

MPLS 네트워크를 위한 간략화된 QoS 모델

정회원 석승준*, 강철희**

A Simplified QoS Model for MPLS Networks

Seung-Joon Seok*, Chul-Hee Kang** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 MPLS 기반의 백본 망에서 손쉽게 구현될 수 있는 서비스 차별화 방안을 제안한다. MPLS에서 QoS를 구현하기 위해 지금까지 가능성 있게 고려되고 있는 방안으로는 IETF 차등 서비스 모델을 MPLS 망에 그대로 구현하는 방법이 있다. 하지만 이는 지금의 MPLS 시스템에 대한 전체적인 변화를 필요로 한다. 이러한 문제로 인해서 논문에서는 백본 MPLS 네트워크를 위한 가상 링크(Virtual Link) 모델을 제안하고, 이를 사용해서 MPLS 서비스 차별화를 손쉽게 구현할 수 있음을 보인다. 제안하는 가상 링크는 입구와 출구 MPLS 라우터간에 설정된 LSP들의 집합으로 정의되고 있으며, 가상 링크의 업스트림(입구) 라우터에서는 LSP별로 입력 트래픽에 대해서 PHB를 적용한다. 하지만 기존 방안과는 달리 망 내부의 코어 라우터에서는 Behavior Aggregation별 서비스 품질이 아닌 LSP별 대역폭만을 보장하도록 한다. 이러한 LSP대역폭 보장 서비스는 기존 CR-LDP가 적용된 기존 MPLS 네트워크에서 이미 제공되고 있는 서비스이다. 논문에서는 가상 링크의 구현을 위해 두 라우터간에 입력되는 플로우들을 가상 링크를 구성하는 여러 LSP들에 적절하게 할당하기 위한 Flow Allocation Mechanism을 정의한다. 마지막으로 제안하는 방안이 백본 MPLS 망에서 서비스 차별화를 제공할 수 있음을 시뮬레이션 결과를 통해서 입증한다.

Key Words : MPLS, QoS, DiffServ, Virtual Link, PHB

ABSTRACT

In this paper, a simplified QoS model of MPLS-based backbone network. Conventional scheme proposed by IETF(IETF schem) is to embed a DiffServ model in MPLS network. However, this approach results in overall upgrade of MPLS system and so it is difficult to deploy this approach. Our proposed model, however, uses a Virtual Link which is a set of Label Switched Path(LSP) connected from an Ingress Label Edge Router(LER) to an Egress LER. In this model, Per-Hop-Behavior(PHB) is implemented only at each LSP in ingress LER and Core Label Switch Routers(LSRs) just guarantee each LSP's bandwidth, not service. This bandwidth guarantee service is fully provided by legacy MPLS model. Also we propose flow allocation mechanism and the flow distribution among LSPs of the virtual link by the flow according to the network status. To evaluate the simplified approach, the characteristics of the approach are compared logically with these of IETF's one through simulations.

* 경남대학교 컴퓨터공학과 차세대인터넷 연구실 (sjseok@kyungnam.ac.kr),

** 고려대학교 전자컴퓨터공학과 광대역통신 연구실 (chkang@widecomm.korea.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-01-036, 접수일자 : 2005년 1월 18일

※본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성·지원사업의 연구결과로 수행되었음

1. 서론

현재 사용되고 있는 인터넷은 구조적으로 해결해야 할 몇 가지 문제점들을 갖고 있다. 첫째로 점차 증가하는 다양한 종류의 응용 서비스들이 각기 다르게 요구하는 망 전송 품질(Quality of Service: QoS)을 백본 망이 보장해 주는 일이다. 다음은 인터넷을 어떻게 고속화시키느냐 하는 일이다. 첫 번째 문제를 위해서 IETF의 차등 서비스 모델(Differentiated Services Model: DiffServ)[1]와 통합 서비스 모델(Integrated Services Model: IntServ) 등을 통한 서비스의 차별화 기법이 제안된 바 있고 라우터에서 고속의 패킷 전송을 가능하게 하기 위해서 MPLS(Multi-Protocol Label Switching) 기술이 IETF에서 표준화 된 바 있다[2].

최근 들어서는 고속 MPLS 망에서 서비스 차별화 혹은 서비스 품질 보장(QoS)을 제공하기 위한 방안들이 활발히 논의 되고 있다[3]. 이 방안들 중에는 명시적 경로 설정을 통한 트래픽 엔지니어링 기법[7][8]이나 혹은 기존 서비스 차별화 모델을 그대로 MPLS 망에 적용하는 방안들이 있다[3]. 특히 최근에는 MPLS 망에 차등 서비스(DiffServ) 모델을 적용하는 방법(이후 MPLS+DiffServ로 표시)이 두 모델의 유사성으로 인해 효과적일 것으로 보는 추세가 있다[3][4].

MPLS+DiffServ 기법은 MPLS 네트워크에서 QoS 보장을 제공하기 위하여 IETF 차등 서비스 네트워크 모델[1]을 MPLS 네트워크 [2]에 그대로 적용한 방법으로서 이를 위하여 기존의 차등 서비스 모델에서와 같이 모든 MPLS 라우터에 적용되는 PHB(Per-Hop Behavior) 기능과 망 경계에서 사용되는 Classifier, Meter, Marker, Shaper 및 Dropper로 구성된 트래픽 컨디셔너의 기능이 필요하다. 또한 SLA(Service Level Agreement) 과정에서 사용자의 트래픽을 수용할 것인지의 여부를 결정하는 자원 관리자(Bandwidth Broker)가 존재하게 된다. MPLS+DiffServ 망에서 자원 관리자는 MPLS 망 전체에서 사용되는 자원을 모니터링하고 관리하고 또한 사용자의 요청에 따라 자원을 예약하는 역할을 수행하는 집중형 시스템 구조를 갖는다.

그림 1은 MPLS+DiffServ 모델의 망구조를 보여 준다. 망 내부의 모든 라우터들은 입력되는 모든 패킷에 대하여 PHB를 실행하고 있다. 기존 차등 서비스 망에서는 IP 헤더에 표시되는 DSCP(DiffServ Code Point) 코드값을 사용해서 라우터에서는 입력

