

# 실내 무선 통신로에서 파일럿 심볼을 삽입한 Concatenated FEC 부호에 의한 WATM의 성능 개선

정희원 박기식\*, 강영흥\*\*, 김종원\*\*\*, 정해원\*\*\*, 양해권\*\*, 조성준\*

## A Fault Tolerant ATM Switch using a Fully Adaptive Self-routing Algorithm -- The Cyclic Banyan Network

Ki Sik Park\* , Young Heung Kang\*\* , Jong Won Kim\*\*\*, Hae Won Chung\*\*\*, Hae Kwon  
Yang\*\* , Sung Joon Cho\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 실내 무선 통신로를 레일리 (Rayleigh) 페이딩 통신로와 라이시안 (Rician) 페이딩 통신로로 모델링한 다음, 페이딩 보상용 파일럿 심볼을 삽입한 Concatenated FEC 부호를 WATM에 적용하여 셀 비트 오류 (BER) 및 셀 손실 (CLP) 성능을 시뮬레이션을 통해 평가하였다. 또한 이를 통해 얻은 성능 평가 결과를 동일한 조건에서 컨벌루션 부호에 적용하여 얻은 성능 평가 결과와 비교하였다.

레일리 페이딩 통신로에서 음성 서비스의 최대 허용 BER ( $10^{-3}$ )을 기준으로 결과를 분석해 보면, 파일럿 심볼을 Concatenated FEC 부호에 삽입하는 경우가 컨벌루션 부호에 삽입하는 경우 보다  $E_b/N_0$  면에서 약 4 dB의 성능 개선이 얻어짐을 알 수 있었다. 그리고 라이시안 페이딩 통신로에서 직접파 대 반사파 전력비를 나타내는 K 파라미터의 값이 6과 10인 경우, 음성 서비스의 최대 허용 BER을 기준으로 결과를 분석해 보면, 파일럿 심볼을 Concatenated FEC 부호에 삽입하는 경우가  $E_b/N_0$  면에서 각각 4 dB와 2 dB의 성능 개선이 얻어짐을 알 수 있었다. 또한 K=6과 K=10인 라이시안 페이딩 통신로에서 CLP =  $10^{-3}$ 을 기준으로 결과를 분석해 보면, 파일럿 심볼을 Concatenated FEC 부호에 삽입하는 경우가  $E_b/N_0$  면에서 각각 3.5 dB와 1.5 dB의 성능 개선이 얻어짐을 알 수 있었다.

### ABSTRACT

We have evaluated the BER's and CLP's of Wireless ATM (WATM) cells employing the concatenated FEC code with pilot symbols for fading compensation through the simulation in indoor wireless channel modeled as a Rayleigh and a Rician fading channel, respectively. The results of the performance evaluation are compared with those obtained by employing the convolutional code in the same condition.

In Rayleigh fading channel, considering the maximum tolerance BER ( $10^{-3}$ ) as a criterion of the voice service, it is known that the performance improvement of about 4 dB is obtained in terms of  $E_b/N_0$  by employing the concatenated FEC code with pilot symbols rather than the convolutional code with pilot symbols.

When the values of K parameter which means the ratio of the direct signal to scattered signal power in Rician fading channel are 6 and 10, it is shown that the performance improvement of about 4 dB and 2 dB is obtained, respectively, in terms of  $E_b/N_0$  by employing the concatenated FEC code with pilot symbols

\* Dept. of Telecomm. & Inform. Eng., Graduated school of Hankuk Aviation Univ.(gspark@mail.hangkong.ac.kr)

\*\* Dept. of Telecommunication Eng., Kunsan National Univ.

\*\*\* Wireless ATM Team, ETRI

논문번호 : 99216-0528, 접수일자 : 1999년 5월 28일

considering the maximum tolerance BER of the voice service. Also in Rician fading channel of  $K=6$  and  $K=10$ , considering  $CLP = 10^{-3}$  as a criterion, it is observed that the performance improvement of about 3.5 dB and 1.5 dB is obtained, respectively, in terms of  $E_b/N_0$ , by employing the concatenated FEC code with pilot symbols.

## I. 서론

WATM (Wireless Asynchronous Transfer Mode)은 정보화 사회에서 광대역 종합 서비스 제공을 위한 기간 통신망인 B-ISDN 망 서비스를 무선접속망 영역으로 확장시키고, 나아가 차세대 유무선 통합 이동통신망으로의 진화를 위한 핵심기술로 간주할 수 있다<sup>[1]-[3]</sup>.

