DBpia

논문 01-26-1A-17 한국통신학회논문지 '01-1 Vol.26 No.1A

무선ATM 접속망의 에러제어구조 및 CBR 트래픽의 CLR성능개선

정회원 이 하 철*, 이 병 섭**

A Study on the Error Control Architecture and CLR Performance Improvement for CBR Traffic in the Wireless ATM Access Network

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

요 약

본 논문에서는 접속노드와 무선채널로 구성되는 무선ATM(Asynchronous Transfer Mode) 접속망의 CLR(Cell Loss Ratio) 성능을 개선할 수 있는 에러제어 구조를 제안하였으며 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽에 적합한 제안기법 적용시 접속망의 CLR성능이 개선됨을 확인하였다. 이를 위해 우선 무선ATM 접속망의 트래픽 모델을 cell scale, burst scale로 구분하여 분석하였고 무선접속노드의 CLR 성능을 나타낼 수 있는 수식을 CBR 트래픽에 대하여 제시하였으며 무선채널에 대해서는 랜덤에러 및 버스트 에러환경으로 구분하여 CLR 성능을 나타낼 수 있는 수식을 유도하였다. 그리고 접속노드와 무선채널의 CLR을 나타내는 수식을 이용하여 무선ATM 접속망의 CLR 성능을 나타내는 수식을 도출하였다. 그리고 무선ATM 접속망의 CLR 성능을 개선하기 위한 에러제어 구조를 제안하였으며 기존의 에러제어기법을 적용한 경우의 CLR과 본 논문에서 제시한 에러제어기법인 CBR 트래픽에 적합한 concatenated FEC(Forward Error Correction)기법을 적용한 경우의 CLR을 평가하여 비교 분석함으로서 본 논문에서 제안한 기법이 우수함을 입증하였다.

ABSTRACT

In this paper we suggest error control architecture to improve CLR performance degradation on wireless ATM access networks which consist of access node and wireless channel. it is confirmed that when the recommended error control scheme appropriate for CBR traffic is used, CLR performance on the wireless ATM access networks is improved. it is focused on the impact of the bit error characteristics of a wireless link and buffer capacity of access node on the wireless ATM access networks. based on the cell scale and burst scale, traffic model of wireless ATM access network is analyzed. the CLR equation due to buffer overflow for wireless access node is derived for CBR traffic. the CLR equation due to random bit errors and burst errors for wireless channel is derived. Using the CLR equation for both access node and wireless channel, the CLR equation of wireless ATM access network is derived and we evaluate the CLR performance on the wireless ATM access networks with conventional error control schemes and recommended error control scheme, that is, concatenated FEC scheme. It is confirmed that CLR performance of the wireless ATM access networks with recommended error control schemes is superior to that of wireless ATM access networks with conventional error control schemes.

Ⅰ. 서 론

현재 유선통신 환경에서는 ATM통신망의 구축으로 음성, 데이터, 영상등 멀티미디어 서비스제공이 현실화되고 있다. 한편 무선 통신환경에서도 유선계의 ATM통신망과 접속할수 있고 다양한 형태의 광

* 유한대학 정보통신과 조교수 ** 한국항공대학교 항공통신정보공학과 부교수

논문번호 : 00046-0207, 접수일자 : 2000년 2월 7일

www.dbpia.co.kr

대역 서비스를 제공할 수 있는 무선 ATM통신망 기술개발을 추진하고 있으며, 궁극적으로 차세대 유무선 통합환경의 광대역 이동통신망으로의 진화를 꾀하고 있다. 원래 ATM기술은 전송성능이 우수한 광전송을 기반으로 한 유선망에 적용할 수 있도록 개발되었다. 그러나 무선ATM통신망에서 ATM기술을 무선링크에 적용하는 경우에 페이딩에 따른 Rayleigh 및 Rician 채널특성, 전력제한, 단일 및 버스트 에러로 인해 유선링크에서 보다 상당한 전송성능 열화가 예상되며 이를 보상하기 위한 방안들이 강구되어야 한다.

이러한 배경에서 본 논문에서는 무선 ATM 접속망의 트래픽 성능분석을 통해 ATM 트래픽의 형태별 서비스 요구조건을 만족시킬 수 있는 통합 에러제어 구조를 제안하여 CBR 트래픽에 적합한 제안기법 적용후 CLR 성능이 우수함을 입증하였다. 2장에서는 무선 ATM 접속망의 구조 및 트래픽 모델을 살표보았고 3장에서는 무선접속노드, 무선채널 및 무선ATM 접속망의 CLR 성능평가 모델을 분석하였다. 4장에서는 ATM 접속망의 CLR 성능을 개선하기 위한 통합 에러제어구조를 제시하였으며 5장에서는 기존의 에러제어기법과 제안기법을 이용하여 무선 ATM 접속망의 CLR성능을 비교 분석하였다. 마지막으로 6장에서는 앞으로의 연구방향에 대하여 언급하였다.

Ⅱ. 무선ATM 접속망과 트래픽 모델

2.1 무선ATM 접속망

무선ATM 접속망은 무선환경에서 유선ATM망과 접속할 수 있고 유선 ATM망에서 제공하는 다양한 광대역 통신서비스를 제공할 수 있는 유선 ATM망의 확장된 개념이다. 그러나 무선전파환경의 열악한 전송특성을 고려할 때 무선ATM 접속망에서 제공할 수 있는 서비스의 질과 양적인 측면에서 유선ATM망과 많은 차이가 예상되며 이들 차이를 극복할 수 있는 기술개발에 따라 무선ATM 접속망의 실현가능성이 구체화될 것이다. 무선ATM 접속망의 기준모델은 그림 1과 같이 ATM Forum의 무선ATM 그룹에서 제안하고 있으며 이동단말간의 신호 인터페이스, 무선단말 어댑터, 무선 라디오포트, 이동 및 고정 ATM교환기술에 대하여 취급하고 있고 특히 사용자 및 제어평면 프로토콜 계층구조도 제시하였다[1,6].