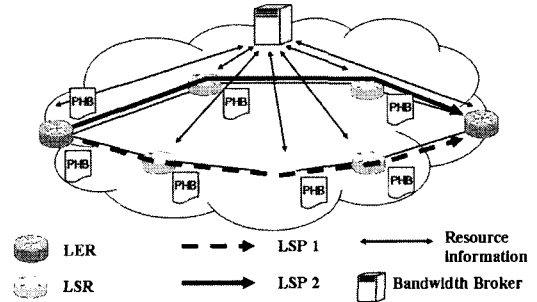


그림 1. 차등화 서비스를 통한 QoS 보장 방안 모델

되는 패킷을 PHB(Per Hop Behavior)별로 구분한다. 하지만 MPLS 망에서는 입력되는 IP 패킷의 헤더를 보고 레이블을 결정한 이후에는 FEC(Forwarding Equivalent Class) 매핑 테이블을 이용하여 레이블 스위핑을 통하여 데이터 패킷을 전달하기 때문에 IP 헤더의 DSCP 코드값을 MPLS의 레이블에서 구분하기 위한 추가적인 레이블 인코딩 기법을 요구하고 있다. 현재 LSP(Label Switched Path)에 차등 서비스를 제공하기 위하여 2가지 레이블 인코딩 기법이 제안되어 있다 [2][5]. 첫 번째 방안은 E-LSP기법으로 스케줄링과 드롭 우선순위의 정보를 가지고 있는 패킷을 처리하는 PHB 기능을 MPLS 라우터에 동시에 제공하기 위하여 MPLS 심헤더(Shim Header)의 EXP 필드를 이용하는 방법이다. 이 기법은 하나의 LSP에 multiple BAs(Behavior Aggregates)를 전송할 수 있으나 주어진 FEC(Forwarding Equivalence Class)에 대하여 최대 8개의 클래스까지만 지원할 수 있다. 따라서 더 많은 클래스가 요구될 때는 load sharing이 필요하다. 반면에, L-LSP 기법의 경우, 하나의 LSP에 single BA를 전송하는 방법으로 패킷 스케줄링은 패킷의 레이블 값에 의해 구분되고 EXP 필드는 드롭 우선순위를 나타낼 수 있다. 즉, 각각의 서비스 클래스들은 하나의 LSP에 각각 매핑되어 처리된다. 이는 각각의 서비스 클래스들에 대하여 LSP를 요구하므로 전체 레이블 수가 증가하는 단점을 가지고 있다.

MPLS 기본 기술은 짧고 고정 길이의 레이블 스위핑 메커니즘에 의하여 백본 라우터에서 패킷의 전송 성능의 향상을 그 목적으로 하고 있다. 그러나 위에서 언급하고 있는 MPLS+DiffServ 방안은 MPLS 망 위에 기존의 차등 서비스 기법을 그대로 적용하는 방법임으로 모든 MPLS 라우터에서 PHB를 수행하도록 하고 있고 네트워크 중앙에 Bandwidth Broker를 두고 네트워크 자원을 관리하도록 하고

있다. 이러한 모델의 문제점은 고속 전송을 요구하는 각 라우터가 PHB를 수행을 위해 더 많은 프로세싱 능력과 복잡성을 요구받게 되고, BB는 네트워크 병목 구간으로 될 가능성이 높다는 것이다. 또한 차등 서비스 도메인에서의 자원 관리와 자원 예약을 위한 시그널링 방안이 현재까지는 정확히 확정되지 않았다. 현재로서는 이들을 해결하기 위해서는 많은 노력과 시간이 요구된다. 결론적으로 DiffServ을 실제 백본 네트워크에서 운용하는 것은 QoS 모델의 복잡성 등으로 인해서 많은 문제점을 가지고 있으므로 QoS를 백본 네트워크에서 적용하기 위한 첫걸음으로서 좀 더 단순한 모델이 필요하다. 논문에서 제안하는 방안은 현재의 MPLS 구조에서 에지 라우터의 기능 변경을 통해 간단하게 QoS를 보장하는 방법이다. 이를 위해 본 논문은 두 경계 라우터 사이에 가상 링크를 설치하도록 하고 있다. 2장에서는 가상 링크를 정의하고 제안하는 모델의 개념과 가상 링크를 관리하기 위한 알고리즘을 설명하며 3장에서는 기존의 방안과 제안하는 방안에 대하여 논리적인 비교를 통하여 각각의 특성을 분석한다. 그리고 4장에서는 시뮬레이션을 통하여 제안하는 방법에 대한 서비스 차별화 기능을 검증하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. MPLS 네트워크에서의 가상링크를 이용한 간략화된 QoS 보장 모델

이번 장에서는 이 논문이 제시하고 있는 가상 링크를 정의하고 가상 링크를 위한 네트워크 요구 사항과 이를 통한 QoS 제공 방안을 설명한다. 그리고 가상 링크를 설정하고 관리하는 알고리즘을 소개한다.

2.1 가상 링크 (Virtual Link) 정의

본 논문에서는 MPLS 네트워크 상에서 논리적으로 완전연결형(Full-Mesh) DiffServ 네트워크를 오버레이 모델로 구성하려고 한다. 제안되는 가상의 DiffServ 네트워크는 LER에 가상 DiffServ 노드 기능을 구성한다. 이 경우 서로 다른 두 LER 사이에 연결된 LSP는 DiffServ 노드간의 링크로 사용되어야 한다. 논문에서는 가상 링크(Virtual Link)를 “입구 LER (Label Edge Router)와 출구 LER 사이에 설정된 LSP들의 집합”으로 정의한다.

일반적으로 MPLS 네트워크에서 입구에서 출구 사이의 단일 경로, 즉 단일 LSP로는 SLA를 통해서 사용자가 요구하는 트래픽 대역폭을 보장하지 못하

는 경우, 같은 입구에서 출구로 향하는 여러 개의 서로 다른 LSP들을 설정하여 사용자의 요구를 수용할 수 있도록 한다. 이와 같은 다중경로 라우팅 기법은 트래픽 엔지니어링을 위해서도 효과적인 방법으로 많이 사용되고 있다.

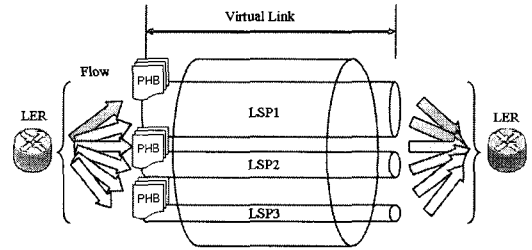


그림 2. 가상 링크 (Virtual Link) 모델

DiffServ 네트워크에서는 각 링크에서 PHB를 수행함으로써 같은 링크에서 서로 경쟁하는 여러 종류의 트래픽간에 서비스 차별화를 제공하고 있다. 따라서 제안하는 가상 링크도 PHB가 수행되도록 설계되어야 한다. 그림 2에서 보이는 것과 같이 제안하는 모델에서는 가상 링크를 구성하는 각 LSP가 독립적으로 PHB를 수행하도록 함으로써 가상 링크의 PHB를 구현하도록 하였다. 이때 가상 링크를 구성하는 각 LSP들은 CR-LDP 혹은 RSVP-TE와 같은 기존의 자원 예약 프로토콜에 의하여 설정된 후에 예약된 자원의 대역폭을 보장하게 된다. 하지만 차등 서비스를 위한 PHB기능은 가상 링크를 구성하는 각 LSP의 입구에서만 동작하게 된다. 따라서 제안하는 방안에서 MPLS 코어 라우터(LSR)는 기존의 차등 서비스에서 수행하는 다중의 서비스 레벨의 복잡한 스케줄링을 수행하지 않고 기존의 MPLS 네트워크의 코어 라우터가 수행하는 단순한 단일 서비스의 LSP 대역보장 스케줄만을 수행하면 된다. 이는 제안하는 방안에서는 QoS를 제공하기 위해 단지 입구 라우터의 기능 확장만을 필요로 하게 된다는 것을 의미한다.

