

# QoS 서비스와 최선형 서비스를 위한 효율적인 MPLS 라우팅 시스템

정희원 전 한얼\*, 김성대\*\*, 신용철\*\*\*, 이재용\*, 김형택\*\*

## An Efficient MPLS Routing System for Supporting QoS and Best-Effort Services

HahnEarl Jeon, Sung-Dae Kim, Yong-chul Shin, Jaiyong Lee, Hyung-Taek Kim

*Regular Members*

### 요 약

인터넷에서 트래픽의 폭발적인 증가로 인하여 데이터 흐름에 대한 서비스품질(QoS) 보장과 트래픽 엔지니어링 문제가 매우 중요하게 되었다. MPLS는 출발지와 목적지 사이에 다중의 경로를 사용하는 데 자유롭기 때문에 기존의 IP 라우팅보다 이러한 문제를 해결하는데 장점을 갖고 있다. 특히 제한기반 최소 거리(CSPF) 알고리즘과 MPLS의 explicit 경로는 위의 문제를 해결하도록 해주었다. 그러나, CSPF 알고리즘은 QoS 제한 이내의 최소 거리 경로를 찾기 때문에 QoS가 만족되는 다른 경로를 찾을 수 없으며, 트래픽이 물리는 정체가 발생하였을 경우 최선형(best-effort) 트래픽 데이터는 잃게 된다. 본 논문에서는 MPLS 망에서 트래픽을 분산시키는 라우팅을 통해 네트워크 자원을 최적으로 사용하는 방안을 제시한다.

### ABSTRACT

As the traffic grows rapidly in the Internet, the QoS guarantee of the flows and the traffic engineering problems have become very important issues. MPLS has more advantages to solve the problems than existing IP routing because of its use of multiple paths between the source and destination pairs. Particularly, the availability of Constraint-based Shortest Path First(CSPF) algorithm and explicit route in MPLS made the problems referred above to be solved efficiently. However, the CSPF algorithm has the characteristic of selecting the shortest path of all paths which meet the traffics' QoS constraints. Therefore, even though there are alternative paths to route traffic, alternate QoS paths may not be found and best-effort traffic will be dropped during congestion period. In this paper, we present the network resource optimization method related to the traffic engineering by using load balancing through routing in MPLS network.

### I. 서 론

인터넷 프로토콜(IP)은 많은 다양한 시스템과 전송 매체들을 하나로 연결하는 전 세계적 네트워크를 가능하게 만들었다. IP가 큰 성공을 거둔 이유 중의 하나는 단순성에 있다. IP의 기본 디자인 원리

는 네트워크 종단인 소스와 목적지 호스트에 많은 기능을 부여하도록 하고, 중간 네트워크 망 자체의 기능은 가능한 간단하게 만든 것이다. 네트워크 전역에 걸쳐 있는 중간 라우터들은 단지 들어온 IP 데이터그램의 다음 홉을 결정하기 위해 자신의 포워딩 테이블에서 데이터그램의 목적지 IP 주소를

\* 연세대학교 전기,전자공학과 네트워크 연구실(hearlj@yonsei.ac.kr),  
논문번호 : 020173-0418, 접수일자 : 2002년 4월 18일

\*\* LG전자,

\*\*\* 한국원자력연구소

\* 본 연구는 LG 전자 연구과제 지원으로 수행되었습니다.

조사해서 포워딩하기만 하면 된다. 만약 다음 홉에 대한 검색 시간이 오래 걸리면, 그 데이터그램은 지연될 것이고, 큐가 꽉 차거나, 사용할 수 없게 되면 라우터에서는 그 데이터그램을 버린다. 그 결과, IP 네트워크에서는 예측할 수 없는 지연과 데이터 손실이 발생하는 최선형 서비스를 제공한다.

기존 IP 네트워크에서는 단순히 모든 트래픽을 동일한 클래스인 최선형으로 취급하기 때문에 서로 다른 QoS 보장을 요구하는 트래픽에 대해서는 적절한 성능 보장을 해줄 수가 없다. 또한 기존 IP 라우팅 방식은 어떤 소스와 목적지간에 현재의 네트워크 트래픽 상태를 전혀 고려하지 않고 단순히 최단 거리 우선 알고리즘 (SPF : Shortest Path First Algorithm)을 적용하기 때문에 트래픽 엔지니어링 기능을 적절히 수행하기 어렵다. 갑작스런 트래픽의 폭주로 인해 어느 경로에 혼잡이 발생할 경우에도 계속 기존의 최단 거리 알고리즘을 사용하기 때문에 혼잡을 해소시킬 방법이 없다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 네트워크 내에서 혼잡이 발생하였을 경우 트래픽 엔지니어링 기능을 효과적으로 수행하기 위한 여러 가지 연구가 각 분야마다 진행되고 있고, 특히 트래픽 엔지니어링 기능을 구현하는데 용이한 MPLS (MultiProtocol Label Switching) 기술이 새로운 이슈로 부각되고 있다.

트래픽 엔지니어링은 한정된 망 자원을 가지고 더 높은 수익을 올리고자 하는 상용 ISP 사업자들에게는 아주 중요한 기법이다. 대역폭과 같은 자원의 효과적인 사용으로 인한 비용 절감은 전체 네트워크의 운용 비용을 줄이는데 도움이 되고, 또한 경쟁 관계에 있는 서비스 제공자들보다 더 나은 경쟁력을 가지게 되기 때문이다. 따라서, 네트워크가 늘어나는 트래픽의 양을 최대한 수용하면서, 그러한 트래픽이 요구하는 QoS를 적절히 보장해 줌과 동시에 운용하는 네트워크의 자원을 최적화해서 사용할 수 있는 네트워크 구조로 변화해 갈 필요성이 대두되었다.

