

미래 Wi-Fi 및 Bluetooth 환경의 주파수 간섭 영향하에서의 ZigBee의 동작 정도 예상 실험

우병철, 장진엽⁰
 삼성SDS 정보기술연구소*
 {edward.woo, jinyeop.chang⁰}
 @samsung.com

은성배, 이동민
 옥타컴*
 {sbeun, dmlee}@octacomm.net

신성열, 오세찬, 김준철
 텔로드*
 {shin7788, scoh,
 neokjc}@tellord.com

ZigBee Error Rate Measurements under Wi-Fi and Bluetooth Interference Conditions Anticipated in the Near-Future

ByungCheol Woo, Jin-Yeop Chang⁰
 Samsung SDS

Seongbae Eun, Dong-Min Lee
 OCTACOMM.net

Steve Shin, Se-Chan Oh,
 Jun-Cheol Kim
 Tellord Co., Ltd.

요약

ZigBee의 2.4 GHz 주파수 대역은 다른 많은 무선통신 프로토콜의 주파수 대역과의 중첩은, 상호 주파수 간섭에 의한 통신 불능이나 통신 오류로 인한 지연 등, ZigBee 통신의 실제 적용 가능성에 많은 우려를 제기하고 있다. 특히 현재 널리 쓰이는 Wi-Fi와 최근에 보편화되기 시작한 Bluetooth 장치들과의 간섭은, 현재뿐만 아니라 ZigBee가 널리 사용될 것으로 예상되는 향후 1, 2년 후의 사용 환경까지를 가정하여 실험하는 것이 중요하다고 판단하여, 그 결과를 본고에서 소개한다.

1. 서론

본 실험의 목적은 1, 2년 뒤에 등장할 Wi-Fi¹ 및 Bluetooth 환경을 가정하고 그 상황에서의 ZigBee의 동작 정도를 실험을 통해 미리 예측해 보는 것이다. 일반적으로 강한 전파 강도를 갖는 Wi-Fi 및 Bluetooth는, 상대적으로 약한 전파 강도가 특징적인 ZigBee에 간섭을 일으킴으로써 ZigBee 송수신 간의 frame 전달에 방해할 일으킨다. 본 실험에서는 1, 2년 뒤의 Wi-Fi 및 Bluetooth 사용 환경을 미리 예상 해보고, 유사한 전파 간섭을 발생시킴으로써 ZigBee가 어떤 영향을 받는지 그 여부를 측정하여 알아보고자 한다.

2. 배경

2.1. ZigBee, Wi-Fi 및 Bluetooth의 주파수 변조 방식

Wi-Fi와 ZigBee가 이용하는 DSSS(Direct-Sequence Spread Spectrum) 변조 방식은 중심 주파수를 기준으로 주파수가 중심에서 벗어날 수록 전파의 세기가 점점 약해지는 특성을 갖는다. Wi-Fi와 ZigBee의 PHY 표준에는 여러 개의 설정 가능한 중심 주파수가 정의되어 있는데 이들을 채널이라 한다 (표 1).

Bluetooth가 이용하는 FHSS(Frequency-Hopping Spread Spectrum) 방식은 상대적으로 좁은 주파수 대역을 가지는 79개의 채널들이 정의되며, 625 μ s 주기로 pseudorandom하게 채널을 변경하는 방식이다.

2.2. ZigBee에서의 최대 허용 에러율

응용에 따라 ZigBee 장치의 허용 에러율이 다양하게 정의될 수 있지만, 통상적으로 센서 정보를 보내는 응용에서 ZigBee가 수용할 수 있는 에러율은 10%라고 알려져 있다 [1].

