

ATM 접속노드에서 셀 손실율과 버퍼용량 및 지연시간의 상관관계 분석

정회원 이하철*, 이병섭**

Performance Relation Analysis of CLR, Buffer Capacity and Delay Time in the ATM Access Node

Ha Cheol Lee*, Byung Seub Lee** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 유선 및 무선환경에 상관없이 ATM(Asynchronous Transfer Mode) 접속망의 주요구성 요소인 ATM 접속노드의 셀 손실율, 버퍼용량 및 지연시간간의 상관관계를 제시함으로써 ATM접속망 설계를 위한 기본적인 기술적 사항을 분석하였다. 이를위해 ATM 접속노드의 트래픽 성능평가를 위한 트래픽 모델을 ATM cell-scale queueing, burst-scale queueing 레벨로 구분하여 설명하였고 CBR(Constant Bit Rate), 랜덤 및 VBR(Variable Bit Rate) 트래픽 형태별 모델적용을 검토하였다. 결국 유선 또는 무선방식으로 ATM 서비스를 제공하기 위한 ATM접속노드 설계시 서비스별 QoS(Quality of Service)를 만족시키기 위한 셀 손실율, 버퍼용량 및 지연시간간의 상관관계를 정량적으로 분석하였다.

ABSTRACT

In this paper the performance evaluations on Asynchronous Transfer Mode(ATM) access node are performed in the ATM access network which consists of access node and channel. The performance factors of access node are Cell Loss Ratio(CLR), buffer capacity and delay time. Both the ATM cell-scale queueing model and burst-scale queueing model are considered as the traffic model of access node for various traffic types such as Constant Bit Rate(CBR), Variable Bit Rate(VBR) and random traffic in the ATM access networks. Based on these situations, the relation of CLR, buffer capacity and delay time is analyzed in the ATM access node.

키워드: ATM, CLR, QoS

I. 서론

현재 유선통신 환경에서는 ATM통신망의 구축으로 음성, 데이터, 영상등 멀티미디어 서비스제공이 현실화되고 있다. 한편 무선 통신환경에서도 유선계의 ATM통신망과 접속할수 있고 다양한 형태의 광대역 서비스를 제공할 수 있는 무선 ATM통신망 기술개발을 추진하고 있으며, 궁극적으로 차세대 유무선 통합환경의 광대역 이동통신망으로의 진화를 꾀하고 있다^{1,2,3,4}.

이러한 배경에서 본 논문에서는 기존의 유선 및 무선 전송환경에 상관없이 ATM 접속망의 주요구성 요소인 ATM 접속노드의 셀 손실율, 버퍼용량 및 지연시간간의 관계를 분석함으로써 접속망 설계를 위한 기본적인 기술적 사항을 검토하였다. 기존의 논문에서는 SDH(Synchronous Digital Hierarchy) 환경의 기본 전송속도인 155.520 Mbps에 대해서 트래픽을 단지 이론적인 관점인 ATM cell-scale queueing과 burst-scale queueing 환경으로만 구분하여 셀 손실율, 버퍼용량 및 지연시간간의 상관관계

* 유한대학 정보통신과

** 한국항공대학교 항공통신정보공학과

논문번호 : 020060-0205, 접수일자 : 2002년 2월 5일

를 분석하였다^[5]. 그러나 기존의 분석 내용과는 달리 아직도 통신망에서 많이 사용되고 있는 전송체계인 PDH(Plesiocronous Digital Hierarchy)환경에서 2.048 Mbps의 E1급 속도에 적용하기 위해 실제의 ATM 통신망 트래픽 형태인 VBR, CBR 및 랜덤 트래픽에 대하여 셀 손실율, 버퍼용량 및 지연시간간의 상관관계를 정량적으로 분석함으로써 기존 전송체계에서 사용되는 ATM 접속노드의 성능분석에 역점을 두어 실제의 통신망 환경에 적용될 수 있도록 하였다. 2장에서는 ATM 접속노드의 트래픽 성능평가를 위해 트래픽 모델을 ATM cell-scale queueing, burst-scale queueing 레벨로 구분하여 설명하였고 3장에서는 VBR, CBR 및 랜덤 트래픽에 대하여 셀 손실율, 버퍼용량 및 지연시간간의 상관관계를 정량적으로 분석하였다. 4장에서는 3장의 분석 내용을 기반으로 하여 ATM 접속노드의 성능평가를 수행하였으며 마지막으로 5장에서는 앞으로의 연구방향에 대하여 언급하였다.

