

논문 2004-41TC-5-2

# MPLS 망에서 QoS를 고려한 복구경로 할당

(Alternative LSP Allocation for Considering QoS in MPLS Networks)

양 형 규\*, 이 병 호\*\*

(Hyung-Kyu Yang and Byung-Ho Rhee)

## 요 약

본 논문에서는 보다 신뢰성이 요구되는 MPLS 망을 위한 복구경로 할당에 대하여 새로운 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 QoS 파라미터에 근거하여 사용자 트래픽을 분류한다. 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽의 우선순위를 부여하여 예비 경로를 할당한다. 제안된 알고리즘은 이러한 우선순위 기법을 통하여 상대적으로 고가인 양질의 서비스를 요구하는 실시간 트래픽의 오류에 대비하여 보다 신뢰성이 보장되는 복구경로를 제공한다. 또한 복구경로 설정 시 링크 사용에 의해 발생하는 네트워크 자원의 부족 문제 해결을 개선 향상시킬 수 있다. 제안된 알고리즘은 프로그램 툴을 이용한 시뮬레이션을 통하여 기존 알고리즘과 비교 분석되었으며 그 결과 유효성을 확인하였다. 또한 복구율에서 기존방식에 비해 89%에서 98%로 9% 개선효과가 있다.

## Abstract

In this paper, we propose the alternative LSP allocation for MPLS networks required more confidence. In the first place, we must classify the user traffics by the QoS parameters. We assigned alternative LSPs on realtime traffics and then allocated alternative LSPs of non-realtime traffics. The proposed algorithm can provide more confidential alternative LSP by priority method for relatively high cost realtime traffic error. And the proposed algorithm can improve the shortage of network resources what is occurred by using a few links when alternative LSPs are setup. The validity of the proposed algorithm has been justified in performance by analysis through simulation results using the program tool and comparison with conventional methods. Also, that improves 9% more than existing method in the recovery ratio - one is 89%, the other is 98%, respectively.

**Keywords :** MPLS, Alternative LSP, Routing, Traffic, QoS

## I. 서 론

TCP/IP 기반의 인터넷 프로토콜이 컴퓨터 통신망의 실질적인 표준으로 확고히 자리 잡게 되면서 인터넷은 세계적인 공공 데이터 망으로 성장하게 되었다. 특히 인터넷이 본격적인 상업망으로 전환되기 시작하면서 급

격하게 양적인 팽창을 거듭하고 있으며, 멀지 않은 미래에는 정보 통신 기술과 컴퓨터, 지능형 전자 제품들이 보급됨에 따라 인터넷의 수요가 폭발적으로 증가될 것으로 예상되고 있다. 또한, 고속의 멀티미디어 서비스와 다양한 실시간 응용 프로그램들의 등장으로 인해 인터넷에서는 서비스의 질적인 향상과 함께 높은 대역폭이 요구되는 상황에 놓여 있다. 이에 따라 사용자에게 고속의 데이터 서비스를 제공할 수 있는 고속 모뎀, 케이블 모뎀, ISDN(Integrated Services Digital Network), xDSL(Digital Subscribe Line) 등의 다양한 고속 액세스 기술이 해결책으로 등장하였다. 그러나 이러한 고속 액세스 기술의 등장은 이미 포화 상태에 있는 인터넷의 부하를 더욱 가중시키는 결과를 초래했다. 이러한 배경으로부터 인터넷은 새로운 변화를 수용하기 위한 새로

\* 정희원, 청주기능대학 정보통신시스템과  
(Dept. of Information and Communication System,  
Cheongju Polytechnic College)

\*\* 정희원, 한양대학교 정보통신학부  
(Dept. Information and Communication, Hanyang  
University)

※ 본 연구는 한양대학교 IT연구센터 육성 지원사업의 연구결과로써 HY-SDR 연구센터의 연구비 지원으로 수행되었음.

접수일자: 2004년2월9일, 수정완료일: 2004년5월3일

운 방안이 요구되고 있다. 하지만 이 같은 문제는 라우터의 패킷 처리 능력에 기인한 대역폭의 확장을 의미하는 것만이 아니라 다양한 서비스의 요구사항을 제공할 수 있는 새로운 개념의 네트워크 구조가 요구되고 있다. 최근 이와 같은 인터넷의 새로운 변화를 수용하면서 고속화와 QoS(Quality of Service)를 제공할 수 있는 차세대 인터넷 망으로 진화하기 위한 하나의 움직임으로써 IP와 고속 멀티 서비스인 ATM 교환 기술의 통합이 활발히 진행 중에 있다. 이처럼 IP와 ATM의 고속 멀티 서비스 교환 기술을 이용하여 기존의 LAN 트래픽 및 인터넷 트래픽을 고속으로 처리하고 다양한 부가 서비스를 제공할 수 있는 방식으로 IETF(Internet Engineering Task Force)의 MPLS (Multi-Protocol Label Switching) 기술이 있다. MPLS 기술은 기존의 라우팅 방식을 기반으로 ATM의 고속 멀티 서비스 교환 기능을 결합하여 IP 패킷을 전달하는 방식으로써 대규모의 망에서 고속의 데이터 전송과 함께 다양한 부가 서비스 제공을 목적으로 한다<sup>[1]</sup>.

