

ATM망에서 다중 임계를 이용한 트래픽 스케줄링 연구

김 종 은[†] · 안 효 범^{††} · 조 경 산^{†††}

요 약

최근에 네트워크의 사용량이 증가하고, 다양한 대역폭을 요구하는 응용이 증가함에 따라 이를 지원하기 위하여 유연성이 뛰어난 통신 프로토콜로서 ATM을 사용하게 되었다. ATM은 다양한 대역폭을 요구하는 응용 서비스를 제공하나, 셀의 손실과 지연이라는 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 ATM망에서의 셀 손실과 셀 지연의 문제점을 해결하기 위해 기존의 트래픽 제어기법을 분석하고, 클래스별로 버퍼의 크기를 할당하는 통합 버퍼 관리기법과 트래픽 특성에 따른 다중 임계를 이용한 ATM 스위칭 모델과 트래픽 제어기법을 제시한다. 또한, 시뮬레이션을 통하여 기존의 연구와 본 논문에서 제안된 기법을 비교하여 성능향상을 분석하고 검증한다. 분석 결과, 제안된 기법은 평균 셀 손실율의 측면에서 버퍼 크기에 비례하여 성능이 향상됨을 알 수 있다.

Traffic Scheduling using Multi-Thresholds in ATM Networks

Jongun Kim[†] · Hyobeom Ahn^{††} · Kyungsan Cho^{†††}

ABSTRACT

Future high speed networks are expected to use the Asynchronous Transfer Mode(ATM), which provides desired quality of service for the various traffic types(e.g., voice, video and data). Proper traffic control scheme helps ensure efficient and fair operation of networks.

In this paper, we analyze various related traffic-control strategies and propose a new traffic control scheme and ATM control architecture with an integrated buffer management method and multi-thresholds in order to solve the problem of each class's cell loss ratio and cell delay in ATM networks. In addition, we evaluate the performance improvement of the proposed traffic control scheme through simulation.

As shown in the result, the proposed traffic control scheme improves cell loss ratio in proportion to the buffer size.

1. 서 론

기존의 데이터 통신과는 특성이 다른 멀티미디어 통신은 다양한 트래픽 속성들을 만족시키며, 미래의 새로운 서비스 요구에 대한 확장성이 있어야 한다. 또한

통신 기법의 변경 없이 새로운 물리적 매체에 적용될 수 있도록 전송 매체에 대해 독립적이어야 한다. 따라서, 이러한 특성을 만족하는 ATM 기반의 B-ISDN 통신 방식이 주목되고 있다.

ATM(Asynchronous Transfer Mode)은 확장성, 효율성, 통계적 다중화(Statistical Multiplexing), 트래픽 통합등으로 초고속 통신의 B-ISDN(Broadcast Integrated Service Digital Network)에 적합한 전송 기법이고, 이에 대한 스위칭 기법과 트래픽 제어기법에 대한

[†] 정 회 원: 단국대학교 전산통계학과

^{††} 정 회 원: 단국대학교 전산통계학과

^{†††} 종신회원: 단국대학교 전산통계학과 부교수

논문접수: 1997년 3월 25일, 심사완료: 1997년 6월 4일

연구가 이루어져 왔다[1, 5].

ATM은 셀 스위칭 기법을 기반으로 하고, 다중 QoS (Quality of Service)를 지원한다. 통계적 다중화는 채널의 효율성을 향상시키지만, 트래픽 폭주가 발생할 경우에는 셀 손실과 셀 지연을 유발하게 되어 통신 서비스에 대한 품질 저하를 가져온다[1, 4]. 또한, 트래픽의 버스트(Burst) 속성은 어느 시점에 트래픽의 폭주를 유발할 수 있으며, 시간에 따른 전송을 변화는 셀 지연(Cell Delay)과 셀 손실율(Cell Loss Rate)에 대한 제어를 어렵게 한다. 이러한 이유로, 통신 서비스에 대한 트래픽 속성 분석 및 트래픽 제어가 요구된다[1, 4].

