

# 서비스 품질의 확률적 특성에 기초한 예방적 경로 부하 밸런싱

김태준<sup>†</sup>, 서봉수<sup>††</sup>

## 요 약

서비스 품질을 보장하는 네트워크에서 경로를 구성하는 노드에 가해지는 부하의 불균형은 경로의 트래픽 흐름 수락 능력을 저해하는 주요 요인으로 알려져 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다양한 경로 부하 밸런싱 방법이 개발되었으며, 이들은 모두 경로의 가용 자원 상황에 따라 각 노드에 할당되는 흐름의 자연한 계를 재조정하는 피드백 부하 밸런싱 방법을 사용하였다. 이들 방법은 트래픽 부하의 서비스 품질의 확률적인 특성을 전혀 고려하지 않아 부하 불균형을 사전에 예방할 수 없으므로 수락 능력 저하를 개선하는데 있어 근본적인 한계가 있다. 본 연구에서는 트래픽 부하의 서비스 품질의 확률적 특성에 기초한 예방적 부하 밸런싱을 모색하고 RSVP에 적용할 수 있는 구체적 방법을 제안한다. 간단한 평가 네트워크를 대상으로 제안한 방법의 성능을 평가한 결과 기존 방식 대비 4~22% 정도 높은 흐름 수락 능력을 제공함을 확인하였다.

## A Preventive Intra-Path Load Balancing Based on the Probabilistic Characteristics of the Quality-of-service

Tae Joon Kim<sup>†</sup>, Bongsue Suh<sup>††</sup>

## ABSTRACT

Unbalanced traffic load offered to the nodes making up a path in the network guaranteeing quality-of-service has been known as a main cause deteriorating the capability of the path in admitting traffic flows. Several path load balancing methods have been developed to resolve this problem which used a feedback control scheme that adjusts the delay budget of a flow allocated to each node according to the conditions of available resource in the path. Because of no consideration about the probabilistic characteristics of the service quality, it is impossible for them to prevent in advance a bottleneck on the path which leads to a native restriction in the improvement of the capability being deteriorated. This paper proposes a preventive intra-path load balancing method applicable to the RSVP system which is based on the probabilistic characteristics of the quality-of-service of the offered load. The results of the simulation of the proposed method on a simple evaluation network showed that it provides the gain of 4~22% compared to the legacy one in terms of the number of admitted flows.

Key words: QoS(품질), RSVP, load balancing(부하밸런싱), delay budget(지연규격)

## 1. 서 론

인터넷 전화, 인터넷 영상회의와 같은 고 수준의

서비스 품질을 요구하는 실시간 멀티미디어 통신 서비스를 수용하기 위해 IETF(Internet Engineering Task Force)에서 종합서비스(IntServ) 모델을 제시

※ 교신저자(Corresponding Author) : 서봉수, 주소 : 충남 천안시 부대동(330-717), 전화 : 041)521-9200, FAX : 041)556-6447, E-mail : bsuh@kongju.ac.kr  
접수일 : 2009년 7월 17일, 수정일 : 2009년 9월 3일

완료일 : 2009년 10월 27일  
<sup>†</sup> 정회원, 공주대학교 정보통신공학부 교수  
(E-mail : tjkim@kongju.ac.kr)  
<sup>††</sup> 정회원, 공주대학교 정보통신공학부 부교수

하였고[1], 자원 예약을 위해 RSVP(Resource Reservation protocol)를 규격화 하였다[2]. IntServ 모델에서 품질 보장형 서비스를 지원하기 위해 자원 예약 기반의 RSVP 노드를 사용한다. RSVP 노드는 수반되는 트래픽 흐름의 요구 속도를 보장하고 허용되는 최대지연(latency)으로 정의되는 지연규격을 준수하기 위해 QoS (Quality of Service) 스케줄러를 탑재한다[3]. 참고로 지연규격은 흐름의 중단간 지연한계를 배분할 때 노드에 할당되는 지연한계 값을 의미한다.

RSVP가 규격화된 후 이동성, 보안성 등의 새로운 요구사항을 수용하기 위한 연구[4,5]와 더불어 네트워크 자원 이용 효율을 개선하기 위한 연구[6,7]가 진행되었다. 특히 [8-12]에서 경로 부하 밸런싱(balancing)을 통해 자원 이용 효율을 높였다. 경로 부하 밸런싱은 경로상의 각 노드에 가해지는 부하를 균등하게 유지하여 병목구간이 발생하지 않도록 하는 것이다[8]. 노드에 가해지는 부하는 흐름의 지연규격에 의해 결정되므로 흐름의 중단간 지연한계를 경로상의 각 노드에 어떻게 배분할 것인가가 매우 중요하다.

