

저속 WPAN에서 수신신호세기의 Vector Matching을 이용한 위치인식 방식

남 윤 석* · 최 은 창** · 허 재 두***

Location Awareness Method using Vector Matching of RSSI in Low-Rate WPAN

Yoon-Seok Nam* · Eun-Chang Choi** · Jae-Doo Huh***

Abstract

Recently, RFID/USN is one of fundamental technologies in information and communications networks. Low-Rate WPAN, IEEE802.15.4 is a low-cost communication network that allows wireless connectivity in applications with limited power and relaxed throughput requirements. Its applications are building automation, personal healthcare, industrial control, consumer electronics, and so on. Some applications require location information. Of course location awareness is useful to improve usability of data. Low-Rate WPAN is regarded as a key specification of the sensor network with the characteristics of wireless communication, computing, energy scavenging, self-networking, and etc. Unfortunately ZigBee alliance propose a lot of applications based on location aware technologies, but the specification and low-rate WPAN devices don't support anything about location-based services. RSSI (Received Signal Strength Indication) is for energy detection to associate, channel selection, and etc.

RSSI is used to find the location of a potable device in WLAN. In this paper we studied indoor location awareness using vector matching of RSSI in Low-Rate wireless PAN. We analyzed the characteristics of RSSI according to distance and experimented location awareness. We implemented sensor nodes with different shapes and configured the sensor network for the location awareness with 4 fixed nodes and a mobile node. We try to contribute developing location awareness method using RSSI in 3-dimension space.

Keywords : Low-Rate WPAN, IEEE802.15.4, Location-Based Service, Indoor Location Awareness, Sensor Node, Sensor Network, RSSI

논문접수일 : 2005년 10월 7일

논문게재확정일 : 2005년 12월 1일

* 주저자, 동국대학교 공학대학 정보통신공학과 조교수, (780-714)경북 경주시 석정동 707번지
Tel : 054-770-2273, Fax : 054-770-2605, e-mail : ysnam@dongguk.ac.kr

** 교신저자, 한국전자통신연구원 디지털출연구단 홈네트워크그룹 센서네트워킹연구팀 선임연구원

*** 한국전자통신연구원 디지털출연구단 홈네트워크그룹 센서네트워킹연구팀 책임연구원

1. 서론

WSN(Wireless Sensor Network)은 Ubiquitous Network 구축을 가능하게 하는 기술로서 센서기반의 무선 망으로 센서를 통하여 새로운 정보들을 취합하고 분석함으로써 새로운 다양한 서비스가 창출될 수 있는 새로운 개념의 정보통신 기술이다. 온도, 습도, 조도, 압력, 가속도, 기울기, GAS, IR, 가시광선, Motion 등 다양한 기능의 센서들로부터 유용한 정보를 얻을 수 있으며, 위치정보는 하나의 센서로부터 얻기 보다는 여러 센서의 정보를 취합 및 계산함으로써 정확한 위치정보를 얻을 수 있다. 또한 센서 정보에 그 정보가 얻어진 위치에 대한 정보를 추가하면 원래의 정보는 훨씬 더 유용한 정보가 된다. 현재 GPS 및 GIS를 통하여 위치인식 서비스가 다양한 형태로 사용되고 있는 바와 같이 Indoor와 같은 좁은 지역에서도 정확한 위치 정보는 센서에서 취득한 정보를 더욱 의미 있게 할 수 있다.

위치인식시스템을 커버 영역에 따라 분류하면 매크로 위치인식시스템과 마이크로 위치인식시스템, 그리고 Ad-hoc 위치인식시스템으로 분류할 수 있다. 매크로 위치인식시스템은 가장 광범위한 위치인식 가능 영역을 제공하며, 위치기반 서비스(Location Based Service: LBS)를 위해 GPS(Global Positioning System)와 이동통신망기반 위치인식시스템이 활용되고 있다. 마이크로 위치인식시스템은 무선 환경의 제한으로 매크로 위치인식시스템이 커버하지 못하는 실내나 지하 또는 건물 밀집지역 등에서 위치인식을 제공하며, 유비쿼터스 컴퓨팅을 위해 다양한 방향으로 연구되고 있다. Ad-hoc 위치인식시스템은 임시로 구성되는 Ad-hoc 네트워크 또는 센서 네트워크 영역에서 활용하기 위해 연구되고 있다. Sensor Network 및 홈네트워크 등에서 사용되는 마이크로 위치인식시스템에서는 적외선,

초음파, 무선통신 신호의 신호세기, UWB, 입체영상 등을 이용하는 연구가 수행되었으며, 현재 IEEE802.15.4[1]의 MAC을 사용하면서 기본적으로 위치인식 수단을 제공하는 IEEE802.15.4a 물리계층 기능에 대한 표준화가 진행되고 있다. 이 규격을 따르는 소자가 상용화되면 실내에서의 위치인식이 보다 저렴하고 정확하고 용이하게 실현 가능할 것이다.

본 논문은 IEEE802.15.4 규격을 따르는 센서 장치를 사용하여 좁은 실내에서 사물의 위치를 인식하는 방식에 관한 것으로 수신신호세기 RSSI(Received Signal Strength Indication)를 사용하여 저렴하고 간단하게 위치인식을 수행하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같이 2장에서 홈네트워크 등의 실내 위치인식 및 센서 네트워크 표준 관련 연구 동향, 3장에서는 RSSI를 이용하기 위한 Path Loss 특성 분석, 4장에서는 센서 노드 구현 및 위치인식에 대한 실험 및 분석, 그리고 5장 결론 등으로 이루어져 있다.