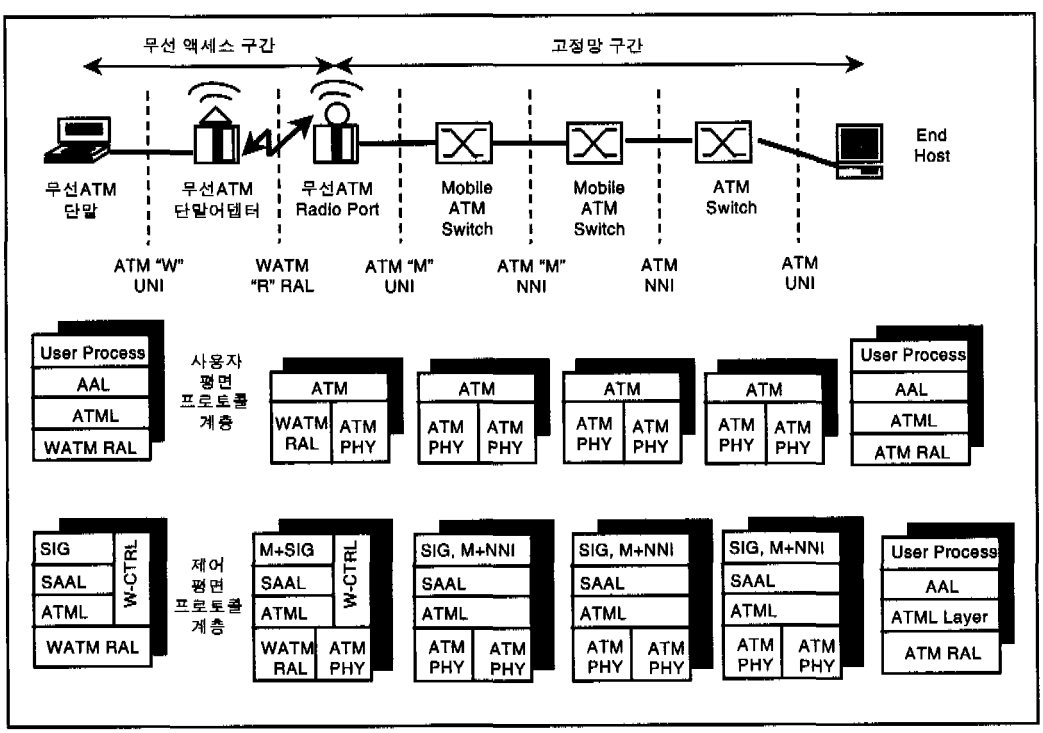


그림 1. 무선ATM 접속망의 기준모델

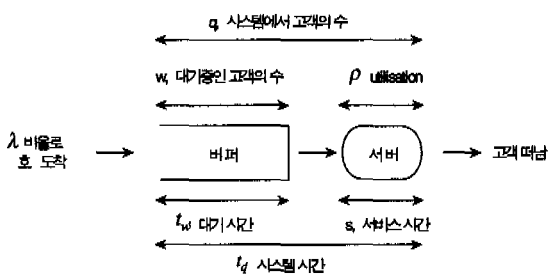
www.dbpia.co.kr

2.2 트래픽모델

가입자가 제한된 자원을 경쟁할 때마다 통신시스템에서는 큐(queue)가 형성되기 때문에 큐잉(queueing) 프로세스를 분석하는 것은 성능 평가의 필수요소이다. ATM통신망에서도 성능분석을 위해 큐잉 이론을 도입하는 것은 예외가 아니며 이를 위해 그림 2와 같은 큐잉 시스템을 이용한다[2].

가입자가 큐잉 시스템에 도착되면 서비스되기를 기다리며 즉시 서비스되지 않으면 버퍼(큐, 대기열)라고 불리는 저장영역에서 일정시간동안 기다린 후 서비스되어 시스템을 벗어나게 된다. ATM 통신망에서 가입자는 셀, 버스트 또는 접속호가 될 수 있다. 이러한 큐잉 시스템은 가입자의 도착 패턴, 가입자의 서비스 패턴, 서비스 채널수 및 시스템 용량에 의해서 특징되어 진다[2].

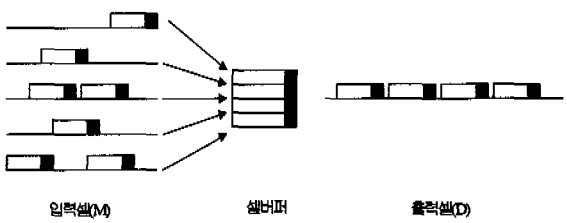
가입자의 도착 패턴은 큐잉 시스템의 입력에 해당되며 평균도착율(λ)과 평균 inter-arrival 시간에 의해서 정해진다.



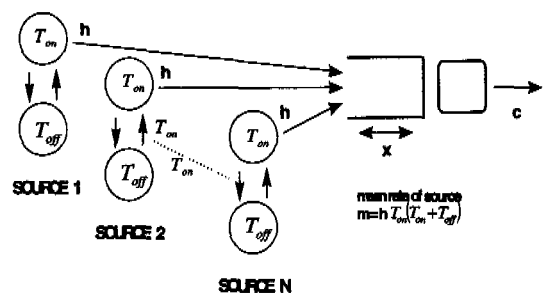
λ : 단위시간당 평균 호도착 횟수
s : 각 가입자당 평균 서비스시간
ρ : 이용률(서버가 busy인 시간 비율)
q : 시스템에 존재하는(기다리고 있거나 서비스중인) 평균 가입자수
t_q : 가입자가 시스템에서 머무르는 평균시간
w : 서비스되기 전에 대기하는 평균 가입자수
t_w : 가입자가 서비스되기 전에 대기하는 평균시간

그림 2. 큐잉 시스템

그리고 가입자의 서비스 패턴은 가입자의 서비스율(μ) 또는 가입자를 서비스하는데 소요되는 시간(s)으로 특징지어 질 수 있으며 이는 서버가 비어있지 않다는 데 근거를 두고 있다. 서버 시스템이 비어있다면 서버 시스템은 idle 상태라고 말하며, ATM셀 버퍼가 비어 있으면 연속적인 공(empty)셀 슬롯이 전송되어 서버는 동기를 맞추게 된다. ATM 버퍼의 수학적인 해석에서 동기는 종종 무시되며 셀이 공 버퍼에 입력되자 마자 즉시 서비스 상태에 진입한다고 가정한다. 결국 ATM 트래픽은 cell scale queueing레벨 및 burst scale queueing 레벨로 구분하여 분석되어야 한다. 그림 3은 트래픽 레벨에 따른 트래픽 모델을 나타낸다.



(a) Cell scale에 적용하기 위한 큐잉 모델



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

그림 3. 트래픽 레벨에 따른 모델

Ⅲ. 무선ATM 접속망의 셀 손실율 평가모델

3.1 무선 접속노드의 셀 손실율

유한용량의 버퍼는 여러 종류의 많은 입력 셀 source로부터 다중화된 셀이 일시적으로 저장되는 ATM망의 기본요소이다. 다른 종류의 source로 부터의 셀 흐름, 입력 source의 수, 셀이 서비스되는 서비스율에 따라 버퍼의 점유율이 달라지며 셀 손실 및 셀 지연현상이 발생하게 된다. 따라서 셀의 크기를 얼마로 할 것인지가 관건인데 여기서는 CBR, VBR, 랜덤 트래픽 source로 부터 셀이 입력될 때 무선접속 노드에서의 셀 손실율을 계산하기로 한다. 랜덤 트래픽이나 CBR 트래픽의 경우에는 cell scale 성분만이 존재하며 burst성의 source가 존재하는 경우에, 즉 active 상태의 수가 cell slot 율을 초과하는 경우에 cell scale과 burst scale 이 모두 존재한다.

