무선 ATM접속망에서 CBR 트래픽의 셀 손실율 분석 및 개선방안

정회원 김 영 일*, 이 하 철**, 이 병 섭***, 류 근 호****

CLR Performance of CBR Traffic in Wireless ATM Access Network

Young-il Kim*, Ha-cheol Lee**, Byung-seub Lee***, Keun-ho Ryu**** *Regular Members*

요 약

이 논문에서는 무선접속노드와 무선링크로 구성되는 무선 ATM접속망에서 ATM 셀손실율을 정량적으로 분석하였다. 무선접속노드는 $ND/D/1$ queue로 모델링하였고 무선링크는 단일 및 버스트 에러환경으로 구분하였으며 단일 비트에러 환경보다 버스트 에러환경에서의 셀손실 확률이 더 높다는 것을 확인하였다. 무선 ATM접속망에서 ATM기술을 무선링크에 적용하는 경우에 Rayleigh 및 Rician 페이딩 채널특성, 전력제한, 버스트 에러 특성으로 인해 단일 비트에러 환경의 유선링크에서 보다 상당한 전송성능 열화가 발생하는 것은 필연적이며 이를 보상하기 위한 방안들이 강구되어야 한다. 이러한 무선채널의 전송성능 열화현상을 극복하기 위해 CBR 트래픽에 적합한 FEC(Forward Error Correcting) 기법의 적용방안을 검토한 후, 이 중 대표적인 concatenated FEC 기법의 성능을 셀 손실율 측면에서 분석하였다.

ABSTRACT

In this paper we describe our investigation on ATM CLR(Cell Loss Rate) in the wireless ATM Networks, which consist of wireless access nodes and wireless links. A wireless access node is modelled as the $ND/D/1$ queue. A wireless channel is modelled as channel with single and burst error characteristics, and it can be seen that the CLR degrades on a link with burst errors than on a link with single error. Because wireless channel can be approximated as the Rayleigh or Rician fading channel and wireless communication systems are power limited, it is customary that the CLR degrades on a link with burst errors than on a link with single error. So error control method should be used to improve performance degradation caused by burst errors. We consider the forward error correction(FEC) as error control scheme for CBR traffics to improve performance degradation caused by burst errors, and analyze performance of concatenated FEC scheme through the use of CLR.

I. 서 론

ATM기술은 광 케이블과 같이 우수한 전송특성을 갖는 전송매체를 기반으로 개발된 기술이며 ATM 데이터를 광 전송로를 이용하여 전송할 경우에는 오버헤드가 감소하고 처리율을 증가시킬 수 있는 장점을 갖고 있다. 다시말하면 광전송을 기반으로 한 ATM기술은 랜덤특성의 단일비트 에러만 보상하도록 설계되었기 때문에 Rayleigh 및 Rician 페이딩 특성을 갖는 무선링크를 통해서 ATM데이터를 전송할 때 무선채널에서 버스트 에러(10-40비트)가 발생하면 ATM 데이터의 전송성능은 상당히 저

* 한국통신 통신망연구소(yikim@kt.co.kr)
** 유한대학 정보통신과
*** 한국항공대학교 항공통신정보공학과
**** 충북대학교 컴퓨터과학과
논문번호 : 98486-1109, 접수일자 : 1998년 11월 9일

하된다[3,4]. 한편, 기존의 협대역 무선통신에서는 열악한 무선 전송로의 성능을 개선하기 위해서 트래픽 속성에 상관없이 다이버시티, 등화, FEC (Forward Error Correcting) 및 ARQ (Automatic Repeat reQuest)기법 등을 일괄적으로 적용하는 것이 연구되고 있다[8]. 그러나 음성, 데이터, 영상 등의 등시성 멀티미디어 트래픽을 처리해야 하는 광대역 무선통신에서는 트래픽별로 QoS(Quality of Service) 목표치가 다르므로 트래픽 속성에 상관없이 일괄적으로 성능개선 기법들을 적용하는 것은 또 다른 성능저하 현상을 초래한다. 결국 멀티미디어 서비스 제공을 목표로 하는 무선 ATM망에서는 각각의 트래픽별로 QoS목표치를 만족시키면서 최상의 통합성능(셀 손실율, 셀 에러율, 처리율등)을 얻을 수 있는 대책이 강구되어야 한다. 따라서 이 논문에서는 무선 ATM접속망을 통해 CBR 트래픽이 전달될 때 QoS 목표치를 만족시키면서 최상의 CLR성능을 얻을 수 있도록 무선링크에 concatenated FEC 기법을 적용하고 성능분석을 통해 개선효과를 확인하였다.

이 논문은 2장에서 무선 ATM통신망의 구조 및 프로토콜과 트래픽 모델에 대하여 설명 하였으며 3장에서는 접속노드와 무선링크로 구성되는 무선 ATM접속망의 성능을 ATM 데이터의 QoS(Quality of Service) 파라메터인 셀 손실율을 이용하여 성능을 분석하였다. 4장에서는 무선링크를 통한 ATM 데이터의 전송시 열화된 성능을 개선할 수 있는 FEC기법들의 적용방안을 검토한 후, 이중 대표적인 concatenated FEC기법의 성능분석을 통해 성능개선 효과를 확인하였다. 5장에서는 본 논문의 주요 연구내용 및 결과와 향후 연구방향등 결론을 맺었다.