2. 관련 연구

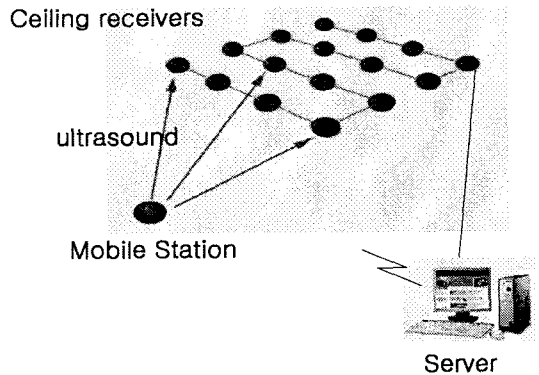
홈네트워크, 빌딩 등 실내 환경에서 위치인식을 구현한 대표적인 시스템으로는 적외선을 사용한 AT&T의 Active Badge[2,7], 유무선 및 초음파를 사용한 AT&T의 Active Bat, 초음파와 RF를 사용한 MIT의 Cricket[5], WLAN의 RSSI를 사용한 Microsoft사의 RADAR[3], UWB(Ultra Wideband) 신호를 사용한 UbiSense사의 UbiSense 등이 있다. 현재 IEEE802.15.4의 MAC을 사용하면서 기본적으로 위치인식 수단을 제공하는 IEEE802.15.4a 물리계층 기능에 대한 표준화가 진행되고 있다. 이 규격을 따르는 소자가 상용화되면 실내에서의 위치인식이 보다 저렴하고 정확하고 용이하게 가능할 것이다. USN은 궁극적으로 Ad-hoc 망에서 기준점의 위치를 기반으로 망에

분산된 각 노드의 위치를 인식할 수도 있다[5].

Active Badge는 AT&T에서 1989~1992년에 개발한 적외선을 이용한 위치인식시스템으로 Xerox사의 고객 지원 직원들이 자신의 자리에 있지 않고 다른 위치로 잠시 이동하였을 때 고객들로부터 오는 전화를 직원이 위치한 곳의 전화로 착신되게 하기 위해 개발되었다. 액티브 배지는 사무실 등의 일정 영역에 적외선 센서들을 천정에 설치하고, 사람들에게는 적외선 발생기를 배지처럼 부착한다. 지금까지 계속적으로 개선된 결과 최신 시스템은 48비트 주소를 가지고 매 10초 마다 데이터를 전송하고, 저속의 양방향 통신이 이루어지고 있다[7]. 시스템 구성은 간단하지만 그러나 사용자가 증가함에 따라 충돌 발생률이 높아질 수 있고 또한 정밀한 위치인식이 어렵다는 단점이 있다.

초음파는 빛 또는 RF(Radio Frequency)에 비하여 상대적으로 매우 느린 전송속도(약 340m/sec)로 전파되기 때문에 거리측정 시스템에 많이 사용된다. 초음파를 이용한 위치인식 시스템은 AT&T에서 개발한 Active Bat과 MIT에서 개발한 Cricket, 그리고 UCLA에서 개발한 Medusa 등의 시스템이 대표적이다. RF와 초음파를 사용하며, 기준시각 동기화는 RF 신호 또는 별도의 유선 동기 신호를 사용한 초음파의 전파지연시간을 거리로 환산하여 인식하는 방식으로 이동 노드의 위치 계산은 TOA(Time of Arrival) 또는 TDOA(Time Difference of Arrival) 등의 방식을 사용하였다. 초음파를 사용한 방식은 비교적 정확하여 간단한 후 처리에 의해서는 10cm 정도의 오차를 보이며, Kalman 필터 등의 적응적 알고리즘을 사용하여 2cm까지 인식하는 것으로 알려져 있다[8,9]. 그러나 무선에 비하여 초음파가 너무 저속이므로 비효율적이며, 또 별도의 초음파 송수신 장치가 추가로 필요하다는 것과 초음파의 방향성 특성 때문에

Medusa와 같이 여러 방향으로 전송할 수 있는 다수의 송신기가 필요하다는 것 등이 단점으로 지적된다. <그림 1>은 Active-bat 시스템의 구성도를 나타낸 것이다. Server는 이동노드와 무선으로, 그리고 천정에 부착된 수신기와 유선으로 연결되어 위치인식 기능을 제어한다. 먼저, Server가 천정의 수신기를 초기화함과 동시에 이동 노드를 제어하여 초음파를 송신하게 한다. 초음파의 전파시간 이후 천정의 수신기에서 초음파를 감지하여 유선 통신경로로 Server에게 전달하는 방식이다. Cricket은 GPS에서 사용하는 것과 같이 천정에 부착된 고정 노드에서 차례로 RF와 초음파를 전송하면 이동 노드에서 이를 수신하여 자신의 위치를 계산하는 방식이다. 이 경우 이동노드에서 처리해야 할 계산량이 많기 때문에 이동 노드의 충분한 계산능력이 요구된다.



<그림 1> Active Bat 시스템 구성도

무선 신호는 전송거리가 멀어질수록 수신신호가 감쇄되는 Path Loss 특성을 가지는데, 사용 주파수 및 주변 환경에 따라 전달 특성이 달라진다. Path Loss를 근사적으로 모델링하는 하는 연구도 이루어지고 있으며[10], 전달 능력 예측과 수신감도 그리고 무선송수신 규격 등에 활용되며, 또한 RSSI 값과 Path Loss 특성은 대략적

인 거리를 측정하는데 응용될 수 있다[3,6]. 무선 신호의 Path Loss는 RF 신호를 이용한 방식으로는 Microsoft에서 개발한 RADAR 시스템과 Pinpoint사의 3D-iD 시스템이 대표적이며, 그 외 UC Bekeley의 WeC와 UCLA의 Medusa MK-2 등의 시스템을 이용한 연구도 발표되고 있다. 센서노드의 전력소모를 고려하면 RSSI를 이용한 위치인식이 유리하다. 상용화 된 3D-iD에서는 Array Antenna 등을 사용하여 AOA (Angle of Arrival)와 Signal Processing 기능 등 표준화에 포함되지 않은 기능을 사용하여 위치를 인식하고 있다.

