블루투스 Piconet에서 ACL/SCO 링크의 패킷 성능 시뮬레이션

Packet Performance Simulation of ACL/SCO Link in Bluetooth Piconet

김도균*, 노재성**, 조성언***, 조성준*, 김정선*

Do-Gyun Kim*, Jae-Sung Roh**, Sung-Eon Cho***, Sung-Joon Cho*, Jung-Sun Kim*

요 약

무선 접속 방식으로 블루투스의 출현은 즉석에서 전자기기들을 ad-hoc 망으로 다룰 수 있도록 하였다. 이러한 근거리 ad-hoc 무선망을 피코넷이라고 부르며 무허가 2.45 GHz ISM(Industrial, Scientific, Medical) 대역에서 운용된다.

본 논문에서는 무선 ad-hoc 환경에서 블루투스 ACL/SCO(Asynchronous Connection Less/Synchronous Connection Oriented) 링크의 패킷 형태에 따른 피코넷의 PER(Packet Error Rate), 패킷수신율, 페이로드 BER (Bit Error Rate)을 시뮬레이션하였다. 채널 모델로서 레일리 페이딩의 영향이 고려되었고 불루투스 기저대역 규격에 따라서 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션 결과로부터 불루투스 피코넷의 PER과 처리율은 ACL/SCO 링크의 패킷 형태에 민감하다는 것을 알 수 있었다.

Abstract

The emergence of Bluetooth as a radio interface scheme has allowed electronic devices to be instantly interconnected as ad-hoc networks. These short range ad-hoc wireless networks are called piconets, operated in the unlicensed 2.45 GHz ISM(Industrial, Scientific, Medical) band where up to eight devices may be used to configure single or overlapping piconets.

In this paper, we have simulated the PER(Packet Error Rate), the ratio of received packet and payload BER(Bit Error Rate) of piconet with packet types of Bluetooth ACL/SCO(Asynchronous Connection Less/Synchronous Connection Oriented) link over wireless ad-hoc environment. The Rayleigh fading effects are considered as channel model, and the simulation results are based on the baseband model of Bluetooth specification. From the simulation results, the PER and the throughput of Bluetooth piconet are sensibly affected by the packet type of ACL/SCO link.

I. 서 론

최근에 다양한 정보 기술들의 출현과 VLSI 기술의 발전으로 통신 장치의 소형화와 저 가격화가 이루어지고 있다[1]. 컴퓨터, 노트북, PDAs(Personal Digital Assistants), 휴대전화기 등의 제품들이 VLSI 기술 발전으로 인한 성공작으로 가격의 계속적인 저가화와 소형화가 이루어지고 있다. 최근에는 전세계적 무선 인터페이스로, 근거리 무선 연결을 할 수

·본 논문은 과학기술부·한국과학재단 지정 지역협력연구센터인 한국항공대학교의 "인터넷정보검색연구센터"에서 수행된 연구결과임

*한국항공대학교 전자·정보통신·컴퓨터공학부(School of Electronics, Telecommunication and Computer Eng., Hankuk Aviation Univ.)

**서일대학 정보통신과(Dept. of Inform. & Comm. Eng., Seoil College)

***순천대학교 정보통신공학과(Dept. of Computer & Comm. Eng., Sunchon Univ.)

. 논문번호 : 2002-6-10

·접수일자 : 2002년 5월 8일

있는 통신장치의 개발로 발전되고 있다. 요구되는 시스템의 특징으로는 음성과 데이터의 지원, 저가격과 개방된 규격, 전세계적으로 사용가능한 범용성, 무면허 밴드에서 다른 서비스에 대한 간섭의 저항성, 소형화와 적은 전력 등으로 요약될 수 있다 [2].