Ⅱ. 무선 ATM 망

1. 망구조 및 프로토콜

ATM은 B-ISDN을 구현하기 위한 통신방식으로 ATDM(Asynchronous TDM)을 사용하는 특수한 형태의 패킷형 전달방식이며 체계적이고 융통성있는 정보전달을 위해서 프로토콜 계층구조를 갖는데 물리계층, ATM계층, ATM 적응계층 및 상위계층으로 구성된다.

무선 ATM망은 무선환경에서 유선 ATM망과 접속할 수 있고 유선 ATM망에서 제공하는 다양한 광대역 통신서비스를 제공할 수 있는 유선 ATM망의 확장된 개념이다. 그러나 무선 전파환경의 열악한 전송특성을 고려할 때 무선 ATM망에서 제공할 수 있는 서비스의 질과 양적인 측면에서 유선 ATM망과 많은 차이가 예상된다. 무선 ATM망의 기준구성은 (그림 1)과 같이 라디오 액세스 부분과 고정망 부분으로 구성되며 고정망 부분은 "M(mobile ATM)" UNI 및 NNI에 의해서 규정되고 라디오 액세스 부분은 "R(Radio)" RAL(Radio Access Layer)로 규정된다.

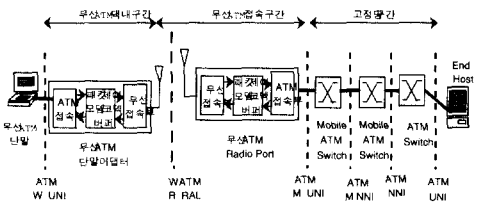


그림 1. 무선 ATM망의 구성

또한 무선 ATM망은 음성, 데이터 및 영상 등의 멀티미디어 서비스에 효율적으로 대처할 수 있는 유연성을 지녀야 하며 이들 서비스들을 효과적으로 제공하기 위해서 이동성, 자원관리, 전송오류율, 프로토콜 참조모델 및 QoS 파라메터 재협상등에 관한 기능들이 수행되어야 하고 유선망과의 인터페이스가 원활하게 이루어져야 한다.

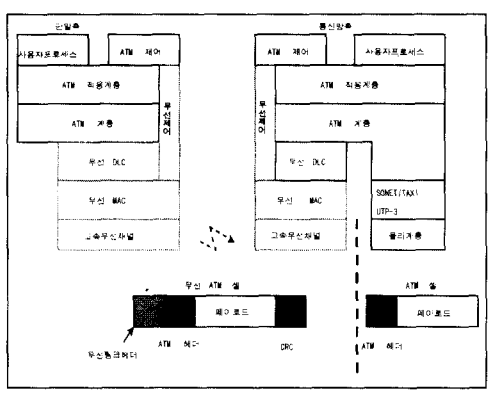
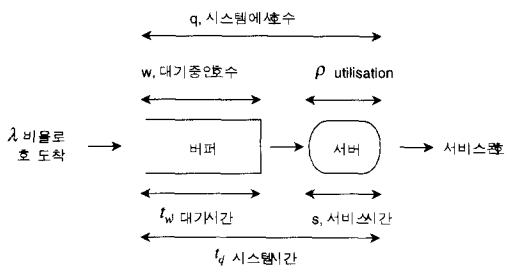


그림 2. 무선ATM망의 프로토콜 계층구조

다시 말하면 ATM망에 무선 액세스 기능을 확장하는 것은 (그림 2)와 같이 유선 ATM망의 프로토콜 계층구조에 많은 변경이 요구된다. 즉, 무선채널 관련 MAC(Medium Access Control), DLC(Data Link Control) 및 무선망 제어계층(Wireless Control Layer)이 기존의 ATM 프로토콜 계층구조에 추가되어야 한다[1,2].

2. 트래픽모델

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 3)과 같은 queueing 시스템을 이용한다.



λ : 단위시간당 평균 호 도착 횟수
s : 각 가입자당 평균 서비스시간
ρ : 이용률(서버가 busy인 시간 비율)
q : 시스템에 존재하는 평균 가입자수
tq : 가입자가 시스템에서 머무르는 평균시간
w : 서비스되기 전에 대기하는 평균 가입자수
tw : 가입자가 서비스되기 전에 대기하는 평균시간

그림 3. queueing 시스템

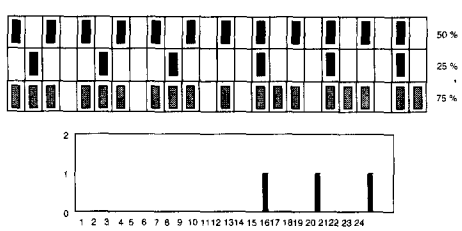


그림 4. Cell scale 및 burst scale queueing

결국 모든 source는 정해진 위치에 항상 셀을 발생하는 것은 아니다. 발생확률은 높지 않지만 모든 source들이 같은 time slot에 셀이 전송되도록 동시에 셀을 발생할수 도 있는 것이다. 예를들면, 2115개의 CBR source로 부터의 셀이 다중화되는 경우에 같은 slot에 도착되는 셀은 0에서 2115개가 될 수 있는 것이다. 이러한 셀 레벨의 queueing을 cell-scale queueing이라고 한다. burst scale queueing은 동시에 발생하는 burst의 총입력율이 ATM버퍼의 cell slot rate를 초과하는 경우이다. 예를들면 50%, 25% 및 33%의 셀발생률을 갖는 source를 생각할 때 총 셀 발생률은 queue의 서비스율을 초과하고 일정기간동안 셀이 지연되게 된다. 이와같이 장기간의 queueing을 burst-scale queueing이라고 한다. (그림 4)는 Cell scale 및 burst scale queueing을 나타낸다.

