

무선 LAN 시스템 성능개선에 관한 연구

조주필*

A Research on Performance Improvement of Wireless LAN System

Juphil Cho*

Department of Radiocommunication Engineering, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

요 약

본 논문은 4세대 무선 통신방식의 하나인 OFDM 기반의 60 GHz 무선 랜에서의 위상잡음의 영향에 관하여 논한다. 60 GHz 주파수 대역은 광대역 전송이 가능할 뿐만 아니라 실내 무선 환경에서의 무선 링크를 밀집시킬 수 있다는 장점이 있다. 본 논문에서는 시스템 구현이 용이한 위상잡음 억제 알고리즘을 OFDM 기반의 60 GHz 무선 랜 시스템에 적용하고 이에 따른 성능을 SER 측면에서 분석하였다. 60 GHz 대역에서 발생하는 위상잡음 환경에서 위상잡음 억제 알고리즘을 적용한 경우, 그렇지 않은 경우에 비해 16-QAM, 64-QAM에서 각각 6 dB, 7.5 dB 정도의 SER 성능 향상을 보였다.

ABSTRACT

We investigate the OFDM-based wireless LAN systems operating in the 60 GHz frequency band as part of the fourth-generation (4G) systems. The 60 GHz band is of much interest since this is the band in which a massive amount of spectral space has been allocated worldwide for dense wireless local communications. This paper gives an overview of 60 GHz band channel characteristics and an effect on phase noise. The performance of OFDM system is severely degraded by the local oscillator phase noise, which causes both common phase error and inter-carrier interference. In this paper, we apply phase noise suppression (PNS) algorithm that is easy for implementation to OFDM based 60 GHz wireless LAN system and analyze the SER performance. In case of using the PNS algorithm, SER performance is improved about 6 dB, 7.5 dB, respectively in 16, 64-QAM.

키워드 : 직교주파수분할다중화, QAM, 채널, 위상

Key word : OFDM, QAM, Channel, phase

접수일자 : 2014. 03. 11 심사완료일자 : 2014. 04. 07 게재확정일자 : 2014. 04. 24

* **Corresponding Author** Juphil Cho(E-mail: stefano@kusan.ac.kr, Tel: +82-63-469-4749)

Department of Radiocommunication Engineering, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.5.1028>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

무선 랜 대역으로 사용가능한 60 GHz 대역은 광대역 전송이 가능할 뿐만 아니라 전파의 흡수감쇄가 크다는 특성을 가지고 있기 때문에 여러 응용 분야에 이용되고 있다[1]. 위의 응용분야에서 상업용 시스템에서는 대용량의 단거리 통신 시스템, 무선 랜, 가정의 구내 배선의 무선화(wireless homelink) 등에 이용되며, 이를 광통신과 결합하여 광대역 통신을 가능케 하는 이동통신 시스템에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 나아가 차세대 이동통신에서도 60 GHz 응용 시스템이 나타날 것으로 예측되고 있다. 유럽의 IST에서 주도하고 있는 BroadWay 프로젝트는 새로운 보호구간의 개념을 도입한 OFDM 시스템 연구, 저가의 RF단 구조에 관한 연구 등을 2001년에 수행하기 시작하여 현재 완료된 상황이다[2]. 60 GHz 대역은 주파수가 높기 때문에 대역폭을 넓게 선정할 수 있으며, 이러한 이유로 대용량 멀티미디어 통신에 적합하다. OFDM 이러한 광대역 전송에 매우 유리한 변조 기법이다. 하지만 송수신부의 비이상적인 국부 발진기에서 발생하는 위상잡음은 OFDM 시스템에서 공통위상잡음과 인접한 채널과의 간섭을 발생시켜 성능 저하를 일으킨다. 특히, 60 GHz의 주파수를 얻기 위해 5 GHz의 국부 발진기를 채택하여 사용할 경우, 위상잡음은 채택하기 전보다 22 dBc정도가 증폭되는데 이는 성능저하의 요인뿐만 아니라 높은 차수의 변조신호를 사용할 경우의 부반송파간 간섭을 증가시킨다[3, 4, 8].

본 논문에서는 OFDM 방식을 이용한 60GHz 무선 랜 시스템을 위해 낮은 주파수의 발진기를 채택하여 사용할 경우의 위상잡음에 의한 영향을 파악하고 이를 최소화하기 위한 알고리즘을 적용하여 성능을 분석하였다. 위상잡음의 영향을 최소화하기 위한 다양한 알고리즘 중 논문 [9]에서 제안한 시스템 구현이 용이한 하나의 등화기 탭으로 구성할 수 있는 알고리즘을 적용하였다. 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 60GHz 대역의 실내 무선 채널 특성과 위상잡음의 특성과 OFDM 시스템에 미치는 영향, 그리고 위상잡음 억제 알고리즘에 대하여 알아본다. III장은 II장에서 언급한 내용을 바탕으로 한 모의실험 결과를 분석하고 IV장의 결론으로 끝을 맺는다.

