

비면허 기기 간 주파수 공동사용을 위한 MAC 계층 기반의 간섭 분석 및 간섭 완화 정책

Interference Analysis and Its Mitigation Policy Based on MAC Layer for Peaceful Co-Existence between Unlicensed Devices

장 병 준 · 최 선 웅 · 윤 현 구*

Byung-Jun Jang · Sunwoong Choi · Hyungoo Yoon*

요 약

이러한 비면허 기기들이 동일한 주파수 대역을 공동으로 사용하기 위해서는 상호 간 주파수 간섭을 최소화할 수 있는 정책적 배려가 필요하다. 이 때 비면허 기기 간 주파수 간섭의 영향은 분석 계층에 따라 그 결과가 달라질 수 있으므로 정확한 주파수 간섭 분석이 관련 정책을 만들기 전에 선행되어야 한다. 본 논문에서는 현재 주파수 간섭 이슈가 활발히 논의되고 있는 2.4 GHz ISM 대역을 공동 사용하고 있는 WLAN과 WPAN 시스템 간의 주파수 간섭 영향을 물리 계층과 MAC 계층에서 각각 분석하였다. 분석 결과, 물리 계층보다는 MAC 계층을 고려한 주파수 간섭 분석이 간섭실험 결과에 더 근접함을 확인하였다. 이를 바탕으로 향후 비면허 기기 간 주파수 공동 사용을 위해 MAC 계층에서의 새로운 공동 사용 조건 등 간섭 완화 정책을 제안하였다.

Abstract

In order for unlicensed devices to co-exist on the same frequency band, the frequency interference mitigation policy is necessary. Because the effects of frequency interference between unlicensed devices may vary depending on the analysis layer, exact interference analysis must be proceeded before making any related spectrum policy. In this paper, a frequency interference between WLAN and WPAN systems that operate at 2.4 GHz ISM band were analyzed in the physical layer and MAC layer, respectively. From the results, we confirmed that the interference analysis in MAC layer is closer to the measured results. Based on these investigations, we suggest a new co-existence criterion for unlicensed devices in MAC layer.

Key words : Frequency Interference, Spectrum Etiquette, WLAN, WPAN, ISM Band, SEAMCAT, NS-2

I. 서 론

최근 들어 스마트폰의 대두로 무선데이터 사용이 일반화함에 따라 통신 분야의 주파수 수요가 급속히

증가하고 있을 뿐만 아니라, 주파수를 필요로 하는 분야가 방송/통신 이외에 의료/공공 안전 등으로 급속히 확산되고 있다. 이에 따라 주파수 가치가 기하급수적으로 늘고 있다. 따라서 UWB(Ultra Wide-

「이 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학IT연구센터 육성지원 사업(NIPA-2013-H0301-13-2007) 및 미래부가 지원한 2013년 정보통신·방송(ICT) 연구개발사업의 연구결과로 수행되었음.」

국민대학교 전자공학과(Department of Electrical Engineering, Kookmin University)

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

· Manuscript received May 29, 2013 ; Revised July 31, 2013 ; Accepted August 5, 2013. (ID No. 20130529-03S)

· Corresponding Author : Hyungoo Yoon (e-mail : hgyoon@mjc.ac.kr)

Band), CR(Cognitive Radio) 등의 첨단 주파수 공유기술이 등장하고, TV whitespace 대역이 Super WiFi 용으로 사용될 수 있도록 개방되는 등, 주파수 공유 및 공동사용의 필요성이 현저하게 증가하고 있다^[1].

주파수 공유 및 공동사용은 그 방식에 따라 표 1과 같이 다양하게 분류될 수 있다. 첫 번째로 면허대역 내에서의 주파수 공유가 있다. 예를 들어 이동통신 사업자는 특정 주파수 대역에 대해 대가를 지불하고 사용권을 획득한다. 사업자는 기지국을 공간적으로 이격시키거나 코드로 분리하여 동일한 주파수를 재사용하는 주파수 재사용(frequency reuse) 기법을 적용한다. 이러한 주파수 재사용은 사업자가 최적의 셀 배치를 통해 간섭레벨을 제어할 수 있으므로 간섭 이슈가 발생하지 않는다.

두 번째로 면허 기기와 비면허 기기 간의 주파수 공동사용이 있다. 이 경우 면허기기가 해당 주파수에 우선권이 있으므로 비면허 기기는 면허기기에 주파수 간섭을 주지 않도록 조치를 취해야 한다. 예를 들어 UWB 등과 같이 낮은 출력으로 송신하는 underlay 기법, CR 기술과 같이 면허기기가 사용하지 않을 때만 주파수를 사용하는 overlay 기법 등이 사용되어야 한다. 이 경우 주파수 간섭이 없거나 있더라도 영향을 주지 않으므로 간섭 이슈는 발생하지 않는다.