2.3. 주파수 간섭과 관련된 기술들

실험에 포함하는 것은 불가능하였지만, 가까운 미래에 출현 가능성이 있

표 1: Wi-Fi와 ZigBee의 채널들 (주파수 단위는 MHz)

Wi-Fi (802.11a/b/g) Channels			
Channel	Center Frequency	Channel	Center Frequency
1	2412	9	2452
2	2417	10	2457
3	2422	11	2462
4	2427	12	2467
5	2432	13	2472
6	2437		
7	2442		
8	2447		

ZigBee(802.15.4) 2.4 GHz Channels			
Channel	Center Frequency	Channel	Center Frequency
11	2405	19	2445
12	2410	20	2450
13	2415	21	2455
14	2420	22	2460
15	2425	23	2465
16	2430	24	2470
17	2435	25	2475
18	2440	26	2480

는 전파 기술들 중에 2.4 GHz 대역을 이용하는 것들에 대한 조사를 실시하였다. 가장 경제해야 할 기술 중 하나는 현재 표준화 작업을 거치고 있는 802.11n이라는 Wi-Fi의 새로운 PHY 기술이다. 2006년 11월에 표준이 완료될 예정이고, 많은 사람들은 이 기술이 널리 쓰일 것이라고 예상한다. MIMO(Multiple Input Multiple Output) 변조 방식을 이용해서 넓은 주파수 대역에 신호를 분산시켜서, 간섭을 일으키는 주파수는 넓어지지만, 고정 주파수에서의 전파 강도는 약해질 수 있다.

한편 근래의 Bluetooth version 2.0은 본 실험에 이미 적용한 상태이고, 당분간 버전 업은 없을 것으로 전망되고 있다.

Bluetooth 경쟁 기술로서, 802.15.3을 기반으로 하는 "Cable-Free USB" 를 제공하는 시제품들이 곧 출시 예정인데, 이것 또한 IEEE에서 수행한 시뮬레이션 결과[2]에 의하면 그 간섭 효과가 훨씬 적은 것으로

⁰ 저자 목록에서 회사 기재 순서는 가나다순임

¹ "무선랜"이라고도 불리는 802.11a/b/g 프로토콜들

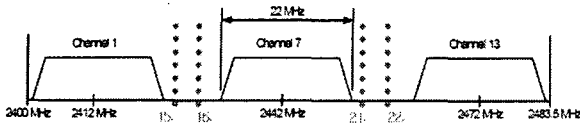


그림 1: 채널들이 관리될 때 통상적으로 선정되는 Wi-Fi 채널들과 본 실험에서 사용할 ZigBee 채널들

판명되었다. 더불어 표준화 논의 중인 ZigBee의 새로운 PHY인 802.15.4a 또한 새로운 변조 방식을 이용하여 간섭에 훨씬 강하다고 알려져 있다 [3, 4].

3. 1, 2년 뒤의 Wi-Fi, Bluetooth 예상 환경

3.1. Wi-Fi

Wi-Fi는 점차 확대되는 추세이고, 미국의 경우 회사 혹은 대학교 전체에 걸쳐 Wi-Fi 접속이 제공되는 경우가 많다. Cisco와 같은 전문 네트워크 업체에서는 이런 경우 3개의 채널을 사용하는 것이 이상적이라고 권고한다 [5]. 하지만, Cisco등의 견해는 11개 채널을 쓰는 미국을 기준으로 나온 것이므로, 한국과 같이 13개 채널을 사용하는 경우에는 그 중 4개의 채널까지도 사용이 가능할 것으로 여겨진다.

3.2. Bluetooth

아직은 휴대폰용 헤드셋에 머무르고 있으나, 미국의 경우 컴퓨터 주변기기를 중심으로 서서히 그 사용이 확산되고 있으며, 애플(Apple)도 전격 채용하고 있어 일반화 될 가능성이 높다. 예상처럼 보편화 된다 하더라도 한 사용자 당 평균적으로 하나의 Bluetooth Master가 사용될 것으로 예상된다.