그림 3은 가상 링크로 구성된 QoS 네트워크 모델 예를 보여주고 있다. 그림 1에서 살펴본 기존의 방안을 MPLS 네트워크와 DiffServ 모델의 통합 모델처럼 볼 수 있다면, 제안하는 방안은 마치 MPLS 망 위에 가상 링크로 이루어진 논리적인 QoS 망이 구성되는 오버레이 모델의 형식을 띠고 있다고 할 수 있다. 오버레이 QoS 망에서는 MPLS 코어 라우터에 대하여 투명성을 보장하고 있기 때문에 가상

링크의 입구 LER에서는 출구 LER을 마치 다음 홉으로 바라보며 차등 서비스를 하게 된다. 따라서 MPLS 코어 라우터에서는 QoS를 제공하기 위해 어떠한 추가적인 변형이 필요 없고 CR-LDP나 RSVP-TE에 의해 설정된 LSP의 대역폭만을 단순히 보장하면 된다.

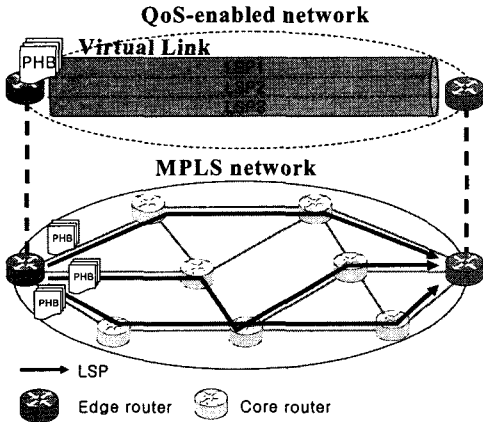


그림 3. 가상 링크로 구성된 논리적인 QoS 네트워크

DiffServ 모델에서는 동적인 네트워크 상태 정보를 수집하고 사용자의 요청(SLA)에 대해서 LSP 경로를 정하고 네트워크에게 LSP 자원예약을 요청하는 기능을 수행하도록 하는 Bandwidth Broker(BB)를 네트워크 중앙에 두고 있다. 하지만 중앙 서버의 경우 네트워크 내 병목의 지점이 될 수 있다. 제안하는 모델에서는 중앙에 BB를 두지 않는다. LSP는 SLA의 요구가 없이 주기적으로 모든 MPLS 경계 라우터 간에 한번에 설정되도록 한다. 이때 MPLS 네트워크에서는 통계적으로 축적된 과거의 정보와 ISP 정책 등을 이용해서 모든 경계 라우터 간에 필요한 대역 요구량을 정하게 된다. 이를 네트워크 트래픽 매트릭스라고 한다. 트래픽 매트릭스와 네트워크 토폴로지 정보가 주어진 경우 다중 경로 라우팅 문제는 LP(Linear Programming) 최적화 문제로서 기존 알고리즘들을 쉽게 해결할 수 있다. 이러한 동작은 Off-Line으로 관리 모듈에서 이루어지기 때문에 실시간 네트워크 부하로서 작용하지는 않는다. 계산 결과 얻어진 최적의 LSP 루트와 대역들은 각 경계 라우터에 위치한 QoS 에이전트들로 하여금 시그널링 프로토콜(CR-LSP, RSVP-TE)을 이용해서 설정하도록 한다. 최적의 LSP들로 초기화 MPLS 네트워크에 SLA가 경계 라우터에 도착하면 각 라우터에 위치한 QoS 에이전트가 출구 라우터를 향

한 LSP들을 이용해서 SLA 수용여부와 LSP별로 서비스 트래픽 비율을 정하고 PHB 스케줄링 파라미터를 설정한다. 만약 기존의 LSP들로 새 SLA요구를 수용할 수 없으면 SLA를 거절하게 된다. 결국 제안하는 모델에서는 중앙의 BB의 기능을 각 경계 라우터의 QoS 에이전트와 네트워크 관리 모듈이 분산해서 수행하게 된다.

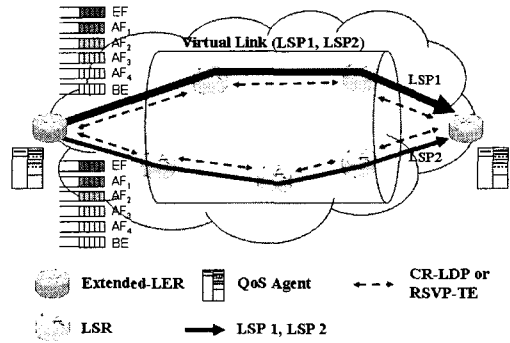


그림 4. 가상 링크의 PHB 모델

제안하는 방안에서는 가상 링크를 구성하는 LSP가 각기 다른 경로에서 자신의 예약된 자원에 대한 대역폭을 보장하면서 입구에서만 PHB의 기능이 독립적으로 동작하기 때문에 기존의 차등 서비스와는 다소 다른 서비스 차별화 특성을 보이게 될 것으로 예상된다. 즉, 프리미엄 서비스 패킷의 경우 입구에서만 우선순위 서비스를 제공받고 네트워크 내부에서는 우선처리 되지 못하기 때문에 기존의 방안(MPLS+DiffServ)에서보다는 다소 긴 지연시간을 갖게 될 수 있으며, 반대로 보장형 서비스와 최선형 서비스는 MPLS+DiffServ의 이들 서비스들에 비하여 상대적으로 더 높은 대역보장 특성을 될 것이다.

2.2 가상링크를 사용하는 MPLS 환경

제안하는 방안에서 요구되는 MPLS 네트워크 환경을 정리하면 다음과 같다.

- 1) MPLS는 인터넷 백본 네트워크로 사용되고 사용자로부터 SLA가 실시간으로 요청된다.
- 2) 사용자가 MPLS 네트워크에 요청하는 SLA는 RSVP 등을 사용하여 플로우 단위로 수행된다. 그리고 SLA에는 목적지, 서비스 클래스와 파라미터, 대역폭, 서비스 시간 등에 대한 정보를 포함한다.
- 3) 같은 입구와 출구로 향하는 서로 다른 다수의

LSP들이 존재할 수 있다. 또한 각 LSP들은 대역폭 등에서 다른 특성을 가질 수 있다. 이들 다수의 LSP들이 하나의 가상 링크를 구성한다.

