

# 페이딩 채널에서 무선 ATM 셀전송 성능개선에 관한 연구

## Transmission Performance Improvement of Wireless ATM Cell in Fading Channel

정부영\* · 박기식\*\*\* · 강영홍\*\* · 조성준\*\*\* · 이 진\*\*\*

Boo-Young Chung\* · Ki-Sik Park\*\*\* · Young-Heung Kang\*\* · Sung-Jun Cho\*\*\* · Jin Lee\*\*\*

### 요 약

최근 무선통신망에 있어 비디오, 음성 및 데이터 전송을 위한 기술로 무선 ATM의 이용이 추진되고 있는 실정이다. 이러한 무선 ATM 기술도입에는 무선환경에서의 다중경로 페이딩 또는 간섭에 의한 에러발생이 크다는 문제점이 있다. 이에 대처하기 위한 방법으로서는 에러정정부호의 적용이 일반적일 것이다.

따라서 본 논문에서는 무선 ATM 시스템을 효율적으로 설계하기 위해 필요한 페이딩채널에서의 셀 전송성능 개선기법으로 에러정정 부호화 기법의 적용 및 다이버시티 기법을 도입하여 BER, CLR 및 CER 등에 대한 이론 해석 및 시뮬레이션을 수행하여 그 결과를 비교·검토한다.

### Abstract

One of the most important topics of recent years is that a multimedia technology such as wireless ATM has been introduced in radio systems for video, voice and data transmission. A major problem in such systems is the occurrence of errors due to multipath fading or interference. To combat this problem, forward error correction (FEC) coding is commonly used as a means of eliminating these errors.

This paper has analyzed theoretically the effect of fading to design effective wireless ATM system. The BER, CLR, and CER of wireless ATM system adopting FEC coding and diversity reception techniques have been derived in fading environment. Also, simulations of BER and CLR have been carried out and compared with the above theoretical results.

### I. 서 론

무선 ATM(Asynchronous Transfer Mode)은 무선채널을 통해 이동환경에서도 유선 ATM 망과 접속할 수 있고 유선 ATM 망에서 지원하는 다양

한 형태의 광대역 서비스들을 지원할 수 있는 유선 ATM 망의 확장된 개념이다. 따라서 무선 ATM은 정보화 사회에서 광대역 종합 서비스 제공을 위한 기간 통신망인 B-ISDN 망 서비스를 무선접속망 영역으로 확장시키고, 나아가 차세대 유무선 통합 이동통신망으로의 진화를 위한 핵심기술로 볼 수

\* 한국통신기술평가센터(Korea Telecom Technology Evaluation Center)

\*\* 군산대학교 정보통신공학과(Dept. of Telecommunication Engineering, Kunsan Univ.)

\*\*\* 한국항공대학교 항공통신정보공학과(Dept. of Aviation Telecommunication Info. Engineering, Hankook Aviation Univ.)

· 논문 번호 : 971201-083

· 수정완료일자 : 1998년 2월 26일

있다. 무선 ATM 시스템은 미래의 광대역 멀티미디어 개인통신을 위해 제안되어 왔다<sup>[1]~[3]</sup>. 이러한 시스템에서는 무선 프레임으로 패키징된 ATM 셀들이 기지국과 사용자 무선모듈 사이에서 전송된다.

기존의 유선 ATM 기술은 매우 넓은 대역폭과 저잡음 특성을 갖는 광섬유를 기반으로 제시되었다. 그러나 무선환경에서는 신호가 공간으로 전파되기 때문에 주변의 환경에 민감하며, 간섭(interference)과 다중경로 페이딩으로 인해 높은 비트오율을 나타내기 때문에 기존의 ATM 셀을 그대로 전송할 경우 많은 셀들이 손실된다. 비디오와 데이터 전송을 위한 멀티미디어 서비스에서는 양질의 신호레벨이 필요하기 때문에 멀티미디어 무선 ATM 시스템에 FEC(Forward Error Correction) 기법이 반드시 필요하다<sup>[4]</sup>.

무선 ATM을 위한 FEC 평가에서는 두 가지 파라미터가 사용된다. 하나는 비트오율(BER)이고 또 다른 하나는 셀 손실율(CLR)이다. 무선 ATM 시스템에서 BER을 효율적으로 개선시키기 위해 FEC 부호를 설계하면 셀 손실율이 높아져 전송 성능에 영향을 미친다. 반대로 셀 손실율을 낮게 하기 위해 부호를 설계하면 부호율이 낮아진다. 그러므로 무선 ATM을 위해서는 두 개의 다른 FEC 부호 기법을 병용하는 것이 매우 효율적이다. 한 부호는 헤더(header)를 위한 강력한 이득부호이고 다른 부호는 페이로드(payload)를 위한 높은 부호율의 부호이다<sup>[5]</sup>.

본 논문에서는 무선 ATM 셀의 헤더부분과 페이로드 부분에 각각 다른 부호를 적용하여 페이딩 채널, 특히 라이시안(Rician) 페이딩 채널에서 셀 전송성을 해석한다. 나아가 페이로드에 비하여 상대적으로 중요한 헤더에는 BCH(Bose Chaudhuri Hocquenghem) 부호화 기법을 적용하고, 페이로드에는 BCH, RS(Reed Solomon), 컨벌루션(convolutional) 부호화 기법 등을 적용하여 가장 우수한 부호화 기법을 찾아 내고자 한다. 또한 페이딩 채널에서 셀 전송성능 향상방안으로 FEC와 다

이버시티 기법을 적용하여 성능의 개선 정도를 구하고자 한다. 특히 무선 ATM 헤더부분에 BCH 부호화 기법과 다이버시티 기법을 적용하여 수치를 계산하고, 이를 시뮬레이션한 결과와 비교·검토하고자 한다.

## II. 무선 ATM 셀의 에러제어

무선 ATM 시스템에서는 그림 1에 보인 것처럼 ATM 셀이 무선 프레임(radio frame)으로 구성되어 중심국(CS:Central Station)과 유저 무선모듈(RM:Radio Module)간에 전송된다<sup>[4]</sup>.

그림 2는 헤더를 4바이트의 정보부와 1바이트의 HFEC(Header FEC)부로 구성하고, 페이로드를 48바이트로 하여 전송하는 무선 ATM 셀 구조를 나타낸다.

