

5G-6

確率ペトリネットによる
トラップ・システムの挙動解析

金群、菅澤喜男、瀬谷浩一郎

日本大学

1. はじめに

近年、情報システムの大規模化・複雑化が進み、特に分散処理システムにおけるトラップ発生の挙動解析が要望されている。そこで、分散処理形態での親子システムを例として、確率ペトリネットを用いて、トラップ・システムをモデル化し、トラップ発生の挙動解析を行う。

2. 簡単なトラップ・システムのモデル例

ローカル処理とオンライン処理を中心とする親子システムが次のように動作する。子システムは主にローカル処理をし、ある周期時間でオンライン処理に切り替え、一定の条件を満たしたら、親子システムが交換される。子システムは、ローカル処理中に通信障害が発生した場合、システムダウンになるが、親システムの機能により修復できる。しかし、親子システムが交換される間に、通信障害が発生すると、親と子の両システムともシステムダウンとなり、修復できない。このような場合をトラップが発生したと言う。

確率ペトリネットでこの親子システムを記述すると図1になる。図1における各場所と遷移の意味は次の通りである。

P_1 : 子システムがローカル処理中

P_2 : 子システムがオンライン処理で、親システムと交換中

P_3 : 親システムが待機中

P_4 : 親システムが子システムと交換中

P_5 : 子システムがシステムダウン状態

P_6 : 親子システムがトラップ状態

t_1 : 子システムがローカル処理からオンライン処理に切り替えられ、親子システムの交換が始まる

t_2 : 親子システムの交換が終わり、子システムがローカル処理に戻る

t_3 : 通信障害により子システムがシステムダウンとなる

t_4 : 親システムにより子システムを修復する

t_5 : 親子システムは交換中に通信障害が発生し、システムがトラップとなる。

3. 確率ペトリネットによる挙動解析

図1で示したモデルは各場所と遷移の間の静的な順序関係を記述したすぎない。動的な挙動解析を行うために、一般的に、図2で示しているペトリネットの到達可能グラフを用いて、各遷移に発火時間分布を定義し導入する。また、到達可能グラフの節点がマルコフ再生過程における状態と対応し、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 ($j=1, 2, \dots, 5$) が発火するまでの時間を発火時間分布 $F_j(t)$ ($j=1, 2, \dots, 5$) とする。

よって、親子システムが各状態 M_i ($i=0, 1, 2, 3$) に推移する時点に着

Behavior Analysis of Trap Systems Using Stochastic Petri Nets

Qun JIN, Yoshio SUGASAWA, Koichiro SEYA

Nihon University

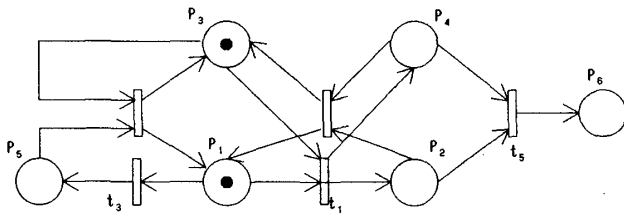


図1 確率ペトリネットモデル

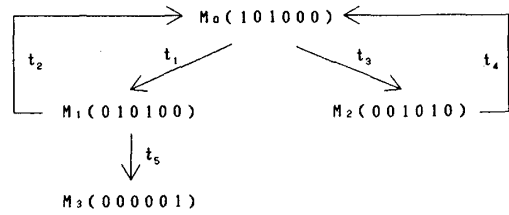


図2 到達可能グラフ

目し、それにより各時点に対応する状態の定義は次の通りである。

- M_0 : 子システムがローカル処理で、親システムが待機中である
- M_1 : 親子システムがオンライン処理において処理中である
- M_2 : 子システムが通信障害によりシステムダウン状態である
- M_3 : 親子システムが通信障害によりトラップ状態である

ここで、状態 M_0 、 M_2 、 M_3 は、推移した最後の時点から経過時間により決められる時点であるから再生点として取り扱われる。しかし、状態 M_1 は、時点が履歴に対して非独立で、かつ無記憶性をもっていない時間継続に依存するために非再生点として見なされる。従って、状態 M_0 、 M_2 に推移した後に、時間 t 以内に状態 M_2 、 M_0 へ、または状態 M_0 から状態 M_1 を経由して状態 M_0 、 M_3 へと推移する推移確率時間分布は下記のようなになる。

$$Q_{02}(t) = \int_0^t \bar{F}_1(t) dF_3(t) \tag{1}$$

$$Q_{20}(t) = \int_0^t dF_4(t) \tag{2}$$

$$Q_{00}^{(1)}(t) = \int_0^t \left\{ \int_0^{t-u} \bar{F}_5(v) dF_2(v) \right\} dP_{01}(u) \tag{3}$$

$$Q_{03}^{(1)}(t) = \int_0^t \left\{ \int_0^{t-u} \bar{F}_2(v) dF_5(v) \right\} dP_{01}(u) \tag{4}$$

ここで、

$$P_{01}(u) = \int_0^u F_3(t) dF_1(t) \tag{5}$$

$$\bar{F}_i(t) = 1 - F_i(t) \quad (i = 1, 2, 3, 5) \tag{6}$$

次に、システムが正常状態 M_1 から動作を開始し、トラップ状態 M_3 になる確率を $P_{13}(t)$ とすると、そのラプラス・スチュルチェス変換は

$$P_{13}(s) = q_{03}^{(1)}(s) / [1 - q_{00}^{(1)}(s) - q_{02}(s)q_{20}(s)] \tag{7}$$

である。ここで、

$$q_{ij}(s) = \int_0^\infty e^{-st} dQ_{ij}(t) \quad (i = 0, 2 \quad j = 2, 0) \tag{8}$$

$$q_{ijk}^{(1)}(s) = \int_0^\infty e^{-st} dQ_{ijk}^{(1)}(t) \quad (i = 0 \quad j = 0, 3 \quad k = 1) \tag{9}$$

である。更に、その定常確率を P_{13} とすれば、

$$P_{13} = \lim_{t \rightarrow \infty} P_{13}(t) = \lim_{s \rightarrow 0} P_{13}(s) \tag{10}$$

として求まる。

4. おわりに

トラップ・システムの確率的な挙動解析を行うために、確率ペトリネットを用いてモデル化することで、システムの状態定義が容易になされる。更に、状態定義は、マルコフ再生過程における再生点と非再生点とに区別し、システムの挙動解析をより現実的に行うことができる。今後は、トラップがシステム全体に及ぼす影響について解析結果から見た具体的な考察が必要であろう。

5. 参考文献

[1] T. Murata, Petri Nets: Properties, Analysis and Applications, Proc. IEEE, Vol.77, No.4, pp.541-580(1989)
 [2] 菅澤, 瀬谷, 間欠故障するシステムの故障と誤りの強健検出, 信学論(A), Vol. J70-A, No. 4, pp. 615-619 (1987)