UWB는 고속의 근거리 무선 통신망을 제공할 수 있는 해결책으로 최근 IEEE802.15.3a에서는 초고속 멀티미디어 서비스 수단으로 그리고 IEEE 802.15.4a에서는 저속 통신 및 위치인식 수단으로 표준화 연구가 진행되고 있다. UWB는 높은 주파수에 의하여 파장이 매우 짧고, 임펄스 형태의 전송 방식과 PPM(Pulse Position Modulation) 방식에 의한 통신 방식으로 기존의 무선통신에서 사용하던 변복조 기능 없이 통신이 가능하기 때문에 통신 장비의 가격을 낮추고 전력의 소모도 작아지면서 고속의 데이터 통신이 가능한 것으로 기대되고 있다. 또한, UWB는 투과성이 좋아서 건물내의 벽이나, 비금속 칸막이 등을 통과할 수 있다. 이를 이용하면 건물 벽면에 가려져 있는 경우에도 임펄스 신호의 전파 지연을 측정하여 사람이나 사물의 위치를 파악할 수 있게 되며 고속의 데이터 통신도 함께 진행할 수 있기 때문에 실내 위치 인식에 많이 사용될 것으로 기대되고 있다. Pulse Position을 이용하여 전파시간을 측정하기 위해서는 여러 고정노드에서 인식하는 펄스의 기준 위치가 일치하여야 하는데 이와 같은 동기화 문제가 주요기술이다. 이론적으로는 수 센티미터의 정확도를 얻을 수 있으나 현재 상용화된 Ubisense 등에서는 우선으로 동기화

하는 등으로 완전 무선 방식과는 차이가 있으나 위치인식 정확도는 10 센티미터 정도를 얻고 있다. 현재 IEEE802.15.4a에서는 위치 인식 방식 구현 방식에 대해서는 표준화에 포함시키지 않고 있으며, 신호의 위상 등을 사용한 Coherent 방식과 신호의 위상 등을 사용하지 않고 신호의 세기 등을 이용한 Non-coherent 방식이 제안되고 있다. Coherent 방식은 작은 신호의 세기에서도 위상의 변화를 감지하여 신호 수신을 검출함으로써 보다 정확한 전파시간을 측정할 수 있으므로 정확한 위치인식에 유리하다.

많은 연구 그룹에서 영상 인식을 이용한 위치인식시스템을 연구하고 있는데 그 중에서 Microsoft에서 Easy Living이라는 이름으로 수행하고 있는 프로젝트에서는 3차원 카메라 Digiclop를 이용하여 가정과 사무실내에서 유비쿼터스 서비스를 구현하였다.

2003년 표준안이 확정된 IEEE802.15.4 규격은 저속 무선 PAN 기술로 센서 네트워크에 적합한 기술로 각광받고 있으며, 산업계에서는 ZigBee Alliance를 형성하여 상위 계층에 대한 표준화를 진행하고 있다. 저속 무선 PAN에서 표준화된 세부 기술을 살펴보면 다음과 같다. 유럽지역을 주요 대상으로 한 868MHz 대역에 1개 채널을 할당하고 최고 20kbps로 통신이 가능하며, 미국 지역을 주요 대상으로 한 915MHz 대역에 10개 채널을 할당하고 최고 40kbps로 통신이 가능하며, 세계 전 지역을 주요 대상으로 한 2.4GHz 대역에 16개 채널을 할당하고 최고 250kbps로 통신이 가능하다.

통신망 구성은 Star 구성이 기본이며, 최종으로는 peer-to-peer 구성이 지원되도록 IEEE 802.15.5에서 표준화가 진행되고 있다. 망은 동기화하는데 Beacon을 사용하는 Beacon-Enabled Network와 동기화 하지 않는 Nonbeacon-Enabled Network으로 구분할 수 있으며, Star

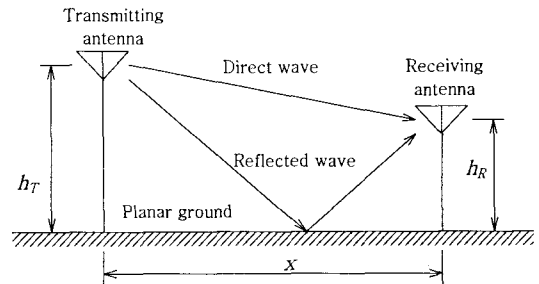
구성에서는 Coordinator가 동기 및 데이터 전송의 중심이 되며 Device는 반드시 Coordinator를 경유하여 데이터를 전송할 수 있다. 프레임은 beacon 프레임, 데이터 프레임, 응답 프레임 그리고 MAC 제어프레임 등으로 프레임 포맷과 용도를 달리하고 있으며, CSMA-CA 방식으로 데이터를 전송한다.

