

---

# 무선 센서네트워크에서 Zigbee를 적용한 위치추정시스템 구현에 관한연구

정 석\* · 김환용\*

A Study on the location tracking system by using Zigbee in wireless sensor network

Suk Jung\* · Hwan-Yong Kim\*

---

이 논문은 2010년도 원광대학교의 교비 지원에 의해서 수행됨

---

## 요 약

본 논문은 무선 센서네트워크에서 Zigbee를 적용한 위치추정시스템을 구현 하고자 하였다. 무선 센서네트워크는 유비쿼터스 환경에서 사용자기반의 위치인식 서비스를 제공한다. 위치인식 서비스는 사물이나 사람의 위치를 추정하고 이를 표현하여 제공한다. 본 논문에서 구현된 위치추정시스템은 실내 및 실외를 음영지역 없이 이동노드의 추정이 가능하도록 구현하였다. 실내추정의 경우 RSSI신호를 이용하며 실외추정의 경우 GPS를 연동하여 위치를 추정하였다. 또한 Zigbee를 적용하여 무선 센서네트워크 환경을 구축하고 이동노드의 위치를 제공받아 실시간 위치추정이 가능하도록 하였다.

## ABSTRACT

This paper aims to realize the location tracking system using the Zigbee in the wireless sensor network. The wireless sensor network offers the user-oriented location tracking service in the ubiquitous environment. The location tracking service can track the location of an object or a person and provides it. The location tracking system realized in this paper can be used inside or outside without any black-out areas to measure the location of the moving nodes. In tracking inside the RSSI signals use and in tracking outside will connect with the GPS signals to track the location. Also, by using Zigbee, the wireless sensor network environment was established and by obtaining the location of the moving nodes, the real-time tracking is possible.

## 키워드

USN, 지그비, 위치추정, 실내측위

## Key word

USN, Zigbee, Localization tracking, Indoor Positioning

## I. 서 론

무선 센서네트워크는 유비쿼터스 컴퓨팅을 구현할 수 있는 환경을 제공하였다. 유비쿼터스 환경은 언제 어디서나 쉽게 사용자가 원하는 정보 및 서비스를 제공하는 역할을 담당한다.

현재 무선통신과 마이크로프로세서의 발달은 무선 통신을 이용하여 센싱된데이터의 단순한 전달이 아닌 데이터를 가공한 정보를 제공하며, Zigbee 스펙은 무선 네트워크 표준인 IEEE 802.15.4 규격을 바탕으로 정의되었다. 그리고 무선 센서네트워크 환경하에서 유비쿼터스 컴퓨팅 서비스가 제공되며, 위치추정분야에도 적용될 수 있게되었다. 위치추정은 의료분야, 로봇분야, 아동보호, 고립지역 및 위험지역에서의 인명 구출등 다양한 분야에 적용시킬수 있다.

무선 센서네트워크의 위치추정 방식에는 대표적으로 TOA(Time of Arrival), RSSI(Received Signal Strength Indicator), TDOA(Time Difference of Arrival), AOA(Angle of Arrival)등 4가지 방식이 있으며 위치추정은 유비쿼터스 환경에서 제공되는 서비스 요소 중의 하나이다.[1]

기존 위치추정 시스템은 실내 위치추정의 경우에 무선랜, Zigbee에서 지원하는 RSSI, 초음파 신호, RFID등을 사용하고 실외추정에서는 CDMA 및 GSM에서 지원하는 RSSI, 위성신호를 이용하는 GPS등을 사용하고 있는추세이다. 따라서 실내와 실외의 두곳중의 한곳만 위치추정이 가능하고 실,내외 위치를 동시에 추정하지 못하는 단점을 갖고 있다. 본 논문에서는 실내 실외 모두 위치추정을 하여 음영지역을 없애고자 하였다. 실내 환경에서는 RSSI를 이용하고 또한 실외환경에서 위치추정을 하기 위해 GPS를 적용하였다. GPS는 위성신호를 받아 위성으로부터 거리를 측정후 판별하는 방식인 TOA위치추정방식을 사용한다.

