

동일채널간섭이 존재하는 홈 네트워크에서의 성능 평가

노재성*, 예휘진**

요약

무선 홈 응용을 실현하는데 있어서 근거리 네트워킹 기술의 중요성은 증가하고 있다. 예를 들어, 블루투스 와 IEEE 802.11b 표준은 무선 홈 응용 구축을 위한 가장 일반적으로 사용되고 있는 기술들이다. 하지만 두 표준은 동일한 무허가 ISM(Industrial, Scientific, Medical) 무선 스펙트럼 대역을 공유하기 때문에 심각한 간섭을 피할 수 없으며, 두 기술을 사용하는 이종 디바이스가 아주 근접하여 있을 경우에 시스템 성능은 심각하게 손상을 받는다. 본 논문에서 연구한 가우시안 FSK 블루투스 시스템은 전자기기 사이의 무선 연결성을 위한 근거리 무선통신 기술의 표준이다. 본 논문에서는 가우시안 FSK 블루투스 시스템에서 동일채널간섭의 영향을 분석하였다. 본 연구에서 사용한 성능 평가 요소는 무선 채널에서의 SIR, 간섭 지수 ρ , 그리고 BER 등이며 이를 기반으로 성능을 평가하였다. 가우시안 FSK 블루투스 시스템의 성능 평가에서 다양한 소스로 부터의 동일채널간섭의 영향은 IGA(Impulsive Gaussian Approximation) 방식을 이용하여 분석하였고 다양한 채널상태를 나타내기 위하여 E_b/N_0 , ρ 와 SIR 값에 따라서 블루투스 시스템의 성능을 분석하여 결과 그래프에 나타내었다.

Performance Evaluation of a Wireless Home Network in the Presence of Co-Channel Interference

Jae-Sung Roh*, Hui-Jin Ye**

Abstract

Personal area networking technology is becoming increasingly important in enabling useful wireless home applications. For example, Bluetooth and IEEE 802.11b standards are the most commonly deployed technologies for wireless home applications. However, because both standards share the same unlicensed ISM (Industrial, Scientific, Medical) radio spectrum, severe interference is inevitable and performance can be impaired significantly when heterogeneous devices using the two technologies come into close proximity. In this paper, we research Gaussian FSK Bluetooth system, which is an open specification technology for short-range wireless connectivity between electronic devices. In this paper, we analyze the effects of co-channel interference on the performance of a Gaussian FSK Bluetooth system. Performance criteria used in the study are the signal to interference power ratio (SIR), interference index, and the bit error rate (BER) in the wireless channel. The effect of co-channel interference from various sources on the performance of a Gaussian FSK Bluetooth system is analyzed using an IGA(Impulsive Gaussian Approximation) method, and these quantities are plotted against E_b/N_0 , ρ , and SIR for various channel conditions in figures.

Keywords : Co-Channel Interference, IGA method, Bluetooth, BER Performance

1. 서론

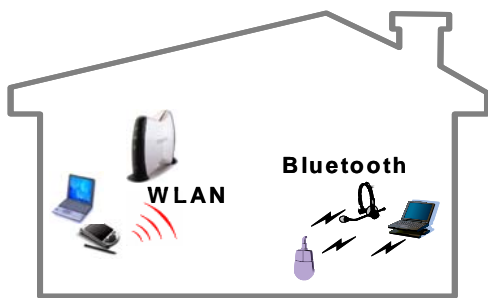
홈 네트워크는 기존 실내에서의 배선 체계가 아닌 고속의 유무선 인터넷 접속 및 디지털 가전기기를 수용할 수 있는 새로운 개념의 실내 통신 기반을 의미한다. 국내에서는 가정 내의 모든 정보가전기기가 유무선 홈 네트워크로 연결되어 있어서 누구나 기기, 시간, 장소에 구애받지 않고 다양한 홈 디지털 서비스를 제공받을 수 있는 가정환경을 목표로 초고속 인터넷 및

※ 제일저자(First Author) : 노재성
접수일자:2007년10월22일, 심사완료:2007년10월25일
* 서일대학 정보통신과
jsroh@seoil.ac.kr
** 한국항공대학교 정보통신공학과
■ 본 논문은 서일대학의 연구비에 의한 것임

무선 네트워크 인프라를 바탕으로 디지털 홈 구축 및 디지털 생활 실현을 계획하고 있다. 세계적으로는 마이크로소프트, 인텔, 삼성, 그리고 소니 등 다수의 업체가 중심이 되어 개방된 업계 표준을 바탕으로 상호 호환성이 보장되는 홈 네트워크 플랫폼의 표준화를 추진하고 있다. [1][2][3][4].