본 논문은 현재 트래픽 엔지니어링을 수행하는데 있어서 가장 적합한 방식으로 이슈화되고 있는 MPLS 기반 네트워크를 기본 네트워크로 가정하여, QoS 라우팅 분야 측면에서 트래픽 엔지니어링 기능을 효과적으로 수행하기 위한 라우팅 알고리즘 개발을 목표로 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 트래픽 엔지니어링 기능을 수행하는데 있어 가장 효과적인 방식인 MPLS의 기본적인 동작 방법과 MPLS

네트워크에서 트래픽 엔지니어링을 수행하기 위해 제안된 방식인 제한조건 기반 라우팅(Constrained-based Routing : CBR)에 대해 살펴본다. III장에서는 고품질 데이터 서비스를 위한 QoS 라우팅 방안을 제안하며, IV장에서는 실험과 그 결과를 확인하고 마지막으로 결과를 요약하고 차후에 필요한 연구에 대해 기술한다.

## II. MPLS와 제한 조건 기반 라우팅

현재 IP 네트워크에서는 패킷을 구별하기 위해서 패킷 속에 있는 32비트의 IP 주소를 이용하지만, MPLS에서는 20비트의 짧은 길이의 레이블을 사용한다. MPLS에서 사용하는 레이블은 망의 노드에서 동일하게 전달되는 패킷의 그룹을 나타내며, Forward Equivalent Class(FEC)라는 용어로 표현하고 있다. 동일한 여러 응용 서비스로부터 생긴 패킷들은 하나의 패킷 흐름을 형성하고 이러한 흐름들은 동일한 FEC를 가지는 스트림을 형성하며, 하나의 레이블은 동일한 FEC의 스트림을 지정한다.

MPLS에서는 MPLS 도메인과 외부 네트워크의 경계 라우터인 임계 라우터에서 들어오는 패킷의 IP 헤더 정보를 분석하여 목적지까지 사용할 경로 LSP(Label Switched Path)를 찾고 그 경로 상에 있는 다음 홉 라우터와 맺은 레이블 협약에 따라 레이블을 붙인 다음 포워딩시킨다. 다음 홉에 해당하는 LSR(Label Switch Router)은 들어오는 패킷의 레이블을 보고 자신에게 저장되어 있는 레이블 정보 테이블을 참조하여 다음 홉으로 내보내는 스위칭이 이루어져 MPLS 도메인을 떠나는 곳에 위치한 출구 라우터에 패킷이 도착하면 출구 라우터는 들어온 패킷에 붙어 있는 레이블을 제거하고 그 패킷의 IP 헤더 정보를 이용하여 해당하는 다음 홉으로 내보낸다. MPLS에서는 FEC의 흐름을 explicit LSP로 지정하여 경로를 변경시킬 수 있는 능력이 있으므로 트래픽 상황에 따라 경로를 조정할 수 있다.

제한 조건 기반 라우팅은 주어진 노드에서 다른 노드까지의 경로를 계산하여 그 경로가 만족해야 할 제한 조건을 위배하지 않고 어떤 특정 스칼라 메트릭에 있어서 그 경로의 메트릭이 다른 경로의 메트릭에 비해 최소(혹은 최적)이어야 한다는 것이다. 일단 경로가 계산되면, 제한 조건 기반 라우팅은 그 경로를 따라 포워딩 상태를 설정하고 유지할 책임을 가진다. 전통적인 IP 라우팅과 제한 조건 기반 라우팅의 차이점은 다음과 같다. 보통의 IP 라우

팅은 어떤 특정 스칼라 매트릭을 최적화 (예를 들면, 목적지까지의 홉의 수를 최소화하는 것)하는 경로를 찾는 것을 목표로 한다. 반면에, CBR은 어떤 스칼라 매트릭을 최적화하면서 동시에 일련의 제한 조건을 위배하지 않는 경로를 찾는다. 여기서 일련의 제한 조건을 위배하지 않는 경로를 찾는 능력이 CBR과 보통의 IP 라우팅을 구별짓게 만든다.

보통의 IP 라우팅과 CBR을 혼합한 라우팅 시스템이 가져야 할 가장 중요한 특징은, 그러한 시스템이 그것을 필요로 하는 응용에 대해 다양한 라우팅을 제공하면서 동시에 가능할 때마다 라우팅/스위칭 정보의 aggregation/abstraction을 통해 좋은 확장성을 제공해야 한다는 것이다.

이러한 목적을 달성하는 한 가지 방법은 기존의 SPF 알고리즘을 이용하는 것이다. 기존의 최단 경로 우선 알고리즘은 관리 측면의 거리와 같은 스칼라 매트릭에 대해 최적인 경로를 계산한다. 그래서 제한 조건을 위배하지 않는 경로를 계산하기 위해 필요한 것은 기존의 최단 경로 우선 알고리즘을 변경해서 그러한 제한 조건을 고려할 수 있도록 하는 것이다. 이렇게 변경된 알고리즘을 Constrained Shortest Path First (CSPF) 알고리즘이라 부른다<sup>5)</sup>. CSPF 알고리즘을 간단히 요약해 보면, 다음과 같다. 먼저, 트래픽이 요구하는 제한 조건을 만족하지 않는 링크를 제거한다. 그리고, 남겨진 그래프로부터 기존의 IP 네트워크에서 사용되는 지연에 의한 최단 경로 우선 알고리즘을 적용시킨다.

