

비전송을 채택한 OFDM 전송방식에서의 직교 부호화 및 복호화를 이용하는 주파수 Diversity

고예운, 강홍구*, 조규섭
성균관대학교 정보통신공학부
광주과학기술원 정보통신공학과*

Frequency Diversity using Orthogonal Encoder and Decoder in the OFDM Transmission with No Transmission

Yeyun Kho, Hongku Kang*, Kyu Seob Cho

School of Information and Communications Engineering, Sung Kyun Kwan University

Department of Information and Communications, K-JIST*

E-mail : yeyun@nature.skku.ac.kr

Abstract

본 논문에서는 비전송을 갖는 OFDM 전송을 위한 직교 부호화기와 복호화기를 사용하는 새로운 주파수 diversity 기술을 제안하였다. 기존의 주파수 diversity 방식이 하나의 데이터를 여러 개의 부반송파들을 이용하여 전송하는 반면, 제안한 주파수 diversity 방식은 직교적으로 부호화된 여러 데이터를 여러 개의 부반송파를 통하여 전송한다. 따라서, 제안한 방식은 하나의 데이터가 여러 부반송파를 통하여 전송되므로, diversity 에 의한 성능의 이득을 유지하면서도 하나의 부 반송파에 직교적으로 혼합된 또 다른 전송 심벌을 전송하므로 기존 주파수 diversity 의 단점인 주파수 대역폭의 비효율성을 만들지 않는 장점을 갖게 된다.

I. 서론

최근 들어, 무선 다중 경로 채널 환경 하에서 광대역 무선 통신에 대한 요구가 크게 증가 하고 있다. 이러한 다중 경로 채널 환경 하에서 광대역 무선 통신의 지원을 어렵게 하는 주된 원인중의 하나가 인접 심벌간의 간섭이다. 이를 해결하기 위한 방법으로 OFDM 이 많이 고려되고 있다.

비록 OFDM 전송 방식이 타 방식에 비해 다중 경로 환경에 어느 정도 강한 특성을 가지고 있지만, 깊은 페이딩에 따른 수신 SNR 의 현저한 감소로 인한 큰 성능의 저하가 존재하므로, 이를 극복하기 위하여 feedback 정보를 이용하는 기술이나 diversity 와 같은

기술이 고려되고 있다.

Feedback 정보를 이용하는 기술에 있어서, 시스템의 BER 성능을 향상 시키기 위한 부채널 전력 제어[1]나 시스템의 용량을 증가 시키기 위한 적응형 변복조[2]와 같은 기술이 존재한다. 비록, 이러한 feedback 정보를 사용하는 기술은 성능 향상에 많은 이득을 주지만, feedback 정보를 estimation 하기위한 estimator 의 도입으로 시스템의 복잡성을 증가 시키게 되며 수 비트 이상으로 표현되는 feedback 정보를 송신단에 전송하기 위하여 별도의 채널을 할당하여 사용해야 하므로 주파수 사용의 비효율성을 야기시키는 단점을 가지고 있다.

Diversity 기술에 있어서는, 일반적으로 주파수 사용 효율이 좋은 공간 diversity 가 많이 사용된다. 하지만, 공간 diversity 의 효과를 높이기 위해 안테나들간에 적어도 반파장보다 큰 공간적 분리를 요구하게 되므로 휴대용 개인 이동 통신 서비스 단말기와 같은 공간적 크기에 제약을 받는 경우에는 사용이 어렵다는 단점을 갖는다. 또한, diversity 를 위한 안테나를 복수 개를 사용함으로써 시스템의 복잡성 및 비용 증대라는 단점을 가지고 있다. 따라서, 본 논문에서는 OFDM 전송에서 하나의 안테나를 사용하여 비교적 쉽게 구현이 가능하고 시스템의 복잡성 및 크기의 제약을 극복할 수 있는 주파수 diversity 를 고려하였다.