본 논문에서는 수신된 위치정보의 전송방식은 Zigbee를 이용하는 무선 센서네트워크 시스템을 구현하여 전송하고자 하였다. 또한 실내 위치추정의 경우에는 Zigbee를 지원하는 RF칩인 CC2420의 내부 RF영역에서 제공되는 RSSI를 이용하였다.

## II. Zigbee 네트워크의 특성

Zigbee는 저용량의 데이터 전송과 저전력을 특징으로 하는 WPAN 통신규격의 하나로서 2003년 IEEE 802.15.4 워킹 그룹 위원회에서 표준화된 PHY/MAC 층을 기반으로 상위 프로토콜 및 어플리케이션을 규격화한 기술이다. IEEE 802.15.4 프로토콜 스택은 그림 1과 같다. [2][3]

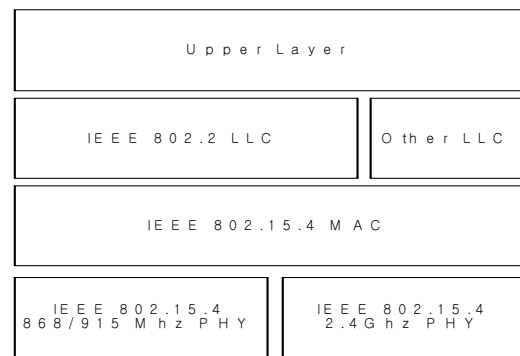


그림 1. IEEE 802.15.4 프로토콜 스택 구조  
Fig. 1 Stack structure of IEEE 802.15.4

Zigbee는 IEEE 802.15.4의 MAC(Media Access Control) 계층상에 구현된 프로토콜로서 IEEE 802.15.4 프레임 포맷은 아래의 그림 2와 같다.

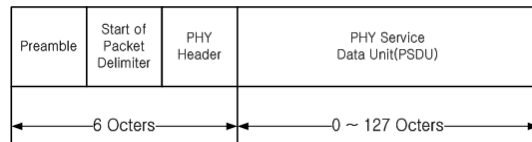


그림 2. IEEE 802.15.4의 프레임 포맷  
Fig. 2 Frame format of IEEE 802.15.4

그림 2에서 Preamble은 트랜시버에서 입력되는 메시지를 동기화 하며 SoP(Start of Packet) Delimiter는 패킷 데이터의 시작을, PHY Header는 8비트의 PSDU정보를 저장한다.

Zigbee는 2.4Ghz에서 250kbp를 915Mhz에서 40kbp를 868Mhz에서 20kbp의 전송속도를 제공하며 전송속도는 저속이나 블루투스 크기의 10분의1 수준으로 구조가

간단하며 별도의 전원증폭 없이 전송거리가 더 길다. 또한 네트워크당 접속노드는 255개까지 가능하다.[4]

기존에 Zigbee를 적용한 위치추정 시스템들은 RSSI 방식으로만 위치를 추정함으로써 실내에서만 위치추정이 가능한 단점을 갖고 있다. 본 논문에서 구현된 무선 센서네트워크에서 Zigbee를 적용한 위치추정시스템은 실외에서도 위치추정을 할수 있으며 실외에서 이동노드의 위치를 추정시 GPS를 이용한다. GPS모듈은 NMEA(The National Marine Electronics Association) 프로토콜을 사용하며 ASCII문자로 구성되고, 다양한 위치정보를 제공한다. NMEA 프로토콜은 '\$'문자로 시작하여 checksum 문자를 마지막 문자로 전송된다.