3.3. 실험에 필요한 Wi-Fi, Bluetooth 간섭 주파수의 생성

3.3.1. Wi-Fi

Wi-Fi는 주로 인터넷 접속 시에 이용되고, 이 경우 AP(Access Point)를 중심으로 연결된다. 특정 AP에 물려있는 PC들은 동일한 채널을 사용하며 한번에 한 PC만 송신 할 수 있도록 조율된다. 그러므로 대량의 PC로 구성되는 일반적인 Wi-Fi 환경의 간섭 전파를 생성하는 것은 AP 개수 만큼의 PC(송신기)만으로도 가능하다.

3.3.2. Bluetooth

Bluetooth에서는 하나의 Master 장치를 중심으로 최대 7개의 Slave 장치들이 연결되고, Master는 모든 통신을 TDM 방식으로 제어한다. 따라서, 다수의 Slave로 구성되는 Bluetooth 환경의 전파를 발생시키는 것은 Master 당 하나의 Slave만 있으면 된다.

4. 에러율 측정을 위한 ZigBee 송/수신기 구성

Ember ZigBee 모듈에 Ember ZigBee stack 전체를 올리고, 기본 설정으로 테스트를 하였다. Frame을 보낸 후 ACK를 받지 못하면 3번까지 재시도하도록 설정되었다. 보내는 frame 길이는 8 byte로 작은 편이어서 간섭을 덜 받는 편이라 할 수 있다. CCA mode는 3으로 동일한 대역의 외부 전파의 유무와 상관없이 frame 전송을 시도하도록 설정되어 있었다.

5. Wi-Fi 채널이 관리되는 환경에서의 실험 및 결과

5.1. 실험 구성

Wi-Fi 채널들이 서로 겹치지 않도록 중심 주파수 간격이 충분히 떨어진 3개를 채널을 사용한다. 통상적으로 Wi-Fi 중심 주파수에서 ±11

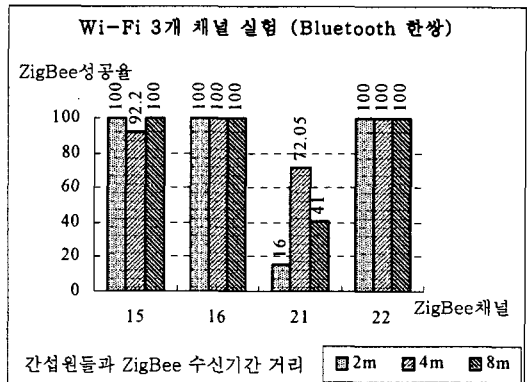
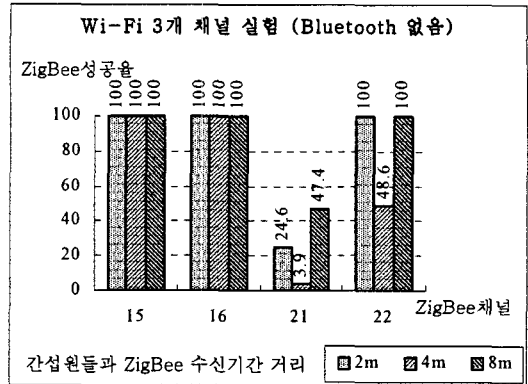


그림 2: Wi-Fi 채널과 Bluetooth를 이용할 때의 ZigBee 성공률. Wi-Fi 상 traffic은 100%로 유지하였다.

MHz 영역은 상대적으로 Wi-Fi 전파가 약하다고 한다². 이를 근거로 ZigBee가 사용하는 4개의 채널은 Wi-Fi 영역과 최대한 겹치지 않게 설정하여 그 때의 에러율을 측정한다 (그림 1)

ZigBee 송신기와 수신기를 10 m 떨어뜨려 놓고, ZigBee 수신기와 간섭 전파를 발생하는 기기들 사이의 거리를 변화시키며 실험한다.

