

# 동적 자원 할당 기법을 적용한 MIMO-OFDMA 시스템 성능 분석

## Performance Analysis of MIMO-OFDMA System Applying Dynamic Resource Allocation

이 윤 호 · 김 경 석

Yun-Ho Lee · Kyung-Seok Kim

### 요 약

MIMO-OFDMA 시스템에서 자원 할당의 최적화 문제가 거론되고 있다. 본 논문은 SFC 방식 아래 채널에 대한 정보를 가지고 적응 변조 및 부호 기법과 전력 제어 기법을 적용하여 전체 시스템 처리량의 최대화에 목표를 두었다. 첫 번째로 수신 받은 채널에 대한 정보를 기반으로 각 서브 채널의 전력 레벨이 결정된다. 그 다음으로 변조 타입에 맞게 서브캐리어가 할당되어진다. 시뮬레이션 결과는 실제로 전송되어진 데이터 용량 측면에서 기존의 알고리즘보다 제안한 알고리즘이 더 나은 성능을 보인다.

### Abstract

The adaptive resource optimization problem in multi-input multi-output orthogonal frequency division multiple access (MIMO-OFDMA) systems is addressed. This paper, adaptive modulation and coding(AMC) and power control algorithms is proposed with SFC(Space-Frequency Coding), which aims to maximize the system capacity based on the CQI(Channel Quality Information). Firstly, power level is decided to each sub-channels with received feedback signal to noise ratio(SNR). In the second step, sub-carriers are allocated according to modulation type. Simulation results show that the proposed algorithm achieves a better performance than conventional algorithm in terms of capacity.

Key words : MIMO-OFDMA, Space Time/Frequency Coding, Adaptive Modulation and Coding, Power Control

### I. 서 론

차세대 무선 이동 통신 시스템에 대한 사용자들의 새로운 서비스와 멀티미디어 서비스에 대한 수요가 크게 증가하고 있다. 이러한 요구를 만족하기 위해 현재 논의 중인 시스템은 단순한 무선 데이터 서비스에 그치지 않고 이동 통신망 및 인터넷 망을 통합하여 음성, 동영상 및 인터넷 서비스 등을 포함하는 광대역 서비스 형태가 될 것으로 기대하고 있다. 이러한 고속의 데이터 전송 속도를 만족시키고 효율적인 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서 적응 변

조 및 부호화(adaptive modulation and coding) 및 전력 제어(power control) 그리고 다중 접속(multiple access)은 동적 자원 할당(dynamic resource allocation) 기법에 관련된 것으로 현재의 이동 통신 시스템보다 더욱 주파수 효율을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

한편, OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식은 다중 경로 감쇄(multipath fading)에 강인하고 송수신기의 복잡도가 적은 장점으로 DAB(Digital Audio Broadcasting)나 DVB(Digital Video Broadcasting) 같은 디지털 방송 및 무선 랜 및 휴대 인터넷 등의 패킷 기반 무선 시스템에서 전송 효율을

충북대학교 전파통신공학과(Department of Radio Communication Engineering, Chungbuk National University)

· 논문 번호 : 20080401-045

· 수정완료일자 : 2008년 5월 8일

높이는 데 활용되어 왔다<sup>[1]</sup>. 또한, 제한된 주파수 자원 하에서 채널의 용량을 증대시키거나 다이버시티 (diversity) 효과를 통하여 시스템의 성능을 향상시키는 MIMO(Multiple Input Multiple Output)-OFDM이 한창 연구 중에 있으며<sup>[2]</sup>, 이러한 기반 하의 다중 접속 방식 가운데 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 방식은 여러 사용자에 대한 자원 할당이 용이하고 셀 내 간섭이 없다는 장점으로 차세대 이동 통신 시스템에서의 유력한 전송 방식으로 고려되고 있다<sup>[3]</sup>.

본 논문에서는 MIMO와 OFDMA를 결합한 MIMO-OFDMA 시스템의 실시간 구현을 목표로 데이터 전송률을 향상시키기 위해 시·공간 다중화 방식 중 SFC(Space-Frequency Coding) 기법을 적용한다. 물리 계층에 한정되므로 MAC(Medium Access Control) 계층의 스케줄러에 의해 할당 받은 채널에 대한 정보(channel quality information)를 알고 있다는 가정 하에 적응 변조 및 부호화(adaptive modulation and coding) 및 전력 할당(power allocation) 기법을 적용하여 수신 받은 데이터 용량 측면에서 성능이 좋아졌음을 보인다.

## II. 기본적인 MIMO-OFDMA 시스템

OFDMA 방식은 다수의 OFDM 심볼로 이루어진 시간 슬롯(time slot)을 시간과 주파수 영역에서 서로 직교하는 다수의 물리 채널로 나누고, 여러 사용자들이 물리 채널을 공유하여 사용하는 방식이다. 또한, QoS(Quality of Service)에 따라 각 사용자에게 서로 다른 서브 캐리어를 할당하는 방식이다. 즉, 다중 사용자 OFDM 방식이라 할 수 있다. OFDMA 시스템에 다중 안테나 기법을 적용한 MIMO-OFDMA 시스템은 시간이나 주파수와 다른 공간이라는 자원을 활용하여 데이터 전송률을 높이거나 수신 성능을 높일 수 있는 장점이 있다.

그림 1은 MIMO-OFDMA 시스템의 송·수신 구조를 나타낸다. 다음 식 (1)은 MIMO 채널의 구조를 나타낸다.

$$H_{k,m} = \begin{bmatrix} h_{1,1}^{k,m} & h_{1,2}^{k,m} & \dots & h_{1,T}^{k,m} \\ h_{2,1}^{k,m} & h_{2,2}^{k,m} & \dots & h_{2,T}^{k,m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{R,1}^{k,m} & h_{R,2}^{k,m} & \dots & h_{R,T}^{k,m} \end{bmatrix} \quad (1)$$

