

# 무선 환경에서 OFDM 성능향상을 위한 MIMO System

박 창 현, \*권 혁 일, 양 윤 기,  
수원대학교 정보통신공학과, \*(주)Telian  
전화 : 031-223-5690 / 핸드폰 : 011-9381-0911

## On the improved MIMO-OFDM system for the wireless environments

Chang-Hyun Park,\*Hyouk-Il Kwon, Yoon-Gi Yang  
Dept. of Information & Telecommunications Eng., The University of Suwon,\*Telian(Co)  
E-mail : hikwon@telian.co.kr

### Abstract

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) is an efficient transmission techniques for the frequency selective fading wireless channel where conventional modulations suffer from severe performance degradation. Recently, more efficient techniques for the OFDM are paid much attention such as adaptive modulation for each subcarrier, since more bit rate has been required for the wireless data network [1-3]. The proposed system employs the adaptive modulation between transmitter and receiver in each subcarrier, where the bit and power is properly allocated. Also multiple antenna system called MIMO is considered, which result in robustness in channel delay, improved power efficiency and improved bit SNR for the given BER.

### I. 서론

OFDM 방식은 무선 채널에서 고속의 데이터 전송에서 발생되어지는 심각한 주파수 선택적 fading에 쉽게 대처가 가능하다는 장점으로 인해 다양한 무선 통신시스템의 전송방식으로 채택되어 지고 있다[1-3].

고속의 무선전송 system에서 고정된 변조 방식과 code-rate를 갖는 기존의 전송방식은 일정한 전송품질

과 성능을 유지하기에는 별다른 문제점이 없지만 채널의 상태가 변화하는 무선 채널의 경우에는 부적합하다. 이에 비해 적응변조는 채널의 상태가 좋으면 높은 변조 방식과 낮은 code-rate로 데이터를 전송하므로 채널의 환경이 좋은 경우 많은 데이터의 전송이 이루어질 수 있고 bandwidth의 효율성이라는 문제에 있어서도 적절한 결과를 가져와 시스템의 효율이 좋아지게 된다. 하지만 채널의 상태에 따른 bit와 power의 효과적인 할당에 따른 문제는 연구가 미비한 실정이다. 본 논문에서 고려되어지는 있는 것은 bit와 power의 배당에 관한 문제이다. 다시 말하면 하나의 OFDM symbol에 의해 전송되어지는 bit의 수를 결정한다[2, 3]. 그리고 N개의 tone으로 이루어져 있는 OFDM symbol에서 이러한 bit는 최소의 에너지가 전체의 송신에 할당되는 방식으로 loading 된다면 기존의 방식인 고정된 변조 방식과 code-rate를 갖는 시스템과 비교 분석해 보고, 또한 MIMO시스템은 송신기와 수신기의 다중 안테나를 이용하는 것은 전송 파워나 대역폭의 증가시키지 않고 무선 시스템에서 데이터 code-rate와 성능의 향상을 크게 높일 수 있다. 컴퓨터를 이용한 실험을 통해서 SISO (Single-Input Single-Output) 그리고 MIMO (Multiple -Input Multiple -Output)와의 bit와 power의 효과적인 할당에 따른 결합을 통해서 시스템의 성능을 비교해 본다.