VBR 트래픽인 경우 cell scale 큐잉이 존재하게 되고 burst scale 큐잉성분도 있으며 burst scale

www.dbpia.co.kr

loss factor와 burst scale delay factor가 존재한다. burst scale 큐잉의 경우 excess-rate에 대하여 분석하면 도착셀이 excess-rate cell일 확률과 excess-rate 셀이 소실될 확률을 생각할 수 있다. 결국 셀이 손실될 확률은 식 (1)과 같다[2].

$$\Pr\{\text{cell 손실}\}=\Pr\{\text{셀이 손실됨} / \text{셀이 버퍼를 필요로 함}\} \times \Pr\{\text{셀이 버퍼를 필요로함}\} \quad (1)$$

결국 CLR은 cell scale과 burst scale 성분으로 구분하여 식(2)와 같이 계산된다.

$$CLR_{cs} \approx \exp\left[-2x\left(\frac{1-\rho}{\rho}\right)\right]$$

$$CLR_{bsl}CLR_{bsd} = \exp\left[-N_0\frac{x}{b}\frac{(1-\rho)^3}{4\rho+1}\right] \times \frac{1}{(1-\rho)^2N_0}\frac{(\rho N_0)^{\lfloor N_0\rfloor}}{\lfloor N_0\rfloor !}e^{-\rho N_0} \quad (2)$$

CLR_{cs}은 cell scale 큐잉 환경에서의 셀 손실율, CLR_{bsl}은 burst scale 큐잉 환경에서의 burst scale loss option, CLR_{bsd}은 burst scale 큐잉 환경에서의 burst scale delay option, ρ 는 이용률, x는 버퍼의 크기, N_o는 셀 슬롯율과 1개 source가 발생하는 최대 셀율의 비 ($\frac{C}{h}$), $\lfloor N_o \rfloor$는 N_o이하의 첫 번째 정수값, b는 burst당 평균 셀수를 말한다.

CBR 트래픽인 경우에 *ND/D/1* 큐를 이용하여 모델링될 수 있으며 입력 프로세스는 *N*개의 독립적인 주기성 source를 가지며 각 source는 동일주기 *D*를 갖는다. 버퍼용량은 무한대라고 가정하며 CLR는 queue가 임의의 버퍼크기 x를 초과할 확률에 의해서 근사될 수 있으며 식 (3)과 같이 된다[2].

$$CLR = Q(x) = \sum_{n=x+1}^{N}\left\{\frac{N!}{n!(N-n)!}\left(\frac{n-x}{D}\right)^n\left[1-\left(\frac{n-x}{D}\right)\right]^{N-n}\frac{D-N+x}{D-n+x}\right\} \quad (3)$$

*ND/D/1*에서 CLR값은 셀 입력률이 서비스율에 근접할 때 근사값으로 구할 수 있으며 이러한 경우를 heavy traffic 상태라고 한다. 즉 *ND/D/1* 큐의 heavy traffic 조건에서의 CLR은 $CLR=Q(x) = \exp\left[-2x\left(\frac{x}{N}+\frac{1-\rho}{\rho}\right)\right]$ 이다. heavy traffic 상태인 경우에 *ND/D/1* 큐의 CLR은 *M/D/1* 큐의 CLR과 유사하며 *x*값이 작은 경우에는 *ND/D/1*이 *M/D/1* 큐와 유사하게 동작하나, x가 큰 경우는 *ND/D/1* 큐의 CLR 수식에서 x^2항 성분을 무시할 수 없으므로 다른 성능을 나타낸다. 따라서 *N*값이 매우 큰 경우에 poisson process는 *N* CBR source에 대해 매우 적절한 근사치이며 $N\to\infty$인 경우에 *ND/D/1* 과 *M/D/1*은 일치하게 된다.

랜덤 트래픽인 경우에 CLR은 M/D/1 큐잉 시스템을 이용할 수 있으며 M/D/1시스템의 경우에 식 (4)와 같다.

$$CLR = Q(x) = \exp\left[-2x\left(\frac{1-\rho}{\rho}\right)\right] \quad (4)$$

이때 $\frac{\rho}{2(1-\rho)}$는 M/D/1 시스템의 평균 큐 길이가 되며 $\frac{2(1-\rho)}{\rho}$는 큐 길이가 감소하는 율을 나타낸다. 그리고 Q(x)는 큐 크기가 x를 초과할 확률을 나타내는데 이는 유한한 버퍼크기 x에 대한 CLR의 근사식이 된다.

3.2 무선 채널의 셀 손실율

ATM계층의 성능은 물리계층의 BER(Bit Error Rate) 등 비트에러 특성에 따른다. ITU-T에서 ESR (Error Second Ratio), SESR(Severely Errored Second Ratio), BBER(Background Block Error Ratio) 등을 전송성능 파라메터(G.826)로 권고하고 있다. ATM셀 손실의 정도는 CLR(Cell Loss Ratio)로 나타내어지고 셀에서 에러가 감지되지 못한 경우에 셀이 다른 VC/VP(Virtual Channel/Virtual Path)로 잘못 전송될 수 있으며 이는 CIR(Cell misInsertion Rate) 파라메터로 평가된다. 결국 ATM계층에서는 헤더만 보호되며 페이로드에서 발생하는 에러는 AAL(ATM Adaptation Layer)에서 감지되어 CER(Cell Error Ratio), SECR(Severely Errored Cell Ratio) 등으로 평가된다. 표1은 에러발생에 따른 ATM계층의 QoS(Quality of Service) 파라메터를 나타낸다.

표 1. ATM계층의 QoS 파라메터

에러발생 위치	에러발생 내용	에러발생 결과	관련 QoS 파라메터
헤더	정정(right)	정상셀	-
헤더	정정(false)	비정상셀	CIR
헤더	검출	셀손실	CLR
페이로드	최소한 1비트 발생	셀에러	CER
페이로드	다중비트 발생	심각한 셀에러	SECR

www.dbpia.co.kr

3.2.1 랜덤 비트에러에 의한 CLR

독립적이고 동일하게 분포된 랜덤 단일 비트에러가 일정한 BER값 p로 전송링크에서 발생하는 경우 식 (5)와 같이 이항 분포식를 따른다[7]. 이는 길이 h의 블록에 n비트 에러가 발생하는 확률로서 CLR 산출의 기본식이 된다. s는 단일 랜덤비트 에러를 의미하고 P_c 및 P_d는 각각 수신측이 정정 및 검출모드에 있을 확률을 말한다. CLR(Cell Loss Ratio)은 셀이 폐기되는 확률로서 HEC가 단일비트 에러를 정정할 수 있으므로 2개 이상의 에러가 발생하는 확률, 즉 $1-P_s(0)-P_s(1)$로 계산된다.

$$P_s(n) = {}_hC_n p^n (1-p)^{h-n} \quad (5)$$

CLR은 셀이 폐기되는 확률로서 HEC가 단일비트 에러를 정정할 수 있으므로 2개 이상의 에러가 발생하는 확률, 즉 $1-P_s(0)-P_s(1)$로 계산된다. 그러나 burst 에러에 대한 취약성을 해소하기 위해서 그림4와 같이 HEC의 이중모드(dual-mode) 상태가 채택된다.