앞에서 언급된 기존의 위치인식 시스템들은 IEEE802.15.4 규격과는 무관하게 연구 개발된 것으로 각 시스템 별로 MAC 기능 등이 정의되기도 하였으며, 또한 IR 또는 초음파 등의 수단도 병행 연구되었다. 그러나 IEEE802.15.4에서는 저전력, 저가, 소형 등을 센서 노드의 기본 요구사항에 포함하여 시작하였기 때문에 위치인식 수단 등도 이러한 기본 요구사항을 무시하지 않는 범위에서 고려되어야 한다. 따라서 RSSI를 이용한 위치인식 방식이 현실적 선택으로 유력하다.

3. Path Loss 분석

무선 신호의 RSSI를 이용하여 두 지점 간의 거리를 인식하고, 이로부터 TOA 또는 TDOA 방식에 적용하여 위치를 인식할 수 있다. Path Loss에 대한 Model은 사용하는 주파수 대역과 주변 환경에 따라 다양한 형태로 연구되어 왔다. Free Space에 대해서는 Friss 모델이 기준이 되고 있으며, 본 연구와 관련 있는 실내의 경우 Siwiak-Petroff, Devasirvatham, Marquess, Siwiak, Cassioli, Ghassemzadeh, Rusch, Two-path 등의 모델이 제시되어 Home, Office, Indoor 등의 주변 환경과 UWB(ultra Wideband) 주파수 대역 등의 사용 주파수에 따라 실제 환경과 유사한 특성을 모델링 하고자 활발히 연구되었으며, IEEE 802.15.4a 규격 작성에 Path Loss 관련 기술 문서로 제출된 바 있다. 그러나 실측값은 모델의 값과

유사한 궤적은 따라갈 수 있으나 거의 일치하지 않으며, 또한 RSSI와 거리 관계가 일대일로 사상되기 어렵다. <그림 2>는 RF 신호의 전달 경로를 나타낸 것으로 그림에서와 같이 LOS(Line of Sight)를 경유한 신호의 전달과 벽 등에 의한 반사 신호의 경로가 발생하며, 각 경로 신호의 위상이 동위상 또는 역위상이 됨에 따라 신호의 세기가 더해지거나 감해지는 현상이 발생함으로써 신호의 세기와 거리 간의 관계가 주변 환경의 조건에 따라 달라진다.



<그림 2> RF 신호의 전달 경로

무선신호 전달 특성 모델 가운데 식 (1)과 식 (2)는 Friss 및 Two-path model 모델을 나타낸 것이다. Friss 모델은 Open Space에서의 특성을 잘 반영하고 있으며, Two-path model은 실내 등 Multi-Path가 이루어지는 환경에 적용할 수 있는 모델이다.

$$P_r = \left(\frac{K}{4 \times 3.14 \times R} \right)^2 \times G_t \times G_r \times P_t \quad (1)$$

여기에서

P_r : 수신전력[w]

K : 이용 파장(c/f)[m]

R : 송·수신점간의 거리[m]

G_t : 송신안테나의 전력이득[dB]

G_r : 수신안테나의 전력이득[dB]

P_t : 송신전력[w]

Two-path Model

$$L[\text{dB}] = 10 \cdot \log \left[\left(\frac{c}{4\pi fx} \right)^2 \left\{ 1 + \gamma^2 + 2\gamma \cos \left(\frac{2\pi f \Delta l}{c} + \phi \right) \right\} \right]^{-1} \quad (2)$$

여기에서

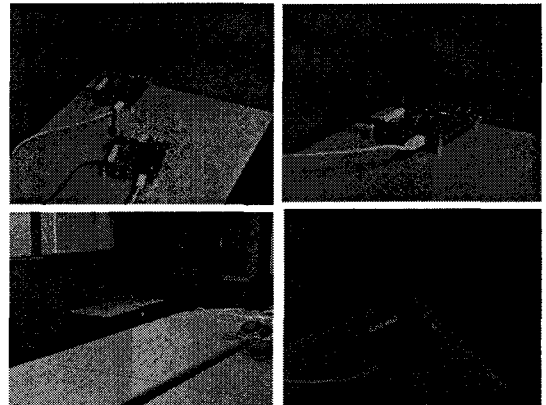
$$\Delta l \cong \frac{2h_T h_R}{x}$$

- X : 송·수신간의 거리[m]
- h_T : 송신안테나의 높이[m]
- h_R : 수신안테나의 높이[m]
- f : 주파수
- c : 빛의 속도
- $\gamma = 0, \phi = \pi$

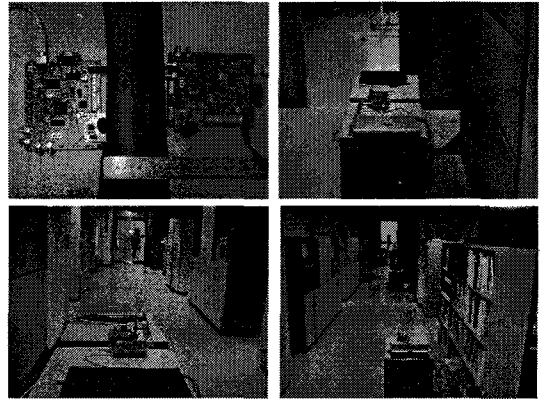
<그림 3>은 Chipcon사의 Evaluation Kit를 이용하여 거리에 따른 RSSI 값을 측정하는 모습이다. (a)는 회의실에서 대각선 방향으로 이동하면서 측정하는 모습이며, (b)는 책장 등이 있는 복도를 따라 거리를 다르게 하면서 측정하는 모습이다.