II. ATM 접속노드의 트래픽 모델

가입자가 제한된 자원을 경쟁할 때마다 통신시스템에서는 queue가 형성되기 때문에 queueing 프로세스를 분석하는 것은 성능 평가의 필수요소이다. ATM통신망에서도 성능분석을 위해 Queueing이론을 도입하는 것은 예외가 아니며 이를 위해 그림 1과 같은 queueing system을 이용한다^[5]. Queueing 시스템은 가입자의 도착 패턴, 가입자의 서비스 패턴, 서비스 채널수 및 시스템 용량에 의해서 특징지어진다^[6]. ATM 트래픽은 cell scale queueing레벨, burst scale queueing 레벨, 호 접속레벨로 구분하여 분석되어야 한다.

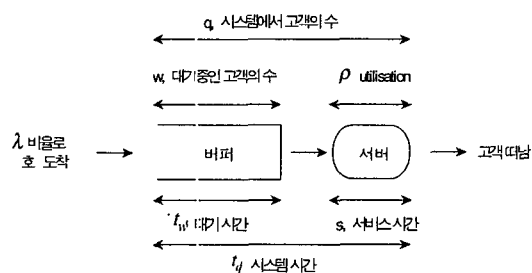


그림 1. Queueing 시스템

1. Cell Scale Queueing

CBR 음성 source들이 1개의 버퍼에 셀을 보낼 때, 모든 음성 source로부터의 셀 도착 프로세스를

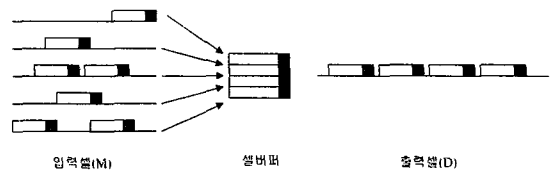
모델하는 경우 음성 source의 수가 충분히 크다고 할 때 Poisson 프로세스를 이용한다. Poisson 프로세스는 하나의 통계적인 모델이며 그림 1에서와 같이 slot당 도착되는 셀 수를 취급한다. 이러한 셀 레벨의 queueing을 cell-scale queueing이라고 한다.

2. Burst scale queueing

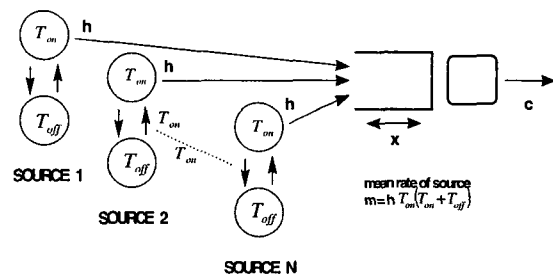
하나의 cell slot이 아닌 여러 셀 slot을 고려하면 주어진 시간동안의 셀 burst를 생각할 수 있다. 즉 동시성 burst형태로 발생하는 셀의 수가 "simultaneous 기간"의 셀 slot수를 초과할 때 queueing이 발생한다. 원래 CBR source 트래픽은 하나의 셀이 도착된 후에 일정길이의 inactive 상태가 따르는 것으로 특징지어질 수 있으며 VBR source 트래픽은 burst cell의 active 상태와 매우 긴 inactive 상태로서 특징 지을 수 있다. 여기서 burst는 일정시간동안의 셀 도착율로 정의된다. 즉 burst scale queueing은 simultaneous burst의 총 입력율이 ATM버퍼의 cell slot rate를 초과하는 경우이다.

III. ATM 접속노드의 성능평가 모델분석

랜덤 트래픽이나 CBR 트래픽의 경우에는 cell scale 성분만이 존재하며 burst성의 source가 존재하는 경우에, 즉 active 상태의 수가 cell slot율을 초과하는 경우에 cell scale과 burst scale 이 모두 존재한다. 그림 2는 접속노드에 적용하기 위한 트래픽 모델을 나타낸다^[5,6].



