

IEEE 802.15.4a에 기반한 이동체 위치 인식 기술

論 文
8-3-5

A Locating Scheme for Moving Objects Based on IEEE 802.15.4a

한 영 규*, 박 준 석*, 성 영 락*, 오 하 령*

Young-Kou Han, Jun-Seok Park, Yeong Rak Seong, and Ha Ryoung Oh

Abstract

In this paper, a position recognition system is designed, implemented, and tested using IEEE 802.15.4a PHY (CSS) hardware and Tiny OS environment. The system is designed with extensibility and flexibility. The system consists of five kinds of nodes which have different functions from each other. Three communication channels are used for collision avoidance. In each cell, an arbiter node is used to minimize message collisions. The proposed arbitration protocol is designed to support mobility of arbitrary target nodes. Target nodes calculates their locations with communications to four location reference nodes which are placed on the corners of each cell.

Keywords : 802.15.4a, Tiny OS, sensor, location based system, collision

I. 서 론

최근에 정보통신 기술의 급격한 발전으로 인해 네트워크 인프라가 광범위하게 보급되면서 사용자가 네트워크나 컴퓨터를 의지하지 않고 장소에 상관없이 자유롭게 네트워크에 접속 할 수 있는 유비쿼터스(ubiquitous) 시대가 오고 있다. 유비쿼터스 시대에는 사람과 사물의 위치가 중요한 정보가 된다. 개인의 안전을 위한 사람의 위치인식 뿐만 아니라, 사물의 정확한 위치의 추적을 위한 위치 인식 기술이 요구된다. 이로 인해 위치 기반 서비스(location based services: LBS)는 개인의 위치와 사물의 위치에 대한 정보를 제공함으로써 다양한 서비스를 제공하고 부가가치를 창출할 수 있다. 대표적인 예로 대규모 쇼핑몰에서의 미아찾기나 유통과 물류 등에서 사용자와 물품의 이동 경로 분석 등의 서비스에 응용가능하며, 산업 전반에 걸쳐 위치 인식을 통한 응용 분야에 대한

수요는 급속도로 성장 할 것으로 예측된다[1-2].

이런 위치 인식의 필요성에 따라 위치 기반 서비스에 대한 기술도 발전을 거듭하고 있다. 대표적인 무선 위치기반 서비스에 사용되는 기술로는 실외에서는 내비게이션 및 휴대폰에서 많이 사용되는 GPS(global positioning system)가 있다. GPS는 3개 이상의 위성으로부터 송신된 신호를 수신하여 위치를 측정, 자신의 위치를 알 수 있다. 하지만 위성 신호가 전달되지 않는 실내에서는 GPS를 이용 위치를 측정 하는 것은 불가능하다. 이에 따라 실내에서 위치를 측정 할 수 있는 방법들이 개발되고 있다. 이 중 유비쿼터스 센서 네트워크(ubiquitous sensor network: USN)를 이용한 방법도 제안되었다. 그중에서 위치인식을 고려한 IEEE 802.15.4a 규격이 대표적인 예이다. 유비쿼터스 센서 네트워크를 통한 위치인식 서비스는 유비쿼터스 홈, 스마트 태그, 인명구조 등의 위치추적 분야, 원격센서, 위치인식 등을 기반으로 하는 각종 제어 분야, 신체 관리 모니터링 및 의료진 위치 파악 등을 요구하는 의료 관련 분야 등에서 광범위하게 응용될 수 있다[1-2].

