

OFDM 기반의 60GHz WLAN을 위한 위상잡음 해석과 위상잡음 억제 알고리즘

정희원 김한경*, 안경승**, 백홍기***

Phase Noise Analysis and Suppression Algorithm for OFDM-Based 60 GHz WLANs

Han-Kyong Kim*, Kyung-Seung Ahn**, Heung-Ki Baik*** *Regular Members*

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 산소에 의한 전파의 흡수감쇄가 크다는 특성 때문에 주파수 재활용에 대한 실내 무선환경에서의 무선 링크를 밀집 시킬 수 있다는 장점이 있다. 그러나 낮은 주파수의 국부 발진기를 채택하거나 높은 주파수의 국부 발진기를 사용하는 경우, 발진기의 비이상적인 특성으로 인해 발생하는 위상잡음은 다중 반송파 시스템에서 공통위상 회전과 부반송파간 간섭의 원인이 된다. 이는 위상 변화에 민감한 OFDM 기반의 무선전송 시스템에 심각한 성능 저하를 발생시키는 원인이 되므로 반드시 해결해야 하는 문제이다.

본 논문에서는 시스템 구현이 용이한 위상잡음 억제 알고리즘을 OFDM 기반의 60 GHz 무선 랜 시스템에 적용하고 이에 따른 성능을 SER 측면에서 분석하였다. 60GHz 대역에서 발생하는 위상잡음 환경에서 위상잡음 억제 알고리즘을 적용한 경우, 그렇지 않은 경우에 비해 16-QAM, 64-QAM에서 각각 6dB, 7.5dB 정도의 SER 성능 향상을 보였다.

Key Words : 60GHz 대역 무선 채널, OFDM, 무선 LAN, 위상잡음, 위상잡음 억제 알고리즘

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 bandchannel 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 6dB, 7.5dB, respectively in 16, 64-QAM.

* 전북대학교 대학원 전자공학과 (hkkim@chonbuk.ac.kr)

** The University of Texas Austin, Dept. of Electrical and Computer Engineering (ksahn@ieec.org)

*** 전북대학교 공과대학 전자정보공학부, 전자정보신기술연구센터

논문번호 : KICS2005-05-191, 접수일자 : 2005년 5월 19일

I. 서론

60 GHz 대역은 광대역 전송이 가능할 뿐만 아니라 산소에 의한 전파의 흡수감쇄가 크다는 특성을 가지고 있기 때문에 여러 응용 분야에 이용되고 있다¹⁾. 예를 들어 위성간 통신(satellite cross link), 군사용 응용분야, 차량 충돌 방지 시스템 및 상업용의 다양한 대용량 무선시스템 등이 있다. 위의 응용 분야에서 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 4세대 이동통신에서도 60 GHz 응용 시스템이 나타날 것으로 예측되고 있다. 유럽의 IST에서 주도하고 있는 BroadWay 프로젝트는 대표적인 60 GHz 무선 랜 시스템 연구기관으로 5 GHz 대역의 HIPERLAN/2 시스템과 HIPERSPOT이라 명명된 60GHz 무선 랜 시스템을 연동하여 seamless 스위칭과 QoS를 보장해주는 링크부와 수렴부의 구조 및 구현에 관한 연구, 새로운 보호구간의 개념을 도입한 OFDM 시스템 연구, 저가의 RF단 구조에 관한 연구 등을 2001년에 수행하기 시작하여 현재 완료된 상태이다²⁾. 최근 국내에서도 60 GHz 대역에서 무선 랜 시스템의 필요성이 제기되면서 정보통신부는 홈네트워크용 무선 랜 주파수로 무선국의 허가 없이 사용토록 하여 가정 내에서 방송콘텐츠를 무선으로 전송할 수 있도록 하고 있다. 특히, IEEE 802.15.3 WPAN 시스템을 위한 밀리미터파에 기반을 둔 물리계층을 연구하는 IEEE 802.15.3c가 2004년 3월에 결성되어 현재 활발한 활동을 하고 있다.

60GHz 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, 60GHz의 주파수를 얻기 위해 5GHz의 국부 발진기를 체배하여 사용할 경우, 위상잡음은 체배하기 전보다 22dBc정도가 증폭되는데 이는 성능저하의 요인뿐만 아니라 높은 차수의 변조신호를 사용할 경우의 부반송파간 간섭을 증가시킨다¹⁾.