그러므로 MPLS는 IP 기반에서 ATM의 고속 멀티 서비스 교환 기능을 수용함으로써 기존의 IP가 지니고 있는 많은 제약 사항을 해결할 수 있으며, 기존의 망에서 제공할 수 없었던 고속 서비스와 다양한 부가 서비스를 창출할 수 있기 때문에 망 사업자들로부터 차세대 인터넷으로 진화할 수 있는 새로운 핵심 기술로 평가받고 있다. 최근 인터넷에서는 VoIP(Voice over IP), VPN(Virtual Private Network)과 같이 QoS 보장을 요구하는 새로운 응용 서비스들의 출현과 함께 IP QoS의 문제는 차세대 인터넷에서 가장 중요한 과제의 하나로 등장하고 있다. 인터넷을 통해 전달되는 패킷의 지연 시간과 지연 변이, 그리고 손실은 서비스에 따른 요구 사항, 즉 QoS의 주요 내용이라고 할 수 있다. 하지만 현재의 인터넷은 모든 패킷을 동일하게 전달하는 베스트 최선형(best effort) 서비스만을 제공하고 있기 때문에 서비스에 따른 패킷 전달 지연과 지연 변이에 대한 요구 사항을 보장해 주지 못하고 있다. 따라서 인터넷에서 서비스의 QoS를 보장해 주기 위해서는 현재의 베스트 에포트(best effort) 모델과는 다른 새로운 서비스 모델을 필요로 한다.

실시간 응용 서비스가 요구하는 QoS를 지원하기 위해 새로운 서비스 모델에 기반을 둔 IP 패킷 전달 방식에 대한 연구가 최근 수년간 IETF IntServ(Integrated Service) 워킹 그룹에서 연구되어 왔다. 이 그룹에서 개발된 IntServ 모델은 실시간 응용 서비스에서 발생하는

패킷의 흐름을 단위로 하여 QoS 보장형 서비스와 비보장형 서비스 유형으로 구분하여 패킷을 전달한다. 즉 보장형 서비스는 자원 예약 프로토콜인 RSVP(ReSerVation Protocol) 신호 프로토콜을 이용하여 사전에 연결 수락 제어와 자원 예약을 수행하여 패킷의 전달 지연을 보장해 준다. 하지만, IntServ 모델은 각 패킷 흐름에 대한 상태 정보를 망의 라우터가 유지하고 있어야 하기 때문에 망의 규모가 커질 때 이를 현실적으로 수용하기에는 문제점이 있다. 수천 개에서 수만 개의 패킷 흐름이 동시에 존재할 수 있는 광역 백본 라우터의 경우, 각 흐름 별로 연결 상태를 개별적으로 유지, 관리하기란 매우 힘들기 때문이다<sup>[2]</sup>.

이에 따라 큰 규모의 인터넷 전달 망에 적용할 경우 확장성의 문제를 갖고 있는 IntServ 모델의 한계를 극복하고 인터넷 백본 망에서 적용할 수 있는 서비스 모델로서 DiffServ(Differentiated Service) 모델이 1997년 후반부터 IETF에서 활발히 논의되기 시작하여 빠른 속도로 구조 및 관련 표준안이 개발되고 있다. DiffServ 모델은 흐름 단위로 QoS를 보장하지 않고 흐름들의 집합을 단위로 서비스 차별을 함으로써 훨씬 간단하고, 따라서 대규모 망에도 적용 가능하도록 하고 있다<sup>[3]</sup>.

본 논문은 기존 하나의 링크로 여러 개의 경로가 물리는 경우와 재라우팅 후 사용자 트래픽의 QoS 보장에 관한 문제점들을 해결하고자 QoS에 따라 트래픽을 분류하고, 분류된 트래픽 별로 우선순위를 두어 예비경로를 설정하는 알고리즘을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제II장에서는 MPLS의 간략한 라우팅 방식과 장점, 그리고 트래픽 엔지니어링에 대해 알아보고, 제III장에서는 Haskin이 제안한 방법을 중심으로 빠른 재라우팅(Rerouting) 방법과 그 문제점에 대해 고찰하며, 제IV장에서는 이 문제점을 해결하고자 알고리즘을 제안하였다. 제V장에서는 컴퓨터 시뮬레이션 과정을 살펴보고, 그 결과를 통해 제안한 알고리즘의 효과를 입증하였으며, 마지막으로 제VI장에서 결론을 맺었다.

## II. MPLS 트래픽 엔지니어링

### 1. MPLS 라우팅 방식

MPLS는 패킷 전달을 고속화하기 위해서 ATM이나 Frame Relay와 같은 제 2계층의 교환 기술을 사용하고, 망의 확장성을 제공하기 위해서 제 3계층의 라우팅 기능을 접목한 제 3계층 스위칭 기술의 일종이다. 이러한 MPLS에서는 짧고 고정된 길이의 레이블을 기반으로

패킷을 전송하는 레이블 교환(label swapping) 방식을 사용한다<sup>[1]</sup>.

그림 1 에 보인 바와 같이 MPLS 네트워크는 에지(edge)에 위치하여 non-MPLS 네트워크와 연동하는 LER(Label Edge Router)과 코어(core)에 위치하는 LSR(Label Switching Router)로 이루어진다.

Ingress LER은 non-MPLS 네트워크로부터 전달되어 오는 패킷의 헤더를 분석하여 이 패킷이 전달될 LSP(Label Switched Path)를 결정하고, 해당 출력 인터페이스에 따라 패킷을 인캡슐레이션 한다. LSR은 LER로부터 레이블이 부착된 패킷이 들어오면 레이블만 검사하여 레이블 값을 바꾸고 정해진 출력 인터페이스로 전달한다. Egress LER에서는 도착한 패킷에서 레이블을 제거하고 그 패킷의 목적지로 패킷을 전달한다.