접수일자 : 2009년 07월 31일

최종완료 : 2009년 09월 8일

*국민대학교 전자공학부

교신저자, e-mail : jspark@kookmin.ac.kr

본 논문에서는 IEEE 802.15.4a PHY(CSS) 하드웨어와 TinyOS 환경에서 새로운 위치 인식 시스템을 설계하고 구현하였다. 제안된 시스템은 중재 노드(arbiter node), 위치 참조 노드(location reference node), 타겟 노드(target node), 호스트노드(host node), 호스트(host) 등 다섯 종류의 요소들로 구성되며, 무선 통신시의 발생할 수 있는 충돌(collision)을 회피하기 위해 세 개의 통신 채널을 사용한다. 또한 확장성과 유연성을 위하여 제안된 시스템은 대상 지역을 사각형 모양의 셀로 분할한다. 각 셀에는 하나의 중재 노드가 있어서 그 셀 내에 있는 타겟 노드들의 통신 충돌을 감소시키는 역할을 한다. 또한 불특정의 타겟 노드들에 대하여 이동성을 지원할 수 있도록 프로토콜을 설계하였다. 중재에 성공한 타겟 노드만이 각 셀의 귀퉁이에 위치한 4개의 위치 참조 노드들과의 통신을 통하여 자신의 위치를 계산할 수 있다.

II. 관련 연구

1. IEEE 802.15.4a 기술 개요

IEEE는 WPAN(wireless personal area network)과 관련된 표준을 IEEE 802.15 그룹에서 추진하고 있다. WPAN은 비교적 짧은 거리의 무선 네트워크 통신을 통해 비교적 적은 사용자간의 정보를 전달하는데 목적이 있다. 802.15는 다수의 TG(task group)으로 나누어져 각각의 표준을 만들고 있다. 이 중 802.15.4는 낮은 전력소모, 저가의 구축비용, 낮은 데이터 전송률 그리고 ISM(industrial scientific and medical)대역을 사용한다는 측면에서 센서 네트워크의 통신 프로토콜에 적합하고 할 수 있다. 이런 IEEE 802.15.4 기술의 RF PHY 부분을 변경하여 무선 통신을 기반으로 노드간의 거리를 측정할 수 있는 기술을 규격화한 것이 802.15.4a 이다.

IEEE 802.15.4a는 WPAN환경에서 저복잡도, 저가격, 저전력 기반으로 통신과 거리측정을 동시에 가능케 하는 PHY 및 관련된 부분적인 MAC 제정을 목표로 2007년 8월 표준화되었다[3]. IEEE 802.15.4a는 두 종류의 PHY 기법을 채택 하였다. 하나는 우리나라의 삼성전자를 중심으로 제안한 UWB(ultra-wide band) 방식이고 다른 하나는 독

일의 Nanotron사를 중심의 CSS(chirp spread spectrum) 방식이다.

UWB 방식은 근거리 통신을 위해 만들어진 기술로써 반송파를 사용하지 않고 기저대역에서 아주 짧은 폭을 가지는 펄스를 사용하여 신호를 주고받는 방식이다. 펄스의 폭이 극히 짧기 때문에 사용 주파수 대역폭은 굉장히 크지만, 워낙 송출 전력이 작기 때문에 마치 채널에 일상적으로 존재하는 잡음처럼 보일 뿐, 다른 무선 장비들에게 큰 영향을 미치지 않는게 된다. 그러나 송출 전력이 작으니까 기저 대역 통신이기 때문에 장거리 통신에는 어려움이 있다. IEEE 802.15.4a에서 UWB 방식이 사용하는 주파수는 3.4GHz~10GHz이다.

CSS방식은 1940년대 돌고래와 박쥐의 통신 방식에 착안한 방식이다. 간섭에 강하고 원거리 통신이 가능한 특징 때문에 주로 레이더용으로 사용되었으며, 1960년대 이후 상업적으로 개발되었고, 처프 신호(chirp signal)에 선형 스위프(linear sweep)를 접목하여 의미 있는 데이터를 얻을 수 있다. 처프 신호는 사인파이며, 할당된 대역폭 안에서 시간에 따라 주파수를 변화시켜 신호를 방송(broadcast) 할 수 있어 채널 노이즈에 강하다. 그리고 매우 낮은 전력에서 동작하더라도 다중경로 페이딩(multi-path fading)에 영향을 잘 받지 않는다. IEEE 802.15.4a에서 CSS방식이 사용하는 주파수는 2.4GHz의 ISM밴드를 사용한다.

