

論文95-32A-4-2

컴퓨터 통신망의 모델링을 위한 비정상 상태에서의 큐잉 근사화

(Transient Queueing Approximation for Modeling Computer Networks)

李 奉 煥 *

(Bong-Hwan Lee)

요 약

본 연구에서는 비정상(transient) 큐잉 근사화기법을 컴퓨터 통신망의 모델링에 적용하여 그 성능을 평가하며 이 근사화를 위해 ISO IS-IS(Intermediate System-Intermediate System) 라우팅 프로토콜을 사용하고 있는 컴퓨터 통신망을 잭슨 네트워크로 모델링한다. 여기서 사용한 근사화 기법의 목적은 비정상 상태에서 기존의 몬테카를로 시뮬레이션이 제공하는 결과에 근사한 큐통계를 제공하는데 있다. 기존의 M/M/1 큐잉시스템을 위한 클로즈 큐잉 근사화(Closure Queueing Approximation)는 비정상 큐통계를 제공하기 위해 일반적인 잭슨 네트워크로 확장되었다. 클로즈 근사화 및 몬테카를로 시뮬레이션으로부터 도출된 결과는 큐길이(Queue Length) 및 컴퓨터 수행시간을 통하여 그 성능을 비교 분석하였다. 비정상 상태에서 각 큐에서의 패킷 수의 평균 및 분산에 대한 근사화는 시뮬레이션으로부터 얻어진 결과에 상당히 근접하였으며 컴퓨터 수행시간도 매우 작았다. 따라서 이 클로즈 근사화는 컴퓨터 통신망의 분석이나 모델링을 위해 기존에 사용하던 몬테카를로 시뮬레이션을 대체할 수 있는 방법이 될 수 있겠다.

Abstract

In this paper, we evaluate the performance of a transient queueing approximation when it is applied to modeling computer communication networks. An operational computer network that uses the ISO IS-IS(Intermediate System-Intermediate System) routing protocol is modeled as a Jackson network. The primary goal of the approximation pursued in this study was to provide transient queue statistics comparable in accuracy to the results from conventional Monte Carlo simulations. A closure approximation of the M/M/1 queueing system was extended to the general Jackson network in order to obtain transient queue statistics. The performance of the approximation was compared to a discrete event simulation under nonstationary conditions. The transient results from the two simulations are compared on the basis of queue size and computer execution time. Under nonstationary conditions, the approximations for the mean and variance of the number of packets in the queue were fairly close to the simulation values. The approximation offered substantial speed improvements over the discrete event simulation. The closure approximation provided a good alternative to Monte Carlo simulation of the computer networks.

* 正會員, 大田大學校 情報通信工學科

Univ.)

(Dept. of Information and Telecom. Eng. Taejon

接受日字 : 1995年 7月 26日

I. 서 론

1960년대 이래 컴퓨터와 통신망은 하나로 결합하여 컴퓨터 통신망으로 발전하였으며 컴퓨터 통신망의 주된 이점은 공간적으로 산재해 있는 사용자 또는 단말들을 서로 연결하여 자원을 공유하는데 있다. 이러한 컴퓨터 통신망을 비정상(Transient or Nonstationary) 상태에서 이론적으로 해석하기 위한 시도는 주로 큐잉 이론(Queueing Theory)을 도구로 사용하여 발전해 왔다. 그러나, 이러한 연구는 이나 등 간단한 큐잉 시스템에 한하여 이론적인 해가 존재하며, 여러 개의 큐잉시스템이 하나의 네트워크로 형성될 때의 비정상 상태 해는 아직 풀려지지 않은 문제로 남아 있다. 또한, 컴퓨터 통신망은 정상 상태 뿐만이 아니라 비정상 상태에서도 충분히 좋은 성능을 가져야한다^{[1][2]}.

본 연구의 목적은 이러한 비정상 상태에서의 큐통계를 얻기 위해 큐잉 근사화 기법을 이용하여 결과를 도출한 후 이를 몬테카를로 시뮬레이션으로부터 얻어지는 결과와 비교하여 그 성능을 평가하는데 있다.

이 비정상 큐잉 근사화 기법은 컴퓨터 통신망을 객체 네트워크로 모델링하여 큐통계를 얻기 위해 사용되어 왔다. M/M/1 큐잉시스템에 대한 이 클로즈 근사화는 비정상 상태에서의 큐통계를 얻기 위해 일반적인 객체 네트워크로 확장가능하며 비정상 상태의 일반적인 예로는 링크의 절단, 링크 비용의 변화, 및 시변 입력에 의한 경우등을 들 수 있다. 본 연구에서 사용한 근사화기법은 이러한 비정상 환경에서 상당히 정확한 큐 통계에 대한 근사치를 제공한다.

II. 클로즈 근사화

본 연구에서는 앞에서 언급한 바와 같이 컴퓨터망의 비정상 상태를 추정(Estimate)하기위해 객체 네트워크를 기반으로한 클로즈 근사화를 고찰하며 객체 네트워크는 아래와 같이 정의된다^[3].