실내 무선 통신로에서는 신호가 공중으로 전파되기 때문에 주변의 환경에 민감하며, 그 결과 실내 무선 통신로에서 ATM 셀을 전송할 경우 페이딩(fading)으로 인하여 비트 에러(bit error)가 버스트(burst)적으로 나타나게 되어 많은 셀들의 손실이 발생된다. 이와 같이 실내 무선 통신로는 매우 열악하기 때문에 유선 ATM 기술을 무선 통신로에 그대로 적용하기에는 상당한 어려움이 따른다. 따라서 실내 무선 통신로에서는 ATM 셀 헤더에서의 비트 에러로 인한 셀 손실과 셀 유효부하(payload)에서의 비트 에러에 따른 성능 저하에 효율적으로 대응할 수 있는 방법을 반드시 고려하여야 한다. 특히 실내 무선 통신로의 비트 에러 성능이 서비스 성능에 직접적으로 영향을 미치는 점을 고려하여 최소한의 통신로 성능을 확보할 수 있는 에러 제어 기법이 반드시 구현되어야 한다. 이를 위해 WATM 시스템에서는 음성과 같은 실시간(real-time) 서비스의 QoS(Quality of Service)를 개선하기 위한 에러 제어 기법으로 여러 정정 능력을 갖춘 FEC(Forward Error Correction) 부호를 사용한다. FEC 부호를 사용하면 무선 통신로상에서의 비트 에러율과 전송 시스템의 요구  $E_b/N_0$ 를 최소화할 수 있으며, 매우 강력한 FEC 부호를 사용하면 실내 무선 통신로 상에서의 ATM 품질을 최적화할 수 있기 때문에 유선에서의 유사한 통신로 성능을 확보할 수 있다. 이에 따라 최근 WATM 망에서의 QoS 성능을 유지하기 위한 최적의 방안으로 강력한 FEC 부호인 Concatenated FEC 부호가 제안되고 있다<sup>[4][5]</sup>.

기존의 연구에서는 WATM 시스템을 위한 무선 통신로 환경으로 erasure 통신로 환경을 설정하여

Concatenated FEC 부호의 성능을 이론적으로 분석·평가한 결과<sup>[4]</sup>와 WATM 시스템에 Concatenated FEC 부호를 도입한 ARQ 기법의 성능을 시뮬레이션을 통해 분석·평가한 결과<sup>[5]</sup>들이 발표되고 있다. 본 논문에서는 기존의 erasure 통신로 대신에 실내 무선 통신로에 적합한 레일리 페이딩 통신로와 라이시안 페이딩 통신로 모델을 설정하고, 페이딩 보상용 파일럿 심볼을 삽입한 Concatenated FEC 부호를 WATM에 적용하여 셀 비트 오율(BER) 및 셀 손실(CLP) 성능을 시뮬레이션을 통해 구하고자 한다. 또한 이를 통해 얻은 성능을 동일한 조건에서 컨벌루션 부호에 적용하여 얻은 성능 결과와 비교하고자 한다.

## II. WATM 실내 무선 통신로와 Concatenated FEC WATM

### 1. 실내 무선 통신로

본 논문에서는 실내 무선 통신로를 레일리 페이딩 통신로와 라이시안 페이딩 통신로로 모델링한다. 라이시안 페이딩은 직접파와 같은 하나의 강한 정상파 성분에 복수의 산란파인 다중 경로파가 중첩되어 수신될 때 수신 신호의 순시진폭의 변동을 나타내며, 이것은 직접파가 존재하는 실내의 고속 LAN 환경에 적합한 페이딩 모델이다<sup>[6]</sup>. 라이시안 페이딩 통신로에서 비트 당 순시 반송파 대 잡음 전력비(CNR),  $\gamma$ ,에 대한 확률밀도함수는 다음과 같이 나타내진다<sup>[7]</sup>.

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

- 단,  $\gamma$  ; 순시 CNR,
- $K$  ; 직접파 대 반사파 전력비,
- $I_0(\cdot)$  ; 0 차 변형 베셀 함수,
- $\gamma_0$  ; 평균 CNR.

라이시안 페이딩은 그 분포함수의 모양이 변형

베셀 함수형이기 때문에  $I_0$  분포라고도 한다. 특히  $K = 0$ 인 경우는 직접파 성분이 없는 경우로서 레일리 페이딩 분포와 일치하는데, 그 확률밀도함수는 다음과 같다<sup>[8]</sup>.

$$p(\gamma)_{\text{Rayleigh}} = \frac{1}{\gamma_0} \exp\left[-\frac{\gamma}{\gamma_0}\right] \quad (2)$$

예를 들어 레일리 페이딩 통신로에서 QPSK 신호의 평균 비트 오류율은 가우스 잡음 통신로에서의 비트 오류율을 레일리 페이딩의 순시 CNR ( $\gamma$ )의 확률 밀도 함수를 이용하여 집합 평균을 취하면 구해지는데 다음과 같다<sup>[8]</sup>.

$$\begin{aligned} P_{e-QPSK/\text{Rayleigh}} &= \int_0^{\infty} P_{e-QPSK/\text{AWGN}} \cdot p(\gamma)_{\text{Rayleigh}} d\gamma \\ &= \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1+2/\gamma_0}}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

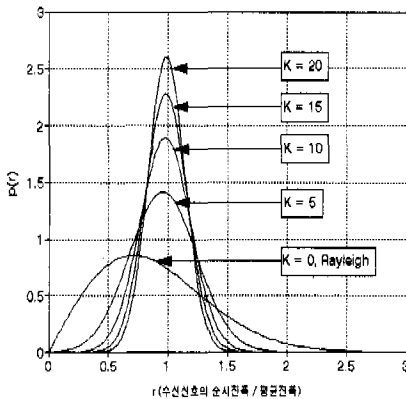


그림 1. 라이시안 페이딩의 확률밀도함수

## 2. Concatenated FEC WATM

무선 통신로를 통해 멀티미디어 서비스를 행하려면 멀티미디어 트래픽이 요구하는 서로 다른 QoS에 따라 에러 보호가 올바르게 이루어질 수 있는 FEC 기법이 보장되어야 한다. 또한, 다양한 형태의 네트워크를 지원하기 위해 WATM 네트워크가 고안되었기 때문에 FEC 기법은 WATM 네트워크를 충분히 지원할 수 있어야 하는데, 이를 위해 FEC 기법에 강력한 FEC 부호인 Concatenated FEC 부호를 적용한다<sup>[4]</sup>.