균등배분(EA: Equal Allocation) 방법[10]은 지연한계를 각 노드에 균등하게 배분하는 것으로 RSVP의 중단간 예약속도 계산[2]에 반영되었다. 균등 슬랙 배분(ESS: Equal Slack Sharing) 방법[8]은 흐름의 중단간 최대지연과 중단간 지연한계의 차이로 정의되는 슬랙을 각 노드에 균등하게 배분하는 것으로 EA 방법과 유사하다. 이들 방법은 지연규격 조정에 의한 부하 밸런싱 기능이 없으므로 구현이 용이하지만 자원 이용 효율이 낮은 문제점을 안고 있다. 부하 기반 슬랙배분(LSS: Load-based Slack Sharing) 방법[8,9]은 슬랙 배분시 각 노드의 부하 상태를 반영하여 자원 이용 효율을 높였지만 알고리즘이 복잡하여 RSVP에 적용하기에는 여전히 어려움이 있다. 한편 P-ERA 방법[11]과 DAA방법[12]은 이미 수락된 흐름까지 포함하여 모든 흐름에 대해 최적의 지연한계 배분을 시도하였으나 알고리즘이 너무 복잡한 문제가 있다. [13]에서 경로의 병목상태와 노드의 자원 가용도에 따라 배분된 지연규격을 조정하여 경로 부하가 밸런싱 되도록 하는 LBB (Load balancing based on the Bottleneck and available Bandwidth) 방법을 제안하여 자원 이용 효율을 LSS 방법 대비

4~17% 정도 높였다.

한편 국내 인터넷 전화의 중단간 지연은 150ms 이내가 되도록 요구[14]하고 있으나 고가의 고품질부터 저가의 저 품질까지 다양한 가격의 다양한 품질을 요구하는 가입자의 요구에 따라 중단간 지연시간은 수십ms부터 수백 ms까지의 통계적 분포를 갖게 될 것이다. 수용 매체 역시 저속 음성부터 고속 하이파이와 고품질 영상까지 다양한 속도를 가질 것이므로 이 역시 수십 kbps에서 수 Mbps까지의 통계적 분포를 가질 것이다. 따라서 경로에 가해지는 트래픽 부하의 QoS는 확률적 특성을 갖게 된다. 그러나 기존의 부하 밸런싱 방법은 이러한 확률적 특성과 상관없이 노드의 가용 자원 상황에 따라 지연규격을 재조정하는 일종의 피드백(feedback) 부하 밸런싱 방법을 사용한다. 이 결과 병목의 발생을 미리 예방할 수 없을 뿐만 아니라 일시적인 병목구간이 영구적인 병목구간과 일치하지 않을 수도 있어 경로의 흐름 수락 능력을 개선하는데 많은 제약이 따른다. 이러한 배경으로 본 연구에서는 경로 부하 밸런싱에 있어 트래픽 부하의 QoS 요구의 확률적 특성을 반영하는 방안을 모색하고, 간단한 경로 환경에서 RSVP 노드에 적용할 수 있는 확률적 부하 밸런싱 (PLB: Probabilistic Load Balancing) 방법을 제안한다.

## 2. 관련 연구 조사

### 2.1 RSVP 절차

RSVP 절차에 따르면 발신측은 단방향 흐름의 자원예약을 위해 PATH 메시지를 발송한다. PATH 메시지를 받은 임의의 RSVP 노드  $n$ 은 PATH 메시지의  $C_{tot}$ 와  $D_{tot}$  영역에 자신의  $C_n$ 값과  $D_n$ 값을 각각 더한 후 다음 단으로 넘긴다.  $C_{tot}$ 와  $D_{tot}$ 는 착신측에서 경로상의 모든 노드가 흐름에 할당할 대역폭, 즉 중단간 예약속도  $R$ 의 계산에 사용되는 매개변수이고,  $C_n$ 과  $D_n$ 은 노드  $n$ 단에서 흐름의 지연규격을  $(C_n/R+D_n)$ 의 식에 의해 계산할 때 사용되는 상수이다.  $R$ 에 무관한 상수  $D_n$ 은 노드에서의 지연  $D_{R_n}$ 과 링크상에서의 전송지연  $D_{L_n}$ 으로 나눌 수 있다.

PATH 메시지를 받은 착신측은 서비스 응용이 요구하는 중단간 지연한계를 준수하기 위해 필요한  $R$  값을 계산한다. RSVP는  $R$ 을 계산하기 위해 토큰-버킷(token-bucket) 모델을 사용한다. 이 모델에 의하

면 최대 속도  $p$ 의 트래픽 흐름은 크기  $\sigma$ 의 버킷에 담긴 후 토큰 속도로 트래픽이 셰이핑(shaping)되어 네트워크로 인가된다. 트래픽이 토큰 속도로 네트워크에 인가되므로 토큰속도가 바로 그 흐름의 요구속도  $r$ 이 된다.  $R \geq p \geq r$ 인 일반적인 경우 최대 패킷 크기가  $L$ 인 흐름의 종단간 최대 지연  $q_{c2c}$ 는 다음과 같이 계산된다[1].

$$q_{c2c} = \frac{L + C_{tot}}{R} + D_{tot}. \quad (2.1)$$

흐름이 요구하는 종단간 지연한계를 만족시키는 최소 종단간 예약속도를 임계 예약속도라 하고  $R^C$ 로 표기한다. 지연한계와 요구속도를 모두 만족시켜야 하므로 (2.1)로부터  $R^C$ 와  $R$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$R = \max(r, R^C), \text{ 여기서 } R^C = \frac{L + C_{tot}}{W - D_{tot}}. \quad (2.2)$$

(2.2)에 의해 결정된  $R$  값을 RSVP 메시지로 통보하면 각 노드는  $R$ 의 대역폭을 할당한다. 이러한 대역폭 할당은 흐름의 종단간 지연한계  $w$  중  $b_n (= (C_n / R + D_n))$  부분을 노드  $n$ 에 배분하는 것을 의미한다. 노드  $n$ 은  $b_n$ 의 지연규격을 보장할 수 있는 대역폭 자원이 있으면 자원을 예약하고, 아니면 자원예약 실패를 통보한다.

