

WSNs 기반의 어플리케이션을 위한 2.4GHz 대역의 주파수 간섭 분석 및 검증 실험

Analysis and Experiment of 2.4GHz Radio Frequency Interference for Wireless Sensor Networks-based Applications

권중원, 안광훈, 김석래, 김희식, 강상혁
Jongwon Kwon*, Gwanghoon Ahn, Hiesik Kim, Sanghyuk Kang

Abstract - With advance in technologies for wireless sensor networks (WSNs), 2.4 GHz band has become gradually attractive due to increase in low-power wireless communication devices. Especially ZigBee (IEEE 802.15.4-based) technology whose frequency band includes the 2.4GHz industrial, scientific and medical band providing nearly worldwide availability has been universally applicable to a various remote monitoring system and applications related home network system. However network throughput of these systems is significantly deteriorated due to this ISM band is a license-exemption used in a variety of low-power wireless communication devices. For instance, other IEEE 802 wireless standards such as Bluetooth, WLAN, Wi-Fi and others cause radio interference to ZigBee. The experiments was carried out to analyze radio frequency interference between heterogeneous devices using ISM bands to improve the limited frequency utility factor. Finally this paper suggests a frequency hopping-based adaptive multi-channel methods to decrease interference..with empirical results.

Key Words : WSNs(Wireless Sensor Networks), ZigBee, Radio frequency interference, Multi-channel, Power control

1. 서론

최근 무선 센서 네트워크(WSNs) 기술의 발전과 함께 다양한 전파형식, 통신방식을 갖는 소출력 무선 통신 디바이스들이 기하급수적으로 확대 적용되고 있다. 따라서 다양한 용도를 수용할 수 있는 주파수 대역에 관한 수요가 증대되고 있으며, 무선 디바이스 개발자와 통신 서비스 사업자에게는 동일한 ISM 대역을 사용하는 전파 신호의 간섭이 중요한 연구 이슈로 대두되고 있다. 그러나 무선 통신 시스템은 매우 복잡한 신호 환경에서 공존하고 다양한 네트워크 형태로 구성되므로 간섭을 완전히 제거할 수 없다. 특히 이종의 무선 디바이스 간에 발생하는 전파간섭은 통신 서비스 범위와 채널 용량을 현저히 떨어뜨릴 뿐만 아니라 무선 통신 시스템 전체의 네트워크 성능을 급격히 저하시킨다.[1][2][4]

전파간섭은 여러 가지 요인에 의해 발생하는데, 대부분 해당지역의 허가 및 비허가 주파수 대역의 인접 채널을 사용하는 무선 디바이스에 의해 발생한다. 특히 비허가 대역을 사용하는 무선 디바이스의 경우 전파간섭을 제어하기 쉽지 않다. 또한 원격 모니터링 및 홈 네트워크 시스템의 무선 통신 디바이스들은 주로 ISM밴드의 2.4GHz 대역을 채택하고 있

다. 따라서 최근 근거리 무선 통신 시스템 구성 시 주목받고 있는 ZigBee 기술에 대한 간섭실험이 요구된다.

본 논문에서는 차세대 무선 네트워크 환경에서 공존하게 될 동일한 주파수 대역을 사용하고 있는 이종의 무선 디바이스 간에 발생할 수 있는 전파 간섭 실험을 수행한다. 전파 간섭 실험은 IEEE 802.11b의 무선랜(Wi-Fi)과 IEEE 802.15.4 기반의 ZigBee를 지원하는 무선 통신 디바이스를 사용하여 수행하였고, 그 결과 분석하여 이종의 무선 디바이스들이 상호 공존할 수 있는 공유 조건을 분석하였다. 또한 제한된 주파수 사용 효율을 개선하기 위한 적응형 다중 채널 제어 방안을 제안한다.

2. IEEE 802 관련 연구

최근 유비쿼터스 정보화 사회는 시간과 공간의 제약 없이 언제 어디서나 사용자가 원하는 정보를 사용할 수 있도록 제 공한다. 이와 같은 정보화 사회를 구축하기 위해 다양하게 적용될 수 있는 상용화 된 무선기술에는 근거리 무선 통신 기술인 IEEE 802.11의 무선랜, IEEE 802.15.1의 블루투스, IEEE 802.15.4 기반의 ZigBee 등이 있다. 그러나 데이터 통신 무선기기 시장이 기하급수적으로 성장함에 따라 다양한 무선 통신 디바이스들이 홈/오피스 등의 일정지역 내에서 주파수를 공유하게 되는 문제점이 발생한다. <표 1>에서 보듯이 각각의 무선통신 표준은 모두 비허가 주파수 대역인 2.4GHz ISM 대역을 동시에 사용하기 때문에 전파간섭이 불가피하다. 이로 인해 인접 주파수 채널간의 전파간섭은 통신 속도 저하 및 네트워크 성능 저하의 주요 원인이 된다.[1][4]

