

MPLS 망에서 동적 대역폭 할당을 적용한 다중 클래스 트래픽의 VC merge 지원 방안 연구

정희원 이수경*, 오경희*, 손홍세**, 송주석*

A Study on VC merge Scheme for Multi-class Traffic using Dynamic Bandwidth Allocation in MPLS Networks

SuKyoung Lee*, KyungHee Oh*, HongSe Son**, JooSeok Song* *Regular Members*

요 약

MPLS에서 ATM의 스위칭 기능은 인터넷 백본망에 대해 효율적인 전송을 제공할 것이다. 특히, VC merging은 다수의 IP 경로와 한 VC 레이블간의 대응을 가능케 함으로써 망의 확장 시에도 유연하게 대처 할 수 있다. 이미 VC merge 관련 메커니즘들이 제안되어 있으나 단지 best-effort 트래픽에 대해서만 가능하며 다중 클래스 트래픽에 대해 각 QoS를 충족시키는 구체적인 방안은 제시되어 있지 않다. 따라서, 본 논문에서는 각 클래스의 VC merge시, 동적 대역폭 할당을 적용해 merge된 트래픽의 QoS를 만족시키는 메커니즘 및 ATM-LSR의 구조를 제안한다. 아울러, 시뮬레이션을 통해 제안된 동적 VC 대역폭 할당 방안에 대한 성능 평가를 수행하였다.

ABSTRACT

The realization of scalable layer 3 switching over ATM networks requires merging of virtual connections to be possible. This capability, known as VC merging, cannot be provided by ATM networks which use a standard ATM protocol stack on both switches and stations. Though a few VC merging schemes are proposed, they support best-effort alone and there has been no concrete mechanism for multiple classes. This paper propose a dynamic bandwidth allocation, when non best-effort traffic flows are merged. It would be possible to guarantee the QoS of the VC merged traffic through the dynamic allocation. In addition, the proposed dynamic VC bandwidth allocation method is demonstrated by simulations.

I. 서 론

인터넷은 최근5년 동안 인터넷 호스트의 수에서 연평균 40% 이상의 성장률을 보이고 있다. 또한 IETF(Internet Engineering Task Force)를 중심으로, 단순히 비실시간 데이터 전송 위주였던 인터넷 서비스에서 탈피하여 음성 및 실시간 화상 데이터 등 QoS(Quality of Service)를 요구하는 서비스를 포함하고자 하는 노력이 진행되고 있다. 이러한 트래픽의 증가 및 라우터의 한계점으로 인해 인터넷에 새

로운 하부 구조를 필요로 하는데, IETF는 MPLS (Multi Protocol label Switching) WG을 구성하여 3계층 라우팅과 2계층 스위칭을 통합하는 레이블 스위핑(Label Swapping) 구조에 대한 표준화를 진행 중이다^[1-4].

본 논문에서는 ATM(Asynchronous Transfer Mode)을 2계층 기술로 활용하고 그 위에서 인터넷을 운용하는 구조이다. 이 구조는 ATM 계층의 스위칭 기능을 이용해 고속으로 IP 패킷을 전송할 수 있으며 QoS 보장이 용이하다. ATM 기반의 데이터 전달 프로토콜은 고속화, 성능 대 가격 비의 향상,

* 연세대학교 컴퓨터과학과(oliver@emerald.yonsei.ac.kr)

** 한국전자통신연구원

논문번호 : 00076-0228, 접수일자 : 2000년 2월 28일

다양한 서비스 품질의 지원 그리고 확장성을 높이기 위한 방향으로 발전해왔으며 특히 ATM의 스위칭 능력을 활용하여 3 계층 처리 능력을 극대화하는 방안이 관심이 집중되고 있다.