본 논문에서는 OFDM 방식을 이용한 60GHz 무선 랜 시스템을 위해 낮은 주파수의 발진기를 체배

하여 사용할 경우의 위상잡음에 의한 영향을 파악하고 이를 최소화하기 위한 알고리즘을 적용하여 성능을 분석하였다. 위상잡음의 영향을 최소화하기 위한 다양한 알고리즘 중 [9]에서 제안한 시스템 구현이 용이한 하나의 등화기 탭으로 구성할 수 있는 알고리즘을 적용하였다. 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 60GHz 대역의 실내 무선 채널 특성에 대하여 알아보고 III장에서는 위상잡음의 특성과 OFDM 시스템에 미치는 영향, 그리고 위상잡음 억제 알고리즘에 대하여 알아본다. IV장은 II장에서 언급한 내용을 바탕으로 한 모의실험 결과를 분석하고 V장의 결론으로 끝을 맺는다.

II. 60 GHz 대역의 실내 채널 특성

60 GHz 대역의 주파수 특성은 다음과 같이 요약할 수 있다¹¹⁻¹³⁾.

- 광대역 특성: 반송과 주파수가 상당히 높고 허용주파수 대역폭이 수 GHz 까지도 가능하기 때문에 광대역의 초고속 데이터 전송에 적합하다.
- 전파특성: 대기중의 산소 분자에 의한 흡수현상이 가장 큰 주파수로 동일채널 간섭의 확률이 작아진다. 따라서 방향에 따라 동일한 주파수를 재사용할 수 있게 됨으로써 무선 링크를 집중시킬 수 있다.
- 장비의 소형화: 안테나에서 방출되는 전자파의 파장은 안테나의 지름에 비례하므로 전파의 파장이 작을수록 안테나를 작게 만들 수 있다. 이 대역의 파장은 밀리미터 단위로 매우 작기 때문에 안테나 및 RF 송수신기의 소형 경량화가 가능하다.
- 저전력: 실내 무선 환경을 위한 이 대역의 신호는 기본적으로 저전력을 사용하므로 인체에 미치는 영향이 거의 없다.

60 GHz 대역의 무선 통신 시스템을 위한 주파수 분배는 국제적 규격이 아직 정해지지 않은 상황이므로 시스템의 조기 개발 및 시장선점이 향후 시장을 주도할 수 있는 중요한 요인이 될 것이다. 미국의 FCC에서는 1994년 59 GHz~64 GHz 대역을 면허 없이 사용할 수 있는 저전력 장치에 할당하였고 2000년에는 주파수 대역을 57 GHz~64 GHz 대역으로 확장하였다. 또한 2000년 11월 Harmonix Corporation에서는 622Mbps의 속도로 데이터 전송

을 할 수 있는 GigaLink 시스템을 개발하였다. 유럽에서는 1990년 ERC가 CEPT Recommendation T/R 22-03E를 작성하였는데 여기에는 54.25GHz ~ 66GHz 대역의 주파수를 할당하였으며 1990년대부터 최근에 이르기까지 MBS, MEDIAN, BroadWay 프로젝트와 일본의 CRL, MMAC 등 다양한 기구에서 60 GHz 대역에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다.

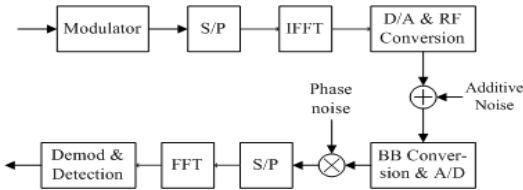


그림 1. 위상잡음을 고려한 OFDM시스템

III. OFDM 시스템의 위상잡음 분석 및 위상잡음 억제 알고리즘

3.1 SINR 해석

OFDM 시스템에서 위상잡음 및 주파수 오프셋에 관한 영향을 많은 문헌에서 다양한 방식으로 연구 되었다^{[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 1의 송신부의 출력신호는 다음과 같이 표현된다.

