

무선 LAN 채널환경에서 반송파 주파수 오프셋을 고려한 OFDM 시스템 성능분석

김지웅* · 강희조** · 이권현***

*전남도립담양대학 인터넷정보통신과 · **목원대학교 IT공학부 · ***청주기능대학

Performance Analysis of OFDM System considering Carrier Frequency Offset in Wireless LAN Channel Environment

Ji-Woung Kim* · Heau-Jo Kang** · Kwon-Hyun Lee***

*Dept. of Internet Information Communication Eng., Provincial college of Damyang

Dept. of IT Eng., Mokwon Univ. · *Polytechnic college of Cheongju

E-mail : kjwcomm@korea.com

요 약

본 논문에서는 고속 광대역의 정보신호를 효율적으로 전송하기 위한 무선 LAN 채널환경에서 OFDM 전송방식을 사용할 때 반송파의 주파수 오프셋이 발생하는 동기 오차가 수신시스템에 미치는 영향으로 인한 수신 성능을 분석하였다. 성능개선 기법으로 Convolution Coding 기법을 적용함으로써 반송파 주파수 오프셋에 따른 성능 열화를 보상하였다. 성능 해석 결과, OFDM 시스템에서 주파수 오프셋이 커짐에 따라 성능이 열화됨을 알 수 있었고, ($BER = 10^{-3}$)를 목표로 하는 경우 OFDM 시스템에 Convolution Coding 기법을 적용함으로써 성능 개선이 나타났지만 64QAM방식인 경우 주파수 오프셋 0.05, 0.1에서 주파수 오프셋에 의한 캐리어간 간섭의 영향이 지배적임을 알 수 있다.

1. 서 론

최근 802.11 표준을 기반으로 하는 무선랜이 미국, 유럽, 영국에서도 그 영역을 급속히 확대하고 있으며, 국내에서도 02년 2월 1일 KT와 하나로 통신이 공중 무선랜 상용서비스를 실시하고 제1이동통신사업자인 SK Telecom도 무선랜 시장에 진입하면서 무선랜에 대한 관심이 급속도로 증가되고 있다.

고속의 무선랜의 표준안인 IEEE 802.11a와 HiperLAN/2에서는 2.4GHz에 비해 상대적으로 주파수 대역폭이 넓은 5GHz대의 무선주파수를 사용하고 고속의 데이터 전송에 적합하며 주파수 효율이 높은 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 변복조 방식을 공통적으로 사용한다 [1].

OFDM 방식은 변복조시에 고속 푸리에 변환(FFT : Fast Fourier Transform) 알고리즘을 사용하므로 회로의 규모를 작게 할 수 있고, 또한 전송시에 이용되는 서브캐리어의 수를 변화시킴으로써 전송 용량을 가변시킬 수 있다는 장점이 있다[2].

그리고 보호구간을 설치함에 의해 보호구간 길이 보다 지연 시간이 작은 지연 성분에 의해 발생하는 ISI (Inter-symbol Interference)의 영향을 완전히 제거 할 수 있다는 장점이 있다[3]. 그러나 OFDM 시스템은 부 반송파의 협대역화로 인해 작은 주파수 오프셋 (Offset)에 대해 SER (Symbol Error Rate) 성능 열화가 증가하는 단점이 있다[4]-[6].

본 논문에서는 반송파 주파수 오프셋이 OFDM 시스템에 미치는 성능 열화의 정도를 분석하였다. 또한, Convolution Coding기법을 적용하여 성능 개선 정도를 평가하고자 한다. 이로부터 요구하는 SER 성능을 만족시키기 위해 허용 가능한 최대 주파수 오프셋을 결정한다.

II. 반송파 주파수 오프셋을 고려한 OFDM 시스템

AWGN (Additive White Gaussian Noise) 채널에서 반송파 주파수 오프셋을 고려한 OFDM 시스템의 해석 모델은 그림 1과 같다.

