

비면허기기 간 실시간 주파수간섭 분석 테스트베드 구현

Test-Bed Implementation for Real-Time Frequency Interference Analysis between Unlicensed Devices

박진수 · 윤현구* · 장병준

Jin-Soo Park · Hyun-Goo Yoon* · Byung-Jun Jang

요약

본 논문에서는 2.4 GHz 대역에서 동작하는 Wi-Fi나 Zigbee 등 비면허기기 간 주파수간섭을 실시간으로 분석할 수 있는 테스트베드를 제안하였다. 제안된 테스트베드는 피간섭원과 간섭원의 RF부는 범용 SDR 보드인 Universal Software Radio Peripheral(USRP)로 구현하고, 모뎀은 Labview™를 이용하여 프로그래밍하여 구현하였다. 따라서 주파수간섭과 관련된 동작 주파수, 출력전력, 모뎀 파라미터 등을 손쉽게 변경할 수 있어 다양한 주파수간섭 환경을 손쉽게 모델링할 수 있을 뿐만 아니라, 주파수간섭에 따른 물리계층의 Bit Error Rate(BER) 열화 특성을 실시간으로 파악할 수 있는 장점이 있다. 테스트베드의 검증을 위해 피간섭원으로 IEEE 802.15.4를, 간섭원으로 IEEE 802.11b를 구현하여 실시간으로 주파수간섭 영향을 측정하고, 이를 이론 및 MATLAB/Simulink 시뮬레이션 결과와 비교하여 1 dB 이내로 일치함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we suggested a real-time test-bed for analyzing frequency interference between 2.4 GHz unlicensed devices, such as WiFi, Zigbee, etc. Owing to versatile programming capability of Universal Software Radio Peripheral(USRP) and Labview™, frequency interference environments can be easily modeled. Therefore, performance degradation effects due to various parameters of interferer and victim receiver can be analyzed intuitively. For verification, we showed a frequency interference scenario, which consists of IEEE 802.15.4 as a victim and IEEE 802.11b as a interferer. Measured Bit Error Rate(BER) results showed good agreement with theory and simulation results.

Key words: Frequency Interference, Unlicensed Devices, Performance Degradation, USRP, Labview

I. 서론

최근 2.4 GHz ISM(Industrial, Scientific, and Medical) 대역을 사용하는 비면허기기가 급증하고 있다. 하지만, 우선권이 없는 비면허 기기들이 주파수를 공동 사용하는

경우 주파수간섭이 발생한다. 따라서 비면허 기기 간 주파수간섭 영향을 정량적으로 분석하는 것은 합리적인 주파수 할당 등 전과정책이나 무선 LAN(WLAN: Wireless Local Area Network)이나 무선 PAN(WPAN: Wireless Personal Area Network) 등의 비면허 무선통신 규격의 표

「이 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음.」

국민대학교 전자공학부(Department of Electrical Engineering, Kookmin University)

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

· Manuscript received March 9, 2015 ; Revised May 12, 2015 ; Accepted May 12, 2015. (ID No. 20150309-018)

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

준화를 위해서 매우 중요하다^[1].

기존의 주파수간섭을 분석하는 방법을 정리하면 크게 SW 구현 방법과 HW 구현 방법이 있다. SW 구현 방법의 대표적인 예로서 유럽 ERO에서 개발하여 무료로 배포하고 있는 SEAMCATTM이 있다^[2]. SEAMCATTM은 간섭원의 간섭전력을 계산하여 피간섭원 수신부에 인가되는 신호 대 간섭비(SINR: Signal to Interference Ratio)를 계산한다. 이 방식은 간섭원의 분포에 따른 SINR값만을 제시할 뿐 간섭에 의한 BER(Bit Error Rate) 특성의 변화를 직접 분석하지는 못한다. 다음으로 Monte Carlo(MC) 기반의 물리 계층 시뮬레이터가 있다. 이 시뮬레이터는 주파수간섭 환경이나 모뎀 파라미터의 변화에 따른 BER의 변화를 확인할 수 있으나, 컴퓨터 시뮬레이션 결과이므로 실제 RF 환경에서 주파수간섭의 영향을 담지 못하는 한계가 있다^[3].