저자 소개

- * 권 중 원 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 박사과정
- * 안 광 훈 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 석사과정
- * 김 석 래 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 학부과정
- * 김 희 식 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수
- * 강 상 혁 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수

<표 1> 블루투스, ZigBee, Wi-Fi 기술의 비교

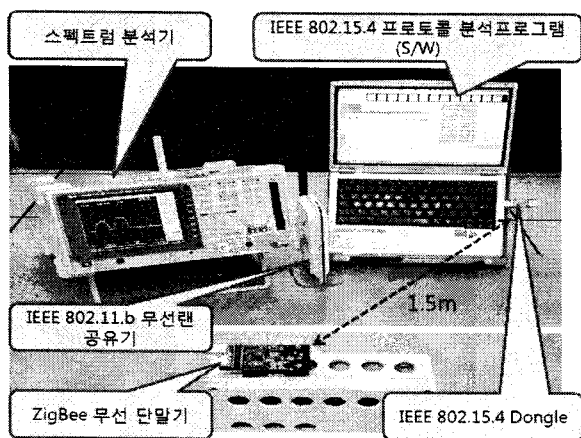
구분	블루투스 (IEEE 802.15.1)	ZigBee (IEEE 802.15.5)	Wi-Fi (IEEE 802.11b)
통신거리	10(50~100m)	10m	50~100m
최대 전송데이터	723kbps	250kbps	11 Mbps
전력소모	낮음	매우낮음	중간
재전송	있음	있음	있음
FEC	구현가능	없음	없음
노드개수	8	2~65,000	-
주파수 대역(국내)	2.4GHz ISM	2.4GHz ISM	5-6GHz / 2.4GHz
물리계층	FHSS / AFH	DSSS	OFDM / DSSS

IEEE 802.11b 무선랜은 주로 노트북이나 데스크탑 PC의 데이터 통신을 목적으로 활용된다. 반면 ZigBee는 저전력 소비의 잇점을 활용하여 일반적으로 온습도, 가스센서, 적외선, 조도센서, 진동센서 등과 같은 적절한 디바이스와 결합하여 대기 환경 감시, 재난 감시, 홈 네트워크 등의 응용 어플리케이션의 목적에 따라 센서 네트워크 기술에 적용된다.

ZigBee는 근거리 무선 통신 프로토콜 규격으로 PHY층과 MAC층에 대해서는 IEEE 802.15.4를 기반으로 통신 채널은 16채널의 2.4GHz, 10채널의 915MHz 및 1채널의 868MHz의 3종류를 포함한다. 데이터 전송 속도는 2.4GHz, 915MHz 및 868MHz에서 각각 250kbps, 40kbps, 20kbps를 지원한다. 변조방식은 DSSS방식을 이용하고, 액세스 제어 방식은 CSMA-CA를 사용한다. 이 기술은 MAC 프로토콜로 데이터의 전송이 없는 경우라도 충돌을 대비하여 RTS, CTS를 전송하여, 확인 신호가 충돌이 없이 전송된 것을 확인한 후 데이터를 전송하는 방식이다. 현재 IEEE 802.11 기반의 무선랜에서도 적용되고 있다.

3. 전파간섭 실험환경

본 논문에서는 동일한 주파수 대역을 사용하는 무선 디바이스 간의 상호 전파간섭을 측정하기 위해 IEEE 802.11b 기반의 무선랜 공유기, Chipcon사의 CC2420 무선통신 칩을 내장한 ZigBee 무선 디바이스, 노트북, 서버용 PC, 주파수 스펙트럼 분석기, IEEE 802.15.4 프로토콜 아날라이저 S/W 및 동글을 사용하였다.



