

# 네트워크 대역폭 할당에 따른 전송률 응답특성을 구현해주는 모델링 기법

박종진\*, 김창남\*, 노민기\*\*, 문영성\*

\*승실대학교 컴퓨터학과

\*\*한국과학기술정보연구원

e-mail : spel@sunny.ssu.ac.kr, mun@computing.ssu.ac.kr

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

Jongjin Park\*, Changnam Kim\*, Mingi No\*\*, Youngsong Mun\*

\*School of Computing, Soongsil University

\*\*Korea Institute of Science and Technology Information

### 요 약

네트워크의 QoS를 지원하기 위해서는 자원 관리에 적응제어구조의 도입이 필요하다. 이를 위해서는 사전에 네트워크의 대역폭 할당에 따른 전송률 응답특성을 구현하는 모델의 개발이 필수적이며 이 모델을 통하여 적응제어구조의 최적화를 진행해야 한다. 본 연구에서는 두 가지 방식의 모델을 제안하였다. 첫째는 동적 시스템 모델이며 다른 하나는 통계적 모델이다. 동적 시스템 모델은 네트워크의 동적 특성을 고려하여 도입하였으며, 통계적 모델은 측정된 전송률 데이터의 분포를 고려하여 도입하였다. 제시된 두 모델의 인자 결정을 위해 최적화 기법을 사용하였으며, 결과적으로 제시된 두 모델이 실제 네트워크의 동작과 유사함을 살펴보았다.

### 1. 서론

1) 최근 보편화된 초고속 인터넷을 기반으로 한 각종 인터넷 서비스가 활성화되면서 보안, 이동환경의 지원 및 차별화된 서비스 등이 이슈가 되고 있으며 이를 지원하기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다.

인터넷의 표준화 기구인 IETF [1]에서는 기존의 인터넷과 차세대 인터넷 환경에서 QoS 를 제공하는 방법에 대하여 표준화 작업을 진행하고 있다. 특히 IntServ (Integrated Services) 모델 [2], DiffServ (Differentiated Services) 모델 [3] 등은 IETF가 제안한 대표적인 인터넷 환경에서 QoS를 지원하는 방안이다.

그러나 지금까지의 QoS를 지원하는 방식은 대부분 자원의 할당(allocation)에 의한 방식으로 시시각각 변화하는 네트워크의 동적인 상황을 반영하기 어려운 정적인 시스템이다. 그러므로 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 자원의 정적인 할당뿐만 아니라 동적인 상황 변화에 대처하기 위해 보다 적극적으로

할당된 자원을 유지하기 위한 방안이 새롭게 모색되어야 한다.

본 연구에서는 네트워크 환경에서 QoS를 지원하기 위한 적응적인 시스템을 구성하는데 필수적인 네트워크의 응답특성을 모사하는 모델을 제안하고자 한다.

### 2. QoS 지원 구조 및 네트워크 응답 특성 분석

네트워크의 QoS를 지원하기 위한 구조로는 자원의 할당(allocation)에 의한 정적인 방식과 적응(adaptation)에 의한 동적인 방식으로 구분할 수 있다.

할당방식은 한번의 할당에 의해 그 시스템이 유지되지만 상황의 변화나 왜란에 의해 그 응답이 원하는 수준을 유지하기 힘든 반면, 적응방식은 현재의 상태를 인식(sensing)하여 원하는 수준인 할당값과의 차이가 발생할 경우 이를 보완하기 위해 지속적인 자원관리(feedback)를 행하는 방식이다. 이러한 역할을 수행하는 것이 적응기(adapter) 또는 제어기(controller)라고 한다.

네트워크의 QoS를 보장하기 위한 적절한 적응기를 설계하기 위해서 보통 고전적인 제어이론을 도입하며, 일반적으로 PID [4] 제어방식을 많이 사용한

1) 본 연구는 한국과학기술정보연구원(KISTI)의 “국가그리드 기반 구축 및 초고속 응용 지원 사업” 관련 위탁연구과제의 일환으로 수행되었음

다. 이러한 제어이론을 적용하기 위해서는 먼저 제어대상인 네트워크의 특성분석이 선행되어야 한다.

본 연구에서는 제어대상으로서 할당과 적용 방식의 네트워크 모델(Network Model)을 분석하여 네트워크의 특성을 모사하는 이론적인 모델을 제안하여 차후 이 모델을 대상으로 적용방식의 QoS지원구조를 설계한 다음 실제 네트워크에 적용하고자 한다.