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

위 식에서 N_g 는 CP의 길이, f_c 는 캐리어 주파수, T 는 심볼 주기, 그리고 $g(t)$ 는 송신필터를 의미한다. 수신필터와 채널의 응답을 각각 $f(t)$ 와 $h(t)$ 로 가정하면 $p(t) = g(t) \otimes h(t) \otimes f(t)$ 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 샘플

은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

수신단에서 FFT를 수행하면 식 (3)은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$R_m(k) = X_m(k)H_m(k)P_m(0) + \sum_{l=0, l \neq k}^{N-1} X_m(l)H_m(l)P_m(l-k) + Z_m(k) \quad (4) = X_m(k)H_m(k)P_m(0) + \epsilon_m(k)$$

위 식에서 $P_m(l)$ 는 아래와 같이 표현되며 $l=0$ 인 경우는 CPE 성분, $l \neq 0$ 인 경우는 ICI 성분이다.

$$P_m(l) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \exp[j\phi_m(n)] \cdot \exp[j(2\pi/N)nl] \quad (5)$$

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

$$SINR = \frac{E[|P_m(0)|^2]}{\sum_{l=1}^{N-1} (|P_m(l)|^2 + \frac{\sigma_z^2}{E_s})} \quad (6)$$

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.

$$\phi_m(n) = \sum_{i=0}^{m(N+N_g)+N_g+n} w(i) \quad (7)$$

위 식에서 $w(n)$ 은 평균이 0이고 분산이 $\sigma_w^2 = 4\pi\beta T$ 인 i.i.d. 백색 가우시안 랜덤 시퀀스이다. 그리고 β 는 RF단 발진기의 -3dB linewidth 주파수를 의미하며 T 는 샘플링을 의미한다. 식 (7)을 식 (5)에 대입하면 CPE 성분인 $P_m(0)$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

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

위 식에서 위상잡음이 매우 작다고 가정한다. 즉, $4\pi\beta T \ll 1$ 이면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_m(0) = \frac{1}{N} \exp \left[j \sum_{i=0}^{m(N+N_g)+N_g+n} w(i) \right] \cdot \left[1 + \frac{j}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (N-n) w(m(N+N_g)+N_g+i) \right] \quad (9)$$

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

$$E[|P_m(0)|^2] = 1 + \frac{\sigma_w^2(N+1)(2N+1)}{6N} \approx 1 + \frac{4\pi\beta T}{3} \quad (10)$$

식 (5)의 $P_m(l), l \neq 0$ 일 때의 ICI 성분은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_m(l) = \frac{1}{N} \exp \left[j \sum_{i=0}^{m(N+N_g)+N_g+n} w(i) \right] \cdot \sum_{n=0}^{N-1} e^{j\phi_m(n)} e^{j2\pi nl/N} \approx \exp \left[j \sum_{i=0}^{m(N+N_g)+N_g+n} w(i) \right] \cdot \left[\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} e^{j2\pi nl/N} + \frac{j}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \phi_m(n) e^{j2\pi nl/N} \right] \quad (11)$$

$$= \frac{\exp \left[j \sum_{i=0}^{m(N+N_g)+N_g+n} w(i) \right]}{N} \cdot \left[\sum_{n=0}^{N-1} w(n) \left(\sum_{i=0}^n e^{j2\pi il/N} \right) \right]$$

위 식에서 $l = 1, 2, \dots, N-1$ 일 때 $\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} e^{j2\pi nl/N} = 0$ 이며 $l = 0$ 일 때 $\sum_{n=0}^{N-1} \sin^2(\pi nl/N) = N/2$ 이다. 따라서 $l \neq 0$ 일 때의 $E[|P_m(l)|^2]$ 의 값은 다음과 같다.

$$E[|P_m(l)|^2] = \frac{\sigma_w^2}{N^2 \sin^2(\pi l/N)} \sum_{n=0}^{N-1} \sin^2(\pi nl/N) = \frac{2\pi\beta T}{N^2 \sin^2(\pi l/N)} \quad (12)$$

식 (10)과 식 (12)를 이용하면 식 (6)의 SINR은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{SINR} = \frac{E[|P_m(0)|^2]}{\sum_{l=1}^{N-1} [|P_m(l)|^2] + \frac{\sigma_s^2}{E_s}} = \frac{3 + 4\pi\beta T}{\frac{6\pi\beta T}{N^2} \sum_{l=1}^{N-1} \frac{1}{\sin^2(\pi l/N)} + 3 \frac{\sigma_s^2}{E_s}} \quad (13)$$

