

3G GPRS 망에서 MPLS 기반의 IP-QoS 제공 방안

정희원 이상호*, 정동수*, 김영진*, 박성우**

MPLS-Based IP-QoS IP-QoS Provisioning in 3G GPRS Networks

Sang-Ho Lee*, Dong-Soo Jung, Yeong-Jin Kim, Sung-Woo Park** *Regular Members*

요약

3세대 비동기 IMT-2000 패킷망인 UMTS/GPRS는 독자적인 QoS 구조를 가지고 있으나 인터넷 서비스를 위해서는 IP-QoS의 수용이 불가피하다. 본 논문에서는 MPLS를 기반으로 하는 UMTS/GPRS에서의 IP-QoS 제공 방안을 소개하고자 한다. MPLS를 적용한 GPRS 망의 기능 구조를 포함한 QoS 지원 프레임워크를 제시하였으며, 패킷 스케줄링 부분에서는 Diffserv 모델을 근간으로 한 효율적인 스케줄링 방식을 제시하였다. 본 논문에서 제시하고 있는 스케줄링 방식은 특히 실시간 서비스에 대한 QoS 지원에 초점을 맞추어 Priority Queueing (PQ)과 Weighted Round Robin (WRR)이 결합된 형태의 새로운 버퍼 관리 방안을 포함하고 있다. NS-2 시뮬레이터를 이용하여 제안한 스케줄링 방식에 대한 성능 평가를 수행하였으며, 시뮬레이션 결과 그 타당성을 입증할 수 있었다.

ABSTRACT

UMTS/GPRS has its own QoS architecture, but additionally needs to support IP-QoS to provide Internet services. This paper describes an IP-QoS provisioning mechanism in the MPLS-based UMTS/GPRS networks. We propose a QoS framework that includes the functional architecture of the MPLS-based GPRS networks and the efficient scheduling mechanism based on Diffserv model. The proposed scheduling mechanism is especially focused on the QoS support for real-time services. It also includes a new buffer management scheme that combines the priority queuing and weighted round robin method. The ns-2 simulator has been used to verify the validity of the proposed scheduling method.

1. 서론

3GPP에서 표준화 한 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)에서의 패킷 서비스는 GPRS (General Packet Radio Service) 망 구조를 기반으로 하고 있다. 제 3세대 이동 통신 시스템인 IMT-2000은 이동 멀티미디어 서비스의 제공을 목표로 출발하였으나 인터넷의 급속한 확산에 따라 인터넷 서비스의 제공이 기본 목표 서비스로 자리 잡게 되었다. 이에 따라 보다 효율적인 데이터 서비스를 위해 GPRS와 같은 별도의 이동 패킷망에 대한 필요성도 제기되었다. 이러한 이동 패킷망을 통해 멀티미디어 및 인터넷 서비스가 효율적으로 제

공되기 위해서는 각종 트래픽의 QoS (Quality of Service) 요구 사항 (e.g. 대역폭, 패킷 지연 시간, 지연 변이 etc.)들을 충분히 지원할 수 있는 서비스 방안이 강구되어야 한다.

유럽의 2세대 이동 통신 시스템에서 패킷 서비스를 위해 정의된 GPRS는 3세대 비동기 IMT-2000 시스템인 UMTS 에서도 여전히 패킷 서비스를 위한 구성 요소로서 정의되어 있는 한편 기능적 측면에서 3세대 시스템의 요구 수준에 맞게 확장되어 있다. 일반적으로 3세대 GPRS는 2세대와 구분하기 위해 "UMTS/GPRS" 또는 "3G GPRS"로 표현하고 있다. (이하 본 논문에서의 GPRS는 3세대 GPRS를 의미한다).

* 한국전자통신연구원 이동통신연구소 (leesh@etri.re.kr),
논문번호 : 020132-0319, 접수일자 : 2002년 3월 19일

** 한남대학교 정보통신공학과 (swpark@mail.hannam.ac.kr)

GPRS 망은 인터넷 서비스를 위해 IP를 지원하고 있으며, 이에 따라 QoS 역시 IP를 기반으로 이루어져야 할 것이다. IP 기반의 QoS 제공 방안으로서 대표적 모델은 Intserv (Integrated Service)와 Diffserv (Differentiated Service)를 들 수 있으며, 최근에는 MPLS (Multi Protocol Label Switching)를 적용하는 방안에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다.

Intserv에서는 종단간 대역폭 예약에 의해 QoS가 보장될 수 있으나 대역폭 예약이 개별 플로우 단위로 이루어짐으로써 확장성이 떨어지는 단점을 가지고 있는 반면, Diffserv에서는 플로우들을 트래픽 특성에 따라 군집화하고, 각 군집에 대해 hop-by-hop 우선 순위 제어를 함으로써 Intserv에 비해 보다 단순화된 형태로 QoS를 제공하고 있다.

MPLS는 고정 길이의 레이블을 이용하여 기존 L3 라우팅에 비해 고속의 포워딩 기능을 실현한 것으로서, 특히 트래픽 엔지니어링 기능 및 Diffserv 기능을 복합적으로 제공할 경우 전체적인 망 자원의 이용 효율 및 제공되는 QoS 수준이 가장 높아질 것으로 예상된다. 또한, IETF (Internet Engineering Task Force)를 중심으로 한 인터넷 표준 규격 단체에서는 MPLS를 통한 IP-QoS 제공이 주된 이슈로 부각되고 있는 만큼 GPRS에서도 MPLS 도입을 통한 QoS 제공 방안에 대한 연구가 필요한 시점이라 할 수 있겠다.

GPRS 관련 표준 [1]에서는 UMTS QoS를 위한 트래픽 클래스를 IP-QoS와는 독립적으로 분류하고 있고 각 클래스마다 별도의 QoS 요구 사항들을 정의하고 있다. 또한 GPRS 망과 외부 IP 망과의 연동 시 Diffserv를 기반으로 한 QoS 제공을 권고하고 있다. 하지만 본 논문에서는 보다 나은 서비스 품질 제공을 위해 Diffserv와 MPLS를 복합적으로 도입하는 방안에 대해서 기술하고자 한다.

본 논문의 이하 구성은 다음과 같다. 2절에서는 QoS 관리 기능을 중심으로 GPRS 망 및 QoS 구조를 소개한다. 3절에서는 MPLS 도입 시 GPRS 망의 기능 구조를 기술하고, 4절에서는 MPLS 기반의 UMTS QoS를 지원하기 위한 프레임워크와 Diffserv 기반의 스케줄링 및 버퍼 관리 방식을 제안한다. 5절에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 제안한 패킷 스케줄링 방안에 대한 성능을 분석하고, 그에 따른 수치적 결과들을 보여 준다. 마지막으로 6절에서는 이 논문의 결론을 맺는다.