블루투스 기술은 유/무선 전화기, 모뎀, 헤드셋, PDAs, 컴퓨터, 프린터, 프로젝터 등과의 연결과 새로운 다른 장치들과 응용 제품들간의 연결을 가능하게 한다. 블루투스 기술은 휴대 가능한 장치들에 적용되면서 저 전력화와 소형화 그리고 저 가격화된 디자인을 가능하게 한다. 실제적으로 이 기술은 어디에나 적용될 것이고 모든 연결 가능한 장치들에 대해 연결의 매체가 될 것이다. 현재는 주요 업체 이외에도 국외 및 국내의 많은 기업들이 개발에 참여하고 있으며 출시된 제품들도 많이 있는 상황이며 앞으로도 블루투스 기술의 발전은 계속될 것으로 예상된다. 현재 2~3개의 칩으로 이루어진 블루투스 시스템은 단일칩을 이용한 시스템 설계로의 발전이 필요하며 저 가격을 만족하여만 한다.

블루투스 시스템에 대한 최근 연구는 주로 무선 채널 특성 중에서 동일채널 및 인접채널 간섭의 모델 및 페이딩 채널의 해석에 집중되어 있다. 특히, 참고문헌 [3]-[6]에서는 블루투스 시스템과 무선 LAN망 사이에서 발생되는 동일채널 및 인접채널 간섭이 블루투스 및 무선 LAN 망에 미치는 영향에 대한 연구가 수행되었다.

본 논문에서는 블루투스 시스템의 물리계층 기술에 대해 알아보고 레일리 페이딩 채널 환경에서 블루투스 피코넷의 패킷 오율과 패킷 수신율, 및 페이로드 부분에 대한 BER을 시뮬레이션하였다. 그리고 블루투스 ACL/SCO(Asynchronous Connection Less /Synchronous Connection Oriented) 링크에서 다양한 패킷 종류에 따른 성능을 비교, 분석한다.

II. 블루투스 시스템의 개요

블루투스는 면허가 필요없이 무료로 사용할 수 있는 2.4 GHz대 ISM(Industrial, Scientific, Medical) 대역의 주파수를 사용하여 동작하는 근거리 무선 통신 시스템이다. 다른 기기와의 간섭영향을 최소화하기 위해 스펙트럼 확산 방식의 일종인 주파수 호핑 방식을 채용하였다. 이 방식은 하나의 타임 슬롯마다 랜덤하게 주파수를 바꾸는 것으로 고정된 송신 주파수에 의한 간섭을 방지하는 동작을 한다. 변조 방식은 전송속도 1 Mbps의 GFSK (Gaussian Filtered Frequency Shift Keying) (BT=0.5) 변조방식을 사용한다. 블루투스의 베이스밴드 특성은 송신과 수신을 상호 순서를 바꾸는 TDD(Time Division Duplex) 통신 방식으로 쌍방향 통신을 한다. 한 개의 패킷에 복수의 슬롯으로 구성될 수 있다. 한 개의 패킷을 할당되는 슬롯의 수는 1, 3, 5개의 슬롯이고 패킷당 슬롯의 갯수에 따라 전송속도는 가변된다. 한 개의 슬롯으로 송수신을 하는 경우에는 433.9 kbps, 5개 슬롯의 경우에는 732.2 kbps의 전송 속도로 전송된다[1],[7].

블루투스의 접속 형태에는 SCO 링크와 ACL 링크의 2 종류가 있다. SCO는 일대일 대응 링크를 형성한다. SCO는 패킷의 길이로 슬롯을 점유하는 순서를 결정하는데, 음성과 같이 연속하는 데이터를 송수신하는 경우에 사용한다. 또한 ACL은 패킷 교환형의 접속에 사용한다. ACL은 SCO와는 달리 1, 3, 5개의 슬롯으로 구성된 3종류의 패킷을 사용하는 것이 가능하다 [1],[7].

그림 1은 SCO 링크와 ACL 링크의 데이터 흐름이다. 마스터는 짝수번째 슬롯 시간에서 슬레이브는 홀수번째 슬롯 시간에서 하나의 묶음 형태로 데이