<그림 4>는 Friss 및 Two-path model의 시뮬레이션 결과와 <그림 3>의 환경에서 실제 측정된 데이터를 나타낸 것이다. 2-path model은 1/4 파장 안테나를 가정하였다. 그림에서 실측데이터는 IEEE802.15.4의 2.4GHz 대역의 소자를 사용한 장치를 사용하였으며, 사무실 환경에서 동일한 위치에 대하여 10회 반복하여 얻은 값을 평균한 결과이다. Data1은 빈 회의실에서 모서리로부터 대각선 방향을 따라 측정된 Path Loss이며, Data2는 칸막이, Cabinet, 그리고 다양한 방향의 통로 등이 있는 연구실 통로에서 측정된 Path Loss이다. 실측한 값이 대략 Friss 모델에 근접한 결과를 나타내었으며, 특히 모서리 방향의 Data1은 Multi-Path 등에 의한 연속적인 변화를 잘 나타내고 있으며, Data2는 2m 이상의 거리에서 작은 거리의 변화에 대하여 신호의 세

기 변화가 심한 것으로 나타났는데 이는 복도 등의 환경이 바뀌면서 전달특성이 달라지기 때문이다.



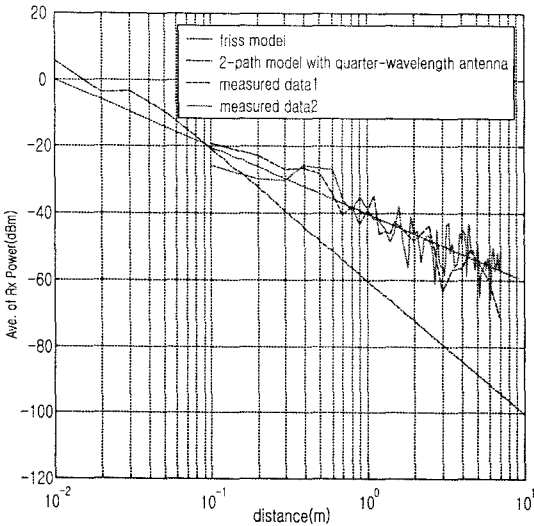
(a) 회의실에서 대각선 방향



(b) 복도 방향

<그림 3> Path Loss 실험 모습

하나의 RSSI 값에 대하여 하나의 거리 값이 대응할 수 있으면 TOA 또는 TDOA 방식을 적용하여 간단한 계산만으로 위치인식이 가능하다. 그러나 <그림 4>의 결과에서와 같이 RSSI 값과 거리 간에 일대일 대응이 어렵다. 따라서 RSSI 값을 Vector로 인식하여 DB를 검색하는 등의 Vector Matching 방식 사용으로 접근하는 것이 타당하다.



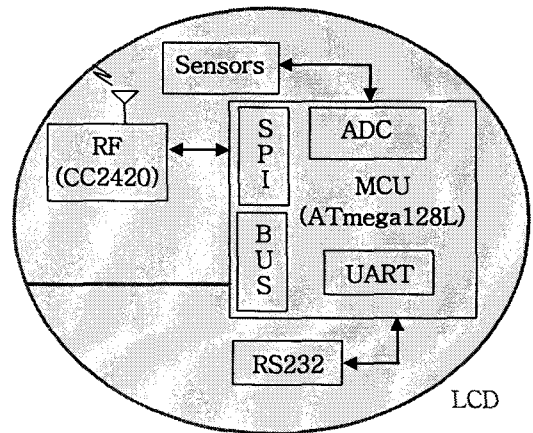
〈그림 4〉 2.4GHz 저속 WPAN Path Loss 실험 결과

4. RSSI를 이용한 Vector Matching 방식의 위치인식 실험

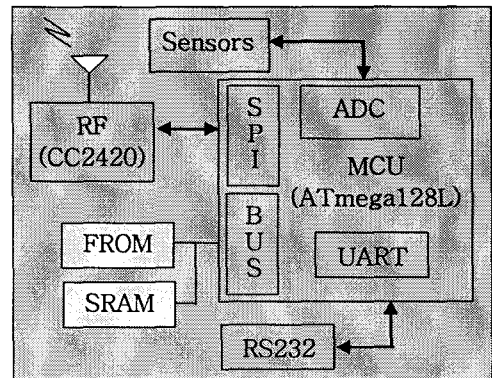
4.1 센서노드 및 센서 네트워크 구성

센서 노드는 기본적으로 센서와 프로세서와 무선통신 소자와 전원 공급 장치 등으로 구성된다. 일반적인 센서노드는 온도, 습도, 조도 등의 환경센서, 속도, 기울기, 무게, 압력 등의 물리센서, 공해 등의 화학센서 등 목표로 하는 응용에 적합한 센서를 부착한다. 본 연구에서는 다양한 응용에 사용할 수 있도록 메모리 등의 충분한 용량과 센서 부착이 용이한 센서노드와 Healthcare 용도로 사용할 수 있도록 인체에 쉽게 부착할 수 있는 손목시계 형태의 센서노드를 개발하였다. 위치인식 실험을 하는데 시계형 센서노드는 이동노드로 사용하고 일반형태의 센서노드는 고정 노드로 사용하였다. 〈그림 5〉는 이동 노드와 고정노드의 기능 블록도를 나타낸 것이다. 프로세서는 Atmel사의 Atmega128L 소자를 사용하였다. Atmega 128L은 CPU(Central Processing Unit) 기능 뿐 만 아니라 SPI(Serial

Peripheral Interface), ADC(Analog/ Digital Converter), UART (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter), Flash ROM(Read Only Memory), SRAM (Static Random Access Memory) 등의 기능을 갖고 있다. 이동 센서노드는 프로세서와 무선소자와 센서와 RS232 드라이버로 구성되어 시계형태의 외관으로 시각 정보 등을 LCD 창에 표시하는 기능을 갖도록 설계하였다. 고정 센서노드는 프로세서 외부에 Flash ROM과 SRAM 등을 추가하여 복잡한 알고리즘과 데이터 저장 기능을 갖도록 설계하였다.



