

무선 센서 네트워크를 이용한 RSSI 기반의 실내 위치 추적 시스템

정경권*, 박현식**, 최우승***

RSSI-based Indoor Location Tracking System using Wireless Sensor Networks

Kyung Kwon Jung*, Hyun Sik Park**, Woo-Seung Choi***

요약

본 논문에서는 무선 센서 노드의 실내 위치 추적 시스템을 제안한다. 위치 추정에 사용하는 센서값으로 RF 인터페이스의 수신 신호 강도 (RSSI)를 사용한다. 이동 노드를 부착한 사용자와 실내에 고정된 다수의 고정 노드의 신호 강도를 수신하여 사용자의 위치를 결정한다. 제안한 시스템은 측정에 의한 2.4GHz log-normal path loss 모델의 수신강도와 유클리드 거리 계산 방법과 신호 강도를 결합한다. 실험결과를 통해서 1.3m 이내의 오차로 위치를 추정함을 확인하였다.

Abstract

This paper describes a system for location tracking wireless sensor nodes in an indoor environment. The sensor reading used for the location estimation is the received signal strength indication (RSSI) as given by an RF interface. By tagging users with a mobile node and deploying a number of reference nodes at fixed position in the room, the received signal strength indicator can be used to determine the position of tagged users. The system combines Euclidean distance technique with signal strength obtained by measurement driven log-normal path loss model of 2.4 GHz wireless channel. The experimental results demonstrated the ability of this system to estimate the location with a error less than 1.3m.

▶ Keyword : RSSI, Received Signal Strength Indication, Location tracking, log-normal path loss model, Wireless sensor networks

• 제1저자 : 정경권 교신저자 : 최우승

• 접수일 : 2008. 10. 14, 심사일 : 2008. 12. 5, 심사완료일 : 2008. 12. 24.

* 한림대학교 전자공학과 전임강사 ** 상지대학교 시스템경영공학과 겸임교수 *** 경원대학교 교양대학 교수

I. 서론

유비쿼터스 네트워크는 누구든지 언제, 어디서나 통신속도 등의 제약 없이 이용할 수 있고 모든 정보나 콘텐츠를 유통시킬 수 있는 정보통신 네트워크를 의미하며, 이의 구현으로 기존의 정보통신 망이나 서비스가 가지고 있었던 여러 가지 제약으로부터 벗어나 이용자가 자유롭게 정보통신 서비스를 이용할 수 있도록 한다. 특히 유비쿼터스 컴퓨팅을 위해 대상의 위치를 찾아 기록하고 처리할 수 있는 위치 추적 기술이 필요하다. 최근까지 여러 가지 시스템들이 위치 추적 문제에 대해 언급해왔으며 각 기술마다 서로 다른 문제 해결능력을 가지고 발전되고 있다[1].

현재 가장 대표적인 위치 추적 시스템으로는 GPS와 이동통신망을 이용한 방식이 있다. 그러나 이들 방식은 수신기나 핸드폰 단말기 등의 별도 장치가 있어야 하고 건물 내부에서 사용될 수 없는 단점을 가지고 있다[2,3,4].

RSSI(Received Signal Strength Indication) 기반 위치 추적은 별도의 장치 없이 RF의 세기만으로 위치를 인식할 수 있어 가장 많이 연구되고 있는 방법이다. RF 신호에 의한 방법의 위치 계산오차를 줄이기 위한 방법으로 초음파를 전송하여 발생하는 시간차를 이용하여 위치를 알아내려는 기법도 제안되었다[5,6,7].

RSSI 기반의 위치인식에는 크게 2가지 방식이 가능하든 하나는 단지 내 여러 곳에 적절히 고정 배치된 라우터가 신호를 발신하고 이를 태그가 수신, 자신의 위치를 계산하여 전송하는 방식이고, 다른 하나는 이동 중인 태그가 신호를 발신하고 고정된 라우터가 신호를 수신, 위치를 계산하는 방식이다.

본 논문에서는 RSSI 기반 위치인식 시스템을 설계, 구현한다. RSSI 기반 위치인식 기법은 RF만을 사용하므로 실내외 모두에서 사용 가능하고 구조가 단순하여 전력소모가 적고, 측정 오차도 적절한 범위에 있다. 위치를 지정한 다수의 고정 노드를 구성하고, 이동 노드로부터 수신되는 RSSI를 측정하여 이동 노드의 위치를 계산한다. 이를 위해서 실내에 고정 노드를 격자 형태로 배치하고, 실험을 통해서 위치 추적 성능을 검토한다.

