

OFDM 기반의 60 GHz 무선랜 전송방식에서

위상잡음 제거

노호진¹, 안경승², 이우용³, 백흥기⁴

전북대학교 전자공학과, 신호처리연구실
전화 : 063-255-2814

Phase Noise Suppression Algorithm for OFDM-based 60 GHz WLANs

Ho-Jin Roh¹, Kyung seung Ahn², Woo-Young Lee³, Heung-Ki Baik⁴

Signal Processing Lab.

^{1,2}Dept. of Electronics Eng., Chonbuk National University
E-mail : madlike4@chonbuk.ac.kr

³Electronics and Telecommunications Research Institute

⁴Div. of Electronics and Information Eng., Chonbuk National University

Abstract

This paper, 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 (5 GHz) has been allocated worldwide for dense wireless local communications. This paper gives an overview of 60 GHz indoor wireless 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. We provide the exact analysis of the phase noise effect on the OFDM system.

I. 서론

정보통신 및 무선 통신 기술의 발전으로 최근 밀리미터파 대역에 관한 연구가 활발한 가운데 이중 60 GHz 대역은 주파수 재사용 및 우수한 전파 특성으로 인하여 미래의 핵심적인 무선랜 기술이 될

것이다. 60 GHz 대역의 통신은 광대역 전송이 가능할 뿐만 아니라 산소에 의한 전파의 흡수 감쇄가 크기 때문에 여러 응용분야에 쓰일 수 있다. 그 중 상업용으로 용이한 단거리 통신 시스템, 무선랜, 가정의 모든 제품의 무선화를 이룰 수 있는 핵심 기술로 대두되고 있다. 또한 아직 국제적인 규격이 정해져 있지 않으므로 시스템의 조기 개발 및 시장 선점 등이 60 GHz대역의 무선 통신시장을 주도 할 수 있는 주요한 요인이 된다.

이런 시대적인 흐름에 맞추어 본 논문은 60 GHz 대역의 통신에서 적합한 실내 무선 채널 환경에 대하여 연구하였고 이를 바탕으로 한 시스템의 파라미터 선정 및 위상잡음에 대하여 연구하였다. 60 GHz 대역의 안정적인 국부 발진기를 만드는 것도 어렵고 고비용으로 인해 주파수를 체배하는 방법을 생각할 수 있다. 또한 이미 많은 상용화가 되어 있는 기존의 5 GHz 무선랜 시스템과 호환성을 위해서도 60 GHz 시스템의 혼용적인 시스템 구조를 생각해야 한다. 따라서 5 GHz 대역에서 60 GHz 대역으로 체배할 때 발생하는 위상잡음의 영향을 고려해야만 한다. 더욱이 OFDM에서는 위상잡음의 영향이 성능 저하의 큰

요인으로 작용한다. 본 논문에서는 OFDM기반으로 한 60 GHz 대역의 OFDM 파라미터 선정과 60 GHz 대역의 채널 특성과 주파수 체배에 따른 위상잡음의 영향을 살펴보고 이에 따른 위상잡음 억제 알고리즘의 성능을 평가하고 결론을 맺는다.

II. 60 GHz 대역의 실내 채널 특성

1.1 Saleh-valenzuela 모델

실내 무선 채널의 모델인 Saleh-Valenzuela 모델은 실험적인 데이터를 통해 실내의 무선 채널은 클러스터링 현상임을 보여주고 있다[1]. 제안된 모델은 각각의 클러스터 도착 감소 시간 상수 Γ 와 각각 클러스터안의 레이의 도착 감소 시간은 상수 γ 로 표현된다. 각 클러스터의 고정된 감소 비율인 Λ 와 각 클러스터 안의 레이들의 감소 비율 λ 로 구성되며 이들은 Poisson 분포를 형성한다. 첫 번째 클러스터는 $T_0 = 0$ 이고 그에 따른 첫 번째 레이의 시간은 $\tau_{0l} = 0$ 로 구성된다. 따라서 T_l 과 τ_{kl} 은 독립적인 지수 분포를 갖는 확률 밀도 함수로 이루어지고 다음 식과 같이 표현된다.