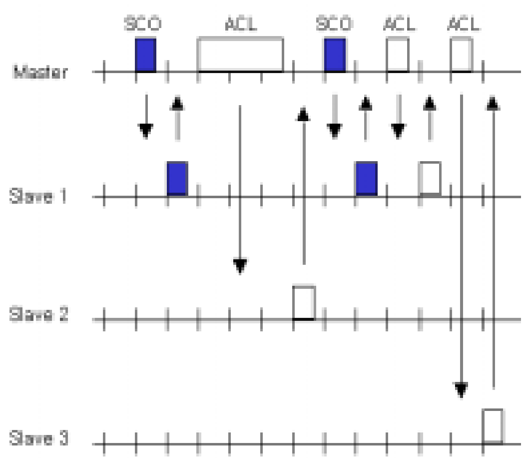

그림 1. ACL 링크와 SCO 링크의 데이터 흐름

표 1. SCO와 ACL 링크의 패킷 종류

Link type	Packet type	Payload FEC code rate	User payload (bytes)	Burst Length (μs)	Occupied slots
Control	NULL		0	126	1
	POLL		0	126	1
	FHS	2/3	18		
ACL	DM1	2/3	0 ~ 17	171 ~ 366	1
	DM3	2/3	0 ~ 121	186 ~ 1626	3
	DM5	2/3	0 ~ 224	186 ~ 2871	5
	DH1	no	0 ~ 27	150 ~ 366	1
	DH3	no	0 ~ 183	158 ~ 1622	3
	DH5	no	0 ~ 339	158 ~ 2870	5
SCO	HV1	1/3	10	366	1
	HV2	2/3	20	366	1
	HV3	no	30	366	1

터를 송/수신한다.

블루투스의 패킷 구성은 액세스 코드와 헤더는 고정 길이로 되어 있으며 페이로드는 패킷의 종류에 따라 달라진다. 액세스 코드는 프리엠블과 패킷의 식별로 사용한다. 헤더는 기기의 어드레스와 페이로드의 종류를 표시하는 형태와 재전송 제어, 흐름제어 등의 비트 등으로 구성되어 있다. 또한 헤더 데이터의 신뢰성을 확보하기 위한 chuck sum을 행하는 비트도 부가된다. 패킷 종류는 표 1에 나타낸 것 같이 헤더 중의 타입 비트에 규정되어진 12종류의 패킷이 있다. 패킷의 종류에는 SCO와 ACL 링크에 공통으로 사용되는 패킷과 각각 독립적으로 사용하는 패킷이 있다. 공통으로 사용되는 패킷은 주로 접속 제어에 사용된다.

III. 블루투스 피코넷의 시뮬레이션 모델

3.1 무선채널 특성

송신단에서 보내어진 신호는 채널을 통해서 수신단에 도달하게 된다. 이동통신환경에서 채널은 주위 건물의 표면에 의해서 산란되거나 회절이 발생하여 송수신기 사이에 수많은 경로가 존재하는 다중경로 현상이 일어난다. 이러한 현상은 터널이나 빌딩 등에 가려져 전파가 도달할 수 없는 부분에도 수신이 되는 반면 각 경로의 길이가 다르므로 수신신호는 서로 다른 지연 시간을 가지며 넓게 퍼지게 된다. 수신신호가 넓게 퍼지는 지연확산 (Delay spread)과 랜덤하게 위상이 변하여 신호의 강도를 급변시키는 레일리 페이딩 (Rayleigh fading), 각 경로마다 다르게 나타나는 도플러 주파수 편이 (Doppler frequency shift)는 다중경로 페이딩에서 나타나는 주요 현상이다.

다중경로 채널 및 신호 모형은 일반적으로 다중경로를 통하여 전파된 수신신호의 페이딩 효과에 대한 특성에 따라 세가지 형태로 분류된다. 첫째, 다중경로파로 인한 수신 신호들의 페이딩 성분이 고정불변적인 반사 성분만을 가지는 경우이고, 둘째는 순수한 무작위적 산란 성분만을 포함하는 레일리 페이딩의 경우, 셋째 반사적 성분과 무작위적 산란성분을 포함하는 라이시안 페이딩의 경우로 나눌 수 있다. 이들 중에서 레일리 다중경로 페이딩의 포락선 확률밀도함수는 다음과 같다[8].

$$p(R) = \frac{R}{\sigma_R^2} \exp\left(\frac{-R^2}{2\sigma_R^2}\right) \tag{1}$$

여기서, R은 수신 신호의 순시 포락선이고 σ_R^2은 수신 신호의 분산을 나타낸다.

