

論文95-32A-4-1

Stochastic Petri Nets Reward Model을 이용한 통신 프로토콜의 성능평가

(Performance Evaluation of Telecommunication Protocols using Stochastic Petri Nets Reward Model)

魯 哲 愚 * , 張 直 鉉 * *

(Cheul Woo Ro, and Jik Hyun Chang)

요 약

마르코프 reward 모델에 근거한 새로운 추계적 패트리 넷인 Stochastic Petri Nets Reward Model(SPNRM)을 이용하여 통신 프로토콜에 대한 모델링 및 성능평가를 수행한다. DCE(Data Circuit Equipment)간 패킷 데이터 교환 기능을 제공해 주는 통신 프로토콜인 TDX-10TM 내부 프로토콜(TIP:TDX Internal Protocol)을 SPNRM으로 모델링 하였으며 특히 데이터 전송단계에서 에러제어를 위해 필수적인 타이머와 재전송 처리에 대한 모델을 개발하였다. End-to-end와 link-by-link 방식에 대한 평균 응답시간, 및 처리율에 대한 수치적 결과가 소프트웨어 도구인 SPNP(Stochastic Petri Nets Package)를 이용하여 구해지며, 기존에 사용되고 있는 시뮬레이션 기법이 아닌 해석적-수치적인 기법에 의하여 모델의 해를 구한다.

Abstract

A new stochastic Petri nets model, called Stochastic Petri Nets Reward Model(SPNRM) is used for modeling and evaluating the performance of telecommunication protocols. We have developed a SPNRM of the TDX-10 Internal protocol, which has a packet data exchange facility between DCEs. Especially a timer and retransmission handling model is presented for error control of the data transmission phase. The stochastic Petri nets package(SPNP), a software package for SPNRM used in this paper, has been used to generate numerical results by analytical-numerical method rather than simulation. From the steady state solution of the net, it is possible to calculate automatically the performance measure of the protocol modeled with both end-to-end and link-by-link method, which are the mean response times and the throughputs.

* 正會員, 釜山女子大學校 電子計算學科
(Dept. of computers Science Pusan Womens Univ.)

** 正會員, 西江大學校 電子計算學科

(Dept. of computers Science Sogang Univ.)

※ 이 논문은 1993년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음

接受日字 : 1994年 6月 27日

I. 서론

복잡한 통신망에서 효율적인 망의 구성, 제어, 운용 등은 중요 관심사이며 특히 망구조의 핵심은 프로토콜과 인터페이스에 있다. 주어진 망 구조에서 프로토콜과 관계된 프로세스가 설계상의 오류나 신뢰성을 보장받지 못하는 매개체를 통하여 통신한다면 이는 데드락을 발생시킬 수 있으며 또한 설계자가 예측하지 못한 심각한 성능의 저하를 가져올 수 있다. 따라서 프로토콜의 분석 및 성능평가가 중요시된다.

일반적으로 성능평가에 사용되는 방법에는 해석적, 시뮬레이션, 그리고 실험에 의한 방법으로 구분할 수 있다. 본 논문에서는 해석적 방법을 이용한 성능평가를 수행하는데 모델의 정확성을 높이기 위하여 페트리 네트를 활용한다. 통신 시스템이나 프로토콜을 모델링하고 분석하는데는 큐잉망(queueing network)과 페트리 네트를 사용할 수 있으며 이들 두 모델은 동형인 마르코프 프로세스(Markov process)의 생성 및 분석에 의해 대상 시스템을 평가할 수 있게 한다. 큐잉망은 product-form 해를 가질 경우 대상 시스템을 쉽게 평가할 수 있는 반면 모델링을 위하여 시스템을 표현하는데는 많은 제약이 있다. 반면 페트리 네트는 시스템 behavior를 폭넓게 표현할 수 있게 함으로써 시스템을 모델링 하는데 유리하다.

DCE간 통신 프로토콜의 발 착신 프로세스는 서로 상대방의 도착 및 서비스 요구에 상호 의존하게 된다. 이러한 상호 의존성(interdependency)을 product-form 해를 갖는 큐잉망 모델은 일반적으로 무시하는 경향이 있는 반면 마르코프 모델은 다양한 종류의 의존성을 잘 표현할 수 있다.^[2] 또한, 추계적 페트리 네트(SPN)는 마르코프 모델을 자동으로 생성할 수 있는 편리한 수단을 제공해 준다. ^[2]에서는 LAN상에서 file server를 access하는 workstation들의 집합인 client-server 시스템에 대한 모델링을 SPNRM^[3]을 사용하여 수행하였다. 본 논문에서는 위에서 언급한 특징들을 가지고 있으며 마르코프 reward 모델에 근거를 두고 있는 SPNRM을 사용하여 통신 프로토콜의 성능평가를 수행한다.

첫째로 상호 의존성을 갖는 TIP의 발·착신 프로세스에 대한 해석적 모델을 SPNRM의 모델링 기능들을 가지고 개발하며, 둘째로 통신 프로토콜의 성능평가에 필요한 성능 지표를 설정하고 이들 성능 지표를 SPNRM의 reward rate로부터 산출한다.

이를 위하여 3장에서는 통신 프로토콜에 대한 SPN-RM 모델을 호 설정, 데이터 전송 및 해제 단계로 나누어 개발하였으며 특히 데이터 전송 단계에서는 에러

제어를 위한 타이머와 재전송 메카니즘에 대한 모델을 개발하였다. 4장에서는 SPNRM 모델로부터 도달성 그래프에 의한 마르코프 체인의 생성 및 마르코프 체인의 안정상태 확률을 구하는 과정을 예시하고 이를 근거로 추계적 페트리 네트 장소의 마킹 확률과 시간 천이의 발사확률에 대응되는 reward rate를 구한다. SPN에서는 reward rate로 장소가 empty가 아닐 확률과 토큰의 평균 갯수 그리고 천이의 발사확률과 평균 처리율 등을 계산해낸다. 이들 값으로부터 각 단계별 평균응답시간 및 호 처리율 등을 5장에서 TIP의 입력 데이터 값을 갖고 구한다. 실제상황에서 마르코프 모델은 상태 폭발(state explosion)의 문제를 가질 수 있으나 이는 마르코프 모델을 생성하고 해를 구할 수 있는 소프트웨어 도구인 SPNP^[4,5]를 사용하여 해결한다.

II. GSPN 과 SPNRM

1. Generalized Stochastic Petri Nets(GSPN)

페트리 네트는 원으로 표현되는 장소(place)와 bar로 표현되는 천이(transition)의 두 노드를 갖는 방향성 이분(bipartite) 그래프이다. 장소에서 천이로 에지가 존재하면 장소를 천이에 대한 입력장소라 하며 역으로 존재하면 출력장소라 한다. 페트리 네트의 상태는 각 장소에 있는 토큰의 갯수로 정의되며 이를 페트리 네트의 마킹이라 하고 벡터 $M = (l_1, l_2, \dots, l_k)$ 로 표현한다. 여기서 l_i 는 장소 i 에 있는 토큰의 갯수이고 k 는 페트리 네트에 있는 장소의 갯수이다. 한 천이의 발사는 새로운 마킹을 생성하며 마킹 M_i 에서 출발하여 마킹 M_j 로 가는 천이의 발사순서가 존재하면 마킹 M_j 는 M_i 로 부터 도달가능(reachable)하다고 한다. 초기 마킹으로부터 도달가능한 모든 마킹들의 집합을 도달성 집합이라 하고 이 도달성 집합으로부터 도달성 그래프(reachability tree)를 구축한다.

페트리 네트는 각 천이에 지수분포의 발사시간을 허용함으로써 SPN(Stochastic Petri Nets)으로 확장되며 SPN의 도달성 그래프는 연속시간 마르코프체인(CTMC : Continuous Time Markov Chain)으로 변환된다.^[6,7] GSPN^[8]은 페트리 네트의 천이에 지수분포의 발사시간을 부여한 것으로서, 시간행동에 대한 모델과 시간의 random 성질을 특징지어 프로토콜의 성능평가를 수행해 낸다. GSPN은 즉시(immediate)천이와 시간(timed)천이를 가지며, 지수분포 함수의 천이시간은 시간천이에 의해서만 정의된다. 즉

시천이는 시간천이보다 높은 우선 순위를 가지며 마킹에 종속적인 발사 확률을 갖는다.