- 큐 i 로 들어오는 외부 도착열(external arrivals)은 평균 도착률 λ_i 의 포아송 분포를 갖는다.
 - 큐 i 에서의 서비스 시간은 평균 서비스 시간이 $1/\mu_i$ 인 지수분포(Exponential Distribution)를 갖는다.
 - 서비스 프로세스는 도착률 프로세스와 독립이다.
 - 각 사용자(패킷)는 큐 i 에서 서비스를 받은후 큐 j 로 θ_{ij} 의 확률로 보내지거나 $1 - \sum_j \theta_{ij}$ 의 확률로 망을 떠난다.
- 객체 네트워크에서의 각 노드는 독립적인 M/M/1 큐

로 모델링될 수 있으며 시스템에서의 사용자 수의 결합 확률분포(Joint Probability Distribution)는 각각(Marginal)의 M/M/1 확률 분포들의 곱으로 나타낼 수 있다. 그러나, 이 이론은 정상상태(Steady State)에 한하여 적용되는 것이며 최근 비정상 상태의 객체 네트워크에서 큐통계를 얻기위한 미분 방정식이 유도되었다^{[4], [5]}. 비정상 상태 객체 네트워크에서의 큐 i 에서의 평균 패킷수 즉, $n_i(t)$ 는 다음 식으로 표현된다.

$$\frac{d}{dt} E[n_i(t)] = \lambda_i(t) + \sum_{j \neq i} \theta_{ji}(t) \mu_j(t) (1 - p_{jo}(t)) - (1 - \theta_{ii}(t)) \mu_i(t) (1 - p_{io}(t)) \quad (1)$$

한편, 큐 i 에서의 평균 패킷수에 대한 2차 모멘트는 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} E[n_i^2(t)] &= \lambda_i(t) + \lambda_i(t) \text{cdto} 2E[n_i(t)] \\ &+ \sum_{j \neq i} \theta_{ji}(t) \mu_j(t) (1 - p_{jo}(t)) \\ &+ 2 \sum_{j \neq i} \theta_{ji}(t) \mu_j(t) \{E[n_i(t)] \\ &- E[n_i(t) | n_i(t) = 0] \cdot p_{jo}(t)\} \\ &+ (1 - \theta_{ii}(t)) \mu_i(t) (1 - p_{io}(t)) \end{aligned} \quad (2)$$

식 (1), (2)에서 객체 네트워크의 파라미터들을 제외하면 큐 i 가 비어 있을 확률을 나타내는 $p_{io}(t)$ 만이 미지의 변수로 남게된다. 이 변수는 클로즈 근사화 기법을 이용하여 추정될 수 있으며 이 근사화를 위해 많은 연구가 진행되어 왔다^{[6]-[9]}. 클로즈 근사화에서는 클로즈 가정(Closure Assumption)이라 알려진 가정을 이용하는데 이는 무한 갯수의 방정식을 유한한 갯수의 방정식으로 줄이기 위한 것이다. 따라서 클로즈 근사화를 이용하여 시스템에서의 변수들은 몇 개의 변수들에 의해 나타낼 수 있다. 예를들면, 미지의 변수인 $p_{io}(t)$ 는 시스템에서의 사용자 수의 평균값이나 평균값 및 분산값 모두를 사용하여 추정한다. 따라서 클로즈 근사화 기법을 이용하면 각 큐에서의 사용자 수에 대한 평균값 및 분산을 효과적으로 추정할 수 있다. 여러 클로즈 근사화 기법 중 Clark의 근사화 기법은 대부분의 경우 그 성능이 다른 방법에 비하여 우수하므로 본 연구에서는 이 기법을 이용한다^{[10], [11]}. Clark 근사화 기법은 원래 M/M/K 큐잉 시스템을 위해 제안되었으며 여기서는 M/M/1 큐잉 시스템에 적용하여 일반적인 객체망으로 확장하였다. Clark의 근사화 기법은 M/M/1 시스템의 상태 확률에 대한 예상 분포로서 Polya-Eggenberger 분포를 사용한다.

Clark의 근사화 기법에서는 큐 i 에서의 사용자 수를 나타내기 위해 두 개의 조건부 랜덤 변수, 즉 A_i

및 B_i 를 다음과 같이 정의한다.

$$A_i = n_i(t), \quad n_i(t) \leq 1$$

$$B_i = n_i(t), \quad n_i(t) > 1$$

또한, A_i 및 B_i 는 $n_i(t)$ 를 나타내므로 이 변수들의 모멘트는 다음 파라미터를 이용하여 구할 수 있다.

$$Q_i(t) = \text{Pr 시간에서 큐 존재} \\ = \text{Pr } \equiv(t)1 \quad (3)$$

$$\bar{Q}_i = \text{Pr 시간에서 큐 존재} \\ = \pi_0(t) + \pi_1(t) \quad (4)$$

$$C_i(t) = \text{Pr 서비스 진행중} = 1 - p_{n_i}(t) \quad (5)$$

여기서 두개의 랜덤 변수 $n_i(t)$ 와 $n_j(t)$ 가 서로 독립이라고 가정하면 식 (1)과 (2)는 각각 아래 식 (6)과 (7)로 표현될 수 있다.