3.2 피코넷(Piconet) 구조 및 특징

서로 간의 통신 영역 안에 있는 블루투스 장치는 ad-hoc 네트워크를 형성하여 통신을 할 수 있다. 원칙적으로 각각의 장치는 같은 하드웨어 능력을 가진 동등한 장치이다. 셀룰러 시스템과는 달리 블루투스 시스템은 단말기와 기지국의 구분이 없다. 하나의 채널을 공유하는 2개 또는 그 이상의 블루투스 장치는 하나의 피코넷을 형성하고, 채널상의 트래픽을 제어하기 위하여 통신에 참여하는 장치 중의 하나가 피코넷의 마스터가 된다. 어떠한 장치도 마스터가 될 수 있지만, 피코넷을 설정한 장치가 마스터 역할을 맡는 것으로 간주되며 다른 장치들은 슬레이브가

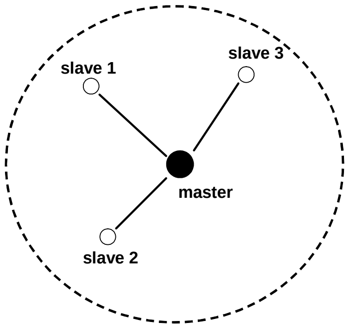

그림 2. 피코넷의 연결 구조

된다. 즉, 하나의 블루투스 기기는 피코넷의 마스터로 동작하고 다른 기기들은 슬레이브가 된다. 하나의 피코넷에서 동작할 수 있는 최대 슬레이브 갯수는 7개이다. 그림 2는 슬레이브 3개가 연결된 피코넷을 나타낸다.

본 논문에서의 시뮬레이션은 단일 피코넷 환경에서 블루투스 시스템의 베이스 밴드 모델을 기초로 했다. 단일 피코넷 환경에서 수신기의 타이밍과 동기는 완벽하다고 가정하였다. 데이터 전송속도는 1 MHz 채널 대역폭내에서 1 Mbps이고 변조도는 0.28 ~ 0.32이며 BT=0.5인 GFSK 변조 방식을 사용하였다. 그림 3은 블루투스 시스템의 시뮬레이션 블록 다이어그램이다. AWGN과 레일리 페이딩 채널 환경을 고려하였으며 ACL/SCO 링크의 모든 패킷에 대해 적용하였다.

송신기는 블루투스 장치의 16진수 UAP (Upper Address Part) 주소를 이용하여 CRC를 발생시킨다. 수신된 패킷에서 CRC (Cyclic Redundancy Check) 에러가 발생해도 재전송을 요구하지 않는다. 패킷헤더에 대한 HEC (Header Error Check)를 추가하며

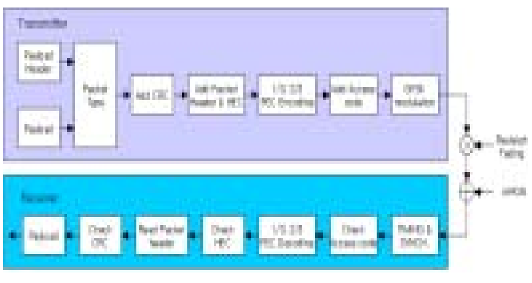

그림 3. 블루투스 피코넷의 시뮬레이션 모델

에러 정정을 위해 1/3, 2/3 FEC (Forward Error Correction)를 사용한다.

그림 3의 송신부 시뮬레이션 모델을 살펴보면 먼저 전송하고자 하는 정보가 발생하게 되면 정보는 일정한 크기로 쪼개어 보내게 되는데 쪼개어진 데이터를 페이로드라고 한다. 페이로드는 음성인지 데이터인지를 먼저 구별하고 전송 크기에 따라 데이터 패킷 형태를 고르게 된다. 페이로드에 대한 페이로드 헤더를 붙이고 페이로드의 에러 여부를 체크할 수 있는 CRC bits를 첨가한다. 보내고자 하는 패킷의 상세 정보를 가지고 있는 패킷의 헤더를 붙인 후에 헤더의 에러여부를 체크할 수 있는 HEC를 붙이게 된다. 1/3 또는 2/3 FEC 코딩한 후 엑세스 코드를 첨가하여 패킷의 형성이 모두 끝나게 된다. 그런 후에 패킷 bits열을 GFSK 변조한 후 송신하게 된다. 패킷은 무선공간에서 레일리 페이딩과 AWGN 채널을 거쳐 수신기에 수신된다.