실외위치추정에는 NMEA 프로토콜에서 제공되는 RMC(Recommended Minimum Specific) 데이터를 이용하여 이동노드의 위치정보를 알아 내었다. RMC데이터는 위도, 경도, 시간, 이동속도를제공한다. GPS에서 수신된 NMEA 프로토콜 정보를 모두 전송할 경우 약 340byte의 데이터를 보내야하고 RMC데이터만 전송할 경우 60byte의 데이터만 전송을 함으로서 네트워크의 전송 속도 및 송신전력소비를 감소시킬수가 있다.

실내 위치추정방식은 Zigbee를 지원하는 TI사의 RF 칩인 CC2420의 RF단에서 제공되는RSSI를 사용하며, RSSI는 수신측에서의 신호의 세기를 의미한다. RSSI는 dBm단위로 나타내며 통계적인 방법을 근거로 확률분포와 대조하여 위치를 추정하는 방식이다. 위치추정의 순서는 RSSI의 표본을 수집하고 신호의 감쇠를 측정한다. 일반적인 무선전파의 손실은 전송거리의 제곱에 비례하고 전파의 세기가 감쇠되며 식(1)과 같다.[5]

$$L[dB] = 10_{\log} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (1)$$

L은 자유공간에서 전파손실이며 λ는파장, d는거리이다. Zigbee를 지원하는 RF칩 CC2420의 내부 구조는 그림 3과 같다.

그림3 RF칩 CC2420 내부에서 수신단은 Low-IF 아키텍처를 기반으로 한다. 안테나에서 수신된 RF 신호는 저잡음 증폭기로 증폭되고, 2Mhz IF(Intermediate Frequency)에 직교방향으로 다운컨버트 된다.

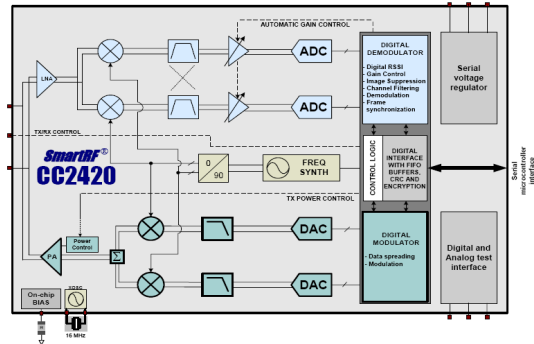


그림 3. RF칩 CC2420 내부구조  
Fig. 3 Internal architecture of RF chip CC2420

IF신호는 필터링되며 증폭된후 2개의 ADC (Analog-to-Digital Converter)에 의해 디지털화되며, 자동이득제어 및 미세 채널 필터링과 디모듈레이션은 디지털 영역에서 수행된다. 전송 모드에서도 모듈레이션 및 대역확산은 디지털화 되어 수행된다. RF 입력 및 출력포트는 차동화되어 2개의 공용핀을 공유하지만 스위칭을 내부적으로 처리하여 외부 스위치가 필요 없다. 또한 RF신호는 내부 전력 증폭기로 프로그래밍에 의해 조절할수 있으며 표1과 같다.

표 1. 레지스터 설정에 따른 전파출력및소모전류  
Table. 1 Output Power and typical current consumption according to Register setting

TXCTRL register	Output Power [dBm]	Current Consumption [mA]
0XA0FF	0	17.4
0XA0FB	-1	16.5
0XA0F7	-3	15.2
0XA0F3	-5	13.9
0XA0EF	-7	12.5
0XA0EB	-10	11.2
0XA0E7	-15	9.9
0XA0E3	-25	8.5

TXCTRL이라는 레지스터 값의 설정으로 8단계의 전파 세기의 조절이 가능하며 전파를 전송하는 전파의 세기에 따라서 전파가 도달되는 범위가 달라진다. 또한 수신측에서는 수신된 전파의 세기를 어느정도까지 수신하고 분석할수 있는지에 따라서 전파의 전송 거리가 달라지게 된다. 송신측의 경우 최소 -25dBm부터 최대