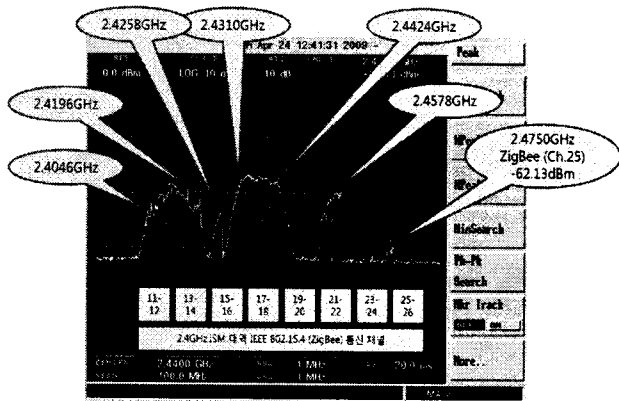
<그림1> 전파간섭 실험 장비 및 환경설정

주파수 스펙트럼 분석기는 노트북으로부터 서버PC로 대용량 데이터 전송 시 사용되는 점유 주파수 대역 및 ZigBee 무선 디바이스로부터 노트북으로 데이터 전송 시 사용되는 주파수 대역을 측정하기 위해 사용된다. IEEE 802.15.4 프로토콜 아날라이저는 ZigBee로부터 전송되는 모든 RF 신호를 수신하여 하여 IEEE 802.15.4의 16개 채널을 모두 스캐닝한 후 사용자가 원하는 채널의 PHY, MAC, NWK, APL 프레임 정보를 분석하여 보여준다. 이번 간섭실험에서는 전송된 패킷의 수 대비 정상 수신 패킷의 수를 측정하여 ZigBee와 무선랜의 인접 채널간의 간섭 정도를 분석하였다.

전파간섭 실험 시나리오는 다음과 같다. 우선 밀폐된 실내 공간에서 노트북의 무선랜 인터페이스를 통해 FTP 방식으로 대용량 파일을 서버 PC로 전송하여 무선채널에 트래픽을 발생시킨다. 이때 대용량 파일의 전송속도 대략 2~4Mbps이며, 무선랜 공유기(AP)는 동일한 실내 공간에 위치한다. 그 후 특정 채널로 고정된 ZigBee 무선 디바이스로부터 1초마다 규칙적으로 250kbps의 속도로 100개의 패킷을 전송한다. 전송 패킷에는 시퀀스 정보가 포함되어 있어 몇 번째 패킷이 손실되었는지 확인할 수 있다. ZigBee 무선 디바이스의 통신 채널 설정은 11번부터 26번까지 변경하여 수행하였고 IEEE 802.15.4 동글이와의 통신 이격거리는 약 1.5m를 유지하였다. <그림1>은 IEEE 802.11b 무선랜과 IEEE 802.15.4기반의 ZigBee 디바이스 간의 전파간섭 실험환경을 설명한다.

4. 전파간섭 실험결과

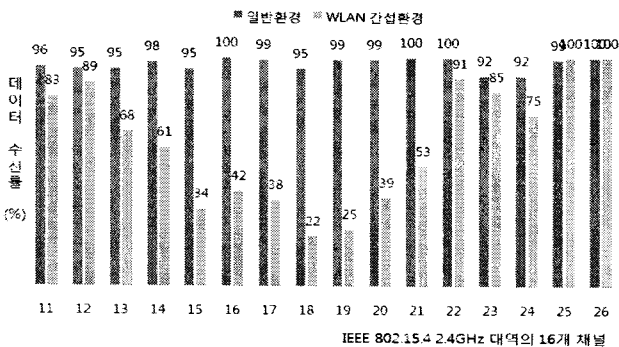
3장에서는 2.4GHz의 동일한 주파수 대역을 사용하는 전파간섭 실험을 위한 환경설정에 대해 설명하였다. IEEE 802.11b 기반의 무선랜은 2.4GHz~2.4835GHz 사이에 5MHz 간격으로 13채널이 가용하며, 채널 대역폭은 22MHz이다. 우선 전파간섭 실험을 수행하기 전 밀폐된 실내 환경에서 사용되고 있는 무선랜의 채널 대역폭을 확인하기 위해 주파수 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정하였다. 그 결과 <그림2>에서 보듯이 채널 2번(2.405GHz~2.427GHz)과 채널 6번(2.427GHz~2.447GHz)번을 점유하고 있음을 확인할 수 있었다. 이때 서로 다른 두 개의 점유 주파수 대역이 존재하는 이유는 교내 백본 무선 인프라로 설치되어 있는 IEEE 802.11n기반의 AP와 본 간섭 실험에서 사용된 IEEE 802.11b 기반의 무선공유기는 사용하는 점유 주파수 대역이 다르기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 그러나 본 실험에서는 IEEE 802.11b 기반의 무선랜 공유기만을 이용하여 데이터를 전송하였다.



<그림2> 주파수 스펙트럼 분석기 측정 결과

본 실험에서 무선랜은 최대 5Mbps의 속도로 대용량 데이터를 전송하고 무선랜 채널에 대해 각각의 ZigBee 통신채널을 오버랩시켜 측정하였다. <그림2>는 무선랜 통신채널 2번과 6번에 대해 ZigBee 통신채널 25번을 오버랩 시켰을 경우 주파수 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정한 결과이다.