마르코프 성질을 갖는 일반적인 큐잉망은 GSPN에 의해 표현될 수 있다. 큐잉망에서의 각 노드는 GSPN에서 장소로 표현되며 각 노드에 있는 고객의 수는 장소에 있는 토큰(token)의 수로서 나타내진다. 또한 각 노드에서의 서비스 시간은 지수분포를 갖는 시간지연을 나타내는 시간천이에 의해 표현될 수 있는데, 시간천이의 발사율은 서비스시간의 서비스율(1/평균 서비스시간)을 갖으며 이 서비스율은 장소에 있는 토큰의 수(노드에 있는 고객의 수)의 함수로서 표현될 수도 있다. 한 노드에서 서비스 받은 후 다른 노드로 고객이 이동할 확률을 나타내는 라우팅 확률은 즉시천이에 의해 표현될 수 있다.

2. Stochastic Petri Nets Reward Models (SPNRM)

마르코프 reward 모델은 마르코프 체인의 각 상태에 reward rate r_i 를 결합시킴으로써 얻어진다. 여러 가지 성능척도들이 reward rate들을 적절히 정의함으로써 마르코프 체인으로부터 얻어질 수 있다. 예를 들어 고장과 수리를 갖는 시스템에서 정상상태는 reward를 1로 고장상태는 reward를 0으로 할당할 수 있다.

마르코프 reward 모델은 이와 같이 성능척도를 산출하는 데 효율적으로 사용될 수 있는 데 한가지 단점은 마르코프 모델을 생성하는 것이 어렵다는 것이다. SPNRM은 이와 같은 마르코프 reward 모델을 자동적으로 생성하는 데 사용될 수 있는 편리한 방법중의 하나로 위에서 설명한 GSPN을 토대로 마르코프 모델을 자동적으로 생성하며 또한 다양한 reward 함수를 정의할 수 있어 여러 성능척도들을 산출할 수 있다.

SPNRM은 마킹과 관계 있는 reward rate를 갖는 semi-Markov reward process^[3,4]로 GSPN에 다음 모델링 기능을 추가한 페트리 넷 모델이다. 가변 다중예지(variable multiplicity arc)는 마킹상태에 따라 변하는 토큰의 갯수를 제거하거나 삽입할 수 있는 기능이며 마킹 종속 기능(marking dependency)은 장소에 있는 토큰 갯수의 함수로서 천이의 발사비율이나 발사확률을 허용한다. 또한 enabling/disabling함수는 넷의 구조에 근거한 천이의 발사를 허용한다.

본 논문에서는 이 SPNRM에 근거하여 통신 프로토콜의 모델을 개발한다.

3. Stochastic Petri Nets Package(SPNNP)

SPNNP는 Duke 대학에서 개발한 SPN 모델의 해를

구하기 위한 소프트웨어 도구이다. SPNNP에서 SPN 모델은 GSPN을 확장한 SPN Reward Model이며 II.2에서 언급한 기능들을 가지고 실제 복잡한 시스템의 모델링을 가능하게 해준다. 가변 다중예지를 위해 miarc, moarc, viarc, voarc, mharc 함수를 제공해주고, 마킹 종속 기능을 위해 ratedep, ratefun, rateval, probdep, probfun, probval 함수로 천이의 발사비율과 발사확률을 제공해 주며 enabling 함수를 위해 priority, enabling 함수를 제공해 준다. 여기서 m, v, h, iarc, oarc는 각각 multiple, variable, inhibitor, input arc, output arc를 나타낸다. SPNNP의 입력언어를 CSPL이라 하며 이는 C언어를 기본으로 한다.^[5]

III. Stochastic Petri Nets Reward Model 개발

패킷 교환기간 통신 프로토콜인 TIP^[9]는 패킷 호를 발신과 착신으로 구분하여 처리하는 half call 개념을 적용하며 정의된 상태의 천이에 따라 호의 진행을 제어하는 유한 상태 기계(finite state machine) 모델이다. 상태기계의 각 엔티티를 모델하고 상태기계들을 상호 연결하는 메카니즘을 사용하여 부록에 나와있는 TIP의 기본과정인 호 설정, 해제 및 데이터 전송 절차에 대한 페트리 넷 모델(그림1,2)을 개발한다.

TIP는 DCE와 DCE간 제어 패킷(시그널)과 데이터 패킷의 송·수신 과정으로 표현되며 주요 이벤트는 발착신 DTE(Data Terminal Equipment)로부터 시작된다.

1. TIP 유한 상태 기계 모델

TIP는 패킷 전달 기능을 수행하기 위하여 호 설정, 호 해제, 데이터 전송, 리셀 및 재 접속 등의 절차를 가진다. TIP의 규격은 통신 프로토콜 설계 언어인 SDL(Specification and Description Language)로 표현된다. SDL^[10]은 유한 상태 기계 개념을 기초로 하여 통신 시스템의 동작을 구조적으로 규격화하고 표현하기 위한 표준언어로서 CCITT에서 권고하고 있다.

호 설정, 해제 및 데이터 전송 절차에 대한 TIP의 유한상태 기계 모델은 SDL/GR(Graphical Representation)로 표현된다(부록). 실제 TIP 모델은 흐름 제어 기능을 갖으며 리셀, 재접속, 지역해제 등의 절차를 가지나 본 논문에서는 모델의 복잡성 때문에 생략하였다. SDL로 표현된 유한 상태 기계 모델은 다음 SDL의 페트리 넷 변환규칙^[9]에 따라 페트리 넷

로 변환되며 여기에 다중예지와 마킹 종속 기능을 추가하고 시간 천이를 표현함으로써 그림 1,2의 SPN-RM 모델이 구해진다.

- SDL의 천이는 네트 천이로 변환한다.
- SDL의 시작, 종료, 절차 시작, 복귀 및 상태는 장소로 변환하며 상태 심볼내에 여러 개의 상태이름이 존재한다면 하나의 장소로 표현한다.
- SDL의 입력 신호 심볼은 네트 천이에 관계되는 입력 장소로 표현하며 입력 신호 심볼내에 여러 개의 입력이 존재하면 하나의 장소로 표현한다.
- SDL의 출력 신호 심볼은 네트 천이에 관계되는 출력 장소로 표현한다.
- SDL의 save 심볼은 네트 천이에 관계되는 입출력 장소로 표현한다.

2. TIP의 SPNRM 모델링

1) 호 설정 단계

발신측 DCE는 idle 상태(P_0)에서 DTE로부터 천이 arr 발사시간의 역수에 해당하는 도착률로 호 설정 요구 패킷(X.25CR)이 도착하면 준비상태(P_1)로가 수신측으로 CR 패킷을 전송하고(P_{10}), 호 요구상태(P_3)가 되어 CA 패킷을 기다린다. 이를 위한 TIP의 타스크 수행시간과 DCE간 링크의 전송시간은 시간천이 t_1 의 발사시간인 서비스 시간으로 처리된다. 착신측 DCE는 준비상태(P_2)에서 CR 패킷이 들어오면 즉시천이 t_2 에 의하여 호 수락 준비 상태(P_4)로 간다. 착신측 DTE와의 패킷 교환(X.21CR, X.25CA)후 발신측으로 CA 패킷을 전송한다(P_{11}). 이 경우 착신측 DCE의 타스크 수행시간과 CA 패킷 전송시간은 시간천이 t_4 의 발사 시간으로 처리되며 착신측 DTE와의 패킷 교환 시간은 타스크 수행시간에 포함시킨다.

장소 P_0 는 발신측 DTE에 대한 크기가 1인 입력버퍼로 발신측 DCE가 idle 상태(P_0 에 토큰이 있는 경우)에만 호 설정 요구패킷을 DTE로부터 받을 수 있게 된다. 즉 DCE가 채널을 한 개만 갖는 경우를 모델링 하였으며 DCE가 동작 중에는 더이상의 호를 받을 수 없게 된다. 여기서 장소 P_{10} , P_{11} 은 전송을 위한 DCE 간 착·발신측의 버퍼를 표시하고 각 장소 안의 토큰은 CR, CA 패킷을 표시하게 된다. 또한 장소 P_1 , P_2 , P_3 , P_4 의 토큰은 발·착신측의 현재 상태를 표시하고 천이 t_1 , t_2 , t_3 , t_4 는 상태 천이와 패킷의 송·수신을 표시한다.

2) 데이터 전송 단계

하나의 호 패킷은 K개의 데이터 패킷을 갖는다고 가

정할 때, 호 설정이 끝나면 DCE는 데이터 전송상태(P_5)에서 한 호당 K개의 데이터 패킷(SDATA)을 순차적으로 전송한다.