FEC 기법을 사용하여 무선 ATM 셀을 보호하는 방법은 크게 3 가지로 나누어 생각할 수 있는데 다음과 같다.

- 1) HEC 대신 HFEC(Header FEC)를 사용한 헤더의 보호
- 2) HEC의 사용과 PFEC(Payload FEC)를 사

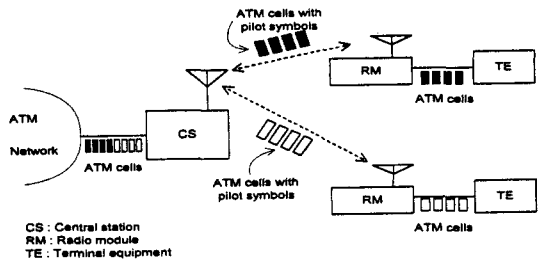


그림 1. 무선 ATM 시스템

Fig. 1. Wireless ATM system.

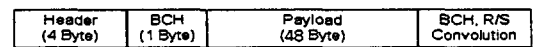


그림 2. 무선 ATM 셀 구조

Fig. 2. The Wireless ATM cell format.

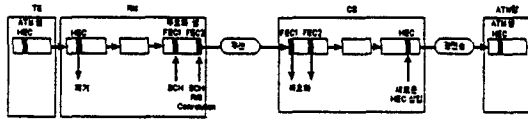


그림 3. 유무선 ATM 셀의 구조 변환과정  
Fig. 3. The changing process of wired/wireless ATM cell format.

### 용한 셀 보호

#### 3) HFEC와 PFEC를 사용한 셀 보호

그림 3은 헤더와 페이로드에 각각 FEC를 적용하였을 때 유선단에서 전송된 ATM 셀이 무선단에서 부호화되어 무선링크로 전송되며, 수신단에서 부호화된 셀을 복호화하여 용장도(redundancy)를 제거하는지를 보여 주는 셀 구조 변환고정을 보여준다[5].

#### 2-1 무선 ATM 셀의 헤더에 대한 에러 제어

무선 ATM 헤더는 4바이트 정보부와 1바이트 HFEC부로 구성되는데 이 HFEC부는 무선채널로부터 헤더를 보호하기 위해서 강력한 BCH 부호를 사용한다. 셀은 다중 비트에러가 발생하는 경우에 손실되며 손실의 정도는 셀손실율(CLR:Cell Loss Ratio)로 나타낸다.

BCH 부호를 HFEC 부호로 사용한 경우의 셀 손실율은 다음과 같다[4].

$$CLR = P_L + (1 - P_L) \left[ 1 - \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} P_e^i (1 - P_e)^{n-i} \right] \quad (1)$$

단,  $n=40$ ,

$P_e$  : 부호율을 고려한 수신신호의 비트 오류로서 V장에서 유도함. 다이버시티 수신시에는

$P_{e-sc}$  또는  $P_{e-MRC}$ 가 됨.

$P_L$  : 망내 다중화에 의한 셀 손실 확률.

BCH 부호를 HFEC 부호로 사용한 경우의 비트

페이딩 채널에서 무선 ATM 셀전송 성능개선에 관한 연구

오율(BER : Bit Error Rate)은 다음과 같이 나타내진다.

$$BER = P_L + (1 - P_L) \left[ 1 - \sum_{i=0}^n \frac{i}{n} \binom{n}{i} P_e^i (1 - P_e)^{n-i} \right] \quad (2)$$

본 논문에서는 망내 다중화에 의한 셀 손실율  $P_L$  을 0으로 가정한다.

#### 2-2 무선 ATM 셀 페이로드에 대한 에러 제어

무선 ATM 셀은 48바이트의 페이로드를 갖는데 본 논문에서는 페이로드에 대한 에러제어로 용장도가 제일 작은 BCH 부호, 다중 에러정정 부호인 RS 부호, 버스트 에러에 강한 컨벌루션 부호를 각각 적용한다.

페이로드에 대한 ATM QoS 파라미터로 셀에러율(CER : Cell Error Rate)이 있는데 이는 수신은 되었으나 셀이 전송되는 과정에서 에러가 발생하는 비율을 나타낸다.

BCH 부호를 PFEC 부호로 사용한 경우의 셀에러율은 다음과 같다[6].

$$CER_{FEC} = (1 - CLR_{FEC}) \sum_{i=t+1}^n \binom{n}{i} P_e^i (1 - P_e)^{n-i} \quad (3)$$

단,  $n$  : 각 부호화 기법에 따라 결정,

$P_e$  : 부호율을 고려한 변조신호의 비트 오류.

### III. 무선 ATM을 위한 FEC 기법

무선 환경에서 ATM 서비스를 제공하는데 있어 유선 ATM 망과의 큰 차이점은 지연과 에러이다. 이 중 에러를 제어하는 방법에는 검사비트를 이용한 순방향 에러제어 기법(FEC), 에러 검출에 의한 재전송(ARQ) 기법, 버스트(burst) 에러에 대비해 셀 헤더의 안전한 전송을 위한 셀 내에서 헤더와 페이로드를 인터리빙하는 방법 등이 있다. 표 1에 무선 ATM의 각 계층별 에러제어 기법을 나타낸다.

표 1. 무선 ATM 각 계층별 에러제어 기법

Table 1. Error control methods for wireless ATM layers.

		계층	에러 제어 기법
		ATM	
무선 역세스 계층		DLC	ARQ
		MAC	
	WPHY	TC	FEC
		PMD	Diversity, Equalizer

본 논문에서는 W-PHY(Wireless Physical)의 TC(Transmission Convergence)와 PMD(Physical Medium Dependent) 부분에 대한 에러제어를 위해 각종 FEC와 다이버시티 기법을 사용한다.

3-1 BCH 부호화 기법

BCH 부호는 순회부호 중 가장 중요한 부호로서 이 부호는 에러정정 부호로서도 가장 중요한 부호 중의 하나이다. BCH 부호는 넓은 범위의 부호장 (code length)과 에러정정 능력을 갖고 있으며 부호장이 수천 이하의 경우, 같은 정도의 부호장과 에러 정정 능력을 갖는 부호 중 용장도가 제일 적은 부호이다. BCH 부호기의 한 예를 그림 4에 보인다.