임의 노드  $n$ 에 배분되는 지연규격 값은 탑재되는 패킷 스케줄러에 의해 결정된다. 가장 대표적인 알고리즘인 WFQ(Weighted Fair Queuing)[15,16]의 경우를 살펴본다. 흐름의 최대 패킷 크기가  $L$ 인 임의의 흐름에 대해  $s_n$ 의 대역폭을 할당, 즉  $s_n$ 의 속도로 스케줄링 할 경우 WFQ 스케줄러에서 일어나는 흐름의 최대지연  $q_n$ 을 생각해보자.  $q_n$ 은 지연한계를 의미하므로  $b_n = q_n$ 가 된다. 이들은 다음과 같이 계산된다.

$$b_n = q_n = \frac{L}{s_n} + \frac{L^{max}}{G_n}. \quad (2.3)$$

여기서  $G_n$ 은 출력링크 대역폭,  $L^{max}$ 는 스케줄러 내 모든 흐름의 최대 패킷 크기이다. (2.3)에서 RSVP의 경우  $s_n$ 은 바로 종단간 예약속도  $R$ 이 된다. 참고로 WFQ 스케줄러를 탑재한 RSVP 노드의 경우  $C_n$ 과  $D_n$ 은 각각  $L$ 과  $L^{max}/G_n$ 가 되며, 모든 노드에게 동일한 대역폭 종속 지연  $L/R$ 을 배분하므로 RSVP의 지연한계 배분은 바로 EA 방법의 한 형태가 된다.

### 2.2 LBB 방법

LBB 방법[13]은 흐름의 종단간 지연한계를 RSVP

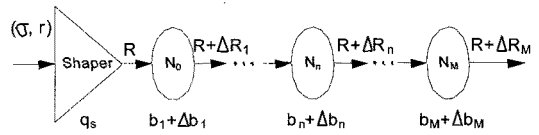


그림 1. LBB에서 지연규격과 대역폭 할당

절차에 의해 각 노드에 배분한 후 경로의 병목상태와 각 노드의 자원 가용도에 따라 배분된 지연규격을 조정한다. 예로 노드  $n$ 의 경우 그림 1과 같이 먼저 RSVP 절차에 의해 대역폭  $R$ 을 할당함으로써 지연규격  $b_n$ 을 배분받는다. 그리고  $\Delta b_n = \alpha(A^{avg} - A_n)$ 으로 지연규격 조정값  $\Delta b_n$ 을 계산[13]한 다음 (2.3)에 의해 이를 구현할 대역폭 조정값  $\Delta R_n$ 을 산출하여 할당 대역폭을  $(R_n + \Delta R_n)$ 로 변경함으로써 지연규격 값을  $(b_n + \Delta b_n)$ 로 조정하는 것이다.

### 3. 새로운 방법 제안

#### 3.1 제안 방법

LBB 방법과 마찬가지로 먼저 흐름의 종단간 지연한계를 RSVP 절차에 의해 각 노드에 배분한 후 각 노드가 자신에게 배분된 지연규격을 조정하는 두 단계로 부하 밸런싱을 수행한다. 지연규격을 조정하는 단계는 노드별로 지연규격 조정 범위를 의미하는 조정지표를 구하는 과정과 지표를 참조하여 지연규격을 조정하고 이로부터 흐름에 할당하는 대역폭을 변경하는 과정으로 세분화 한다. 제안방법의 전체 구성도는 그림 2와 같으며, 새로 추가되는 부분은 외부에

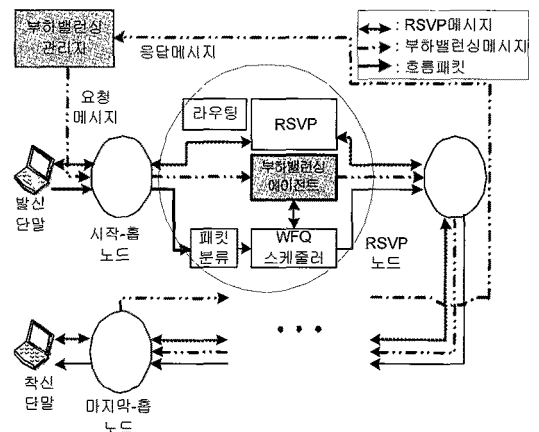


그림 2. 제안방식의 전체 구성도

위치하는 부하 밸런싱 관리자와 RSVP 노드에 탑재되는 부하 밸런싱 에이전트의 두 가지 기능과 4가지 부하 밸런싱 메시지이다.