- 5) MPLS 네트워크 관리모드는 주기적으로 트래픽 매트릭스 정보에 따라서 최적의 LSP set으로 가상 링크를 연결한다.
- 6) 가상 링크를 구성하는 LSP는 CR-LDP 혹은 RSVP-TE 등에 의하여 설정될 수 있으며 MPLS 네트워크는 LSP에 대해서 예약된 대역폭을 보장한다.
- 7) 새로운 SLA가 수신되면 QoS 에이전트는 이를 수용할 수 있는지를 판단한다. 그리고 가상 링크를 구성하는 LSP들 사이에서 트래픽을 플로우단위로 동적 분배한다. 즉 가상 링크를 사용하는 신규 서비스 요청이나 서비스 종료 이벤트가 발생할 때마다 새롭게 서비스별 트래픽 분배가 이루어진다. 분배결과에 따라 LSP별 PHB를 수행 할 수 있도록 스케줄러를 설정한다.
- 8) 가상 링크를 구성하는 각 LSP의 입구에서만 PHB 기능이 수행된다. 즉, 각각의 LSP에 대하여 독립적으로 동작하게 된다. 따라서 같은 서비스 클래스를 갖는 플로우들일지라도 지정된 LSP의 PHB 상태에 따라 상대적으로 서비스 품질이 다를 수 있다. 또한 네트워크 내부에서 서비스 차등화를 위하여 플로우를 구분할 필요가 없다.
- 9) QoS 에이전트는 현재 서비스가 진행 중인 SLA 리스트를 저장하고 있다. SLA에 의해서 요청되었던 서비스는 일정 서비스 시간이 경과된 후에 MPLS 네트워크에서 종료된다. 이때 CR-LSP등의 시그널링 프로토콜을 통해서 QoS 에이전트는 LSP의 대역을 축소하거나 해지한다.

가상 링크를 구성하는 각각의 LSP들은 LSP 대역폭, 병목 링크의 대역폭, 트래픽 구성 등에서 각기 다른 특성을 가질 수 있으므로, 같은 서비스를 요구하는 트래픽이라고 할지라도 가상 링크 내 다른 LSP를 통하여 처리된다면 똑같은 품질을 보장받지 못하고 LSP 특성에 따라 서비스 품질이 다소 차이가 생길 수 있다. 이러한 문제를 논문에서는 서비스 불공정성이라고 하고 이를 줄일 수 있도록 LSP간에 트래픽을 분배하도록 하고 있다.

2.3 알고리즘

앞에서 언급한 바와 같이 가상 링크를 설정할 때 여러 개의 LSP들이 존재할 수 있기 때문에 가상 링크를 관리하기 위한 두 가지 부가적인 문제를 고려해야 한다. 첫 번째는 하나의 입구에서 출구로 통하는 가상 링크를 구성하기 위하여 어떠한 경로를 LSP로 설정할 것 인가이며 두 번째는 선택된 여러 개의 LSP들 사이에서 어떻게 트래픽을 분배해야 하는가에 관한 문제이다. 이 문제들의 해결을 위한 개념적 해결 방안은 다음의 특성들을 갖는다.

- 1) 가상 링크를 구성하는 LSP에게는 트래픽 매트릭스에서 요구하는 대역폭이 적절히 나누어서 할당된다.
- 2) MPLS 네트워크의 효율(Performance)이 최대가 될 수 있도록 최적의 LSP set이 설정된다.
- 3) 하나의 가상 링크를 구성하는 LSP의 개수(R)는 최대값(K)를 넘지 않도록 한다.
- 4) 플로우 내 패킷 순서를 보존하기 위해 동일 플로우에 속한 패킷들은 반드시 같은 LSP를 통하여 전달되도록 한다.
- 5) 만약 하나의 가상 링크에 여러 개의 LSP가 존재한다면 각 LSP에 존재하는 서비스 클래스들의 분포가 유사하도록 한다.
- 6) 플로우들의 재분배과정 시에 LSP들 사이에 기존에 존재하는 플로우들이 가능한 한 적은 재분배를 경험할 수 있도록 한다.

(1),(2),(3)의 경우는 가상 링크를 구성하는 LSP 경로를 정하는 문제의 해결 조건을 설명하며(4),(5), (6)은 플로우 할당 문제에 관한 방법을 제시하고 있다. (3)에서 살펴보면 가상 링크를 구성하는 LSP의 개수에 제한을 두고 있다. 이는 너무 많은 LSP가 사용되면 각 LSP별로 트래픽이 너무 작게 분할되어서 각 LSP상에서 효과적인 서비스 차별화를 제공할 수 없게 된다. (4)는 보면 트래픽의 관리가 플로우 단위로 수행되도록 함으로서 플로우내 패킷 re-ordering 문제를 예방할 수 있다. (6)은 플로우 분배를 설명하고 있다. 예를 들어서, 하나의 링크에 20개의 Expedited Forwarding(EF) 플로우와 80개의 Assured Forwarding(AF) 플로우를 가진 100개의 플로우가 있다고 가정하자. 기존의 차등 서비스에서는 20개의 EF 플로우들은 QoS 면에서 가장 높은 우선순위가 부여되고 그 후, 80개의 AF 플로우가 보장받을 것이다. 그러나 100개의 플로우가 여러개

의 LSP에 존재하고 있다면, 예를 들어 10개의 LSP 중에서 10개의 EF와 1개의 AF에 대한 LSP1, 2개의 EF와 1개의 AF에 대한 LSP2, 1개의 EF와 11개의 AF 플로우에 대하여 각각 LSP3~10에 할당되어 있다면, 제안하고 있는 방안에서는 각 LSP별로 PHB를 수행하므로 어떤 LSP에서는 서비스 차등화가 저하될 수도 있다. LSP1에서는 AF 트래픽이 10개의 EF 트래픽을 처리한 후에 전달되지만 반면에 LSP3~10의 경우는 1개의 EF 트래픽을 처리한 후 곧바로 AF 트래픽을 전달하게 된다. 게다가 LSP2와 LSP3~10의 경우에서도 4개의 플로우를 가진 LSP2의 하나의 EF 트래픽이 다른 LSP에 존재하는 EF 트래픽과 다른 특성을 나타낼 수도 있다. 가장 최악의 경우로서는 하나의 가상 링크에서 하나의 LSP에 오직 하나의 서비스 클래스만을 지원할 수도 있다. 이 경우 각 서비스를 지원하기 위하여 레이블 수의 증가를 초래할 뿐 만 아니라 서비스의 차등화를 경험하지 못하게 된다. 이러한 서비스 불공정성은 최소화되어야 한다. 이를 위해서, 가상 링크를 구성하는 LSP들은 SLA요청/해지에 따라 동적으로 관리되어야 한다. 즉 가상 링크에 존재하는 트래픽들은 LSP별로 서로 유사한 분포를 갖도록 플로우 단위로 분배되어야 한다.

다음은 QoS 에이전트가 새로운 SLA를 수신할 경우 LSP들간에 트래픽을 분배하는 알고리즘을 나타낸다.

