
주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서 WATM-OFDM/16QAM 시스템의 성능 분석

박기식*, 이영춘*, 강영흥**, 김언곤***, 조성언****, 조경룡****, 오원근****

Performance Analysis of WATM-OFDM/16QAM System in Frequency Selective Rayleigh Fading Channel

Ki-Sik Park, Young-Chun Lee, Young-Heung Kang, Eon-Gon Kim
Sung-Eon Cho, Kyung-Ryong Cho, Won-Geun Oh

요 약

본 논문에서는 무선 통신로를 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로로 모델링하고, OFDM/16QAM 방식을 WATM 셀에 적용하여 셀 심볼 오류 (SER) 및 셀 손실 확률 (CLP) 성능을 이론 해석을 통해 구하였고, 다양한 FEC 기법을 WATM-OFDM/16QAM 시스템에 적용하여 성능 개선 정도를 비교하였다.

성능 해석 결과, 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서 $CLP = 10^{-3}$ 을 기준으로 하는 경우, WATM 시스템에 OFDM 방식을 적용한 경우가 적용하지 않은 경우보다 E_b/N_0 면에서 약 14 dB 정도 성능이 개선됨을 알 수 있었다. 또한 동일한 통신로에서 컨벌루션 부호가 다른 부호보다 성능의 개선 정도가 더 큼을 알 수 있었고, 특히 컨벌루션 부호를 WATM-OFDM/16QAM 시스템에 적용하면 약 5 dB 정도의 E_b/N_0 값으로 음성 서비스를 충분히 지원할 수 있음을 알 수 있었다.

* 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과

** 군산대학교 정보통신공학부

*** 대전산업대학교 정보통신·컴퓨터공학부

**** 순천대학교 정보통신공학부

접수일자 : 2000년 9월 30일

ABSTRACT

We have been derived theoretically the SER's and CLP's of Wireless ATM (WATM) cells employing an OFDM/16QAM modulation scheme in wireless channel modeled as a frequency selective Rayleigh fading channel. The amount of the performance improvement of WATM- OFDM/16QAM systems adopting various coding techniques has been evaluated.

In frequency selective Rayleigh fading channel, considering $CLP = 10^{-3}$ as a criterion, it is observed that the performance improvement of about 14 dB is obtained in terms of E_b/N_0 by employing an OFDM scheme. It is also confirmed that convolutional coding technique gives better performance than the other coding techniques. Especially, when the convolutional codes are adopted to WATM-OFDM/16QAM systems, voice transmission services are sufficiently available with 5 dB of E_b/N_0 .

I. 서 론

WATM (Wireless Asynchronous Transfer Mode)은 정보화 사회에서 광대역 종합 서비스 제공을 위한 기간 통신망인 B-ISDN 망 서비스를 무선 접속망 영역으로 확장시키고, 나아가 차세대 유무선 통합 이동 통신망으로의 진화를 위한 핵심 기술로 간주할 수 있다[1]~[3].

무선 통신로에서는 신호가 공중으로 전파되기 때문에 주변의 환경에 민감하며, 그 결과 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 무선 통신로는 매우 열악하기 때문에 유선 ATM 기술을 무선 통신로에 그대로 적용하기에는 상당한 어려움이 따른다. 따라서 무선 통신로에서는 ATM 셀 헤더에서의 비트 에러로 인한 셀 손실과 셀 페이로드(payload)에서의 비트 에러에 따른 성능 저하에 효율적으로 대응할 수 있는 방법을 반드시 고려하여야 한다. 특히 무선 통신로에서의 셀 손실과 비트 에러 성능이 서비스 성능에 직접적으로 영향을 미치는 점을 고려하여 최소한의 통신로 성능을 확보할 수 있는 에러 제어 기법과 전송 방식이 반드시 구현되어야 한다. 이를 위해 WATM 시스템에서는 음성과 같은 실시간(real-time) 서비스의 QoS(Quality of Service)를 개선하기 위한 에러 제어 기법으로 에러 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 무선 통신로 상에서의 ATM 품질을 최적화할 수 있기 때문에 유선에서와 유사한 통신로 성능을 확보할 수 있다[4],[5]. 그리고 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 전송 방식을 WATM 시스템에 적용하면 변복조시에 FFT(Fast Fourier Transformation)를 사용할 수 있기 때문에 하드웨어 규모를 작게 할 수 있고, 주파수 이용 효율을 높일 수 있다. 또한, OFDM 방식에서는 보호 구간을 설치함에 의해 보호 구간 길이보다 지연 시간이 작은 지연파에 의해 발생하는 ISI(Inter-Symbol Interference)의 영향을 완전히 제거할 수 있다. 더구나 총 전송 속도가 일정하다는 조건하에서 서브 채널 수를 늘림에 의해 각 서브 채널 당의 전송 속도가 낮아지기 때문에 주파수 선택성 페이딩에 대한 내성을 높일 수 있어 더욱더 무선 통신로의 성능을 최소한으로 확보할 수 있다[6].

