

ARQ 기법을 적용한 블루투스 복합 피코넷에서 임펄스 잡음의 영향

Effect of Impulsive Noise in Bluetooth Multi-Piconet using ARQ Scheme

김도균*, 노재성**, 조성준*, 김정선*

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

요 약

본 논문에서는 임펄스 잡음, 라이시안 페이딩, 그리고 동일채널간섭이 존재하는 블루투스 복합 피코넷에서 PER 성능과 패킷 처리율의 개선에 대하여 연구하였다. 특히, 블루투스 복합 피코넷에서 동일채널간섭의 영향을 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션 결과로부터 복합 피코넷에 의한 동일채널간섭과 임펄스 잡음은 블루투스 복합 피코넷의 성능에 영향을 주며 SAW-ARQ 기법은 블루투스 패킷의 전송 성능을 개선하는데 효율적임을 알 수 있었다.

Abstract

This paper has investigated the PER performance and the packet throughput of Bluetooth multi-piconet in the presence of impulsive noise, Rician fading, and co-channel interference. Specially, it is simulated the effect of co-channel interference in Bluetooth multi-piconet. From the simulation results, it is obtained that the co-channel interference due to multi-piconet and impulsive noise affects performance of Bluetooth multi-piconet. And, we have known that the SAW-ARQ method is very efficient to improve the performance of Bluetooth packet transmission.

I. 서 론

최근에 다양한 정보 기술들의 출현과 VLSI (Very Large Scale Integrated circuit) 기술의 발전으로 통신 장치의 소형화와 저가격화가 이루어지고 있다 [1]. 그리고 전 세계적인 무선 인터페이스로, 근거리

무선 연결을 할 수 있는 통신장치의 개발이 계속되고 있다. 요구되는 시스템의 특징으로는 음성과 데이터의 지원, 저 가격과 개방된 규격, 전 세계적으로 사용 가능한 범용성, 무면허 밴드에서 다른 서비스에 대한 간섭의 저항성, 소형화와 저 전력 등이다 [2].

근거리 무선 통신을 위해 개발된 블루투스 기술

본 논문은 과학기술부·한국과학재단 지정 경기도 지역협력연구센터(RRC)인 한국항공대학교 인터넷정보검색연구센터의 지원에 의한 것임.

* 한국항공대학교 전자·정보통신·컴퓨터공학부(The Schools of Electronics, Telecommunication, and Computer Engineering, Hankuk Aviation University)

** 서울대학 정보통신과(Department of Information & Communication Engineering, Seoul College)

· 논문번호 : 2002-8-7

· 접수일자 : 2002년 7월 23일

은 유/무선 전화기, 모뎀, 헤드셋, PDAs, 컴퓨터, 프린터, 프로젝터 등과의 연결과 새로운 다른 장치들과 응용 제품들간의 연결을 가능하게 한다. 블루투스 기술이 휴대 가능한 장치들에 적용되면서 저 전력화와 소형화 그리고 저 가격화된 디자인을 가능하게 한다. 따라서 이 기술은 어디에나 적용될 것이고 모든 연결 가능한 장치들에 대해 연결의 매체가 될 것이다. 또한 최근에는 블루투스와 802.11 무선 LAN 장치들의 사용이 증가하고 있으며 시장의 형성과 발전도 이루어질 것으로 생각된다.

그러나 앞으로 이러한 근거리 무선 통신 장치들의 연결이 많아지게 된다면 블루투스 네트워크는 두 가지의 간섭의 영향이 있을 것으로 예상된다. 첫 번째로, 블루투스 장치 이외의 장치들로부터 발생하는 간섭의 영향이다. 무선전화, 마이크로 오븐, 그리고 다른 PAN (Personal Area Networks), 802.11 등이 그 예이다 [3],[4]. 두 번째로, 인접위치에 있는 동일한 장치로부터의 간섭이다 [5],[6].