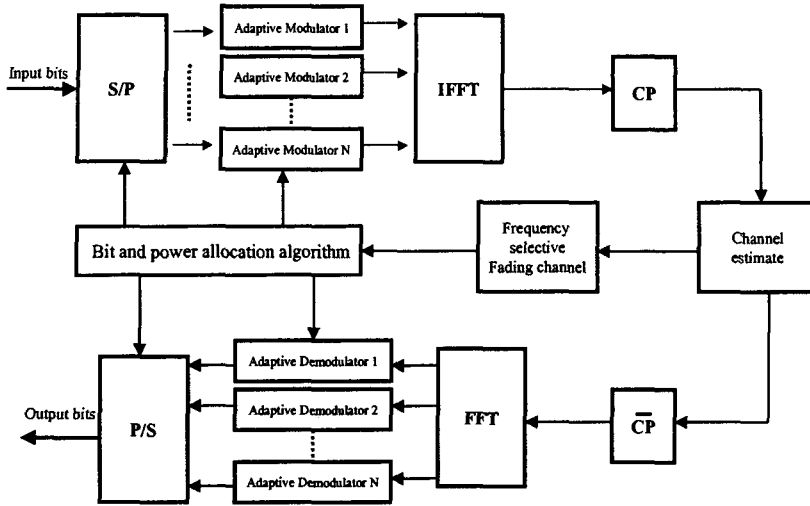


그림 1 OFDM 전체 SYSTEM BLOCK도

## II. 본론

### 2.1 제안하는 OFDM System Model

본 논문에서 제안한 시스템의 블록 구조는 그림 1과 같으며 변조 Block에서 Input-bit을 복소수로 나타내고 각각의 부반송파의 constellation를 결정짓는다. 각각의 sub-carrier에 할당된 bit의 수는 주파수 영역에서 SNR (Signal-to-Noise Ratio)의 변화를 조정하기 위해 가변적으로 할당할 수 있으며 이 bit의 할당의 최적화에 관한 내용은 다음에 설명하도록 하겠다.

### 2.2 제안하는 Adaptive Loading 방식

OFDM 의 이점은 각 sub-channel에서 비교적 대역폭이 좁고 flat-fading을 갖는다는 점이다. 그러나 각각의 sub-channel은 낮은 gain을 갖고 있으므로 결과적으로 시스템 전반에 있어서는 큰 BER을 초래하게 된다. 그러므로 고성능의 sub-channel을 이용하는 것이 바람직하다. 이것이 적응변조의 동기가 된다. Time varying channel의 환경에서는 각각의 주파수 선택적인 채널의 상호연관성이 상실하는 시간이 있다. 그러므로 채널의 상호연관성이 상실될 때마다 새롭게 적용을 시켜야 한다. 전송 성능을 위한 Shannon -capacity를 만족하는 최적의 적응 전송의 시스템은 주파수 선택채널에 대한 water-filling 분배이다. 그러나 water-filling[6, 7] 분배는 최적의 해결책을 제시하는 것에

반하여, 계산하기가 어렵고 근본적으로 constellation의 불안정으로 인해서 실현가능성이 적다.

Adaptive loading 기술을 이용하면 (sub-channel의 gain을 안다고 가정한다) power 그리고 전송률의 최적화를 달성하기 위한 효과적인 방식임을 알 수가 있다. sub-channel n에 대해 b Bit을 전송할 필요가 있는 에너지의 양을 반영하는 convex 함수  $e_n(b)$ 을 증가시키는 N의 set이 주어진다[7, 8]. 이때  $e_n(0) = 0$ 이라고 가정한다. 따라서, 에너지 최소화하는 식을

$$\sum_{n=0}^N e_n(b) \quad b_n \in \mathbb{Z}, b_n \geq 0, n = 0, 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

와 같이 나타낼 수가 있다. Bit의 할당에 관한 문제는 첫 번째로 sub-channel SNR을 계산하여

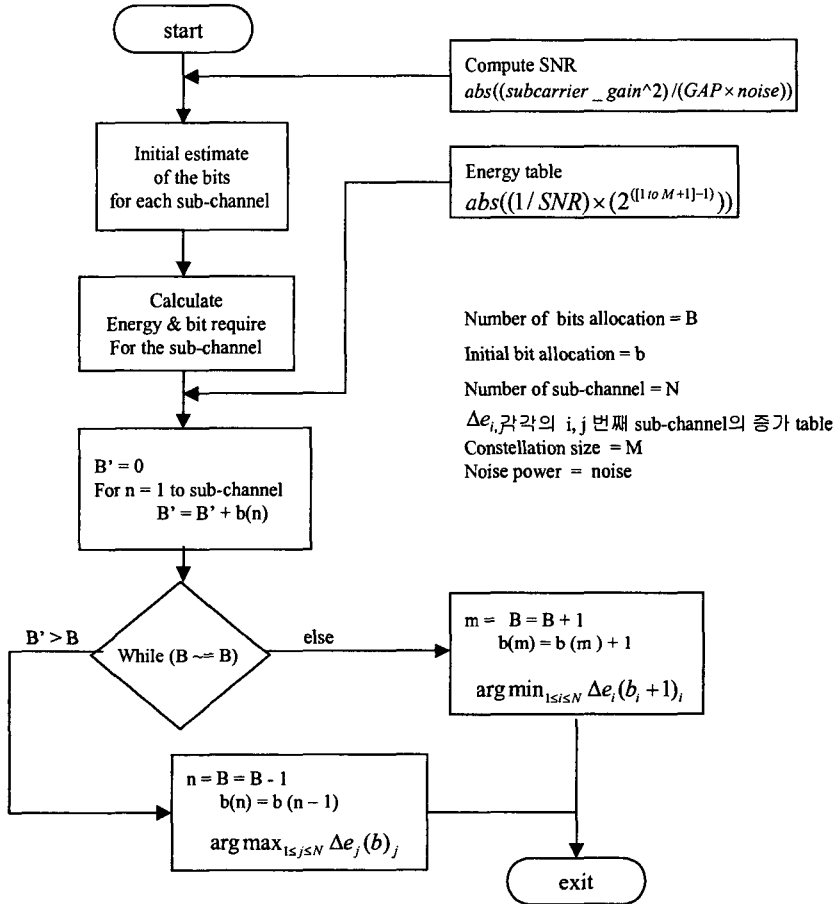
$$\tilde{b}(i) = \log_2(1 + SNR(i)/GAP) \quad (2)$$