0dBm까지 전파송신이 가능하며 수신측의 경우 -94dBm 이상일경우 전파의 수신이 가능하다.[6] CC2420의 RSSI 값은 RSSI.RSSI\_VAL 레지스터에 저장된다. 수신된 RSSI의 신호강도레벨(P)는 다음의 식(2)와 같다.

$$P = \text{RSSI\_VAL} + \text{RSSI\_OFFSET} [\text{dBm}] \quad (2)$$

신호강도레벨 값을 dBm으로 나타낼 경우에는 45dBm(RSSI\_OFFSET)의 값을 실험값으로 산정하여 빼주어야 한다. 그림4는 RSSI.RSSI\_VAL 레지스터와 실제 RSSI(RF Level)의 관계를 나타내고 있다.[7]

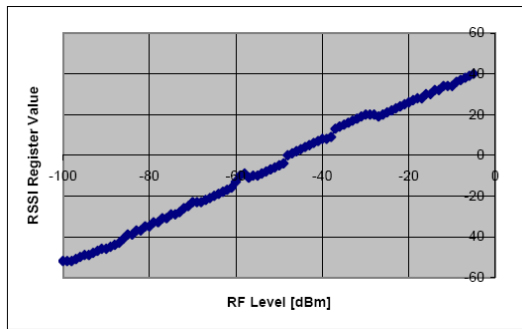


그림 4. RSSI 값과 RF Level 상관관계  
Fig. 4 Typical RSSI value vs. RF Level

CC2420이 RSSI를 수신하여 0dBm을 받아서 RSSI Register Value에 -45dBm을 더하면 실제 수신된 RSSI(RF Level)인 -45dBm을 나타내고 있다. 본 논문에서 Zigbee를 적용한 무선 센서네트워크 시스템은 Zibex 보드를 사용하였으며 해당 센서네트워크 보드의 스펙은 표2와 같다.

표 2. 센서네트워크 Zibex 보드 스펙  
Table. 2 Zigbex board spec of sensor network

Micro Controller	Atmega 128L (4KB SRAM, 128KB FLASH MEMORY)
RF	CC2420- Zigbee (2.4Ghz IEEE802.15.4)
전송률	최대 250Kbps
전원	1.5V AA battery 2EA
Current Draw	RX : 17mA TX : 18mA
Firmware	Tiny OS 2.0

사용된 Micro Controller는 Atmel사의 Atmega 128L을 사용하였으며 4KB의 SRAM과 128KB의 플래쉬 메모리가 제공된다. 운영체제로는 Tiny OS가 적용되었다.[8]

### III. 위치추정 시스템 구성

본 논문에서 구현된 위치추정 시스템은 싱크노드, 라우터, 이동노드로 구성되며 위치추정 시스템의 순서도는 그림5와 같다.

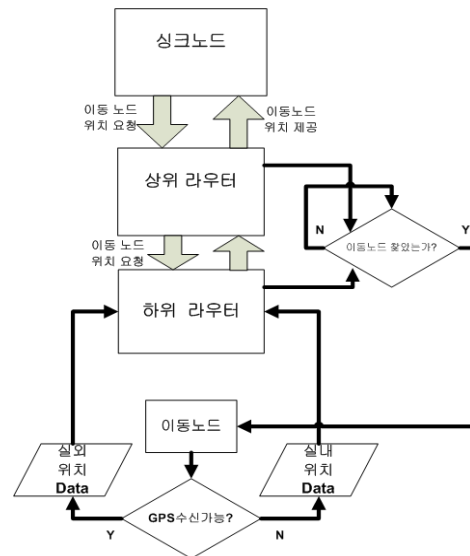


그림 5. 위치추정 시스템 순서도  
Fig. 5 Flowchart of Location tracking system

싱크노드는 이동노드의 위치정보를 알아내기 위해 이동노드ID를 이용하여 라우터에게 이동노드의 위치정보를 요청하는 신호를 보내면 라우터는 해당 ID를 갖는 이동노드에게 위치요청 신호를 보낸다.