IP 루트(route) 정보를 ATM의 VPI/VCI 레이블로 변환하기 위한 방안들이 제안되어 왔으며, 가장 간단한 방법은 non-VC merging으로, 각 스위치에서 각 송신지와 수신지 쌍에 대해 다른VC 값을 할당한다. 그러나 VC merge를 사용하지 않을 경우, 필요한 VC의 수는 edge 라우터의 수의 제곱에 비례한다. 반면에 VC merge는 다수의 경로들을 통하여 전달된 데이터 흐름에 동일한 VC 레이블로 할당함으로써 edge 라우터들의 수가 증가하더라도 수용할 수 있는 장점을 갖는다. 이를 구현함에 있어 [5-8]에서는 QoS를 지원하기 위한 방법으로 단지 partial-merging만을 제안하고 있다. 즉, 모든 입력 트래픽이 best-effort라면 full-merging이 수행되지만, 다양한 QoS를 갖는 트래픽 클래스에 대해서는 목적지뿐만 아니라 QoS까지 동일한 VC에 대해서만 merge를 수행하는 partial-merging을 적용한다.

그런데 [3-8]의 VC merge 메커니즘에는 merge되는 VC의 수와 대역폭에 대한 명확한 방법이나 성능 평가가 언급되지 않고 있다. 동일한 QoS 즉, FEC(Forwarding Equivalence Class)를 갖는 VC들의 수가 크게 증가한다면 대응하는 출력 VC는 이 merge된 트래픽을 수용할 수 없게 된다. 또한 best-effort가 아닌 트래픽, 특히 실시간 트래픽이 merge되고 있다면 merge된 트래픽의 QoS를 만족시킬 수 있도록 대역폭이 할당되어야 한다. 즉, 트래픽의 수와 양에 따라 대역폭을 동적으로 할당함으로써 merge되는 VC 수의 관리 및 merge된 실시간 트래픽에 적절한 대역폭을 할당할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 merge된 트래픽이 QoS를 가지는 경우, 대역폭 할당에 대한 성능 평가를 수행하였다. 특히, 실제 트래픽을 측정 한 후, 이 측정치에 기반하여 동적으로 대역폭을 할당하는 메커니즘을 제안하였으며 시뮬레이션을 통해 성능 평가를 수행하였다.

II. VC merge를 지원하는 ATM-LSR 구조

VC merge를 지원하는 ATM-LSR은 동일한 VC로 merge될 때 다른 패킷에 속하는 셀들이 중첩(interleave)되지 않도록 해야 한다. 따라서, 각 패킷에 속하는 셀들은 패킷의 마지막 셀들이 도착할 때까지 RB(Reassembly Buffer)에 저장되며, 마지막

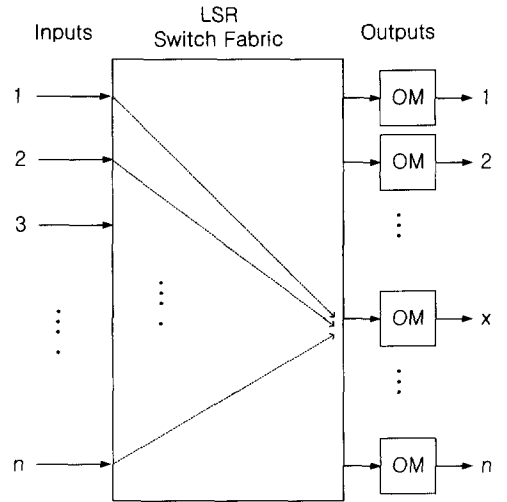


그림 1. VC merge 기능을 갖는 ATM-LSR 구조

셀이 도착하면 다음 흐름으로 전송되기 위해 해당 패킷의 모든 셀들은 출력 버퍼(OB : Output Buffer)로 이동된다. 따라서, ATM-LSR은 그림 1과 같이 non-blocking switch fabric과 출력 모듈을 가진다. 이 때, 출력 모듈은 다수의 RB, 출력 버퍼 및 VCI/VPI 전환 모듈로 구성된다. [5-7]에서는 각 ATM-LSR에 단지 한 개의 출력 버퍼를 두고 다수의 트래픽에 대한 고려를 하지 않고 있다. 본 논문에서는 그림 2와 같이 트래픽 클래스에 대해 출력 버퍼를 두는 방식을 제안한다. RB에서 재 조합된 패킷들은 자신의 트래픽 클래스에 따라 다른 출력 버퍼에서 대기하게 된다. 즉, PKC(Packet Type Classifier)가 RB들 중에서 EoP(End of Packet)을 검사한 후, 재 조합된 패킷이 어느 클래스에 속하는지를 분류하여 해당 출력 버퍼로 전달한다