기존의 연구에서는 WATM 시스템을 위한 무선 통신로 환경으로 erasure 통신로 환경을 설정하여 FEC 부호의 성능을 이론적으로 분석·평가한 결과[4]와 WATM 시스템에 FEC 부호를 도입한 ARQ 기법의 성능을 시뮬레이션을 통해 분석·평가한 결과[5]들이 발표되고 있다. 본 논문에서는 무선 통신로를 기존의 erasure 통신로 대신에 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로로 모델링하고,

OFDM/16QAM 방식을 WATM 셀에 적용하여 셀 심볼 오류 (SER) 및 셀 손실 확률 (CLP) 성능을 이론 해석을 통해 구하고자 한다. 또한 다양한 FEC 기법을 WATM-OFDM/ 16QAM 시스템에 적용하여 성능 개선 정도를 비교하고자 한다.

II. 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서 OFDM/16QAM 시스템의 심볼 오류

가우스 잡음 (AWGN) 통신로에서 16QAM 신호의 평균 심볼 오류 식을 순시 반송파 대 잡음 전력비 (CNR) γ 에 대한 오류 식으로 나타내면 다음과 같다[7].

$$P_{16QAM} = \frac{3}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{\gamma}{10}}\right) \dots\dots\dots(1)$$

그리고 채널에서의 수신 신호의 γ 의 변화에 대한 확률 밀도 함수로 레일리 분포를 도입하면 $p(\gamma)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$p(\gamma) = \frac{1}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{\gamma}{\sigma^2}\right) \dots\dots\dots(2)$$

따라서 레일리 페이딩 채널에서의 16QAM 신호의 평균 심볼 오류 식은 가우스 잡음 통신로에서의 심볼 오류 식을 레일리 페이딩의 순시 CNR의 확률 밀도 함수를 이용하여 집합 평균을 취하면 구해지는데 다음과 같다.

$$P_{e/16QAM} = \int_0^\infty P_{16QAM} \cdot p(\gamma) d\gamma = \frac{3}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{10}{\sigma^2}}} \right] \dots\dots\dots(3)$$

위의 식에 OFDM 방식을 적용하면 σ^2 은 OFDM/16QAM 신호의 희망 신호 대비 희망 신호의 전력 분산치로 바뀌어 다음 식과 같이 나타난다[6].

$$\sigma^2 = \left\{ \left(\frac{b_0}{\sigma_n^2}\right)^{-1} + \left(\frac{b_0}{\sigma_f^2}\right)^{-1} \right\}^{-1} \dots\dots\dots(4)$$

여기서 b_0 는 희망 신호 전력, σ_f^2 은 간섭 전력, σ_n^2 은 잡음 전력을 나타낸다.

희망 신호 전력과 간섭 전력은 각각 다음 식과 같이 나타나며, p_l 은 l 번째 수신 경로를 통해 들어온 신호 전력을 나타낸다[6].

$$b_0 = \sum_{l=1}^{M_1} p_l + \sum_{l=M_1+1}^{M_1+M_2} \left(\frac{t_s - \tau_l + t_g}{t_s}\right)^2 p_l \dots\dots\dots(5)$$

$$\sigma_f^2 = \sum_{l=M_1+1}^{M_1+M_2} \left(\frac{\tau_l - t_g}{t_s}\right)^2 p_l \left\{ \sum_{k=0}^{N-1} \sin^2\left(\frac{\pi(k-m)(\tau_l - t_g)}{t_s}\right) - \frac{1}{2} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

- 단, M_1 ; 보호 대역 (guard band)내에 들어온 최대 다중 경로 수,
- M_2 ; 보호 대역과 심볼 주기내에 들어온 최대 다중 경로 수,
- τ_l ; l 번째 경로의 전파 지연,
- t_s ; 유효 심볼 구간,
- t_g ; 보호 구간.