II. UMTS/GPRS 네트워크

1. 네트워크 및 프로토콜 구조

3GPP에서 표준화 한 UMTS 망에서의 패킷 서비스는 그림 1에 나타난 바와 같은 GPRS 망 구조를 기반으로 하고 있다.

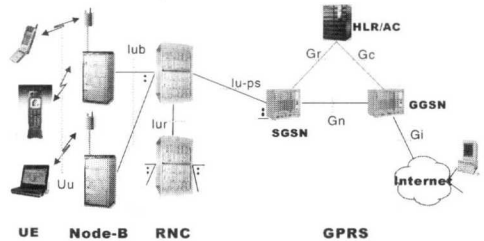


그림 1. UMTS 패킷망 구조

GPRS 망은 인터넷 서비스를 위해 IP를 지원하고 있으며, 주요 구성 요소로는 SGSN (Serving GPRS Support Node), GGSN (Gateway GPRS Support Node), HLR/AC (Home Location Register/Authentication Center) 등을 들 수 있다. SGSN은 HLR/AC와 연계하여 이동 패킷 가입자의 위치 관리, 인증과 같은 보안 관리 기능 등을 제공하며, GGSN은 인터넷 등 외부 데이터 망과의 접속, 보안을 위한 방화벽 기능 등을 제공한다^[2].

GPRS에서 사용자 트래픽 정보 전달을 위해 사용되는 프로토콜 스택 구조는 그림 2와 같다.

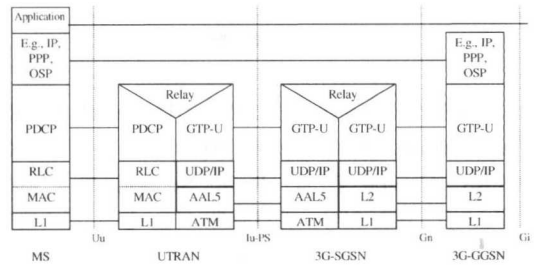


그림 2. UMTS 패킷망 프로토콜 스택

그림에서 보듯이 기지국 장치인 UTRAN (UMTS Radio Access Network)과 GGSN 구간에서는 종단간 전달되는 IP 패킷을 GTP-U (GPRS Tunneling Protocol - User)로 인캡슐레이션하고 다시 하부에 UDP/IP를 이용하여 전달하게 된다. 즉, 이 구간에서는 종단간 전달되는 IP 패킷을 페이로드로하여

GPRS 노드의 IP 주소를 이용한 라우팅이 이루어지게 된다²⁾.

2. UMTS QoS 구조

UMTS에서의 QoS 서비스는 계층적 구조로 이루어져 있으며 최상위 계층에 종단간 서비스를 위한 UMTS 베어러 서비스가 존재한다. UMTS 베어러 서비스는 단말과 SGSN 간의 무선 액세스 베어러 서비스와 SGSN과 GGSN 간의 핵심망 (CN) 베어러 서비스로 이루어진다. CN 베어러 서비스에서는 GPRS 망 내에서 UDP/IP를 기반으로 하는 패킷 전달 서비스를 제공하고 있으며, 하부에 정의되어 있는 백본 베어러 서비스는 CN 베어러 서비스에서 요구하는 QoS 요구 사항을 만족시켜 주기 위한 L1/L2 기능을 제공하고 있다¹⁾.

UMTS에서는 QoS를 원활히 제공하기 위해 자체적으로 트래픽 클래스를 다음과 같이 네 가지 범주로 분류하고 있다.

- Conversational Class (CC): VoIP 또는 영상 전화와 같은 실시간 서비스에 해당하는 클래스로 ATM에서의 CBR과 같이 망 내에서 고정된 대역폭 할당을 필요로 한다.
- Streaming Class (SC): 스트림 형태의 audio/video 전송에 해당하며, CC와 같은 실시간 서비스를 요구하나 수신측에서의 버퍼링에 의해 지연 시간이나 지연 변이에 있어서 CC보다 완화된 조건을 요구한다.
- Interactive Class (IC): 지연 시간보다는 높은 처리율을 요구하는 서비스로서 전자 상거래나 web browsing 등의 응용을 예로 들 수 있다.
- Background Class (BC): 기존의 best-effort 형태의 서비스로서 e-mail이나 파일 전송 등이 이에 속한다.

표 1은 각각의 UMTS 트래픽 클래스들이 요구하는 주요 QoS 속성들을 보여주고 있다. CC와 SC는 IC나 BC에 비해 지연 시간과 지터에 대해서는 엄격한 QoS를 요구하나 손실률에 대해서는 덜 민감한 요구 조건을 지니고 있다. 한편, CC는 SC에 대해 보다 엄격한 지연 시간과 지터를 요구하고 있음을 알 수 있다.

III. MPLS 기반 GPRS 망의 구조

최근 IETF를 중심으로 한 IP-QoS 규격화 동향을 살펴보면 Intserv 와 Diffserv 모델만으로 IP-QoS

표 1. UMTS 트래픽의 QoS 요구 사항.

파라미터 (QoS) 클래스	delay	jitter	loss
Conversational	most strict	most strict	less strict
Streaming	less strict	less strict	less strict
Interactive	N/A	N/A	more strict
Background	N/A	N/A	more strict

문제를 해결하기에는 한계가 있는 것으로 인식하고 있으며, 대안 중의 하나로 MPLS를 이용한 IP-QoS 지원 방안에 대한 논의가 활발히 진행되고 있는 추세이다. 이와 관련하여 본 절에서는 MPLS를 GPRS 망에 적용할 경우 GPRS 망의 기능 구조에 대해 기술하고자 한다.

앞서 언급하였듯이 MPLS는 기존의 저속 L3 라우팅을 개선하기 위해 제안된 기술로서 고정 길이의 레이블을 이용한 고속 스위칭 방식을 특징으로 하고 있으나 최근에는 고속 라우팅 기술의 발전으로 인하여 고속 전송의 장점은 거의 퇴색하고 IP-QoS 지원을 위해 도입된 트래픽 엔지니어링 기술이 점차 주목을 받고 있는 실정이다. 트래픽 엔지니어링이란 일반적 개념에서는 네트워크의 자원을 적절히 제어함으로써 망의 성능을 최적화 하는 기술을 말하지만, MPLS에서는 좀더 구체적인 관점에서 트래픽 경로를 망의 부하 상태에 따라 적절히 조절함으로써 개별 플로우에 대한 QoS를 만족시킬 뿐만 아니라 전체적인 망의 성능도 높일 수 있는 기술을 의미한다. 이러한 MPLS 기술을 GPRS 망에 적용하기 위해서는 우선 MPLS 기반 GPRS 망 구조에 대한 모델 정립이 선행되어야 하며, 정립된 망 구조 모델 하에서 UMTS QoS를 제공하기 위한 구체적인 메커니즘이 제시되어야 한다.