마지막으로 비면허 기기 간의 주파수 공동 사용이 있다. 이 경우, 우선권이 있는 기기가 없으므로 주파수 간섭에 취약하게 된다. 예를 들어, WLAN(Wireless LAN) 기기를 여러 사업자가 무분별하게 설치

할 경우 주파수 간섭이 발생한다. 또한 동일한 주파수 대역을 성격이 다른 비면허 기기가 공동사용하는 경우에도 간섭이 발생한다. 그 예로는 국내 917~923.5 MHz 대역의 RFID(Radio Frequency Identification) 기기와 USN(Ubiquitous Sensor Network) 기기 간의 간섭, 2.4 GHz ISM(Industrial, Scientific, and Medical) 대역에서 WLAN과 WPAN(Wireless Personal Area Network) 간의 간섭 등이 있다^[2]. 한편, 같은 기기 내에 두 시스템이 공존하는 경우, 예를 들어 노트북에 WLAN과 Bluetooth 장치가 같이 설치되어 있는 경우에는 간섭을 최소화할 수 있는 표준(IEEE802.15.2 등)을 채택하면 간섭문제가 발생하지 않는다^[3]. 종합하면, 동일한 주파수 대역을 비면허 기기가 공동사용할 경우, 공동사용을 위한 표준이 없다면 주파수 간섭이 발생하여 시스템 성능에 영향을 주게 된다.

이러한 주파수 간섭을 최소화하기 위해서는 주파수 에티켓 제정과 같은 정책적 배려가 필요하다. 이러한 노력의 일환으로 WLAN의 경우 정부에서는 ‘WLAN 주파수 혼신 최소화 가이드라인’을 배포하여 WLAN 간 주파수 간섭을 최소화하려고 노력하고 있다. 하지만 WLAN과 WPAN 등 이기종 비면허 기기가 동일한 주파수를 공동사용하는 경우에는 아직까지 특별한 가이드라인이 없는 상태이다.

본 논문에서는 이기종 비면허 기기의 주파수 공동사용을 위한 간섭 완화 정책을 논의한다. 특히, 비면허 기기 간 주파수 간섭 영향은 분석 계층에 따라 그 결과가 달라질 수 있기 때문에 정확한 주파수 간섭 분석이 관련 정책을 만들기 전에 선행되어야 한다. 본 논문에서는 2.4 GHz ISM 대역을 공동 사용하고 있는 WLAN과 WPAN 시스템 간의 주파수 간섭 영향을 물리 계층과 MAC 계층에서 각각 분석한다. 이 대역은 현재 주파수 간섭 논의가 활발한 주파수 대역이다. 또한, 분석된 결과를 바탕으로 향후 비면허 기기 간 주파수 공동 사용을 위한 새로운 공동 사용 조건 등의 간섭 완화 정책을 제안하고자 한다.

II. 주파수 간섭 분석법

비면허 기기 간 주파수 공동 사용에 따라 발생하는 주파수 간섭을 분석하는 다양한 방법이 존재한

표 1. 주파수 공동 사용 유형
Table 1. Comparison of frequency co-existence.

Service type	Characteristics	Interference problem
Licensed	Frequency reuse (Ex: Cellular band)	No
Licensed + unlicensed	Underlay(Ex: UWB), Overlay(Ex: CR)	Yes but can be controlled
Unlicensed	with co-existence scheme (Ex: IEEE 802.15.2)	No
	without co-existence scheme (Ex: WLAN/WLAN, RFID/USN, WLAN/WPAN)	Yes

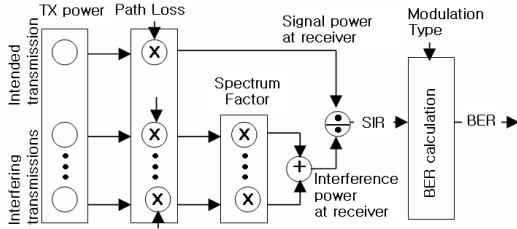


그림 1. 물리 계층에서 주파수 간섭 분석
Fig. 1. Interference analysis on PHY layer.

다. 이러한 분석 방법은 크게 물리 계층의 분석법과 MAC 계층의 분석법으로 구분할 수 있다⁴⁾.