(a) Cell scale에 적용하기 위한 queueing 모델



(b) Burst scale에 적용하기 위한 다중 ON-OFF Source 모델

그림 2. 접속노드에 적용하기 위한 트래픽 모델

1. CLR(Cell Loss Ratio)

VBR 트래픽인 경우 CLR은 cell scale과 burst scale 성분으로 구분하여 식(1)과 같이 계산된다^[5,9].

$$\begin{aligned}
 CLR_{cs} &= \exp\left[-2x\left(\frac{1-\rho}{\rho}\right)\right] \\
 CLR_{bst}CLR_{bsd} &= \exp\left[-N_0\frac{x}{b}\frac{(1-\rho)^3}{4\rho+1}\right] \\
 &\times \frac{1}{(1-\rho)^2N_0} \frac{(\rho N_0)^{|N_0|}}{|N_0|!} e^{-\rho N_0} \quad (1)
 \end{aligned}$$

CLR_{cs}은 cell scale queueing 환경에서의 셀 손실율, CLR_{bst}은 burst scale queueing 환경에서의 burst scale loss option, CLR_{bsd}은 burst scale queueing 환경에서의 burst scale delay option, ρ는 이용률, x는 버퍼의 크기, N₀는 셀 슬롯율과 1개 source가 발생하는 최대 셀율의 비($\frac{C}{h}$), |N₀|는 N₀이하의 첫 번째 정수값, b는 burst당 평균 셀 수를 말한다.

CBR 트래픽인 경우에 ND/D/1 queue를 이용하여 모델링될 수 있으며 입력 프로세스는 N개의 독립적인 주기성 source를 가지며 각 source는 동일주기 D를 갖는다. 버퍼용량은 무한대라고 가정하며 CLR는 queue가 임의의 버퍼크기 x를 초과할 확률에 의해서 근사될 수 있으며 식(2)와 같이 된다^[5].

$$\begin{aligned}
 CLR &= Q(x) \\
 &= \sum_{n=x+1}^N \left\{ \frac{N!}{n!(N-n)!} \left(\frac{n-x}{D}\right)^n \right. \\
 &\quad \left. \times \left[1 - \left(\frac{n-x}{D}\right)^{N-n} \frac{D-N+x}{D-n+x}\right] \right\} \quad (2)
 \end{aligned}$$

ND/D/1에서 CLR값은 셀 입력률이 서비스율에 근접할 때 근사값으로 구할 수 있으며 이러한 경우를 heavy traffic 상태라고 한다. 즉 ND/D/1 queue의 heavy traffic 조건에서의 CLR은 CLR = Q(x) = exp[-2x($\frac{x}{N} + \frac{1-\rho}{\rho}$)] 이다^[8,10,11]. N값이 매우 큰 경우에 poisson process는 N CBR source에 대해 매우 적절한 근사치이며 N→∞인 경우에 ND/D/1 과 M/D/1은 일치하게 된다.

랜덤 트래픽인 경우에 CLR는 M/D/1 queue시스템을 이용할 수 있으며 M/D/1시스템의 경우에 식(3)과 같다^[5].

$$CLR = Q(x) = \exp\left[-2x\left(\frac{1-\rho}{\rho}\right)\right] \quad (3)$$

이때 $\frac{\rho}{2(1-\rho)}$ 는 M/D/1 시스템의 평균 queue길이가 되며 $\frac{2(1-\rho)}{\rho}$ 는 queue 길이가 감소하는 율을 나타낸다.

그리고 Q(x)는 queue 크기가 x를 초과할 확률을 나타내는데 이는 유한한 버퍼크기 x에 대한 CLR의 근사식이 된다. 이 CLR의 근사식은 일반적으로 이용도가 높은 경우에 적합하며 높은 이용도에서 overestimation되며 낮은 이용도에서는 underestimation된다. 그리고 이 경우에 CLR과 버퍼용량간에는 log-linear관계가 있으며 M/D/1시스템의 CLR 식을 이용하면 $x = -\frac{1}{2}\left(\frac{\rho}{1-\rho}\right)\ln Q(x)$, $\rho = \frac{2x}{2x - \ln Q(x)}$ 이므로 버퍼의 용량을 산정하거나 호 수락제어절차에도 적용할 수 있는 장점이 있다.

