

선박 USN HW/SW 플랫폼 분석과 IEEE 802.15.4 물리계층의 성능분석

정회원 최명수*, 조성의**, 오일환***, 김서균****, 이성로***

Analysis of HW/SW Platform for Vessel USN and Performance Evaluation of IEEE 802.15.4 Physical Layer

Myeong-Soo Choi*, Sung-Eui Cho**, Il-Whan Oh***,
Seo-Gyun Kim****, Seong-Ro Lee*** *Regular Members*

요약

본 논문에서는 먼저 선박환경에서 USN 구축을 위한 하드웨어와 소프트웨어 플랫폼을 분석하였다. 하드웨어 플랫폼에서는 기존의 CC2420기반의 mote 기술을 분석하였고 소프트웨어 플랫폼에서는 TinyOS 플랫폼을 분석하였다. 다음으로 USN 통신방식의 표준인 IEEE 802.15.4의 물리계층을 분석하고 선박USN 성능분석을 위해 Matlab을 사용하여 ZigBee/IEEE 802.15.4 물리계층에 대해 성능평가를 수행하였다. 결과적으로 이동하는 선박환경에서의 선박USN 구축에 관한 타당성을 성능평가를 통해 검증하였다.

Key Words : Vessel USN; Hardware Platform; Software Platform; IEEE 802.15.4; ZigBee; Physical Layer

ABSTRACT

In this paper, we analyze the hardware and software platform for constructing the USN in the vessel environment. Specifically, we analyze the mote technology based on the CC2420 in the hardware platform and analyze the TinyOS platform in the software platform. We also analyze the physical layer of IEEE 802.15.4 which is the standard of the USN communication. In the simulation, we evaluate the performance in the physical layer of ZigBee/IEEE 802.15.4 by using the MATLAB and verify the validity of constructing the USN in the vessel environment based on the simulation results.

I. 서론

유비쿼터스 센서네트워크는 무선통신 기능을 가진 초소형 센서들이 다양한 형태의 네트워크에 연결되어 다양한 환경에서 정보를 획득하거나 상호작용하는 것으로 정의할 수 있다. 필립스와 모토로라 등이 주축이 된 ZigBee Alliance는 무선센서를 이용한 무선기술인 ZigBee에 대한 기술개발과 표준화

를 진행하였고 IEEE 802.15.4에서는 PHY와 MAC 프로토콜의 표준인 IEEE 802.15.4 LR(Low Rate)-WPAN 표준화 작업을 완료하였다. ZigBee 표준화는 신뢰성 있는 무선 데이터 전송을 위해 IEEE 802.15.4 PHY 계층과 MAC 계층을 이용한다. IEEE 802.15.4는 ARQ(Automatic Repeat reQuest)를 통한 높은 신뢰성, 오류제어 능력, 우선순위에 따른 통신, 직접시퀀스 대역 확산기술 사용, 간섭

※ 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업(2차년도), 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학IT연구센터 지원사업(IITA-2009-C1090-0902-0010), 2007학년도 목포대학교 학술(정책)연구비 지원에 의한 연구결과로 수행되었습니다.

* 목포대 ITRC연구센터(해양텔레메틱스기술개발센터)(mschoi@mokpo.ac.kr), ** 목포대학교 컴퓨터공학전공(chosug@mokpo.ac.kr), *** 목포대학교 정보전자공학전공(ilwhan@mokpo.ac.kr, srlee@mokpo.ac.kr), **** 한국산업기술평가관리원(smartlion@keit.re.kr)

논문번호 : KICS2009-02-046, 접수일자 : 2009년 2월 4일, 최종논문접수일자 : 2009년 4월 30일

방지를 위한 사용 주파수 변환 등을 제공하는 패킷 데이터 프로토콜을 제시하고 있다. IEEE 802.15.4 표준의 세부사항은 물리계층, MAC 계층의 명세와 스타형, 메쉬형, 클러스터 트리로 알려진 다른 형태의 네트워크를 위한 구축용 블록을 제공하고 있다^[1].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 선박 USN을 위한 하드웨어 플랫폼과 소프트웨어 플랫폼에 대해 분석하고 3장에서는 IEEE 802.15.4의 물리계층을 체계적으로 분석한다. 또한 4장에서는 3장에서 이루어진 분석에 따라 Matlab을 사용하여 선박 USN 환경에서 IEEE 802.15.4의 물리계층에 대한 성능분석을 하고 5장에서는 이동하는 선박에서의 선박USN 구축에 관한 타당성 기술한다.

