

# 무선 ATM 전송을 위한 MC-CDMA 시스템의 성능 분석

## Performance Analysis of MC-CDMA Systems for Wireless ATM

송형규 · 백종호 · 조진웅 · 동용배

Hyoung-Kyu Song · Jong-Ho Paik · Jin-Woong Cho · Yong-Bae Dhong

### 요 약

본 논문에서는 무선 ATM 전송을 위한 MC-CDMA 시스템의 성능을 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 설계된 MC-CDMA 시스템은 5 GHz 주파수대에서 약 18.2 MHz의 대역폭을 사용하여 25 Mbps의 데이터를 지원하며, Wireless ATM Working Group(WATM WG)에서 제안한 무선 물리 계층의 규격을 만족한다. 채널 부호화 방법으로서 컨볼루션 부호, TCM, 그리고 Turbo TCM(T-TCM)을 각각 적용하여 성능을 비교 분석한다. 실험 결과로부터 T-TCM을 적용한 경우, 반복 복호를 수행함에 따라 가장 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

### Abstract

In this paper, the performances of MC-CDMA systems for wireless ATM(WATM) is analyzed through computer simulations. The proposed MC-CDMA systems can support the 25 Mbps data rate with about 18.2 MHz bandwidth at 5 GHz carrier frequency, satisfying the specifications of wireless physical layer proposed by Wireless ATM Working Group(WATM WG). For the channel coding strategies, convolutional code, TCM and Turbo TCM(T-TCM) are explored and their performances are compared. From the simulation results, T-TCM becomes superior to the other coding schemes as interative decoding is performed.

### I. 서 론

무선 ATM은 25 Mbps 이상의 광대역 멀티미디어 서비스를 저속의 이동 환경에서 옥내외의 무선 채널을 통해 제공하는 것을 목표로 한다. 즉 5 GHz, 17 GHz, 60 GHz의 고주파 대역을 이용하여 수십~수백 Mbps 무선 데이터 전송을 계획하고 있으며, 다양한 서비스와 전송 속도로 다양한 품질의 데이터를 제공할 것을 목표로 하고 있다. 무선 ATM에

관련된 대표적인 연구로는 유럽 RACE 프로젝트에서 연구된 MBS, ACTS의 Magic WAND와 MEDIAN, Olivetti Research Lab의 RATM, Lucent Bell Lab의 SWAN과 BAHAMA, NTT의 AWA, NEC의 WATMnet 등을 들 수 있다. 무선 ATM의 국가 표준화로서 유럽 ETSI RES 10 표준화 연구 그룹에서는 무선 ATM 하부 네트워크를 포함하는 무선 광대역 통신을 위하여 4가지 형태의 HIPERLAN 규격 표준화 작업을 진행하고 있으며, 미국 FCC에서는 HIPERLAN과 호환성을

전자부품연구원 (Korea Electronics Technology Institute)

· 논문 번호 : 981019-108

· 수정완료일자 : 1999년 4월 28일

가지는 SUPERNet 개발을 위하여 정부의 규제없이 무료로 사용할 수 있는 NII/SUPERNet 주파수대(5.15~5.35 GHz, 5.725~5.875 GHz)를 설정하였으며, 일본의 경우에는 유럽이나 미국보다 다소 늦은 1996년 12월에 이동 멀티미디어 접속 통신 시스템 진흥 협회(MMAC-PC)를 결성하여 표준화 작업을 하고 있다. 또한 무선 ATM의 국제 표준화를 위하여 1996년 6월에 결성된 ATM Forum의 WATM WG에서는 5.2 GHz 대역에서 25 Mbps의 데이터 전송이 가능한 무선 ATM 표준화를 현재 진행하고 있고, 1998년 12월까지 WATM release 1.0을 완성할 예정이다. 2000년 초에는 규격을 만족하는 무선 ATM이 상용화될 예정이며, 초기에는 주로 무선 LAN 분야에 응용될 것으로 예상된다.

무선 LAN의 접속 방식으로는 대역 확산 변조 방식, 협대역 마이크로웨이브, 적외선 등을 사용한 제품들이 현재까지 주류를 이루고 있다. 그러나 이들 방식은 고속의 데이터 지원 및 옥내외의 이동 환경에서는 적합하지 않다<sup>[1]</sup>. 최근 유무선 채널에서 고속 데이터 전송에 적합한 방식으로 다중 반송파(multi-carrier)를 사용한 OFDM 방식이 활발히 연구되고 있다. 광대역 전송 채널의 스펙트럼 효율을 극대화할 수 있는 OFDM 방식에서는 부채널간 간섭이 발생하지 않도록 부채널간 직교성을 유지해야 한다. 이러한 부채널간의 직교성은 광대역 전송 채널상에서 주파수 선택적 페이딩 현상이 필연적으로 발생하기 때문에 부채널간의 직교성이 상실되어 성능이 저하된다. 이러한 성능 저하를 방지하기 위해서 인접한 OFDM 심볼 사이에 전송 채널의 지연확산보다 긴 보호구간(guard interval)을 삽입하여 인접 심볼간 간섭(intersymbol interference: ISI)과 인접채널간 간섭(interchannel interference: ICI)을 쉽게 제거할 수 있다. 이 때, 부채널간의 직교성을 유지하기 위한 보호구간은 전송 채널의 지연확산보다 길기 때문에 수신부에서 볼 때, 보호구간을 포함한 부채널과 전송 채널의 지연

