

저속 무선 홈 네트워크 임베디드 DSSS 시스템의 성능 평가

노재성*

요 약

모바일 응용을 실현하는데 있어서 근거리 무선 통신과 네트워킹 기술의 중요성은 증가하고 있다. 예를 들어 지그비 기술은 배터리의 수명이 수개월에서 수년에 이르는 기기 사이의 저 가격과 저 전력 연결을 제공한다. 또한, 지그비는 블루투스에서 제공하는 네트워크 구성보다 큰 메쉬 네트워크를 구축할 수 있다. 지그비 규격의 주된 특징은 네트워크의 유연성, 저가격, 저전력 소모이며 고정, 휴대 및 모바일 기기사이의 Ad-hoc 네트워크에서 저속 데이터 전송이다. 홈 네트워크와 홈 자동화 분야는 간단한 네트워크의 예로써 지그비의 큰 시장중의 하나이다. 본 논문은 잡음과 간섭 그리고 라이시안 페이딩 환경에서 지그비 시스템과 DSSS-BPSK 신호의 성능을 분석하였고 근거리 무선 채널에서 간섭과 페이딩의 영향에 따른 성능 감쇠에 대하여 연구하였다. 특히, 라이시안 페이딩과 간섭 레벨에 따른 오율 특성을 BER 성능 그림을 통하여 나타내었다.

Performance Evaluation of Low Rate Wireless Home Network Embedded DSSS System

Jae-Sung Roh*

Abstract

Short-range wireless communication and networking technologies are becoming increasingly important in enabling useful mobile applications. For example, ZigBee technology is expected to provide low cost and low power connectivity for equipment that needs battery life as long as several months to several years. In addition, ZigBee can be implemented in mesh networks larger than is possible with Bluetooth. The main features of this ZigBee standard are network flexibility, low cost, very low power consumption, and low data rate in an adhoc self-organizing network among fixed, portable and moving devices. Home network/Home automation is one of the key market areas for Zigbee, with an example of a simple network. This paper investigates the effect of short range wireless channel on the performance of Zigbee system and DSSS-BPSK signal transmission in AWGN, interference and Rician fading environments. And we investigate performance degradation due to interference and fading effects in short range wireless channel. In particular, the impacts of the fading and interference level on the bit error probability is shown in BER performance figures.

Keywords : DSSS System, Network, Wireless Home Network

1. 서 론

지그비는 미국에서 표준화 작업 중인 근거리 무선방식 IEEE 802.15.4에 근거한 표준화 작업이며 무선 통합 리모컨, 가전 기기 컨트롤러, 산업 제어 및 홈 오토메이션, 장난감 등에 사용하기 위한 저속, 저가격, 저소비 전력의 무선전송기술의 표준을 제정하기 위한 그룹이다. Philips와 Motorola사와 같은 업체들은 현재 단거리 무선 사양에 적합한 RFIC의 개발을 하고 있다. PHY와 MAC 프로토콜의 표준을 다루는 IEEE

※ 제일저자(First Author) : 노재성

접수일:2006년 05월 24일, 완료일:2006년 06월 30일

* 서울대학교 정보통신과

jsroh@seoil.ac.kr

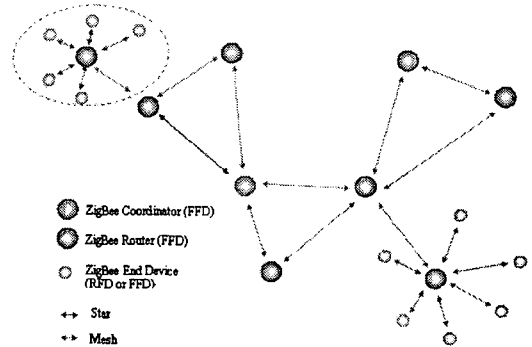
▣ 본 연구는 2005 서울시 보유품 기술 사업화 과제의 연구비로 수행되었습니다

802.15.4 LR (Low Rate)-WPAN 표준화가 완료되어 현재 응용 서비스를 위한 시스템 개발에 필요한 MAC 상위 계층에 대한 표준화 작업이 지그비 Alliance에서 진행 중이다. 현재 지그비 (IEEE 802.15.4) 사양은 시장에서 입지를 다두고 있는 여러 무선 네트워킹 표준들과 비교할 때 빠른 성장을 보이고 있다 [1]-[4].