먼저 조정지표를 구하는 과정을 기술한다. 부하 밸런싱 관리자가 [17]에 정의된 RSVP 진단메시지 절차를 사용하여 RSVP 노드에 탑재되는 부하 밸런싱 에이전트로부터 각 노드의 자원 상태, 구체적으로 출력링크의 전체 대역폭과 사용가능 대역폭, 정보를 수집한 후 그림 4와 (3.7)에 의해 지표를 구한다. 이를 위해 자원상태 요청 메시지와 자원상태 응답 메시지의 두 가지 부하 밸런싱 메시지를 정의하여 사용한다. 경로에 가해지는 트래픽의 QoS 요구사항의 확률적 특성을 나타내는 확률함수는 네트워크 또는 서비스 사업자가 제공할 것 또는 기본 값을 사용한다. 구한 지표와 더불어 대역노드의 수와 빌립노드의 수를 부하 밸런싱 메시지를 사용하여 경로상의 각 노드에 통지하고 통지결과를 확인한다. 이를 위해 자원 조정 요청 메시지와 자원조정 응답 메시지를 정의하여 사용한다. 대역노드와 빌립노드는 3.2장에서 상세히 기술한다.

노드가 흐름에 할당하는 대역폭의 조정 과정을 살펴본다. 자원예약 요청 흐름에 대해 각 노드는 먼저 2.1장의 RSVP 절차에 의해 흐름의 지연한계를 배분받는다. 그리고 RSVP 노드에 탑재된 부하 밸런싱 에이전트가 부하 밸런싱 관리자로 부터 전달받은 조정지표와 흐름의 QoS 특성을 참조하여 지연규격을 조정하고, 이로부터 대역폭을 조정한다. 임의 노드 n의 경우에 대해 살펴보자. (3.6) 또는 (3.7)에 의해 지연규격 조정량  $\Delta b_n$ 을 구한다. 그러면 지연규격 조정 후 노드 n에 할당되는 지연규격은  $(b_n + \Delta b_n)$ 가 된다. 이를 만족시키기 위한 대역폭  $(R + \Delta R_n)$ 을 (2.3)에 의해 계산한 후 할당대역폭을 조정함으로써 부하 밸런싱을 실현한다.

3.2 조정지표와 지연규격 조정량 계산

요구속도 r과 종단간 지연한계 w의 QoS 요구를 갖는 임의 흐름 i와 이 흐름의 경로상에 위치하는 임의의 두 노드 k와 m을 생각하자. 경로 부하 밸런싱에 있어 핵심은 흐름 i의 QoS 요구를 만족, 즉 노드에서 흐름에 할당하는 대역폭이 r이상이고 경로의 지연이 w이내의 조건을 유지하는 것이다. 노드 k는 가용 대역폭의 여유가 충분한 반면 노드 m은 여유가 없는,

즉 병목노드라 하자. 할당 대역폭과 지연규격은 반비례하므로 흐름 i에 대해 노드 m은 지연규격을 늘리는 대신 할당 대역폭을 줄이고, 반대로 노드 k에서 노드 m에서 늘린 지연규격 만큼 지연규격을 줄이는 대신 할당 대역폭을 늘릴 수 있다. 본 논문에서 지연규격을 줄여 대역폭 할당량을 늘리는, 즉 자원을 대역해주는 노드 k를 대역노드, 반대로 지연규격을 늘려 대역폭 할당량을 줄이는, 즉 자원을 빌리는 노드 m을 빌립노드라 부른다.

노드 n에서 흐름 i에 대한 지연규격 조정량을  $\Delta b_n^i$ 로 표시한다. 지연규격을 늘리는 노드 m의 경우 요구속도 보장 조건에 의해 할당 대역폭을 요구속도보다 낮게 줄일 수 없다. 할당 대역폭이 요구속도와 같을 때의 지연규격을  $b_m^{i,max}$ 라 하면 (2.3)으로부터  $\Delta b_m^i$ 은 다음과 같이 제한된다.

$$\Delta b_m^i \leq b_m^{i,max} - b_m^i = \frac{L}{r^i} - \frac{L}{R^i} \equiv \Delta b_m^{i,max}. \quad (3.1)$$

(3.1)에서  $R^i$ 는 RSVP에 의해 결정되는 흐름 i의 종단간 예약속도이고  $r^i$ 는 흐름 i의 요구속도이다.

노드 m이 부하 밸런싱 관리자로 부터 통보받은 흐름 i에 대한 조정지표를  $I_m^i$ 로 표기하자. 그러면  $\Delta b_m^i$ 은 다음과 같이 결정한다.

$$\Delta b_m^i = \min(I_m^i, \Delta b_m^{i,max}). \quad (3.2)$$

이제 경로 부하 밸런싱에 대해 살펴보자. 노드의 수를 M, 대역 노드의 수를 P개, 빌립노드의 수를 Q개라 하자. 그러면  $Q=(M-P)$ , 임의 흐름 i에 대해 부하 밸런싱 개념을 도시하면 그림 3과 같다. 여기서  $\Delta b_1^i \sim \Delta b_p^i$ 는 음의 값,  $\Delta b_q^i \sim \Delta b_M^i$ 는 양의 값을 갖는다.