1. GPRS 망에서의 MPLS

UMTS 패킷 도메인 PLMN (Public Land Mobile Network) 백본망은 그림 3과 같은 연결 구조를 가지고 있다³⁾. 그림에 나타나 있듯이 UMTS의 패킷 PLMN에는 Intra-PLMN 백본망과 Inter-PLMN 백본망이 존재한다. 여기서 Intra-PLMN 백본망은 패킷 도메인 데이터와 신호 전달을 위한 사설 IP 망이며, Intra-PLMN 망간의 연결은 BG (Border Gateway) 및 Inter-PLMN 백본망을 통하여 이루어지게 된다. 3GPP 규격에 따르면 BG는 패킷 도메인 영역에 포함되지 않으며, Inter-PLMN 백본

망은 공중 인터넷 또는 전용선과 같은 Packet Data Network (PDN) 이 될 수도 있음을 명시하고 있다. 또한, GGSN과 Gi 인터페이스에 의해 접속되는 PDN도 마찬가지로 공중 인터넷 또는 전용선 형태가 될 수 있다. 한편, IP-QoS 측면에서 볼 때는 PDN이나 Inter-PLMN은 QoS가 지원되는 망과 그렇지 않은 망으로 구분될 수 있으며, IP-QoS가 지원되는 경우에는 다시 QoS 지원 메커니즘에 따라 MPLS 망, Intserv 망, Diffserv 망으로 구분할 수가 있다.

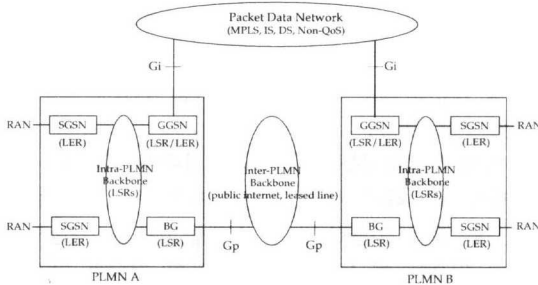


그림 3. MPLS 기반의 PLMN 백본 망 구조

이와 같이 다양한 QoS 구성이 가능한 PLMN 백본망 구조에서 MPLS를 적용하기 위해서는 여러 가지 시나리오가 가능하겠지만 우선은 두 가지 단계로 나누어 생각해 볼 수 있다. 첫째, 단일 PLMN 망 내에서만 MPLS를 적용하는 경우로서 외부 접속망의 QoS 지원 상태는 고려하지 않는 형태이다. 둘째는 PLMN 망에 MPLS가 적용된 상태에서 다양한 QoS 지원 형태를 가지는 Inter-PLMN 백본 및 PDN의 접속까지를 고려하는 경우이며, 이 때는 MPLS가 지원되는 PLMN과 기타 QoS가 지원되는 외부 망과의 인터워킹 맥락에서 접근할 수 있겠다.

1) 단일 PLMN내에만 적용 시

단일 PLMN 망 내에만 MPLS를 적용하는 경우를 보면, 하나의 패킷 PLMN은 BG를 제외하고는 GPRS 망과 동일하다. GPRS 망에 MPLS를 적용하기 위해서는 GPRS 망을 구성하는 SGSN, GGSN 및 Intra-PLMN 백본망을 구성하는 코어 라우터들이 모두 MPLS를 지원하는 LSR (Label Switching Router)이 되어야 한다. 기지국 장치인 RNC도 IP 프로토콜을 처리하므로 LSR 기능을 가질 수도 있겠지만 MPLS 기술 자체가 코어 망에 적용될 수 있는 기술이라는 관점에서 보면 RNC에 까지 MPLS를 적용하는 것은 무리가 있는 것으로 판단된

다. 따라서, SGSN 및 GGSN이 에지 LSR이 되어야 하고, LSP가 SGSN과 GGSN 사이에 설정된다.

2) 외부 망 접속 고려 시

PLMN 내부만 MPLS를 적용하는 경우에 대한 구조적 고려 사항은 비교적 단순하지만, 이 상태에서 다양한 QoS 메커니즘을 가진 외부 망과의 연동까지 고려할 경우에는 다소 복잡한 양상이 나타난다.

Inter-PLMN 백본망은 Intra-PLMN 망간의 로밍을 위해 사용되는 망이므로 Inter-PLMN 백본망이 MPLS를 지원할 경우에만 순수 MPLS 방식을 통한 PLMN 망간 연동이 가능해진다. 이 때에는 BG도 LSR 기능을 수행할 수 있어야 함이 분명하며, LSP가 두 PLMN 망에 걸쳐서 설정될 것이므로 실제 운용상에서는 MPLS 스택킹 기능이 적용될 수도 있다. 한편, Inter-PLMN 백본망이 MPLS를 지원하지 않는다면 순수 MPLS 방식의 연동은 불가능하게 될 것이다. 만일 Inter-PLMN 백본망이 Intserv 또는 Diffserv를 지원한다면 이는 그림 4.와 같이 PDN이 Intserv 또는 Diffserv를 지원하는 경우와 유사한 구조가 된다.

PLMN이 MPLS를 지원할 경우 Gi 인터페이스를 통해 PDN과 접속할 때, PDN의 QoS 지원 형태에 따라 에지 LSR인 GGSN의 역할이 달라질 수 있다. PDN의 QoS 지원 형태를 4 가지로 구분하여 각각의 구조적 특성을 살펴보도록 하겠다.

첫째, PDN이 어떤 IP-QoS도 지원하지 못하는 경우는 PLMN 내부만 MPLS를 적용하는 경우와 결과적으로 동일한 형태가 된다.

둘째, PDN이 MPLS를 지원한다면 이는 Inter-PLMN 백본망이 MPLS를 지원하는 경우와 유사한 형태가 되므로 GGSN은 LER이 아니라 LSR의 역할을 수행해야 한다. 즉, LSP가 PLMN과 PDN에 걸쳐서 설정될 것이다.