와 같은 방식으로 하여 i번째 sub-channel에서의 bit의 수를 계산한다. 여기서의 GAP이란 turning parameter이고 주어진 전송 bit을 위한 서로 다른  $Eb \neq No$  값을 산출한다. 그 이유는 GAP 이 직접적으로 에너지 Table값에 영향을 미치기 때문이다. 두 번째로 식 3 을 이용하여 초기 할당된 bit의 수에 기반하여 i번째 sub-channel을 위한 에너지를 계산하고

$$e_i(b(i)) = 2^{b(i)} - 1 / GNR(i), \quad (3)$$

여기서  $GNR(i) = SNR(i)/GAP$

표 1. 제안하는 bit 할당 최적화 알고리즘 흐름도



$$\Delta e_i(b) = e_i(b) - e_i(b-1) = \frac{2^{b-1}}{GNR} \quad (4)$$

마지막으로 각각의  $i$  번째 sub-channel에 관하여 에너지 증가 테이블을 식 3, 4 과 같이 형성시킨다.

### 2.3 제안하는 MIMO (Multiple-input Multiple-output) OFDM 시스템

MIMO 시스템은 송신기와 수신기의 다중 안테나를 이용한 point-to-point 링크로 정의할 수 있다. 송신기와 수신기에서 다중 안테나를 이용하는 것은 송신기나 수신기 둘 다에 다양한 시스템에서의 성능 향상을 보장한다. 이 기술을 이용하면 전송 파워나 대역폭의 증가시키지 않고 무선 시스템에서 데이터 전송률을 크게 높일 수 있다. 증가된 전송률에 대한 비용은 다중채널과 여분의 안테나를 위한 공간요구 조건, 그리고 다차원적인 signal processing을 위한 필요한 추가적인 complexity

를 채용할 때의 추가적인 비용이다. 이 시스템은 지연 확산의 제거와 증가된 데이터 전송률을 동시에 만족시키는 기술들의 이점들을 결합시킬 수 있다. 시스템에서 sub-channel에 대한 power control은 power와 스펙트럼의 효율성을 증가시키는데 중요한 역할을 한다. 방해 받지 않고 전송률을 최적화하는데 가장 좋은 power의 조절 방법으로 water-filling이라는 방식을 이용하였지만 위에서 논의된 것처럼 실질적으로 좋은 방법이 아니며, 위에서 설명되어진 Adaptive loading Algorithm을 채용한다.

전송 안테나  $t$  와 수신안테나  $r$  을 채용한 MIMO 시스템에서 각각의 tone에 대해서 MIMO channel의 response는  $(m, n)$  size의 matrix에 의해 재현될 수 있는데 여기에서 matrix element  $h_{j,k}$ 는 송신안테나  $k$ 에서 수신안테나  $j$ 로의 이동시 channel의 gain을 의미한다. 송신단과 수신단에서 채널의 상태에 대한 정보를 안다면 각 Tone에 있는 MIMO 채널을 단일 값 분해 SVD(singular value

decomposition)을 이용하여 parallel non-interfering SISO 채널로 분해할 수 있는데  $i$  번째 tone이 순간적인 channel Matrix가

$$H_i = U_i S_i V_i^* \quad (5)$$

와 같이 표시된다. 여기서  $U_i, V_i$  는 하나의 matrix이고  $S_i$  는  $H_i$ 의 단일 값에 대한 대각선 matrix이다.

### III. 모의실험 결과

Adaptive Loading 방식과 MIMO방식을 결합시킨 OFDM 시스템에서 무선 채널에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 BER의 성능 평가를 실시하였다.