지그비의 특징 중의 하나는 저렴한 가격으로 스펙트럼 확산 기술을 기본으로 한 변조 방식을 채용하여 무선 송수신 회로의 구성을 단순화하고 저가의 칩셋 개발을 지향하고 있다. 모듈의 외형도 Bluetooth 수준을 지향하고 있으며 이러한 사양을 조기에 실현할 수 있다면 다른 방식보다 경쟁력있는 무선 센서 네트워크의 표준 방식이 될 가능성이 매우 크다. Bluetooth가 1Mbps, 1mW 이상의 송신전력을 갖는데 반해 지그비는 250kbps, 1mW 미만의 송신전력을 사용하고, 2.4 GHz 주파수 대역에서 16 채널을 지원하여 같은 대역내에서 더 많은 사용자를 수용할 수 있는 장점을 지니고 있다 [5]-[7].

지그비의 RF 링크 프로토콜과 사용자 어플리케이션은 단지 8 비트 마이크로 컨트롤러를 기반으로 동작하고, 실행 코드 사이즈의 크기가 작아서 전체 지그비 스택을 위한 코드 사이즈가 32k 바이트 이하로 구현이 가능하다. 특히 RFD (Reduced Function Device)와 같은 단순한 기능을 가진 노드의 경우 4k 바이트 이하의 코드 사이즈로 구현이 가능하다. 지그비의 통신 모드가 마스터-슬레이브 방식을 기본으로 하고 있지만 메쉬모드(Mesh Mode)라 불리는 점대점 방식의 네트워킹이 가능하고 네트워크 안에서 하나의 기기를 조정자(Coordinator)로 명하여 송/수신의 활동이 필요한 경우에만 sleep 모드에 있는 노드들을 활동 상태로 변경하는 방식을 채택함으로써 전력 소모를 극소화하였다. 지그비 노드들은 코디네이터 혹은 디바이스(슬레이브 노드)로서 동작이 가능하며, 통신에 있어서 필요한 모든 부하를 코디네이터에 집중시킴으로써 상대적으로 슬레이브 노드의 기능적 요소가 적고, 구현에 필요한 비용이 저렴한 이점이 있다. (그림 1)은 지그비의 다양한 무선 네트워크 모델을 나타내고 있다. 인접한 네트워크 및 시스템과의 간섭에 강인한 동작을 수행할 수 있도록 2.4GHz와 5GHz의 무선 LAN에서 사용하는 DSSS (Direct

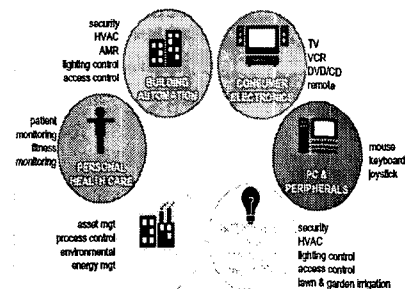
Sequence Spread Spectrum) 방식을 채택하였다. 본 논문에서는 지그비 시스템의 성능 분석을 위하여 DSSS-BPSK 변조 신호를 적용하였고 무선 채널로는 AWGN, 간섭 및 라이시안 페이딩 환경에서 성능을 평가하였다.



(그림 1) 지그비 무선 네트워크 모델

2. 지그비 정보 가전 서비스

디지털 정보 가전이 점점 현실로 구체화 되어 감에 따라 정보 가전 기기를 원격 제어하는 필요성이 강하게 대두되고 있고 이러한 홈 네트워크를 위한 솔루션들이 많이 제시되고 있다. 센서 네트워크 및 지그비 시스템과 같은 무선통신 표준 기술이 진보함에 따라, 스마트 센서나 액츄에이터와 같은 장치들이 사용자가 인식하지 못할 정도로 숨겨 놓을 수 있을 만큼 작아 질 것이며, 센서 노드가 장착된 가전 기기들이 서로 무선으로 연결되어 인터넷이나 이동통신 네트워크로 연결됨으로써 사용자가 집안이나 외부에서 직접 접속할 수 있게 해준다.



(그림 2) 지그비 서비스

또한 가전기기에 내장된 센서 노드가 홈 서버에 접속하여 서로 통신도 할 수 있게 되며, 홈서버는 다른 방의 노드들과 통신하여 다양한 서비스에 관한 정보를 교환할 수 있게 된다. (그림 2)는 지그비의 활용 서비스 분류를 나타내고 있다. 저속, 저전력을 이용하는 지그비의 응용 시장 분야를 나타내었으며 이를 토대로 향후 센서 네트워크가 활용될 수 있는 시장을 예측해 볼 수 있을 것이다.

