

## MPLS 망에서 차별화 된 서비스를 제공하기 위한 빠른 Multipoint-to-Point LSP 결정 방식

### (A Fast Multipoint-to-Point LSP Traffic Engineering for Differentiated Service in MPLS Networks)

金成寬\*, 趙榮鐘\*\*

(Soung-Kwan Kim and Young-Jong Cho)

#### 요 약

MPLS(Multiprotocol Label Switching) 망에서 LSP(Lable Switched Path)의 수와 레이블 수를 줄이는 것은 망의 자원 관리 측면에서 매우 중요하며, MTP(Multipoint-to-Point) LSP는 이러한 문제점을 해결할 수 있다. 트래픽 엔지니어링을 고려할 때, MTP LSP는 트래픽 부하의 균형을 통한 망의 가용성과 링크 사용율을 높이는 경로를 선택하여야 한다. 또한 링크 단절시의 재 경로 설정이 요구되므로 빠른 경로 결정 방법이 요구된다. 본 논문은 Diffserv를 지원하는 MPLS 망에서, Diffserv의 PHB(Per Hop Behavior)와 다중경로 MTP LSP간의 매핑을 통한 트래픽 엔지니어링을 제안한다. 제안하는 트래픽 엔지니어링은 서비스 특성에 따라 계층적인 MTP LSP의 다중 경로를 결정한다. Monte-Carlo 방법을 사용한 빠른 트래픽 부하 균형 해를 구함으로써, 망 형태 정보가 빈번히 변하는 대규모 망에서 신속한 재 경로 결정을 할 수 있다. 제안하는 MTP LSP의 경로 결정 방법은 알고리즘의 수행 정도에 따라 최적의 경로 결정에 접근한다. 경로 결정의 시간 복잡도는  $O(Cn^2 \log n)$ 으로 기존의 다중 경로 결정 방법과 동일한 시간 복잡도를 가지며, 선형 프로그래밍 접근보다 빠른 수행 시간을 갖는다. 시뮬레이션 결과 제안하는 알고리즘은 망의 형태정보와 요구하는 트래픽 부하 균형에 따라 효과적으로 제어될 수 있음을 보이며, 또한 제안하는 트래픽 엔지니어링의 호 차단율과 대역폭 차단율을 비교함으로써 망의 가용성이 기존의 다중경로 설정보다 높음을 보인다.

#### Abstract

In a MPLS(Multiprotocol Label Switching) network, it is important to reduce the number of labels and LSP(Lable Switched Path)s for network resource management. MTP(Multipoint-to-Point) LSP can be used to solve this problem. In consideration of traffic engineering, MTP LSP must be chosen to enhance the availability of network and link utilization. Also, a fast mechanism to setup MTP LSPs is required for rerouting capability against link failure. In this paper, we propose a fast MTP LSP traffic engineering of multipath MTP LSP by using a mapping of a MTP LSP upon Diffserv PHBs(Per Hop Behavior) in a Diffserv-capable MPLS network. In the proposed traffic engineering, we determine multiple MTP LSPs in a hierarchical manner according to the characteristics of different services. By using Monte-Carlo method for traffic load balancing process, it provides fast rerouting capability in case of frequent link failure across large network. Our method produces to be nearly optimal within reasonable run-times. It's time complexity is in  $O(Cn^2 \log n)$  as conventional multipath routing and it is much faster than Linear Programming approach. Simulation results show that the proposed traffic engineering can be controlled effectively in an administrative manner and enhance the availability of network in comparison with conventional multipath routing.

Key words : MPLS, multipoint-to-point LSP, traffic engineering, Monte-Carlo

\* 正會員, 三星電子株式會社  
(Samsung Electronic Co., Ltd)

\*\* 正會員, 亞洲大學校 情報 및 컴퓨터 工學部  
(Dept. of Information and Computer Science Ajou Univ.)

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (과제번호:  
97-0100-14-01-5) 지원으로 수행되었음

接受日字:2002年1月8日, 수정완료일:2002年5月2日

## I. 서 론

MPLS 망에서 LSP는 특정 FEC(Forward Equivalence Class)에 대한 라우터들의 순서 열이며 홉 단위 또는 모든 경로가 명시될 수 있다.<sup>[1,2]</sup> LSP의 설립은 시그널링 프로토콜<sup>[3-5]</sup>을 이용하여 레이블과 FEC 바인딩 정보를 라우터들 간에 분배함으로써 이루어진다. 시그널링 프로토콜은 LSR(Label Switch Router)간 시그널링 세션을 유지하면서 레이블 분배정보, FEC, 명시적 경로, 트래픽 파라미터, LSP 식별자, 라우터 식별자를 교환한다. 명시적인 LSP 경로 설정 방법은 망 자원의 효율성과 트래픽 혼잡을 피하기 위한 라우팅 정책이나 트래픽 엔지니어링의 목적에 유용하며, PTP(Point-to-Point) 또는 MTP(Multipoint-to-Point)으로 결정될 수 있다. PTP LSP를 이용하는 경우, 망 전체에 있는 모든 경계 라우터의 연결을 고려하면, 경계 라우터의 개수가 N일 때 필요한 LSP의 개수는  $O(N^2)$ 이 된다. 반면에 MTP LSP의 경우, 다수의 망 입구 라우터와 하나의 출구 라우터 간의 트리 형태로 구성되므로 필요한 LSP의 개수는  $O(N)$ 이 된다. 그러므로 대규모 망에서 MTP LSP가 실용적이다.

트래픽 엔지니어링<sup>[6]</sup>을 고려할 때 망 자원의 활용 측면에서 MTP LSP를 사용하는 것이 실용적이다. Diffserv를 지원하기 위해 MTP LSP는 다중경로를 사용하는 서비스 구조를 가져야 한다. 다중경로 라우팅(Multipath Routing)은 트래픽 부하의 분산을 위하여 제안되었으며, 현재까지 제안된 다중경로 라우팅 방법은 OSPF-OMP,<sup>[7]</sup> MPLS-OMP<sup>[8]</sup> 방법이 있다. OSPF-OMP와 MPLS-OMP는 OSPF나 IS-IS의 확장이 필요하며 MPLS 서비스 특징을 고려하지 않고 제공되는 서비스 만큼의 ECP(Equal Cost Path)를 고려하였다.

MTP LSP는 모든 망 입구 라우터로부터 하나의 출구 라우터간의 미리 정의된 경로이므로, 망에서 제공하는 서비스별로 MTP LSP를 사용할 경우, 경로 결정 과정에서 예상되는 트래픽 과부하 링크를 찾아 부하를 분산 시킴으로써, 망의 혼잡 가능성을 줄이고 링크의 사용율을 높일 수 있다. MTP LSP 경로 결정에 있어서 트래픽 부하 균형은 선형 프로그래밍으로 그 해를 구할 수 있다.<sup>[9]</sup> 그러나 선형 프로그래밍 접근 방법은 최적 해를 구할 수는 있으나 많은 계산량과 시간을 필요로 하므로, 대규모 망이나 다수의 서비스 클래스를 제공하기

위한 다중경로 MTP LSP 결정에는 실용적이지 못하다. 또한 MTP LSP는 미리 할당된 경로이므로 망의 형태가 변경되었을 경로가 재설정되어야 한다. 실제 망에서 새로운 노드 추가 및 삭제, 링크의 연결 실패로 인하여 망의 형태 변형이 빈번히 발생하므로, MTP LSP는 최적의 경로를 구하는 것 보다 적은 계산량을 갖는 것이 더 중요한 의미를 갖는다.