실제 RF 환경에서 주파수간섭의 영향을 분석하기 위한 HW 기반의 주파수간섭 분석을 위해서는 실제 상용 시스템을 이용하거나 계측기를 이용하여야 한다. 하지만, 실제 상용 시스템의 경우, 모뎀의 내장 소프트웨어 및 파라미터 변경이 어려워 BER과 같은 직관적인 주파수간섭 결과를 얻기 어렵다. 한편, 계측기를 이용하는 경우에는 실제 주파수간섭 환경을 구현하는 것이 용이하나, 비용이 많이 드는 단점이 있다. 또한, RF 파라미터를 변경하는 것은 가능하나, 다양한 통신 규격을 구현하기는 어려운 단점이 있다^{[4][5]}.

따라서 주파수간섭의 영향을 체계적으로 분석하기 위해서는 저가이면서 다양한 기능을 갖는 테스트베드 구현이 필요하다. 이에 본 논문에서는 피간섭원과 간섭원의 RF부는 범용 SDR 보드인 Universal Software Radio Peripheral(USRP)로 구현하고, 모뎀은 LabviewTM로 구성된 실시간 주파수간섭 분석 테스트베드를 제안하였다^{[4][5]}. 제안된 테스트베드는 간섭원과 피간섭원의 동작주파수나 출력전력 등 RF 파라미터뿐만 아니라, 데이터율이나 변조 방식 등 모뎀 파라미터를 자유롭게 조정함으로써 다양한 주파수간섭 환경을 손쉽게 모델링할 수 있을 뿐만 아니라, 주파수간섭에 따른 물리계층의 BER 열화 특성을 실시간으로 파악할 수 있는 장점이 있다^[6].

II. 실시간 테스트베드 구현

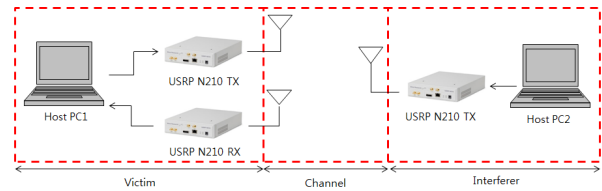


그림 1. 실시간 주파수간섭 분석 테스트베드 구성

Fig. 1. Configuration of a real-time frequency interference test-bed.

그림 1은 구현된 주파수간섭 분석 테스트베드의 구성도이다. 피간섭원의 경우, 송신부와 수신부 모두가 필요하므로 한 PC 상에서 LabviewTM를 이용하여 WPAN 모뎀을 구현한 후, 송신부, 수신부 각각을 USRP에 연결하여 구현하였다. 실제 LabviewTM를 사용하여 USRP와 연동 시 20 MHz의 대역폭을 갖는 모뎀신호를 실시간으로 구현할 수 있음을 확인하였다. 제안 테스트베드는 그림 1과 같이 일반적인 OTA(Over The Air) 환경에서의 실험이 이미 가능하다. 다만 잡음의 크기를 특정해야 정확한 SNR(Signal to Noise Ratio)을 도출할 수 있기 때문에 구현 테스트베드의 정확한 검증을 위해서 신호결합기와 감쇠기 및 계측기를 이용하여 conductive 방식으로 채널을 모사하였다. 마지막으로 간섭원은 동기화되지 않은 별도의 송신부만 필요하므로 별도의 PC와 USRP를 이용하여 WLAN 모뎀을 구현하였다. 사용한 PC는 모두 윈도우 환경이며, NI USRP-2922 보드 3개를 사용하였으며, 전력결합기는 Minicircuit 사의 ZFSC-2-2500-S+을 사용하였고, 감쇠기는 15-542 모델을 사용하였다.

해당 실험에서 이격 거리에 대한 고려가 없으므로 WPAN 송신 USRP의 출력전력은 1 mW로 고정하였으며, 간섭원인 WLAN의 출력전력은 IEEE 802.11b 규격을 참조하여 30 mW로 고정하였다. 감쇠기는 잡음 발생기로부터 입력 받은 잡음을 이용하여 신호대비 SNR을 도출하기 위해 감쇠도를 -10 dB부터 -30 dB까지 1 dB 씩 낮춰가며 사용하였다. 이렇게 구현된 테스트베드를 이용하면 출력전력 이외에도 다양한 RF 및 모뎀파라미터를 자유롭게 가변할 수 있다. 예를 들어 중심주파수와 같은 RF 파라미터와 변조방식, Pulse shaping 필터, 확산(Spreading) 방식, 데이터율, 대역폭 등의 모뎀 파라미터 모두를 조절할

