

예측 기반 QoS 라우팅 성능 향상 기법에 관한 연구

정희원 주미리*, 김우년*, 조강홍**

Performance Improvement Algorithms for Prediction-based QoS Routing

Mi Ri Joo*, Woo Nyon Kim*, Kang Hong Cho** *Regular Member*

요약

본 논문에서는 기존의 QoS 라우팅 알고리즘이 가지고 있는 문제점인 네트워크 상태 정보 오버헤드를 최소화 하면서 네트워크 상태의 정확성을 유지하기 위한 예측 기반 QoS 라우팅 기법인 PSS (Prediction Safety-Shortest) 라우팅 알고리즘 모델을 제안하였다. QoS 라우팅의 상태 정보 갱신 주기에 따른 가용 대역폭의 부정확한 정보를 극복하기 위하여 네트워크 상태를 적용할 수 있는 시계열 예측 알고리즘을 적용하였고, 알고리즘의 성능 평가를 위하여 실제 네트워크와 유사한 MCI 네트워크상에서 시뮬레이션 수행하였으며 라우팅 실패율, 라우팅 대역폭 실패율, 그리고 라우팅 부정확율의 비교를 통하여 본 알고리즘의 우수성을 확인하였다.

Key Words : QoS Routing, Prediction, flow, Routing

ABSTRACT

This paper proposes the prediction based QoS routing algorithm, PSS(Prediction Safety-Shortest) algorithm that minimizes network state information overhead and presumes more accurate knowledge of the present state of all the links within the network. We apply time series model to the available bandwidth prediction to overcome inaccurate information of the existing QoS routing algorithms. We have evaluated the performance of the proposed model and the existing algorithms on MCI networks, it thus appears that we have verified the performance of this algorithm.

I. 서론

최근 컴퓨터 기술의 급속한 발전으로 인해 기존의 텍스트 위주의 사용자 환경에서 벗어나 이미지, 그래픽, 오디오 및 비디오 데이터 등을 제공하는 멀티미디어 사용자 환경으로 변화하고 있다. 이런 멀티미디어 서비스의 도입에 따라 화상 전송과 같은 넓은 대역폭을 요구하는 서비스, 더 나아가 영상, 방송과 같은 높은 대역폭과 실시간 전송을 요구하는 서비스가 많아지고 있다.

다양한 QoS 요구 조건을 가지는 사용자 트래픽

을 적정 경로를 통해 목적지에 전달하기 위해서는 QoS 라우팅의 사용이 필수적이다. QoS 라우팅이란 적정 경로를 동적으로 결정하는 라우팅이라고 정의할 수 있으며, 여기서 적정 경로란 사용자의 플로우(flow)가 요구하는 QoS를 지원할 수 있으면서 서비스 제공자나 경로 사용 비용 등과 같은 정책 제약에 위반되지 않는 경로를 의미한다^[6]. QoS 라우팅은 QoS를 요구하는 플로우에 대하여 이러한 적정 경로를 찾아주되 네트워크의 자원 활용률을 극대화하고, 네트워크 엔지니어링과 네트워크에 발생하는 트래픽 부하 간에 일시적인 불일치가 발생하는 경

* 국가보안기술 연구소 (mrjoo@etri.re.kr),
논문번호 : KICS2005-09-380, 접수일자 : 2005년 9월 16일

** 동양공업전문대학 (khcho@dongyang.ac.kr)

우의 성능 저하를 최소화 하는 것을 목적으로 한다⁶⁾. 즉, 사용자의 플로우의 QoS 요구를 만족시킬 수 있는 적정 경로를 선택하되 그 플로우에 의해 소모 되는 네트워크 자원의 양을 절감하고 네트워크상의 부하 분포를 균등하도록 조절함으로써 네트워크 자원 활용률을 극대화해야 한다. 따라서 라우팅 시 고려되어야 할 가장 중요한 내용은 사용자의 QoS 요구 사항에 대한 최적 경로를 선택하는 것과 네트워크 자원을 고르게 활용하여 극대화하는 것이다.

본 논문에서는 이와 같은 목적으로 제시된 기존의 QoS 라우팅 알고리즘들이 가지는 문제점인 네트워크 상태 정보 갱신 주기에 따른 정보의 부정확성을 극복하고 네트워크 상태의 정확성을 최대한 유지하여 네트워크상의 자원 활용률과 라우팅 성능을 향상시키는 예측 기반 QoS 라우팅 알고리즘을 제시하고자 한다.