2. 버퍼용량 및 지연시간

많은 다양한 형태의 트래픽이 혼합될 때 cell scale 요소 및 burst scale 요소가 모두 존재하는 데 cell scale 요소는 트래픽의 형태에 상관없이 항상 존재하며 특히 VBR 트래픽의 경우에는 burst scale 요소가 추가로 고려되어야 한다. burst scale 요소는 2가지가 있으며 하나는 burst scale loss option(rate envelope multiplexing)으로서 전체 셀 입력률이 셀 슬롯율을 초과하지 않도록 burst 성의 source수를 제한해야 하고 초과되는 경우에 excess-rate 셀이 발생하며 셀은 소실된다. 다른 하나는 excess-rate 셀을 처리할 수 있도록 충분히 큰 버퍼를 가정하는 것이며 일부 셀만이 소실되고 나머지 셀들은 버퍼에서 지연된다. 이것은 burst scale delay option(rate sharing statistical multiplexing) 이라고 한다^[5].

따라서 버퍼의 크기를 얼마로 할 것인가는 중요한 사항이며 통신망으로 트래픽을 어떻게 유입시키느냐에 딸린 문제이다. 또한 버퍼의 용량 선정문제는 CAC(Connection Admission Control)와 같은 제어 메커니즘에 중요한 영향을 미친다. 우선 burst scale loss option인 경우 버퍼는 cell scale constraint 에 따라 크기가 정해지며 burst성의 트래픽량은 버퍼용량을 선정하는데 결정적인 요소는 아니다. 이는 burst성 트래픽을 받아들이는데 CAC 조건이 burst scale 요소를 CLR 요구조건 이하의 값으로 제한하기 때문이다. CAC 알고리즘은 버퍼크기에 따라 성능의 차이를 나타내지는 않는다고 가정한다. 그리하여 burst성의 트래픽인 경우 평균이용도는 낮고 cell scale component의 gradient 는 매우 급한 경사의 곡선을 나타낸다.

그러나 CBR 또는 랜덤트래픽인 경우 cell scale component가 훨씬 더 중요하며 burst scale component는 없으며 버퍼용량은 이러한 트래픽의 최대부하에서 결정된다. 이 경우 제약 요소는 버퍼를 통한 지연 현상인데 특히 interactive 서비스인 경우에 매우 민감하다. 그리고 burst scale delay option인 경우 burst성 트래픽량이 CBR 또는 랜덤 트래픽의 이용률 수준으로 증가될 수 있으며 이 때 버퍼용량은 매우 커야 한다. 그러나 excess(burst scale)셀을 버퍼링 하는데 따른 단점은 큰 버퍼를 통한 지연 현상이 음성 및 인터랙티브 비디오와 같은 서비스에 매우 심각한 영향을 미칠 수 있다는 것이다. 이를 해결하기 위해 분리된 버퍼를 통해 트래픽을 분리하거나 time priority 서버를 사용할 수 있는데 이것은 통신망을 매우 복잡하게 만드는 단점이 있다.

2.1 랜덤 및 CBR source인 경우의 버퍼 용량과 지연시간

랜덤 source의 트래픽과 CBR source의 트래픽은 cell scale queueing에 해당되고, 랜덤 트래픽의 CLR 성능이 더 열악하므로 버퍼용량을 정하기 위해서는 랜덤트래픽의 최대부하를 이용한다. 그리고 최대 지연시간(t_m)은 셀 슬롯당 시간(s)과 버퍼용량(x)을 곱한 것이며 평균 지연시간(t_q)은 부하량(ρ)에 관련되고 식(4)의 M/D/1 시스템에 대한 관계식을 사용하여 계산한다⁵⁾.

$$\begin{aligned} x &= -\frac{1}{2} \frac{\rho}{1-\rho} \ln\{CLR\} \\ t_m &= xs = -\frac{1}{2} \frac{\rho}{1-\rho} \ln\{CLR\} \quad (4) \\ t_q &= t_w + s = \frac{\rho s}{2(1-\rho)} + s \end{aligned}$$

특히 평균 지연시간은 finite M/D/1 시스템의 결과 값에 매우 근접하며 이는 finite M/D/1 시스템에서 손실이 매우 작다고 가정했기 때문이다. 이러한 결과들을 이용하면 셀 손실 및 지연조건에 따른 최대 부하량, 버퍼의 링크율, 버퍼 크기 등을 결정할 수 있다. 결국 이러한 cell-scale queueing 방법은 deterministic bit-rate 전달능력 및 rate envelope multiplexing에 근거한 statistical bit-rate 전달능력을 갖는 통신망에 적용된다. CBR 및 random 트래픽에 대한 buffer 크기를 구하기 위해서는 random 트래픽인 경우에 CLR 성능이 보다 저하되므로 random 트래픽인 경우를 고려하면 된다.

