

分散処理システムのペトリネットモデルと 確率的挙動解析

3P-8

菅澤 喜男、 亀井 光雄、 原田 篤、 鈴木 麻子

(日本大学生産工学部・数理工学科)

1. はじめに

分散処理システムは離散事象的な挙動をするシステムであり、一般的に用いられてきたモデル化の技法での記述は困難である。そこで、本研究では、2つのシステムが交替で処理を行う分散処理システムを取り上げ、分散処理システムなどの離散事象システムなどをモデル化するのに適しているペトリネットをシステムのモデル化に利用し、モデルにマルコフ再生過程を適用してシステム全体の効率あるいは安全・信頼性などを把握するために利用できる確率量を求める方法を概説する。

2. 研究の目的

本研究では、交替処理をする分散処理システムの確率的挙動を解析する。ここでは、ある時間 t を与えられたときに、システムがどのような状態にあるか、また、効果的な分散処理システムの運用となるか等、いわゆる交替処理を行う分散処理システムを評価する方法を示す。本研究では、ここで取り上げるシステムのように分散処理かつ並列的な挙動をするシステム等をモデル化するのに有効な技法として知られているペトリネット (Petri Net: 以後PNと記す) を利用してシステムのモデル化を行う。さらに、PNでモデル化されたシステムに、マルコフ再生過程 (Markov Renewal Process: 以後MRP と記す) を適用してシステムの定常状態における挙動を極限確率を求め明らかにする。ますます導入が増加する分散処理システムの確率的挙動解析は性能評価に有効であり、本研究では交替処理を考慮した基本的な分散処理システムを取り扱う。

3. PNの概説とPNによる分散処理システムのモデル化

PNはシステムにおける条件と対応する場所 (Place) の集合、システムの事象に対応する遷移 (Transition) の集合およびそれらの条件と事象の関係を表す有向線分 (Directed Arc) とにより構成される。PNは、次の四つの組みで定義される二部有向グラフであり

$$N = \{E, T, A, M_0\} \quad (1)$$

として表される。ここで、 E は有限個の場所 P_i の集合で○印で記述され、 t_j は有限個の遷移 t_j の集合でI印で記述される。 A は有限個の有向線分で、場所 P_i から遷移 t_j への有向線分の部分集合と、遷移 t_j から場所 P_i 有向線分の部分集合とで構成される。つまり、有向線分を a で示し、入力場所にある●印で示される標号 (Token) を遷移の発火 (Fire) により出力場所に置く (あるいは移動) することで刻印がなされシステムの状態を捕らえる。したがって、式 (1) における M_0 は初期刻印と呼ばれシステムの初期状態を表す。ここで、交替で処理をする分散処理システムは、主と従の二つのプロセッサから成っており、次のような動作をする。主 (メイン) プロセッサはオンライン処理を中心とし、従 (サブ) プロセッサに対して優先権をもつものとする。従プロセッサは主にローカル処理をし、一定の周期時間でオンライン処理に切り換え、一定の条件を満たしたら、

Petri Net Model of Distributed Processing System and the Stochastic Behavior Analysis

Yoshio Sugasawa, Mituo Kamei, Atushi Harada and Asako Suzuki

Department of Math. Engineering, College of Industrial Technology, Nihon University

主プロセッサと交換する。従プロセッサは、ローカル処理中に通信障害などの異常が発生した場合、処理不能となるが、主プロセッサの機能によりその機能は回復できる。しかし、主従プロセッサが交替している間に、通信障害が発生すると、主従の両プロセッサとも処理不能となり、交替処理システム全体の機能が停止し、故障状態となる。このような場合、故障したシステムに修理を施すことで、再び正常（初期）状態に復帰させる。

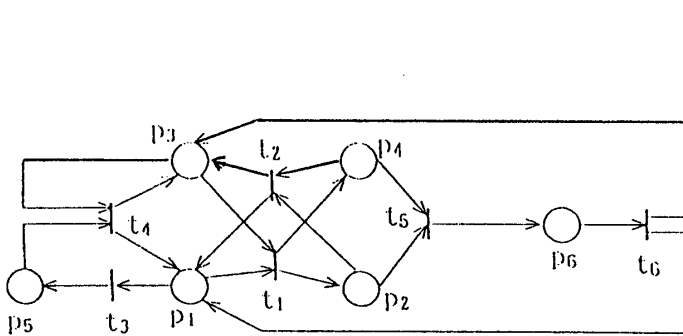


図1 分散処理システムのPNモデル

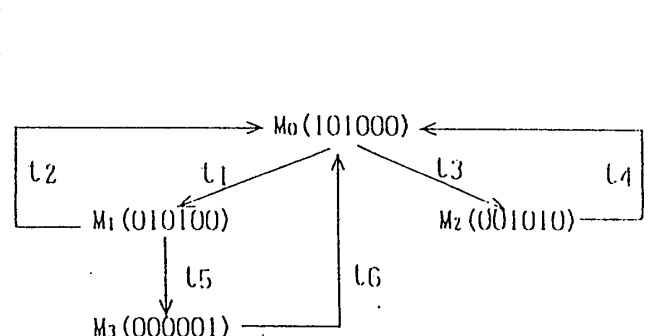


図2 図1の到達可能グラフ

SPN(Stochastic Petri Net) でこの交替処理システムを記述すると図1になる。図1における各場所 (Place)と各遷移 (Transition) の意味は次の通りである。

P₁: 従プロセッサがローカル処理中。P₂: 従プロセッサが主プロセッサと交替中。P₃: 主プロセッサがオンライン処理中。P₄: 主プロセッサが従プロセッサと交替中。P₅: 従プロセッサの処理機能が停止状態。P₆: 交替処理システムが故障状態。t₁: 従プロセッサがローカル処理からオンライン処理に切り換えられ、主従プロセッサの交替が始まる。t₂: 主従プロセッサの交替が終わり、従プロセッサがローカル処理に戻る。t₃: 通信障害により従プロセッサが処理不能となる。t₄: 主従プロセッサの機能により従プロセッサの機能を回復する。t₅: 主従プロセッサの交替中に通信障害が生じ、交替処理システムが故障する。t₆: 故障した交替処理システムに修理を施す。

4. 確率的挙動解析

図1で示した交替処理システムのSPNモデルは各場所と各遷移間の静的な順序関係を記述したにすぎない。動的な挙動解析を行うために、一般的に、図2で示したペトリネットの到達可能グラフを用いて、各遷移が発火するまでの時間を発火時間分布として定義する。更に、到達可能グラフの節点をMRPにおける状態と対応させ、到達可能グラフの枝が状態間の推移を表す。ここで、時刻 $t = 0$ で状態 (マーキング) M_i ($i = 0, 1, 2, 3$) に推移した後に、時刻 t までに遷移 t_j ($j=1, 2, \dots, 6$) が発火するまでの発火時間分布を F_j ($j=1, 2, \dots, 6$) と定義する。交替処理システムが各状態 M_i ($i=0, 1, 2, 3,$) に推移する時点に着目し、それにより各時点に対応する状態の定義は次のとおりである。M₀: 従プロセッサがローカル処理であり、主プロセッサがオンライン処理である。M₁: 主従プロセッサが交替処理である。M₂: 従プロセッサが通信障害により処理機能が停止状態である。M₃: 交替処理システムが通信障害により故障状態である。

5. まとめ

ここでは、基本的な分散処理システムのPNモデルを示し、確率的挙動解析の方法を示した。他のシステムの性能評価への適応を今後も検討すべきであろう（紙面の都合で計算過程は省略）。