3. LR-WPAN을 위한 물리계층 DSSS 시스템 모델

WPAN 응용을 위한 물리계층 모델은 여러 무선 표준들이 발표하고 있지만 그중에서 지그비는 전력 소모 측면에서 효용성을 가지고 있으며 저속 무선 데이터통신을 위한 경제적인 솔루션이라 할 수 있다. 또한, 시스템에 지그비를 구현하는 비용이 저렴하기 때문에 네트워크에 많은 노드들을 설치할 수 있으며, 구현 측면에서 Bluetooth, 고속 WPAN, 802.11x 무선 LAN보다 훨씬 간단하게 구성할 수 있는 장점을 가지고 있다. <표 1>은 802.11b, Bluetooth WPAN, LR-WPAN의 무선 기술을 비교하고 있다 [8].

지그비 규격에서는 인접한 네트워크 및 시스템과의 간섭에 강한 동작을 수행할 수 있도록 2.4GHz와 5GHz의 무선 LAN에서 사용하는 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) 방식을 채택하고 있으며 800 MHz와 900 MHz 대역에서 BPSK 변조 방식을, 2.4GHz 대역에서 O-QPSK 변조 방식을 채택하였고 물리 계층(PHY)은 실제 통신이 일어나는 물리 매체와의 인터페이스를 제공한다. 또한, PHY 계층은 무선 트랜시버 제어(활성화와 비활성화), 에너지 감지, 링크 품질, 빈 채널 평가, 채널 선택, 물리 매체를 통한 메시지 패킷의 송수신을 담당한다.

<표 1>LR-WPAN의 다른 무선기술과의 비교

	802.11b WLAN	Bluetooth™ WPAN	Low Rate WPAN
Range	~100 m	~10-100 m	10 m
Data Rate	~11 Mb/s	1 Mb/s	≤0.25 Mb/s
Power Consumption	Medium	Low	Ultra-Low
Size	Larger	Smaller	Smallest
Cost/Complexity	Higher	Medium	Very Low

무면허 동작용 세 주파수 대역을 위해 IEEE 802.15.4 표준은 각각의 대역을 위해 기술적인 목표를 명시하고 있다. 868-868.6 MHz 무면허 대역은 대부분의 유럽 국가에서 20 kb/s DSSS 서비스를 위해 이용 가능하며 902-928 MHz 무면허 대역은 북미, 오스트레일리아, 뉴질랜드, 남아메리카의 일부 국가에서 40 kb/s DSSS 서비스용으로 이용 가능하다.

<표 2> IEEE 802.15.4 표준 주파수 대역과 변조 파라미터

Band	Frequency Band	Bit Rate	Symbol Rate	DSSS Spreading Parameters	
				Modulation	Chip Rate
868 MHz	868-868.6 MHz	20 kb/s	20 ksymbols/s	Binary Phase Shift Keying(BPSK)	300 kchips/s
915 MHz	902-928 MHz	40 kb/s	40 ksymbols/s	Binary Phase Shift Keying(BPSK)	600 kchips/s
2.4 GHz	2.4-2.4835 GHz	250 kb/s	62.5 ksymbols/s	Offset Quadrature Phase Shift Keying(O-QPSK)	2 Mchips/s

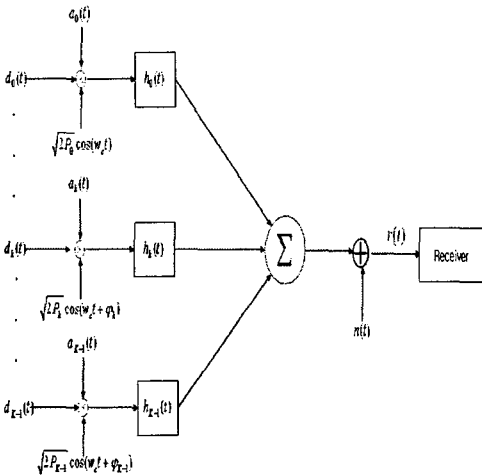
또한, 2.4000-2.4835 GHz 무면허 대역은 세계적으로 대부분의 국가에서 250 kb/s DSSS 서비스용으로 이용 가능하다. 각 대역의 물리적 특성과 규제로 IEEE 802.15.4 표준은 두 PHY에서 사용되는 세 대역을 위한 데이터 속도와 변조 방법을 명시하고 있다. IEEE 802.15.4 표준은 세 대역에서 서로 다른 세 데이터 속도를 명시하는데 868/915 MHz PHY 계층의 두 저속은 BPSK 변조 방식을, 2.4 GHz PHY 계층의 고속은 O-QPSK 변조 방식을 사용하고 있다. <표 2>는 각 대역에서 명시된 데이터 속도(비트 속도와 심볼 속도)와 직접시퀀스 확산 스펙트럼(DSSS) 파라미터를 보여준다.