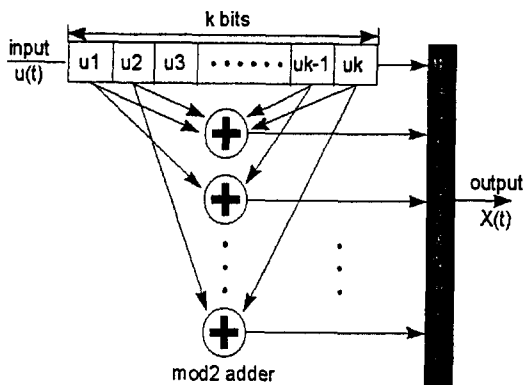


그림 4. BCH 부호기  
Fig. 4. BCH encoder.

다.

신호가 직교 신호일 때 복호 심볼 오류율은 다음과 같다<sup>[7],[8]</sup>.

$$P_{eB} = \frac{1}{n} \sum_{i=t+1}^n i \binom{n}{i} P_e^i (1-P_e)^{n-i} \quad (4)$$

단,  $P_e$  ; 부호율을 고려한 변조신호의 비트오율,  
 $r (=k/n)$  ; 부호율,  
 $t = [(d-1)/2]$  ; 에러 정정 능력,  
 $d$  ; 부호의 최소거리,  
 $n$  ; 블록의 최소거리.

신호가 직교 신호일때 비트 오류율은 다음과 같다<sup>[7],[8]</sup>.

$$P_{BCH} = \frac{1}{\log_2 M} P_{eB} = \frac{1}{\log_2 M} \frac{1}{n} \sum_{i=t+1}^n i \binom{n}{i} P_e^i (1-P_e)^{n-i} \quad (5)$$

3-2 RS 부호화 기법

RS(Reed Solomon) 부호는 비 2진(nonbinary) 순환성 선형 블록부호이며, 다중 에러정정 부호 (multiple error correction code)이다. 유한체  $GF(2^m)$  상에서 에러정정 능력이  $t$ 인  $(n, k)$  RS 부호는 다음과 같은 관계가 있다<sup>[9]</sup>.

$$n = 2^m - 1 \quad (6)$$

$$k = n - 2t \quad (7)$$

$$d_{min} = 2t + 1 \quad (8)$$

$GF(2^2)$  상의 RS 부호의 한 심볼은 Q비트로 구성된다. 따라서  $GF(2^2)$  상의 RS부호의 정보비트 오류율은 근사적으로 다음과 같이 나타내진다<sup>[10]</sup>.

$$P_{RS} = \sum_{i=1}^n \frac{i}{n} \binom{n}{i} P_e^i (1-P_e)^{n-i} \quad (9)$$

단,  $P_e = 1 - (1 - P_e)^L$ ; 심볼오율

### 3-3 컨벌루션 부호화 기법

(n, k) 컨벌루션 부호기는 여러 정정 능력이 특히 우수하고 버스트 에러가 발생하는 채널에서도 인터리브/디인터리브를 이용하여 쉽게 버스트 에러를 정정할 수 있다.

부호율(code rate)  $r=1/2$ 에 대하여 구속장이  $k=7$ 인  $M$ 진( $M=4$ ) 컨벌루션 부호의 비트 오율식은 다음과 같이 나타내진다<sup>[11],[12]</sup>.

$$P_{CON} \leq \frac{1}{2} (7D^7 + 39D^8 + 104D^9 + 352D^{10} + \dots) \quad (10)$$

$$\text{단, } D = 2 \sqrt{\frac{P_e(1-P_e)}{M-1}} + \left[ \frac{M-2}{M-1} \right] P_e.$$

(Bhattachayya의 상한식)

## IV. 페이딩 채널

본 논문에서는 페이딩 채널로서 레일리(Raylei-

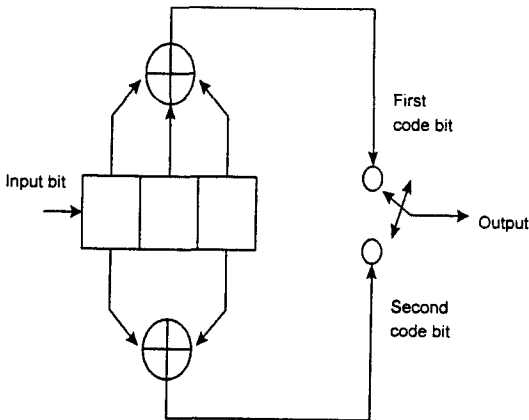


그림 5. 컨벌루션 부호기(부호율 1/2, 구속장 3)  
Fig. 5. Convolution encoder.

gh) 및 라이시안(Rician) 페이딩을 가정하는데, 이중 라이시안 페이딩은 직접파와 같은 하나의 강한 정상파 성분과 다중파가 중첩되어 수신되는 경우의 수신 신호의 순시진폭 변동을 나타내며, 직접파가 존재하는 실내의 고속 LAN 환경에서의 짧은 주기의 페이딩을 나타낸다. 이 분포는 페이딩 문제를 통계적으로 연구하던 Nakagami와 랜덤 잡음을 연구하던 Rice가 각각 독립적으로 얻어낸 것으로서 비트당 순시 반송파 대 간섭 전력비(CNR)  $\gamma$ 에 대한 확률밀도함수는 다음과 같이 나타내진다<sup>[13]</sup>.

$$P(\gamma) = \frac{(K+1)}{\gamma_0} \exp\left[-K - \frac{\gamma(K+1)}{\gamma_0}\right] \cdot I_0\left[2\sqrt{\frac{\gamma K(K+1)}{\gamma_0}}\right] \quad (11)$$

단,  $\gamma$ ; 순시 CNR,

$K$ ; 직접파 대 반사파 전력비,

$I_0(\cdot)$ ; 0차 변형베셀함수,

$\gamma_0$ ; 평균 CNR.