앞으로는 근거리 무선 통신 네트워크에서는 각종 전자기기의 급속한 발전으로 인해서 인공 잡음 (전력선, 마이크로웨이브 오븐, PC, 실내 기자재 및 기기 등등)으로 인한 임펄스 잡음의 영향이 크게 증가될 것이다. 그리고 이러한 잡음의 통계학적 특성은 기존에 논의되었던 가우스 잡음과 상당한 차이를 보이는 것으로 알려져 있다. 따라서, 기존의 가우스 잡음 환경에서와는 다른 분석이 요구되며, 임펄스 잡음을 보상하기 위한 기술이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 블루투스 복합 피코넷에서 동일채널간섭 및 임펄스 잡음에 의한 PER (Packet Error Rate)과 SAW-ARQ (Stop And Wait-Automatic Repeat re Quest)방법을 적용한 처리을 향상을 연구한다.

II. 블루투스 네트워크

2-1 블루투스 네트워크 개요

그림 1은 근거리에 놓여 있는 컴퓨터와 주변기기, 이동 단말기와 컴퓨터, 가전제품 등을 상호 무선 네트워크로 연결하여, 기기 간을 복잡한 전선 없이도 연결하며 양방향 실시간 통신이 가능하게 하는 블루



그림 1. 블루투스 네트워크의 구성

투스 네트워크의 구성을 나타낸다.

블루투스는 컴퓨터나 가전제품뿐만 아니라 IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000)으로 대표되는 3세대 디지털 이동 통신의 중요한 구성 요소로 부상하고 있다. 이는 가정 또는 사무실 내에서 기기 간 데이터 전송이 필요한 경우 원거리의 기지국을 거치지 않고 기기 간 직접 무선으로 통신하므로 기지국에 통신 부하를 많이 주지 않고, 대기 시간 없는 무료 고속 데이터 전송을 가능케 하여 휴대 단말기의 이용 효율을 높이는 효과가 있다. 또한 일반 소비자가 가정 내에서 일일이 통신 선로를 연결하고 유지해야 하는 불편함을 해소하므로, 컴퓨터와 같은 정보 기기와 전화 등의 통신기기 간의 연결을 가능하게 한다.

블루투스 네트워크에서는 여러 개의 피코넷이 모여 복합 피코넷을 구성한다. 두 개의 피코넷이 서로 연결되었을 때 하나의 피코넷이 또다른 피코넷과 연결되어 두 피코넷 사이의 연결 역할을 한다. 각 피코

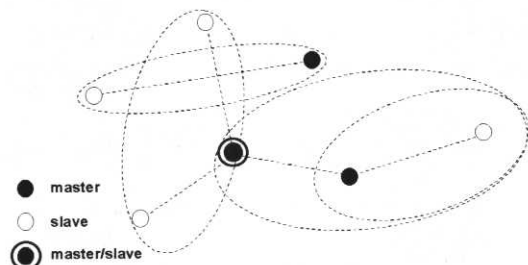


그림 2. 복합 피코넷 연결 구조

넷은 다른 주파수 호핑 채널을 사용하며 한 피코넷 내에서의 모든 사용자는 동기가 이루어져 있다. 7개의 기기가 1개의 피코넷으로 연결되고 7개중 1개는 주파수 호핑 패턴 생성 등의 피코넷을 관리하는 마스터가 되고 나머지는 슬레이브로 접속된다. 회선 및 패킷 스위칭을 지원하고 있으며, 각 패킷은 다른 호핑 주파수에서 전송된다. 그림 2는 복합 피코넷의 연결 구조를 나타낸다.

2-2 블루투스 규격

1999년 7월에 제정된 블루투스 1.0은 초소형화 (9 mm×9 mm) 및 초 저가화를 목표로 설계된 규격이다. 네트워크 토폴로지는 Ad-hoc 개념의 피코넷이고, 데이터 전송 구조도 비동기 데이터 전송 채널과 3채널의 동기 데이터 전송 채널로 구성된다. 비동기 데이터 채널은 상향과 하향에 동일 대역폭을 할당하거나, 상/하향 채널을 비대칭하게 운용할 수 있다. 블루투스 1.0b는 2.4~2.4835 GHz의 면허가 필요없는 ISM 밴드에서 보통 1 mW 출력, 1 MHz 밴드폭으로 79 채널을 초당 1,600번 주파수 호핑 (Frequency Hopping)하고 있으며 변조방식은 GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)이며, duplex 통신을 위하여 TDD (Time Division Duplex) 방식을 사용하는 무선 디지털 데이터 통신으로 일반적인 데이터뿐만 아니라 음성신호에 대해서도 디지털 변조하여 전송할 수 있다 [7]~[9].