1. 입구 LER i와 출구 LER j 사이에 대역폭 k와 서비스 s를 요구하는 새로운 SLA(i,e,k,s)가 i노드에 도착함.
2. 모든 LSP에 대한 SLA 할당을 초기화 함.
3. 새로운 SLA를 포함한 모든 EF SLA들에 대해서 대역폭 역순으로 순서를 나열함.
4. k가 가장 큰 EF SLA를 선택
5. k의 대역폭을 수용할 수 있는 LSP들 중에서 현재 사용률이 가장 낮은 LSP를 찾음.
6. 4를 만족하는 LSP를 찾았으면 해당 LSP에 해당 SLA 할당하고 만약 그렇지 못하였다면 12을 수행
7. 4번 결과 얻은 EF SLA 순서대로 5, 6을 반복해서 수행함.
8. 새로운 SLA를 포함한 모든 AF SLA들에 대해서 대역폭 역순으로 순서를 나열함.
9. 8번 결과 얻은 AF SLA 순서대로 5, 6을 반복해서 수행함.
10. 각 LSP들이 같은 수의 BE SLA를 갖도록 BE SLA를 할당 함.
11. 트래픽 분배를 완료하고, 각 LSP의 서비스 트래픽 비율에 따라서 LSP PHB를 설정함.
12. 새로 요구된 SLA(i,e,k,e) 요청을 거절하고, 이전의 트래픽 분배 결과를 계속 유지한다.

다음은 MPLS 네트워크 관리모듈에서 주기적으로 최적의 LSP set을 구하는 최적화 문제를 식으로 표현한 것이다. 아래 식에서 트래픽 매트릭스 $\lambda_{i,e}$ 값은 통계적인 측정과, ISP 정책에 의해서 미리 결정된다.

$$\text{Min } \text{Max}_{(j,k)} \left\{ \frac{L_{j,k}}{C_{j,k}} \right\} \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_j L_{j,k}^{i,e} - \sum_j L_{k,j}^{i,e} = \begin{cases} \lambda_{i,e} & \text{if } i=j \\ -\lambda_{i,e} & \text{if } e=j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall j, i, e \quad (2)$$

$$L_{j,k} = \sum_{i,e} L_{j,k}^{i,e} \quad \forall j, k \quad (3)$$

$$L_{j,k} \leq C_{j,k} \quad \forall j, k \quad (4)$$

$$R_{i,e} \leq K \quad (5)$$

$$L_{j,k}, L_{j,k}^{i,e} \geq 0 \quad \forall j, k, i, e \quad (6)$$

$L_{j,k}^{i,e}$ - Traffic due to ingress-egress pair (i,e) flowing from node j and node k.

$C_{j,k}$ - MPLS link capacity between node j and node k.

$R_{i,e}$ - number of LSPs between ingress i node and egress e node.

K - The Maximum number of LSPs between ingress i node and egress e node.

III. 논리적 비교

MPLS 망에서 QoS를 제공하기 위한 기존의 기법 (MPLS+DiffServ)과 제안하는 가상 링크를 이용하는 기법에 대해서 논리적으로 장·단점을 비교하여 보면 다음과 같다.

첫 번째로 IETF에서 제안된 기존 방안의 네트워크 구조는 기존의 MPLS에 차등 서비스를 그대로 구현하였기 때문에 차등 서비스와 MPLS의 통합 모델이라고 할 수 있다. QoS를 제공하기 위하여 MPLS 네트워크에서 모든 라우터에 PHB 모듈을

구현해야 하는 등 전체 시스템의 변경을 필요로 하기 때문에 구현하기 쉽지 않다. 그러나 제안하는 방안은 단지 모든 입구라우터의 내부에서만 PHB를 수행하기 때문에 MPLS+DiffServ 방안보다 상대적으로 쉽고 간단하게 구현할 수 있다. 또한 추가적인 DSCP 인코딩 기법이 필요 없으며 모든 코어 라우터는 기존의 LSR처럼 레이블 스위핑을 통한 패킷 전달을 통하여 단일 서비스 레벨의 대역보장 스케줄링 만을 수행하면 된다.

둘째로 기존의 방안은 MPLS 네트워크에 차등 서비스를 그대로 적용하였기 때문에 기존의 차등 서비스와 똑같은 품질의 서비스를 제공할 수 있으나 제안하는 방안은 기존방안보다 세밀한 QoS를 제공하지 못하는 단점을 가지고 있다. 즉, 최선형 서비스와 보장형 서비스의 품질은 기존방안보다 더 나은 품질을 얻을 수 있는 반면 프리미엄 서비스는 상대적으로 더 낮은 품질을 얻게 될 수도 있다.

셋째, 기존의 기법은 차등 서비스 도메인의 자원 관리를 위하여 Bandwidth Broker를 통하여 네트워크 정보를 수집하고, 경로를 결정하고 서비스에 따른 자원을 예약하게 된다. 그러나 가상 링크 모델에서는 MPLS 네트워크 내부에 DiffServ 모델을 구현하기 않기 때문에 이를 관리하는 Bandwidth Broker 또한 둘 필요가 없다. 다만 네트워크 입구 LER마다 QoS 에이전트를 두고, 미리 설정된 LSP들을 통한

SLA 수용 여부를 결정하고 두 LER 사이의 LSP들 간의 트래픽을 적절히 분배하도록 함으로써 가상 DiffServ 네트워크 자원을 분산적으로 관리한다.

IV. 성능 평가

이번 장에서는 기존 방안(MPLS+DiffServ)과 제안하는 가상 링크 방안에 대하여 시뮬레이션을 통한 성능 평가를 한다. 시뮬레이션 모델은 Arena 5.0을 이용하여 설계하였다. 이 시뮬레이션의 목적은 MPLS+DiffServ 모델과의 성능 비교가 아니라 제안하는 가상 링크 모델도 의미 있는 서비스 차별화 기법이 될 수 있는지의 여부를 확인함에 있다. 이를 위해 2가지 모델을 가지고 실험을 진행하였다. 첫 번째 모델은 단일 경로(LSP)로 구성된 가상 링크를 가진 모델이며 두 번째 모델은 다중 경로(LSPs)로 구성된 가상 링크로 이루어진 모델이다.

첫 번째 모델을 통해서 제안하는 방안이 단일 경로로 구성된 가상 링크를 통하여 서비스 차등화가 이루어지는지를 확인하였다. 그림 5은 첫 번째 시뮬레이션 모델을 보여주고 있다. 모델에는 입구 노드에서 출구 노드 사이에는 하나의 코어 라우터가 존재한다. 입구 노드에서 출구 노드까지의 링크의 총 대역폭은 10Mbps이고 패킷 하나의 크기는 1024바이트로 설정하였다. 또한 모델에서는 9개의 트래픽