II. QoS 라우팅

QoS 라우팅에서 적정 경로를 선택할 때 고려되어야 할 가장 중요한 내용은 크게 두 가지로 대역폭, 가용 대역폭, 지연 등과 같은 기준이 되는 사용자의 QoS 요구 사항과 네트워크상의 부하를 균등하게 제공함으로써 네트워크의 자원 활용률을 극대화시킬 수 있는 네트워크 자원 활용이다.

결과적으로 QoS 라우팅 알고리즘은 사용자의 QoS 요구를 만족시키면서, 네트워크 자원 사용을 최소화하는 것을 목적으로 한다. 이와 관련해서 기존에 다양한 연구가 진행되었고, 이미 제시된 QoS 라우팅 알고리즘은 다음과 같다^{11)~13)}.

- **Linear** 알고리즘 : 어떤 경로를 구성하는 모든 링크의 비용의 합이 가장 낮은 경로를 선택한다. 예를 들어, 출발지 x 와 목적지 y 사이의 경로 P_{xy} 를 구성하는 링크를 $e_i (x \leq i \leq y)$ 라고 할 때, 이 링크 e_i 의 비용 $Cost_i$ 는 사용대역폭 U_i 와 링크 대역폭 C_i 의 비율 $\frac{U_i}{C_i}$ 로 계산된다. 경로 P_{xy} 의 비용 $Cost_{xy}$ 는 경로를 구성하고 있는 각 링크의 비용의 합인 $\sum_{i=1}^n Cost_i$ 이다.
- **Exponential** 알고리즘 : 어떤 경로를 구성하는 모든 링크의 지수 함수를 기준으로 한 비용을 합하여 가장 낮은 비용을 가지는 경로를 선택한다. 이 경우에는 출발지 x 와 목적지 y 사이

의 경로 P_{xy} 를 구성하는 링크를 e_i 라고 할 때, 링크 e_i 의 비용 $Cost_i$ 는 사용 대역폭 U_i 와 링크 대역폭 C_i 의 비율의 지수 함수인 $a^{\frac{U_i}{C_i}}$ 로서 계산된다. 여기서 a 는 상수이다. 경로 P_{xy} 의 비용 $Cost_{xy}$ 는 경로를 구성하고 있는 각 링크의 비용의 합 $\sum_{i=1}^n Cost_i$ 이다.

- **Widest-shortest** 알고리즘 : 모든 적정 경로들 중에 홉 카운트가 가장 적은 경로를 선택한다. 만약 동일한 홉 카운트를 가지는 경로가 여러 개 존재한다면, 이들 중 최대 가용 대역폭을 가지는 경로를 선택한다. 만약 동일한 대역폭을 가지는 경로가 여러 개 존재할 경우에는 랜덤하게 하나의 경로를 선택한다.
- **Shortest-widest** 알고리즘 : 모든 적정 경로들 중에 최대 가용 대역폭을 가지는 경로를 선택한다. 만약 동일한 대역폭을 가지는 경로가 여러 개 존재할 경우에는, 최소 홉 카운트를 가지는 경로를 선택한다. 만약 동일한 홉 카운트를 가지는 경로가 여러 개 존재할 경우에는 랜덤하게 하나의 경로를 선택한다.
- **Shortest-distance** 알고리즘 : 모든 적정 경로들 중에 가장 짧은 거리를 가지는 경로를 선택한다. 이 알고리즘은 다음과 같이 정의된다. 여기서, R_i 는 링크 i 의 가용 대역폭이다.

$$dist(p) = \sum_{i=1}^k \frac{1}{R_i}$$

이와 같이 현재 제시된 QoS 라우팅 알고리즘들은 기본적으로 링크의 대역폭 또는 가용 대역폭을 기본으로 그 비용을 계산하고 이를 바탕으로 라우팅을 수행한다. 링크의 가용 대역폭을 정확하게 파악하기 위해서는 이와 같은 네트워크 상태 정보를 빈번하게 주고받아야 정확한 라우팅을 수행할 수 있지만, 이는 오히려 네트워크 트래픽 오버헤드를 크게 증가시키게 된다. 기 제시된 QoS 알고리즘은 모두 이와 같은 공통된 문제를 가지고 있다^{11)~13)}.