868/915 MHz 대역에서 지그비 PHY 계층에서는 DSSS-BPSK 변조 방식을 사용하고 있으며 다수의 노드중에서 k번째 노드로부터 데이터 수집노드에 수신된 신호의 표현식은 다음과 같다.

$$s_k(t - \tau_k) = \sqrt{2P_k} a_k(t - \tau_k) d_k(t - \tau_k) \cos(\omega_c t + \phi_k) \quad (1)$$

여기서, $d_k(t)$ 는 k번째 노드의 데이터 열, $a_k(t)$ 는 k번째 노드의 확산(chip) 열, τ_k 는 기준 노드로부터 k번째 노드의 상대적인 지연,

P_k 는 k 번째 노드의 수신 전력, ϕ_k 는 기준 노드 0으로부터 k 번째 노드의 상대적인 반송파 위상 차를 의미한다. (그림 3)은 DSSS 시스템의 수학적 해석 모델을 나타낸다.



(그림 3) DSSS 시스템 해석 모델

수신기의 상판 입력에서의 수신 신호는 다음과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=0}^{K-1} s_k(t - \tau_k) + n(t) \quad (2)$$

여기서 $n(t)$ 는 AWGN을 나타낸다. 상판기 출력에서의 판단 분포 값 Z_o 은 다음과 같다.

$$Z_o = \int_{jT_b}^{(j+1)T_b} r(t)a_o(t)\cos(w_c t)dt \quad (3)$$

$$= I_o + \eta + \zeta$$

위 식에서 희망 노드에서 송신 신호는 다음과 같다.

$$I_o = \sqrt{2P_o} \int_{t=0}^{T_b} a_o^2(t)b_k(t)\cos^2(w_c t)dt \quad (4)$$

$$\approx \sqrt{\frac{P_o}{2}} T_b b_k(t)$$

잡음에 해당하는 부분의 식 η 은 다음과 같다.

$$\eta = \int_{t=0}^{T_b} n(t)a_o(t)\cos(w_c t)dt \quad (5)$$

$$\sigma_\eta^2 = E[\eta^2 - \mu_\eta^2] \quad (6)$$

$$\approx \frac{N_o T_b}{4}$$

마지막으로 주변의 노드에서 온 간섭신호 성분은 다음과 같다.

$$\zeta = \sum_{k=1}^{K-1} I_k \quad (7)$$

가우시안 근사화 방법을 이용하면

$$\sigma_{I_k}^2 = \frac{NT_c^2 P_k}{6} \quad (8)$$

따라서, 주변의 모든 노드에서 온 간섭신호의 전력 성분은 다음과 같다.

$$\sigma_\zeta^2 = \frac{NT_c^2}{6} \sum_{k=1}^{K-1} P_k \quad (9)$$

결과적으로 전체 잡음 전력(AWGN+간섭신호)은 다음과 같다.

$$\sigma_\zeta^2 = \sigma_\zeta^2 + \sigma_n^2 \quad (10)$$

$$= \frac{NT_c^2}{6} \sum_{k=1}^{K-1} P_k + \frac{N_o T_b}{4}$$

BPSK 변조방식과 에러 확률($\zeta > |I_o|$)을 고려하면 오율식은 다음과 같이 얻어진다.

$$P_e = \int_{|I_o|}^{\infty} p_\zeta dx \quad (11)$$

$$= Q \left(\sqrt{\frac{\frac{P_o}{2} T_b^2}{\frac{NT_c^2}{6} \sum_{k=1}^{K-1} P_k + \frac{N_o T_b}{4}}} \right)$$