(a) 이동노드

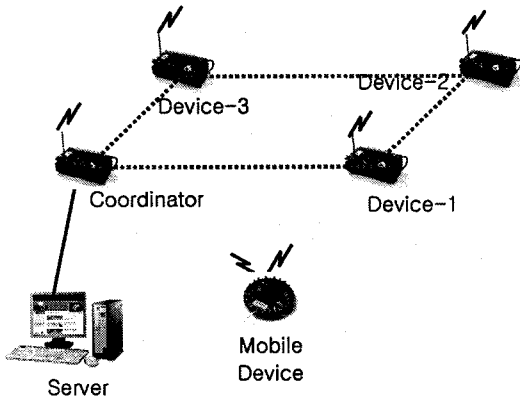


(b) 고정노드

〈그림 5〉 센서노드 구조도

4.2 위치인식 실험 환경

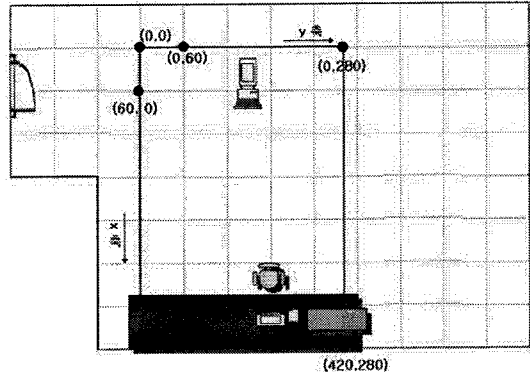
위치인식을 수행하는데 하나의 이동 노드와 4개의 고정 노드와 Server를 사용하여 <그림 6>과 같은 센서 네트워크를 구성하였다. 고정 노드 가운데 하나는 Coordinator로 설정하고 RS232로 Server와 연결하였다. 이동 노드는 주기적으로 위치인식 패킷을 전송하고, 고정 노드는 수신신호에 대한 RSSI의 값을 저장해 두고 있으며, Coordinator는 다른 고정 노드로부터 데이터를 모아서 Server로 전달한다.



<그림 6> 센서네트워크 구성도

<그림 7>은 저속 WPAN을 이용한 위치인식 실험 구성도를 나타낸 것이다. 실험실 크기는 720×480×230cm 정도이며, Active Bat 형태의 센서 노드를 사용하여 위치인식을 실험하던 환경을 활용하였다. 따라서 천정에 설치된 지지대 끝에 4개의 고정 노드를 부착하고, 실험실 전체가 저속 WPAN의 전송 능력 범위 내에 있지만 고정 노드 바로 아래에 해당하는 420(W)280(D)×210(H)cm³ 공간에서 위치 인식 실험을 수행하였다. 천정의 (x, y) 좌표 (0, 0), (0, 280), (420, 0), (420, 280) 위치에 고정 센서노드를 설치하고, (420, 280) 위치의 노드를 Coordinator 역할을 수행하게 하였다. 위치정보를 취합하는 서버는 Coordinator와

RS-232로 연결하였다. 그림에서 60cm×60cm 격자는 실내의 바닥 격자로 실측 시 길이의 기준으로 사용하였다.



<그림 7> 저속 WPAN을 이용한 위치인식 실험 구성도

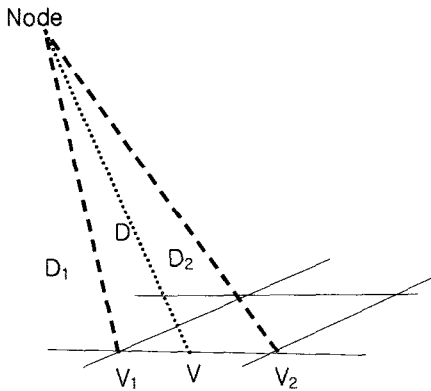
이동 노드는 실험공간에서 약 30cm 간격으로 미리 계획된 위치에서 위치인식 패킷을 전송하고, 각 고정노드는 Mobile 노드로부터 수신한 신호의 RSSI 값을 위치인식 Server로 전달한다. 각 위치에 대하여 이동노드는 1분 동안 약 500회의 측정 데이터를 Server로 전송하여 하나의 파일로 저장하였다. 각 위치에 대하여 반복시행을 수행함으로써 모두 1,050개의 데이터 파일을 생성하였다.

4.3 시뮬레이션 방식

실제 실험으로부터 생성한 파일은 정확한 위치 정보 (x, y, z)와 이동노드와 4개의 고정노드 간의 RSSI 값을 (RSSI-1, RSSI-2, RSSI-3, RSSI-4) 형태로 갖고 있다. 따라서 이들 파일의 데이터를 읽어 시뮬레이션 프로그램에서 처리하였다. 먼저 위치인식 시뮬레이션을 수행하기 위하여 각 위치에서의 여러 개의 데이터로부터 Median과 Average 등을 계산하여 Template을 생성하였다. 다음에는 실험할 데이터를 각 파일