흐름 i에 대해 부하 밸런싱을 통해 이동된 자원

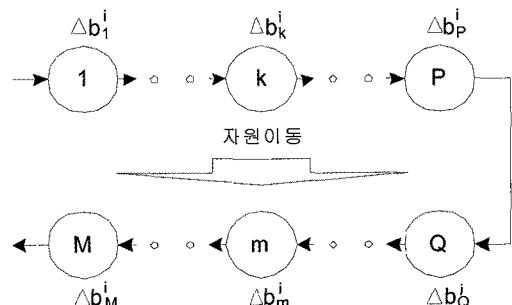


그림 3. 부하 밸런싱 개념도

량을 살펴보자. 대여노드의 대역폭 낭비를 없애기 위해 총 대역량과 빌림량을 동일하게 해야 한다. 즉

$$\sum_{k=1}^P \Delta b_k^i + \sum_{m=Q}^M \Delta b_m^i = 0 \quad (3.3)$$

경로가 수락하는 흐름의 수를  $N$ 으로 표기한다. 그러면  $N$ 개 흐름 각각에 대해 (3.2)와 (3.3)을 만족하는 모든 노드의 조정지표를 구하는 것은 너무 복잡하여 현실성이 없으므로 흐름에 무관한 조정지표를 도입한다.

흐름의 요구속도를  $[r_a, r_b]$ 사이에 분포하는 랜덤변수  $R^r$ , 흐름의 종단간 지연한계를  $[w_a, w_b]$  사이에 분포하는 랜덤변수  $W$ , 흐름의 종단간 예약속도를 랜덤변수  $R^R$ , 그리고  $W$ 와  $R^r$ 의 결합 확률함수를  $f_{W,R^r}(w,r)$ 으로 표기한다. 그러면 (2.2)로부터  $R^R = \max(R^r, (L+C_{tot})/(W - D_{tot}))$ . (3.2)와 (3.3)으로부터 다음 식이 유도된다.

$$\sum_{k=1}^P \Delta b_k + \sum_{m=Q}^M \min(I_m, \frac{L}{R^r} - \frac{L}{R^R}) = 0. \quad (3.4)$$

(3.4)는 여전히  $M$ 개의 미지수를 가지므로 복잡하다. 본 연구에서는 문제를 단순화 하기 위해  $N$ 개의 노드 중 가용 대역폭이 많은 순서대로  $N/2$ 개,  $N$ 가 홀수이면  $(N+1)/2$ 개의 노드를 대여노드로 간주하고 나머지를 빌림노드로 간주한 후 두 가지의 조정지표, 즉 모든 대여노드에 적용되는 조정지표  $I_L$ 와 모든 빌림노드에 적용되는 조정지표  $I_B$  만 도입한다. 그러면 대여노드의 지연규격 대역량은 서로 동일하고, 빌림노드의 지연규격 빌림량이 서로 동일하므로 (3.4)는 다음과 같이 간략화 된다.

$$-P\Delta b_L = Q\Delta b_B = Q * \min(I_B, \frac{L}{R^r} - \frac{L}{R^R}). \quad (3.5)$$

(3.5)에서  $\Delta b_L$ 와  $\Delta b_B$ 은 각각 대여노드와 빌림노드의 지연규격 조정량을 의미한다. (3.5)로부터  $\Delta b_B$ 와  $\Delta b_L$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta b_B = \min(I_B, \frac{L}{R^r} - \frac{L}{R^R}). \quad (3.6)$$

$$\Delta b_L = -\min(I_L, \frac{Q}{P}(\frac{L}{R^r} - \frac{L}{R^R})), I_L = \frac{Q}{P}I_B. \quad (3.7)$$

(3.6)과 (3.7)로부터  $\Delta b_L$ 와  $\Delta b_B$ 를 구하기 위해서는 조정지표  $I_B$ 를 구해야 한다. 이제 경로의 흐름 수

를 극대화 하는  $I_B$ 를 구하는 과정을 기술한다. 임의의 노드  $n$ 의 흐름 수락 능력과 가용 대역폭을 각각  $N_n$ 과  $E_n$ 으로 표기한다. 그러면  $N_n$ 은  $E_n$ 을 흐름의 평균 스케줄링 속도(할당 대역폭)  $\bar{s}_n$ 로 나눈 값이 된다. 즉  $N_n = E_n/\bar{s}_n$ . 경로의 흐름 수락 능력은 병목노드  $m$ 의 능력에 의해 제한되므로 임의의 대여노드  $k$ 로부터 최대한의 자원을 대여 받아 노드  $m$ 의 수락 능력을 극대화해야 한다. 노드  $k$ 가 대역할 수 있는 자원량은 자신의 수락 능력  $N_k$ 가  $N_m$ 보다 저하되지 않은 조건 하에서 빌려줄 수 있는 최대량이 된다. 그렇지 않으면 노드  $k$ 가 새로운 병목노드가 되기 때문이다.