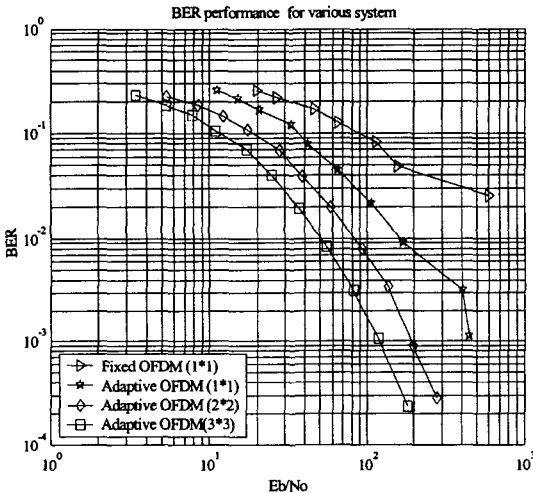


그림2 BER Performance for various system

이러한 성능 평가를 위해서 MIMO는 송신 안테나 2개 수신 안테나 2개인 시스템과, 송신안테나 3개 수신안테나 3개를 가정하여 sub-channel은 64개, 최대 constellation size는 6 (64QAM), power의 지연은  $1, 1/\exp, 1/\exp^2$ , Noise variance는  $10^{-3}$ , Rayleigh fading channel, 1 OFDM Symbol 구간당 64-point FFT 수행하여 수신기에서의 BER의 성능을 분석하였다. (송신부와 수신부의 채널의 정보를 정확히 알고 있다고 가정한다.) 그림 2의 결과와 같이 fixed-rate SISO의 시스템에서는 고정된 변조 방식과, 채널의 상태에 따른 power의 할당이 이루어지지 않으므로 전송 채널에 따른 유동적인 대처를 하는 Adaptive-SISO 시스템 보다 시스템 성능의 이점을 보지 못하고 있으며 또한 Adaptive-SISO (1×1) 보다는 Adaptive-MIMO 시스템이 송, 수신안테나의 증가에 따라 시스템의 효율이 좋아짐을

알 수가 있다.

### IV. 결론

현재 인터넷이나 데이터 전송 등에 있어서 사용자의 요구사항을 충족시키기 위해 고속의 전송을 위한 여러 가지 방법들을 연구 중에 있다. 특히 OFDM 방식이 높은 전송 효율을 만족시키는 적합한 방식으로 알려지면서 관심이 높아지고 있다.

본 논문에서는 다수의 송수신 안테나를 이용하는 MIMO 시스템과 Adaptive loading 방식의 결합을 이용하여 채널 대역폭의 증가나 전송 power의 증가 없이 고속의 전송이 가능하도록 하였으며, 적응 rate 와 power 최적화 알고리즘을 이용하면 기존의 방식에서 보다 성능의 향상을 볼 수가 있는 것을 알 수가 있었다. 이상과 같이 살펴본 적응 알고리즘을 이용하면 멀티미디어와 같이 많은 데이터와 고속의 전송이 필요한 시스템에 있어서 매우 유리한 시스템으로 보이며, 실질적인 시스템에서의 적용을 위해서는 Multiuser로의 확장이 필요하다.

### 참고문헌

- [1] L. Hanzo, W. Wepp, T. Keller, "Signal and Multi-carrier Quadrature Amplitude Modulation", John Wiley & Sons, 2000.
- [2] J. Campello de Souza, "Discrete Bit Loading for Multicarrier Modulation System", PhD Thesis. May, 1999
- [3] K. Wang, "Adaptive Spatial-subcarrier Trellis Coded MQAM and power Optimization for OFDM Transmission", VTC2000, page 2049-2053
- [4] M. Sendell, "A Comparative Study Of Pilot based Channel Estimations For Wireless OFDM", Tech. Report. Rula Univ. 1996
- [5] R. V. Nee and R. Prasad, "OFDM for wireless Multimedia Communication", Artech House pub., 2000
- [6] D. Tse and S. Hannly, "Multi-access fading channel: Part I: Polymatroid structure, optimal resource allocation and throughput capacities", IEEE Trans. on Info. Vol 44, pp. 2796-2815, Nov. 1998
- [7] P. Viswanath, D. n.c. Tse, and V. Anantharam, "Asymptotically optimal water-filling in vector multiple access channel", IEEE Trans. Info. Th., vol 47, pp. 241-267, Jan 2001
- [8] R. S. Chang and S. Verdu, "Gaussian multiaccess channels with ISI: Capacity region and Multiuser water-filling.", IEEE Trans. on Info. Th., vol 39, pp. 773-785, May 1993