확산이 선형 콘볼루션보다는 환형 콘볼루션으로 모델링된다. 따라서, 부채널간의 직교성을 유지하기 위해서는 부채널의 끝 부분에서 보호구간의 길이 만큼 선택하여 부채널의 앞 부분에 복사하여 구성한다. 이와 같이 구성된 보호구간을 cyclic prefix라고 정의한다. 또한, OFDM 방식은 수신단에서 단일 탭 등화기를 사용하여 간단하게 페이딩 왜곡을 보상할 수 있으며, 송수신단에서의 변복조 과정은 각각 IFFT와 FFT를 사용하여 고속으로 구현할 수 있다. 이러한 OFDM 방식과 CDMA 시스템을 결합한 MC-CDMA 시스템은 CDMA의 장점과 OFDM의 장점을 모두 살릴 수 있는 특징이 있으며, DS/CDMA 시스템보다 다중 사용자 환경에서 더 우수한 성능을 보인다<sup>[2]-[6]</sup>.

본 논문에서는 무선 ATM 전송을 위한 MC-CDMA 시스템의 성능을 비교 분석한다. 설계된 MC-CDMA 시스템은 5 GHz 주파수대에서 약 18.2 MHz의 대역폭을 사용하여 25 Mbps의 데이터를 지원하며, Wireless ATM Working Group(WATM WG)에서 제안한 무선 물리계층의 규격<sup>[7]</sup>을 만족한다. 채널 부호화 방법으로서 콘볼루션 부호, TCM, 그리고 Turbo TCM(T-TCM)을 각각 적용하여 성능을 비교 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 장에서는 무선 ATM 전송을 위한 MC-CDMA 시스템에 대하여 기술하고, 제 3 장에서는 채널 부호화된 MC-CDMA 시스템을 제안한다. 제 4 장에서는 각 시스템에 대한 성능을 분석하고, 제 5 장에서 결론을 맺는다.

## II. 무선 ATM 전송을 위한 MC-CDMA 시스템

WATM WG의 목표는 다양한 무선망 접속을 통하여 ATM 기반의 광대역망을 사용할 수 있도록 규격을 작성하고 표준화하는 것이다. 이를 위하여 WATM WG에서는 1차적으로 microcell/picocell 영역을 기본으로 하는 WATM 규격을 작성하

고 있다. 이 규격은 유선 ATM망의 기능을 확장하여 이동성을 지원할 수 있는 Mobile ATM(MA-ATM)과 무선 채널상에서 유선 ATM망의 성능(전송 속도, 서비스 품질)을 구현하기 위한 RAL(Radio Access Layer 또는 Radio ATM)의 두 분야로 구성되어 있다. 그림 1의 무선 ATM 프로토콜에 나타난 바와 같이 RAL은 무선 매체상에서 고속의 전송을 위한 무선 물리 계층, 공유 자원인 무선 채널에 액세스하기 위한 MAC 계층, 부가적인 오류 정정을 사용하여 신뢰성을 보장하기 위한 데이터 링크 계층, 무선 채널의 자원 관리와 제어 등의 기능을 수행하는 무선 제어 부분으로 구성된다. MATM은 핸드오프 제어, 이동 단말기의 위치 관리, 경로 재설정, 트래픽 및 QoS 제어, 무선 통

신망 관리 기능을 포함한다<sup>[8]</sup>.

무선 물리 계층은 고속 무선 서비스를 위하여 표 1에 나타난 바와 같이 5 GHz 주파수 대역(유럽

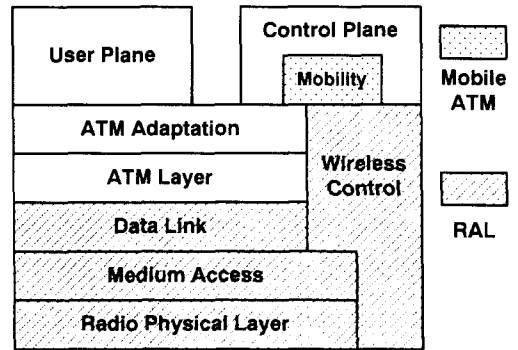


그림 1. 무선 ATM 프로토콜

표 1. 5GHz 대역 25Mbps 무선 ATM 모델 규격

No.	Items	Specifications
1	transmission speed	25 Mbps per RF channel at user data level
2	packet size	1 cell /PDU
3	BER	10 <sup>-4</sup> at 99.5% availability at top of PHY
4	FEC	adaptive in the interval between 1/2 rate and no coding
5	delay spread	maximum 300 ns [rms]
6	preamble	16 byte / PDU 이하
7	modulation	to give efficient use of spectrum
8	antenna	antenna diversity for both transmission directions
9	service area	indoor : 30-50 m, outdoor : 200-300 m
10	transmit output power	100 mW into antenna, adaptive transmit power control
11	channelization	to be compatible with UNI
12	radio turn-around time	5 $\mu$ s 이하
13	service provision	support all ATM traffic classes
14	architecture	centralized control, optional function to support ad-hoc configuration
15	mobile speed	3 m/s
16	channel usage	able to use the entire bandwidth of one RF channel for each user
17	access method	TDMA/asymmetric TDD with dynamic slot assignment

과 미국)에서 25 Mbps 전송을 목표를 하고 있다. 할당된 채널의 대역폭은 21 MHz이고 옥내의 환경 하에서 단말기는 도플러 주파수  $f_d = 52$  Hz로 이동하며, 가능한 낮은 전력 레벨과 BER을 갖는 스펙트럼 효율이 높은 변복조 방식을 요구한다.