III. 제안하는 예측 기반 QoS 라우팅 알고리즘

QoS 라우팅은 사용자의 QoS 만족시키는 적정 경로를 찾음과 동시에 네트워크의 자원 활용률을 극대화하는 것을 목적으로 한다. 사용자의 QoS를 만족시키기 위해서는 동적으로 변하는 네트워크에

상태 정보들을 파악하는 것이 필요하다. 이를 위해 네트워크를 구성하는 각 노드들은 주기적으로 또는 어떤 조건에 일치하면 네트워크 상태 정보를 교환하게 된다. 네트워크 상태 정보를 교환하는 방법은 상대적인 가용 자원 변화율 또는 임계치 기반 갱신 유발 정책, 절대적인 가용 자원 변화 혹은 클래스 기반 갱신 유발 정책, 그리고 타이머 기반 갱신 유발 정책 등이 있다^[6]. 이런 방법들은 모두 기본적으로 네트워크 상태 정보 전달을 위한 오버헤드를 최소화하면서 네트워크 상태 정보의 정확성을 높이고자 한다. 경로 선택을 위해서 가장 최근에 받은 네트워크의 상태 정보를 이용하게 되는데 시간이 지남에 따라 네트워크 상태는 계속적으로 변함으로 그 정확성이 떨어지게 된다. 이와 같이 정확성이 떨어지는 정보를 기준으로 경로 선택을 할 경우에 그 성능이 떨어져 사용자의 QoS를 만족시키지 못하게 된다. 즉, 네트워크의 정확한 상태 정보는 QoS 라우팅의 성능에 가장 큰 영향을 미치기 때문이다.

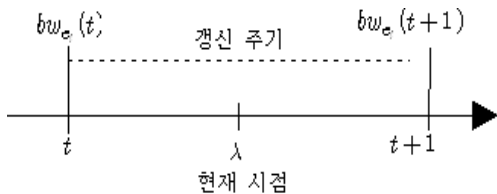


그림 1. 상태 정보 갱신

그림 1에서 보는 바와 같이 어떤 링크 e_i 에 대한 가용 대역폭을 bw_{e_i} 라고 하고 어떤 라우터 v_i 에서 이 정보를 마지막으로 수신한 시점을 t 라고 할 경우에 이 링크 e_i 의 가용 대역폭을 $bw_{e_i}(t)$ 라고 하자. 현재 시점을 λ 라고 하면 다음 $t+1$ 시점의 가용 대역폭 $bw_{e_i}(t+1)$ 이 전송될 때까지 가장 최근의 상태 정보를 이용하여 경로 선택을 수행하게 된다. 그러나 링크 e_i 의 가용 대역폭은 빈번하게 변경되기 때문에 시간이 지날수록 정확한 적정 경로 선택이 어려워지므로 경로 선택 성능이 떨어지게 된다. 이를 극복하기 위해 여기서 가용 대역폭 예측값 $\widehat{bw}_{e_i}(t+1)$ 를 계산하는데 네트워크 트래픽 예측에 많이 사용되고 계산의 복잡성이 높지 않은 AR (Autoregressive Model) 을 사용하였다^{[4][5]}. 가용 대역폭에 대한 일반 p 차 AR 모형은 시계열 자체에 대한 회귀 형태를 취하는 모형으로 다음과 같이 표현된다^[8].

$$\begin{aligned}
 bw_{e_i}(t) &= \phi_1 bw_{e_i}(t-1) + \dots + \phi_p bw_{e_i}(t-p) + a_t \\
 &= \sum_{j=1}^p \phi_j bw_{e_i}(t-j) + a_t
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서 a_t 는 t 시점의 오차로서 평균 0과 분산 σ_a^2 을 가지는 독립이고 동일한 분포(iid: independent, identically distributed)의 확률 변수이고, ϕ_j 는 자기회기 모형(autoregressive)의 모수이다. 즉, t 시점에서 가용 대역폭 $bw_{e_i}(t)$ 는 p 개의 가장 가까운 과거 선로 이용률 데이터들과 이 데이터들로 설명되지 않는 오차항인 백색 잡음 a_t 와의 선형결합이다. 이 모형을 통하여 선시차 l 의 가용 대역폭 예측값을 계산할 수 있다. 시점이 t 이고 선시차가 l 인 가용 대역폭 $bw_{e_i}(t)$ 의 최소 평균제곱오차 예측의 일반식은

$$\widehat{bw}_{e_i}(l) = E\{bw_{e_i}(t+l) \mid bw_{e_i}(t), bw_{e_i}(t-1), \dots\}$$

