

간섭 환경에서의 블루투스 시스템의 성능 분석

이규환⁰, 마중수, 정영식
한국정보통신대학원대학교, 한국전자통신연구원
(vamp76, jsma)@icu.ac.kr, jys@etri.re.kr

Performance Analysis of Bluetooth in Interference Environments

Kyu-Hwan Lee⁰, Joong-Soo Ma, Young Sic Jeong

Schools of Engineering, Information and Communication University, ETRI

요 약

블루투스와 802.11 WLAN 과 같은 기술은 ISM(Industrial, Scientific and Medical) band에서 무선 기술을 제공할 수 있어 큰 기대를 갖게 하는 기술이다. 하지만 ISM band를 사용하는 이 기술들은 서로 같은 대역을 사용하기 때문에 서로 간섭을 일으키며 서로 성능 저하의 요인이 된다. 본 논문에서는 다수의 블루투스 피코넷과 802.11 WLAN 환경에서의 블루투스의 성능 저하를 분석한다.

1. 서 론

컴퓨터 시대 이래로 케이블은 컴퓨터를 연결하고 네트워크를 구성하는데 사용되었다. 시대가 변하고 선을 연결하는 복잡성과 사용자의 인터페이스의 다양화에 따른 연결설정의 어려움에 따라 무선의 필요성이 대두되었다. 이에 견고성, 저전력, 저렴한 가격, 사용상 단순성으로 이루어진 근거리 무선 통신 기술인 블루투스가 출현하였다.

블루투스란 핸드폰, PDA, 노트북과 같은 포터블한 장치들간의 양방향 근거리 통신을 복잡한 전선 없이도 저가격으로 구현하기 위한 표준, 근거리 무선 통신 기술, 제품을 총칭하여 일컫는다.

블루투스의 기본사양에 대해 간단히 살펴보면 2.4GHz의 license-free ISM band를 사용한다. 대역폭이 1MHz인 채널을 79개 설정하여 1초에 1600번 채널을 바꾸는 주파수 도약(Frequency Hopping) 기술을 채용하고 있다[1]. 블루투스가 license-free band를 사용하는 것이 장점일 수 있으나 이미 다른 무선 통신 기술도 이 대역을 사용하므로 서로간의 간섭은 피할 수가 없는 실정이다.

IEEE 802.11표준에 근거한 Wireless Local Area Network (WLAN) 시스템과 근거리 무선통신 시스템인 블루투스(BT)는 2.4 GHz 대역의 ISM band를 공통으로 사용한다. Bluetooth는 주로 PC, 프린터, 휴대전화 등 개인소유 정보통신 장비들을 케이블이 없이 무선으로 연결하는데 쓰이고, WLAN은 Ethernet과 같은 회사의 LAN에 무선으로 접속하는데 쓰일 것으로 예상된다. 따라서 일반 사무 환경에서는 WLAN과 블루투스가 공존할 것이다.

그러나 이러한 상호 공존의 상황에서 가장 큰 관심사는 간섭의 영향이다. 본 논문에서는 일반 사무환경을 모델링 하여 블루투스가 WLAN과 근접한 다른 피코넷으로부터 받는 간섭의 영향에 의한 성능 저하를 분석한다. 2장에서는 모델을 정의하고 각각의 파라미터에 대해 알아보고, 3장에서는 분석결과를 제시하였다. 마지막으로 4장에서는 결론 및 향후 과제에 대하여 소개한다.

2. 본 론

그림 1 과 같은 2 차원 사무 환경을 가정한다. WLAN Terminal (STA) 들이 사방 5m 간격으로 배열되어 있다. 따라서 25 m² 당 하나로 STA 들이 분포되어 있다. 각 WLAN Access Point (AP) 는 50 개의 STA 들을 서비스한다고 가정한다. 따라서 각 AP 는 1250 m² 를 커버한다.

이러한 환경에 다수의 블루투스 송수신기(BT)가 놓여있다고 가정하자. 그리고 25 m² 당 하나의 피코넷이 분포되어 있다. (그림 2)

블루투스의 송신 출력은 0 dBm, WLAN의 송신 출력은 STA 과 AP 모두 20 dBm으로 가정하였다. 일반 사무실 환경에서의 전파 모델은 식 1과 같은 전파손실을 가진다 [2].

$$L_{path} = 20 \log(4\pi r/\lambda) \quad r \leq 8m$$
$$= 58.3 + 33 \log(r/8) \quad r > 8m \quad (1)$$

여기서 λ 는 2.45 GHz ISM band 주파수 파장으로 약 12.24 cm이다.

WLAN의 전송속도는 11 Mbps로 선정한다. 802.11

에서 Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA)를 MAC 방식으로 채택하고 있고 hidden node problem을 풀기위해 RTS/CTS 방식을 사용한다. 대부분의 packet 은 그림 3과 같은 타이밍을 가진다. 송신시 WLAN은 2.45GHz 대역에서 17 MHz를 한 채널로 사용한다. 따라서 블루투스의 79 채널 중 17개의 채널이 영향을 받게 된다 Bluetooth에서는 Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK)를 사용하는데, 10^{-3} bit error rate를 유지하기 위해서는 17 dB의 C/I (carrier to interference ratio)가 필요하다.