논문은 다음과 같이 구성되어진다. 2장에서 위치 추적에 대한 관련 연구를 소개하고 3장에서는 무선 채널 모델링을 이용한 위치 추적 방식을 설명한다. 4장에서는 실험 및 분석을 하고 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

위치인식 문제는 많은 분야에서 매우 기본적인 문제이며 일반적으로 실외와 실내에서의 위치인식으로 나누어 생각한다. 실외에서는 인공위성을 이용한 GPS 방식의 위치인식 체계가 오래전부터 연구되어 사용되고 있으며, 최근에는 이동통신망을 이용하여 이동전화 단말과 주변 기지국간의 신호 전달 시간차를 활용한 위치인식 기술이 널리 사용되고 있다. 실내에서는 상대적으로 높은 정밀도를 요구하는 응용들이 많다. 특히 RSSI 기반의 위치인식 기법은 전파의 세기만으로 위치를 인식할 수 있어 많이 연구되고 있다. RADAR 시스템의 경우 알려진 위치의 비컨 노드의 전파 세기를 기반으로 자신의 위치를 측정하는 시스템으로써 수 미터 정도의 오차 범위를 갖는다[5]. 비컨(beacon) 노드를 갖지 않는 형태도 많이 연구되었는데 이동체가 신호를 발신하고 고정된 수신 장치가 신호의 세기를 측정하여 위치를 계산한다[8]. Cricket은 2000년 미국 MIT 대학에서 개발된 실내 위치 탐지 시스템으로 대상의 실시간 위치 추적이 가능하다. Cricket은 RF 신호와 초음파 신호 사이의 시간차를 이용하며, 1-3cm의 정밀도를 보인다[7]. 광범위한 영역에 적용되는 센서네트워크에서 노드들간의 관계를 바탕으로 위치를 인식하는 기법들도 연구되었다. Active Bat 시스템은 캠브리지 연구소에서 개발한 시스템으로 천정에 다수의 초음파 수신기를 설치하고 TOF(Time Of Flight)를 측정하여 위치를 추정하는 방식이다. Active Bat 시스템의 경우 centralized processing을 통하여 목표물 위치를 추정하는 방식이다[9].

Texas Instrument사에서 개발한 CC2431 칩은 위치가 알려진 기준 노드(reference node)들이 비컨 신호를 전송하고 이동 노드(blind node)가 이 신호들을 수신, 분석하여 위치를 확인하는 방식의 위치인식 엔진을 내장하였다[10].

III. 채널 모델링을 이용한 위치 추적

3-1. 채널 모델링

Log-normal path loss 모델은 송신 전력과 수신 전력간의 관계로 정의된다. 센서 노드 송신 전력을 P_t 라 하고 수신된 전력을 P_r , 송·수신단 사이의 거리에 따른 신호의 감쇄를 $PL(d)$ 라 하면 수신된 전력 P_r 은

$$P_r = P_t - PL(d) \dots\dots\dots (1)$$

이 된다.

자유공간에서 송신부로부터 전송된 신호의 거리에 따른 수신 전력의 세기 P_r 은 Friis의 transmitting 공식에 의해 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_r = \left(\frac{1}{4\pi d^2} \right) \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot P_t \dots\dots\dots (2)$$

$\lambda = c/f$ 로 표현될 수 있으며 $c = 3 \times 10^8$, f 는 전송 주파수가 된다. 또한 P_t 를 거리 d 와 SNR(Signal to Noise Ratio)의 관계에 의해 정의하면

$$P_t = SNR \cdot N \cdot \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = \frac{E_b}{N_0} \cdot \frac{R}{B} \cdot KTB \cdot \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (3)$$

으로 표현 할 수 있다. 여기서 E_b 는 1bit 전송하는데 필요한 에너지, N_0 는 noise power spectral density, K 는 Boltzmann constant, T 는 절대온도를 나타내며, R 은 bit rate, B 는 signal bandwidth를 나타낸다.

식(2)와 식(3)을 이용하면

$$PL(d) = \frac{P_r(d)}{P_t} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (4)$$

로 나타 낼 수 있고 식(4)을 log-scale로 표현하면

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_\sigma \dots\dots\dots (5)$$

와 같이 표현 될 수 있다.

식(5)에서 d 는 송·수신단 사이의 거리, d_0 는 reference 거리(1m), n 은 path loss exponent, X_σ 는 표준 편차 시그마를 갖는 가우시안 랜덤 변수가 된다[11,12].