먼저 물리 계층의 주파수 간섭 분석 방법으로는 MCL(Minimum Coupling Loss), MC(Monte Carlo) 방법 등이 있으며, 기본적인 구조는 그림 1과 같다³⁾. 먼저, 두 시스템의 물리적인 이격거리에 따른 간섭 전력을 계산하기 위하여 경로손실 모델을 사용한다. 만약 두 시스템이 사용하는 중심 주파수가 차이가 날 경우에는 spectrum factor를 사용한다. 이렇게 경로손실과 주파수 차를 고려하여 피간섭원 수신기에 도달하는 신호원의 세기와 간섭원의 세기를 계산한다. 이 두 값을 나누게 되면 신호 대 간섭비(SINR: Signal to Interference and Noise Ratio)를 계산할 수 있다. 이로부터 간섭이 있는 환경에서의 BER(Bit Error Rate)값을 계산할 수 있으며, 이를 프레임 길이로 환산하면 FER(Frame Error Rate)를 계산할 수 있다. 즉, 주파수 간섭에 따른 물리 계층, 즉 모델의 특성을 BER 공식을 이용하여 간접적으로 분석하는 것이다. 물리 계층에서 주파수 간섭을 분석하는 대표적인 시뮬레이터로는 유럽 ERO에서 개발하여 무료로 배포하고 있는 SEAMCATTM이 있다⁵⁾.

다음으로 MAC 계층에서 주파수 간섭을 분석할 수 있다. MAC 계층의 시뮬레이션은 기본적으로 이벤트(event) 방식의 시뮬레이션으로, MAC 계층에서 MAC 패킷이 발생하거나 소멸하는 시점에서 이벤트를 생성한다. 생성된 패킷은 MAC 방식 (CSMA/CA 등)에 따라 전송되게 되는데, 이 때 간섭원 패킷의 발생 이벤트가 피간섭원 패킷의 발생 및 소멸 이벤트 사이에 생성되고, 그 출력이 수신 중인 패킷에 에러를 줄 수 있을 정도로 크다면 충돌되었다고 가정한다. 이렇게 간섭에 따라 충돌된 패킷과 전송에 성

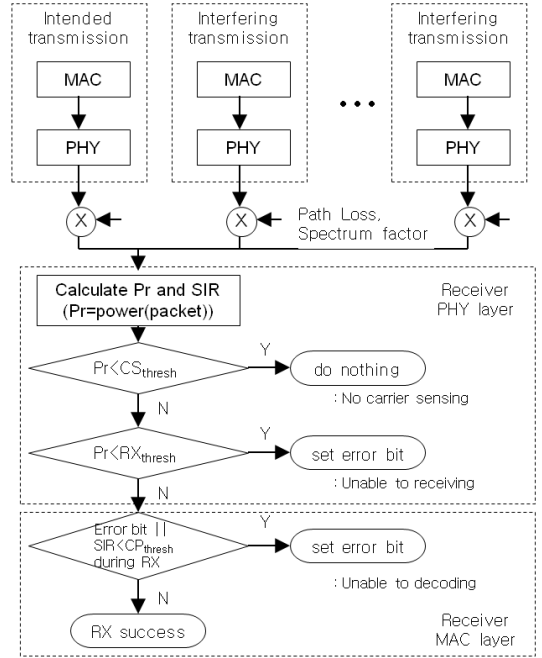


그림 2. MAC 계층에서의 주파수 간섭 분석
Fig. 2. Interference analysis on MAC layer.

공한 패킷의 수를 확인하여 전송률(throughput)과 지연시간(delay) 등을 계산한다. 그림 2에 MAC 계층 주파수 간섭 시뮬레이션의 기본적인 구성을 보여준다. 그림에서 CS_{thres} 는 Carrier Sensing할 수 있는 기준전력을, RX_{thres} 는 수신기가 수신 가능한 기준전력을, CP_{thres} 는 간섭원 전력이 수신 가능한 기준전력보다 커서 복조가 되지 않는 기준 전력을 나타낸다. 일반적으로 NS-2와 같은 MAC 시뮬레이터에 그림 2와 같은 기능을 사용자가 직접 프로그래밍하여 MAC 계층의 주파수 간섭을 시뮬레이션할 수 있다⁶⁾. MAC 시뮬레이터의 단점으로는 간섭원과 피간섭원 모두에 MAC 패킷을 생성해야 하기 때문에 코딩이 어렵고 시뮬레이션 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다.