블루투스 시스템은 그림 3에서 보는 것과 같이 쌍방향 통신을 하며 하나의 패킷은 복수의 슬롯을 사용할 수 있고 하나의 패킷을 사용하는 슬롯의 수는 그림 4에 표시된 것처럼 1, 3, 5 슬롯이다.

슬롯/패킷의 값에 따라 전송율은 변한다. 하나의

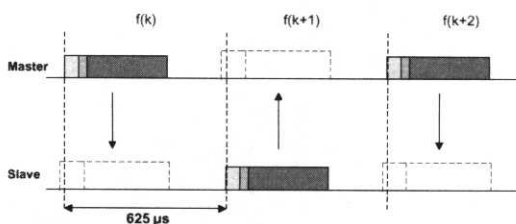


그림 3. 블루투스 타임 슬롯의 구성

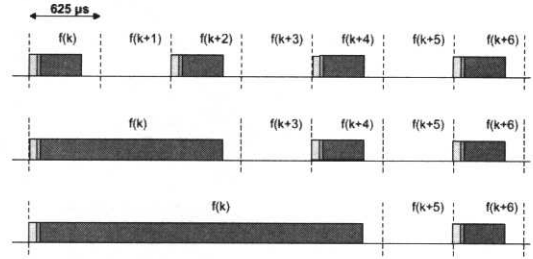


그림 4. 복수 슬롯의 송신

슬롯으로 송수신을 하는 경우에는 433.9 kbps, 다섯 개의 슬롯/패킷의 경우에는 732.2 kbps의 전송율이 실현 가능하다. 주파수 호핑은 누구나 사용할 수 있는 주파수 밴드를 사용하므로 타기기에 의한 전파 간섭을 최소화하기 위한 노력에 의한 결과로 2.4 GHz 내에서 운용할 수 있는 HomeRF 및 무선 LAN에 비하여 전파 간섭에 강하다.

III. 블루투스 복합 피코넷에서의 시뮬레이션 모델

3-1 시뮬레이션 모델

본 논문에서는 블루투스 복합 피코넷 전송을 가정하고 채널 모델은 가우스 잡음, 임펄스 잡음, 라이시안 페이딩 그리고 동일채널 간섭이 존재하는 무선 채널을 고려하였다.

블루투스 복합 피코넷에서의 시뮬레이션 모델은 그림 5와 같다.

그림 5의 송신부 모델에서 전송하고자 하는 정보가 발생하게 되면 정보를 일정한 크기로 나누어 보내게 되는데 나누어진 데이터를 페이로드라고 한다.

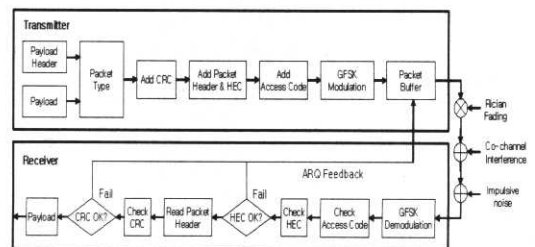


그림 5. 블루투스 복합 피코넷에서의 시뮬레이션 모델

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 HEC (Header Error Check)를 붙이게 된다. 1/3 또는 2/3 FEC 코딩한 후 액세스 코드를 첨가하므로 패킷의 형성이 모두 끝나게 된다. 그런 후에 패킷 bits열을 GFSK 변조한 후 송신하게 된다. 패킷은 라이시안 페이딩과 임펄스 잡음 채널을 거쳐 수신기에 수신된다. 수신부 모델에서는 먼저 액세스 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 검사하여 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. SAW-ARQ를 적용하는 절차는 다음과 같다. HEC 검사로 패킷 헤더의 에러 여부를 판단하여 에러가 있다면 재전송을 요구하고 올바르게 수신될 때까지 재 전송하게 된다. 에러가 없다면 페이로드의 CRC 검사로 페이로드의 에러 여부를 판단한다. 마찬가지로 에러가 있다면 재전송을 요구하고 올바르게 수신될 때까지 재전송하게 된다.