Pass loss model을 위한 실험은 실내와 실외의 채널 환경에 대해 분석한다. 실내는 경원대학교 기술관 1층 복도에서 실험을 진행하였으며, 실외는 경원대학교 대운동장에서 진행하였다.

노이즈 레벨 N_0 는 스펙트럼 분석기를 이용하여 실내의 노이즈 레벨을 측정하였다. 기술관의 노이즈 레벨은 -79dBm이며, 운동장의 노이즈 레벨은 -80dBm이다.

실험에서는 센서 노드의 최대 전송 파워 0dBm을 이용하였다. 송신단과 수신단 사이의 거리를 1m씩 증가시키며 각 위치의 수신 신호의 강도를 측정하고 이를 이용해 무선 채널을 분석하였다. 수신 전력의 측정은 센서 노드에 구현되어 있는 RSSI(Received Signal Strength Indicator)를 이용하였다. RSSI 값은 센서 노드에 장착된 RF 통신 모듈인 CC2420에 내장되어 있으며 RSSI.RSSI_VAL register를 이용해 8bit 디지털 값을 읽어 온다.

위에서 얻어진 RSSI값을 이용하여 채널을 모델링한 결과는 [그림1]과 같다[13].

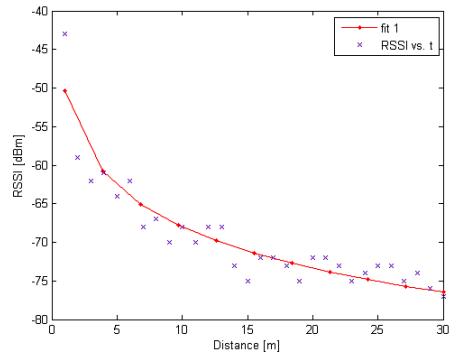


그림 1. RF 수신 전력 및 채널 모델링 결과
Fig 1. RF received power and channel modeling results

[그림1]에서 점의 분포는 각 거리마다 100번씩 측정된 RSSI의 평균값을 나타내고 실선은 Matlab을 이용한 curve fitting 결과이다.

식(5)에 의해 두 공간의 감쇄지수 n 과 수신된 신호 세기의 표준 편차 X_σ 를 [표1]과 같이 얻을 수 있다.

표 1. 실내 Log-normal path loss 모델 파라미터
Table 1. Indoor log-normal path loss model parameters

	$PL(d_0)$ (dBm)	Path loss exponent n	X_σ (dB)
실내	-43	1.769	8.845 (4.62~13.07)

실내 환경에서 거리에 따른 패킷 수신율(PRR: Packet Reception Rate)을 실험한 결과는 [그림2]와 같다. [그림 2]에서 PRR이 90% 이상인 거리는 약 24m 정도로 안정적으로 통신이 가능한 거리가 된다.

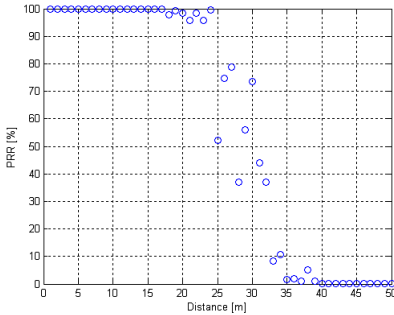


그림 2. 실내 실험 결과
Fig 2. Experimental results of indoor

3-2. 실내 위치 추적

논문에서는 위치 계산을 위해서 고정 노드가 수신한 RSSI를 이용하여 삼각측량을 실행한다.

[그림3]과 같이 고정 노드 N_i 의 좌표 x_i, y_i 로부터 이동 노드 $O(x_o, y_o)$ 를 계산한다.