$$\frac{d}{dt} E[n_i(t)] = \lambda_i(t) + \sum_{j \neq i} \theta_{ji}(t) C_j(t) \\ - (1 - \theta_{ii}(t)) \mu_i(t) C_i(t) \quad (6)$$

$$\frac{d}{dt} E[n_i^2(t)] = \lambda_i(t) + \lambda_i(t) \cdot 2E[n_i(t)] \\ + \sum_j \theta_{ji}(t) \mu_j(t) C_j(t) \\ + 2 \sum_j \theta_{ji}(t) \mu_j(t) E[n_j(t)] C_j(t) \quad (7) \\ + (1 - \theta_{ii}(t)) \mu_i(t) C_{i0} \\ - 2(a - \theta_{ii}(t)) \mu_i(t) E[n_i(t)]$$

한편, Kolmogorov 미분 방정식으로부터의 $p_{n_i}(t)$ 및 $p_{n_j}(t)$ 에 대한 미분식을 이용하면 $\bar{Q}_i(t)$ 및 $C_i(t)$ 에 대한 미분 방정식은 다음과 같다^[12].

$$\frac{d}{dt} \bar{Q}_i(t) = \mu_i(t)(1 - \theta_{ii}(t)) p_{n_i}(t) \\ - \lambda_i(t) p_{n_i}(t) \quad (8) \\ - \sum_j \mu_j(t) \theta_{ji}(t) p_{n_j}(t) C_j(t)$$

$$\frac{d}{dt} C_i(t) = \lambda_i(t)(1 - C_i(t)) \\ + \sum_{j \neq i} \mu_j(t) \theta_{ji}(t) (a - C_j(t)) C_j(t) \quad (9) \\ - \mu_i(t)(1 - \theta_{ii}(t)) p_{n_i}(t)$$

조건부 상태 확률인 $p_{n_i}(t)$ 및 $p_{n_j}(t)$ 는 Polya-Eggenberger 랜덤 변수인 A_i 및 B_i 에 대한 조건부 상태 확률을 이용하여 각각 구할 수 있다^[12]. 이 네개의 미분방정식을 이용하여 큐 i 에서의 사용자 수에 대한 평균 및 분산 즉, $E[n_i(t)]$ 및 $Var[n_i(t)]$ 는 일반적인 수치해석법을 이용하여 구할 수 있다.

III. 테스트 망의 성능 평가

비정상 상태에서의 잭슨 네트워크에 대한 클로즈 근사화 결과를 몬테카를로 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 클로즈 근사화 결과를 얻기 위해 4/5차(Fourth-fifth Order) Runge-Kutta 알고리즘이 이용되었다. 이 근사화는 ISO IS-IS 라우팅 프로토콜^[13]을 사용하는 컴퓨터망에 적용되었으며, 잭슨 네트워크의 파라미터인 $\lambda_i(t)$, $\mu_i(t)$, 및 $\theta_{ij}(t)$ 를 결정하기위해 O-D(Origin-Destination) 쌍에 대한 외부 도착률, 라우팅 테이블, 채널용량, 및 평균 패킷길이 등이 사용되었다. IS-IS 라우팅 프로토콜은 각 O-D 쌍에 대한 최단거리 경로를 찾기 위해 SPF(Shortest Path First) 알고리즘을 사용하며 하나의 O-D 쌍에 대하여 여러개의 등가 경로(Equal-cost Path) 가 존재할 때는 입력되는 패킷들은 등가 경로에 균등히 분배된다.

한편, 몬테카를로 시뮬레이션에서는 외부에서의 패킷 도착, 패킷 큐잉, 라우팅, 패킷 전송, 링크 절단/복원, 및 통계데이터 처리등 망에서 일어나는 모든 이벤트를 처리 한다. 이러한 네트워크 시뮬레이션은 많은 횟수의 반복을 통하여 앙상블(Ensemble) 평균을 도출해야하는데 여기서는 평균값의 약 10%에 해당하는 95% 신뢰구간을 보장하기 위해 반복 횟수는 2500으로 정하였다. 클로즈 근사화의 성능을 평가하기 위해 6, 13, 26, 32, 및 61 노드를 갖는 테스트 네트워크를 이용하였으며 이들 각각은 그림 1에서 그림 5에 도시하였다. 여기서 13 노드 네트워크는 NSFNET의 T3 기간망(Backbone Network) 이며 나머지는 Arpanet의 초기 형태이거나 임의로 만든 것이다. 본 시뮬레이션에서는 편의상 각 노드로 입출력하는 링크의 수는 두 개에서 네 개로 제한하였으며 모든 링크는 동일한 용량을 갖는 것으로 하였다.

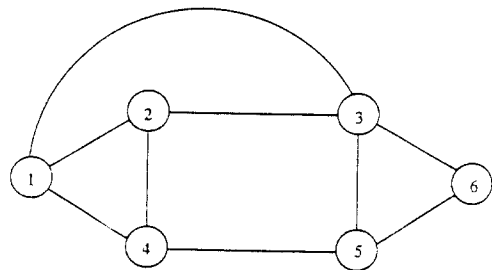


그림 1.6 노드 네트워크
Fig. 1. The 6 Node Network.

