

# OFDM 시스템의 성능 개선에 관한 연구

## A Study on the Performance Improvement of OFDM System

문경섭

호남직업전문학교 정보통신설비과

Gyeong-seob Moon

Dept. of Information & Communication Facilities Honam Professional College.

E-mail : konlys@hanmail.net

### 요 약

본 논문에서는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing : 직교 주파수 분할 다중화) 전송방식을 사용한 시스템에서 주파수 오프셋으로 인한 동기 오차의 발생이 수신시스템에 미치는 영향을 분석하고 성능 개선기법으로 BCH부호기법을 적용하여 수신성능의 개선정도를 분석하였다. 결과에 의하면, BCH부호기법을 사용함으로써  $T_sAf=0.02$ 일 때 약 2dB의 BER 개선을 보였고,  $\alpha$ 의 영향을 적게 받을 수 있었고,  $T_sAf=0.05$ 일 경우는 가드 인터벌 비율  $\alpha$ 가 증가함에 따라 5dB이상의 BER 개선을 보이거나  $\alpha$ 가 0.25이상에서는 여전히 요구되는 기준 BER를 만족하지 못함을 알 수 있었다. 또한, 낮은 수신전력(10dB)에서는 가드인터벌 비율의 변화보다는 주파수 오프셋량이 시스템 성능에 영향을 미침을 알 수 있고, 높은 수신전력에서는 (20dB) 주파수 오프셋량에 대해서는 강인한 성능을 보이지만 가드인터벌 비율의 증가에 따라 BER 특성이 열화되는 것을 알 수 있었다.

### 1. 서론

급증하는 정보 통신의 수요와 다양한 정보 매체의 이용이 늘어남에 따라서 통신의 서비스는 디지털 및 대용량 고속 서비스를 필요로 하게 되었다. 이러한 정보 통신의 요구 조건을 만족하기 위하여 병렬 채널과 다중 반송파를 이용한 대용량 통신 방식을 고안하게 되었으며, OFDM 전송 방식은 가장 널리 알려진 다중 반송파 시스템의 하나이다[1]. OFDM은 고속 광대역의 정보신호를 다수의 부 반송파를 이용하여 협대역의 정보신호로 바꾸어 전송하는 방식으로서, 다중경로 전파전파 환경에서 발생하는 수신신호의 지연확산으로 인한 심볼간 간섭(ISI : Inter-symbol Interference)을 최소화 할 수 있다. 또한 광대역의 신호를 협대역화 함으로써 신호의 주기가 부

반송파의 수만큼 배가되기 때문에 주파수 영역에서 간단한 등화기를 사용하여 채널왜곡을 보상할 수 있는 장점을 가진다. 그러나 OFDM 전송시스템에서는 다수의 부반송파를 사용하게 되므로 송·수신단에서 변조 및복조에 사용되는 반송파의 주파수가 정확하게 일치되지 않는 경우 단일 반송파 방식에 비하여 에러의 증가율이 높아지게 된다. 이러한 반송파 주파수의 오차 그리고 데이터의 시작 위치를 찾지 못하여 발생하는 시간동기 오차 등은 OFDM의 특성과 관련하여 심각한 성능 저하의 요인이 된다[3].

따라서, 본 논문에서는 OFDM 전송방식과 DQPSK 변조방식을 사용한 시스템에서 주파수 오프셋의 따른 BER 특성과 BCH부호기법을 사용하여 BER 개선을 보였다.

### 2. OFDM 시스템 모델

OFDM 전송시스템은 다중경로 페이딩에 강할 뿐 아니라 부 반송파 간의 스펙트럼 중첩을 허용하므로 대역 효율을 극대화시킬 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 송신단과 수신단의 국부 반송파에 대한 발진기 오차 또는 도플러 천이를 발생시키는 무선 채널에서 발생하는 주파수 오프셋 등이 존재하는 경우, 다수의 부 반송파를 좁은 간격으로 배치하여 전송하는 OFDM 신호는 단일 반송파 신호에 비해 오히려 복조 시 심각한 성능저하를 유발하게 된다[4]. 그림 1은 주파수 오프셋의 영향으로 부 반송파 복조 시 발생하는 간섭현상을 설명하기 위해 나타낸 그림이다.