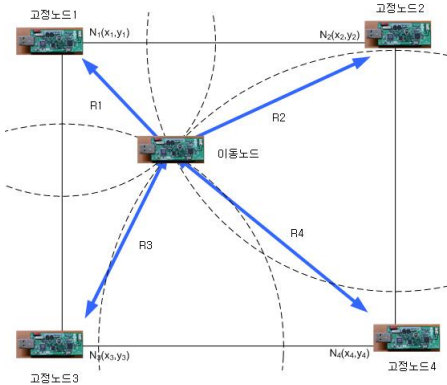


그림 3. 위치 계산
Fig. 3. Location computing

n 개의 노드에서 수신된 RSSI 정보를 거리로 환산하여 식 (6), 식(7)과 같은 시스템 방정식을 구성하여 해를 구한다.

$$(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 = R_i^2 \dots\dots\dots (6)$$

$$2 \begin{bmatrix} x_n - x_1 & y_n - y_1 \\ \vdots & \vdots \\ x_n - x_{n-1} & y_n - y_{n-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (R_1^2 - R_n^2) - (x_1^2 - x_n^2) - (y_1^2 - y_n^2) \\ \vdots \\ (R_{n-1}^2 - R_n^2) - (x_{n-1}^2 - x_n^2) - (y_{n-1}^2 - y_n^2) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (7)$$

여기서 i 는 기준 노드의 개수로 $i=1,2,3,\dots,n$ 개이다. R_i 는 [그림 3]과 식(6), 식(7)을 이용하여 RSSI를 거리로 환산한 값이다.

RSSI의 값이 큰 기준 노드 3개를 선택하여 이동 노드의 위치를 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} (x_3 - x_1) & (y_3 - y_1) \\ (x_3 - x_2) & (y_3 - y_2) \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} (R_1^2 - R_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2) \\ (R_2^2 - R_3^2) - (x_2^2 - x_3^2) - (y_2^2 - y_3^2) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (8)$$

IV. 실험 및 분석

4-1. 하드웨어 구성

위치인식에 사용한 무선 센서 노드는 [그림4]와 같은 Tip50CM을 사용하였다. Tip50CM은 TelosA 플랫폼을 기반으로 한 모델로, Texas Instruments의 MSP430 마이크로컨트롤러와 CC2420 RF 칩을 사용한다. IEEE802.15.4와 호환되며, TinyOS 1.x와 2.x 버전을 지원한다[14].



그림 4. Tip50CM 모듈
Fig. 4. Tip50CM module

4-2. 소프트웨어 구성

이동 노드와 고정 노드에는 각각 다른 기능을 하는 프로그램이 동작한다.

이동 노드는 1초마다 자기 ID를 broadcast 방식으로 송신한다. 이동 노드가 송신한 데이터를 고정 노드가 수신하면 이때의 RSSI를 측정하여 수신한 데이터에 RSSI 측정값을 추가하여 다른 고정 노드를 통해서 싱크 노드인 PC까지 전달 된다.

[그림5]는 데이터 흐름을 나타낸다. 이동노드는 TinyOS 2.0의 AMSender 인터페이스로 패킷을 보내고, 고정노드는 이동노드가 보내는 패킷을 AMReceiver 인터페이스로 받아서 RSSI를 측정한다. 고정노드는 이 패킷을 TinyOS 2.0의 multihop 프로토콜인 CTP(Collection Tree Protocol)을 이용하여 전송한다[15].

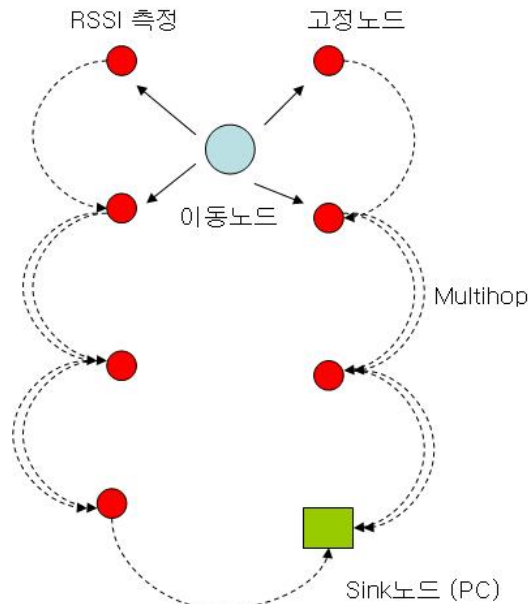


그림 5. 데이터 흐름
Fig. 5. Data flow

각 노드는 [표2]와 같은 데이터 패킷을 사용한다. Version과 Counter, Node_ID는 내부에서 사용하는 필드이고, 나머지 부분은 패킷이 싱크노드인 최종 PC까지 도달했을 때 위치인식에 사용되는 부분이다. Flag는 고정노드가 패킷을 수신했을 때, RSSI를 측정할 것인지 multihop을 통해서 싱크노드로 전달을 할 것인지 판단하는데 사용된다. Mobile_ID는 이동 노드의 ID가 들어있는 부분이다. RSSI는 CC2420

의 RSSI_VAL 레지스터 값을 읽어서 저장하는 부분으로 이동노드가 태그가 신호를 보내면 고정노드가 패킷을 수신했을 때의 RSSI를 측정하여 저장한다. Sequence_Counter는 이동노드가 보내는 데이터 패킷의 순번으로 고정노드가 데이터를 받아서 multihop으로 싱크노드에 전달했을 때 이 Sequence_Counter가 동일한 패킷을 이용해서 위치계산을 실행한다. Unused는 향후 센서 측정 등을 위해서 비워둔 필드이다.