II. 선박USN을 위한 플랫폼

2.1. 하드웨어 플랫폼

대부분의 센서노드 하드웨어는 저전력 단거리 환경에서 무선통신을 지향하는 8비트 마이크로 컨트롤러와 저속 RF칩을 기반으로 구성되어 있고, 제한적인 메모리와 배터리 용량으로 인하여 복잡한 기능구현에 제약이 따르기 때문에 자원의 활용과 기능 구현 사이에 적절한 균형이 요구되고 있다. 유비쿼터스 센서 네트워크에 사용되어지는 센서노드의 Mote 형태는 WeC, Rene, Rene2, Dot, Mica, Mica2Dot, Mica2, Telos의 순으로 발전되어 왔다. 이중 Telos는 산업계 표준으로 채택되어 사용되고 있으며 IEEE 802.15.4 표준을 따르고 있다. 센서노드는 센서와 무선 네트워크로 구성되어 있어야 하고 Ad-hoc, 토폴로지, 라우팅 등을 지원해야 한다. 또한 무선 프로토콜을 효율적으로 적용할 수 있어야 하고, 센서 인터페이스의 유연성, 저전력의 전원 대기, 빠른 wakeup, Watchdog과 모니터링을 지원해야 한다^[2]. 아래의 그림 1은 이러한 센서노드의 설계에 필요한 디자인 요소를 보여주고 있다.

선박USN 모니터링에 있어 mote의 부착위치는 선박의 안전과 관련된 중요한 장치 및 위치에 부착

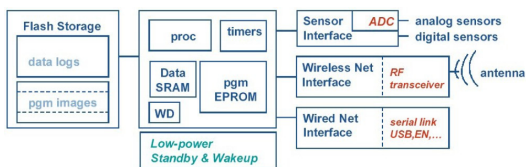


그림 1. 센서노드 설계시 필요한 디자인 요소

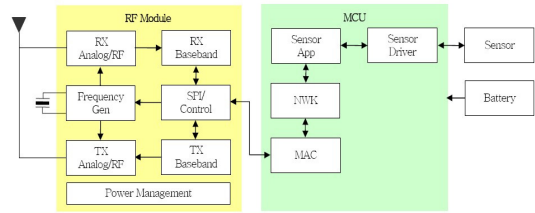


그림 2. Hmote2420 및 센서모듈의 내부구성 블록도

표 1. Telos와 MicaZ의 성능비교

구분	Telos	MicaZ
Sleep	2.4mA	30mA
Wakeup	290ns, 최대 6ms	60ms, 최대 4ms
Process	4MHz 16bit	8MHz 8bit

되어야 한다. 이러한 예로는 선두, 갑판, 엔진실, 사프트, 각종 밸브류, 탱크, 선체 등을 들 수 있다.

그림 2는 일반적으로 국내에서 많이 사용하고 있는 Hmote2420 및 센서모듈의 내부구성 블록도를 보여주고 있다. 센서노드(mote) 측면에서 IEEE 802.15.4의 플랫폼을 살펴보면 기본적으로 저전력에 중점을 맞추어 구성되어 있다. 2.4GHz 대역의 ISM 대역의 주파수를 사용한 CC2420 half sine 펄스 모양의 OQPSK 변조방식을 사용하며 250Kbps의 전송률을 갖고 TinyOS를 지원한다^[3]. 또한 TI의 MSP430은 초저전력을 구현한 것으로 sleep 1.6mA, active 460mA, 동작전압은 1.8V이다. 표 1은 산업계 표준으로 활용되고 있는 Telos와 MicaZ의 성능을 비교한 것이다.