또한, 수신부의 시뮬레이션 모델에서 먼저 엑세스 코드가 상관기를 거쳐 자기의 패킷인지를 판단하게 된다. 자기의 패킷이라면 1/3, 2/3 FEC 디코딩을 거쳐 패킷의 에러를 보상하게 된다. 에러보상 후에 패킷 헤더의 에러가 있는지 없는지를 HEC를 통하여 검사하고 에러가 있다면 패킷을 버리고 에러가 없다면 패킷의 헤더의 정보를 얻는다. 원하는 데이터의 정보를 얻기 전에 패킷의 맨 뒤에 있는 16 bit 즉, CRC를 검사하여 페이로드의 에러 여부를 검사하게 된다. CRC를 검사하여 에러가 있으면 패킷을 버리고 없다면 원하는 정보를 얻게 된다.

IV. 시뮬레이션 분석

본 논문에서는 AWGN과 레일리 페이딩 환경에서 ACL 링크와 SCO 링크의 패킷 형태에 따른 블루투스 시스템의 패킷 오율, 패킷 수신율 및 페이로드 BER을 시뮬레이션 하였다.

그림 4는 AWGN 환경에서 ACL 링크와 SCO 링크 패킷 타입에 따른 패킷 오율을 나타낸다. ACL 링크 (DMx와 DHx)에서 패킷 형태에 따라 PER 성능의 차이가 많음을 알 수 있었고, SCO 링크 (HVx)에서는 PER 성능의 차이가 적음을 알 수 있