클로즈 근사화의 성능을 평가하기 위해 두 개의 상대 오차를 사용한다. 이 중 하나는 각 샘플 시간에서 몬테카를로 시뮬레이션값과 클로즈 근사화값 차이를 몬테카를로값에 대하여 백분율로 나타낸 것이며 이 상대오차 즉, e_r 는 다음과 같이 정의된다.

$$e_r = \frac{|Monte Carlo value - Closure value|}{Monte Carlo value} * 100(\%) \quad (10)$$

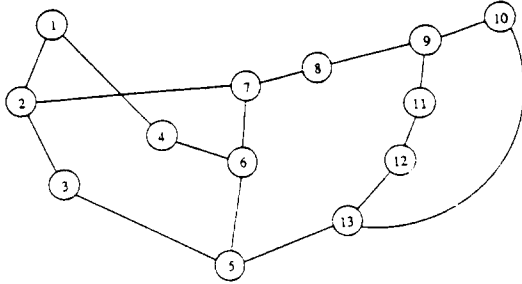


그림 2. 13 노드 네트워크
Fig. 2. The 13 Node Network.

다른 하나의 상대 에러는 몬테카를로 시뮬레이션값에 대한 신뢰구간 반을 백분율로 나타낸 것이며 이 상대오차 즉, e_s 는 다음과 같이 정의된다.

$$e_s = \frac{0.5 * confidence interval}{Monte Carlo value} * 100(\%) \quad (11)$$

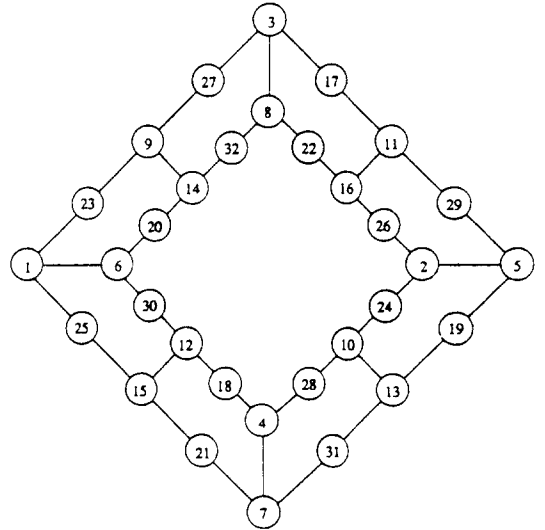


그림 4. 32 노드 네트워크
Fig. 4. The 32 Node Network.

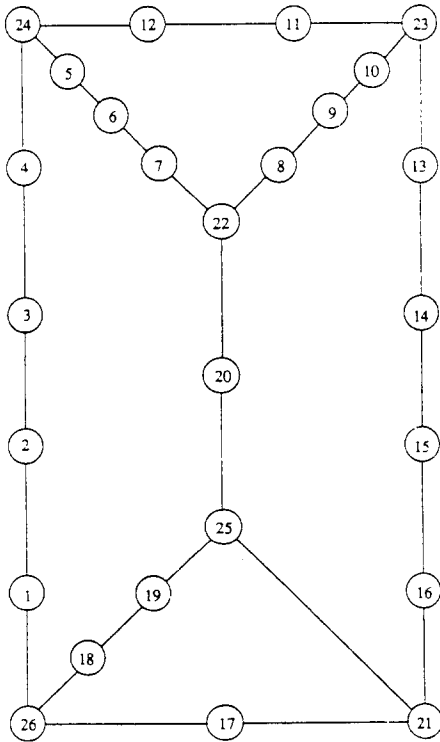


그림 3. 26 노드 네트워크
Fig. 3. The 26 Node Network.

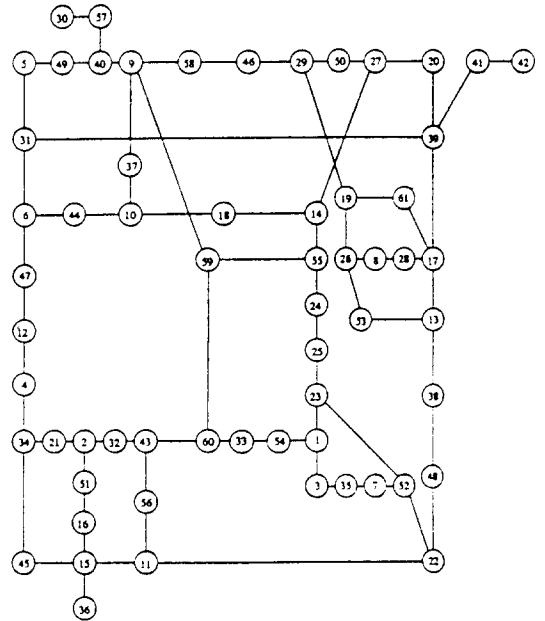


그림 5. 61 노드 네트워크
Fig. 5. The 61 Node Network.

한편, 평균 상대오차 e_{ave} 는 각 큐에서의 모든 시간 구간에서의 상대오차를 평균함으로써 구할 수 있으며 이는 다음과 같이 정의된다.

$$e_{ave} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m e_i(j)}{n \cdot m} \quad (12)$$

여기서 n 은 각 테스트망에서의 전체 큐의 수이며, m 은 총 샘플수, $e_i(j)$ 는 시간 j 일때 큐 i 에서의 상대오차를 나타낸다.

