

Rayleigh 페이딩 환경에서 다중레벨 변조방식을 고려한 UMM-S/OFDM의 성능분석

정회원 김 남 수*, 조 성 호**

Performance Analysis of UMM-S/OFDM with Multi-level Modulation in the Rayleigh Fading Channel

Nam Soo Kim*, Sung Ho Cho** *Regular Members*

요 약

대각 행렬(unitary matrix)을 이용하여 다중 안테나와 같은 효과를 내기 위한 방법을 USTM (unitary space-time modulation)이라 부르고, 대각행렬 변조(UMM)시 coherence bandwidth만큼의 간격(splitting)을 적용한 한 개의 안테나 OFDM시스템(UMM-S/OFDM)을 모델로 삼아 주파수 diversity를 확보 하였다. 다중 경로 Rayleigh 페이딩 채널 환경에서 시뮬레이션을 통하여 2개의 송신안테나를 갖는 USTM/OFDM과 한 개의 안테나를 갖는 UMM-S/OFDM 시스템의 다중레벨 변조방식을 비교하고, 종래의 다중 OFDM 성능과 UMM-S/OFDM 시스템의 Hz당 부호율 변화에 따른 성능을 비교 하였다. 또한, 전송을 변화에 따른 다중 STBC/OFDM과 다중 UMM-S/OFDM 시스템의 SNR과 관계를 분석 하였으며, SNR을 개선하기 위하여 다중레벨을 적용한 N-ary PSK와 다중레벨 M-ary QAM을 갖는 UMM-S/OFDM 시스템에 대한 성능을 분석 하였다

Key Words : Multilevel, Splitting, UMM, USTM, STBC

ABSTRACT

Unitary matrix modulation (UMM) is investigated in multiple antennas system that is called unitary space-time modulation (USTM). When we consider only diagonal components of UMM with splitting over the coherence bandwidth, the system can obtain frequency diversity in a single antenna system. In Rayleigh fading channel, we compared USTM/OFDM with 2Tx-antenna with UMM-S/OFDM with 1Tx-antenna, conventional multi-level OFDM and UMM-S/OFDM with changing bit rate per Hz. Also, we analyzed SNR for between multi-level modulation STBC/OFDM and multi-level modulation UMM-S/OFDM with changing transmission rate. When it was adaptive multi-level modulation to improve SNR, we did the UMM-S/OFDM system performance analysis of N-ary PSK and M-ary QAM.

I. 서 론

고속의 멀티미디어 서비스를 제공받으려는 사용자의 요구는 급격히 증가 하고 있지만, 무선 환경에서는 수신된 신호가 시간과 주파수 영역에서 퍼지

게 되는 다중경로 페이딩 현상으로 데이터 전송율이 크게 제한을 받게 된다. 이러한 고속 통신 시스템의 요구와 채널 환경을 극복하기 위해 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 통신 방식이 최근에 많은 관심과 연구가 계속되고 있다

* 한양대학교 전자통신공학 (nskim7@korea.com) ** 한양대학교 정보통신공학 (shcho@casp.hanyang.ac.kr)

논문번호 : kicks2006-10-429, 접수일자 : 2006년 10월 24일, 최종논문접수일자 : 2006년 12월 28일

[14,15]. OFDM 통신 방식은 주파수의 효율을 좋게 하여 고속의 데이터 전송을 가능하게 하는 방식으로, 상호 직교성을 갖는 주파수 성분을 IFFT(inverse fast Fourier transform)후 ISI, ICI를 개선 하기 위해 보호구간(guard interval)에 CP(cyclic prefix)을 적용하여 전송하는 방식으로서, IEEE802.11a, IEEE802.11g, 차세대 광대역 WLAN시스템에 표준 방식으로 적용되었으며, 유럽의 HIPERLAN/2와 IEEE802.16, 디지털 방송 통신시스템인 Digital Audio Broadcasting (DAB)과 Digital Video Broadcasting (DVB)에 표준 통신방식으로 사용되고 있다[3,4,5].