표 1. MPLS에서 QoS를 제공하기 위한 MPLS+DiffServ(기존방안)모델과 가상 링크 모델의 논리적 성능 비교

항 목	MPLS+DiffServ 모델 (기존방안)	가상링크 (Virtual Link)
Deployment	<ul style="list-style-type: none"> • 차등 서비스 네트워크와 MPLS 망간의 통합모델 • MPLS 네트워크 전체 시스템의 변화가 필요하며 제안하는 방안에 비하여 상대적으로 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> • MPLS 망위에 논리적인 QoS망이 구성되는 오버레이 모델 • 입구 LER의 내부에서만 PHB기능 동작 • 입구 LER의 기능 확장만으로 쉽게 구현 가능 • 기존 방안(MPLS+DiffServ)에 비하여 상대적으로 간단하게 적용 가능
QoS Guarantee	<ul style="list-style-type: none"> • 기존의 차등 서비스와 같은 수준의 차등화 품질을 보장할 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> • 네트워크 내부에서 세밀한 QoS를 보장하기 어려움 • EF 서비스가 네트워크 내에서 엄정한 우선순위를 지속적으로 제공받기 어려움
Label Encoding Scheme	<ul style="list-style-type: none"> • E-LSP와 L-LSP 방법을 사용할 수 있음. • E-LSP: 서비스 클래스 수의 제한 (최대 8roi의 서비스 제공) • L-LSP: 레이블 수의 증가 	<ul style="list-style-type: none"> • 추가적인 인코딩 기법이 필요 없음
Scheduler Complexity	<ul style="list-style-type: none"> • 에지라우터: 다중 서비스의 지원필요 • 코어라우터: 에지와 같은 기능지원이 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 에지라우터: 다중 서비스 스케줄링 지원 • 코어라우터: 대역폭을 보장하는 단일 서비스 스케줄링 지원
Resource Management	<ul style="list-style-type: none"> • Bandwidth Broker에 의한 자원관리 • 통합 관리 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> • 각 에지라우터에 위치한 QoS Agent를 통하여 가상링크 관리 • 분산형 시스템

소스를 두고 이중에서 가상 링크를 통하여 전달되는 트래픽(S1, S2, S3)을 포워그라운드 트래픽 그리고 네트워크의 혼잡 발생을 위해 생성된 트래픽(S4, S5, S6, S7, S8, S9)을 백그라운드 트래픽 이라고 하였다. 여기서 전체 링크 자원의 80%가 예약된 상태로 가정한다. 예약된 자원에 대하여 포워그라운드 트래픽과 백그라운드 트래픽 비율은 2:8로 설정하였다. 또한 예약된 트래픽의 서비스 비율은 2:5:3 (EF: AF:BE)의 비율로 가정하였으며 최선형 서비스의 트래픽은 설정된 양보다 1.5배 많게 발생시켰다. 이것은 설정된 LSP내에서 예약하지 않는 최선형 서비스의 트래픽을 초과하여 보냄으로써 다른 서비스에 미치는 영향을 보기 위해서이다. 마지막으로 실험에서는 백그라운드 트래픽의 양과 종류에 대한 변화를 주면서 성능요소인 패킷 지연 시간을 측정하였다. 패킷의 손실은 라우터의 버퍼의 크기에 따라 달라질 수 있으며 패킷의 지연 시간과 밀접한 관계로 비례하기 때문에 실험에서는 성능평가 요소를 패킷 지연시간으로 단일화를 위해서 각 라우터는 충분히 큰 버퍼 길이를 갖도록 하였다.

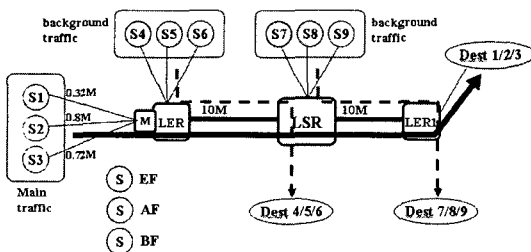


그림 5. 단일 경로에서 QoS제공 성능실험

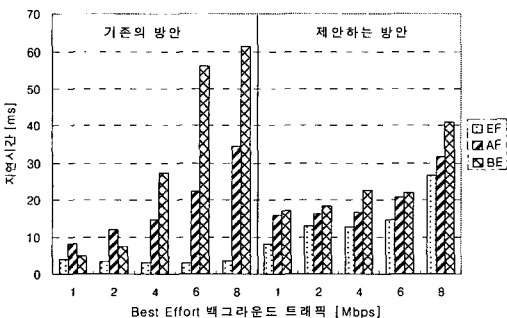


그림 6. BE 트래픽 변화에 따른 서비스별 지연시간

위 모델을 이용한 첫 번째 실험에서는 백그라운드 트래픽에서 최선형 서비스 트래픽의 양을 변화

시켰을 때 가상 링크에서 QoS를 보장하는 지를 측정하고 가상 링크에서 나타나는 서비스의 특성을 측정하였다. 백그라운드 트래픽의 발생량은 EF 트래픽은 0.32Mbps를 AF트래픽은 0.8Mbps를 발생시켰으며 BE 트래픽은 1, 2, 4, 6, 8Mbps를 발생시켰다. 그림 6의 실험결과 그래프에서 EF 트래픽의 경우 기존의 모델에서는 항상 적은 지연 시간 내에 패킷을 처리하고 있음을 볼 수 있으나 제안하는 방안은 백그라운드(BE) 트래픽이 증가함에 따라 기존의 방안에 비하여 지연 시간이 길어짐을 볼 수 있다. 이는 MPLS+DiffServ 모델의 경우 네트워크 내 모든 LSR 라우터가 EF 트래픽에 대해서 엄격한 우선순위 스케줄링을 하고 있으나, 가상 링크 모델에서는 코어 LSR 라우터에서 서비스 종류별이 아닌 LSP별 대역보장 스케줄링을 수행하기 때문이다. 따라서 입구 LER 라우터에서는 LSP내에 존재하는 트래픽의 패킷이 서비스별로 정렬되어 내보내지만 코어 LSR 라우터에서 다른 LSP의 모든 트래픽과 동등하게 경쟁하면서 EF트래픽은 엄격한 우선순위를 보장받지 못한다. 반면에 AF의 경우는 링크의 사용률이 낮은 구간(1Mbpsbps~2Mbpsbps)에서는 패킷 지연 시간이 길게 나타나 링크가 혼잡해지는 4Mbps이후 구간에서는 기존 방안에 비해서 짧은 특성을 보이고 있다. 전반적으로는 가상 링크 모델을 통해서 MPLS+DiffServ 모델에 비해 서비스 차등화가 감소되는 현상을 나타내지만 특정한 서비스 트래픽에 심각한 영향을 주지 않고 백그라운드에 변화에 관계없이 서비스의 차등성은 어느 정도 유지된다.

다음으로 그림 5 실험모델에서 백그라운드 트래픽으로 AF 트래픽을 변화시켜가며 실험하였다. AF 트래픽의 발생은 자원 예약량을 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4Mbps로 늘려가면서 링크의 거의 대부분을 예약할 수 있을 때까지 발생시켰다. 그림 7은 실험 결과 그래프를 보여주고 있다. 이번 실험에서도 첫 번째 실험과 마찬가지로 제안하는 방안의 서비스 차등화 현상이 기존의 방안에 비하여 무더지고 있음을 알 수 있다. 그러나 기존의 방안의 결과를 살펴보면 그래프에서 볼 수 있듯이 AF 자원예약의 늘어남에 따라서 BF의 가용 대역이 줄어들어 패킷 지연이 급격히 증가되는 것을 볼 수 있다. 이는 실제 네트워크에서 EF 패킷의 손실 증가되는 것을 의미한다.