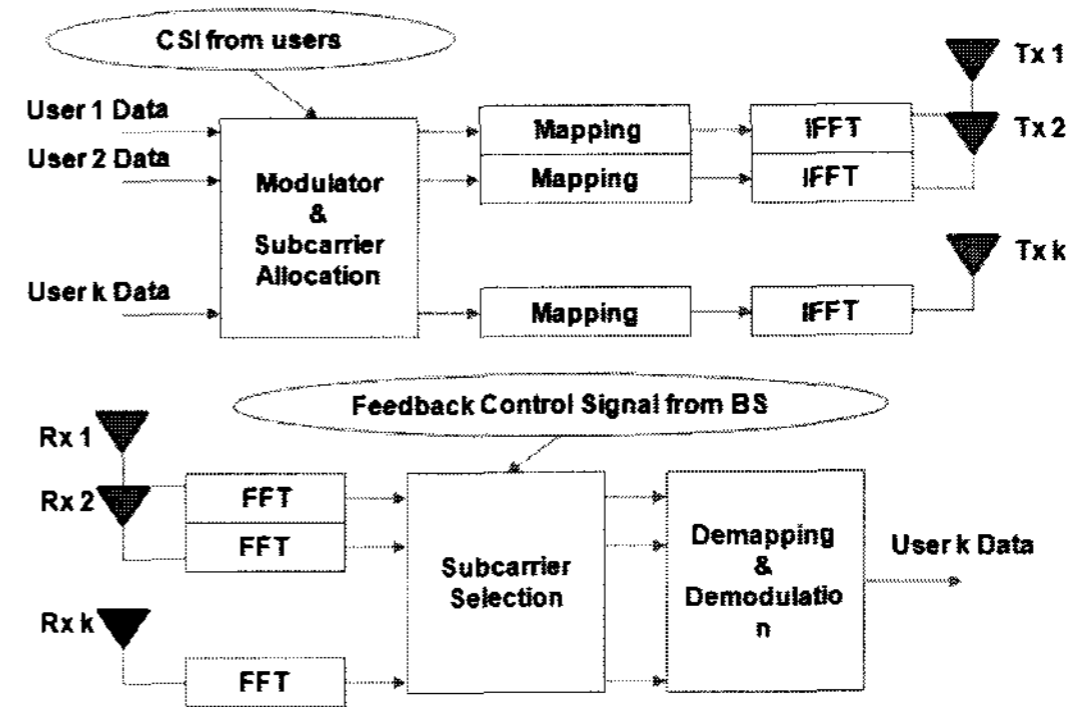


그림 1. 하향 링크 MIMO-OFDMA 시스템  
Fig. 1. MIMO-OFDMA downlink system.

$T$ 는 송신 안테나 개수,  $R$ 은 수신 안테나 개수,  $k$ 는 사용자의 수를 나타내고,  $m$ 은 서브 채널의 수를 나타낸다.  $h_{r,t}^{k,m}$ 은  $k$ th 사용자의  $m$ th 서브 채널을 거친 데이터가  $t$ th 번째 송신 안테나로부터  $r$ th 번째 수신 안테나까지의 채널 게인 값을 나타낸다.  $k$ th 번째 사용자가 수신 받는 신호 성분은 식 (2)로 표현할 수 있다.

$$Y_{k,m} = \sqrt{E_{k,m}} H_{k,m} S_{k,m} + N_{k,m} \quad (2)$$

$S_{k,m}$ 은 송신 신호 성분,  $E_{k,m}$ 은 송신 안테나에 할당되는 전력,  $N_{k,m}$ 은 AWGN(Additive White Gaussian Noise)을 가지는 잡음 벡터이다.

## III. Dynamic Resource Allocation 기법을 적용한 MIMO-OFDMA 시스템 성능 분석

멀티미디어 서비스(오디오, 비디오)와 데이터 서비스를 위한 다양한 QoS가 차세대 무선 네트워크의 중요한 역할을 할 것으로 보인다. 이러한 QoS의 요청에 따라 모바일 사용자들을 실시간 사용자와 비실시간 사용자로 구분할 수 있는데, 서로 다른 QoS에 따른 혼돈 속에서 무선 네트워크 설계는 더욱 어려운 실정이다. 이것을 극복하기 위한 유망 기술로는 물리 계층에서의 동적 자원 할당(dynamic resource allocation) 기법으로 BER(Bit Error Rate)-QoS를 보장하며, 스펙트럴 효율(spectral efficiency)을 최대화하기 위해 변조 타입과 파워 레벨을 적절히 결정한다<sup>[4]</sup>. 본 논문에서는 이를 목적으로 AMC와 SFC 기법을 적용하여 시스템 성능이 향상됨을 보았다.

### 3-1 AMC와 Power Control 기법 적용

멀티미디어 데이터는 서비스의 종류에 따라 다양한 전송률, 다양한 전송 품질 등을 요구하므로 기존의 음성 위주의 서비스 제공과는 다른 개념의 링크 적응(link adaptation) 기법이 요구된다. 적응 변조 및 부호화(Adaptive Modulation and Coding) 기법은 이러한 데이터 전송에 효율적인 링크 적응 기법으로 전송률을 채널 환경에 맞게 변화시키는 적응 방식이다.

그림 2는 MIMO-OFDMA 시스템에서 AMC 기법을 적용했을 때의 과정이다. 또한, OFDMA 시스템에서 플랫 페이딩을 겪는 각 서브 채널이 높은 스펙트럴 효율을 얻기 위해 높은 레벨의 변조 방식을 취한다면 시스템 성능은 여전히 낮아질 것이다. 그래서 수신단에서 귀환 받은 채널에 대한 정보를 근거로 송신단에서 적절한 전력 레벨을 정해주므로 페이딩에 강해지는 전력 제어 기법이 연구되고 있다.

본 논문에서는 적응 변조 및 부호화 기법을 위해 M-QAM(QPSK, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM)의 변조 방식이 고려되었다. 적응 변조 및 부호화 기술은 수신 받은 신호 대 잡음비 값에 따라 적절한 변조 방식이 선택되어야 한다. M-QAM 방식에서 BER을 표현하기 위한 식 (3)에 표현되어 있다.

$$P_b = 0.2 \exp\left(-\frac{3\beta}{2(M-1)}\right) \quad (3)$$

주어진  $P_b$ (BER)을 만족하며  $M(M=2^r, \text{여기서 } r \text{은 } M\text{-QAM 변조 방식에서 서브 캐리어에 할당되는 비트 수})$ 을 보내기 위해 요구되어지는  $\beta$ (SNR) 값에 대한 식을 나타낸다<sup>[5]</sup>.