코드 분할 다중 접속(CDMA) 방식은 기존의 시분할 다중 접속(TDMA) 방식과 주파수 분할 다중 접속(FDMA) 방식에 비해 높은 용량을 가지며, 주파수 선택적 페이딩이 존재하는 무선 환경에서 우수한 성능을 보이는 것으로 알려져 있다. 특히 DS-SS 방식은 RAKE 수신기를 사용하여 채널의 경로 다이버시티를 이용하고 멀티미디어 데이터 트래픽이 갖는 비동기적인 특성을 수용할 수 있어 제 3 세대 이동통신 방식으로 활발히 논의되고 있다<sup>[3]</sup>. 한편 새로운 다중 접속 기법으로서 최근에 제안된 MC-CDMA 방식은 OFDM 구조의 다중 반송파 변조(multi-carrier modulation) 방식과 DS-SS 방식을 결합한 것으로 OFDM의 장점을 갖는다<sup>[4],[5]</sup>. 또한 MC-CDMA 방식에서는 주파수 다이버시티 효과를 이용하여 무선 채널의 주파수 선택적 페이딩을 극복할 수 있다.

그림 2는 MC-CDMA 시스템의 송신단을 나타낸다. 송신단에서는 입력되는 데이터열(data sequence)은  $D_i^u$ 로 주어지며, 이 때  $u$ 는 사용자,  $i$ 는 입력 데이터 심볼의 순서를 나타낸다. 입력된  $i$ 번째 데이터 심볼은 먼저  $N$ 개의 복사본으로 만들어지며, 이는 다시  $u$ 번째 사용자에게 할당된 코드  $C_k^u$  ( $k=1, 2, \dots, N$ )와 곱해진 후 IFFT에 의해 변조된다. 다음은  $u$ 번째 사용자의 변조된 OFDM 신호를 나타낸다.

$$x_n^u = \sum_{k=0}^{N-1} D_i^u C_k^u e^{j2\pi kn/N} \quad (1)$$

이때 MC-CDMA 시스템에서는 완전 직교성을 지닌  $N \times N$  Walsh-Hadamard 코드를 이용하므로 최대 사용자수는  $N$ 이 된다. 사용자 용량  $N$ 명이 동

시에 사용할 경우 전송되는 MC-CDMA 신호는 다음과 같이 주어진다.

$$x_n = \sum_{u=0}^{N-1} x_n^u, \quad n=0, 1, \dots, N-1 \quad (2)$$

식 (2)는 다음과 같이 표현된다.

$$x_n = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi kn/N}, \quad n=0, 1, \dots, N-1 \quad (3)$$

여기에서

$$X_k = \sum_{u=0}^{N-1} D_i^u C_k^u \quad (4)$$

를 나타낸다. 식 (3)에 cyclic prefix가 더해져 채널로 전송되며 수신단에서는 수신된 신호  $y_n$ 를 FFT를 사용하여 복조하게 된다.

$$Y_m = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} y_n e^{-j2\pi mn/N}, \quad m=0, 1, \dots, N-1 \quad (5)$$

그림 3은 MC-CDMA 수신단을 나타낸다. 채널의 왜곡과 AWGN 잡음을 무시할 수 있는 이상적인 경우, 복조된 신호  $Y_m$ 은 송신된  $X_k$ (이 경우  $k=m$ )와 동일하게 된다. 최종적으로 특정 사용자에게 할당된 코드  $C_m^u$ 와 곱해져서  $u$ 번째 사용자의 심볼  $D_i^u$ 를 다음과 같이 얻게 된다.

$$\begin{aligned} D_i^u &= \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} C_m^u Y_m = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} C_m^u X_m \\ &= \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} C_m^u \sum_{z=0}^{N-1} D_i^z C_z^m \\ &= \frac{1}{N} \sum_{z=0}^{N-1} D_i^z \sum_{m=0}^{N-1} C_m^u C_z^m = \frac{1}{N} N D_i^u \end{aligned} \quad (6)$$

그림 4는 부반송파의 수가 64이고 사용자의 수가 16명인 경우 확산된 데이터 심볼이 부반송파에 실리는 위치를 나타낸다<sup>[6]</sup>. 여기서  $D_i^m$ 은  $m$ 번째

터를 곱한 결과를 나타낸다.  $k$ 는 이 결과의  $k$ 번째 벡터를 나타낸다.

### III. 채널 부호화된 MC-CDMA 시스템

본 논문에서는 18.2 MHz의 대역폭내에서 25 Mbps의 데이터 전송을 목표로 하기 때문에, 채널 부호를 사용하지 않고 데이터 전송을 가정했을 때 표 2과 같이 시스템 파라미터를 얻을 수 있다.