II. 실내 채널 특성

2.1. SINR 해석

OFDM 시스템에서 위상잡음 및 주파수 오프셋에 관한 영향을 많은 문헌에서 다양한 방식으로 연구되었다[6, 7]. 본 논문은 신호대 간섭과 잡음의 비 (signal to interference plus noise ratio; SINR)의 방식으로 위상잡음의 영향을 해석한다. 그림 1은 위상잡음이 존재하는 OFDM 시스템의 블록을 간략하게 나타낸 것이다.

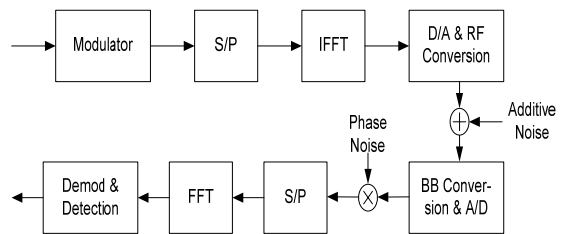


그림 1. 위상잡음을 갖는 OFDM 시스템
Fig. 1 OFDM System with Phase Noise

그림 1의 송신부의 출력신호는 다음과 같이 표현된다.

$$x_m(t) = e^{j2\pi f_c t} \sum_{n=-N_g}^{N-1} x_m(n)g(t-nT/N) \quad (1)$$

여기에서 N_g 는 CP의 길이, f_c 는 캐리어 주파수, T 는 심볼 주기, 그리고 $g(t)$ 는 송신필터를 의미한다. 수신 필터와 채널의 응답을 각각 $f(t)$ 와 $h(t)$ 로 가정하면 로 $p(t) = g(t) \otimes h(t) \otimes f(t)$ 로 쓸 수 있으며 수신된 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r_m(t) = e^{j2\pi f_c t} \sum_{n=-N_g}^{N-1} x_m(n)p(t-nT/N) + z_m(t) \quad (2)$$

여기에서 $z_m(t)$ 는 부가잡음을 나타낸다. RF 신호의 다운컨버전 시 발진기에 의해 위상잡음이 발생하며 $p(t)$ 가 나이퀴스트의 조건을 만족한다고 가정하면 수신부에서 $t=nT/N$ 마다 샘플링하여 CP를 제거한 결과의 m 번째 OFDM 심볼의 n 번째 샘플은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_m(n) = x_m(n) \otimes h_m(n) \cdot \exp[j\phi_m(n)] + z_m(n) \quad (3)$$

전송신호가 상호 독립적인 신호라 가정하면 $E[X_m(k)X_m^*(l)] = E_s \cdot \delta(k-l)$ 을 만족한다. 여기서 E_s 는 전송신호의 전력을 의미하며 SINR은 다음과 같다.

$$SINR = \frac{E[|P_m(0)|^2]}{\sum_{l=1}^{N-1} [|P_m(l)|^2] + \frac{\sigma^2}{E_s}} \quad (4)$$

일반적으로 발진기의 위상잡음 $\phi(n)$ 은 평균이 0이고 분산이 $4\pi\beta T$ 인 Wiener-Levy 프로세스로 모델링 될 수 있기 때문에 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\phi_m(n) = \sum_{i=0}^{m(N+N_g)+N_g+n} w(i) \quad (5)$$

위 식에서 $w(n)$ 은 평균이 0이고 분산이 $\sigma^2 = 4\pi\beta T/N$ 인 i.i.d. 백색 가우시안 랜덤 시퀀스이다. 수신단에서 FFT를 수행하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$P_m(l) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \exp[j\phi_m(n)] \cdot \exp[j(2\pi/N)nl] \quad (6)$$

식 (5)를 식 (6)에 대입하면 CPE성분인 $P_m(0)$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_m(0) = \frac{1}{N} \exp \left[j \sum_{i=0}^{m(N+N_g)+N_g+n} w(i) \right] \cdot \sum_{n=0}^{N-1} \exp \left[j \sum_{i=0}^n u(m(N+N_g)+N_g+i) \right] \quad (7)$$

위 식에서 위상잡음이 매우 작다고 가정하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_m(0) = \frac{1}{N} \exp \left[j \sum_{i=0}^{m(N+N_g)+N_g+n} w(i) \right] \cdot \left[1 + \frac{j}{N} \sum_{i=0}^n (N-n)w(m(N+N_g)+N_g+m) \right] \quad (8)$$