또한, 폐 루프(Closed Loop) 상에서 전력 제어 기

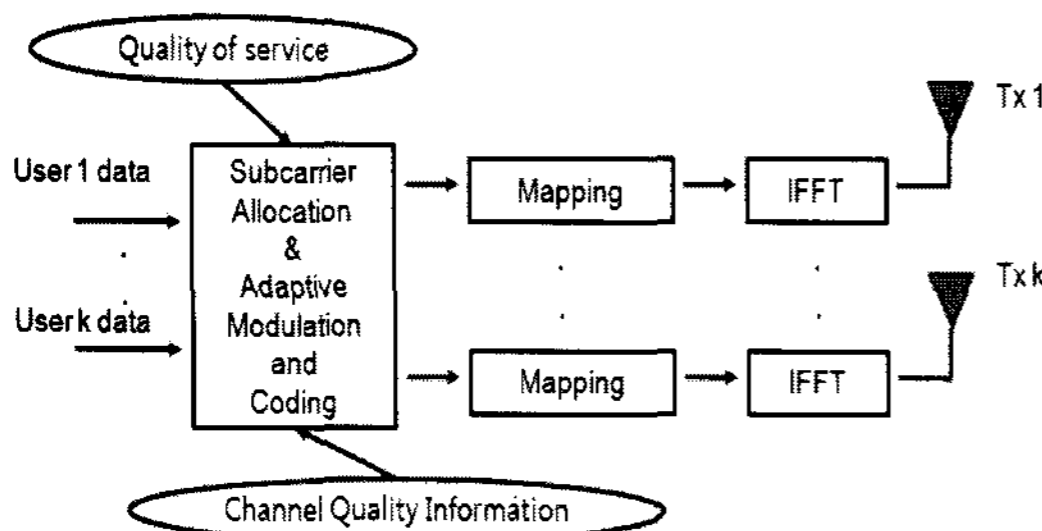


그림 2. MIMO-OFDMA 시스템에서의 AMC 기법  
Fig. 2. MIMO-OFDMA system applying AMC scheme.

법을 위해 수신 받은 채널의 정보 값(SNR)을 가지고 각 서브 채널에서의 전력 제어 가중치를 구하여 그 값을 송신단에 곱해주어 Average BER 성능을 감소시키는 방법을 취하였다.

그림 3은  $k$  사용자의 데이터가 입력되는 경우, 각 서브 채널을 3개씩 그룹으로 나누어 전력 가중치를 구하는 과정이다.  $N$ 은 서브 채널의 개수이고,  $l$ 은 가중치를 구하기 위해 하나로 묶은 그룹의 개수이다.

본 논문에서 수신 받은 채널의 정보 값(SNR)을 근거로 각 서브 채널의 가중치를 구한 경우를 고려한다. 그림 3과 같이  $k$  사용자 데이터가 입력될 경우 서브 채널을 3개씩 그룹으로 나누어 전력 가중치를 구하는 식은 식 (4)와 같다<sup>[6]</sup>.

$$\begin{bmatrix} w_{l,k} \\ w_{\frac{2N}{3}+l,k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{l,k} + S_{\frac{2N}{3}+l,k} & S_{\frac{N}{3}+l,k} \\ S_{\frac{N}{3}+l,k} & S_{l,k} + S_{\frac{2N}{3}+l,k} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \ln\left(\frac{S_{l,k}}{S_{\frac{2N}{3}+l,k}}\right) + 3S_{\frac{2N}{3}+l,k} \\ \ln\left(\frac{S_{l,k}}{S_{\frac{N}{3}+l,k}}\right) + 3S_{\frac{2N}{3}+l,k} \end{bmatrix}$$

$$w_{\frac{2N}{3}+l,k} = 3 - (w_{l,k} + w_{\frac{N}{3}+l,k}) \quad (4)$$

위에서 언급한 것처럼  $N$ 은 서브 채널의 개수,  $l$ 은 가중치를 구하기 위해 하나로 묶은 그룹의 개수이

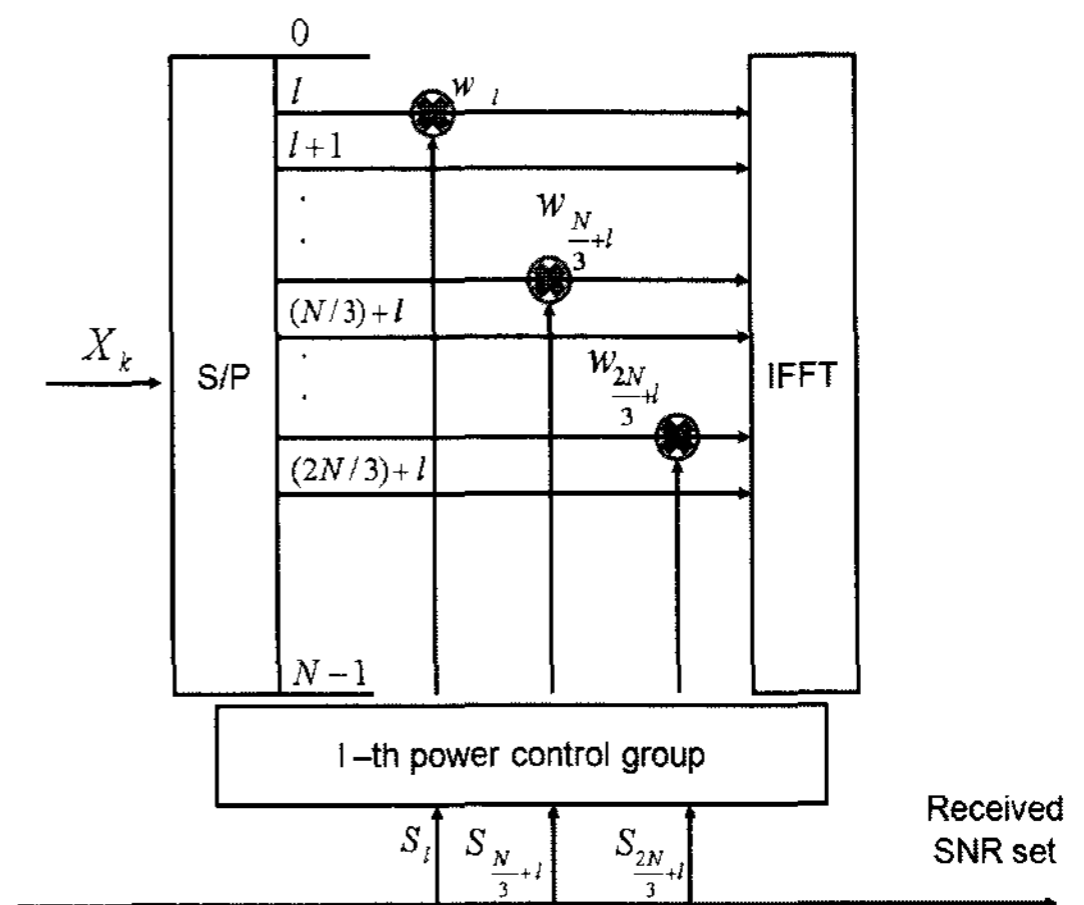


그림 3. MIMO-OFDMA 시스템에서의 PC 기법  
Fig. 3. MIMO-OFDMA system applying PC scheme.

다. 또한, 3개로 묶인 가중치의 합은 반드시 3이 되어야 한다.