본 논문에서는 feedback 정보를 이용하는 비전송을 갖는 OFDM 시스템에서 직교 부호화 및 복호화를 사용하는 주파수 diversity 를 제안하였다. Feedback 정보를 사

용하는 기술에 있어서, 수신 SNR 이 미리 지정된 기준 SNR 보다 크면 하나의 고정된 변복조 방식을 사용하여 전송하고, 수신 SNR 이 그보다 작으면 전송을 포기하는 비전송을 채택한다. 이처럼 간단한 비전송을 사용하는 이유는, 시스템의 복잡성을 크게 증가시키지 않으면서, feedback 정보량을 단일 비트로 한정하여 표현 가능하게 함으로서 주파수 낭비를 줄이는데 그 목적이 있다. 또한, diversity 기술에 있어서, 기존 주파수 diversity 의 주파수 효율 낭비라는 단점을 해결하기 위하여 제안한 직교 부호기와 복호기를 갖는 주파수 diversity 를 사용한다. 제안한 주파수 diversity 는 하나의 데이터를 여러 부반송파를 통해 전송하는 기존 주파수 diversity 와는 다르게, 직교 부호기를 사용하여 직교적으로 혼합된 여러 데이터를 여러 부반송파를 통하여 전송하므로 기존 방식의 단점을 극복하면서 diversity 효과를 볼 수 있는 기술이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는, 비전송을 갖는 OFDM 시스템이 소개되고, 3 장에서는 직교 부호기와 복호기를 갖는 주파수 diversity 를 제안하였다. 4 장에서는 모의실험을 통하여 제안한 주파수 diversity 의 성능을 보여주며, 마지막으로 5 장에서 결론을 맺는다.

II. 비전송을 갖는 OFDM 시스템

OFDM 전송이 다중 경로 채널에 강하다는 특성은 잘 알려져 있지만, 일부 부반송파들이 깊은 페이딩을 겪음으로써 시스템의 성능 저하가 발생하게 된다. 이를 위해 부채널 전력제어나 적응형 변복조와 같은 feedback 정보를 사용하는 기술들이 사용된다. 부채널 전력 제어 기술은 시스템의 BER 을 향상 시키기 위해서 데이터를 수신 SNR 을 기반으로 가변적인 전력으로 전송하는 방법이고, 적응형 변복조 기술은 수신 SNR 을 기반으로 적당한 변복조 방식을 채용하는 방법이다. 이러한 기술들은 수신 SNR 과 같은 feedback 정보를 표현하기 위해서 수 비트가 사용되며, 주파수 분할 다중화와 같은 방법을 사용하여 추가적인 feedback 채널을 통해 feedback 정보를 전송해야 한다. 이러한 feedback 정보의 전송은 주파수 사용 효율의 저하를 가져오게 된다. 따라서, feedback 정보를 이용하는 기술에 있어서 feedback 정보량의 감소는 고려해야 할 중요 사항 중 하나이다.

본 논문에서는 feedback 정보의 감소를 위하여, 간단한 비전송을 채택한 OFDM 시스템을 고려하였다. 제

안한 방식이 부채널 전력 제어나 적응형 변복조처럼 수신 SNR 에 기반을 두고 동작하지만, 수 비트 이상을 이용하여 표현되는 수신 SNR 자체를 전송하는 부채널 전력 제어나 $\log_2 M$ 개의 비트를 이용하여 표현되는 변복조 인덱스를 전송하는 적응형 변복조 방식에 비하여, 단지 전송 또는 전송 포기만을 지시하는 단일 비트를 feedback 정보로 전송함으로써, 주파수 낭비를 막을 수 있다. 또한, 다양한 변복조를 채택하는 적응형 변복조에 비하면, 하나의 변복조를 고정적으로 사용함으로써 적은 시스템의 복잡도의 증가로 시스템의 구현이 가능하다는 장점도 가지고 있다.