<그림3>은 무선랜을 평균 2Mbps의 전송속도로 사용하고 있을 경우 각각의 ZigBee 통신채널을 통해 1초마다 규칙적인 패킷을 발생시켜 IEEE 802.15.4 동글이가 수신한 정상 패킷 수신률을 보여준다. 그 결과 ZigBee 통신채널 11(2.405GHz), 12(2.410GHz), 22(2.460GHz), 23(2.465GHz), 25(2.475GHz), 26(2.480GHz)번에서는 최소 83%에서 최대 100%의 수신률을 보이므로 무선랜 전파에 대해 큰 영향을 받지 않은 것을 확인했다. 그러나 13번(2.415GHz) ~ 21번(2.455GHz)까지의 채널과 24(2.470GHz)번 채널에서는 정상 패킷 수신률이 최소 22%까지 감소함으로 보아 무선랜에서 발생하는 전파간섭에 상당한 영향을 받는 것을 알 수 있다. 이때 ZigBee 통신채널 24번의 경우는 무선랜과의 전파간섭 현상으로 인한 수신률 저하로 판단되지 않는다. 그 이유는 정상 패킷 수신률이 저조한 다른 채널들에 비해 75%의 상대적으로 높은 수신률을 보이고 있으며 주파수 스펙트럼 분석기로 측정 결과 무선랜의 점유 주파수 대역과 일정 구간 이격되어 있기 때문이다. 이 사실을 뒷받침하는 근거는 정상 패킷 수신률이 99%인 ZigBee 통신채널 25번의 주파수는 <그림2>에서 보듯이 무선랜 점유 주파수 대역과 상당히 이격되어 있음을 알 수 있다.



<그림3> IEEE 802.15.4 프로토콜 분석기를 통해 정상 패킷 수신률 측정 결과

위의 전파간섭 실험결과는 4장에서 언급했듯이 무선랜 전체 채널과 ZigBee 16개 통신채널에 대한 간섭실험 결과가 아니므로 모든 무선랜 채널에 일반화할 수 없다. 본 논문에서의 전파간섭 실험은 2.4GHz의 동일한 주파수 대역을 사용하는 IEEE 802.11b 기반의 무선랜 디바이스와 ZigBee 무선 디바이스가 특정 채널만을 사용하여 상호 공존 가능 여부에 대한 기초실험이다.

본 논문에서는 주파수 호핑 기반의 적응형 멀티 채널방안을 제안한다. ZigBee 네트워크 구성 시 싱크노드(base station)에서 주기적으로 전체 무선채널의 에너지 스캔을 통해 각 채널에 대한 에너지 레벨을 감지하고 낮은 채널을 검색하여 새롭게 선택된 채널 정보를 전체 ZigBee 네트워크로 브로드캐스팅한다. 따라서 무선 디바이스는 현재 사용 중인 무선 채널을 이용 가능한 가장 적절한 채널로 변경하여 예상하기 어려운 다양한 무선 환경에 유연하게 대처할 수 있도록 설계되어야 한다.[2]

5. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.11b 무선랜 장치와 IEEE 802.15.4 기반의 ZigBee 무선 디바이스가 공존할 경우 상호 전파간섭 영향을 분석하였다. 이 전파간섭 실험은 동일한 2.4GHz ISM 대역을 사용하는 ZigBee 기술이 현장에 도입될 경우, 무선랜과의 전파간섭으로 인해 발생할 수 있는 문제점을 예측하고 해결책을 제시하기 위해 수행되었다. 그 결과 인접한 채널에서는 상당한 전파간섭으로 인해 네트워크 처리율이 저하됨을 확인하였고 동일한 주파수 대역을 사용하는 이 기종의 무선 디바이스들이 상호 간섭회피를 위한 주파수 호핑 기반의 멀티 채널 방안을 제안하였다. 향후 ZigBee 네트워크의 시스템 특징을 고려한 효율적인 무선채널 에너지 스캔 방안에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 논문은 2007년도 서울시 산학연 협력사업의 지원으로 연구되었습니다.

참고 문헌

- [1] 박승근, 최성호, "2.3CHz 무선가입자망과 무선LAN과의 전파간섭 연구", 한국해양정보통신학회, 추계종합학술대회지 제3권 제2호 pp. 124-129, 1999
- [2] 정우진, 김기범, 풍코트카밀, 조경국, 윤동원, "가변 주파수를 이용한 지그비 네트워크에서의 간섭 회피 능력 향상 기법", 대한전자공학회 하계종합학술대회 제 30권 제 1호 pp. 605-606, 2007
- [3] Howitt, I, Gutierrez, J.A, "IEEE 802.15.4 low rate - wireless personal area network coexistence issues", in Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Vol. 3 (2003)
- [4] Soo Young Shin, Sunghyun Choi, Hong Seong Park, Wook Hyun Kwon, "Packet error rate analysis of IEEE 802.15.4 under IEEE 802.15.1 interference", in Proc. JCCI, 2005. 4