2.2 소프트웨어 플랫폼

TinyOS의 개발목적은 세 가지로 설명할 수 있다. 첫째는 미래의 센서네트워크 노드에 사용될 수 있는 소프트웨어 구조로 설계되어야 하고 둘째는 여러 하드웨어 플랫폼과 소프트웨어 라이브러리를 사용하여 운영체제와 서비스 어플리케이션을 구현할 수 있도록 설계되어야 하며 셋째로는 제한된 자원, 동시성, 강인성, 응용 서비스별 요구사항을 만족할 수 있도록 설계되어야 한다. 이러한 세 가지 목적 달성을 위해 TinyOS는 모듈 형태로 구성되었으며 제한된 자원에서 동작할 수 있는 이벤트 구동방식으로 구현되어 있다. 모듈 구성에 따라 운영체제가 다양한 하드웨어에 적용이 가능하며, 서비스 어플리케이션도 동일한 추상화를 유지할 수 있다^[4].

TinyOS는 이벤트 발생 중심의 상태 전이 방식을

채택한 센서네트워크용 운영체제로 동시적인 프로세싱 및 제한된 하드웨어 메모리 공간에서의 효율적인 성능을 지원해주는 운영체제이다. 상태 머신 기반의 구조를 가지며 응용프로그램은 각 독립적인 컴포넌트를 연결하는 방식으로 이루어진다. 이 명령을 처리하는 이벤트 처리기는 그 명령에 따라 상태 변화를 일으켜 해당 작업을 처리하게 된다. 간단한 FIFO 스케줄러를 사용하기 때문에 실시간성 등을 고려하기 어렵고 복잡한 응용을 작성하는 데 어려움이 있다. 동적 메모리를 할당하지 않지만 NesC라는 언어를 통하여 컴파일 시간에 컴포넌트가 요구하는 메모리 크기를 정적으로 할당하여 센서네트워크용 응용프로그램을 작성할 수 있다. NesC는 안정성을 위해 전체 프로그램에 대한 분석을 통해 최적화를 수행하는 컴포넌트 기반 언어로 TinyOS의 이벤트 기반 동시성 모델을 가능하게 해준다. TinyOS의 큰 장점으로는 센싱한 데이터를 효과적으로 관리하기 위한 TinyDB나 센서 네트워크에서의 보안을 위한 TinySec 등의 모듈을 지원함으로써 개발자가 손쉽게 다양한 기능을 가진 센서네트워크를 구현할 수 있게 지원하는 것이다. TinyOS 2.0 이후 버전의 경우 인터페이스와 추상화 과정에 많은 변화가 있어 이전 버전과의 호환성은 지원하지 않지만 코드를 업그레이드하기가 더 쉬워졌고 안정성이 크게 향상되었다⁵⁾.

OS의 스케줄러 측면에서 보면 인터럽트 처리를 기본을 하며 복잡한 기능을 구현하기 위해 기본적으로 스케줄링을 제공한다. 무선센서 및 네트워크를 지원하면서도 적은 리소스를 사용하도록 가벼운 OS 코어로 구현되어야 한다. 무선 MAC, 네트워크

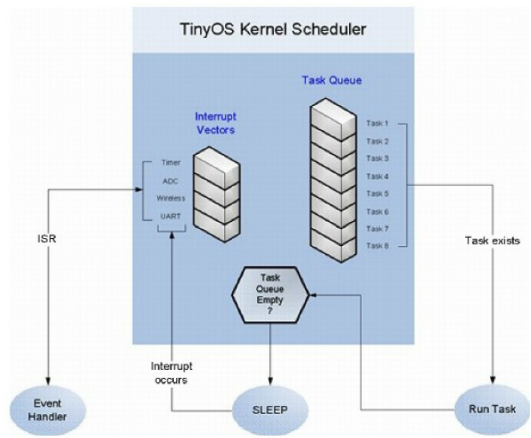


그림 3. TinyOS의 커널 스케줄러

Preamble	SoP Delimiter	PHY Header	PHY Service Data Unit(PSDU)
6 Octets			0 ~ 127 Octets