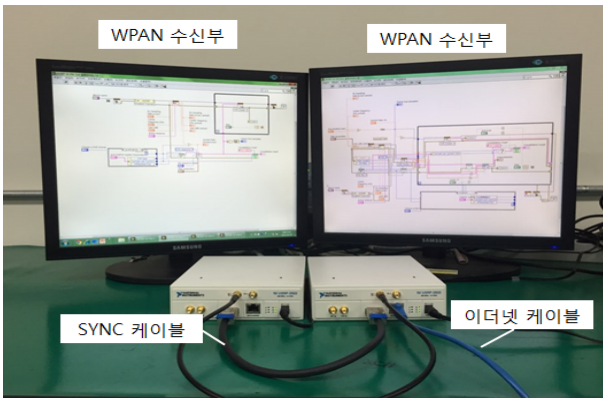


그림 2. WPAN 피간섭원 송수신부 구현 결과
Fig. 2. Implementation of WPAN TX/RX using USRP and LABVIEW™.

수 있다.

그림 2는 USRP를 이용하여 실제 구현된 WPAN 피간섭원의 송신부와 수신부를 나타낸다. WPAN 송신부는 Labview™로 프로그래밍된 데이터 소스, OQPSK 변조기, Pulse shaping filter, Spreading 블록과 USRP TX 블록으로 구성된다. 데이터 소스에는 동기 및 delay를 보상하기 위한 Barker 코드를 추가하여 출력하며, Pulse shaping filter는 Half-sine filter를 사용하여 8배의 upsample을 하였다. 또한, USRP TX의 중심 주파수는 2.4 GHz ISM 대역을 설정하였다. 수신부는 USRP RX로 시작하여 정합필터, 주파수 오프셋 보상 블록, 위상 오프셋 보상 블록, 두 USRP 간의 동기를 맞추기 위한 USRP sync 블록, OQPSK 복조기, 디코딩 블록, 수신 데이터를 엑셀에 저장하는 파일 출력 블록, 수신 데이터를 이용하여 BER 결과 출력을 위한 블록으로 이루어진다.

III. 구현된 테스트베드 검증

구현한 테스트베드의 검증을 위해 그림 3과 같은 세 가지 간섭 시나리오를 가정하였다. 먼저 WLAN 채널은 2.4 GHz 대역 중 가운데 채널로 설정하였고, WPAN 채널은 case 1의 경우 26번으로 하여 WLAN과 겹치지 않아 간섭이 없는 경우고, case 2는 15번으로 WLAN 채널과 일부 겹쳐 간섭이 조금 있는 경우, case 3는 17번으로 WLAN 채널과 완전히 겹쳐 간섭이 100 % 발생하는 경우다. 한

표 1. 주파수간섭 테스트 베드의 가변 파라미터
Table 1. Parameters for frequency interference.

CCA mode 1	Energy detection
CCA mode 2	Carrier sensing
CCA mode 3	Carrier sensing with energy detection

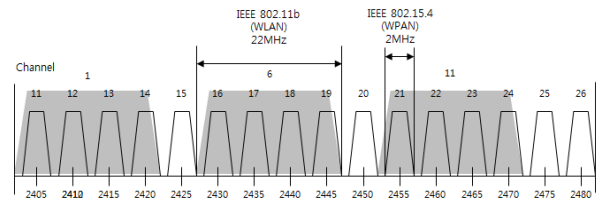


그림 3. IEEE 802.11b 무선 LAN과 IEEE 802.15.4 WPAN 간의 간섭 시나리오
Fig. 3. Interference scenario between IEEE 802.11b WLAN and IEEE 802.15.4 WPAN.

그림 3. IEEE 802.11b 무선 LAN과 IEEE 802.15.4 WPAN 간의 간섭 시나리오
Fig. 3. Interference scenario between IEEE 802.11b WLAN and IEEE 802.15.4 WPAN.

편, IEEE 802.15.4와 IEEE 802.11b 규격에는 이와 같은 상황을 피하기 위한 CCA(Clear Channel assessment) 방법이 존재하며, 크게 표 1과 같이 크게 3가지의 모드로 구분된다.

