

무선 ATM접속망에서 랜덤 트래픽의 셀 손실을 분석 및 개선방안

정회원 이하철*, 이병섭**

CLR Performance of Random Traffic in Wireless ATM Access Network

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

요 약

본 논문에서는 무선 ATM(Asynchronous Transfer Mode)접속망에서 무선링크를 통한 랜덤 ATM 데이터의 전송 시 ATM 셀손실율을 정량적으로 분석하였으며 유선 ATM환경보다 무선 ATM환경에서 셀손실율이 더 높다는 것을 확인하였다. 무선 ATM접속망에서 ATM기술을 무선링크에 적용하는 경우에 Rayleigh 및 Rician 페이딩 채널 특성, 전력제한, 단일 및 버스트 에러로 인해 유선링크에서 보다 상당한 전송성능 열화가 발생하는 것은 필연적이며 이를 보상하기 위한 방안들이 강구되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 이러한 무선채널의 전송성능 열화현상을 극복하기 위한 에러제어구조를 제시한 후 랜덤 트래픽에 적합한 FEC(Forward Error Correcting) 기법들의 적용방안을 검토한 후, 셀 손실율측면에서 성능을 비교분석하였다.

ABSTRACT

In this paper we describe our investigation on ATM(Asynchronous Transfer Mode) CLR(Cell Loss Rate) in the wireless ATM access network which consists of access node and wireless link, where focus on the impact of the bit error characteristics of a wireless link on ATM. We first analyze the CLR performance of access node for ATM random traffic, using M/D/1 queueing system and secondly analyze ATM header error correction (HEC) mechanism and calculate ATM CLR for a wireless link. In the second part of the paper we suggest possible error control architecture to improve performance degradation caused by wireless link errors. Finally this paper provides performance results through analysis and simulation for FEC schemes which are appropriate for random ATM traffic and provides performance comparison among FEC schemes through the use of BER and CLR parameter.

I. 서론

ATM기술은 광 케이블과 같이 우수한 전송특성을 갖는 전송매체를 기반으로 개발된 기술이며 ATM 데이터를 광 전송로를 이용하여 전송할 경우에는 오버헤드가 감소하고 처리율을 증

가시킬 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 저하된다^{(3,4)}}.

* 유한대학 정보통신과

** 한국항공대학교 항공통신정보공학과

논문번호: 98465-1027, 접수일자: 1998년 10월 27일

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 본 논문의 2장에서는 무선 ATM통신망의 구조 및 프로토콜과 트래픽 모델에 대하여 살펴보았으며 3 장에서는 접속노드와 무선 링크로 구성되는 무선 ATM접속망의 성능을 ATM 데이터의 QoS(Quality of Service) 파라미터인 셀 손실율을 이용하여 성능을 분석하였다. 4장에서는 무선링크를 통한 ATM 데이터의 전송시 열화된 성능을 개선할 수 있는 에러제어 구조를 검토한 후, 랜덤트래픽에 적합한 FEC기법들의 성능 비교분석을 통해 성능개선 효과를 확인하였다. 5장에서는 본 논문의 주요 연구내용 및 결과를 요약하였으며 향후 연구방향등 결론을 맺었다.

II. 무선 ATM망

1. 망구조 및 프로토콜

ATM은 B-ISDN을 구현하기 위한 통신방식으로 ATDM(Asynchronous TDM)을 사용하는 특수

한 형태의 패킷형 전달방식이며 체계적이고 융통성있는 정보전달을 위해서 프로토콜 계층구조를 갖는데 물리계층, ATM계층, ATM 적용계층 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.

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 파라미터 재협상등에 관한 기능들이 수행되어야 하고 유선망과의 인터페이스가 원활하게 이루어져야 한다. 다시 말하면 ATM망에 무선 액세스 기능을 확장하는 것은 (그림 2)와 같이 유선 ATM망의 프로토콜 계층구조에 많은 변경이 요구된다. 즉, 무선채널관련 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 통신 시스템에서는 queue가 형성되기 때문에 queueing