Concatenated FEC 부호 적용시 비터비 복호기 (Viterbi decoder)에서 복호 (decoding) 에러가 발생

하면 부호어 결과는 연관된 격자 가지 (trellis branch)로 인해 송신된 부호어와 다르게 나타난다. 결과적으로 비터비 복호기에 입력된 부호가 랜덤 잡음에 의해 에러로 발생할지라도 복호기의 출력 부호는 버스트성 에러로 나타나는 경향이 있다. 따라서 본래 버스트성 에러 정정 능력을 갖춘 RS (Reed-Solomon) 부호가 비터비 복호기 출력에서 나온 버스트성 에러를 처리하기 위해 외부호로 사용된다. 컨벌루션 내부호와 RS 외부호를 갖춘 Concatenated FEC 부호는 WATM을 위해 제안되었으며, 특히 디지털 셀룰러 시스템의 산업 표준인 부호율 1/2, 구속장 (constraint length) 7인 컨벌루션 부호가 내부호로 사용된다<sup>[4]</sup>.

Concatenated FEC 부호를 ATM 셀에 적용시키면 그림 2와 같이 셀 구조가 변화하는데, 외부호로 RS 부호를, 내부호로는 컨벌루션 부호를 적용한 것이다.

여기서,  $I$  비트는 원천 정보 비트로서, RS 부호화를 통과한 후  $n$  비트가 되는데,  $2mt$  비트는  $t$  비트의 에러 정정이 가능한 RS 부호에 추가되는 리던던시 비트이고,  $p$  비트는 컨벌루션 부호화를 위한 비트로서 모두 0인 리던던시 비트를 나타낸다.

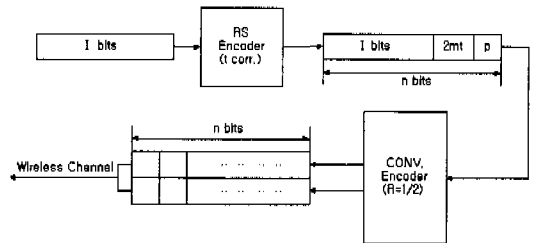


그림 2. Concatenated FEC 부호에 의한 ATM 셀 구조 변화

### 2.1. 컨벌루션 부호화 기법

Concatenated FEC 부호의 내부호로 사용되는 컨벌루션 부호의 개략적인 특징은 다음과 같다. 비터비 복호 (Viterbi decoding)를 갖춘 컨벌루션 부호의 성능은 유니온 바운드(union bound) 기법의 상한 (upper bound)에 의해 결정된다. 정확한 부호어와 비교되는 모든 부정확한 부호어 에러 확률의 합에 의해 에러 확률 상한이 결정된다. 가우스 잡음 통신로에서 비터비 복호기 출력단에서의 QPSK 신호 비트 오류의 상한식은 다음과 같다<sup>[4]</sup>.

$$P_{b-Viterbi} = \frac{1}{m} \sum_{j=0}^{m-1} w_j Q(\sqrt{2jR\gamma}) \quad (4)$$

단,  $R = m/n$  ; 부호율 (code rate),  
 $w_j$  ; 부호 무게 구조,

$$Q(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\alpha}^{\infty} e^{-\beta^2/2} d\beta.$$

그림 3은 라이시안 페이딩 통신로에서 부호화율에 따른 비터비 복호기 출력단의 WATM 셀의 BER 시뮬레이션 특성을 나타낸다.

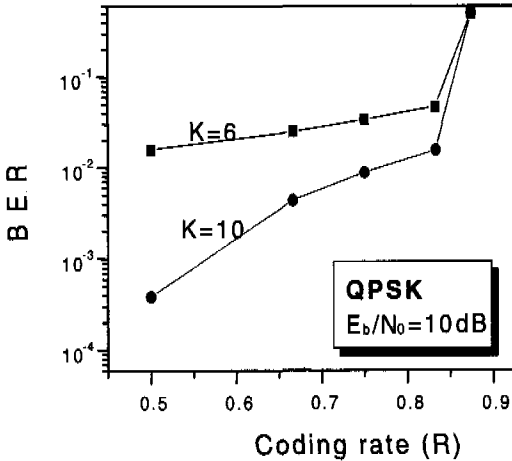


그림 3. 부호화율에 따른 비터비 복호기 출력단에서의 WATM 셀의 BER 시뮬레이션 특성

그림으로부터 부호화율 R이 커짐에 따라 BER 성능이 크게 열화됨을 알 수 있다. 예를 들어 K=10인 라이시안 페이딩 통신로에서  $E_b/N_0 = 10$  dB로 고정한 경우  $R=1/2$ 일 때는  $BER \approx 3.9 \times 10^{-4}$ 이 얻어지는 반면에,  $R=7/8$ 일 때는  $BER \approx 5.0 \times 10^{-1}$ 으로 크게 열화함을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는  $R=1/2$ 인 컨벌루션 부호를 사용한다.