이후 라우터는 자신이 상위 라우터인 경우 하위 라우터에게 또다시 이동노드의 위치를 요청하라는 명령을 보낸다. 이동노드는 라우터로부터 위치요청 신호를 받으면 자신의 위치를 판별하기 위해 GPS가 수신 가능하면 실외위치정보인 RMC데이터를 라우터에 송신하고, GPS수신이 불가할 경우 실내정보인 RSSI 신호를 이용하여 근접한 라우터의 ID를 송신하여 이동노드의 위치를 전송한다. 라우터는 이동노드로부터 전달받은 위

치데이터를 싱크노드에 전송하게 된다.

싱크노드는 이동노드의 위치를 요청하고 해당정보를 PC로 전송하는 역할을 하며 아래 그림 6과 같다.

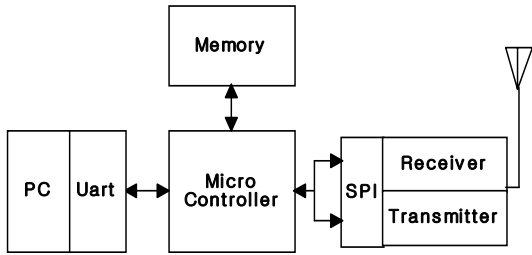


그림 6. 싱크노드의 구성  
Fig. 6 Configuration of Sink node

싱크노드는 PC와 UART통신으로 이루어지며 CC2420과 SPI통신으로 이루어진다. PC에서 요청된 이동노드 ID를 UART를 통하여 마이크로 컨트롤러에 전달하고 마이크로 컨트롤러는 CC2420과 SPI통신을 통하여 라우터에게 이동노드의 위치정보를 요청한다. 라우터가 이동노드의 정보를 제공받아 싱크노드에 알려줄 경우 싱크노드는 해당 정보를 UART 통신으로 PC에 전송한다.

실외에서 라우터의 역할은 싱크노드로부터 위치추정을 원하는 이동노드의 ID를 받아 이동노드에게 위치정보를 요청한다. 그 후 이동노드로부터 위치정보를 수신하면 하위라우터의 경우 상위라우터를 통하여 이동노드의 위치정보를 전송하는 역할을 담당한다. 실내에서 라우터의 역할은 실외에서 라우터의 기본적인 역할 외에 RSSI신호를 발생시키는 역할을 추가적으로 한다. 실외, 실내에서 라우터의 구성은 그림 7과 같다.

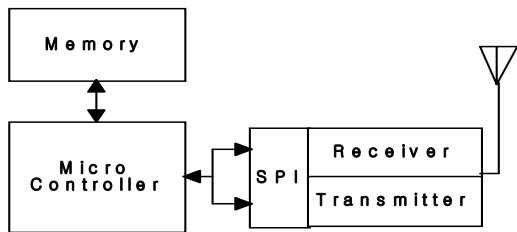


그림 7. 라우터의 구성  
Fig. 7 Configuration of Router

실외, 실내에서 라우터는 CC2420과 SPI통신을 하며 CC2420이 받은 데이터를 마이크로 컨트롤러 내부에서 처리하여 다시 CC2420을 통하여 상위 라우터로 송신하도록 설계되었다.

이동노드는 현재 위치정보를 요청받았을 때 현재 자신의 위치를 제공하는 역할을 하며 구성은 그림 8과 같다.