III. 제안한 주파수 Diversity 기술

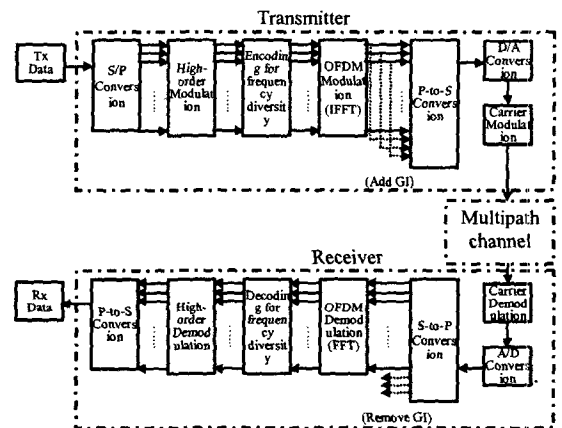


그림 1. 주파수 diversity 를 채택한 OFDM 시스템 블록도

일반적으로 좋은 성능과 우수한 주파수 사용효율을 위해 공간 diversity 기술이 많이 사용되지만, 공간 diversity 기술의 경우 개인 이동 통신용 단말기와 같이 공간적 크기에 제약이 있는 경우에는 적용이 불가능하고, 추가적인 안테나에 따른 시스템의 복잡성이 증가하게 된다. 따라서, 본 논문에서는 OFDM 시스템에서 비교적 적은 시스템의 복잡성 증가와 단일 안테나를 통해 구현 가능한 그림 1 의 주파수 diversity 를 고려하였다.

OFDM 시스템에서 일반적인 주파수 diversity 는 쉽게 구현이 가능하고, 단일 안테나를 사용하므로 공간적 크기에 있어서도 제약을 받지 않는다는 장점을 가지지만, 동일 데이터를 여러 개의 부반송파를 통하여 전송하므로 주파수 사용 효율의 저하라는 단점을 갖게 된다. 이러한 단점을 극복하기 위하여, 본 논문에서는 직교 부호기와 복호기를 갖는 새로운 주파수 diversity 를 제

안하였다.

2개의 가지를 갖는 주파수 diversity의 경우, 1개의 데이터를 복사하여 2개의 부반송파에 전송하는 일반적인 주파수 diversity와는 다르게, 제안한 주파수 diversity는 2개의 데이터를 직교 부호기로 혼합하여 k 번째 반송파와 $k+2/N$ 번째 반송파를 이용하여 전송하게 된다. 여기서 N 은 부반송파의 개수이다. 이때 전송을 위하여 직교적으로 부호화된 부호화기의 출력, S_k 는 식(1)과 같이 주어진다.

$$S_k = \frac{(X_k - X_{k+N/2}^*)}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

$$S_{k+N/2} = \frac{(X_k + X_{k+N/2}^*)}{\sqrt{2}}$$

여기서, X_k 는 전송되는 심벌이다.

식(1)로 부호화된 신호는 OFDM 변조되고 다중 경로 채널을 지난다. 이 과정에서 OFDM 시스템의 보호구간은 채널의 지연보다 크다고 가정하였다. 채널을 지나서 OFDM 복조된 출력, R_k 는 전송된 부호화 출력, S_k 와 채널의 주파수 전달 함수, H_k 의 곱으로 식(2)와 같이 주어지게 된다.

$$R_k = H_k S_k + N_k \quad (2)$$

$$R_{k+N/2} = H_{k+N/2} S_{k+N/2} + N_{k+N/2}$$

여기서, N_k 는 $N_0/2$ 의 double sided power spectral density를 갖는 백색 가우시안 잡음에 의한 k 번째 부반송파의 잡음성분이다.

채널 전달함수에 의하여 왜곡된 FFT 출력은 단순한 one-tap 등화기를 통하여 보상이 되어진다[3]. 이 과정에서, 채널 보상이 완벽하다고 가정하면, one-tap 등화기를 지난 출력, \hat{S}_k 는 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{S}_k = \frac{1}{H_k} \cdot R_k \quad (3)$$

$$\hat{S}_{k+N/2} = \frac{1}{H_{k+N/2}} \cdot R_{k+N/2}$$

왜곡이 보상된 등화기 출력은 직교 복호기를 통하여 전송된 심벌로서 식(4)와 같이 복원이 가능하다.