시공간에 대한 신호처리 기법을 이용하여 다중 수신 안테나에 적용한 것이 시공간 블록 코드(space-time block code, STBC)이다. 이 STBC에 대한 연구로는 구현이 용이하고, 디코딩이 간단한 방법을 제안하였다[6-11]. [12],[13]에서는 Rayleigh fast 페이딩 채널하에서의 다중 안테나 시스템에 대한 USTM 방법에 대한 연구를 하였다. 하나의 unitary 시공간 신호는 행 벡터가 서로 독립적이고 직교성을 유지하는 신호로써, 다중 송신 안테나에 의해 전송된다. 또한, [14]에서는 이러한 행 벡터의 성상도에 대한 연구를 수행하였다.

많은 무선 통신 채널은 주파수 선택 적(frequency selective) 페이딩 채널이고, 페이딩 현상에 의한 감쇄가 많이 발생한다. 이러한 문제점을 줄이기 위해서 coherent하고, differential하며, convolution 코드를 사용하는 USTM/OFDM 시스템이 제안되었다[15]. 이 USTM/OFDM 시스템은 주파수 선택적 페이딩 채널에서의 시공간에 대한 diversity 이득을 얻을 수 있는 특징을 가지고 있다. 또한, 최근에 convolution 코드 외에 터보코드, low density parity check (LDPC) 코드 [16]에 대한 연구가 진행되고 있다. [17]에 LDPC 코드가 된 하나의 송신 안테나를 이용하여 채널의 Coherence bandwidth 만큼의 주파수 간격(splitting)을 두어 채널에 대한 주파수 이득을 얻는 UMM- S /OFDM 시스템에 대한 설명이 잘 되어 있다.

본 논문에서는 다중레벨 변조에 적용하는 UMM-S/OFDM 시스템의 성능을 분석하기 위해 다중 경로 Rayleigh 페이딩 채널 환경에서 시물레이션을 통하여 2개의 송신안테나를 갖는 USTM/OFDM과 splitting size별 UMM-S/OFDM 시스템을 비교하고, 종래의 다중레벨 변조 OFDM 성능과 UMM-S/OFDM 시스템의 전송을 변화에 따른 성능

을 비교하였으며, UMM-S/OFDM 시스템의 전송을 변화에 따른 SNR과의 관계를 분석하였다. 또한, Hz 당 전송을 증가에 따른SNR을 개선하기 위해서 다중레벨 변조를 적용한 UMM-S/OFDM 시스템에 대한 성능을 분석 하였다. 본 논문의 구성은 제2장에서 한 개의 안테나를 갖는 UMM-S/ OFDM에 대하여 설명을 하고, 다중레벨 변조방식을 고려한 UMM-S/OFDM 시스템을 제3장에서 설명한다. 제4장에서는 UMM-S/OFDM 방식에 대하여 다중 경로 Rayleigh 페이딩 채널 환경에서 시물레이션으로 성능을 분석하고, 제5장에서 결론을 맺는다.

II. UMM-S/OFDM시스템

한 개의 안테나에서 UMM을 이용하는UMM-S/OFDM 시스템은 coherence bandwidth만큼의 주파수 간격을 갖는 단위(unitary)행렬의 대각성분들을 이용하여 주파수 다이버시티(diversity)를 향상시키며, 행렬식은 다음과 같다.

$$U(l) = \begin{bmatrix} e^{i\frac{2\pi l}{L}} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & e^{i\frac{2\pi l}{L}} \end{bmatrix}, \quad (1 \leq l \leq L) \quad (1)$$

식 (1)에서 $U(l)$ 은 크기가 $M \times M$ 인 대각 행렬식이다. 이 경우, 단위(unitary) 행렬의 대각 성분들은 다른 채널 이득을 얻기 때문에, 한 개의 안테나 시스템에서 UMM-S/OFMD 시스템은 주파수 다이버시티(diversity)이득을 얻을 수 있다.

이를 수식으로 표현하면, 하나의 송신 안테나에서 k 번째 sub-carrier에 대한 주파수 영역의 채널 응답은 아래 식과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{H}(k) &= \sum_{p=0}^{P-1} h_p(k) e^{j2\pi kp / K} \\ &= \eta(k)^H \alpha(k) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $\eta = [h_0, h_1, \dots, h_{P-1}]^H$ 으로 시간 응답을 나타내고 크기가 P 인 벡터이다. 식 (2)를 이용하여 k 번째 sub-carrier의 수신 신호 $y(k)$ 는 아래와 같이 쓸 수 있다.