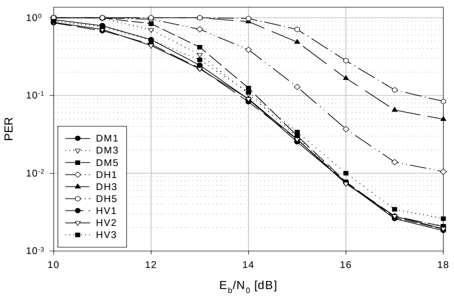

그림 4. AWGN 환경에서 패킷 타입에 따른 블루투스 시스템의 패킷 오율

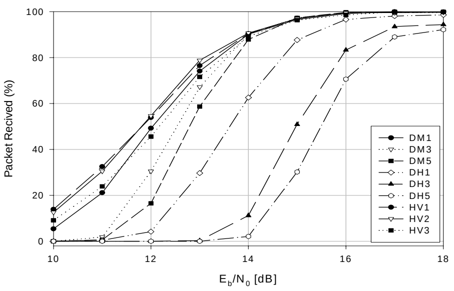

그림 5. AWGN 환경에서 패킷 타입에 따른 블루투스 시스템의 패킷 수신율

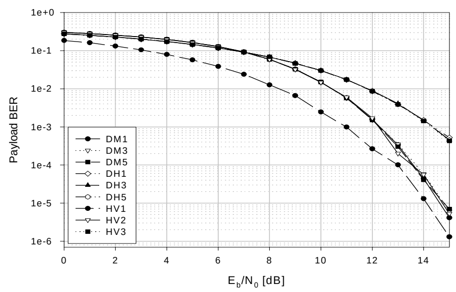

그림 6. AWGN 환경에서 패킷 타입에 따른 블루투스 시스템의 페이로드 BER

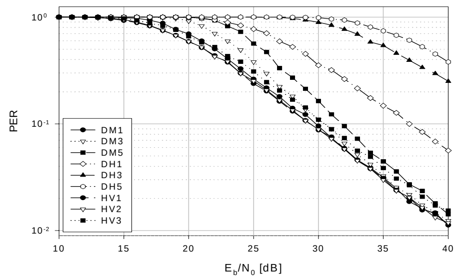

그림 7. 페이딩 환경에서 패킷 타입에 따른 블루투스 시스템의 패킷 오율

었다. ACL 링크에서의 DM1 패킷 오율과 SCO 링크의 HV3 패킷 오율의 성능이 비슷하였으며, ACL 링크의 DH1, DH3, DH5 패킷 오율의 열화 정도가 큼을 알 수 있었다. 특히, DH3, DH5 패킷의 오율 열화가 가장 컸다. 원인으로는 패킷의 크기가 커짐에 따라 PER 성능에 가장 많은 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 그림 5는 AWGN 환경에서 E_b/No와 패킷 타입에 따른 ACL/SCO 링크의 패킷 수신율을 나타난다. 패킷 형태에 따라 수신율의 차이가 많음을 알 수 있었고, PER 성능과 마찬가지로 ACL 링크에서 DH1, DH3, DH5 패킷 수신율의 열화 정도가 큼을 알 수 있었다. 그리고 DM 패킷과 HV 패킷의 수신율은 E_b/N_o=15[dB] 이상에서 100%에 근접함을 알 수 있다. 그림 6은 AWGN 환경에서 각 링크의 패킷 타입에 따른 페이로드 부분의 BER을 나타낸다. ACL 링크에서는 DM1, DM3, DM5 패킷의 BER 성능이 비슷했고, DH1, DH3, DH5 패킷도 성능이 비슷했다. SCO 링크의 HV2와 ACL 링크의 DM1, DM3, DM5 패킷 성능 차이가 거의 없었고, SCO 링크의 HV3와 ACL 링크의 DH1, DH3, DH5 패킷 성능 차이는 거의 없었다. 특히 이중에서 HV1 패킷의 BER 성능이 가장 우수함을 알 수 있었다. 또한 ACL/SCO 링크의 모든 패킷이 E_b / N_0=15 [dB] 이상에서 BER < 10^{-3} 를 얻을 수 있었다. 그림 7은 페이딩 환경에서 각 링크의 패킷 타입에 따른 패킷 오율을 나타냈다. 그림 3에서 AWGN 환경을 고려했을 때 보다 성능은 나빴으나 패킷에 따른 성능 변화는 거의 비슷하였다. ACL 링크의 DM1, DM3, DM5 패킷과 SCO 링크의 HV1, HV2, HV3 패킷의 성능이 유사함을 알 수 있었다. 그림 8은 페이딩 환경에서 각 링크의