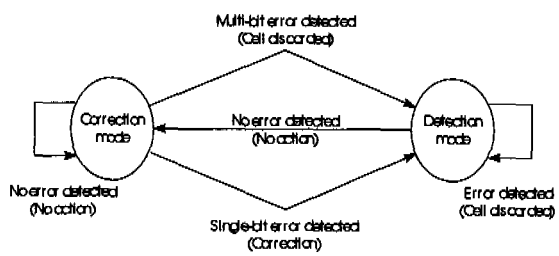


그림 4. HEC 알고리즘의 이중모드 상태

정상 동작 조건하에서 수신측은 단일비트에러 정정모드에 있게되며 단일비트에러가 감지되면 에러는 정정되고 수신측은 검출모드로 전환된다. 그리고 다중비트에러가 검출되는 경우에 셀은 폐기되며 수신측은 검출모드로 전환된다. 검출모드에서는 셀에 에러가 발생한 경우에(단일 에러검출인 경우에도 포함) 셀은 폐기된다. 그리고 검출모드에서 헤더의 에러가 검출되지 않으면 수신측은 정정모드상태로 전환된다. 그러므로 2개의 연속적인 셀 헤더에 단일비트에러가 발생된다면 셀 헤더의 에러가 모두 정정되었을 지라도 두 번째 셀은 무조건 폐기된다. 다시 말하면 셀이 폐기되는 경우는 수신측이 정정모드이고 에러가 2개 이상 발생하는 경우이거나 수신측이 검출모드이고 최소한 1개 이상의 에러가 발생하는 경우이다. 그러므로 셀 손실율은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} CLR &= P(\text{정정모드}) \cdot P(\text{헤더에 2개이상 에러 발생}) \\ &\quad + P(\text{검출모드}) \cdot P(\text{헤더에 1개이상 에러 발생}) \\ &= P_c[1-P_s(0)-P_s(1)] + P_d[1-P_s(0)] \end{aligned} \quad (6)$$

이 식에서 s는 단일 랜덤비트에러를 의미하고 P_c 및 P_d는 각각 수신측이 정정 및 검출모드에 있을 확률을 말한다. P_c 및 P_d는 dual mode상태를 갖는 HEC를 2개의 상태를 갖는 Markov chain으로 모델링하여 계산될 수 있다. 상태방정식을 이용하면 $P_c = P_s(0)$이고 $P_d = 1-P_s(0)$가 되며 $hp \ll 1$인 경우에 $(1-p)^h \approx 1 - ph + p^2 \frac{h(h-1)}{2}$ 이 된다.

결국

$$\begin{aligned} CLR &= P_s(0)[1-P_s(0) - P_s(1)] + [1-P_s(0)][1-P_s(0)] \\ &= 1 - P_s(0) - P_s(0)P_s(1) \\ &= 2{,}380p^2 - 123{,}240p^3 \end{aligned} \quad (7)$$

3.2.2 Burst에러에 의한 CLR

무선 시스템에서는 전력효율을 향상시키기 위해서 FEC 기법을 사용하며 convolution 코드와 viterbi 디코더를 이용한다. 이 때 FEC가 정상적으로 동작하지 못하는 경우에 burst에러가 발생할 수 있으며 이때 decoder 출력에서 burst 에러모델이 주요연구대상이다[7]. 즉, 평균 burst 길이와 burst에서의 에러가 poisson 분포를 따른다고 하면 Neyman-A contagious 모델을 적용할 수 있다[7]. 이 경우에 평균에러 burst 길이가 b이고 h비트의 간격에 n 비트의 에러가 발생할 확률 $P_B(n)$은 식 (8)과 같다. 여기서 p는 디코더 출력에서 BER이며 b는 6 정도의 값이 적용된다

$$P_B(n) = \frac{b^n}{n!} \exp\left(\frac{-hp}{b}\right) \sum_{j=0}^{\infty} \left(\frac{hp}{b} \exp(-b)\right)^j \frac{j^n}{n!} \quad (8)$$

CLR은 2개이상의 에러가 발생하는 확률로 모델링할 수 있고 이 경우 HEC의 dual-mode 동작상태와 에러가 검출되지 않는 경우는 무시하기로 한다. P(2개 이상의 에러 발생)는 $1 - P_B(0) - P_B(1)$가 되며 $x \ll 1$인 경우에 $1 - \exp(-x) = x$ 이고 헤더(h)의 비트 수는 40비트이므로

$$1 - P_B(0) - P_B(1) =$$

$$1 - \frac{b^0}{0!} \exp\left(-\frac{hp}{b}\right) \sum_{j=0}^{\infty} \left[\frac{hp}{b} \exp(-b)\right]^j \frac{j^0}{0!}$$

www.dbpia.co.kr

$$-\frac{b^1}{1!}\exp(-\frac{hp}{b})\sum_{j=0}^{\infty}[\frac{hp}{b}\exp(-b)]^j\frac{j^1}{1!}$$

$$=1-\exp(-\frac{40p}{b})[1+\frac{(1+b)40p}{b}\exp(-b)] \quad (9)$$

3.2.3 수식결과 분석

광전송시스템의 경우에서와 같이 단일비트에러가 발생하는 경우는 이항분포식을, 무선통신시스템의 경우와 같이 burst 에러가 발생하는 경우에는 Poisson 분포를 따른다고 가정하여 single error와 burst error의 두가지 에러환경을 고려하였다. 변조방식은 QPSK를 이용하고 convolution 코드(코드율 : r=1/2, 구속장 : ν=7)와 viterbi 디코더를 이용한다. 여기서 p는 viterbi 디코더 출력에서의 BER이며 p_e는 복조기의 출력 비트에러, γ는 비트당 에너지 대 잡음전력 밀도비를 말하고 D는 Bhattachayya의 상한식, M은 신호의 상태수를 말한다. 그리고 페이딩 환경은 지상 무선통신에 적용할 수 있는 Rayleigh 페이딩을 가정하였다.

$$p \le 1/2(7D^7 + 39D^8 + 104D^9 + 352D^{10}) \quad (10)$$

$$D = \sqrt{\frac{p_e(1-p_e)}{M-1}} + \left[\frac{M-2}{M-1}\right]p_e$$

$$p_e = \frac{1}{2}\left[1-\frac{1}{\sqrt{1+\frac{2}{\gamma}}}\right]$$

본 분석에서 burst의 길이는 6, 15, 30, 40으로 가정하였다. 그림 5는 랜덤에러 환경에서의 결과인 R(γ)와 버스트 에러환경에서의 결과인 B(γ, b)를 나타내며 CLR의 경우 burst에러환경이 랜덤에러 환경보다 성능이 저하됨을 알 수 있다. 버스트에러 환경인 경우 버스트 길이가 6이고 γ=5, 10, 15, 20, 25, 30 일 때 CLR값은 각각 0.481, 9.257×10^{-3}, 9.596×10^{-5}, 1.097×10^{-6}, 1.468×10^{-8}, 2.204×10^{-10} 이며 랜덤에러 환경에서는 γ=5, 10, 15, 20, 25, 30 일 때 0.984, 4.484×10^{-3}, 5.103×10^{-7}, 6.673×10^{-11}, 1.553×10^{-14}, 4.951×10^{-15}이 된다. γ값이 거의 10 dB 이상인 경우 랜덤에러 환경보다 버스트 에러환경에서의 성능이 저하됨을 알 수 있다.