최종적으로 τ_l 이 t_g 보다 커지면 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로로 간주할 수 있는데, 본 논문에서는 심볼 주기 T_s 로 정규화한 전파 지연 (τ_l/T_s)과 보호 구간 (t_g/T_s)을 각각 0.05, 0.03으로 놓고 해석하였다.

III. WATM 셀의 에러 제어

WATM 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[8].

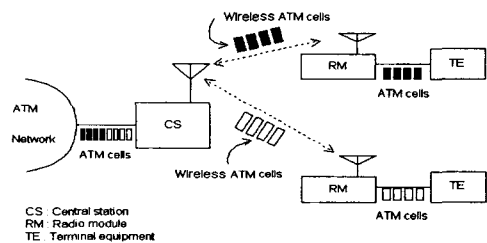


그림 1. Wireless ATM 시스템

그림 2는 헤더를 4 바이트의 정보부와 1 바이트의 HFEC (Header FEC)부로 구성하고, 페이로드를

48 바이트로 하여 전송하는 WATM 셀 구조를 나타낸다.



그림 2. Wireless ATM 셀 구조

WATM을 위해서는 두 개의 다른 FEC 부호 기법을 병용하는 것이 매우 효율적인데, 한 부호는 헤더 (header)를 위한 강력한 이득 부호이고 다른 부호는 페이로드 (payload)를 위한 높은 부호율의 부호이다[9].

그림 3은 헤더와 페이로드에 각각 FEC를 적용하였을 때 유선단에서 전송된 ATM 셀이 무선단에서 부호화되어 무선 링크로 전송되며, 수신단에서 부호화된 셀을 복호화하여 용장도 (redundancy)를 제거되는 셀 구조 변환을 보여준다[10].

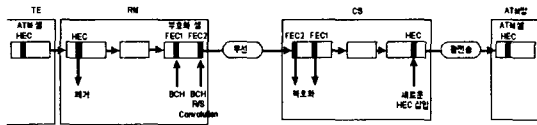


그림 3. 유무선 ATM 셀의 구조 변환과정

3.1 대표적인 FEC 기법

BCH (Bose Chaudhuri Hocquenghem) 부호는 순회 부호 중 가장 중요한 부호로서 이 부호는 에러 정정 부호로서도 가장 중요한 부호 중의 하나이다. BCH 부호는 넓은 범위의 부호장 (code length)과 에러 정정 능력을 갖고 있으며 부호장이 수천 이하의 경우, 같은 정도의 부호장과 에러 정정 능력을 갖는 부호 중 용장도가 제일 적은 부호이다. 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로를 통과한 OFDM/16QAM 신호를 BCH 복호화한 심볼 오류 식은 다음과 같다[11].

$$P_{BCH} = \frac{1}{n} \sum_{i=t+1}^n i \binom{n}{i} P_e^i (1 - P_e)^{n-i} \dots\dots\dots (7)$$

단, P_e ; 부호율을 고려한 OFDM/16QAM 신호의 심볼 오류,
 $t = \lfloor (d-1)/2 \rfloor$; 에러 정정 능력,

d ; 부호의 최소거리,
 n ; 블록의 최소거리.

RS (Reed Solomon) 부호는 정보 심볼 k 와 검사 심볼 $n-k$ 의 비이진 n 심볼로 구성된다. $2t$ 검사 심볼을 갖춘 RS 부호는 t 개의 심볼 에러를 정정할 수 있다. 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로를 통과한 OFDM/16QAM 신호의 RS 블록 복호기 출력에서의 심볼 오류식은 다음과 같다[11].

$$P_{sym-RS} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=h}^i \binom{n}{i,j} \cdot P^i \cdot (1-P)^{n-i-j} \dots\dots (8)$$

단, P ; OFDM/16QAM 신호의 심볼 오류,

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

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.

부호율 (code rate) $R=1/2$ 에 대하여 구속장 K 가 7인 M 진 컨벌루션 부호의 오류 상한 식은 다음과 같이 나타내진다[12].

$$P_e \leq \frac{1}{2} (36D^{10} + 211D^{12} + 1404D^{14} + \dots) \dots (9)$$

여기서 D 는 Bhattachayya의 상한 식으로서 다음과 같으며, M 은 ary의 수를 나타낸다.

$$D = 2\sqrt{\frac{P_e(1-P_e)}{M-1}} + \left\lceil \frac{M-2}{M-1} \right\rceil P_e \dots\dots\dots (10)$$

단, P_e ; OFDM/16QAM 신호의 심볼 오류.