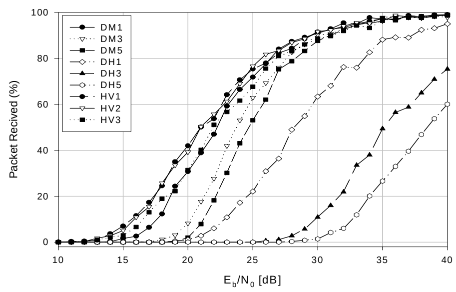

그림 8. 페이딩 환경에서 패킷 타입에 따른 블루투스 시스템의 패킷 수신율

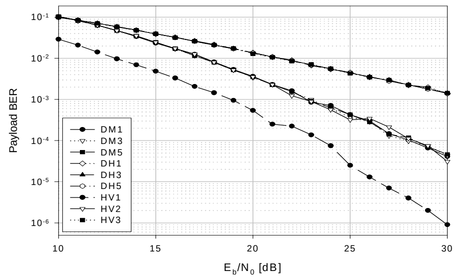

그림 9. 페이딩 환경에서 패킷 타입에 따른 블루투스 시스템의 페이로드 BER

패킷 형태에 따른 패킷 수신율을 나타낸다. 그림 4에서 AWGN 환경을 고려했을 때 보다 수신율은 나빴으나 패킷 형태에 따른 수신율의 변화는 비슷하였다. 그러나 AWGN 환경을 고려했을 경우보다 수신율의 변화정도는 심하였다. 그리고 그림 9는 페이딩 환경에서 각 링크의 패킷 타입에 따른 페이로드 BER을 나타낸다. AWGN 환경을 고려했을 경우보다 BER 성능은 열화됨을 알 수 있었다.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 레일리 페이딩 환경에서 블루투스 ACL/SCO 링크의 패킷 형태에 따른 패킷 오율, 패킷 수신율 그리고 페이로드 BER을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 시뮬레이션 결과, ACL과 SCO 링크에서 패킷 오율은 ACL 링크에서 패킷 형태에 따라 성능의 차이가 많음을 알 수 있었고, SCO 링크에서는 성능의 차이가 적음을 알 수 있었다. 또한, ACL 링크의 DM1 패킷 오율과 SCO 링크의 HV3 패킷 오율의 성능이 비슷하였으며 ACL 링크의 DH1, DH3, DH5 패킷 오율의 열화정도가 큼을 알 수 있었다. 그리고 각 링크의 패킷 타입에 따른 패킷 수신율은 패킷 형태에 따라 수신율의 차이가 많음을 알 수 있었다. AWGN 환경과 레일리 페이딩 환경에서 패킷 수신율과 페이로드 BER 성능을 비교한 결과, AWGN 환경보다 레일리 페이딩 환경에서 수신율은 열화되었고, 수신율의 변화 정도도 심하였다. 그리고 각 링크의 패킷 형태에 따른 페이로드 BER 성능도 열화됨을 알 수 있었다.

참고문헌

[1] J. C. Haartsen, “The Bluetooth radio system,” *IEEE Personal Comm.*, vol. 7, pp. 28-36, Feb. 2000.

[2] Z. Pei, L. Weidong, W. Jing, and W. Youzhen, “Bluetooth - the fastest developing wireless technology,” in *Proc. WCC-ICCT 2000*, vol. 2, pp. 1657-1664, 2000.

[3] S. Zurbes, Analysis of interference on Bluetooth, *Bluetooth Developers Conference*, August 1999.

[4] J. Zyren, Reliability of IEEE 802.11 DSSS and FHSS WLANs in a Bluetooth environment, *Bluetooth Developers Conference*, August 1999.

[5] S. Souissi and E. F. Meihofer, “Performance evaluation of a Bluetooth network in the presence of adjacent and co-channel interference," *IEEE Emerging Technologies Symposium:Broadband, Wireless Internet Access-2000*, pp. 6, 2000.

[6] A. El-Hoiydi, “Interference between Bluetooth networks - upper bound on the packet error rate,” *IEEE Communications Letters*, vol. 5, no. 2, pp. 245-247, June 2001.

[7] Specification of the Bluetooth System. Core,

Version 1.0B, December 1999.
[8] T. S. Rappaport, *Wireless Communications*, Prentice Hall, 2002.

김 도 균(金都均)

2000년 2월 : 남서울대학교 정보통신공학과 (공학사)
2002년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (공학석사)
2002년 2월 - 현재 : moda 정보통신
관심분야 : IMT-2000, Home networking

노 재 성(盧在成)

1990년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (공학사)
1992년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 (공학석사)
2000년 8월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 (공학박사)
1992년 3월 ~ 1997년 5월 : 한화정보 통신(주) 무선가입자망 연구소
2000년 9월 ~ 현재 : 서일대학 정보통신과 전임강사
관심분야 : 이동통신망 성능분석, 모바일 인터넷, 멀티미디어 통신 및 정보보호

조 성 언(趙誠彦)

1989년 2월 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (공학사)
1991년 2월 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 (공학석사)
1997년 2월 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 (공학박사)
1994.9 ~1997.2. 전주공업전문대학 전자통신과 전임강사
1997.3 ~1999.3. 순천대학교 공과대학 정보통신공학과 전임강사
1999.4 ~현 재. 순천대학교 공과대학 정보통신공학과 조교수

조 성 준(趙成俊)

1969년 2월 : 한국항공대학 항공통신공학과 (공학사)
1975년 2월 : 한양대학교 대학원 (공학석사)
1981년 3월 : 오사카대학 대학원 통신공학과 (공학박사)
1972년 8월 ~ 현재 : 한국항공대학교 전자·정보통신·컴퓨터 공학부 교수
관심분야 : 무선통신, 이동통신, 환경전자공학

김 정 선(金正善)

1965. 2 : 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)
1972. 2 : 한양대학교 대학원 (공학석사)
1987. 8 : 경희대학교 대학원 (공학박사)
1965. 3 ~ 현재 : 한국항공대학교 전자·정보통신·컴퓨터 공학부 교수
관심분야 : Digital filter design, optical delay line signal processing, adaptive signal processing, CDMA, 광통신 시스템