일반적으로 무선 채널을 이용하는 이동통신 시스템에서 채널 부호(channel coding)는 필수적이다. 할당된 대역폭내에서 목표로 하는 전송 속도를 얻기 위해서는 채널 부호와 변조를 독립적으로 수행할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 표 3과 같이 3가지 방식의 채널 부호를 고려한다. 첫 번째로 scheme A는 부호율 1/2의 컨볼루션 부호를 사용하는 경우이며, 이 때에는 변조 방식으로서 16QAM을 사용해야만 표 2의 시스템 파라미터를 만족시킬 수 있다. 두 번째로 scheme B는 부호율 2/3의 사용한다. 마지막으로 scheme C는 최근에 제안된 Turbo TCM(T-TCM)을 사용한다. 그림 5는 scheme

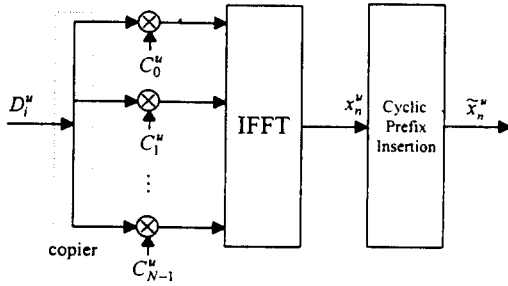


그림 2. MC-CDMA 송신단

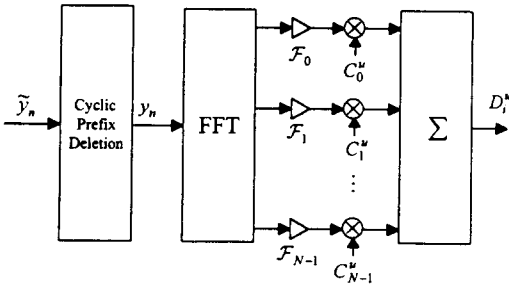


그림 3. MC-CDMA 수신단

사용자의  $i$ 번째 심볼을 나타내며,  $X_{k,i}$ 는 각 사용자가 보내는 4개의 심볼중  $i$ 번째 심볼에 부호화

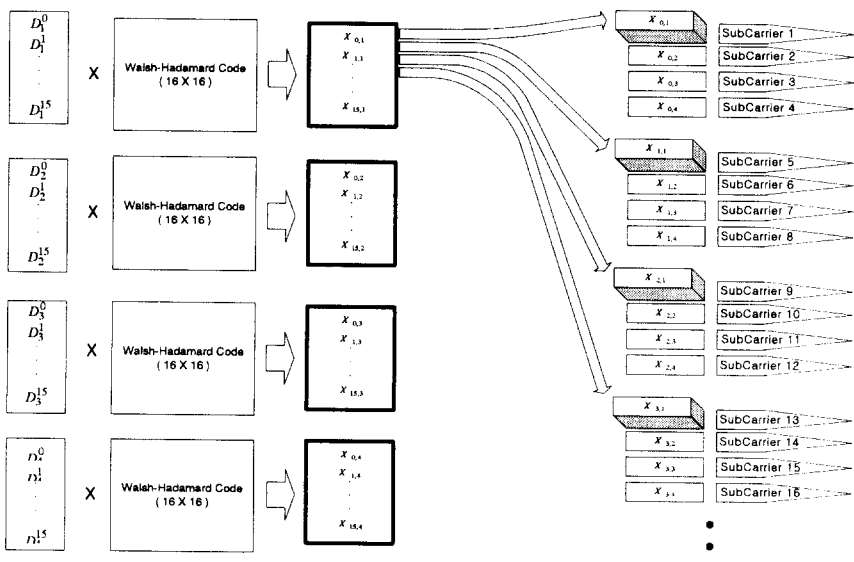


그림 4. MC-CDMA 심볼의 부반송과 할당 방법

표 2. 부호화되지 않은 MC-CDMA 시스템 파라미터

Modulation	QPSK
Processing Gain	16
No. of Carrier	64
Guard Interval	16 samples(1.024 $\mu$ s)
Bit rate/Channel	1.5625 Mbps
Bandwidth Efficiency	2 bits/symbol
Required Bandwidth	15.625 MHz

TCM을 사용하며 여기에서는 8PSK 신호집합을

C에서 사용되는 T-TCM 부호기를 나타내며 그림 6은 복호기를 나타낸다<sup>[10]</sup>. 결국, scheme A, B, C는 표 2의 부호화되지 않은 시스템에 대한 대역폭 효율적인 부호화 방법이 된다.