Ⅲ. 접속망 성능분석

1. 접속노드 성능

CBR 트래픽인 경우에는 ND/D/1 queue를 이용하여 모델링될 수 있으며 입력 프로세스는 N 개의 독립적인 주기성 source를 가지며 각 source는 동일 주기 D를 갖는다. 예를 들어 1000 CBR source인 경우에 N=1000이 되며 D=2115 time slot이 된다. 즉, 각 64kbps CBR 서비스인 경우에 48 octet 크기의 정보부가 모두 채워진다면 cell rate는 167 cell/sec이며 이들 CBR 서비스들이 155.52Mbps 링크에 보내지는 경우 155.52 Mbps 링크는 353,208 cell/sec율을 가지므로 N×167 < 353,208을 만족해야된다. 결국 각 source는 2115 타임슬롯마다 셀을 전송할 수 있다. 버퍼용량은 무한대라고 가정하며 CLR은 queue가 임의의 버퍼크기 x 를 초과할 확률에 의해서 근사될 수 있으며 식 (1)과 같이 된다.

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

고정부하 $\rho = N/D = 0.95$일 때 N= 50~1000의 source수를 변수로 하는 버퍼용량(x)에 따른 CLR를 구할 수 있다. 이때 입력 source의 수가 CLR에 중요한 영향을 미치며 트래픽은 주기적이고 이용율(utilization)는 1이하이므로 CBR source가 time slot기간에 최대로 발생시킬 수 있는 셀수는 각 source당 1개로 제한된다. 결국 N값이 queue의 최대크기를 좌우하게 되며 N 개의 버퍼공간이 주어진다면 손실은 전혀없게 된다.

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 식 (2)와 같다.

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

ρ =0.95에서 ND/D/1 queue의 CLR성능과 heavy traffic 상태에서 ND/D/1 queue의 CLR성능은 근접

한다. 그러나 N값을 고정시키고 ρ (utilization)에 따른 CLR성능을 구하면 heavy traffic 상태의 ND/D/1 queue가 더 좋은 성능을 나타낸다. heavy traffic 상태인 경우에 ND/D/1 queue의 CLR는 M/D/1 queue의 CLR과 유사하며 x값이 작은 경우에는 ND/D/1이 M/D/1 queue와 유사하게 동작하나, x가 큰 경우는 ND/D/1 queue의 CLR 수식에서 x2항 성분을 무시할 수 없으므로 다른 성능을 나타낸다. 따라서 N값이 매우 큰 경우에 poisson process는 N CBR source에 대해 매우 적절한 근사치이며 $N\rightarrow\infty$인 경우에 ND/D/1 과 M/D/1은 일치하게 된다. ρ 는 이용률, x는 버퍼의 크기, N은 source의 수를 말한다. (그림 5)는 N개의 CBR source에서 E1급 회선에 ATM셀을 평균 20 셀/sec의 속도로 전송할 때 특정 N값에서 버퍼의 크기에 따른 셀 손실율 CLR(x, N)을 나타낸다.

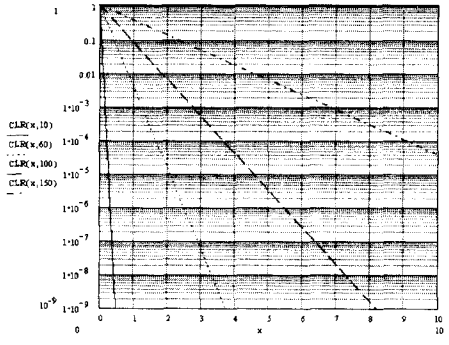


그림 5. N개 CBR source인 경우 버퍼용량에 따른 셀손실율

2. 무선링크 성능

ATM계층의 성능은 물리계층의 BER(Bit Error Rate)등 비트에러 특성에 따른다[4]. 광전송 링크에서는 비트에러가 랜덤하게 분포하나 무선전송 환경에서는 최소의 전력으로 최대의 전송 품질을 얻기 위해 모뎀에 FEC기능이 도입되는 데 이 기능이 정상적으로 동작되지 못하는 경우에 비트에러가 버스트형태로 발생한다. 이렇게 무선링크에서 발생된 버스트 에러는 ATM 프로토콜 동작에 영향을 미친다.

ATM셀 손실의 정도는 CLR(Cell Loss Ratio)로 나타내어 지고 셀에서 에러가 감지되지 못한 경우에 셀이 다른 VC/VP(Virtual Channel/Virtual Path)로 잘못 전송될 수 있으며 이는 CIR(Cell mis-Insertion 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.

2.1 랜덤 비트에러 환경에서 ATM CLR 분석

독립적이고 동일하게 분포된 랜덤 단일 비트에러가 일정한 BER값 p로 전송링크에서 발생하는 경우 식 (3)과 같이 이항 분포식를 따른다. 이는 길이 h의 블록에 n 비트 에러가 발생하는 확률로서 CLR, CER, SECR 산출의 기본식이 되며 s는 단일 랜덤 비트 에러를 의미한다.

$$P_{s(n)} = {}_hC_n p^n (1-p)^{h-n} \tag{3}$$

CLR은 셀이 폐기되는 확률로서 HEC가 단일 비트에러를 정정할 수 있으므로 2개 이상의 에러가 발생하는 확률, 즉 1-Ps(0)-Ps(1)로 계산된다. 그러나 버스트 에러에 대한 취약성을 해소하기 위해서 (그림 6)과 같이 HEC의 dual-mode상태가 채택된다.