발신측 DCE에서 데이터 패킷을 전송하면 착신측 버퍼(P_{12})에 쌓이고 착신측으로부터 응답 패킷(P_{15})이 오는데 에러가 발생하지 않으면 다시 데이터 전송상태(P_5)로 가며 에러가 발생하면 천이 t_9 및 t_{err} 에 의하여 에러처리를 수행한 후 해제상태(P_8)로 간다. 에러 발생시 에러 제어를 고려하지 않은 경우가 그림 1이며 타이머에 의한 재전송을 고려한 경우가 그림 2로 이들 각각에 대한 성능 지표의 수치적 결과를 5장에서 구한다.

(1) 타이머와 계수기를 이용한 재전송

TIP 프로토콜에서는 패킷을 전송한 후 타이머에 의해 일정시간 동안 응답패킷을 기다린다. 응답패킷이 지정된 시간 내에 들어오면 정상상태인 데이터 전송상태를 수행하게 되고 시간 내에 들어오지 않으면(time out) 재전송을 시도하게 된다. 재전송을 지정한 횟수(계수기의 계수)만큼 수행해도 응답이 없으면 전송에러로 간주하고 진행중인 패킷데이터를 버퍼에서 제거한 후 해제상태로 간다.

이의 모델링을 위하여 SPNRM에서는 타이머를 위한 시간천이와 즉시천이, 계수기를 위한 장소 및 계수기의 계수를 위한 다중예지 및 다중 금지예지를 사용하여 재전송 횟수를 검사하고 재전송 및 전송에러를 처리한다. 이를 위한 SPNRM 모델이 그림 1에 나와있다.

천이 t_5 에 의하여 장소 sdata에 있는 데이터 패킷을 전송하면 타이머 처리를 위하여 장소 P_tmr와 P_wait에 토큰이 있게 되고 시간천이인 tmr이 작동하게 된다. 천이 tmr이 발사되기 전에 응답패킷이 장소 recv ok에 오면 장소 P_tmr, P_wait의 토큰을 제거시키고 정상상태인 천이 t_6 이 발사된다. 시간천이 tmr이 발사될 때까지 응답패킷이 안 오면 time_out 및 counter 장소에 토큰이 쌓인다. 장소 counter는 다중 금지예지(mharc("retrans", "counter", C)에 의해 counter의 토큰이 지정된 전송횟수 값(C)이 아닌한 즉시천이 retrans를 발사시키고 장소 P_{12} 에 의해 재전송을 수행하게 한다. 또한 다중예지(miarc("error", "counter", C)에 의해 토큰이 counter에 지정된 전송횟수 값(C)만큼 쌓이면 천이 error를 발사시킨다. 이 경우는 실제 에러가 발생한 상태이므로 더이상의 데이터 패킷을 전송할 필요가 없다. 따라서 장소 SDATA에 남아있는 전송되어야할 데이터 패킷인 토큰을 enabling 함수에 의한 천이 tflush를 이용하여 진

부 제거시키고(flush 기능) 해제상태로 가게된다. 재 전송 수행 중에 응답패킷이 오면 그 동안 쌓여있던 counter와 time_out에 있는 토큰도 천이 tflush에 의하여 전부 제거시킨다.

3) 호 해제 단계

해제 상태는 데이터 전송 상태에서 데이터 전송을 성공적으로 전부 수행한 경우와 임의의 상태에서 에러 발생등 비정상적인 경우에 발생한다. 데이터 전송중 에러 발생에 의하여 해제 상태로 가는 경우는 송신 데이터 버퍼에 남아 있는 데이터 패킷인 토큰을 전부 제거한다. (flush 기능)

TIP에서는 비정상인 경우 리셀이나 재접속 단계를 거친 후 해제 상태로 가나 본 논문에서는 천이 terr로 재접속 단계를 함축시켜 모델링 하였다.

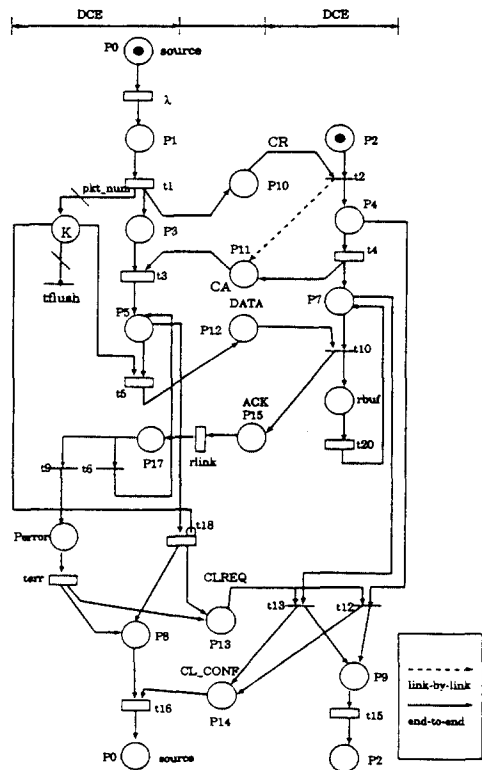


그림 1. TIP 프로토콜의 SPNRM 모델링
Fig. 1. SPNRM for the TIP protocol.

4) 엔드-엔드(end-to-end)와 링크-링크(link-by-link) 방식

TIP는 각 단계별로 링크-링크와 엔드-엔드 방식을 고려할 수 있다. 링크-링크 방식은 착신측 DCE가 발신측으로부터 패킷을 받으면 이에 대한 응답을 발신측 DCE로 먼저 보낸 후 착신측 DTE와 교신을 하는 방식이고 엔드-엔드 방식은 착신측 DCE가 착신측 DTE

와 교신을 한 후 발신측으로 응답 패킷을 보내는 방식이다. 예로 임의의 상태에서 링크-링크는 발신측으로부터 해제요구 패킷(CLREQ)을 받으면 해제확인 패킷(CLCONF)을 발신측으로 먼저 보냄으로써 발신측이 먼저 준비상태가 된후 착신측이 해제 상태가 된다. 이어 착신측 DTE로부터의 해제 확인을 받아 준비상태가 된다. 그러나 엔드-엔드 방식은 해제요구 패킷이 들어오면 해제상태(P_9)가 된후 착신측 DTE로 해제지시패킷(X.25CLI)을 보내고 해제확인패킷(X.25CLC)을 받은 후 먼저 준비상태로 되고 발신측으로 해제확인패킷(CLCONF)을 보낸다.

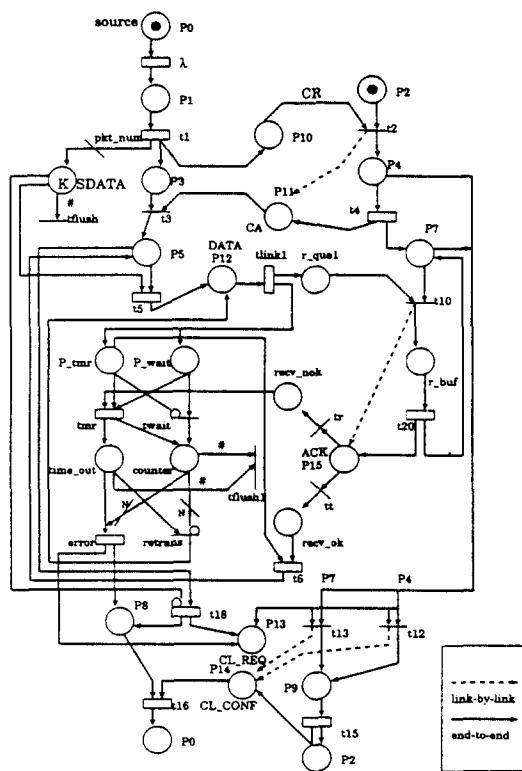


그림 2. 타이머와 재전송 계수기에 대한 SPNRM 모델링
Fig. 2. SPNRM for timer and retransmission counter.

발·착신측 DTE와의 패킷교환은 따로 모델링하지 않고 천이의 발사로 대체한다. 예로 부록(a)의 X.25CR은 발신측 DTE로부터 전송되는 입력 메시지나 본 모델링에서는 DTE측은 표시하지 않고 시간천이 t_1 의 발사로 표시한다. 마찬가지로 부록(b)의 X.25CR과 X.25CA는 천이 t_2, t_4 의 발사에 의하여 각각 표시한다.