### 2.2. RS 부호화 기법

비터비 부호를 갖춘 컨벌루션 부호만으로는 ATM 네트워크에서 요구하는 성능 이득을 충분히 제공하지 못하기 때문에 요구되는  $E_b/N_0$ 을 더욱 더 감소시키기 위해 Concatenated FEC 부호에서는 외부 RS 부호를 사용한다.

RS 부호는 정보 심볼 k와 검사 심볼 n-k의 비이진 n 심볼로 구성된다. 2t 검사 심볼을 갖춘 RS 부호는 t개의 심볼 에러를 정정할 수 있다.

RS 블록 부호기의 출력에서의 심볼 오류식은 다음과 같다<sup>9)</sup>.

$$P_{\text{sym-RS}} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^i \binom{n}{i,j} \cdot P^i \cdot (1-P)^{n-i-j} \quad (5)$$

단, P ; RS 부호 통신로 심볼 오류,

$$\binom{n}{i,j} = \frac{n!}{i! \cdot j! \cdot (n-i-j)!}.$$

RS 블록 부호기의 출력에서의 비트 오류식은 심볼 오류식으로부터 다음과 같이 구해진다.

$$P_{b-RS} = \frac{P_{\text{sym-RS}}}{2}. \quad (6)$$

Concatenated FEC 부호에서는 비터비 복호기 출력의 데이터 계열이 RS 부호기의 입력으로 전송된다. 즉, 비터비 복호기에서 정정된 데이터가 RS 부호기에서 다시 정정된다.

## III. WATM 셀 내의 HEC (Header Error Correction) 성능과 파일럿 심볼에 의한 페이딩 보상 기법

### 1. WATM 셀 내의 HEC 성능

WATM 셀은 48 bytes의 유효부하와 5 bytes의 헤더를 갖춘 총 53 bytes로 구성된다. 셀 헤더는 4 bytes의 셀 헤더 정보 비트와 헤더 에러 정정에 사용되는 1 byte의 CRC (Cyclic Redundancy Check)로 구성된다. CRC는 단일 에러 정정과 2 중 및 다중 에러 검출 능력을 갖는 (40, 32)의 순회부호이며, 셀 헤더 통합 및 ATM 셀 설계에서 기본으로 제공된다. HEC는 정정 모드와 검출 모드로 동작하는데, 정정 모드에서는 단일 비트 에러가 정정될 수 있으며 다중 비트 에러의 셀들은 폐기된다. 검출 모드에서는 헤더 내에서 에러가 검출된 모든 셀들을 폐기한다. 따라서 셀 손실 (CLP)은 다음과 같이 정의된다<sup>10)</sup>.

$$\begin{aligned} \text{CLP} &= P_{\text{detection}} \cdot (P_a(1) + P_a(2)) + P_{\text{correction}} \cdot P_a(2) \end{aligned} \quad (7)$$

단,  $P_a(0) = (1-p)^{40}$ ; 하나의 셀 헤더 내에 에러가 없을 확률,

$P_a(1) = 40(1-p)^{39}p$ ; 하나의 셀 헤더 내에 단일 비트 에러가 있을 확률,

$P_a(2) = 1 - P_a(0) - P_a(1)$ ; 하나의 셀 헤더 내에 다중 비트 에러가 있을 확률,  
 $P_{\text{correction}} = P_a(0)$ ; 정정 모드 확률,  
 $P_{\text{detection}} = 1 - P_a(0)$ ; 검출 모드 확률,  
 $p$ ; HEC 전의 BER.

2. 파일럿 심볼에 의한 페이딩 보상 기법

무선 ATM 시스템에서는 ATM 셀이 무선 프레임으로 구성되어 중심국 (CS ; Central Station)과 사용자 무선 모듈 (RM ; Radio Module)간에 전송된다. 무선 프레임은 지상 셀룰러 이동 통신에서의 페이딩 보상 기법과 마찬가지로 ATM 셀에 파일럿 심볼 (pilot symbol)을 삽입하여 그림 4와 같이 구성할 수 있다<sup>[11]</sup>. 여기서 ND는 파일럿 심볼간의 간격 비트 수를 나타낸다.

파일럿 심볼은 미리 알려진 값이므로 수신측에서는 이를 이용하여 페이딩 정도를 평가한 후 이 평가값을 셀 내의 정보 심볼 평가값과 비교하여 보상함으로써 페이딩을 보상할 수 있다.

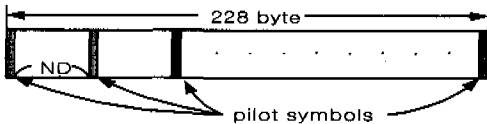


그림 4. 파일럿 심볼이 삽입된 ATM 셀

본 논문에서는 erasure 통신로 환경에서 4개의 ATM 셀에 Concatenated FEC 부호를 적용한 논문<sup>[4]</sup>을 참조하여 4개의 ATM 셀로 구성하였다.