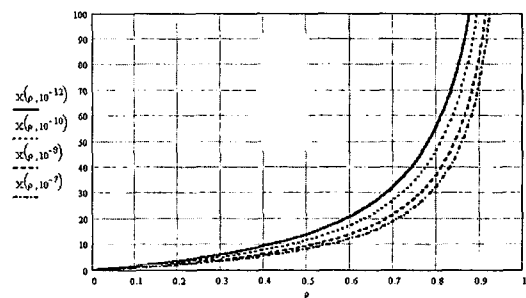
2.2 VBR source인 경우의 버퍼 용량

VBR source의 트래픽은 burst scale queueing 성분을 포함하고 cell scale queueing 성분만을 포함하는 랜덤 및 CBR 트래픽보다 복잡하며 많은 ON-OFF source에서 발생하는 다양한 형태의 트래픽이 혼합된 형태이다. 각 source에서 발생하는 트래픽은 peak cell rate, mean cell rate, active 상태에서의 평균 버스트 길이와 같은 트래픽 변수로 평가된다. 결국 burst scale queueing을 해석하는데 주요 핵심사항(핵심변수)은 burst scale queueing이 발생하는 peak cell rate의 최소수 ($N_0 = \frac{C}{h}$), 평균 버스트 길이에 대한 버퍼 용량의 비율 ($\frac{x}{b}$), 평균부하량(ρ), 셀 손실율(CLR)이 있다. 즉, 식(2)를 이용하면 CLR별로 부하량에 따른 버퍼용량을 분석할 수 있다.

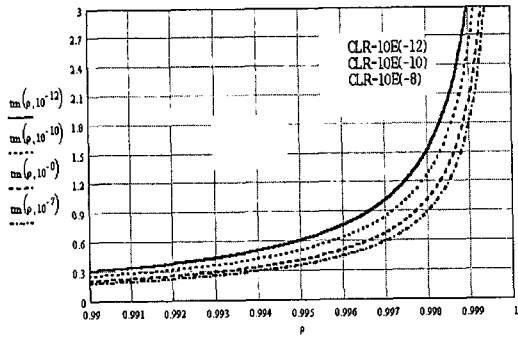
IV. 성능분석

1. 랜덤 및 CBR source의 트래픽인 경우 버퍼용량과 지연 시간

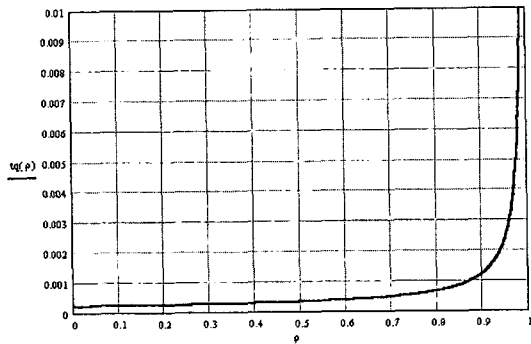
랜덤 source의 트래픽과 CBR source의 트래픽은 cell scale queueing에 해당되고, 랜덤 트래픽의 CLR 성능이 더 열악하므로 버퍼용량을 정하기 위해서는 랜덤 트래픽의 최대부하를 이용한다. X는 버퍼용량, ρ 는 이용도, s는 셀 슬롯 시간간격, t_m 은 최대 지연시간, t_q 는 평균 지연시간을 의미한다. 그림 3은 각각 주어진 CLR값에서 이용도에 따른 버퍼용량 $x(\rho, CLR)$, 주어진 CLR값에서 이용도에 따른 최대지연시간 $t_m(\rho, CLR)$, 이용도에 따른 평균지연시간 $t_q(\rho)$ 를 나타내며 셀 슬롯 시간간격 s는 E1급 회선임을 고려하여 221 μ sec를 이용한다. E1급 회선에 ATM셀을 평균 20 셀/sec의 속도로 전송할 때 랜덤 트래픽의 부하량에 따른 버퍼용량과 셀