이며, 이 때 AR(p) 모형을 통한 선시차 l 의 예측식은

$$\widehat{bw}_{e_i}(t+l) = \sum_{j=0}^{p-1} \phi_j bw_{e_i}(t-j)
 \tag{2}$$

이다. 여기서 예측 에러는

$$Error_{e_i}(t+l) = bw_{e_i}(t+l) - \widehat{bw}_{e_i}(t+l)$$

이므로, 위의 식을 통해 이 예측 에러를 계산하면

$$Error_{e_i}(t+l) = \sum_{j=0}^{l-1} \phi_j bw_{e_i}(t+l-j)
 \tag{3}$$

이다. 따라서, 가장 최근에 받은 링크 e_i 의 가용 대역폭을 $bw_{e_i}(t)$ 라고 할 때 다음 시점인 $t+1$ 의 가용 대역폭 예측값 $\widehat{bw}_{e_i}(t+1)$ 의 범위는

$$\begin{aligned}
 \widehat{bw}_{e_i}(t+1)_{lower} &\leq \widehat{bw}_{e_i}(t+1) \leq \widehat{bw}_{e_i}(t+1)_{upper} \\
 \widehat{bw}_{e_i}(t+1)_{lower} &= \widehat{bw}_{e_i}(t+1) - N_{\frac{\alpha}{2}} \sigma \\
 \widehat{bw}_{e_i}(t+1)_{upper} &= \widehat{bw}_{e_i}(t+1) + N_{\frac{\alpha}{2}} \sigma
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

이다. 여기서, σ 는 표준편차이고, $N_{\frac{\alpha}{2}}$ 는 $P(N >$

$N_{\frac{\alpha}{2}}) = \frac{\alpha}{2}$ 인 표준정규분포값이다^[8].

본 논문에서 제시하는 PSS (Prediction Safety-Shortest) 라우팅 알고리즘은 링크의 가용 대역폭과 가용 대역폭 예측값을 $[t, t + 1]$ 에서 링크가 변할 수 있는 가용 대역폭 범위로 고려하여 사용자가 요구하는 플로우의 대역폭을 받아들일 수 있는지를 확률 값으로 계산하여 최적 경로를 선택하는 방법이다. 여기서 Safety는 요구된 대역폭의 값을 기준으로 하여 링크의 대역폭 값이 얼마나 사용 가능할지를 확률값으로 할당한 것을 의미한다. 따라서 이 Safety 값이 큰 것을 선택하게 된다.

먼저 시점 t 에서 어떤 링크 e_i 의 가용 대역폭 $bw_{e_i}(t)$ 와 가용 대역폭 예측값 $\widehat{bw}_{e_i}(t+1)$ 을 $[t, t + 1]$ 에서 링크가 변할 수 있는 가용 대역폭 범위로 고려한다. 이 때 사용자가 요구하는 플로우의 대역폭을 bw_{req} 라고 하면 이 링크에서 bw_{req} 는 다음의 3가지 조건에 놓이게 된다.

$$1) bw_{req} \geq \max \{ bw_{e_i}(t), \widehat{bw}_{e_i}(t+1) \} \quad (5)$$

사용자 플로우의 요청 대역폭이 예측 값을 기반으로 한 현재 링크의 가용 대역폭 범위를 초과하는 경우로 이와 같은 경우에는 이 링크에서 요청 대역폭을 받아들일 수 있는 확률 값 $S_{e_i}(t)$ 는 0 이다.

$$2) bw_{req} \leq \min \{ bw_{e_i}(t), \widehat{bw}_{e_i}(t+1) \} \quad (6)$$

사용자 플로우의 요청 대역폭이 예측 값을 기반으로 한 현재 링크의 가용 대역폭 범위의 미만인 경우로 이와 같은 경우에는 이 링크에서 요청 대역폭을 받아들일 수 있는 확률 값 $S_{e_i}(t)$ 는 1 이 된다.