### III. 제한하는 라우팅 방안

앞장에서 설명한 제한 조건 기반 라우팅 방식은, 트래픽의 QoS 요구량을 고려한 경로를 찾아서 그 경로를 따라 망의 자원을 예약해 줌으로써 트래픽의 QoS 제한조건을 만족시켜 줌과 동시에 망의 자원도 좀 더 효율적으로 이용할 수 있는 방식이다. 여기서 트래픽의 QoS 제한 조건을 만족하는 경로는 라우팅에서 경로 계산을 위해 사용하는 매트릭을 사용한 최단 경로와 반드시 일치하는 것은 아니다. 그러므로 3 계층에서 사용되는 라우팅 프로토콜에서 설정되는 최단 경로와는 독립적인 경로를 설정하는 프로토콜인 CR-LDP 혹은 확장된 RSVP가 사용된다.

그림 1은 MPLS 네트워크상에서 CBR을 사용하였을 때, 트래픽이 라우팅(혹은 스위칭)되는 방식을 설명한 것이다<sup>5)</sup>. 입구 라우터로 트래픽이 들어오면,

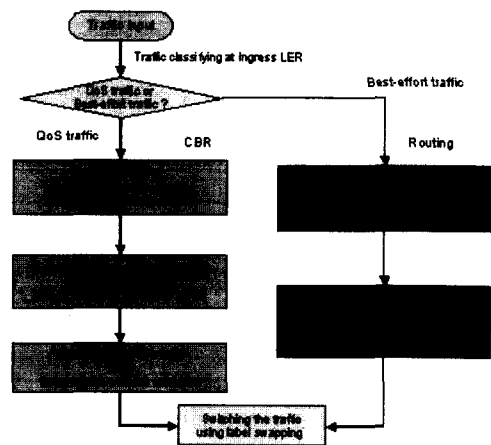


그림 1. MPLS 네트워크에서 제한 조건 라우팅이 사용될 때의 스위칭 방식

입구 라우터에서는 그 트래픽이 제한 조건을 가진 트래픽인지 아니면, 단순한 최선형 트래픽인지를 분류한다. 이러한 구분에 따라, 단순한 최선형 트래픽인 경우에는 라우팅에서 사용하는 매트릭에 따른 최단 경로로 레이블을 사용한 레이블 swapping 방식을 사용하여 트래픽을 스위칭하게 된다. 물론 그러한 최선 경로를 찾기 위해서는 Dijkstra 알고리즘과 같은 최단 경로 우선 알고리즘이 사용된다.

QoS 트래픽이 입구 라우터로 들어온 경우에는, 입구 라우터는 트래픽이 요구하는 제한 조건을 고려한 경로 계산을 하게 되고, CR-LDP 프로토콜(혹은 확장된 RSVP 프로토콜)을 사용하여 계산된 경로를 따라 자원을 예약하고, 레이블 협약을 맺은 후, 최선형 트래픽과 마찬가지로 레이블 교환 방식에 따라 스위칭된다. 여기서, 경로 계산시 사용되는 알고리즘이 앞장에서 설명한 CSPF 방식인데, 원래의 네트워크 토폴로지를 이용한 경로 계산이 아니라, 트래픽이 요구하는 제한 조건을 만족하지 않는 링크는 모두 제거하고 남은 토폴로지 상에서, 기존 IP 라우팅에서 사용하는 지연 매트릭을 기반으로 하여 최단 경로를 찾는다. 본 논문에서는 제한 조건이라 함은 이용 가능한 대역폭 조건으로 한정하였다.

위와 같은 방식에서는 제한 조건을 가진 트래픽에 대해서는 경로를 찾아 자원을 예약하고, 그 경로에 맞게 트래픽을 분산시켜주는 효과가 있으므로 트래픽 엔지니어링의 효과를 얻을 수 있다. 그러나, 이 방식 역시 제한 조건에 맞는 토폴로지 중에서 지연에 의한 최단 경로를 찾으므로, 최단 경로가 트래픽의 요구 조건을 만족하는 한 항상 최선형 트래픽이 스위칭되는 경로와 일치하게 된다. 제한 조건

을 가진 트래픽이 증가하여 최단 경로를 사용하면 서 그 경로 상의 많은 자원을 예약하게 되어 경로가 혼잡해지는 상황이 발생하게 되고, 최선형 트래픽은 최단 경로 상의 모든 라우터로부터 아무런 성능 보장을 받지 못하므로, 지연이 발생하고, 최악의 경우, 경로 상의 중간 라우터에서 버려지게 된다. 이는 제한 조건을 가진 트래픽의 경로를 찾는 CSPF 알고리즘과 SPF 알고리즘이 공통으로 지연값을 라우팅 메트릭으로 동일하게 사용하였을 경우에 생기는 필연적 결과이다.

그러므로, 라우터에서 행해지는 큐 관리를 통해 제한 조건을 가진 트래픽과 최선형 서비스의 성능을 적절히 보장해 줄 수 있는 방법을 사용하여 경로에 혼잡이 발생하였을 경우, 제한 조건을 가진 트래픽과 최선형 트래픽의 성능을 어느 정도는 보장해 줄 수 있다. 제한 조건을 가진 트래픽의 성능을 최대한 보장하는 것에 중점을 두는 것과 적절히 보장하면서 최선형 트래픽의 성능도 어느 정도는 보장해 준다는 것은 서로 trade-off의 성격을 가진 문제이다.

따라서, 제한 조건을 가진 트래픽 성능은 최대한 보장해 주면서, 최선형 트래픽의 성능을 향상시키고자 하는 방안을 제시한다. 본 논문에서, 제한 조건이라 함은 이용 가능한 대역폭 조건으로 한정한다.