구한 가중치 벡터 값  $w_{k,l}(=w_{k,m})$ 을 식 (5)를 이용하여 식 (2)에 적용하면 다음과 같다<sup>[7]</sup>.

$$Y_{k,m} = \sqrt{E_{k,m}} H_{k,m} S_{k,m} + N_{k,m}$$

$$\sqrt{E_{k,m}} = w_{k,m} \sqrt{E_{k,m}} \quad (5)$$

식 (4)에서 구해진 가중치 성분을 신호 성분에 곱해줌으로써 각 송신 안테나에 할당되는 전력이 동일하게 1로 주었던 기존의 방식보다 Average BER 성능을 높일 수 있는 결과를 가져올 수 있었다.

### 3-2 Space-Frequency Coding 기법 적용

SFC는 다수의 송/수신 안테나를 사용하는 환경에서 같은 심볼을 인접한 캐리어의 다른 안테나로 중복하여 전송함으로써 전송 다이버시티를 얻는 방식이다.

본 논문에서는 MIMO의 코딩 방식인 STC(Space-Time Coding)과 SFC(Space-Frequency Coding) 중에서 SFC가 fast fading에서 더 좋은 성능을 보이기에 SFC 방식을 채택하였다<sup>[8]</sup>.

$$s_1[i] = (s[4i] - s[4i+1] - s[4i+2] - s[4i+3] + s^*[4i] - s^*[4i+1] - s^*[4i+2] - s^*[4i+3])$$

$$s_2[i] = (s[4i+1] - s[4i] - s[4i+3] - s[4i+2] + s^*[4i+1] - s^*[4i] - s^*[4i+3] - s^*[4i+2])$$

$$s_3[i] = (s[4i+2] - s[4i+3] - s[4i] - s[4i+1] + s^*[4i+2] - s^*[4i+3] + s^*[4i] + s^*[4i+1])$$

$$s_4[i] = (s[4i+3] - s[4i+2] - s[4i+1] + s[4i] + s^*[4i+3] + s^*[4i+2] - s^*[4i+1] + s^*[4i])$$

SFC 방식 중 G2, G4 행렬의 구조를 선택하였다. 우선 G2 행렬을 구조에서, 기존의 OFDM 방식에서와 같이 직렬의 데이터 스트림을 병렬의 각 블록으로 나눈다고 할 때 식 (6)으로 표현할 수 있다.

$$S = (s[1], s[2], \dots, s[N-1]) \quad (6)$$

$N$ 은 FFT 크기를 나타낸다. 2개의 송신 안테나에서의 전송을 위한 직교 블록 코드를 나타내기 위해

식 (7)과 같이 2개의 서브 블록을 정의하여, G2 행렬을 표현할 수 있다.

$$\text{Sub-Block 1: } s_1[i] = (s[2i] - s^*[2i+1])$$

$$\text{Sub-Block 2: } s_2[i] = (s[2i+1] - s^*[2i])$$

$$G_2 = [(s_1[i])^T (s_2[i])^T], i = 0, \dots, \frac{N}{2} - 1 \quad (7)$$

즉,  $G_2$  행렬에서는  $N$ 의 길이를 갖는 2개의 블록,  $S_1$ 과  $S_2$ 을 제공하는데, 이것을 이용한 입력 인코더 부분은 식 (8)과 같이 각 데이터가 주파수에 매핑된다.

$$S_1 = (s[0], -s^*[1], s[2], -s^*[3], \dots, s[N-2], -s^*[N-1])^T$$

$$S_2 = (s[1], -s^*[0], s[3], -s^*[2], \dots, s[N-1], -s^*[N-2])^T \quad (8)$$

SFC 다이버시티를 위해 변조기 부분에서 G2 행렬에서  $S_1$ 과  $S_2$ 에 해당되는  $X_1$ 과  $X_2$  블록을 생성하여 각각 첫 번째 송신 안테나와 두 번째 송신 안테나에 신호를 보내게 된다.

같은 의미로 송신 안테나가 4개인 경우의 코딩 방법인 G4 행렬도 4개의 서브 블록을 이용하여 표현할 수 있다. 식 (9)는 각 서브 블록과 G4 행렬을 나타낸다.

$$G_4 = [(s_1[i])^T (s_2[i])^T (s_3[i])^T (s_4[i])^T], i = 0, \dots, \frac{N}{8} - 1 \quad (9)$$

SFC 방식은 공간-주파수 다이버시티를 이용하는 방법이므로 식 (2)의 신호 성분은 식 (11), (12)와 같이 표현할 수 있다.

$$Y_{k,m} = \sqrt{E_{k,m}} H_{k,m} S_{k,m,t} + N_{k,m}$$

G2 행렬에서 신호 성분은 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{k,m,G2} = (s_1[i] + s_2[i]) \quad (10)$$

G4 행렬에서 신호 성분은 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{k,m,G4} = (s_1[i] + s_2[i] + s_3[i] + s_4[i]) \quad (11)$$

시뮬레이션 과정에서는 G2와 G4의 2가지 경우의 성능을 비교하였다.

표 1. SFC-OFDMA 파라미터

Table 1. SFC-OFDMA parameters.

Parameters	Value
Size of FFT	1024
Data Subcarrier	850
Virtual Subcarrier	173
Cyclic Prefix	256
Channel	ITU-Vehicular A Velocity 60 km/h
Modulation	QPSK, 16 QAM 64 QAM, 256 QAM
MIMO(SFBC)	G2 / G4

#### IV. 시뮬레이션 분석 및 결과 확인

표 1은 Simulation에 적용한 MIMO-OFDMA Parameters를 보여준다.

시뮬레이션에서는 Uncoded Data의 상황 하에 MIMO-OFDMA 시스템을 기반으로 이루어졌다. Data Subcarrier은 FFT size의 83 %인 850개를 사용하였고, Cyclic Prefix는 FFT size의 25 %인 256개를 사용하였다. 변조 방식은 QPSK부터 256QAM까지 4가지 방식을 고려하였고, Channel 모델은 와이브로(Wibro)의 환경을 고려하여 ITU-Vehicular A를 사용하였고, 유동성은 60 km/h를 고려하였다. SFC 타입은 G2와 G4의 경우를 비교하였다.

표 2는 SFC-OFDMA 시스템에서 동일한 FFT size를 가지고 사용자가 8명인 경우의 BER 성능 곡선을 근거로 Reference BER= $10^{-3}$ 인 경우  $E_b/N_0$ 값을 각 변조 타입 별로 나타낸 것이다. 앞에서 언급한 SNR은  $E_b/N_0$ 와 같은 의미로 본다. 시뮬레이션에서는 이 값을 근거로 AMC를 적용하였다. 시뮬레이션 과정은

표 2. SFC-OFDMA에서의 AMC를 위한 MCS 레벨

Table 2. In SFC-OFDMA, MCS level for AMC.