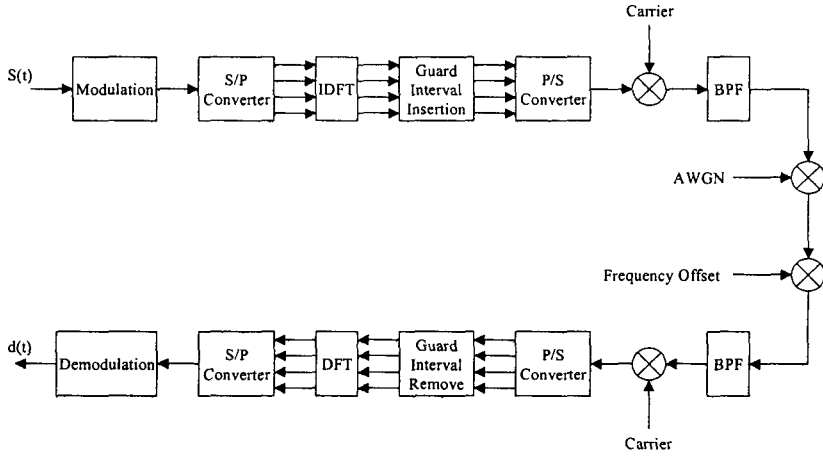


그림 1. 방송파 주파수 오프셋을 고려한 OFDM 시스템의 해석 모델

본 논문에서 고려된 변조 방식으로는 QPSK, 16QAM 및 64QAM을 고려하였다. OFDM 신호는 복조할 때 방송파간의 직교성이 무너지면 성능의 열화가 발생한다. 주파수 오프셋은 수진기에 있어서 동기화 및 이동에 따른 도플러 쉬프트의 영향 등에 의해 발생한다.

수신기 측에서 기대되는 주파수 f_c 에서 $-\Delta f$ 만큼 주파수가 어긋난 정현파 $e^{-j2\pi(f_c - \Delta f)t}$ 가 생성되었다고 하면 베이스 밴드 OFDM 신호는 아래와 같이 된다. 단, 이 경우에는 간략화를 위해 전송로 왜곡은 존재하지 않는 ($H(f) = 1$)이라고 가정하고, 식 속에서는 부가잡음의 항도 생략하고 있다. Δf 를 가려져 주파수 오프셋이라 부른다.

$$s_B(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} g(t - mT_s) \quad (1)$$

$$\sum_{n=0}^{N-1} d(m, n) e^{j2\pi n f_0 (t - mT_s)} e^{j2\pi \Delta f t}$$

식(1)에서는, 주파수 오프셋이 없는 경우에 나타나지 않는 항 $e^{j2\pi \Delta f t}$ 가 곱해져 있다. 이 신호는, 이 후 식(2)와 같이 표현된다.

$$s_B\left(kT_s + \frac{t}{Nf_0}\right) = e^{j2\pi k \Delta f T_s} \sum_{n=0}^{N-1} d(k, n) e^{j\frac{2\pi n t + \alpha t}{N}} \quad (2)$$

식(2)에 있어서 α 는 이하의 식에 의해 표현되는 파라미터이고, 방송파 간격에 대한 주파수 오프셋의 크기를 나타낸다. α 를 정규화 주파수 오프셋이라 부른다.

$$\alpha = \frac{\Delta f}{f_0} \quad (3)$$

이 표현식에 대해서 DFT를 적용하는 것에 의해, 시간 k 의 OFDM 심벌의 l 번째의 방송파에 대한 복조 심벌 $\hat{d}(k, l)$ 가 얻어진다.

$$\hat{d}(k, l) = \sum_{n=0}^{N-1} \hat{c}(k, l, n) d(k, n) \quad (4)$$

단,

$$\hat{c}(k, l, n) = \frac{1}{N} \cdot \frac{\sin\{\pi(n-l+\alpha)\}}{\sin\frac{\pi(n-l+\alpha)}{N}} e^{j2\pi k \Delta f T_s} e^{j\frac{\pi(N-1)(n-l+\alpha)}{N}} \quad (5)$$

이다. 식(4)로부터 알 수 있듯이, 복조 심벌 $\hat{d}(k, l)$ 는, 희망하는 심벌 $d(k, l)$ 만이 아니라, 동일한 OFDM 심벌 내의 그 외의 모든 방송파 전송된 심벌의 성분을 포함하고 있고, 캐리어간 간섭이 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 계수 $\hat{c}(k, l, n)$ ($n \neq l$)은 n 번째의 방송파로 전송된 심벌의 l 번째의 방송파로 전송된 심벌에의 간섭을 나타내는 것이다. $\hat{c}(k, l, l)$ 은 l 번째의 방송파로 전송된 심벌의 왜곡을 나타낸다. 이것을 이용하여 심벌 오차를 해석하는 것이 가능하다.