그림 5는 무선 ATM 시스템에서의 셀 전송을 나타낸다.

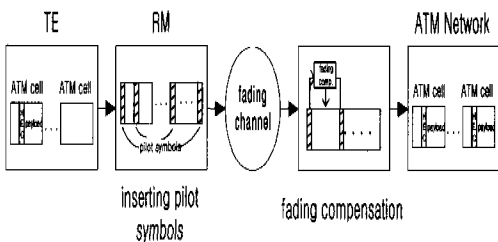


그림 5. 무선 ATM 시스템에서의 셀 전송

사용자 터미널 (TE ; Terminal Equipment)에서 전송된 ATM 셀은 RM에서 파일럿 심볼이 삽입되어 페이딩 채널을 통과한다. CS에서는 페이딩에 의

해 왜곡된 무선 ATM 셀을 파일럿 신호에 의해 페이딩 평가 및 보상을 행한 후, 무선 ATM 네트워크로 전송한다. CS에서 페이딩 평가 및 보상을 위한 알고리즘은 기존의 이동 통신 셀룰러 시스템에서 제안되고 있는 파일럿 심볼을 이용한 페이딩 보상 기법과 유사하다<sup>[12]</sup>. ATM 셀 형식을 기준으로 나타낸 페이딩 평가 및 보상 회로는 그림 6과 같다.

그림에서 K 번째 파일럿 심볼이 삽입된 ATM 셀은 검파단을 거쳐 파일럿 심볼  $P_{-1}$ ,  $P_0$ ,  $P_1$ 이 우선 검출되고, 나머지 셀 헤더 정보 심볼은 버퍼 (buffer)에 일시 저장된다.  $P_{-1}$ ,  $P_0$ ,  $P_1$ 에 의해 Q 함수인  $Q_{-1}(m/N)$ ,  $Q_0(m/N)$ ,  $Q_1(m/N)$ 이 계산되어 다음 식과 같은 페이딩 평가 심볼을 구할 수 있다<sup>[12]</sup>.

$$C(t_{k,m}) = Q_{-1}(m/N) P_{-1} + Q_0(m/N) P_0 + Q_1(m/N) P_1 \quad (8)$$

단, m ; 각 심볼의 타이밍 (0, 1, 2, ..., N-1),  
 N ; 파일럿 심볼을 포함한 ATM 셀 정보 심볼 수.

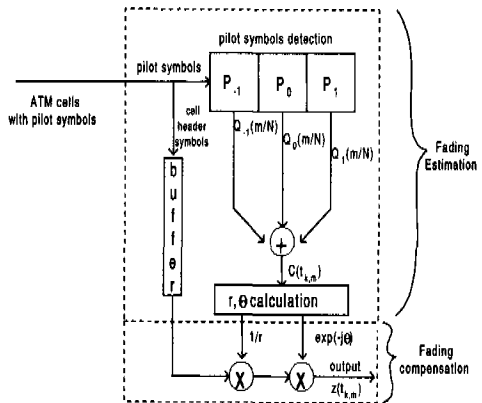


그림 6. 무선 ATM 시스템에서의 페이딩 평가 및 보상 회로

$C(t_{k,m})$ 은 진폭과 위상을 포함하고 있으므로 이로부터 m 번째 심볼의 페이딩 진폭 왜곡과 위상 왜곡을 구하여, 이를 ATM 셀 정보 심볼에 곱해줌으로써 페이딩 보상을 행할 수 있다.

라이시안 페이딩 통신로에서 부호화 기법을 적용하지 않았을 때 파일럿 심볼 간격 ND에 따른 WATM 셀의 BER 시뮬레이션 특성을 그림 7에 나타낸다.

그림에서 ND가 작을 때나 키점에 따라 BER 성능이 열화되고 있으며, ND=32일 때 최적의 성능을 나타냄을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 ND=32로 고정하여 시뮬레이션을 수행한다.

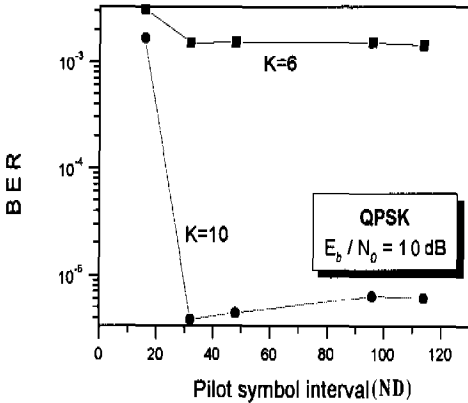


그림 7. 부호화 기법을 적용하지 않았을 때 파일럿 심볼 간격에 따른 WATM 셀의 BER 시뮬레이션 특성

#### IV. 시뮬레이션 모델

본 논문에서는 WATM 셀에 Concatenated FEC 부호를 적용하고, 페이딩을 보상하기 위해 그 부호에 파일럿 심볼을 삽입한 그림 8과 같은 시뮬레이션 블록도 모델을 이용한다. 그림 8에서 ATM 셀은 RS 외부부호와 컨벌루션 내부부호를 거쳐 부호화된 후, 파일럿 심볼이 삽입되어 그림 4과 같은 셀 포맷 (cell format)을 만든다.

