

# 네트워크 대역폭 할당에 따른 전송률 응답특성을 구현해주는 모델링 기법

정회원 박종진\*, 문영성\*\*

## Modeling Techniques of the Throughput Response Characteristics depending on the Network Bandwidth Allocation

Jong-Jin Park\*, Young-Song Mun\*\* *Regular Members*

요 약

네트워크의 QoS를 지원하기 위해서는 환경변화에 동적으로 대처할 수 있는 자원관리 시스템이 필요하며, 이를 위해 고전적인 제어기술 분야에 사용되는 적응적인 시스템을 도입할 수 있다. 제어기술의 적용을 위해서는 네트워크의 대역폭 할당에 따른 전송률 응답특성을 구현해주는 모델의 개발이 필수적이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 두 가지 방식의 네트워크 모델을 제안하였다. 첫째는 “동적 시스템 모델”이며 다른 하나는 “통계학적 모델”이다. 동적 시스템 모델은 네트워크의 동적 특성을 고려하여 도입하였으며, 통계학적 모델은 측정된 전송률 데이터의 분포를 고려하여 도입하였다. 제시된 두 모델의 인자 결정을 위해 최적화 기법을 사용하였으며, 제시된 두 모델이 실제 네트워크의 동작과 유사함을 살펴보았다.

Key Words : Modeling, QoS, Network, Dynamic system, Adaptive system

### ABSTRACT

Throughput response characteristics depending on the network bandwidth allocation need to be modeled to devise adaptive control mechanism to support QoS of the network. Thus, two models are proposed in this study. The first one is a dynamic system model and the other one is a stochastic model. The dynamic system model is developed to represent dynamic characteristics of the network and the stochastic model is developed to represent distribution of measured throughput data. An optimization technique is used for decision of proposed model's factor. The result confirms that the characteristics of proposed models are similar with actual network's characteristics.

### I. 서 론

최근 보편화된 초고속 인터넷을 기반으로 한 각종 인터넷 서비스가 활성화되어 있다. 특히 전자상거래, 주식거래, 동호회활동 및 각종 홈페이지를 활용한 정보교환 및 멀티미디어 자료의 교환이 초고속 인터넷의 보급으로 널리 이용되고 있다. 그러나 최근 추가적으로 요구되고 있는 이슈로서 보안, 이동환경의 지원

및 차별화된 서비스 등이 대두되고 있으며 이를 지원하기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다.

일반적으로 차별화된 서비스를 지칭하는 QoS (Quality of Service)는 컴퓨터시스템 및 네트워크의 자원을 확보하는 것을 의미하며, 즉시성(timeliness), 데이터의 신뢰성 및 보안과 관련된 요구사항으로 구분할 수 있다. 특히, 네트워크 환경에서는 대역폭 (bandwidth)의 확보와 일정 한도 이내의 지연시간 (delay time), 오류율(error rate), 응답시간(response

\* 숭실대학교 컴퓨터학부 (spel@sunny.ssu.ac.kr)

\*\* 숭실대학교 컴퓨터학부 (mun@computing.ssu.ac.kr)

논문번호 : 030098-0312, 접수일자 : 2003년 3월 12일

time)의 유지가 주 요구사항으로 이를 만족시키기 위한 여러 가지 기법들이 제안되고 있다.

특히, 인터넷의 표준화 기구인 IETF<sup>[1]</sup>에서는 기존의 인터넷과 차세대 인터넷 환경에서 QoS를 제공하는 방법에 대하여 표준화 작업을 진행하고 있으며, IntServ (Integrated Services) 모델<sup>[2]</sup>과, DiffServ (Differentiated Services) 모델<sup>[3]</sup> 등은 IETF가 제안한 인터넷 환경에서 QoS를 지원하는 대표적인 방안이다. 그러나 지금까지의 QoS를 지원하는 대부분의 방식은 자원의 할당(allocation)에 의한 방식으로서 시시각각 변화하는 네트워크의 동적인 상황을 반영하기 어려운 정적인 시스템이다. 그러므로 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 정적인 자원의 할당뿐만 아니라 상황 변화에 동적으로 대처하기 위해 보다 적극적으로 할당된 자원을 유지하기 위한 방안이 새롭게 모색되어야 한다.

할당된 자원을 유지하기 위해서는 일반적으로 적응적인 시스템을 구성한다. 적응적인 시스템은 고전적인 제어 분야에서 주로 사용되는 기법으로서 현재의 자원 상태를 측정하여 요구되는 자원의 할당값과 비교하여 발생한 차이를 보상하기 위해 추가적인 자원관리를 지속적으로 행하는 방식이다.