위의 과정에서 IP 패킷을 목적지까지 전송하기 위해 필요한 IP 헤더 처리 과정은 모든 홉에서 수행될 필요가 없이 MPLS 망에 진입하는 시점에서 단 한번만 수행된다. 그리고 이 시점에서 IP 패킷이 하나의 레이블로 맵핑됨으로써 스위칭 기술을 이용한 고속의 제 2계층 데이터 전송이 이루어지며, 각 레이블에 맵핑되어 있는 경로의 특성에 따라서 트래픽 엔지니어링이나 VPN(Virtual Private Network)과 같은 다양한 부가 서비스도 제공할 수 있다<sup>[4]</sup>.

## 2. 트래픽 엔지니어링

트래픽 엔지니어링이란 네트워크 자원을 효율적으로 사용하면서 트래픽이 네트워크 상에 골고루 분산되도록 그 경로를 제어함으로써 사용자들이 원하는 서비스 품질을 보장해주면서 네트워크 자원의 활용도를 극대화시키는 기술을 말한다. 이러한 트래픽 엔지니어링 기술은 네트워크 내의 두 지점 간에 복수개의 경로나 대체 경로가 존재하는 경우 더 큰 의미를 가진다. 최근 IP 트래픽의 급증에 대비하기 위해 망 사업자들이 백본 망 내에 라우터와 전송 링크를 증설함으로써 망 내에 수많은 대체 경로가 존재하는데, 이러한 현상은 트래픽 엔지니어링 기술의 필요성과 중요성을 부각시키고 있다.

현재 대부분의 ISP 망은 IP over ATM 오버레이 모델을 취하고 있다. 즉, 코어에 고속 ATM 교환기를 배치하고 에지에 IP 라우터를 두는 구조이다. 라우터간의 연결은 ATM PVC(Permanent Virtual Circuit)로 제공되며, 각 라우터 간에 ATM PVC를 설정할 때 네트워크에 부하가 골고루 분산되도록 설정함으로써 트래픽 엔지니어링 기술을 적용하고 있다. 그러나 링크와 관련

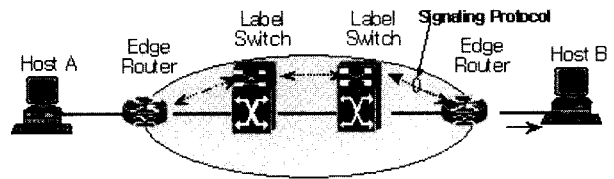


그림 1. MPLS 네트워크 구조  
Fig. 1. MPLS Network.

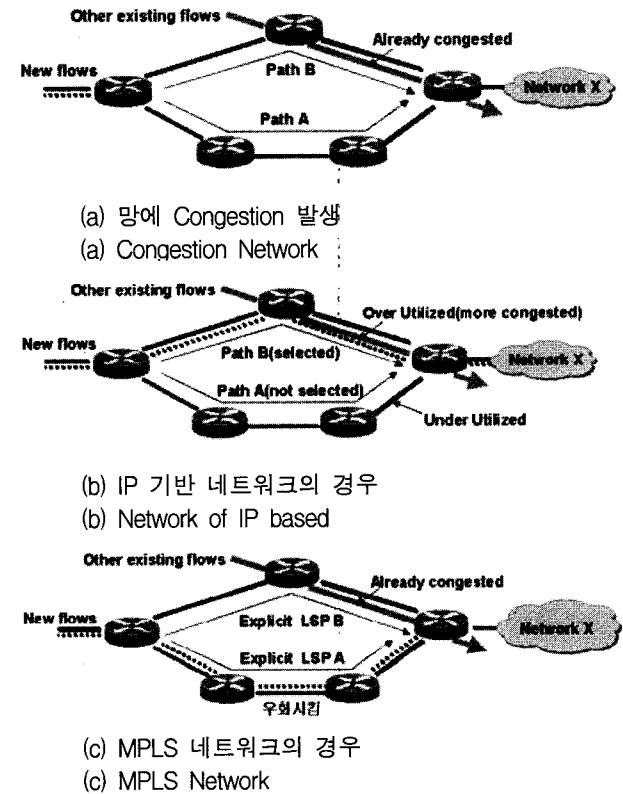


그림 2. Explicit LSP 설정을 통한 트래픽 엔지니어링  
Fig. 2. Traffic Engineering of Explicit LSP.

된 매트릭을 사용하여 부하 균등 분산 효과를 얻는 것은 한계가 있다. 그 이유는 OSPF(Open Shortest Path First)처럼 무조건 최단 경로로 패킷을 포워딩하는 비지능성 때문이다<sup>[5]</sup>.

다음 그림 2 (a)처럼 망에 혼잡이 발생했을 때, IP 기반 네트워크에서는 새로운 데이터가 들어오면 혼잡으로 인해 링크의 자원이 부족함에도 경로 B를 선택하게 된다. 이것은 단순히 2홉이라는 OSPF의 매트릭 때문인데, 결국 망의 혼잡을 더 가중시키는 결과를 가져온다. 그림 2 (b)는 그 과정을 나타내고 있다.