**제한조건을 가진 경로 설정**

제한 조건을 가진 경로를 선택할 때 CSPF를 사용하여 경로를 선택하는 방법 외에 제한 조건을 가진 경로에 대해 네트워크를 효율적으로 경로 선택하는 방법으로 widest-least cost 알고리즘<sup>[7]</sup>을 이용할 수 있다. 하나 이상의 메트릭을 이용하여 경로 계산을 수행할 때 네트워크 지연과 대역폭 메트릭을 이용해서 새로운 메트릭을 정의하고 이 새로운 메트릭을 이용하여 경로 선택을 수행하는 알고리즘이다. [7]에서 사용한 비용계산식은 다음과 같으며, 이 메트릭은 지연 메트릭을 기반으로 해서 대역폭 메트릭을 적용한다.

$$\text{cost}(l) = d_l \times \frac{T}{\sigma \times \left(1.01 - \frac{b_l}{c_l}\right)} \quad (1)$$

이 메트릭은 네트워크 부하가 증가되어서 미리 정의한 임계치를 넘어설 경우 트래픽을 다른 링크로 옮겨야 할 필요가 있을 경우에 사용한다. 이 메트릭 값은 임계치 이하일 경우 지연값을 그대로 사용하지만, 임계치를 넘어설 경우 비용계산식을 이용

하여 메트릭을 결정한다. 식 (1)에서 계산되는 비용 값은 T값 근처에서는 지연값과 비슷하고 링크 사용량이 늘수록 비용값이 커지는 함수로 만들어졌다. 그러나, T값에 따라 사용되는  $\sigma$  값이 영향을 받므로 T값이 결정되면 사용할 수 있는  $\sigma$  값 선택에 한계가 있다. 따라서, 같은 원리로 사용하도록 변형한 식(2)를 사용해서 링크 l에서 사용할 메트릭 비용값을 cost(l) 계산하게 된다.

$$\text{cost}(l) = d_l \times \left(1 + \sigma \times \left(\frac{b_l}{c_l} - T\right) \times \frac{1-T}{1-\frac{b_l}{c_l}}\right) \quad (2)$$

여기서  $d_l$  은 링크 l의 지연값이고, T 는 대역폭 비율에 대한 임계값으로 0에서 1사이의 값을 가지며,  $\sigma$  는 바이어스 값으로 계산식에서 사용하는 부하값의 크기를 조절하는 scaling factor이며,  $b_l$  은 현재 링크 l에서 QoS 트래픽을 위해 예약된 대역폭이고,  $c_l$  은 링크 l의 대역폭 용량이다. 이 식은 대역폭율과 임계율의 비율 형태를 띠고 있다. 만약  $\sigma$  값이 클 경우, 결과적인 비용값을 증가시키게 된다. 따라서 이 값은 결과 비용이 변화되는 값의 변화 정도를 조절하는 값으로 이용할 수 있다. 그러므로,  $\sigma$  는 알고리즘의 성능을 변화시키게 될 것이다.

식 (1)에서  $\sigma$  값 설정할 때, 사용하는 T의 값에 따라 계산된 결과가 비용을 감소시키는 원하지 않는 경우도 발생하기 때문에 다양한  $\sigma$  scale 값을 설정하기 어려우며 부하값을 작게 주는 등의 비용 부가가 다양하지 못하다. 그러므로, 계산되는 부하 값을 원하는 값으로 설정하기 어려운 반면, 식(2)는 비용에 주어지는 부하값을 T에 상관없이  $\sigma$  값으로 크기를 조절할 수 있으므로 네트워크 상황에 따라 자유롭게  $\sigma$  값을 선택하고 이를 통해 부하값의 크기를 다양하게 적용 가능하다.

QoS를 요구하는 제한 조건을 가진 경로 선택의 경우 widest-least cost 알고리즘은 네트워크 부하가 임계치 이하일 경우에는 widest-shortest 경로 알고리즘으로 동작한다. 네트워크 부하가 임계치를 넘어설 경우, widest-least cost 알고리즘은 트래픽을 다른 링크로 분배시킴으로써 QoS를 요구하는 트래픽에 적합한 경로 선택의 가능성을 높여준다.

**최선형 트래픽을 위해 제안하는 링크 비용함수**

RFC 2702에 제안된 제한 조건 라우팅(CBR) 방식은 제한 조건을 가진 트래픽을 네트워크 전체로 분산시키면서도 트래픽이 요구하는 성능을 보장해 줄 수 있으므로 트래픽 엔지니어링을 수행하는데

큰 장점을 갖는다. 그러나, 제한 조건을 가진 트래픽을 라우팅하기 위해 사용하는 스칼라 메트릭과 최선형 트래픽을 라우팅하기 위해 사용하는 스칼라 메트릭이 동일하게 되면, 사용되고 있는 스칼라 메트릭에 의해 계산된 최단 경로가 서로 공유되고, 그 경로에 혼잡이 발생한 경우 최선형 트래픽의 성능이 극도로 저하되는 단점이 있다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해 최선형 트래픽이 사용하는 스칼라 메트릭에 제한 조건을 가진 트래픽의 예약률을 더하여, 제한 조건을 가진 트래픽의 예약이 증가하면, 그 경로상의 해당 링크 비용이 증가되어 최선형 트래픽이 새롭게 계산된 경로 계산에 의해 대체 경로로 우회되는 방법을 제시한다. 물론 고려하는 제한 조건은 대역폭으로 한정한다.

기존의 제한 조건 기반 라우팅 방식에서는 경로를 계산하기 위해 사용하는 각 링크의 비용은 단순한 스칼라 메트릭 값을 네트워크 관리자가 선택한다. 즉, 네트워크 관리자는 각 링크의 대역폭이나 전송 지연 등의 메트릭을 고려하여 라우팅에 사용할 스칼라 메트릭을 정하고, 링크에는 정해진 스칼라 메트릭에 따라 단순한 스칼라 값이 할당되는데, 할당되는 그 값이 바로 링크의 비용이 되었다. 즉, 기존에 사용하는 링크의 비용은 다음과 같다.