5.2. 실험 결과

그림 2의 결과 그래프를 보면, ZigBee 수신기와 전파간섭 발생기들 사이의 거리가 2m 인 경우에도 대부분 채널에서는 100%의 성공률을 보인다는 것을 볼 수 있다. 다만 21번 채널을 사용할 때에는 특이하게 오류가 많이 나고 있다. Bluetooth 장비의 영향은 Bluetooth 장비의 개수가 적어서인지 미미하다.

6. 개개인이 Wi-Fi를 구성할 때의 실험 및 결과

6.1. 실험 구성

개인이 Wi-Fi AP를 설정할 때에는 3개의 채널만이 사용된다고 보장할 수 없다. 특히 아파트와 같은 곳은 ZigBee가 운용될 수 있는 충분한 공간으로 여러 대의 Wi-Fi AP가 밀집되어 사용되어지는 환경이다. 더 많은 채널이 사용될 수도 있으나, 일단 4개 채널이 사용된다고 가정하고

² 이는 802.11b 표준 [6] 등에서 중심주파수 ±11 MHz 영역 밖에서는 최대 변폭 대비 -30 dB의 신호강도까지 밖에 못 내도록 하기 때문이다 (-30 dB은 1/1000 배의 상대적 강도를 나타낸다).

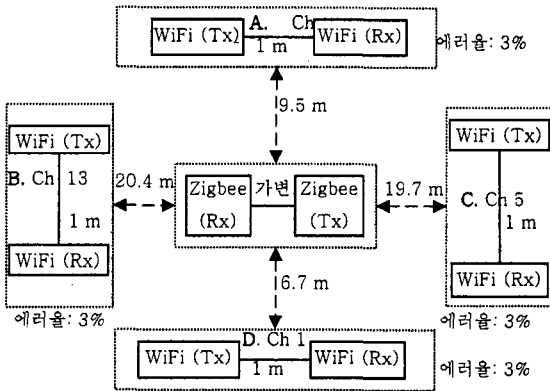


그림 3: 각 채널별 Wi-Fi 송/수신기를 최대한 가운데에 있는 ZigBee 송/수신기에 근접시킨 구성도

AP들이 최대한 서로 근접된 환경을 만들어, 이 속에서 ZigBee의 에러율을 측정한다. 인터넷 application 중에서 요구하는 에러율 조건이 가장 느슨한 것은 Voice over IP로서, 최대 허용 packet error rate이 3%이다 [7]. 따라서, 최악의 상황을 재현하기 위해, Wi-Fi의 MAC layer 에러율이 3%가 될 때까지 AP들을 근접시키고 실험을 실시한다.

6.2. 실험 결과

그림 3은 가운데에 ZigBee 송/수신기를 두고 각 채널 별 Wi-Fi 송/수신기 한 쌍씩들을 Wi-Fi MAC Layer상 에러율이 3%가 되도록 중심으로부터의 거리를 조정할 결과를 나타낸다.

ZigBee 송신기와 수신기 사이 거리는 10m, 5m, 2m로 설정해가며 측정을 하였다. 같은 실험을 Wi-Fi 간 packet 전송율이 100%인 경우와 50%인 경우에 대하여 반복하여, 그림 4과 같은 결과를 얻었다.

ZigBee의 16~20번 채널 중에 Wi-Fi 채널 5번(2432 MHz)과 9번(2452 MHz)으로부터 주파수 이격이 가장 큰 ZigBee 18번 채널(2440 MHz)이 가장 높은 성공률을 보인다. Wi-Fi 상의 패킷 전송율이 100%일 때는 ZigBee 장치 사이의 거리를 5m로 줄여야 성공률이 100%가 되지만, Wi-Fi 패킷 전송율이 50%일 때에는 ZigBee 사이의 거리가 10m일 때에도 18번 채널은 100% 성공한다.