3.2 WATM 셀 내의 HEC 성능

WATM 셀은 48 bytes의 페이로드와 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 기본으

로 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 확률 (CLP)은 다음과 같이 정의된다[8].

$$CLP = P_{\text{detection}} \cdot (P_a(1) + P_a(2)) + P_{\text{correction}} \cdot P_a(2) \quad (11)$$

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.

3.3 WATM 셀 페이로드에 대한 에러 제어

WATM 셀은 48 바이트의 페이로드를 갖는데 본 논문에서는 페이로드에 대한 에러 제어로 용장도가 제일 작은 BCH 부호, 다중 에러 정정 부호인 RS 부호, 버스트 에러에 강한 컨벌루션 부호를 각각 적용한다.

IV. 수치 계산 및 검토

본 논문에서는 무선 통신로를 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로로 모델링하고, OFDM/16QAM 방식을 WATM 셀에 적용하여 셀 심볼 오류 (SER) 및 셀 손실 확률 (CLP) 성능을 이론 해석을 통해 구하였다. 또한 다양한 FEC 기법을 WATM-OFDM/16QAM 시스템에 적용하여 성능 개선 정도를 비교하였다.

그림 4는 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서 OFDM/16QAM 방식을 적용한 WATM 셀의 CLP 성능을 이론 해석으로 구한 결과이다. 그림에

서 $CLP = 10^{-3}$ 을 기준으로 결과를 분석해 보면, OFDM 방식을 적용한 경우가 적용하지 않은 경우보다 E_b/N_0 면에서 약 14 dB 정도 개선됨을 알 수 있다.

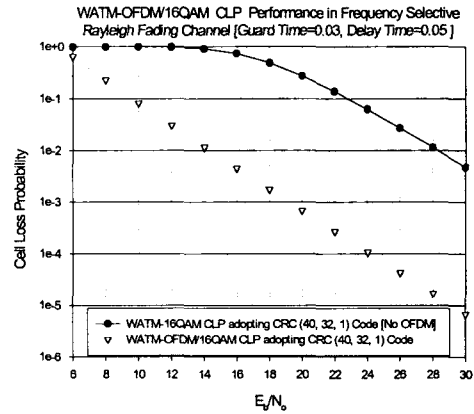


그림 4. 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서 OFDM/16QAM 방식을 적용한 WATM 셀의 CLP 성능

그림 5는 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서 BCH 부호화 기법 적용시 WATM-OFDM/16QAM 시스템의 SER을 이론 해석으로 구한 결

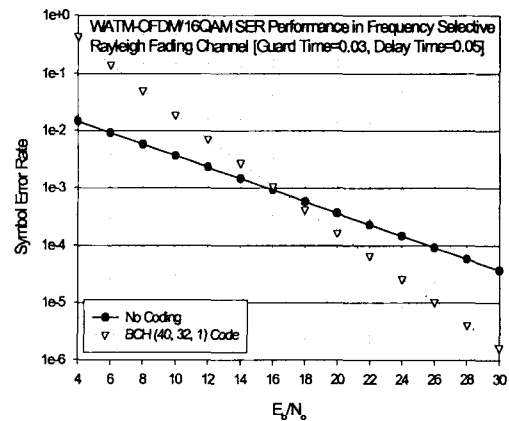


그림 5. 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서 BCH 부호화 기법 적용시 WATM-OFDM/16QAM 시스템의 SER 성능

파이다. 대부분의 음성 서비스 셀에서는 $SER = 10^{-3}$ 을 최대 허용 SER 로 요구하고 있는데, 이를 기준으로 본 논문에서 얻어진 결과를 분석해 보면 BCH 부호에 의한 성능 개선이 거의 이루어지지 않음을 알 수 있다. 그리고 E_b/N_0 가 16 dB 이상이 되어야 성능 개선 효과가 서서히 나타남을 알 수 있다.

