

ペトリネットによるシステムの協調動作表現

—ロボットとコンベアを例として—

5S-5

内田 正則 菅澤 喜男  
日本大学 日本大学

1. はじめに

ここ数年、工作機械メーカーを中心に発展してきたフレキシブル生産システム (FMS: Flexible Manufacturing System) は、産業用ロボットの普及をともなって、今では種々の生産の場に導入されており、そう物珍しくなくなっている。

本報告ではロボット2台とコンベア1台の協調動作を取り上げ、この協調動作を含めたシステム全体に対して、ロボットとコンベアの挙動を把握し表現しようとするのであるが、一般的には大変に複雑になり困難となることもある。従って、システムの複雑な動作を簡潔に表現することができるペトリネット (PN: Petri Net)<sup>1)~3)</sup> とその到達可能木を用いて表現するものとする。更に、マルコフ再生過程 (MRP: Markov Renewal Processes)<sup>4)</sup> により解析する。その結果、より効率の良いFMSを考慮しロボットとコンベアの状態の監視問題について検討するものである。

2. システムのPN表現

ロボット2台とコンベア1台の協調動作をPN表現したものを図1に示す。PNはシステムにおける信号あるいは情報の流れを抽象化し簡潔に表現できるモデルとして知られている。PN表現の図形表現を利用し、システム中の順序関係と状態の推移を視覚的に把握することができる。特に、順序関係の複雑な非同期並列処理システムやここで取り扱うロボット協調動作などには複雑な動作が簡潔に表現できるので有効であろう。PNにおけるNは、次の4つの組で定義される二部有向グラフである。

$$N = \langle E, T, A, M \rangle \quad (1)$$

ただし、

$$E = \{ \varepsilon_i \mid 1 \leq i \leq |E| \} \quad (2)$$

$$T = \{ \tau_j \mid 1 \leq j \leq |T| \} \quad (3)$$

Eは有限個の位置  $\varepsilon_i$  の集合で○印で示し、Tは有限個の転位  $\tau_j$  の集合で|印で示される。Aは有限個の有向線分の集合で位置  $\varepsilon_i$  から転位  $\tau_j$  への有向線分の部分集合とで構成される。有向線分を→印で示し入力位置  $I(\tau_j)$  にある●印で示される標号(token)を転位の発火(fire)により、出力位置  $O(\tau_j)$  に置くことで刻印がなされてシステムの状態をとらえる。図1における各転位  $\tau_j$  ( $j=1, 2, \dots, 10$ ) と各位置  $\varepsilon_i$  ( $i=1, 2, \dots, 8$ ) の意味は次の通りである。  $\tau_1$  : ロボット1 (R1) とロボット2 (R2) が協調動作を開始する。

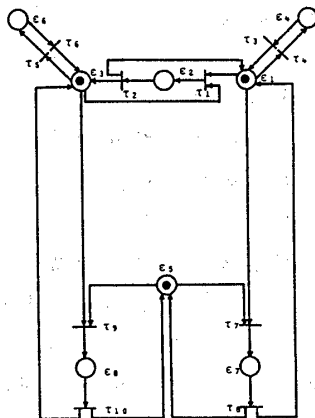


図1. ロボットとコンベアの協調動作のペトリネット表現

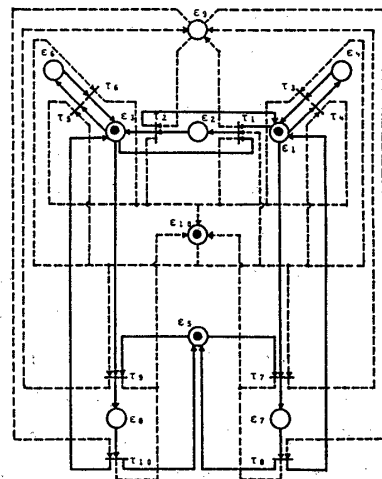


図2. 図1に情報を考慮した場合のペトリネット表現

$\tau_2$  : R1 と R2 が協調動作を終了する。  $\tau_3$  : R1 が動作を終了する。  $\tau_4$  : R1 が動作を開始する。  $\tau_5$  : R2 が動作を開始する。  $\tau_6$  : R2 が動作を終了する。  $\tau_7$  : R1 とコンペア (C) が協調動作を開始する。  $\tau_8$  : R1 と C が協調動作を終了する。  $\tau_9$  : R2 と C が協調動作を開始する。  $\tau_{10}$  : R2 と C が協調動作を終了する。  $\epsilon_1$  : R1 が待機。  $\epsilon_2$  : R1 と R2 が協調動作。  $\epsilon_3$  : R2 が待機。  $\epsilon_4$  : R1 が動作。  $\epsilon_5$  : C が待機。  $\epsilon_6$  : R2 が動作。  $\epsilon_7$  : R1 と C が協調動作。  $\epsilon_8$  : R2 と C が協調動作。 図 2 は図 1 で物理的な状態の変化を実線で示したものに点線で示される有向線分と位置  $\epsilon_9$  と位置  $\epsilon_{10}$  を加え情報の流れを考慮した図である。従って位置  $\epsilon_9$  と位置  $\epsilon_{10}$  はシステムの状態監視としての情報を示すものとして利用されている。