본 연구에서는 네트워크 환경에서 QoS를 지원하기 위한 적응적인 시스템을 구성하는데 필수적인 네트워크의 응답특성을 구현해주는 수학적 모델들을 제안하고자 한다.

## II. 할당과 적응 방식에 따른 QoS 지원 구조

네트워크의 QoS를 지원하기 위한 구조로는 자원의 할당(allocation)에 의한 정적인 방식과 적응(adaptation)에 의한 동적인 방식으로 구분할 수 있다. 이 두 가지 방식의 동작 구조를 표현한 것이 그림 1이다.

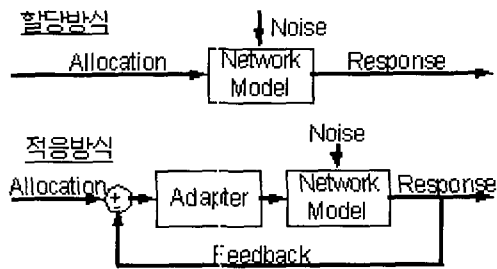


그림 1. 할당방식과 적응방식의 구조

그림 1에서 나타낸 바와 같이 할당방식은 한번의 할당에 의해 그 시스템이 유지되지는 방식으로 간단히 적용할 수 있는 반면 상황의 변화나 왜란에 의해 그 응답이 원하는 수준을 유지하기 힘든 단점이 있다. 그러나 적응방식은 현재의 상태를 인식(sensing)하여 요구되는 수준인 할당값과의 차이가 발생할 경우 이를 보완하기 위해 지속적인 자원관리를 행하는 방식(feedback)이다. 이러한 역할을 수행하는 것이 그림 1의 "적응기(adapter)"이며 "제어기(controller)"라고도 부른다.

네트워크의 QoS를 보장하기 위한 적절한 적응기를 설계하기 위해서는 보통 고전적인 제어이론을 도입하며, 일반적으로 PID<sup>[4]</sup> 제어방식을 많이 사용한다. 이러한 제어이론을 적용하여 네트워크의 QoS를 보장하기 위해서는 먼저 제어대상인 네트워크의 특성분석과 이를 기반으로 한 모델링이 선행되어야 한다.

그러므로 본 연구에서는 제어대상으로서 그림 1의 "네트워크 모델(Network Model)"을 분석하여 동역학 이론과 통계학 이론을 적용하여 네트워크의 특성을 구현해주는 이론적인 모델을 제안하였으며, 차후 이 모델을 최적화하여 실제 네트워크의 QoS지원구조를 적용하는데 도움을 주고자 한다.

## III. 네트워크의 응답특성 분석

네트워크의 QoS를 지원하기 위해서 그림 1에서 살펴본 적응방식에 사용되는 적응기를 설계해야 한다. 이를 위해서는 우선 적응의 대상인 네트워크의 대역폭 할당에 따른 응답을 구현해주는 모델을 구성하고 이를 대상으로 적응기를 적용하여 그 성능을 최적화한 후 실제 네트워크에 적용하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 네트워크의 응답을 구현해주는 모델을 구성하기 위해서 네트워크를 대상으로 그림 1의 할당방식에 따라 대역폭을 할당한 다음 TCP 트래픽을 발생시켜 그 응답인 전송률을 측정하고, 측정된 전송률 데이터의 동적인 특성을 분석하였다.

그림 2는 리눅스(kernel 2.2 이상) 운영체제에서 제공되는 트래픽 제어 모듈인 tc<sup>[5]</sup>를 사용하여 특정 호스트로 전송되는 TCP 트래픽 데이터의 대역폭을 조절하면서 그에 따른 응답(전송률)을 살펴본 것이다. 매 120초마다 새로운 대역폭을 임의로 할당(굵은 실선)하였으며, 그 응답(가는 실선)은 1초 간격으로 전송량을 샘플링하였으며 총 600초 동안 측정을 수행하였다.

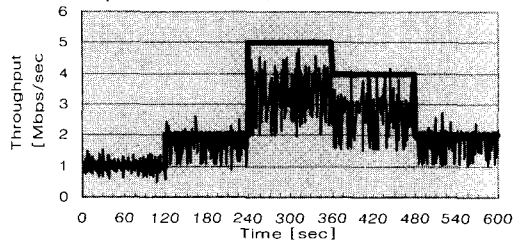


그림 2. 네트워크의 대역폭 할당에 의한 응답특성

측정값을 살펴보면 우선 할당값에 비해 매우 불안정(변화가 심함)하게 나타남을 볼 수 있다. 이는 시간의 변화에 따른 전송량의 변화가 매우 동적임을 보여주는 것이다. 또한 측정값의 평균을 분석해 보면 할당값이 최대 대역폭(여기서는 10Mbps LAN)에 비해 상대적으로 낮은 경우에는 어느 정도 할당값에 접근하지만 최대 대역폭에 가까워질수록 할당값에 비례한 크기의 오차를 보이고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과를 통계적으로 정리하여 표 1에 나타내었다.