현재는 노트북 컴퓨터, 스마트폰, MP3 플레이어, 디지털 캠코더 등 모든 휴대용 가전 제품에 블루투스와 무선 LAN 장치의 탑재가 증가하고 있는 상태이다. 하지만 이러한 장치의 연결성에 따른 문제가 발생하고 있다. 블루투스와 무선 LAN 사이의 주파수 간섭 충돌은 블루투스 헤드셋에서 평하는 소리의 발생, 블루투스 키보드나 마우스의 느린 동작, 무선 LAN에서 파일 다운로드 시간의 증가 현상 등이 나타난다. 따라서 홈 네트워크 환경에서 이러한 사용자의 불편을 느끼지 않도록 하기 위해 공존 문제에 대한 많은 연구가 필요하다.

오늘날 인기 있는 802.11g 기반의 무선 LAN 솔루션과 블루투스는 동일한 2.4 GHz ISM 주파수 대역을 사용하고 있으며 이에 따른 간섭의 발생 가능성이 존재하며 성능의 저하가 예상되고 있다. (그림 1)은 무선 LAN과 블루투스 시스템 사이의 동일채널간섭의 발생 예를 나타내고 있다. 무선 간섭이 발생할 수 있는 대부분의 경우는 블루투스와 무선 LAN이 동일한 장치에 동시에 내장되어 있는 경우와 내장되지 않았지만 근접한 거리에 있는 경우이다. 업계 및 학계에서는 각 유형별로 많은 연구를 통해 해결책을 제시하고 있다[5][6][7][8].



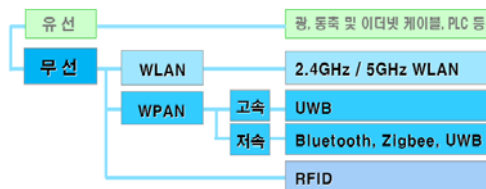
(그림 1) 무선 LAN과 블루투스 시스템 사이의 동일채널간섭

2. 홈 네트워크의 구성요소 및 무선 네트워크 기술

홈 네트워크는 외부 인터넷으로 연결시켜주는 가입자 네트워크, 홈 네트워크로 연결된 가정용 기기들, 이들을 연결시켜주는 홈 게이트웨이로 구성된다. 홈 네트워킹을 이용하게 되면, 가정 내의 여러 기기들을 연결할 수 있고, 외부에서 인터넷을 통해서 제어하고, 인터넷에도 다중으로 접속할 수 있게 된다.

홈 서버는 외부로부터 제어 기능을 지원하기 위해서 정보가전 제어 미들웨어를 통해 홈네트워킹용 서비스를 제공하기 위한 기반 플랫폼의 기능을 수행한다. 또한 홈 서버는 정보기기의 연결과 자원의 효율적인 활용을 위한 미들웨어로 사용될 수 있고, 가정에서 인터넷에 접근하여 정보 서비스를 사용할 수 있는 토대로서 사용된다. 홈 게이트웨이는 홈 네트워크와 외부의 초고속 액세스 망을 연결시켜 주는 장치로서 xDSL, 케이블모뎀 등의 다양한 액세스 망을 수용하고 TCP/IP, UDP 등의 인터넷 연동 프로토콜을 수행한다.

최근의 홈 네트워크를 구성하는 무선 네트워크 기술로는 무선 LAN, UWB, 블루투스, Zigbee, RFID가 있다. (그림 2)는 홈 네트워크 접속 기술을 유·무선으로 구분하여 나타내고 있다[4].



(그림 2) 홈 네트워크를 위한 유무선 접속 기술

각 무선접속 기술별 특징 사항은 다음과 같다.
 ① 무선 LAN : 무선 LAN은 가정이나 사무실에서 초고속 무선인터넷 서비스 제공을 목적으로 하고 있으며 초고속 무선인터넷, 홈 및 오피스 네트워크, VoIP 서비스 등에 활용될 것이다. IEEE 802. 11a는 5 GHz대역에서 54 Mbps를 제

공하며 IEEE 802.11b는 2.4 GHz대역에서 11 Mbps를 제공하고 있다. 전송거리는 50~100 [m] 내외에서 가능하다. 앞으로 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 안테나를 이용한 전송속도 향상 기술을 탑재하여 600 Mbps까지 서비스 가능한 IEEE 802.11n이 보편화될 전망이다.