한편, 컴퓨터 통신망에서의 링크 사용율은 도착률의 서비스율에 대한 비로서 정의된다. 큐에서의 처리시간과 링크 i 에서의 지연시간을 무시하면 서비스율은

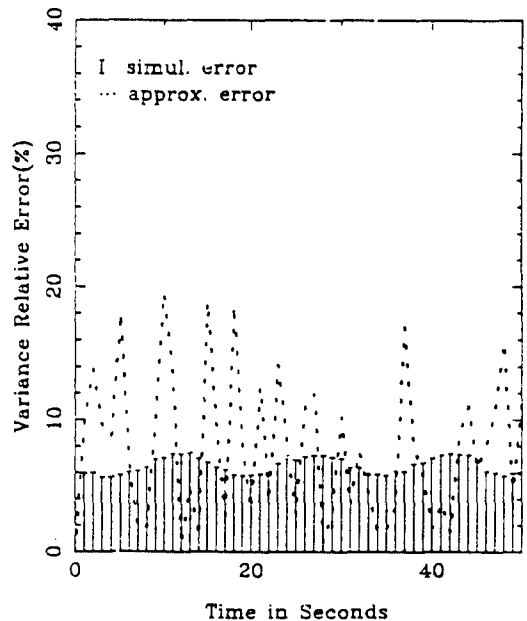
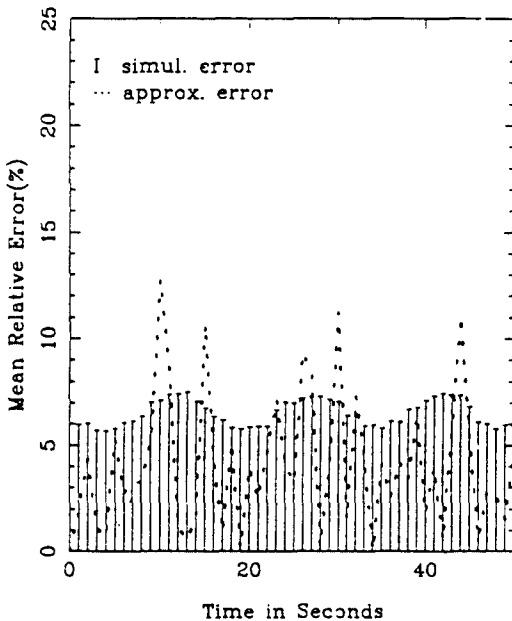
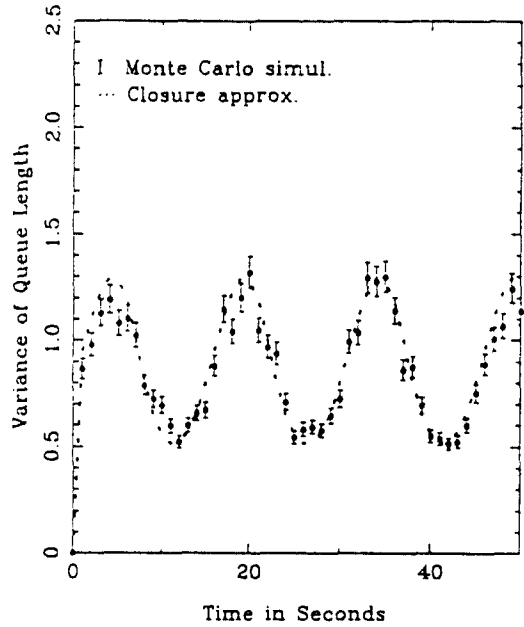
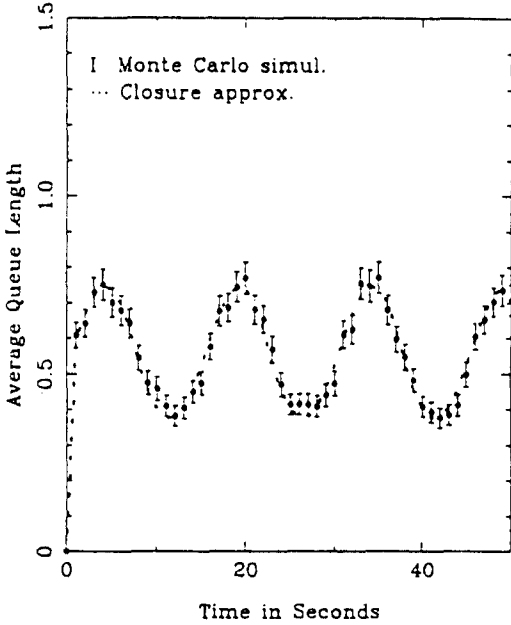


그림 6. 32 노드 네트워크, 경부하에서 중간 정도의 입력 부하
Fig. 6. The 32 Node Network, Light to Moderate Loading.

$\mu' C_i$ 이 되는데 여기서 $\frac{1}{\mu}$ 는 평균 패킷 길이를 bit 단위로 나타낸 것이며 C_i 는 bits/sec 단위의 채널 용량을 나타낸다. 따라서 링크 i 의 사용률 ρ_i 는 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$\rho_i = \frac{\gamma_i}{\mu' C_i}$$

여기서 γ_i 는 다른 노드로부터의 입력을 포함한 링크 i 에서의 도착률을 나타낸다. 본 연구에서는 ρ_i 를 이용하여 임의로 다음과 같은 세 가지의 네트워크 부하에 대하여 클로즈 근사화의 결과를 시뮬레이션 결과와 비교 분석하기로 한다.