위 식의 N이 충분히 크다고 가정하면 $E[|P_m(0)|^2]$ 은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$E[|P_m(0)|^2] = 1 + \frac{\sigma^2(N+1)(2N+1)}{6N} \approx 1 + \frac{4\pi\beta T}{3} \quad (9)$$

또한 식 (9)는 다음과 같이 변형될 수 있다.

$$E[|P_m(l)|^2] = \frac{\sigma_w^2}{N^2 \sin^2(\pi l/N)} \sum_{n=0}^{N-1} \sin^2(\pi nl/N) \quad (10)$$

$$= \frac{2\pi\beta T}{N^2 \sin^2(\pi l/N)}$$

식 (9)와 (10)을 이용하면 식 (7)의 SINR은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$SINR = \frac{E[|P_m(0)|^2]}{\sum_{l=1}^{N-1} [|P_m(l)|^2] + \frac{\sigma^2}{E_s}} \quad (11)$$

$$= \frac{3 + 4\pi\beta T}{\frac{6\pi\beta T}{N^2} \sum_{l=1}^{N-1} \frac{1}{\sin^2(\pi l/N)} + 3 \cdot \frac{\sigma^2}{E_s}}$$

위 식의 상한과 하한은 다음과 같은 관계를 만족한다.

$$SINR \leq \frac{3 + 4\pi\beta T}{\frac{12\beta}{\pi} \sum_{m=1}^{N/2-1} m^{-2} + \frac{6\pi\beta}{N^2} + \frac{3\sigma^2}{E_s}} \quad (12)$$

$$= \frac{3 + 4\pi\beta T}{\frac{\pi^3\beta}{4} + \frac{6\pi\beta}{N^2} + \frac{3\sigma^2}{E_s}}$$

위상잡음이 QAM 신호의 심볼 오류확률에 미치는 영향을 알아보기 위해 식 (13)을 적용한다.

$$P_e \leq 4/\sqrt{M} \cdot Q(\sqrt{3SINR/M}) \quad (13)$$

위 식에서 M은 신호의 레벨을 나타낸다.

SNR이 높은 영역에서 SINR은 식 (14)로 수렴하며 SNR이 더 증가하더라도 오류확률이 더 이상 감소하지 않기 때문에 식 (15)와 같은 오차마루(error floor)를 형성한다.

$$SINR = \frac{4N^2(3 + 4\pi\beta t)}{\pi\beta(\pi N + 24)} \quad (14)$$

$$P_c = 4 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \cdot Q \left(\frac{12N^2(1+\pi\beta)}{(M-1)\pi\beta} \right) \quad (15)$$

2.2. 위상잡음 억제 알고리즘

수신된 신호의 위상잡음을 최소화하기 위해 논문 [9]에서 제안한 위상잡음 억제 (phase noise suppression: PNS) 알고리즘을 이용한다. 그림 2는 OFDM 시스템에서 위상잡음 억제 알고리즘을 고려한 블록도이다.

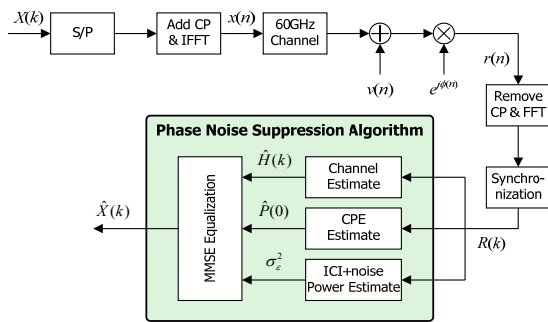


그림 2. PNS 알고리즘의 블록도
Fig. 2 Block diagram of PNS algorithm

추정 송신신호 $\hat{X}_m(k)$ 는 $\hat{X}_m(k) = R_m(k) * C_m(k)$ 와 같이 나타낼 경우, MMSE 등화기는 다음과 같다.

$$C_m(k) = \frac{P_m(0)H_m(k)}{|P_m(0)H_m(k)|^2 + \frac{\sigma_z^2(m)}{E_s}} \quad (16)$$

식 (16)의 MMSE 등화기에 필요한 성분은 CPE 성분인 $P_m(0)$ 와 ICI 성분과 채널의 부가잡음이 더해진 ϵ 의 분산이다. 위상잡음 억제 알고리즘을 정리하면 다음과 같다. 첫째, OFDM 심볼에 등간격으로 존재하는 파일럿 톤을 이용하여 CPE 성분을 추정한다. 식 (4)의 가우시안 잡음이라고 가정하면 $P_m(0)$ 의 추정치는 식 (17)과 같은 LS(least square)를 이용하여 구할 수 있으며 $P_m(0)$ 의 추정치는 식 (18)로 주어진다.