세 번째는 실험은 프리미엄 서비스 백그라운드 트래픽을 변화시켜가며 나타나는 QoS의 특성을 실험하였다. EF 트래픽의 변화는 AF 트래픽양의 변

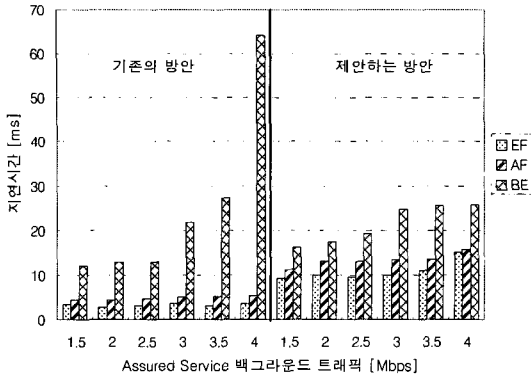


그림 7. AF 트래픽 변화에 따른 서비스별 지연시간

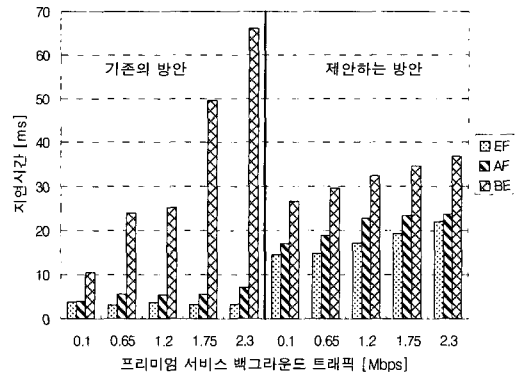


그림 8. EF 트래픽 변화에 따른 서비스별 지연시간

화 때와 마찬가지로 링크에서의 자원 예약량이 전체 링크의 80%미만으로 자원 예약이 되었을 때부터 거의 100%정도까지 즉, 링크의 전부를 예약하였을 때까지 예약량을 변화시키며 실험하였다. 실험 결과는 그림 8에서 보는 바와 같이 두 번째 실험에서 얻은 결과와 비슷한 경향을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 서비스의 차등화가 무더졌으나 여전히 서비스 차등화가 일어나고 있음을 볼 수 있다.

그라운드 트래픽을 1:2:3의 비율로 나누어 각 LSP로 전달된다고 가정하였다. 각 LSP에 할당된 트래픽을 구성하는 서비스 클래스 분포는 단일 경로를 가진 실험 모델에서와 마찬가지로 2:5:3의 분포로 이루어진다고 가정하였다. 따라서, LSP 1의 자원 예약은 0.16, 0.4, 0.24Mbps (EF:AF:BE), LSP 2에는 0.32, 0.8, 0.48Mbps, 그리고 LSP 3에 0.48, 1.2, 0.72Mbps로 예약하였다. 백그라운드 트래픽 역시 링크의 자원 예약량이 전체의 80%가 되도록 예약하였다.

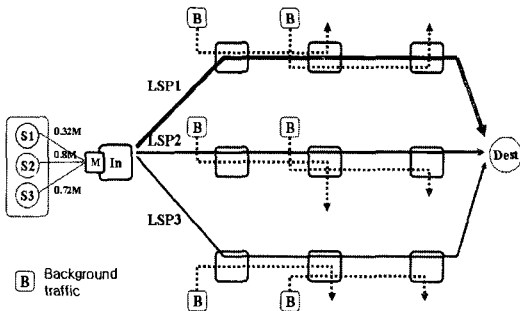


그림 9. 다중 경로에서 QoS보장 성능실험

두 번째 실험 모델에서는 다중 경로로 구성된 가상 링크에서 제안하는 알고리즘에 의한 트래픽 분배를 통하여 차등 서비스의 성능 평가를 하였다. 실험 모델은 그림 9에서 보는 바와 같다. 단일 경로를 통하여 전송하는 포워드 트래픽이 다중 경로를 통하여 적절하게 분배되어 가상 링크 내에서 적은 스케일을 가진 LSP로 분배되어 전달된다. 세 곳의 LSP들이 지나는 링크의 총 대역폭은 각각 3Mbps이며 각 LSP의 자원 예약은 첫 번째 모델에서 단일 경로에서 예약된 자원을 1:2:3의 비율로 예약되었다. 또한 다중 경로로 전달되는 포워드 트래픽도 앞 모델에서 단일 경로에서 전달되던 포워드

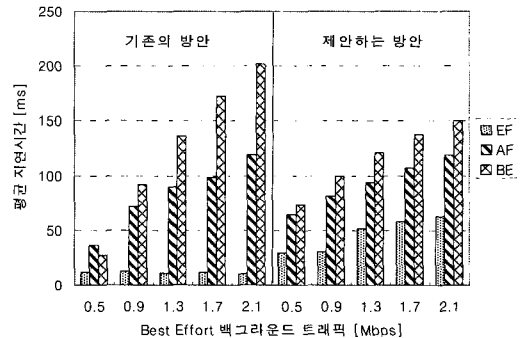


그림 10. 다중경로에서 서비스별 평균 지연시간

이번 실험은 첫 번째 실험에서와 마찬가지로 링크의 혼잡을 유도하는 BE 트래픽을 증가시키며 트래픽의 지연 시간을 측정하였다. 그림 10의 그래프는 3곳의 LSP를 통하여 전달되는 트래픽의 패킷 전달 지연 시간의 평균을 나타내고 있다. 이번 결과는 단일 경로를 사용하는 가상 링크와 비슷한 QoS 특성을 나타내고 있다. 가상 링크를 통하여 전달되는 트래픽은 어느 특정 서비스에 대하여 심각하게 패킷 전달 지연시간이 길어지는 현상을 나타내지

않고 있다. 또한 하나의 경로를 통하여 전달되는 트래픽이 다중 경로를 통하여 전달될 때 트래픽의 대역폭이 작게 분리됨으로써 지연 시간이 전체적으로 늘어나는 것을 알 수 있다.