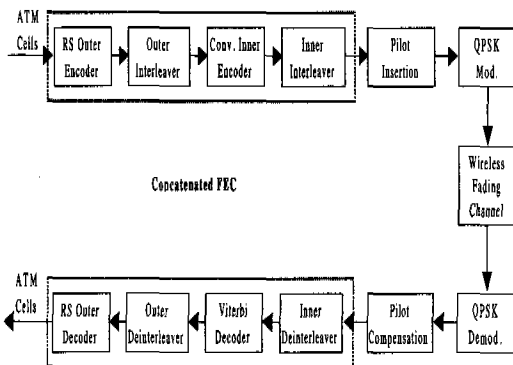


그림 8. WATM 시스템의 시뮬레이션 블록도

이것은 QPSK 변조되어 페이딩 통신로를 통과한 후, QPSK 복조되어 파일럿 심볼에 의한 페이딩 보

상이 이루어진 다음 비터비 복호기와 RS 복호기를 거쳐 ATM 셀이 복호된다. 그 다음 비트 오류가 평가된다. 한편, Concatenated FEC 부호에 포함된 인터리버는 버스트 에러를 분산시키기 위해 사용된다. 본 시뮬레이션에서는 외부 인터리빙 기법으로 컨벌루션 주기 인터리버를 사용한다. 이 인터리버는 B 개의 브랜치와 M1 단위 심볼로 이루어진 (B, N=B×M1) 인터리버이다. 그리고 내부 인터리빙 기법에는 비트 인터리버를 사용한다.

본 논문의 시뮬레이션에 쓰인 각종 파라미터 값들은 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션에 쓰인 파라미터 값들

파라미터	이용값
ATM 셀 수	4
RS 부호의 에러 정정 능력	t=2
컨벌루션 부호의 부호화율 및 구조장	R=1/2, 구조장=7
외부 인터리버의 브랜치 수	B=38
내부 인터리버의 블록 수	블록 수=96
파일럿 심볼 삽입 간격	ND=32
변조 방식	QPSK

#### V. 성능 평가

그림 9는 레일리 페이딩 통신로에서 각종 부호화 기법에 의한 WATM 셀의 BER을 이론 해석과 시뮬레이션으로 구한 결과이다. 대부분의 음성 서비스 셀에서는 BER = 10<sup>-3</sup>을 최대 허용 BER로 요구하고 있는데, 이를 기준으로 본 논문에서 얻어진 시뮬레이션 결과를 분석해 보면 파일럿 심볼을 Concatenated FEC 부호에 삽입한 경우는 약 11 dB이고, 컨벌루션 부호에 삽입한 경우는 약 15 dB이므로 E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub> 면에서 약 4 dB의 성능 개선이 얻어짐을 알 수 있다.

그림 10은 라이시안 페이딩 통신로 (K=6)에서 각종 부호화 기법 적용시 WATM 셀의 BER을 시뮬레이션으로 구한 결과이다. 그림에서 음성 서비스의 최대 허용 BER = 10<sup>-3</sup>을 기준으로 결과를 분석해 보면, 파일럿 심볼을 Concatenated FEC 부호에 삽입한 경우는 약 12 dB이고, 컨벌루션 부호에 삽입한 경우는 약 16 dB이므로 E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub> 면에서 약 4 dB의 성능 개선이 얻어짐을 알 수 있다.

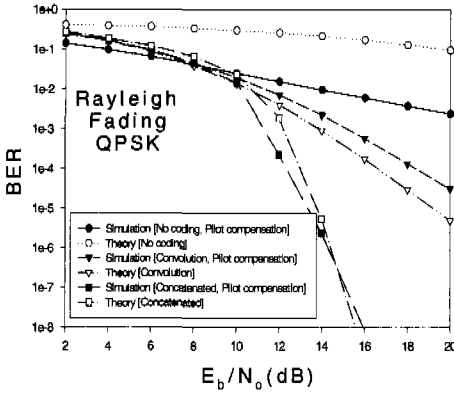


그림 9. 레이리 페이딩 통신로에서 각종 부호화 기법에 의한 WATM 셀의 BER 이론과 시뮬레이션 특성

플레이션으로 구한 결과이다. 그림에서  $CLP = 10^{-3}$ 을 기준으로 결과 추이를 분석해 보면, 파일럿 심볼을 Concatenated FEC 부호에 삽입한 경우는 약 14 dB이고, 컨벌루션 부호에 삽입한 경우는 약 17.5 dB이므로  $E_b/N_0$  면에서 약 3.5 dB의 성능 개선이 얻어짐을 알 수 있다.