표 2. 데이터 패킷 구성
Table 2. Data packet.

Payload		크기 (Byte)
Version		2
Counter		2
Node_ID		2
Data packet	Flag	2
	Mobile_ID	2
	RSSI	2
	Sequence_Counter	2
	Unused	2

싱크노드와 연결된 PC는 [그림6]과 같이 RS323를 통해서 데이터를 수신한다. 수신된 데이터는 고정 노드 사이의 CTP 내용과 이동 노드가 보낸 내용로 구분되는데, 현재는 데이터를 저장한 후에 Matlab을 이용하여 이동 노드가 보낸 데이터로 위치를 계산한다.

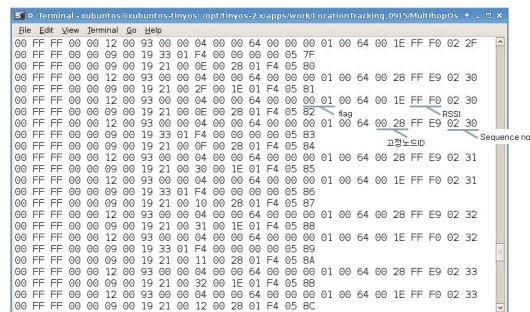


그림 6. 데이터 수집 화면
Fig. 6. Data acquisition.

4-3. 위치 추적 실험

이동 노드의 위치 추적을 위해서 [그림7]과 같이 설치된 고정 노드는 노트북 PC와 연결된 싱크 노드를 포함하여 8개

이고, 10m 간격으로 설치하였다.

이동 방향은 복도를 따라 y-축 방향으로 실험을 진행하였고, 0m에서부터 40m의 위치로 이동하며 데이터를 수집한 후 거리를 계산하였다.

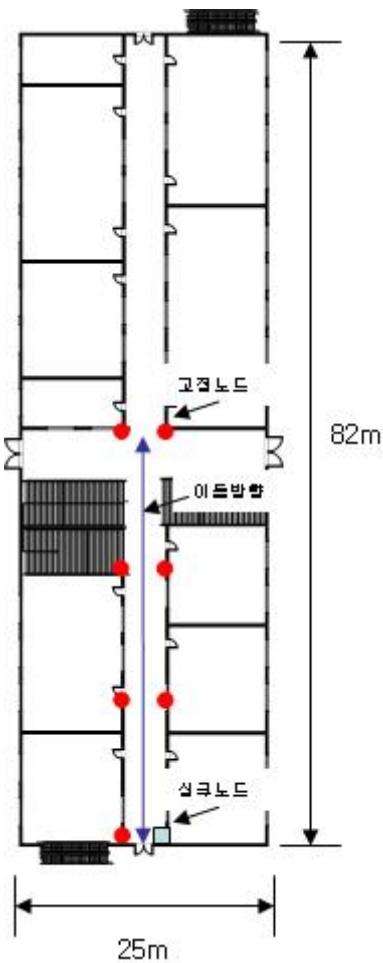


그림 7. 이동경로
Fig. 7. Moving path.

[그림8]은 y-축의 이동 결과이다. 건물의 복도 폭이 3m로 중앙을 따라서 40m를 이동하며 얻은 이동 궤적 결과이다.

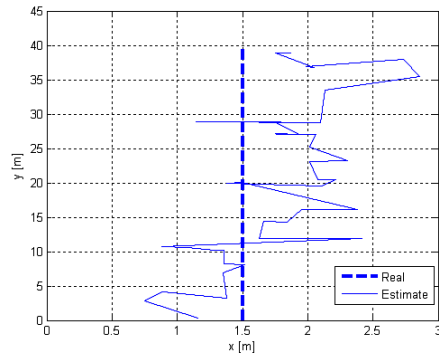


그림 8. y축 방향 실험 결과
Fig. 8. Results of experiment of y-direction.