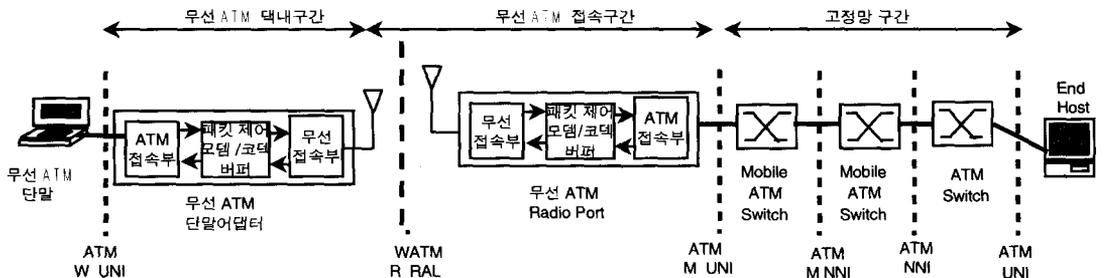


그림 1. 무선 ATM망의 구성

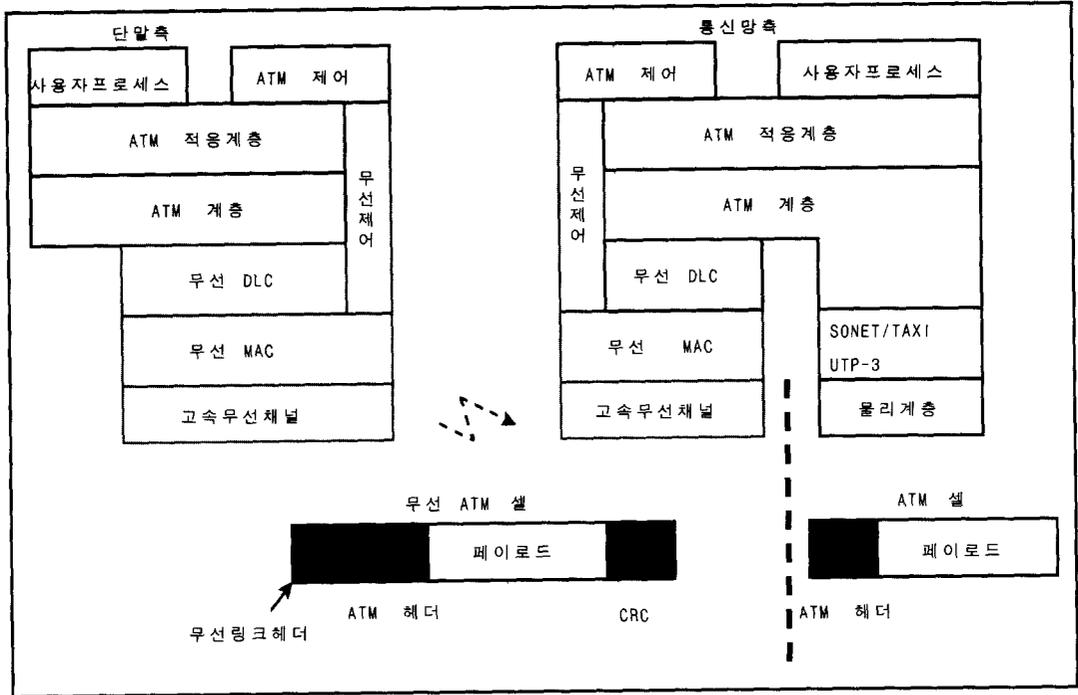
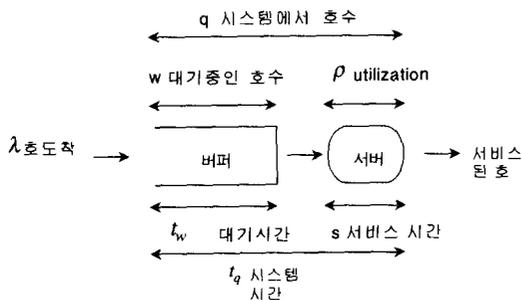


그림 2. 무선ATM망의 프로토콜 계층구조

프로세스를 분석하는 것은 성능 평가의 필수요소이다. ATM통신망에서도 성능분석을 위해 queuing이론을 도입하는 것은 예외가 아니며 이를 위해 (그림 3)과 같은 queuing 시스템을 이용한다.

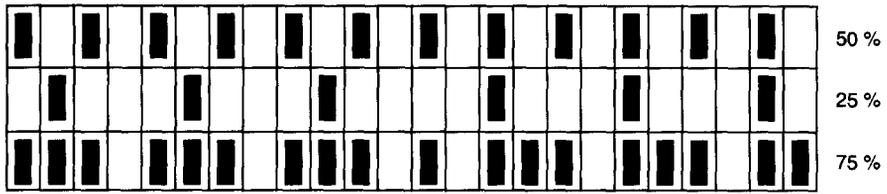


- λ : 단위시간당 평균 호 도착 횟수
- s : 각 가입자당 평균 서비스시간
- ρ : 이용률(서버가 busy인 시간 비율)
- q : 시스템에 존재하는(기다리고 있거나 서비스중인) 평균 가입자수
- t_q : 가입자가 시스템에서 머무르는 평균시간
- w : 서비스되기 전에 대기하는 평균 가입자수
- t_w : 가입자가 서비스되기 전에 대기하는 평균시간

그림 3. queuing 시스템

유한용량의 버퍼는 여러 종류의 많은 입력 셀 source로부터 다중화된 셀이 일시적으로 저장되는 ATM망의 기본요소이다. 다른 종류의 source로부터의 셀 흐름, 입력 source의 수, 셀이 서비스되는 서비스율에 따라 버퍼의 점유율이 달라지며 셀 손실 및 셀 지연현상이 발생하게 된다. 따라서 셀의 크기를 얼마로 할 것이냐가 관건인데 CBR, VBR, 랜덤 트래픽 source로부터 셀이 입력될 때 무선접속 노드에서의 셀 손실율, 버퍼 용량 및 지연시간, 호손율이 성능평가 파라메터가 된다. 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.

결국 모든 source는 정해진 위치에 항상 셀을 발생하는 것은 아니다. 발생확률은 높지 않지만 모든 source들이 같은 time slot에 셀이 전송되도록 동시에 셀을 발생할수도 있는 것이다. 예를 들면, 2115개의 CBR source로부터의 셀이 다중화되는 경우에 같은 slot에 도착되는 셀은 0에서 2115개가 될 수 있는 것이다. 이러한 셀 레벨의 queuing을 cell-scale queuing이라고 한다.



(a) 셀 레벨의 queuing



(b) 버스트 레벨의 queuing

그림 4. Cell scale 및 burst scale queuing

burst scale queuing은 동시에 발생하는 burst의 총입력율이 ATM버퍼의 cell slot rate를 초과하는 경우이다. 예를들면 50%, 25% 및 33%의 셀 발생률을 갖는 source를 생각할 때 총 셀 발생률은 queue의 서비스율을 초과하고 일정기간동안 셀이 지연되게 된다. 이와같이 장기간의 queuing을 burst-scale queuing이라고 한다.