CSS방식과 UWB방식은 기술 방식과 사용 주파수가 다르기 때문에 상호 통신은 불가능하다. IEEE 802.15.4a 표준문서에서는 노드간의 거리인식을 위해서는 UWB기술을 사용하도록 추천하고 있고, CSS는 단순한 통신을 위해 사용하도록 기술하고 있다. 그러나 UWB 와 CSS 모두 거리인식은 가능하다.

실제 제품화된 IEEE 802.15.4a의 RF 칩을 살펴보면, 독일 Nanotron사에서는 CSS기반의 거리인식이 가능한 nanoLOC이란 RF 칩을 생산·판매하고 있다. 하지만 UWB 방식의 칩은 ETRI(electronics and telecommunications research institute)에서 개발한 IRPS가 있지만 아직 상용화가 되지 않고 있다. 그래서 이 논문에서는 CSS 기법을 이용한 독일 Nanotron사의 nanoLOC을 이용한 하드웨어를 사용 위치 인식 시스템을 구현하였다.

2. 거리 측정 기법

거리측정 기법에는 신호의 수신 감도를 기반으로 하는 RSSI(Receive Signal Strength Indicator) 기법, 안테나와의 방위각을 기반으로 하는 AOA (angle of arrival) 기법, 시간을 기반으로 하는 TDOA(time difference of arrival)와 TOA(time of arrival) 기법 등이 있다[3].

TOA 기법에는 OWR(one way ranging) 방법과 TWR(two-way ranging) 방법이 있다. OWR 방법은 1번의 무선 통신으로 거리를 측정할 수 있는 장점이 있지만 장비 간의 시각 동기가 요구되는 단점이 있다. TWR은 2번의 무선 통신으로 거리를 측정하지만 동기 없이도 거리 측정이 가능하다. IEEE 802.15.4a에서는 TWR 방법을 표준 규격으로 정하고 있다.

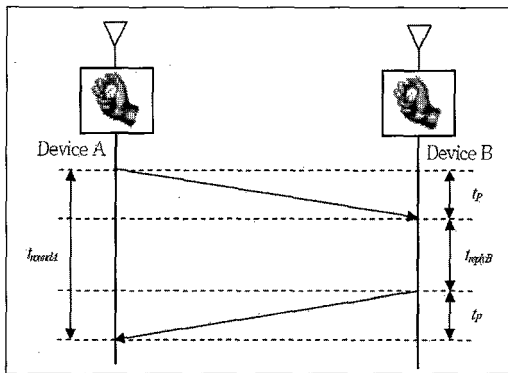


그림 1. TWR(two-way ranging) 방법
Fig. 1. TWR (two-way ranging)

TWR 방법은 그림 1과 같다. 먼저 장치 A에서 ranging 메시지를 보낼 때 자기 자신의 카운터를 동작시킨다. 그리고 장치 B는 장치 A로부터 해당 ranging 메시지를 받으면 카운터를 동작시키고 수신처리시간(T_{replyB}) 후에 장치 A로 ACK 메시지를 보낸다. 이때 시간 T_{replyB} 를 ACK 메시지에 포함하여 보낸다. 그러면 장치 A에서 장치 B로부터 메시지를 받는 순간 카운터를 중단시키고 T_{roundA} 값을 얻어낸다. 여기서 t_p 를 구하면 두 장치 사이의 거리를 알 수 있다. 즉 T_{roundA} 와 t_{replyB} 를 알면 거리를 식 (1)로 구할 수 있다[4].

$$T_p = \frac{1}{2}(T_{roundA} - T_{replyB}) \quad (1)$$

SDR-TWR(symmetrical double-sided two-way ranging) 방식은 TWR(two-way ranging) 방식을 확장시킨 기술이다. 독일의 Nanotron사가 제안한