셋째, PDN이 Intserv를 지원하는 경우로서 이 예는 [3]에서 다루고 있는 end-to-end QoS 중 Intserv/RSVP 연동과 동일한 경우라고 볼 수 있겠다. 이 규격에서는 이동 단말 또는 GGSN이 RSVP 시그널링 처리를 수행하고 GPRS 내부에서는 RSVP 트래픽 정보를 적절히 변환한 형태로 PDP activation/modification 절차를 수행하는 것으로 기술하고 있지만, IP-QoS 제공 메커니즘이 분명하게 확보되지 않은 GPRS 망에서 RSVP가 요구하는 QoS를 제공하기는 어려운 실정이다. 하지만, GPRS

망에 MPLS를 적용한다면 보다 긍정적인 QoS 제공이 가능해진다. 즉, RSVP 시그널링 처리는 [3]에서 기술한 것과 동일하게 처리하고 실제 QoS 확보가 요구되는 트래픽 데이터에 대해서는 Intserv QoS 서비스 클래스와 MPLS QoS 기능과의 적절한 매핑을 통해 요구하는 QoS를 제공할 수가 있다. 이러한 매핑 동작은 MPLS 망의 에지인 GGSN에서 수행되어야 하므로 GGSN은 에지 LSR 기능 및 RSVP 기능도 가져야 한다.

넷째, PDN이 Diffserv를 지원하는 경우이며, 이 또한 Intserv 망과의 연동과 유사한 형태가 된다. 즉, GGSN에서 Diffserv QoS 클래스와 MPLS QoS 기능과의 매핑을 통해 IP-QoS를 제공하는 구조가 되며, 이 때 GGSN은 Diffserv 지원 기능을 가져야 한다.

그림 4는 MPLS 기반 GPRS 망이 Intserv 및 Diffserv 망과 연동할 경우 GPRS 노드의 기능 구조를 나타내었다.

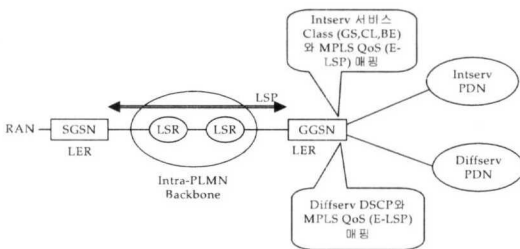


그림 4. Intserv, Diffserv 망과의 연동 구조.

2. MPLS의 서비스 차별화

구체적인 의미에서의 MPLS 트래픽 엔지니어링은 QoS 또는 Policy 와 같은 제약 조건을 기반으로 하는 라우팅 (Constraint-based Routing : CR)을 통해 망의 부하 상태를 적절히 파악한 후 사용자 요구 QoS를 최적으로 만족시키는 경로를 결정하여 LDP (Label Distribution Protocol) 시그널링을 통해 ER-LSP (Explicit Route-Label Switching Path)를 설정하는 것이라 말할 수 있다. LSP를 설정하는 방법으로는 앞서 언급한 바와 같이 CR 및 LDP 시그널링 절차를 통해 자동으로 설정하는 방법과 네트워크 운영자가 수동으로 설정하는 방법이 있을 수 있으며, 다른 관점에서는 management, routing update, 자원 예약과 같은 제어 트래픽에 의해 트리거되어 설정되는 control-driven 방식과, 데이터 트래픽이 존재할 경우 설정되는 data-driven 방식으로도 구분할 수 있다^[4].

일반적으로 서비스 차별화를 제공하기 위해서는 요구하는 QoS 수준에 따라 트래픽을 서로 다른 클래스로 구분할 수 있어야 한다. [4][5]에서는 MPLS의 서비스 차별화를 위해 그림 5와 같이 계층적인 개념을 소개하고 있다. 하나의 링크에는 여러 개의 LSP가 있을 수 있고, 각각의 LSP 내에는 여러 개의 트렁크가 존재할 수 있으며, 여기서 트렁크는 하나의 LSP에 존재하는 여러 플로우의 집합을 의미한다. 이제 이를 바탕으로 MPLS에서 서비스를 차별화 하기 위한 방법들에 대해 살펴보기로 한다^[6].

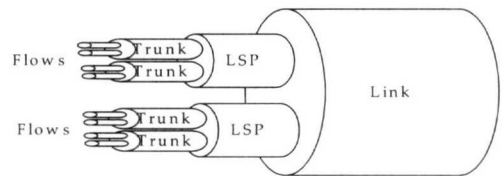


그림 5. Trunk와 LSP.

1) E-LSP (EXP-Inferred Per-Hop Scheduling Class LSP)

하나의 LSP 내에는 여러 개의 트렁크가 존재할 수 있고, 각 트렁크에 서로 다른 트래픽 클래스를 할당한다면 동일한 경로를 가지는 트래픽 간의 서비스 차별화가 가능해 짐을 짐작할 수 있다. 임의의 에지 LSR 간 (LSP 예: SGSN0-GGSN0)의 경로에 LSP가 설정되었을 경우 트렁크 간의 클래스 차별화를 위해 MPLS 레이블의 EXP (Experimental) 필드를 활용하는 방법을 생각해 볼 수 있다. EXP 필드는 3 비트로 구성되므로 이를 활용하면 최대 8개까지의 클래스 분류가 가능해지므로 이 필드를 이용하여 서비스 차별화를 제공할 수가 있다. 이러한 방식에 의해 설정된 LSP를 “E-LSP”라 부른다.

2) L-LSP (Label-Only-Inferred Per-Hop Scheduling Class LSP)

만일 8개 보다 많은 서비스 클래스가 요구될 경우에는 LSP 자체를 차별화 하는 방법을 생각해 볼 수도 있다. 각 LSP는 레이블에 의한 구분되므로 레이블 값에 따라 서비스 클래스를 분류하고, EXP 필드는 drop precedence를 표현하기 위한 용도로 사용할 수도 있다. 이러한 방식은 “L-LSP”라 부른다.

UMTS QoS의 적용 관점에서는 E-LSP를 채택하는 것이 유리할 것으로 판단된다. 왜냐하면 E-LSP는 LSR간의 시그널링이나 LSR이 유지해야 하는 상태(state) 정보량이 L-LSP에 비해 단순하므로 확

장성(scalability) 측면에서 유리할 뿐만 아니라 UMTS QoS 클래스가 4 종류이므로 이 정도는 E-LSP를 통해 충분히 수용할 수가 있고, 또한 각 LSR에서 차별화된 서비스를 위해 MPLS 헤더의 레이블 값은 고려하지 않고 단지 EXP 값에 따른 패킷 스케줄링만을 수행하면 되기 때문이다.

