

Token bucket 모델을 이용한 동적 실시간 VBR 트래픽 특성화

정회원 정 일 모*, 정 재 일**, 이 길 행*

Dynamic real-time VBR traffic Characterization Using Token Bucket Model

Il-Mo Jung*, Jae-Il Jung**, Gil-Haeng Lee* *Regular Members*

요 약

압축 영상 트래픽은 그 패턴이 다소 임의적(random)이고 버스티(bursty)한 특성을 지니기 때문에, 트래픽의 특성화 시 복잡한 문제들을 야기시킨다. 그러한 문제들 중에서 본 논문에서는 지연에 민감한 실시간 가변 비트율(real-time Variable-Bit-Rate : rt-VBR)을 가진 영상 트래픽의 특성화 문제를 다룬다. 실시간 트래픽 특성화는 단순 하면서 빠르고 정확하게 이루어져야만 한다. 기존의 많은 rt-VBR 트래픽 특성화는 크게 두 가지 방식으로 나뉜다. 통계적인 방식과 연산적인 방식이 바로 그것이다. 그러나 두 가지 방식 모두 지연에 민감한 rt-VBR 트래픽을 전송하는데 요구되는 지연 요구사항을 충족시켜주지 못한다. 따라서 본 논문에서는 전송 중에 부하가 적은 모니터링 기법을 사용해서 지연 요구사항을 만족시키는 동적 VBR(DVBR) 특성화 방식을 제안한다. DVBR에서의 트래픽 특성화는 초기 peak rate를 갖는 트래픽 사양(Traffic specification : Tspec)으로 전송을 시작한 후, 전송 도중에 동적으로 망 사용 효율을 높여주는 Tspec으로 수렴하게 만들어 전송 초기 특성화에 따른 시간 비용을 없애면서도 트래픽 특성화가 최적화 되는 방식이다. 성능 분석을 위해 3가지 성격이 다른 영상 소스에 대해 CBR, VBR 방식으로 서비스하는 경우에 대한 DVBR 방식의 자원 예약 절약 효과를 실험하여 비교한다.

ABSTRACT

Compressed video traffic has somewhat random and bursty characteristics. These characteristics bring about complex problems on traffic characterization. In particular case of delay-sensitive real-time variable-bit-rate (rt-VBR) video traffic, a simple and fast traffic characterization algorithm is needed due to delay requirements. There have been either statistical or operational approaches through finite monitoring for rt-VBR video traffic characterizations. But both approaches do not meet enough delay requirements to transmit delay-sensitive rt-VBR traffic. In this paper, we propose a dynamic VBR (DVBR) characterization scheme that satisfies delay requirements with the help of an ongoing light monitoring. In DVBR, the traffic specification is converged to one that increases network utilization efficiency. For performance analysis, we compare the required amounts of resource reservation among CBR, DVBR, and VBR.

I. 서 론

지난 수년간 우리는 동영상 압축 기술의 빠른 발

전을 목격해 왔다. 그 결과 매우 고도화된 압축 영상 트래픽들은 매우 작은 크기를 갖게 되었으나 이 미지 변화의 불규칙성에 따른 비정형적인 성격을

* 한국전자통신연구원 네트워크기술연구소 네트워크서비스기술연구부 통합관리팀 (imjung@etri.re.kr),

** 한양대학교 전자전기공학부 (jjjung@email.hanyang.ac.kr)

논문번호 : 00332-0821, 접수일자 : 2001년 2월 28일

※ 이 연구는 한국과학재단 지정 최적설계신기술연구센터의 지원에 의해 수행되었습니다.

피게 되었다. 특히 지연에 민감한 영상 스트림의 경우에, 영상 정보는 보통 CBR 방식이나 VBR 방식으로 서비스된다. 전자는 간단하고 QoS를 보장할 수 있는 방식이지만, 많은 망 자원을 예약해서 망 사용 효율을 감소시킨다. 반면, 후자는 최적의 망 자원을 예약하지만 정확한 트래픽 특성화를 요구한다. 지연에 민감하지 않은 트래픽의 특성화는 smoothing 기법^[1]을 통해 많이 고도화되었다. 지연에 민감한 경우에 트래픽 특성화는 크게 통계적인 방식^[2]과 연산적인 방식^[3]으로 나뉜다. 통계적인 방식은 대개 어떤 통계적 부류에 소스가 속하는지를 미리 알아야 하고, 연산적 방식의 경우 유한하지만 특성화에 충분한 프레임 모니터링이 필요하다. 이 때, n 개의 프레임을 모니터링 했을 경우, 특성화를 위해 계산하는 트래픽 예측은 적어도 $O(n)$ 의 복잡도를 갖는다. 두 가지 방식 모두 지연에 민감한 영상 트래픽의 QoS 보장에는 한계가 있다.

트래픽 특성화를 위해 본 논문에서는 token bucket 모델을 이용한다. 이 모델은 IETF IntServ^[4], RSVP^[5], CR-LDP^[6] 등에서 Tspec을 기술하는데 사용되고 있다. 이 모델에서 Tspec은 5가지 매개변수로 구성되며, r (token bucket rate), b (token bucket depth), p (peak bandwidth), m (minimal policed size), M (maximal policed size)으로 이루어진다. 그 중에서도 r 은 평균 속도를, b 는 burst를 나타내므로 트래픽 특성화에 있어 가장 중요한 매개변수이다^[7].

본 논문에서는 지연에 민감한 영상 트래픽을 위해 DVBR 방식을 제안하고 있다. 간단히 말하자면 CBR과 같이 peak rate로 시작해서 더 높은 네트워크 사용 효율을 가질 수 있도록 동적으로 VBR 방식으로 전환해 가는 방식이다. 특징으로는 초기 트래픽을 모니터링해서 트래픽 특성을 추출해 내는 많은 여타의 접근 방식들보다 복잡도가 낮은 방식이라는 점과, 트래픽의 한정된 부분만을 모니터링하는 것이 아니라 전체를 대상으로 모니터링하며 보다 거시적인 관점에서 트래픽의 변화를 파악하는데 중점을 둔다는 점이 있다.

본 논문의 구성을 보면, II장에서는 VBR 트래픽 특성화를 위한 관련 연구들에 대해 설명하고, III장에서는 트래픽 특성화에 대한 기본적인 사항들을 다루고, IV장에서는 DBVR 방식을 설명하면서 SSTM과 convergence 알고리즘을, V장에서는 실험을 통하여 성능 평가를 보인다. 끝으로 VI장에서 결론과 향후 연구 방향을 언급한다.