본 논문에서는 트래픽의 버스트와 전송을 변화로 발생하는 셀 손실율과 셀 지연을 줄이고 다양한 트래픽 속성들을 만족시키기 위해 적합한 통합 버퍼 관리 기법과 다중 임계를 이용한 ATM 스위칭 모델의 트래픽 제어기법을 제안한다. 또한 셀 손실율, 셀 지연 측면에서 기존의 연구와 제안한 기법에 대해 비교 평가한다.

본 논문의 구성은 2장에서 다양한 트래픽 속성과 기존의 트래픽 제어기법에 대한 관련 연구를 기술한다. 3장에서는 본 논문에서 제안한 통합 버퍼 관리 및 다중 임계를 이용한 스위칭 모델과 트래픽 제어기법을 소개한다. 4장에서 시뮬레이션을 통해 성능을 비교 평가함으로써 제안한 제어기법을 검증하며, 5장에서는 결론을 맺고 향후 연구 방향에 대해 논의한다.

2. 관련 연구

본 장에서는 통신 서비스에 대한 트래픽 속성과 기존의 트래픽 제어기법에 대한 관련 연구 사항들을 기술한다.

2.1 ATM망에서 트래픽 속성

ATM에서 제공할 수 있는 다양한 통신 서비스는 서로 상이한 트래픽들로 구성되고 통합 처리되며, <표 1>은 다양한 트래픽에 대한 트래픽의 속성을 나타낸 것이다. 트래픽 속성들은 트래픽 제어와 클래스 설정을 위해 트래픽 기술자를 통해 제공되며, 트래픽 기술자(Traffic descriptor)는 전송하고자 하는 트래픽의 평균 비트율, 최고 비트율, 버스트 정도 등을 포함한

다. 이것은 서비스 요청자로부터 서비스 요구와 함께 ATM 인터페이스에게 전송되고, ATM 인터페이스는 트래픽 기술자를 이용하여 트래픽 제어를 한다[1, 2].

<표 1> 트래픽 속성
<Table 1> Traffic attributes

트래픽	속성	Burstiness	Delay Tolerance	Throughput (Mbps)
Voice		Medium	Low	.04 to .064
File Transfer		Often High	High	10 to 100
Image		High	Medium	.256 to 25
Business Video		Low	Low	.256 to 16
Entertainment Video		Low	Low	1.5 to 50
LAN-LAN		High	Low	4 to 100
Server Access		Average	High	4 to 100
Hi-Fi Audio		Low	Low	.128 to 1

2.2 기존의 트래픽 제어기법

요구된 서비스에서 셀 손실과 셀 지연은 클래스에 따라 다른 허용 정도를 가진다[2, 4, 6]. 따라서, 각 클래스별로 셀 손실과 셀 지연을 제어하기 위한 효율적인 트래픽 제어기법이 필요하다. 일반적인 트래픽 제어기법들은 연결 수락 제어(CAC: Connection Admission Control), 사용자 매개변수 제어(UPC: Usage Parameter Control), 우선순위 제어(PC: Priority Control) 등이 있다.

연결 수락 제어는 기존에 제공되고 있는 네트워크의 서비스 질을 저하시키지 않고, 요청된 새로운 연결을 지원할만한 충분한 자원이 있는지에 따라 연결 여부를 결정하는 제어기법이다[1, 6]. 사용 매개 변수 제어는 망 관리자에게 과잉 밀집이 발생하지 않도록 감시하며, 망 자원을 보호하고, 다른 서비스 품질에 영향을 줄 수 있는 행위로부터 트래픽 자원을 보호하는 제어기법이다. 우선순위 제어에는 공간 우선순위 제어(Space priority control)와 시간 우선순위 제어(Time priority control)가 있다. 공간 우선순위 제어는 P-O(Push-Out)기법과 PBS(Partial Buffer Sharing)기법 등이 있고, 시간 우선순위 제어기법에는 SPS(Static Priority Scheduling), MLT(Minimum Laxity Threshold), QLT(Queue Length Threshold) 기법등이 있다[7].