마지막으로 MAC 알고리즘을 Markov chain으로 모델링하고, 여기에 간섭 확률 분포를 삽입하는 방법을 최근에 본 연구팀에서 고안하여 발표한 바 있다. 이 방법은 앞에서 제시한 물리 계층과 MAC 계층을 모두 포함하는 주파수 간섭 분석 방법이면서도 MAC 패킷을 일일이 만들 필요가 없이 Markov chain으로 모델링함으로써 시뮬레이션 시간이 빠르다는 장점이 있다⁴⁾.

III. 주파수 간섭 분석 사례

II장에서 비면허 기기 간의 주파수 간섭을 분석하는 방법이 계층별로 다양함을 보였다. 본 장에서는 이러한 계층별 분석 방법의 특징 및 한계점을 2.4 GHz ISM 대역에서 WLAN과 WPAN이 공동사용하는 주파수 간섭 시나리오를 이용하여 분석하고자 한다.

3-1 물리 계층 주파수 간섭 분석 결과

WLAN과 WPAN 시스템 간의 주파수 간섭 시나리오는 주파수, 시간, 사용 환경에 따라 매우 다양할 수 있다^[7]. 하지만, 본 절에서는 계층별 주파수 간섭 분석 방법의 장단점만을 살피는 것이 목적이므로 그림 3과 같이 한 쌍의 WLAN 기기와 한 쌍의 WPAN 기기가 2.4 GHz ISM 대역에서 주파수를 공동 사용하는 간단한 시나리오를 가정하였다. 이 때 WLAN 기기는 11 Mbps의 IEEE 802.11b 규격을 사용하는 기기이며, WPAN 기기는 IEEE 802.15.4 규격을 사용하는 Zigbee 기기이다. WLAN에 의한 WPAN의 간섭영향을 시뮬레이션하기 위한 시나리오는 참고문헌 [3]의 IEEE 802.15.2 표준을 참조하였다. 그림에서처럼 Zigbee 노드는 자유공간에서 서로 25 m 떨어져 있으며, 이는 Zigbee 최소 수신감도인 -75 dBm 값보다 10 dB 큰 경우이다. 시나리오는 WLAN 기기가 25 mW(14 dBm)의 출력으로 송신할 경우 WLAN 노드를 거리 d 에 따라 최대 100 m까지 이동하면서 BER 특성을 확인하였다.

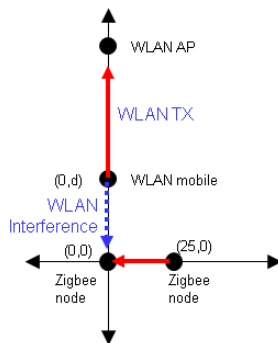


그림 3. WLAN과 WPAN 간섭 시나리오
Fig. 3. Interference scenario between WLAN and WPAN devices.

이 때 사용한 시뮬레이션 파라미터는 다음과 같다. 먼저 2.4 GHz 대역에서의 경로손실 모델은 식 (1)과 같다.

$$PL(d) = \begin{cases} 40.2 + 20\log_{10}(d), & d \leq 8 \text{ m} \\ 58.5 + 33\log_{10}(d/8), & d > 8 \text{ m} \end{cases} \quad (1)$$

다음으로 SINR에 따른 BER 곡선은 IEEE 표준^[3]의 근사식을 이용하여 계산하였다. 예를 들어 Zigbee의 BER 공식은 식 (2)와 같이 주어지며, 대표적인 몇 가지 변조 방식의 BER 곡선을 비교한 결과는 그림 4와 같다.

$$BER = \frac{8}{15} \times \frac{1}{16} \times \sum_{k=2}^{16} -1^k \binom{16}{k} e^{(20 \times SINR \times (\frac{1}{k} - 1))} \quad (2)$$

그림 3의 간섭 시나리오에 따라 WLAN에 의한 WPAN 시스템의 간섭 영향을 분석한 결과는 그림 5와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 물리 계층에서 주파수 간섭을 분석하면 WLAN 간섭원에 의해 WPAN은 간섭의 영향을 받게 된다. 예를 들어 WLAN과 WPAN 채널의 중심 주파수가 같을 경우에는 50 m 이하의 거리에서 WPAN은 10^{-3} 이상의 에러 확률을 보이게 되어 사용하기 어렵다. 반대로 WPAN에 의해서도 WLAN도 간섭을 받게 된다. 이는 물리 계층 간섭 분석이 피간섭원의 전력과 간섭원의 전력만을 계산하기 때문이며, 실제 각 시스템이 사용하고 있는 MAC 프로토콜(CSMA/CA 등)은 전혀 고려하고 있지 못함을 알 수 있다.