링크의 비용(Cost of the link) $C$ =스칼라 메트릭

본 논문에서 제안하는 비용 함수는 다음과 같다

$$C = \text{링크메트릭} + \frac{k \times \text{예약된대역폭}}{\text{링크전체대역폭}} \quad (3)$$

여기서,  $k$ 값은 링크의 비용 함수에서 첫번째 항인 링크 메트릭(스칼라 값)과 두번째 항인 예약된 대역폭/링크 전체 대역폭 값의 크기 정도를 조절하는 scaling factor이며, 링크의 대역폭이 제한 조건 트래픽에 의해 예약됨에 따라 얼마만큼 예약이 이루어졌을 때, 첫 번째 항에 값이 더해져서 전체 링크의 비용증가를 조절하는 상수의 바이어스값이다.

즉, 링크 메트릭의 단위가 1, 2, 3 같이 작은 정수인 경우와 100, 200, 300,..과 같이 큰 정수 단위인 경우 링크 비용 함수의 두 번째 항이 미치는 영향이 달라지므로 이때 값을 이용해 조절한다.

위 식의 두 번째 항은 다음과 같은 의미를 지닌다. (예약된 대역폭)/(링크 전체 대역폭)의 값이 커지면, 즉, 링크에 예약된 대역폭의 크기가 커질수록 현재 그 링크를 사용하는 트래픽의 양이 많아짐을 의미하고 (예약된 대역폭)/(링크 전체 대역폭) 이 1에 근접할수록 링크에는 혼잡이 발생할 가능성이

점점 커진다는 의미가 된다. 여기서 고려하는 (예약된 대역폭)/(링크 전체 대역폭) 값은 단지 제한 조건을 가진 트래픽만 고려할 뿐, 실제 현재 사용되는 트래픽의 대역폭은 알 수 없다. 그러나 예약된 대역폭이 전체 대역폭 값에 근접할수록 링크가 혼잡해질 가능성이 커진다는 것은 충분히 예상할 수 있다. 위 식(3)에서 두 번째 항이 없는 경우는 앞에서 언급한 기존의 링크 비용 함수와 동일한 식이 된다.

#### IV. 모의실험

본 장에서는 앞에서 제안한 QoS 라우팅 알고리즘과 라우팅 비용함수를 사용하여 모의실험을 한 결과를 보인다<sup>[15],[17],[18]</sup>.

##### QoS 경로 설정 실험

QoS를 만족시켜주어야 하는 트래픽에 대해 제안한 라우팅 알고리즘을 실험을 통해 기존의 다른 라우팅 알고리즘과 성능을 비교한다. 여러 실험 토폴로지에서 실험을 수행하였으며, 본 논문의 결과는 그림2의 토폴로지에서 결과이다.

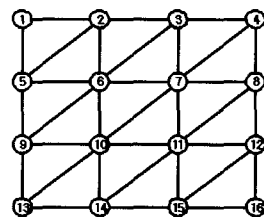


그림 2. QoS 경로 설정 실험 토폴로지

토폴로지는 16개의 노드로 구성된 격자모양이며, 모든 링크의 최대 대역폭은 10Mbps이다. 가로 방향과 세로 방향 링크들의 지연은 10ms이고 대각선 방향으로는 15ms이다. 시뮬레이션 프로그램은 소스와 목적지 호스트를 노드 중에서 임의로 선택하고 콜 연결을 발생시킨다. 모든 콜은 poisson 분포를 따라 발생한다. 콜이 요구하는 서비스 품질은 512Kbps의 70ms 제한을 가진 경로이다. 각 콜이 성공적으로 연결이 이루어지면, 그 연결이 유지되는 시간은 exponential 분포를 따르며 30분의 평균값을 갖는다. 콜이 발생된 후에, 각 콜에 대해 가능한 경로는 그 성능을 비교하기 위한 알고리즘에 따라 찾게 된다. 만약 알고리즘이 연결을 위한 경로를 찾게 되면, 각 콜은 그 선택된 경로를 따라 연결을 시도한다. 만약 소스와 목적지 사이에서 요구되는 대역폭을 만족시키지 못하거나 종단간 지연이 요구되는

값을 초과한다면 그 콜은 거절된다. 성능 비교를 위해 사용한 알고리즘은 dijkstra 알고리즘(SPF), shortest-widest(SW)<sup>[13]</sup>, widest-shortest 알고리즘(WS)<sup>[13]</sup>, 그리고 제안된 알고리즘(WLC)이다.

실험에서 여러 임계치(threshold) 값과 바이어스값을 사용했는데, 임계치와 바이어스값에 따라 성능이 조금씩 차이가 났다. 임계치는 경로를 변경할 링크의 사용률로서 0에서 1사이의 값을 가지는데, 네트워크 사용률이 경로 대역폭의 80% 사용량에서 우회경로를 고려하도록 하기 위해 사용한 임계치는 0.8이고, 바이어스값은 커질수록 고려하는 우회경로가 많기 때문에 여러 경로를 사용할 수 있으나 여러 실험 결과에서 3이상의 값에서는 큰 차이를 보이지 않았으므로 3을 사용했다.

제안된 알고리즘의 성능을 비교하기 위해서 콜 거절 비율(call rejection rate(CRR))을 확인하였다. CRR은 연결 설정을 요구한 콜 중에서 연결을 거절한 콜의 수를 비율로 나타낸 것이다.

$$CRR = \frac{n_{rej}}{n_{req}}$$

여기서  $n_{rej}$ 는 거절당한 콜의 수이고,  $n_{req}$ 는 연결을 위해 요구한 콜의 개수이다. 우리의 경로 설정의 목표는 CRR을 줄이면서 네트워크 자원을 효율적으로 이용하는 경로를 찾는 것이다.

그림3은 그림2 토폴로지서 실험을 수행한 결과 콜 거절 비율을 나타내고 있다. 평균 30분의 유지시간을 갖는 콜 발생률을 변화시켜 본 결과 그림에서 보면 제안한 알고리즘이 다른 알고리즘보다 거절 비율이 낮은 편이다.