셀 지연과 셀 손실율은 버퍼의 크기에 따라 상호 배반적 관계를 가지므로, 앞의 일반적인 트래픽 제어 기법들은 셀 지연과 셀 손실율을 동시에 만족시키기에 비효율적이다. 이를 해결하기 위한 방법으로 다중 우선순위 제어와 동적 우선 순위 제어의 연구가 있었다[8].

서비스량 할당에 의한 다중 우선 순위 제어기법은 손실 민감성과 지연 민감성에 따라 4개의 클래스로 분류하고, 지연 민감성에 따라 2개의 출력 버퍼를 사용한다. 출력 큐 버퍼에서 클래스별 대기중인 셀은 FCFS(First Come First Served)방식으로 서비스되는 것을 원칙으로 한다[7]. 동적 우선순위 제어는 손실 민감성과 지연 민감성에 따라 3가지의 클래스로 분리한다. 이 3가지 클래스에 대한 트래픽 속성은 <표 2>와 같다. 클래스별로 크기가 정해진 독립적인 버퍼와 임계를 사용하고, 대기중인 셀의 양과 임계에 따라 전송할 클래스를 결정한다. 전송할 클래스의 대기중인 모든 셀을 전송한 후, 전송할 클래스를 재결정한다[8].

<표 2> 동적 우선순위 제어의 클래스
<Table 2> Class for dynamic priority control

클래스	특 성	종 류
클래스 A	실시간 트래픽 약 0% 셀 손실	비디오(고화질)
클래스 B	실시간 트래픽 약간의 셀 손실	오디오, 비디오 (저화질)
클래스 C	비실시간 트래픽 0%의 종단간 셀 손실	기존 데이터 파일 전송

3. 제안된 스위칭 구조를 통한 트래픽 제어기법

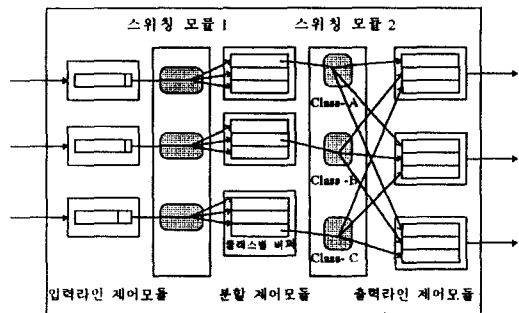
본 논문에서 제안하는 트래픽 제어기법은 셀 손실과 셀 지연을 제어하기 위하여 서비스량 할당에 의한 다중 우선 순위 제어기법과 동적 우선순위 제어기법의 장점을 이용한다. 트래픽 속성에 따라 전체 버퍼를 클래스별 버스트와 트래픽양을 고려하여 논리적으로 클래스별 버퍼의 크기를 할당하고, 클래스별 트래픽 속성에 따라 다중 임계를 사용하는 트래픽 제어기법을 제안하고자 한다.

3.1 클래스 구성

제안된 트래픽 기법에서는 요구된 서비스의 트래픽 속성에 따라 동적 우선순위[8]에서 제안한 3개의 클래스로 분류한다. <표 2>와 같이 셀 손실은 클래스 A가 클래스 B보다 더 민감하고, 클래스 C는 클래스 A나 B보다 더 민감하나, 클래스 C는 손실된 셀을 재전송함으로써 종단간 셀 손실을 제어한다. 또한, 셀 지연은 클래스 A, B, C 순으로 민감하다. 새로운 연결 요청은 연결 수락 제어기법을 이용하여 연결 허가 여부를 결정한다. 새로운 연결 요청이 허가된다면, 새로운 연결 요청은 트래픽 속성에 따라 클래스를 설정하고, 유일한 VCI(Virtual Channel Identifier)와 VPI(Virtual Path Identifier)를 사용한다. 그러므로, 특정한 VCI와 VPI에 대하여 스위칭은 매핑을 통하여 해당 클래스를 얻을 수 있다.