$$3) \begin{cases} \min \{ bw_{e_i}(t), \widehat{bw}_{e_i}(t+1) \} < \\ bw_{req} < \max \{ bw_{e_i}(t), \widehat{bw}_{e_i}(t+1) \} \end{cases} \quad (7)$$

사용자의 플로우의 요청 대역폭이 예측 값을 기반으로 한 현재 링크의 가용 대역폭 범위의 사이에 있는 경우로 이 경우에는 다음의 식을 통하여 확률 값으로 계산된다.

$$\begin{aligned} b_{e_i}(t)_{upper} &= \max \{ bw_{e_i}(t), \widehat{bw}_{e_i}(t+1) \}, \\ b_{e_i}(t)_{low} &= \min \{ bw_{e_i}(t), \widehat{bw}_{e_i}(t+1) \} \end{aligned} \quad (8)$$

이라고 하면, 이 링크에서 요청 대역폭을 받아들일 수 있는 확률 값은 식 (9)와 같고, 이 경우에 링크

$\{e_1, e_2, \dots, e_i\}$ 들로 구성된 어떤 경로 P_m 의 비용은 식 (10)과 같다.

$$S_{e_i}(t) = \frac{bw_{e_i}(t)_{upper} - bw_{req}}{bw_{e_i}(t)_{upper} - bw_{e_i}(t)_{low}} \quad (9)$$

$$Cost_{safty}(P_m) = \sum_{e_i \in P_m} S_{e_i}(t) \quad (10)$$

따라서 이 적정 경로들 중 가장 높은 비용 즉, 가장 높은 확률을 가지는 경로를 선택한다.

$$Path\ Selection(P_m) = \max \left\{ \sum_{e_i \in P_m} S_{e_i}(t) \right\} \quad (11)$$

IV. 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 환경

그림 2는 시뮬레이션을 위해 사용된 MCI 네트워크 토폴로지로 MCI 네트워크 토폴로지는 미국의 실제 백본 네트워크와 가장 유사하게 만들어진 환경으로 기존 제안 알고리즘들이 성능 평가를 위해 수행한 대표적인 시뮬레이션 네트워크 환경이다¹¹. 본 논문에서도 기존 제안 알고리즘과 본 논문에서 제시한 알고리즘의 성능 평가를 하기 위해 MCI 네트워크 토폴로지를 사용하였다. MCI 네트워크 토폴로지는 19개의 노드와 77개의 OC-3(155Mbit/s)와 T3(45Mbit/s)의 선로들로 구성되어 있다. 또한, 시뮬레이션에서는 다양한 특성을 가지는 트래픽을 발생하여 실험의 주관성을 배제하였다. 먼저 1~5 Mbit/s 사이의 CBR 트래픽을 균일 분포에 따라 랜덤하게 발생하였고, 이 때 플로우 유지 시간(Holding Time)은 평균 1200초 또는 2400초 값을 가지고 지수 분포에 따라 발생시켰다. 시뮬레이션 네트워크 상태의 트래픽 부하를 제공하기 위해 위의 트래픽의 발생 간격을 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 초로 설정하여 지수 분포에 따라 발생시켰다. 또한, 각 상태 정보의 갱신 주기도 10초, 30초, 60초, 90초에 따라 각각 실

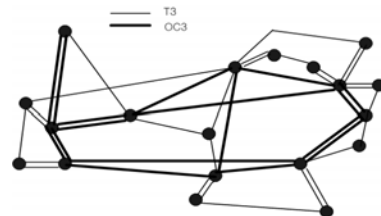


그림 2. MCI 네트워크 토폴로지

협하였다. 이와 같은 시뮬레이션 환경은 객관적인 시뮬레이션을 위해 논문 [1]에서 사용하였던 환경을 그대로 적용하였다.

4.2 성능 평가 메트릭

라우팅 기법의 성능 평가를 위하여 일반적으로 사용되는 성능 평가 메트릭은 다음과 같다.