본 논문에서는 Diffserv를 지원하는 MPLS 망에서 Diffserv의 PHB와 차별화 된 MTP LSP간의 매핑을 통하여 서비스를 제공하는 다중경로 MTP LSP 트래픽 엔지니어링을 제안한다. 다중경로 MTP LSP의 설립은 최소 홉 수를 우선하여 경로를 선택하고, 경로를 선택한 후에 가용 대역폭을 높여주기 위해 병목이 예상되는 경로를 재 선택하는 방법을 취한다. 여기서 경로의 재 선택을 통한 트래픽 부하의 균형은 Monte-Carlo 방법적 접근을 시도하며, 최적의 해에 접근하기 위하여 Greedy 알고리즘이 적용된다. 본 논문에서 제안하는 MTP LSP의 다중경로는 기존의 다중경로 결정에 Monte-Carlo 접근을 이용하는 트래픽 부하 균형 절차를 추가함으로써, 망의 가용성을 높이는 동시에 망의 형태 정보 변경 시 신속한 MTP LSP의 다중경로 결정과 용이한 제어 방법을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 MPLS 망에서 Diffserv 지원을 위한 메커니즘을 설명하고, 제안하는 MTP LSP를 이용한 트래픽 엔지니어링을 간략히 소개한다. III장에서는 제안하는 MTP LSP의 다중경로 결정방법과 Monte-Carlo 접근을 이용하는 트래픽 부하 균형 절차에 대해서 설명하고 성능분석을 제시한다. 그리고 알고리즘의 적용 예와 시뮬레이션을 통한 성능분석을 IV장에서 보이고 V장에서 결론을 맺는다.

## II. MPLS망에서 Diffserv 지원을 위한 메커니즘

### 1. MPLS 망에서 Diffserv 지원

MPLS는 핵심 망의 기술이기 때문에 개별적인 트래픽 플로우의 유지관리 없이 단대단 QoS를 보장해야 한다. Diffserv는 플로우 집합을 제공함과 동시에 홉 단위로 PHB를 정의 함으로써 확장성 있는 차별화 된 QoS를 제공한다. MPLS 망에서 Diffserv를 유동적으로 지원하기 위한 메커니즘이 [10]에 제시 되었다. 이 메커니즘

에서 망 관리자가 Diffserv의 PHB와 MPLS의 LSP 매핑 방법을 정의할 수 있게 함으로써, 적합한 서비스 매칭을 사용하게 하였다.

MPLS 망에서 Diffserv 지원 메커니즘은 Diffserv에서 정의하는 EF(Expedited Forwarding) PHB, AF(Assured Forwarding) PHB 그리고 Default PHB를 MPLS의 서비스로 매핑함으로써 이루어진다. 사용 가능한 서비스의 매핑으로 EF PHB는 프리미엄(Premium), AF PHB는 올림픽(Olympic) 그리고 Default PHB는 최선형(Best Effort) 서비스로 매핑시킬 수 있다.<sup>[10,11]</sup> 여기서 프리미엄 서비스는 지연 민감 서비스로 최소 전송지연을 요구하고 PDR(Peak Data Rate)로 전송되며 PDR을 초과하는 데이터그램은 버려진다. 올림픽 서비스는 CDR(Committed Data Rate)로 전송되며 Gold, Silver, Bronze 세 개의 서비스 클래스로 구성된다. 최선형 서비스는 전통적인 인터넷 서비스로 전송 속도에 대한 특별한 보장이 없다.

2. 다중 경로 MTP LSP를 이용한 트래픽 엔지니어링

MTP LSP는 망의 모든 입구 라우터에 대하여 하나의 출구 라우터 간의 미리 할당된 경로다. 즉 하나의 출구 라우터와 모든 입구 라우터 사이에 하나의 MTP LSP가 할당되고 유지되는 것을 의미한다. 라우팅 프로토콜로 얻은 망의 형태 정보를 이용하여 MTP LSP는 쉽게 생성될 수 있다. MTP LSP 경로 결정에서는 먼저 모든 망 입구 라우터에 대한 명시적인 PTP LSP를 결정하고, 이 경로들을 MTP LSP로 할당한다. 그러나 어떤 경로를 MTP LSP로 포함 시켜야 할 것인가는 분명치 않다. 명시적인 경로 결정은 다른 라우팅 알고리즘에서처럼 최단 경로를 선택할 수 있으나 최단 경로를 우선적으로 선택하게 되면 트래픽이 과부하 되는 임계링크(Critical Link)<sup>[12]</sup>가 생성되게 된다. 이 임계링크로 LSP가 지나갈 경우 다수의 망 입구 라우터들의 최대 트래픽 방출량(Maxflow)이 줄어들게 되고 망의 가용성이 떨어진다. 경로 결정 알고리즘에는 이러한 임계링크가 존재하게 되는데, 임계링크의 트래픽 부하를 줄임으로써 망의 가용성을 높일 수 있다. MTP LSP는 미리 할당된 경로이므로 경로 계산 시 예상되는 임계링크 즉, LSP가 많이 설정 되는 링크를 찾을 수 있다. 이러한 임계경로를 미리 찾고 이를 피해감으로써 망의 트래픽을 분산시켜 전체 망의 큐잉 지연을 줄일 수 있다. MTP LSP가 결정 되면 각각의 망 입구 라우터에서는 레이블 분배를 위한

시그널링 프로토콜이 수행된다.

논문에서 제안하는 다중경로 MTP LSP를 이용한 트래픽 엔지니어링은 MPLS 서비스 클래스를 정의 하고, 각각의 서비스 클래스에 하나의 MTP LSP를 미리 할당하는 것이다. 이러한 트래픽 엔지니어링은 미리 정의된 MPLS 서비스 클래스에 대하여, 서비스 클래스 별로 서비스 특징에 맞게 MTP LSP를 계산하고 이를 할당함으로써 이루어진다. 제안하는 다중경로 MTP LSP는 5개의 MPLS 서비스 클래스에 대하여 MTP LSP를 생성하여 차별화 된 서비스를 제공한다. 만약 망의 입구 라우터와 출구 라우터 사이의 배타적인 서비스가 요구 될 경우 MTP LSP로 제공할 수 없고 PTP LSP로 제공하여야 한다.