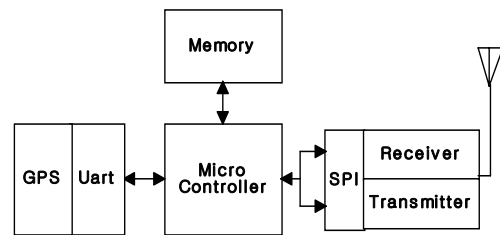


그림 8. 이동노드와 GPS의 구성  
Fig. 8 Configuration of Mobile node and GPS

GPS와 마이크로 컨트롤러는 UART통신으로 이루어지며 CC2420과는 SPI통신으로 이루어져 있다. 모든 노드들은 내부에서 Tiny OS가 관장하게 된다.

#### IV. 모의 실험 및 분석

본 논문은 Zigbee를 지원하는 Zibex보드를 이용하여 모의 실험을 진행 하였다. 실외 위치추정은 공과대학 근처에서 이루어 졌으며 실내 위치추정은 공과대학 3층에서 이루어 졌다.

Zigbee를 적용한 무선 센서네트워크에서 위치추정시스템은 총 10대의 Zibex보드를 사용하였고 싱크노드 1대와 이동노드 1대 라우터 8대로 실험을 진행하였다.

실외 위치추정을 하기 위해 라우터4대와 실내 위치추정에 라우터4대를 사용하였다. Zigbee는 이론상 전파 도달 범위가 100m이다. 따라서 안정적인 무선 센서네트워크 환경을 구축하기 위해 실외 환경에서는 50m의 간격으로 라우터를 구축 하여 이동노드의 실외 위치정보를 수신하였다. 싱크노드는 PC와 UART로 연결되어 이동노드의 위치를 제공 받았으며 제공된 데이터를 이용하여 그림 9과 같이 이동노드의 위치를 나타내었다.

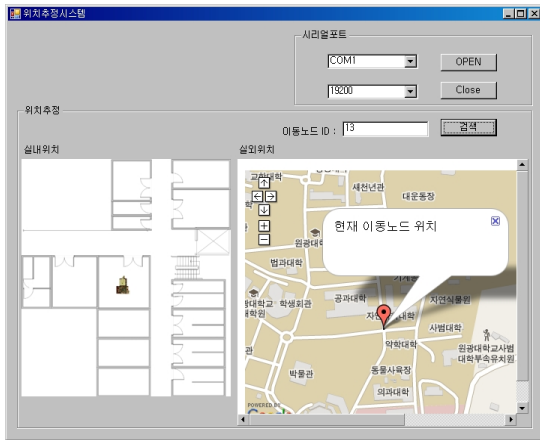


그림 9. 수신된 데이터를 이용한 이동노드의 위치정보 표현  
Fig. 9 Location information express of Mobile node using receive data

실외 위치추정에 수신받은 RMC데이터의 표현은 Google Maps의 API를 사용하여 위치정보를 나타내었으며 실내 위치정보 데이터는 근접한 라우터에서 받은 RSSI신호를 이용하여 위치를 표현하였다.

실내 위치추정에서는 라우터를 30m간격에서 10m간격까지 5m간격으로 좁히면서 설치하여 측정하였다. 측정결과 위치추정 인식오차 범위가 표3과 같이 나타났다.

표3.실내에서 라우터 간격에 따른 위치오차  
Table. 3 location error according to distance of router in indoor

라우터 간격	위치추정 오차
30m	19.2m
25m	15.2m
20m	13.7m
15m	8.6m
10m	5.8m

실내에서 라우터의 설치간격을 좁힐수록 실내위치추정 오차가 감소함을 알 수 있었다. 실외 위치추정의 경우 이동노드의 주변에 장애물(건물)이 있을 경우 위치인식의 오차는 표 4와 같다.

표4. 장애물과 거리에 따른 위치오차  
Table. 4 location error according to distance of obstacles

장애물과 거리	위치추정 오차
1m	4.3m
2m	2.9m
3m	2.8m
4m	2.8m
5m	2.8m

실외 환경의 경우에는 장애물과 거리가 멀어질수록 오차 범위가 감소하였으며 3m이상 거리가 멀어져야 위치추정 오차도 감소하는 것을 알 수 있었다. 본 논문에서 제안한 위치추정 시스템과 기존에 Zigbee를 적용한 위치추정 시스템과 비교는 표5와 같다.