SDR-TWR은 802.15.4a의 부록에 정의되어 있다. SDR-TWR은 장치 A가 장치 B에게 ranging 메시지를 주고 ACK를 교환한 뒤, 장치 B가 장치 A에게 ranging 메시지를 주고 ACK를 받는 방식이다. 즉 TWR을 두 번 반복하여 거리 측정의 정확성을 높이는 것이다. 여기서 식 (2)를 이용하여 두 장치 사이의 거리를 계산할 수 있다[4].

$$T_p = \frac{1}{4}[(T_{roundA} - T_{replyB}) + (T_{roundB} - T_{replyA})] \quad (2)$$

본 논문에서는 독일의 Nanotron사의 칩을 이용하여 SDR-TWR로 거리를 측정하고, 삼각 측정 방법을 사용하여 위치 인식 시스템을 구현하였다.

III. 위치 인식 시스템 설계

1. 시스템 구조

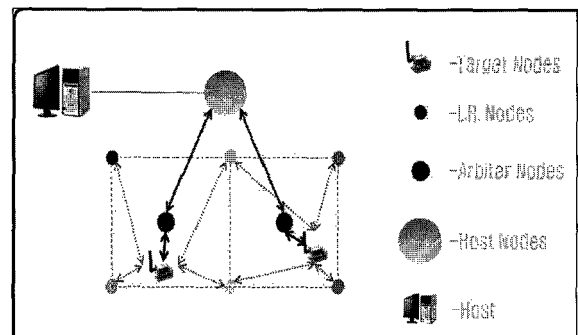


그림 2. 위치 인식 시스템 구조
Fig. 2. Position recognition system architecture

본 논문에서는 그림 2와 같이 시스템 구조를 설계하였다. 전체 시스템은 5가지의 요소들로 구성되며, 총 3개의 통신채널을 사용한다. 시스템 구조를 살펴보면 셀 단위로 구역을 구분, 측정하는 지역을 확장할 때는 셀 단위로 측정 지역을 확장할 수 있다. 호스트 노드(host node)는 셀의 중재자이자 관리자인 중재 노드(arbitrator node)에서 대상 노드(target node)의 정보를 받아 호스트에 정보를 전달하고, 이를 계산하여 위치를 측정한다.

셀 구조를 살펴보면 각 셀을 담당하는 구성요소인 중재 노드 1개와 거리를 측정하는 로케이션 레퍼런스 노드(location reference node) 4개를 한 셀로 구성하였다.

중재 노드의 주요 역할은 대상 노드들에게 셀에 대한 기본 정보를 주며, 메시지의 충돌을 줄이

기 위한 중재 역할도 수행한다. 로케이션 레퍼런스 노드의 역할은 대상노드와의 거리 측정이다. 위치 인식을 하기 위해서는 3개 노드의 위치와 각 노드와의 거리만 알면 자신의 위치를 계산할 수 있다. 하지만 3개의 노드와의 거리를 알고 있을 때보다 4개의 노드와의 거리를 알면 더 정확한 위치를 계산할 수 있으며, 통신상의 문제로 하나의 노드와 거리 측정을 못하는 경우를 대비하고, 확장성과 규칙성을 감안하여, 각 셀의 로케이션 레퍼런스 노드는 4개로 구성하였다.

통신 채널은 3개를 사용하여, 노드간의 통신 충돌을 회피하도록 설계하였다. 중재 노드와 대상 노드가 통신하는 중재 채널(arbiter channel), 대상 노드가 거리를 측정하기 위해 로케이션 레퍼런스 노드와 통신하는 로케이션 레퍼런스 채널(location reference channel), 마지막으로 대상 노드가 호스트 노드와 통신하는 호스트 채널(host channel) 등으로 정의했다. 미국과 EU에서 IEEE 802.15.4a CSS방식 채널 14개 중 각각 3개씩만을 선택한 점도 고려하였다.

