それでも必要な情報交換数は相当な回数に

なる。

通信回数は、処理手順を改良することによりある程度の削減が可能となる。改良の一例を以下に示す。

Recive ($r_{\eta,i}^{\zeta}, \tau$)

repeat

repeat

$v' = v$

$\hat{s}_{\zeta,v'}^{\zeta,v'} = \max(f_{\zeta,v'-1}^{\zeta,v'}, r_{\zeta,v'}^{\zeta,v'})$

$\hat{f}_{\zeta,v}^{\zeta,v} = \hat{s}_{\zeta,v}^{\zeta,v} + p_{\zeta,v}^{\zeta,v}$

$\Delta t_{v'}^{\zeta,v} = s_{\zeta,v}^{\zeta,v} - \hat{s}_{\zeta,v}^{\zeta,v}$

until $j_{\zeta,v'+1}^{\zeta,v} \neq \{\phi\}$

if $\Delta t_{v'}^{\zeta,v} \neq 0$ AND $j_{\eta,i+1}^{\zeta,v} \neq \{\phi\}$

Send ($\hat{f}_{\eta,i}^{\zeta,v} (= \hat{f}_{\eta,i+1}^{\zeta,v}), \varphi$)

Recive ($\Delta t, \varphi$)

$\Delta t'' = \Delta t'' + \Delta t$

$v = v + 1$

until $\Delta t' \neq 0$ AND $j_{\zeta,v}^{\zeta,v} \neq \{\phi\}$

$\Delta t'' = \Delta t'' + \Delta t'$

Send ($\Delta t'', \tau$)

作業の中には、変更量の満たない遊休時間が逆に妨げとなり複数回の調整を経て最終的な処理時刻が決定されるものがある。自分が管理する作業のうち、変更があらかじめ分かっている作業については、通知前にあらかじめ処理時刻の修正を行うことで、このような作業に起因する情報交換を抑制することが可能になる。

3. 数値計算例

図1は、10台の機械に対するジョブショップスケジューリング問題に対して、個々の作業の処理時刻を変更した際に行われた情報交換の回数とシステム内の機械内で処理される製品数との関係を示している。製品1つに対し、10台の機械による処理が必要とし、一様乱数を利用し製品ごとに機械の使用順序および各作業の処理時間を決定する。ここでは、準備した作業すべてについて、処理時間に等しい処理開始時刻の変更を与え、その時に計測される通信回数の平均値を評価している。

図から、従来の再帰的伝播法に対し、処理手順を改良することにより、通信回数の削減が行われていることが理解できる。一般に計算機内部の情報処理に比べ、通信による情報交換に要する時間のほうが長い場合、提案する手法は処理が複雑になるにも関わらず、大幅な処理時間の短縮につながる。

なお、提案する情報交換方法による分散型スケジューリングは、UDP/IP を利用したネットワーク環境下において複数の計算機に分散した動作を確認している。

4. 結言

調整を行う装置が存在しない分散環境下において個々の機械がみずからのスケジュールを立案するいわゆる分散型スケジューリングに関し、情報交換手順に関する検討を行った。

本報告書では、著者らが提案する再帰的伝播法と名づけた情報交換手順について概説し、処理手順の改良を行うことで情報交換回数の削減が可能になることを示した。また、スケジューリングのために必要な情報を明らかにすると同時に、機械間で交換される情報交換数の数値シミュレーション結果を示した。

参考文献

- (1) 樋野 励, 森脇 俊道, 再帰的伝播法による分散型生産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, Vol.66, No.647, pp2449-2455, 2000