표5. 위치추정 오차 결과비교  
Table. 5 Result comparison of location tracking error

	제안된 위치추정 시스템	기존 위치추정 시스템	비고
실내 측정	5.8m	6.78m	0.98m 향상
실외 측정	2.8m	측정불가	2.8m 내 측정가능

제안된 위치추정 시스템과 기존위치추정 시스템의 실내위치추정 비교는 기존 위치추정 시스템 보다 0.98m 향상되었고, 실외측정에서는 기존위치추정 시스템에서 측정이 불가하였으나, 본 논문에서 제안된 위치추정 시스템은 GPS를 연동하여 실외환경에서 2.8m내에서 측정이 가능하였다.

## V.결 론

본 논문에서 구현한 위치추정 시스템은 무선 센서네트워크 환경에서 Zigbee를 적용함으로써 무선LAN환경보다 저전력으로 그리고 블루투스 환경보다 넓은 범위에서 저비용으로 네트워크 환경을 구축할 수 있다.

또한 한정된 공간에서 실내 및 실외환경에서 음영지

역 없이 이동노드의 위치를 추정할수 있다는 장점이 있다. 실내에서는 라우터를 30m간격으로 설치할 때 보다 10m간격으로 설치할 때 오차범위를 감소시킬 수 있었다. 실외에서는 장애물과의 거리가 3m이상일 경우 2.8m내에서 위치를 추정할수 있었다. 따라서 본 논문에서 구현한 위치추정 시스템은 기존 Zigbee를 이용한 위치추정 시스템보다 실내측정에서는 위치인식이 0.98m 향상되었고 또한 GPS를 연동함으로써 실외측정을 할 수 있다는 장점을 확인할 수 있었다. 논문에서 구현된 시스템은 실내 및 실외환경의 위험지역에서 근로자 모니터링 시스템 및 아동보호를 위한 놀이공원 미아방지 시스템등 다양한 분야에 적용시킬 수 있을 것으로 사료 된다.

### 감사의 글

이 논문은 2010년도 원광대학교의 교비 지원에 의해서 수행됨

### 참고문헌

[1] 정석, 김환용 “무선센서네트워크에서 GPS를 연동한 위치추정 시스템” 한국 멀티미디어학회 춘계학술발표대회 논문집, 제 13권, 1호, 2010.

[2] R. Merz et al, “A Joint PHY/MAC Architecture for Low-Radiated Power TH-UWB Wireless Ad-Hoc Networks”, Wireless Communications and Mobile Computing Journal, Vol. 5, pp.567-580, 2005.

[3] IEEE Computer Society, “MAC and PHY Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)”, IEEE 802.15.4 TM-2003.

[4] Sinem Coleri Ergen “ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary” Sep. 2004

[5] 임철우,김영락,강병욱, “무선 센서네트워크에서의 노드 위치 추정”, 전자공학회 논문지 46권 CL편제 3호 2009

[6] “http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc2420.pdf” Chipcon. 2007.

[7] 한백전자기술연구소, “Zigbex를 이용한 유비쿼터스 센서네트워크시스템 3rd edition”. ITC출판사. 2008.

[8] <http://tinyos.net>

### 저자소개

#### 정 석(Suk Jung)



2009. 2 원광대학교 전자공학과 공학사

2009. 3 원광대학교 ~ 현재 전자공학과 석사과정

※관심분야: 센서네트워크, 임베디드 시스템 설계

#### 김 환 용(Hwan-Yong Kim)



1978. 2 전북대학교 전기공학과 공학석사

1984. 8 전북대학교 전기공학과 공학박사

1973. 3 원광대학교

~ 현재 전자및제어공학부 교수

※관심분야: SOC설계, 신호처리