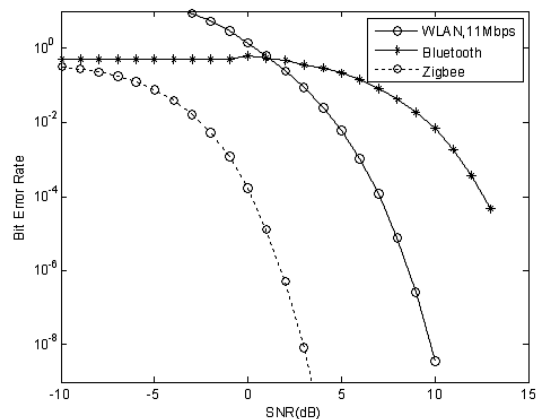


그림 4. WLAN과 WPAN의 BER 곡선
Fig. 4. BER curve of WLAN and WPAN.

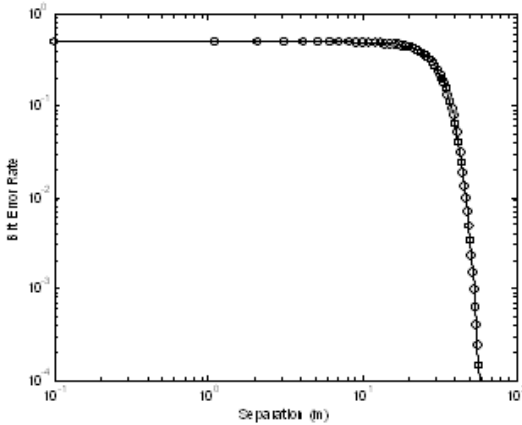


그림 5. WLAN 간섭의 변화에 따른 WPAN의 BER 특성 변화
 Fig. 5. BER performance variation of WPAN as a function of WLAN interference.

3-2 MAC 계층 주파수 간섭 분석 결과

앞에서 살펴본 바와 같이 물리 계층에서 주파수 간섭을 분석하는 방법은 단순히 SINR 값에 따른 BER 또는 FER을 계산하는 것으로 실제 MAC 프로토콜에 따른 throughput 성능은 계산할 수 없다. 실제 WPAN과 WLAN 기기를 동일 지역에 동일 채널을 사용하도록 설치하게 되면 WLAN은 throughput의 저하가 거의 없으며, WPAN은 throughput의 저하를 보이는 하지만 수 m 이내의 거리에서도 일부 데이터 교환이 이루어진다. 따라서 물리 계층에서 주파수 간섭 분석은 실제 상황을 반영하지 못하는 한계가 있음을 알 수 있다. 실제 주파수 간섭이 일어나는 현상을 정확히 파악하기 위해서는 무선 패킷이 주파수 간섭에 의해 충돌되는 상황을 정확히 모델링하여야만 한다.

본 절에서는 2장에서 설명한 NS-2 시뮬레이터를 이용하여 동일 채널 주파수 간섭이 존재할 경우 MAC 계층에서의 성능의 변화를 분석하였다. 그림 3의 시나리오에서 WLAN 송신기와 WPAN 수신기 사이의 거리를 1 m로 설정하고, WLAN 시스템의 데이터 부하를 0 Mbps부터 10 Mbps까지 증가시키면서 WPAN의 MAC 성능을 살펴보았다. 주파수 채널은 22번 (2,460 MHz) 채널로서 WLAN과 WPAN 기기가 동일한 주파수를 사용하도록 하였다. 1 m의 이격 거리는 3-1절의 물리 계층 분석에서는 주파수 간섭에 의해

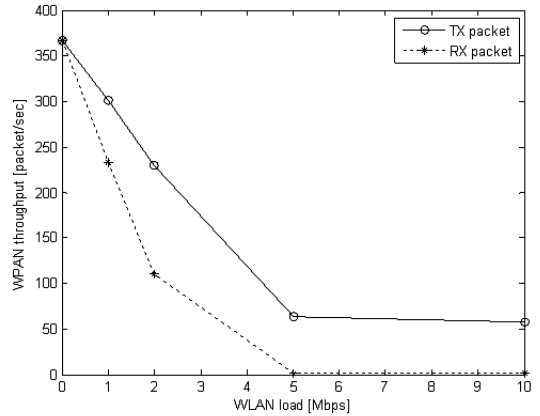


그림 6. WPAN 시스템의 데이터 부하에 따른 동일 채널 WPAN의 성능 저하 특성
 Fig. 6. Performance degradation of WPAN device due to WLAN offered load.