그리고 높은 우선 순위의 QoS를 요구하는 클래

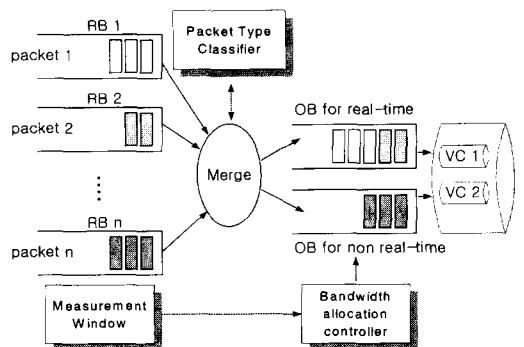


그림 2. ATM-LSR의 출력 모듈 구성

스에 대해서는 해당 RB들에 측정 모듈을 구현하여 측정값에 적절한 대역폭을 할당하여 best-effort가 아닌 트래픽이 merge되더라도 QoS를 만족하도록 한다. 따라서 측정 모듈은 대역폭 할당 제어기 (Bandwidth allocation controller)에 측정 정보를 제공하게 된다. 제안한 ATM-LSR의 출력 모듈 및 대역폭 할당 구성은 그림 2와 같다.

III. 트래픽 모델링

On/Off 구간들이 각 입력 포트에서 같은 파라미터 값을 갖고 geometric 분포를 갖는다면 각 RB에 대한 arrival process는 그림 3에서의 같이 IBP (Interrupt Bernoulli process)로 모델링 될 수 있다. 본 논문에서 사용된 트래픽 소스 모델은 그림 4와 같다. Arrival process는 N개의 입력 포트에서 도착하는 N개의 independent On/Off process들의 중첩 (superposition)으로 이루어진다. [5-7]에서는 On 구간동안 도착하는 셀(cell)들이 한 개의 패킷을 이루는 것으로 가정함으로써 패킷들이 형성하는 버스트는 고려하지 않고 있는 반면, 그림 4의 모델은 패킷 버스트를 포함하고 있다. 그림 3의 On 상태는 On 상태와 EoP 상태로 나뉘어지며, EoP 상태도 실제로는 On 상태의 일부가 된다.

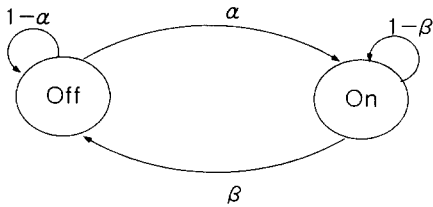


그림 3. On/Off process

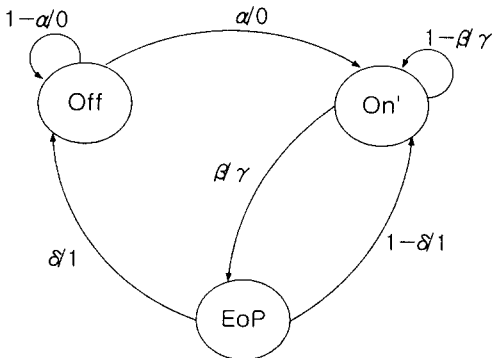


그림 4. 패킷 버스트가 포함된 arrival process

그림 4에서 파라미터들은 다음과 같은 의미를 갖는다.

- α : Off 상태에서 On 상태로 천이할 확률
- β : On 상태에서 EoP 상태(EoP 셀 도착)로 천이할 확률
- δ : EoP 상태에서 Off 상태로 천이할 확률
- γ : On 구간에서 셀이 발생하는 확률

그리고 각 천이 확률과 함께 표시된 값은 셀 발생 확률을 나타낸다.