네트워크의 QoS를 지원하기 위해서 적용방식에 사용되는 적응기를 설계해야 한다. 이를 위해서는 우선 적응의 대상인 네트워크의 대역폭 할당에 따른 응답을 모사하는 모델을 구성하고 이를 대상으로 적응기를 적용하여 그 성능을 최적화한 후 실제 네트워크에 적용하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 네트워크의 응답을 모사하는 모델을 구성하기 위해서 네트워크를 대상으로 할당방식에 따라 대역폭을 할당한 다음 TCP 트래픽을 발생시켜 그 응답인 전송률을 측정된 후, 측정된 전송률의 동적인 특성을 분석하였다.

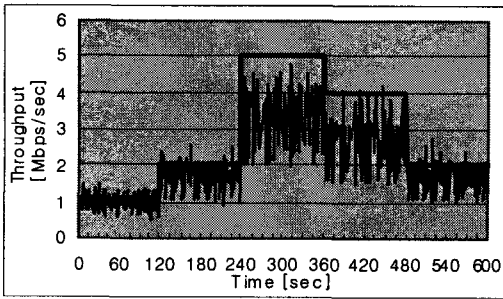


그림 1 네트워크의 대역폭 할당에 의한 응답 특성

그림1은 리눅스(kernel 2.2 이상) 운영체제에서 제공되는 트래픽 제어 모듈인 tc [5]를 사용하여 특정 호스트로 전송되는 TCP 트래픽 데이터의 대역폭을 조절하면서 그에 따른 응답(전송률)을 살펴본 것이다. 측정값을 살펴보면 우선 할당값에 비해 매우 불안정하게 나타남을 볼 수 있다. 이는 시간의 변화에 따른 전송량의 변화가 매우 동적임을 보여주는 것이다. 또한 측정값의 평균이 최대 대역폭(여기서는 10Mbps LAN)에 비해 상대적으로 낮은 경우에는 어느 정도 할당값에 접근하지만 할당값이 최대 대역폭에 가까워질수록 할당값에 비례한 오차를 발생하고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 내용을 통계적으로 정리하여 표1에 나타내었다.

표 1 네트워크의 할당에 의한 응답특성 요약

| 시간 (sec) | 할당값 (Mbps) | 평균   | 표준편차 | 분포범위 (Mbps) |
|----------|------------|------|------|-------------|
| 0~120    | 1          | 1.02 | 0.21 | 약0.5        |
| 120~240  | 2          | 1.79 | 0.39 | 약1          |
| 240~360  | 5          | 3.36 | 0.73 | 약2          |

|         |   |      |      |      |
|---------|---|------|------|------|
| 360~480 | 4 | 2.70 | 0.67 | 약1.5 |
| 480~600 | 2 | 1.80 | 0.40 | 약1   |

표1의 데이터를 수학적 분석 방법인 선형회귀 분석 [6]을 통해 다음과 같이 식1, 2를 구할 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 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.

### 3. 제안한 모델

앞에서 분석한 네트워크의 대역폭 할당에 따른 응답특성을 모사하는 모델을 구현하기 위해서 본 연구에서는 두 가지 방식을 제안하고자 한다. 첫 번째 방식은 전송률의 동적인 특성을 고려한 동적 시스템 모델이며, 두 번째 방식은 할당에 따른 전송량의 분포를 고려한 통계학적 모델이다.

#### 3.1 동적 시스템 모델

일반적으로 동적 시스템 모델은 제어공학에서 동적인 시스템의 특성을 분석하는데 사용되는 모델이다. 네트워크에 있어서 대역폭의 할당은 질량-스프링-댐퍼로 구성된 기계계(mechanical system)의 동적 시스템 모델에서 외력  $F$ 가 계단입력(step input)으로 가해지는 것과 같다고 볼 수 있다. 초기 상태를 정적인 상태라고 가정하고 외력  $F$ 가 계단입력으로 가해지는 경우 미분방정식으로 표현된 동적 시스템 모델인 식3을 상미분방정식의 수치해석 기법인 오일러방식(Euler method)으로 풀면 그림2와 같이 질량의 움직임인  $x(t)$ 를 구할 수 있다.