$y(k) = x(k) * h(k) + n(k)$ 라 하면,

$$\tilde{Y}(k) = \hat{H}(k) \tilde{X}(k) + n(k), \quad k = 1, \dots, K \quad (3)$$

식 (3)에서 $X(k)$ 는 coherence bandwidth만큼 간격

(splitting)으로 전송되는 unitary 행렬의 대각 성분 이고, $n(t)$ 는 백색 Gaussian 잡음 (AWGN) 성분이다. 수신기에서 수신되는 신호를 de-splitting하고, 채널 추정을 한 후, k 번째 sub-carrier의 주파수 영역 신호 $y(k)$ 는 M 비트로 나뉜다. 이러한 주파수 영역의 M 비트는 ML 검파기에 의해 검파되고, 식 (3)의 신호 모델에 대한 검파식은 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$\tilde{U} = \arg \min_{\tilde{U}} \sum_{k=1}^K |\tilde{Y}(k) - \hat{H}(k) \cdot \sum_{l=1}^L \text{diag}(U)_{\text{mod}(k,M), l+1}(l)|^2 \quad (4)$$

여기서 $\sum_{l=1}^L \text{diag}(U)_{\text{mod}(k,M), l+1}(l)$ 은 unitary 행렬의 대각 성분이다. coherence bandwidth 만큼의 주파수 간격을 갖는 unitary 행렬식에 대해서는 전적으로 다른 채널 응답을 갖게 된다. 이것은 UMM을 사용하는 OFDM 시스템에서 하나의 안테나를 사용하더라도 coherence bandwidth 만큼의 주파수 간격을 유지하면 주파수 diversity 이득을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

III. 다중레벨 변조 방식을 고려한 UMM-S/OFDM 시스템

그림 1은 다중레벨 변조 방식을 고려한 UMM-S/OFDM 시스템 구성과 splitter를 이용하여 coherence bandwidth 만큼의 주파수를 분리시키는 블록도이다. 그림 1(a) 송신기 구조는 입력되는 비트의 병렬 처리를 위해서 직렬 신호를 병렬 신호로 변환하고 병렬로 된 신호들은 각각 다중 unitary 변조레벨 방식에 의해 변환된 후, 주파수에 대한 diversity를 얻

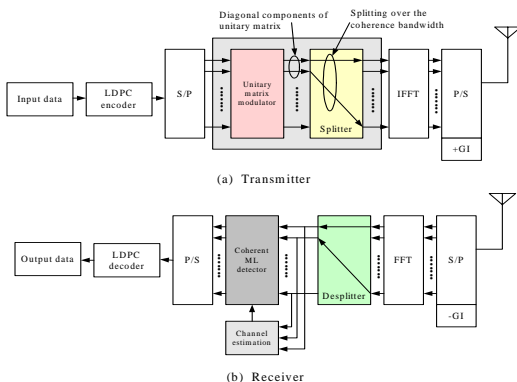


그림 1. UMM-S/OFDM 시스템 구성

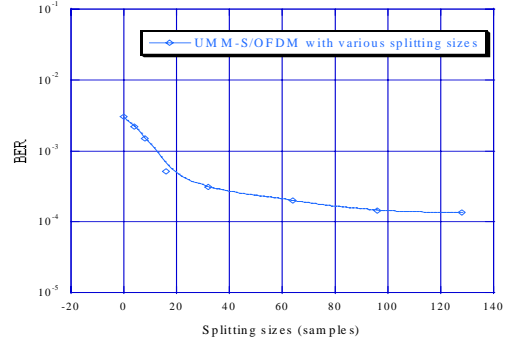


그림 2. Splitting size별 UMM-S/OFDM 성능

기 위해 splitter를 통하여 coherence bandwidth만큼의 주파수 간격을 만든다. OFDM 변조를 위해서 IFFT를 수행하며, 시간 영역에서의 보호 구간을 삽입하여 전송된다. 그림 1(b) 수신기에서, 수신된 신호는 시간 영역의 보호구간을 제거하고 FFT를 통하여 OFDM 복조를 수행한다. OFDM 변조된 신호는 de-splitter, 채널 추정기, ML 검파기를 통하여 unitary 복조를 한다.