위치인식 시스템의 시나리오는 크게 3개의 단계로 구분하여 작성하였다. 단계 1에서는 대상 노드가 중재 노드에게 허락을 받는 단계이며, 단계 2는 대상 노드가 로케이션 레퍼런스 노드들과 거리측정을 하는 단계이다. 마지막으로 단계 3은 대상 노드가 호스트 노드에게 자신이 측정한 거리 정보를 전송하는 단계이다.

단계 1은 처음 셀에 들어온 대상 노드가 중재 채널을 사용 자신의 고유 ID를 포함한 정보를 발송한다. 그러면 이를 수신한 중재 노드는 대상 노드에게 응답하게 되는데, 이때 자신의 셀에 있는 로케이션 레퍼런스 노드들과 중재 노드의 ID 정보를 제공하게 된다. 단계 1의 가장 중요한 기능은 불특정 노드의 이동성을 보장하고, 통신의 효율성을 제공하는 것이다. 이 정보를 받은 대상 노드는 다음 단계인 단계 2로 넘어 간다.

단계 2는 단계 1에서 중재 노드에게서 받은 로케이션 레퍼런스 노드들의 정보를 이용한다. 로케이션 레퍼런스 채널을 사용, 각각의 로케이션 레퍼런스 노드들과 거리 측정을 하게 된다. 거리 측정이 마친 대상 노드는 단계 3으로 넘어 간다.

단계 3은 단계 2에서 측정한 거리정보를 중재 채널을 사용하여, 단계 1에서 통신했던 중재 노드에게 전송한다. 중재 노드는 자신이 받은 정보를

호스트 채널을 사용 호스트 노드에게 전송한다. 그러면 호스트 노드는 호스트에게 정보를 제공한다. 마지막으로 호스트는 삼각측량 방법을 이용 대상 노드의 위치를 측정한다.

IV. 구현 및 실험

1. 시스템구현

이 실험에서는 Atmega128L을 기반으로 노드를 구성하였다. 128Kb의 플래시 메모리, 4Kb의 SDRAM, 8채널의 10bit ADC를 가지고 있으며, 전력 소모를 줄이기 위해서 여섯 개의 sleep mode를 지원한다. RF 트랜시버는 독일 Nanotron사의 nanoLOC 모듈을 장착하였다. nanoLOC 모듈은 IEEE 802.15.4a PHY(CSS) 규격에 맞는 2.4GHz 주파수 대역을 사용하며 최대 2Mbps의 전송속도를 지원할 수 있다. 메인 모듈은 온습도센서, 조도센서, 적외선 센서 등을 장착하고 있다.

본 실험에서는 센서 네트워크에서 많이 사용되는 TinyOS를 사용하였다. TinyOS는 미국 UC Berkely에서 개발된 무선 센서 네트워크를 위한 운영체제이다. 작은 메모리, 낮은 CPU 성능, 한정된 에너지 등 센서 네트워크 환경을 고려하여 설계된 운영체제이다. TinyOS는 이벤트기반으로 운영되며, 사용되지 않는 동안 CPU를 sleep 상태로 천이하여 전력 소모를 줄여준다.

TinyOS는 리눅스(Linux)환경에서 컴파일한다. 하지만 Cywin을 사용하면 윈도우환경에서도 TinyOS를 컴파일할 수도 있다. 컴파일된 HEX 파일은 ATMEL사에서 제공하는 AVR Studio를 이용하여 AVR-ISP와 연결된 메인 모듈에 다운로드 한다.

위치 인식 시스템에서 위치 계산을 하는 부분은 호스트 프로그램이 담당한다. 모듈이 아닌 호스트 프로그램에서 하는 이유는 위치 계산을 하기 위해서는 로케이션 레퍼런스 노드들의 위치를 알아야하고, 삼각측량법을 통해 계산을 해야 하기 때문에 메인 모듈에서 계산하기에는 상당한 부담이 된다. 따라서 위치를 호스트 프로그램에서 계산하면, 각 노드들은 설치 위치에 무관하게 동작하게 되며 계산량의 부담에서 벗어나게 되어 경량화 면에서 유리하다.