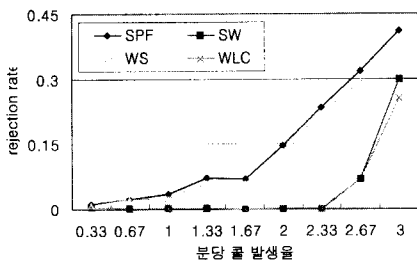


그림 3. 콜 거절 비율

제안한 알고리즘은 네트워크 부하가 낮을 경우 다른 알고리즘과 비슷한 값을 보이지만, 트래픽이 증가할 경우 그 값도 증가하게 된다. 그 이유는 알고리즘이 다른 경로를 찾아서 사용하게 되므로 평균 지연값을 증가시킨다. 최소 경로 알고리즘과

widest-shortest 알고리즘은 비슷한 성능을 나타내었다. 시뮬레이션의 결과를 살펴보면 제안한 알고리즘이 다른 어떤 알고리즘보다 CRR 값이 최소이며 사용률이 0%인 링크가 존재하지 않았다.

**최선형 트래픽 모의실험을 위한 토폴로지 및 환경**

그림 4는 최선형 트래픽이 사용하는 링크비용합수의 성능 확인을 위해 모의 실험에서 사용한 토폴로지를 보여준다. QoS를 요구하는 트래픽에 의해 QoS 경로가 예약이 될 때 비용 합수를 이용한 최선형 트래픽의 성능 개선 결과를 확인하였다.

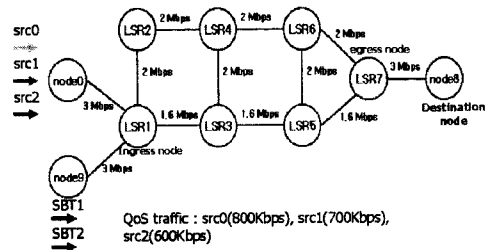


그림 4. 모의 실험에서 사용되는 네트워크 토폴로지

그림 4에서 보는 바와 같이 네트워크 토폴로지는 3개의 일반적인 IP 노드와 7개의 MPLS 노드로 이루어져 있다. 각각의 링크에는 링크의 대역폭이 표시되어 있으며, 각 링크의 지연은 10ms로 동일하게 설정되어 있다.

일반 IP 노드에는 drop-tail 방식의 큐가 구현되어 있으며, MPLS 노드에는 QoS 트래픽과 일반 최선형 트래픽을 별도로 구별해서 서비스 할 수 있는 CBQ(Class-based Queue)가 구현되어 있다. 각각의 큐는 10단위의 버퍼 크기를 가진다.

그림에서 보는 바와 같이 노드 0과 노드 9에서 트래픽을 발생시키는데, 노드 0에서는 3개의 QoS 트래픽(UDP 트래픽)이, 노드 9에서는 2개의 최선형 트래픽(UDP 트래픽)이 발생된다. 그리고 모든 트래픽은 목적지를 노드 8로 가진다. 소스 노드들에게서 발생한 트래픽은 노드 8에 구현된 각각의 싱크(sink) 에이전트(5개)에서 받아서 버림과 동시에 각 트래픽의 대역폭과 모의 실험 시간 동안 수신한 패킷의 수를 기록하게 구현하였다.

또한, 모의 실험에서 사용하는 라우팅 매트릭은 홉 수이고, QoS 트래픽의 요구조건은 대역폭으로 한정하였다. QoS 트래픽(src0, src1, src2)이 요구하는 대역폭은 각각 800Kbps, 700Kbps, 600Kbps 이고, 최선형 트래픽들은 350Kbps의 속도를 가지는 트래픽으로 단일화시켰다. 여기서 QoS 트래픽은 구

체적인 응용을 표시하지는 않았지만, 어느 정도는 지속적인 시간을 가지면서 망에서 요구하는 만큼의 대역폭을 보장해 주기를 바라는 실시간 멀티미디어 응용 트래픽이라고 봐도 무방하다. QoS 트래픽의 경로선택은 WLC 알고리즘을 사용하였으며, 위의 실험 조건에서 다른 알고리즘으로 수행한 결과는 QoS 트래픽의 경로 선택의 성능에 변화가 있을 뿐, 최선형 트래픽에 대해 비용함수를 이용한 성능 개선에 대한 비교 결과는 차이가 없었다. SPF나 WS를 사용하면 src1이 요구하는 경로가 reject되는 것 외에 최선형 트래픽에 주는 영향은 WLC와 동일하며, SW를 사용하면 우회경로를 주로 이용하기 때문에 QoS 경로 예약이 최선형 트래픽에 아무런 영향을 주지 못하였다. 모의 실험에서 나타난 결과는 WLC를 사용한 결과이다. 마지막으로, 모의실험에서 사용하는 모든 패킷의 크기는 200bytes/packet이다.