그림 4. IEEE 802.15.4 물리계층의 패킷

프로토콜 구현을 위해 Task Scheduling을 지원해야 하며 단순한 처리는 일반적인 방법으로 처리하고 무선통신, 네트워크 기능 수행에 필요한 스케줄링을 제공하여 리소스 관리를 지원해야 한다. 그림 3은 TinyOS의 커널 스케줄러를 보여주고 있다^{4) 5)}.

III. IEEE 802.15.4 물리 계층

IEEE 802.15.4 프로토콜은 2003년에 공인된 WPAN 표준으로 소개되었다⁶⁾. 이 표준은 물리계층과 MAC 계층의 특성을 정의하고 있다. 본 장에서는 IEEE 802.15.4 물리계층에 대해 분석하고자 한다. IEEE 802.15.4 물리계층은 데이터 서비스와 무선영역의 활성화 및 비활성화, 채널 주파수의 선택, 사용하는 채널의 에너지 검출, 데이터의 송수신 등의 관리서비스를 지원한다. 물리계층의 패킷은 PPDU(Packet Protocol Data Unit)라고 부르며, 그림 4에 보이고 있다. 여기서 Preamble은 트랜시버에서 입력되는 메시지의 동기화에 사용된다. SoP(Start of Packet)는 패킷 데이터의 시작을 나타내고, 8비트의 PHY Header (7비트의 프레임과 reserved 1비트), PHY 패킷 데이터를 운반하는 PSDU(PHY Service Data Unit)로 구성되어 있다.

다른 무선통신방식 기술과 마찬가지로 IEEE 802.15.4 물리계층에서는 신호의 변/복조와 스프레딩/디스프레딩이 이루어진다. 물리계층에서 ZigBee 통신은 ISM 주파수 대역내에 세 개의 다른 주파수 대역에서 동작된다. 868.0MHz와 868.6MHz 사이에 Ch0의 단일 채널이 존재하고, 902.0MHz와 928.0 MHz 사이에 Ch1-10의 10개의 채널이 존재한다. 또한 2.4GHz와 2.4835GHz 사이에 Ch11-26의 16 개의 채널이 존재한다.

ZigBee는 스프레딩 기술로 DSSS방식을 사용한다. DSSS방식은 인접한 네트워크로부터 잡음의 영향을 감소시키고 파워를 증가시키기 위하여 신호의 주파수를 증가시키는 방식을 사용한다. 여기서 그림 5에서처럼 각 4비트 심볼은 32개의 조각으로 맵핑된다. 915MHz와 868MHz 대역에서 각 1비트 심볼은 15개의 조각으로 맵핑되고, 변조방식으로 BPSK 기술을 사용한다. ZigBee 표준 스펙은 868/915MHz

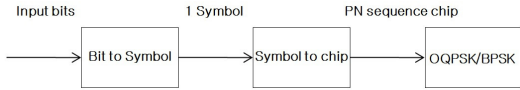


그림 5. 물리계층에서 ZigBee 스프레딩 기술의 예

대역에서 -92dBm의 수신감도와 2.4GHz 대역에서 변조방식으로 OQPSK 기술을 사용하며, -85dBm의 수신감도를 지정하고 있다.

IV. 모의실험

4.1 모의실험 환경

본 장에서는 이동하는 선박환경에서 USN 구축에 관한 타당성을 검증하기 위해 Matlab을 사용하여 모의실험을 하였다. 선박환경은 일반적으로 육상에서와 같다는 가정을 하였고, 통신채널에서 선박의 이동으로 인한 채널에 노이즈가 더해지는 것과 2.4GHz 대역을 사용하는 것으로 가정하였다.

