

# WPAN 간섭원에 의한 MIMO-OFDM WLAN의 성능 열화 분석을 위한 실시간 주파수 간섭 분석 시스템

## Real-Time Frequency Interference Analysis System for Performance Degradation Analysis of MIMO-OFDM WLAN Due to WPAN Interferer

윤현구 · 박진수\* · 장병준\*

Hyungoo Yoon · Jin-Soo Park\* · Byung-Jun Jang\*

### 요약

본 논문에서는 WPAN(Wireless Personal Area Network) 주파수 간섭원에 의한 MIMO(Multi Input Multi Output)-OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) WLAN(Wireless Local Area Network)의 성능 열화를 분석하기 위해 LabVIEW와 USRP (Universal Software Radio Peripheral)를 이용한 실시간 주파수 간섭 분석 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 간섭원과 피간섭원을 각각 소프트웨어로 구현하고, USRP와 연결하여 실제 시스템과 유사한 2.4 GHz 대역의 송신신호를 발생시킨 후, 피간섭원의 수신과정에 잡음신호 및 간섭신호와 결합하여, 주파수 공동사용에 따른 MIMO 시스템의 BER (Bit Error Rate)을 분석하는 방식이다. 분석 결과, 이론값과 거의 일치하는 결과를 보여 제안한 시스템의 타당성을 입증하였다.

### Abstract

In this paper, we have proposed the frequency interference analysis system using both LabVIEW and Universal Software Radio Peripheral(USRP) for performance degradation analysis of Multi Input Multi Output-Orthogonal Frequency Division Multiplexing(MIMO-OFDM) Wireless Local Area Network(WLAN) due to Wireless Local Area Network(WPAN) interferer. The proposed system consists of three part, i.e., victim, channel, and interferer. Both victim and interferer are implemented by LabVIEW and a USRP board. Then interfering signal and additive white Gaussian noise are combined with the wanted signals of a victim. Measured Bit Error Rate(BER) at the victim receiver is compared with theoretical BER according to various signal to interference plus noise power ratio (SINR) values. Measured and theoretical BER curves show good agreement.

Key words: Frequency Sharing, Frequency Interference, MIMO-OFDM, LabVIEW, USRP

### I. 서론

최근 스마트폰, 테블릿 PC와 같은 무선기기들의 사용이 기하급수적으로 증가함에 따라서 무선 데이터 트래픽

이 급증하고 있다. 이에 대응하기 위해서 주파수 효율을 증가시키기 위한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 전송효율 자체를 높이는 기술뿐만 아니라, 한정된 주파수 자원을 이중의 시스템이 공동으로 사용하는 기술을 적용하려

명지전문대학 컴퓨터전자과(Department of Computer and Electronic Engineering, Myongji College)

\*국민대학교 전자공학과(Department of Electrical Engineering, Kookmin University)

· Manuscript received October 2, 2015 ; Revised November 26, 2015 ; Accepted November 26, 2015. (ID No. 20151002-19S)

· Corresponding Author: Byung-Jun Jang (e-mail: bjjang@kookmin.ac.kr)

는 시도가 활발하다. 대표적인 예로, 이미 널리 보급된 2.4 GHz 비면허대역에서의 WLAN(Wireless Local Area Network)와 WPAN(Wireless Personal Area Network)의 주파수 공동 사용이 있고, 현재 이슈가 되고 있는 5 GHz 비면허대역에서 WLAN과 LTE-U(Long Term Evolution - Unlicensed spectrum) 혹은 LTE-LAA(LTE-Licensed Assisted Access)의 주파수 공동 사용 이슈가 있다<sup>[1],[2]</sup>. 주파수 공동 사용의 경우에 주파수 간섭에 따른 시스템의 성능 저하가 발생할 수 있으므로, 이에 대한 분석을 토대로 한 기술기준 마련이 필수적이다. 기존의 기술기준은 다른 시스템에 영향을 미치지 않도록 출력제한, 점유시간(duty cycle) 등을 기술기준에서 정하고 있으나, LTE-U나 LTE-LAA와 같이 주파수 공동사용 기술을 고려한 경우, 이러한 기술적 특성을 고려한 주파수 간섭의 영향에 대한 분석이 필요하다.

대다수의 간섭분석 방법은 주로 시뮬레이션에 기반한 소프트웨어적인 방법으로 다양한 환경에서 간섭분석을 진행할 수 있으나, 전파채널, 사용환경 등에서 시뮬레이션과 실제 환경과 차이 및 통신기기의 특성을 시뮬레이션에 반영하는데 한계가 있고, 시뮬레이션 시간이 오래 걸리는 문제가 있을 수 있다. 이에 반하여, 하드웨어에 기반을 둔 간섭분석은 실제 시스템을 이용하므로 시뮬레이션 시간과 정확성 측면에서 소프트웨어적인 방법에 비해 우수하나, 간섭분석의 대상이 되는 시스템을 실제로 구현하기 쉽지 않은 문제가 있다<sup>[3],[4]</sup>.