엔드-엔드와 링크-링크 방식을 정확히 모델링하기

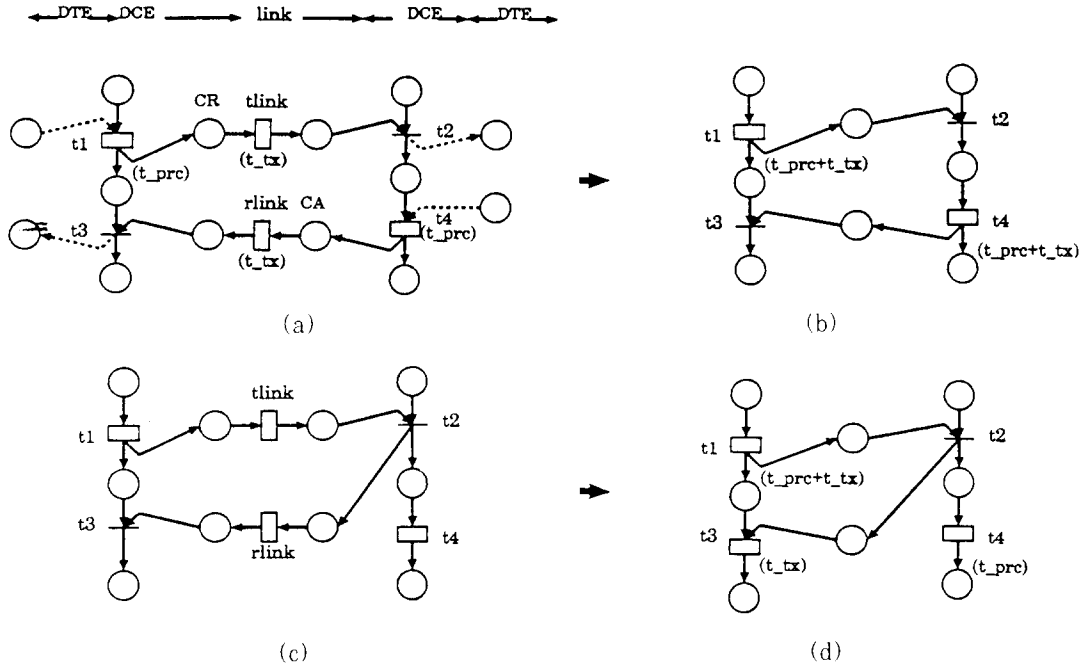


그림 3. 전송방식의 축소된 SPNRM 모델링

(a) 엔드-엔드 방식 (b) 엔드-엔드(축소) 방식 (c) 링크-링크 방식 (d) 링크-링크(축소) 방식

Fig. 3. Reduced SPNRM modeling for transmission methods.

(a) end-to-end method (b) reduced end-to-end method (c) link-by-link method (d) reduced link-by-link method

위해서는 그림 3과 같이 전송 링크를 위한 링크 천이와 장소가 표시되어야 한다.

호 설정단계를 예를 들면, 발신측 DCE의 타스크 처리를 천이 t_1 (발사시간=처리시간(t_{prc}))으로 수행하고 전송링크에 해당하는 천이 $tlink$ (발사시간=전송시간(t_{tx}))의 발사시간 이후에 착신측 DCE에 CR패킷을 전송하게 된다(그림 3(a)). 이 경우 천이 t_1 과 천이 $tlink$ 는 발사시간을 합쳐 하나의 천이 t_1 (발사시간= $t_{prc}+t_{tx}$)으로 그림3(b)처럼 축소될 수 있다. 엔드-엔드 방식에서는 착신측 DCE가 CR 패킷을 받으면 그림 3(a)의 천이 t_4 (발사시간= t_{prc})에 의해 착신측 DTE와 제어신호를 주고 받은 후 발신측으로 CA 패킷을 전송(천이 $rlink$ (발사시간= t_{tx}))하게 된다. 이 경우 천이 t_4 와 천이 $rlink$ 는 그림 3(b)의 천이 t_4 (발사시간= $t_{tx}+t_{prc}$)로 축소될 수 있다.

링크-링크 방식에서는 그림 3(c)처럼 착신측 DTE가 제어 패킷(CR)을 수신하면 먼저 제어 패킷(CA)을 발신측으로 전송(천이 $rlink$ (발사시간= t_{tx})) 한 후 착신측 DTE와 교신하고 (천이 t_4 (발사시간= t_{prc})) 다음 상태로 변화된다. 이 경우 천이 $rlink$ 는 즉시천이인

t_3 에 합쳐져 그림 3(d)의 시간천이 t_3 (발사시간= t_{tx})로 축소될 수 있다.

축소된 엔드-엔드 방식을 TIP의 각 단계에 적용한 것이 그림 1의 SPNRM 모델이다. 그림 1의 SPNRM 모델의 각 장소에 대한 토큰의 의미를 표 1에서 설명하였다.

IV. 프로토콜 성능평가

1. 시뮬레이션 대 SPNRM

일반적으로 성능평가에 사용되는 방법에는 해석적, 시뮬레이션, 그리고 실측에 의한 방법으로 구분할 수 있다. 해석적 방법은 큐잉 네트워크 이론과 추계적 과정(Stochastic Process) 등을 이용하여 대상 프로토콜의 호 처리 과정을 모델링하고 주어진 트래픽 하에서 큐길이, 평균응답시간, 처리율 등에 대한 평가 자료를 산출해 낸다.^[11]

시뮬레이션 방법은 시뮬레이션 언어를 사용하여 호 처리 과정을 프로그래밍화하여 각종 자료를 추출해 내며 실측에 의한 방법은 프로토콜이 개발 완료된 후에 수

행된다. 결과의 정확도는 낮지만 모델의 일반성(generality)이 비교적 높은 해석적 방법과 시물레이션 방법 등이 개발 초기에 주로 사용된다. 시물레이션은 수치적으로 안정되고 의미 있는 결과를 얻기 위해서 상당히 많은 양의 계산시간을 필요로 하는 단점이 있다.

표 1. SPNRM 모델에 대한 각 장소의 의미
Table 1. Meanings of places for SPNRM model.

장소	의미	SDL
P_1	발신측 준비 상태	V_1
P_2	착신측 준비 상태	V_1
P_3	발신측 설정 상태	V_2
P_4	착신측 설정 상태	V_3
P_5	발신측 데이터 전송상태	D_1
P_6	착신측 데이터 전송상태	D_1
P_7	발신측 데이터 전송상태	D_1
P_8	발신측 해제 상태	C_1
P_9	착신측 해제 상태	C_4
P_0	입력 버퍼(호 패킷)	---
SDATA	출력 버퍼(데이터 패킷)	---
P_{16}	발신측 에러(재접속) 상태	재접속 서브루틴
P_{10}	호 설정 요구 패킷	C_{12}
P_{11}	호 수락 패킷	CA
P_{12}	데이터 및 데이터 제어 패킷	DATA,RR,RNR
P_{13}	호 해제 요구 패킷	CLREQ
P_{14}	호 해제 확인 패킷	CLCONF
P_{15}	데이터 응답 및 데이터 제어 패킷	RR,RNR

해석적 방법은 마르코프 모델에 대한 시스템 선형방정식을 수치적으로 계산하여 안정상태 확률을 구하고 이 안정상태 확률로부터 필요로 하는 성능 지표를 확률의 기대값으로 계산해낸다.

SPNRM 방식은 마르코프 모델을 자동으로 생성해 주며 수치적 계산은 소프트웨어 도구로 수행하는 해석적 방법이다. 즉 수만번의 sampling을 거쳐야 정확한 결과가 나올 수 있는 시물레이션은 상당히 많은 수행시간을 요구하며 적은 수행시간에서는 모델이 정확해도 결과가 틀리게 나올 수 있다. 그러나 SPNRM 방식은 모델만 정확하면 수치적 결과는 정확히 얻을 수 있으며 수식을 푸는데 걸리는 시간만 요구하므로 상당히 빠른 시간에 계산 결과를 구할 수 있다.

2. SPNRM에 대한 해석적 성능평가 방법

GSPN은 마르코프 체인과 동형이며 도달성 그래프로 나타나는 GSPN의 상태는 마르코프 체인의 마킹상태에 대응한다. 따라서 마르코프 체인의 각 마킹상태에 대한 안정상태 확률을 계산함으로써 모델의 해를 구할 수 있다. 마르코프 reward 모델인 SPNRM은 마르코프 체인의 각 상태에 reward rate r_i 를 결합시킴으로써 얻어진다. SPNRM으로 모델된 시스템의 성능지표들은 reward rate들을 적절히 정의함으로써 마르코프 체인으로부터 구할 수 있다.

SPNRM모델은 다음 단계에 의하여 해석적 수치적으로 해를 구한다.

첫째, 모델로부터 도달성 그래프가 생성되며 둘째, 도달성 그래프는 마르코프 reward 모델로 변환되며 마지막으로 마르코프 reward 모델은 수치적으로 해를 구한다.