Mod	User 8			
	QPSK	16 QAM	64 QAM	256 QAM
2by2(G2)	2.6	7.2	13.1	17.5
2by4(G2)	1.9	5.5	10.3	14.1
4by2(G4)	1.6	6.5	11.1	16.3
4by4(G4)	1.2	3.5	7.3	13.2

표 3. SFC-OFDMA에서의 전력 가중치 벡터

Table 3. In SFC-OFDMA, power control weight vector.

Mod	User 8		
	16 QAM		
PC weight	45 %	30 %	25 %
2by2 (G2)	7.1	9.3	11.9
2by4 (G2)	4.3	6.1	7.8
4by2 (G4)	5.6	7.4	9.3
4by4 (G4)	2.8	3.9	5.2

송신단에서 채널 상태를 알게 되면 표 2의 값을 기준으로 변조 타입이 정해지고, 각각의 서브 캐리어에 비트 수가 로딩되어진다. 그 후 수신단에서 BER의 값을 고려하여 최종적으로 보내어진 데이터 용량을 계산하여 성능을 비교하였다.

표 3은 SFC-OFDMA 시스템에서 16-QAM 변조 방식을 사용하는 경우, 채널에 대한 정보를  $E_b/N_0$ 에 근거하여 전력 가중치를 나타냈다. BER 성능이  $10^{-3}$ 인 경우의  $E_b/N_0$ 값까지는 송신 전력의 45 % 정도를 할당하고, BER 성능이  $10^{-3}$ 에서  $10^{-4}$ 인 경우까지는 30 %를 할당, 그 이하로는 25 % 정도를 할당하는 방식을 사용하였다. 즉, 열악한 채널에 좀 더 많은 송신 전력을 할당함으로써 전력 제어 기법을 적용하지 않았을 경우보다 Average BER 성능이 향상되면서 서비스의 품질을 보장하는데 목표를 두었다.

SFC-OFDMA 시스템 아래 AMC 기법을 사용자가

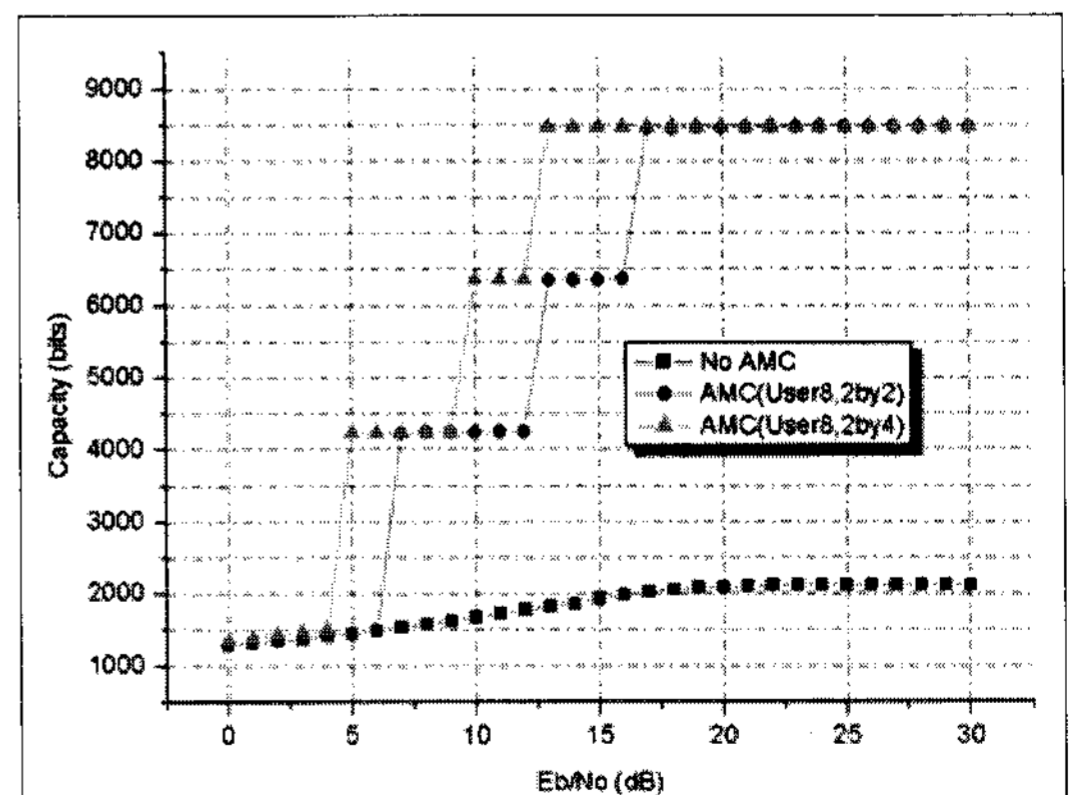


그림 4. G2(2\*2, 2\*4)에서 AMC를 적용한 결과  
Fig. 4. Result applying AMC in G2(2\*2, 2\*4).