3.2 스위칭 모델

본 논문에서 제안한 ATM 스위칭 모델의 구조는 (그림 1)과 같다. 기존의 동적 우선순위에서 스위칭 모델은 입력 라인 제어모듈, 스위칭 모듈, 출력 제어 모듈로 구성되나 제안한 모델은 경로 분류와 클래스 분류를 동시에 처리하기 위해 입력라인 제어모듈, 출력 라인 제어모듈, 분할 제어모듈, 스위칭 모듈1과 스위칭 모듈2로 구성한다.



(그림 1) 제안된 스위칭 구조
(Fig. 1) Proposed switching architecture

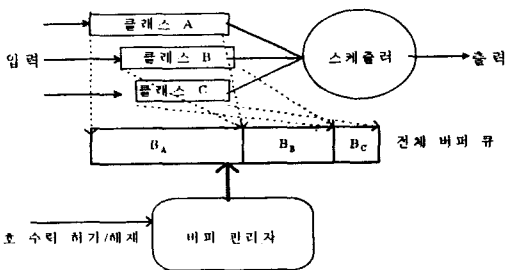
입력라인 제어모듈은 입력으로 도착한 셀을 분할 제어모듈의 각 클래스별 버퍼로 분류 전송하기 전에 일시 저장하는 버퍼이다. 스위칭 모듈1은 VCI를 이용하여 입력라인 제어모듈의 버퍼에 대기중인 셀을

분할 제어모듈의 각 클래스별 버퍼에 분류하여 저장한다. 스위칭 모듈2는 셀의 VPI를 이용하여 분할 제어모듈로부터 각 클래스별 버퍼에 대기중인 셀을 출력라인 제어모듈의 각 클래스별 버퍼에 경로를 설정하여 저장한다.

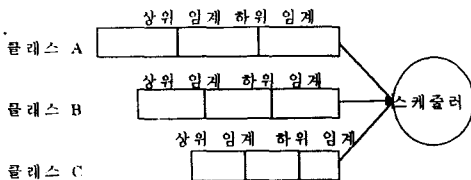
(그림 1)에서 스위칭 모듈2 내에 Class-A, Class-B, Class-C 스위칭은 특정한 클래스만을 처리하므로 출력 제어모듈내의 클래스별 버퍼에 저장할 때 충돌이 발생하지 않는다. 그러므로, 스위칭 모듈2의 스위칭은 분할 제어모듈로부터 동시에 클래스 A, B, C를 출력라인 제어모듈에 전송 가능하다.

3.3 분할 제어 모듈의 버퍼 관리

스위칭 모델에 새로운 서비스 연결 요구가 요청되면, 연결 여부를 결정하기 위해 연결 수락 제어기법을 이용한다. 만약 연결 요구가 허가된다면, 트래픽 속성에 따라 클래스가 설정되고 출력라인 제어모듈의 클래스별 버퍼는 제안된 버퍼 관리를 통하여 제한당한다. (그림 2)와 (그림 3)은 출력라인 제어모듈의 버퍼 구조와 클래스별 버퍼 구조이다. 제안된 출력라인 제어모듈의 버퍼 관리자는 클래스별 버퍼의 크기를 제한당하고, 클래스별 버퍼를 FCFS 방식으로 처리한다.