따라서 라이시안 페이딩은 그 분포함수의 모양이 변형베셀 함수형이기 때문에  $I_0$  분포라고도 한다. 특히  $K=0$ 인 경우는 직접파 성분이 없는 경우로서

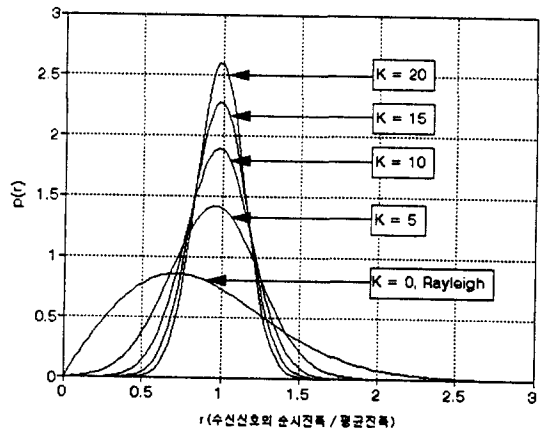


그림 6. 라이시안 페이딩의 확률밀도 함수  
Fig. 6. PDF of Rician fading.

레이리 페이딩 분포를 따른다.

예로서 라이시안 페이딩 채널에서 QPSK 신호의 비트 오류율은 가우스 잡음채널에서의 비트 오류율을 라이시안 페이딩의 확률밀도 함수를 이용하여 평균을 취하면 구해지는데 다음과 같다<sup>[14]</sup>.

$$P_e = 1/2 - \frac{2\sqrt{\gamma_0}(K+1)}{\sqrt{\pi}} \cdot \exp[-K] \cdot \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(K^2+K)^i}{(i!)^2} \cdot \Gamma(i + \frac{3}{2}) \cdot (\gamma_0+2K+2)^{-\frac{3}{2}} \cdot \frac{2^i}{(\gamma_0+2K+2)^i} {}_2F_1(1; i + \frac{3}{2}; \frac{3}{2}; \frac{\gamma_0}{\gamma_0+2K+2}) \quad (12)$$

단,  ${}_2F_1(\cdot; \cdot; \cdot; \cdot)$ ; 가우스 초기함수,  
 $\Gamma(\cdot)$ ; 감마함수.

### V. 다이버시티 기법

#### 5-1 선택합성 다이버시티 기법

선택합성 다이버시티(SC: Selection Combining)는 항상 수신기 입력으로서 포락선 레벨이 가장 높은 다이버시티 가지의 신호를 선택하는 방식으로서 고주파대, 중간 주파대, 베이스밴드대의 모든 주파수대에서 사용가능하며 앞 단계에서 선택할 수록 수신계통이 작아지지만 레벨검출이 복잡해져 선택시 포락선과 위상이 도약하는 결점이 있다. 그

안테나

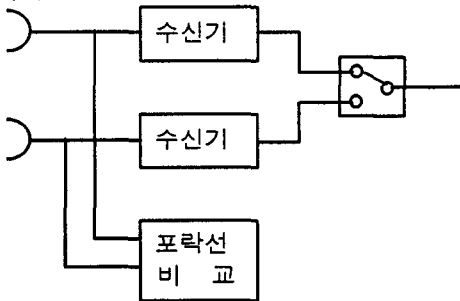


그림 7. 선택 합성법  
 Fig. 7. SC diversity.

러나 다른 방식에 비해 위상제어가 필요없어 회로 구성이 간단하다<sup>[15]</sup>.

라이시안 페이딩 채널에서 SC 다이버시티의 확률밀도 함수는 다음과 같다<sup>[16]</sup>.

$$p(\gamma) = L \left( \frac{K+1}{\gamma_0} \right) \left[ 1 - \exp(-K) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{K^n}{n!} \cdot \frac{\Gamma(n+1, \frac{(K+1)\gamma}{\gamma_0})}{\Gamma(n+1)} \right]^{L-1} \cdot \exp\left(-K - \frac{(K+1)\gamma}{\gamma_0}\right) I_0\left(2\sqrt{\frac{K(K+1)\gamma}{\gamma_0}}\right) \quad (13)$$

라이시안 페이딩 채널에서 SC 다이버시티 수신 기법을 적용한 무선 ATM 셀의 비트오율(BER)은 가우스 잡음채널에서의 비트 오류율을 SC 다이버시티의 확률밀도함수를 이용하여 평균을 취하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{e-sc} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} L \left[ \frac{K+1}{\gamma_0} \right] \exp^{-K} \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\left[ \frac{K(K+1)}{\gamma_0} \right]^i}{(i!)} \cdot \left\{ \left[ 1 + (L-1) \exp^{-K} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{K^n}{n!} \right] \Gamma\left(i + \frac{3}{2}\right) \cdot \left( \frac{1}{2} + \frac{K+1}{\gamma_0} \right)^{-(i+\frac{3}{2})} \cdot {}_2F_1\left(1; i + \frac{3}{2}; \frac{3}{2}; -\frac{\frac{1}{2}}{\left(\frac{1}{2} + \frac{K+1}{\gamma_0}\right)}\right) - (L-1) \exp^K \sum_{n=0}^{\infty} \frac{K^n}{n! \Gamma(n+1)} \cdot \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m \left(\frac{K+1}{\gamma_0}\right)^{m+n+1}}{m!(m+n+1)} \cdot \Gamma\left(m+n+i + \frac{5}{2}\right) \left(\frac{1}{2} + \frac{K+1}{\gamma_0}\right)^{-(m+n+i+\frac{5}{2})} \cdot {}_2F_1\left(1; m+n+i + \frac{5}{2}; \frac{3}{2}; -\frac{\frac{1}{2}}{\left(\frac{1}{2} + \frac{K+1}{\gamma_0}\right)}\right) \right\} \quad (14)$$

5-2 최대비 합성 다이버시티 기법

최대비 합성 다이버시티(MRC; Maximum Ratio Combining)는 다이버시티 가지 입력의 위상을 모두 같은 위상이 되도록 조정함과 동시에 각각의 포락선에 비례한 가중치를 곱하여 SN비가 큰 가지의 입력일수록 합성 SN비에의 기여가 크도록 합성하는 방식이다. 이와 같이 각각의 포락선에 비례하는 가중치를 주면 모든 순간에 있어서 합성 수신과의 SN비가 최대가 된다<sup>[15]</sup>.