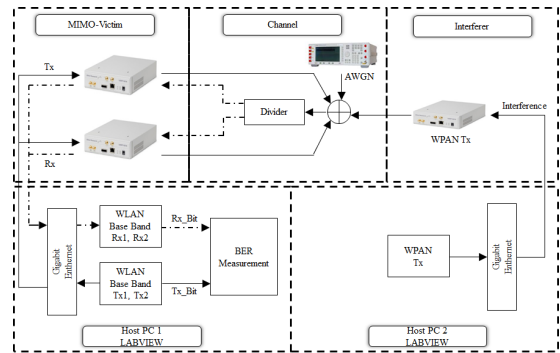
이에 본 논문에서는 기존의 주파수간섭 분석 방법 단점을 극복할 수 있도록 LabVIEW와 USRP(Universal Software Radio Peripheral) 보드를 이용한 실시간 주파수 간섭 분석 시스템을 제안하였다. 제안한 주파수 간섭 분석 시스템은 간섭원 및 피간섭원을 소프트웨어로 구현하고, USRP를 이용하여 실제 신호를 송수신하는 과정에서 주파수 관점 및 공간적인 관점에서의 간섭에 의한 영향을 분석할 수 있는 방식이다<sup>[3]</sup>. 이를 2.4 GHz 대역에서 WPAN 주파수 간섭원이 MIMO-OFDM(Multi Input Multi Output-Orthogonal Frequency Division Multiplexing) WLAN의 성능에 미치는 영향을 분석에 적용하였다. 제안한 시스템은 간섭원과 피간섭원을 각각 소프트웨어로 구현하고, USRP와 연결하여 실제 시스템과 유사한 2.4 GHz 대역의

송신신호를 발생시킨 후, 피간섭원의 수신과정에 잡음신호 및 간섭신호와 결합하여, 주파수 공동사용에 따른 MIMO 시스템의 BER(Bit Error Rate)을 분석하는 방식이다.

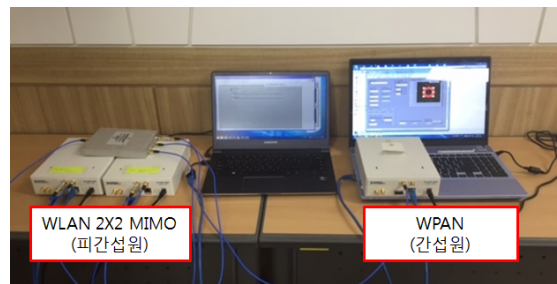
## II. 제안한 주파수간섭 분석시스템

그림 1에 본 논문에서 제안한 LabVIEW와 USRP를 이용한 주파수간섭 분석시스템의 구성도 및 구현된 사진을 보여준다. 분석시스템은 피간섭원, 채널, 간섭원의 3부분으로 구성된다.

먼저 피간섭원은 host PC상에서 USRP와 연동이 가능한 LabVIEW 소프트웨어를 이용하여 피간섭원의 송신부와 수신부를 구현하고, 이를 USRP와 연결한다. 최근 광범위하게 사용되고 있는 WLAN 규격은 IEEE 802.11n으로 고속전송을 위해 MIMO 기술이 적용된다. 따라서 피간섭원을 2x2 MIMO 시스템으로 구현하였다. MIMO 시



(a) 구성도  
(a) Block diagram



(b) 실제 분석 시스템  
(b) Implemented interference analysing system

그림 1. 제안한 주파수 간섭분석 시스템.  
Fig. 1. Suggested nterference analysis system.

시스템을 구현하기 위해 USRP 2대가 필요하며, 동기화를 위해 두 대의 USRP를 MIMO-sync 케이블로 연결하였다. 한 대의 PC로 2대 이상의 USRP와 연결하기 위해서 기가비트 이더넷 스위치가 필요하다. 또한, 송신기 세트(PC+USRP)와 수신기 세트의 동기를 맞추기 위해서 일반적으로 GPS clock을 사용하여 맞춰주어야 한다. LabVIEW는 MIMO와 동기를 맞추기 위한 별도의 소프트웨어 블록을 지원하는데, 이를 통해 동기를 맞추고 분석하였다. 세부 구성 방법은 다음과 같다. 송신부는 IEEE 802.11n을 구현하기 위해서, 중심주파수는 2.4 GHz로 설정하였으며, LabVIEW와 USRP의 고유한계를 감안하여 128-point FFT OFDM 변조에 가장 저속인 6 Mbps 모드를 이용하여 분석하였다. 이 때 심볼은 BPSK로 변조하는 것이 규격 상 합리적이거나 활용도를 감안하여 4-QAM으로 변조했으며, 심볼 rate은 1 Msps로 설정하였고, pulse shaping filter를 이용하여 12배 oversampling하여 Tx 당 12 MHz 대역폭을 실시간으로 출력하였다. 안테나간의 다이버시티 선택을 위해 2x2 Alamouti block coding (Space Time Block Coding)하였으며, 데이터 심볼의 동기를 위해 훈련 심볼을 삽입하였다. 피간섭원 수신부 또한, Tx 단에서 송신할 때에만 정확히 수신하기 위한 각종 동기 블록과 2개의 Rx 안테나에서 받은 심볼 데이터를 하나로 합쳐주는 fetch 블록, OFDM Rx단, 4-QAM 복조블록 등으로 구현하였다.