위 식의 상한과 하한은 다음과 같은 관계를 만족한다.

$$\text{SINR} \leq \frac{3 + 4\pi\beta T}{\frac{12\beta}{\pi} \sum_{m=1}^{N/2-1} m^{-2} + \frac{6\pi\beta}{N^2} + 3 \frac{\sigma_s^2}{E_s}} \quad (14)$$

$$\text{SINR} \geq \frac{3 + 4\pi\beta T}{\frac{\pi^3\beta}{4} + \frac{6\pi\beta}{N^2} + 3 \frac{\sigma_s^2}{E_s}}$$

위상잡음이 QAM 신호의 심볼 오류확률에 미치는 알아보기 위해 식 (15)를 적용한다.

$$P_e \leq 4(1 - 1/\sqrt{M}) \cdot Q(\sqrt{3 \cdot \text{SINR}/(M-1)}) \quad (15)$$

위 식에서 M 은 신호의 레벨을 나타낸다. SNR이 높은 영역에서 SINR은 식 (16)으로 수렴하며 SNR이 더 증가하더라도 오류확률이 더 이상 감소하지 않기 때문에 식 (17)과 같은 오차마루(error floor)를 형성한다.

$$\text{SINR} \approx \frac{4N^2(3 + 4\pi\beta T)}{\pi\beta(\pi^2 N^2 + 24)} \quad (16)$$

$$P_e = 4 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) Q \left[\frac{12N^2(3 + 4\pi\beta T)}{(M-1)\pi\beta(\pi^2 N^2 + 24)} \right] \quad (17)$$

그림 2는 식 (17)에서 신호 레벨에 따라 SNR이 증가하더라도 심볼 오류확률이 감소하지 않고 오차마루를 형성하는 것을 나타낸다.

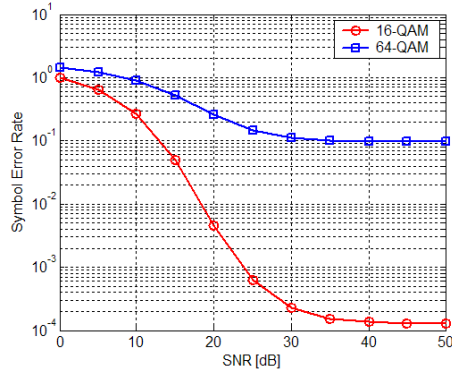


그림 2. $N = 256, R = 250\text{Mbps}, \beta = 5\text{kHz}$ 인 경우의 심볼 오류 곡선

3.2 위상잡음 억제 알고리즘

수신된 신호의 위상잡음을 최소화하기 위해 논문 [9]에서 제안한 위상잡음 억제 (phase noise suppression: PNS) 알고리즘을 이용한다. 그림 3은 OFDM 시스템에서 위상잡음 억제 알고리즘을 고려한 블록 도이다. 식 (4)에서 추정된 송신신호 $\hat{x}_m(k)$ 는

$\hat{X}_m(k) = R_m^*(k)C_m(k)$ 와 같이 나타낼 경우에 MMSE 등화기 $C_m(k)$ 는 다음과 같다.

$$C_m(k) = \frac{P_m^*(0)H_m^*(k)}{|P_m(0)H_m(k)|^2 + \frac{\sigma_\epsilon^2(m)}{E_s}} \quad (18)$$

식 (18)의 MMSE 등화기에 필요한 성분은 CPE 성분인 $P_m(0)$ 과 ICI 성분과 채널의 부가잡음이 더해진 $\epsilon_m(k)$ 의 분산이다.

위상잡음 억제 알고리즘을 정리하면 다음과 같다. 첫째, OFDM 심볼에 등간격으로 존재하는 파일럿 톤을 이용하여 CPE 성분 $P_m(0)$ 를 추정한다. 식 (4)의 $\epsilon_m(k)$ 가 가우시안 잡음이라고 가정하면 $P_m(0)$ 의 추정치는 식 (19)와 같은 LS(least squares)를 이용하여 구할 수 있으며 $\hat{P}_m(0)$ 의 추정치는 식 (20)으로 주어진다.