라이시안 페이딩 채널에서의 MRC 다이버시티의 확률밀도 함수는 다음과 같다<sup>[17]</sup>.

$$p(\gamma) = \left(\frac{K+1}{\gamma_0}\right)^{\frac{L+1}{2}} \left(\frac{\gamma}{KL}\right)^{\frac{L-1}{2}} \cdot \exp\left(-KL - \frac{(K+1)\gamma}{\gamma_0}\right) I_0\left(2\sqrt{\frac{K(K+1)L\gamma}{\gamma_0}}\right) \quad (15)$$

라이시안 페이딩 채널에서 MRC 다이버시티 수신기법을 적용한 무선 ATM 셀의 비트오율(BER)은 위의 SC 다이버시티의 경우와 마찬가지로 가우스 잡음채널에서의 비트 오율식을 MRC 다이버시티의 확률밀도 함수를 이용하여 평균을 취하면 구해지는데 다음과 같다.

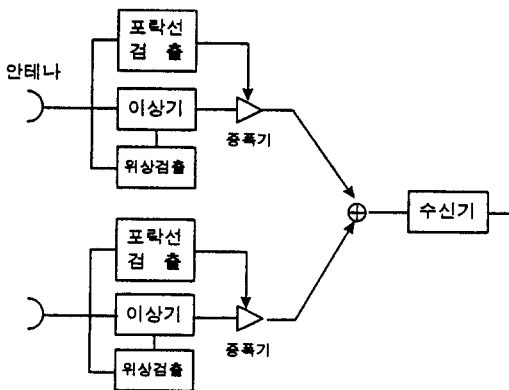


그림 8. 최대비 합성법  
Fig. 8. MRC diversity.

$$P_{e-MRC} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{m! \Gamma(m+L)} \left(\frac{K+1}{\gamma_0}\right)^{m+L} (KL)^m \exp^{-KL} \cdot \Gamma\left(m+L+\frac{1}{2}\right) \left(\frac{1}{2} + \frac{K+1}{\gamma_0}\right)^{-(m+L+\frac{1}{2})} \cdot {}_2F_1\left(1; m+L+\frac{1}{2}; \frac{3}{2}; \frac{\gamma_0}{\gamma_0+2(K+1)}\right) \quad (16)$$

VI. 시뮬레이션

최근 무선 ATM 시스템에서 페이딩 보상을 위한 기법으로서 그림 2의 셀 헤더에 그림 9와 같은 파일럿(pilot) 심볼을 넣어 이를 이용하여 페이딩을 보상하는 방법이 제안되고 있다<sup>[18]</sup>.

따라서 본 시뮬레이션 수행은 그림 9의 무선 ATM 셀을 이용하여 그림 10과 같은 블록도를 이용한다.

그림 10에서 4 바이트의 ATM 셀 헤더 정보심볼

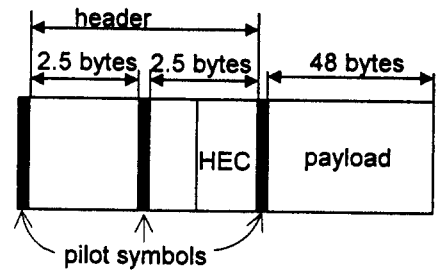


그림 9. 파일럿 심볼이 삽입된 ATM 셀  
Fig. 9. ATM cell with pilot symbols.

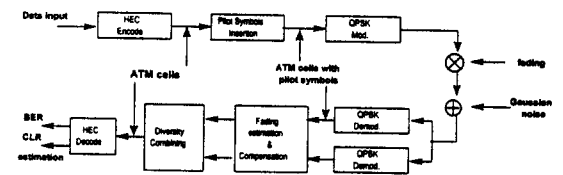


그림 10. 무선 ATM 시스템의 시뮬레이션 블록도  
Fig. 10. Simulation block diagram for wireless ATM system.

과 1 바이트의 HEC 부호화로 ATM 셀을 구성한 후, 파일럿 심볼을 삽입하여 그림 9와 같이 셀 포맷 (cell format)을 만든다. 여기서 HEC 부호는 ATM Forum UNI 3.0 문서에 근거한 생성다항식,  $g(x)=x^8+x^2+x+1$ 을 갖는 CRC(Cyclic Redundancy Code) 부호를 이용한다. 또한 파일럿의 삽입형태는 셀헤더 부분의 양쪽 끝에 삽입하는 방법보다 그림 9의 셀형식이 우수한 성능을 보이므로 [18], 여기서는 그림 9의 셀 형식을 이용한다. 한편, 파일럿 심볼이 삽입된 셀은 QPSK 변조되어 페이딩 채널을 통과한 후, QPSK 복조되어 파일럿 심볼에 의한 페이딩 보상이 이루어진 다음 다이버시티 합성된다. 그리고 HEC 복조 후에 비트오율, 셀 손실 등이 평가된다.

Ⅶ. 성능평가

그림 11은 페이딩환경에서 라이시안 파라미터 K 값에 따른 무선 ATM 셀 헤더의 셀 손실율, CLR 을 이론해석으로 구한 결과이다. 대부분의 서비스 셀에서는  $CLR=10^{-3}$ 에서  $E_b/N_0$  값이 15 dB 이하 일 것이 요구되고 있는데 [15], 이를 기준으로 본 논문에서 얻어진 결과를 분석해 보면, K=10인 라이시안 페이딩 환경에서는 그 기준을 만족하고 있지만, K가 작아짐에 따라 셀 손실이 크게 증가하여 더 이상 그 기준을 만족하고 있지 않다. 즉, K=5일 때는  $E_b/N_0$ 를 4 dB 이상, K=0인 레일리 페이딩 환경에서는 9 dB 이상의 성능개선이 요구되고 있다. 이 해석결과는 [18]에서 얻어진 결과값(K=5인 경우는 5 dB 이상, K=0인 경우는 10 dB 이상이 요구됨.)과 거의 유사하게 얻어졌다.