III. 제안하는 다중경로 MTP LSP의 결정방법

기존의 MTP LSP를 이용한 경로 결정 방법<sup>[6]</sup>은 하나의 망의 입구 노드와 그 외 모든 망의 출구 노드 사이에 MTP LSP의 후보가 되는 여러 개의 경로를 구하고 이들 경로들 중에서 링크의 최대 트래픽 부하를 최소화하는 최대 트래픽 방출량을 갖는 경로를 선형 프로그래밍으로 그 해를 구하였다. MTP LSP를 이용하는 경우 경로를 생성하는 과정만 다르고, 트래픽 부하의 균형과정은 PTP LSP의 경우와 같다. 그러나 [9]의 MTP LSP 경로 결정 방법은 MPLS 서비스 클래스의 특성을 고려하지 않았다. 또한 선형 프로그래밍을 사용한 경로 결정으로 최적의 해는 구할 수 있으나, 경로 결정의 시간 복잡도가 높으므로 대규모 망의 경우와 망의 형태 정보가 빈번히 변하여 경로의 재결정을 자주 수행하여야 하는 경우에는 적용하기가 어렵다.

트래픽 부하의 균형과정을 선형 프로그래밍을 이용하지 않고 최적화 시키기 위한 방법이 [8]에 제시되었다. [8]에서는 PTP LSP 다중 경로를 고려하여 OSPF나 IS-IS와 같은 기존의 라우팅 프로토콜에서 LSA의 확장<sup>[13,14]</sup> 즉, 트래픽 부하의 정보를 사용하여 부하의 균형을 제시하였다. 이 방법은 경로 결정에 많은 조절 파라미터가 있고, 한계치 기반이기 때문에 관리자가 트래픽 부하의 균형을 제어하기 어렵다. 또한 MPLS 망의 자원인 레이블을 효율적으로 사용하기 위하여 MTP LSP를 고려하지 않은 것이며, 지연 민감(Delay sensitive)과 처리율 민감(Throughput sensitive) 같은 서비스 특성을 고

려하지 않고 제공되는 서비스 만큼의 ECP를 고려한 것이다. 제안하는 알고리즘은 망에서 제공되는 서비스 만큼의 최단 경로를 구함에 있어 서비스 클래스를 고려하여 다중경로 MTP LSP를 계층적인 방법으로 구하며, 서비스 클래스에 따라 부가적인 부하 균형 절차를 수행하여 망의 가용성을 높이는 최적의 부하 균형을 해에 접근하는 것이다.

1. MPLS 서비스를 고려한 다중 경로 MTP LSP 경로 결정 방법

본 논문에서 제안 하는 다중 경로 MTP LSP 결정 알고리즘은 MPLS 서비스 클래스를 수용하기 위하여 서비스 클래스를 정의하고, 서비스 클래스당 망 전체를 고려한 예상되는 트래픽 부하를 정의하며, 경로 결정 시 예상되는 트래픽 부하의 분산을 낮추는 것이다. 여기서 예상되는 트래픽 부하란 서비스업자가 각각의 서비스 별로 망 전체를 고려하여 제공하려는 평균 대역폭 사용율이다. 이 평균 대역폭 사용율은 망의 경계 라우터에서 서비스 별로 트래픽을 수용하는 정도에 따라 적응성 평균 대역폭 사용율을 적용한다. 즉, 서비스업자가 각 서비스별로 예상되는 대역폭 사용율을 정의한 후, 망의 경계라우터에서 호 수락율에 따라 각 서비스별로 정의된 평균 대역폭 사용율이 가감된다. 서비스 클래스는 지연 민감, 처리율 민감 그리고 최선형(Best effort)의 특성을 고려하며, 각각의 서비스 클래스에 따라 계층적인 경로 결정 과정을 수행한다. 표 1에 본 논문에서 제안하는 다중경로 MTP LSP에 대한 서비스 매핑 그리고 서비스 특성을 고려한 경로 결정 방법을 나타내었다.

표 1. 다중경로 MTP LSP를 위한 서비스 매핑과 경로 결정방법

Table 1. Path-decision rules for differentiated MPLS services.

서비스특성	DS PHBs	MPLS서비스	경로결정방법
지연 민감	EF	Premium	최단 경로
처리율민감	AF	Gold	최단 경로, 부하 균형
		Silver	
		Bronze	
최선형	DF	Best Effort	최단 경로

본 논문에서 제안하는 다중 경로 MTP LSP는 표 1의 5개의 MPLS 서비스 클래스를 고려, 각 서비스 클래스에 대하여 하나의 MTP LSP를 만든다. 먼저 프리미엄

서비스에 대하여 최단 경로를 설정하며 경로가 설정된 링크에 대하여 트래픽 부하를 증가 시켜 가용 대역폭을 감소시킨다. 가용 대역폭이 없는 링크는 예상되는 과부하 링크이므로, [8]과 같은 접근 방식으로 망에서 일시적으로 삭제하여 추가 경로가 이 링크를 통하여 설정되지 않도록 한다. 프리미엄 서비스에 대한 경로는 지연 민감 특성을 고려하여 부하 균형을 통한 경로의 변환을 수행하지 않는다. 그 다음은 올림픽 서비스의 각 클래스에 대하여 최단 경로를 구하고 트래픽 부하를 증가 시켜 가용 대역폭을 감소시킨다. 처리율 민감 특성을 고려하여 각 서비스 클래스에서 부하 균형 절차를 수행하여, 다음 우선순위를 갖는 서비스 클래스의 경로 설정시 트래픽 과부하 링크가 생기는 것을 미리 막는다. 부하 균형 절차는 다음 절에서 설명하겠다. 지연 민감과 마찬가지로 경로 설정 후 트래픽 부하를 증가 시키고 가용 대역폭이 없는 링크는 망에서 일시적으로 삭제 시킨다. 마지막으로 최선형 서비스 클래스에 대하여 현재까지 삭제되지 않은 링크를 사용하여 최단 경로를 선택하고, 다중경로 MTP LSP 경로 결정 과정을 마친다. 최선형 서비스의 경우 권장하는 서비스 요구사항이 없기 때문에 부하 균형 절차를 수행 하지 않는다. 그림 1에 제안하는 다중 경로 MTP LSP 경로 결정 방법을 도시하였다.

- 1 Procedure : Multiple MTP LSP Determination
- 2 Begin
- 3 Find MTPLSP for Premium service
- 4 Decrease Available Bandwidth
- 5 For k= Gold..Bronze
- 6 Begin
- 7 Find MTPLSP for k service
- 8 Run Load Balancing Process
- 9 Decrease Available Bandwidth
- 10 End
- 11 Find MTPLSP for Best Effort service
- 12 Return the Multiple MTPLSPs
- 13 End of Procedure

그림 1. MPLS 서비스를 고려한 다중경로 MTP LSP 결정

Fig. 1. Multipath MTP LSP creation algorithm.

그림 1에서 문장 3과 4는 프리미엄 서비스, 5에서 10까지는 올림픽 서비스 그리고 11은 최선형 서비스에 해당한다. 올림픽 서비스의 경우 트래픽 부하 균형 과정

(문장 8)이 추가 되어 있음을 볼 수 있다. 올림픽 서비스에 대해서만 부하 균형 과정을 수행하는 이유는 서비스의 특징이 처리율 민감이기 때문에 최단 경로를 고려하여 망에 트래픽 과부하 링크의 생성을 피하는 것이다. 이렇게 함으로써 망의 링크 사용율이 증가하고, 차후의 다른 서비스 클래스들의 경로 설정에 대하여 망의 가용성이 향상 될 수 있다. 트래픽 부하 균형 절차는 Monte-Carlo 방법적 접근을 통하여 빠른 결정 시간을 가지며, 트래픽 부하 균형의 수준을 조절하기 위한 파라미터가 기존의 MPLS-OMP의 접근보다 적으며, 각각의 망의 경계 라우터는 부가적인 트래픽 부하의 정보 교환 없이 독립적으로 부하 균형 절차를 수행할 수 있다.