② UWB : UWB (IEEE 802.15.3a) 방식은 기존의 스펙트럼에 비해 매우 넓은 대역에 걸쳐 낮은 전력으로 대용량의 정보를 전송하는 무선 통신 기술이다. 전송속도 및 거리는 480 Mbps, 10 [m]이내이고 사용 주파수는 3.1~10.6 GHz이다. PC의 대용량 데이터를 프린터에 전송·인쇄, HDTV 동영상상을 PC에 전송·저장, 디지털카메라의 정지화상을 프린터로 전송하는 기능을 수행할 것으로 예상된다.

③ Bluetooth : 블루투스 (IEEE 802.15.1) 방식은 휴대용 장치간의 양방향 근거리 통신을 복잡한 케이블 없이 저 가격으로 구현하기 위한 근거리 무선통신 기술로써 주파수는 2.4 GHz이고 전송속도 및 거리는 64 K~2 Mbps, 10m 이내이다. 제품의 상용화로 이용범위가 급속히 확대되고 있으며 Zigbee 등과 경쟁관계이며 저가 실현이 관건이다. 무선 헤드셋, 무선 키보드/마우스, 이동단말기 사이의 명함교환 등 향후 2.4 GHz 무선 LAN과 블루투스를 통합한 듀얼모드 출시가 예상되고 있다.

④ 지그비 : 지그비(IEEE 802.15.4) 방식은 블루투스보다 전송속도는 낮으나 네트워크 확장, 전력소모(1 mW미만), 칩셋 가격 등의 문제점을 개선하여 전등, 가전기기의 On/Off 제어 및 홈보안 시스템 등에 응용에 사용되고 있다. 전송속도 및 거리는 250 Kbps, 30 [m] 이내이고 주파수는 868 MHz(유럽), 915 MHz(미국), 2.4 GHz(ISM) 등이다. 하나의 네트워크에 65,000개의 기기 연결 (블루투스의 경우 7개)이 가능하다. (그림 3)은 무선접속 기술별 홈 네트워크의 기술사양을 비교하여 나타낸다.

3. 블루투스 기반의 홈 네트워크 환경에서 간섭신호의 영향 분석

홈 네트워크의 효율적인 구현을 위하여 블루투스와 무선 LAN이 동시에 내장된 장치에는 여

	Bluetooth	무선랜	지그비	UWB
주파수 대역	2.4GHz	2.4GHz	868/915 MHz 2.4GHz	3.1~10.6GHz
속도	1Mbps	11Mbps	250 Kbps	100Mbps
전송거리	10m	50m	30m	10m
변복조	FHSS	DSSS	DSSS	임펄스전송
특징	Ad-hoc 음성채널3	데이터 전송	가전기 제어	AV 전송

(그림 3) 홈 네트워크 구축을 위한 무선 기술

러 장점이 존재한다. 또한, 각 무선 기능이 제공하는 부가 가치 외에도 많은 부품을 공유함으로써 비용이 절감된다. 예를 들어, 안테나, 전력 증폭기, LNA 등의 부품이 공유될 수 있으며, 따라서 전체 비용을 줄일 수 있다. 간섭 방지의 측면에서 블루투스와 무선 LAN이 함께 내장된 경우에는 스펙트럼의 시분할 다중화를 적용하여 간섭을 방지할 수 있다. 블루투스는 79개 채널 사이를 의사 무작위로 호핑하는 FHSS 방식을 사용하고 있다. 블루투스와 무선 LAN이 동시에 내장되지 않고 근접한 거리에 있는 경우에는 적용형 주파수 호핑 방식을 이용하여 충돌 간섭을 방지할 수 있다. Adaptive FH 방식을 적용할 경우에는 블루투스 장치는 무선 LAN 트래픽 및 기타 간섭원을 탐색하여 간섭 채널을 회피해야 한다.

디지털 블루투스는 가정 및 사무실에서 사용되는 모든 정보기기에 장착되는 것을 목표로 무선망을 구성하고 어떠한 유/무선망과도 연동할 수 있게 한다. 따라서 블루투스를 비롯한 초단거리 무선 네트워크가 완성되면 모든 정보 기기간의 자유로운 데이터 교환이 가능해진다. 즉, 무선통신의 궁극적인 목표인 언제, 어디서나, 누구나, 어떤 형태의 정보도 교환한다는 목표에 대한 완성으로까지 이를 수 있다.