$$\min \sum_{k \in S_p} |R_m(k) - P_m(0)X_m(k)H_m(k)|^2 \quad (17)$$

$$P_m(0) = \frac{\sum_{k \in S_p} R_m(k)X_m^*(k)H_m^*(k)}{\sum_{k \in S_p} |X_m(k)H_m(k)|^2} \quad (18)$$

III. 모의실험

본 절에서는 모의실험을 통하여 II절에서 설명한 PNS 알고리즘의 성능을 분석한다. 모의실험에 사용된 실내 무선채널은 논문 [5]에서 실제 측정된 파라미터를 사용한 Saleh-Valenzuela의 모델을 사용하였다. 60 GHz를 발생시키는 발진기는 IEEE 802.11a [10] 시스템에 주로 사용되는 발진기를 12배 체배 시켰다고 가정하였으며 이러한 경우 위상잡음은 22 dBc/Hz가 더해진다. 송신신호는 16-QAM, 64-QAM으로 변조된 신호를 사용하였다. 모의실험을 위해 500개의 패킷을 사용하였으며 1개의 패킷은 30개의 OFDM 심볼로 이루어져 있다. 1개의 패킷은 프리앰블과 페이로드로 구성되며 프리앰블의 구조는 IEEE 802.16 시스템의 프리앰블과 같은 구조를 사용하였다. 모의실험에서의 채널추정을 위해 각각 128개의 파일럿 심볼을 갖는 2개의 long 프리앰블마다 채널 추정을 한 후 평균을 취하였다. 채널추정은 선형보간 방법(linear interpolation method)과 고차보간 방법 (higher order interpolation) 중에서 Cubic method을 이용한 방법을 사용하였다. 그림 3의 결과에서 위상잡음의 전력이 강한 환경에서는 채널추정 오차보다는 위상잡음으로 인한 ICI 성분이 OFDM 전송 시스템의 가장 큰 성능저하의 요인으로 작용하기 때문에 나타나듯이 성능개선이 크지 않음을 알 수 있다. 또한, SNR이 40 dB일 때, 위상잡음 억제 알고리즘을 이용한 경우가 SER은 10^{-2} 을 나타내며 알고리즘을 사용하지 않았을 때보다 6 dB정도의 나아진 결과를 보여준다. 또한 낮은 SNR 영역에서 영-강압(zero-forcing) 등화기의 성능은 MMSE 등화기보다 떨어지나 대체적으로 성능이 비슷함을 나타낸다.

64-QAM의 신호레벨을 사용할 때의 심볼 오류 곡선으로 16-QAM을 사용할 때보다 전체적인 성능의 저하를 보인다. SNR이 40 dB일 때 위상잡음 억제 알고리즘을 사용할 때 7.5 dB정도의 성능 향상을 보이며 그림 4에서는 부호화를 통해 성능 향상을 얻고자 코드율 1/2를 갖는 컨벌루션 코드로 부호화하여 심볼오류 곡선을 나타낸 것이다. 위상잡음 억제 알고리즘과 부호화를 동시에 적용하였을 경우로서 13.5dB의 성능 향상을 기대할 수 있음을 보여준다.

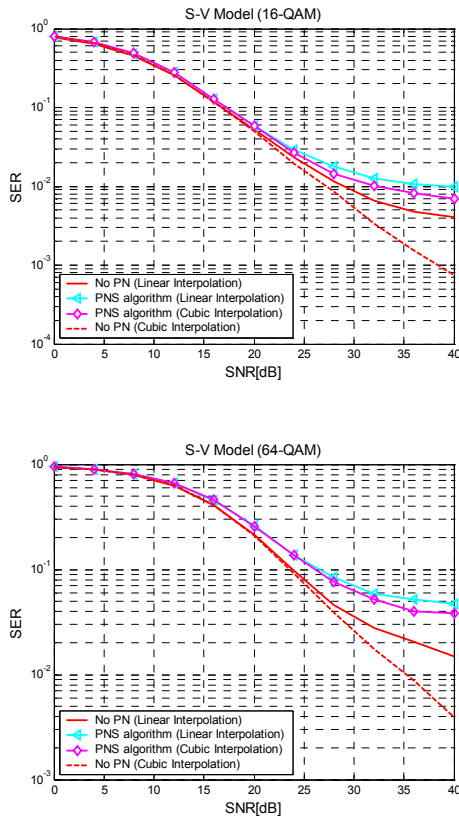


그림 3. 선형보간법과 고차보간법의 채널추정을 이용한 시스템의 SER 곡선블록도
Fig. 3 SER curve of system using channel estimation with linear interpolation method and higher order interpolation algorithm