$$\min_{P_m(0)} \sum_{k \in S_p} |R_m(k) - P_m(0)X_m(k)H_m(k)|^2 \quad (19)$$

$$\hat{P}_m(0) = \frac{\sum_{k \in S_p} R_m(k)X_m^*(k)H_m^*(k)}{\sum_{k \in S_p} |X_m(k)H_m(k)|^2} \quad (20)$$

둘째, OFDM 심볼내에 존재하는 null 부반송파를 이용하여 σ_ϵ^2 를 추정한다. 신호대 잡음비, SNR이 충분히 크다고 가정하면 null 부반송파 구간에서는 ICI 성분이 채널의 부가 잡음보다 훨씬 크므로 다음과 같은 식으로 σ_ϵ^2 를 추정한다.

$$\hat{\sigma}_\epsilon^2(m) = \frac{1}{N_{null}} \sum_{k \in S_{null}} |R_m(k)|^2 \quad (21)$$

셋째, 각 OFDM 심볼을 위한 단일 탭 MMSE 등화기의 계수를 구한다.

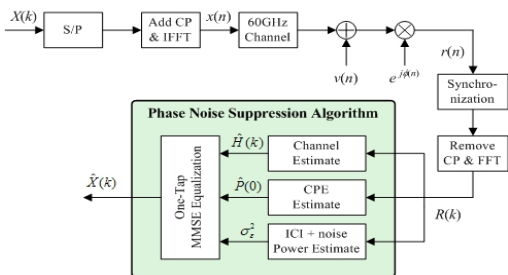


그림 3. PNS 알고리즘의 블록도

IV. 모의실험 및 결과고찰

본 장에서는 모의실험을 통하여 III장에서 설명한 PNS 알고리즘의 성능을 분석한다. 모의실험에 사용된 실내 무선채널은 [5]에서 실제 측정된 파라미터를 사용한 Saleh-Valenzuela의 모델을 사용하였다. 60 GHz를 발생시키는 발진기는 [10]의 IEEE 802.11a 시스템에 주로 사용되는 발진기를 12배 체배 시켰다고 가정하였으며 이러한 경우 위상잡음은 22dBc/Hz가 더해진다. 송신신호는 16-QAM, 64-QAM으로 변조된 신호를 사용하였다. 모의실험을 위해 500개의 패킷을 사용하였으며 1개의 패킷은 30개의 OFDM 심볼로 이루어져 있다. 모의실험에 사용한 파라미터는 표 1과 같다. 1개의 패킷은 프리앰블과 페이로드로 구성되며 프리앰블의 구조는 IEEE 802.16 시스템의 프리앰블과 같은 구조를 사용하였다^[11]. 모의실험에서의 채널추정을 위해 각각 128개의 파일럿 심볼을 갖는 2개의 long 프리앰블마다 채널 추정을 한 후 평균을 취하였다.

표 1. 모의실험 파라미터

Parameter	Value
Carrier Frequency	60 GHz
Bandwidth	200 MHz
FFT/IFFT size	256
Used subcarrier	192 (data) + 8 (pilot)
Virtual carrier	56
Subcarrier spacing	781.25 kHz
Cyclic prefix	64
Modulation scheme	16-QAM, 64-QAM
Channel model	Saleh-Valenzuela (S-V) model
Phase noise model	Phase noise dBc level = -80+22 dBc/Hz Corner frequency = 10 kHz Phase noise floor = -135+22 dBc/Hz

채널추정은 선형보간 방법 (linear interpolation method)과 고차보간 방법 (higher order interpolation) 중에서 Cubic method을 이용한 방법을 사용하였다. 그림 4는 Saleh-Valenzuela 채널 모델을 선형보간법과 고차보간 방법으로 채널을 추정된 결과를 나타내는 것으로 알고리즘의 전체적인 계산량이 많지 않다면 고차보간법이 많은 클러스터를 포함한 실내 무선 채널 환경에 더 유용함을 보여주고 있다. 그러나 그림 4의 결과에서 위상잡음의 전력이 강한 환경에서는 채널추정 오차 보다는 위상잡음으로 인한 ICI 성분이 OFDM 전송 시스템의 가장 큰 성능 저하의 요인으로 작용하기 때문에 나타나듯이 성능 개선이 크지 않음을 알 수 있다. 그림 5와 그림 6