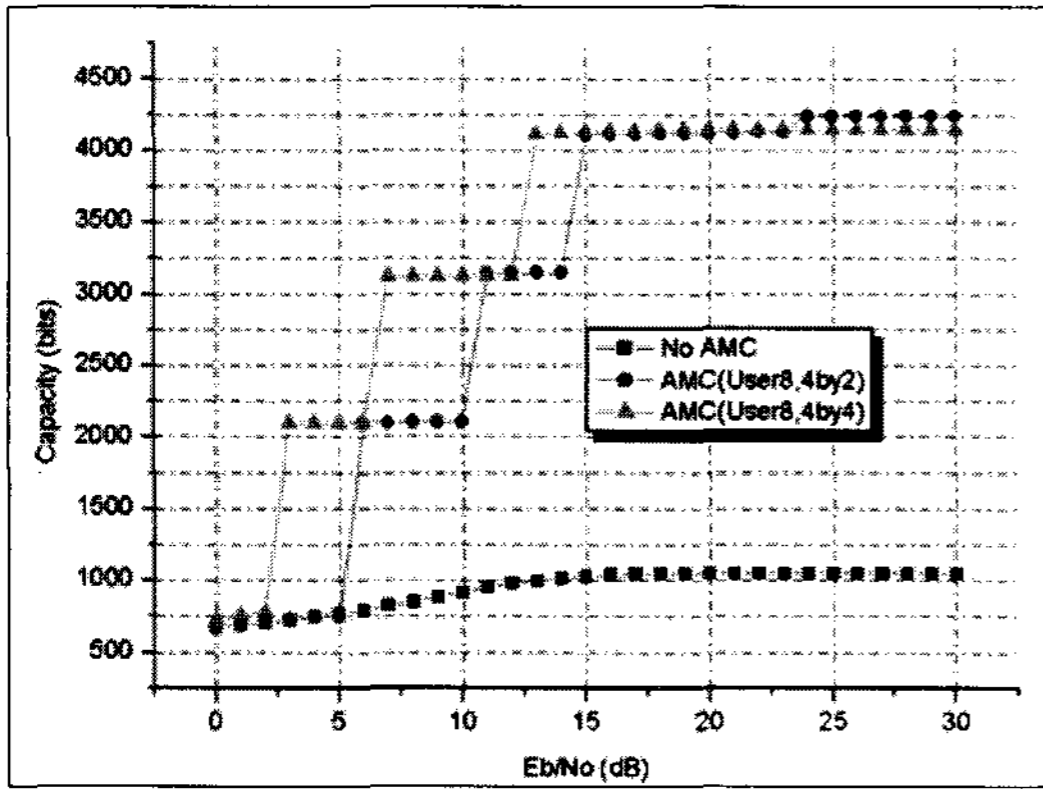


그림 5. G4(4\*2, 4\*4)에서 AMC를 적용한 결과  
Fig. 5. Result applying AMC in G4(4\*2, 4\*4).

8명인 경우에 적용해 본 시뮬레이션 결과이다.

그림 4, 5은 AMC 기법을 적용하지 않은 경우와 적용한 경우에 BER 값을 고려하여 실제적으로 전송 되는 데이터 용량을 나타낸 것이다.

AMC 기법을 적용하였을 경우, 채널 상태가 좋아짐에 따라 변조 방식을 바꿔줌으로 해서 전송하는 데이터의 용량을 최대화함과 동시에 채널의 효율을 극대화 할 수 있는 것을 볼 수 있다. 또한, 송신 안테나의 개수가 많을수록 열악한 채널 환경에서도 변조 타입이 상승되어 더 많은 데이터를 전송할 수 있다는 것을 그림 4를 통해 확인하였다.

SFC-OFDMA 시스템 아래 사용자가 8명인 경우에 전력 제어 기법을 적용해 본 시뮬레이션 결과이다.

그림 6, 7은 16-QAM 변조 방식에서 전력 제어 기

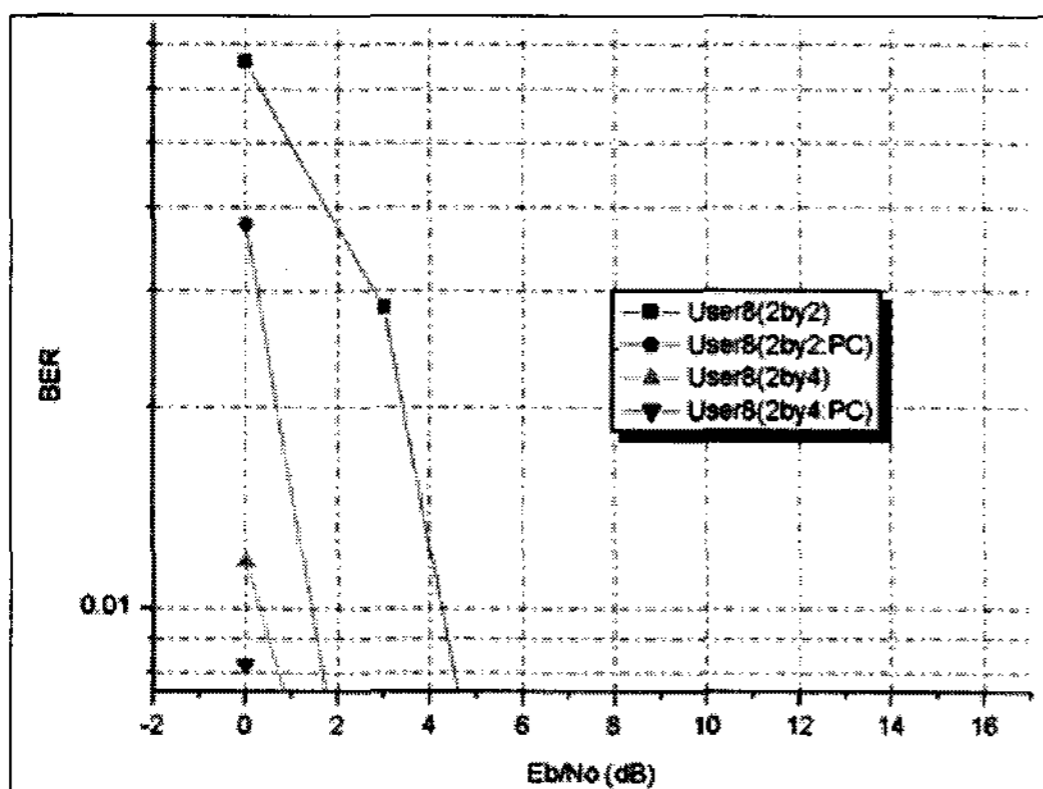


그림 6. G2(2\*2, 2\*4)에서 PC를 적용한 결과  
Fig. 6. Result applying PC in G2(2\*2, 2\*4).