2. Monte-Carlo 방법을 이용한 올림픽 서비스의 트래픽 부하 균형 과정

제안하는 다중경로 MTP LSP 경로 결정 방법에서는 서비스 특성을 고려하여 올림픽 서비스에 대하여 부하 균형 과정을 수행한다. 올림픽 서비스에 대하여 서비스 차등에 따른 경로를 제공하기 위하여, 부하 균형 과정은 Gold, Silver 그리고 Bronze 서비스 클래스 순으로 이루어진다. 이런 순차적인 경로 설정으로 서비스 우선 순위가 낮아짐에 따라 트래픽 과부하 링크를 우회하는 좀더 먼 경로를 결정하게 된다.

부하 균형 과정에서는 MTP LSP 결정에 최적의 부하 균형 해를 구하는 대신 Monte-Carlo 방법을 사용하여 MTP LSP 결정에 소요되는 시간을 줄이고 최적의 부하 균형 해에 접근하는 해를 구한다. 알고리즘의 목표는 망 전체의 예상되는 트래픽 부하의 분산  $V$ 를 계산하고 이를 만족할 만한 수준으로 낮추는 것이다. Dijkstra 알고리즘을 사용하여 최단 경로를 얻고, 예상되는 트래픽 부하가 높은 링크로 경과하는 LSP들 중에서 임의 선택한 LSP를 우회 시켜 트래픽 부하의 균형을 얻는 것이다.

1) 트래픽 부하와 부하의 분산

경로 결정 과정에서 MTP LSP의 후보가 되는 PTP LSP들을 선택할 때, 최단 경로를 선택하고, 선택한 경로들로부터 각 링크를 경과하는 LSP 개수와 서비스에 미리 할당된 대역폭 사용율로 예상되는 트래픽 부하를 계산할 수 있다. 식 (1)은 각 링크의 예상되는 트래픽 부하를 나타낸다.

$$L_{ij} = c_{ij} \times \frac{R_k}{B_{ij}/B_{max}} \tag{1}$$

여기서  $L_{ij}$ 는 링크  $(i, j)$ 의 예상되는 트래픽 부하,  $c_{ij}$ 는 링크  $(i, j)$ 를 경과하는 LSP 개수,  $R_k$ 는 다중경로 MTP LSP에서 서비스  $k$ 에 할당된 예상 대역폭 사용율,  $B_{ij}$ 는 링크  $(i, j)$ 의 대역폭 그리고  $B_{max}$ 는 망 전체에서 최대 대역폭을 갖는 링크의 대역폭이다. 링크의 대역폭이 차이가 나는 경우, 링크의 예상되는 트래픽 부하는 특정 서비스  $k$ 에 대하여  $R_k$ 는 상수이므로, 그 링크를 지나가는 LSP 개수와 대역폭에 영향을 받는다.

식 (1)에서 구한 각 링크의 예상되는 트래픽 부하를 사용하여 각 출구 라우터는 자신의 MTP LSP의 트래픽 부하의 분산을 계산하고 이를 평가할 수 있다. 식 (2)는 출구 라우터에 대한 MTP LSP의 트래픽 부하의 분산을 나타낸다.

$$V = \sum_i \sum_j (m - L_{ij})^2 \tag{2}$$

여기서  $V$ 는 출구노드에 대한 MTP LSP의 트래픽 부하의 분산,  $L_{ij}$ 는 링크  $(i, j)$ 의 트래픽 부하,  $m$ 은 출구노드에 대한 평균 트래픽 부하를 나타낸다. 각각의 출구노드는 MTP LSP 경로결정을 독자적으로 수행하며, 올림픽 서비스의 Gold, Silver 그리고 Bronze 클래스의 경우 트래픽 부하균형을 수행한다. 식 (2)에서 링크  $(i, j)$ 는 현재 출구노드에서 부하균형이 수행되어지고 있는 MTP LSP 트리에 포함된 링크들이다.

2) 트래픽 부하 균형의 Monte-Carlo 방법적 접근

Monte-Carlo 방법을 이용한 부하 균형 절차는 망 전체의 예상되는 트래픽 부하의 분산  $V$ 를 계산하고 이를 만족할 만한 수준  $V_T$ 로 낮추는 것이다.  $V_T$ 는 Monte-Carlo 방법적 접근의 멈춤 조건으로 사용되는 트래픽 부하의 목표 분산이다. 이를 위해서 먼저 각 링크의 트래픽 부하를 계산하며, 현재의 MTP LSP로 경로를 설정할 경우 트래픽의 과부하가 예상되는 임계링크를 찾는다. 이러한 임계링크로 LSP가 지나갈 경우 다수의 입구 라우터들의 최대 트래픽 방출량(maxflow)이 줄어들게 된다. 그러므로 가능한 임계링크를 피해 MTP LSP를 설정함으로써 임계링크의 트래픽을 망 전체로 분산시켜 망 전체의 링크 사용율이 증가한다. 그리고 다수의 입구 라우터의 최대 트래픽 방출량이 증가함으로 망의 가용성이 높아진다. 제안하는 트래픽 부하 균형에서는 임계링크를 사용자가 정의하는 만큼 찾고  $V_T$ 를 결정한다.  $V_T$ 의 결정은 알고리즘의 멈춤 조건에서

기술한다. 그림 2에 제안하는 트래픽 부하 균형의 알고리즘을 도시하였다.

```

1 Procedure : Load Balancing Process
2 Begin
3   Calculate link load and Find critical link set
4   Calculate  $V$  and  $V_T$ 
5   While( $V \geq V_T$ )
6     Begin
7       Choose the most critical link in  $C$ 
8       Select a random input node associated with the critical link
9       Remove all the LSPs of MTP LSP that passing through the selected node
10      Delete the link from the selected node
11      Find a new MTP LSP
12      Calculate  $V$  of MTP LSP
13    End
14 End of Procedure
    
```

그림 2. 트래픽 부하 균형의 Monte-Carlo 방법적 접근  
Fig. 2. Monte-Carlo approach for traffic load balancing.

그림 2의 트래픽 부하 균형의 알고리즘은 부하 균형 절차(문장 5-13)를 반복적으로 수행하는데 그 과정은 다음과 같다. 먼저 MTP LSP의 임계링크 집합  $C$ 에서 최고 임계링크를 선택하고, 임계링크의 입력이 되는 임의의 입력 링크를 선택한다. 그리고 선택된 입력 링크로부터 임계링크를 지나가는 모든 LSP의 경로를 재설정하여 트래픽 부하를 분산시킨다. 재 설정한 경로의 트래픽 부하의 분산이 이전 경로 설정의 분산보다 낮으면 경로를 갱신하고, 높은 경우는 경로를 갱신하지 않고 다음 임계링크를 선택하여 부하 균형 절차를 계속 수행한다. 부하 균형 절차의 반복적인 수행을 통한 경로의 재 설정은 임계링크의 부하를 줄이게 되며, 이것은 망 전체의 큐잉 지연을 줄일 수 있다.