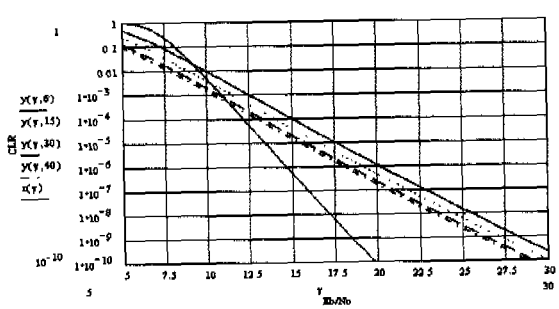


그림 5. Eb/No에 따른 CLR 성능분석

3.3 접속망의 셀 손실율 평가모델

무선 ATM접속망의 셀 손실율을 평가하기 위해 무선접속노드의 버퍼 오버플로로 인한 CLR과 무선채널의 BER에 따른 CLR은 서로 독립적인 프로세스라고 가정한다. 통합 CLR은 $CLR_T = CLR_O + (1-CLR_O)CLR_C$이 되며 여기서 CLR_O는 무선접속노드의 CLR이며 CLR_C는 무선채널의 CLR을 의미한다[4].

Ⅳ. CLR 성능개선을 위한 통합 에러제어구조 제안

결국 무선ATM 접속망에서는 에러제어기술이 필요하며 ATM 데이터의 전송성능을 개선하기 위해 본 논문에서 제안하는 에러제어 구조는 그림 6과 같다. 인터리빙은 채널의 버스트 에러를 랜덤하게 하여 성능저하현상을 최소화 시킬수 있는 채널 인터리빙을 고려할 수 있으나 여기서는 FEC 디코딩의 버스트 에러를 랜덤하게 하여 성능저하현상을 최소화 시킨다. 그리고 FEC는 채널의 에러율과 필요 E_b/N_o를 감소시키며 데이터 링크 ARQ는 매우 높은 신뢰성을 필요로 하는 데이터 트래픽에 적용하여 열악한 전송링크로 인한 TCP응용의 성능저하현상을 감소시킨다. ATM 셀의 VPI/VCI에 근거한 다중화/역다중화 기능은 지연에 민감한 ATM 트래픽과는 달리 높은 신뢰도를 필요로 하는 ATM 트래픽에 데이터 링크 ARQ 프로토콜을 적용하기 위한 것이다[3].

링크레벨에서 ARQ 프로토콜을 적용하는 것은 특정링크에 대한 재전송절차를 부분적으로 처리하여 TCP의 단-대-단 프로토콜 동작으로 인한 재전송 부하를 감소시키기 위한 것이다. 결국 무선링크에서 에러로 인한 TCP의 폭주제어 절차를 피하게 된다.

무선채널환경은 변화의 폭이 매우 크기때문에 전송성능을 최적화하기 위해서 에러제어 기법들을 선택하는 것은 무선채널 특성에 의해서 결정되며 기법들간에 trade-off가 따르게된다. 그러므로 서로 다른 채널환경에 대해서 적절한 파라메터를 선택하는 것은 매우 다양하며 에러제어 구조는 채널환경에 따라 달라진다. 인터리버/디인터리버는 버스트성 잡

www.dbpia.co.kr

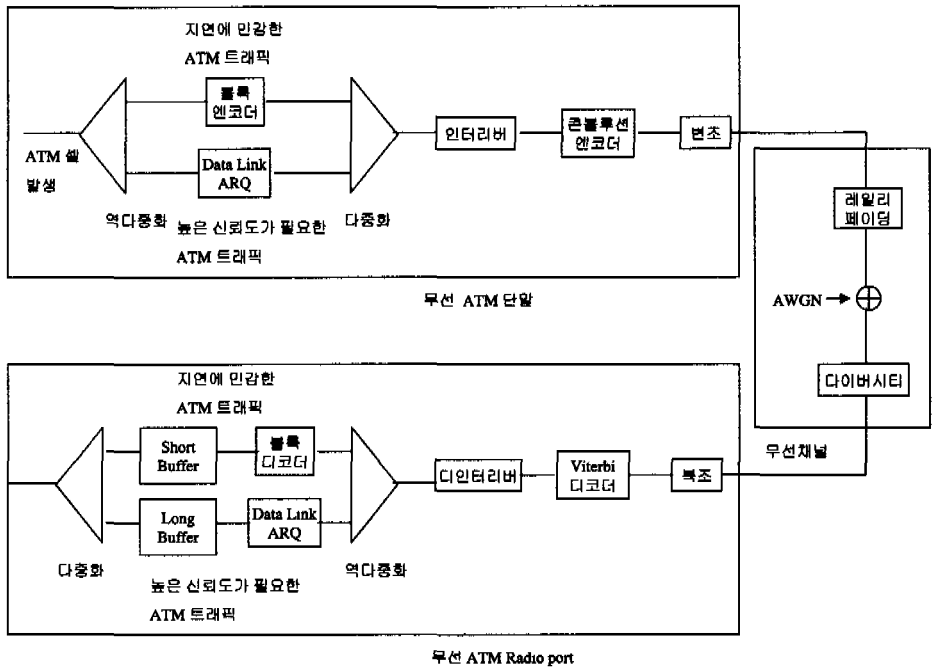


그림 6. 무선ATM 접속망의 CLR성능 개선을 위한 에러제어구조

음채널에서만 필요하고 지연에 민감하지 않은 신뢰성있는 트래픽 전달을 필요로 하는 경우에 주로 적용되며 지연에 민감한 트래픽에 대해서는 적합치 않다. 이를 위해서 트래픽을 형태별로 구분하여 적합한 에러제어 기법을 적용하기 위한 다중화/역다중화 기능을 도입한다. 지연에 민감한 실시간성 트래픽에 대해서는 가급적 작은 인터리버 길이를 사용하고 블록코드와 콘벌루션코드를 직렬 결합한 concatenated FEC 기법을 적용한다. 그리고 지연에 민감하지 않고 높은 신뢰도를 필요로 하는 ATM 트래픽에 대해서는 길이가 더 큰 인터리버를 사용함과 동시에 콘벌루션코드와 데이터링크 ARQ 프로토콜을 이용하는 적응형 Type-I Hybrid ARQ 기법을 적용한다. 결국 각 에러제어 기법들이 무선 ATM 접속망의 트래픽 속성에 따라 인터리빙 기법과 함께 그림8의 통합 에러제어 구조하에서 융통성있게 적용되어야 한다.