표 1. 실제 네트워크의 대역폭 할당에 의한 응답특성 요약

시간 (sec)	할당값 (Mbps)	평균 (Mbps)	표준편차 (Mbps)	범위 (Mbps)
0~120	1	1.02	0.21	약 0.5
120~240	2	1.79	0.39	약 1
240~360	5	3.36	0.73	약 2
360~480	4	2.70	0.67	약 1.5
480~600	2	1.80	0.40	약 1

표 1과 그림 2를 살펴보면 요구하는 대역폭 할당값과 그 응답으로 측정된 전송률의 평균과 표준편차 그리고 측정값의 분포 범위가 서로 선형적인 관계를 나타내고 있음을 알 수 있다.

표 1의 데이터를 수학적 분석 방법인 선형회귀분석<sup>6)</sup>을 통해 다음과 같이 식 1과 식 2에 의해 표현할 수 있다.

$$\mu = 0.5486x + 0.6013 \quad (1)$$

$$\sigma = 0.1288x + 0.1214 \quad (2)$$

여기서  $\mu$ 는 평균,  $\sigma$ 는 표준편차 그리고  $x$ 는 대역폭 할당값을 나타낸다.

결과적으로, 특정 호스트로의 대역폭 할당에 따른 전송률의 변화는 시간에 따른 동적 특성을 보이며

그 평균과 표준편차는 할당값과 선형적인 관계를 보임을 알 수 있다.

#### IV. 제안한 모델

앞의 III절에서 분석한 네트워크의 대역폭 할당에 따른 응답특성을 구현해주는 모델을 제안하기 위해서 본 연구에서는 두 가지 방식을 제안하고자 한다. 첫 번째 방식은 응답특성이 전송량의 동적인 특성을 고려한 "동적 시스템 모델"이며, 두 번째 방식은 할당에 따른 전송량 데이터의 통계적인 분포를 고려한 "통계학적 모델"이다.

##### 1. 동적 시스템 모델

일반적으로 동적 시스템 모델은 제어공학에서 동적인 시스템의 특성을 분석하는데 사용되는 모델이며 시스템의 구성은 일반적으로 그림 3과 같다.

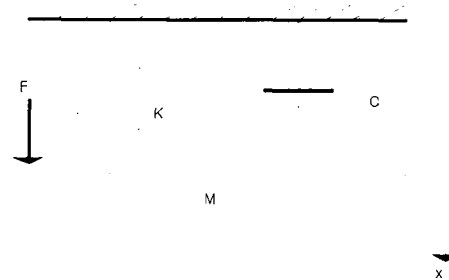


그림 3. 동적 시스템 모델의 구성

여기에서 외력  $F$ 가 작용할 때, 발생하는 힘으로는 질량  $M$ 이 움직인 거리  $x$ 에 비례( $K$ )하는 힘이 스프링(spring)에 작용하고, 속도  $\frac{dx}{dt}$ 에 비례( $C$ )하는 힘이 댐퍼(damper)에 작용하며, 가속도  $\frac{d^2x}{dt^2}$ 에 비례( $M$ )하는 힘이 질량(mass)에 작용된다. 그러므로 뉴턴의 작용 반작용의 법칙을 사용하여 정리하면 식 3이 구해진다.

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + C \frac{dx}{dt} + Kx = F \quad (3)$$

보통 그림 3을 질량스프링-댐퍼로 구성된 기계계(mechanical system)라고 부른다. 가해지는 힘인  $F$ 에 따라서 시스템의 응답인 질량의 변위  $x(t)$ 가 변화할 수 있으며, 또한 미분방정식의 특성상 변위의

초기값인  $x(0)$ 와 속도의 초기값인  $\frac{dx(0)}{dt}$ 에 따라 서로 질량의 움직임인  $x(t)$ 가 변화할 수 있다. 이를 네트워크 환경에 적용시켜 보면 대역폭의 할당은 그림 3의 동적 시스템 모델에서 외력  $F$ 가 계단입력(step input)으로 가해지는 것과 같다고 볼 수 있다. 만약, 외력이 1이고, 초기 상태를 정적인 상태( $x(0) = \frac{dx(0)}{dt} = 0$ )라고 가정하면 미분방정식으로 표현된 동적 시스템 모델인 식 3을 상미분방정식의 수치해석 기법인 오일러방식(Euler method)으로 풀어서 그림 4와 같이 질량의 움직임인  $x(t)$ 를 구할 수 있게 된다.