최초로, 복조 심벌 $\hat{d}(k, l)$ 의 평균전력을 구한다. 단, 모든 k, l 에 대해서, 심벌의 변조방식은 같고, $E[|\hat{d}(k, l)|^2] = \sigma_d^2$ 인 것으로 한다.

이것으로부터 알 수 있듯이, 복조 심벌의 평균

전력은 k, l 에 관계없이 항상 일정하게 된다. 이것은, 일정한 주파수 오프셋이 존재하는 경우에는 임의의 심벌에 있어서 다른 반송파와의 간섭파, 다른 반송파에서의 간섭이 같은 양인 것을 나타내고 있다. 멀티패스가 존재하는 경우에는 이것은 성립하지 않는다.

여기에서, l 번째의 반송파에 대한 희망심벌성분의 평균전력은 식(6)과 같이 된다.

$$E[|\hat{c}(k, l, l)d(k, l)|^2] = \frac{\sigma_d^2}{N^2} \cdot \frac{\sin^2(\pi\alpha)}{\sin^2 \frac{\pi\alpha}{N}} \quad (6)$$

이것에서, 간섭성분의 평균전력 $P_I(l)$ 는 식(7)과 같이 표현된다.

$$P_I(l) = \sigma_d^2 - \frac{\sigma_d^2}{N^2} \cdot \frac{\sin^2(\pi\alpha)}{\sin^2 \frac{\pi\alpha}{N}} \quad (7)$$

여기에서, 전송로에 있어서는 백색 가우스 잡음이 부가되어 있는 것으로 가정하고, 각 심벌마다의 평균전력을 $2\sigma_d^2$ 이라 하면, l 번째 반송파의 희망 심벌의 SN비 $\gamma(l)$ 은 식(8)과 같이 표현된다.

$$\gamma(l) = \frac{\frac{1}{N^2} \cdot \frac{\sin^2(\pi\alpha)}{\sin^2 \frac{\pi\alpha}{N}}}{1 - \frac{1}{N^2} \cdot \frac{\sin^2(\pi\alpha)}{\sin^2 \frac{\pi\alpha}{N}} + (CNR)^{-1}} \quad (8)$$

식(5)을 이용하는 것에 의해, 주파수 오프셋이 존재하는 경우의 각 반송파의 심벌에 대한 심벌 오율을 구하는 것이 가능하다.

표1은 본 논문에서 고려한 시스템 파라미터이다.

표.1 OFDM 시스템 파라미터

반송파 수	1024
반송파 간격	4KHz
유효 심벌 길이	250 μ s
보호구간 길이	31.25 μ s
전송대역에서의 최소 반송파 주파수	100MHz

III. 수치해석 및 검토

본 논문에서는 반송파 주파수 오프셋이 존재하

는 OFDM 시스템의 성능을 분석하였다. 또한 OFDM 시스템에 Convolution Coding 기법을 적용함으로써 성능의 개선을 보였다.

그림 2는 주파수 오프셋 0, 0.05, 0.1에서 OFDM/QPSK 시스템의 성능을 분석하였다. 주파수 오프셋이 증가할수록 시스템의 성능 열화가 나타남을 알 수 있었고 Convolution Coding 기법을 적용함으로써 약 4 dB 이상의 성능 개선을 보였다. 또한, 주파수 오프셋이 증가함에 따라 Convolution Coding 기법을 적용함으로써 성능개선 정도가 증가함을 알 수 있었다.

그림 3과 그림 4는 AWGN 환경에서 주파수 오프셋에 따른 OFDM/MQAM 시스템의 성능을 분석하였다. OFDM/MQAM 시스템의 경우 OFDM/QPSK 시스템에 비해 주파수 오프셋의 영향에 민감함을 알 수 있었으며 OFDM/64QAM 시스템인 경우 (BER = 10⁻³)를 목표로 할 때 주파수 오프셋 0.05, 0.1에서 높은 E_b/N₀에서도 요구하는 품질을 만족할 수 없음을 알 수 있었다. 주파수 오프셋이 커지면 SER은 급격하게 열화되고 QPSK를 이용하는 경우보다 정밀도가 높은 주파수 동기화 필요하게 됨을 알 수 있었다. 또한 요구하는 품질을 만족하고 최대의 허용가능 주파수 오프셋 값을 알아낼 수 있다.