- 라우팅 실패율 : 라우팅 실패율은 전체 사용자 플로우 횟수에 대한 적정 경로를 찾지 못하고 실패하는 횟수의 비율을 나타낸다.
- 라우팅 대역폭 실패율: 라우팅 대역폭 실패율은 라우팅 실패율과 달리 요청된 모든 사용자 플로우의 대역폭 합에 대한 요청된 사용자 플로우가 실패한 대역폭 합의 비율을 나타낸다.
- 라우팅 부정확율 : 라우팅 부정확율은 라우팅 알고리즘이 사용자가 요청한 플로우의 대역폭을 만족시키는 경로를 선택했지만, 실제 링크상의 대역폭의 부족으로 인해 라우팅이 실패되는 비율을 의미한다.

4.3 성능 평가

본 논문에서 제시하는 PSS 알고리즘의 성능 평가를 위해 기준에 제시되었던 여러 알고리즘과 그 성능을 비교하였다. 먼저 논문 [1]에서 제시되었던 가장 좋은 성능을 보인 WS (Widest-Shortest), SD (Shortest-Distance) 알고리즘과 본 논문과 연계되어 연구되었던 발표되었던 논문 [7]에서 제시된 SP-MIN (Shortest-Prediction Minimum) 알고리즘과 그 성능을 비교하였다.

그림 3의 트래픽 부하에 따른 라우팅 실패율과 대역폭 실패율의 결과를 살펴보면 트래픽 부하가 적은 0.7, 0.6에서는 WS와 SD 알고리즘의 성능이 약간 더 좋은 것으로 나타났지만 그 차이는 크지 않음을 볼 수 있고, 트래픽 부하가 많아지는 0.4와 0.3에서는 본 논문에서 제안하는 PSS 알고리즘의 성능이 훨씬 더 좋은 것을 볼 수 있다. 4개의 알고리즘을 각 트래픽 부하에 따라 전체적으로 평가했을 때, PSS 알고리즘이 가장 좋은 성능을 보임을 알 수 있다. PSS 알고리즘은 현재의 가용 대역폭과 다음 시점의 가용대역폭 예측값을 기준으로 각 링크가 요청되는 플로우의 대역폭을 받아들일 수 있는지 확률값으로 적절히 변경하였고, 이를 기준으로 경로 선택을 하였기 때문에 가장 효율적인 결과를 보였다.

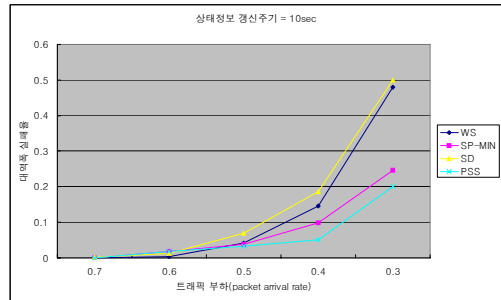
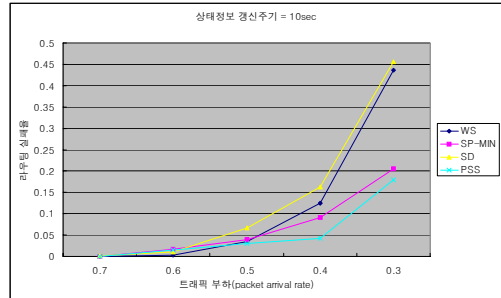