그러나 MPLS에서는 LSP 설정 시 네트워크 관리자에게 망 자원 할당 기능을 부여하고, 명시적 경로 기능을 사용함으로써 보다 효과적인 트래픽 엔지니어링 기능을 수행할 수 있다. 즉, 그림 2. (c)에서처럼 망에 혼잡이 발생한 경우 홉 수는 더 많더라도 명시적으로 다

른 대체 경로를 선택해줌으로써 사용자에게 더 좋은 서비스를 제공하며, 네트워크 자원을 효율적으로 사용할 수 있도록 한다<sup>[5]</sup>.

### III. 기존 재라우팅 알고리즘

#### 1. 대체경로의 설정을 통한 신속한 재라우팅

본 절에서는 Dimitry Haskin에 의해 제안된 재라우팅 알고리즘을 소개하고 문제점을 고찰한다. Haskin이 제안한 알고리즘은 SONET(Synchronous Optical Network)에서 개발된 self-healing 기법의 복구시간인 50ms와 비교할 수 있을 만큼 그 복구시간이 빠르다. 이 방법에서는 빠른 복구를 필요로 하는 단일 에러 보호를 위해 그리고 계산의 복잡성과 시그널링 요구사항을 최소화하기 위해 선택적인 예비경로를 설정한다<sup>[6]</sup>.

#### 2. 대체경로 설정

이 알고리즘의 핵심은 보호받는 LSP의 에러 발생점에서 트래픽을 LSP의 소스 스위치로 방향을 바꾸는 것이다. 이것은 트래픽의 흐름 방향을 보호받는 LSP 터널의 소스와 목적지 스위치간의 병렬 LSP를 통해 다시 바꾸기 위해서이다.

위의 그림 3 은 7개의 상호 연결된 스위치로 구성된 MPLS 망을 나타낸다. 예비경로에 의해 보호받는 LSP의 한 부분을 보호받는 경로 세그먼트(Protected path segment)라 하며, 보호받는 경로 세그먼트의 진입 중단(ingress end-point)에서의 스위치를 소스 스위치(source switch : LSR 1), 진출 중단(egress end-point)에서의 스위치를 목적지 스위치(destination switch : LSR 7), 보호받는 경로상의 소스 스위치와 목적지 스위치 사이의 스위치들은 보호받는 스위치(protected switch), 그리고 목적지 스위치 바로 앞의 스위치를 마지막 홉 스위치(last hop switch : LSR 5)라 한다.

예비경로의 설정은 세 단계의 과정을 거쳐 이루어진다. 먼저 첫 번째 세그먼트의 설정인데, 보호받는 경로의 반대 방향으로 마지막 홉 스위치와 소스 스위치 사이 또는 목적지 스위치와 소스 스위치 사이에서 실행된다. 위의 그림에서 LSR 5 - LSR 3 - LSR 1의 링크 또는 LSR 7 - LSR 5 - LSR 3 - LSR 1의 링크가 첫 번째 세그먼트에 해당된다. 두 번째 세그먼트는 소스 스위치와 목적지 스위치 사이에 설정되는데 보호받는 경로가 사용하는 어떤 스위치도 사용하지 않는 전송 경로를 따라야 한다. 위의 그림에서 LSR 1 - LSR 2 - LSR 4 - LSR 6

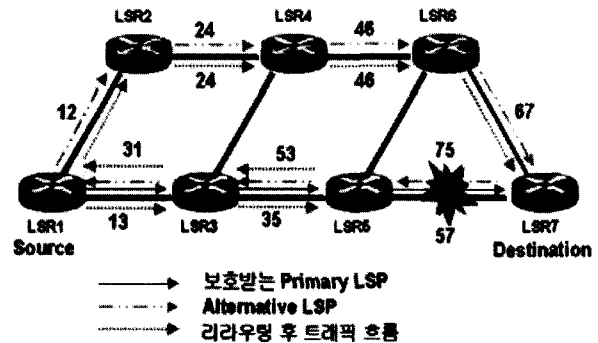


그림 3. 예비경로의 설정과 재라우팅 과정  
Fig. 3. Rerouting Proceeding.

- LSR 7 링크는 두 번째 세그먼트에 해당된다. 마지막으로 첫 번째 세그먼트와 두 번째 세그먼트가 링크를 형성함으로써 최종적인 예비경로가 이루어진다.

그림 3 에서 선택적인 경로가 마지막 홉 스위치에서 시작한다면 전체적인 예비경로는 53 → 31 → 12 → 24 → 46 → 67로 레이블 된 LSP 링크로 구성된다. 만약 선택적인 경로가 목적지 스위치에서 시작한다면 전체적인 예비경로는 75 → 53 → 31 → 12 → 24 → 46 → 67로 레이블 된 LSP 링크로 구성된다.

보호받는 경로에 고장이 생기면 장애를 받는 링크의 인그레스에서의 동작 스위치는 트래픽의 방향을 초기경로의 반대로 설정함으로써 재라우팅한다.

### IV. QoS를 보장하는 대체 LSP 설정

#### 1. 기존 알고리즘의 문제점

Haskin의 방법에서 문제점은 크게 두 가지로 나누어 생각할 수 있다. 첫 번째는 하나의 링크로 여러 개의 경로가 물리는 경우이다. 이러한 현상은 주 경로의 고장을 복구하기 위한 예비경로에 다시 혼잡이나 고장을 일으켜 완전히 복구를 하지 못하거나 상당한 지연을 초래하게 된다. 물론 소유 우선권을 사용하면 위의 현상은 어느 정도까지 방지할 수는 있지만, 이는 대역폭 선취에 대한 우선권만을 고려하기 때문에 완벽한 대안이 될 수 없다. 또한 현재의 네트워크 규모나 그 복잡성을 고려한다면 보다 원천적인 대안이 필요하다.