부하 균형 절차의 최대 반복수행 수는 사용자가 정의한 임계링크 개수와 임계링크당 몇 번의 부하 균형 절차를 수행할 것인가를 정의함으로써 제한된다. 그림 2의 문장 7에서 임계링크의 선택은 정의된 임계링크 집합에서 이루어진다. 그리고 문장 8의 임의의 입력 링크 선택시 망의 모든 입력 라우터에 대하여 중복을 배제한다. 즉 이전 반복 중에서 한 번 선택되었던 특정 입력 라우터로부터의 LSP는 이후 반복 과정에서 다시는 선택되지 않는다. LSP 선택의 탐색공간을 제한하고, 각 입력 라우터의 LSP 선택시 중복을 배제함으로써, 그림 2의 알고리즘이 멈춤조건(문장 5)를 만족하지 않는 경우에 무한루프로 빠지지 않는 것을 막을 수 있으며, 경로설정 반복(Ping-Pong)되는 현상이 없어진다.

3) 부하 균형의 멈춤 조건과 제어

그림 2에서 문장 5는 트래픽 부하 균형 과정을 멈추

는 조건이다. 여기서  $V_T$ 는 알고리즘의 멈춤 조건 분산으로 부하 균형 절차를 제어하기 위해 미리 계산된 목표 분산이다. 부하 균형 절차에서 계산된 트래픽 부하의 분산  $V$ 가 미리 계산된 목표 분산  $V_T$ 보다 크면 부하 균형 절차를 계속 수행하고, 그와 반대로 미리 계산된 분산보다 작으면 부하 균형 절차를 멈추고 최종적인 MTP LSP가 결정 된다.  $V_T$ 를 결정하기 위해, 관리자는 임계링크 집합  $C$ 의 크기  $s$ , 즉 망에 예상되는 임계링크의 개수를 미리 정의 하여  $V_T$ 를 제어함으로써 트래픽 부하 균형의 수준 정도를 관리할 수 있다.  $s$  값을 결정하는데 있어 경험적인 해결 방법은, 하나의 MTP LSP에서 다수의 LSP가 지나가는 링크들이 출구 라우터로부터 평균 홉 수 안에 대부분 위치한다는 것과 망의 규모가 커짐에 따라 경로설정의 다양성이 증가함으로 이에 따라 부하균형의 수준을 증가시키기 위한 것이다.  $h_i$ 가 망 출구 라우터에서 망 입구 라우터  $i$ 까지의 홉 수라고 할 때, 제안하는  $s$  값의 범위는 식(3)과 같다.  $N$ 은 망 경계 라우터의 개수이다.

$$1 \leq s \leq \sum_i \frac{h_i}{N-1} \tag{3}$$

목표 분산  $V_T$  정의에 있어 경험적인 방법은 임계링크로 지정된 링크들의 트래픽 부하를 감소시킨 상태에서 트래픽 부하의 분산을 계산하여 사용하는 것으로 다음과 같이 정의 될 수 있다.

$$L'_{ij} = L_{ij} - \alpha \frac{R_k}{B_{ij}/B_{\max}} \text{ for all } (i, j) \in C, 0 \leq \alpha \leq 1. \tag{4}$$

$$L'_{ij} = L_{ij} \text{ for all } (i, j) \in C. \tag{5}$$

$$V_T = \sum_i \sum_j (m' - L'_{ij})^2 \tag{6}$$

식 (4)는 임계링크 집합  $C$ 의 모든 임계링크에 대하여 트래픽 부하를 감소시키는 과정이며, 여기서  $\alpha$ 는 트래픽 부하 감소량을 조절하기 위해 사용하는 것으로,  $s$  값이 주어진 상태에서 목표 분산을 좀 더 세밀히 조절하는 파라미터이다. 이  $\alpha$  값은 특정값(0.5)을 초기값으로 사용할 수 있으며, 목표 분산을 얻는 정도에 따라 피드백하여  $\alpha$  값을 증감하여 사용함으로써 좀 더 세밀한 트래픽 부하 균형을 얻을 수 있다. 식 (5)는 목표 분산 계산 시 임계링크가 아닌 링크들의 트래픽 부하는 변함없이 사용됨을 나타낸다. 식 (5)의  $m'$ 는  $L'_{ij}$ 로 계산한

평균 트래픽 부하이다.

제안하는 알고리즘의 제어는 목표분산  $V_T$ 를 효과적으로 정의함으로써 가능하다. 목표 분산  $V_T$ 는 초기에 즉, 부하 균형 절차 이전에 한 번 계산되고, 부하 균형 절차 동안에는 더 이상 갱신되지 않는다. 주어진  $V_T$ 에 대하여 알고리즘은 부하 균형 절차를 통해 점차적으로 최적의 경로 결정에 접근하게 된다. 목표 분산은 임계링크 집합의 크기  $s$  값에 따라 큰 폭의 변화를 얻을 수 있고,  $\alpha$ 값을 조절함으로써 좀더 세밀한 목표 분산의 조절이 가능하다. 그러므로 관리자가 요구하는 트래픽 부하 균형에 따라 알고리즘은 효과적으로 제어될 수 있다.

3. Monte-Carlo 기반 MTP LSP 결정 알고리즘의 성능분석

Monte-Carlo 기반 MTP LSP 결정 알고리즘은 임의 선택 특성으로 각각의 망 경계 라우터에서 구한 경로결정이 망 전체의 해가 될 수 없다. 그러나 각각의 망 경계 라우터는 단지 자신의 MTP LSP 결정과 분배에만 책임이 있기 때문에 경로 결정의 계산량이 망의 경계 라우터들에게 분산된다. 그리고 라우터 서버를 두었을 때 발생하는 단일점 고장으로 인한 손실이 망 전체에 미치지 않는다.

또한 각각의 부하 균형 절차 반복에서 임계링크 선택 시 링크 부하가 가장 큰 임계링크를 먼저 선택하는 Greedy 접근 방법을 사용하여 MTP LSP의 트래픽 부하를 분산 시킨다. 그러므로 알고리즘에서 구한 해는 알고리즘의 반복적인 수행에 따라 점차 최적의 경로 결정 해에 접근하게 된다. 부하 균형을 반복적인 수행은 임계링크의 개수를  $s$ , 임계링크당 부하 균형 횟수를  $r$  이라고 할 때,  $sr$  반복 회수를 갖는다.  $s$ 와  $r$  값이 커짐에 따라 검색할 LSP 수가 늘어나고 제한되는 부하 균형 반복 수행 수도 증가한다. 그러므로 목표 분산을 만족시키는 경로 설정을 찾을 확률이 커지게 되고 최종 MTP LSP의 트래픽 부하의 분산도 작아지게 된다.