본 논문에서는 K가 작은 페이딩 환경에서 셀 전송성능 개선의 한 기법으로서 다이버시티 기법을 도입하여 K=5인 경우의 2 브랜치(branch) 무선 ATM 시스템의 셀 손실율을 이론해석과 시뮬레이션을 병행하여 그 결과를 그림 12에 비교해 놓았다.  $CLR=10^{-3}$ 을 기준으로 할 때 이론해석에서는 MRC인 경우  $E_b/N_0$ 가 약 11 dB, SC인 경우 13 dB

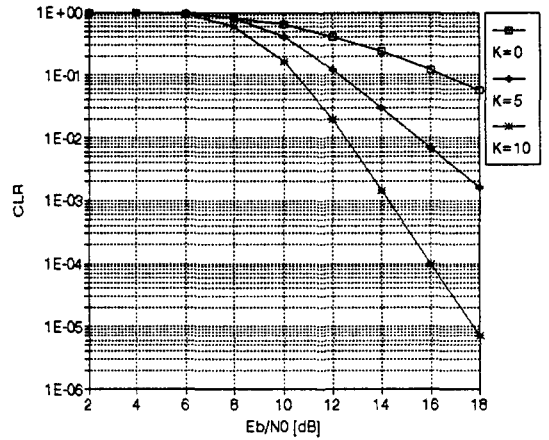


그림 11. 페이딩 채널에서 무선 ATM 셀 헤더의 CLR  
Fig. 11. CLR of wireless ATM cell header in fading channel.

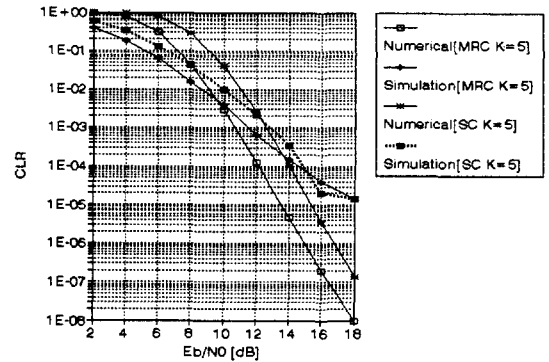


그림 12. 라이시안 페이딩 채널에서 MRC/SC 다이버시티 수신시 무선 ATM 셀 헤더의 CLR  
Fig. 12. CLR of wireless ATM cell header with MRC/SC diversity in Rician fading channel.

가 얻어지며, 시뮬레이션 결과에서는 MRC인 경우 이론해석보다 약 0.5 dB, SC인 경우 거의 일치하고 있어 모두  $E_b/N_0$ 가 15 dB 이하일 요구조건을 만족하고 있다.

한편, K=0인 레일리 페이딩 환경에서 MRC 및



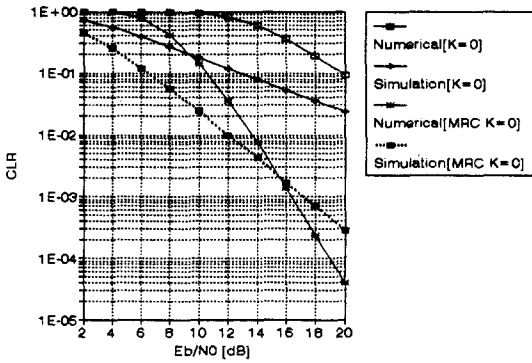


그림 13. 레일리 페이딩 채널에서 MRC 다이버시티 수신 무선 ATM 셀 헤더의 CLR

Fig. 13. CLR of wireless ATM cell header with MRC diversity in Rayleigh fading channel.

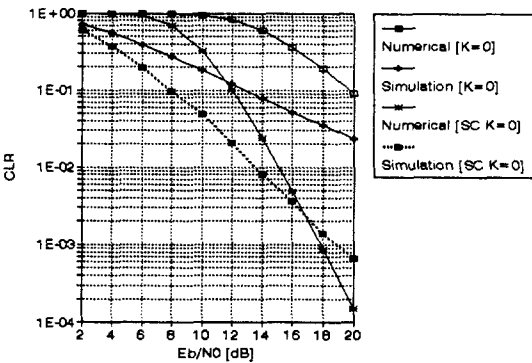


그림 14. 레일리 페이딩 채널에서 SC 다이버시티 수신 무선 ATM 셀 헤더의 CLR

Fig. 14. CLR of wireless ATM cell header with SC diversity in Rayleigh fading channel.

SC 2 브랜치 다이버시티 기법에 의한 무선 ATM 셀 전송 성능에 대한 이론해석 및 시뮬레이션을 수행하여 각각 그림 13 및 14에 나타내었다. 그림 13에서 MRC 다이버시티에 의한 셀 전송 성능개선은  $CLR=10^{-3}$ 을 기준으로 할 때  $E_b/N_0$  면에서 약 8 dB의 성능개선을 보이고 있지만, 이 셀 손실율을 얻기 위한  $E_b/N_0$  값이 이론해석 및 시뮬레이션에

서 각각 16.5 dB, 17 dB로 모두 기준치인 15 dB를 넘어서고 있다. SC인 경우도 마찬가지로 이론해석 및 시뮬레이션에서 각각 18 dB, 19 dB가 얻어져 위 기준을 만족하고 있지 않다. 또한, 그림 13 및 14에서  $E_b/N_0$ 가 작은 값에서 이론해석 결과와 시뮬레이션 결과의 차이가 두드러지게 나타나는데, 이는 시뮬레이션 환경은 그림 9의 무선 ATM 셀 헤더의 파일럿 심볼에 의한 페이딩 보상이 낮은  $E_b/N_0$  값에서도 어느 정도 이루어짐을 나타내고 있다. 그러나,  $E_b/N_0$  값이 커지면 시뮬레이션 결과가 이론치보다 열화함을 알 수 있다.