#### IV. 실험 및 결과 고찰

표 4는 실험에 사용되는 시스템의 파라미터이다. 앞서 언급한 바와 같이, 본 연구는 18.2 MHz의 대역폭을 가지고서 전체 25 Mbps의 데이터 전송율과 최대 16명의 사용자를 지원할 수 있어야 하기 때문

표 3. 채널 부호화된 MC-CDMA 시스템 파라미터

	Scheme A	Scheme B	Scheme C
Channel Code	1/2 convolutional code	2/3 TCM	2/3 Turbo TCM
Modulation	16QAM	8PSK	8PSK

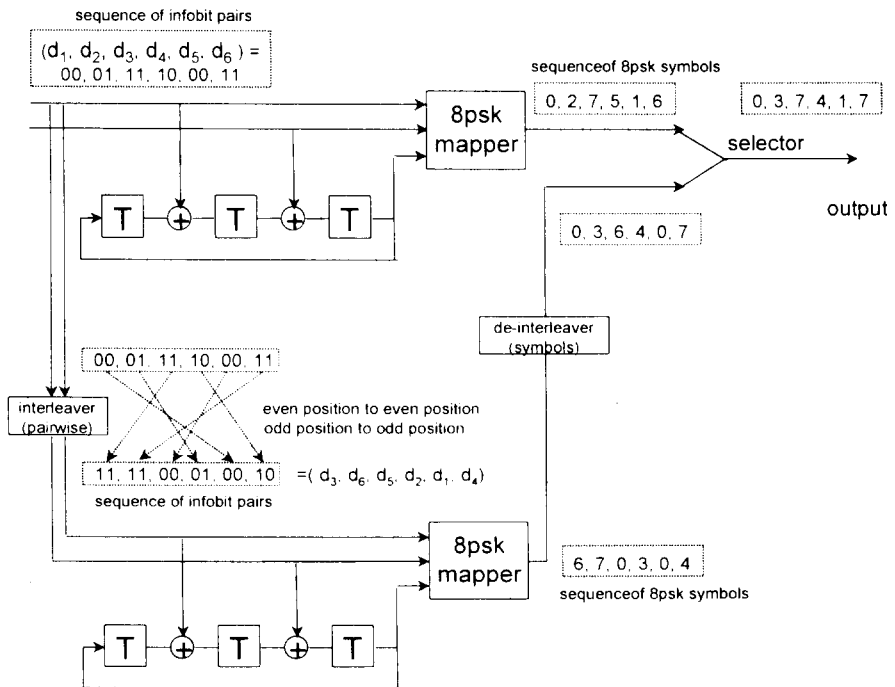


그림 5. T-TCM 부호기

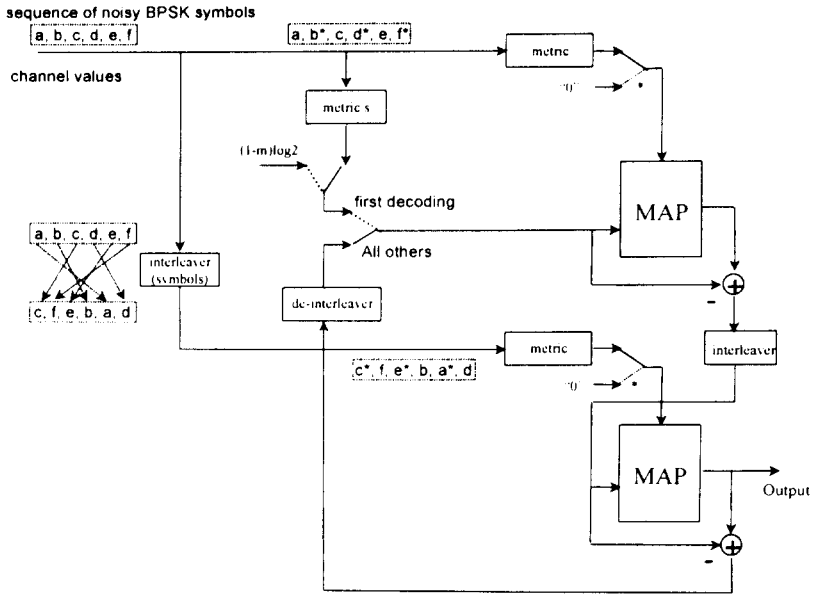


그림 6. T-TCM의 복호기

표 4. 실험에 사용된 MC-CDMA 시스템 파라미터

	Scheme A	Scheme B	Scheme C
Channel Code	8-state, 1/2 rate convolutional code	8-state, 2/3 rate TCM	8-state, 2/3 rate Turbo TCM
Modulation	QAM	8PSK	8PSK
Interleaver	Block 1.31 ms 4096 coded bits	Block 1.31 ms 1024 symbols	Block 1.31 ms Encoder : 2048 bits
Channel	2-path Fading Channel Dopper freq. : 52Hz		
Detection	Coherent Detection, Ideal Channel Estimation All Perfect Sync.		
Decoding	Viterbi Decoding Hard Decision	Viterbi Decoding	Iterative Decoding MAP algorithm

에, 대역폭 효율적인 변조를 하여야 한다. 표 4의 scheme A, B, C는 모두 대역폭 효율적인 시스템이며, 이에 대한 부호화되지 않은 시스템은 QPSK 변조 시스템이다. 일반적으로 대역폭 효율적인 시스템에서 부호 이득(coding gain)은 식 (7)과 같이

표현된다<sup>[10]</sup>.

$$s \gamma = \frac{d_{free}/E}{d_{min}/E'} \quad (7)$$

여기에서  $d_{min}$ 와  $E'$ 는 각각 부호화 되지 않은

시스템 신호 집합의 평균 전력과 최소거리이고,  $d_{free}$ 와  $E$ 는 부호화된 시스템 신호 집합의 평균 전력과 자유 유클리디언 거리이다. 따라서, scheme A 시스템의 부호 이득은 다음과 같이 계산된다.