그림 2로부터 splitter를 통하여 coherence bandwidth만큼의 주파수 간격을 만들었을 때에 그 size별 성능의 변화를 살펴보면, splitting size가 클수록 성능이 지수적인 형태로 향상됨을 보이나, 약 100-sample 이상부터는 변화가 미미함을 알 수 있다.

한 개의 안테나를 이용한 UMM-S/OFDM 통신 방식은 단위(unitary) 행렬의 대각 성분을 전송하므로 전체적인 송신능력이 제한되는 문제가 있다. 이러한 제한을 극복하고 전송능력을 향상시키기 위하여 다중레벨 변조방식을 적용하게 되면, SNR 면에서 개선되는 효과를 얻을 수 있다. 따라서, 다중레벨 변조를 고려한 시스템 성능을 살펴보면 다중레벨 변조방식에는 N-ary PSK 와 M-ary QAM 변조방식이 있는데, N-ary PSK 변조는 신호 점간의 Euclidean 거리 d 는 다음과 같다.

$$d = 2A \sin(\pi/N), \quad [N: \text{상태 수}, A: \text{신호크기}] \quad (5)$$

예를 들어, 16PSK의 거리 d 를 계산하면, $d = 0.393A$ 이 된다. 한편, M-QAM에 있어서, 각 심볼 구간 동안에는 n ($n = \log_2 M$) bits을 전송할 수 있다. M-ary QAM에 대한 Euclidean 거리 d 는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$d = (2/3)A^* \sin(\pi/M), \quad [M: \text{상태 수}, A: \text{signal phasor length}] \quad (6)$$

16QAM에 대한 *Euclidean* 거리 $d = 0.47A$ 이 된다. 16PSK 와 16QAM의 *Euclidean* 거리를 비교해보면 16QAM이 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 M-ary QAM이 N-ary PSK에 비해서 심볼간 간섭을 적게 받으므로 더 많은 양의 데이터를 전송할 수 있으며, 이에 대한 시뮬레이션 결과는 4장에서 확인 하도록 하겠다.

IV. 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 성능 분석

다중레벨 변조 방식을 고려한 UMM-S/OFDM 시스템의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 분석한다. 시뮬레이션을 위해서 IFFT/FFT의 크기 $N_c = 128$ 을 사용하였고, 시간 영역의 보호구간은 25샘플을 사용하였다. 다중레벨 변조방식은 BPSK, QPSK, 8PSK, 16PSK, 16QAM을 고려 하였다. 채널은 그림 3과 같이 다중 경로인 Rayleigh 페이딩 채널을 사용하였고, OFDM Packet Size는 그림 4와 같다. 각 경로 샘플의 시간 간격은 $T_s = 42nsec$ 이고, 18개의 다중경로이며, -1dB씩 감소하는 특징을 갖는다고 가정하자. 이러한 채널 구조는 심각한 주파수 선택적(frequency selective)페이딩 채널을 나타낸다. 그 외의 시뮬레이션을 위한 파라미터들은 표 1에 정리했다.

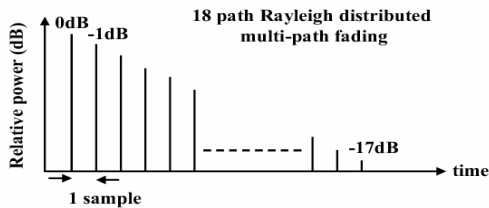


그림 3. 다중 경로 채널 모델

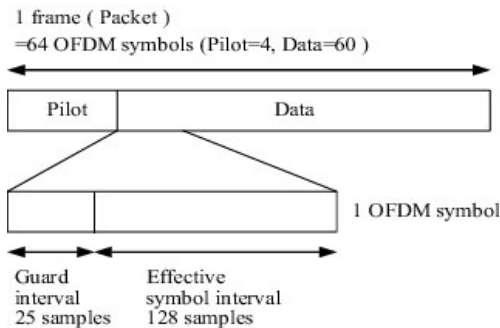


그림 4. OFDM Packet 구조

표 1. 시뮬레이션을 위한 파라미터

Data Modulation	BPSK, QPSK, 8PSK, 16PSK, 16QAM
Demodulation	Coherent ML detection
Data size	15.68 Msymbol/sec
Frame size	64 symbols (pilot = 4, data = 60)
Number of carrier	128
Guard interval	25 samples
Split size	8, 16, 64, 98 samples
Fading	18 path Rayleigh fading
Doppler frequency	10 Hz
The number of antenna	$T_x=1, R_x=1$