경로 결정의 시간 복잡도는 망의 모든 라우터의 수를  $n$ 이라고 할 때, 하나의 망 입구 라우터에서 모든 출구 라우터간의 경로를 구하므로 Dijkstra 알고리즘에서  $O(n^2 \log n)$ , 트래픽 부하의 계산에서  $O(n^2)$ 의 시간 복잡도를 갖는다. 또 트래픽 부하 균형 절차에서  $sr$  반복을 수행함으로써  $O(sr(n \log n + n^2))$ 의 시간 복잡도를 갖는다. 그러므로 모든 MPLS 서비스 클래스를 고려한 총 시간 복잡도는 식 (7)과 같다.

다중경로 MTP LSP의 시간 복잡도

$$= O(n^2 \log n + 3(n^2 \log n + 2n^2 + sr(n \log n + n^2)) + n^2 \log n) = O(5n^2 \log n + (6+3sr)n^2 + 3srn \log n). \quad (7)$$

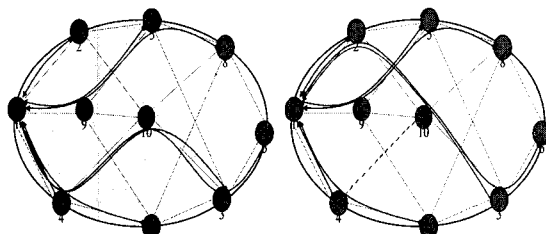
OSPF-OMP와 MPLS-OMP의 시간 복잡도와 비교하면, 트래픽 부하가 적용되는 서비스 클래스에 대하여, 트래픽 부하의 계산에서  $O(n^2)$ 의 시간 복잡도, 또 트래픽 부하 균형 절차에서  $sr$  반복을 수행함으로써  $O(sr(n \log n + n^2))$ 의 시간 복잡도가 추가된 것이다. 여기서  $r$ 값을  $\log n$ 보다 작게 선택할 경우, 제공하는 서비스 클래스의 개수가  $C$ 개 일 때, OSPF-OMP와 MPLS-OMP와 같은 시간 복잡도  $O(Cn^2 \log n)$ 를 갖는다.

반면에 선형 프로그래밍으로 접근할 경우 시간 복잡도는  $O(v^3)$ 으로 여기서  $v$ 는 선형 프로그래밍의 변수 개수를 나타낸다.<sup>[15]</sup> 또 MTP LSP 결정에 선형 프로그래밍을 사용할 경우 사용되는 변수의 개수는  $O(n^2) \leq v \leq O(n^4)$ 이 된다. 실제 기간 망에는 수 십에서 수 백 개의 라우터들이 있어 선형 프로그래밍을 이용한 MTP LSP 결정은 망 형태 정보가 빈번히 변화할 경우 경로 재설정에 많은 비용이 들게 된다.

IV. 알고리즘의 적용과 시뮬레이션

1. 트래픽 부하 균형 알고리즘의 적용 예

본 절에서는 트래픽 부하 균형을 Monte-Carlo 방법적 접근 알고리즘의 동작을 예를 통하여 보여준다. 그림 3에서 10노드/16링크의 MPLS 망을 제시하였으며 타원 상에 위치한 원이 망의 경계 라우터를 나타낸다. 초기 Dijkstra 알고리즘이 수행된 후 초기 MTP LSP를 생성할 수 있는데, 그림 3의 (a)는 망 출구 라우터 ①에 대한 초기 MTP LSP를 나타내고, (b)는 알고리즘 수행 결과로 결정된 최종 MTP LSP를 나타낸다.



(a) 초기 MTP LSP (b) 최종 MTP LSP

(a) Initial MTP LSP (b) Final MTP LSP

그림 3. 트래픽 부하 균형 알고리즘 적용 예  
Fig. 3. Example of traffic load balancing process.

초기 MTP LSP로부터 각 링크들의 트래픽 부하, 평균 트래픽 부하, 트래픽 부하의 분산  $V$ 를 구하고, 주어진 임계링크 집합  $C$ 의 크기  $s$  값에 따라  $V_T$ 를 구한다. 부하 균형 절차에서 최고 임계링크 (1,4)를 선택하고, 이에 따라 임의의 입력링크 (4,10)을 선택하고 (4,10)을 지나는 모든 LSP의 경로를 재 설정한다. 그 결과 망 입구 라우터 ③과 ⑥의 LSP의 경로가 재설정되었다. 새로 결정된 경로들로 새로운 트래픽 부하의 분산  $V$ 를 구하여  $V_T$ 와 비교하여 더 작은 값이므로 부하 균형 절차를 종료하고 이 새로운 경로 결정을 최종 MTP LSP로 사용하게 된다.

2. 트래픽 부하 균형 절차의 제어 시뮬레이션

그림 4~6는 22노드/45링크 망에서의  $s$  값과  $\alpha$  값에 따라 트래픽 부하 균형 절차의 제어를 시뮬레이션한 결과이다. MTP LSP의 예상 대역폭 사용율 링크 대역의 30%,  $r$ 은 MTP LSP의 평균 홉 수 그리고 망 전체 링크들의 대역은 모두 155Mbps로 동일한 환경으로 하였다. 그림 4은  $s$  값과  $\alpha$  값에 따른 목표 분산의 변화를 나타낸다.  $s$  값에 따라 목표 분산이 현격한 차이가 나타남을 볼 수 있으며  $\alpha$  값을 통하여 세밀한 목표 분산의 조절이 가능함을 알 수 있다. 그림 5는  $s$  값과  $\alpha$  값에 따른 트래픽 부하 균형 절차의 반복 수행 수를 나타낸다.  $s$  값이 증가함에 따라 목표 분산은 작아지고 검색되는 LSP 수가 증가하므로 반복 수행 수도 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한  $\alpha$  값이 커짐에 따라 목표 분산이 작아지므로 반복 수행 수가 증가함을 볼 수 있고  $s$  값에 따라  $\alpha$  값의 일정 구간동안 반복 수행 수가 급격히 증가 하지 않는 유효한 경계가 있음을 알 수 있다. 그림 6는  $s$  값과  $\alpha$  값에 따라 최종적으로 결정된 MTP LSP

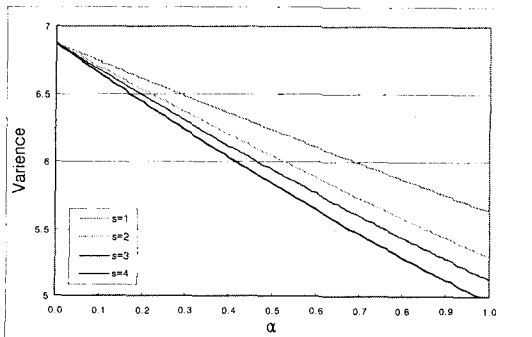


그림 4.  $s$  값과  $\alpha$  값에 따른 목표분산  
Fig. 4. Target variance of MTP LSP.