(그림 2) 출력라인 제어모듈의 버퍼 구조
(Fig. 2) Buffer architecture of output-line module



(그림 3) 클래스별 버퍼 구조와 임계
(Fig. 3) Buffer architecture and threshold of class

제안된 클래스별 버퍼는 상위 임계와 하위 임계를 가지고 있으며, 버퍼 관리자는 클래스별 트래픽 속성과 트래픽양에 따라 각 출력라인 제어모듈의 한정된 전체 버퍼의 크기를 클래스별 버퍼에 할당하고 임계를 설정한다.

$$B \approx P \cdot \frac{\log(CLR)}{\log(\rho)} \tag{1}$$

여기서 CLR: 셀 손실율
 ρ: 작업 부하(Offered load)
 P: PDU(Protocol Data Unit)
 B: 버퍼크기 (셀의 수로서 표현)

식 (1)은 버퍼의 오버플로우로 발생하는 셀 손실율을 이용하여 버퍼의 크기를 측정할 수 있다[1, 2]. 작업 부하는 전송 서비스율과 평균 입력율의 비율로 산출한 값이다. 식 (1)을 트래픽의 버스트한 속성을 감안하여 다음 식 (2)와 같이 수정할 수 있으며, 버스트 정도(Burstiness)는 1이상이다.

$$B \approx burstiness \cdot P \cdot \frac{\log(CLR)}{\log(\rho)} \tag{2}$$

식 (2)에서의 작업 부하는 모든 클래스에 대한 작업 부하이다. 식 (2)에서의 작업 부하를 특정 클래스에 국한시킨다고 가정하면, 셀 손실율을 이용해서 특정 클래스의 버퍼 크기를 다른 클래스에 대한 상대적 비율로 산출할 수 있으므로, 제안된 버퍼 관리자는 클래스별 트래픽양과 속성에 따라 논리적으로 클래스별 버퍼의 크기를 할당한다. 이 식들을 이용하여 각 클래스별 버퍼의 크기를 할당하는 버퍼 관리 알고리즘은 (그림 4)와 같다.

1. 식 (2)을 이용하여 예상되는 클래스별 버퍼 크기를 구한다.
2. 1에서 구한 예상되는 클래스별 버퍼 크기를 상대 비율로 바꾼다.
3. 각 출력라인 제어모듈의 한정된 버퍼 크기에 대하여 클래스별 상대 비율로 한정한다.
4. 할당된 클래스별 버퍼에 임계를 설정한다.
5. 클래스별 버퍼에 설정된 임계와 대기중인 셀의 양에 따라 전송할 클래스를 선정한다.
6. 선정된 클래스는 임계와 대기중인 셀의 양에 따라 셀을 전송한다.

(그림 4) 버퍼 할당 알고리즘
(Fig. 4) Buffer allocation algorithm

(그림 5)는 시뮬레이션을 이용하여 작업 부하에 따라 셀 손실 허용 정도를 만족하는 출력라인 제어모듈

〈표 5〉 오디오 트래픽 속성
 〈Table 5〉 Characteristics of audio traffic

• 오디오 트래픽 활성화 상태시 전송 속도 : 128Kbps(고속), 64Kbps(저속) 비활성화 상태 지속 시간 : 평균 650ms 지수 분포 활성화 상태 지속 시간 : 평균 352ms 지수 분포 평균 전송속도 : 45Kbps(고속), 22.5Kbps(저속)

4.1 입력 트래픽 소스

시뮬레이션에 사용한 비디오 트래픽 속성은 〈표 4〉와 같고 분포는 일양분포(uniform distribution)의 속성으로 가정한다[3, 8]. 오디오 트래픽은 활성화 상태와 비활성화 상태 지속 시간이 모두 지수분포를 따르는 On-Off 소스로 모델링을 했다. 본 논문에서 사용한 오디오 트래픽 속성은 〈표 5〉와 같다. 데이터 트래픽은 1Mbps/sec의 평균 발생율을 갖는 포아송 분포(Poisson distribution)라고 가정한다[3, 8].