3. LSR의 패킷 포워딩

이제 MPLS가 적용된 GPRS 망에서 각 LSR의 패킷 포워딩 기능요소에 대해 기술하기로 한다.

GPRS 망에서 Ingress LSR의 역할은 업스트림 또는 다운스트림 여부에 따라 SGSN 또는 GGSN이 수행하게 된다. 시그널링을 통해 LSP가 설정되었다는 가정 하에 Ingress LSR은 패킷 포워딩을 위해 그림 6에 나타난 바와 같은 기능 요소를 가져야 한다.

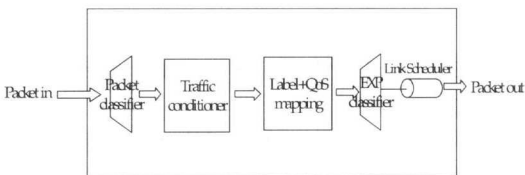


그림 6. Ingress LSR에서의 패킷 포워딩.

- Packet classifier: 패킷 분류는 에지 MPLS 망에서 수행되어야 하는 기능으로서, 어떤 FEC (Forwarding Equivalence Class)에 속하는 패킷인지를 구분하고, SLA (Service Level Agreement)에 의해 협약된 사항을 반영하게 된다.
- Traffic conditioner: SLA의 준수 여부를 검사하는 모듈이며, 토큰 버킷이나 리키 버킷 등을 이용하여 패킷 폐기, 셰이핑 기능을 수행한다.
- Label+QoS mapping: MPLS 헤더에 레이블 및 EXP 필드를 할당하는 기능 모듈이다. GPRS 망에서는 PDP Context의 QoS 클래스를 검색한 후 이 정보를 인덱스로 하여 정해진 매핑 규칙에 따라 EXP를 할당할 수 있다.
- EXP classifier 및 Link scheduler: QoS 클래스별로 차별화된 서비스를 하기 위해 EXP 필드의 값에 따라 차별적인 스케줄링을 수행하는 부분이다.

한편, Core LSR은 Ingress LSR에서 수행하는 패킷 분류 기능과 트래픽 조절 기능은 필요치 않고, hop-by-hop으로 이루어지는 레이블 스위칭 기능 및

EXP 필드에 대응하는 패킷 스케줄링 기능요소로만 구성된다.

IV. MPLS 기반의 UMTS QoS

이제부터는 MPLS가 적용된 GPRS 망에서 UMTS가 요구하는 QoS를 제공하기 위한 방안 대해 기술한다. 제시하는 방안의 아이디어를 간략히 요약하면, 4가지 UMTS QoS 클래스를 각각 다른 MPLS EXP 값으로 대응시키고 EXP 값에 따라 4가지 클래스의 QoS 요구 특성에 부합하는 스케줄링 및 버퍼관리를 통해 차별적인 QoS를 제공하는 것이다. 이는 차별화 서비스 방식을 대표하는 Diffserv의 메커니즘을 따르는 것이라 볼 수 있다.

1. QoS 클래스 매핑

UMTS QoS 클래스를 MPLS 영역에 매핑하는 방법에는 여러 가지가 있을 수 있겠지만, 본 논문에서는 MPLS 헤더의 EXP 필드를 이용하여 UMTS QoS 클래스를 대응시키는 방법을 채택하였으며, Link 스케줄러에는 EXP 값에 따라 차별적인 스케줄링을 수행하는 Diffserv 메커니즘을 적용하였다. 왜냐하면, UMTS QoS 클래스의 특성이 Diffserv가 제시하는 PHB(Per-Hop Behavior)의 특성과 매우 유사하게 정의되어 있기 때문이다.

Diffserv에서는 각각의 사용자 플로우에 대한 트래픽 제어가 망의 경계에서 이루어지게 하고, 플로우가 망 내로 유입될 때는 소수의 트래픽 클래스로 군집화 함으로써 QoS 지원을 위한 망 내의 처리 과정을 단순화하였다. 군집화된 플로우 집합은 DiffServ Code Point (DSCP)로 구분되며, 클래스별로 다르게 설정된 DSCP에 따라 망 내부에서 차별적인 처리를 수행하여 다양한 수준의 QoS를 제공하게 된다^[7]. 각 플로우에 설정된 DSCP에 따른 차별적 처리에 적용되는 포워딩 규칙을 PHB라 하며 현재 IETF에 의해 다음과 같은 PHB들이 표준화되어 있다.

- EF PHB^[8]: 가상 전용선 (VLL)과 같은 서비스로서 대역폭 보장에 의한 최소한의 지연 시간, 지터, 손실을 제공한다.
- AF PHB^[9]: 망의 혼잡 상황에서도 일정 수준의 최소 전송 속도가 보장되는 서비스로서 요구하는 QoS 수준에 따라 네 개의 클래스로 나뉘어지며, 각 클래스 내에서 트래픽 조건의 준수 여부에 따라 다시 세 개의 등급으로 나누어

질 수 있다.

- **Default (DF) PHB:** 현재 인터넷에서 제공되는 best-effort 서비스와 비슷한 정도의 서비스를 제공한다. 특정 QoS를 요구하지 않는 패킷들에 대해서는 default PHB를 적용한다.

UMTS QoS와 Diffserv PHB의 특성에 따라서 다음과 같이 대응 관계를 설정할 수 있다. 실시간 특성을 갖는 CC와 SC는 EF PHB, 비실시간 특성을 갖는 IS와 BC는 각각 AF PHB와 DF PHB에 대응시킬 수 있다. 한편, CC와 SC는 둘 다 실시간 서비스를 요구하지만 각각 QoS 요구 수준이 다르므로 인해 이들을 구분하기 위해 각각 EF-C PHB, EF-S PHB라 부르기로 한다.

요약하면, 패킷이 MPLS 기반의 GPRS망에 도착하면 Ingress LSR에서는 UMTS QoS 클래스에 따라 대응되는 EXP 값을 할당하여 MPLS 영역으로 매핑시키고, GPRS 망 내의 각 LSR에서는 EXP 값에 따라 대응되는 Diffserv PHB를 수행하게 되는 것이다. 표 2에는 이와 같은 대응관계의 예를 보여주고 있다.

표 2. UMTS QoS와 IP QoS의 클래스 매핑.

UMTS QoS 클래스	MPLS EXP	DS PHB
Conversational	111	EF-C
Streaming	110	EF-S
Interactive	100	AF
Background	000	DF

기본적인 매핑은 표 2와 같이 할 수 있지만, UMTS QoS의 속성인 allocation/retention priority, traffic handling priority 등도 고려한다면 위의 매핑 테이블을 상황에 맞게 재조정하여 할당할 수도 있을 것이다. 어떤 형태를 취하던 동일한 정책의 영향 하에 속하는 도메인 내에서는 동일한 규칙을 적용하여야 하며, 다른 규칙이 적용된 망과의 연동은 SLA를 통한 사전 협약이 이루어져야만 한다.