임의의 노드  $n$ 에서 흐름의 스케줄링 속도를 랜덤변수  $S_n$ 으로 표시한다. 노드  $m$ 이 자원을 대역받아  $\Delta b_B$ 만큼 지연규격을 늘릴 때 (2.3)과 (3.6)으로부터  $S_m$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$S_m = L / (\frac{L}{R^R} + \min(I_B, \frac{L}{R^r} - \frac{L}{R^R})). \quad (3.8)$$

이로부터 다음과 같이  $N_m$ 을 구할 수 있다.

$$N_m = \frac{E_m}{\int_{r_a}^{r_b} \int_{w_a}^{w_b} \frac{L}{\frac{L}{R^R} + \min(I_B, \frac{L}{r} - \frac{L}{R^R})} f_{W,R^r}(w,r) dw dr} \quad (3.9)$$

$I_B$ 가 0일 때  $\bar{s}_m$ 는 그의 최대값,  $I_B > (L/r - L/R)$ 일 때 그의 최소값을 가지므로  $N_m$ 의 범위는 다음과 같다.

$$N_{min} = \frac{E_m}{\int_{r_a}^{r_b} \int_{w_a}^{w_b} R f_{W,R^r}(w,r) dw dr} \leq N_m \leq \frac{E_m}{\int_{r_a}^{r_b} \int_{w_a}^{w_b} r f_{W,R^r}(w,r) dw dr} = N_{max} \quad (3.10)$$

그리고  $N_k$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$N_k = \frac{E_k}{\int_{r_a}^{r_b} \int_{w_a}^{w_b} \frac{L}{\frac{L}{R} - \min(I_L, \frac{Q}{P}(\frac{L}{r} - \frac{L}{R}))} f_{W,R^r}(w,r) dw dr} \quad (3.11)$$

이제  $N_m$ 을 최대화 하는  $I_B$ 값을 찾는 방법을 기술한다.  $N_m$ 의 최적값을  $N_{opt}$ 라 하자. 그러면 그림 4의 알고리즘으로  $N_{opt}$ 를 구할 수 있다. 이 그림에서  $I_B$ 와  $N_k$ 는 각각 (3.9)와 (3.11)에 의해 계산한다. 임계값은 0에 근접하는 양의 정수로 그 값이 적을수록 알고리즘의 수행시간이 길어진다. 알고리즘의 수행결과로 얻어지는  $I_B$ 와  $N_{opt}$ 가 각각 빌림노드의 조정지표와 경로의 최대 흐름 수락 능력이 된다.  $I_L$ 은 (3.7)로부터 구할 수 있다.

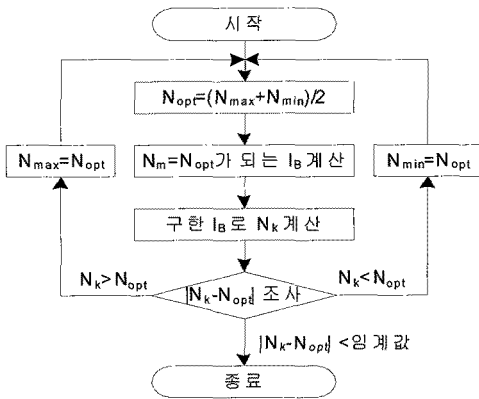


그림 4. 조정지표 계산 알고리즘

### 4. 성능 평가

#### 4.1 평가 네트워크

그림 5에 도시된 간단한 평가 네트워크를 고려하였다. 노드 6을 제외한 5개의 RSVP 노드를 가지며 RSVP 절차에 의해 자원을 예약한다. 인접 RSVP 노드 사이의 전송지연을 모두 1ms (약 200km의 거리에 해당함), 경로상의 발·착신측 가입자 선로와 착신 노드에서 발생하는 지연시간의 합을 모두 1ms로 가정한다. 링크의 용량은 모두 STM-64 (10Gbps)로 동일하나  $L_{(2,3)}$ 과  $L_{(3,4)}$ 는 현재 2.5Gbps의 가용 대역폭이 있는 것으로 가정한다. 여기서  $L_{(i,j)}$ 는 노드 i에서 노드 j로 연결되는 링크를 의미한다. 수치해석과 시뮬레이션 방법을 이용하여 성능을 평가하며, 시뮬레이션은 SMPL(Simulation Model Programming Language) [18]에 부하 밸런싱 기능 루틴을 추가하여 수행한다.

국내 인터넷 전화의 통화품질 기준[14]은 다음과 같다; 단대단 지연이 150ms이하이고, Rating Value 값이 70이상일 것. [19]에 따르면 이러한 통화품질을 만족시키기 위해 네트워크 지연시간은 약 56ms 이내

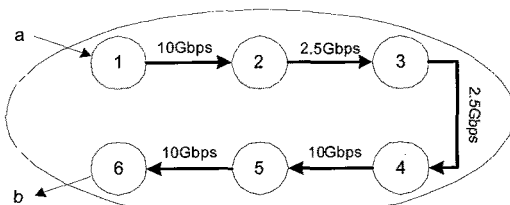


그림 5. 성능 평가 네트워크

가 되어야 한다. 경로상의 발·착신측 가입자 선로와 착신노드에서 발생하는 지연시간의 합을 1ms로 가정하였으므로 RSVP 절차에서 종단간 지연시간은 55ms 이내로 제한된다. 따라서 최소 지연시간을 5ms로 가정하면 종단간 지연시간은 [5,55]ms 범위 내에 분포하게 된다. 본 평가에는 [5,55]ms 범위내에 균등하게 분포하는 종단간 지연규격을 고려한다. 그리고 요구속도가 [1,1000]kbps 범위내에 균등하게 분포하는 균등부하와 8kbps의 음성, 128kbps의 오디오 및 1Mbps의 영상 흐름이 7:1:2의 비율로 랜덤하게 발생하는 VoIP(Voice over IP) 부하의 두 가지 부하 유형을 고려한다.