많은 트래픽이 통합될 때 cell scale요소는 항상 존재하므로 버퍼는 이러한 요소를 처리할 수 있어야 하며 burst scale이 존재할 때는 다음 두 가지 요소를 고려해야 된다. 하나는 총 입력률이 cell slot 율을 초과하지 않도록 bursty source의 수를 제한하는 것이며 이 경우에 excess rate cell은 소실되며 bufferless 또는 burst scale loss option(rate envelope multiplexing)이라고 한다. 다른 하나는 excess rate cell을 처리할 수 있도록 충분히 큰 버퍼를 가정하는 것이며 일부 셀만 손실되고 나머지 셀들은 버퍼에서 지연된다. 이것은 burst scale delay option(rate sharing statistical multiplexing)이라고 한다. 따라서 버퍼의 크기를 정하는 것이 중요한 사항이며 통신망으로 유입되는 트래픽량에 관련된다. 또한 버퍼용량의 선정은 CAC(Connection Admission Control) 메카니즘에 중요한 영향을 미친다. 우선 burst scale loss option인 경우 버퍼용량은 cell scale에 따라 버퍼용량이 정해지며 bursty 트래픽량은 버퍼용량을 정하는 데 결정적인 요소가 되지 못한다. 이는 bursty 트래픽을 수용하는 데 CAC 메카니즘이 burst scale요소를 요구된 셀 손실율이하로 제한하기 때문이며 버퍼크기에 무관하다고 가정한다. 그러하여 bursty 트래픽인 경우 평균 이용도는 낮고 cell scale성분의 gradient는 매우 크다. 그러나 CBR이나 랜덤 트래픽의 경우 cell scale 성분만이 존재하며 burst scale 성분은 존재하지 않는다. 이 때 버퍼용량을 결정하는 것은 cell scale 성분의 최대부하이며 실시간 서비스인 경우 버퍼를 통한 지연시간이 신중히 검토되어야 한다. 그리고 burst scale delay option인 경우에 bursty 트래픽량이 CBR 또는 랜덤 트래픽의 이용도 수준으로 증가될 수 있으며 이 때

www.dbpia.co.kr

버퍼용량은 매우 커야 한다. 그러나 음성이나 비디오 서비스와 관련된 excess rate cell을 버퍼링하는 데는 지연시간이 커서 서비스제공에 지장을 초래하게 된다. 이를 해결하기 위해서 지연에 민감한 트래픽은 짧은 버퍼를 이용하고 손실에 민감한 트래픽은 긴 버퍼를 이용하는, 트래픽의 형태에 따라 버퍼의 길이를 다르게 하고 시간적으로 서비스의 우선순위를 제어할 수 있는 서버를 이용하는 것이 고려될 수 있다.

V. 접속망의 CLR 성능평가 및 분석

5.1 FEC코드를 적용하지 않은 경우의 CLR

FEC코드를 적용하지 않은 경우 접속망의 셀 손실율은 식 (11)과 같고 그림 7에서 CLR(x, N, γ)로 나타내었으며 x는 셀 버퍼용량, N은 source의 수, γ는 비트당 에너지 대 잡음전력 밀도비, ρ는 이용도, p는 복조기 출력에서의 비트에러율을 나타낸다. $\gamma = E_b/N_o$ = 20dB에서 접속노드의 버퍼용량(x)이 2인 경우 source의 수(N)가 각각 10, 60, 100, 150일 때 셀 손실율은 0.039, 0.039, 0.045, 0.158 이 된다. CLR_o는 접속노드의 셀 손실율을 나타내고 CLR_c는 무선채널의 셀 손실율을 나타낸다.

$$CLR(x, N, \gamma) = CLR_O + (1-CLR_O)CLR_C \qquad (11)$$

$$CLRo = Q(x) = \exp\left[-2x\left(\frac{x}{N}+\frac{1-\rho}{\rho}\right)\right]$$

$$CLR_c = 1-(1-p)^{16}$$

$$p = \frac{1}{2}\left[1-\frac{1}{\sqrt{1+\frac{1}{\gamma}}}\right]$$

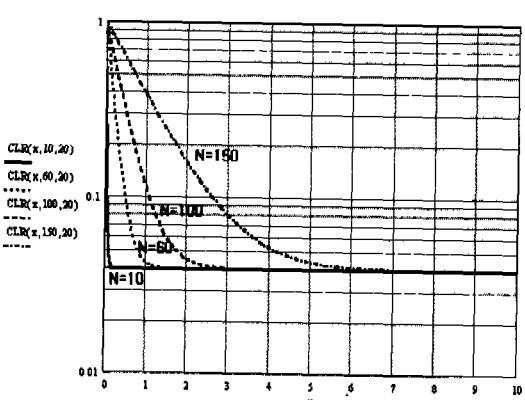


그림 7. FEC코드를 적용하지 않은 경우의 CLR

5.2 콘벌루션 코드만을 사용하는 경우의 CLR

N개의 CBR source에서 ATM 데이터가 발생되어 무선채널에 전송되는 경우에 무선채널 및 무선접속노드를 모두 고려한 통합 CLR은 식 (12)와 같다. 그림 8은 CLRB(x, N, γ)로 표시되는 버스트에러 환경에서의 통합 CLR값을 나타낸다. CLR_c는 무선채널의 버스트 에러환경에서의 셀 손실율을 나타내고, CLR_o는 무선 접속노드에서의 셀 손실율을 말한다. 이때 x는 버퍼의 크기, N은 source의 수, γ는 비트당 에너지 대 잡음전력 밀도비, ρ는 이용도로서 Nm/C(m : 평균 셀 발생률, C : 셀 슬롯율)을 말한다. 그림 8의 결과에서 보듯이 채널의 버스트에러 환경에서는 무선접속노드의 버퍼용량을 증가시켜도 셀 손실율 성능이 별로 개선되지 않음을 보여주고 있다.

$$CLRB(x, N, \gamma) \text{ 또는 } CLRS(x, N, \gamma)$$

$$= CLR_O + (1-CLR_O)CLR_C \qquad (12)$$

$$CLR_c = 1-\exp(-\frac{40p}{b})[1+\frac{(1+b)40p}{b}\exp(-b)]$$

(버스트에러인 경우)

$$CLRo = Q(x) = \exp\left[-2x\left(\frac{x}{N}+\frac{1-\rho}{\rho}\right)\right]$$

콘벌루션코드만을 사용하는 경우 convolution 코드는 코드율이 r=1/2, 구속장은 ν=7, Viterbi 디코더가 사용되고 버스트 에러가 발생된다고 가정하였다. 그림 8의 시뮬레이션 결과에서 보듯이 CLRB(x, N, γ)로 표시하였으며 x는 셀 버퍼용량, N은 source의 수, γ는 비트당 에너지 대 잡음전력 밀도비, ρ는 이용도, p는 Viterbi 디코더 출력에서의 비트에러율을 나타내고 p_e는 복조기 출력에서의 비트에러율을 나타낸다[5]. $\gamma = E_b/N_o$ = 20dB에서 접속노드의 버퍼용량(x)이 2인 경우 source의 수(N)가 각각 10, 60, 100, 150일 때 셀 손실율은 4.388×10^{-7}, 1.375×10^{-5}, 5.882×10^{-3}, 0.124가 된다.