무선 채널에서 많은 수의 반사와 성분이 존재하며 이들의 성분이 직접파 성분보다 우세할 경우에는 수신된 신호의 진폭은 레일리 분포를 따르게 된다. 하지만 어떤 상황에서는 가시경로 성분이 존재하여 직접파와 성분이 반사와 성분에 비하여 우세한 경우가 있다. 이러한 직접파와 신호 성분이 존재하는 무선 채널 환경을 라이시안 페이딩 채널로 모델링한다. 라이시안 페이딩 모델링은 직접파 성분과 분산이 σ^2 인 반사와 성분으로 구성되며, 이 성분들이 복합 수신된 신호로 표현되는 채널 상황을 나타낸다. 수신된 신호의 진폭 R 에 대한 라이시안 페이딩의 확률밀도함수는 다음과 같다 [9].

$$f(R) = \frac{R}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{R^2 + A^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{RA}{\sigma^2}\right) \quad (12)$$

여기서, A 는 직접파의 진폭, 그리고 $I_0(\cdot)$ 는 0차의 변형 베셀 함수이다.

라이시안 페이딩을 받은 수신 신호의 진폭 (R) 대신에 R^2 에 비례하는 순시 신호 전력 대 잡음 전력비(γ)를 함수로 하는 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$f_{Rice}(\gamma) = \frac{K_R+1}{\Gamma} \exp\left[-\frac{(K_R+1)\gamma}{\Gamma} - K_R\right] \cdot I_0\left(2\sqrt{\frac{K_R(K_R+1)\gamma}{\Gamma}}\right) \quad (13)$$

여기서, $K_R = A^2/2\sigma^2$ 는 직접파 전력 대 반사파 전력비, γ 는 순시 신호 전력 대 잡음 전력비, Γ 는 평균 신호 전력 대 잡음 전력비를 나타낸다.

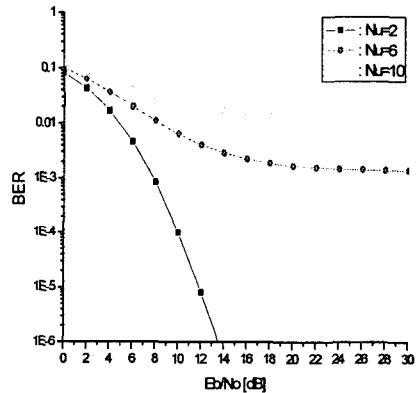
본 논문에서는 지그비 시스템의 성능 분석을 위하여 DSSS-BPSK 변조 신호를 적용하였고 무선 채널로는 AWGN, 간섭 및 라이시안 페이딩 환경에서 성능을 평가하였다. 성능 분석을 위한 파라미터로는 라이시안 페이딩 채널의 채널 변화를 나타내는 라이시안 페이딩 파라미터, 비트 당 칩의 수, 노드의 수, 그리고 평균 신호 대 잡음 전력비 등을 사용하였다.

(그림 4)는 AWGN 채널에서 DSSS/BPSK 신호의 오류 특성을 나타낸다. 비트 당 칩의 수는 15이고 노드의 수는 2, 6, 10개가 동작하는 환경이다. 노드의 수가 증가함에 따라서 DSSS의 특성상 간섭의 양도 증가된다. 노드의 수는 2인 경우는 간섭이 존재하지 않는 환경으로 가장 우수한 통신 성능을 나타낸다. 노드의 수가 6이상으로 증가함에 따라서 BER 성능은 열화되며 신호 대 잡음 전력비가 증가하여도 BER 성능에 변화가 없는 현상이 발생한다. 또한 $BER=1 \times 10^{-3}$ 이하를 얻기 위해서는 노드의 수가 6이하가 되어야 함을 알 수 있었다.

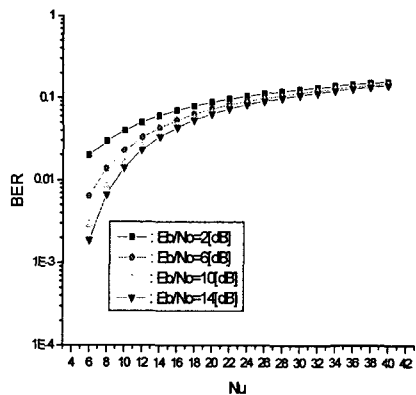
(그림 5)는 AWGN 채널에서 DSSS/BPSK 신호의 용량 특성을 나타낸다. 비트 당 칩의 수는 15이고 신호 대 잡음 전력비가 2, 6, 10, 14 dB인 경우에 노드의 수와 BER 특성사이의 관계를 표현하고 있다. 그림을 통하여 신호 대 잡음 전력비가 증가할 수록 BER은 우수하였고 노드의 수가 증가할수록 BER 성능은 열화되고 있다. 노드의 수가 많은 경우에는 신호 대 잡음 전력비에 따른 BER의 특성에 영향이 적어짐을 알 수

있다.