그림 12는 라이시안 페이딩 통신로 ( $K=10$ )에서 각종 부호화 기법 적용시 WATM 셀의 BER을 시뮬레이션으로 구한 결과이다. 그림에서 음성 서비스의 최대 허용 BER =  $10^{-3}$ 을 기준으로 결과를 분석해 보면, 파일럿 심볼을 Concatenated FEC 부호에 삽입한 경우는 약 7.5 dB이고, 컨벌루션 부호에 삽입한 경우는 약 9.5 dB이므로  $E_b/N_0$  면에서 약 2 dB의 성능 개선이 얻어짐을 알 수 있다.

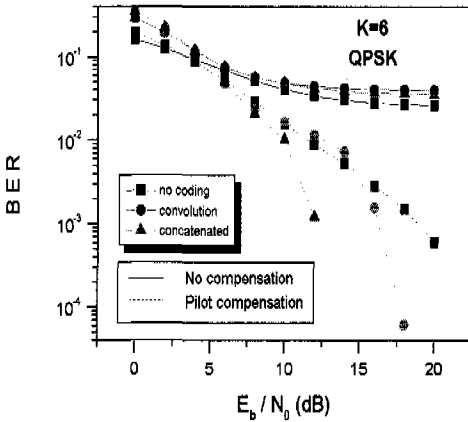


그림 10. 라이시안 페이딩 통신로 ( $K=6$ )에서 각종 부호화 기법에 의한 WATM 셀의 BER 시뮬레이션 특성

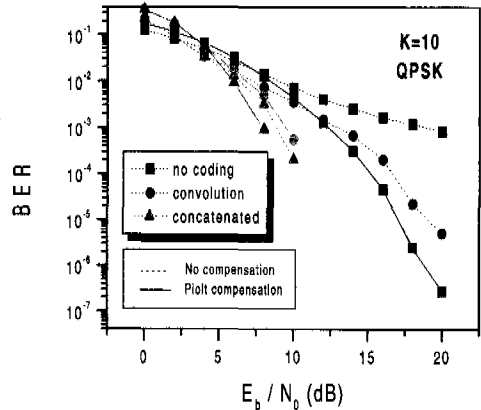


그림 12. 라이시안 페이딩 통신로 ( $K=10$ )에서 각종 부호화 기법에 의한 WATM 셀의 BER 시뮬레이션 특성

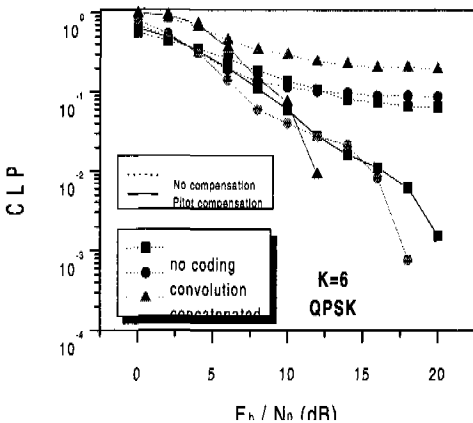


그림 11. 라이시안 페이딩 통신로 ( $K=6$ )에서 각종 부호화 기법에 의한 WATM 셀의 CLP 시뮬레이션 특성

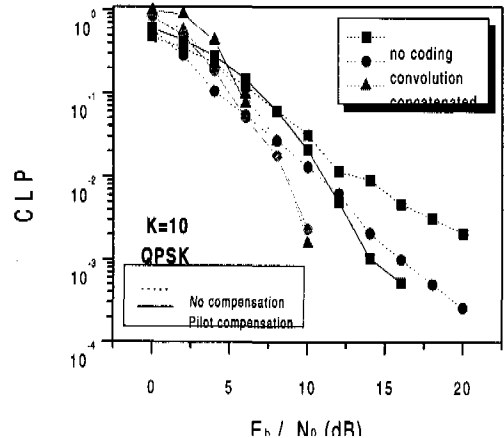


그림 13. 라이시안 페이딩 통신로 ( $K=10$ )에서 각종 부호화 기법에 의한 WATM 셀의 CLP 시뮬레이션 특성

그림 11은 라이시안 페이딩 통신로 ( $K=6$ )에서 각종 부호화 기법 적용시 WATM 셀의 CLP를 시

그림 13은 라이시안 페이딩 통신로 ( $K=10$ )에서 각종 부호화 기법 적용시 WATM 셀의 CLP를 시뮬레이션으로 구한 결과이다. 그림에서  $CLP = 10^{-3}$ 을 기준으로 결과 추이를 분석해 보면, 파일럿 심볼을 Concatenated FEC 부호에 삽입한 경우는 약 9 dB이고, 컨벌루션 부호에 삽입한 경우는 약 10.5 dB이므로  $E_b/N_c$  면에서 약 1.5 dB의 성능 개선이 얻어짐을 알 수 있다.

## VI. 결론

본 논문에서는 실내 무선 통신로를 레일리 (Rayleigh) 페이딩 통신로와 라이시안 (Rician) 페이딩 통신로로 모델링한 다음, 페이딩 보상용 파일럿 심볼을 삽입한 Concatenated FEC 부호를 WATM에 적용하여 셀 비트 오류 (BER) 및 셀 손실 (CLP) 성능을 시뮬레이션을 통해 평가하였다. 또한 이를 통해 얻은 성능 평가 결과를 동일한 조건에서 컨벌루션 부호에 적용하여 얻은 성능 평가 결과와 비교하였다.