IV. Merge된 트래픽에 대한 대역폭 할당 분석 및 성능 평가

4.1 대역폭 할당 방식 분석

PCR(Peak Cell Rate)을 $1/\omega$ (ω : 셀 발생 간격)이라고 하면 앞 절의 트래픽 모델로부터 다음과 같은 정의가 가능하다.

$$\bullet \text{ Off 구간} = \frac{1}{\alpha} \tag{1}$$

$$\bullet \text{ 실제 On 구간} = \frac{1}{\beta\alpha} + \frac{1}{\alpha} \tag{2}$$

$$\bullet \text{ 평균 패킷 크기(셀 단위)} = 1 + \frac{\gamma}{\beta} \tag{3}$$

$$\bullet \text{ On 구간에서의 평균 전송률} = \frac{\beta + \gamma}{\beta + 1} \frac{1}{\omega} \tag{4}$$

$$\bullet \text{ 평균 전송률} = \frac{\alpha(\beta + \gamma)}{\alpha + \alpha\beta + \beta\delta} \frac{1}{\omega} \tag{5}$$

측정기를 통해서 merge되는 트래픽에 대해 필요한 대역폭은 다음과 같다.

$$e_k = \sup_n \left\{ \frac{\sum_{i=0}^k a_{k-i}}{t_k - t_{k-n}} \right\} \tag{6}$$

실제로 할당되는 대역폭 이 때, a_k 는 k번째 구간에서 도착한 셀의 수이다. 그리고 실제 대역폭 할당은 측정된 값 e_k 를 그대로 적용하지 않고 가중치 (weight)를 둔다. 실제로 할당되는 대역폭 r_k 는 다음과 같다.

$$r_k = w^{\Delta t} r_{k-1} + (1 - w^{\Delta t}) e_k \tag{7}$$

$$\Delta t = t_k - t_{k-1}$$

가중치는 바로 최근 측정치에만 의존함으로써 오

는 오류를 막아주는 역할을 한다. 대역폭을 재할당하는 전체적인 메커니즘은 그림 5와 같다.

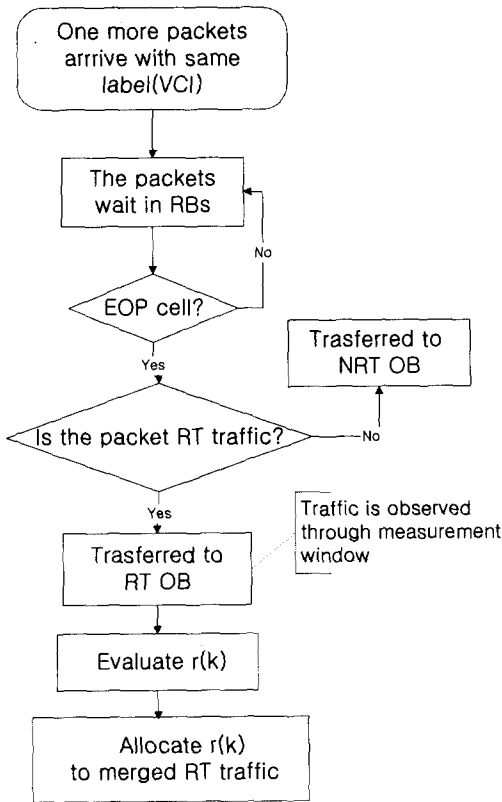


그림 5. Merge된 트래픽에 대한 대역폭 할당 알고리즘

4.2 성능 평가 분석

성능 평가에 사용된 파라미터 값들은 다음과 같다.

- $1 \leq n \leq 50$ (Window 수)
- w : 가중치(weight factor) : 0.05, 0.1, 0.2
- Δt : 0.0002 초
- 대역폭 재설정 주기 : 0.01초

시뮬레이션에의 입력 트래픽 소스는 두 종류를 사용했으며 각각의 특성은 표 1과 같다. 표 2로부터 대역폭 할당 방식에 따른 시뮬레이션 수행 결과를 볼 수 있다. 동적 대역폭 할당 방식은 앞에서 설명한 ATM-LSR의 출력 모듈 구조와 그림 5의 알고리즘 순서를 따르고 있다. 고정 대역폭 방식은 트래픽 소스에 대해 미리 정해진 대역폭을 할당하게 되므로, 초기에 할당된 대역폭의 크기가 트래픽 소스

표 1. 입력 트래픽 특성

	In1	In2	단위
α	0.005	0.02	
β	0.01	0.05	
γ	0.4	0.8	
δ	0.7	0.9	
ω	0.00005	0.00005	sec/cell
PCR	20000	20000	cells/sec
평균 On 상태 전송률	6138.6	16190.5	cells/sec
평균 전송률	2572.6	5151.5	cells/sec
평균 패킷 크기	31.0	17.0	cells/packet
평균 On 구간	0.0072	0.0012	sec
평균 Off 구간	0.0100	0.0025	sec