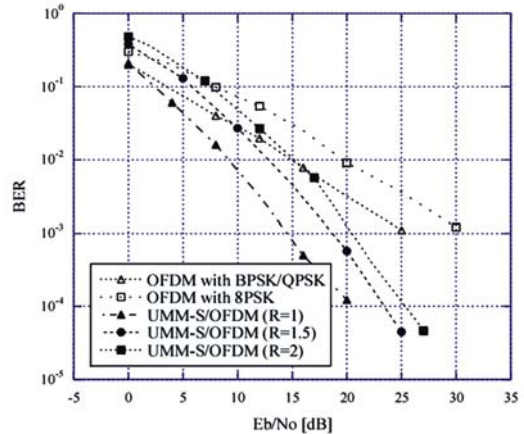


그림 5. 종래의 OFDM 다중레벨 변조 와 부호 율을 고려한 UMM-S/OFDM성능 비교

그림 5는 종래의 OFDM 다중레벨 변조방식 과 전송 율을 고려한 UMM-S/OFDM성능을 비교 하였다. 결과로부터, UMM-S/OFDM은 Block code의 일종이기 때문에 E_b/N_0 가 큰 곳에서 diversity gain을 얻을 수 있는데, 이는 splitting 을 통한 다른 채널 응답 특성 때문에 가능할 수 있다. 그러나, 낮은 E_b/N_0 에서는 수신된 신호가 background noise의 영향을 강력하게 받으므로 ML(Maximum likelihood) 검파기(detector)가 그 기능을 제대로 수행 하지 못하여 종래의 OFDM 보다 나쁜 BER특성을 갖는다.

그림 6은 BER 10^{-3} 을 만족시키는데 요구되는 SNR과 전송 율의 관계를 나타낸다. Hz당 낮은 전송 율(Bits/s/Hz)을 갖는 경우에, UMM-S/OFDM 시스템은 종래의 OFDM 보다 낮은 SNR이 요구된다. 그러나 Hz당 전송율을 증가 시키면 UMM-S/OFDM 시스템은 BER이 10^{-3} 을 만족시키도록 SNR의 증가가 필요하다. 왜냐하면, 한 개의 안테나를 사용하므로 2개의 송신 안테나($2T_x$)와 1개의 수신 안테나($1R_x$)를 갖는 STBC/OFDM 대비 채널 용량

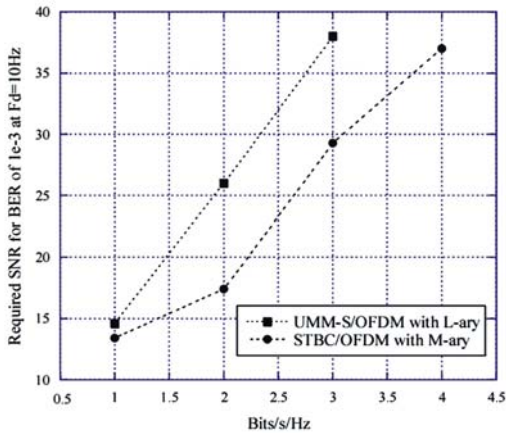


그림 6. BER 10^{-3} 을 만족시키는데 요구되는 SNR과 전송률의 관계

(channel capacity)이 제한을 받게 되기 때문이다. 그러나 비록 하나의 안테나(single antenna)를 갖는 UMM-S/OFDM이 채널 용량이 제한을 받는다 할지라도, UMM-S/OFDM은 STBC/OFDM과 동일한 Hz당 전송율을 유지하기 위해서 높은 변조 레벨 기술을 사용한다. 이 경우에 UMM-S/OFDM의 BER 곡선은 Hz당 전송율이 증가시키면서 크게 상승하게 되고, 요구되는 SNR도 크게 증가한다. 그림 6의 결과로부터, 한 개의 안테나를 갖는 UMM-S/OFDM 시스템은 Hz당 낮은 전송율에 있어서 유용하다.