그림 1에서, 반송파 주파수 오프셋이 존재하는 경우 정보를 포함하고 있는 각각의 부 반송파는 부정확한 국부 반송파 주파수에 의해 검파를 시도하므로 에러가 발생할 확률이 높아지게 된다. 일반적으로 주파수 오프셋이 커질수록 간섭의 영향은 증가하게 되며 반송파가 많을수록 주파수 오프셋에 의한 수신성능 저하는 더욱 심각해진다[3].

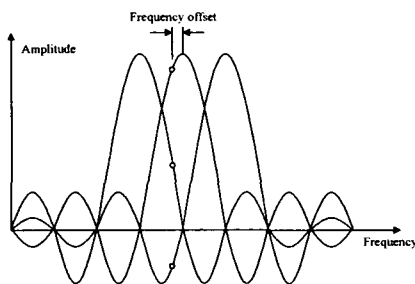


그림 1. 반송파 주파수 오프셋의 영향

### 3. 주파수 오프셋에 따른 OFDM 시스템

OFDM시스템에서 주파수 오프셋은 수신신호의 직교성을 무너뜨리기 때문에, 다른 부반송파로부터의 간섭의 요인이 된다. 주파수 오프셋은 도플러 쉬프트에 의한 채널간 간섭성분을 기초로 하여 도출하고 식(1)로 주어진다. 단, 주파수 오프셋을  $\Delta f$ , 심벌주기를  $T_s$ 로 한다[5].

$$(E_b/N_0)' = \frac{1}{N_0/E_b + \frac{2}{3}(\pi\Delta f T_s)^2} \tag{1}$$

열 잡음 환경하를 대상으로 한 지연검파방식에 있어서 비트 오율  $P_e$ 는 식(2)로 주어진다.

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left\{2\sqrt{E_b/N_0} \operatorname{Sin}\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{4}\right)\right\} \tag{2}$$

수신신호에 주파수 오프셋이 주어진 경우, 함수치와 신호간의 거리는 주파수 오프셋 양에 의존하여 변화한다. OFDM시스템에 있어서는 전송심벌의 선두에 가드 인터벌이 부가되기 때문에 주파수 오프셋에 의해 생기는 2심벌간의 위상 회전량은 가드인터벌 길이에 따라서 커진다. 이 때문에 가드인터벌에 의해 증가하는 위상 회전량을 고려할 필요가 있고 신호 A에 대한 비트오율  $P_{eA}$ 는 식(3)으로 주어진다.

$$P_{eA} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left[2\sqrt{E_b/N_0'} \operatorname{Sin}\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{\pi}{4} + 2\pi T_s \Delta f(1+\alpha)\right)\right\}\right] \tag{3}$$

신호 B에 대한 비트오율  $P_{eB}$ 는 식(4)로 주어진다.

$$P_{eB} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left[2\sqrt{E_b/N_0'} \operatorname{Sin}\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{\pi}{4} - 2\pi T_s \Delta f(1+\alpha)\right)\right\}\right] \tag{4}$$

따라서, 식(3),(4)에 의해서 비트오율  $P_{e(OFDM)}$ 는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$P_{e(OFDM)} = \frac{1}{2}(P_{eA} + P_{eB}) \tag{5}$$

여기서, 식(3)과 (4)의  $\alpha$ 를 0으로 하고,  $(E_b/N_0)'$ 를  $E_b/N_0$ 로 치환하게 되면 싱글캐리어 방식의 오율식과 동일하다.

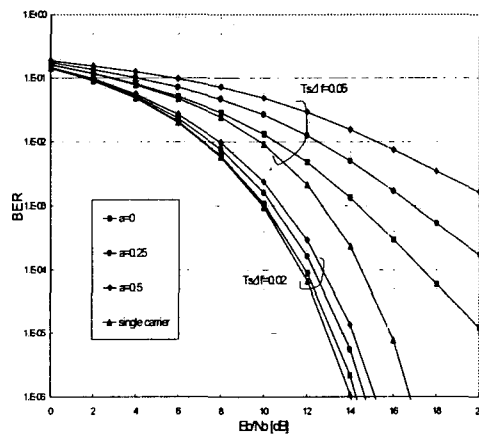


그림 3.  $E_b/N_0$ 에 대한 BER 특성 ( $T_s \Delta f = 0.02, 0.05$ )