1) 도달성 그래프

도달성 그래프는 마르코프 체인의 초기 마킹으로부터 도달가능한 마킹들을 방문함으로써 구해진다. 그래프의 각 노드는 마킹 상태를 나타내며 에지는 토큰의 발사 순서를 나타낸다.

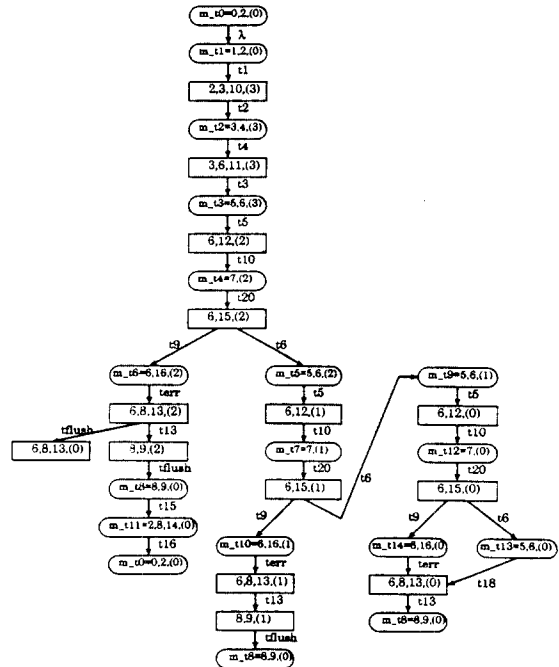


그림 4. TIP 프로토콜의 SPNRM 모델에 대한 도달성 그래프

Fig. 4. Reachability tree for the TIP protocol SPNRM.

그림 4는 그림 1의 장소 P_0, P_2 에 토큰이 있는 초기

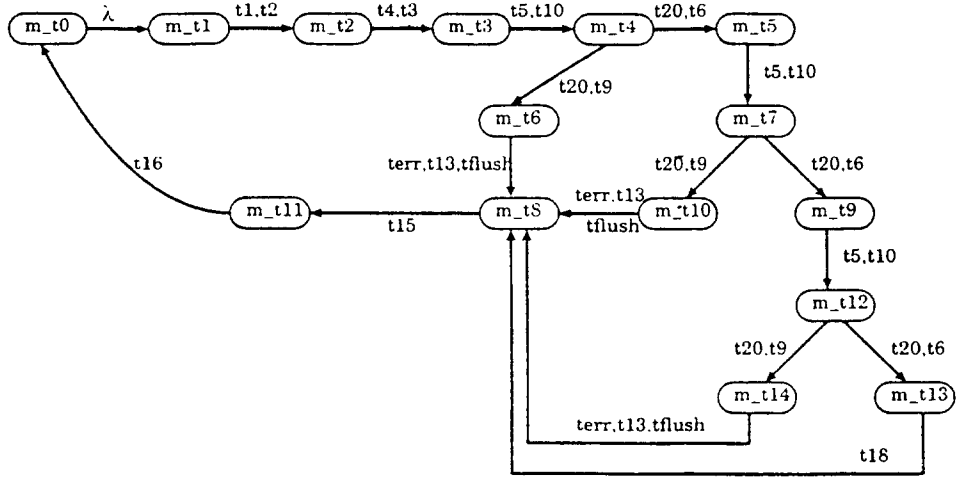


그림 5. TIP 프로토콜의 SPNRM 모델에 대한 연속시간 마르코프체인
Fig. 5. 연속시간 마르코프체인 for the TIP protocol SPNRM.

마킹상태로부터 천이의 발사에 의해 구해지는 도달성 그래프를 나타낸다. 그림 1의 데이터 패킷 수(장소 SDATA의 토큰 K 값)를 3으로 한 경우로 15개의 tangible 마킹과 13개의 vanishing 마킹으로 구성된다. 그림 4의 노드에서 나타나는 숫자는 토큰이 있는 장소의 위치를 의미하며 마지막 숫자만 장소 SDATA에 있는 토큰의 수를 나타낸다. 현재 마킹 상태에서 다음 마킹을 생성하는 천이는 예지의 라벨로 표현된다.

tangible 마킹인 초기마킹 $m_{t0}(0,2,(3))$ 에서 천이 arr 이 발사되면 tangible 마킹 m_{t1} 이 되고 다음 천이 t_1 이 발사되면 장소 P_2, P_3, P_{10} 에 토큰이 있는 vanishing 마킹 $m_{v0}(2,3,10,(3))$ 가 된다. 마찬가지로 m_{v0} 에서 천이 t_2 가 발사되면 tangible 마킹 $m_{t2}(3,4,(3))$ 가 된다. 초기 마킹을 표시하는 노드로부터 시작하여 모든 가능한 천이의 발사순서가 표시되는데 천이 발사에 의하여 이전의 마킹상태가 얻어지면 이는 도달성 그래프의 중복노드(m_{t8})로 그 상태에서 멈춘다.

2) 연속시간 마르코프체인

도달성 그래프에서 vanishing 마킹들을 그들의 후계자 tangible 마킹에 합침으로써 연속시간 마르코프 체인을 구할 수 있다. 도달성 그래프와 연속시간 마르코프체인과는 동형이다^[6]. tangible 마킹으로만 구성된 연속시간 마르코프 체인의 각 상태에 대한 안정상태 확률은 식 (1)에 의하여 구할 수 있다.

$$\pi Q = 0, \quad \sum \pi_i = 1 \quad (1)$$

여기서 π_i 는 상태 i 에 대한 안정상태 확률이고 π 는

이들 확률에 대한 행 벡터이다. 또한 행렬 $Q = [q_{ij}]$ 는 연속시간 마르코프 체인의 극소 생성기(infinitesimal generator) 행렬로 q_{ij} 는 마킹 상태 i 에서 상태 j 로의 천이율을 나타내며 $q_{ii} = -\sum_j q_{ij}$ 이다.

마르코프 체인이 irreducible하고 유한하면 식(1)은 초기상태와는 독립적인 단일 해를 가진다. 즉 마르코프 모델의 안정상태 분석은 식(1)에 대한 해를 구함으로써 수행할 수 있다.

본 논문에서는 식(1)에 대한 해를 SPNP를 사용하여 구하며 SPNP는 iterative 방법인 Gauss-Seidel이나 Successive Overrelaxation방법을 사용하여 해를 구한다^[3].

그림 5는 그림 4에 대한 연속시간 마르코프 체인을 나타내며 그림 6은 그림 5에 대한 극소 생성기 행렬을 나타낸다.

그림 6에서 λ_k 는 천이 t_k 의 발사율로 마킹상태의 천이율 q_{ij} 의 값을 의미하며 빈칸은 값이 0임을 의미한다. p 는 즉시천이 t_9 의 발사확률로 데이터 패킷의 전송에러확률을, $1-p$ 는 즉시천이 t_6 의 발사확률을 의미한다. 그림 6의 극소 생성기 행렬(Q)에 대한 식 (1)의 해인 안정상태 마킹확률(π_i)을 구한 결과가 도착률 λ (pkt/sec)에 따라 표 2에 주어져 있다.

3) 성능지표와 reward rate

프로토콜의 성능 지표란 프로토콜이 얼마나 잘 수행되는지를 나타내는 척도로 본 논문에서는 평균 응답시간(mean response time)과 처리율(throughput)을 고려한다. 추계적 페트리 넷에서는 시간 행동에 대한

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	$-\lambda$	λ													
1		$-\lambda_1$	λ_1												
2			$-\lambda_4$	λ_4											
3				$-\lambda_5$	λ_5										
4					$-\lambda_{20}$	$\lambda_{20} \cdot (1-p)$	$\lambda_{20} \cdot p$								
5						$-\lambda_5$		λ_5							
6							$-\lambda_{err}$		λ_{err}						
7								$-\lambda_{20}$		$\lambda_{20} \cdot (1-p)$	$\lambda_{20} \cdot p$				
8									$-\lambda_{15}$			λ_{15}			
9										$-\lambda_5$			λ_5		
10									λ_{err}		$-\lambda_{err}$				
11	λ_{16}											$-\lambda_{16}$			
12													$-\lambda_{20}$	$\lambda_{20} \cdot (1-p)$	$\lambda_{20} \cdot p$
13									λ_{18}					$-\lambda_{18}$	
14									λ_{err}						$-\lambda_{err}$

그림 6. 연속시간 마르코프체인에 대한 극소 생성기 행렬
 Fig. 6. Infinitesimal generator matrix of the example CTMC.

표 2. 안정상태 마킹확률(K=3)
 Table 2. Steady state marking probabilities.