그림 7은 다중레벨 변조 방식을 고려한 UMM-S/OFDM의 BER 성능을 보여준다. N-PSK와 M-QAM의 BER 성능을 비교하기 위해 Euclidean 거리를 생각해보면, M-QAM보다 N-PSK가 가깝다는 것을

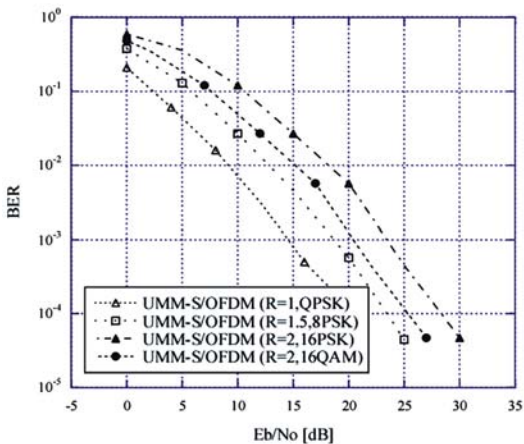


그림 7. 다중레벨 변조 방식을 고려한 UMM-S/OFDM의 성능비교

3장에서 설명하였다. 이는 N-PSK가 동등의 잡음 조건에서 더 영향을 받게 되어 진폭이나 위상 왜곡과 같은 중요한 정보의 손상을 받게 된다. 이러한 이유로부터, N-PSK와 M-QAM을 갖는 종래의 OFDM 통신방식과 같은 특징을 갖고 있음을 알 수 있다. 그리고 그림 7의 결과로부터 UMM-S/OFDM을 기반으로 하는 16QAM은 16PSK보다 BER이 약 2.6dB정도 이득이 있음을 알 수 있었다.

V. 결론

다중 안테나OFDM 시스템은 상이한 채널지연이나 신호세기에 따라서 다른 채널선택 특성을 보이므로, 다중 안테나OFDM 시스템은 이득을 얻을 수 있다. 또한 하나의 송신 안테나를 통해 UMM의 대각 성분을 coherence bandwidth 만큼의 주파수 간격 (splitting)으로 송신하여 다른 채널 특성으로 채널에 대한 주파수 이득을 얻을 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 하나의 안테나를 사용하는 UMM-S/OFDM 시스템에 다중 레벨 변조 방식을 고려하여 다중 경로 Rayleigh 페이딩 채널 환경에서 시뮬레이션을 통하여 시스템의 성능을 분석하였다. 시뮬레이션 결과로부터 알 수 있듯이 한 개의 안테나 시스템을 갖는 UMM-S/OFDM은 Hz당 낮은 전송율에 있어서 유용하나, 전송율이 증가하게 되면 SNR 특성이 불리함을 알 수 있다. 이를 개선하기 위해 UMM-S/OFDM 시스템에 다중레벨 변조방식을 적용하여 해결할 수 있음을 확인 하였다. UMM-S/OFDM 시스템은 다중레벨 변조 방식을 고려 했을 때, N-PSK와 M-QAM의 Euclidean 거리를 생각해보면, 종래의 OFDM의 N-PSK와 M-QAM의 OFDM 통신방식과 같은 특징을 갖고 있음을 알 수 있으며, UMM-S/OFDM을 기반으로 하는 16QAM은 16PSK보다 BER에 있어서 이득을 더 얻을 수 있음을 확인 할 수 있었다

참고 문헌

- [1] L. Cimini, "Analysis and simulation of a digital mobile channel using OFDM," *IEEE Trans. on Commun.*, vol.33, pp.665-675, July 1985.
- [2] J.A. C. Bingham, "Multicarrier modulation for data transmission: an idea whose time has come," *IEEE Commun. Mag.*, vol.28, pp.5-14, May, 1990

[3] ETSI ETS 301 958, "Digital Video Broadcasting (DVB); interaction channel for digital terrestrial television (RCT) incorporating multiple access OFDM," *ETSI, Tech. Rep.*, March 2002.