II. 관련 연구

지금까지 많은 VBR 특성화 연구가 진행되어 왔는데, 그러한 연구들은 크게 두 가지 상반된 접근 방식으로 구분된다. 첫 번째는 통계적인 접근 방식 (statistical approach)^[2]으로 사전에 소스가 통계적으로 어떤 부류에 속한 것인지에 대한 정보를 사용한다. 두 번째는 연산적 방식 (operational approach)^[3]으로 유한 트래픽 모니터링 후, 트래픽 예측 알고리즘을 이용하는 방식이다. 확률론적 방식 (stochastic approach)^[8]이나 결정적 서비스 방식 (deterministic approach)^[3,9]도 모두 연산적 방식에 속한다. 확률론적 방식은 VBR video sequence의 autocorrelation이나 프레임의 크기별 분포 등의 특성을 이용해서 확률 과정 (stochastic process)에 기반한 접근 방식을 취한다. 결정적 서비스 방식은 무손실 서비스를 위한 것이며 확률적인 면보다는 한정된 k 개의 프레임 정보를 모니터링해서 그것으로부터 유추되는 트래픽 강제 함수 (traffic constraint function)를 구한 뒤 그 유형을 반복하여 상한 경계치를 구하고 2개 혹은 3개 정도의 leaky bucket pairs로 특성화하는 방법이다. 여타의 다른 방식보다 망 공유성 등 좋은 특성이 있지만, 이 방식 역시 모니터링하는 k 개의 프레임을 통해 특성화하는 방식으로 k 라는 값에 따라 그 효율성이 저우되며 복잡성 또한 $O(kN)$ 으로 증가한다. 그리고 한 가지 주목할 만한 연구가 workload 모델^[10]이다. 장면 전환과 같은 트래픽의 순간적인 증가를 특정한 프레임 패턴의 집합으로 규정하고 이러한 유형을 트래픽으로부터 인지하는 방식을 취한다. 이러한 정보를 통해 망내 교환기에서는 필요한 순간 순간의 버퍼량을 몇 가지 패턴 안에서 예측할 수 있고, 대비하게 된다. 이 때 트래픽을 기술하는 몇 가지 유형, 즉 긍정적, 부정적, 부동적 유형을 규정하고 각각 조금씩 망자원 사용률을 높거나 낮게 트래픽을 기술할 수도 있다. 이러한 방법은 어느 정도 트래픽의 성격을 알고 유형을 예상할 수 있을 때 더욱 효과적이다. 하지만 이 방법은 그때그때 요구되는 버퍼의 양이 가변적이어서 결국 호 수락 시 최악의 경우를 생각하게 만드는 단점이 존재한다. 이러한 방식으로 많은 동종의 트래픽이 다중화 될 경우, 수용한 모든 트래픽이 최대 버퍼 요구량을 요구할 수 있는 위험성이 내재되어 있어 실제로는 해당 연결이 현재 예상치 이하의 자원을 소모하고 있다고 하더라도 더 이상의 연결을

수락하지 못하게 된다. 이러한 측면에서 볼 때, 예측 알고리즘을 통해 얻는 결과는 반드시 망의 사용률을 높이는 것이어야 한다는 점이 분명해진다. DVBR방식은 이런 문제점을 야기시키지 않도록 고안되었다.

III. 주요 관심 사항

VBR 트래픽 특성화를 위한 트래픽 모니터링 시, 요구되는 트래픽의 양은 매우 중요한 의미를 갖는다. 트래픽 모니터링의 양이 많으면 많을수록 안정적이고 효율적인 특성화가 가능하지만, 지연에 민감한 응용의 경우에는 모니터링량과 특성화에 소요되는 시간 비용 때문에 모니터링량은 충분하면서도 최소인 양이어야 한다. 더욱이 트래픽 모니터링에 필요한 양은 일반적인 VBR 소스들이 정상적인 특징(stationary characteristic)을 갖지 않기 때문에 고정값일 수 없다. 프레임 레벨의 모니터링의 경우, 필요한 프레임들의 수는 적어도 두 개의 GOP(Group of Picture)를 구성하는 프레임 수 이상이어야만 한다. 왜냐하면, 적어도 트래픽의 경향은 2개 이상의 I 프레임 정보를 포함하고 있어야 하기 때문이다. 실제의 경우는 이 보다 훨씬 더 많은 트래픽 모니터링량이 필요하다.

동적으로 트래픽을 특성화하기 위해서는 트래픽의 변화를 감지할 필요가 있다. 이러한 트래픽의 변화를 감지하는 방법으로는 workload 모델^[10]의 I 프레임 크기 기반 결정법(I frame-based decision)이 있다. 영상 프레임들 중에서 I 프레임들의 집합은 영상 트래픽의 동적인 특성을 보다 큰 단위로 쉽게 추출해 낼 수 있게 해 주는데, 그 이유는 움직임에 의해 발생하는 I 프레임의 모든 수정 내용이 다음 I 프레임의 정보 속에 함축되어 있기 때문이다. 이 방법은 트래픽의 변화는 장면 전환(scene change)에 따른 것으로 보고, 이러한 장면 전환점을 찾기 위해 5가지 subtrace 패턴을 구하고 이를 이용한다. 그러나 이 방법은 확장성에 있어서 몇 가지 한계점을 드러낸다. 영상뿐만 아니라 다른 종류의 스트림이 다중화된 트래픽일 경우의 적용이나, 변화 시점을 추출하는 레벨이 프레임 레벨이 아닐 경우, 그리고 트래픽의 변화 정도가 너무 심하거나, 약해서 오히려 더 큰 단위나 더 미세한 단위로 모니터링할 필요가 있는 경우에 이러한 방법은 I 프레임의 특성에 의존적인 방식이므로 확장성 문제점들이 생긴다. 그러므로 본 논문에서는 모든 프레임 크기를 이용

하는 부분합 기법(sub-sum technique)을 사용한다. 부분합을 이용하게 되면 트래픽을 보다 넓게 혹은 자세하게 관찰하여 결정할 수 있다.(IV장을 참조)

일반적으로 트래픽량을 예측하기 위해서 연산적 기법은 유한 모니터링 방법을 쓰는데, 이러한 방법은 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.

- 유한 모니터링으로는 결코 전체 트래픽의 경향을 알 수 없다.
- 트래픽 특성화를 위해 필요한 충분한 모니터링 양은 적어도 수십에서 수백 프레임이 되며, 소스의 특성에 따라 그 양은 변한다.
- 계산 복잡도가 높다. 즉, n 개 frame을 모니터링했을 경우에, 복잡도는 적어도 $O(n)$ 이다. 만약 복잡도가 낮다면, 정확도가 매우 낮게 된다.
- 초기 모니터링은 시간 비용을 수반한다. 즉, 지연에 민감한 상위 레벨의 요구사항을 충족시키기가 어렵다.