그림 6은 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서 R-S 부호화 기법 적용시 WATM-OFDM/16QAM 시스템의 SER 을 이론 해석으로 구한 결과이다. $SER = 10^{-3}$ 을 기준으로 본 논문에서 얻어진 결과를 분석해 보면 에러 정정 능력이 8인 R-S 부호를 적용함에 의해 E_b/N_0 면에서 약 6 dB의 성능 개선이 이루어짐을 알 수 있다.

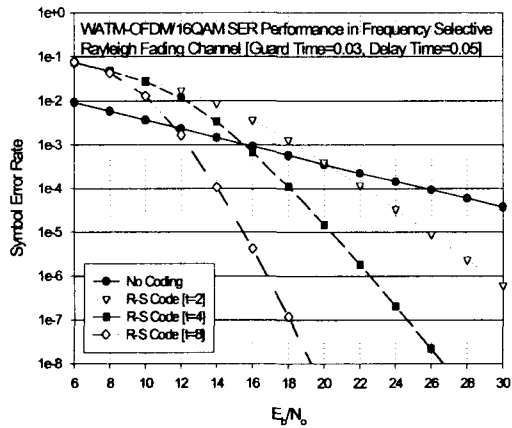


그림 6. 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서 R-S 부호화 기법 적용시 WATM-OFDM/16QAM 시스템의 SER 성능

그림 7은 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서 컨벌루션 부호화 기법 적용시 WATM-OFDM/16QAM 시스템의 SER 을 이론 해석으로 구한 결과이다. $SER = 10^{-3}$ 을 기준으로 본 논문에서 얻어진 결과를 분석해 보면 컨벌루션 부호를 적용함에 의해 E_b/N_0 면에서 약 12 dB의 성능 개선이 이루어짐을 알 수 있다.

결론적으로 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로

에서 WATM-OFDM/16QAM 시스템에 컨벌루션 부호를 적용하면 약 5 dB 정도의 E_b/N_0 값으로 음성 서비스를 충분히 지원할 수 있음을 알 수 있다.

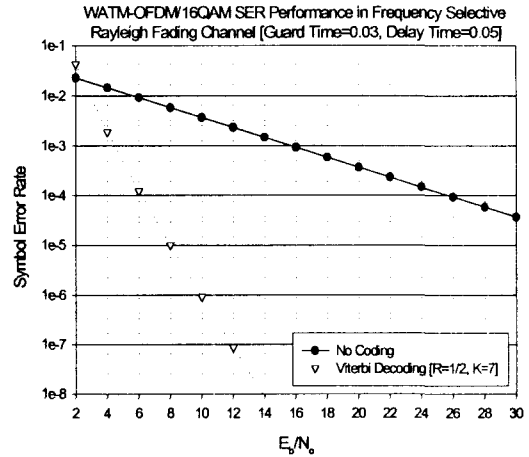


그림 7. 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서 컨벌루션 부호화 기법 적용시 WATM-OFDM/16QAM 시스템의 SER 성능

V. 결 론

본 논문에서는 무선 통신로를 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로로 모델링하고, OFDM/16QAM 방식을 WATM 셀에 적용하여 셀 심볼 오율 (SER) 및 셀 손실 확률 (CLP) 성능을 이론 해석을 통해 구하였고, 다양한 FEC 기법을 WATM-OFDM/16QAM 시스템에 적용하여 성능 개선 정도를 비교하였다.

성능 해석 결과, 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서 $CLP = 10^{-3}$ 을 기준으로 하는 경우, WATM 시스템에 OFDM 방식을 적용한 경우가 적용하지 않은 경우보다 E_b/N_0 면에서 약 14 dB 정도 성능이 개선됨을 알 수 있었다. 또한 동일한 통신로에서 컨벌루션 부호가 다른 부호보다 성능의 개선 정도가 더 큼을 알 수 있었고, 특히 컨벌루션 부호를 WATM-OFDM/16QAM 시스템에 적용하면 약 5 dB 정도의 E_b/N_0 값으로 음성 서비스를 충분히 지원할 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

[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. Raychauri, "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] M. Okada, S. Hara, and N. Morinaga, "Bit error rate performance of orthogonal multicarrier modulation radio transmission systems," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E76-B, no. 2, pp. 113-119, Feb. 1993.

[7] K. Feher, *Wireless Digital Communications*, Prentice-Hall, ch. 4, 1995.