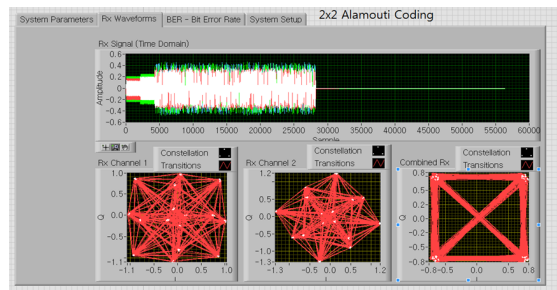
다음으로 채널은 안테나를 이용한 OTA(Over-the-Air)나 채널 에뮬레이터, 잡음발생기 등을 이용하여 채널 특성을 간섭분석에 반영시킬 수 있다. 또한, 결합기(combiner)를 이용하여 간섭신호를 결합시킬 수 있도록 구성할 수 있다. 본 연구에서는 SINR에 따른 BER 성능 분석을 위해 conductive 방식으로 구성하였으며, 신호발생기를 이용하여 SINR에 따른 잡음 전력을 레벨을 가변하며 분석하였다.

마지막으로 간섭원의 경우 피간섭원과는 다른 별도의 PC와 USRP 구성을 사용하여 간섭원의 송신부만 구현하였고, 이를 채널과 결합시키면 전체적인 분석 시스템이 완성하였다. 이 때, 간섭신호는 신호발생기 등으로 대체하면 빠른 분석이 가능하다.

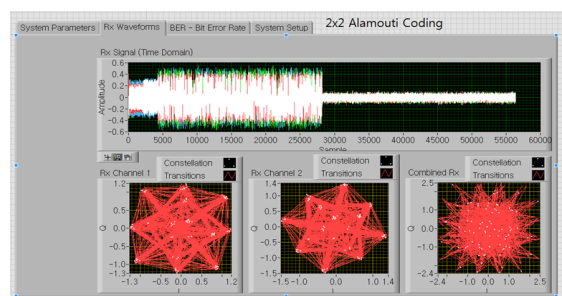
### III. 분석 결과

그림 2에 6 Mbps 속도의 2x2 MIMO WLAN의 수신 신호의 파형과 성상도를 나타내었다. 그림 2(a)는 간섭이 없는 경우이며, 2 개의 채널을 통하여 수신된 각각의 성상도를 보여준다. 그림에서 확인할 수 있듯이 비록 conductive 방식의 채널이라 할지라도 채널의 상태는 약간의 차이가 있음을 확인할 수 있고, OTA 방식의 실험에서도 채널의 차이가 있음을 확인하였다. 이를 combine하여 복조하였을 때 4-QAM의 성상도가 올바르게 나오는 것을 확인할 수 있다. 그림 3(b)는 간섭이 있는 경우로 간섭에 의해 수신 신호의 성상도에 약간의 변형이 생긴 것을 확인할 수 있다. 이를 정량적으로 확인하기 위해, WLAN 수신단에서의 BER을 그림 3에 나타내었다. 이 때 제안 시스템은 주파수와 공간 관점에서의 간섭 영향을 반영하므로 SINR은 식 (1)과 같이 도출될 수 있다.

여기서  $\alpha$ 는 간섭원과 피간섭원과의 거리  $d$ 에 따른 감쇠 정도를 나타내며, 이를 통해 피간섭원과 간섭원 사이의 이격거리에 따른 간섭전력의 변화가 일어난다. 이 때



(a) 간섭이 없을 경우  
(a) w/o interfere



(b) 간섭이 있을 경우  
(b) w/ interfere

그림 2. 2x2 MIMO WLAN 수신 신호  
Fig. 2. Received signals of 2x2 MIMO WLAN.