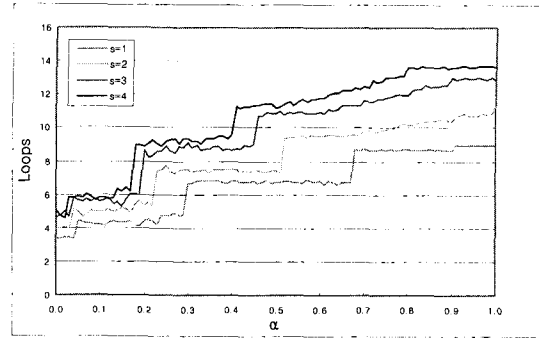


그림 5.  $s$  값과  $\alpha$  값에 따른 부하 균형 절차의 반복 수행 수  
Fig. 5. Loop Count of traffic load process.

의 트래픽 부하의 분산을 나타낸다.  $s$  값이 증가함에 따라 또  $\alpha$  값이 커짐에 따라 최종 MTP LSP의 트래픽 부하의 분산이 낮아짐을 볼 수 있다. 또한 시뮬레이션 결과  $s$  값이 증가함에 따라 최종 트래픽 부하의 분산이 수렴하므로 논문에서 제안한  $s$  값의 경험적인 값의 범위가 유효함을 보인다.

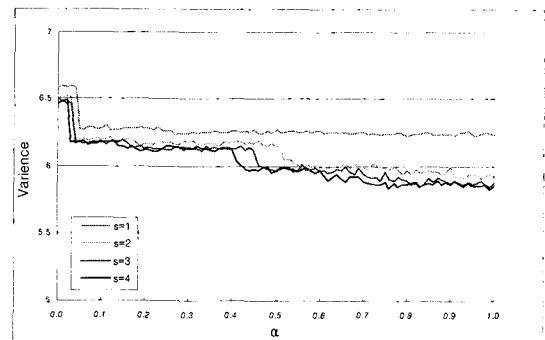


그림 6.  $s$  값과  $\alpha$  값에 따른 최종MTP LSP의 트래픽 부하의 분산  
Fig. 6. Final variance of MTP LSP.

3. 다중경로 MTP LSP 결정 방법의 성능분석 시뮬레이션

이 절에서는 논문에서 제안한 MPLS 서비스를 고려한 다중경로 MTP LSP 경로 결정 방법의 성능을 시뮬레이션을 통하여 평가한다. 시뮬레이션 환경은 22노드/45링크 망을 사용하였으며, MPLS 서비스 별 미리 할당된 대역 사용율은 표 2와 같다. 망 입구 라우터에서 각 서비스 클래스의 세션 요청은 포이송 분포를 따르고, 모든 입구 라우터에 같은 세션 요청을 적용하여 망 전체의 트래픽 생성은 유니폼 분포를 따른다. 서비스 사



용 시간은 지수 분포를 따르고, 평균 서비스 시간은 비디오와 오디오 세션을 고려하여 각각 20분과 260초를 사용하여 호 차단율과 대역폭 차단율이 0~5%에 유지 되도록 하였다. 또한 서비스별 요구하는 대역폭은 비디오의 경우 1-5Mbps, 오디오의 경우 16-64Kbps를 사용 하였다.

그림 7-8은 기존의 다중 경로와 성능을 비교하기 위하여 K 개의 최단 경로(K-SPF)<sup>[16]</sup>와 제안하는 다중 경로 MTP LSP 경로 결정의 시뮬레이션 결과이다. 그림 7은 경로 결정 방법에 따른 호 차단율로 SPF는 K 개의 최단 경로 결정, MC는 Monte-Carlo 접근의 경로 결정을 나타낸다. 트래픽 부하가 증가함에 따라 MC가 SPF보다 2% 정도 호 차단율이 낮음을 보인다. 그림 8은 대역폭 차단율을 나타낸다. 트래픽 부하가 증가함에 따라 MC가 SPF보다 1.6% 정도 대역폭 차단율이 낮음을 보인다.

그림 9-10은 K 개의 최단 경로, Monte-Carlo 접근의 경로 결정 그리고 선형 프로그래밍 접근의 성능을 상호 비교를 위한 시뮬레이션 결과이다. 제안하는 MPLS 서비스 매핑을 고려하여 K 개의 최단 경로는 5개의 최단 경로를 고려하였으며, Monte-Carlo 접근의 경로 결정은 4개의 최단 경로와 1개의 제안하는 경로를 고려하였으며, 선형 프로그래밍 접근은 4개의 최단경로와 다른 10개의 최단 경로에서 최대 트래픽 방출량(Maxflow)을 허용하는 경로를 고려하였다. 그림 9은 경로 결정 방법에 따른 호 차단율로 SPF는 K 개의 최단 경로 결정, MC는 Monte-Carlo 접근의 경로 결정 그리고 LP는 선형 프로그래밍 접근의 경로 결정을 나타낸다. 트래픽 부하가 증가함에 따라 MC가 SPF보다 0.8% 정도 호 차단율이 낮음을 보이고, LP보다 1.2% 정도 높음을 보인다. 그림 10은 대역폭 차단율을 나타낸다. 트래픽 부하가 증가

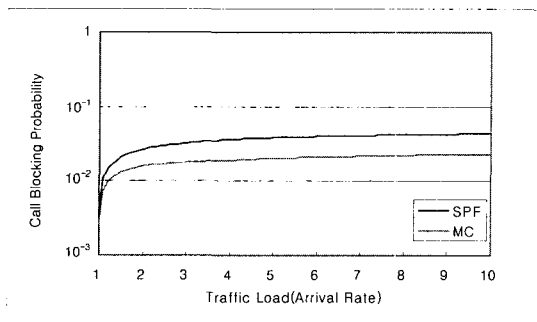


그림 7. 호 차단율  
Fig. 7. Call blocking probability.

함에 따라 MC가 SPF보다 0.8% 정도 대역폭 차단율이 낮음을 보이고, LP보다 1.1% 정도 높음을 보인다.

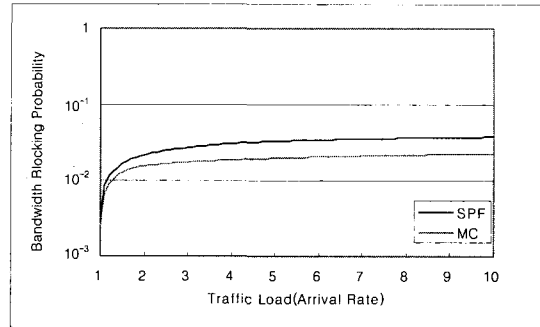


그림 8. 대역폭 차단율  
Fig. 8. Bandwidth blocking probability.

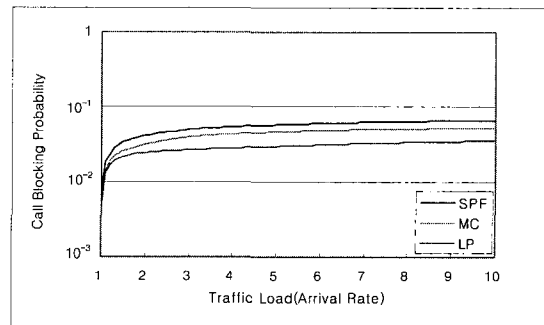


그림 9. 호 차단율  
Fig. 9. Call blocking probability.