3-2 임펄스 잡음

무선 환경에서는 점점 전자파 환경이 복잡해짐에 따라 전력선, 마이크로웨이브 오븐, 실내 기자재 및 기기로부터 발생하는 임펄스성 잡음의 영향을 받을 수 있고, 이러한 잡음의 통계학적 특성은 가우스 잡음과 상당한 차이를 보이는 것으로 알려져 있다 [10],[11].

임펄스 무선 잡음의 통계적 물리적 모델 중에서 Middleton의 Class A 임펄스 잡음은 무선 통신 시스템

의 성능 평가에 있어서 취급하기 쉽고, 거의 모든 종류의 실제 임펄스 잡음을 표현하는데 사용되는 정량화된 방법이다.

일반적으로 협대역 잡음 $n(t)$ 를 동상 성분과 직교 성분으로 나타내면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$n(t) = x(t) \cos w_c t - y(t) \sin w_c t \quad (1)$$

여기서 w_c 는 협대역 잡음의 중심 각 주파수이다. 잡음 $n(t)$ 는 A급 임펄스 잡음으로 가정하고, 이에 대한 정규화된 결합 확률밀도함수 (p.d.f.)는 다음과 같다.

$$p(x, y) = e^{-A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A^m}{m! 2\pi\sigma_m^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma_m^2}\right) \quad (2)$$

이때 Jacobian 정리를 사용하여 각 직교, 동상 성분을 구해내면, 아래와 같다.

동상 성분 :

$$p(y) = e^{-A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A^m}{m! \sqrt{2\pi\sigma_m^2}} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_m^2}\right) \quad (3)$$

직교 성분 :

$$p(y) = e^{-A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A^m}{m! \sqrt{2\pi\sigma_m^2}} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_m^2}\right) \quad (4)$$

$$\sigma_m^2 = \frac{m/A + \Gamma'}{1 + \Gamma'}$$

$\Gamma' = \sigma_G^2 / \Omega_{2A}$: 가우스 잡음 전력 대 임펄스

잡음 전력비,

A : 임펄스 지수.

위에서 정의한 임펄스성 잡음에 대해 정규화된 확률 밀도 함수는 그림 6과 같다. 이것은 임펄스성이 약한 환경은 진폭이 큰 성분에 대한 확률 값이 점점 작아지는 반면, 임펄스 성이 강한 환경으로 갈수록 0에 근접한 진폭 성분이 많으며 진폭이 큰 성분에 대한 확률 값이 일정하다는 것을 나타내고 있다.