III. 접속망 성능분석

1. 접속노드 성능

랜덤 트래픽인 경우에 CLR는 M/D/1 queue 시스템을 이용할 수 있으며 M/D/1 시스템은

$CLR = Q(x) = \exp\left[-2x\left(\frac{1-\rho}{\rho}\right)\right]$ 가 된다. 이때

$\frac{\rho}{2(1-\rho)}$ 는 M/D/1 시스템의 평균 queue 길이가 되며 $\frac{2(1-\rho)}{\rho}$ 는 queue 길이가 감소하는 율을 나타낸다. 그리고 $Q(x)$ 는 queue 크기가 x 를 초과할 확률을 나타내는데 이는 유한한 버퍼 크기 x 에 대한 CLR의 근사식이 된다. 이 CLR의 근사식은 일반적으로 이용도가 높은 경우에 적합하며 높은 이용도에서 overestimation되며 낮은 이용도에서는 underestimation된다. 그리고 이 경우에 CLR과 버퍼용량간에는 log-linear 관계가 있으며 M/D/1 시스템의 CLR식을 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 수락여절차에도 적용할 수 있는 장점이 있다. (그림 5)는

버퍼의 길이를 X , 랜덤 source의 수를 N 이라고 할 때 무선 접속노드의 셀손실을 $CLR(X,N)$ 을 나타낸다. 즉, 버퍼의 크기가 증가할수록 셀 손실율은 감소하며 source의 수가 증가할수록 셀 손실율은 증가한다.

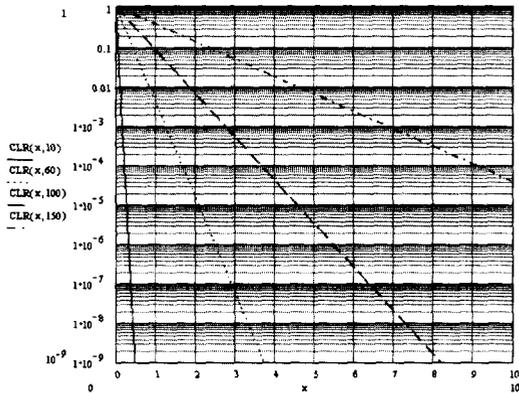


그림 5. 랜덤 source인 경우 버퍼용량에 따른 셀 손실율

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 도입되는데 이 기능이 정상적으로 동작되지 못하는 경우에 비트에러가 버스트형태로 발생한다. 이렇게 무선링크에서 발생된 버스트 에러는 ATM 프로토콜 동작에 영향을 미친다. ATM셀 손실의 정도는 CLR로 나타내어 지고 셀에서 에러가 감지되지 못한 경우에 셀이 다른 VC/VP (Virtual Channel/Virtual Path)로 잘못 전송될 수 있으며 이는 CIR(Cell misInsertion Rate) 파라미터로 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. 무선링크의 셀 손실율 성능을 분석하기 위해 식 (1)에서와 같이 변조방식은 QPSK, 채널코드는 convolution 코드(코드율 : $r=1/2$, 구속장 : $\nu=7$) 와 Viterbi decoder가 사용된다고 가정한다. 여기서 p 는 Viterbi decoder 출력에서 BER이며 p_e 는 복조기의 출력 비트에러율, γ 는 비트당 에너지 대 잡음전력 밀도비

를 말하고 D 는 Bhattachayya의 상한식, M 은 신호의 상태수를 말한다.

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

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

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

2.1 랜덤 비트에러 환경에서 ATM CLR 분석

독립적이고 동일하게 분포된 랜덤 단일 비트에러가 일정한 BER값 p 로 전송링크에서 발생하는 경우 식 (2)와 같이 이항 분포식을 따른다. 이는 길이 h 의 블록에 n 비트 에러가 발생하는 확률로서 CLR, CER, SECR 산출의 기본식이 되며 s 는 단일 랜덤비트 에러를 의미한다.

$$P_s(n) = {}_n C_n p^n (1-p)^{h-n} \quad (식 2)$$

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

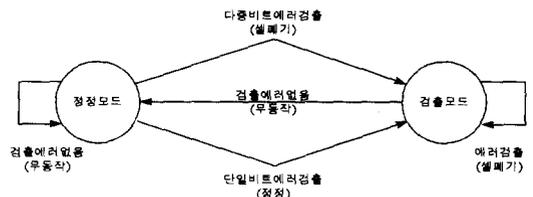


그림 6. HEC 알고리즘의 dual-mode 상태

셀 손실율(CLR)은 $P(\text{정정모드}) \cdot P(\text{헤더에 2개 이상 에러 발생}) + P(\text{검출모드}) \cdot P(\text{헤더에 1개 이상 에러 발생}) = P_c[1-P_s(0)-P_s(1)] + P_d[1-P_s(0)]$ 가 된다. 여기서 P_c 및 P_d 는 각각 수신측이 정정 및 검출모드에 있을 확률을 말한다. P_c 및 P_d 는 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.

$$CLR = P_s(0)[1-P_s(0) - P_s(1)] + [1-P_s(0)][1-P_s(0)] = 1 - P_s(0) - P_s(0)P_s(1) \quad (식 3)$$

2.2 Burst에러 환경에서 ATM CLR분석

위성시스템에서는 전력효율을 향상시키기 위해서 FEC 기법을 사용하며 convolution 코드와 viterbi decoder를 이용한다. 이 때 FEC가 정상적으로 동작하지 못하는 경우에 burst에러가 발생할 수 있으며 이때 decoder 출력에서 burst 에러 모델이 주요연구대상이다. 즉, 평균 burst 길이와 burst에서의 에러가 poisson 분포를 따른다고 하면 Neyman-A contagious 모델을 적용할 수 있다. 이 경우에 평균에러 burst 길이가 b 이고 h 비트의 간격에 n 비트의 에러가 발생할 확률 $P_B(n)$ 은 (식4)와 같다.

$$P_B(n) = \frac{b^n}{n!} \exp\left(-\frac{hb}{b}\right) \sum_{j=0}^{\infty} \left(\frac{hb}{b} \exp(-b)\right)^j \frac{j^n}{n!} \quad (식 4)$$

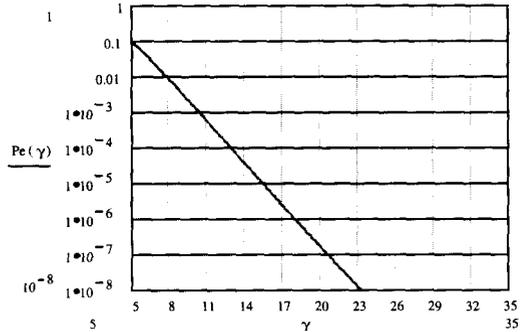
CLR은 2개이상의 에러가 발생하는 확률로 모델링할 수 있고 이 경우 HEC의 dual-mode 동작상태와 에러가 검출되지 않는 경우는 무시하기로 한다. P(2개이상의 에러 발생)는 $1 - P_B(0) - P_B(1)$ 가 된다. h 는 헤더의 길이로 40을 적용한다.