그림 5는 주파수 오프셋에 따른 OFDM/MQAM 시스템의 성능을 분석하였다. Convolution Coding 기법을 적용함에 따라 성능 개선이 나타났지만 OFDM/64QAM 시스템에서 주파수 오프셋이 0.1인 경우 성능의 개선정도가 미약하였고 (BER = 10⁻³)을 목표로 할 때 요구하는 SER을 만족하지 못함을 알 수 있었다. 이는 주파수 오프셋에 의한 캐리어간 간섭의 영향이 지배적임을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] 박용우, "무선랜 시장의 주요이슈 및 시사점," 정보통신정책, 제 14권, 8호, 2002. 5.
- [2] J. A. C. Bingham, "Multicarrier modulation for data transmission: An idea whose time has come," IEEE Commun. Mag., vol. 28, no. 5, pp. 5-14, May 1990.
- [3] S. Hara, M. Mouri, M. Okada, and N. Morinaga; "Transmission performance analysis of multicarrier modulation in frequency selective fast Rayleigh fading channel," Wireless Personal Commun., vol. 2, pp. 335-356, Jan.-Feb. 1996.
- [4] H. Sari, G. Karam, and I. Jeanclaude, "Transmission techniques for digital terrestrial TV broadcasting," IEEE Commun. Magazine, pp. 100-109, Feb. 1995.
- [5] William D. Warner and Cyril Leung, "OFDM/FM frame synchronization for

mobile radio data communication," IEEE Transaction on Vehicular Technology, pp. 302-313, vol. 42, no. 3, August 1993.

[6] T. M. Schmidl and D.C. Cox, "Blind synchronization for OFDM," Electronics Letters, vol. 33, no. 2, pp. 113-114, Jan. 1997.

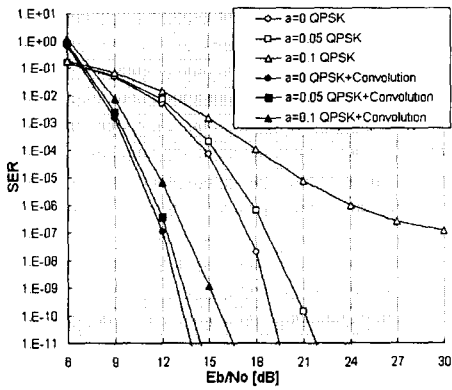


그림 2. AWGN 환경에서 주파수 오프셋에 따른 OFDM/QPSK 시스템의 SER 성능

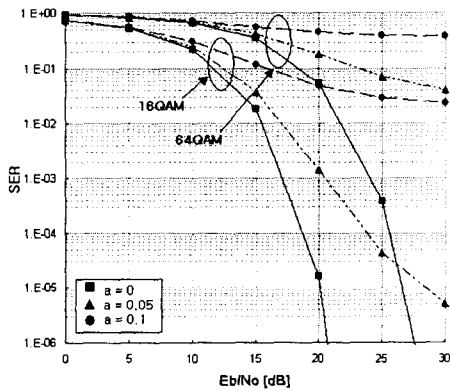


그림 3. AWGN 환경에서 주파수 오프셋에 따른 OFDM/MQAM 시스템의 SER 성능

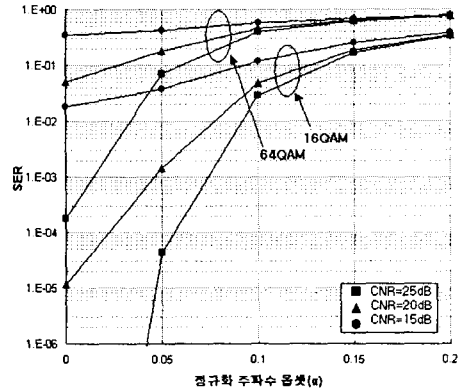


그림 4. 정규화된 주파수 오프셋에 따른 OFDM/MQAM 시스템의 SER 성능(부 반송파수 1024)

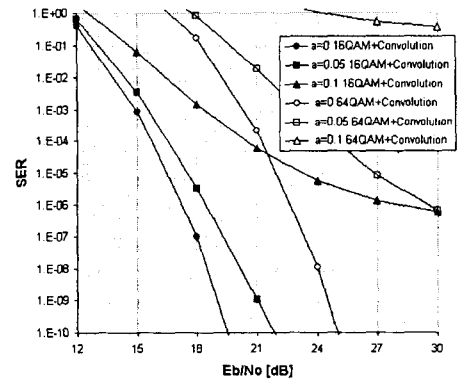


그림 5. 주파수 오프셋에 따른 OFDM/MQAM 시스템의 SER 성능(Convolution Coding 고려)