모의 실험에서는 앞장에서 제안한 대로 경로 상에 예약되는 트래픽의 양이 많아질수록 링크의 비용이 증가하는 비용함수를 사용하여 최선형 트래픽을 대체 경로로 우회시킨다. 구체적으로 모의 실험에서 사용되는 링크의 비용함수는 다음과 같다.

$$c = \text{링크메트릭} + \frac{k \times \text{예약된대역폭}}{\text{링크전체대역폭}}$$

$$= \text{홉수} + \lfloor \frac{1.25 \times \text{예약된대역폭}}{\text{링크전체대역폭}} \rfloor$$

위 식에서, k 값을 1.25로 선택하였는데, 이는 예약된 대역폭이 링크 전체 대역폭의 80%를 넘어서는 순간, 전체 링크의 비용이 단지 홉 수 1 만이 아닌 홉 수 1 에 1의 값이 더해져 2가 되도록 하기 위해서이다. 이렇게 한 이유는 망의 크기에 따라서, 예약된 망의 정보가 정확히 전달하는 데 시간이 더 걸리기 때문에, 80% 정도의 대역폭이 예약이 되면, 경로에 혼잡이 발생할 확률이 아주 높다고 가정할 수 있기 때문이다. 실제로 이 값은 네트워크 서비스 제공자가 자신의 망을 운용해 보고, 실제 상황에 맞게 적절히 조절할 수 있다. 또한 예약된 대역폭에 관한 정보는 OSPF나 IS-IS와 같이 확장된 링크 상태 라우팅 프로토콜을 이용해 망 전체의 라우터들에게 전파되는데, 위 식을 사용하면, 라우터들은 예약된 대역폭과 같은 정보가 갱신될 때마다 링크의 비용을 계산해서 라우팅 테이블을 갱신한 후, 갱신된 자신의 라우팅 테이블 정보를 또 플러딩 방식을 통해 망 전체에게 전파해야 하는 것이 아니라, 예약된 대역폭 양이 한계값(여기서는 80%)을 넘기 전에는 링크의 비용이 변화하지 않으므로 라우팅 테이블도 자주 변하지 않아 잦은 플러딩으로 인해 야기 될 수 있는

망의 혼잡도 줄일 수 있는 장점이 있다.

그림 5는 QoS 트래픽과 최선형 트래픽이 어느 정도 변화율을 가지는 상황에서 QoS 트래픽의 성능이 보장되면서, 망이 혼잡해 짐에 따라 최선형 트래픽 전송을 위해 최소경로를 사용하는 기존 방식과 제안된 방식에 의해 경로 선택이 되었을 때, 최선형 트래픽의 성능이 어떻게 되는지를 보인 것이다. QoS 트래픽 src0, src1은 트래픽이 지속될 시간의 평균을 3.0초로 가지면서 exponential 분포를 띄고, src2는 600Kbps의 일정한 속도로 입력되고, 최선형 트래픽 SBT1, SBT2 트래픽은 2.0초의 평균 지속 시간을 가지면서 입력 분포가 exponential 분포를 가진다. 최선형 트래픽에 비해 QoS 트래픽의 평균 지속 시간을 더 길게 설정한 이유는 최선형 트래픽이 QoS 트래픽보다 더 버스트한 성질을 가지기 때문이다.



(a) 기존 방식



(b) 제안한 방식

그림 5. 트래픽 입력률이 변할 때 각 트래픽의 대역폭 변화

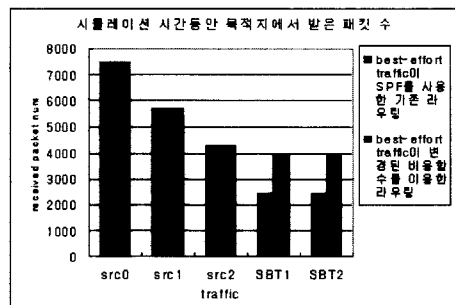


그림 6. 트래픽 입력률이 변할 때 모의 실험 동안 목적지에서 받은 패킷의 수

본 논문에서 제안한 변경된 비용함수를 이용하는 방식은 제한 조건을 가진 QoS 트래픽 성능을 최대한 보장해 주면서, 트래픽을 분산하여 망자원의 효율성을 높임과 동시에 혼잡이 발생하였을때 생길 수 있는 최선형 트래픽의 성능저하를 최소화하고, 또한 최선형 트래픽 역시 기존 방식으로는 사용할 수 없었던 대체 경로를 사용함에 의해 좀 더 효율적인 망 자원의 이용을 가능하게 함을 알 수 있다.

그림5와 그림6 결과에서 보듯이, QoS 트래픽과 최선형 트래픽의 입력률이 변하는 경우에도, 보장받는 QoS 트래픽의 성능은 저하되지 않고 여전히 보장되고 있으며, 변화하는 QoS 트래픽의 대역폭에 따라 최선형 트래픽의 성능이 그에 맞게 변화할 뿐, 최선형 트래픽의 성능이 SPF를 사용하는 기존 방식 보다는 비용함수를 사용하여 제안한 방식에서 더 나음을 알 수 있고, 또 제안한 방식에서는 최선형 트래픽이 혼잡이 발생한 최단 경로를 우회함으로써 전체 망 자원의 효율적 이용도 가능함을 알 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 QoS를 요구하는 트래픽과 최선형 트래픽을 최대한 수용할 수 있는 라우팅 방안이 연구되었다. 제한 조건 기반 라우팅에서 사용되는 CSPF 알고리즘이 가질 수 있는 문제점을 개선하여 네트워크에서 QoS를 보장받고자 하는 트래픽과 최선형 트래픽이 분산되도록 하여 전체적인 트래픽의 균등 분산효과를 얻을 수 있는 방안을 제안하였다.

QoS를 보장받고자 하는 트래픽에 대해서 widest-least cost 라우팅 알고리즘을 제안하였으며 결과를 다른 알고리즘과 비교하였다. 제안한 알고리즘은 네트워크 부하가 낮을 경우 widest- shortest 알고리즘으로 동작하고, 네트워크 부하가 높을 경우 widest-least cost로 동작함으로써 다른 알고리즘보다 좋은 성능을 보여주고 있다. 링크 사용량에 따라 다른 링크를 사용하는 것이 가능하게 하는 점은 트래픽을 덜 복잡한 링크로 옮김으로써 네트워크에 부하를 분산시키는 역할을 수행한다. 이는 또한 콜 거절을 줄여주게 되며, 트래픽 부하 배분과 트래픽 혼잡을 피하는데 도움이 된다.