#### 4.2 성능 평가

제안방식인 PLB의 흐름 수락 능력을 기존의 부하 밸런싱 방법인 LSS와 LBB와 비교측면에서 평가한다. 세 가지 부하 밸런싱 방법을 보다 세밀하게 비교하기 위해 두 가지 부하 유형에 대해 패킷 크기를 0.5kbit에서 12kbit까지 늘려가면서 흐름 수락 능력 측면에서 RSVP 대비 이득을 그림 6과 7에 각각 도시하였다. 여기서 이득이란 RSVP 방법에서 최대 수락 흐름 수를  $N_1$ , 부하 밸런싱 방법에서 최대 수락 흐름 수를  $N_2$ 라 할 때  $(N_2 - N_1) / N_1$ 으로 정의되는 값으로 개선되는 정도를 나타낸다.

패킷크기가 작은 영역, 특히 그림 8의 균등부하 유형, 에서 이득이 낮은 것은 RSVP 방법으로도 충분한 흐름 수락 능력을 얻을 수 있어 그만큼 성능 개선의 여지가 줄어들기 때문이다. 부연 설명하자면 (2.3)과 같이 지연규격이 패킷크기에 비례하므로 작은 대역폭으로도 엄격한 지연규격을 충족시킬 수 있어 성

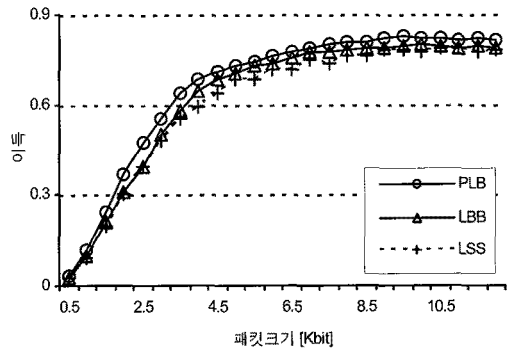


그림 6. 균등부하에서 이득

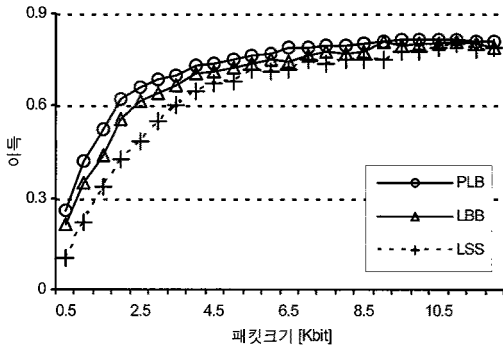


그림 7. VoIP 부하에서 이득

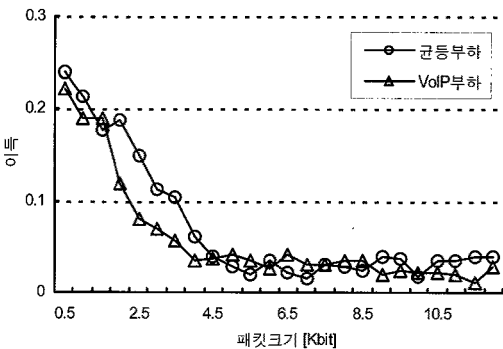


그림 8. LBB 대비 PLB 방법의 이득

능특성이 나쁜 RSVP 방법으로도 우수한 자원 이용 효율을 얻을 수 있음을 의미한다. 세 가지 방법 모두 패킷 크기가 증가할수록 성능 개선 효과가 크게 향상되며, 8.5kbit부터는 80% 이상의 높은 이득을 얻을 수 있음을 관찰할 수 있다.

그림 6과 7로부터 부하 유형, 경로의 수 및 패킷 크기에 상관 없이 PLB 방법은 기존의 방법에 비해 우수한 성능특성을 제공할 수 있음을 관찰할 수 있다. PLB 방법의 우수성을 정확히 파악하기 위해 LBB 대비 개선정도를 그림 8에 도시하였다. 이로부터 LBB 대비 4~22% 정도 우수한 성능특성을 보이고, 특히 패킷이 낮은 영역에서 우수한 특성을 보임을 관찰할 수 있다.

### 5. 결론

경로에 가해지는 트래픽의 QoS 요구의 확률적 특성에 기초한 경로 부하 밸런싱 접근 방법을 모색하고, 간단한 경로 구성 하에서 RSVP에 적용할 수

있는 부하 밸런싱 방법을 제안하였다. 부하 밸런싱을 위해 외부에 위치하는 부하 밸런싱 관리자와 RSVP 노드에 탑재하는 부하 밸런싱 에이전트 기능을 설계하였다. 관리자는 QoS 요구의 확률함수와 경로의 자원상태를 기초로 조정지표를 계산하여 에이전트에게 통보하며, 에이전트는 실시간으로 변하는 경로의 자원상태와 상관없이 통보받은 조정지표와 자원예약 요청 흐름의 QoS 특성만 참조하여 할당 대역폭을 조정함으로써 부하 밸런싱을 실현한다.

5개의 노드와 하나의 경로로 구성되는 간단한 평가 네트워크에서 제안방법의 성능을 평가한 결과 기존 방법보다 우수한 성능특성을 보임을 확인하였고, 특히 가장 특성이 좋은 LBB 방법에 비해 4~22%의 개선효과를 보임을 관찰하였다.