은 60 GHz 채널 모델에서 위상잡음 억제 알고리즘의 사용여부에 따른 16-QAM과 64-QAM 신호를 전송한 경우의 심볼 오류 곡선을 나타낸 것이다. 그림 5에서 SNR이 40dB일 때, 위상잡음 억제 알고리즘을 이용한 경우가 SER은 10^{-2} 을 나타내며 알고리즘을 사용하지 않았을 때보다 6dB 정도의 나아진 결과를 보여준다. 또한 낮은 SNR영역에서 영-강압(zero-forcing) 등화기의 성능은 MMSE 등화기보다 떨어지나 대체적으로 성능이 비슷함을 나타낸다. 그림 6은 64-QAM의 신호레벨을 사용할 때의 심볼 오류 곡선으로 16-QAM을 사용할 때 보다 전체적인 성능의 저하를 보인다. SNR이 40dB일 때 위상잡음 억제 알고리즘을 사용할 때 7.5dB 정도의 성능 향상을 보이며 그림 7에서는 채널추정과 신호레벨에 따라 심볼 오류 곡선을 나타낸 것이다. 그림 8에서는 부호화를 통해 성능 향상을 얻고자 코드를 1/2를 갖는 컨벌루션 코드로 부호화하여 심볼 오류 곡선을 나타낸 것이다. 위상잡음 억제 알고리즘과 부호화를 동시에 적용하였을 경우로서 13.5dB의 성능 향상을 기대할 수 있음을 보여준다.

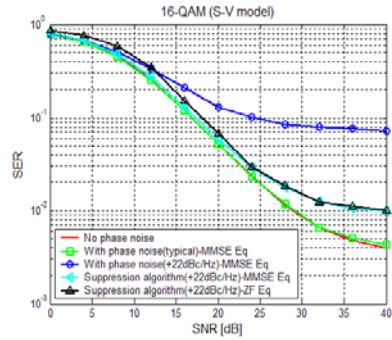


그림 5. 60GHz 대역에서 16-QAM 전송시 SER 곡선

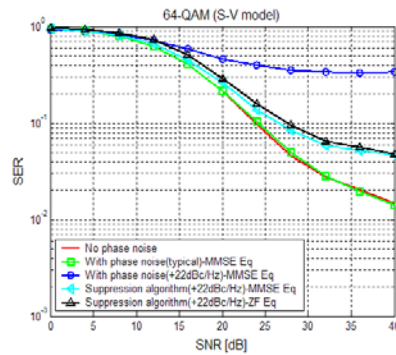


그림 6. 60GHz 대역에서 64-QAM 전송시 SER 곡선

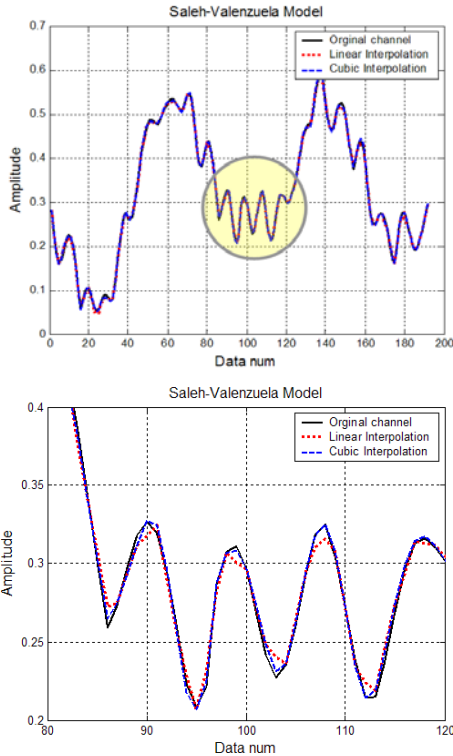


그림 4. 60 GHz 채널에서 선형보간법과 고차보간법을 이용한 채널 추정

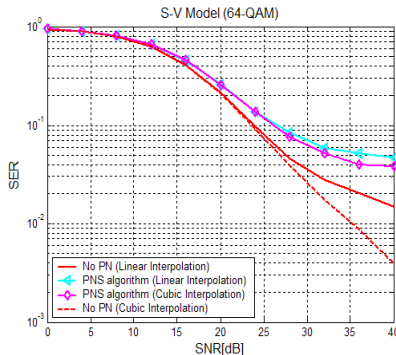
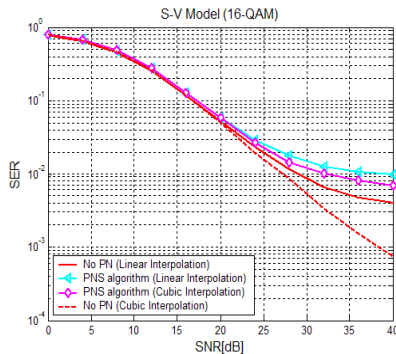