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

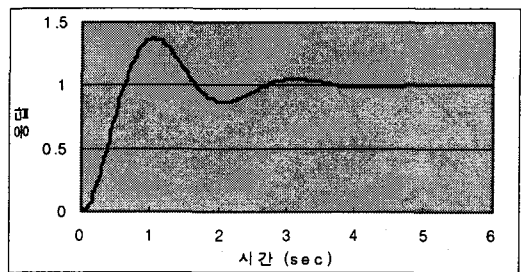


그림 2 동적 시스템 모델의 스텝응답

그림2에서 나타난 동적 시스템 모델의 계단응답(step response)은 질량, 댐퍼, 및 스프링 상수에 따라 서로 다른 동적 특성을 나타내지만 정상적인 경우 일정시간이 지나면 그림2와 같이 오차는 0이 되

어 결국에는 입력값에 수렴하게 된다. 이 상태를 정상상태(steady state)라고 한다.

그러나 그림2는 그림1에서 살펴본 대역폭 할당에 따른 응답으로 측정된 전송률의 변화와는 매우 다른 특성을 보이고 있어 이를 그대로 네트워크의 특성을 나타내는 모델로 사용할 수 없다. 그러므로 실제 네트워크와 같은 특성을 나타내기 위해서는 동적 시스템 모델의 응답에 계단입력의 크기에 비례하고 주기성이 있는 왜란의 도입이 필요하다. 이를 수식으로 표현한 것이 식4, 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, 식3에 식4, 5의 효과를 추가한 것이 본 연구에서 제안한 동적 시스템 모델이 된다.

### 3.2 통계학적 모델

앞에서 제안한 동적 시스템 모델과는 달리 통계학적 모델은 그림1의 측정값들을 가장 유사하게 모사하는 값들을 표현할 수 있는 확률분포함수로서 구성하고자 한다. 그러므로 측정값들의 통계적 특성인 표1을 참조하여 모델링하여야 한다.

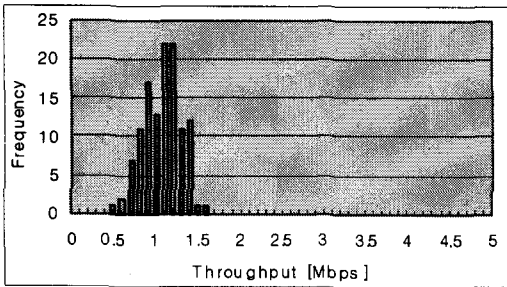


그림 3 할당값이 1Mbps인 경우 히스토그램

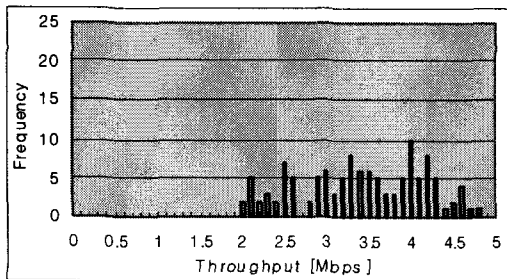


그림 4 할당값이 5Mbps인 경우 히스토그램

전체 대역폭에 비해 할당값이 상대적으로 낮은 그림3의 경우 정규분포와 비슷한 형태를 보이나 그림4의 경우와 같이 할당값이 최대 대역폭에 가까워

질수록 분포가 복잡한 형태를 보이고 있어 특정한 하나의 확률분포로 규정하기 어렵다고 할 수 있다.

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

이를 수식으로 표현한 것이 식6이다.

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

$$\text{이때, } \mu_1 = \mu_2 - c \times \mu_2, \quad \mu_3 = \mu_2 + c \times \mu_3,$$

$\sigma_1 = \frac{\sigma_2}{x}, \quad \sigma_3 = \frac{\sigma_2}{x}$  로 선정하였으며  $x$ 는 대역폭 할당값이며  $c$ 는 임의의 상수이며 최적화 기법에 의해 결정한다. 그리고 식6에서 3을 나누는 이유는 확률 밀도함수의 전체 적분이 1이 되어야 하는 성질 때문이다. 여기에서  $N(\mu, \sigma)$ 는 평균이  $\mu$ 이고 표준편차가  $\sigma$ 인 정규분포를 따르는 확률밀도 함수를 의미하며  $P$ 가 본 연구에서 제안하는 통계학적 모델을 수식으로 표현한 것이다.