통신이 전혀 이루어지지 않는 거리이다. MAC 계층 분석 결과는 그림 6과 같다.

WLAN의 부하를 0 Mbps로 하게 되면 실제로 WLAN 통신이 이루어지지 않으므로 간섭이 없는 경우이고, 부하속도가 증가될수록 WLAN 패킷이 빈번히 송수신되어 간섭확률이 증가하게 된다. WPAN 패킷의 크기는 예상한 바와 같이 WPAN에서 채용하고 있는 CSMA/CA 다중 접속 방식에 따라 송신 패킷의 전송률이 저하될 뿐만 아니라, 실제 성공적으로 수신되는 패킷의 수도 감소하게 됨을 알 수 있다. 데이터 부하 5 Mbps와 10 Mbps의 결과가 유사하게 나오는 것은 실제 WLAN의 경우 물리 계층 속도가 11 Mbps이라 하더라도 최대 MAC throughput은 6.5 Mbps 정도가 최대이기 때문이다.

다음으로 WLAN의 데이터 부하는 10 Mbps로 고정하고, 주파수 채널에 따른 WPAN의 throughput 변화를 분석하였다. 또한, 시뮬레이션 결과를 검증하기 위하여 다음과 같은 간섭실험을 실시하였다. 먼저, WLAN은 IEEE 802.11b 규격을 갖는 Notebook 한 대와 WLAN AP 하나로 구성하였다. WPAN은 tiny-OS^[8]로 동작하는 Knote 센서 노드 2개로 구성하였으며, IEEE 802.15.4 규격을 따르게 하기 위하여 Telecommunication Networks Group에서 제공하는 tiny-OS용 TKN15.4 코드^[9]를 활용하여 센서 노드를 구성하였다. 거리는 1 m로 고정하여 가능한 한 시뮬레이션 환경과 동일하게 맞추었다. 채널의 변화에 따른

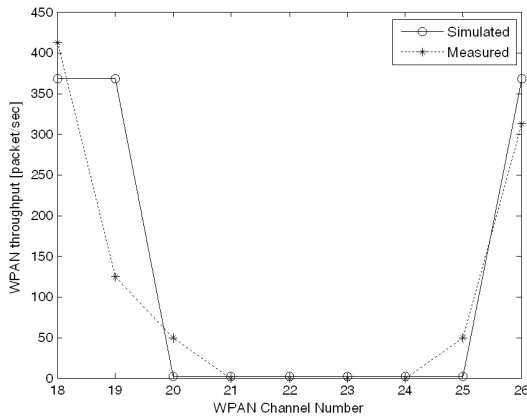


그림 7. 주파수 채널 변화에 따른 WLAN과 WPAN의 성능 저하 특성

Fig. 7. Performance degradation of WLAN and WPAN devices due to frequency channel variation.

MAC 계층 시뮬레이션 결과 및 실험 결과는 그림 7과 같다. WLAN 채널은 중심 주파수 2,462 MHz이고, 채널 대역폭이 22 MHz인 11번 채널을 사용하였다. WPAN은 21번(2,455 MHz)부터 채널 24번(2,470 MHz)까지는 WLAN과 WPAN 스펙트럼이 겹치는 영역이므로 throughput이 거의 영임을 알 수 있다. 채널 18번(2,440 MHz)과 채널 26번(2,480 MHz)의 경우에는 채널이 겹치지 않으므로 간섭이 없는 경우와 동일한 throughput 성능을 보인다. 실험에서는 WPAN 채널 19번, 20번, 25번은 인접 채널로서, 스펙트럼 마스크에 의해 일부 간섭 영향을 받음을 확인할 수 있다. 하지만 시뮬레이션에서는 실제의 스펙트럼 마스크가 아닌 WLAN과 WPAN의 규격 상의 스펙트럼 마스크를 사용하였기 때문에 인접 채널의 효과는 확인할 수 없었다.

앞에서 설명한 바와 같이 WPAN은 CSMA/CA 알고리즘에 따라 WLAN 패킷이 있을 경우 데이터를 송신하지 않으므로 주파수가 겹칠 경우 throughput이 급속히 떨어짐을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 동일한 주파수 대역을 공동 사용하는 비면허 기기 간 주파수 간섭은 MAC 계층에서 분석해야 함을 알 수 있다.

3-3 주파수 효율 개선

한편, 3-2절의 그림 6 및 그림 7의 주파수 간섭 분

표 2. 주파수 공동사용에 따른 주파수 효율 개선율
Table 2. Enhancement rate of spectral efficiency due to frequency co-existence.