두 번째 문제는 재라우팅 후 사용자 트래픽의 QoS 보장에 관한 것이다. 현재 MPLS망에서는 DiffServ 방식이나 FEC 매핑을 통해 사용자의 QoS 요구를 만족시키고 있다. 즉, 초기에 설정된 주 경로에는 트래픽이 QoS를 만족시키며 흐른다. 그러나 주 경로에 에러가 발생하여 트래픽이 재라우팅 된 후, 재라우팅 되기 전

표 1. MPLS 트래픽 클래스  
Table 1. MPLS Traffic Class.

	Class A	Class B	Class C	Class D
Timing	Required	Required	Not required	Not required
Bit rate	CBR	VBR	VBR	VBR
Connecting session	Connection-oriented	Connection-oriented	Connection-oriented	Connection less
Packet loss	Some permitted	Some permitted	Some permitted	Not permitted
Flow control	Minimal	Minimal	Permitted	Permitted

어떤 등급의 서비스를 보장받았었는지에 대한 예비경로의 구분이 없다.

위의 두 가지 문제는 결국 네트워크 자원의 비효율성을 야기한다. 따라서 본 논문에서는 위의 두 가지 문제를 해결하고자 QoS에 따라 트래픽을 분류하고, 분류된 트래픽 별로 우선순위를 두어 예비경로를 설정하는 알고리즘을 제안한다.

### 2. QoS 파라미터에 따른 트래픽 분류

현재 MPLS에서는 사용자 트래픽에 대한 QoS를 제공하기 위해 4개의 트래픽 클래스를 정의하며, 이를 CoS(Class of Service) 필드를 사용하여 표시하고 있다<sup>[7][8]</sup>. MPLS에서 트래픽을 분류하기 위해 사용되는 파라미터들은 다음과 같다.

- 송신측과 수신측간의 타이밍
- 비트율(bit rate)
- 송신측과 수신측간의 연결세션
- 사용자 부하(payload)의 순서
- 흐름제어 연산(flow control operation)
- 사용자 트래픽의 중요성
- 사용자 PDU(Protocol Data Unit)의 분할과 재결합

표 1 은 QoS 파라미터들을 근거로 하여 분류한 4개의 MPLS 트래픽 클래스 종류를 나타내고 있다. 클래스 A는 회선 에블레이션 또는 CBR(Constant Bit Rate) 음성과 같은 연결기반형 고정 전송속도 서비스로서 고정된 전송속도를 유지해주기 위해 일정한 대역폭을 보장해야 한다.

VBR(Variable Bit Rate)의 경우는 가변 속도로 실시간 형식인 것과 아닌 것을 구분해 대역폭을 할당한다. 그 중에서 클래스 B는 VBR 비디오와 같은 송신측과 수신측 사이에 시간 관계가 있는 연결기반형 서비스로

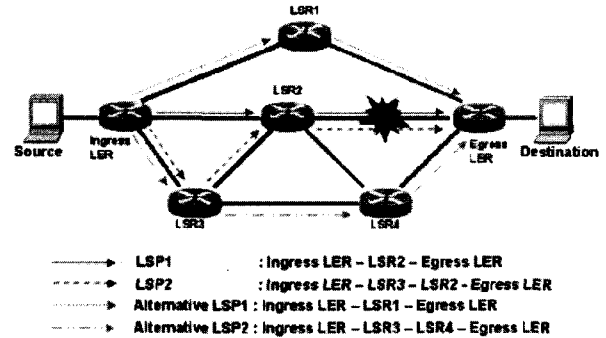


그림 4. QoS 파라미터를 고려한 예비경로 설정  
Fig. 4. Alternative LSP Considering QoS Parameter.

서 실시간의 특성이 보장되어야 하기 때문에 충분한 대역폭이 유지되어야 하며, 클래스 C의 경우는 X.25와 같은 전형적인 연결형 데이터 서비스로서 시간 관계가 요구되지 않으므로 대역폭 확보에 덜 민감하다. 마지막으로 클래스 D는 LAN과 MAN 등에서의 비 연결성 데이터 서비스로서 패킷 손실이 허용되지 않는 정확한 데이터 전송에 이용된다.

본 논문에서는 위에서 열거한 QoS 파라미터 중 시간 관계에 대한 항목만을 고려하여, 클래스 A와 B를 실시간 트래픽, 클래스 C와 D를 비실시간 트래픽으로 분류하여 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션 하였다.

### 3. QoS를 보장하는 대체 LSP 설정 알고리즘

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 기본 개념은 트래픽 클래스에 따라 부여하는 우선순위 기법이며, 예비경로 설정에 차등화를 줌으로써 네트워크 자원의 효율성을 추구하고, 사용자 QoS를 만족시키고자 한다.

현재 망에 실시간 트래픽(클래스 A, B)과 비실시간 트래픽(클래스 C, D)이 흐르고 있으며, 각각의 경로는 한 개 이상의 링크를 공유하고 있다. 다음 그림 4 에서처럼 두 종류의 트래픽이 동시에 사용하고 있는 링크에 고장이 발생하면 실시간 트래픽인 클래스 A와 B에 대한 복구 경로를 우선적으로 설정하고, 그 이후에 시간 관계 요구가 없는 비실시간 트래픽인 클래스 C와 D에 대한 예비경로를 설정한다. 이러한 우선순위의 부여는 더 많은 비용과 양질의 서비스를 필요로 하는 실시간 서비스에 보다 신뢰성을 보장해 주기 위한 것이다.