$$\gamma_A = \frac{6 \times 4 / 10}{2/1} = 1.2 = 0.79 \text{ dB} \quad (8)$$

여기에서  $d_{free}$ 는 컨볼루션 부호의 자유 해밍 거리와 16-QAM의 신호 집합 최소거리의 곱, 즉  $d_{free} = d_{min} \times d_H$ 으로 계산된다<sup>[10]</sup>. Scheme B에 대한 부호 이득은 식 (9)와 같이 계산된다.

$$\gamma_B = \frac{4.586/1}{2/1} = 2.293 = 3.6 \text{ dB} \quad (9)$$

그림 7은 AWGN 채널에서 각 시스템 및 부호화 되지 않은 시스템의 비트 오류 확률을 나타낸다. 그림에서 scheme B는 부호화되지 않은 시스템에 비해 약 2.5dB의 부호 이득을 얻고 있음을 알 수 있고, scheme A는 오히려 부호화되지 않은 시스템에 비해 성능이 떨어지고 있다. scheme C는 반복 복호를 수행함에 따라서 비트 오류 확률이 개선되고 있음을 볼 수 있고, 반복 복호를 10번 수행했을 때, 부호화되지 않은 시스템보다 약 4.5dB 정도의 부호 이득을 얻을 수 있다.

그림 8~그림 11은 페이딩 채널에서 각 시스템의 비트 오류 확률을 나타낸 것이다. 페이딩 채널의 경로수는 2이고, 도플러 주파수는 52 Hz이다. 그림 8은 신호 집합이 QPSK이고, 그림 9와 그림 11은 신호 집합이 8PSK이고, 그림 10은 신호 집합이 16-QAM인 경우이다. 일반적으로 다중 사용자 환경에서, CDMA 시스템은 신호 집합의 레벨이 증가할수록 다른 사용자의 간섭 성분이 증가하여 만족할 만한 비트 오류 확률을 얻지 못한다. 그림 4에서 사용자가 2명만 되어도 scheme A는 비트 오류 확률이 급격하게 열악해짐을 볼 수 있다. 따라서, 16-QAM은 CDMA 시스템에 적합하지 않음을 알 수 있다. 그림 8과 그림 9를 비교하면, 페이딩

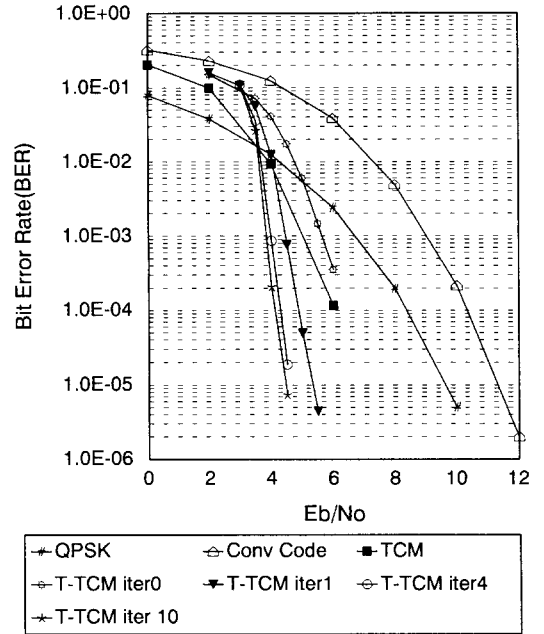


그림 7. AWGN 채널에서 각 시스템의 비트 오류 확률

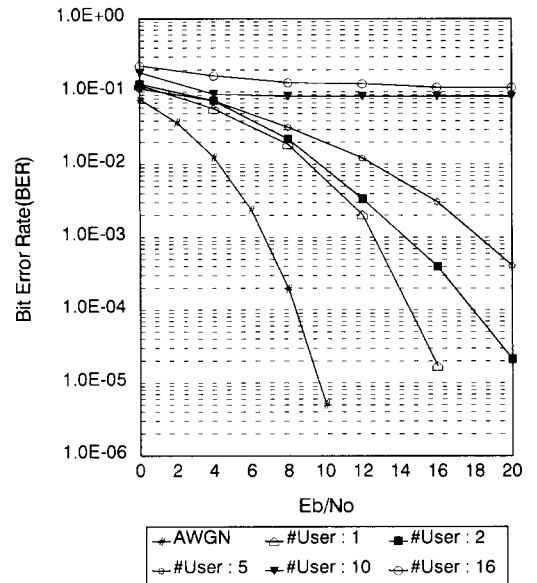


그림 8. 페이딩 채널에서 uncoded QPSK 시스템의 비트 오류 확률

채널에서 scheme B는 부호화 되지 않은 시스템에 비해 약 2dB 정도의 부호 이득을 얻고 있음을 알



수 있다. 부호화 이득이 AWGN 채널에서 보다 작아지는 이유는 사용된 TCM 부호기가 Ungerboeck의 set partitioning에 의해 설계되었기 때문에 AWGN 채널에서는 최적이지만, 페이딩 채널에서는 최적이지 않기 때문이다. 그림 5를 살펴보면, 반복 복호를 10번 수행했을 때, turbo TCM은 TCM에 비해 약 2dB의 성능개선을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 따라서, turbo TCM은 부호화 되지 않은 시스템에 비해 약 4dB의 부호 이득을 가짐을 알 수 있다.

