

페트리 넷을 이용한 프로토콜
검증 알고리즘.

김 홍 식, 조 진 기, 이 철 희
송 실 대 학 교 전 자 계 산 학 과

AN ALGORITHM FOR THE PROTOCOL VALIDATION
USING THE PETRI NET.

Hong Sik KIM, Jin Gi CHO, Chul Hee LEE
DEPT. OF COMPUTER SCIENCE SOONG SIL UNIVERSITY.

요 약

프로토콜은 메시지들의 교환을 통제하는 규칙들의 집합이라고 정의할 수 있으며, 일반적으로 메시지 교환에 의해 협력되는 여러 비동기적이고, 동시적인 서브시스템이나 프로세스의 동작을 통제하게 된다. 통신 프로토콜의 다양성과 복잡성이 크게 증가 되어서왔기 때문에 프로토콜을 기술하고, 설계하고, 검증하기 위한 formal 기법이 대두 되었다. 본 논문에서는 Petri Net을 이용하여 기술된 프로토콜 모델을 reachability analysis 기법에 의하여 deadlock을 검증하기 위한 알고리즘을 설계 하였다.

I. 서 론.

프로토콜은 일반적으로 메시지의 교환에 의하여 협력되는 비동기적이고, 동시적인 서브시스템 이나 프로세스의 동작을 통제하게 된다. 모델링 방법에는 크게 트랜지션 모델과 프로그램 모델로 나누어 지나, 이 논문에서는 트랜지션 모델중, 비동기적이고 동시적인 속성을 갖는 Petri Net 모델을 채택하였으며, 검증 방법으로는 reachability analysis 기법과 program proof 기법이 있으나, Petri Net 분석에 적당한 reachability analysis 기법을 채택 하였다. 이 방법은 초기의 global state로 부터 시작하는 reachability tree를 구성함에 의해 프로토콜 엔티티 사이에서 모든 가능한 상호작용을 조사 하는 방법이다.

이 기법은 그림 형태로 되어 있어 이해가 용이하고, 자동화가 가능하며, 모든 에러를 검출할 수 있는 장점이 있다.

II. 정 의.

1. Petri Net

(정 의 1) PN(Petri Net)은 4부분 (P,T,I,O)으로 구성된다.

여기서, P는 place의 nonempty set,

$$P = \{P_1, \dots, P_n\},$$

T는 transition의 nonempty set,

$$T = \{T_1, \dots, T_n\}, I \cap T = \emptyset,$$

I: $P \times T \rightarrow N$ (input function),

O: $P \times T \rightarrow N$ (output function).

$$(N \geq 0, \text{integer set})$$

(정 의 2) $R(PN, I)$ 은 어떤 firing sequence를

통해 initial marking으로 부터 reachable한 집합으로 표시된다. 즉 $S(\mu, T_j) = \mu$.

(정 의 3) marking μ 에서 firing 결과 새로운 marking μ' 이면, μ' 는 μ 에서 immediately reachable함.

(정의 4) marking \mathcal{M} 와 \mathcal{M}' 가 있고, $\mathcal{M}'' > \mathcal{M}'$ 이면, \mathcal{M}'' 는 \mathcal{M}' 를 cover한다.

(정의 5) Petri Net의 incidence matrix는 $m \times n$ matrix이며, $D = D^+ - D^-$ 이다.

D^+ : transition의 output place 수

$$D^+[j, i] = \#(Pi, O(Tj))$$

D^- : transition의 input place 수

$$D^-[j, i] = \#(Pi, I(Tj))$$

2. PROPERTY

(정의 6) Boundedness 와 Safeness

$R(PN, \mathcal{M})$ 에서, 어떤 marking에 대하여 place P의 토큰의 수가 유한하다면, 그 place는 bounded하다고 하며, 모든 place가 bounded하면 그 Petri Net은 boundedness하다.

여기서 토큰의 수가 정수 k로 한정된다면 그 place는 k bounded하다. 토큰의 수가 1보다 작거나 같으면 그 Petri Net은 safe하다고 한다.

(정의 7) Liveness 와 Deadlock

각 $\mathcal{M} \in R(PN, \mathcal{M}_0)$ 에 대하여 transition이 enable된 \mathcal{M} 로부터 reachable한 marking이 존재한다면, marked Petri Net $(P, T, I, O, \mathcal{M}_0)$ 에서 transition을 live하다.

만일 각 transition이 live하다면, 그 Petri Net은 live하다.

모든 transition이 firing할 수 없다면 즉 live하지 않다면, deadlock state가 된다.

III. Protocol Validation Algorithm

1. INPUT.

- 1) transition 수
- 2) place 수
- 3) initial marking
- 4) D^- , D^+

2. 처리.