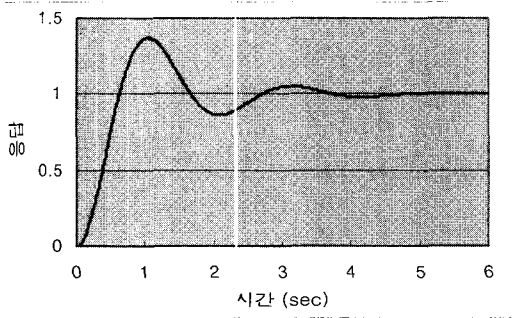


그림 4. 동적 시스템 모델의 계단응답

그림 4에서 나타난 동적 시스템 모델의 계단응답(step response)은 질량, 댐퍼, 및 스프링 상수에 따라 서로 다른 동적 특성을 나타내지만 정상적인 경우 일정시간이 지나면 그림 4와 같이 오차는 0에 근접하게 되어 결국에는 입력값에 수렴하게 된다. 이 상태를 정상상태(steady state)라고 한다. 그러나 그림 4는 그림 2에서 살펴본 대역폭 할당에 따른 응답으로 측정된 전송량 데이터의 동적인 변화와는 매우 다른 특성을 보이고 있어 이를 그대로 네트워크의 특성을 나타내는 모델로 사용할 수는 없다. 그러므로 실제 네트워크와 같은 특성을 나타내기 위해서는 동적 시스템 모델의 응답에 계단입력의 크기에 비례하고 주기성이 있는 왜란의 도입이 필요하다. 이를 수식으로 표현한 것이 식 4, 식 5이다.

$$y(t) = x(t) + N(t) \quad (4)$$

$$N(t) = W \times R \times F \times \sin(2\pi ft) \quad (5)$$

이때,  $x(t)$ 는 동적 시스템 모델의 계단응답,  $y(t)$ 는

수정한 동적 시스템 모델의 계단응답,  $N(t)$ 는 왜란,  $W$ 는 진동폭 비례상수,  $R$ 은 0~1 사이의 값을 갖는 임의의 수,  $F$ 는 계단입력의 크기 그리고  $f$ 는 왜란의 주기이다. 즉, 식 3에 식 5의 왜란효과를 추가한 식 4가 본 연구에서 제안한 동적 시스템 모델이 된다.

## 2. 통계학적 모델

앞에서 제안한 동적 시스템 모델과는 달리 통계학적 모델은 그림 2의 측정값들을 가장 유사하게 나타내는 값들을 표현할 수 있는 확률분포함수로서 구성하고자 한다. 그러므로 측정값들의 통계적 특성을 표 1을 참조하여 모델링하여야 한다. 예를 들어보면, 네트워크의 응답인 그림 2에서 대역폭 할당값이 1Mbps와 5Mbps인 경우의 각 전송량 데이터들의 분포도인 히스토그램을 계급값이 0.1Mbps 간격으로 구해보면 그림 5와 그림 6으로써 표현할 수 있다.

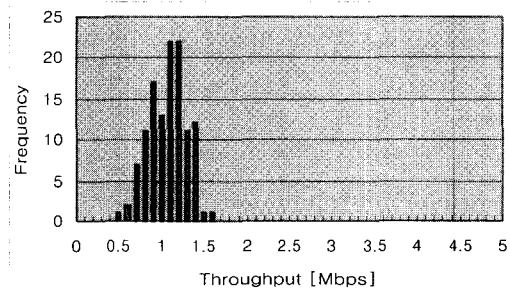


그림 5. 대역폭 할당값이 1Mbps인 경우의 히스토그램

전체 대역폭에 비해 할당값이 상대적으로 낮은 그림 5의 경우 정규분포와 비슷한 형태를 보이나 그림 6의 경우와 같이 할당값이 최대 대역폭에 가까워질수록 분포가 복잡한 형태를 보이고 있어 특정한 하나의 확률분포로 규정하기는 어렵다고 할 수 있다.