2. QoS 스케줄링

앞에서 정의된 PHB들이 원활히 제공되기 위해서는 GPRS 망 내 라우터에서 패킷 포워딩 시 적절한 스케줄링 및 버퍼 관리 방식이 뒷받침되어야 한다. 그림 7은 GPRS 망에서 이들 PHB를 제공하기 위해 제안하고 있는 코어 라우터에서의 스케줄링 구조를 보여주고 있다. 코어 라우터에는 기본적인 스

케줄링 기능만을 가지며 에지 라우터 역할을 하는 GGSN의 경우 스케줄링 외에 마킹이나 셰이핑과 같은 추가적인 트래픽 조절 기능이 추가되어야 할 것이다.

EXP classifier에서는 그림과 같이 EXP 값을 분류하여 값이 111 (conversational)인 것과 101 (streaming)인 패킷은 EF 큐에 할당하고, 010 (interactive) 패킷은 AF 큐, 000 (background) 패킷은 DF 큐에 각각 할당한다. 이 때 EF-C PHB와 EF-S PHB는 하나의 큐를 공유함으로써 구현상의 복잡도를 다소나마 줄일 수 있다. 각 큐의 길이를 살펴보면, EF 큐의 길이가 가장 짧고 AF 큐와 DF 큐의 순서로 길어짐을 알 수 있다. 이와 같이 큐의 길이에 있어서 차이를 두는 이유는 각각의 PHB가 요구하는 지연 시간에 대한 QoS 요구 조건을 만족시켜 주기 위해서이다. 즉, 큐의 길이가 길어질수록 큐에서의 대기로 인한 지연 시간이 길어지기 때문이다.

이러한 구조에 적용될 수 있는 대표적인 스케줄링 방식으로는 Strict Priority (SP) 방식과 Weighted Round Robin (WRR) 방식을 들 수 있다^[10]. SP는 높은 우선 순위 큐에 대해 양질의 QoS를 제공할 수 있으나 대역폭의 독점으로 인해 낮은 우선 순위를 갖는 큐의 QoS가 급격히 저하될 수 있다. 반면 WRR에서는 각 큐에 대해 최소한의 대역폭을 보장해 줄 수 있으며, 각 큐에 대한 가중치 (weight)는 각각의 큐에 할당된 대역폭에 따라 결정될 수 있다. 이외에도 WFQ (Weighted Fair Queuing)와 같은 스케줄링 방식이 적용될 수도 있다.

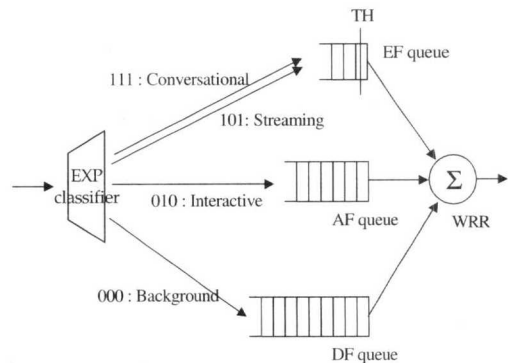


그림 7. QoS 패킷 스케줄링.

본 논문에서는 각각의 큐에 대한 스케줄링은 실제 구현이 용이한 WRR 방식을 적용하기로 한다.

이 경우 GPRS 망 내의 모든 라우터에는 출력 링크마다 각 PHB들을 위해 할당된 대역이 별도로 존재하며, 적절한 트래픽 조절 기능과 결부되어 QoS를 지원하게 된다.

3. 버퍼 관리

각 큐에서의 버퍼 관리 역시 그 큐를 통해서 서비스하고자 하는 PHB의 특성에 따라 적절히 설계되어져야 할 것이다.

EF 큐는 단일 큐를 통해 EF-C와 EF-S라는 두 종류의 서로 다른 PHB를 지원하고 있다. 앞서서도 설명한 바와 같이 EF-C는 EF-S보다 엄격한 지연 시간 및 지연 변이를 요구하고 있다. 따라서, 이러한 QoS 조건을 만족시켜 주기 위해서는 EF 큐 내에서 EF-C 트래픽이 EF-S 트래픽에 비해 상대적으로 높은 우선 순위를 가지는 Priority Queuing (PQ) 방식을 적용해야 할 것이다. 그러나, 버퍼 내에 임계값 (THreshold)을 두어 EF-C 트래픽에 의한 대역폭 독점을 제한한다. 즉, EF-C 패킷들은 큐에 도착했을 때 버퍼 내에 대기하고 있는 모든 EF-S 패킷보다 항상 앞에 놓이게 되지만 버퍼 내 EF-C의 패킷수가 TH 값에 이르게 되면 버려지는 것이다.

EF 큐의 전체 버퍼 크기를 B라고 했을 때 TH 값은 0과 B 사이의 정수값을 가지게 된다. TH 값이 클수록 보다 많은 EF-C 패킷들을 받아들일 수가 있다. 즉, TH 값을 통해 단일 EF 큐에서 EF-C와 EF-S에 할당되는 대역폭의 조절이 가능한 것이다. 그러나, TH 값이 최소 (=) 1일 때 EF-C에게 할당된 대역은 전체 EF 할당 대역의 반으로서 최소가 됨을 알 수 있다. 이는 상대적으로 EF-S 트래픽에게 할당할 수 있는 대역폭이 전체 EF 대역폭의 반 이하로 제한됨을 의미한다.

본 논문에서는 이러한 EF-C와 EF-S간의 대역폭 불균형 문제를 극복하기 위해 EF 큐를 위한 새로운 버퍼 관리 방식을 제안하고자 한다. 즉, EF-S 트래픽에게 할당된 대역폭이 EF-C 트래픽에게 할당된 대역폭을 초과하는 것을 허용할 수 있도록 기존의 PQ with threshold dropping 방식을 개선하고자 하는 것이다. 그 이유는 실제적인 응용 서비스 관점에서 보았을 때 대부분의 경우 VoIP로 대표되는 EF-C 트래픽이 필요로 하는 대역폭은 스트리밍 오디오/비디오로 대표되는 EF-S 트래픽이 요구하는 대역폭보다 상대적으로 적을 것으로 예상되기 때문이다.