블루투스 네트워크는 1 Mbps의 속도로 동작하며 변조방식으로는 가우시안 FSK(Gaussian frequency shift keying)방식이 사용되고 있으며 변조지수 $h_f = 0.33$ 이고 $B_b T = 0.5$ 이다. 여기서, B_b 는 송신기의 가우시안 필터의 3dB 대역폭이고 T는 비트의 주기를 의미한다. 가우시안 FSK

신호는 다음과 같이 표현된다[5][6][7][8][9][10].

$$s(t, a) = \sqrt{\frac{2E_b}{T}} \cos(2\pi f_c t + \phi(t, a)), \quad (1)$$

여기서 E_b 는 데이터 비트의 에너지, f_c 는 반송파 주파수, a 는 랜덤 비트 열을 나타낸다. $\phi(t, a)$ 는 가우시안 FSK 신호의 출력 위상을 나타내며 다음과 같다.

$$\phi(t, a) = 2\pi h_f \sum_{i=n-L_b+1}^n \alpha_i q(t-iT) + \pi h_f \sum_{i=-\infty}^{n-L_b} \alpha_i \quad (2)$$

$$q(t) = \int g(\tau) d\tau \quad (3)$$

$$g(\tau) = \sqrt{\frac{2\pi}{\ln 2}} B_b \exp\left(-\left(\frac{2\pi^2}{\ln 2}\right)(B_b \tau)^2\right) \quad (4)$$

여기서, $g(t)$ 는 가우시안 필터의 임펄스 응답으로 가우스 필터는 반송파 전력이나 점유 대역폭 및 클럭 복구 성능 등의 측면에서 장점을 갖기 때문에 많이 사용되고 각 부호들은 앞뒤에 부호들과만 서로 밀접하게 상호작용 하게 된다. 이러한 특징으로 특정 형식으로 늘어선 신호 배열이 상호 작용하는 경향을 줄여 증폭기를 보다 쉽고 효율이 좋도록 만든다.

FSK 변조 신호의 변조지수 h_f 가 0.5보다 적은 경우에는 신호 사이에 상관성이 존재하며 상관 계수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$c = \frac{\sin(2\pi h)}{2\pi h} \quad (5)$$

AWGN 채널에서 가우시안 FSK 블루투스 신호의 오류율은 다음과 같다 [6][7][8][9].

$$P_{en} = Q_1(a, b) - 0.5 \exp\left(\frac{a^2 + b^2}{2}\right) I_0(ab) \quad (6)$$

$$a = \sqrt{0.5\gamma(1 - \sqrt{1 - c^2})}$$

$$b = \sqrt{0.5\gamma(1 + \sqrt{1 - c^2})}$$

여기서, γ 는 신호 전력 대 잡음 전력비 (SNR:Signal-to-Noise Power Ratio), $Q(a, b)$ 는 마컴 Q-함수, $I_k(\cdot)$ 는 k-차 변형 베셀 함수이다.

무선 채널상에 잡음과 간섭이 혼합된 경우, 신호 대역내에서 부분대역 간섭의 점유율 지수를 이용하여 IGA(Impulsive Gaussian Approximation) 방식을 적용한 수신 신호의 확률밀도함수는 다음과 같다[11].

$$f_{i+n,IGA}(r) = \frac{1-\rho}{\sqrt{2\pi\sigma_n^2}} \exp\left[-\frac{r^2}{2\sigma_n^2}\right] + \frac{\rho}{\sqrt{2\pi(\sigma_n^2 + \sigma_i^2)}} \exp\left[-\frac{r^2}{2(\sigma_n^2 + \sigma_i^2)}\right] \quad (7)$$

여기서 σ_n^2, σ_i^2 는 각각 잡음과 간섭 신호의 전력이다.

또한, IGA 방식을 적용한 확률밀도함수를 이용하여 부분대역간섭과 잡음이 존재하는 무선채널에서 가우시안 블루투스 신호의 BER 성능은 다음과 같다.