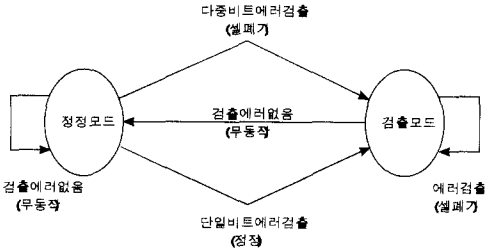


그림 6. HEC 알고리즘의 dual-mode상태

셀 손실율(CLR)은 P(정정모드) • P(헤더에 2개이상 에러 발생) + P(검출모드) • P(헤더에 1개이상 에러 발생) = $P_c[1-P_s(0)-P_s(1)]+P_d[1-P_s(0)])]$ 가 된다. 여기서 Pc 및 Pd는 각각 수신측이 정정 및 검출모드에 있을 확률을 말한다. Pc 및 Pd는 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 된다.

$$\begin{aligned} CLR &= P_s(0)[1-P_s(0)-P_s(1)]+ \\ &\quad [1-P_s(0)]\,[1-P_s(0)] \\ &= 1-P_s(0)-P_s(0)P_s(1) \end{aligned} \tag{4}$$

2.2 Burst에러 환경에서 ATM CLR분석

위성시스템에서는 전력효율을 향상시키기 위해서 FEC 기법을 사용하며 convolution 코드와 viterbi decoder를 이용한다. 이 때 FEC가 정상적으로 동작

하지 못하는 경우에 burst에러가 발생할 수 있으며 이때 decoder 출력에서 burst 에러모델이 주요연구 대상이다. 즉, 평균 burst 길이와 burst에서의 에러가 poisson 분포를 따른다고 하면 Neyman-A contagious 모델을 적용할 수 있다. 이 경우에 평균 에러 burst 길이가 b이고 h비트의 간격에 n 비트의 에러가 발생할 확률 PB(n)은 (식5)와 같다. 변조방식은 QPSK를 이용하고 convolution 코드(코드율 : r=1/2, 구속장 : ν=7) 와 viterbi decoder를 이용한다.여기서 p는 viterbi decoder 출력에서 BER이며 p_e는 복조기의 출력 비트에러, γ는 비트당 에너지 대 잡음전력 밀도비를 말하고 D는 Bhattachayya의 상한식, M은 신호의 상태수를 말한다.

CLR은 2개이상의 에러가 발생하는 확률로 모델링할 수 있고 이 경우 HEC의 dual-mode 동작상태와 에러가 검출되지 않는 경우는 무시하기로 한다.

$$P_B(n)=\frac{b^n}{n!}\exp(\frac{-hp}{b})\sum_{j=0}^{\infty}(\frac{hp}{b}\exp(-b))^j\frac{j^n}{n!} \quad (5)$$

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

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

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

P(2개이상 에러 발생)는 1-PB(0)-PB(1)가 된다. h 는 헤더의 길이로 40을 적용한다.

$$\begin{aligned}&1-P_B(0)-P_B(1)\\&=1-\frac{b^0}{0!}\exp(-\frac{hp}{b})\sum_{j=0}^{\infty}[\frac{hp}{b}\exp(-b)]^j\frac{j^0}{0!}\\&\quad-\frac{b^1}{1!}\exp(-\frac{hp}{b})\sum_{j=0}^{\infty}[\frac{hp}{b}\exp(-b)]^j\frac{j^1}{1!}\\&=1-\exp(-\frac{40p}{b})[1+\frac{(1+b)40p}{b}\exp(-b)]\end{aligned} \quad (6)$$

2.3 결과검토

본 분석에서는 버스트의 길이(b)를 6, 15, 30, 40으로 가정하였으며 (그림 7)의 시뮬레이션 결과에서 보듯이 CLR은 전반적으로 버스트에러 환경이 랜덤에러 환경보다 성능이 저하된다. 버스트 에러환경인 경우 버스트길이가 6이고 γ = 5, 10, 15, 20, 25, 30 일 때 CLR값은 각각 0.481, $9.257x10^{-3}$ $9.596X10^{-5}$, $1.097X10^{-6}$, $1.468X10^{-8}$, $2.204X10^{-10}$ 이며 랜덤에러 환경은 γ = 5, 10, 15, 20, 25, 30 일 때 $0.984, 4.484X10^{-3}, 5.103X10^{-7}, 6.673X10^{-11}$, $1.553X10^{-14}, 4.951X10^{-15}$ 이 된다. γ값이 거의 10 dB이상인 경우 랜덤에러 환경보다 버스트 에러환경에서의 성능이 저하된다.

3. 접속망의 통합성능

무선 ATM접속망의 성능은 무선 접속노드 및 무선채널을 모두 고려한 CLR(Cell Loss Ratio)로 평가한다. 무선접속노드의 버퍼 오버플로로 인한 CLR과 무선채널의 BER에 따른 CLR은 서로 독립적인 프로세스이므로 접속망의 CLR은 식 (7)과 같다. 즉, N개의 CBR source에서 ATM 데이터가 발생되어 무선채널에 전송되는 경우에 무선채널 및 무선 접속노드에서 발생되는 통합 CLR을 말한다.