그림 4 는 예비경로 설정의 예를 나타내고 있다. 현재 주 경로로서 두 개의 LSP가 존재하며, LSP1에는 실시간 트래픽, LSP2에는 비실시간 트래픽이 각각 흐르고 있다. 그림에서처럼 LSR2와 진출 LER 사이의 링크 오류에 대비하여 예비 경로를 설정해야 하는 경우,

```

#ns at 0.0 "record-bandwidth"
#ns at 0.0 "record-lost"

#ns at 3.0 "$nRT1 start"
#ns at 3.0 "$nRT2 start"
#ns at 3.0 "$rT1 start"
#ns at 3.0 "$rT2 start"

#ns at 3.0 "$LSR(4) flow-aggregation 12 -1 6 -1"
#ns at 3.0 "$LSR(4) flow-aggregation 13 -1 6 -1"
#ns at 3.0 "$LSR(4) flow-aggregation 14 -1 10 -1"
#ns at 3.0 "$LSR(4) flow-aggregation 15 -1 10 -1"

#ns rtmodel-at 10.0 down $LSR(6) $LSR(8)
#ns rtmodel-at 10.0 down $LSR(7) $LSR(10)

#ns at 10.0 "$LSR(4) flow-aggregation 12 -1 8 -1"
#ns at 10.0 "$LSR(4) flow-aggregation 13 -1 8 -1"
#ns at 10.0 "$LSR(4) flow-aggregation 14 -1 7 -1"
#ns at 10.0 "$LSR(4) flow-aggregation 15 -1 7 -1"

#ns at 10.0 "$LSR(4) make-explicit-route 11 4_5_8_11 1000 -1"
#ns at 10.0 "$LSR(4) make-explicit-route 11 4_7_9_11 1100 -1"

#ns at 10.0 "$LSR(4) reroute-binding 8 -1 1000"
#ns at 10.0 "$LSR(4) reroute-binding 7 -1 1100"

#ns at 20.0 "$rT2 stop"
#ns at 20.0 "$rT1 stop"
#ns at 20.0 "$nRT2 stop"
#ns at 20.0 "$nRT1 stop"

#ns at 25.0 "finish"

#ns run

```

그림 5. NS2 Event scheduler

Fig. 5. NS2 Event scheduler.

먼저 각 링크의 대역폭과 그 이외의 자원을 바탕으로 경로 설정에 필요한 메트릭을 계산하며, 구하고자 하는 메트릭은 식 (1), (2)와 같이 계산된다.

$$UR_l = \frac{TQ_c}{BQ_o + BQ_a} \quad (1)$$

$UR_l$  : 링크 이용율

$TQ_c$  : 현재의 트래픽

$BQ_o$  : 사용중인 용량

$BQ_a$  : 여유 용량

$$BW_r = \frac{BW_s + BW_o}{BW_t} \quad (2)$$

$BW_r$  : 대역비

$BW_s$  : 현재 설정 대역폭

$BW_o$  : 이미 사용중인 대역폭

$BW_t$  : 전체 대역폭

현재 LSR2와 egress LER 사이의 링크 에러를 해결하기 위해서는 2개의 예비경로가 필요하다. 그림 4에서는 3개의 가능한 경로가 있으나 그 중 더 적은 메트릭을 갖는 예비경로 1과 예비경로 2가 설정되었다. 마

지막 홉 스위치인 LSR2는 두 종류의 트래픽을 소스 스위치 방향으로 재라우팅 한다. 이때 기존의 방법에서는 두 트래픽이 모두 보다 적은 홉 수를 갖는 예비경로 1로 재라우팅 될 것이다. 그러나 여기서는 실시간 트래픽(클래스 A, B)을 우선적으로 재라우팅 하여 예비경로 1로 가게하고, 그 후에 비실시간 트래픽(클래스 C, D)을 재라우팅 함으로써 예비경로 2로 가게 한다.

그림 5는 시뮬레이션에 사용한 NS2(Network Simulator version 2)의 Tcl(Tool command language) 소스 코드 중 이벤트 스케줄링 과정을 나타내고 있다. 시뮬레이션 시작 후, 3초에 4종류의 트래픽이 발생되어 전송이 시작되고, 10초 후에 두 LSR 사이의 링크에 임의로 고장을 일으켜 각 트래픽 별로 예비경로를 지정해 트래픽을 재라우팅 하고 있다. 이 과정은 MPLS의 장점 중 하나인 명시적 경로 기능을 사용하여 수행된다. 그림 5의 시뮬레이션 결과에 대해서는 다음 장에서 자세히 고찰한다.

## V. 모의실험 및 고찰

### 1. 시뮬레이션 환경 및 모델

본 논문의 시뮬레이션은 리눅스 운영체제 환경에서 실행되었다. 프로그램 코드는 스크립트 언어의 일종인 Tcl/Tk를 사용하여 코딩하였으며, 버클리대의 NS2 기반에서 MNS2(MPLS Network Simulator version 2)를 컴파일러로 사용하였다.

기존의 알고리즘과 제안된 알고리즘의 성능을 비교 평가하기 위하여 16개의 노드와 23개의 링크를 가지는 네트워크를 사용하였다. LSP를 구성하는 최대 노드 수는 5개이며, 각 링크의 지연시간은 10ms로 설정하였다.