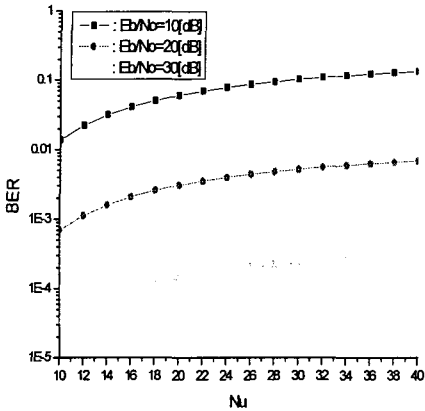
(그림 6)은 라이시안 페이딩 채널에서 DSSS/BPSK 신호의 용량 특성을 나타내고 있다. 무선 채널 환경은 AWGN, 간섭, 그리고 페이딩이 동시에 존재하고 있는 상황이다. 라이시안 페이딩 파라미터 $K_R=6$ dB인 경우로써 레일리 페이딩 보다는 무선 채널환경이 우수하고 AWGN 보다는 열악한 환경이다. 그리고 비트 당 칩의 수는 15인 경우이다. (그림 5)와 유사하게 신호 대 잡음 전력비가 증가할 수록 BER은 우수하였고 노드의 수가 증가할수록 BER 성능은 열화되고 있음을 알 수 있다.



(그림 4) AWGN 채널에서 DSSS/BPSK 신호의 오류(N=15)



(그림 5) AWGN 채널에서 DSSS/BPSK 신호의 용량 특성(N=15)



(그림 6) 라이시안 페이딩 채널에서 DSSS/BPSK 신호의 용량 특성($K_R=6dB$, $N=15$)

4. 결론

본 논문은 잡음과 간섭 그리고 라이시안 페이딩 기반의 근거리 무선 채널 환경에서 DSSS-BPSK 신호의 성능을 분석하였다. 그리고 근거리 무선 채널 모델은 AWGN, 간섭 및 페이딩으로 구성되며 이러한 무선채널의 영향에 따른 성능 감쇠에 대하여 분석하였다. 특히, 라이시안 페이딩과 간섭 레벨에 따른 오율 특성을 BER 성능 그림을 통하여 나타내었다. 분석결과, 잡음과 간섭 환경에서 노드의 수가 6이상으로 증가함에 따라서 BER 성능은 열화되며 신호 대 잡음 전력비가 증가하여도 BER 성능이 개선되지 않는 현상이 발생하였다. 이것은 노드의 수가 데이터의 BER 성능에 큰 영향을 나타냄을 의미한다. 그리고 특히, 노드의 수가 많은 경우에는 신호 대 잡음 전력비에 따른 BER의 특성에는 영향이 적어짐을 알 수 있었다. 그리고 간섭과 라이시안 페이딩 환경에서는 BER 성능의 개선을 위한 부호화 방식이 요구됨을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] C. K. Toh, Ad-Hoc Mobile Wireless Networks, Prentice Hall, 2002.
 [2] R. Prasad, Universal wireless personal communications, Artech House Publishers, 1998.
 [3] ZigBee Alliance, <http://www.caba.org/standard/zigbee.html>.

ee.html.

[4] 김형훈, 최신 통신기술 중심의 홈네트워킹, Ohm사, 2004.
 [5] J. C. Haartsen, "The Bluetooth radio system," IEEE Personal Comm., vol. 7, pp. 28-36, Feb. 2000.
 [6] S. Zurbes, "Analysis of interference on Bluetooth," Bluetooth Developers Conference, August 1999.
 [7] A. Azzam, N. Ransom, Broadband Access Technologies, McGraw-Hill, 1999.
 [8] 이원준, 이춘화, 저속 WPAN, 홍릉과학출판사, 2005.
 [9] M. K. Simon and M. S. Alouini, Digital Communications Over Fading Channels, New York: Wiley, 2000.

노재성



1990년: 한국항공대학교 정보통신공학과(학사)

1992년: 한국항공대학교 정보통신공학과(석사)

2000년: 한국항공대학교 정보통신공학과(박사)

1992년~1997년: (주)한화정보통신 연구소

2000년~현 재: 서일대학 정보통신과 조교수

관심분야: 무선 멀티미디어 통신, 휴대인터넷 응용, 유비쿼터스 응용 등