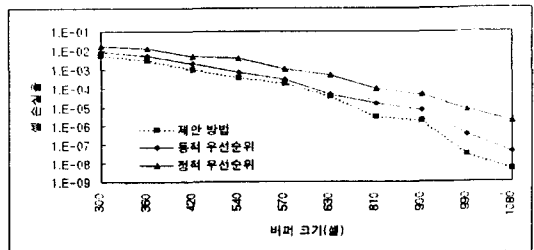
4.2 시뮬레이션

시뮬레이션은 C 언어로 본 연구팀이 작성한 시뮬레이터로 수행하였고, 시뮬레이션 수행 시간은 1400,000 단위시간 동안으로 하였다. 여기서 단위시간은 1ms 이고 ATM 스위칭의 출력 전송율은 50Mbps로 가정하였다. 셀 손실율은 스위칭에 도착한 셀 수에 대한 폐기된 셀 수의 비율을 표시하고, 작업 부하는 전송 서비스율에 대한 평균 입력율의 비율로 표시한다. 버퍼 크기는 각 출력라인 제어모듈의 전체 버퍼 크기이고, 단위는 셀이다. 작업 부하가 1:1:1이라면, 클래스별 평균 입력율의 비가 1:1:1이라는 것을 의미한다.

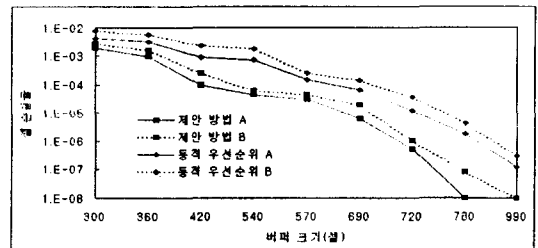
(그림 7)은 작업 부하(1:1:1) 0.8에서 버퍼 크기 변화에 따른 셀 손실율을 시뮬레이션한 결과이고, (그림 8)은 클래스별 셀 손실율을 시뮬레이션한 결과이다. 시뮬레이션 결과, 버퍼 크기가 변화함에 따라 전반적으로 평균 셀 손실율이 증가하고, 제안된 방법의 평균 셀 손실율이 기존 제어기법보다 대략 $10^{-6} \sim 10^{-9}$ 정도의 성능 향상됨을 알 수 있다. 제안된 기법이 동적 우선순위 제어기법과 비슷한 평균 셀 손실율을 보이나, 제안된 기법에서 버퍼 크기가 증가함에 따라 클래스 A와 클래스 B의 셀 손실율이 낮아지고, 동적 우선순위보다 양호함을 알 수 있다. 또한, 클래스 A가 클래스 B보다 낮으므로, 셀 손실에 대하여 클래스 A가 클래스 B보다 민감하다는 트래픽 속성에 적용하

기 위하여 적합하다.

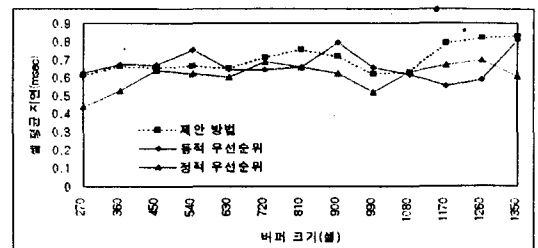
버퍼 크기 변화에 따른 셀 평균 지연을 시뮬레이션한 결과는 (그림 9)와 같다. 버퍼 크기가 증가함에 따라 전체적으로 지연이 증가하고 각 제어기법에서 지터가 전반적으로 발생한다. 제안 방법의 셀 평균 지연이 다른 제어기법보다 약간 높으나, 지터 발생 정도가 양호함을 알 수 있다.



(그림 7) 버퍼 크기에 따른 평균 셀 손실율 변화
 (Fig. 7) Cell loss ratio versus buffer size



(그림 8) 버퍼 크기에 따른 클래스별 셀 손실율 변화
 (Fig. 8) Cell loss ratio versus buffer size (per class)



(그림 9) 버퍼 크기에 따른 셀지연 변화
 (Fig. 9) Cell delay versus buffer size

5. 결 론

본 논문에서는 트래픽의 버스트와 전송율 변화로 발생하는 셀 손실율과 셀 지연을 줄이고 다양한 트래픽 속성들을 만족시키기 위해 적합한 통합 버퍼 관리 기법과 다중 임계값을 이용한 ATM 스위칭 모델과 트래픽 제어기법을 제안한다.