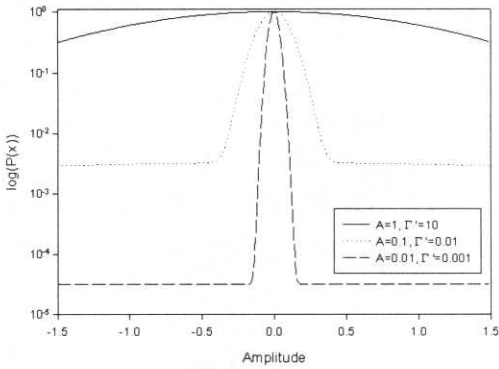


그림 6. A, Γ' 에 따른 정규화된 임펄스성 잡음의 확률밀도함수

3-3 블루투스에서 SAW-ARQ 알고리즘

SAW-ARQ는 데이터 통신에서 통신 회선을 통해 자료를 전송할 때 전송 오류를 수정하기 위하여 사용되는 프로토콜의 하나이다. 송신측에서는 데이터를 블록 단위로 끊어서 보내 주면 수신측에서 한 블록을 받아 오류의 유/무를 검사하고 만일 오류가 있으면 송신측에 그 블록의 재 전송 요구를 보낸다. 오류가 생길 때는 재전송 시간이 더 걸리므로 실시간 전송에는 부적합하며 각 전송된 부호어에 대하여 인식 신호를 기다리는 휴지시간 때문에 비효율적인 면을 가지며 위성통신과 같이 왕복 지연 시간이 길고 전송 속도가 빠른 경우에는 적합하지 않다. SAW-ARQ 기법이 적용된 시스템의 성능을 평가하는 방법으로는 전송효율(단위 시간당 전송된 디지털 비트 수에 대한 수신기에서 성공적으로 받아들인 평균 정보 비트수의 비)이 사용되고 있다. 블루투스에서의 SAW-ARQ 방법은 DM (Data Medium rate), DH (Data High rate), DV (Data Voice)패킷의 HEC, CRC 등을 검사하여 성공적인 수신인 ACK가 목적지에서 보내올 때까지 반복하여 전송한다. ACK 정보는 리턴 패킷의 헤더 안에 포함되며 페이로드와 패킷 헤더가 옳은 것인지를 결정하기 위하여 CRC, HEC를 패킷에 추가한다. 블루투스에서 ACK, NAK 방법을 사용한 SAW-ARQ 방법을 그림 7에 나타냈다. 그림에서 나타난 SAW-ARQ 방법은 송신측에서 보낸 데이터를 수신측에서 한 블록씩 받아 오류

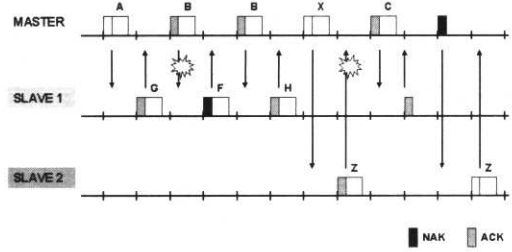


그림 7. SAW-ARQ 방법

의 유/무를 검사한다. 만약 오류가 있으면 NAK 신호를 통하여 송신측에 그 블록의 재전송을 요구하게 된다.

IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 블루투스 복합 피코넷에서 임펄스 잡음이 PER에 미치는 영향과 SAW-ARQ 기법을 적용한 처리율 향상을 시뮬레이션 한다. $E_b/N_o = 30$ dB, 마스터와 슬레이브의 평균 거리는 5[m]로 설정한다.

그림 8은 블루투스 복합 피코넷에서 피코넷의 수와 임펄스 잡음의 영향에 따른 PER의 변화를 나타낸다. 그림 8을 통해 A와 Γ' 가 PER 성능에 미치는 영향을 알 수 있다. $A=1, \Gamma'=1$ 일 때 피코넷의 수가 증가함에 따라 PER의 성능 변화가 약간 있으나

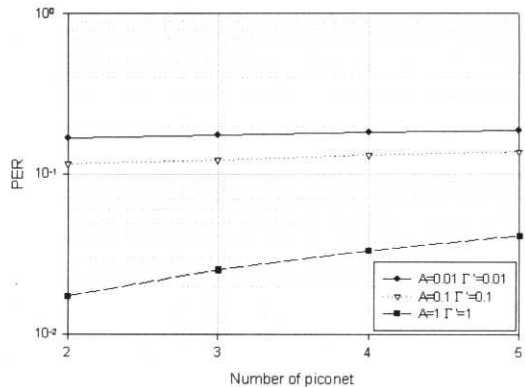


그림 8. 블루투스 복합 피코넷에서 피코넷의 수와 임펄스 잡음에 따른 PER의 변화 ($E_b/N_o = 30$ dB, 마스터와 슬레이브의 평균 거리는 5[m])

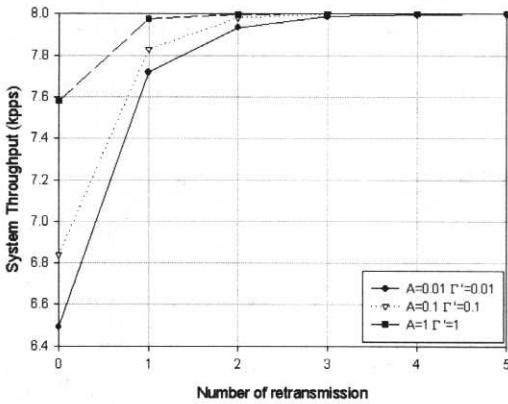


그림 9. 임펄스 잡음 환경에서 ARQ 기법을 적용한 블루투스 복합 피코넷의 처리율 변화 (피코넷의 수 =5, $E_b/N_o=30$ dB, 마스터와 슬레이브의 평균 거리는 5[m])

$A=0.01$, $\Gamma=0.01$ 과 $A=0.1$, $\Gamma=0.1$ 값에서는 PER의 성능 변화가 거의 없었다. 즉, 임펄스 잡음의 영향이 블루투스 복합 피코넷에서 지배적임을 알 수 있다.