$$\hat{X}_k = \frac{(\hat{S}_k + \hat{S}_{k+N/2}^*)}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

$$\hat{X}_{k+N/2} = \frac{(-\hat{S}_k^* + \hat{S}_{k+N/2})}{\sqrt{2}}$$

IV. 모의실험결과

본 논문에서는 고속 광대역 전송을 위해 표 1에 주어진 파라미터 값을 갖는 OFDM 시스템을 사용하였

고, 다중 경로 채널 모델로서는 COST 259 Typical Urban(TU) 채널 모델[4]을 사용하였다. 제안한 주파수 diversity의 순수한 성능을 보이기 위하여, 시간과 주파수상의 동기 및 채널 보상이 완벽하다고 가정하고, 또한 오류가 없는 feedback 채널이 존재한다고 가정하였다. Feedback 정보의 전송을 위하여, 단일 비트를 이용하여 0은 전송포기, 1은 전송을 각각 나타내었다.

표 1. OFDM 시스템 파라미터

변복조	QPSK
부 반송파의 개수(N)	128
OFDM 심벌 길이	24μs
보호구간 (GI)	6μs
부반송파 tone spacing(1/T _s)	41.667KHz
Data rate	8.5Mbps
반송파 주파수	2.5GHz
요구되는 BER	10 ⁻⁶

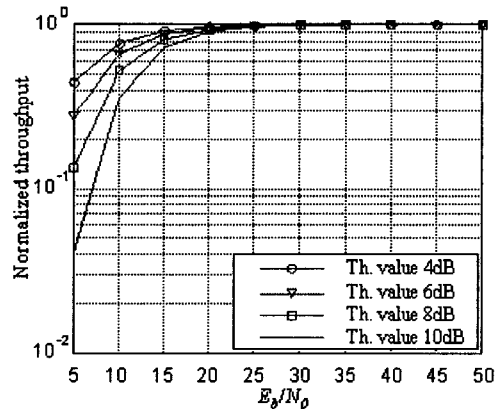


그림 2. 비전송을 위한 기준 수신 SNR 경계값에 따른 제안한 주파수 diversity의 정규화된 throughput 성능

그림 2은 비전송을 위한 기준 수신 SNR의 경계값이 E_b/N_0 에 있어서 각각 4, 6, 8, 10dB인 경우에 따른 제안한 주파수 diversity를 가지며 일반적인 QPSK 변복조를 채택한 OFDM 시스템의 정규화된 전송 throughput 성능을 보여준다. 결과에 따르면, 경계값이 증가함에 따라, 정규화된 throughput 성능이 저하됨을 알 수 있다. 이는 전송 포기의 확률이 정해진 경계값이 증가함에 따라 같이 증가하기 때문이다. 그림 2에 따르면, 전송 전력이 약 25dB 이상인 경우 정규화된 throughput의 성능이 경계값과는 무관하게 거의 유사한 성능을 보여주게 된다. 따라서, 본 논문에서는 시스템의 동작 전송 파워를 25dB로 설정하였다.

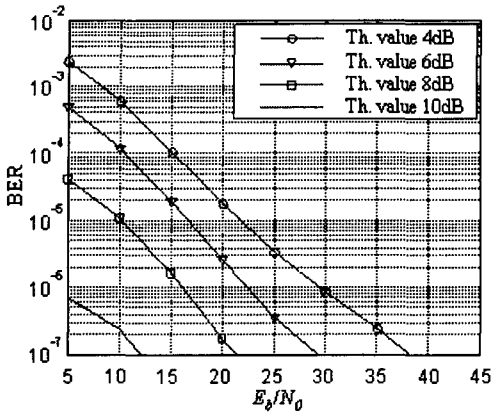


그림 3. 비전송을 위한 기준 수신 SNR 경계값에 따른 제안한 주파수 diversity 의 BER 성능

그림 3 은 비전송을 위한 기준 수신 SNR 의 경계값의 변화에 따른 제안한 주파수 diversity 의 BER 성능을 보여준다. 그림 3 을 통해, 기준 수신 SNR 의 경계값이 증가함에 따라 BER 성능 역시 증가하지만, 그림 2 에 보여진 것과 같이 throughput 성능은 반대로 저하된다. 따라서, 그림 2 를 통해 결정된 전송 전력 동작 영역인 25dB 에서 요구되는 BER 인 10^{-6} 을 지원하기 위해, 6dB 보다 큰 경계값이 요구됨을 알 수 있다. 따라서, 시스템의 throughput 성능을 고려하여 6dB 를 경계값으로 설정하였다.