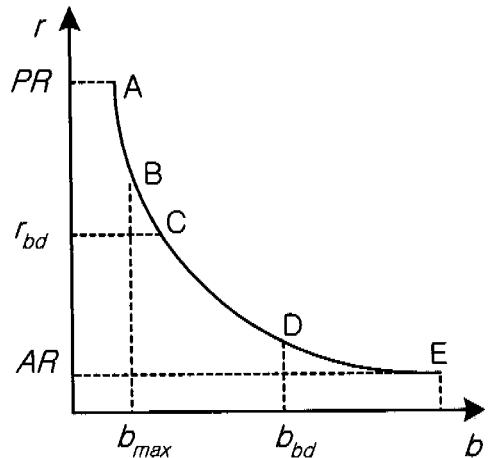


그림 1. VBR 소스에 대한 망 자원 연관 곡선

토큰 버킷 매개변수 r 과 b 은 서로 연관되어져 있다. r 과 b 의 연관 곡선은 그림 1과 같다. 이러한 곡선은 해석적 모델^[7]을 이용해서 얻어질 수 있다. 할당된 버퍼의 크기가 작을 때는 커다란 대역폭이 지연과 손실 요구사항을 충족시키기 위해 요구된다. 그러나 버퍼의 사용가능한 양이 늘어날수록 QoS를 만족시키기 위한 대역폭은 점진적으로 평균 속도(E 점)를 향해 줄어든다. 점 B는 버퍼의 크기가 QoS 보장을 위해 제한되는 점이다^[11]. 즉, 너무 많은 중간 노드에서 버퍼링은 과도한 큐잉 지연을 유발하게 되어 요구되는 QoS 요구사항을 어기게 된다.

본 논문에서는 QoS를 만족시키는 그림 1의 r, b 영역을 아래와 같이 세 가지로 나누어 구분했다.

- 속도 우세 구간(rate-dominant region) : AC 구간
- 버퍼 우세 구간(buffer-dominant region) : DE 구간
- 중간 완충 구간(middle region) : CD 구간

각각의 경계 r_{bd} 와 b_{bd} 는 최고치와 최소치의 중간 값으로 정하였다. 이렇게 경계를 정한 이유는 트래픽 소스마다 특성이 다르고, 압축 기법에 따라서도 곡선의 모양이 조금씩 달라서 각 구간의 경계라고 볼 수 있는 점들의 위치가 많이 달라지기 때문이다. 여기서 점 B는 점 C 이후에 나타날 수도 있다.

Tspec으로써 점 E를 이용할 경우에는 비록 최저의 서비스 속도를 이용한다고 하더라도, 너무 많은 버퍼링을 요구하기 때문에 다른 점에서 보다 더 많은 망 자원을 요구하게 된다. 본 논문에서는 지연에 민감한 트래픽의 무손실 전송을 위해 높은 속도를 요구하는 속도 우세 구간에 대해서 연구하였다. 속도 우세 구간은 상대적으로 적은 양의 버퍼를 소모하므로 큐잉 지연이 적고 적정 버퍼 크기의 계산이 용이하다. 왜냐하면, 감소된 속도를 만회하기 위한 버퍼 크기의 증분은 대부분의 토큰이 높은 속도로 인하여 보충 중지(suspending)되므로 간단히 계산될 수 있다.(IV장의 (5)식 참조) 버퍼 우세 구간의 경우, 지연 민감한 응용의 경우에 부적절하고 망 자원의 소모 또한 크다. 중간 완충 지역의 경우에는 필연적으로 트래픽 특성에 따른 정교한 예측 알고리즘이 필요하다. 이는 향후 DVBR 방식의 확장을 위해 필요한 연구의 부분이 된다. 그러나 일반적으로 지연에 민감한 응용의 QoS 요구사항은 점 C 이전에 더 이상의 버퍼 크기 증가를 허용하지 않을 것이다.

IV. DVBR

Dynamic VBR방식은 peak rate로 서비스를 시작해서(그림 1의 A점) 네트워크 망 자원을 보다 더 절약할 수 있도록 버퍼링 능력을 조금씩 이용해 나가는 방식(그림 1의 C점으로 곡선을 따라 이동하는 방식)이다. 따라서 곡선을 따라 Tspec을 변화시킴에 있어, 그 시기의 판단과 변화량 결정을 보다 최적화하고 패킷 손실률을 최소화 하는데 역점을 둔다. Tspec의 변경 시점을 판단하기 위해서는 모든 프레임 크기의 부분합을 이용하는 sub-sum trace monitoring (SSTM)

기법을 고안하여 적용하며, 변화량 결정을 위해서 Convergence 알고리즘을 이용한다.

DVBR방식은 두 가지 큰 특징을 가지고 있다. 하나는 초기 peak rate으로 Tspec을 기술했을 때 때문에 연결 요청자가 트래픽 특성화를 할 때 요구되는 시간 비용이 없다는 점이다. peak rate은 일반적으로 데이터 스트림의 소스인 encoder 설정 시에, 이미 정해진 값이나 사용자 정의값으로 정하여지므로 쉽게 정할 수 있으며 초기 버퍼 크기 또한 자동으로 정해진다. 두 번째 특징은 Tspec을 전송 중에 망 자원 사용 효율을 높이는 방식으로 바꾼다는 점이다. 즉, 초기 peak rate값은 매우 과도한 망자원의 예약을 요구하므로, 이를 트래픽 급변 정도를 관찰하면서 줄여나가고, 버퍼크기를 속도감소량을 고려해서 증가시킨다. 이 때 증가되는 버퍼의 크기는 상대적으로 매우 작아도 그림 1에서 알 수 있는 바와 같이 커다란 손실은 없다. 결국 망자원 예약량을 r 과 b 값의 조절을 통해 줄여나가게 되는 것이다. 전자는 지연에 민감한 트래픽의 경우에 선호되는 특성이고, 후자의 경우는 네트워크에 의해 수락된 DVBR의 effective bandwidth가 단계적으로 감소하