앞서 언급했듯이 TH 값이 1이상일 때 EF-C는

EF-S보다 상대적으로 많은 대역폭이 할당되었음을 의미하며, 따라서 EF-S가 EF-C보다 많은 대역폭을 할당받으려면 개념적으로 TH 값이 1보다 작아야 할 것이다. TH 값이 0에서 1사이의 값을 가진다는 것은 EF-C 패킷이 큐에 들어왔을 때 대기하고 있는 EF-C 패킷이 없더라도 버려질 수 있음을 의미하며, 이렇게 함으로써 EF-C가 사용하는 대역을 보다 제한할 수 있게 된다.

이제 TH 값은 더 이상 정수 값이 아닌 0과 B 사이에서 실수 값을 가져야 하며, TH 값과 비교하기 위한 버퍼 내의 EF-C 패킷 수 또한 특정 패킷이 도착하는 순간의 패킷 수가 아닌 평균 개념을 기반으로 산출되어야 함을 알 수 있다. 버퍼 내에서 대기하고 있는 EF-C 패킷의 평균 개수를 avg_q 라 할 때 다음과 같이 지수 함수적 평균에 의해 산출된다.

$$avg_q \leftarrow (1 - \alpha) avg_q + \alpha q \tag{1}$$

여기서, q 는 특정 패킷이 도착했을 때 버퍼 내에서 대기하고 있는 EF-C 패킷의 수이며 α 는 0에서 1사이의 상수이다.

모든 EF-C 패킷은 EF 큐에 도착 시 avg_q 를 우선 구하고 avg_q 가 TH 값보다 작은 경우에 큐에 받아들여지고 그렇지 않은 경우 버려지게 된다. EF-C 패킷의 손실률은 TH에 의해 결정되며, TH가 작을수록 높은 손실율을 나타내게 된다. 또한, 높은 패킷 손실율은 그만큼 EF-C PHB를 위해 할당된 대역폭이 적음을 의미하기도 한다. 따라서 TH는 EF-C와 EF-S 간의 할당 대역폭 비율을 결정해 주는 파라미터이다.

요약하면, 본 논문에서 제안하고 있는 EF 큐에 대한 버퍼 관리 방식은 기본적으로 일정한 TH 값을 가지는 PQ 방식이라 할 수 있으며, TH가 버퍼 크기 이내에서 연속적인 실수 값을 가짐으로써 EF-C 트래픽과 EF-S 트래픽간의 무제한적 대역폭 조절이 가능하게 하고 있다. 스케줄링 관점에서 보면 제안한 버퍼 관리 방식은 EF-C PHB와 EF-S PHB에 대한 PQ와 WRR의 혼합된 형태라 할 수 있다.

한편, AF 큐와 DF 큐에는 QoS 특성을 고려하여 각각 RIO와 RED 큐잉 방식을 적용하였다.

V. 컴퓨터 시뮬레이션

앞 절에서 제안한 스케줄링 및 버퍼 관리 방안

대한 성능 평가를 위해 UNIX 워크스테이션에서 ns-2 시뮬레이션 프로그램을 이용하였다. 시뮬레이션을 위해 큐와 관련된 파라미터들의 값은 표 3에 나타난 바와 같다. 시뮬레이션에서 출력 링크의 용량은 10 Mbps를 가정하였으며, 각각의 트래픽 클래스에 대한 트래픽 발생을 위해 CC에 대해서는 CBR, SC에 대해서는 'star wars' trace 파일, IC에 대해서는 HTTP, BC에 대해서는 FTP를 각각 사용하였다.

표 3. 시뮬레이션 파라미터.

	EF	AF	Default
WRR 가중치	2	3	5
큐잉 방식	PQ/TD	RIO	RED
큐 길이	5	20	30
큐 파라미터	$\alpha = 0.02$		
		<In-profile> TH_min=10 TH_max=18 Pmax=1/10 w=0.002 <Out-profile> TH_min=10 TH_max=18 Pmax=1/5 w=0.002	
			TH_min=10 TH_max=18 Pmax=1/6 w=0.002

그림 8은 TH = 0.175인 경우 EF-C 트래픽의 패킷 도착률에 따른 각 트래픽 클래스별 처리 성능의 변화를 나타낸 것이다. 우선 표 3.에서와 같이 할당된 WRR 가중치에 따라 EF 큐의 트래픽은 2Mbps로 제한되고 있는 것을 볼 때, EF 큐의 우선 순위가 높음에도 불구하고 AF 큐나 Default 큐의 트래픽에 영향을 주지 않고 있음을 알 수 있다. 한편, EF 큐 내에서도 EF-S는 1.7Mbps로 고정된 상태에서 EF-C 트래픽은 도착률이 증가해도 처리율이 약 600kbps (EF 용량의 약 30%)에서 제한되며, EF-S 트래픽은 2Mbps 범위 내에서 나머지 부분의 대역을 사용하고 있음을 알 수 있다.

그림 9는 각 트래픽 클래스의 지연 시간을 나타낸 것이다. 예상한 대로 Default PHB에 해당하는

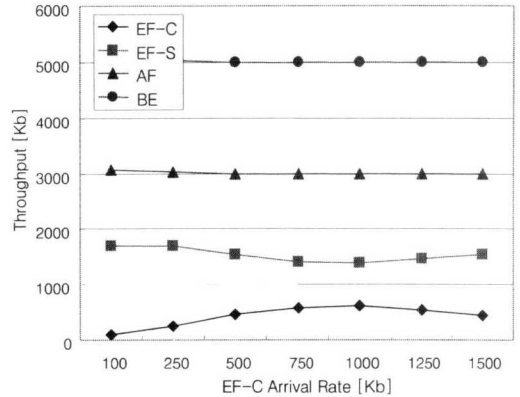


그림 8. PHB별 처리율 vs. EF-C 패킷 도착률.

트래픽의 지연 시간이 가장 높으며, 큐 크기 비율인 6 (BE,30) : 4 (AF,20) : 1 (EF,5)과 유사하게 AF PHB, EF PHB 순서로 감소하고 있음을 알 수 있다. 한편, EF-C와 EF-S 간에도 지연 시간의 차이가 비교적 일관성 있게 (EF-C의 지연 시간이 EF-S의 약 20~30 % 수준) 지속되고 있음을 볼 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제안한 버퍼 관리 방식이 문제 없이 동작하고 있음을 확인할 수 있다.