- Lightly loaded if $0 < \rho_i \leq 0.35$

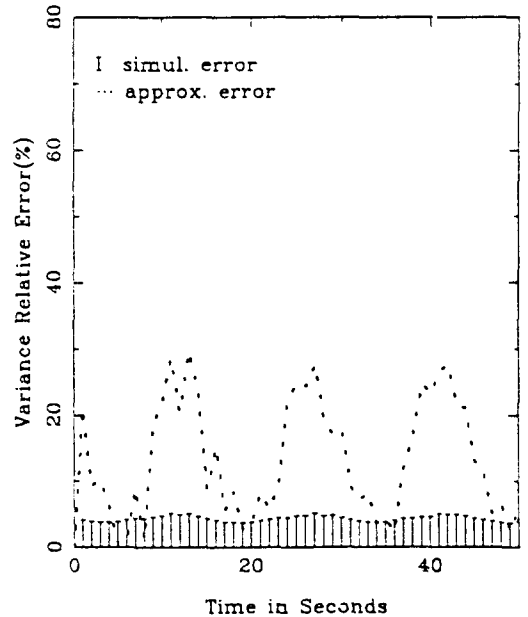
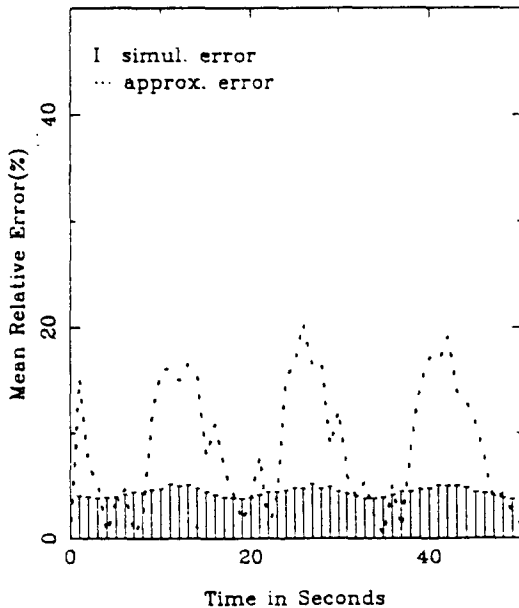
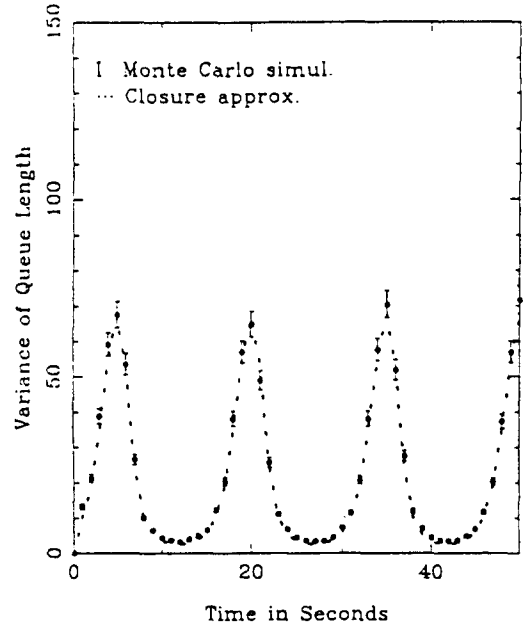
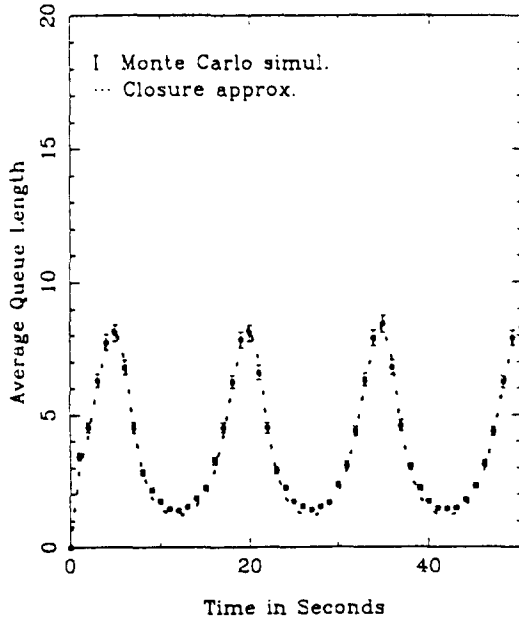


그림 7. 26 노드 네트워크, 중부하에서 과부하
Fig. 7. The 26 Node Network, Heavy to Overloading.

- Moderately loaded if $0.35 < \rho_i \leq 0.70$
- Heavily loaded if $\rho_i > 0.70$

IV. 시뮬레이션 결과

비정상 상태에서의 일시응답(Transient Response)을 얻기 위하여 실제 운용중인 네트워크에서의 비정상 데이터를 얻기는 어렵기 때문에 본 연구에서는 시변 정현(Time-varying Sinusoidal) 도착률을 입력으로 사용하며, 각 O-D쌍에 대한 도착률은 다음 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$\lambda(t) = \lambda_0 [1 + A \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right)]$$

여기서 λ_0 는 시분변 도착률이고 A 와 T 는 각각 정현파의 진폭 및 주기를 나타낸다. 각 테스트 케이스에서 T 는 임의로 15 sec로 정하였으며 A 와 T 값은 위에서 언급한 세가지 경우의 평균 링크 사용율 범위에 적합하도록 적절히 조정되었다. 시뮬레이션 결과는 특정 큐에서의 클로즈 근사화와 몬테카를로 시뮬레이션 결과를 평균 및 분산 그래프를 통하여 비교하고 두 결과 사이의 오차를 이용하여 비교 분석하였다.