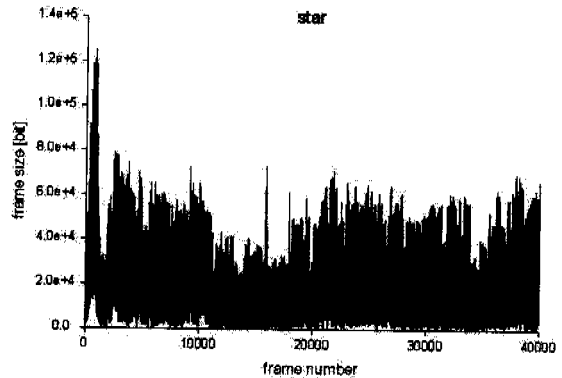


그림 2. 프레임 크기의 변화

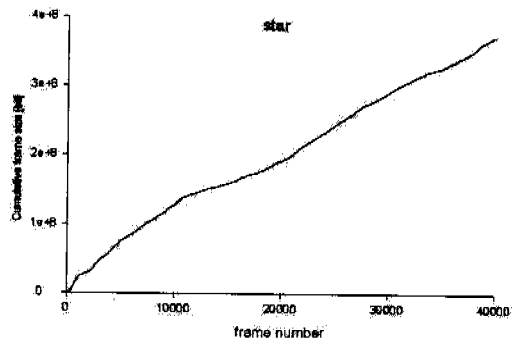


그림 3. 누적 프레임 크기의 변화

게 만들어 결국에는 망 사용 효율을 높일 수 있도록 만드는 장점이 있다.

1. SSTM

III장에서 설명된 바와 같이 트래픽 변화의 경향은 적어도 수십에서 수백 개의 프레임 정보가 있어야 한다. 반드시 프레임 단위가 아니라도 상위 레벨에서 네트워크 레벨로 넘겨지는 단위의 데이터들도 마찬가지로 할 수 있다. 그림 2는 MPEG1 encoder로부터 나오는 프레임들의 크기를 보여준다. 그림 3과 같은 누적 그래프는 트래픽 변화를 기울기의 증감을 통해 보다 거시적이면서도 쉽게 알게 해 준다. 그림 4는 트래픽 경향을 좀 더 의미 있는 단위로 묶어 주는 프레임 크기의 부분합(sub-sum : SS)의 trace를 보여준다. SSTM은 이러한 SS의 변화를 이용해서 보다 분명하게 트래픽의 변화를 탐지해낸다. 이 때 몇 개의 프레임(이하 sum-order : SO)의 합으로 SS를 결정하느냐에 따라 트래픽을 보다 크게 또는 작게 관찰할 수 있다. SSTM은 이렇게 관찰된 트래픽 변화를 통해 Tspec을 갱신할

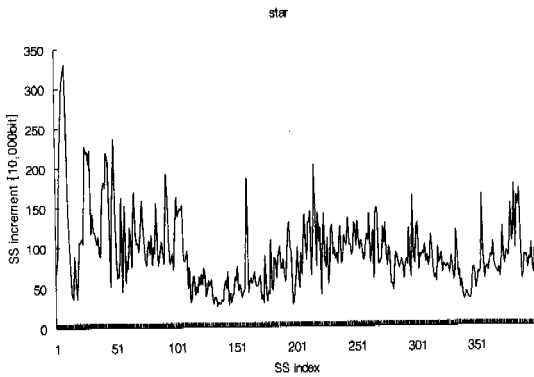


그림 4. SS의 변화 (SO=100)

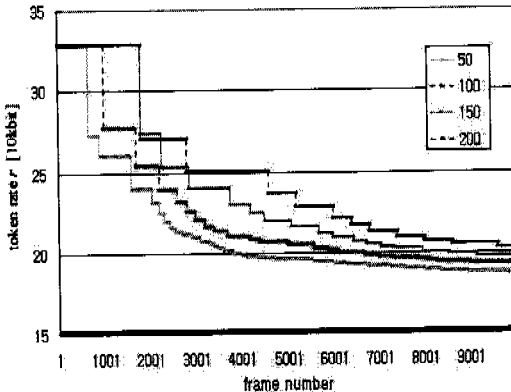


그림 5. token rate의 수렴(SO = 50, 100, 150, 200)

표 1. SO와 UP의 수

| SO | 50 | 100 | 150 | 200 |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| #UP | 100 | 58 | 37 | 44 |

시점을 선택한다. Tspec 변경 시점(이하 Updating Point: UP)의 결정은 이전 SS값과의 차이값이 양에서 음으로 바뀌는 시점으로 선택하였다. 이는 화면의 장면 전환과 같은 트래픽의 급증 순간을 넘긴 시점을 택한 것으로 트래픽의 급격한 변화 정보를 추출할 수 있고 평균 속도 계산을 위한 트래픽 양도 증가된 의미 있는 시점이기 때문이다. 따라서 SO가 작으면 작을 수록 UP의 수가 많아지게 된다. 그러나 UP의 수는 점유 대역폭의 단조 감소 특성의 구현을 위해 표 1에서 보는 바와 같이 반드시 반비례하여 나타나지는 않게 된다. 그림 5는 SSTM 방식의 SO값 변화에 따른 token rate의 속도 수렴 변화를 보여준다. 즉, SO가 작은 값일수록 변화가 자주 일어난다.

2. Convergence algorithm

UP를 찾는 문제는 SSTM으로 해결하고 남은 문제는 변화량을 어떻게 정할 것인지이다. 이러한 결정을 위해 SSTM으로부터 전체 지금까지 누적된 트래픽 양 정보와 트래픽이 발생 시작 이래 지금까지 시간 정보를 얻어 지금까지의 트래픽 정보에만 한정된 전송 평균 속도(Average Rate: AR)를 얻는다. 이 값을 이용해 수렴하고자 하는 속도 우세 구간의 최적 속도(Optimal Rate(r_{bd}): OR)로 바로 변경하게 될 경우, 향후 발생할 지도 모르는 burst에 대한 아무런 대비도 할 수 없을 뿐이라 현재 AR값이 전체 트래픽에 대한 AR값이 아니라는 점에서 엄청난 패킷 손실을 유발할 수 있다. 그래서 현재의 속도(Current Rate : CR)를 점진적으로 낮추어 가는 방법을 택했고 UP를 만나는 순간마다 전체 OR에 수렴될 수 있도록 하는 Convergence 알고리즘을 고안했다. 현재의 전송 속도 CR은 peak rate(PR)로부터 식 (1)-(4)와 같이 조금씩 감소된다.

$$AR(j) = \frac{TrafficSum}{TimeSum(j)} \tag{1}$$

$$h(j) = \frac{\max Traffic(j)}{SO} * \alpha \tag{2}$$

$$\Delta Rate(j) = \frac{CR(j) - AR(j)}{1 + h(j)/j} \tag{3}$$

$$CR(j+1) := PR - \Delta Rate(j) \quad (4)$$

where

j : UP index

$OR(j)$: optimal rate in j -th UP

$AR(j)$: average rate in j -th UP

$TrafficSum(j)$: SS sum in j -th UP

$TimeSum(j)$: runtime until j -th UP

$h(j)$: hazard function

$maxTraffic(j)$: max. SS until j -th UP

α : adjustment factor (default: 0.000125)

이 때, 반드시 $\Delta Rate(j)$ 는 단조 증가함수로 정의되어야만 한다. 왜냐하면, 망에서 기존의 허용 대역폭 이상의 대역폭 요구가 random하게 발생하는 것은 새로운 연결을 설정하는데, 매우 불안정한 요소로 작용할 수 있기 때문이다. 따라서 $\Delta Rate(j)$ 는 식 (3)에 의해 값이 정해진 후, 아래와 같이 정의된다.