$$p(T_l | T_{l-1}) = \Lambda \exp[-\Lambda(T_l - T_{l-1})], l > 0 \quad (1)$$

$$p(\tau_{kl} | \tau_{(k-1)l}) = \lambda \exp[-\lambda(\tau_{kl} - \tau_{(k-1)l})], k > 0 \quad (2)$$

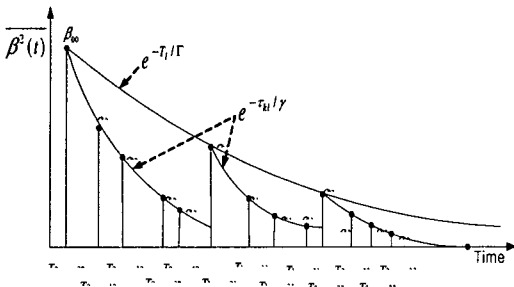


그림 1. Saleh-valenzuela 모델

지수 분포를 갖는 전력 감쇠성분 크기의 통계적 특성은 다음과 같이 주어진다.

$$\overline{\beta^2_{kl}} = \overline{\beta^2(T_l, \tau_{kl})} = \overline{\beta^2(0,0)} e^{-T_l/\Gamma} e^{-\tau_{kl}/\gamma} \quad (3)$$

여기서 $\overline{\beta^2(0,0)} = \overline{\beta^2_{00}}$ 는 첫 번째 클러스터와 첫 번째 레이의 평균전력 이득을 나타낸다. 또한 k 번째 레이와 l 번째 클러스터의 크기 β_{kl} 은 통계적으로 독립적인 Rayleigh 분포를 이룬다. 이에 따른 임펄스 응답은 다음 같이 주어진다.

$$h(t) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \beta_{kl} e^{j\theta_{kl}} \delta(t - T_l - \tau_{kl}) \quad (4)$$

1.2 채널 시뮬레이션

문헌[2]에서는 실제적인 측정 파라미터를 이용하여 Saleh-Valenzuela 모델의 이론적인 결과와 비교 분석하였다. 실제적인 파라미터는 다음과 같으며 이를 바탕으로 채널을 생성하였다.

- 샘플링 주파수 : 180 MHz
- 클러스터의 평균시간 Λ^{-1} : 75 nsec
- 클러스터의 감쇠 시간 상수 Γ : 20 nsec
- 레이의 평균시간 λ^{-1} : 5 nsec
- 클러스터내 레이의 감쇠 시간 상수 γ : 9 nsec