그림 6은 그림 4에 도시한 32 노드 네트워크에서 노드 9에서 노드 14로의 출력 큐에 대한 클로즈 근사화의 결과를 나타낸다. 이 그림에서 I 표시들은 몬테카를로 시뮬레이션으로부터 얻은 95% 신뢰구간을 그 평균 값과 함께 나타낸 것이며 점선은 클로즈 근사화로부터 얻어진 결과를 나타낸다. 또한, 식 (10)에서의 상대 오차인 e_r 과 식 (11)에서의 상대오차인 e_s 는 각각 simul. error 및 approx. error 로 나타내었다. 초기상태에는 큐는 비어 있으며 정현적으로 변하는 입력 부하에 따라 큐에서의 평균 패킷 길이도 변하게 된다. 그림에서 보듯이 클로즈 근사화는 시뮬레이션에서 얻은 신뢰구간을 결과를 상당히 근접하게 따라가고 있다. 즉, 평균 큐길이 및 그 분산값에 대한 추정치는 거의 모든 시간 구간에서 신뢰구간 내에 속하며 상대오차의 평균값도 상당히 작게 나타났다. 그러나, 분산에 대한 상대오차는 평균 큐길이에 대한 상대오차보다 약간 크게 나타났으며 큐에 대한 부하가 낮았을 때 상대오차는 부하가 높았을 경우에 비하여 조금더 크게 나타났다. 분산에 대한 상대오차가 평균 패킷 길이에 대한 상대오차에 비하여 크게 나타난 것은 분산은 2차 모멘트와 평균 패킷길이의 제곱에 의해 구해지기 때문이다. 그림 7은 그림 4에 도시한 26 노드 네트워크에서 노드 25의 노드 20으로의 출력 큐에 대한 부하가 중부하

(Heavily loaded)에서 과부하(Overloaded)로 주기적으로 변할 때의 결과를 도시한 것이다. 이 경우에서도 클로즈 근사화는 시뮬레이션 결과를 잘 따르고 있으나, 상대오차는 32 노드 경우에 비하여 크게 나타났다. 지금까지 예시한 결과는 특정 큐에 대한 결과이며, 네트워크가 커질수록 큐의 수는 매우 커지므로 시스템 전체에서 근사화의 성능을 검증하기 위하여 각 큐에서의 평균 상대오차를 테스트 네트워크별 입력 부하별로 계산하여 비교 분석한다. 이 평균 상대오차는 식 (12)를 사용하였으며 그 결과는 표 I에 정리하였다.

표 1. 평균 및 분산에 대한 평균 상대오차 비교
Table 1. Comparison of Mean and Variance Relative Errors.

네트워크	입력 부하	평균 상대오차 (%)		분산 상대오차 (%)	
		Sim.	Appr	Sim	Appr
6노드	Light	5.53	10.77	5.55	21.56
	Mod.	4.92	6.04	5.55	15.23
	Heavy	4.43	5.05	5.55	13.45
13노드	Light	7.94	9.19	5.55	18.00
	Mod.	5.64	8.25	5.55	11.44
	Heavy	4.55	6.34	5.55	9.25
26노드	Light	8.82	10.39	5.55	22.84
	Mod.	5.41	8.77	5.55	17.12
	Heavy	5.02	12.87	5.55	22.27
32노드	Light	8.32	10.56	5.55	20.93
	Mod.	4.88	8.46	5.55	15.38
	Heavy	4.60	7.19	5.55	10.94
61노드	Light	11.73	16.35	5.55	25.84
	Mod.	8.87	14.28	5.55	23.29
	Heavy	7.94	13.73	5.55	18.76

표 I 에서 보듯이 평균 상대오차는 네트워크의 입력 부하가 올라 갈수록 작게 나타났다. 이는 클로즈 근사화와 몬테카를로 시뮬레이션 각각에서 필요한 잭슨네트워크 파라미터가 입력 부하가 커질수록 잘 일치하기 때문이다. 또한, 평균 및 분산의 경우 근사화 상대오차는 시뮬레이션 상대오차보다 크게 나타났으나 평균의 경우 두 상대오차 사이의 차이는 매우 작았다. 전체적으로 볼때 평균 상대오차는 17% 보다 항상 작았으며 각 테스트 케이스의 경우 2500회 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하여 평균 시뮬레이션 오차가 5.5% 일때 분산의 경우 상대오차는 26 % 보다 작았다.

다음으로 시뮬레이션과 근사화 기법의 컴퓨터 수행시간을 비교하기 위하여 Amdahl 5990 컴퓨터상에서 컴퓨터 시스템의 부하가 낮을때 CPU 소요 시간을 비

교하였으며 이 결과는 표 II 에 정리하였다.