If ($\Delta Rate(j) < \Delta Rate(j-1)$) then

$\Delta Rate(j) := \Delta Rate(j-1)$; // CR값 무변화

$a := a * 2$; //변동폭을 줄인다.

$j := j-1$; //UP에서 제외한다.

end if

이렇게 정의된 $CR(j)$ 값은 j 값이 증가함에 따라 전체 트래픽의 모니터링을 선행했을 때 얻어질 수 있는 OR로 수렴하게 된다. 그러나 실제 OR은 그림 1의 r_{bd} 값과 같아지지 않고 보다 크거나 작은 값으로 수렴하게 된다. 더 작은 값으로 수렴하게 되는 경우는 초기 위험 구간 ($h(j)/j > 1$ 인 구간)을 지나 트래픽이 감소한 시점을 겪을 경우, AR이 전체 트래픽의 평균 속도보다 약간이나마 낮아지는 경향이 있기 때문에 생겨난다. 그러나 그 차이는 매우 작은 값이 된다.

초기 token bucket 매개변수 r (bucket rate: 평균 서비스 속도)과 b (bucket depth: burst-흡수 버퍼)는 아래와 같이 결정되어 손실을 방지한다.

$$r = CR(0) = PR;$$

$$b = I / PR;$$

where I is maximum data interarrival time from high-layer

이러한 초기값은 지연에 민감한(delay-sensitive)

상위 레벨 응용의 경우에 CBR로 전송하는 경우와 같아진다. 일반적인 VBR 소스는 인코더 내부적으로 shaping되어 Peak rate(PR)값으로 최대 데이터 전송 속도가 한정되어지므로 PR값을 부호화 전에 미리 알고 위와 같이 정해 줄 수 있다. 그 때의 $r(=PR)$ 값은 최대치이므로 초기 실제 망에서 차지하는 EB는 최대가 되지만, 초기 트래픽의 시간 지연 및 손실을 방지할 수 있다. 이후에 UP를 만나 OR에 조금씩 접근하게 되면서 r 값이 줄어들어 비례적으로 EB가 감소하여 망의 효율성을 증대시키며, 최대 SS값을 반영해 위험도에 맞게 적응 단계를 조절하고 부득이하게 CR의 증가를 유발하게 되는 경우에는 α 값을 두 배씩 늘려 보다 거시적인 관점에서 트래픽을 관찰하고 적응해 가도록 한다. 이러한 방식은 매우 간단하면서도 복잡성이 거의 없으므로 계산 부하가 매우 적은 방식이다. 본 논문에서 초기에 OR로 바로 수렴하지 못하도록 여러 장치(식 (2),(3))를 한 것은 소스의 특성에 따라 수렴하게 되는 최적 평균 속도가 다르고 그 결정 시기 또한 다르기 때문이다.

r 값이 변함에 따라 b 값도 변하게 되는데, 다음과 같다.

$$b = (CR(j-1) - CR(j)) * I \quad (5)$$

이로서 이전과 같은 burst 흡수 능력을 유지한다. 식 (5)와 같은 방식은 속도 우세 구간에서 일반적으로 모든 프레임이 suspended됨에 기인한 것이나, 최적 크기로 갱신되는 것은 아니다. 최적 b 값으로의 갱신은 트래픽의 발생 패턴을 구하는 알고리즘을 이용할 필요가 있다. 그러나, DVBR에서는 이러한 예측 알고리즘을 이용하지 않았다. 예측 알고리즘을 이용한다면, 보다 자원 예약량을 줄일 수 있는 반면, 구현하는데 있어 계산 복잡도가 증가할 것이다. 따라서 식 (5)는 그림 1에서 DVBR이 점 C보다 더 높은 점에서 서비스하는 방식을 말해 준다. 보다 최적화된 b 값 계산을 위한 알고리즘은 향후 연구의 한 부분이다.

SO값의 선택은 처리 부하와 망 자원 효율성과의 tradeoff 대상이다. 너무 작은 값은 이를 처리하는 망 내 switch CAC의 처리 부하를 유발시키고, 너무 큰 값은 OR 접근하는데 오래 걸리므로 그렇지 않은 경우에 비해 많은 양의 망 자원을 예약하게 된다.

계속 갱신되는 Tspec의 b 값은 상위 레벨에서 요구하는 지연 deadline과 망 내에서 겪게 될 패킷들

의 전체 큐잉 지연을 고려해서 갱신이 한정되어야만 한다. 즉, convergence 알고리즘은 그림 1의 점 B를 넘어설 수 없다.

V. 실험 및 결과

본 연구에서 제안하는 DVBR방식은 지연에 민감한 상위계층 요구에 대해서만 일반적인 VBR 트래픽 특성화 방식보다 더 좋은 특성을 갖게 된다. 그러므로 본 연구에서는 성능 평가로서 MPEG1으로 부호화된 3가지 소스^[12]에 대해 CBR과 VBR에 비해 DVBR방식이 얼마나 망 자원을 소모하는 지를 보인다.