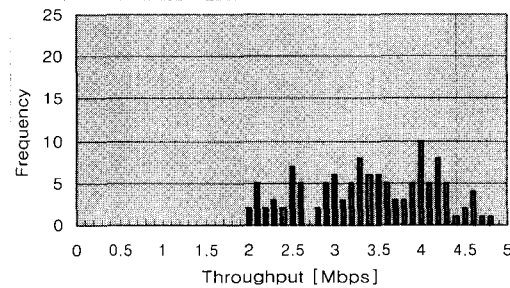


그림 6. 대역폭 할당값이 5Mbps인 경우의 히스토그램

그러므로 본 연구에서는 세 개의 정규분포의 합성 분포로서 통계학적 모델을 구성하였다. 즉 할당값이 상대적으로 낮은 경우에는 세 개의 정규분포가 서로 가깝게 위치하고, 할당값이 최대 대역폭에 가까운 경우에는 서로 멀리 위치하게 하였다.

이를 확률밀도함수의 그래프로 표현한 것이 그림 7 과 그림 8이다. 이들은 실제 네트워크의 응답에 대한 히스토그램인 그림 5, 그림 6과 유사한 경향을 보인다고 할 수 있어 모델의 타당성을 어느 정도 입증할 수 있다. 또한 이를 수식으로 표현한 것이 식 6이다.

$$P = \frac{N(\mu_1, \sigma_1) + N(\mu_2, \sigma_2) + N(\mu_3, \sigma_3)}{3} \quad (6)$$

이때,  $\mu_1 = (1-c)\mu_2$ ,  $\sigma_1 = \sigma_2/x$ 이고  $\mu_3 = (1-c)\mu_2$ ,  $\sigma_3 = \sigma_2/x$ 로 선정하였으며  $x$ 는 대역폭 할당값이며  $c$ 는 임의의 상수이며 최적화 기법에 의해 결정하였다. 그리고 식 6에서 숫자 3을 나눈 이유는 확률밀도함수의 전체 적분이 1이 되어야 하는 성질 때문이며  $\mu_2$ ,  $\sigma_2$ 는 식 1, 식 2를 따르도록 결정하였다. 여기에서  $N(\mu, \sigma)$ 는 평균이  $\mu$ 이고 표준편차가  $\sigma$ 인 정규분포를

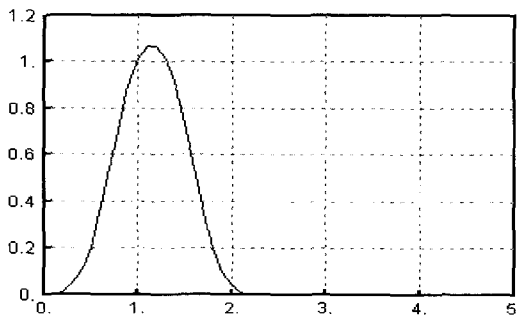


그림 7. 대역폭 할당값이 1Mbps인 경우의 통계학적 모델

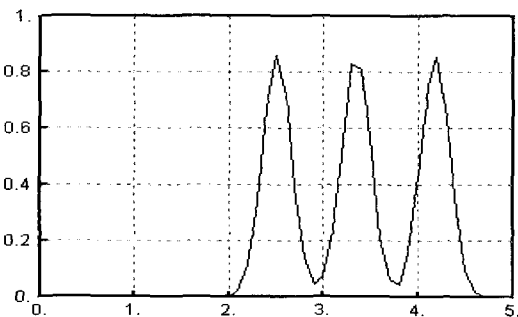


그림 8. 대역폭 할당값이 5Mbps인 경우의 통계학적 모델

따르는 확률밀도함수를 의미하며  $P$ 가 본 연구에서

제안하는 통계학적 모델을 수식으로 표현한 것이다.

## V. 성능평가

본 연구에서 제시한 두 가지 모델, 즉 동적 시스템 모델과 통계학적 모델을 결정하기 위해서는 각 모델에 사용되는 여러 인자들을 최적화해야 한다. 이를 위해서 대역폭 할당에 따른 전송률 응답의 분포인 히스토그램을 표현하는 함수를  $RH_k(x)$ 라고 두자. 이때, 첨자  $R$ 은 실제 네트워크를 의미하며  $k$ 는 대역폭 할당값을 의미한다.