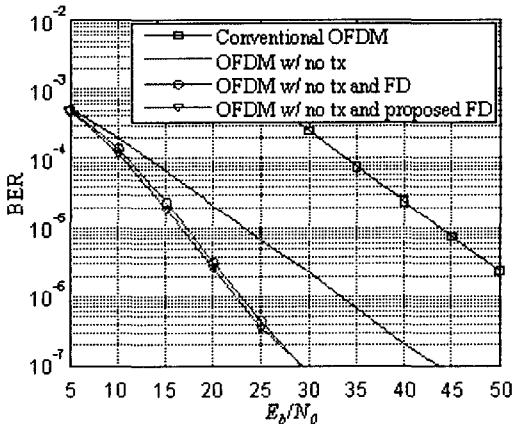


그림 4. 여러가지 OFDM 시스템의 BER 성능

그림 4 는 비전송을 위하여 미리 할당된 경계값이 6dB 인 경우, 다양한 OFDM 시스템의 BER 성능을 보여준다. Feedback 정보를 이용하는 비전송을 채택한 OFDM 시스템은 feedback 정보를 이용하지 않는 일반

적인 OFDM 시스템보다 약 15dB 이상의 성능 향상을 가지며, 주파수 diversity 를 추가적으로 채택하는 경우에는 그렇지 않은 경우보다 약 10dB 의 이득을 가진다. 비록, 일반적인 주파수 diversity 와 제안한 주파수 diversity 가 BER 에 있어서는 비슷한 성능을 보이지만, throughput 성능에 있어서 제안한 주파수 diversity 가 거의 2 배가 된다.

V. 결론

본 논문에서는, 비전송을 갖는 OFDM 전송을 위한 직교 부호기와 복호기를 갖는 주파수 diversity 를 제안하였다. 제안한 주파수 diversity 기법은 기존 주파수 diversity 와 비슷한 효과를 얻으면서, 기존 주파수 diversity 의 단점인 주파수 사용 효율의 저하 문제를 극복하였다. 결과에 따르면, 2 개의 가치를 갖는 주파수 diversity 의 경우, 제안한 주파수 diversity 는 기존 주파수 diversity 와 비슷하게 diversity 를 채택하지 않는 경우와 비교하여 약 10dB 의 diversity 이득을 주었다. 비록 제안된 주파수 diversity 가 기존의 주파수 diversity 와 비슷한 성능을 보이지만, 주파수 사용 효율에 있어서는 기존 주파수 diversity 보다 2 배 우수하다. 따라서, 제안한 주파수 diversity 는 공간적 크기에 제약이 있는 응용부분이나, OFDM 처럼 주파수 diversity 를 구현하기 쉬운 경우에 대해 좋은 diversity 기술의 대안이 될 수 있다.

참고문헌

- [1] H. Kang, W. Hwang and K. Kim, "Subchannel power control in the OFDM system to improve BER performance under the multipath channels," in Proc. IEEE ICC'2001, Helsinki, Finland, June 2001, pp. 1856-1860.
- [2] A. Czylik, "Adaptive OFDM for wideband radio channels," in Proc. IEEE GLOBECOM'96, London, UK, Nov. 1996, pp. 713-718.
- [3] H. Sari, G. Karam, and I. Jeanclaude, "Transmission techniques for digital terrestrial TV broadcasting," IEEE Commun. Mag., vol. 33, no. 2, pp. 100-109, Feb. 1995.
- [4] 3GPP TR 25.943 V4.0.0, Jun. 2001. IEEE 802.11, "Supplement to IEEE standard for information technology specific requirements. Part 11: wireless LAN MAC and PHY specifications: High-speed physical layer in the 5 GHz band," IEEE Std 802.11a-1999, 1999.