WLAN(Mbps)	WPAN(bps)	주파수 효율 개선율(%)
1	231×256×4	23.6
2	111×256×4	5.7
5	2×256×4	0.04

석 결과를 이용하면 주파수 공동 사용으로 인한 주파수 효율 개선을 정량적으로 도출할 수 있다. WLAN 채널의 대역폭이 22 MHz이고, WPAN의 채널 대역폭이 5 MHz이므로, WLAN 1개의 채널에 보호 대역을 포함한 4개의 WPAN 채널이 해당 대역을 공동으로 사용할 수 있다. 따라서 주파수 공동 사용으로 인한 주파수 효율 개선율(ϵ)은 WLAN 단독 사용 대비 WLAN과 WPAN이 같이 사용하는 경우의 주파수 효율의 비로 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\epsilon = \frac{\eta_{WLAN+WPAN}}{\eta_{WLAN}} - 1 = \frac{T_{WPAN}}{T_{WLAN}} \quad (3)$$

여기서, η 는 주파수 효율을, T 는 전송률을 의미한다.

그림 6에서 계산한 WLAN의 부하에 따른 WPAN의 전송률을 식 (3)을 이용하여 주파수 효율 개선율로 나타내면 표 2와 같다. 표 2에서 WPAN의 패킷 크기는 256비트로 하고, 22 MHz WLAN 채널 1개에 4개의 WPAN 채널을 고려하여 계산하였다. WLAN 부하가 1 Mbps일 때, WLAN 단독으로 사용할 경우에 비해 주파수 효율은 23.6 %로 개선되며, 2 Mbps 부하일 경우에는 5.6 %가 개선된다.

앞의 주파수 공동사용에 따른 MAC 계층의 전송률 감소와 주파수 효율 개선율과 같은 정량적인 지표를 활용하면, 기존의 간섭원으로부터 피간섭을 보호하려는 측면의 간섭보호 기준이 아닌, 보다 실질적인 주파수 공동사용 조건을 도출할 수 있음을 알 수 있다.

IV. MAC 계층 기반의 간섭 완화 정책

III장에서 WLAN 및 WPAN 기기가 동일한 주파수 대역을 공동 사용할 경우, 주파수 간섭 특성을 물

리 계층과 MAC 계층에서 각각 분석하였다. 먼저 물리 계층에서 분석한 결과, 50 m 이하의 이격거리 이하에서는 통신이 이루어지지 않는 결과가 나옴을 확인하였다. 반면, MAC 계층에서의 성능 분석을 하게 되면 물리 계층에서는 통신이 이루어지지 않는다고 한 매우 짧은 거리에서도 실제 간섭원이 송신을 하지 않는 경우에는 피간섭원이 데이터를 주고 받을 수 있으므로, 비록 throughput의 저하는 발생하지만 데이터 송수신이 일부 이루어짐을 알 수 있다. 이러한 결과를 실제 한 쌍의 WLAN 기기와 한 쌍의 WPAN 기기를 설치하여 측정된 결과와 비교하여 검증하였다. 따라서 MAC 계층을 고려한 주파수 간섭 분석이 실제 상황과 더 근접함을 알 수 있다.

이러한 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 유추할 수 있다. 첫째 물리 계층에서만 주파수 간섭을 분석하는 것은 실제 상황보다 심각한 간섭 영향을 나타내며, MAC 계층을 고려한 주파수 간섭 분석이 실제 상황과 더 가까운 결과를 낳는다. 물론, 현재까지 주파수 간섭에 대한 연구는 주로 물리 계층에서 이루어져 왔으며, 이는 면허 대역의 경우 피간섭원을 보호한다는 측면에서는 바람직하다. 하지만 비면허 기기가 ISM 대역을 공동 사용하는 경우에는 어느 정도 간섭을 허용하므로 MAC 계층에서 간섭 분석이 이루어져야 한다. 물론, 본 논문에서는 몇 가지 단순한 경우만을 제시하였으므로 좀 더 다양한 시나리오를 고려한 심도 있는 연구가 필요하다.

둘째, 주파수 간섭 분석 시 주파수 채널, 스펙트럼 마스크, 설치 위치 등의 물리 계층 파라미터뿐만 아니라, 간섭원과 피간섭원의 부하 상태, 패킷의 크기, 충돌 회피 알고리즘과 같은 MAC 계층 파라미터에 따라서도 성능이 달라지므로 이러한 파라미터를 고려해서 주파수 간섭을 분석해야 한다. 본 연구 외에 다양한 분석 방법을 활용하여 물리 계층에서 MAC 계층 파라미터를 포함하거나, MAC 계층에서 물리 계층 파라미터를 포함하는 시도가 필요하다.