$$1 - P_B(0) - P_B(1) = 1 - \frac{b^0}{0!} \exp\left(-\frac{hb}{b}\right) \sum_{j=0}^{\infty} \left[\frac{hb}{b} \exp(-b)\right]^j \frac{j^0}{0!} - \frac{b^1}{1!} \exp\left(-\frac{hb}{b}\right) \sum_{j=0}^{\infty} \left[\frac{hb}{b} \exp(-b)\right]^j \frac{j^1}{1!} = 1 - \exp\left(-\frac{40b}{b}\right) \left[1 + \frac{(1+b)40b}{b} \exp(-b)\right] \quad (식 5)$$

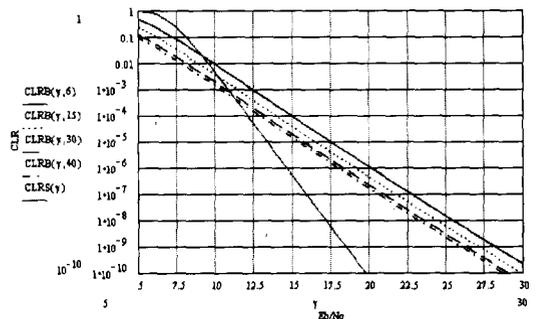
2.3 결과검토

(그림 7)에 BER 및 CLR성능을 나타내었고 버스트 에러환경의 CLR분석시 버스트의 길이 (b)는 6, 15, 30, 40으로 가정하였으며 시뮬레이션 결과에서 보듯이 CLR은 전반적으로 버스트 에러 환경이 랜덤에러 환경보다 성능이 저하된다. Viterbi decoder출력에서의 BER은 $P_e(\gamma)$ 로 나타내었고CLR은 버스트 에러환경인 경우 $CLR_B(\gamma, b)$ 로 표시하였으며 버스트길이가 6이고 $\gamma = 5, 10, 15, 20, 25, 30$ dB일 때 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 $CLRS(\gamma)$ 로 표시하였고 $\gamma = 5, 10, 15, 20, 25, 30$ dB일 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. γ 값이 거의 10 dB이상인 경우 랜덤에러 환경보다 버스트 에러환경에서의 CLR성능이 저하됨을 알 수 있다.



(a) Viterbi decoder출력에서의 BER성능



(b) CLR 성능

그림 7. γ 에 따른 CLR 분석결과

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 (5)와 같다. 즉, N개의 랜덤 source에서 ATM 데이터가 발생되어 무선채널에 전송되는 경우에 무선채널 및 무선 접속노드에서 발생하는 통합 CLR을 말한다. (그림 8)은 $CLR_B(x, N, \gamma)$ 와 $CLRS(x, N, \gamma)$ 로 표시되는 버스트에러 또는 랜덤에러 환경에서의 통합 CLR값을 나타낸다. CLR_c는 무선채널의 버스트 에러 또는 랜덤 에러환경에서의 셀 손실율을 나타내고, CLR_s는 무선 접속노드에서의 셀 손실율을 말한다. 이때 x는 버퍼의 크기, N은 source의 수, γ

는 비트당 에너지 대 잡음전력 밀도비, ρ 는 이용도로서 $Nm/C(m)$: 평균 셀 발생률, C : 셀 슬롯율을 말한다. (그림 8)의 결과에서 보듯이 채널의 버스트여러 환경보다 랜덤여러 환경의 성능이 양호함을 알 수 있고 source의 수가 증가할수록 셀 손실율이 증가함으로 성능이 저하된다는 것을 입증하는 결과이다.

$$\begin{aligned} \text{CLR}_B(x, \rho, \gamma) \text{ 또는 } \text{CLRS}(x, \rho, \gamma) \\ = \text{CLR}_O + (1-\text{CLR}_O)\text{CLR}_C \end{aligned} \quad (\text{식 6})$$

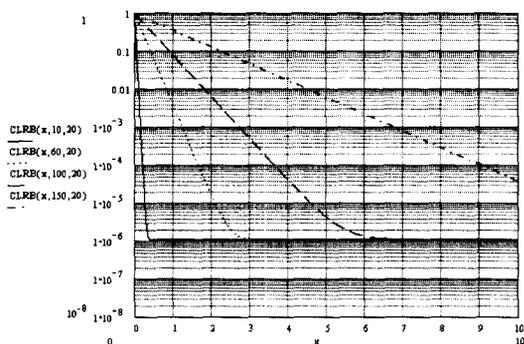
$$\text{CLR}_C = 1 - \exp\left(-\frac{40p}{b}\right) \left[1 + \frac{(1+b)40p}{b} \exp(-b)\right]$$

(버스트 에러인 경우)

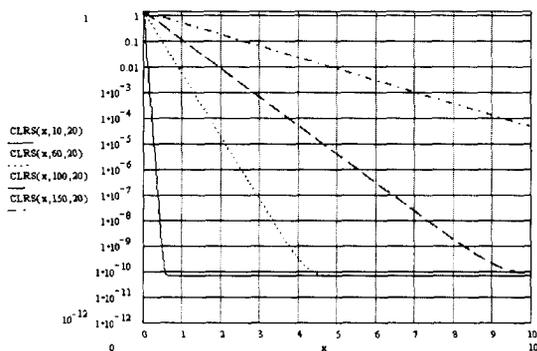
$$\begin{aligned} \text{CLR}_C = 1 - P_s(0) - P_s(0)P_s(1), P_s(n) \\ = {}_n C_n p^n (1-p)^{n-n} \end{aligned}$$