그림 15 및 16은 각각  $K=0$ 인 레일리 환경 및  $K=5$ 인 라이시안 환경에서 MRC 다이버시티에 의한 무선 ATM 셀내의 비트오율, BER 성능에 대한 이론해석 및 시뮬레이션을 수행하여 그 결과를 비교한 것이다. 그림 15로부터 알 수 있듯이 레일리 환경에서는 다이버시티 기법을 적용하지 않았을 때는 이론해석과 시뮬레이션 결과가 거의 일치하지만, 2 브랜치 MRC 다이버시티 성능면에서는  $BER=10^{-4}$  기준으로 시뮬레이션 결과가 약 3 dB 열화함을 알 수 있다. 다이버시티에 의한 성능개선면에서는  $BER=10^{-3}$  기준으로  $E_b/N_0$ 가 약 9 dB 정도 개선된다. 한편, 그림 16의  $K=5$ 인 라이시안 환경

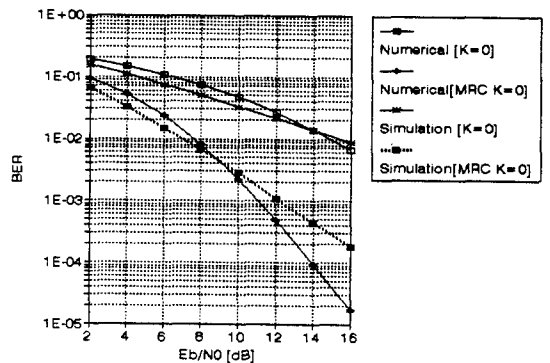


그림 15. 레일리 페이딩 채널에서 MRC 다이버시티 수신 무선 ATM 셀 헤더의 BER

Fig. 15. BER of wireless ATM cell header with MRC diversity in Rayleigh fading channel.

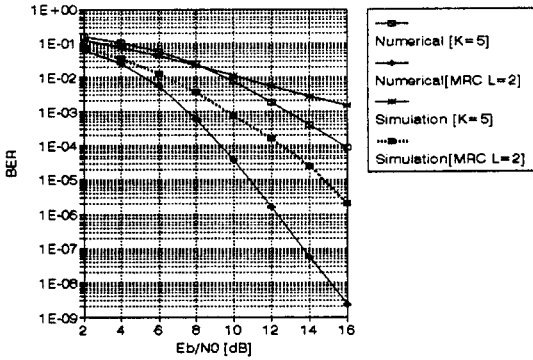


그림 16. 라이시안 페이딩 채널에서 MRC 다이버시티 수신시 무선 ATM 셀 헤더의 BER

Fig. 16. BER of wireless ATM cell header with MRC diversity in Rician fading channel.

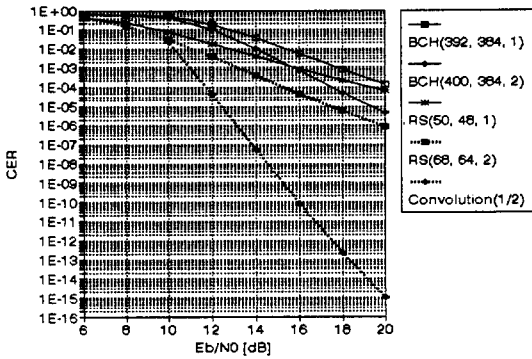


그림 17. 라이시안 페이딩 채널에서  $CLR_{FEC} = 0.4$  일 때 각종 부호화 기법에 의한 무선 ATM 셀 페이로드의 CER

Fig. 17. CER of wireless ATM cell payload with several encoding methods for  $CLR_{FEC} = 0.4$  in Rician fading channel.

에서는 다이버시티에 의해  $BER=10^{-4}$  기준으로  $E_b/N_0$  면에서 약 7 dB 정도 개선되지만, 시뮬레이션 결과는 이론치보다 레일리 환경하에서보다도 더욱 열화됨을 보이고 있다.

그림 17은  $K=5$ 인 라이시안 페이딩에서 무선

ATM 셀 헤더의 손실을,  $CLR_{FEC}=0.4$ 로 가정하였을 때 각종 부호화 기법에 의한 셀 페이로드의 셀 에러율, CER을 이론해석으로 구한 결과이다. 정정능력 1 비트나 2 비트인 BCH 부호나 RS 부호를 적용한 결과에 비해 부호화율 1/2인 컨벌루션 부호를 적용함으로써 페이로드의 셀 에러율을 상당히 개선시킬 수 있다. 예를 들면,  $BER=10^{-7}$ 일 때 컨벌루션 부호에 의하면 정정능력 1 비트인 BCH나 RS에 비해  $E_b/N_0$ 를 10 dB 이상 성능개선을 얻을 수 있다. 또한, BCH 부호나 RS 부호의 정정능력을 높이면 어느 정도 성능개선을 얻을 수 있다.

## Ⅷ. 결 론

본 논문에서는 페이딩 환경에서 무선 ATM 셀 전송성능을 평가하기 위해 무선 ATM 셀 헤더에는 BCH 부호를 적용하고, 페이로드 부분에는 BCH, RS 및 컨벌루션 부호기법 등을 적용하여 그 성능을 평가하였으며, 셀 전송성능 개선방법으로서 MRC 및 SC 다이버시티 기법을 적용했을 때의 셀 전송성능에 대한 이론해석 및 시뮬레이션을 수행하여 비교·검토하였다.

가우스 잡음환경에서는 HEC 만에 의해 셀 헤더의 BER 및 CLR 성능개선이 현저하지만<sup>[18]</sup>, 페이딩 환경에서는  $K=10$ 인 라이시안 페이딩인 경우는  $CLR=10^{-3}$ 에서  $E_b/N_0$ 가 15 dB 이하인 조건을 만족하지만,  $K=5$  이하인 라이시안 및 레일리 페이딩인 경우는 위 조건을 만족하지 않는다. 따라서 위 조건을 만족하기 위한 성능개선 기법으로서 본 논문에서는 MRC 및 SC 2 브랜치 다이버시티 기법을 적용하여  $K=5$ 인 라이시안 페이딩 환경에서는 위 조건을 만족하도록 설계할 수 있었다. 하지만,  $K=0$ 인 레일리 페이딩 환경에서는 2 브랜치 다이버시티 기법으로서는 위 조건을 만족시킬 수 없었으며, 앞으로 셀 헤더 부분에 좀더 강력한 부호기법을 적용하든지, 브랜치수를 증가시킨 다이버시티를 적용하여 성능을 개선하여야 할 것이다.