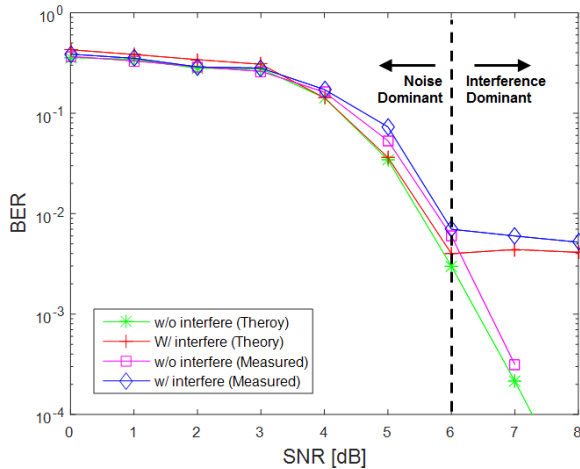


그림 3. 2×2 MIMO WLAN의 BER.  
Fig. 3. BER of 2×2 MIMO WLAN system.

간섭 전력의 변화 정도는 사용 경로 손실 모델에 따라 달라질 수 있다. 또한, 두 시스템간의 사용 채널에 따른 대역이 겹치는 정도를 나타내는 spectrum factor를  $r$ 로 정의하였다.

$$SINR = \frac{P_s}{P_N + r \cdot \alpha \cdot P_I} \quad (1)$$

$P_s$ 는 WLAN 송신 규격을 참조하여 15 dBm으로 설정하여 송신 후 WLAN 수신부에서 받게 되는 수신 전력을 의미한다.  $P_N$ 은 AWGN의 잡음전력을 의미하며,  $P_I$ 는 송신 간섭전력을 의미하므로 WPAN 규격상 0 dBm의 값을 사용하였다. 또, 수신 간섭전력이 수신 신호 전력 대비 6 dB 작게 들어오는 시나리오라고 한다면 결과는 그림 3과 같이 나타난다.

그림에서 마크 ‘\*’와 ‘+’는 간섭원 유무에 따른 결과를 나타내며, 이는 참고문헌 [6], [7]에 정의된 BER 값 중 6 Mbps 데이터율과 1/2 코딩률인 경우의 값이다. ‘□’와 ‘◇’는 간섭원 유무에 따른 분석 시스템으로 도출한 결과이다. 이론값과 논문에서 제안 분석시스템의 결과가 거의 일치함을 확인할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 WPAN 주파수 간섭원에 의한 MIMO-OFDM WLAN의 성능 열화를 분석하기 위해 LabVIEW와

USRP를 이용한 실시간 주파수간섭 분석 시스템을 제안하고, 실제 구현을 통해 검증하였다. 제안한 시스템은 간섭원과 피간섭원을 각각 소프트웨어로 구현할 수 있어 피간섭원과 간섭원을 손쉽게 모델링할 수 있으며, 주파수 간섭에 의한 피간섭원의 물리계층의 BER 열화를 실시간으로 파악할 수 있는 장점이 있다. 구현된 결과를 이론값과 비교한 결과, 이론값과 거의 일치하는 결과를 보여 제안한 시스템의 타당성을 입증하였다. 제안 방법을 통해 주파수간섭 영향을 분석하면 기존 방법보다 더 실제 상황에 가까운 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 이를 통해 기존 간섭영향 분석방법에 신뢰성을 더한다면 앞서 설명된 주파수 공동사용에 대한 기술기준 제정에 도움이 될 것으로 기대된다.

#### References

- [1] 황승훈, 이성형 홍인기, "비면허 대역을 이용한 LTE 기술", 한국통신학회논문지, 31(11), pp. 73-78, 2014년 10월.
- [2] 김준석, 손위평, 유성진, 엄중선, 심병효, 최성현, 이병기, "Wi-Fi에 미치는 5 GHz 비면허 대역 LTE-LAA 간섭 신호 모델링 및 시뮬레이션 기반 성능 검증", 한국통신학회 학술대회논문집, 2015년 1월.
- [3] 윤현구, 강민수, 장병준, "908.5~914 MHz 대역에서 RFID와 USN 시스템의 주파수 공유 조건에 관한 연구", 한국전자과학회논문지, 19(6), pp. 647-656, 2008년 6월.
- [4] 장병준, 김석환, 윤현구, 최선웅, "IEEE 802.15.4 MAC 계층 기반의 이기종 비면허 기기간 주파수 간섭 회피 방법", 한국전자과학회논문지, 25(1), pp. 76-82, 2014년 1월.
- [5] 박진수, 윤현구, 장병준, "비면허기기 간 실시간 주파수간섭 분석 테스트베드 구현", 한국전자과학회논문지, 26(6), pp. 589-592, 2015년 6월.
- [6] R. Khanduri, S. S. Rattan, "Performance comparison analysis between IEEE 802. 11a/b/g/n standards", *International J. of Computer Applications* 78.1(2013): 13-20.
- [7] Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer Specifications, IEEE Std. 802.11-2007.