(랜덤 에러인 경우)

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



(a) 버스트 에러환경에서의 CLR



(b) 랜덤 에러환경에서의 CLR

그림 8. 랜덤 source의 통합 CLR

IV. 전송성능 개선기법

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 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 | - |

표 2. 무선 ATM망의 전송성능 개선기법

| 계층 | 전송성능 개선기법 | 비고 |
|---------|------------------------------------|-----------------|
| ATM 계층 | - | - |
| DLC 부계층 | ARQ | 기존 ATM 프로토콜에 추가 |
| MAC 부계층 | - | 기존 ATM 프로토콜에 추가 |
| TC 부계층 | 다중접속, FEC, 인터리빙 | - |
| PMD 부계층 | 섹터 안테나, 다이버시티 ^[15] , 등화 | - |

무선채널환경은 변화의 폭이 매우 크기 때문에 전송성능을 최적화하기 위해서 에러제어 기법들을 선택하는 것은 무선채널 특성에 의해서 결정되며 기법들간에 trade-off가 따르게 된다. 그러므로 서로 다른 채널환경에 대해서 적절한 파라미터를 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 지

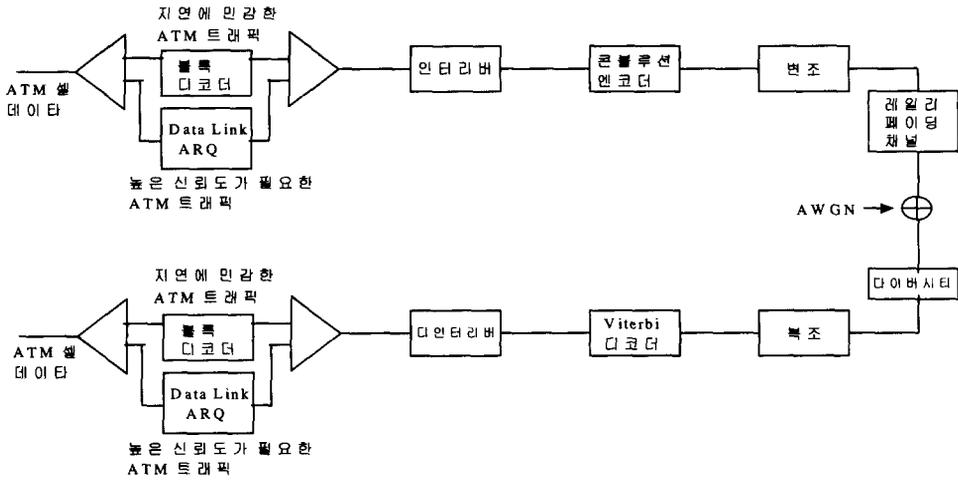


그림 9. 무선 ATM망의 전송성능 개선을 위한 에러제어구조

연에 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 ATM망의 트래픽 속성에 따라 인터리빙 기법과 함께 (그림 9)의 통합 에러제어 구조하에서 융통성 있게 적용되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 랜덤 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 concatenation 형태가 이용될 수 있으며, 일반적으로 외부코드는 Reed-Solomon, BCH 등의 블록 코드가 주로 사용되고 내부코드는 콘벌루션 코드가 사용된다. 내부코드의 디코딩 에러로 인한 성능저하 현상을 보상하기 위해 콘벌루션 코드의 디코더 출력에서 에러를 분산시킬 수 있는 인터리빙기법이 추가로 사용될 수 있다.

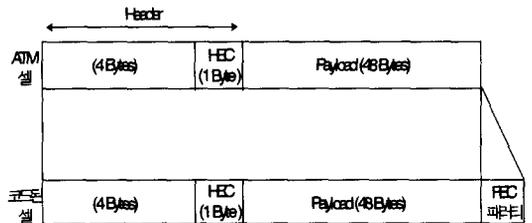


그림 10. ATM Cell에 패리티 비트를 추가하는 방법

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 적용하는데 헤더에는 매우 큰 이득을 갖는 코드를 적용

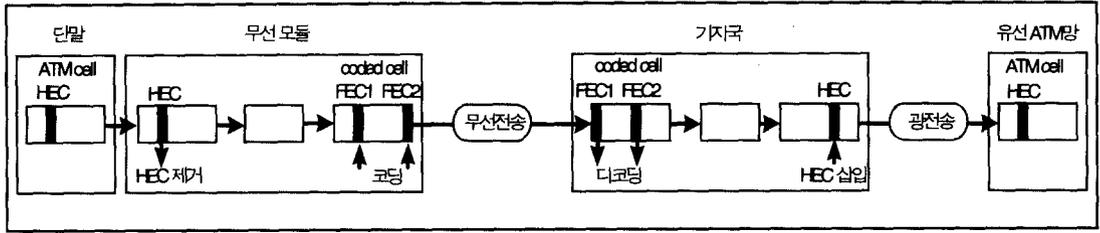


그림 11. 헤더 및 페이로드에 다른 FEC기법의 적용개념

하고 페이로드에는 큰 코드율을 갖는 코드를 적용하는 방법이다. 무선 ATM 시스템에서 FEC 기법의 성능을 평가하는 파라미터로 BER과 CLR이 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.

세 번째 방법으로서 두 개의 FEC중 한 개는 압축된 헤더(2 바이트)에 적용하고 다른 하나는 가변율 코드로서 48바이트의 데이터 필드에 적용하는 데 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 QoS 정보를 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 먼

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

(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≤j≤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 에러보상 절차가 적용되지 않는 경우이고 Sj는 데이터블럭이 mj 세그먼트로 분할되고 코드 Cs(l)이 각각의 N/mj비트의 세그먼트에 한 번씩 mj번 주어진 QoS에 대해 적용된다.

2. FEC 기법의 성능분석

무선 채널환경은 Rayleigh 페이딩 채널이라고 하고 변조기법은 QPSK가 사용된다. 무선 ATM 셀의 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 데이터 링크 헤더와 CRC코드가 추가된다.