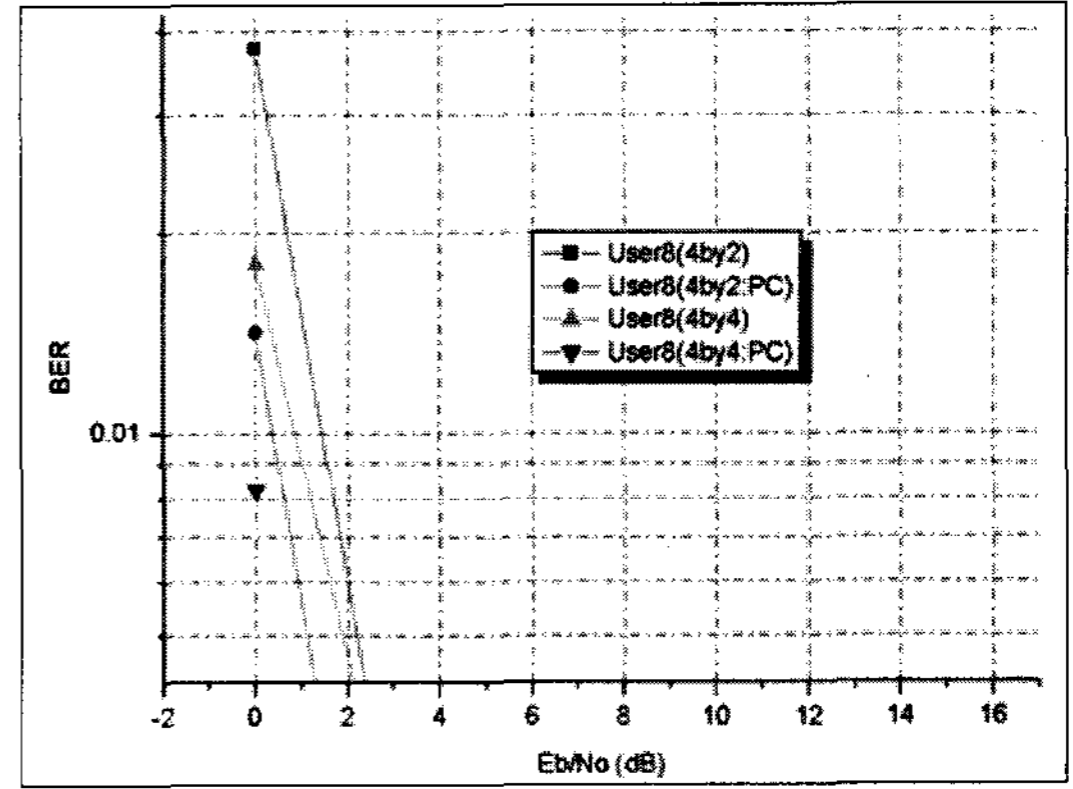


그림 7. G4(4\*2, 4\*4)에서 PC를 적용한 결과  
Fig. 7. Result applying PC in G4(4\*2, 4\*4).

법을 적용하지 않은 경우와 적용한 경우 Average BER 성능 곡선을 나타낸 것이다.

전력 제어 기법을 적용하였을 때가 적용하지 않았을 때보다 Average BER 값이 2~3 dB 정도 성능이 좋아짐을 볼 수 있다. 본 논문에서 적용한 전력 제어 기법은 채널 환경이 더 좋은 쪽에 더 많은 전력을 할당하여 보내고자 하는 데이터 용량을 최대화 하는 water-filling 방식과는 차이가 있음을 언급한다.

SFC-OFDMA 시스템 아래 사용자가 8명인 경우, AMC 기법과 전력 제어 기법을 모두 적용해 본 시뮬레이션 결과이다.

그림 8, 9는 AMC 기법만 적용한 경우와 전력 제어 기법까지 추가한 경우의 성능 비교를 나타낸 것이다. 실제로 전력 제어 기법은 열악한 채널 환경에

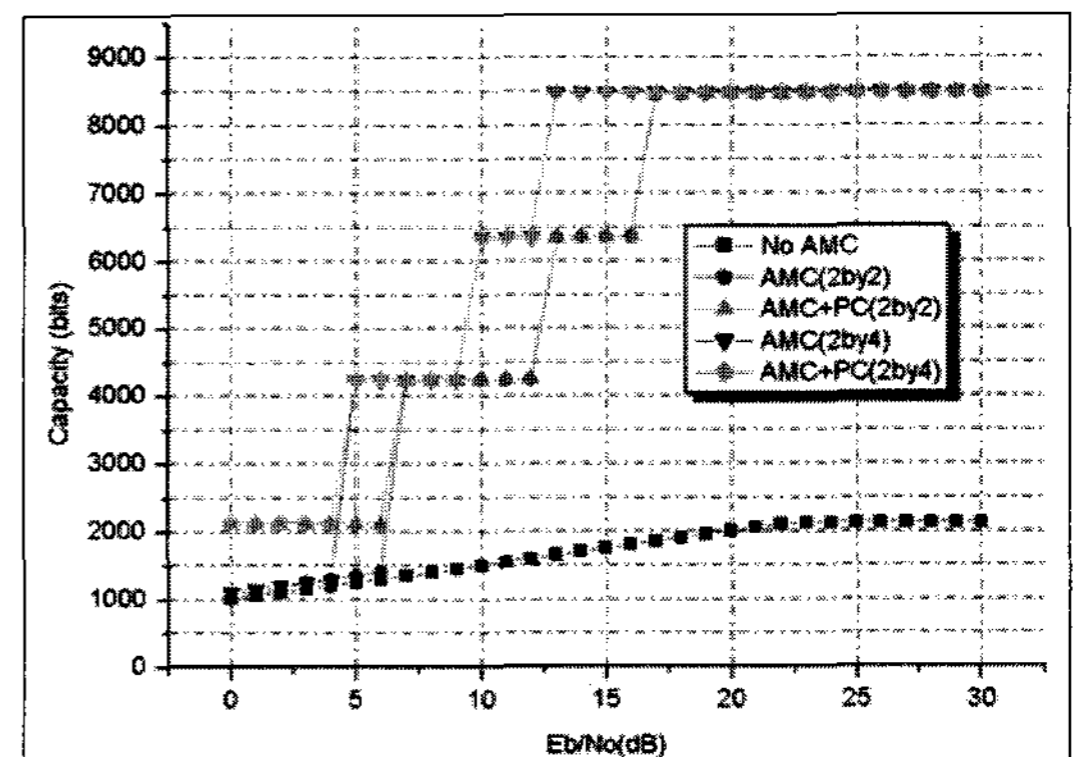


그림 8. G2(2\*2, 2\*4)에서 AMC와 PC를 적용한 결과  
Fig. 8. Result applying AMC and PC in G2(2\*2, 2\*4).