3. MRP の適用

モデルの動的変化、つまりシステムの挙動を把握する方法として到達可能木がある。図 2 の PN を到達可能木を用いて記述すると図 3 となる。

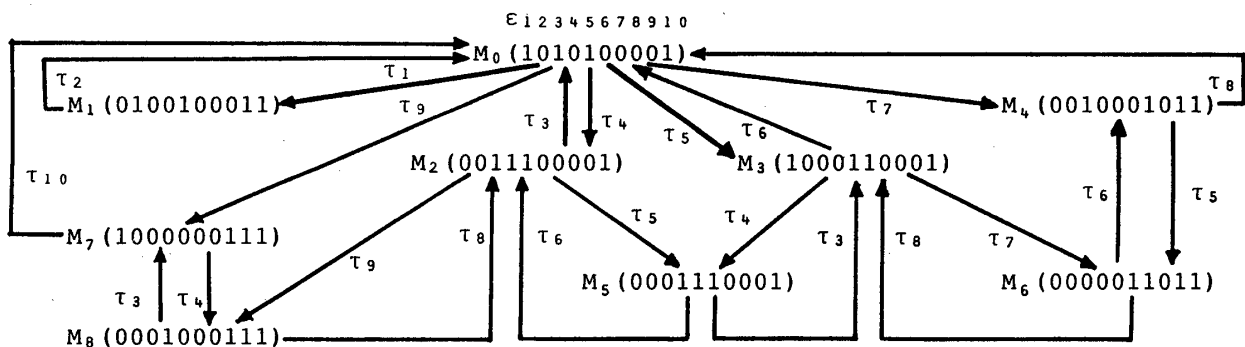


図 3. 図 2 の到達可能木

図 3 において示された  $M_i$  ( $i=0, 1, \dots, 8$ ) について状態を定義しておく。

- 状態  $M_0$  : R1 と R2 と C が待機している。
- 状態  $M_1$  : R1 と R2 が協調動作し、C が待機している。
- 状態  $M_2$  : R1 が単独動作し、R2 と C が待機している。
- 状態  $M_3$  : R2 が単独動作し、R1 と C が待機している。
- 状態  $M_4$  : R2 が待機し、R1 と C が協調動作している。
- 状態  $M_5$  : R1 と R2 がそれぞれ単独動作し、C が待機している。
- 状態  $M_6$  : R2 が単独動作し、R1 と C が協調動作している。
- 状態  $M_7$  : R2 と C が協調動作し、R1 が待機している。
- 状態  $M_8$  : R1 が単独動作し、R2 と C が協調動作している。

次に、システムの動的な性質をとらえて MRP を適用するには、各転位が発火する時点に着目し刻印によってシステムの状態を定義したので、図 3 の到達可能木を作成することが重要である。

ここで、一般的に状態から状態への推移の発火は瞬間的かつ完全に行なわれるものとする。更に時間は連続的な変数であるから、二つ以上の状態が同時に生起する確率はゼロとなり、同時に二つの推移の発火は起こり得ない。このように定義されたシステムは、一般的に MRP の適用によりシステムの確率的挙動の解析がなされる。従って、状態  $M_i$  に推移した後に、時間  $t$  以内に状態  $M_j$  へ推移する推移時間分布を求め得る。

参考文献

- 1) Kakazu, Y., Nakamura, H., Kamimura, M. and Okino, N., "A Study on Cooperative Robot Motion Simulator" 15th ISIR, pp. 691-pp. 698 (1985)
- 2) T. Agerwala: "Putting Petri nets to work", Computer, 12, 12, pp. 85-pp. 94 (1979)
- 3) 松島俊章: "ペトリネット", 信学誌, 66, 1, pp. 38-43 (昭和 58-01)
- 4) 菅沢, 村田, 倉林: "マルコフ再生過程による非再生点を含むペトリネット表現されたシステムの確率的挙動の解析", 信学誌, 67, 8, pp. 819-825 (昭和 59-08)