네트워크로부터 아무런 보장을 받지 않는 최선형 트래픽은 라우팅 되고 있는 최단 경로에 혼잡이 발생할 경우, 망의 라우터들은 아무런 성능 보장도 해주지 않으므로 중간라우터에서 지연이 아주 길어지

거나, 최악의 경우에는 버려지게 된다. 그러므로 경로 상에 예약된 QoS 트래픽 정보를 비용함수의 한 요소로 첨가하여 예약이 많이 될수록 링크의 비용이 커지도록 하였고, 그 결과 최선형 트래픽이 우회되게 하는 방식은 망의 전체 자원의 효과적인 이용뿐만 아니라, 전체 트래픽이 망으로부터 받을 수 있는 성능도 향상시킬 수 있다.

### 참고 문헌

- [1] D. Awduche, "Requirements for Traffic Engineering over MPLS", RFC 2702, Sep. 1999.
- [2] D. Awduche, "MPLS and Traffic Engineering in IP Networks", *IEEE Communications Magazine*, vol.37, no.12, Dec. 1999.
- [3] A. Ghanwani, D. Fedyk, P. Ashwood-smith, L. Li, and N. Feldman, "Traffic Engineering Standards in IP Networks Using MPLS", *IEEE Communication Magazine*, vol.37, no. 12, Dec. 1999.
- [4] G. Swallow, "MPLS Advantages for Traffic Engineering", *IEEE Communication Magazine*, vol.37, no.12, Dec. 1999.
- [5] B. David, Y. Rekhter, *MPLS Technology and Applications*, Morgan Kaufmann Publishers, 2000.
- [6] C. Huitema, *Routing in the Internet*, Prentice Hall, 1999
- [7] Hahnearl Jeon, Sung-dae Kim, Jai-yong Lee, "Performance Analysis of QoS routing with Network dependent delay cost", *ICOIN15*, Jan 2001.
- [8] T. Li, Y. Rekhter, "Provider Architecture for Differentiated Services and Traffic Engineering (PASTE)", RFC 2430, Oct 1998.
- [9] R. Guerin, S. Kamat, A. Orda, T. Przygienda, D. Williams, "QoS Routing Mechanisms and OSPF Extensions", RFC 2676, Aug 1999.
- [10] J. Moy, "OSPF Version 2", RFC 2328, April 1998.
- [11] J. Moy, "OSPF Protocol Analysis", RFC 1245, July 1991.
- [12] X. Xipeng, H. Alan, B. Brook, "Traffic Engineering with MPLS in the Internet", *IEEE Network*, March 2000



[13] X. Xiao, L. Ni, "Internet QoS : A Big Picture", *IEEE Network Magazine*, March/April 1999

[14] E. Crawley, R. Nair, B. Jajagopalan, H. Sandick, "A Framework for QoS-based Routing in the Internet", RFC 2386, Aug. 1998

[15] G. Ahn, W. Chun, "Architecture of MPLS Simulator (MNS) for the setup of CR-LSP", *ICOIN15*, Jan 2001.

[16] B. Braden, S. Shenker, D. Clark, "Integrated Services in the Internet Architecture : An Overview", RFC 1633, June 1994.

[17] URL: <http://www.raonet.com>

[18] URL: <http://www-mash.cs.berkeley.deu/ns/>

1997년 1월~현재 : 한국전력기술 책임연구원  
 <주관심 분야> Wireless LAN, 초고속 LAN, Network Management System, 계측제어 분야

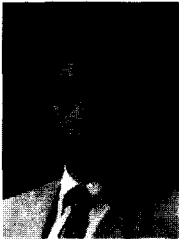
이재용(Jai-yong Lee) 정회원



1977년 2월 : 연세대학교  
전자공학과 졸업  
 1984년 5월 : IOWA State  
University 공학석사  
 1987년 5월 : IOWA State  
University 공학박사

1987년 6월~1994년 8월 : 포항공과대학 교수  
 1994년 9월~현재 : 연세대학교 전자공학과 교수  
 <주관심 분야> Protocol design for QoS management, network management, high speed networks and conformance testing

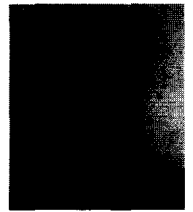
전한얼(HahnEarl Jeon) 정회원



1995년 2월 : 연세대학교  
전자공학과 졸업  
 1997년 8월 : 연세대학교  
전자공학과 석사  
 1997년 9월~현재 : 연세대학교  
전기, 전자공학과  
박사과정

<주관심 분야> QoS Routing, Traffic Engineering

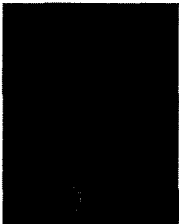
김형택(Hyung-Taek Kim)



1987년 2월 : 광운대학교  
전자계산기공학 졸업  
 1997년 8월 : 한국과학기술원  
정보통신공학 석사  
 1987년 1월 ~ 현재 : LG전자  
이동통신연구실  
책임연구원

<주관심 분야> IMT-2000 핵심망 패킷이동통신분야  
설계 및 분석

김성대(Sung-Dae Kim) 정회원



2000년 2월 : 연세대학교  
전기전자공학과 졸업  
 2002년 2월 : 연세대학교  
전기전자공학과 석사  
 2002년 3월 ~현재 : LG 전자  
GSM 단말 연구소

<주관심 분야> MPLS, 이동통신

신용철(Yong-chul Shin) 정회원



1985년 2월 : 한양대학교  
전자공학과 졸업  
 1987년 2월 : 한양대학교  
전자공학과 석사  
 2002년 8월 : 연세대학교  
전기, 전자공학과  
박사

1987년 3월~1996년 12월 : 한국원자력연구소 선임  
연구원