ATM셀의 헤더에 FEC기법을 적용했을 때의 성능을 분석하기 위해 셀의 헤더를 2바이트로

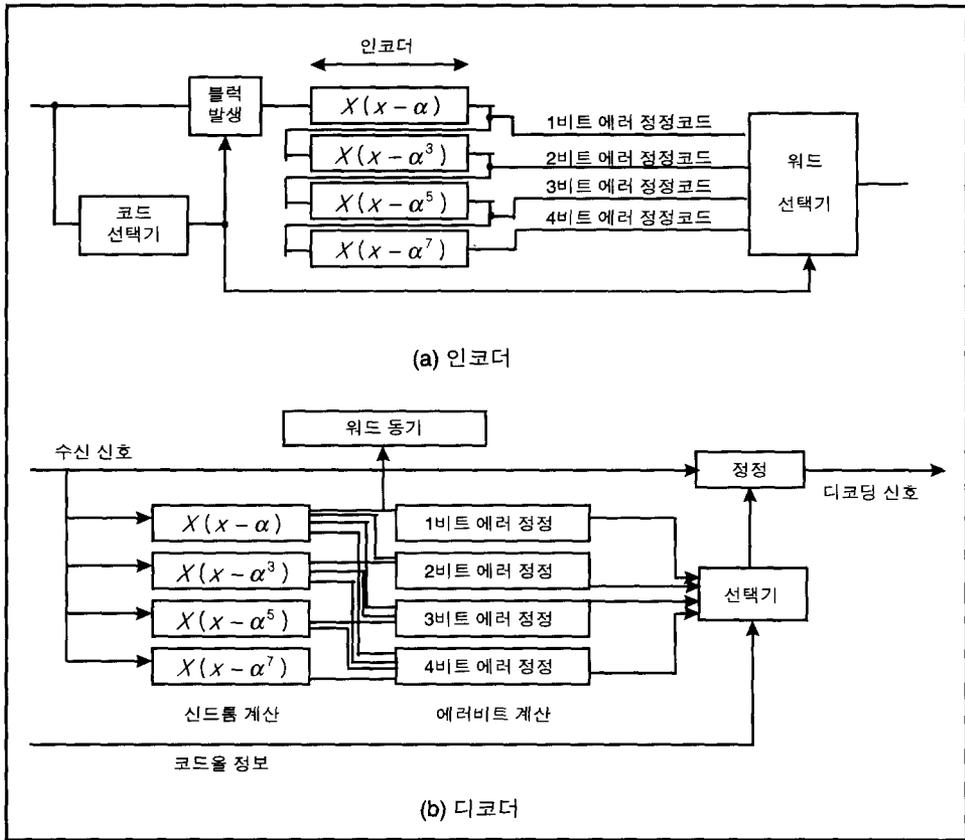


그림 12. 가변율 인코더/디코더의 블록도

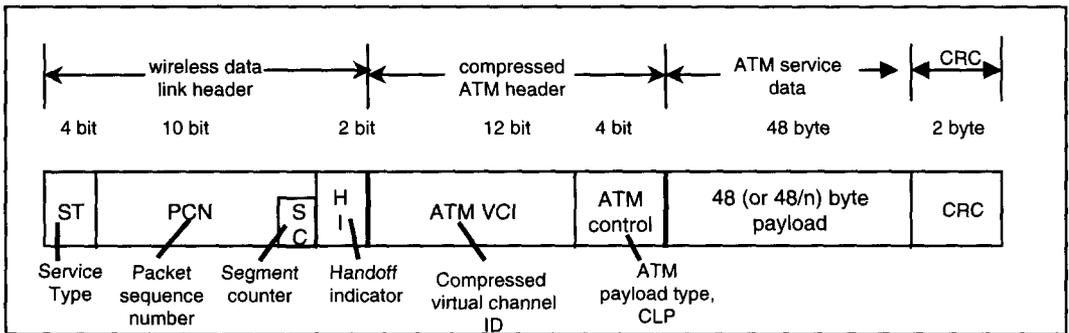


그림 13. 무선 ATM셀 구조

압축하여 무선 ATM셀에 삽입된다고 가정하고 페이로드는 48 바이트로 한다. 채널의 BER은 γ , 셀손실율은 P_{CLR} 로 표시한다.

2.1 FEC코드를 적용하지 않는 경우
FEC코드를 적용하지 않는 경우의 셀 손실율

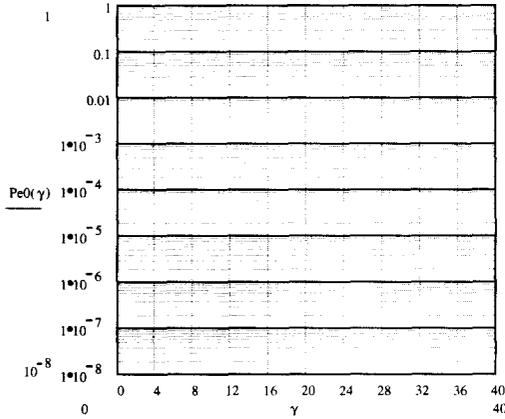
은 식 (7)과 같고 (그림14)에서 나타내었다. 즉 BER의 경우 $\gamma = E_b/N_0 = 15dB$ 에서 FEC를 적용하지 않은 경우는 $P_{e0}(\gamma)$ 로 표시하였으며 7.723×10^{-3} 이고 CLR의 경우도 $\gamma = E_b/N_0 = 15dB$ 에서 FEC를 적용하지 않은 경우는 $CLR_0(\gamma)$ 로 표시하였으며 0.117이 된다.