실험에 사용된 모의실험 모델은 그림 6에 보이고 있는데, 이 모델은 Spreader, De-spreader, OQPSK 변조기, OQPSK복조기, 선박의 이동환경을 고려한 AWGN 채널의 주요 블록을 포함하고 있다. ISM 대역 가운데 2.4GHz를 사용하는 ZigBee 통신방식에서의 모의실험을 고려하였다. 2.4GHz를 사용하는 ZigBee 통신에서는 표준에서 정의하였던 OQPSK 변복조 방식을 사용한다.

그림 6에서와 같이 모델에서 랜덤 정수 발생기 블록에서 숫자는 0부터 15사이에서 랜덤하게 발생한다. 발생한 정수는 Spreader 블록으로 입력되는데 이는 표 2에서와 같이 ZigBee 표준에서 정의된 32비트로 변환된다. 변환된 32비트 스트림은 OQPSK 변조블록으로 입력되는데 변조 후에 선박의 이동환경을 고려한 AWGN 블록에서 32비트 스트림에 잡음이 더해지게 된다. 다음에 OQPSK 복조블록으로 입력되고 De-spreader 블록에 입력되어 BER을 계산하게 된다.

BER의 계산은 다음과 같은 절차를 거치게 된다. 수신된 32비트들이 De-spreader 보내져 정수로 변

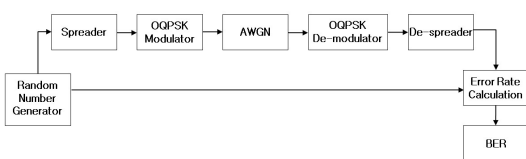


그림 6. 모의실험에 사용된 모델

표 2. 2.4GHz 대역에서 심볼의 매핑

Data Symbol (Dec.)	Data Symbol (Bin.)	Chip Value (c0 c1 ... c30 c31)
0	0000	11011001110000110101001000101110
1	1000	11101101100111000011010100100010
2	0100	00101110110110011100001101010010
3	1100	00100010111011011001110000110101
4	0010	01010010001011101101100111000011
5	1010	00110101001000101110110110011100
6	0110	11000011010100100010111011011001
7	1110	10011100001101010010001011101101
8	0001	10001100100101100000011101111011
9	1001	10111000110010010110000001110111
10	0101	01110111000110010010110000001111
11	1101	01110111101110001100100101100000
12	0011	00000111011110111000110010010110
13	1011	01100000011101111011100011001001
14	0111	10010110000001110111101110001100
15	1111	11001001011000000111011110111000

환되게 되는데 컨버터를 거쳐 4비트 스트림으로 변환된다. 이 4비트 스트림을 원래 코드와 비교하여 BER을 계산하게 된다.

4.2. 모의실험 결과 및 분석

[Case 1]

데이터율을 다르게 함으로써 BER과 SNR 성능을 분석하기 위한 모의실험 결과는 그림 7과 같다. 실험환경으로는 사용주파수를 2.4GHz로 하였고 선박의 이동환경을 고려한 AWGN 채널의 잡음전력을 심볼당 0.168와트로 고정시켰고, 데이터율을 다양하게 64, 128, 250 Kbps를 사용하였다. 모의실험 결과 데이터율 64Kbps이고 BER=10⁻⁴일 때 SNR=5dB이고 데이터율이 128Kbps와 250Kbps일 때