표 2. CPU 시간 비교(단위: 초)
Table 2. CPU Time Comparison. (seconds).

네트워크	입력부하	시뮬레이션	근사화	속도증가율
6노드	Light	2372.51	8.35	284
	Mod.	3749.75	10.06	373
	Heavy	5708.42	20.63	277
13노드	Light	4582.52	29.91	153
	Mod.	11791.24	43.64	270
	Heavy	25790.63	65.51	394
26노드	Light	23582.25	141.99	166
	Mod.	55997.54	183.35	305
	Heavy	94454.52	394.41	239
32노드	Light	84983.89	382.54	222
	Mod.	133286.25	460.86	289
	Heavy	178451.19	684.65	261
61노드	Light	288792.94	1242.21	232
	Mod.	465995.79	1579.53	295
	Heavy	658505.84	2403.16	274

표 II에 나타냈듯이 클로즈 근사화는 몬테카를로 시뮬레이션에 비하여 매우 작은 컴퓨터 수행시간을 요한다. 즉, 클로즈 근사화는 몬테카를로 시뮬레이션에 비하여 153 내지 394배까지 처리 속도를 향상시켰다. 일반적으로 네트워크에 걸리는 부하가 높아질수록 처리해야 할 패킷의 수가 증가하므로 수행시간은 많아지게 되는데 이 처리 속도 증가율은 네트워크의 크기에 영향을 받지 않았다.

V. 결 론

본 연구에서는 비정상 상태에서 클로즈 근사화기법을 잰 네트워크로 확장하여 그 성능을 기존의 몬테카를로 시뮬레이션과 비교 분석하였다. 그 결과 클로즈 근사화는 몬테카를로 시뮬레이션에서 얻은 결과에 상당히 근사한 결과를 제공하였음을 확인하였다. 즉, 각 큐에서의 최고 상대오차는 17%를 초과하지 않았다. 또한, 이 클로즈 근사화는 시뮬레이션에 비하여 현저히 작은 컴퓨터 수행시간을 사용하였다. 이러한 연구 결과는 현재 운용중인 네트워크에서의 성능 분석이나 새로운 네트워크의 설계등에 적용될 수 있겠다.

참 고 문 헌

[1] H. R. Van As, Transient analysis of Ma-

rkovian queueing systems and its application to congestion-control modeling, *IEEE J. Select Areas Commun.*, vol. SAC-4, pp. 891-904, Sept. 1986.

- [2] D. Tipper, Numerical methods for modeling computer networks under nonstationary conditions, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 8, pp. 1682-1695, Dec. 1990.
- [3] J. R. Jackson, Networks of waiting lines, *Oper. Res.*, vol. 5, pp.518-521, 1957.
- [4] W. K. Tsai and P. E. Cantrell, A simple derivation of transient queue statistics and applications, *Performance Evaluation*, vol. 10, pp. 103-114, 1989.
- [5] W. A. Massey, An operator-analytic approach to the Jackson networks, *J. Applied Prob.*, vol. 21, pp. 379-393, 1984.
- [6] K. L. Rider, A simple approximation to the average queue size in the time-dependent M/M/1 queue, *J. ACM*, vol. 23, pp. 361-367, April 1976.
- [7] M. H. Rothkopf and S. S. Oren, A closure approximation for the nonstationary M/M/s queue, *Manage. Sci.*, vol. 25, pp. 522-534, June 1979.
- [8] S. S. L. Chang, Simulation of transient and time varying conditions in queueing networks, *Proc. of the Seventh Pittsburgh conference on Modeling and Simulation*, pp. 1075-1078, 1977.
- [9] G. M. Clark, Use of Polya distributions in approximate solutions to nonstationary M/M/s queues, *Commun. ACM*, vol. 24, pp. 206-217, April 1981.
- [10] W. A. Baker, Transient queueing approximation for computer networks, *Masters thesis*, Texas A & M University, College Station, TX, Dec. 1986.
- [11] J. M. Andrewartha and P. E. Cantrell, Transient Approximations for Jackson networks, in *Proc. of the IEEE GLOBECOM*, Nov. 1989.

- [12] B. H. Lee, Transient queueing approximation for modeling computer networks, Ph.D. Dissertation, Texas A & M University, College Station, TX, Dec. 1993.
- [13] Intermediate system to intermediate system intra-domain routing information exchange protocol for use in conjunction with the protocol for providing the connectionless-mode network service(ISO 8473), ISO/IEC 10589, 1992.
- [14] D. Bertsekas, E. Gafni, and K. S. Vastola, Validation of algorithms for optimal routing of flow in networks, in Proc. of the 1978 IEEE Conf. on Decision and Control., Jan. 1979.

저 자 소 개



李 奉 煥(正會員)

1961년 3월 1일생. 1985년 서강대학교 전자공학과(학사). 1987년 연세대학교 전자공학과(공학석사). 1993년 Texas A & M 대학 전기과(공학박사). 1987년 - 1989년 한국통신 중앙연수원 교수요원. 1993년 - 1995년 한국통신 연구개발원 연구원. 1995년 - 현재 대전대학교 정보통신공학과 전인강사 주관심분야는 컴퓨터 네트워크 시뮬레이션 및 모델링, B-ISDN 응용서비스, ATM통신기술등임.