[4] "IEEE draft standard for local and metropolitan area network-part 16: Air interface for fixed broadband wireless access systems - medium access control modifications and additional physical layer specifications for 2-11GHz," *IEEE LAN MAN Standards Committee*, 2002.

[5] I. Koffman and V. Roman, "Broadband wireless access solutions based on OFDM access in IEEE802.16," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, pp. 96-103, April, 2002.

[6] V. Tarokh, N. Seshadri, and A.R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communication: performance criterion and code construction," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol.44, no.2, pp.744-765, Feb., 1998.

[7] V. Tarokh, N. Seshadri, and A.R. Calderbank, "Space-time block coding for wireless communication: performance results," *IEEE J. of Select. Areas Commun.*, vol.17, no.3, pp.451-460, Mar., 1999.

[8] V. Tarokh, A. Naguib, N. Seshadri, and A.R. Calderbank, "Combined array processing and space-time coding," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol.45, no.2, pp.1121-1128, Feb., 1999.

[9] G. Raleigh, and J. M. Cioffi, "Spatio-temporal coding for wireless communication," *IEEE Trans. on Commun.*, vol.46, no.3, pp.357-366, Mar., 1998.

[10] S. Fukumoto, M. Sawahashi, and F. Adachi, "Performance comparison of forward link transmit diversity techniques for W-CDMA mobile radio," *Proc. of PIMRC'99*, vol.3, pp.1139-1143, Sept., 1999.

[11] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol.16, no.8, pp.1451-1458, Oct., 1998.

[12] T.L.Marzetta, and B.M. Hochwald, "Capacity of a mobile multiple-antenna communication link in Rayleigh flat fading," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol.45, no.1, pp.139-157, Jan., 1999.

[13] B.M. Hochwald, and T.L.Marzetta, "Unitary space-time modulation for multi-antenna communications in Rayleigh flat fading," *IEEE*

Trans. on Information Theory, vol.46, no.2, pp.543-563, Mar., 2000.

[14] B.M. Hochwald, *et.al.*, "Systematic design of unitary space-time constellation," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol.46, no.6, pp.1962-1973, Sept., 2000.

[15] C. Ahn, and I. Sasase, "Convolutional coded coherent and differential unitary space-time modulated OFDM with bit interleaving for multiple antennas system," *IEICE Technical Report*, SST-47, pp.75-80, October, 2002.

[16] C. Ahn, and I. Sasase, "Convolutional coded coherent and differential unitary space-time modulated OFDM with bit interleaving for multiple antennas system," *proc. of ISA 2003*, Malta, Sept., 2003.

[17] 김남수, 강환민, 조성호, "UMM(Unitary Matrix Modulation)을 이용한 LDPC(Low Density Parity Check) 코딩 OFDM 시스템" 한국통신학회지, 30권 5월호, 2005, pp436-444.

김 남 수 (Nam Soo Kim)

정회원



1990년 2월 강원대학교 전자공학과(공학사)

1996년 8월 한양대학교 전자공학과(공학석사)

1997년 8월~2003년 7월 텔스전자(주) 선임 연구원(H/W 휴대폰 개발)

2004년 5월~2006년 9월 모빌링크 텔레콤(주) H/W 휴대폰 개발 팀장

1999년 3월~현재 한양대학교 전자통신전파공학과 박사과정

<관심분야> 디지털 통신 및 이동통신 단말, 유무선 통신 시스템

조 성 호 (Sung Ho Cho)

정회원



1978년 2월 한양대학교 전자공학과(공학사)

1984년 12월 University of Iowa 전자컴퓨터공학과(공학석사)

1989년 8월 University of Utah 전자컴퓨터공학과(공학박사)

1989년 8월~1992년 8월 한국전자통신연구원 선임연구원

1992년 9월~현재 한양대학교 정보통신대학 교수

<관심분야> 디지털시스템 H/W 및 S/W 설계, SDR 시스템 설계, 디지털통신, 이동통신, RFID