모델의 히스토그램과 실제 네트워크의 응답에 대한 히스토그램과의 차이인 오차를 제공하고 이들의 합을 최소화하는 인자를 결정함으로써 모델을 최적화 하였다. 이에 따른 최적화 식은 식 7, 식 8과 같다.

$$\text{Minimize } \sum_i (RH_k(x_i) - D H_k(x_i))^2 \quad (7)$$

$$\text{Minimize } \sum_i (RH_k(x_i) - S H_k(x_i))^2 \quad (8)$$

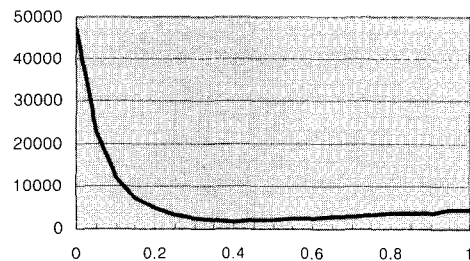


그림 9. 동적 시스템 모델의 W인자 최적화

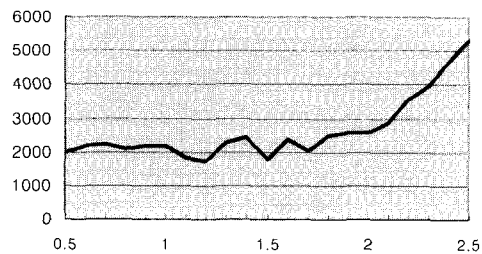


그림 10. 동적 시스템 모델의 M인자 최적화

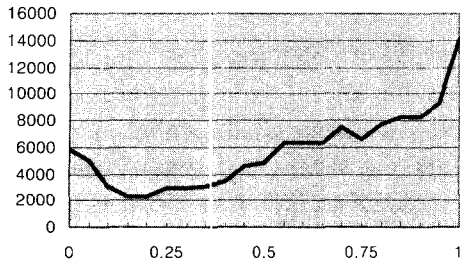


그림 11. 통계학적 모델의 c인자 최적화

이때, 첨자  $D$ 는 동적 시스템 모델,  $S$ 는 통계학적 모델을 의미한다.

식 7을 적용하여 식 3, 식 4, 와 식 5에 기술되어 있는 인자들을 결정함으로써 동적 시스템 모델을 구할 수 있다. 예를 들어 왜란의 진동폭 비례상수  $W$ 의 변화에 따른 오차들의 제곱의 합을 구하면 그림 9와 같으며, 질량  $M$ 의 변화에 따른 오차들의 제곱의 합을 구해보면 그림 10과 같이 구해진다.

그림 9와 그림 10 그리고 같은 방식에 의해 지역적인 최적값으로  $W$ 가 0.4,  $M$ 이 1.2,  $C$ 가 1.3, 그리고  $K$ 가 17이라는 인자의 값을 결정하여 동적 시스템 모델을 구성하였다.

그리고 식 8을 적용하여 통계학적 모델인 식 6을 구성하는 상수  $c$ 를 구해보면 그림 11과 같이 나타난다. 그림 11에서 지역적인 최적값으로  $c$ 를 0.2의 값으로 결정하여 통계학적 모델을 구성하였다.

그림 2와 같은 조건의 대역폭 할당값에 의해 구해진 동적 시스템 모델의 응답을 구해보면 그림 12와 같이 나타나며, 마찬가지로 구해진 통계학적 모델에 의해 얻어진 응답은 그림 13과 같이 나타난다. 이는 제안한 두 가지 모델 모두가 실제 네트워크의 응답인 그림 2와 유사함을 알 수 있다.

동적 시스템 모델의 응답인 그림 12와 통계학적 모

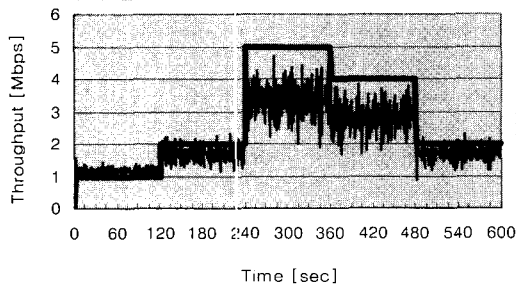


그림 12. 동적 시스템 모델의 응답

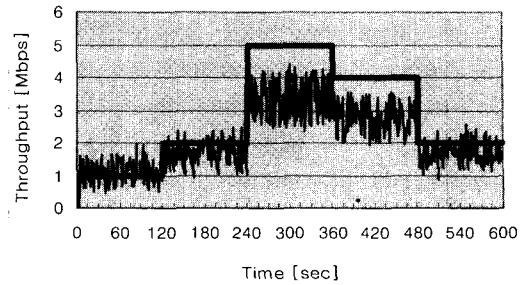


그림 13. 통계학적 모델의 응답

델의 응답인 그림 13을 실제 네트워크의 응답인 그림 2와 정성적으로 비교하기 위해서는 시계열 데이터가 아닌 통계학적 특성인 그림 5와 그림 6과 같이 히스토그램으로 비교해볼 필요가 있다.