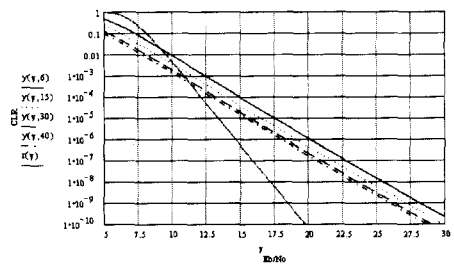


그림 7. γ 에 따른 CLR 분석결과

(그림 8)은 CLRB(x, N, γ)와 CLRS(x, N, γ)로 표시되는 버스트에러 또는 랜덤에러 환경에서의 통합 CLR값을 나타낸다. CLR_c 는 무선채널의 버스트에러 또는 랜덤 에러환경에서의 셀 손실율을 나타내고, CLR_o는 무선 접속노드에서의 셀 손실율을 말한다. 이때 x는 버퍼의 크기, N은 source의 수, γ는 비트당 에너지 대 잡음전력 밀도비, ρ 는 이용도로서 Nm/C(m : 평균 셀 발생률, C : 셀 슬롯율)을 말한다. (그림 8)은 b = 6, N = 10/60/100/150, m = 20셀/sec , C = 4528 셀/sec 일때의 결과이며 무선채널의 경우 버스트에러 환경보다 랜덤에러 환경의 성능이 양호함을 알 수 있고 무선 접속노드에서 CBR source의 수가 증가할수록 셀 손실율이 증가되나 버퍼용량이 커지면 성능이 개선될 수 있다.

CLRB(x, N, γ) 또는 CLRS(x, N, γ)
= CLRO + (1-CLRO)CLRC (7)

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

$$CLR_c = 1 - P_s(0) - P_s(0)P_s(1),$$
$$P_s(n) = {}_kC_n\, p^n (1-p)^{k-n}$$

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

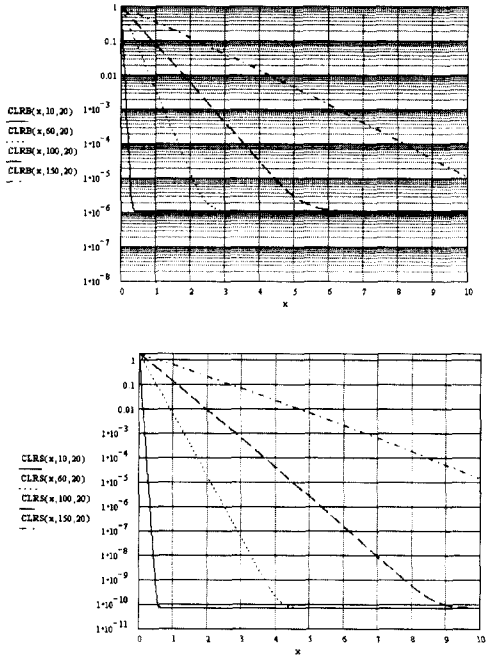


그림 8. CBR source의 통합 CLR

Ⅳ. 전송성능 개선기법

표 1. 트래픽 형태별 서비스 요구조건

트래픽 등급	BER	CLR	CDV	CTD
CBR	10^{-4}	$10^{-4}-10^{-6}$	0 ms	10ms - 2sec
rt-VBR	10^{-6}	$10^{-6}-10^{-7}$	0 ms	10ms - 2sec
nrt-VBR	10^{-9}	$10^{-7}-10^{-9}$	100ms - 500ms	-

ATM셀을 무선링크를 통하여 전송하는 경우에 광 전송링크를 통하여 전송하는 경우보다 CLR값이 상당히 저하된다는 것을 (그림 7)의 성능분석 결과에서 알 수 있다. 이는 ATM셀이 무선 프레임에 삽입되어 이동단말과 기지국사이에서 송수신되는 데 무선구간에서의 송수신시 다중경로 페이딩, 간섭 및 shadowing현상으로 비트에러율이 증가하기 때문이다. 따라서 ATM셀을 무선링크를 통해 전송할 때 트래픽 형태별로 <표 1>을 만족하도록 성능 저하현상을 보상할 수 있는 방안이 강구되어야 하는데 대표적인 방안은 <표 2>와 같다[5,6].

표 2. 무선 ATM망의 전송성능 개선기법

계 층	전송성능 개선기법	비 고
ATM 계층	-	-
DLC 부계층	ARQ	기존 ATM 프로토콜에 추가
MAC 부계층	-	기존 ATM 프로토콜에 추가
TC 부계층	다중접속, FEC, 인터리빙	-
PMD 부계층	섹터안테나,다이버시티[15], 등화	-

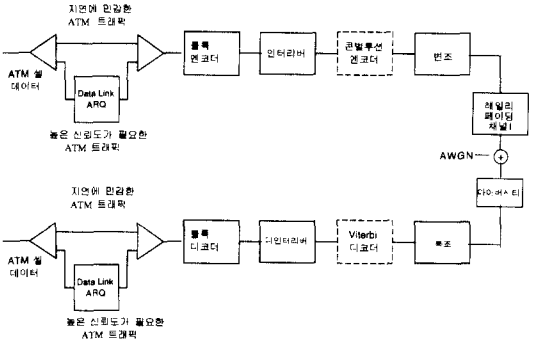


그림 9. 무선 ATM망의 전송성능 개선을 위한 에러제어구조

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

catenated 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 ATM망의 트래픽 속성에 따라 인터리빙 기법과 함께 (그림 9)의 통합 에러제어 구조하에서 융통성 있게 적용되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 CBR 트래픽의 전송성능 개선에 적합한 FEC 기법을 이용한다.