본 논문에서 제안한 제어기법을 평가하기 위하여 기존의 일반적인 우선순위 기법인 정적 우선순위 제어와 동적 우선순위 제어를 시뮬레이션하여 셀 손실, 셀 지연 측면에서 분석하고 평가하였다. 그 결과, 제안된 기법은 셀 손실 측면의 평균 셀 손실율, 클래스 A와 B의 셀 손실율에서 개선되며, 셀 지연 측면에서는 지터 현상이 있으나 전체 버퍼 크기가 증가함에 따라 지연이 증가함을 알 수 있다. 평균 셀 손실율이 클래스 A나 클래스 B보다 높게 나타나고 클래스 C보다는 낮게 나타난다. 그러나, 버퍼 크기가 증가하면 클래스 C의 셀 손실율이 낮아지리라 예상되고, 클래스 C의 셀 손실은 재전송을 통하여 종단간 0% 셀 손실율을 제어한다.

클래스별 버퍼 크기를 결정하는데 있어서 셀 지연과 셀 손실 측면에서 양면성이 존재한다. 그러므로, 더욱 발전된 버퍼 관리 기법이 필요하고 셀 손실과 셀 지연의 양쪽 측면에 더 적합한 출력라인 제어모듈의 버퍼 크기와 클래스별 버퍼 크기를 결정하는 연구가 향후 과제로 남는다.

참 고 문 헌

[1] Martin de Prycker, *Asynchronous Transfer Mode Solution for Broadband ISDN*, ELLIS HORWOOD, 1993.
 [2] David E. McDysan and Darren L. Spohn, *ATM Theory and Application*, McGraw-Hill, 1994.
 [3] Anwar Elwalid and Daniel Heyman, "Fundamental Result on the Performance of ATM Multiplexes with Applications to Video Teleconferencing", *ACM*, pp. 86-97, 1995.
 [4] John-Thones Ameny and Aurel A. Lazar, "Proactive cooperative scheduling and buffer management for multimedia networks", Giovanni Pacific,

Multimedia System, vol. 1, No. 1, pp. 37-49, 1993.
 [5] Ronald J. Vetter, "Issues and Challenges in ATM Networks", *Communications of the ACM*, 1995.
 [6] Edward W. Knightly, "Fundamental Limits and Tradeoffs of Providing Deterministic Guarantees to VBR video Traffic", *SIGMETRICS*, pp. 98-107, 1995.
 [7] 박종흠, "ATM망에서 서비스량 할당 기법에 의한 다중 우선순위 제어에 관한 연구", 한국 정보 과학회 논문집 Vol. 22, pp. 483-486, 1995.
 [8] 정재호, "ATM 네트워크에서 멀티미디어 트래픽을 위한 동적 우선순위 셀 전송 스케줄링 기법", 한국 정보 과학회 논문집 Vol. 22, pp. 459-462, 1995.



김 종 은

1995년 단국대학교 전자계산학과 졸업(학사)
 1997년 단국대학교 전산통계학과 졸업(석사)
 관심분야: 컴퓨터 네트워크, 컴퓨터구조



안 효 범

1992년 단국대학교 전자계산학과(학사)
 1994년 단국대학교 전산통계학과(석사)
 1994년~현재 단국대학교 전산통계학과 박사과정 재학중
 1997년~현재 한국 방송통신대

학교 교육매체 연구소 연구원
 관심 분야: 클라이언트/서버 구조, 컴퓨터 네트워크

조 경 산

1979년 서울대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1981년 한국과학원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)
 1988년 텍사스대학교 (오스틴 소재) 전기 전산 공학과 졸업(Ph.D.)
 1988년~1990년 삼성전자 컴퓨터부문 책임연구원
 1990년~현재 단국대학교 전산통계학과 부교수
 관심분야: 컴퓨터 구조, 성능 분석, 시뮬레이션