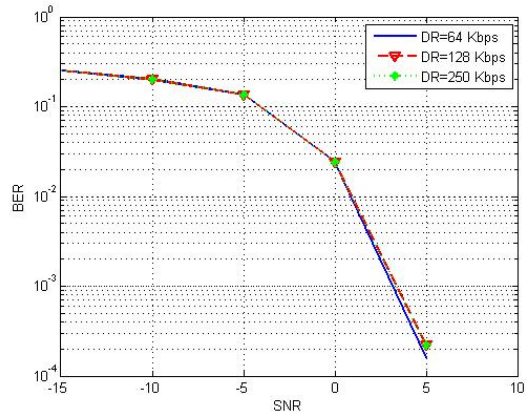


그림 7. 다른 데이터율에 따른 BER과 SNR 비교

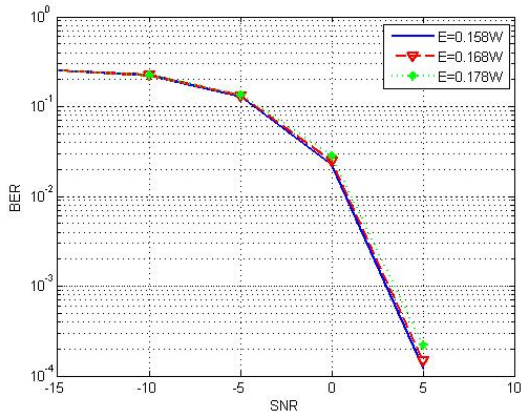


그림 8. 다른 잡음전력(E)에 따른 BER과 SNR 비교

BER은 약 $10^{-3.6}$ 값을 보이고 있다. 이는 원하는 SNR을 얻기 위해서는 높은 데이터율을 필요하다는 것을 말해준다.

[Case 2]

두 번째 실험은 2.4GHz 대역에서 데이터율은 고정시키고 잡음전력을 변화하면서 BER과 SNR의 성능을 분석하였다. 즉, 데이터율은 250Kbps로 고정시켰고 잡음전력을 0.158, 0.168, 0.178Watt로 변화시켜가면서 모의실험 하였다. 그림 8은 실험결과를 보이고 있다. SNR=5dB일 경우를 보면 잡음전력이 0.158와트일 때 BER= $10^{-3.91}$ 이고, 잡음전력이 0.168와트일 때 BER= $10^{-3.83}$ 이고, 잡음전력이 0.178와트일 때 BER= $10^{-3.66}$ 이다. 이러한 실험을 통해 잡음전력이 낮은 환경에서 BER의 성능이 향상됨을 알 수 있었다.

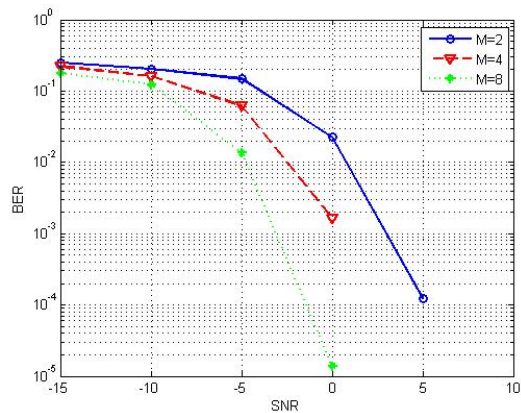


그림 9. 다른 심볼당 비트 수에 따른 BER과 SNR 비교

[Case 3]

모의실험은 심볼당 비트 수인 M 값을 변화에 따른 성능을 분석하였다. 그림 9에 나타나 있듯이 M=8일 때 다른 M값보다 가장 낮은 BER 값을 보임을 알 수 있다. SNR=0에서 보면 M=2일 때 BER이 10^{-1} 과 10^{-2} 사이의 값을 보이고 있고, M=4일 때 BER이 10^{-2} 과 10^{-3} 사이의 값을 보이고 있고, M=8일 때 BER이 10^{-4} 과 10^{-5} 사이의 값을 보인다. 이는 원하는 SNR 얻고자 한다면 심볼당 비트의 수가 높을수록 가장 낮은 BER 값을 얻을 수 있다는 것을 의미한다.