그림 3. 트래픽 부하에 따른 라우팅 실패율과 대역폭 실패율

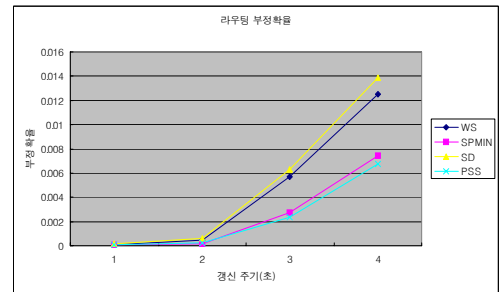


그림 4. 라우팅 실패율

그림 4는 갱신주기에 따른 라우팅 부정확율의 시뮬레이션 결과이다. 갱신주기가 10초, 30초, 60초 90초로 증가함에 따라 라우팅 부정확율이 급격히 증가하였다. 그래프에서 보는 바와 같이 본 논문에서 제시하는 PSS, 기준에 제시된 WS, SD 알고리즘에 비해 부정확율이 크게 낮은 것을 볼 수 있다. 이는 현재 알려진 링크의 가용 대역폭만을 사용하여 시간이 지남에 따라 상태 정보가 부정확해지는 WS, SD 알고리즘에 비해 PSS 알고리즘에서 사용되는 예측 알고리즘이 다음 시점의 가용 대역폭을 신뢰성 있게 예측하고 있다는 것을 의미한다. 결과적으로 상태 정보의 갱신 주기를 짧게 하여 상태 정보의 정확성을 유지하는 대신 예측 알고리즘을 통해 네트워크 상태를 어느 정도 신뢰성 있게 파악할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존의 알고리즘들이 가지는 문제점인 시간에 따른 네트워크 상태 정보의 부정확성과 상태 정보 오버헤드를 극복하고자 예측 모델을 이용한 PSS QoS 라우팅 알고리즘 기법을 제안하였다. 이는 예측을 통해 네트워크 상태 정보의 부정확성을 보완하고 QoS 라우팅 성능을 향상시키고자 제시된 알고리즘이다. 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위해 기존에 제시된 알고리즘과 시뮬레이션을 수행하였고, 기존의 제시된 QoS 라우팅 알고리즘과의 성능 평가를 통해 예측 기반의 PSS QoS 라우팅 알고리즘의 성능의 우수성을 확인하였다.

본 논문에서는 현재 링크의 가용 대역폭에 기반한 QoS 라우팅 알고리즘을 제시했지만, 향후에는 추가적인 연구를 통해 다양한 매트릭을 기반으로 하는 QoS 라우팅 알고리즘과 좀 더 단순한 예측 계산을 통하여 그 복잡성을 줄일 수 있는 연구가 필요하다. 또한, 성능 평가를 좀 더 정확하게 수행하기 위해 다양한 네트워크 환경에서의 시뮬레이션이 연구를 계속 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] A. Ariza, E. Casilari and F. Sandoval, "QoS routing with outdated network knowledge", *Electronics Letters*, Vol. 36 No. 15, pp. 1332-1334, July 2000
- [2] G. Apostolopoulos, R. Guerin, S. Kamat, S. K. Tripathi, "Improving QoS routing Performance Under Inaccurate Link State Information", *ITC16*, 1999.
- [3] Q. Ma, P. Steenkiste, "Routing Traffic with Quality-of-Service Guarantees in Integrated Services Networks", *IEEE INFOCOM*, 1999.
- [4] Abdelnaser Mohammad Adas, "Using Adaptive Linear Prediction to Support Real-Time VBR Video Under RCBP Network Service Model", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 6, No. 5, October 1998

- [5] Cynthia, S. Hood, Chuanyi Ji, "Intelligent Agents for Proactive Fault Detection", *IEEE Internet Computing*, volum: 22, pp.65-72, 1998
- [6] Weibin Zhao, David Olshefski and Henning Schulzrinne, "Internet Quality of Service: an Overview", *Columbia University, Computer Science*, Mar. 2000
- [7] 주미리, 조강홍, "예측 기반 QoS 라우팅 알고리즘", *한국정보처리학회 춘계학술발표대회* 제 11권 제1호, 2004. 5
- [8] William W. S. Wei, "Time Series Analysis", *Addison-Wesley*, 1994

주 미 리 (Mi Ri Joo)

정회원

1996년 2월 성균관대학교 정보공학과 학사
 1998년 2월 성균관대학교 정보공학과 석사
 2003년 2월 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 박사
 2001년 3월~현재 국가보안기술연구소 선임연구원
 <관심분야> 트래픽 예측, 침입 탐지

조 강 홍 (Kang Hong Cho)

정회원



1997년 2월 성균관대학교 정보공학과 학사
 1999년 2월 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 석사
 2003년 2월 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 박사
 2003년 4월~현재 동양공업 전문대학 전임강사

<관심분야> QoS 라우팅, 트래픽 분석

김 우 년 (Woo Nyon Kim)

정회원

1996년 2월 안동대학교 컴퓨터공학과공학과 학사
 1998년 2월 경북대학교 컴퓨터과학과 석사
 2000년 2월 경북대학교 컴퓨터과학과 박사 수료
 2003년 12월~현재 국가보안기술연구소 연구원
 <관심분야> 트래픽 예측, 침입 탐지