그림 14, 그림 15는 앞에서 최적화 기법에 의해 결정된 동적 시스템 모델의 대역폭 할당에 따른 전송률 응답의 분포를 대역폭 할당값이 1Mbps와 5Mbps인 경우를 히스토그램으로 표현한 것이다.

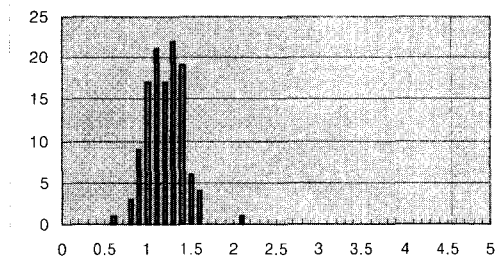


그림 14. 대역폭 할당값이 1Mbps인 경우 동적 시스템 모델의 히스토그램

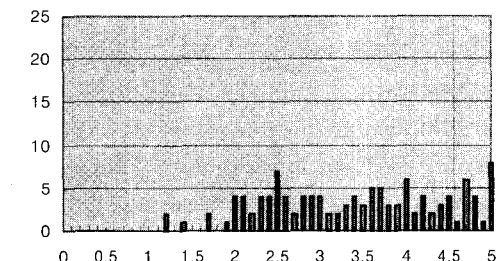


그림 15. 대역폭 할당값이 5Mbps인 경우 동적 시스템 모델의 히스토그램

마찬가지로 그림 16, 그림 17은 통계학적 모델의 대역폭 할당에 따른 전송률 응답의 분포를 대역폭 할당값이 1Mbps와 5Mbps인 경우를 히스토그램으로 표현한 것이다.

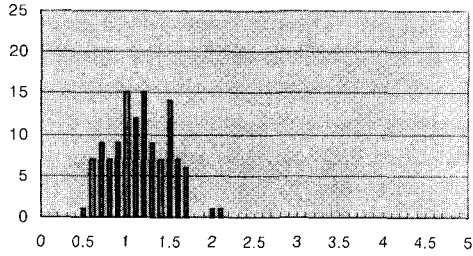


그림 16. 대역폭 할당값이 1Mbps인 경우 통계학적 모델의 히스토그램

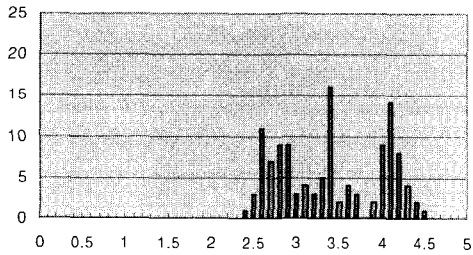


그림 17. 대역폭 할당값이 5Mbps인 경우 통계학적 모델의 히스토그램

본 연구에서 제안하여 최적화 기법으로 각 인자를 결정하여 구한 두 모델의 성능을 비교하기 위해서는 각각의 대역폭 할당값에 따른 전송률 응답의 히스토그램인 그림 14, 그림 15 그리고 그림 16, 그림 17을 식 9, 식 10을 사용하여 실제네트워크의 전송률 측정 데이터의 히스토그램인 그림 5, 그림 6과의 차이를 비교함으로써 제안된 두 모델이 얼마나 실제 네트워크와 유사한지를 비교하였다. 이를 표 2에서 살펴볼 수 있다.

$$\sum_i (RH_k(x_i) - DH_k(x_i))^2 \quad (9)$$

$$\sum_i (RH_k(x_i) - SH_k(x_i))^2 \quad (10)$$

표 2. 제안한 두 모델의 성능비교

할당값 (Mbps)	오차 제공의 합	
	동적 시스템 모델 (식 9)	통계학적 모델 (식 10)
1	426	534
2	516	506
4	516	756
5	256	470
합계	1,714	2,266
평균 정규화 오차	1.00	1.32

오차 제공의 합이 작을수록 실제 네트워크와 유사하다고 할 수 있으므로 표 2의 합계를 살펴보면 본 연구에서 제안한 두 가지 모델 중에서 동적 시스템 모델이 통계학적 모델보다 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 그리고 계량적인 비교를 위해 정규화된 평균 오차를 살펴보면 동적 시스템 모델이 통계학적 모델보다 상대적으로 약30% 정도 우수함을 알 수 있다.

그렇지만 통계학적 모델의 경우 본 연구에서는 세 개의 정규분포의 합으로서 구성하였지만 이 보다 더 합리적인 분포모델의 검토가 더 필요할 것 같으며, 또한 계산시간(computing time)에 해당하는 모델의 복잡도도 성능 비교의 대상에 포함시키는 것도 검토할 필요가 있다.