호스트 프로그램은 호스트 노드에서 받은 측정 값과 프로그램에 입력된 로케이션 레퍼런스 노드들의 위치정보에 기반하여 삼각 측량법을 이용, 위치를 계산하고 이를 호스트 프로그램에 출력하게 된다.

2. 성능 실험

본 논문에서는 채널중복에 따른 실험과 중재 노드에 따른 실험 등 두가지의 성능을 실험하였다. IEEE 802.15.4a PHY의 CSS 규격은 2.4GHz의 ISM밴드를 사용한다. IEEE 802.15.4a PHY(CSS)에서 사용되는 채널들은 WLAN 규격인 802.11에서 사용되는 채널과 중복이 된다. 따라서 실용성을 검증하기 위해서는 WLAN을 사용하는 환경에서의 시스템 동작 실험이 필요하다. 단순거리 측정에서의 WLAN의 영향과 데이터전송 시의 WLAN 영향에 대해 실험하였다.

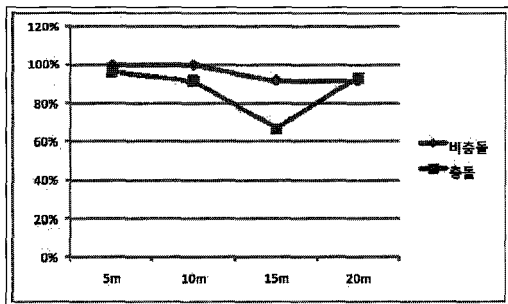


그림 3. WLAN 환경에서 거리측정 성공률

Fig. 3. Success rate of distance measurement in WLAN environments

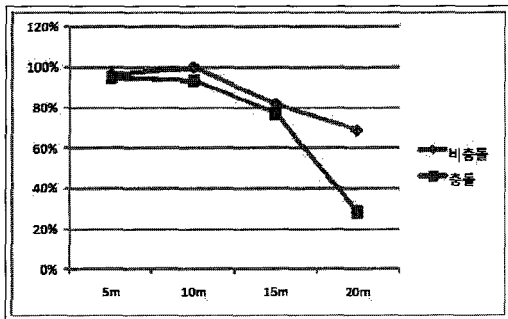


그림 4. WLAN 환경에서 데이터 전송 성공률

Fig. 4. Success rate of data transmission in WLAN environments

그림 3은 거리측정 성공률을, 그림 4는 데이터 전송 성공률을 각각 보여주고 있다. 두 결과를 살펴보면 단순 거리 측정보다 데이터 전송에서 WLAN의 영향을 더 받는 것을 확인할 수 있다. 데이터의 길이에 따라 다소간의 차이는 있을 것으로 판단되며, 거리가 증가함에 따라 WLAN의 영향을 더 받게 되어 전송 성공률에 영향을 미치

는 것을 알 수 있었다.

두 번째 실험은 중재 노드의 유/무에 따른 성능을 검증하였다. 본 논문에서는 중재 노드를 사용해서 셀을 관리하는 설계를 하였으므로, 대상 노드의 개수에 따른 중재 노드의 역할을 확인하기 위하여 실험하였다.

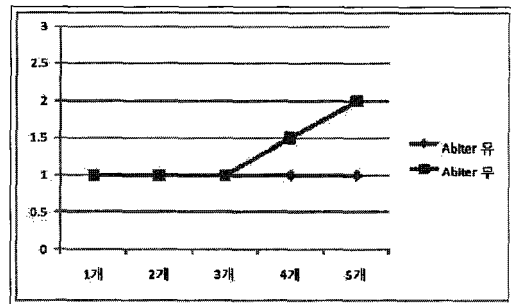


그림 5. 중재 노드에 따른 테스트 결과

Fig. 5. Test results with the arbitration node

그림 5는 중재 노드의 유/무에 따른 실험 결과이다. 대상 노드가 증가하면 자신의 위치 측정 결과를 몇 초마다 갱신할 수 있는지를 측정한 결과이다. 대상노드가 갱신하는 최소 주기는 1초로 설정하였다. 결과를 보면 대상 노드의 숫자가 증가함에 따라 중재 노드가 있는 환경에서의 거리 측정 갱신 주기는 거의 변함이 없음을 알 수 있다. 하지만 중재 노드가 존재하지 않는 환경에서는 대상 노드가 증가함에 따라 통신 충돌을 일으키면서 위치 측정에 소비하는 시간이 점점 늘어남을 알 수 있었다.