λ 마킹 확률	1	3	5	10	15
π_0	0.8607	0.6731	0.5527	0.3819	0.2917
π_1	0.0158	0.0370	0.0506	0.0700	0.0802
π_2	0.0158	0.0370	0.0506	0.0700	0.0802
π_3	0.0189	0.0443	0.0607	0.0838	0.0960
π_4	0.0065	0.0153	0.0209	0.0290	0.0331
π_5	0.0187	0.0439	0.0600	0.0830	0.0951
π_6	0.0003	0.0007	0.0010	0.0014	0.0016
π_7	0.0065	0.0151	0.0207	0.0286	0.0328
π_8	0.0158	0.0370	0.0506	0.0700	0.0802
π_9	0.0185	0.0434	0.0594	0.0821	0.0941
π_{10}	0.0003	0.0007	0.0010	0.0014	0.0016
π_{11}	0.0104	0.0244	0.0333	0.0471	0.0528
π_{12}	0.0064	0.0150	0.0205	0.0283	0.0325
π_{13}	0.0052	0.0122	0.0168	0.0231	0.0265
π_{14}	0.0003	0.0007	0.0010	0.0014	0.0016

모델로 처리율과 평균응답시간을 계산할 수 있고, 시간의 random 성질을 특징지어 성능 측정 요소를 평가한다. 처리율과 평균응답시간은 마르코프 체인의 안정상태 확률과 reward rate로부터 구한다.

마르코프 reward 모델에서 reward r_i 는 마르코프 모델의 상태 i 에 할당된 값이다. reward rate는 큐 길이나 시스템의 처리율 등, weight로 reward를 곱한 안정상태 확률의 합으로 구하고자 하는 성능지표값을 나타낸다. X 를 안정상태에서 reward rate에 대한 변수라 하면 reward rate의 기대값은 t1 식 (2)로 계산할 수 있다.

$$E[X] = \sum_i r_i \cdot \pi_i \tag{2}$$

마르코프 체인의 마킹상태(i)에 대한 안정상태 확률(π_i)과 reward rate(마킹의 장소에 있는 토큰 개수)로부터 장소(j)에 토큰이 존재할 안정상태 확률($P[\mu_j]$)과 장소(j)에 존재하는 토큰의 평균개수($E[\mu_j]$)를 구할 수 있다. $\pi_i, P[\mu_j], E[\mu_j]$ 는 [6]에서 표시한 안정상태 마킹 확률 $P[M_i]$, 토큰 확률 밀도 함수 $P[\mu_j]$, 장소의 평균 토큰 개수 $\bar{\mu}_j$ 에 각각 대응된다.

SPNRM에서는 천이에 대한 reward rate의 기대값으로부터 처리율을 계산하고 장소에 대한 reward rate의 기대값으로부터 평균응답시간을 계산할 수 있다. 처리율은 식(2)의 $E[X]$ 로 구해지며 평균 응답시간은 식(3)의 $E[T_a]$ 를 갖고 5장에서 구한다.

$$E[T_a] = \sum_{i \in s(a)} r_i \cdot \pi_i \tag{3}$$

r_i : 마킹 i 에서 천이 a 의 발사율
 $s(a)$: 천이 a 로부터 도달가능한 마킹들의 집합

$$E[\mu_j] = \sum_{i \in S(j)} r_i \cdot \pi_i \quad (4)$$

r_i : 마킹 i에서 장소 j의 토큰 갯수 (= l_j)

$S(j)$: 장소 j에 토큰이 있는 마킹들의 집합

V. 성능평가 수행 결과

1. 프로토콜 입력데이터 및 가정

TIP에서 한 개의 패킷호는 22개의 데이터 패킷을 발생시키며 호 제어 패킷, 데이터 패킷, 응답패킷의 평균 크기는 각각 50 byte, 145 byte, 30 byte이고 64 Kpbs링크로 전달한다고 가정한다. 그러면 각 패킷의 전송시간은 각각 6.25, 18.125, 3.75ms이다. 또한 제어 패킷을 위한 TIP의 평균 타스크 처리(task processing)시간은 응용프로그램 수행시간과 O.S의 프리미티브 처리시간을 합쳐 12.07ms이며 데이터 패킷을 위한 TIP의 평균 타스크 처리시간은 3.822ms이며 응답패킷도 평균 처리시간이 3.822ms로 가정한다.^[11] 그러면 제어패킷의 전송시간과 타스크 처리시간의 합은 18.32ms이며 평균 서비스율은 54.585 pkt/sec이다. 마찬가지로 데이터 패킷과 응답패킷의 평균 서비스율도 각각 45.564 pkt/sec, 132.065 pkt/sec가 된다.

발신측 DTE로부터의 호 접속 요구 패킷에 대응하는 호 패킷은 평균시간이 $\frac{1}{\lambda}$ 인 지수분포를 갖고 발신측 DCE에 도착한다고 가정한다. 또한 발신측 DCE는 크기가 1인 입력 버퍼(장소 P_0)를 갖는 것으로 가정하여 DCE가 idle 상태에서부터 호 패킷이 도착할 수 있게 한다.

2. 수치적 결과

3장의 SPNRM 모델에 대한 성능 지표인 평균 응답시간과 처리율에 대한 수치적 결과를 1절의 파라미터를 가지고 구한다.

1) 평균 응답시간

평균응답시간(τ)은 메시지가 생성되는 시점부터 메시지에 대한 응답을 받을 때까지의 평균시간으로 정의되며 TIP 모델에서는 발신측 DTE부터의 호 접속요구 패킷(X.25 CR)이 도착하는 시점부터 호 패킷에 대한 서비스가 완료되는 시점까지의 평균 시간으로 정한다. 즉 발신측 DCE가 idle 상태에 있다가 호 패킷에 대한 전송 작업을 시작하는 순간(TIP의 준비상태)부터 호 설정, 데이터 전송, 호 해제 단계를 거쳐 착신측 DCE로부터 해제 확인 패킷을 받아 호 패킷에 대한 전송을 완료하고 다시 idle 상태로 갈 때까지의 시간으로 정한다.

TIP 모델에서 idle 상태는 DCE 입력 버퍼인 장소 source에 토큰이 있고 호 패킷(X.25 CR)의 도착을 나타내는 천이 arr이 발사될 때까지의 상태를 말한다. TIP가 idle 상태에 있을 확률 $P[M_1]$ 은 장소 source에 토큰이 있을 안정상태 마킹 확률로 장소 source에 토큰이 존재할 확률($P[\mu_j] = E[\mu_j]$)과 같으며 식(5)로 주어진다. 여기서 λ 는 호 패킷의 도착률이며 $\frac{1}{\lambda}$ 은 TIP가 idle 상태에 있을 시간이 된다. 또한 평균 응답시간 τ 는 TIP가 동작중인 서비스 시간이 된다.

$$P[M_1] = \frac{\frac{1}{\lambda}}{\frac{1}{\lambda} + \tau} \quad (5)$$

식(5)로부터 평균응답시간인 τ 는 식(6)으로 구해진다.

$$\tau = \frac{1 - P[M_1]}{\lambda \cdot P[M_1]} \quad (6)$$

SPNRM 모델의 연속시간 마르코프 체인에 대한 시스템 방정식(식(1))의 해와 식(3)으로부터 $P[M_1]$ 은 계산될 수 있으며 SPNP에서는 "reward_type $P[M_1]$ () {return(mark("source") == 1)}"로 구해진다.

λ 는 TIP의 제공 트래픽으로 주어지고 $P[M_1]$ 은 모델로부터 구할 수 있으므로 τ 가 구해진다.

2.1절에서 언급한 입력 데이터값을 기준으로 엔드-엔드와 링크-링크 방식에 따라 천이의 발사시간 값을 표 3처럼 주었으며 이들 값으로부터 평균 응답시간의 수치적 결과가 재전송을 안하는 경우와 하는 경우 각각에 대하여 표 3에 나와 있다.

링크-링크 방식은 착신측 DCE가 착신측 DTE와의 작업을 수행하기 전에 발신측으로 응답을 먼저 보냄으로써 발신측 DCE가 자신의 작업을 빨리 수행하게 해준다. idle 상태도 빨리 가게 해줌으로 엔드-엔드 방식보다 짧게 된다.

본 모델에서 구한 호 패킷 평균응답시간은 토큰이 준비 상태를 떠난 후 다시 돌아올 때까지의 시간으로 TIP가 DCE내에서 idle하지 않고 서비스를 수행하는 평균 서비스 시간을 말하며 이는 호의 도착률을 나타내는 천이(arr)의 천이발사율과 무관하게 상수로 구해진다.