본 연구는 빌림노드의 조정지표와 대역노드의 조정지표의 두 가지 조정지표만 사용하여 부하 밸런싱을 구현하였다. 하지만 실제적 환경에서는 빌림노드의 자원상태가 서로 다르고, 대역노드 역시 자원상태가 서로 다르므로 제안된 방법의 개선이 필요하다. 이를 위해 노드별로 별도의 조정지표를 사용하는 방법에 대한 연구를 후속과제로 진행 중에 있다. 참고로 본 논문에서 제안한 방법도 병목노드의 가용 대역폭이 일정 비율 감소할 때 마다 대역노드와 빌림노드를 다시 정의하여 조정지표를 재 계산함으로써 실제적 환경에 어느 정도 대처할 수 있을 것이다.

### 참고 문헌

- [1] X. Xiao and L. M. Ni, "Internet QoS: A Big Picture," *IEEE Network*, Vol.13, No.2, pp. 8-18, 1999.
- [2] R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, and S. Jamin, "Resource ReSerVation Protocol (RSVP) - version 1 functional specification," RFC 2205, IETF, 1997.
- [3] S. Shenker, C. Partridge, and R. Guerin, "Specification of Guaranteed Quality of Service," RFC 2212, IETF, 1997.
- [4] Q. Huang and G. Kuo, "Dynamic RSVP extension for wireless mobile IP networks," Proc. VTC'04, pp. 2683-2687, 2004.
- [5] Z. Y. Xia and Y. A. Hu, "Extending RSVP for

Quality of Security Service," *IEEE Internet Comput.*, Vol.10, No.2, pp. 51-57, 2006.

[6] S. Norden, "Analyzing the performance of deferred reservations," *Computer Networks*, Vol.47, pp. 327-349, 2005.

[7] M. Postigo-Boix and J. Melús-Moreno, "Performance evaluation of RSVP extensions for a guaranteed delivery scenario," *Computer Communications*, Vol.30, No.9, pp. 2113-2121, 2007.

[8] K. Gopalan, T. Chiueh, and Y. Lin, "Delay Budget Partitioning to Maximize Network Resource Usage Efficiency," Proc. INFOCOM, pp. 2060-2071, 2004.

[9] K. Gopalan, T. Chiueh, and Y. Lin, "Slack allocation techniques for intra-path load balancing," *High Speed Networks*, Vol.16, No.3, pp. 211-237, 2007.

[10] R. Nagarajan, J. Kurose, and D. Towsley, "Local allocation of end-to-end quality-of-service in highspeed networks", Proc. IFIP Workshop on Perf. analysis of ATM Systems, pp. 99-118, 1993.

[11] Y. Shi, Z. Liu, Z. Qiu, and M. Sheng, "Load Balance Based Network Bandwidth Allocation for Delay Sensitive Services," Proc. AINA, pp. 465-470, 2005.

[12] X.Liu and Y.Dong, "Intelligently Balancing Per-hop Delay Allocation to Improve Network Utilization," Proc. ICC, pp. 95-99, 2008.

[13] 김태준, "경로 병목상태와 링크 대역폭 가용도 기반 경로 부하 밸런싱 방법," 멀티미디어학회 논문지, 제 12권, 3호, PP. 409-418, 2009.

[14] "인터넷전화 통화품질 지표," TTAS.KO-01.0077, TTA, 2005.

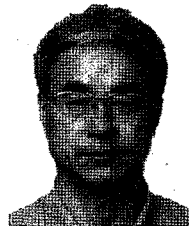
[15] A. Demers, S. Keshav, and S. Shenker, "Design and analysis of a fair queuing algorithm," Proc. ACM SIGCOMM, pp. 1-12, 1989.

[16] A. K. Parekh, "A Generalized Processor Sharing Approach to Flow Control in Integrated Services Networks," PhD dissertation, Massachusetts Institute of Technology, 1992.

[17] A. Terzis, B. Braden, S. Vincent and L. Zhang, "RSVP Diagnostic Messages," RFC 2745, IETF, 2000.

[18] M. H. MacDougall, *Simulating Computer Systems, Techniques and Tools*, MIT Press, 1987.

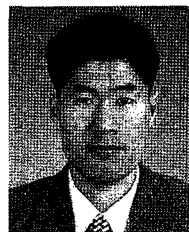
[19] 배성룡, "E-모델 기반 통화품질 분석을 통한 VoIP Planning 및 평가," 박사학위논문, 경기대학교 대학원, 2004.



김 태 준

1980년 2월 경북대학교 졸업  
 1982년 2월 한국과학기술원 졸업(석사)  
 1999년 8월 한국과학기술원 졸업(박사)  
 1982년~1996년 ETRI 근무  
 현재 공주대학교 교수

관심분야 : 인터넷 엔지니어링



서 봉 수

1993년 2월 경북대학교 전자공학과(공학사)  
 1995년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)  
 1999년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)  
 1999년 7월~2004년 2월 한국전

자통신연구원 선임연구원  
 2004년 3월~2005년 8월 안동대학교 정보통신공학부 조교수  
 2005년 9월~현재 공주대학교 정보통신공학부 조교수, 부교수

관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 이동통신 시스템, 무선 네트워크