노드 0과 1에서는 비실시간 트래픽을 발생시키고, 노드 2와 3에서는 실시간 트래픽을 발생시켜 전송한다. 이들 트래픽은 각각의 다른 경로를 통해 QoS를 보장받도록 했다. 10초 후에 두 경로에 각각 고장을 일으킨 후 기존의 방법과 제안된 방법의 재라우팅 과정을 살펴본다. 기존 방법의 경우 LSR4-LSR5-LSR9-LSR11로 이루어지는 경로로 트래픽이 모두 집중되는 결과를 보였다. 그러나 제안된 방법에서는 LSR4-LSR5-LSR8-LSR11과 LSR4-LSR7-LSR9-LSR11의 두 경로로 트래픽을 분산시켰다. 분산 과정에서 이 두 경로 중 링크 자원이 더 여유 있는 경로에는 실시간 트래픽, 나머지 경로에는 비실시간 트래픽을 재라우팅했다.

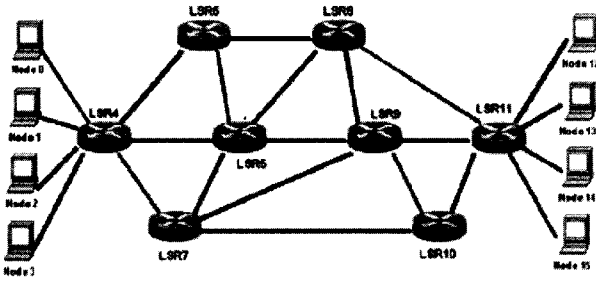


그림 6. 시뮬레이션 모델  
Fig. 6. Simulation Model.

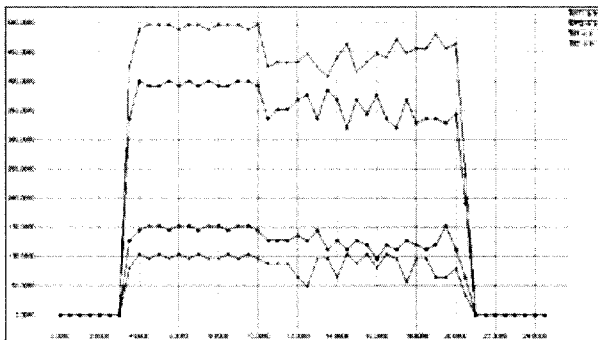


그림 7. 기존 알고리즘의 트래픽 대역폭  
Fig. 7. Traffic Bandwidth of Existing Algorithm.

2. 실험결과

기존의 방법과 제안된 방법의 경우에 대하여 대역폭과 패킷 손실량 및 복구율을 비교해 보았다.

그림 7 은 기존 알고리즘의 트래픽 대역폭을 나타내고 있는데, 기존 방법의 경우 링크 고장 발생 이후 소수의 링크로 트래픽이 집중되기 때문에 트래픽의 대역폭이 불안정하며, 요구한 만큼 보장받지 못하고 있다.

그러나 제안된 방법의 경우 우선순위에 의한 트래픽의 분산으로 재라우팅 후에도 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽 모두 요구한 만큼의 대역폭을 안정되게 유지할 수 있음을 볼 수 있다. 그림 10 은 재라우팅 이후의 패킷 손실량을 나타내고 있다. 기존의 방법에서는 한 개의 경로로 4개의 트래픽에 대한 복구 경로가 설정되기 때문에 많은 패킷 손실이 일어나고 있다. 하지만 제안된 방법에서는 트래픽 종류에 따라 각기 다른 예비경로를 설정함으로써 링크 고장 발생시 약간의 손실 이외에는 패킷 손실이 전혀 없음을 볼 수 있다.

이와 같이 경로상의 임의의 링크에 임의(Random)로 수십 차례의 에러를 일으켰을 경우의 복구율은 기존 알고리즘 복구율 89.41% 에 비하여 제안한 알고리즘의 복구율은 98.53%를 나타내었다. 기존 알고리즘과 제안한 알고리즘의 복구율을 비교해보면 제안한 알고리즘이 약 9% 정도 우수함을 알 수 있다. 즉 실시간 트래픽과 비

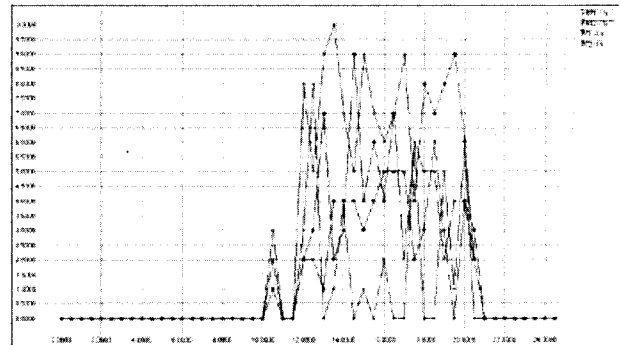


그림 9. 기존 알고리즘의 패킷 손실  
Fig. 9. Packet Loss of Existing Algorithm

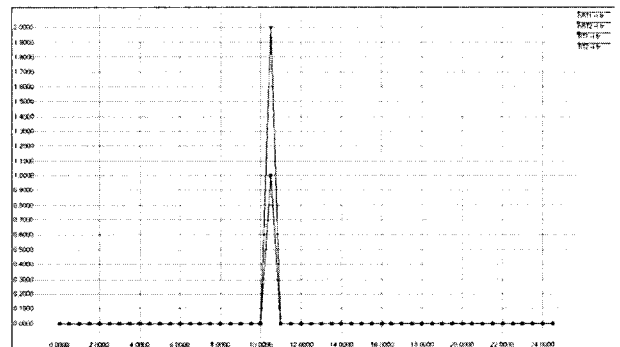


그림 10. 제안한 알고리즘의 패킷 손실  
Fig. 10. Packet Loss of Proposed Algorithm.