$$P_{CLR} = 1 - (1-p)^{16}$$

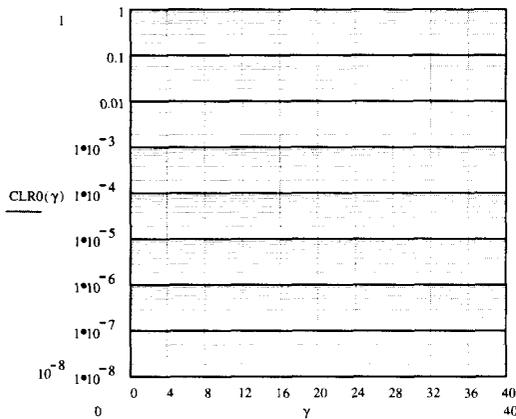
(FEC를 적용하지 않은 경우의 CLR)

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

(FEC를 적용하지 않은 경우의 BER)
(식 7)



(a) BER 성능



(b) CLR 성능

그림 14. FEC코드를 적용하지 않은 경우의 BER 및 셀 손실율

2.2 콘벌루션코드만을 사용하는 경우

콘벌루션코드만을 사용하는 경우는 3장 2절에서 분석하였으며 convolution 코드는 코드율이 $r=1/2$, 구속장은 $\nu=7$, Viterbi decoder가 사용된다고 가정하였다. (그림 7)의 시뮬레이션 결과에서 보듯이 CLR은 전반적으로 버스트에러 환경이 랜덤에러 환경보다 성능이 저하된다. BER

성능의 경우 $\gamma = 15\text{dB}$ 에서 1.465×10^{-5} 이고 CLR은 버스트 에러환경인 경우 버스트길이가 6이고 $\gamma = 15\text{ dB}$ 일 때 9.596×10^{-5} 이며 랜덤에러 환경에서는 $\gamma = 15\text{ dB}$ 일 때 5.103×10^{-7} 이 된다.

2.3 블록코드만을 사용하는 경우

식 (8)은 헤더의 성능분석 파라미터인 P_{BER} 과 P_{CLR} 의 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 15)와 같다. 즉 BER의 경우 $\gamma = E_b/N_0 = 15\text{dB}$ 에서 $(28, 16)$, $(40, 16)$, $(49, 16)$ 의 FEC 코드를 적용한 경우는 $Pe1(n, k, t, \gamma)$ 로 표시하였고 각각 6.61×10^{-4} , 1.107×10^{-4} , 1.63×10^{-5} 이 된다. 그리고 CLR의 경우도 $\gamma = E_b/N_0 = 15\text{dB}$ 에서 $(28, 16)$, $(40, 16)$, $(49, 16)$ 의 FEC 코드를 적용한 경우는 $CLR1(n, k, t, \gamma)$ 로 표시하였고 각각 5.994×10^{-3} , 8.649×10^{-4} , 1.119×10^{-4} 이 된다.

$$P_{BER} = \sum_{i=t+1}^n nC_i (Pc)^i (1-(Pc))^{n-i} (i/n)$$

(디코딩한 후의 BER) (식 8a)

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

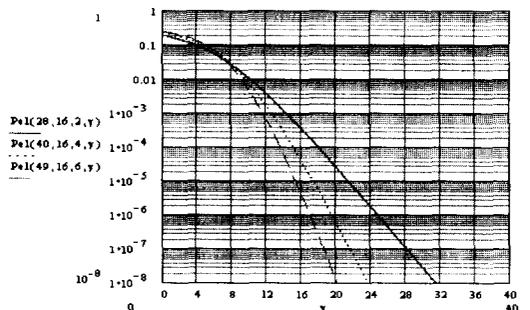
(디코딩 하기전의 BER)

$$P_{CLR} = 1 - \sum_{i=0}^t nC_i (Pc)^i (1-(Pc))^{n-i}$$

(디코딩한 후의 CLR) (식 8b)

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

(디코딩 하기전의 BER)



(a) BER성능

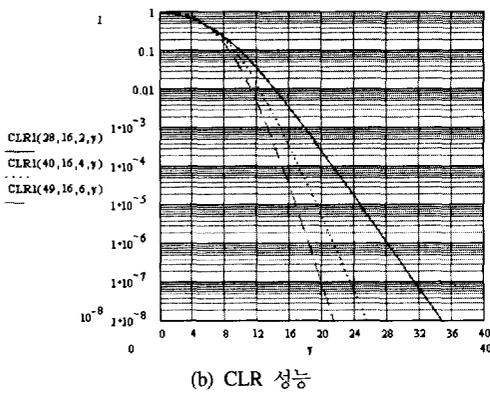


그림 15. Eb/No에 따른 헤더의 BER 및 CLR 성능

2.4 블록코드와 콘벌루션코드를 결합한 경우

특히 콘벌루션 코드와 BCH코드로 구성되는 concatenation 형태의 코드를 분석하기 위해 내부 코드는 부호율이 $r=1/2$ 이고 구속장이 $\nu=7$ 인 콘벌루션 코드를 이용하고 외부코드는 (n, k, t) 로 표시되는 BCH코드를 이용한다. 인코더에서 총 블록길이가 63비트가 되도록 t 에러 정정 패리티 검사 비트들이 만들어지고 전송시 전송 효율을 높이기 위해서 총 블록길이가 축소되며 디코더에서는 패리티 검사를 위해 63비트로 재생된다. BCH 에러 정정 후 압축된 ATM 헤더의 BER ($BER(\gamma, t)$)과 셀 손실율 (CLR(γ, t))은 식 (9)와 같이 계산된다. 이 때 Rayleigh 페이딩 환경에서 QPSK 변조방식을 이용하며, M은 QPSK 방식이 사용되므로 4가 된다⁽⁸⁾. 여기서 p_{be} 는 Viterbi decoder 출력에서 BER이며 p 는 복조기의 출력 비트에러율, γ 는 비트당 에너지 대 잡음 전력 밀도비를 말하고 D는 Bhattachayya의 상한식, M은 신호의 상태수를 말한다.

$$BER(\gamma, t) \approx \frac{1}{n} \left[\sum_{i=t+1}^n i \binom{n}{i} (1-p_{be})^{n-i} (p_{be})^i \right] \tag{식 9a}$$