### 4. 성능 평가

본 연구에서 제시한 두 가지 모델, 즉 동적 시스템 모델과 통계학적 모델을 결정하기 위해서는 각 모델에 사용되는 여러 인자들을 최적화해야 한다. 이를 위해서 실제 응답의 분포인 히스토그램을 표현하는  $RH_k(x)$ 함수를 라고 두자. 이때,  $R$ 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 최적화하였다. 이에 따른 최적화 식은 식7, 8과 같다.

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

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

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

식7, 8을 이용하여 구해진 동적 시스템 모델의 응답을 구해보면 그림5와 같이 나타나며, 마찬가지로 구해진 통계학적 모델에 의해 얻어진 응답은 그림6과 같이 나타난다. 이는 제안한 두 가지 모델 모두가 실제네트워크의 응답인 그림1과 유사함을 알 수 있다.

그러나 동적 시스템 모델의 응답인 그림5와 통계학적 모델의 응답인 그림6을 실제 네트워크의 응답인 그림1과 정상적으로 비교하기 위해서는 시계열 데이터가 아닌 통계학적 특성인 그림3, 4과 같은 히스토그램으로 비교해볼 필요가 있다.

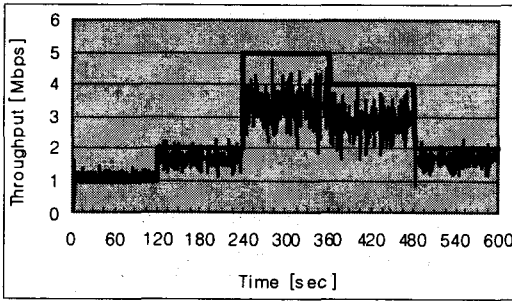


그림 5 동적 시스템 모델의 응답

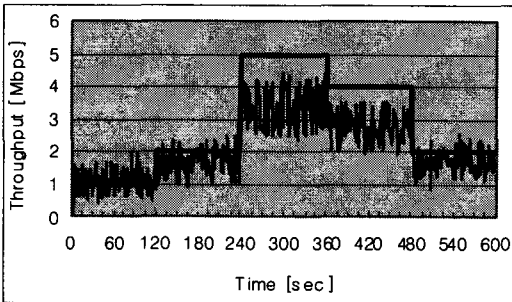


그림 6 통계학적 모델의 응답

본 연구에서 제안하여 최적화 기법으로 각 인자를 결정하여 구한 두 모델의 성능을 비교하기 위해서는 앞에서 최적화 기법에 의해 결정된 동적 시스템 모델의 대역폭 할당에 따른 전송률 응답의 분포를 대역폭 할당값이 1Mbps와 5Mbps인 경우와 통계학적 모델의 대역폭 할당에 따른 전송률 응답의 분포를 대역폭 할당값이 1Mbps와 5Mbps인 경우를 식 9, 10을 사용하여 실제네트워크의 전송률 측정 데이터의 히스토그램인 그림3, 4와의 차이를 비교함으로써 제안된 두 모델이 얼마나 실제 네트워크와 유사한지를 비교하였다. 이를 표2에서 살펴볼 수 있다.

$$\sum_i ({}_R H_k(x_i) - {}_D H_k(x_i))^2 \quad (9)$$

$$\sum_i ({}_R H_k(x_i) - {}_S H_k(x_i))^2 \quad (10)$$

표 2 제안한 두 모델의 성능 비교

| 할당값 (Mbps) | 오차 제곱의 합      |              |
|------------|---------------|--------------|
|            | 동적 시스템 모델(식9) | 통계학적 모델(식10) |
| 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 제곱의 합이 작을수록 실제 네트워크와 유사하므로 표2의 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 모델의 검토가 더 필요할 것 같으며, 또한 모델의 계산시간(computing time)도 성능 비교의 대상에 포함시키는 것도 검토할 필요가 있다.

### 5. 결론

본 연구는 네트워크의 QoS를 보장하기 위해서 도입해야 하는 적응방식의 네트워크 자원 관리 구조를 구현하기 위해 가장 필수적인 적응기의 설계를 위한 네트워크의 응답특성을 모사하는 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 결과로 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.

### 참고문헌

- [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 5<sup>th</sup> ed.*, McGraw-Hill, 1990.
- [7] John J. Kinney, *Probability: An Introduction with Statistical Application*, John Wiley & Sons, Inc., 1997.