## VI. 결론

본 연구는 네트워크의 QoS를 보장하기 위해서 도입해야 하는 적응방식의 네트워크 자원 관리 구조를 구현하기 위해 가장 필수적인 적응기의 설계를 위한 네트워크의 응답특성을 구현해주는 두 가지 모델인 동적 시스템 모델과 통계학적 모델을 제안하고, 제안된 모델이 실제 네트워크의 응답 특성과 유사함을 살펴보았다.

또한 최적화 기법을 사용하여 제안된 두 가지 모델의 인자들을 결정하였으며, 구해진 두 가지 모델의 성능을 비교하기 위해 실제 네트워크의 전송률 응답 데이터에 대한 히스토그램과 제안된 모델의 응답 히스토그램의 차이인 오차들의 제곱합을 구해 그 크기를 비교함으로써 얼마나 실제 네트워크의 특성과 유사한지를 평가하였다.

그 결과로서 동적 시스템 모델이 통계학적 모델보다 우수함을 확인하였으며, 차후 이 두 가지 모델을

사용하여 적응기를 개발한 후 이를 실제 네트워크에 적용하여 QoS보장을 위한 시스템을 구현하고 이에 대한 성능을 평가하는 연구를 진행하고자 한다.

### 참 고 문 헌

[1] <http://www.ietf.org>, IETF Homepage.

[2] R. Barden, D. Clark, and S. Shenker, "Integrated Services in the Internet Architecture: An Overview", *RFC 1633*, June 1994

[3] S. Brake, et. Al., "An Architecture for Differentiated Services", *RFC 2475*, Dec. 1998

[4] <http://www.engin.umich.edu/group/ctm/PID/PID.html>

[5] <http://snafu.freedom.org/linux2.2/iproute-notes.html>

[6] Hilier, H.S., G.J. Lieberman, *Introduction to Operation Research 5th ed.*, McGraw-Hill, 1990

[7] John J. Kinney, *Probability: An Introduction with Statistical Application*, John Wiley & Sons, Inc., 1997

[8] K. Ogata, *Modern Control Engineering 3rd ed.*, Prentice-Hall, 1997

[9] J. Padhye, V. Firoiu, D. Towsley, and J. Kurose, "Modeling TCP Throughput: A Simple Model and its Empirical Validation", *Proceeding of SIGCOMM'98*, 1988

[10] J. Padhye, J. Kurose, D. Towsley, and R. Koodli, "TCP-Friendly Rate Adjustment Protocol for Continuous Media Flows over Best Effort Networks", *UMASS CMPSCI Technical Report*, 1999

[11] C.V. Hollot, V. Misra, D. Towsley and W. Gong, "A control theoretic analysis of RED", *Proceedings of IEEE INFOCOM' 2001.*, Vol. 3, pp. 1510-1519, 2001

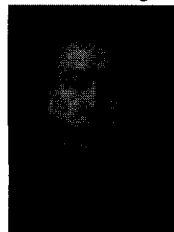
[12] C.V. Hollot, V. Misra, D. Towsley and W. Gong, "On designing improved controllers for AQM routers supporting TCP flows", *Proceedings of IEEE INFOCOM' 2001.*, Vol. 3, pp. 1726-1734, 2001

[13] Jitendra Padhye, Victor Firoiu, "Modeling TCP Throughput: A Simple Model and its Empirical Validation", *ACM SIGCOMM*, 1988

[14] Srinivasan Keshav, "A Control-Theoretic Approach to Flow Control", *Proceedings of the conference on Communications architecture & protocols*, p. 3~15, 1993

박 종 진(Jong-Jin Park)

정회원

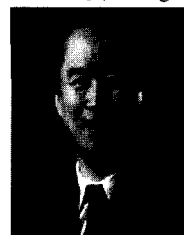


1984년 2월 : 부산대학교 기계공학과 졸업  
 1986년 2월 : 부산대학교 기계공학과 석사  
 1999년 2월 : 상명대학교 정보통신대학원 정보통신학과 석사  
 2003년 3월~현재 : 한림정보산업대 컴퓨터응용과 초빙교수, 숭실대학교 컴퓨터학과 박사과정

<주관심분야> 이동통신, QoS, 성능분석, Mobile IP

문 영 성(Young-Song Mun)

정회원



1983년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업  
 1986년 6월 : 알버타대학교 전자공학과 석사  
 1993년 8월 : 텍사스대학교 컴퓨터학과 박사  
 1994년 3월~현재 : 숭실대학교

컴퓨터학부 부교수

<주관심분야> Mobile IP, IPv6, GRID, QoS, 보안