표 2. 대역폭 할당 방식에 따른 성능 비교

	In1	In2	In3
동적 대역폭 할당			
평균 대역폭	4741.4	10403.2	13021.3
최대 대역폭	6224.8	12117.7	15039.2
평균 지연시간	0.01635	0.00364	0.00465
최대 지연시간	0.07860	0.01690	0.03180
고정 대역폭: On 상태의 평균 대역폭			
고정 대역폭	6138.6	16190.5	22329.1
평균 지연시간	0.01253	0.00249	0.00302
최대 지연시간	0.06130	0.01390	0.01990
고정 대역폭: 동적 대역폭 할당 방식에서의 평균 대역폭			
고정 대역폭	4741.4	10403.2	13021.3
평균 지연시간	0.01642	0.00363	0.00470
최대 지연시간	0.08730	0.01680	0.03100
고정 대역폭: 전체 평균 대역폭			
고정 대역폭	2572.6	5151.5	7724.1
평균 지연시간	0.08663	0.12471	0.05748
최대 지연시간	0.21080	0.26010	0.14700

에 대한 QoS 지원 및 대역폭 이용률에 대해 영향을 미치게 된다. 적절한 대역폭을 할당하기 위해 수식 4, 5로부터 계산된 크기를 적용하였다. 그리고 동적 대역폭 할당 방식이 적용된 동안 계산된 평균 대역폭 크기를 할당한 경우에 대해서도 시뮬레이션을 수행하였다. 수식 5에서 계산된 전체 평균 대역폭으로 할당된 경우는 패킷 버스트가 다른 경우보다 적게 고려되었기 때문에 지연 시간이 증가하였다. 동적 대역폭 할당 방식은 표 2에서 알 수 있듯

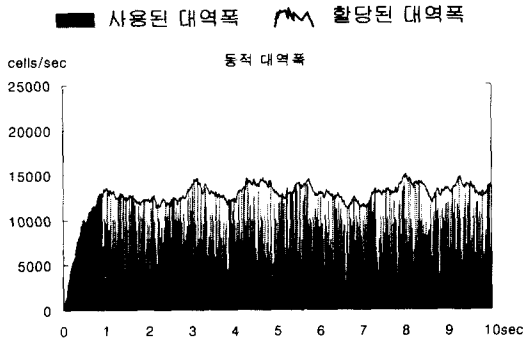


그림 6. 동적 대역폭 할당 시 대역폭 이용률

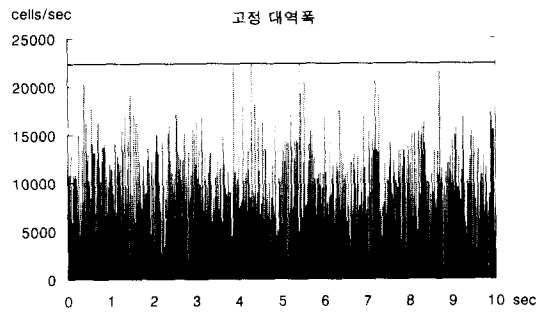


그림 7. 고정 대역폭 할당 시 대역폭 이용률

이 On 상태에서의 평균 대역폭을 할당한 경우보다는 지연 시간이 길지만 대역폭 이용도 면에서 더 좋은 성능을 보여준다. 그리고 동적 할당 방식 적용 동안 계산된 평균 대역폭을 할당한 경우와 비교한다면 지연 시간 및 대역폭 이용률 모두 큰 차이를 보이지 않는다. 그 이유는 동적 할당방식의 시뮬레이션 동안 측정된 평균값을 취해서 같은 트래픽을 발생시켰기 때문이다. 그러나 실제 망에서는 유입되는 트래픽 형태가 고정되어 있지 않으므로 이와 같은 시뮬레이션 동안의 측정치를 적용할 수 없다. merge된 트래픽에 대한 고정 대역폭의 크기는 두 입력 트래픽의 대역폭의 합으로 할당하였다. 동적 대역폭 할당 방식이 대역폭 이용률 면에서 성능 향상이 있음은 그림 6, 7의 그래프로부터 더 명확히 알 수 있다.