로부터 여러 개의 데이터를 입력하여 앞에서 생성한 Template과 비교하여 Vector의 Distance를 계산하여 가장 근접한 Template의 위치를 실험데이터가 얻어진 위치로 인식하였다. Likelihood 판정에서는 Euclidean Distance를 사용하였다. 또한 측정된 값으로부터 인식할 위치를 더 상세하게 표현하기 위하여 선형내삽(Linear Interpolation) 방식으로 새로운 좌표의 RSSI 값을 추정하였다. <그림 8>은 하나의 고정 노드에 대하여 RSSI값과 거리가 알려진 두 지점으로부터 새로운 지점에 대한 값을 추정하는 선형내삽 방식을 나타낸 것으로 새로운 지점의 RSSI 값은 다음 식과 같이 얻어진다.

$$V - V_1 = \frac{V_2 - V_1}{D_2 - D_1} (D - D_1) \quad (3)$$

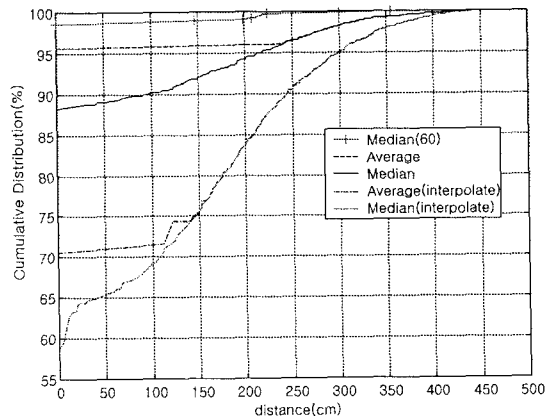


<그림 8> 선형 내삽 설명도

4.4 시뮬레이션 결과

실측한 실험데이터를 Server에 저장하고, 이 데이터의 일부를 사용하여 Template를 구성하고, 나머지 데이터는 위치인식 알고리즘을 적용한 시뮬레이션 프로그램에 사용하였다. <그림 9>는 위치인식 결과의 Cumulative Error Distribution을 나타낸 것이다. 그림의 맨 위 Median(60)은

60cm 간격으로 Template 구성 및 실험을 한 경우이다. Average의 경우 100% 일치하였으며, Median은 98% 정도 일치하였다. 다음 두 그래프는 30cm 간격으로 Template 구성 및 실험을 한 경우의 Average와 Median에 대한 것이다. 마지막 두 그래프는 30cm 간격 데이터로부터 10cm 간격으로 내삽을 실행한 다음 30cm 간격의 실험 데이터를 적용한 경우의 Average와 Median에 대한 것이다. Median 보다 Average를 적용하는 것이 좋은 결과를 보였다. 이는 측정된 RSSI 값이 동일한 값으로 안정적이지 않고 어느 정도의 범위에서 변동되고 있기 때문이다. 또한 60cm 간격, 30cm 간격, 내삽을 적용한 10cm 간격 등으로 Template 간격이 조밀할수록 Template 수가 증가함으로써 Template Vector 간에 충분히 서로 다른 특성이 반영되지 못하였기 때문에 오차가 증가하는 것으로 분석되었다. 30cm 간격으로 Template 구축 및 Test를 실행한 경우, Average는 95% 이상의 정확하였으며, 가장 작은 오차가 230cm 정도로 실제 실험 데이터의 위치와는 다른 곳의 Template와 유사한 것으로 인식되었다.



<그림 9> 위치인식 누적 오류 분포

<표 1>은 위치인식 실험 결과를 정리한 것이

다. 표에서 Avg-1/Avg-2는 평균 오차를 나타낸 것으로 Avg-1은 오류가 발생한 실험데이터에 대한 오차의 평균이며, Avg-2는 전체 실험데이터에 대한 오차의 평균이다. Template/ Test는 Template 구성 및 시뮬레이션에 사용한 실험데이터의 표본 간격을 나타낸 것이다. case-1, case-2 그리고 case-3은 각 Template 및 시뮬레이션 적용에 각각 원본 실험데이터를 사용한 경우이다. case-4, case-5 그리고 case-6은 Template 적용에 각각의 일정 간격 실험데이터를 사용하고, 내삽방식을 적용하여 최종 Template를 구성하고, 시뮬레이션 적용에 각각 원본 실험데이터를 사용한 경우이다. 표에서와 같이 case-2에서 가장 좋은 결과를 보였다. case-1과 case-3을 비교하면 동일한 Template에 실험데이터의 간격이 감소함에 따라 인식이 나빠지는 것을 알 수 있다. case-1과 case-4의 결과를 비교하면, Template 구성 간격은 동일하지만 내삽을 사용한 경우 실험데이터와 차이가 발생하면서 인식결과가 나빠졌다. case-4, case-5와 case-6을 비교하면, Template에 사용한 실험데이터의 간격이 짧을수록 좋은 결과를 나타내는 것을 알 수 있다. case-5와 case-6을 비교하면, Template 구성에 사용한 내삽 간격이 짧을수록 좋은 결과를 나타내는 것을 알 수 있다. case-1에서 case-6까지 결과를 종합하면, Template 수가 증가할수록 또는

내삽에 의한 Template 수가 증가할수록 인식 오차가 증가하는 것으로 분석된다.

5. 결 론

본 논문은 IEEE802.15.4 표준을 따르는 센서 장치를 사용하여 좁은 실내에서 사물의 위치를 인식하는 방식에 관한 것으로 RADAR 방식과 유사하게 RSSI 정보를 이용하지만 WPAN이므로 좁은 지역 및 3차원에 대하여 Vector Matching 방식을 사용하였다. 이동노드의 이동을 정지한 상황에서 실험자가 혼자서 이동한다든가 할 경우 고정노드와 이동노드간의 무선 전송경로 환경이 변하고, 따라서 고정 노드에서 수신한 이동노드의 RSSI 값이 변할 수 있다. 따라서 응용 분야도 Multi path 발생에 영향을 줄 정도의 큰 면적을 갖는 이동 물체, 즉 이동하는 사람 등이 존재하는 상황에서의 위치인식은 많은 오차를 포함할 수 있을 것이다.