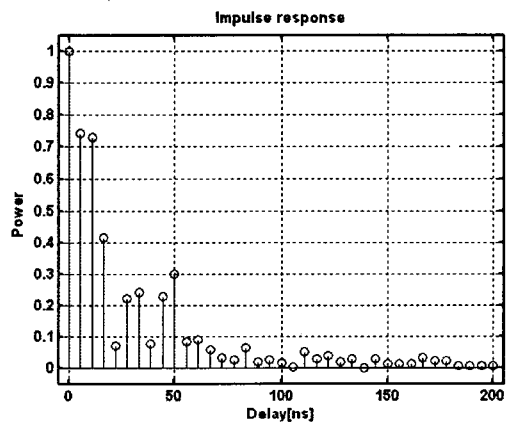


그림 2. 60 GHz 채널 임펄스 응답

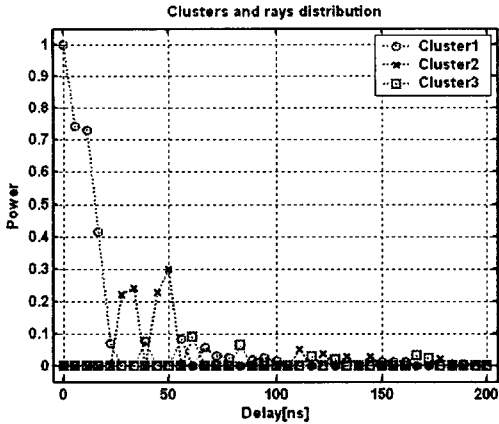


그림 3. 60 GHz 채널의 클러스터와 레이 분포

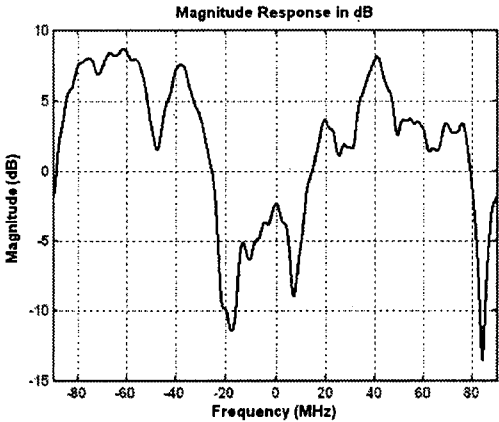


그림 4. 60 GHz 채널의 주파수 응답

III. OFDM기반 시스템의 위상잡음 영향 및 억제 알고리즘

OFDM시스템에서 발생하는 위상잡음의 영향은 문헌[3][4]을 통해서 분석되었다. 위상잡음은 부반송파간의 간섭과 전체적인 회전을 발생하며 시스템의 성능을 감소 시킨다. 그림 1은 위상잡음의 영향을 모델링하고 위상 잡음 억제 알고리즘을 보여주고 있다. 국부발진기를 5 GHz 에서의 12배 만큼 채배하면 $10\log_{10}(60/5)^2 = 22 \text{ dBc}$ 위상잡음이 더 발생하게 된다. 이는 60 GHz 대역의 무선통신시스템 성능에 큰 영향을 끼치며 이에 대한 개선이 필요하다.

문헌[5]에서는 5 GHz 대역의 표준안인 IEEE802.11 의 5 GHz 대역의 위상잡음 알고리즘을 소개 하였다. 본 논문에서는 이 알고리즘을 60 GHz 대역의 통신에 사용하였다.

위상잡음과 채널을 고려한 m 번째 OFDM심벌의 n 번째 샘플은 다음과 같다.

$$r_m(n) = x_m(n) \otimes h_m(n) \cdot e^{j\phi_m(n)} + v_m(n) \quad (5)$$

수신단에서 FFT를 수행하면 식(5)는 식(6)으로 표현된다. 식(7)에서 $I_m(i)$ 는 위상잡음을 나타내며 $i=0$ 은 공통위상회전 성분이며 $i \neq 0$ 는 다른 부반송파의 간섭에 의한 잡음 성분이다.

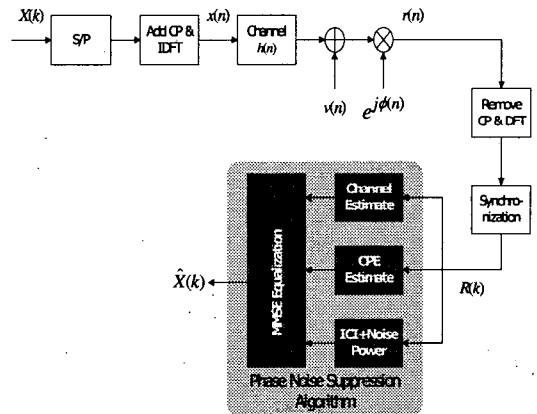


그림 5. 위상잡음 및 억제 알고리즘

$$R_m(k) = X_m(k)H_m(k)I_m(0) + \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq k}}^{N-1} X_m(l)H_m(l)I_m(l-k) + V_m(k) \quad (6)$$

$$= X_m(k)H_m(k)I_m(0) + \varepsilon_m(k)$$

$$I_m(i) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} e^{j\phi_m(n)} \cdot e^{j(2\pi/N)ni}, i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (7)$$

따라서 공통위상 성분인 $I_m(0)$ 의 추정과 그에 따른 부반송파 간섭에 의한 잡음을 제거해야만 한다. MMSE등화기를 사용하여 다음 식과 같이 수신된 신호를 추정한다.

$$\hat{X}_m(k) = R_m(k)C_m(k) \quad (8)$$

$$C_m(k) = \frac{I_m^*(0)H_m^*(k)}{|I_m(0)H_m(k)|^2 + \frac{\sigma_\epsilon^2(m)}{E_x}} \quad (9)$$

위 식에서 공통회전 성분을 추정하고 부반송파간의 간섭과 채널의 부가 잡음을 적절히 추정하면 원 신호를 추정할 수 있음을 알 수 있다.