그리고 그림 8-10의 그래프로부터 동적 대역폭 할당 방식에서 가중치 w 가 할당되는 대역폭 크기에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. w 가 커지면 현재 트래픽 정보에 민감하게 트래픽 특성을 전혀 반영하지 못하게 된다. 이와 같은 측정 오류를 감소시키기 위해 가중치를 적용하는 것이다. 반면에 w

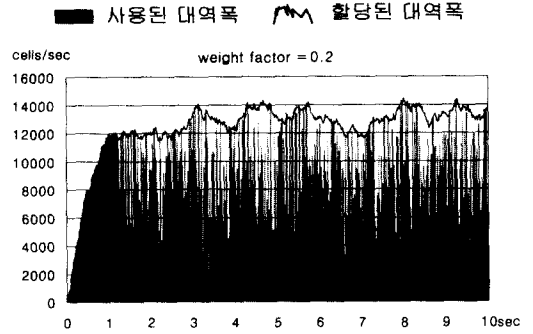


그림 8. 대역폭 이용률($w=0.2$)

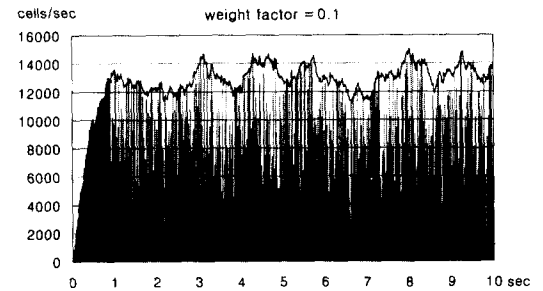


그림 9. 대역폭 이용률($w=0.1$)

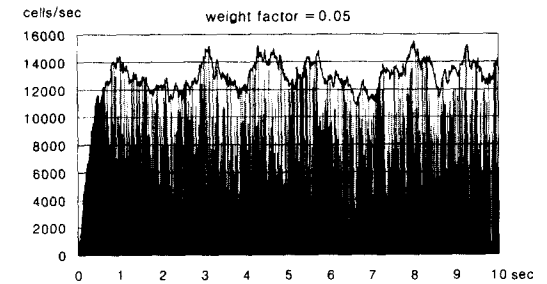


그림 10. 대역폭 이용률($w=0.05$)

의 값이 0이라면, 평균화된 트래픽 특성에 의존함으로써 측정된 트래픽 정보를 활용하지 못하게 된다. 따라서 w 값의 설정이 동적으로 할당되는 대역폭 크기와 지연 시간 등의 성능에도 영향을 미치게 된다. w 에 대한 최적화 된 일반적인 값은 고정적으로 정해져 있지 않으며 망 구성에 따라 망 관리자에 의해 결정될 수 있다. 표 3으로부터 w 값에 따른 지연 시간 및 할당된 대역폭 크기를 비교해 볼 수 있다. 고정 대역폭을 할당하는 경우, 두 트래픽을 merge하면 각 대역폭의 합을 merge된 트래픽의

표 3. w 값에 따른 성능 비교

w	0.05	0.1	0.2
평균 지연시간(sec)	0.00464	0.00465	0.00711
평균 대역폭(cells/sec)	13053.6	13021.3	12908.8
최대 대역폭(cells/sec)	15496.8	15039.2	14472.8
평균 대역폭의 90% 도달 시간	0.61	0.79	0.95

대역폭으로 사용할 수밖에 없으나 동적으로 할당한다면 두 트래픽을 merge하지 않는 경우에 할당된 대역폭의 합보다 더 작은 대역폭을 할당하여 준다. 따라서 두 트래픽을 merge함으로써 대역폭 낭비를 더욱 줄일 수 있다.