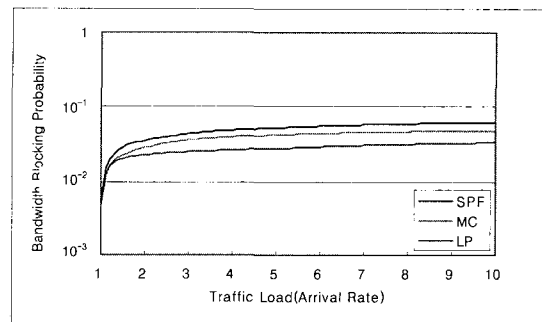


그림 10. 대역폭 차단율  
Fig. 10. Bandwidth blocking probability.

## V. 결 론

Diffserv는 차별화 된 QoS와 망의 확장성을 제공하는 인터넷 서비스 모델이며, MPLS는 빠른 레이블 스위칭 기반으로 Diffserv의 전송을 지원할 수 있다. 그러나

Diffserv의 차별화 된 서비스를 MPLS 망에 적용할 때 제공하는 서비스에 따라 레이블 부족과 같은 문제점이 발생할 수 있다. MTP LSP는 이러한 문제점을 해결할 수 있으며, 차별화된 MPLS 서비스를 제공하기 위하여 다중경로 MTP LSP를 설립하여야 한다. 트래픽 엔지니어링을 고려할 때, MTP LSP는 서비스에 따라 차별화된 경로를 선택하여 서비스를 충족시켜야 하며, 망의 가용성과 망 자원의 효율적인 사용을 위해 트래픽 부하의 균형을 제공하여야 한다. 이러한 다중 경로 MTP LSP 결정시 최적의 해를 구할 수는 있으나, 노드의 추가/삭제, 링크의 끊김 등으로 망 형태 정보가 빈번히 변하는 환경에서는 반드시 최적의 해를 구하기보다 망의 변화에 적절히 대응하는 빠른 MTP LSP 결정이 필요하다.

본 논문에서는 Diffserv를 지원하는 MPLS 망에서, Diffserv의 PHB와 차별화 된 서비스를 제공하는 MTP LSP간의 매핑을 정의하고, 서비스 특성을 고려하여 계층적인 경로 결정과 Monte-Carlo 방법을 사용한 빠른 부하 균형으로 망의 가용성을 높이는 트래픽 엔지니어링을 제안하였다. 제안된 Monte-Carlo 방법을 이용한 트래픽 부하 균형 과정은 임계링크의 예상되는 트래픽 부하를 관리자가 정한 수준까지 분산시키는 과정을 반복하면서 트래픽 부하 균형을 획득하는 것으로써, 빠른 MTP LSP 결정을 제공하므로 망 형태 정보가 자주 변하는 환경에서 유용하다. 또한 제안한 알고리즘은 목표 분산을 망의 형태정보와 요구하는 트래픽 부하 균형에 따라 효과적으로 정의함으로써 반복 회수와 최종 분산이 제어될 수 있으며, 망의 가용성을 기존의 다중경로 설정보다 높음을 보인다.

### 참 고 논 문

- [1] E.C.Rosen, "Multiprotocol Label Switching Architecture", *RFC3031*, Jan 2001.
- [2] R.Callon, el, "A Framework for multiprotocol label switching", *draft-ietf-mpls-framework-05.txt*, Aug.1999.
- [3] L. Andersson, P. Doolan, N. Feldman, A. Fredette, B. Thomas, "LDP Specification", *RFC3036*, Jan 2001.
- [4] B. Jamoussi, Editor, "Constraint-Based LSP Setup using LDP", *draft-ietf-mpls-cr-ldp-05.txt*, Feb 2001.
- [5] D. O. Awduche, L. Berger, D. Gan, T. Li, V. Srinivasan, G. Swallow, "Extensions to RSVP for LSP Tunnels", *draft-ietf-mpls-rsvp-lsp-tunnel-08.txt*, Feb 2001.
- [6] D.Awduche, el, "Requirements for Traffic Engineering over MPLS", *RFC2702*, Sep.1999.
- [7] C. Villamizar, "OSPF Optimized Multipath (OSPF-OMP)", *draft-ietf-ospf-omp-01.txt*, June 1999.
- [8] C. Villamizar, "MPLS Optimized Multipath (MPLS-OMP)", *draft-villamizar-mpls-omp-01.txt*, Feb 1999.
- [9] Hiroyuki, el, "Traffic Engineering using Multiple Multipoint-to-Point LSPs", *IEEE INFOCOM 2000*, Mar 2000.
- [10] F. Le Faucheur et al., "MPLS Support of Differentiated Services", *draft-ietf-mpls-diff-ext-09.txt*, April 2001.
- [11] Eric Horlait and Nicolas Pouhana, "Differentiated Services and Integrated Services Use of MPLS", *ISCC2000*, July 2000.
- [12] Murali Kodialam, T. V. Lakshman, "Minimum Interference Routing with Applications to MPLS Traffic Engineering", *IEEE INFOCOM2000*, Mar 2000.
- [13] R. Guerin, A. Orda, and D. Williams, "QoS Routing Mechanisms and OSPF Extensions", *IETF Internet Draft <draft-guerin-qos-routing-ospf-00.txt>*, November 1996.
- [14] T. Li, H. Smit, "IS-IS extensions for Traffic Engineering", *draft-ietf-isis-traffic-03.txt*, Jun 2001.
- [15] Yu Chen, Andrew B. Kahng, Gabriel Robins and Alexander Zelikovsky, "Monte-Carlo Algorithm for Layout Density Control", *ASPAC2000*, Jan. 2000.
- [16] David Eppstein, "Finding the k shortest paths", *Technical report, Department of Information and Computing Science, University of California, CA 92697-3425*, 1997.

저 자 소 개



金 成 寬(正會員)

2000년 : 아주대학교 정보및컴퓨터 공학부 학사. 2002년 : 아주 대학교 정보통신전문대학원 정보통신공학과 공학석사. 현재 : 삼성전자 정보통신 총괄 통신연구소 재직. <주관심분야 : 인터넷 QoS, QoS 라우팅, 유/무

선 ATM, MPLS, 차세대인터넷, WCDMA, 홈네트워크 기술연구 및 장비개발>



趙 榮 鐘(正會員)

1983년 서울대학교 전자공학과 학사. 1985년 한국과학기술원 전기및전자 공학과 석사. 1989년 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사. 1990년 금성정보통신연구소 책임연구원.

1991년 미국 AT&T Bell Lab 교환 연구원. 1993년 LG정보통신연구소 ATM 교환실 실장. 1996년 아주대학교 정보및컴퓨터공학부 조교수. 2000년 아주대학교 정보및컴퓨터공학교 부교수. <주관심분야 : 광대역 통신, 유/무선 ATM, 큐잉시스템, 성능분석, 초고속 인터넷 장비 개발>