VI. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 IEEE 802.15.4a PHY(CSS)를 기반으로 위치인식 시스템을 설계 및 구현 하였다. 대상 노드가 센서 네트워크에 진입위치 측정을 하게 설계하였으며, 중재 노드를 통해 다수의 대상 노드가 동일한 셀 안에 있는 상황에서 중재과정을 통해 충돌을 효율적으로 관리하도록 하였다. 또한 3개의 채널을 사용하여 통신 충돌을 줄이도록 하였다.

실험을 통해 WLAN과 IEEE 802.15.4a PHY(CSS)의 ISM밴드 사용에 따른 충돌 문제를 확인할 수 있었다. 이 충돌 문제의 해결을 위해서는 서로간의 채널회피가 아닌 근본적인 충돌 문제를

해결할 만한 방법이 필요하다.

다른 실험을 통해서 중재 노드를 통해 대상 노드가 관리되는 것을 확인하였다. 하지만 다수의 대상 노드가 다수의 셀과 공존하는 실제 환경에서 적용하였을 경우 셀 간의 충돌 문제가 제기될 수 있다. 충돌 문제를 해결하기 위해서는 셀 영역을 적절하게 분할하는 설계가 필요하며, 중재 노드들끼리의 통신 등, 셀 간의 충돌을 회피하는 기술이 필요하다.

[참고 문헌]

- [1] 오미경, 김명중, 김재영, “유비쿼터스 홈 구축을 위한 저속 위치 인식 UWB 기술” ETRI 전자통신동향분석, vol. 21, no. 5, 2006.
- [2] H. S. Jeon, S. H. Woo, S. D. Cho, J. I. Na, K. H. Kim, and H. J. Park, “Adaptive indoor location tracking system based on IEEE 802.15.4a,” 한국통신학회논문지, vol. 31, no. 5a, pp. 526-536, 2006.
- [3] 박철웅, “IEEE 802.15.4a 규격에 적합한 효율적인 UWB Ranging 기법 연구,” 석사학위논문, 숭실대학교, 2008.
- [4] *IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirement - Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)*, IEEE, 2007.

Biography



한 영 규

2006년 국민대학교 전자공학과(공학사)
2009년 국민대학교 전자과(공학석사)
<관심분야> Sensor Network, RFID
<e-mail> solokou@nate.com



박 준 석

1991년 국민대학교 전자공학과(공학사)
1993년 국민대학교 전자공학과(공학석사)
1996년 국민대학교 전자공학과(공학박사)
2003년 ~ 현재 국민대학교 전자공학과 부교수

<관심분야> RFIC, USN/WBAN용 자기유지 시스템,
무선전력전송, 에너지 획득기술, u-City
<e-mail> jspark@kookmin.ac.kr



성 영 락

1989년 한양대학교 전자공학과(공학사)
1901년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과
(공학석사)
1995년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과
(공학박사)

1995년 ~ 1996년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 위촉연구원
1996년~현재 국민대학교 전자공학부 교수
<관심분야> 센서네트워크, RFID, 이산사건시스템 모델링 및
시뮬레이션
<e-mail> yeong@kookmin.ac.kr



오 하 령

1983년 서울대학교 전기공학과(공학사)
1988년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과
(공학석사)
1992년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과
(공학박사)

1992년~현재 국민대학교 전자공학부 교수
<관심분야> 센서네트워크, RFID, 내장형시스템
<e-mail> hroh@kookmin.ac.kr