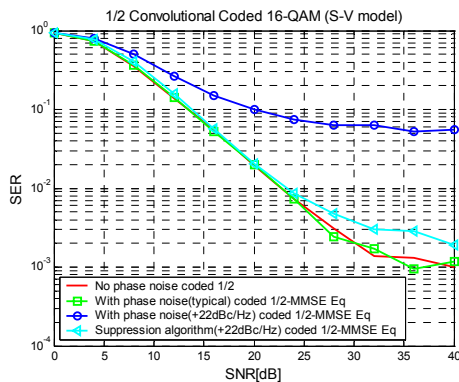


그림 4. 1/2 컨벌루션 코드를 이용한 시스템의 SER 곡선
Fig. 4 SER curve of system using 1/2 convolution code

IV. 결론

본 논문에서 고려한 위상잡음 억제 알고리즘은 단일 탭 등화기 형태의 알고리즘이다. PNS 알고리즘을 사용하면 위상잡음이 강한 환경에서도 높은 성능 개선을 얻을 수 있음을 모의실험을 통하여 보였다. 간단한 구조를 갖는 알고리즘 적용으로 인해 시스템 구현이 용이하리라 판단되며 본 논문에서 수행한 PNS 알고리즘은 저가의 국부 발진기를 사용하는 OFDM 시스템의 성능향상에 도움을 줄 것으로 판단된다. 위상잡음의 영향을 최소화하기 위해 위상잡음 억제 알고리즘을 이용하였을 경우에 60 GHz 대역에서 갖는 위상잡음 환경에서 PNS 알고리즘을 채용하지 않았을 때 보다 16-QAM에서는 6 dB, 64-QAM에서는 7.5 dB 정도의 SER 성능 향상을 나타내었다. 성능 향상을 위해 코드율 1/2를 갖는 컨벌루션 코드를 사용한 16-QAM에서는 코드를 사용하지 않은 시스템보다 9 dB정도의 이득과 위상잡음 억제 알고리즘의 사용여부에 따라 13.5 dB 정도의 성능 차이를 보였다.

감사의 글

이 논문은 2013학년도 군산대학교 대학자체 학술 공모과제 연구비 지원에 의하여 연구되었음.
 본 연구는 전라북도 TP 신성장산업연구개발사업의 지원으로 수행되었음.
 본 연구는 군산대학교 정보통신기술연구소의 부분적인 지원으로 수행되었음.

REFERENCES

- [1] P. Smulders, "Exploiting the 60GHz band for local wireless multimedia access: prospects and future directions," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 1, pp. 140-147, Jan. 2002.
- [2] IST broadband <http://www.ist-broadway.org>
- [3] H. Xu, V. Kukshya, and T. S. Rappaport, "Spatial and temporal characteristics of 60-GHz indoor channels," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 20, no. 3, pp. 620-630, Apr. 2002.

- [4] A. A. M. Saleh and R. A. Valenzuela, "A Statistical model for indoor multipath propagation," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 5, No. 3, pp. 128-137, Feb. 1987.
- [5] J. H. Park, Y. Kim, Y. S. Hur, K. Lim and K. H. Kim, "Analysis of 60GHz band indoor wireless channels with channel configurations", in *Proc. PIMRC*, 1998, pp. 617-620.
- [6] 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, Feb./Mar./Apr. 1995.
- [7] L. Tomba, "On the effect of Wiener phase noise in OFDM system", *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 46, no. 5, pp. 580-583, May 1998.
- [8] R. Van Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*. Artech House Publishers, 1999. vol. 39, no. 12, pp. 96-102, Dec. 2001.
- [9] S. Wu and Y. Bar-Ness, "A phase noise suppression algorithm for OFDM" *IEEE Commun. Lett.*, vol. 6, no. 12, pp. 535-537, Dec. 2002.
- [10] Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. High-speed Physical Layer in the 5GHz Band IEEE Std 802.11a-1999, IEEE 1999.



조주필(Juphil Cho)

2001년 : 전북대학교 전자공학과 공학박사
2000년~ 2005년 : ETRI 이동통신연구단 선임연구원
2006년~2007년 : ETRI 초빙연구원
2011년~2012년 : 미국 USF, 교환교수
2005년~ 현재 : 군산대학교 전자공학과 교수
※관심분야 : Cognitive-Radio, 주파수 융합기술, LTE-A