그림 11는 3개의 LSP들을 통해 각각 전달되는 트래픽의 서비스 클래스별 패킷 전달 지연 시간을 비교하고 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 LSP1, LSP2, LSP3 각각에 할당된 자원 예약의 비율은 1:2:3의 비율을 가지고 있다. 그림 12에서 (a),(b),(c)

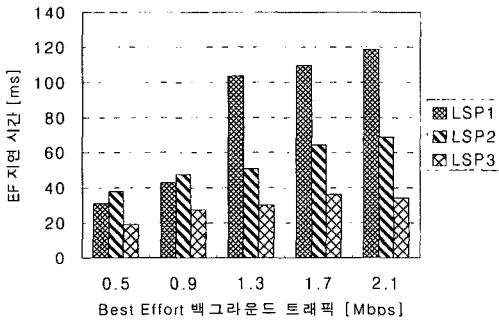
는 BE 백그라운드 트래픽의 변화에 따라 포워딩 라운드 트래픽에서 EF 패킷, AF 패킷, 그리고 BE 패킷의 전달 지연 시간을 보여주고 있다. 코어 라우터에서는 각 LSP별로 대역폭을 보장하고 있으므로 스케일이 작은 LSP1에서 전달되는 패킷이 가장 큰 전달 지연 시간을 나타내고 스케일이 가장 큰 LSP3에서의 패킷 전달 지연 시간이 가장 적게 나타내고 있음을 볼 수 있다. 또한 실험 결과에서 보는 바와 같이 가상 링크가 적은 스케일을 가진 다중의 LSP들로 분리될 경우 각 경로에 따라 다른 패킷 지연을 경험하게 되므로 효과적인 플로우 분배 알고리즘을 통하여 서비스 불공정성 문제를 최소화하도록 해야 한다.

V. 결론

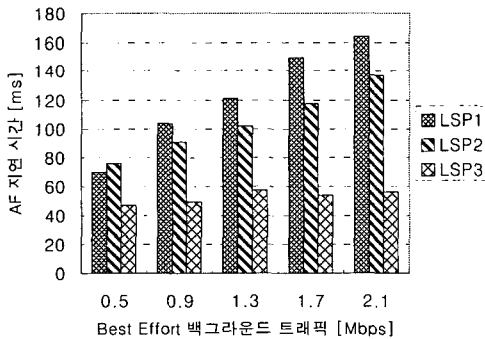
최근의 백본 네트워크는 고속화와 더불어 간단한 구조가 요구되고 있으며 이는 복잡한 네트워크 관리 기능은 가능한 네트워크 설계나 혹은 분배 망에서 제공하도록 하고 백본 망에서는 고속의 전달 서비스만을 제공하도록 하자는 추세를 의미한다고 보인다. 이와는 별도로 인터넷에서의 QoS 서비스에 대한 요구는 점차 증대되고 있어 실제 백본 네트워크에 적용 가능한 단순화된 QoS 제공 모델 개발이 시급히 요구되고 있는 때다.

본 논문은 현재 사용되고 있는 백본 MPLS에서 네트워크의 변화를 최소화하면서 간략하게 QoS를 제공하는데 그 초점을 두었다. 이를 위한 방안으로서 가상 링크 모델을 제시하고, 가상 링크를 구성하는 각 LSP의 입구에서만 PHB를 수행하도록 하였다. 더욱이 가상 링크 내에서는 서비스 차등화를 높이기 위하여 각 LSP들에 서비스 클래스가 균등하게 분포하도록 분배하였다. 마지막으로 가상 링크 관리를 위하여 각 경계 라우터 (LER)에 QoS 에이전트를 두었다.

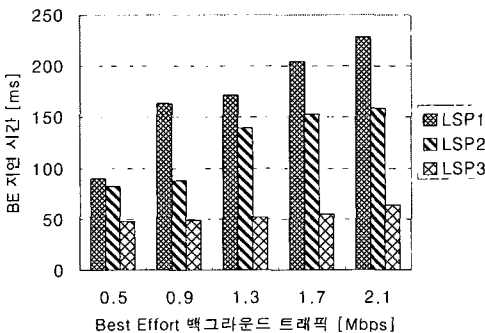
시뮬레이션 결과 제안하는 방안이 기존 방안과 다른 특성의 QoS를 보였으며, 서비스 차별화를 제공할 수 있다는 것을 보이고 있다. 링크가 혼합해질수록 LSP에 존재하는 각각의 서비스들이 패킷 전달 지연을 서로 나누어 가짐으로써 서비스간의 서비스 차등 현상이 조금씩 무더지는 특성을 가지고 있기 때문에, 지연에 민감한 프리미엄 서비스 제공 시 한계가 있다는 단점을 가지고 있지만, 같은 링크를 공유하는 다른 가상 링크의 트래픽 변화에는 덜 민감하다는 특징을 보였다. 따라서 제안하는 모델이



(a) 각 LSP별 foreground EF 트래픽 패킷 지연시간



(b) 각 LSP별 foreground AF 트래픽 패킷 지연시간



(c) 각 LSP별 foreground BE 트래픽의 패킷 지연시간

그림 11. foreground 트래픽의 서비스별 지연시간

MPLS VPN으로 구성된 기업 망에서 QoS를 손쉽게 제공할 수 있는, 한 방안이 충분히 될 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] S. Blake, D. Blake, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, W. Weiss, "An Architecture for Differentiated Services," RFC 2475, Dec. 1998.
- [2] E. C. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon, "Multiprotocol Label Switching Architecture," RFC 3031, Jan. 2001.
- [3] F. L. Faucheur, L. Wu, B. Davie, S. Davari, P. Vaananen, R. Krishnan, P. Cheval, J. Heinanen, "Multi-Protocol Label Switching(MPLS) Support of Differentiated Services," RFC 3270, May 2002.
- [4] T. Nadeau, M. Tatham, T. Telkamp, J. Boyle, L. Fang, "Requirements for support of Diff-Serv-Aware MPLS Engineering" Internet Draft <draft-ietf-mpls-diff-te-reqts-00.txt>, Nov. 2000.
- [5] M. Moh, B. Wei and J. Huijing Zhu, "Supporting Differentiated Services with Per-Class Traffic Engineering in MPLS," Computer Communications and Networks, Jan. 2001, pp.354-360.
- [6] O. Aboul-Magd, P. Ashwood-Smith, F. Hellstrand, K. Sundell, L. Andersson, R. Callon, R. Dantu, L. Wu, P. Doolan, T. Worster, N. Fredette, M. Girish, E. Gray, J. Halpern, J. Heinanen, T. Kilty, A. Malis, P. Vaananen, "Constraint-Based LSP Setup using LDP," RFC 3212, Jan. 2002.
- [7] D. Awduche, J. Malcolm, J. Agogbua, M. O'Dell and J. McManus, "Requirements for Traffic Engineering over MPLS," RFC 2702, Sept. 1999.
- [8] E. Crawley, R. Nair, B. Jajagopalan and H. Sandick, "A Framework for QoS-based Routing in the Internet," RFC 2386, Aug. 1998

석 승 준 (Seung-Joon Seok)

정회원



1997년 2월 건국대학교 전자공학과 졸업

1999년 2월 고려대학교 전자공학과 석사

2003년 2월 고려대학교 전자공학과 박사

<관심분야> 트래픽 엔지니어링, 인터넷 QoS 모델, 차세대 인터넷 프로토콜, 무선 인터넷 프로토콜

강 철 희 (Chul-Hee Kang)

정회원



1975년 3월 와세다대학교 전자통신공학과 졸업

1977년 3월 와세다대학교 전자통신공학과 석사

1980년 3월 와세다대학교 전자통신공학과 박사

<관심분야> 초고속 네트워크, 차세대 인터넷, 이동 무선 네트워크