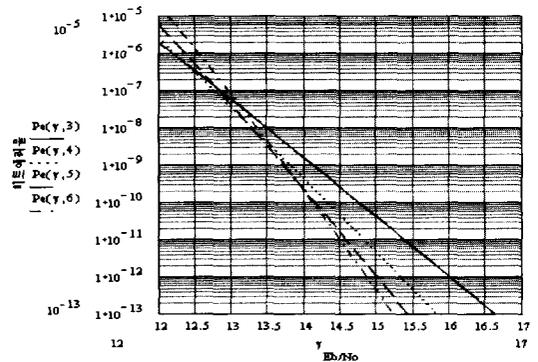
$$CLR(\gamma, t) \leq 1 - \left[\sum_{i=0}^t \binom{n}{i} (1-p_{be})^{n-i} (p_{be})^i \right] \tag{식 9b}$$

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

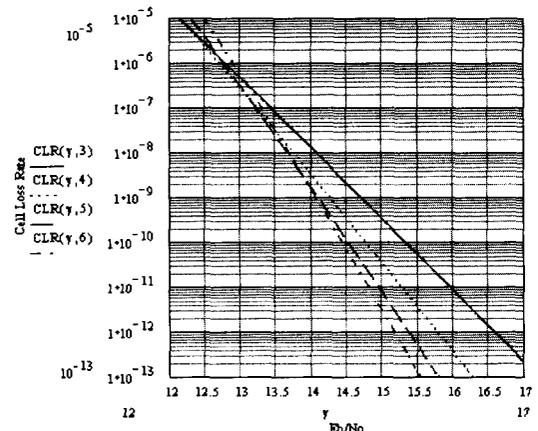
$$D = 2 \sqrt{\frac{p(1-p)}{M-1}} + \left[\frac{M-2}{M-1} \right] p$$

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

이 때 n 은 $16 + 6t$ 비트이고 k 는 압축된 ATM 헤더의 길이인 16 비트를 의미한다. BER 계산시 Rayleigh 페이딩 채널과 이상적인 인터리빙을 가정하였으며, 식 (9)를 이용한 시뮬레이션 결과는 (그림 16)과 같다. (그림 16)은 BER 및 CLR이 동일한 무선채널의 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.



(a) BER 성능



(b) CLR 성능

그림 16. Concatenated FEC기법의 BER 및 CLR 성능

즉 BER의 경우 $\gamma = E_b/N_0 = 15\text{dB}$ 에서 (28,16), (40,16), (49,16)의 FEC 코드를 적용한 경우는 $Pe(1, n, k, t, \gamma)$ 로 표시하였고 각각 6.61×10^{-4} , 1.107×10^{-4} , 1.63×10^{-5} 이 된다. 그리고

CLR의 경우도 $\gamma = E_b/N_0 = 15\text{dB}$ 에서 (28,16), (40,16), (49,16)의 FEC 코드를 적용한 경우는 $\text{CLR}(n, k, t, \gamma)$ 로 표시하였고 각각 5.994×10^{-3} , 8.649×10^{-4} , 1.119×10^{-4} 이 된다.

2.5 결과 검토

4가지 경우에 대해서 성능분석한 결과를 요약하면 $\gamma = E_b/N_0 = 15\text{dB}$ 에서 첫째, FEC를 적용하지 않은 경우는 BER이 7.723×10^{-3} 이고 CLR은 0.117이 된다. 둘째, 콘벌루션 코드만을 이용하는 경우는 BER이 1.465×10^{-5} 이고 CLR은 버스트 에러환경인 경우 버스트길이가 6일때 9.596×10^{-5} 이며 랜덤에러 환경에서는 5.103×10^{-7} 이 된다. 셋째, 블록코드만을 이용하는 경우 (28,16), (40,16), (49,16)의 FEC 코드 적용시 BER은 각각 6.61×10^{-4} , 1.107×10^{-4} , 1.63×10^{-5} 이고 CLR은 각각 5.994×10^{-3} , 8.649×10^{-4} , 1.119×10^{-4} 이 된다. 넷째, 블록코드와 콘벌루션코드를 결합한 concatenated FEC코드를 이용하는 경우 (28,16), (40,16), (49,16)의 FEC 코드 적용시 BER은 각각 6.61×10^{-4} , 1.107×10^{-4} , 1.63×10^{-5} 이 되고 CLR은 각각 5.994×10^{-3} , 8.649×10^{-4} , 1.119×10^{-4} 이 된다. 이들 결과에서 알 수 있듯이 FEC기법을 적용하지 않은 경우에 비해서 concatenated FEC코드, 콘벌루션코드, 블록코드순으로 성능이 개선됨을 알 수 있다.

V. 맺음말

본 논문에서는 접속노드와 무선링크로 구성되는 무선 ATM접속망의 성능을 셀 손실을 측면에서 검토하였으며 특히 무선 링크의 전송성능을 개선하기 위한 에러 제어구조를 제시한 후 랜덤 트래픽에 적합한 FEC 기법들의 성능개선 효과를 확인하였다. 결론적으로 ATM기술을 무선통신에 적용하는 경우에 AWGN(Additive White Gaussian Noise)채널특성, 전력제한, FEC(Forward Error Correcting)코드의 디코딩 어려움, 무선 채널환경에서 발생하는 버스트 에러의 영향으로 랜덤 비트에러의 유선환경에서 보다 상당한 전송성능 열화가 필연적이므로 랜덤 트래픽의 전송성능을 개선시키기 위해서는 FEC 기법이 적용되어야 한다. 앞으로 CLR(Cell Loss Rate)외에 CER(Cell Error Rate), CDV(Cell Delay Variation), 버퍼용량, 전달지연 및 호손율등의

QoS를 추가로 고려하여 종합적인 연구를 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] 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

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 연구
원

1985년 6월~1995년 8월 : 한국통신 연구개발원 연
구실장

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 연구
실장

1992년 9월~현재 : 한국항공대학교 항공통신정보공
학과 부교수

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