(a) 버퍼용량



(b) 최대지연시간

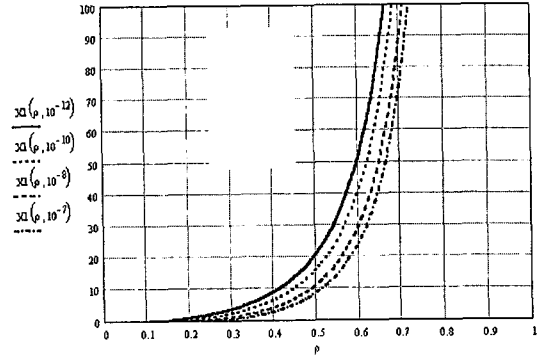


(c) 평균지연시간

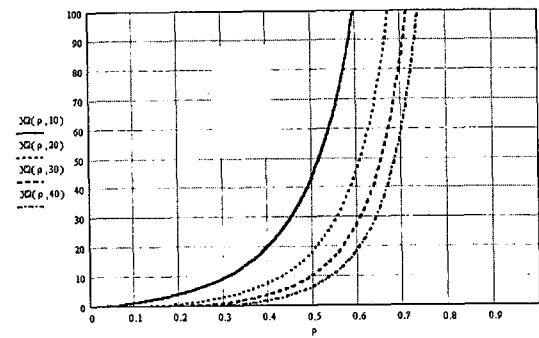
그림 3. 랜덤 트래픽의 부하량에 따른 버퍼용량 및 지연시간
지연시간을 나타내고 있는 데 트래픽의 부하량이 증가함에 따라 요구되는 CLR을 유지하기 위해서 버퍼용량을 증가시키는 것은 당연하나 이로 인해 셀 지연시간의 증가를 초래하게 됨을 보이고 있다.

2. VBR source의 트래픽인 경우 burst-scale queueing의 버퍼용량

VBR source의 트래픽은 burst scale queueing 성분을 포함하고 cell scale queueing 성분만을 포함하는 랜덤 및 CBR 트래픽보다 복잡하며 많은 ON-OFF source에서 발생하는 다양한 형태의 트래픽이 혼합된 형태이다. 식(2)를 이용하여 VBR source 트래픽의 burst scale queueing 성분에 대한 CLR별 부하량(ρ)에 따른 평균 burst 길이 당 버퍼용량 $X1(\rho, CLR)$ 와 $N_0(C/h)$ 별 부하량(ρ)에 따른 평균 burst 길이 당 버퍼용량 $X2(\rho, N_0)$ 는 그림 4와 같다. (a)의 경우 셀 슬롯율(C)은 4528 셀/sec, 1개의 source가 발생하는 최대 셀율(h)은 200 셀/sec로 가정하여 N_0 는 22.64를 이용하였으며, (b)의 경우 CLR을 10^{-10} 이라고 가정하였다.



(a) CLR별 부하량에 따른 평균 버스트길이당 버퍼용량



(b) N_0 별 부하량에 따른 평균 버스트길이당 버퍼용량

그림 4. VBR 트래픽의 부하량에 따른 평균 버스트 길이당 버퍼용량

V. 맺음말

본 논문에서는 기존의 전송체제인 PDH의 E1급 전송로에 접속된 ATM 접속노드의 셀 손실율, 버퍼용량 및 지연시간간의 상관관계를 분석함으로써 QoS를 고려한 ATM 접속 노드의 트래픽 성능을 분석하는데 중점을 두었다. 이를 위해 ATM 접속노드에 적용할 수 있는 트래픽 모델을 도입하여 cell scale과 burst scale로 구분하여 분석하였으며 CBR, 랜덤 및 VBR 트래픽 형태별 적용모델을 검토하였다. 결국 CBR 및 랜덤 트래픽에는 cell scale성분만이 존재하며 VBR 트래픽에는 cell scale 및 burst scale성분이 모두 존재한다. 이러한 검토된 모델을 이용하여 CBR, 랜덤 및 VBR 트래픽 형태별로 트래픽의 부하량에 따른 버퍼용량과 셀 지연시간을 분석한 결과 트래픽의 부하량이 증가함에 따라 요구되는 CLR을 유지하기 위해서 버퍼용량을 증가시키는 것은 당연하나 이로 인해 셀 지연시간의 증가를 초래하게 됨을 알 수 있다. 결국 유선 또는 무선 방식으로 ATM 서비스를 제공하기 위한 ATM접속