VBR로 기술된 트래픽에서 평균 속도 r 값만으로는 실제 소모되는 망 자원을 정확히 기술할 수 없어 EB개념^[13]이 쓰인다. 간단한 계산을 위해 Lucent의 CAC^[14]에 적용된 EB 계산식^[13](손실이 없는 다중화 시 EB계산식)을 소개하면 다음과 같다. token bucket depth b 값(B_T)은 망 내 스위치의 입력단 buffer 요구량으로 이해될 수 있고 스위치 입력큐의 길이(B)와 스위치 처리 능력(C)에 따라 $B_T(B/C)$ 만큼의 대역폭을 우선적으로 할당받게 되는데, token bucket rate 값($r=CR$)이 크거나 작은 경우에 따라 식 (6)과 같은 EB값이 된다.

$$EB = \begin{cases} \frac{PR}{1 + \frac{B/C}{B_T}(PR - CR)} & \text{if } CR \leq \frac{B_T}{B/C} \\ CR & \text{if } \frac{B_T}{B/C} \leq CR \leq PR \end{cases} \quad (6)$$

PR로 서비스할 때에 비교하여 DVBR 방식의 망 자원절약능력을 측정하기 위해서는 DVBR방식이 UP 때마다 T_{spec} 을 변화시키므로 시간에 대한 적분치 비교를 이용한다. 망 자원 사용치 R 은 아래 식 (7), (8), (9)와 같이 계산한다. 전체 전송 프레임은 40000개이고, B/C값을 5가지로 나누어 측정된 결과는 표 2와 같다.

$$R_{CBR} = PR * T_{total} \quad (7)$$

$$R_{DVBR} = \sum_{j=1}^n \{ EB(j) * T(j) \} \quad (8)$$

$$R_{VBR} = EB * T_{total} \quad (9)$$

where

T_{total} : total runtime,

$EB(j)$: $CR - CR(j)$, $B_T - B_T(j)$ in (6),

$T(j)$: runtime with j -th (CR , B_T)

VBR과 DVBR의 자원 예약량을 비교하기 위해 아래와 같은 두 가지 VBR 전송 서비스 경우를 고려한다. 이들의 위치와 DVBR을 통한 (r , b)값의 동적 이동 경로는 그림 6과 같다.

- cVBR : 전송 속도 r 을 DVBR의 최종 속도 r 과 같이 놓고 b 값은 그 r 값에 대한 최적 속도를 갖는 VBR 서비스

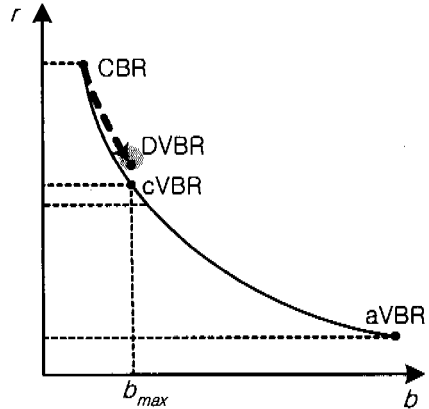


그림 6. 망 자원 연관 곡선 상의 측정점들

표 2. B/C값과 SO값(순서대로 100, 200, 300)에 대한 망 자원 예약량 [MB]

| Source \ B/C | | 0.005 | 0.01 | 0.05 | 0.1 | 0.5 |
|--------------|------|-------|------|------|-----|-----|
| | | 0.005 | 0.01 | 0.05 | 0.1 | 0.5 |
| Star | CBR | 624 | 624 | 624 | 624 | 624 |
| | DVBR | 599 | 578 | 455 | 382 | 382 |
| | | 602 | 581 | 458 | 384 | 384 |
| | | 597 | 578 | 463 | 395 | 395 |
| | cVBR | 592 | 563 | 404 | 366 | 366 |
| 590 | | 559 | 395 | 349 | 349 | |
| 590 | | 560 | 396 | 351 | 351 | |
| aVBR | 624 | 624 | 622 | 619 | 600 | |
| News | CBR | 949 | 949 | 949 | 949 | 949 |
| | DVBR | 920 | 893 | 721 | 661 | 661 |
| | | 903 | 872 | 689 | 601 | 601 |
| | | 905 | 878 | 714 | 648 | 648 |
| | cVBR | 912 | 878 | 676 | 657 | 657 |
| 905 | | 864 | 635 | 592 | 592 | |
| 910 | | 974 | 662 | 636 | 636 | |
| aVBR | 949 | 948 | 942 | 935 | 879 | |
| Soccer | CBR | 951 | 951 | 951 | 951 | 951 |
| | DVBR | 915 | 883 | 693 | 606 | 606 |
| | | 905 | 875 | 693 | 615 | 615 |
| | | 912 | 884 | 711 | 646 | 646 |
| | cVBR | 907 | 866 | 636 | 593 | 593 |
| 907 | | 867 | 640 | 599 | 599 | |
| 910 | | 872 | 653 | 620 | 620 | |
| aVBR | 951 | 951 | 947 | 943 | 911 | |

표 3. DVBR의 자원예약 절감 효과 [%]

| 성능비교 | | star | news | soccer | average |
|------|-----|--------|-------|--------|---------|
| CBR | max | 38.78 | 36.67 | 36.28 | 37.24 |
| | min | 3.53 | 3.06 | 3.79 | 3.46 |
| | ave | 22.72 | 20.51 | 21.45 | 21.56 |
| cVBR | max | -16.92 | -8.50 | -8.96 | -11.46 |
| | min | -1.18 | +0.55 | +0.22 | -0.14 |
| | ave | -7.57 | -2.28 | -3.29 | -4.38 |
| aVBR | max | 43.30 | 35.72 | 37.12 | 38.71 |
| | min | 3.53 | 3.90 | 4.31 | 3.91 |
| | ave | 25.16 | 20.19 | 22.35 | 22.57 |

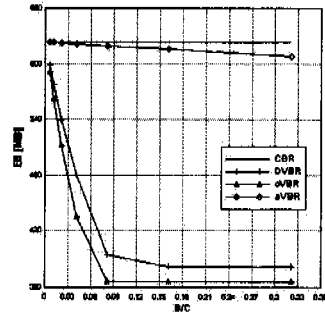
- aVBR : 전송 속도 r 를 전체 트래픽의 평균 속도값으로 갖고, b 값은 그 r 값에 대한 최적 속도를 갖는 VBR 서비스

표 3은 표 2에서 얻은 결과를 바탕으로 DVBR의 망 자원예약 절감 정도를 백분율로 보이고 있는 표이다. 그림 7은 표 2의 결과를 그래프로 보여주고 있다. B/C값은 스위칭 능력 C값을 고정치로 볼 때, 공유 입력 버퍼의 크기를 의미하고, 이 값이 커질수록 VBR 서비스의 다중화 이득이 높아지며 더불어 망 사용 효율도 높아진다. 그림 7에서 B/C값이 작을수록 DVBR과 cVBR 및 aVBR과의 차이가 적어지는 것은 버퍼링 능력을 통한 버스트 흡수력이 줄어들기 때문으로 이해할 수 있다. DVBR방식은 B/C가 커질수록 훨씬 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