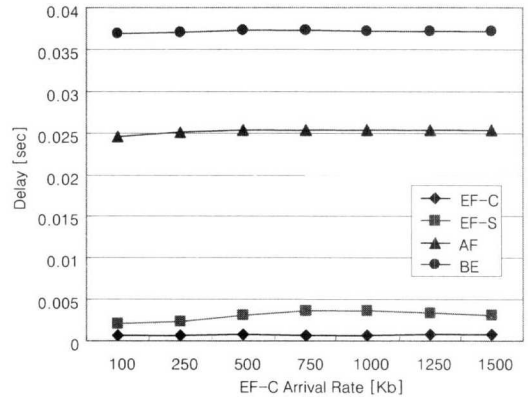


그림 9. PHB별 지연시간 vs. EF-C 패킷 도착률.

EF 큐에서 TH가 성능에 미치는 영향을 보다 자세히 알아보기 위해 그림 10에서는 TH=0.175인 경우와 TH=0.35인 경우에 대해서 EF-C와 EF-S 트래픽 각각에 대한 처리율을 비교하여 나타내었다. 앞서도 설명한 바와 같이 TH 값이 커지면 그만큼 EF-C 트래픽에게 할당되는 대역폭이 증가하며, 그림에서 TH=0.175일 때 EF-C의 대역폭은 약 600kbps로 제한되는 반면 TH=0.35일 때는 EF-C의 허용 대역폭이 약 1Mbps에 근접하고 있음을 알 수

있다. 또한, EF-C 트래픽의 처리율이 증가할 때 EF-S 트래픽의 처리율이 일정하게 감소하며, 이는 2Mbps 대역 내에서 나머지 대역폭은 EF-S PHB 트래픽에 의해 사용되고 있음을 의미하고 있다.

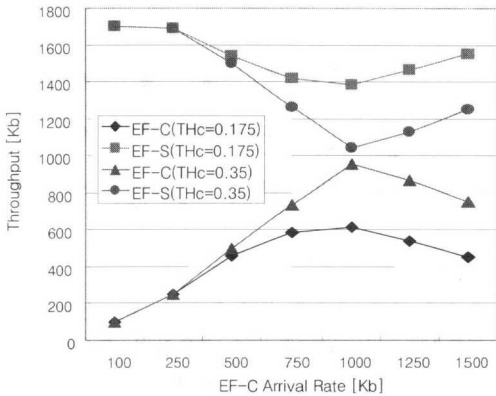


그림 10. TH에 따른 처리율.

그림 11은 EF 패킷의 폐기율을 나타낸 것이다. EF-S 트래픽의 발생율은 1.7Mbps로 고정시킨 상태에서 EF-C 트래픽 발생율을 증가시킨 관계로 EF-C 패킷의 폐기율은 지속적으로 증가하는 반면 EF-S의 패킷 폐기율은 지속적인 증가를 하다가 정점을 지나서는 오히려 감소하는 현상을 보이고 있다. 이는 감소하는 구간에서는 EF-C 트래픽의 처리율이 감소하기 때문인 것으로 판단된다.

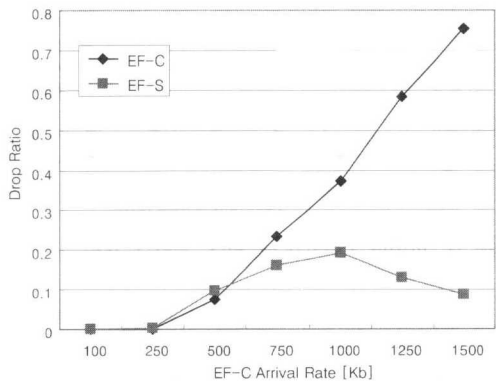


그림 11. EF-C와 EF-S의 패킷 폐기율.

그림 12에서는 EF 큐에 대기하는 평균 패킷 수의 변이를 보여주고 있다. EF-C 트래픽 발생율이 증가함에 따라 큐에 대기하는 EF-C, EF-S 패킷의 수도 증가를 하지만 EF-S 트래픽의 증가율이 더 급격함을 알 수 있다. 이는 EF-S와 EF-C 패킷간의

스케줄링이 우선 순위 큐잉 방식이므로 EF-C 패킷의 도착율이 높을수록 EF-S의 대기 시간이 길어지기 때문이다.

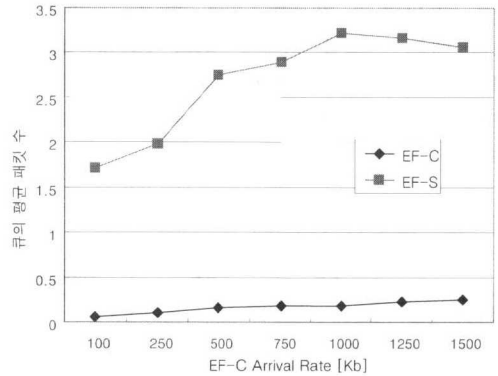


그림 12. EF-C와 EF-S 패킷의 큐 대기율.

VI. 결론

본 논문에서는 GPRS 망에서 IP-QoS 기능을 제공하기 위해 MPLS와 Diffserv를 복합적으로 적용하는 방안을 제시하였다. 패킷 스케줄링 방식에서는 네 종류의 UMTS QoS 트래픽 클래스에 따라 MPLS의 EXP로 대응시킨 후 각 노드에서는 EXP 값에 따라 EF PHB (CC, SC), AF PHB (IC), DF PHB (BC)를 수행하도록 하였으며, 각각의 PHB에 대한 스케줄링은 WRR 방식을 적용하였다. 특히, EF PHB에 대해서는 단일 큐를 통해 CC와 SC에 대해 각각 임의의 대역폭 할당이 가능하면서 차별적인 QoS 지원이 가능하도록 하기 위해 연속적인 (패킷 폐기) 임계값을 가지는 PQ 방식을 적용하였다.

연결 지향 방식인 MPLS에서 L-LSP 방식은 Ingress LSR의 적절한 트래픽 조절 기능을 통해 각 LSP에 대한 대역폭 관리가 가능하다고 볼 수 있지만, E-LSP 방식에서는 각 클래스간 자원을 공유하게 되므로 망 내의 각 라우터에는 특정 클래스의 트래픽이 할당된 대역폭 이상으로 유입될 가능성이 있다. 제안된 스케줄링 방식에 대해 NS-2 시뮬레이터를 이용해 성능 평가를 실시한 결과 우선 순위가 가장 높은 EF-C 트래픽이 과도하게 들어와도 제안된 스케줄링 방식에 의해 출력 트래픽의 양이 조절됨으로써 다른 클래스 트래픽에 별다른 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 특히, 동일한 EF 큐를 사용하는 EF-C와 EF-S 트래픽에 있어서 두 트래픽 클래스는 각각 할당된 대역폭을 사용하면서 차별화