그림 3, 4는 식(3), (4), (5)를 근거로 하여 반송

파의 주파수 오프셋과 가드인터벌 비율에 의한 위상왜곡이 OFDM-DQPSK의 BER 성능에 미치는 영향을 도시하고 있다. 그림 3에서  $10^{-6}$ 을 기준으로  $T_s\Delta f$ 가 0.02일 때, 14dB~15.5dB에서 기준 BER ( $10^{-6}$ )을 만족하였으나,  $T_s\Delta f$ 가 0.05일 때는 가드인터벌이 존재하는 시스템에서는 기준 BER을 만족하지 못함을 알 수 있다. OFDM 시스템은 싱글캐리어 방식과 비교하여 주파수 오프셋의 영향을 강하게 받고 심벌주기  $T_s$ 에 대한 가드인터벌의 비율  $\alpha$ 가 증가함에 따라 BER 특성이 열화하는 것을 알 수 있다.

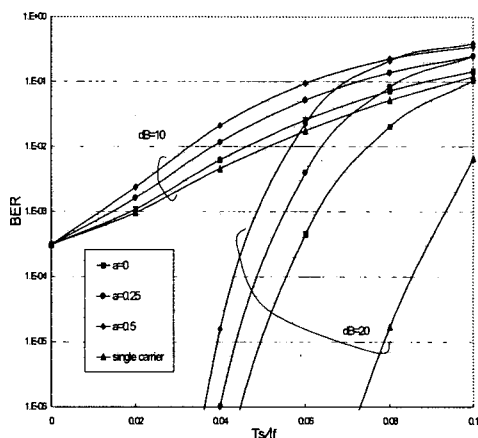


그림 4. 주파수 오프셋  $T_s\Delta f$ 에 대한 BER 특성 ( $E_b/N_0 = 10, 20 [dB]$ )

그림 4는 수신전력을 10, 20dB로 고정하였을 때, 주파수 오프셋량과 가드인터벌 비율에 따른 시스템 성능을 나타낸다. 낮은 신호전력 10dB일 경우는 가드인터벌 비율의 영향보다는 주파수 오프셋량이 시스템 영향에 크게 미침을 알 수 있고, 높은 신호전력 20dB에서는 가드인터벌 비율이 커지는 정도로 BER 특성이 열화되는 것을 알 수 있다.

#### 4. OFDM 시스템의 성능 개선

본 논문에서는 주파수 오프셋과 가드인터벌에 의해 증가하는 위상 회전량을 고려한 OFDM-DQPSK시스템의 성능을 개선하기 위해 에러 정정 부호로서, 장치화가 용이한 BCH부호기법을 적용했다. 그림 5, 6은 BCH 부호를 적용한 경우의 OFDM-DQPSK시스템 오율특성을 나타낸다. BCH부호로서,  $(n, k, t) = (7, 15, 2)$ 를 이용했다. 여기서,  $n =$  부호길이,  $k =$  정보 비트수,  $t =$  에러정정능력 개수이다.

그림 5에서 BCH부호기법을 적용함으로써,

$T_s\Delta f=0.02$ 일 때, 12.5dB~13dB에서 기준 BER을 만족하여 부호기법을 적용하지 않는 경우보다 약 2dB의 BER 개선을 보였으며,  $T_s\Delta f$ 가 0.05일 경우는  $\alpha$ 가 0과 0.25일 때 각각 16.3dB, 18.4dB에서 기준 BER을 만족함으로써, 효과적인 성능 개선을 얻을 수 있다. 그림 6은 BCH 부호기법을 적용했을 때, 수신전력을 10, 20dB로 고정하고 주파수 오프셋 량과 가드인터벌 비율에 따른 시스템 성능을 나타낸다. 10dB일 경우는 BCH 부호기법을 적용함으로써  $1 \times 10^{-1}$  BER의 성능이 개선됨을 알 수 있고, 20dB일 경우는 주파수 오프셋량이 0.015 증가하여도 요구되는 기준 BER을 만족할 수 있음을 알 수 있다.