$$p \le 1/2(7D^7 + 39D^8 + 104D^9 + 352D^{10}) \qquad (13)$$

$$D = 2\sqrt{\frac{p_e(1-p_e)}{M-1}} + \left[\frac{M-2}{M-1}\right]p_e$$

$$p_e = \frac{1}{2}\left[1-\frac{1}{\sqrt{1+\frac{2}{\gamma}}}\right]$$

www.dbpia.co.kr

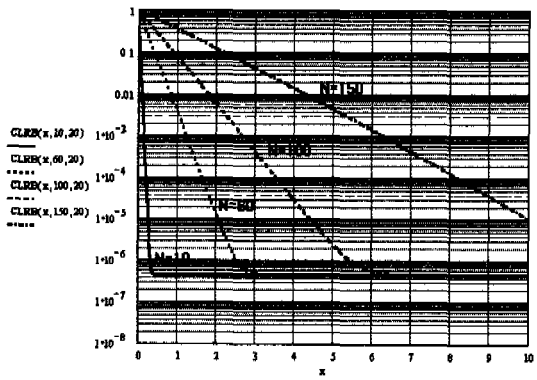


그림 8. 콘벌루션 코드만을 사용한 경우의 CLR

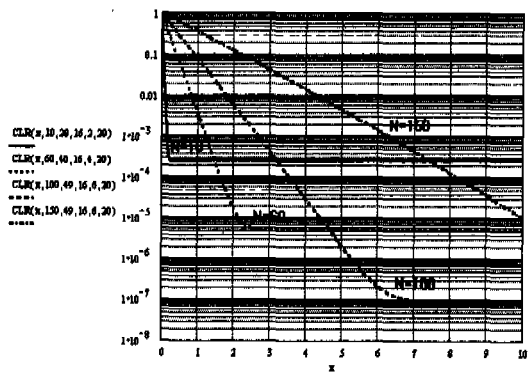


그림 9. 블록코드만을 사용한 경우의 CLR

5.3 블록코드만을 사용하는 경우의 CLR

식 (14)은 헤더의 성능분석 파라메터인 CLR의 도출식을 나타내며 shortened 블록코드 (n, k, t) 인 (28,16, t=2), (40,16, t=4), (49,16, t=6)를 이용하여 시뮬레이션한 결과는 그림 9와 같다. CLR의 경우 $\gamma = E_b/N_o$ = 20 dB에서 (28,16), (40,16), (49,16)의 FEC 코드를 적용한 경우는 CLR(x, N, n, k, t, γ)로 표시하였고 x는 셀 버퍼용량, N은 source의 수, γ는 비트당 에너지 대 잡음전력 밀도비, ρ는 이용도, p_c는 복조기 출력에서의 비트에러율을 나타낸다. $\gamma = E_b/N_o$ = 20 dB에서 접속노드의 버퍼용량(x)이 2인 경우 source의 수(N)가 각각 10, 60, 100, 150이고 에러정정 능력이 t = 2, 4, 6, 6인 코드를 사용할 경우 셀 손실율은 2.433×10^{-4}, 1.81×10^{-5}, 5.881×10^{-3}, 0.124가 된다. CLR_o는 접속노드의 셀 손실율을 나타내고 CLR_c는 무선채널의 셀 손실율을 나타낸다.

$$CLR(x, N, n, k, t, \gamma) = CLR_O + (1-CLR_O)CLR_C \quad (14)$$

$$CLR_o = Q(x) = \exp\left[-2x\left(\frac{x}{N}+\frac{1-\rho}{\rho}\right)\right]$$

$$CLR_c = 1-\sum_{i=0}^{t} {}_nC_i\,(P_c)^i(1-(P_c))^{n-i}$$

(디코딩후의 CLR)

$$P_C = \frac{1}{2}\left[1-\frac{1}{\sqrt{1+\frac{n}{k\gamma}}}\right]$$

(디코딩전의 BER)

5.4 연접FEC 코드를 사용한 경우의 CLR

특히 콘벌루션 코드와 BCH코드로 구성되는 concatenation형태의 코드를 분석하기 위해 내부코드는 부호율이 r=1/2이고 구속장이 ν =7인 콘벌루션 코드를 이용하고 외부코드는 (n, k, t)로 표시되는 BCH코드를 이용한다. 엔코더에서 총 블록길이가 63비트가 되도록 t 에러 정정 패리티 검사 비트들이 만들어지고 전송시 전송효율을 높이기 위해서 총 블록길이가 축소되며 디코더에서는 패리티 검사를 위해 63비트로 재생된다. BCH 에러 정정 후 압축된 ATM 헤더의 셀 손실율은 식 (15)와 같이 CLR(x, N, n, k, t, γ)로 계산된다. x는 셀 버퍼용량, N은 source의 수, γ 는 비트당 에너지 대 잡음전력 밀도비, ρ는 이용도를 나타낸다. $\gamma = E_b/N_o$ = 20dB에서 접속노드의 버퍼용량(x)이 2인 경우 source의 수(N)가 각각 10, 60, 100, 150이고 블록코드의 에러정정 능력이 t = 2, 4, 6, 6일 때 셀 손실율은 1.599×10^{-14}, 1.331×10^{-5}, 5.881×10^{-3}, 0.124가 된다. CLR_o는 접속노드의 셀 손실율을 나타내고 CLR_c는 무선채널의 셀 손실율을 나타낸다. 여기서 p_{be}는 Viterbi 디코더 출력에서 BER이며 p는 복조기의 출력 비트에러율, γ는 비트당 에너지 대 잡음전력 밀도비를 말하고 D는 Bhattachayya의 상한식, M은 신호의 상태수를 말한다[5].

$$CLR(x, N, n, k, t, \gamma) = CLR_O + (1-CLR_O)CLR_C \quad (15)$$

$$CLR_o = Q(x) = \exp\left[-2x\left(\frac{x}{N}+\frac{1-\rho}{\rho}\right)\right]$$

$$CLR_c \le 1-\left[\sum_{i=0}^{t}\binom{n}{i}(1-p_{be})^{n-i}(p_{be})^i\right]$$

$$p_{be} \le 1/2(7D^7 + 39D^8 + 104D^9 + 352D^{10})$$

$$D = 2\sqrt{\frac{p(1-p)}{M-1}} + \left[\frac{M-2}{M-1}\right]p$$

$$p = \frac{1}{2}\left[1-\frac{1}{\sqrt{1+\frac{2n}{k\gamma}}}\right]$$

이 때 n 은 블록코딩 후의 비트수이고 k 는 압축된 ATM 헤더의 길이인 16 비트를 의미한다. CLR 계산시 Rayleigh 페이딩 채널과 이상적인 인

www.dbpia.co.kr

터리빙을 가정하였으며, 식 (15)를 이용한 시뮬레이션 결과는 그림 10과 같다. 그림 10은 CLR이 동일한 무선채널의 E_b/N_o 조건에서 동일한 source의 수에서 에러정정 능력이 증가(t 값이 커짐)함에 따라 성능이 향상되며 동일 에러정정 능력에서 source의 수가 증가하면 CLR 성능은 열화된다. 그러나 에러정정능력이 더 좋은 부호를 사용한다는 것은 코드율의 감소를 의미하며 전체적으로 리던던시의 증가를 초래하므로 처리율이 감소될 수 있다. 그리고 무선채널의 에러정정 능력은 향상되어도 source의 수가 증가하면 무선 접속노드의 셀 손실율이 증가하므로 접속망 전체의 셀 손실율은 증가할 수 있다는 것을 보여준다.