즉 어느 STA 이나 AP가 17 dB의 C/I를 일으킬 수 있는 거리 안에 위치하면 그 STA이나 AP는 간섭 가능 구역 내에 존재하는 것이다. 그리고 그 STA이나 AP가 WLAN 패킷을 전송하면 블루투스 패킷에 17dB 이상의 C/I를 가져오고, 따라서 블루투스 패킷의 bit error rate가 10^{-3} 을 초과하게 된다.

WLAN STA 이나 AP는 17 MHz의 채널 위에 Direct Spreading을 사용하여 전송하고 이 채널 안에서 블루투스 수신기는 1MHz만을 사용하기 때문에 13dB의 filter processing gain이 있게 된다.

즉, 블루투스 수신기에서 맞게 되는 Carrier C와 간섭 I는 다음과 같이 주어진다.

$$C = 0 \text{ dBm} - PL_{BT} \quad (2)$$

$$I = 20 \text{ dBm} - 13 - PL_{WLAN}$$

위에서 PL_{BT} 는 블루투스 송신기에서 수신기까지 도달하는데의 전파의 손실이며, PL_{WLAN} 은 WLAN STA이나 AP로부터 블루투스 수신기까지 도달하는데의 전파손실이다. 이 전파손실은 식 1로부터 구한다.

$C/I=17\text{dB}$ 를 얻기 위해서는 $I=-78.5\text{dBm}$ 이어야 하며, 이는 STA과 블루투스 수신기 사이의 거리가 53.7m 일 때 이루어 짐을 알 수 있다. 따라서 블루투스 송신기와 수신기 사이에서의 거리가 10m이면 수신기로부터 53.7m반경 이내에 있는 WLAN STA와 AP들은 간섭을 일으킬 수 있게 된다.

또한 서로 다른 둘 이상의 피코넷이 우연히 같은 시간에 같은 주파수를 사용하면 충돌이 발생한다. 이러한 경우 블루투스 utilization factor를 p 라 하면 발생 확률이 $p/79$ 이며 17dB 이상의 C/I를 가져올 수 있는 간섭반경내의 피코넷 수에 비례한다. 간섭반경내의 피코넷 수를 N 이라고 하고 임의의 피코넷이 전송을 하고 있지 않거나 전송을 하더라도 다른 주파수를 이용할 확률은 $(1-p/79)$ 이다. 그러면 $N-1$ 개의 피코넷이 모두 그러한 확률은 $(1-p/79)^{N-1}$ 과 같다.

그리고 Master-to-slave(MS) 슬롯과 slave-to-master(SM) 슬롯의 차이는 MS 슬롯의 헤더에 폴링 정보, 즉 다음 SM 슬롯을 어떤 슬레이브가 사용할 것 인지를 지정하는 정보가 포함되어 있다는 데에서 기인한다. 이 정보가 충돌에 의해 손실된다면 각 슬레이브의 관점에서 SM 슬롯의 사용이 허용된 것인지를 판별할 수 없으므로 해당되는 SM 슬롯을 활용할 수 없게 된다. 따라서 피코넷간 간섭이 발생할 경우 SM 슬롯의

이용률은 MS 슬롯의 이용률보다 항상 적은 결과를 낳게 된다.

구체적으로 SM 슬롯의 이용률은 MS 슬롯에서 이용된 슬롯 중 충돌이 발생하고 성공적으로 전송이 이루어진 슬롯의 비율과 일치한다. 따라서 SM 슬롯의 이용률, 또는 부하 p_{slave} 는 다음과 같다.

$$p_{slave} = p(1-p/79)^{(N-1)} \quad (3)$$

그러므로 패킷이 에러 없이 전송될 확률은

$$\frac{1}{2} p(1-\frac{p}{79})^{N-1} + \frac{1}{2} p_{slave}(1-\frac{p_{slave}}{79})^{N-1} \quad (4)$$

이다. WLAN 과 마찬가지로 식 1 을 이용하여 17 dB의 C/I 를 일으킬 수 있는 거리 안에 위치하는 피코넷의 수를 구한다. 같은 파워를 사용하므로 블루투스 수신기에서 맞게 되는 Carrier C와 간섭 I는 식 5와 같이 주어진다.

$$C = 0 \text{ dBm} - PL_{BT} \quad (5)$$

$$I = 0 \text{ dBm} - PL_{PICO}$$

WLAN 과는 다르게 filter processing gain 이 없으므로 고려되지 않는다. 식 1,5 를 이용하여 계산할 수 있다. 이러한 환경에서 WLAN 의 트래픽 모델을 표 1 과 같이 정의하고 간섭 파라미터를 표 2 와 같이 계산하였다.