망 설계시 서비스별 QoS를 만족시키기 위해서 본 논문에서 검토된 셀 손실율, 버퍼용량 및 지연시간 간의 관계가 고려되어야 한다. 향후에는 본 논문에서 수행한 연구결과를 바탕으로 ATM트래픽이 혼합되고 MAC(Media Access Control) 프로토콜 환경을 고려한 ATM접속 노드의 혼합 트래픽 성능연구를 수행할 예정이다.

참고 문헌

[1] Dipankar Raychaudhuri, "ATM-based Transport Architecture for Multiservices wireless Personal Communication Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 12, No. 8, October 1994.

[2] B. Jafarian and A. H. Aghvami, "Performance of Multiservice Dynamic Reservation (MDR) TDMA for Multimedia Wireless Networks," IEEE ICUPC'96, pp. 291-294, 1996.

[3] Dipankar Raychaudhuri, "Wireless ATM Networks : Architecture, System Design and Prototyping," IEEE Personal Communications, pp. 42-49, Aug. 1996.

[4] C-K Toh, "Wireless ATM and AD-Hoc Networks," Kluwer Academic Publishers, pp. 27-28, 1997.

[5] J. M. Pitts and J. A. Schormans, "Introduction to ATM Design and Performance," John Wiley & Sons, 1996.

[6] Mike Sexton, Andy Reid, Broadband Networking, Artech House, Boston, 1997

[7] Abbas Mohanmadi, David Klymyshyn and Surinder Kumar, "Characterization of Effective Bandwidth as a Metric of Quality of Service for Wired and Wireless ATM Networks," IEEE '97, pp. 1019-1024, 1997.

[8] 김영일, 이하철, 이병섭, 류근호, "무선ATM 접속망에서 CBR 트래픽의 셀 손실율 분석 및 개선방안," 한국통신학회 논문지, 제24권 제6B호, pp. 1088-1097, Jun. 1999.

[9] 이하철, 이병섭, "무선ATM 접속망에서 VBR 트래픽의 셀 손실율분석 및 개선방안," 한국통신학회 논문지, 제 26권 제6T호, pp. 29-39, Jun. 1999.

[10] 이하철, 이병섭, "CLR Performance Improve-

ment of CBR Traffic in Wireless ATM Access Networks," 4th CIC, Proceedings Vol. 2, pp. 353-357, Sep. 1999.

[11] 이하철, 이병섭, "CLR Performance Improvement of CBR Traffic in Wireless ATM Access Networks," IEEE VTC '99, Sep. 1999.

이 하 철(Ha Cheol Lee)



소속: 유한대학 정보통신과 (Dept. of Telecomm., Yuhan College)

1983. 2: 한국항공대학교 항공통신공학과 (공학사)

1990. 8: 한국항공대학교 항공통신정보공학과(공학석사)

1999. 8: 한국항공대학교 항공통신정보공학과(공학박사)

1993. 12: 정보통신기술사

1999. 3: 특급감리원

1983. 3~1985. 6: 한국전자통신연구소 연구원

1985. 6~1995. 8: 한국통신 연구개발원 실장

1995. 9~현재: 유한대학 정보통신과 부교수

E-mail : hclee@yuhan.ac.kr

<주관심 분야> 무선 데이터통신, ATM통신, 트래픽 이론, 통신 프로토콜

이 병 섭(Byung Seub Lee)



소속: 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (Dept. of Telecomm. Eng., Hankuk Aviation University)

1979. 2: 한국항공대학교 항공통신공학과 졸업(공학사)

1979. 2: 한국항공대학교 항공통신공학과 졸업(공학사)

1981. 2: 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1990. 5: New Jersey Institute of Technology(공학박사)

1981. 3~1992. 9: 한국전자통신연구소 연구실장

1992. 9~현재: 한국항공대학교 항공통신정보공학과 부교수

E-mail : lbs@mail.hangkong.ac.kr

<주관심 분야> 위성통신, 신호처리, Adaptive array 안테나, 무선ATM망