그림 9는 임펄스 잡음이 존재하는 블루투스 복합 피코넷에서 ARQ 기법을 적용했을 경우의 처리율을 나타낸다. 재전송 횟수를 반복하여 증가하면 임펄스 잡음의 영향이 있음에도 불구하고 처리율은 향상된다. 재전송이 없을 경우, 임펄스 잡음의 영향으로 처리율의 차이는 있었으나 재전송 횟수가 2회로 증가한 경우, A 와 Γ 에 관계없이 거의 비슷한 처리율이 얻어지고, 재전송 횟수가 4회 이상인 경우에는 임펄스 잡음이 존재하더라도 최대의 처리율을 얻을 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 블루투스 복합 피코넷에서 임펄스 잡음이 PER에 미치는 영향과 ARQ 기법을 적용한 블루투스 복합 피코넷의 처리율 향상을 시뮬레이션 하였다.

블루투스 복합 피코넷 환경에서 임펄스 잡음의 영향이 큰 파라미터 값($A=0.01$, $\Gamma=0.01$ 과 $A=0.1$, $\Gamma=0.1$)의 경우, 매우 열악한 PER 성능을 나타내

었다. 이것은 전체적으로 블루투스 복합 피코넷에서 임펄스 잡음이 PER에 미치는 영향이 크다는 것을 나타낸다. 또한 ARQ를 적용한 처리율 시뮬레이션에서는 재전송이 없을 경우 임펄스 잡음의 영향으로 처리율이 낮아지지만 재전송 횟수가 2회 이상인 경우 처리율이 거의 비슷해지고 재전송 횟수가 4회 이상인 경우에는 임펄스 잡음 형태에 관계없이 최대의 처리율이 얻어짐을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [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. Mehofer, "Performance evaluation of a Bluetooth network in the presence of adjacent and co-channel interference", *IEEE Emerging Technologies Symposium: Broadband, Wireless Internet Access - 2000*, p. 6, 2000.
- [6] A. El-Hoiydi, "Interference between Bluetooth networks - upper bound on the packet error rate", *IEEE Communications Letters*, vol. 5, Issue: 6, pp. 245-247, June 2001.
- [7] Specification of the Bluetooth System, Core, Version 1.0B, December 1999.
- [8] S. Zurbes, W. Stahl, K. Matheus, and J. Haartsen, "Radio network performance of Bluetooth", in *Proc. ICC 2000*, vol. 3, pp. 1563

-1567, 2000.

[9] P. Johansson, N. Johansson, U. Korner, J. Elg, and G. Svernar, "Short range radio based ad-hoc networking : performance and properties", in *Proc. ICC'99*, vol. 3, pp. 1414-1420, 1999.

[10] M. D. Yacou, *Foundation of Mobile Radio*

Engineering, CRC Press, 1993.

[11] K. L. Blackard and T. S. Rappaport, "Measurements and models of radio frequency impulsive noise for indoor wireless communications", *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 11, no. 7, pp. 991-1001, Sep. 1993.

김도균(金都均)



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

조성준(趙成俊)



1969년 2월 : 한국항공대학교 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

노재성(盧在成)



1990년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (공학사)
 1992년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 (공학석사)
 2000년 8월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 (공학

박사)

1992년 3월~1997년 5월 : 한화정보통신(주) 무선가입자망 연구소
 2000년 9월~현재 : 서일대학 정보통신시스템전공 전임강사
 관심분야 : 이동통신망 성능분석, 모바일 인터넷, 멀티미디어 통신 및 정보보호

김정선(金正善)



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