실험 결과 [그림8]과 같이 최대 오차는 1.3m의 오차가 발생하였는데, 가로방향은 3m공간으로 되어 있고, 전파가 벽에 반사되어 다중경로 현상을 채널 모델식에 포함시킨다면 충분히 오차를 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 채널을 실내 환경에서 채널의 특성을 분석하고, RSSI를 기반으로 하는 실내 위치 추적 시스템을 제안하였다. 다수의 고정 노드는 이동 노드가 송신하는 데이터를 받아서 RSSI를 측정하여 멀티홉 방식으로 PC에 전송한다. 전송된 RSSI 값을 이용하여 삼각측량 방식으로 이동 노드의 위치를 계산한다. 실내 건물에 8개의 고정 노드를 10m 간격으로 설치하여 이동 노드의 위치 추적 실험을 실행한 결과 1.3m 이내의 계산 오차를 얻었다.

향후 위치 추적의 정밀도를 높일 수 있는 알고리즘의 개발과 전력소모를 최소화 하면서 데이터를 전송하는 연구가 진행되어야 한다.

참고문헌

- [1] 진희채, 남광우, "위치추위 방식과 위치기반 서비스 분석", 한국통신학회지, 제25권, 제7호, pp. 24-33, 2008년 6월
- [2] D. Niculescu, "Positioning in ad hoc sensor networks," IEEE Network, Vol. 18, Issue 4, pp. 24-29, 2004.

- [3] Liqiang Zhang, Qiang Cheng, Yingge Wang, S. Zeadally., "A Novel Distributed Sensor Positioning System Using the Dual of Target Tracking," IEEE Transactions on Computers, Vol. 57, Issue 2, pp. 246-260, 2008.
- [4] Yi-hua Zhu, V.C.M. Leung., "Optimization of Distance-Based Location Management for PCS Networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 7, Issue 9, pp. 3507-3516, 2008.
- [5] P. Bahl, V. N. PadManabhan, "RADAR: An In-Building RF-based User Localization and Tracking System," Proceedings of Infocom, pp. 775-584, 2000.
- [6] C. Alippi, G. Vanini, "A RSSI-based and calibrated centralized localization technique for wireless sensor networks." Pervasive Computing and Communications Workshops, pp. 1-5, 2006.
- [7] N. Priyantha, A. Chakaborty, H. Balakrishnan, "The Cricket Location-support System," Proceedings of MobiCom, pp. 32-43, 2000.
- [8] L. Hu, D. Evans, "Localization for Mobile Sensor Networks", Proceedings of MobiCom, pp. 45-57, 2004.
- [9] Andy Harter, Andy Hopper, Pete Steggles, Andy Ward and Paul Webster "The anatomy of a Context-Aware Application", Wireless Networks, Vol. 8, pp. 187-197, 2002.
- [10] Texas Instrument, CC2431 Location Engine, <http://www.ti.com>.
- [11] Bernard Sklar, Digital Communications: Fundamentals and Applications, Prentice Hall, 2001.
- [12] Leon W. Couch, Digital and Analog Communication Systems, Prentice Hall, 2001.
- [13] 정경권, 최우승, "무선 센서 네트워크 채널 분석," 한국 컴퓨터정보학회 논문지, 제13권, 제5호, pp. 179-186, 2008년 9월.
- [14] <http://www.maxfor.co.kr>
- [15] <http://www.tinyos.net>

저 자 소 개



정 경 권

1998년 2월 동국대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 2000년 2월 동국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 2003년 8월 동국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 2005년 3월~2008년 2월 동국대학교 밀리미터파신기술연구센터 연구원
 2008년 3월~현재 한림대학교 전자공학과 전임강사
 <관심분야> 센서 네트워크, 임베디드 시스템, 안공기능



박 현 식

1997년 2월 한국방송통신대학교 전자계과 졸업(학사)
 1999년 8월 숭실대학교 중소기업대학원 중소기업기술지도 졸업(석사)
 2003년 8월 강원대학교 대학원 산업공학과 재학(박사수료)
 2001년 3월~현재 상지대학교 겸임교수
 <관심분야> 최적화, 유비쿼리티스, EAP



최 우 승

1977년 2월 동국대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1981년 2월 동국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1994년 2월 동국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 1998년~2000년 한국컴퓨터정보학회 학회장
 2000년~현재 한국컴퓨터정보학회 교문
 2008년 현재 경원대학교 교양대학 교수
 <관심분야> 신경회로망, 패턴인식