그림 7. 16-QAM과 64-QAM 전송시 선형보간법과 고차보간법의 채널 추정을 이용한 시스템의 SER 곡선

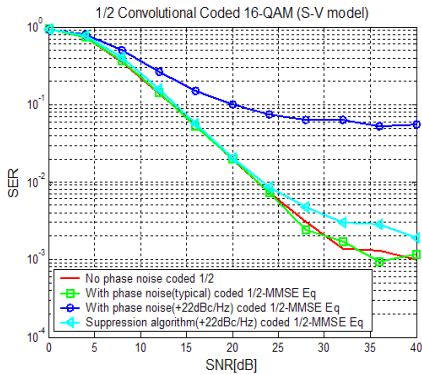


그림 8. 60GHz 대역에서 1/2 컨벌루션 코드를 이용한 시스템의 SER 곡선

V. 결론

본 논문에서는 실내 무선 환경 특성을 모델링한 Saleh-Valenzuela 모델을 60 GHz 대역의 채널로 적용하여 국부 발진기의 비이상적인 특성으로 나타나는 위상잡음이 OFDM 시스템에 미치는 영향과 위상잡음으로 인해 발생하는 OFDM 시스템의 성능 저하를 해결하기 위한 위상잡음 억제 알고리즘의 성능에 관하여 분석하였다.

국부 발진기에서 발생하는 위상잡음으로 인한 OFDM 시스템의 성능 저하는 CPE 성분과 ICI 성분으로 나타나며 CPE 성분은 OFDM 심볼의 위상을 회전시키며 ICI 성분은 OFDM 심볼에 백색 가우시안 잡음이 더해지는 형태로 나타난다. 또한 위상잡음이 OFDM 시스템에 미치는 영향을 심볼 오류확률에 대하여 분석한 결과, 높은 SNR의 영역에서 오차마루를 형성하여 OFDM 시스템의 성능 저하를 보인다. 그리고 위상잡음의 영향을 최소화하기 위해 위상잡음 억제 알고리즘을 이용하였을 경우에 60GHz 대역에서 갖는 위상잡음 환경에서 PNS 알고리즘을 채용하지 않았을 때 보다 16-QAM에서는 6dB, 64-QAM에서는 7.5dB 정도의 SER 성능 향상을 나타내었다. 성능 향상을 위해 코드율 1/2를 갖는 컨벌루션 코드를 사용한 16-QAM에서는 코드를 사용하지 않은 시스템보다 9dB 정도의 이득과 위상잡음 억제 알고리즘의 사용여부에 따라 13.5dB 정도의 성능 차이를 보였다.

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.

참고 문헌

- [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 Broadway Project: <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 systems," *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-based WLANs," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 6, no. 2, 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.
- [11] *Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems. Medium Access Control Modifications and Additional Physical Layer Specifications for 2-11GHz*, IEEE Std 802.16, IEEE 2002.

김 한 경 (Han-Kyong Kim)

정회원



1999년 2월 전주대학교 전기
전자공학과 졸업
2001년 2월 전북대학교 전자
공학과 석사
2001년 3월~현재 전북대학교
전자공학과 박사과정
<관심분야> OFDM 전송 시스
템, 채널 등화, IEEE 802.15.3c 시스템

안 경 승 (Kyung-Seung Ahn)

정회원



1996년 2월 전북대학교 전자
공학과 졸업
1998년 2월 전북대학교 전자
공학과 석사
2005년 8월 전북대학교 전자
공학과 박사
2005년 9월~현재 The Univer-

sity of Texas at Austin, Department of Electrical
and Computer Engineering, Post-Doctoral Researcher
<관심분야> MIMO 시스템, OFDM 전송 시스템, 채널
추정 및 등화, IEEE 802.15.3c 시스템

백 흥 기 (Heung-Ki Baik)

정회원

한국통신학회논문지 제 25권, 제 8B호 참조