셋째, 비면허 기기 간의 주파수 공동사용에 따른 MAC 계층의 전송율 감소와 주파수 효율 개선율과 같은 정량적인 지표를 동시에 활용하면, 기존의 간섭원으로부터 피간섭원을 보호하려는 측면의 간섭 보호 기준이 아닌, 보다 실질적인 주파수 공동사용 조건을 도출할 수 있음을 알 수 있다.

마지막으로 본 논문에서 살펴본 바와 같이 MAC 계층 분석을 기반으로 한 주파수 공동사용 조건을 유도하여야 한다. 예를 들어 평균 throughput의 5% 또는 10% 저하를 기준으로 주파수 공동사용 조건으로 설정하는 것이 그 예가 될 수 있다. 비면허 기기를 설치하려는 사용자는 채널을 설정하고, MAC throughput을 측정하여 간섭이 없을 때의 MAC throughput보다 허용 기준 이하로 측정되면 간섭에 대한 고민없이 사용할 수 있도록 가이드라인을 제시할 필요가 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 현재 주파수 간섭 이슈가 활발히 논의되고 있는 2.4 GHz ISM 대역을 공동 사용하고 있는 WLAN과 WPAN 시스템 간의 주파수 간섭영향을 물리 계층과 MAC 계층에서 각각 분석하였다. 분석 및 실험 결과 물리 계층보다는 MAC 계층을 고려한 주파수 간섭 분석이 실제 경우에 더 근접함을 확인하였다. 이를 바탕으로 향후 비면허 기기 간 주파수 공동 사용을 활성화 하기 위해 필요한 정책적 고려사항 및 MAC 계층에서의 주파수 공동 사용 조건을 제안하였다. 이를 바탕으로 다양한 주파수 간섭 정책을 펼칠 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] 장병준, 박덕규, 윤현구, "간섭을 고려한 무선 LAN 주파수 소요량 예측", 한국전자과학회논문지, 23(8), pp. 900-908, 2012년 8월.
- [2] 윤현구, 강민수, 장병준, "908.5~914 MHz 대역에서 RFID와 USN 시스템의 주파수 공유 조건에 관한 연구", 한국전자과학회논문지, 19(6), pp. 647-656, 2008년 6월.
- [3] IEEE 802.15.2 standard, Coexistence of wireless personal area networks with other wireless devices operating in unlicensed frequency bands, 2003.
- [4] 윤현구, 장병준, "국내 RFID/USN 대역에서 PHY/MAC 계층을 모두 고려한 주파수 공동사용 분석 방법", 한국전자과학회논문지, 24(1), pp. 73-81, 2013년 1월.
- [5] <http://www.seamcat.org>

[6] <http://www.nsnam.org>

[7] Dong Yang, Youzhi Xu, and Mikael Gidlund, "Wireless coexistence between IEEE 802.11- and IEEE 802.15.4-based networks: A survey", *International Journal of Distributed Sensor Networks, IECON 2010*, pp. 2107-2113, Nov. 2010.

[8] <http://www.tinyos.net>

[9] Jan-HinrichHauer, "TKN15.4: An IEEE 802.15.4 MAC implementation for TinyOS 2", *Technical University Berlin Telecommunication Networks Group*, Mar. 2009.

장 병 준



1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1995년 3월~1999년 1월: LG전자

(주)

1999년 1월~2003년 9월: 한국전자통신연구원 무선방송연구소

2003년 10월~2005년 8월: 정보통신연구진흥원

2005년 9월~현재: 국민대학교 전자공학부 교수

[주 관심분야] RF회로 및 시스템, 무선통신시스템, 전파응용

윤 현 구



1995년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
2002년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
2002년~2004년: (주)현대시스콤 선

임연구원

2004년~현재: 명지전문대학 컴퓨터전자과 교수

[주 관심분야] 통신시스템, 채널 모델링, 스펙트럼 엔지니어링

최 선 응



1998년: 서울대학교 전산과학과 (이학사)
2000년: 서울대학교 전산과학과 (이학석사)
2005년: 서울대학교 전기, 컴퓨터공학부 (공학박사)
2005년 9월~2007년 2월: 삼성전자

정보통신총괄 책임연구원

2007년 3월~현재: 국민대학교 전자공학부 부교수

[주 관심분야] 무선 네트워크, 네트워크 자원관리, 시스템 성능 평가