그림 12는 scheme C 시스템에서 MAP 복호기의 성능을 살펴보기 위한 것으로서, maximum a posteriori (MAP) 복호기의 매트릭을 계산할 때 필요한 noise variance의 값에 따른 비트 오류 확률의 변화를 나타낸 것이다. x축 값이 1이면 실제 잡음 분산을 나타내며, 10은 잡음 분산의 10배를 나타낸다. CDMA 시스템에서 여러 사용자의 신호가 다른 경로를 거쳐오면서 사용자간 직교성이 무너지기 때문에 다른 사용자의 신호는 잡음으로 영향을 미치게 된다. 따라서, MAP복호기에서 매트릭

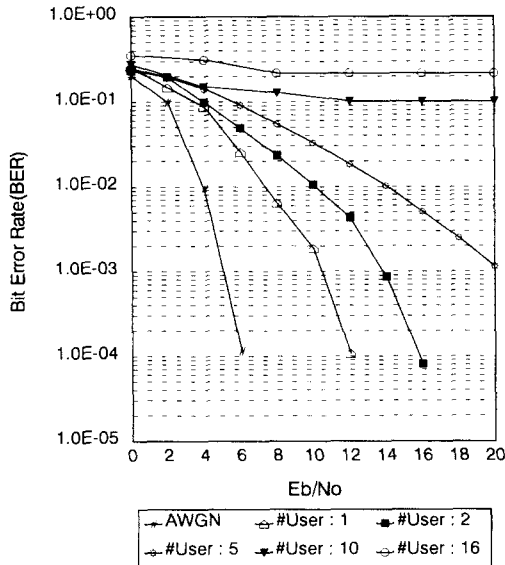


그림 9. 페이딩 채널에서 Trellis Coded 8PSK 시스템의 비트 오류 확률

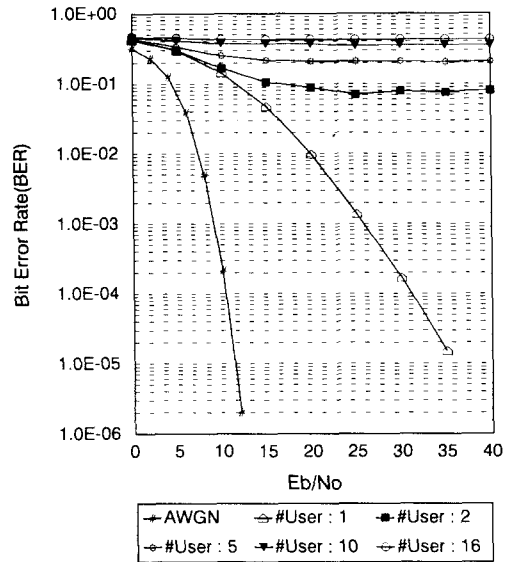


그림 10. 페이딩 채널에서 1/2 convolutional coded 16-QAM 시스템의 비트 오류 확률

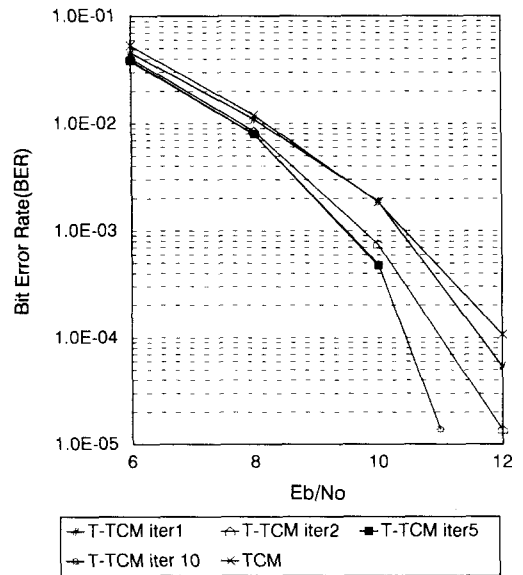


그림 11. 페이딩 채널에서 turbo trellis coded 8PSK 시스템의 비트 오류 확률

을 계산할 때, 이러한 잡음의 영향을 계산해 넣어 주어야 하며, 그림 12에서 볼 수 있듯이, AWGN의 잡음의 분산보다 충분히 큰 값을 넣어 주면, 비