[8] S. Aikawa, Y. Motoyama, and M. Umehira, "Forward error correction schemes for wireless ATM systems," in *Proc. ICC'96*, pp. 454-458, 1996.

[9] 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, 1996.

[10] 두경환, 이현주, 엄화영, 송상섭, "무선 ATM 셀 구조 제시를 위한 FEC/SR-ARQ 오류제어 기법," 통신정보종합학술대회 (JCCI'97)논문집, pp. 955-959, 1997년 4월.

[11] B. Sklar, *Digital Communications*, Prentice-Hall,

ch. 5, 1988.

[12] A. J. Viterbi, "Error bounds for convolution codes and asymptotically optimum decoding algorithm," *IEEE Trans. Inform. Theroy*, vol. IT-13, no. 4, pp. 260-269, April 1967.



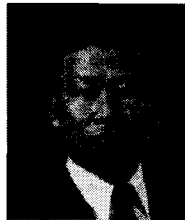
박 기 식(Ki-Sik Park)
1991년 한국항공대학교 항공통신정보공학과 졸업 (학사)
1996년 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과

졸업 (석사)

2000년 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 졸업 (박사)

1996년~현재 재 (주)세영통신 책임연구원

관심분야 : 멀티미디어전송, 무선 광통신, Wireless communication



이 영 춘(Young-Choon Lee)
1996년 2월 : 한국방송통신대학교 전자계산학과 (공학사)
1998년 8월 : 한국항공대학교 항공산업대학원 전자

공학과 (공학석사)

1999년 2월~현재 재 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 박사과정 재학 중

관심분야 : 광통신, 무선통신, 이동통신, Wireless ATM



강 영 흥(Young-Heung Kang)
1984년 2월 : 한국항공대 통신공학과 졸업(공학사)
1986년 2월 : 한국항공대 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)

1993년 2월 : 한국항공대 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사)

1988년 2월 ~ 1990년 2월 : 한국항공대 통신정보공

학과 조교

1995년 8월 ~ 1996년 8월 : 일본 오사카대학 객원 교수

1990년 4월 ~ 현재 : 군산대학교 전자정보공학과 부교수

주관심분야 : 위성통신, 이동통신, 표준화



김 언 곤(Eon-Gon Kim)

1982.2 한국항공대학교 항공통신정보공학과 졸업 (공학사)

1985.2 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 졸업

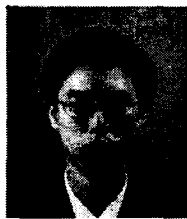
(공학석사)

1997.2 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 졸업 (공학박사)

1984.12 - 1995.1 삼성전자(주)통신연구원 선임연구원

1995.2 - 현재 (국립) 대전산업대학교 정보통신·컴퓨터공학부 조교수

관심분야 : Wireless communication



조 성 언(Sung-Eon Cho)

1989. 2 한국항공대학교 항공통신정보공학과 졸업 (공학사)

1991. 2 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 졸업 (공학석사)

(공학석사)

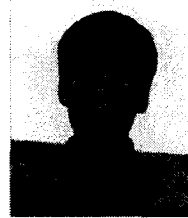
1997. 2 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 졸업 (공학박사)

1991. 3 ~ 1992. 2 한국항공대학교 항공통신정보공학과 조교

1997. 3 ~ 현재 (국립) 순천대학교 공과대학 정보통신공학부 조교수

2000. 3 ~ 현재 (국립) 순천대학교 공과대학 전자계산실 실장

관심분야 : Wireless communication, 전자파환경공학



조 경 룡(Kyung-Ryong Cho)

1987. 2 송실대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

1989. 2 송실대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)

1995. 2 송실대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사)

1990.12 ~ 1996. 2 한국이동통신(주) 중앙연구원 선임연구원

1996. 3 ~ 현재 (국립) 순천대학교 공과대학 정보통신공학부 조교수

관심분야 : 이동통신, 채널코딩, 통신방식



오 원 근(Won-Geun Oh)

1989. 2 한양대학교 전자통신공학과 졸업 (공학사)

1991. 2 한양대학교 대학원 전자통신공학과 졸업 (공학석사)

1997. 2 한양대학교 대학원 전자통신공학과 졸업 (공학박사)

1997. 3 ~ 현재 (국립) 순천대학교 공과대학 정보통신공학부 조교수

관심분야 : 신호처리, 신경망, 비선형시스템, 마이크로프로세서 응용