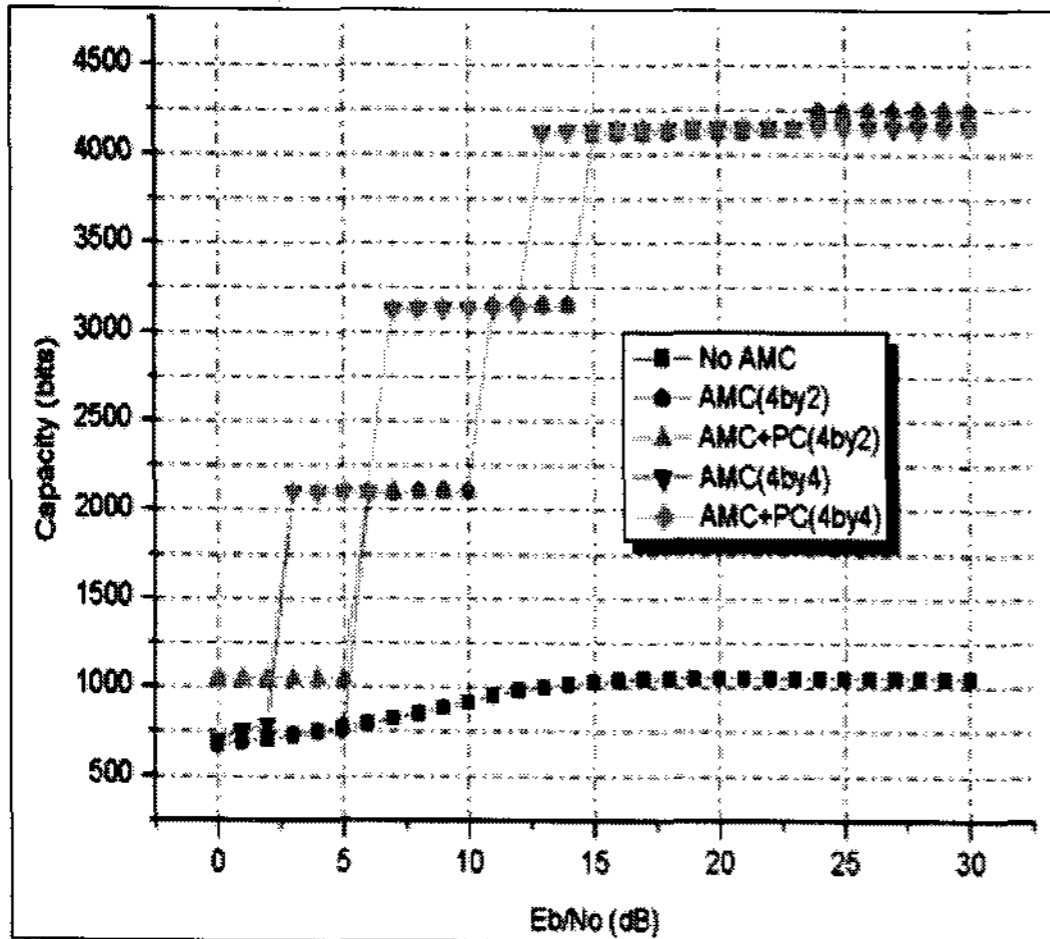


그림 9. G4(4\*2, 4\*4)에서 AMC와 PC를 적용한 결과  
Fig. 9. Result applying AMC and PC in G4(4\*2, 4\*4).

더 많은 전력을 할당해줌으로써 BER 성능을 높이고자 하였는데, AMC 기법에 전력 제어 기법을 추가하게 되면 채널 상태가 좋은 경우는 큰 차이가 없지만, 채널 상태가 열악한 경우( $E_b/N_0$ 의 값이 10 dB 이내인 경우)는 수신 받는 데이터 용량이 G2 행렬을 사용한 경우 약 1,000 비트 정도, G4 행렬을 사용한 경우 약 500 비트 더 받을 수 있다는 것을 확인함으로 AMC 기법만 적용하였을 경우보다 성능이 좋아짐을 확인하였다.

### V. 결 론

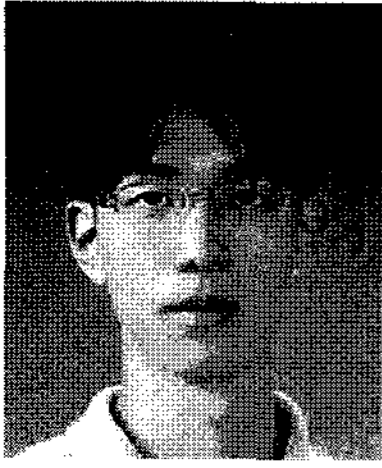
본 논문은 MIMO-OFDMA 시스템에서 효율적인 자원 할당을 위해 SFC 방식 하에 송신단에서 궤환 받은 채널에 대한 정보를 기준으로 적응 변조 및 부호화 기법(AMC)과 전력 제어(PC) 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션 결과는 실제로 전송되어진 데이터 용량 측면에서 제안한 알고리즘이 기존의 알

고리즘보다 더 나은 성능을 보였다.

### 참 고 문 헌

- [1] Jun Cai, Xuemin Shen, and J. W. Mark, "Downlink resource management for packet transmission in OFDM wireless communication systems", *IEEE Trans.*, vol. 4, pp. 1688-1703, Jul. 2005.
- [2] P. Uthansakul, M. E. Bialkowski, "Multipath signal effect on the capacity of MIMO, MIMO-OFDM and spread MIMO-OFDM", *IEEE CNF*, vol. 3, pp. 989-992, May 2004.
- [3] G. Li, H. Liu, "On the optimality of downlink OFDMA MIMO systems", *IEEE CNF*, vol. 1, pp. 324-328, Nov. 2004.
- [4] R. A. Berry, E. M. Yeh, "Cross-layer wireless resource allocation", *IEEE Trans.*, vol. 21, pp. 59-68, Sep. 2004.
- [5] A. J. Goldsmith, S. G. Chua, "Adaptive coded modulation for fading channels", *IEEE Trans.*, vol. 46, pp. 595-602, May 1998.
- [6] Hongku Kang, Wooncheol Hwang, and Kiseon Kim, "Practical subchannel power controlled OFDM system under time-varying multipath channel", *IEEE CNF*, vol. 3, pp. 1015-1018, Oct. 2002.
- [7] Jian Xu, Jong Kyung Kim, Wonkyu Paik, and Jong-Soo Seo, "Adaptive resource allocation algorithm with fairness for MIMO-OFDMA system", *IEEE CNF*, vol. 6, pp. 1585-1589, May 2006.
- [8] M. Torabi, S. Aissa, and M. R. Soleyman, "On the BER performance of space-frequency block coded OFDM systems in fading MIMO channels", *IEEE Trans.*, vol. 6, pp. 1366-1373, Apr. 2007.

이 윤 호



2008년 2월: 충북대학교 정보통신  
과 (공학사)  
2008년 3월: 충북대학교 전파공학  
과 (공학석사)  
[주 관심분야] Cross-Layer, MIMO-  
OFDM

김 경 석



1989년 1월~1998년 12월: 한국전  
자통신연구원 무선통신연구단 선  
선임연구원  
1999년 1월~2002년 3월: University  
of Surrey 전기전자공학과 (공학  
박사)  
2002년 2월~2004년 8월: 한국전자  
통신연구원 이동통신연구단 책임연구원  
2004년 9월~2005년 2월: 전북대학교 생체정보공학부 전  
임강사  
2006년 3월~현재: 충북대학교 정보통신공학과 조교수  
[주 관심분야] 전파감시, SDR, CR, MIMO-OFDM, DSA,  
UWB