2) 처리율

처리율은 호 패킷 처리율과 데이터 패킷 처리율로 구분하였으며 호 패킷 처리율과 데이터 패킷 처리율은

초당 처리된 호 패킷 및 데이터 패킷의 평균갯수로 SPNRM에서 천이의 발사율인 reward rate를 갖고 구한다.

표 3. 천이의 발사시간(입력 데이터)및 평균 응답시간(수치 결과)

Table 3. Firing times of transitions(input data) and Mean response times (numerical results) umerical.

천이	엔드-엔드	링크-링크(ms)
t_1	18.32	18.32
t_2	0	0
t_3	0	6.25
t_4	18.32	12.07
t_5	21.947	21.947
t_6	0	0
t_9	0	0
t_{10}	0	0
t_{12}	0	0
t_{13}	0	0
t_{15}	18.32	12.07
t_{16}	12.07	18.32
rlink	—	3.75
t_{20}	7.572	3.82
평균응답 시간	664.87	574.26
t_5	3.822	3.822
tlink1	18.125	18.125
t_6	3.75	3.75
t_{20}	3.822	3.822
tmr	200	200
terror	36.64	36.64
평균응답 시간 (재전송)	737.25	692.12

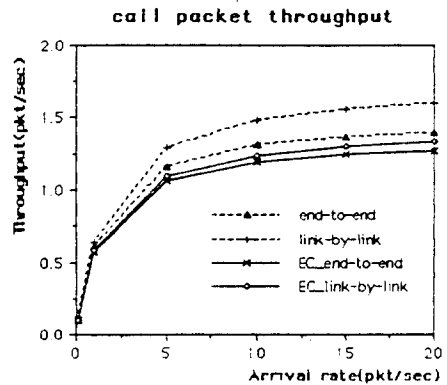
여기서 호 패킷 처리율은 제공트래픽에 대한 호의 도착률과 서브시스템이 busy가 아닌 확률 즉 초기 마킹의 안정상태 확률의 곱으로도 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{호 패킷 처리율} &= \lambda_1 \times (1 - P_{\text{busy}}) \\ &= \lambda_1 \times P_{\text{idle}} = \lambda_1 \times P[M_1] = \text{rate(arr)} \end{aligned}$$

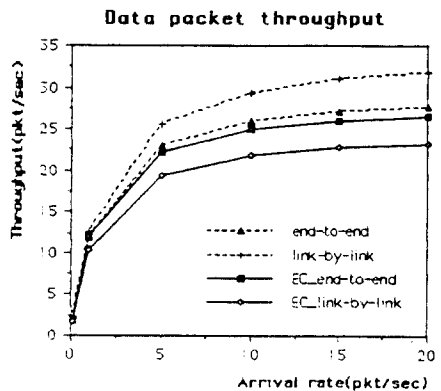
SPNP에서 rate(arr)은 "reward_type throughput() {return rate("arr");}"으로 표현한다.

엔드-엔드와 링크-링크 방식에 대한 호 패킷 및 데이터 패킷의 처리율에 대한 수치적 결과가 제공 트래픽에 따라 그림 7에 나와 있다.

그림 1의 SPNRM 모델에서 시간 천이의 총 발사시간(서비스 시간)은 데이터 패킷 전송시 전송에러가 1%이고 22개의 데이터 패킷을 전송할 경우 평균 716.85ms가 된다. 이는 정규화된 제공 트래픽이 1인 경우($\lambda=1.4$) 호 처리율이 약 1.4 pkt/sec임을 말한다. 그림 7(a)에서 제공 트래픽이 커질수록 이 값에 접근했다가 천천히 증가함을 알 수 있다. 처리율은 링크-링크 방식이 엔드-엔드 방식보다 높음을 알 수 있으며 재전송을 하는 경우 호 패킷의 처리율은 엔드-엔드 방식이 더 높음을 알 수 있다.



(a)



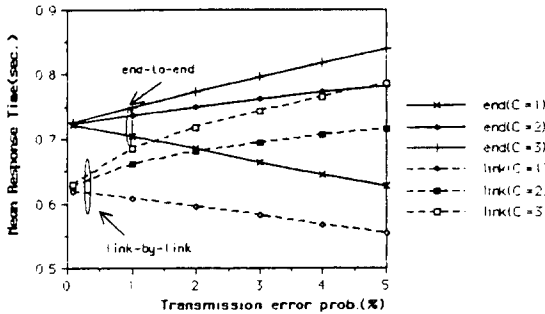
(b)

그림 7. 처리율 a) 호 패킷 처리율 b) 데이터 패킷 처리율

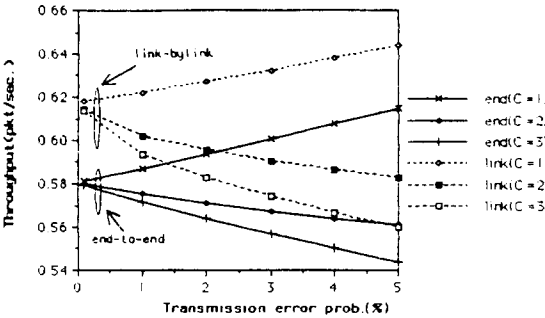
Fig. 7. Throughput a) call packet throughput b) data packet throughput

3) 타이머와 재전송 계수기 모델에 대한 성능 분석
1)결과 2)절에서 구한 수치적 결과는 재전송을 고려하지 않은 경우이며 에러 발생 경우 재전송은 수행 않고 바로 해제 상태로 갔다가 다시 초기 상태로 가기 때문에 에러 확률이 클수록 오히려 지연시간은 작아진다.

TIP 프로토콜은 에러 제어를 위하여 타이머와 계수기를 이용한 재전송을 수행한다. 호 설정 및 호 해제 단계에서는 전송 에러가 없다고 가정하고 데이터 전송 단계에서의 에러 제어를 타이머와 재전송에 의하여 수행하여 필요한 수치적 결과를 구하였다.



(a) 평균 응답시간



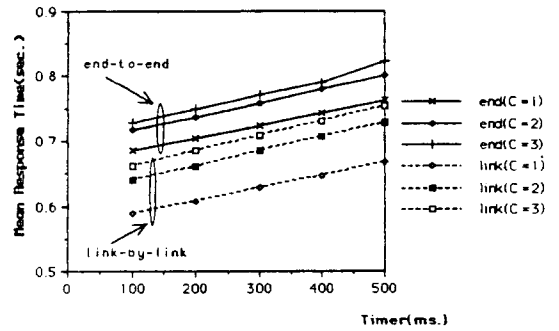
(b) 호 패킷 처리율

그림 8. 전송에러에 대한 평균 응답시간과 호 패킷 처리율

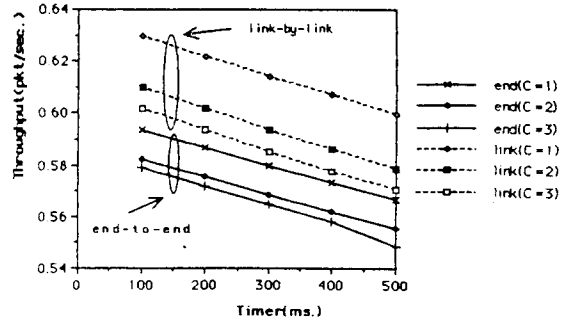
Fig. 8. Mean response time and call packet throughput for the transmission error.

그림 8은 타이머를 200ms로 하였을 경우 재전송 횟수와 전송에러 확률에 대한 지연시간과 처리율을 각각 보여준다. 전송 에러가 클수록 재전송 횟수가 클수록 평균응답시간은 증가하고 처리율은 감소하는 것을 볼 수 있다.

계수기가 1인 경우(c=1)는 재전송을 안하고 타이머만 작동하는 경우로 전송에러가 클수록 평균응답시간이 감소하고 처리율이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 에러 발생시 에러처리 루틴을 시간천이 error로 간단히 모델하고 에러 처리 시간 값을 제어 패킷 2개를 처리 및 전송하는 시간에 해당하는 36.64ms로 주었기 때문이다. 실제 TIP의 에러 처리루틴은 재접속을 시행하며 이 경우 타이머가 다시 작동하게 된다. 이를 고려하여 에러처리 시간 값을 200ms보다 크게 하면 계수기가 2,3인 경우처럼 응답시간이 증가하게 된다



(a) 평균 응답시간



(b) 호 패킷 처리율

그림 9. 타이머 값에 대한 평균 응답시간과 호 패킷 처리율

Fig. 9. Mean response time and call packet throughput for the timer values.