본 위치인식 실험에서와 같이 Vector의 Median 값 보다 Average 값을 사용하는 것이 항상 좋은 결과를 보였다. 얻어진 Template에 선형내삽을 적용하여 Template을 더욱 상세하게 구성하는 것은 인접한 위치에 매우 유사한 Vector가 존재할 가능성이 증가하고 따라서 정확한 위치인식에 도움이 별 이득이 없다. 30cm 간격의 Template를

〈표 1〉 위치인식 시뮬레이션 결과

	Avg-1(cm)	Avg-2(cm)	Template(cm) / Test(cm)	Template Interpolation(cm)
case-1	189.93	8.37	30 / 30	
case-2	0.00	0.00	60 / 60	
case-3	145.69	4.10	30 / 60	
case-4	162.61	47.78	30 / 30	10
case-5	209.96	183.62	60 / 30	30
case-6	197.80	173.13	60 / 30	10

사용한 경우 대부분 바른 위치로 인식이 되지만 오류 발생시에는 먼 지점의 Vector와 유사한 것으로 인식되었다. 이러한 이유는 Multi path 등의 환경적 요인과 고정 노드들로부터 얻어진 RSSI Vector의 변화폭이 실험공간에서 충분히 구분할 수 있을 만큼 다양하지 못한 점에 기인하는 것으로 해석된다. 앞으로는 큰 오차로 발생하는 경우에 대한 분석과 보완 방법, 그리고 이동 노드를 이동시키면서 적응적으로 위치를 인식시키는 방식, RSSI 이외의 정보를 추가함으로써 위치 인식을 향상시키기 위한 방법 등에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE Standards, IEEE802.15.4 : Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPANs), October, 2003.
- [2] Want, R., Hopper, A., Falco, V. and J. Gibbons, "The Active Badge Location System", *ACM Transactions on Information Systems*, January 10, 1992, pp. 91-102.
- [3] Paramvir Bahl and Venkata N. Padmanabhan, "RADAR : An in-building RF-based user location and tracking system", *INFOCOM*, March, 2000, pp. 775-784.
- [4] Andreas Savvides, Chih-Chieh Han and Mani B. Srivastava, "Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Wireless Sensor Networks", *Proc. of the Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking(MobiCom)*, Rome, Italy, July, 2001, pp. 166-179.
- [5] Adam Smith, Hari Balakrishnan, Michel Goraczko, and Nissanka Priyantha, "Tracking Moving Devices with the Cricket Location System", *Proc. of MobisSYS'04*, June 2004.
- [6] Scott Y. Seidel and Theodore S. Rappoport, "914MHz path loss prediction model for indoor wireless communications in multifloored buildings", February, 2002, pp. 91-102.
- [7] The Active Badge System, <http://www.uk.research.att.com/ab.html>, 2005.
- [8] Jeffrey Hightower and Gaetano Borriello, "Location System for Ubiquitous Computing", *IEEE Computer Society*, Vol. 34, No. 8, August, 2001, pp. 57-66.
- [9] Hari Balakrishnan and etc., "Lessons from Developing and Deploying the Cricket Indoor Location System", <http://nms.lcs.mit.edu/cricket/>
- [10] Frederick Martin, Colin Lanzl, Paul Gorday, Rick Roberts, Kai Siwiak, "Recommendations of the Range Issue Subcommittee", IEEE802.15.4a 15-04-0461-02-004a-subcommittee-report-range-issue, September, 2004.

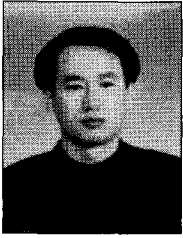
저자소개



남 윤 석

현재 동국대학교(경주캠퍼스) 공학대학 정보통신공학과 조교수로 재직 중이다. 경북대학교에서 공학박사 학위를 취득하였다. 한국전자통신연구

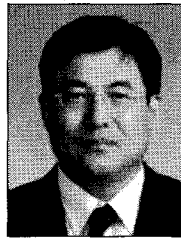
원(ETRI)에서 연구원/선임연구원/책임연구원으로 재직하였다. 주요논문으로는 ATM 트래픽 제어, FR/ATM 연동 등 다수이며, 주요 관심분야는 초고속정보통신망, 센서 네트워크, 무선 홈 네트워크 등이다.



최 은 창

현재 한국전자통신연구원(ETRI) 홈네트워크그룹 센서네트워킹 연구팀 선임연구원으로 재직 중이다. 경북대학교에서 공학 박사 과정을 수료하였다. 한국

원자력연구원에서 연구원으로 재직하였다. IEEE, ZigBee 등의 표준화 단체 등에서 IT표준전문가로 활동하고 있다. 주요 관심분야는 센서네트워크, WPAN 프로토콜, 무선 홈네트워크 등이다.



허 재 두

현재 한국전자통신연구원(ETRI) 책임연구원으로 홈네트워크그룹 센서네트워킹연구팀장을 맡고 있다. 경북대학교에서 정보통신공학박사 학위를 취득하

였다. ITU-T, IEEE, ZigBee, TTA 등의 표준화 단체 운영위원 및 의장을 맡아 국제IT표준전문가로 활동하고 있다. 주요 연구업적으로는 공중망 인터넷 게이트웨이, PON 시스템 개발 등이 있으며, 주요 관심분야는 센서네트워킹 프로토콜, 무선 QoS, 상황인지 컴퓨팅, 무선 홈네트워크 등이다.