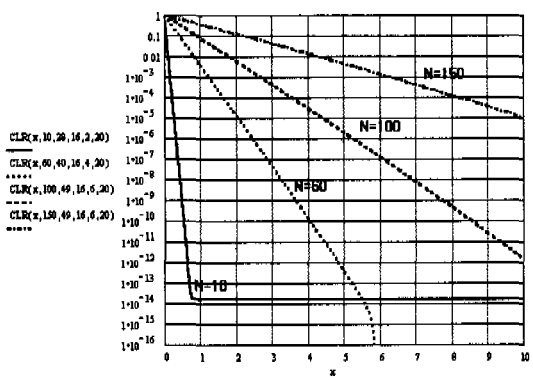


그림 10. Concatenated FEC기법 적용시의 CLR

5.5 결과 검토

4가지 경우에 대해서 성능분석한 결과를 요약하면 $\gamma = E_b/N_o$ = 20dB이고 source의 수(N)가 10, 60, 100, 150이며 접속노드의 버퍼용량(x)이 2인 경우 첫째, FEC를 적용하지 않은 경우는 CLR이 0.039, 0.039, 0.045, 0.158이 된다. 둘째, 코드율 r = 1/2이고 구속장이 ν = 7인 콘벌루션 코드만을 사용하는 경우 CLR은 4.388×10^{-7}, 1.375×10^{-5}, 5.882×10^{-3}, 0.124가 된다. 셋째, 에러정정 능력이 각각 2, 4, 6인 (28,16), (40,16), (49,16)의 블록코드만을 이용하는 경우 t = 2, 4, 6, 6에서 CLR은 각각 2.433×10^{-4}, 1.81×10^{-5}, 5.881×10^{-3}, 0.124가 된다. 넷째, 블록코드와 콘벌루션코드를 결합한 concatenated FEC코드를 이용하는 경우 콘벌루션 코드는 코드율이 r = 1/2이고 구속장이 ν = 7이며 (28,16), (40,16), (49,16)의 BCH 코드 적용시 t = 2, 4, 6, 6에서 CLR은 각각 1.599×10^{-14}, 1.331×10^{-5}, 5.881×10^{-3}, 0.124가 된다. 이들 결과에서 알 수 있듯이 FEC기법을 적용하지 않은 경우에 비해서 본 논문에서 제안한 기법인 concatenated FEC코드를 적용할 때 CLR 성능이 가장 우수했으며 콘벌루션코드, 블록코드순으로 성능이 개선됨을 알 수 있다.

Ⅵ. 맺음말

본 논문에서는 무선접속노드와 무선채널로 구성되는 무선ATM 접속망의 트래픽 형태별 에러제어방안을 제시하였으며 CBR 트래픽의 CLR성능을 분석하는 데 중점을 두었다. 이를 위해 무선ATM 접속망의 구조 및 프로토콜에 대하여 살펴보았고 트래픽 모델을 cell scale과 burst scale로 구분하여 분석하였으며 접속노드와 무선채널의 CLR을 나타내는 수식을 이용하여 무선ATM 접속망의 CLR(Cell Loss Ratio) 성능을 나타내는 수식을 도출하여 성능분석을 수행하였다. 무선ATM접속망의 CLR성능을 개선하기 위해서는 접속노드의 버퍼용량을 증가시키거나 무선채널의 에러성능을 향상시키기 위한 트래픽 형태별 최적의 에러제어기법의 선택이 중요하다. 그러나 접속노드의 버퍼용량을 증가시키는 것은 트래픽의 전달지연을 초래하고, 무선채널의 에러성능을 향상시키는 것은 처리율의 감소를 초래할 수 있으므로 트래픽의 속성에 따라 최적의 버퍼용량과 에러제어기법의 선택이 중요하다. 결국 무선ATM 접속망의 에러제어구조 연구결과로 부터 도출된 CBR 트래픽에 적용할 수 있는 FEC기법을 이용하여 무선ATM 접속망의 CLR 성능을 분석한 결과에서 알 수 있듯이 FEC기법을 적용하지 않은 경우에 비해서 본 논문에서 제안한 기법인 concatenated FEC코드를 적용할 때 CLR 성능이 가장 우수했으며 콘벌루션코드, 블록코드순으로 성능이 개선됨을 알 수 있다. 향후에는 트래픽의 형태별로 적응적으로 에러제어기법을 적용할 수 있는 구체적인 알고리듬을 개발, 무선ATM 접속망에의 구현방안 연구가 이루어 질 것이다.

참 고 문 헌

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

[2] J. M. Pitts and J. A. Schormans, "Introduction

www.dbpia.co.kr

to ATM Design and Performance," John Wiley & Sons, 1996

[3] J. Bibb Cain and Dennis N. McGregor, "A Recommended Error Control Architecture for ATM Networks with Wireless Links," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 15, No. 1, Jan. 1997

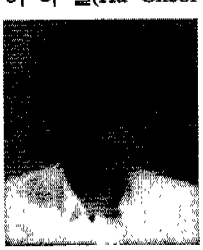
[4] Abbas Mohammadi, David Klymyshyn and Surinder Kumar, "Characterization of Effective Bandwidth as a Metric of Quality of Service for Wired and Wireless ATM Networks," IEEE '97, pp. 1019-1024, 1997

[5] Viterbi, A. J., "Error Bounds for Convolution Codes and Asymptotically Optimum Decoding Algorithm," IEEE Trans. Inform. Theory, Vol. IT-13, No. 4, pp.260-269, Apr. 1967

[6] Timothy Kwok, ATM : The New Paradigm for Internet, Intranet & Residential Broadband Services & Application, Prentice Hall, 1998

[7] S. Ramseier, "ATM over Satellite : Analysis of ATM QoS Parameters," Proc. of ICC'95, Vol. 3, pp. 1562-1566, 1995

이 하 철(Ha Cheol Lee) 정회원



1983년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과(공학사)
1990년 8월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (공학석사)
1999년 8월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (공학박사)
1993년 12월 : 정보통신기술사
1999년 3월 : 특급감리원(정보통신)
1983년 3월~1985년 6월 : 한국전자통신연구소 연구원
1985년 6월~1995년 8월 : 한국통신 연구개발원 연구실장
1995년 9월~현재 : 유한대학 정보통신과 조교수
<주관심 분야> 무선 데이터통신, ATM통신, 트래픽 이론, 통신 프로토콜

이 병 섭(Byung Seub Lee) 정회원

1979년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과 졸업 (공학사)
1981년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)
1990년 5월 : New Jersey Institute of Technology (공학박사)
1981년 3월~1992년 9월 : 한국전자통신연구소 연구실장
1992년 9월~현재 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 부교수
<주관심 분야> 위성통신, 신호처리, Adaptive array 안테나, 무선ATM망

www.dbpia.co.kr