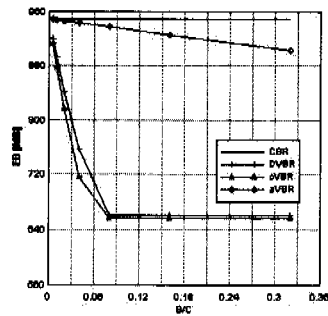
CBR의 경우 스위치 입력단에서 어느 정도의 입력 버퍼를 두든지 상관없이 많은 양의 자원을 일정하게 소모하고 있는 것을 알 수 있다. 그에 반해 DVBR의 경우는 VBR과 같은 특성인 공유 입력버퍼의 크기에 비례하여 적은 양의 망자원을 소모하고 있는 것을 알 수 있다.

cVBR과의 비교에서 평균적으로 -4.38%의 오버헤드는 DVBR방식이 계산의 복잡도를 낮추기 위해 식 (5)와 같이 버퍼 크기를 낮추는데서 오는 결과이다. 그러나, cVBR과 같은 망 자원의 예약은 실시간에서 불가능하고 저장된 영상의 전송에서나 가능한 방식임을 고려해 볼 때, 매우 미미하다고 볼 수 있다.

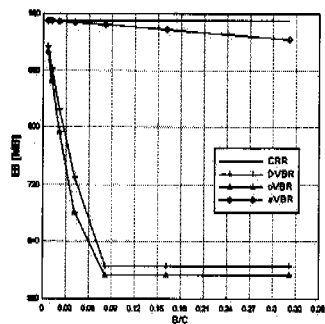
cVBR의 경우 데이터 값이 3가지로 SO값마다 다르게 나타난 이유는 DVBR의 최종 수렴 r 값이 서로 다르기 때문이다. cVBR에 비해 가장 오버헤드가 많이 나타나는 경우는 SO=300인 경우로 SO값이 100이나 200인 경우에 비해 표 1과 그림 5에서 알 수 있듯이 느리게 수렴하기 때문이다.



(a) star



(b) news

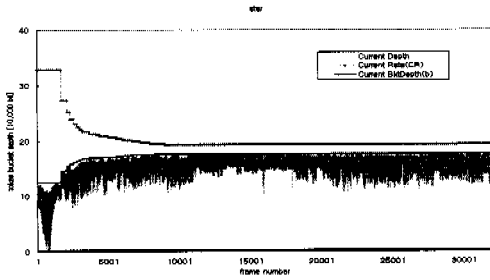


(c) soccer

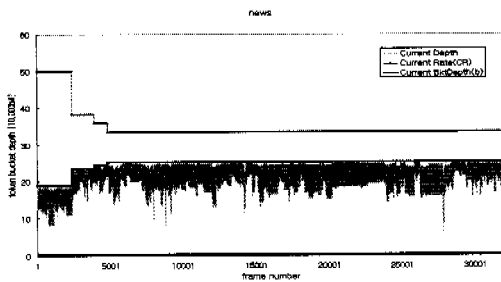
그림 7. 망자원 예약량의 비교 (SO=100)

그림 8은 각 트래픽 소스별 DVBR Tspec의 변화를 보여준다. 비교적 token bucket depth가 크게 설정된 것으로 보인다. 이는 최악의 경우가 발생되지 않았기 때문이다. 최악의 경우란 최대 I 프레임이 token bucket 안에 있는 token을 모두 소모하고 난 후, 감소된 token rate량(Δ) 때문에 token bucket 안에 token이 꽉 차지 못한 상태에서 계속 연이어 token이 바다날 정도로 많은 트래픽이 도착하는 경우이다. 그러나 거의 확률적으로는 불가능한 일이다. 다만 무순실 서비스를 보장하기 위해 식 (5)와 같이 token bucket depth를 정한다. 그림 9는 각 트래픽 소스별 DVBR의 SS trace를 보여준다.

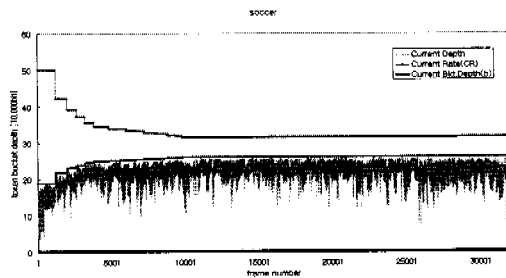
영상의 변화량이 많은 soccer의 경우가 조금 덜한 star보다 트래픽이 더 많으며 다변적이다. SO가 큰 news는 변화가 단순해 보이게 될 뿐만 아니라 트래픽의 성격상 실제 트래픽도 단순함을 그림 9(a)를 통해 알 수 있다.



(a) star, $B/C = 0.001, SO = 100$



(b) news, $B/C = 0.5, SO=300$



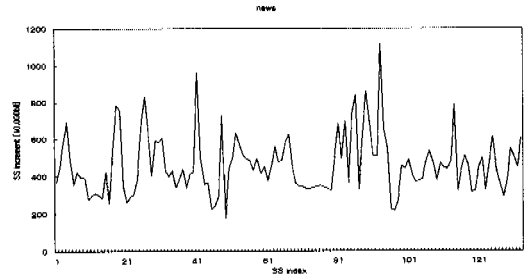
(c) soccer, $B/C = 0.01, SO=200$

그림 8. r 과 b 및 token양의 동적 변화

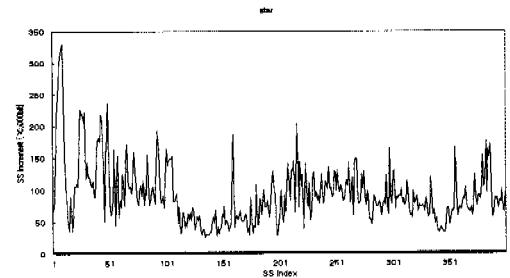
이러한 실험 결과는 DVBR 방식이 지연에 민감한 응용에 있어 rt-VBR의 특성 기술 시, 필요한 시간 비용을 줄여주면서도 망 자원까지 절약할 수 있는 실시간 VBR의 약점을 보완한 방식임을 보여준다. 또한 이 방식은 초기값 설정이 CBR의 경우와 같고 token bucket depth의 증가 방식이 속도차분에 데이터 도착시간 간격을 곱한 값으로 증가되므로

무손실의 특성이 있다.