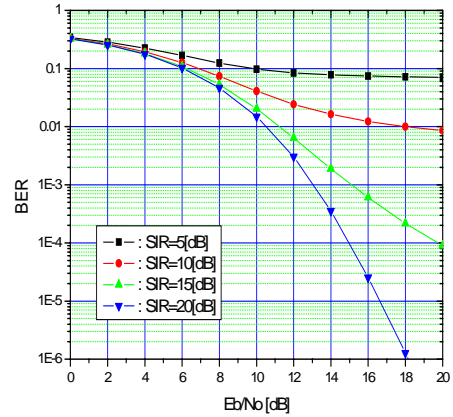
$$P_{eIGA} = (1-\rho)P_{en}(\gamma) + \rho P_{en}(\gamma_{IGA}) \quad (8)$$

$$\gamma_{IGA} = \sqrt{\frac{1}{(\gamma)^{-1} + (\beta)^{-1}}} \quad (9)$$

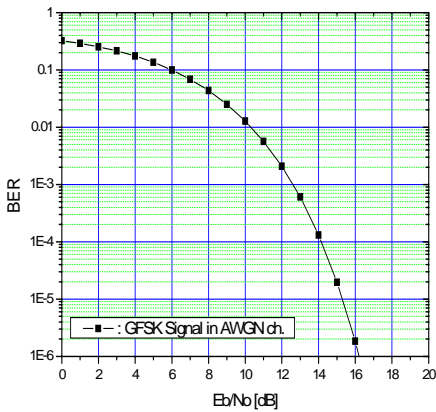
여기서, ρ 는 신호 대역내에서 부분대역 간섭의 점유율 지수를 나타내며 β 는 신호 전력대 간섭신호(SIR:Signal-to-Interference Power Ratio)의 전력비를 나타낸다.

(그림 4)는 AWGN 채널에서 가우시안 FSK 블루투스 시스템의 오류 특성을 그래프로 나타내고 있다. 결과 그래프로부터 간섭이 존재하지 않는 AWGN 채널에서는 신호대 잡음비 전력비 $E_b/N_0 = 14[dB]$ 조건에서 비트오율 $BER = 10^{-4}$ 을 얻을 수 있었고 $E_b/N_0 = 16[dB]$ 조건에서는 비트오율 $BER = 10^{-6}$ 을 얻을 수 있었다. (그림 5)와 (그림 6)은 $\rho = 0.5, 0.7$ 인 간섭 환경 조건과 AWGN 채널에서 가우시안 FSK 블루투스 시스템의 간섭 영향을 BER 측면에서 나타내고 있다. 예를 들어, $\rho = 0.5$ 인 경우는 부분대역간

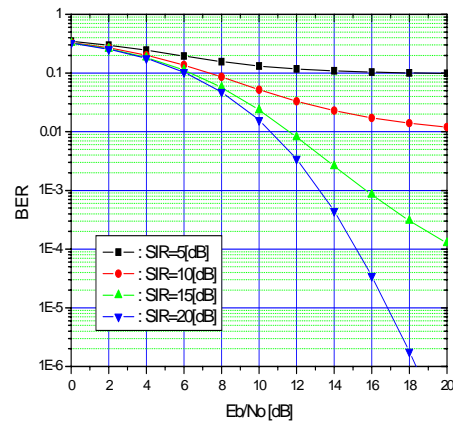
섭의 양을 나타내는 지수로 전체대역에서 50%의 간섭이 신호와 혼합됨을 의미한다. 부분대역 간섭의 양을 나타내는 지수 ρ 가 증가할수록 블루투스 시스템의 성능은 열화되는 것을 알 수 있다. 또한, (그림 5)와 (그림 6)의 결과 그래프에서 SIR이 증가할수록 BER 성능은 개선되는 것을 알 수 있다. 블루투스 시스템에서는 부분대역 간섭의 양 ρ 보다는 SIR에 의하여 블루투스 시스템의 성능이 좌우됨을 알 수 있다. (그림 7)은 AWGN 채널에서 가우시안 FSK 블루투스 시스템의 간섭 특성으로 신호대 잡음비 전력비 $E_b/N_0 = 10[dB]$ 인 환경이다. SIR이 증가할수록 BER 성능은 개선되고 있으며 부분대역 간섭의 영향을 나타내는 ρ 의 영향은 SIR이 작은 경우에는 BER에 많은 영향을 미치나 SIR이 큰 경우에는 BER에 미치는 영향이 감소하고 있음을 알 수 있었다.