V. 결론

본 논문에서는 ZigBee 통신방식의 성능분석을 위해 Matlab을 사용하여 선박USN 환경에서의 IEEE 802.15.4의 물리계층에 대한 성능평가를 모의실험 하였다. 모의실험 결과는 데이터율, AWGN 채널에서 잡음전력, 심볼당 비트 수 등의 통신 파라미터들이 BER 값과 SNR 값에 영향을 주는지에 대한 비교를 보였다. 먼저 데이터율에 대한 모의실험 결과는 원하는 SNR을 얻기 위해서는 높은 데이터율이 요구되어짐을 알 수 있었다. 다음으로 잡음전력에 대한 모의실험 결과는 잡음전력이 낮은 환경에서 BER의 성능이 향상됨을 알 수 있었다. 끝으로 심볼당 비트 수의 변화에 따른 모의실험 결과는 심볼당 비트의 수가 클수록 가장 낮은 BER을 얻을 수 있었다. 결론적으로 선박USN 환경에서 효율적인 ZigBee 통신을 위해서는 데이터율과 잡음전력이 높아야 한다는 것과 심볼당 비트 수가 작아야 함을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Paolo B., Prashant P., Vince W.C. Chook, Stefano C., Alberto G., "Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standars", Computer Communications, Vol. 30, Issue 7, pp.1655-1695, May 2007.
- [2] 남상엽, 송병훈, "Mote-Kit를 이용한 무선 센서 네트워크 활용", 도서출판 상학당 2006.
- [3] Data Sheet for CC2420 2.4GHz IEEE 802.15.4/Zigbee RF Transceiver, available online at <http://www.chipcon.com>

- [4] <http://www.tinyos.net>
- [5] P. Levis, S. Sadden, J. Polastre, R. Szew., K. Whitehouse, A. Woo, D. Gay, J. Hill, M. Welsh, E. Brewer, D. Culler, "TinyOS: An Operating System for Sensor Networks", Springer Berlin Heidelberg, 2005.
- [6] IEEE P802.15.4/D18, "Low Rate Wireless Personal Area Networks" draft std. Feb. 2003.

최 명 수 (Myeong-Soo Choi) 정회원



2000년 2월 목포대학교 전자공학과 졸업
 2002년 2월 목포대학교 전자공학과 석사
 2009년 2월 목포대학교 전자공학과 박사
 2009년 3월~현재 목포대 ITRC 연구센터(해양텔레매틱스기술개발센터) Post-Doc.
 <관심분야> 디지털통신시스템, USN, 해양텔레매틱스 기술, 임베디드시스템

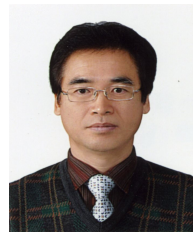
조 성 의 (Sung-Eui Cho) 정회원



1975년 2월 전남대학교 수학과 졸업
 1981년 2월 전남대학교 수학교육 석사
 1984년 2월 조선대학교 통계학 전공 이학 석사
 1992년 2월 조선대학교 통계학

전공 이학 박사
 1985년 3월~현재 목포대학교 정보공학부 컴퓨터공학 교수
 <관심분야> 선형모델, 회귀분석, 컴퓨터교육, 임베디드시스템

오 일 환 (Il-Whan Oh) 정회원



1982년 2월 연세대학교 전기학과 졸업
 1985년 12월 텍사스대학교 전기전자공학과 석사
 1988년 12월 Rhode Island대학교 전기전자공학과 박사
 1990년 3월~현재 목포대학교 전자공학전공 교수

<관심분야> 광통신, 센서 네트워크

김 서 균 (Seo-Gyun Kim) 정회원



1992년 2월 전남대학교 전자공학과 졸업
 1996년 8월 전남대학교 전자공학과 석사
 2002년 2월 전남대학교 전자공학과 박사
 2002년 4월~2009년 4월 정보통신연구진흥원 선임연구원

2009년 5월~현재 한국산업기술평가관리원 선임연구원
 <관심분야> 모바일 서비스, 방송시스템, 무선통신분야(USN, 배열신호처리)

이 성 로 (Seong-Ro Lee) 정회원



1987년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업
 1990년 2월 한국과학기술원 기밀전자공학과 석사
 1996년 8월 한국과학기술원 기밀전자공학과 박사
 2005년 3월~현재 목포대학교 정보공학부 정보공학전공 교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동통신시스템, 선박USN, 해양텔레매틱스기술, 해양임베디드시스템