1. FEC기법의 적용방안

FEC코드를 이용하는 첫 번째 방법은 (그림 10)과 같이 ATM 셀을 전송할 때 패리티 셀을 추가로 전송하여 전송시 오류가 발생한 셀을 정정하는 방식이 제안되고 있다. 이 방법은 기존 프로토콜을 변경시키지 않고 메모리 및 에러 검사 기능만을 일부 추가시키면 사용이 가능하다. 버스트 셀 오류도 복원할 수 있는 장점이 있으나, 추가적인 셀이 소요되므로 오버로드를 야기시킬 수 있으며, 단위 블록당 에러 검사로 인하여 셀 지연이 크게 증가한다. 또한 ATM HEC코드(외부코드)와 콘벌루션 코드(내부코드)의 concatenation형태가 이용될 수 있으며, 일반적으로 외부코드는Reed-Solomon, BCH등의 블록코드가 주로 사용되고 내부코드는 콘벌루션 코두가 사용된다. 내부코드의 디코딩 에러로 인한 성능저하 현상을 보상하기 위해 콘벌루션 코드의 디코더 출력에서 에러를 분산시킬 수 있는 인터리빙기법이 추가로 사용될 수 있다[8].

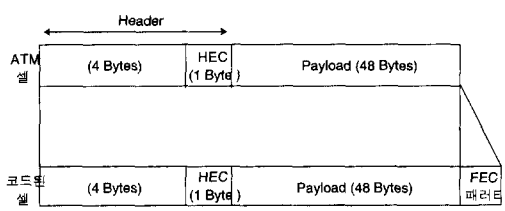


그림 10. ATM Cell에 패리트 비트를 추가하는 방법

인터리빙방법은 채널상에서 동시에 다발적으로 발생한 에러비트들을 랜덤 비트에러의 형태로 바꾸어 주기 때문에 에러정정능력이 제한된 FEC코드의 효율을 극대화할 수 있다. 무선 ATM망에서의 인터리빙기법은 채널 인터리빙과 ATM셀 인터리빙으로 구분할 수 있으며 채널의 특성에 따라 이 두가지 방식을 단계적으로 결합하는 것도 고려되고 있다.

두 번째 방법은 (그림 11)과 같이 ATM셀의 헤더 및 페이로드에 다른 FEC코드를 적용하는 데 헤더에는 매우 큰 이득을 갖는 코드를 적용하고 페이로드에는 큰 코드율을 갖는 코드를 적용하는 방법이다[5]. 무선 ATM 시스템에서 FEC기법의 성능을 평가하는 파라메터로 BER(Bit Error Rate)과 CLR(Cell Loss Ratio)이 대표적인 데 BER을 향상시키기 위해서 ATM셀에 FEC코드를 추가하는 경우에 BER은 물론 CLR이 개선되는 반면 코드율이 감소되어 리던던시가 증가하여 비효율적이다. 결국 무선 ATM셀은 HEC가 제거되고 FEC가 각각 헤더 및 페이로드에 추가되는 형태로서 무선 ATM셀이 만들어지기 전에 단일비트 에러는 정정되고 다중비트 에러를 갖는 셀은 폐기된다. 그 후에 HEC는 제거되고 헤더에 FEC를 추가한 후에 에러가 검출되면 무선구간에서 셀이 폐기되며 무선구간후의 유선구간에서 새로운 HEC가 발생된다.

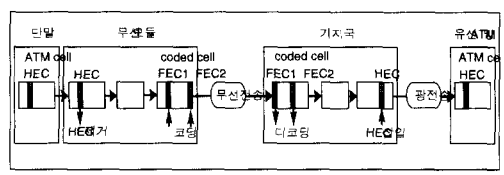


그림 11. 헤더 및 페이로드에 다른 FEC 기법의 적용

세 번째 방법으로서 두 개의 FEC중 한 개는 압축된 헤더(2 바이트)에 적용하고 다른 하나는 가변율 코드로서 48바이트의 데이터 필드에 적용하는데 코드율은 헤더에 포함된 QoS정보에 의해서 결정된다. ATM셀의 헤더는 정상적으로 디코딩되거나 폐기되는 두가지 경우를 생각할 수 있으며 음성, 팩스, 화상회의, HDTV, 데이터 및 실시간 응용정보서비스는 서로 요구되는 QoS 목표치가 다르기 때문에 그 상황에 맞는 가변적인 에러제어 절차가 필요하다. 결국 가변적인 에러정정절차를 구현하기 위해 동일한 인코더/디코더 회로를 사용하여 ATM헤더의 QoS정보를 이용, 트래픽 형태에 적합한 가변율 코드를 발생시키고 디코딩하며 가변율 코드로 shortened code가 주로 이용된다. 높은 코드율을 갖는 코드는 에러검출 및 정정능력이 떨어지지만 대역이용율이 높으며 반면에 낮은 코드율을 갖는 코드는 에러 검출 및 정정능력이 향상되나 대역이용률이 다소 낮아진다. 결국 무선 ATM셀이 무선링크를 통해서 전송될 때 비트 및 셀동기는 만족한다고 가정할 때 헤더가 먼저 디코딩되고 이것이 성공적으로

이루어지면 QoS정보가 추출되어 페이로드를 디코딩하기 위한 코드율을 결정하게 된다. (그림 12)는 가변율 인코더/디코더의 블록도를 나타낸다.