레일리 페이딩 통신로에서 음성 서비스의 최대 허용 BER을 기준으로 결과를 분석해 보면, 파일럿 심볼을 Concatenated FEC 부호에 삽입하는 경우가 컨벌루션 부호에 삽입하는 경우 보다  $E_b/N_c$  면에서 약 4 dB의 성능 개선이 얻어짐을 알 수 있었다. 그리고  $K=6$ 과  $K=10$ 인 라이시안 페이딩 통신로에서 음성 서비스의 최대 허용 BER을 기준으로 결과를 분석해 보면, 파일럿 심볼을 Concatenated FEC 부호에 삽입하는 경우가  $E_b/N_c$  면에서 각각 4 dB와 2 dB의 성능 개선이 얻어짐을 알 수 있었다. 또한  $K=6$ 과  $K=10$ 인 라이시안 페이딩 통신로에서  $CLP = 10^{-3}$ 을 기준으로 결과를 분석해 보면, 파일럿 심볼을 Concatenated FEC 부호에 삽입하는 경우가  $E_b/N_c$  면에서 각각 3.5 dB와 1.5 dB의 성능 개선이 얻어짐을 알 수 있었다.

## 참고 문헌

- [1] K. Kohiyama and A. Hashimoto, "Advanced wireless access system", in *Proc TELECOM 95, Technology Summit*. October 1995.
- [2] M. Umehira, A. Hashimoto, and H. Matsue, "An ATM wireless access system for tetherless multimedia services", in *Proc. IEEE*

*ICUPC 95*, pp. 858-962, November 1995.

- [3] D. Raychaurhuri, "ATM based transport architecture for multiservices wireless personal communication networks", in *Proc. ICC '95*, pp. 559-565, 1995.
- [4] J. B. Cain and D. N. McGregor, "A recommended error control architecture for ATM networks with wireless links", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 15, no. 1, pp. 16-28, January 1997.
- [5] Jim Durkin et al., "Error control for wireless links", *ATM Forum/98-0203*, April 1998.
- [6] R. Bultitude, "Measurement, characterization and modeling of indoor 800/900 MHz radio channels for digital communications", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 25, pp. 5-12, June 1987.
- [7] 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", in *Proc. APCC '95*, pp. 79-83, 1995.
- [8] K. Feher, *Wireless Digital Communications*, Prentice-Hall, ch. 4, 1995.
- [9] B. Sklar, *Digital Communications*, Prentice-Hall, ch. 5, 1988.
- [10] S. Aikawa et al., "Forward error correction schemes for wireless ATM systems", in *Proc. ICC '96*, pp. 454-458, 1996.
- [11] 정부영, 강영홍, 조성준, 이진, "WATM 시스템을 위한 페이딩 보상기법에 관한 연구", 한국통신학회논문지, 제22권 제12호 pp. 2727-2735, 1997년 12월.
- [12] S. Sampei, *Applications of Digital Wireless Technologies to Global Wireless Communications*, Feher/Prentice-Hall, ch. 4, 1997.

박 기 식(Ki-Sik Park)

정희원



1991년 2월 : 한국항공대학교  
항공통신정보공학과  
(공학사)

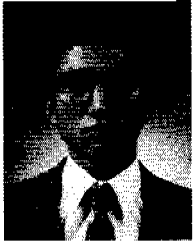
1996년 8월 : 한국항공대학교  
대학원 항공통신정보  
공학과(공학석사)



1996년 8월~현재 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 박사과정 재학 중  
<주관심 분야> 무선통신, 광통신, 이동통신, Wireless ATM

강 영 흥(Young-Heung Kang) 정회원  
한국통신학회 논문지 제22권 12호 참조

김 종 원(Jong-Won Kim) 정회원  
1980년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)  
1998년 8월 : 충남대학교대학원 전자공학과(공학석사)  
1992년 6월~현재 : ETRI 교환전송기술연구소 무선 ATM팀 근무 (선임연구원)



<주관심 분야> 무선 ATM, B-ISDN

정 해 원(Hae-Won Jung) 정회원  
1980년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과(공학사)  
1982년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(공학석사)



1999년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 (공학박사)  
1982년 3월~현재 : ETRI 교환전송기술연구소 무선 ATM팀 근무 (책임연구원)  
<주관심 분야> 유무선 통합 시스템, 무선 LAN, 무선 ATM, 무선 CATV, 맥내 무선 액세스

양 해 권(Hae-Kwon Yang) 정회원  
1976년 2월 : 서울대학교 전기공학과(공학사)  
1983년 8월 : 울산대학교 대학원 전기공학과(공학석사)  
1992년 2월 : 전북대학교 대학원 전자계산학과(공학박사)  
1987년 3월~현재 : 군산대학교 정보통신공학과 교수



<주관심 분야> 무선통신, 이동통신

조 성 준(Sung-Joon Cho) 중신회원



1969년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과(공학사)  
1975년 2월 : 한양대학교 대학원(공학석사)  
1981년 3월 : 일본 오사카대학교 통신공학과(공학박사)

1972년 8월~현재 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 교수  
<주관심 분야> 무선통신, 이동통신, 위성통신, 환경전자공학