이론해석과 시뮬레이션 결과를 비교해 보면, 레

일리 페이딩 환경에서의 셀 헤더내의 BER 면에서는 거의 일치하고 있지만, 셀손실율, CER 면에서는 낮은  $E_b/N_0$  값에서 많은 차이를 보이고 있는데, 이는 본 논문의 시뮬레이션에서는 파일럿 심볼을 이용한 페이딩 보상기법<sup>[18]</sup>을 적용함으로써 낮은  $E_b/N_0$  값에서는 어느 정도 페이딩 보상이 가능하여 이론해석보다 성능이 좋게 나타나지만,  $E_b/N_0$  값이 어느 정도 이상이 되면 파일럿에 오염된 잡음의 영향으로 정보비트에 그 영향을 주게 되어 이론해석보다 열화하는 특성을 보인다<sup>[18]</sup>. 앞으로는 셀손실율뿐만 아니라 QoS 서비스 조건을 만족할 수 있도록 페이로드 부분의 BER 성능분석이 이루어져야 하겠으며, 아울러 셀 전송성능 개선기법으로서 ARQ 재전송 방법을 적용했을때의 성능분석을 행해 본 논문의 결과와 비교·검토가 필요하다.

### 참고 문헌

- [1] K. Kohiyama, and A. Hashimoto, "Advanced wireless Access System", *TELECOM 95, Technology Summit*. October 1995.
- [2] M. Umehira, A. Hashimoto, and H. Matsue, "An ATM Wireless Access System for Tetherless Multimedia Services", *IEEE ICUPC 95*, pp. 858-962, November 1995.
- [3] D. Raychaurhuri, "ATM Based Transport Architecture for Multiservices Wireless Personal Communication Networks", *ICC'95*, pp. 559-565, 1995.
- [4] S. Aikawa, Y. Motoyama, and M. Umehira, "Forward Error Correction Schemes for Wireless ATM Systems", *ICC'96*, pp. 454-458, 1996.
- [5] R. O. Farley, G. M. Stamatelos, and D. D. Falconer, "Simulation studies of broadband wireless systems employing code combining techniques", *in Proc, ICC'96*, pp. 260-266.
- [6] 김대영, 김덕환, "Wireless ATM 기술", 한국통신학회지, 제13권, 제3호, pp. 304-320, 1996년 3월.
- [7] B. Sklar, *Digital Communications*, Prentice-Hall, 1988.
- [8] 원동호, 정보와 부호이론, Ohm 社, 1993.
- [9] M. Schwartz, W. R. Bennett, and S. Stein, *Communication Systems and Techniques*, McGraw-Hill, 1966.
- [10] T. Kasami, "A Concatenated Coding Scheme for Error Control", *IEEE Trans. Commun.*, COM-34, pp. 481-493, May 1986.
- [11] A. J. Viterbi, "Error Bounds for Convolution Codes and Asymptotically Optimum Decoding Algorithm", *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-13, no. 4, pp. 260-269, April 1967.
- [12] A. J. Viterbi, "Convolution Codes and their Performance in Communication Systems", *IEEE Trans. Commun.*, COM-19, pp. 751-772, October 1971.
- [13] 滑川敏彦, 奥井重彦, 通信方式, 日本 東京, 森北出版株式會社, 1989年 9月.
- [14] 오창현, 고봉진, 조성준, "실내 무선 채널에서 ARQ 기법을 채용하는 DS-CDMA/DQPSK 신호의 오율특성", 대한전자공학회 논문지 vol. 31, no. 4, pp. 11-20, 1994년 4월.
- [15] W. C. Jakes, *Microwave Mobile Communications*, John Wiley & sone Inc., 1974.
- [16] E. G. Kim, B. J. Ko, and S. J. Cho, "Performance of 16 QAM Signal with Optimum Threshold Detection and SC Diversity Reception in Rician Fading Channel in the Presence of Cochannel Rayleigh Interference", *ICPMSC'94*, pp. 88-93, 1994.

[17] E. G. Kim, C. H. Oh, and S. J. Cho, "Performance of 16 QAM Signal with Optimum Threshold Detection and MRC Diversity Reception in Rician Fading Channel in the Presence of Cochannel Rayleigh Interference", *APCC'95*, pp. 79-83,

1995.  
[18] 정부영, 강영홍, 조성준, 이진, "무선 ATM 시스템을 위한 페이딩 보상기법에 관한 연구", 한국통신학회논문지, 제22권 제12호 pp. 2727-2735, 1997년 12월.

정 부 영



1985년 2월 : 한국항공대학교 통신공학과 (공학사)  
1987년 8월 : 건국대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)  
1988년 9월 ~ 현재 : 한국통신기술평가센터 선임연구원

[주관심 분야] 무선통신, 이동통신, 무선망 설계

박 기 식

1991년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (공학사)  
1996년 8월 : 한국항공대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)  
1996년 9월 ~ 현재 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 박사과정

[주관심 분야] 무선통신, 광통신, 이동통신, 무선ATM

[주관심 분야] 무선통신, 광통신, 이동통신, 무선ATM

강 영 홍

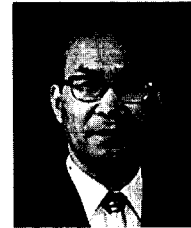


1989년 : 한국항공대학교 통신공학과 (공학사)  
1986년 : 한국항공대학교 전자공학과 (공학석사)  
1993년 : 한국항공대학교 전자공학과 (공학박사)

1990년 ~ 현재 : 군산대 정보통신공학과 부교수

[주관심 분야] 위성통신, 무선통신, 이동통신

조 성 준



1946년 1월 9일생  
1965년 3월 ~ 1969년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (공학사)  
1973년 3월 ~ 1975년 2월 : 한양대학교 대학원 (공학석사)

1977년 3월 ~ 1981년 2월 : 일본 오사카 대학교 통신공학과 (공학박사)

1969년 3월 ~ 1972년 7월 : 해군 기술장교

1972년 8월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 교수

[주관심 분야] 무선통신, 이동통신, 위성통신, 환경전자공학

이 진



1935년 5월 17일생  
한국항공대학교 통신정보공학과 (공학사)  
한양대학교 대학원 (공학석사)  
경희대학교 대학원 (공학박사)  
현재 : 한국항공대학교 통신정보공

학과 교수, 한국통신학회 회장 역임

[주관심 분야] 정보통신정책, 통신경영, 전파통신