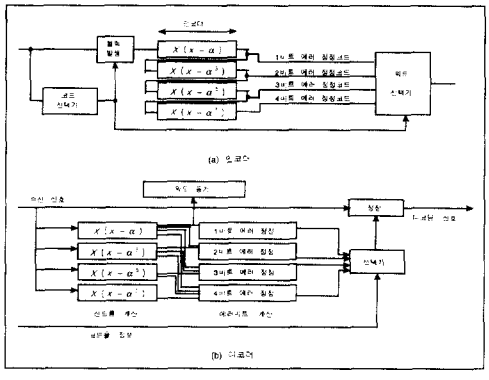


그림 12. 가변율 인코더/디코더의 블럭도

(n,k) t-에러정정 코드를 C라고 할 때 임의의 l이 k>l을 만족할 때 발생된 Cs(l)도 원래의 코드와 대등한 에러정정 능력을 갖고 있다. 가변율 FEC기법은 l의 다른값을 선정하여 ATM 셀의 데이터 필드에 shortened 코드기법을 여러번 적용하는 것이다. 이 때 원래의 코드는 고정되어 있고 동일한 회로를 이용하여 다양한 코드율의 코드를 발생시키고 디코딩한다. 다중 shortened 코드를 적용하는 절차는 다음과 같다.

N개의 비트를 m1, m2, m3, ..., mb의 동일 비트수를 갖는 세그먼트로 분할한다. 즉 N개의 정보비트를 mj($1 \le j \le b$) 세그먼트로 분할한다. 각각 N/mj 비트의 세그먼트는 l이 k-l=N/m에 의해서 결정되는 (n-l, k-l) shortened 코드인 Cs(l)로 코딩된다. 그리고 인코더와 디코더는 b+1개의 에러제어상태 S0, S1, S2, ..., Sb를 갖는데 S0는 데이터 세그먼트에 에러보상절차가 적용되지 않는 경우이고 Sj는 데이터블럭이 mj 세그먼트로 분할되고 코드 Cs(l)이 각각의 N/mj비트의 세그먼트에 한 번씩 mj번 주어진 QoS에 대해 적용된다.

2. Concatenated FEC 기법의 성능분석

무선 채널환경은 Rayleigh 페이딩 채널이라고 하고 변조기법은 QPSK가 사용된다. 무선 ATM셀의 크기는 (그림13)과 같이 54 바이트이며, 이 중 48 바이트는 페이로드이고 5 바이트의 길이를 갖는 표준 ATM셀의 헤더는 2 바이트로 압축되며, 여기에 각각 2 바이트의 무선 데이터링크 헤더와 CRC코드가 추가된다. 그리고 각 기법의 성능은 패킷에러율과 처리율로 평가하며 패킷의 크기는 2 바이트로 압축된 ATM셀의 헤더와 48 바이트의 페이로드로 구성되는 50 바이트가 된다.

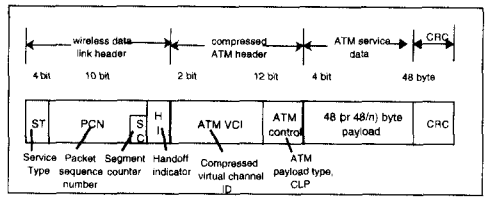


그림 13. 무선 ATM셀 구조

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 손실율($CLR(\gamma, t)$)은 식 (8)과 같이 계산된다. 이 때 Rayleigh 페이딩환경에서 QPSK 변조방식을 이용하며, M은 QPSK방식이 사용되므로 4가 된다. 여기서 t 는 Viterbi decoder 출력에서 BER이며, p_e는 복조기의 출력 비트 에러율, γ는 비트당 에너지 대 잡음전력 밀도비를 말하고 D는 Bhattachayya의 상한식, M은 신호의 상태수를 말한다[7,9].

$$CLR(\gamma, t) \le 1 - \left[\sum_{i=0}^{t} \binom{n}{i} (1-p)^{n-i} p^i \right] \qquad (8)$$

$$p \le 1/2(7D7 + 39D8 + 104D9 + 352D10)$$

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

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

이 때 n 은 16 + 6t 비트이고 k 는 압축된 ATM 헤더의 길이인 16 비트를 의미한다. BER 계산시 Rayleigh 페이딩 채널과 이상적인 인터리빙을 가정하였으며, 식 (8)을 이용한 시뮬레이션 결과는 (그림 14)와 같다. (그림 14)는 CLR이 동일한 무선 채널의 Eb/No 조건에서 에러정정 능력이 증가(t 값이 커짐)함에 따라 성능이 향상되는 것을 나타낸다.

그러나 에러 정정능력이 더 좋은 부호를 사용한다는 것은 코드율의 감소를 의미하며 전체적으로 리던던시의 증가를 초래하므로 처리율이 감소될 수 있다. CLR은 γ = Eb/No = 15dB에서 t=3,4,5,6일 때 각각 $3.425X10^{-10}$, $3.583X10^{-11}$, $7.786X10^{-12}$, $3.114X10^{-12}$이며 에러 정정능력이 양호할수록 셀 손실율은 감소하고 III 장 2절에서 콘벌루션 코드만 이용한 경우의 시뮬레이션 결과인 셀 손실율(버스트 에러인 경우 : $9.596X10^{-5}$, 랜덤에러인 경우 : $5.103X10^{-7}$)보다 성능이 개선되었다. 결국 무선링크에서 셀 손실율의 감소는 무선 ATM 접속망에서 통합 CLR의 감소를 의미하므로 접속망의 CLR 성능이 개선된다.