전체적으로 PER (Packet Erasure Rate)을 구하기 위한 식은 다음과 같다.

$$\Pr\{PER > 10\%\} = 1 - (1 - p_{AP})^{N_{AP}} (1 - p_{STA})^{N_{STA}} \times \left(\frac{1}{2} p(1-\frac{p}{79})^{N_{MCO}-1} + \frac{1}{2} p_{slave}(1-\frac{p_{slave}}{79})^{N_{MCO}-1} \right) \quad (6)$$

표 1 을 통하여 p_{STA} , p_{AP} 를 구하면 다음과 같다.

$$\Pr\{Uplink\} = 0.017361\%$$

$$\Pr\{Downlink\} = 0.056944\%$$

$$p_{STA} = 0.017361\%$$

$$p_{AP} = 50 \times 0.056944\% = 2.85\%$$

여기서 하나의 AP는 50개의 어떤 STA들에게 데이터를 전송하므로 확률이 50배 커지게 된다.

3. 분석결과

그림 2에서 보는 바와 같이 블루투스의 성능은 블루투스 송신기와 수신기 사이의 거리에 의해 결정된다. 표 3에서 D_{BT} 는 이 거리를 나타내고 $\Pr\{PER>10\%\}$ 는 블루투스 DH1 packet 이 WLAN 는 패킷 페이로드가 1500bit 인 패킷을 사용하는 환경에서 간섭에 의해 전송시 에러가 발생할 확률이 10% 이상 되는 확률을 보여준다.

블루투스 송신기의 거리가 2m 이내인 경우는 5%~15%의 확률로 패킷이 10%이상 에러가 나며 10m 로 증가하면 40%~70%의 확률로 에러가 난다. 블루투스 피코넷이 하나라고 가정한 경우보다 블루투스 시스템의 성능이 블루투스 송수신기 사이의 거리가

늘어날수록 그리고 블루투스 페코넷의 utilization factor가 늘어날수록 비례하여 성능저하가 일어난다 [2].

그러나 이러한 모델은 C/I가 17dB의 범위 안에 있는 STA와 블루투스 페코넷만을 고려하였다. 범위 밖의 있는 STA나 블루투스 페코넷일지라도 다수의 장치들이 간섭을 일으킬 수 있는 상황이 고려되지 않았다.

4. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 802.11 WLAN과 블루투스 시스템의 공존하는 모델에서 블루투스 송수신의 거리에 따른 PER을 구하였다. 블루투스 송수신기 사이의 거리와 블루투스 utilization factor에 의존하여 성능 저하가 발생하였다.

향후 과제로는 이러한 환경에서 성능 향상 방안에 관한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] Bluetooth SIG, "Bluetooth Specification 1.0b", <http://www.bluetooth.com>
- [2] J. C. Haartsen, "Bluetooth voice and data performance in 802.11 DS WLAN environment", SIG publications, 1999
- [3] A. Miller and C. Bisdikian, "Bluetooth Revealed", Prentice Hall, 200
- [4] J. C. Haartsen, "The Bluetooth radio system", IEEE Personal Communications, vol 7, February, 2000

Transaction	# Up/Down	Size(Byte)	Block time (ms)
Email	20/10	10K	20
Email/attach	5/2	200K	400
File	10/10	200K	400
Internet	1K/0	5K	10

표 1. WLAN 의 IP 트래픽 모델

DBT	D _{STA}	N _{STA}	N _{AP}	N _{PICO}
0.5	8.0	8	0.16	1.57
1.0	12.2	19	0.37	6.30
2.0	18.5	43	0.86	16.00
4.0	28.2	100	2.00	37.17
7.0	39.6	197	3.94	73.25
10.0	53.7	362	7.24	134.75

표 2. 간섭 파라미터

D _{BT} \ p	0.1	0.3	0.5
0.5	0.007073	0.009223	0.011371
1.0	0.023752	0.04304	0.061791
2.0	0.058808	0.109515	0.156263
4.0	0.132939	0.237351	0.324224
7.0	0.245945	0.409437	0.526917
10.0	0.399832	0.602387	0.723723

표 3. 패킷이 10%이상 에러날 확률

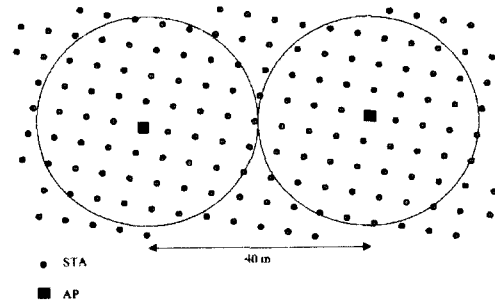


그림 1. WLAN terminal 배치 환경

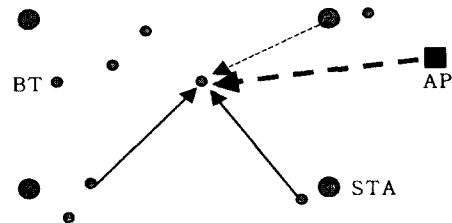


그림 2. WLAN AP, BT, STA 들로부터의 간섭 전파

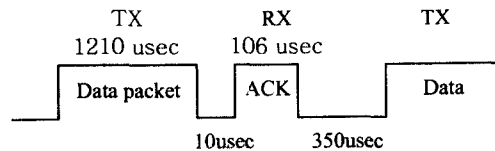


그림 3. WLAN timing