7. 결론 및 추가 실험 계획

현재 수집된 자료를 바탕으로 했을 때, ZigBee 채널을 잘 설정하면 Wi-Fi와 Bluetooth가 비교적 밀집되어 있는 환경에서도 작동이 가능하다는 결론이 나온다. 하지만, ZigBee의 패킷 길이를 보다 현실적으로 조정⁴해서 재 실험을 할 필요가 있다. 아울러 Wi-Fi 채널 5개를 쓸 때의 경우도 실험에 포함되어야 한다. 마지막으로서는 추후에 정식 802.11n 제품이 출하되면 이것을 대상으로 실험을 할 필요가 있다.

8. 참고 문헌

[1] Axel Sikora, "Coexistence of IEEE802.15.4 (ZigBee) with IEEE802.11 (WLAN), Bluetooth, and Microwave Ovens in 2.4 GHz ISM-Band"
http://www.ba-locerrach.de/stzedm/docu/stz_zigbee_coexistence.pdf

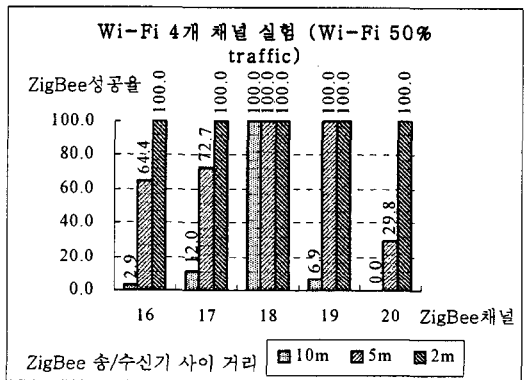
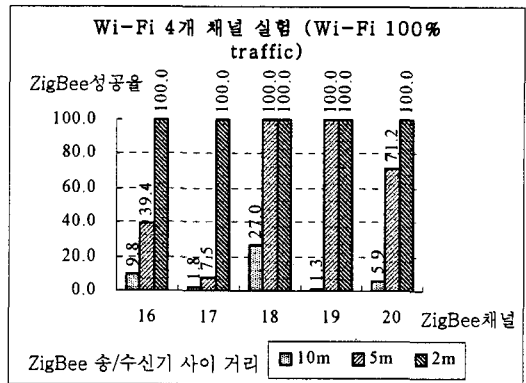


그림 4: Wi-Fi 채널 4개 사용 시 ZigBee 성공률

[2] IEEE Std 802.15.4-2003 (ZigBee Specs), Annex E
 [3] Kyung-Kuk Lee, "Next Generation Ubiquitous Sensor Network (PHY)", 제 8 회 통신핵심기술 워크샵 (KAIST), 2006
 [4] <http://www.caba.org/standard/802154a.htm>
 [5] Cisco 사의 whitepaper, "Channel Deployment Issues for 2.4-GHz 802.11 WLANs"
<http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/wireless/airo1200/acccssps/techref/channel.pdf>
 [6] IEEE 802.11-1999
 [7] ITU G.1010, "Draft New Recommendation G.QoSRT - End-user Multimedia QoS Categories", ITU-T study group 12, contribution 37, August 2001
 [8] 서진철, 이승호, 윤여현, 배경희, 김대희, 강병구, 은성배, "ZigBee MAC 프로토콜 성능 실험 및 평가"
 [9] Cisco 사의 whitepaper, "Using Radio Resource Management to Deliver Secure and Reliable WLAN Services"
http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/products/ps6307/c1244/cdcont_0900aecd802c949b.pdf
 [10] Ivan Howitt, Jose A. Gutierrez, "IEEE 802.15.4 Low Rate Wireless Personal Area Network Coexistence Issues", <http://www.cs.ucla.edu/classes/winter04/cs117/zigbee3.pdf>

³ Wi-Fi 송/수신기들을 붙여 놓은 것은 아파트에서의 사용 패턴을 따라 하기 위함이다.

⁴ [2]에 따르면 22 byte 정도가 평균적인 application에서의 frame 길이이다.