VII. 결론

MPLS는 라우터가 가진 라우팅 기능과 아울러 ATM 스위치가 갖는 다양한 큐잉 메커니즘을 동시에 제공한다. 특히, ATM-LSR은 cell interleave 문제와 VC 영역 문제를 해결하기 위해 VC merge를 지원할 수 있다. 그러나 현재 제시된 VC merge 메커니즘은 단지 best-effort 트래픽에 대해서만 merge를 수행하고 있으며 다중 클래스의 트래픽은 지원하지 않고 있다. 본 논문에서는 트래픽 클래스에 대해 출력 버퍼를 두는 방식을 제안한다. RB에서 재조합된 패킷들은 자신의 트래픽 클래스에 따라 다른 출력 버퍼에서 대기하게 되며 높은 우선 순위의 QoS를 요구하는 클래스에 대해서는 해당 RB들에 측정 모듈을 구현하고 측정값에 적절한 대역폭을 할당하여 트래픽이 merge되더라도 QoS를 만족하도록 한다. 제안된 메커니즘의 성능 평가를 위해 시뮬레이션을 수행하였고, 시뮬레이션 결과를 통해, 실시간 트래픽에 대해서도 정적 대역폭 할당에 비해 지연 시간 성능 저하 없이, merge되는 동안에도 효율적으로 대역폭을 이용할 수 있음을 알 수 있었다.

마지막으로, 현재 활발히 연구 중인 MPLS는 아직 확실한 메커니즘이 제공되지 않고 있는 부분들이 다수이며 다양한 방식들이 제안되면서 논란도 많다. 기반 신호 체계 방식, ER-LDP 설정 방식, 트래픽 엔지니어링 제공, multicast 지원 등에 대해서는 계속적으로 연구가 수행되어야 한다.

참고 문헌

- [1] R. Callon, G. Swallow, N. Feldman, A. Viswanathan, P. Doolan, and A. Fredette, "A Framework for MPLS," draft-ietf-mpls-framework-05, Jun. 1999.
- [2] R. Callon, A. Viswanathan and E. Rosen, "Multiprotocol Label Switching Architecture," draft-ietf-mpls-arch-06, Aug. 1999.
- [3] A. Viswanathan et al., "Evolution Multiprotocol Label Switching", *IEEE Commun. Mag.*, vol.36, May. 1998.
- [4] B. Davie, P. Doolan, and Y. Rekhter, "Switching in IP Networks", *Morgan Kaufmann*, 1998.
- [5] Widjaja and A. Elwalid, "Performance Issues in VC-merge Capable ATM LSRs," work in progress(draft-widjaja-mpls-vc-merge-01.txt), Oct. 1998.
- [6] I. Widjaja and A. Elwalid, "Performance Issues in VC-Merge Capable ATM LSRs.," rfc2682.txt(status : informational), Sep. 1999.
- [7] I. Widjaja and A. Elwalid, "On Supporting Diffserv over ATM using VC-merge," ATM-Forum/99-0268.
- [8] P. Zhou and O. Yang, "Design of per-VC queueing ATM switches," in Proc. *IEEE Infocom98*, Atlanta, GA, Jun.1998.

이 수 경(Sukyoung Lee)



1993년 2월: 연세대학교 이과대학 컴퓨터학과 학사
 1995년 2월: 연세대학교 이과대학 컴퓨터학과 석사
 1996년 3월~현재: 연세대학교 공과대학 컴퓨터학과 박사과정

<주관심 분야> ATM 트래픽 제어, MPLS 트래픽 엔지니어링 및 VC merge, Wirelsss ATM handover 제어

오 경 희(KyungHee Oh)



1992년 2월 : 연세대학교 공과
대학 컴퓨터학과 학사
1993년 3월~현재 : 연세대학교
공과대학 컴퓨터학과
석사과정
<주관심 분야> MPLS, 차세대
인터넷

손 흥 세(HongSe Son)

1986년 2월 : 경북대학교 공과대학 컴퓨터공학과 학사
1990년 2월 : 경북대학교 공과대학 컴퓨터공학과 석사
1990년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 재직
<주관심 분야> MPLS, LAN/WAN 프로토콜 호환
시험 및 성능 평가

송 주 석(JooSeok Song)

정회원



1976년 : 서울대학교 전기공학과
학사
1979년 : 한국과학원 전기 및
전자공학과 석사
1988년 : Univ. of California,
Berkeley 전산과학 박사

1979년~1982년 : 한국전기통신연구소 전임 연구원
1982년 : 중앙전기주식회사 개발자문
1988~1989년 : Naval Postgraduate School 조교수
1989년~현재 : 연세대학교 컴퓨터학과 교수 및 소
프트웨어 응용 연구소 소장
<주관심 분야> ATM 트래픽 제어, PCS, MPLS,
정보보호, 암호학