그림 9는 호 패킷의 도착률이 1(pkt/sec.)이고 데이터 패킷의 전송에러가 1%인 경우 타이머 값에 대한 평균 응답시간과 호 패킷 처리율의 수치적 결과를 보여준다. 타이머 값이 증가할 수록, 계수기 값이 증가할 수록 평균응답시간은 증가하고 처리율은 감소함을 볼 수 있다. 엔드-엔드 방식이 링크-링크 방식에 비해 평균 응답시간은 크고 호처리율은 작게 나옴을 볼 수 있다.

V. 결론

통신 프로토콜인 TIP 성능평가를 위해 Stochastic Petri Nets Reward Model을 연구하였다. 흐름제어 방식을 엔드-엔드와 링크-링크로 나누어 TIP에 대한 SPNRM을 개발하였으며 개발된 모델의 해를 구하기 위하여 페트리 넷 소프트웨어 도구인 SPNP를 사용하였다.

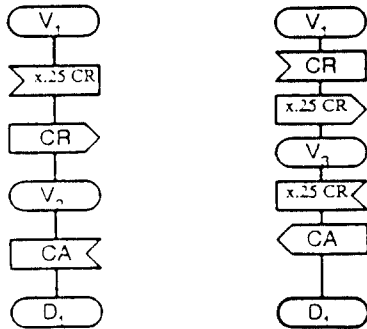
성능평가는 평균응답시간과 처리율을 기준으로 성능 지표인 평균응답시간과 호 처리율, 데이터 처리율을 정의하였으며 SPNRM의 reward rate를 가지고 이들에 대한 수치 결과를 얻었다. 또한 타이머 처리 및 재전송

방식을 고려한 모델중 stop-and-wait 방식에 대한 SPNRM 모델을 개발하여 성능평가를 수행하였다.

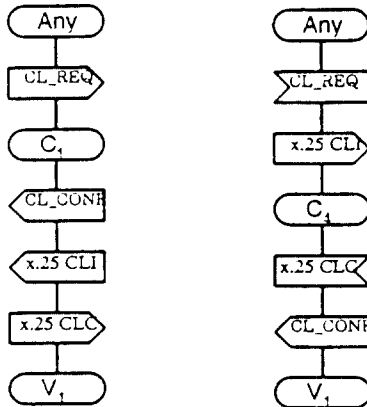
통신 프로토콜의 성능평가를 위하여 개발 초기 단계에서 성능평가에 주로 사용되는 시뮬레이션 방법이나 기존의 해석적 방법이 아닌 마르코프 reward모델에 의한 해석적 방법을 SPNRM 모델을 사용함으로써 제시하였으며 본 논문에서 개발한 SPNRM 모델을 확장하여 일반 통신 프로토콜 및 통신 시스템의 분석 및 성능평가에 쉽게 적용할 수 있을 것이다.

성능평가를 수행한 TIP 프로토콜의 모델에서는 stop-and-wait 방식을 사용하였으며 더이상의 흐름제어 및 가상회선의 의미를 부여하지 않았다. 또한 실제 타이머는 지수분포의 값을 갖는 것이 아니라 일정 상수의 값을 갖으므로 타이머의 의미를 부여하려면 현재의 모델을 DSPN(Deterministic SPN)으로 고려하여 reward rate를 계산해야 한다.^[14,15]

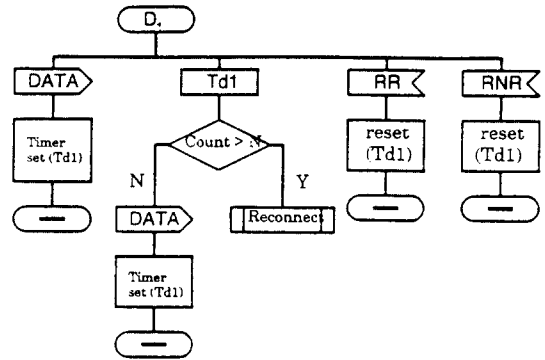
<부록> TIP의 SDL/GR 표현



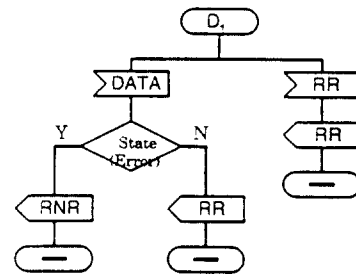
(a) 호 설정단계 (송신측)
 (b) 호 설정단계 (수신측)
 (a) call setup procedure(calling side)
 (b) call setup procedure(called side)



(c) 호 해제단계 (송신측)
 (d) 호 해제단계 (수신측)
 (c) call clear procedure(calling side)
 (d) call clear procedure(called side)



(e) 데이터 전송단계 (송신측)
 (e) data transmission procedure(calling side)



(f) 데이터 전송단계 (수신측)
 (f) data transmission procedure(called side)

참 고 문 헌

[1] 노철우, 이강원, "ISDN 교환망의 성능분석 방법 구축과 성능분석의 Software Tool개발", 한국통신 장기 기초연구과제 보고서, Aug., 1993

[2] Oliber C.Ibe, Hoon Choi, "Performance Evaluation of Client-Server systems, IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems, Vol.4, No.11, Nov., 1993."

[3] G.Ciardo, "Automated Generation and Analysis of Markov Reward Models Using Stochastic Reward Nets", Linear Algebra, Markov Chains, and Queueing Models, Volume 48 of IMA Volumes in Mathematics and its Applications, pp.145~191, Springer-Verlay, 1993.

[4] G.Ciardo, J.K.Muppala, and K.S.Trivedi, "On the solution of GSPN reward models", Performance Evaluation, Vol.12, No.4, pp.237~254, July 1991.

[5] G.Ciardo, K.S.Trivedi, "Manual for the

- SPNP Package version 3.1". Duke univ., Mar., 1992.
- [6] M.K.Molloy, "Performance Analysis Using Stochastic Petri Nets", IEEE Trans. Comput., Vol.C.31, No.9, Sep., 1982.
- [7] M.K.Molloy, "Discrete Time Stochastic Petri Nets", IEEE Trans., Software Eng., Vol.SE-11, No.4, Apr., 1985.
- [8] M.A.Marsan, G.Blabo, "A Class of Generalized Stochastic Petri Nets for the Performance Evaluation of Multiprocessor systems", ACM Trans. Computer systems, Vol.2, No.2, pp.93-122, May, 1984.
- [9] 노철우, 성단근, "확장된 Petri Nets을 이용한 TDX 내부 프로토콜 검증", 한국 정보과학회 논문지, Vol.18, No.1, Jan., 1991
- [10] Ference Belina, "The CCITT Specification and Description Language SDL", North Holland Computer network and ISDN systems 16, 1989
- [11] 정중수, "ISDN 교환시스템에서 패킷 처리 서브시스템의 소프트웨어 설계", 연세대학교 박사 학위 논문, 1993
- [12] 노철우, "TDX 내부 프로토콜 검증", 한국 전자통신 연구소 TM-TX/k-90001, Sep. 1989
- [13] M.Granda, J.M.Drake, "Performance Evaluation of Parallel Systems by Using Unbounded Generalized Stochastic Petri Nets", IEEE Trans. on Software Eng., Vol.18, No.1, Jan., 1990.
- [14] M.Ajmone Marsan and G.Chiola, "On Petri nets with deterministic and exponentially distributed firing times". In Lecture Notes in Computer Science, volume 266, pages 132-145. Springer-Verlag, 1987.
- [15] H.Choi, V. G. Kulkarni, and K. S. Trivedi, "Transient analysis of deterministic and stochastic Petrinets". In Proceedings of The 14th International Conference on Application and Theory of Petri Nets, Chicago, U.S.A., Jun. 21-25 1993.

저 자 소 개



魯 哲 愚(正會員)

1980년 2월 서강대학교 물리학과 졸업. 1982년 8월 동국대학교 전자계산학과 석사 취득. 1990년 3월 ~ 현재 서강대학교 전자계산학과 박사과정. 1983 ~ 1984 스웨덴 L.M.Ericsson

방문연구원. 1982년 3월 ~ 1991년 3월 한국 전자통신연구소 패킷 소프트웨어 연구실 선임연구원. 1991년 4월 ~ 현재 부산 여자대학교 전자계산학과 조교수. 관심분야는 페트리 네트를 이용한 통신 시스템 및 통신 망의 성능평가, 프로토콜 검증



張 直 鉉(正會員)

1972년 2월 서울대 수학과 졸업. 1977년 8월 서울대 수학과 석사 취득. 1986년 9월 University of Minnesota 전산학과 졸업(박사). 1986년 ~ 현재 서강대학교 전자계산학과 부교수. 관심분야는 병렬

알고리즘, systolic array