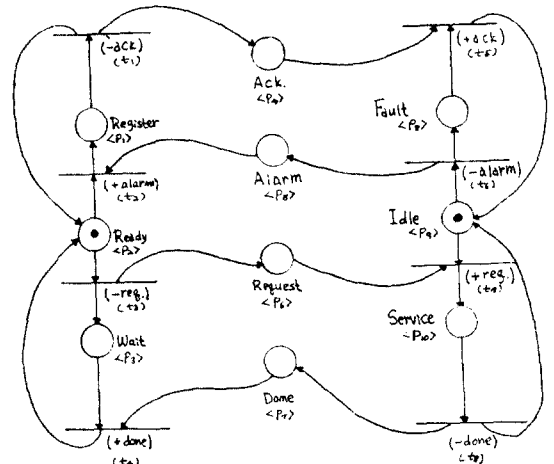
- 1) 현재의 marking에서 각 transition의 enable 여부를 조사한다.
 - (1) 만일 enable이면, transition의 input place에서 토큰을 제거하여 output place에 토큰을 넣는다.
 - (2) 만일 enable하지 않으면, not firing이다.
- 2) transition이 enable하면 cover 여부를 조사한다.
- 3) transition이 enable이고 cover이면 unbounded이다. new marking에 대해서도 enable test를 한다.
- 4) cover이고 reachable이면 duplicated marking 이므로 그 marking에 대한 fire test를 중단한다.
- 5) 1) - 4)의 과정을 반복하여 모든 reachable set를 구한다.

3. OUTPUT.

reachable set을 출력한다.

IV. 적용 사례 - 사례

1. 적용 사례로서는 user-server protocol을 선택했다.



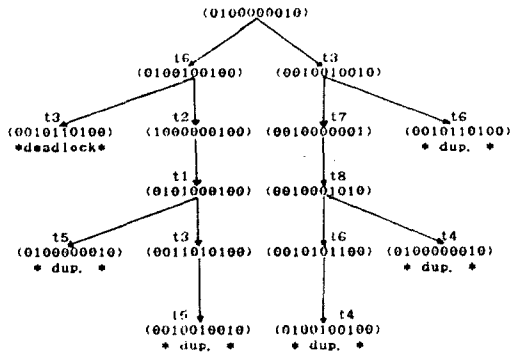
[USER-SERVER PROTOCOL의 Petri Net MODEL]

2. transition의 수 = 8, place의 수 = 10,

initial marking = (0100000010)

$$D^- = \begin{bmatrix} 1000000000 \\ 0100100000 \\ 0100000000 \\ 0010001000 \\ 0001000100 \\ 0000000010 \\ 0000010010 \\ 0000000001 \end{bmatrix} \quad D^+ = \begin{bmatrix} 0101000000 \\ 1000000000 \\ 0010010000 \\ 0100000000 \\ 0000000010 \\ 0000100100 \\ 0000000001 \\ 0000001010 \end{bmatrix}$$

3. 처리 결과



4. 결과 분석

위 protocol은 deadlock sequense가 있다.

그러나, 각 place마다 토큰의 수가 1 이하
이므로 safe하다.

V. 결 론

본 논문에서는 reachability 속성을 이용하여 Petri Net으로 모델링된 시스템의 safeness와 deadlock 상태를 검증하였으며, 검증시 발생하는 state 폭발 문제의 해결을 위하여 duplicate 개념을 도입하여 검증하는 algorithm을 설계 및 구현을 하였다.

참 고 문 헌

1. James L. Peterson, Petri Net Theory and The Modeling of Systems, Prentice-hall, 1981.
2. G. Berthelot, R. Terrat, "Petri Nets Theory for The Correctness of Protocols", IEEE trans. on Comm., Vol. Com-30, No. 12, pp. 2497-2505, Dec. 1982.
3. C. V. Ramamoorthy, "Performance Evaluation of Asynchronous Concurrent Systems Using Petri Nets", IEEE trans. on S/E, Vol. SE-6, No. 5, pp. 440-449, Sep. 1980.
4. P. Zafiropulo, "Protocol Validation by dualog-ue - Matrix Analysis", IEEE, trans. on Comm., Vol. Com-26, No. 8, pp. 1187-1194, aug. 1978.
5. M. Sajkowski, "Protocol Verification Techniq-ue Status Que and Perspectives", PSTV, IV, pp. 697-720, 1985.
6. M. Sajkowski, "Protocol Verification in The Prensence of Time", PSTV, VI, pp. 269-280, 1987.
7. 김 승용, 이 상호, 구 연철, "Matrix Equation을 이용한 Petri Net의 Boundedness 검출 알고리즘", '87 봄 학술 발표 논문집, Vol. 14, No. 1, pp. 369-371, 정보과학회, 1987.