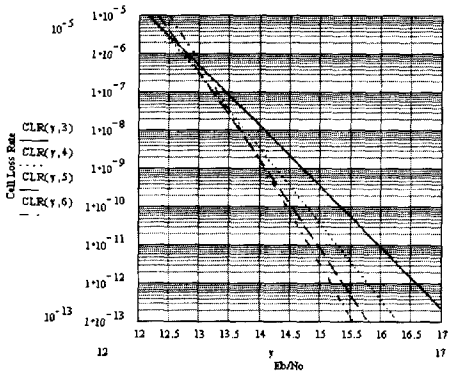


그림 14. Concatenated FEC기법의 CLR 성능

V. 맺음말

이 논문에서는 무선접속노드와 무선링크로 구성되는 무선 ATM접속망에서의 ATM 셀손실율을 정량적으로 분석하였으며, 이를 위해 무선접속노드는 *ND/D/1* queue로 모델링하였고 무선링크는 단일 및 버스트 에러환경으로 구분하였다. 무선접속 노드의 성능분석 결과에서는 CBR source의 수가 적을수록 버퍼용량이 커질수록 노드에서의 CLR성능은 개선되고 ATM 데이터를 무선채널을 통해 전송하는 경우에 무선링크의 Rayleigh 및 Rician 페이딩 채널특성, 전력제한, 버스트 에러 특성으로 인해 단일 비트에러 환경의 유선링크에서 보다 상당한 전송성능 열화가 발생하는 것을 확인하였다. 이러한 무선링크의 성능열화 현상으로 무선 ATM접속망의 통합 CLR성능이 저하되는 것은 당연하며 무선링크의 성능 열화현상을 보상하기 위한 에러제어 구조를 제시하였다. 그리고 이러한 에러제어 구조에서 CBR 트래픽의 성능개선에 적합한 FEC(Forward Error Correcting) 기법의 적용방안을 검토한 후, 이 중 대표적인 concatenated FEC 기법의 성능을 셀 손실율 측면에서 분석한 결과 콘벌루션 코드만 적용한 경우보다 CLR성능이 개선됨을 확인하였다. 앞으로는 CBR 트래픽외에 다른 형태의 트래픽도 고려하며 CLR(Cell Loss Rate)외에 CER(Cell Error Rate), CDV(Cell Delay Variation), 버퍼용량, 전달지연 및 호손율등의 QoS도 추가로 고려하여 종합적인 연구를 수행할 예정이다.

참 고 문 헌

[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] H. Xie, "Data Link Control Protocols for Wireless ATM Access Channels," *IEEE VTC*, pp. 753-757, April 1995.

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

[4] S. Agnelli, "Transmission of Framed ATM Cell Streams over Satellite : A Field Experiment," *Proc. of ICC'95*, Vol. 3, pp. 1567-1571, 1995.

[5] Satoru Aikawa, Yasushi Motoyama and Masahiro Umehira, "Forward Error Correction Schemes for Wireless ATM Systems," *ICC '96*, pp. 454-458, 1996.

[6] Satoru Aikawa, Hijin Sato and Teruaki Yoshida, "Performance Analysis of Variable-Rate for Multimedia Radio Communication," *IEICE Trans. Com.*, Vol. E77-B, No.9, Sep. 1994.

[7] David Haccoun and Guy Begin, "High-Rate Punctured Convolutional Codes for Viterbi and Sequential Decoding," *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 37, No.11, pp. 1113-1125, Nov. 1989.

[8] Stephen B. Wicker, "Error Control Systems for Digital Communication and Storage," *Prentice Hall International*, Inc., 1995.

[9] 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.

김 영 일(Young-il Kim) 정회원
1984년 2월 : 전남대학교 전자계산학과 졸업
1986년 2월 : 한국외국어대학교 경영정보대학원 전자계산학과 석사
1997년 2월 : 충북대학교 전자계산학과 박사과정수료
1986년 2월~1998년 12월 : 한국통신 망관리연구소 데이터망관리연구실장
1999년 1월~현재 : 한국통신 통신망연구소 PC 통신망관리연구실장
<주관심분야> 데이터통신망설계, 트래픽이론, 데이터베이스 설계, 프로토콜 설계

이 하 철(Ha-cheol Lee) 정회원
1983년 2월 : 한국항공대 항공통신공학과 졸업
1990년 8월 : 한국항공대 항공통신정보공학과 석사
1997년 8월 : 한국항공대 항공통신정보공학과(박사과정 수료)
1983년 3월~1985년 6월 : ETRI 연구원
1985년 6월~1995년 9월 : 한국통신 통신처리개발팀장
1995년 9월~현재 : 유한전문대학 정보통신과 조교수
1993년 12월 : 정보통신기술사
<주관심분야> TRS, 트래픽 모델링, 무선 ATM, B-ISDN

이 병 섭(Byung-seub Lee) 정회원
1979년 2월 : 한국항공대 항공통신공학과 졸업
1981년 2월 : 서울대 전자공학과 석사
1990년 5월 : New Jersey Institute of Technology 공학박사
1981년 3월~1992년 9월 : ETRI 연구실장
1992년 9월~현재 : 한국항공대 항공통신정보공학과 교수
<주관심분야> 위성통신, 신호처리, Adaptive Arry, 무선ATM망

류 근 호(Keun-ho Ryu)
1976년 2월 : 숭실대학교 전산학과 졸업
1980년 : 연세대 산업대학원 전산전공 석사
1988년 : 연세대 대학원 전산전공 박사
1976년~1986년 : 육군군수 지원사 전산실(ROTC장교), ETRI(연구원), 한국방송통신대 전산학과(조교수) 근무
1989년~1991년 : Univ. of Arizona. Research Staff(TempIS 연구원, Temporal DB)
1986년~현재 : 충북대학교 컴퓨터과학과 교수
<주관심분야> 시간지원데이타베이스, 시공간데이타베이스, 지식기반 정보검색, 객체 및 지식베이스 시스템