실시간 트래픽에 대한 경로 설정에 제한을 두지 않을 경우 소수의 링크만을 이용하여 복구 경로를 설정한다. 이로 인해 같은 경로 또는 같은 링크로 경로가 집중되어 있는 링크의 장애가 발생할 경우, 소수의 링크로의 복구 트래픽의 집중으로 완전히 복구를 하지 못하거나 상당한 지연이 생기게 된다.

제안한 알고리즘의 복구율이 100%가 되지 않는 이유는 불규칙(Random)한 링크 고장 발생으로 인해 초기 경로의 목적지 라우터에서 선택적인 예비경로가 시작되는 경우가 생기는데, 이때 목적지 라우터에서 시작하고 종료하는 루프백(loop-back) LSP가 형성이 되기 때문이다. 이러한 경우를 고려한다 하여도 제안한 알고리즘이 기존 알고리즘 보다 복구율이 더 우수함을 알 수 있다.

VI. 결론 및 향후 과제

제안한 알고리즘에서는 QoS에 따라 분류된 트래픽 별로 우선순위를 두어 복구 경로를 설정함으로써 복구 경로 설정 시 소수의 링크만을 사용하여 생기게 되는 네트워크 자원의 비효율성 문제를 해결하였다. 또한 각

트래픽에 요구한 만큼의 대역폭을 보장해 줌으로써 트래픽의 QoS를 보장해 주었다.

제안한 알고리즘은 시뮬레이션을 통해 그 결과를 확인하였다. 트래픽의 대역폭에 있어서 제안된 방법은 재라우팅 이후에도 계속해서 트래픽의 요구 대역폭을 끝까지 안정되게 보장해 줌으로써 사용자의 QoS를 만족시키고 있음을 확인하였으며, 패킷 손실에 있어서도 재라우팅 이후 전혀 손실이 없음을 보았다.

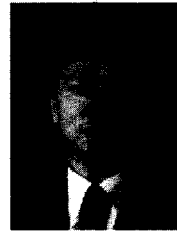
결국 소수의 링크로 트래픽이 집중되는 현상을 방지해 줌으로써 트래픽이 골고루 분산되는 트래픽 엔지니어링이 실현되었고, 네트워크 자원을 효율적으로 사용하는 결과를 얻었다.

제안한 알고리즘에서는 트래픽 분류에 사용한 파라미터 중 시간관계에 대한 항목만을 고려하여 실험하였지만, 연결 세션이나 비트율 등의 다른 파라미터를 동시에 고려한 복합적인 매트릭을 사용하여 복구경로를 결정한다면 보다 확실한 QoS를 보장해줄 수 있을 것으로 기대된다. 또한 실제 확장된 망에 적용하기 위한 QoS를 보장하는 예비경로의 계산에 대해서도 추후에 연구되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Callon, R, G. Swallow, N. Feldman, A. Viswanathan, P. Doolan, and A. Fredette, "A Framework for Multiprotocol Label Switching," draft-ietf-mpls-framework-02.txt, November 1997.
- [2] J. Wroclawski, "The Use of RSVP with IETF Integrated Services", RFC 2210, September 1997.
- [3] S. Blake, D. Black, M. Carlson E. Davies, Z. Wang, W. Weiss, "Architecture for Differentiated Services", RFC 2475, December 1998.
- [4] E. Rosen, A. Viswanathan and R. Callon, "Multiprotocol Label Switching Architecture", draft-ietf-mpls-arch-06.txt, August 1999.
- [5] D. Awduche, J. Malcolm, J. Agogbua, M. O'Dell and J. McManus, "Requirements for Traffic Engineering over MPLS", RFC 2702, September 1999.
- [6] Dimitry Haskin, Ram Krishnan, Lucent Technologies, "A Method for Setting an Alternative Label Switched Paths to Handle Fast Reroute", draft-haskin-mpls fast-reroute-04.txt, May 2000.
- [7] Srinivas Vegesna, "IP Quality Of Service", Cisco Press, December 2000.
- [8] Uyless Black, "MPLS and Label Switching Networks", Prentice Hall PTR, February 2001.

## 저 자 소 개



양 형 규(정회원)

1989년 충남대학교 전자공학과 공학사

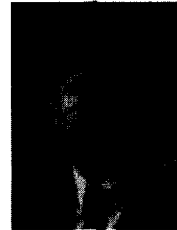
2000년 한양대학교 전자통신전과 공학과 공학석사

2000년~한양대학교 전자전기 제어 계측공학과 박사과정

1989년~1999년 LG산전 시스템설계실

2001년~현재 청주기능대학 정보통신시스템과 조교수

<주관심분야 : 네트워크 망관리, 트래픽 성능분석, SDR>



이 병 호(정회원)

1975년 한양대학교 전자공학과 공학사

1977년 한양대학교 전자공학과 공학석사

1993년 일본 국립지바대학 공학박사

1981년~현재 한양대학교 정보통신대학 교수

<주관심분야 : SDR, 컴퓨터 네트워크, 네트워크 성능분석, 프로토콜설계>