'Energy detection' 모드는 사용하려고 하는 채널에 다른 규격의 기기가 존재하더라도 에너지 자체를 검출하기 때문에 충돌을 피할 수 있다. 'Carrier sensing' 모드는 같은 규격의 기기를 sensing하는 모드이다. 우리는 이 중 Zigbee와 WiFi 기기 모두가 'Carrier sensing' 모드로 동작하여 서로가 특정 채널을 사용하고 있음을 모르는 최악의 공존상황에 놓여있다고 가정하여 실험하였다.

$$P_e = \frac{8}{15} \frac{1}{16} \sum_{k=2}^{16} -1^k \binom{16}{k} e^{\left(20 \times SNR \times \left(\frac{1}{k} - 1\right)\right)} \quad (1)$$

실험결과는 그림 4와 같다. 원활한 BER 결과, 도출을 위해 2장에서 설명한대로 WPAN 송신 출력과 WLAN 송신 출력은 고정하고, 잡음 발생기에 감쇠기를 연결하여 원하는 SNR 값을 맞추기 위해 conductive 방식으로 실험 진행하였다. 또, case 별 사용 채널이 다르기 때문에 USRP의 중심주파수를 해당 채널로 가변하면서 실험하였다. 먼저 간섭 없이 사용할 수 있는 채널을 사용하는 case 1의 BER 결과와 MATLAB/Simulink를 이용한 MC 시뮬레이

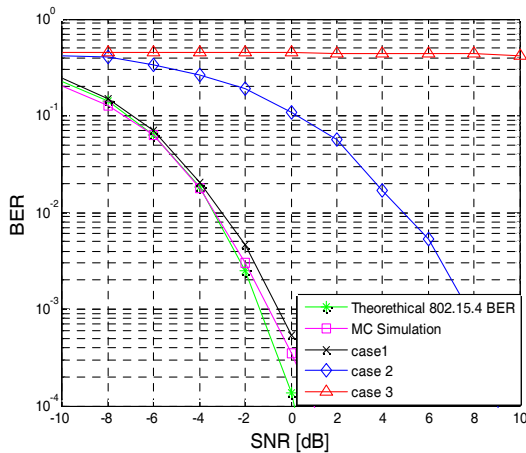


그림 4. IEEE 802.11b 무선 LAN과 IEEE 802.15.4 WPAN 간의 간섭 실험

Fig. 4. Interference results between IEEE 802.11b WLAN and IEEE 802.15.4 WPAN.

선 결과 및 식 (1)을 이용한 IEEE 802.15.4의 이론적 SNR vs BER의 결과를 비교했을 때 도출된 모든 BER 값에서 SNR의 오차가 1 dB 이내임을 확인함으로써 제안 테스트 베드가 올바르게 구현되었음을 검증할 수 있다. 또한, 사용 채널 case에 따라 작용하는 간섭 전력이 다르기 때문에, 간섭이 클수록 BER 저하 경향이 커지는 것을 검증하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 2.4 GHz 대역에서 동작하는 WiFi나 Zigbee 등 비면허기기 간의 주파수간섭을 실시간으로 분석할 수 있는 테스트베드를 제안하였다. 제안된 테스트베드는 피간섭원과 간섭원을 손쉽게 모델링할 수 있어 주

파수 간섭에 의한 피간섭원의 물리계층의 BER 열화를 실시간으로 파악할 수 있는 장점이 있다. 테스트베드의 타당성을 보이기 위해 본 논문에서는 IEEE 802.11b 간섭에 의한 IEEE 802.15.4 기반의 WPAN 시스템의 BER 특성을 검증하였다. 본 테스트베드는 이러한 간섭환경 이외에 다양한 비면허기기의 규격을 구현할 수 있으므로 다양한 간섭영향 분석에 적용할 수 있다.

References

- [1] 장병준, 최선웅, 윤현구, "비면허 기기 간 주파수 공동 사용을 위한 MAC 계층 기반의 간섭 분석 및 간섭 완화 정책", 한국전자과학회논문지, 24(8), pp. 841-848, 2013년 8월.
- [2] <http://www.seamcat.org>
- [3] 장병준, 최선웅, 윤현구, "IEEE 802.15.4 MAC 계층 기반의 이기종 비면허 기기 간 주파수간섭 회피 방법", 한국전자과학회논문지, 25(1), pp. 76-82, 2014년 1월.
- [4] 김재명, 손성환, 장성진, 정봉민, 정원식, 조재범 "USRP를 이용한 CR emulated test-bed 구현", 한국통신학회지(정보와통신), 27(8), pp. 37-42, 2010년 7월.
- [5] 박대현, 김영식, "USRP와 GNU Radio를 이용한 IEEE 802.15.4 물리 계층 소프트웨어 라디오 시스템 구현", 한국전자과학회논문지, 21(11), pp. 1214-1219, 2010년 11월.
- [6] Ruihui Di, Senlin Peng, Steve Taylor, and Yu Morton, "USRP-based GNSS and interference signal generator and playback system", *IEEE Position Location and Navigation Symposium(PLANS) 2012 IEEE/ON*, pp. 470-488, Apr. 2012.