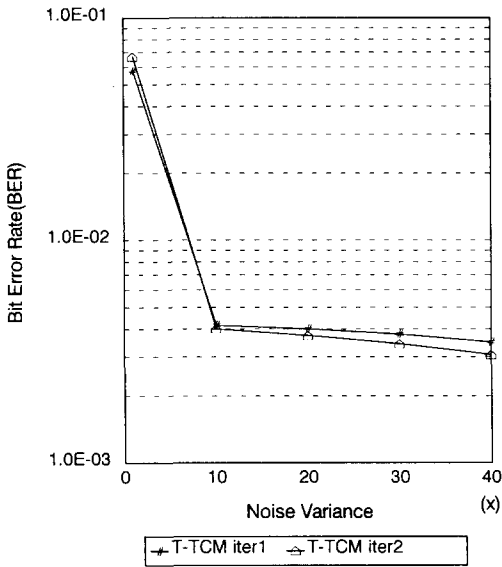


그림 12. Noise variance의 변화에 따른 비트 오류 확률

트 오류 확률이 일정하게 유지됨을 알 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 무선 ATM 전송을 위한 MC-CDMA 시스템의 성능을 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 설계된 MC-CDMA 시스템은 5 GHz 주파수대에서 약 18.2 MHz의 대역폭을 사용하여 25 Mbps의 데이터를 지원하며, Wireless ATM Working Group(WATM WG)에서 제안한 무선 물리 계층의 규격을 만족한다. 실험 결과로부터 T-TCM을 적용한 경우, 반복 복호를 수행함에 따라 가장 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. T-TCM의 MAP 복호기에서 메트릭을 계산할 때, 잡음의 영향을 계산해 넣어 주어야 하며, AWGN의 잡음의 분산보다 충분히 큰 값을 사용하면 비트 오류 확률이 일정하게 유지됨을 알 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] E. Ayanoglin, K. Y. Eng and M. J. Karol, "Wireless ATM: limits, challenges, and proposals," *IEEE Personal Comm. Mag.*, vol. 3, no. 4, pp. 18-35, Aug., 1996.
- [2] S. Hara and R. Prasad, "DS-SS-CDMA, MC-CDMA and MT-CDMA for mobile multimedia communications," *Proc. VTC*, pp. 1106-1110, Apr., 1996.
- [3] S. Laiser, "OFDM-CDMA versus DS-SS-CDMA: performance evaluation for fading channels," *Proc. ICC*, pp. 1722-1726, June, 1995.
- [4] N. Yee, J. Linnarz and G. Fettweis, "Multi-carrier CDMA in door wireless radio networks," *Proc. PIMRC*, pp. 109-113, Sep., 1993.
- [5] A. Chouly, A. Brajal and S. Jourdan, "Orthogonal multicarrier techniques applied to direct sequence spread spectrum CDMA systems," *Proc. GLOBECOM*, pp. 1723-1728, Nov., 1993.
- [6] S. Hara, T-H Lee and R. Prasad, "BER comparison of DS-SS-CDMA and MC-SS-CDMA for frequency selective fading channels," *Proc. of the 7th International Tirrenian Workshop on Digital Communications*, Sep., 1995.
- [7] K. Rauhala, "Baseline text for WATM WG," *ATM Forum BTD-WATM-01.03*, July, 1997.
- [8] M. Shafi, A. Hashimoto, M. Umehira, S. Ogoose and T. Murase, "Wireless communications in the twenty-first century: a perspective," *Proceedings of IEEE*, vol. 85, no. 10, pp.1622-1638, Oct., 1997.
- [9] E. Biglieri, D. Divsalar, P. J. McLane and M. K. Simon, *Introduction to Trellis-Coded Modulation with Applications*, MacMillan,

1991.

[10] P. Robertson, T. Worz, "Bandwidth-Efficient Turbo Trellis-Coded Modulation Using Punctured Component Codes," *IEEE JSAC*, vol. 16, no. 2, Feb., 1998.

### 송 형 규



1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1996년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

1996년 1월~현재: 전자부품연구원 시스템IC연구센터 선임연구원  
[주 관심분야] 이동 및 개인 휴대 통신 시스템 및 디지털 신호 처리

### 백 중 호



1994년 2월: 중앙대학교 전기공학과 (공학사)

1997년 2월: 중앙대학교 전기공학과 (공학석사)

1997년 1월~현재: 전자부품연구원 시스템IC연구센터 전임연구원

[주 관심분야] 무선 데이터 및 이동 휴대 통신 시스템, 영상 통신 시스템

무선 ATM 전송을 위한 MC-CDMA 시스템의 성능 분석

[11] S. Lin, D. J. Costello, Jr., *Error Control Coding*, Prentice-Hall, INC. Englewood Cliffs, 1983.

[12] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 3rd edition, McGraw-Hill, 1995.

### 조 진 응

1986년 2월: 광운대학교 전자통신공학과(공학사)

1988년 2월: 광운대학교 전자통신공학과(공학석사)

1997년 2월~현재: 광운대학교 전자통신공학과 박사과정

1988년 2월~1989년 8월: (주)한독컴퓨터기술 연구소

1989년 9월~1993년 6월: (주)OPC 중앙연구소

1993년 7월~현재: 전자부품연구원 시스템IC연구센터 선임연구원

[주 관심분야] xDSL, W-AMT, 광대역 통신 시스템

### 동 용 배



1978년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)

1981년 2월: KAIST 전기전자 공학과(공학석사)

1991년 10월: 호주 University of Western Australia 컴퓨터 공학과 (공학박사)

1981년 3월~1987년 8월: 금오공과대학 전자공학과 조교수

1992년 2월부터~현재: 전자부품연구원 시스템IC연구센터 수석연구원

[주 관심분야] Interactive DTV 전송변환기술, 광대역 유무선 통신 프로토콜, 물리계층 모뎀 기술 및 ADSL Router 및 IP over ATM 시스템 제어 기술