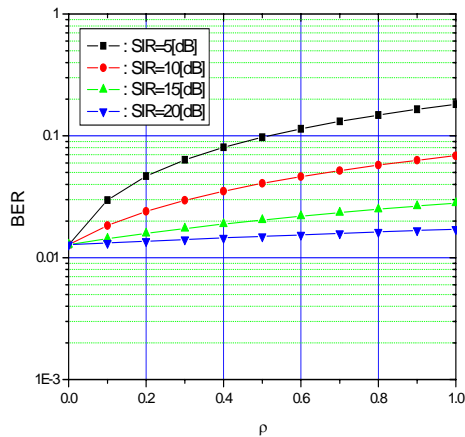
(그림 5) AWGN과 $\rho = 0.5$ 인 동일채널간섭 환경에서 가우시안 FSK 블루투스 시스템의 BER 성능



(그림 4) AWGN 채널에서 가우시안 FSK 블루투스 시스템의 BER 성능



(그림 6) AWGN과 $\rho = 0.7$ 인 동일채널간섭 환경에서 가우시안 FSK 블루투스 시스템의 BER 성능



(그림 7) AWGN과 동일채널간섭 환경에서 SIR과 ρ 에 따른 가우시안 FSK 블루투스시스템의 BER 성능

4. 결론

블루투스는 통신 기기간 케이블의 연결 없이 2.4 GHz 대의 ISM 밴드를 이용하여 PC와 노트북 및 휴대 통신기기 사이에서 최대 2 Mbps의 속도로 정보를 교환할 수 있다. 또한 최대 8개의 기기가 단일 PAN(Personal Area Network)에서 지원될 수 있으며 향후 도달거리와 속도향상을 통해서 홈 네트워크 시장에 진출할 수 있으며 개인 사용자를 위한 정보기기의 케이블을 대체하는 기술로 자리 잡을 수 있을 것이다. 오늘날 주로 사용하고 있는 802.11g 기반의 무선 LAN 솔루션과 블루투스는 동일한 2.4 GHz 주파수 대역을 사용하고 있기 때문에 이에 따른 간섭의 발생 가능성이 존재하며 성능의 저하가 예상되고 있다. 따라서 본 논문에서는 홈 네트워크 구축을 위하여 블루투스 통신방식을 고려하여 시스템의 BER 성능을 간섭의 영향에 따라서 분석하였다. 분석결과, 부분대역간섭의 양을 나타내는 지수 ρ 가 증가할수록 블루투스 시스템의 성능은 열화되는 것을 알 수 있었다. 그리고 SIR이 증가할수록 BER 성능은 개선되는 것을 알 수 있었다. 또한, 블루투스 시스템에서는 부분대역간섭의 양 ρ 보다는 SIR에 의하여 블루

투스 시스템의 성능이 좌우됨을 알 수 있었다. ρ 와 SIR의 양을 비교한 결과, 부분대역 간섭의 영향을 나타내는 ρ 의 영향은 SIR이 작은 경우에는 BER에 많은 영향을 미치나 SIR이 큰 경우에는 BER에 미치는 영향이 감소하고 있음을 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] C. K. Toh, Ad-Hoc Mobile Wireless Networks, Prentice Hall, 2002.
- [3] A. Azzam, N. Ransom, Broadband Access Technologies, McGraw-Hill, 1999.
- [4] 정보통신부, 홈 네트워크 무선통신 기술분석, 2006.
- [5] S. Zurbes, "Analysis of interference on Bluetooth," Bluetooth Developers Conference, August 1999.
- [6] J. Zyren, "Reliability of IEEE 802.11 DSSS and FHSS WLANs in a Bluetooth environment," Bluetooth Developers Conference, August 1999.
- [7] 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, pp. 6, 2000.
- [8] 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.
- [9] M. K. Simon and M. S. Alouini, Digital Communication Over Fading Channels, New York: Wiley, 2000.
- [10] 김형훈, 최신 통신기술 중심의 홈네트워킹, Ohm사, 2004.
- [11] J. Proakis, Digital Communications, McGraw-Hill, 2001.

노재성



1990년 : 한국항공대학교 정보통신
공학과 (학사)

1992년 : 한국항공대학교 정보통신
공학과 (석사)

2000년 : 한국항공대학교 정보통신
공학과 (공학박사)

2000년~현재 : 서일대학 정보통신과 부교수

관심분야 : RFID/USN, 무선통신 네트워크, 모바일
멀티미디어 콘텐츠 개발

예휘진



2002년 : 한국항공대학교 정보통신
공학과 (학사)

2004년 : 한국항공대학교 정보통신
공학과 (석사)

현재 : 한국항공대학교 정보통신공학과 박사과정

관심분야 : QoS, IPv6, 무선 데이터 통신