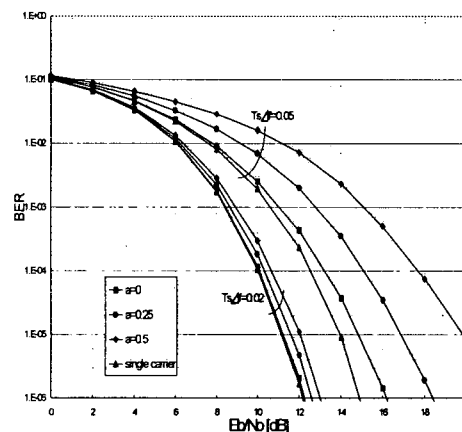


그림 5. BCH부호기법 적용 시,  $E_b/N_0$ 에 대한 BER 특성 ( $T_s\Delta f=0.02, 0.05$ )

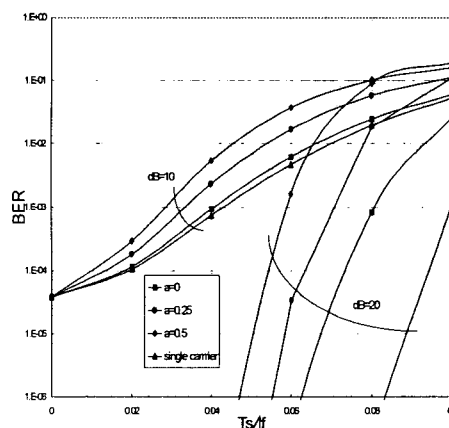


그림 6. BCH부호기법 적용 시, 주파수오프셋  $T_s\Delta f$ 에 대한 BER 특성 ( $E_b/N_0 = 10, 20 dB$ )

#### 5. 결론

OFDM 전송방식에 있어서 주파수 오프셋은 수신신호의 직교성을 무너뜨리기 때문에, 다른 부

반송파로부터의 간섭의 요인이 된다. 본 논문에서는 이를 개선하는 방법으로써, BCH부호화 기법을 채용하였으며, BCH부호기법을 사용함으로써,  $T_sAf=0.02$ 일 때 약 2dB의 BER 개선을 보였고,  $\alpha$ 의 영향을 적게 받음을 알 수 있었고,  $T_sAf=0.05$ 일 경우는 가드 인터벌 비율  $\alpha$ 가 증가함에 따라 5dB이상의 BER 개선을 보이나  $\alpha$ 가 0.25이상에서는 여전히 요구되는 기준 BER를 만족하지 못함을 알 수 있었다. 또한, 낮은 수신전력(10dB)에서는 가드인터벌 비율의 변화보다는 주파수 오프셋량이 시스템 성능에 영향을 미침을 알 수 있고, 높은 수신전력에서는(20dB) 주파수 오프셋량에 대해서는 강인한 성능을 보이지만 가드 인터벌 비율의 증가에 따라 BER 특성이 열화되는 것을 알 수 있었다. 주파수 오프셋에 의해 생기는 두심별간의 위상 회전량은 가드인터벌 길이에 따라 증가하기 때문에 열악한 채널 환경에서는 가드인터벌 길이를 적절하게( $\alpha=0.25$ ) 줄임으로써 높은 수신전력에서 주파수 오프셋에 의한 위상 회전량을 감소시켜 요구되는 QoS를 만족하는 시스템 설계가 가능하리라 사료된다.

Fujise, "Adaptive modulated OFDM radio transmission scheme using a new channel estimation method for future broadband mobile communication systems," IEICE Trans. Commun., vol.E85-B, no.12 Dec. 2002.

## 6. 참고문헌

- [1] O. Edfors, M. Sandell, J.-J. van de Beek, D. Landstrom and F. Sjoberg, "An introduction to orthogonal frequency-division multiplexing", Research Report TULEA 1996, Division of Signal Processing, Lulea University of Technology, 1996.
- [2] H. Sari G. Karam and I. Jeanclaude, "Transmission Techniques for Digital Terrestrial TV Broadcating", IEEE Communication Magazine, pp.100-109, February 1995
- [3] T. Pollet, M. van Bladel and M. Moeneclaey, "BER sensitivity of OFDM systems to carrier frequency offset and Wiener phase noise," IEEE Trans. on Commun, vol. 43, no. 2/3/4, pp.191-193, Fed./Mar./Apr. 1995.
- [4] 都竹 太田 中村 "遅延波が OFDM伝送にそえる影響", 映像情報 ソティア學會誌, Vol.51, No.9, pp. 1493~ 1503, 1997 年.
- [5] H. Harada, T. Yamamura, Y. Kamio, and M.