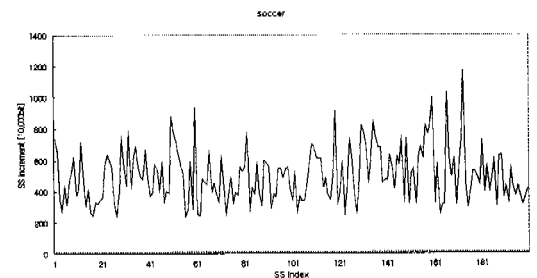
DVBR의 초기 Tspec 설정 방식과 depth의 증가 방식은 통계적인 분석과 예측 알고리즘의 도입을 통해 망자원을 줄이는 방향으로 수정 보완될 수도 있다. 그러나, 그러한 통계적 데이터의 도입을 통한 초기 설정치의 변경은 다분히 사용자의 주관에 따른 것이며, 손실률 및 복잡도의 trade-off일 뿐이다.



(a) news, $B/C = 0.5, SO = 300$



(b) star, $B/C = 0.001, SO = 100$



(c) soccer, $B/C = 0.01, SO = 200$

그림 9. sub-sum trace

VI. 결론

본 논문에서는 지연에 민감한 VBR 트래픽을 DVBR로 특성화하여 비록 미리 최적화된 경우에 비해 대역폭은 다소 더 소모하지만, 더 빠르고 간단

하며 망사용 효율을 높일 수 있음을 살펴보았다. DVBR방식은 소스 트래픽의 특성에 맞게 Tspec 갱신 시점이 능동적으로 변화하면서 token bucket 매개변수들을 기술해 준다. 또한 convergence 알고리즘을 통해 실제 망 자원 예약량의 주요 척도인 effective bandwidth를 감소시켜주며 이를 통해 망 자원의 사용율을 높일 수 있다. 트래픽 사양(Tspec)이 동적으로 변화하더라도 망에서 차지하는 비율을 낮추는 방향으로 변화하므로 망 자원 운용 측면에서 유리한 방식이다. 또한 초기 일정량 이상의 모니터링을 거치지 않아도 되며 모니터링으로 인한 오버헤드도 거의 없어 매우 빠르고 효율적인 방법이라 할 수 있다.

성능 분석을 위한 실험에서는 DVBR이 전체 소스 트래픽을 전송 전에 미리 최적으로 특성화한 경우보다 4~11%에 해당하는 망 자원 예약량의 오버헤드만으로도 트래픽을 효율적으로 특성화하여 CBR방식 전송에 비해 망자원을 3~37% 절약할 수 있음을 보였다. 이로써 DVBR방식이 지연에 민감한 실시간 응용의 경우에 특성화 방식으로서 매우 효과적임을 알 수 있다.

향후 연구로는 본 논문에서 다루지 못했던 상호완충 구간에서의 동적 특성화와 token rate r의 감소에 따른 token depth b의 예측 알고리즘을 통한 증가 방안, 그리고 DVBR을 지원하기 위한 CAC의 고려 사항 및 End-to-End 연결 설정 시에 RSVP와 같은 망자원 메커니즘과의 관계에 대한 확장 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Zhi-Li Zhang, Jim Kurose, et al Smoothing, "Statistical Multiplexing, and Call Admission Control for Stored Video", *IEEE Journal on selected areas in communications*, VOL.15, August 1997.
- [2] V. Frost and B. Melamed. "Traffic Modelling for Telecom-munications Networks", *IEEE Communications Magazine*, 32(3):70-81, March 1994.
- [3] Dallas E. Wrege and Jorg Liebeherr, "Video Traffic Characterization for Multimedia Networks with a Deterministic Service", *Proc. IEEE INFOCOM 96* pp.537-544, March 1996.
- [4] J. Wroclawski, The Use of RSVP with IETF Integrated Services, *RFC 2210*, Network Working Group, September 1997.
- [5] B.Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, and S. Jamin Resource Reservation Protocol (RSVP)-Version 1 Functional Specification, *RFC 2205*, September 1997.
- [6] Bilel Jamoussi, Constraint-Based LSP Setup using LDP, Internet Draft, IETF MPLS Working Group, available at <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-mpls-cr-ldp-03.txt>
- [7] Puqi Perry Tang and Tsung-Yuan Charles Tai, "Network Traffic Characterization Using Token Bucket Model", *Proc. IEEE INFOCOM 99* vol.1. 51-62, March 1999.
- [8] E.W. Knightly, "H-BIND: A New Approach to Providing Statistical Performance Guarantees to VBR Traffic", *Proc. IEEE infocom'96*, April 1996.
- [9] E. Knightly and H. Zhang, "Traffic characterization and switch utilization using deterministic bounding interval dependent traffic models", In *Proc. IEEE Infocom95*, pages 1137-1145, April 1995.
- [10] Pietro Manzoni, Paolo Cremonesi, and Giuseppe Serazzi, "Workload Models of VBR Video Traffic and Their Use in Resource Allocation Policies", *IEEE/ACM transactions on networking*, vol.7, no.3, June 1999.
- [11] Srinivasan Ramaswamy, Pawel Gburznski, "A Dynamic Call Admission Scheme for VBR traffic in ATM networks", *Proc. IEEE International Conference on ATM (ICATM'98)*, pp. 260-269, June 1998.
- [12] O. Rose, "Statistical properties of MPEG video traffic and their impact on traffic modeling in ATM systems", *Technical Report 101, Institute of Computer Science, University of Wurzburg*, February 1995. The traces used in this paper are available via anonymous ftp from the site <ftp-info3.informatik.uni-wuerzburg.de> in the directory /pub/MPEG/.
- [13] A. Elwalid and D. Mitra, Effective bandwidth of general Markovian traffic sources and admission control of high speed networks, *IEEE/ACM Trans. On Networking*, vol. 1, no.

3, pp. 329-343, June 1993.

- [14] Dapeng Wu and H. Jonathan Chao, "Efficient Bandwidth Allocation and Call Admission Control For VBR Service Using UPC Parameters", *Proc. IEEE INFOCOM 99*, Vol.3.

정 일 모(II-Mo Jung)

정회원



1998년 2월 : 한양대학교 수학과
졸업

2000년 2월 : 한양대학교
전자통신학과 석사

2000년 3월~현재 : ETRI
통합망관리팀 연구원

<주관심 분야> IP QoS, streaming service, performance management,

정 재 일(Jae-II Jung)

정회원

한국통신학회 논문지 제23권 3호 참조

이 길 행(Gil-Haeng Lee)

정회원

1984년 2월 : KAIST 전산학과 석사

1996년 2월 : KAIST 전산학과 박사

1986년 2월~현재 : ETRI 책·연통합망관리팀 팀장

<주관심 분야> 분산처리, 음성인식, Real-time DBMS,
망 관리