첫 째, 공통위상회전 성분은 심볼의 등 간격으로 존재하는 파일럿을 이용하여 추정한다. LS추정법을 이용하면 다음 식과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \min_{P_m(0)} \sum_{k \in S_p} |R_m(k) - I_m(0)H_m(k)|^2 \\ \Rightarrow \tilde{I}_m(0) = \frac{\sum_{k \in S_p} R_m(k)X_m^*(k)H_m^*(k)}{\sum_{k \in S_p} |X_m(k)H_m(k)|^2} \end{aligned} \quad (10)$$

둘 째, 부반송파간의 간섭 및 채널의 부가 잡음은 OFDM내에 존재하는 null 부반송파를 이용하며 다음 식과 같이 주어진다.

$$\hat{\sigma}_\epsilon^2(m) = \frac{1}{N_N} \sum_{k \in S_N} |R_m(k)|^2 \quad (11)$$

IV. 시뮬레이션 및 결론

60 GHz 대역의 시스템에 사용될 OFDM구조는 IEEE802.16 표준안을 사용하였다[7]. 위상잡음은 5 GHz의 국부발진기 파라미터[6]에 22 dBc만큼 더 위상잡음이 발생하게 하였다. 송신 신호는 16-QAM 신호를 사용하였고 샘플링은 180 MHz로 하였다. 채널은 앞서 설명하였던 실측 파라미터를 이용하여 생성하였다. 1개의 패킷은 5개의 OFDM심벌로 설정하였고 500회 시뮬레이션 하였다. 채널추정은 preamble의 long training symbol을 사용하였다.

공통 위상회전은 8 개의 pilot을 이용하고 채널 부가 잡음과 부반송파간의 간섭잡음은 56 개의 null 부반송파로 추정하였다. 그림 6을 보면 위상잡음의 파라미터가 5 GHz 대역일 때는 일반적인 MMSE로 추정이 가능하다. 하지만 12배 체배시 발생하는

위상잡음은 많은 성능 저하를 발생함을 볼 수 있다. PNS 알고리즘을 사용하였을 때 60 GHz 대역의 채널과 위상잡음 환경에서도 원하는 성능을 얻을 수 있다.

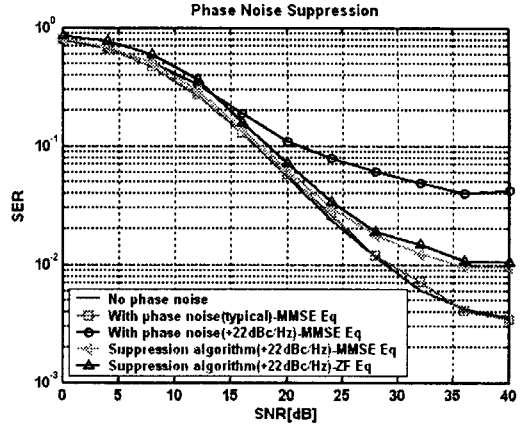


그림 6. 위상잡음이 억제된 SER

References

- [1] 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.
- [2] 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*, pp. 617-620, 1998.
- [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, Feb./Mar./Apr. 1995.
- [4] 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.
- [5] S. Wu and Y. Bar-Ness, "A phase noise suppression algorithm for OFDM-based WLANs," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 6, no. 12, pp. 535-537, Dec. 2002.
- [6] R. Van Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*. Artech House Publishers, 1999.
- [7] *IEEE802.16a/b Amendment to the Standard Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*, June 2001