

# 무선 센서네트워크에서 거리 식별코드를 이용한 위치인식시스템 설계 및 구현

준회원 최창용\*, 정회원 이동명\*\*

## Design and Implementation of the Localization System Using Distance Identification Code in Wireless Sensor Network

Chang Yong Choi\* Associate Member, Dong Myung Lee\*\* Regular Member

### 요 약

본 논문에서는 RSS(Received Signal Strength) 기반 무선 센서네트워크에서의 거리 식별코드를 이용한 거리측정 알고리즘(LAtu)을 제안하고 이를 기반으로 위치인식시스템을 설계 및 구현하였다. 또한 제안한 거리측정 알고리즘의 Ranging 정확도 성능과, 제안한 거리측정 알고리즘을 적용해서 개발한 위치인식시스템(System(LAtu))의 위치측정 오차 성능을 실제 위치인식 실험을 통해 IEEE 802.15.4 표준규격의 채널모델(LAieee)을 적용한 위치인식시스템(System(LAieee))과 비교분석하였다. 성능분석의 결과, Ranging 정확도의 성능은 이동모듈과 비콘모듈간의 거리(D<sub>MM-BM</sub>)가 2m의 경우는 LAtu가 IEEE 802.15.4 표준규격의 채널모델(LAieee) 보다 34%정도 더 우수하였고, D<sub>MM-BM</sub>가 5m 이상인 경우에서도 LAtu가 LAieee 보다 평균 5% 정도 더 정확하였다. System(LAtu)의 위치측정 오차 성능은 System(LAieee)에 비해 강당에서 1cm, 강의실에서 4cm 정도로 근소하게 낮았다.

**Key Words** : Localization, RSSI, Zigbee, Distance Identification Code

### ABSTRACT

The localization algorithm(LAtu) using the IDentification Code(C<sub>ID</sub>) is suggested in RSS(Received Signal Strength) based Wireless Sensor Network(WSN), and the localization system using the suggested algorithm is designed and implemented in this paper. In addition to this, the performance of ranging correction quality and localization error of the localization system(System(LAtu)) that is developed using the LAtu is analyzed and compared with that of the localization system(System(LAieee)) using the channel model of IEEE 802.15.4 standard(LAieee) by the actual experimentation. From the experimentation, the ranging correction quality is analyzed that the LAtu is highly better than the channel model of LAieee about 34% under the distance between the moving module and the beacon module(D<sub>MM-BM</sub>) is 2m, and is also a few better than that of the LAieee about average 5% under the D<sub>MM-BM</sub> is above 5m. The localization error quality of the System(LAtu) is lower than that of the System(LAieee) about 1cm under the lecture room and 4cm in the large lecture room.

### 1. 서 론

무선 센서네트워크 기술은 유비쿼터스 컴퓨팅 분

야의 핵심기술 중 하나이다. 유비쿼터스 사회에서 '보이지 않는 기술'을 구현하는 핵심 요소로서 무선 센서모듈들은 작은 범위 내에서 동작하면서 유비쿼

\* 동명대학교 컴퓨터공학과 모바일기술연구실 (bigboycg@nate.com)

\*\* 동명대학교 컴퓨터공학과 (dmlee@tu.ac.kr) ( : 교신저자)

논문번호 : KICS2009-06-251, 접수일자 : 2009년 6월 25일, 최종논문접수일자 : 2009년 7월 24일

터스 컴퓨팅환경에서 사람과 컴퓨터 사이에 중개자로서의 역할을 수행한다.<sup>[1]</sup> 이러한 무선 센서네트워크(Wireless Sensor Network: WSN)의 급속한 발달에 따라 위치기반서비스(Location Based Service: LBS)의 응용분야가 최근 많은 주목을 받고 있다.

위치기반서비스의 구현에는 다양한 통신 방식을 이용한 위치인식 기술이 적용되고 있다. 그 예로서 GPS 위성을 이용한 자동항법장치 및 이동통신망 기반의 다양한 위치기반서비스는 이미 생활의 일부분으로 자리매김하고 있다.<sup>[2]</sup> GPS와 같은 광역 위치인식 기술은 실제로 사람들이 생활하는 공간에서의 정밀한 위치인식 서비스를 제공하지 못한다. 무선 센서네트워크를 이용한 근거리 위치인식 기술의 경우에는 방식에 따라 차이는 있지만 최고 수 cm 이내의 정확도를 가지기 때문에 이러한 특성은 유비쿼터스 사회를 위한 위치인식 기술로 적합하다고 할 수 있다.<sup>[3-6]</sup>

본 논문에서는 RSS(Received Signal Strength) 기반 무선 센서네트워크에서의 거리측정 알고리즘(LAtu)을 제안하고 이를 적용하여 위치인식시스템(System(LAtu))을 설계 및 구현하였다. 또한 제안한 거리측정 알고리즘을 사용하여 이동모듈과 비콘모듈 간의 거리(D<sub>MM-BM</sub>)에 대한 Ranging 정확도 성능과, 제안한 거리측정 알고리즘을 적용해서 개발한 위치인식시스템(System(LAtu))의 위치측정 오차 성능을 실제 위치인식 실험을 통해 IEEE 802.15.4 표준규격의 채널모델(LAieee)을 적용한 위치인식시스템(System(LAieee))과 비교분석하였다.

## II. 관련연구

가장 널리 사용되는 위치인식시스템의 방식으로는 Zigbee, 초음파, UWB, Bluetooth 등이 있다.

Zigbee는 IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 만든 저전력과 저가격을 지향하는 저속 근거리 개인 무선통신의 국제 표준규격으로 전력소모가 적고 칩셋 가격이 저렴하며 통신의 안정성이 높아 최근 가장 급속한 발전을 하고 있는 기술 중 하나이다.

초음파 방식의 실내 위치인식시스템으로는 AT&T의 Active Bat<sup>[7]</sup>, MIT의 Cricket<sup>[8]</sup>, UCLA의 Medusa<sup>[9]</sup> 등이 있다. RF(Radio Frequency)와 초음파를 사용한 시스템은 초음파가 RF보다 전송속도가 상대적으로 매우 느리다는 특성을 이용하며 초음파의 전파 지연시간을 거리로 환산하는 방식으로 거리를 측정한다. 이 방식은 비교적 정확도가 높지만 초음파 송

수신 장치가 추가적으로 필요하므로 고가의 인프라 설치비용이 들고, 너무 저속이어서 비효율적이다.

UWB(Ultra Wide Band)<sup>[10]</sup>는 단거리 구간에서 저전력으로 넓은 대역의 주파수를 통해 많은 양의 데이터를 전송하는 기술로 투과력이 우수하고 음영 지역에서도 사람이나 사물의 위치를 파악할 수 있기 때문에 정확도가 높다. 약 50m 정도까지 신호가 도달해 위치인식 범위가 넓으나 UWB의 대역이 대부분의 국가에서 이미 다른 용도로 사용 중이므로 간섭 문제가 존재한다.

Bluetooth는 100m 이내의 단거리 구간에 음성 및 데이터전송을 위한 무선통신 표준으로 저가의 인프라의 설치비용이 드는 장점은 있지만 송수신 지연(Latency)이 커서 이동환경에서의 위치 정확도가 떨어진다.

## III. 위치인식시스템 설계 및 구현

### 3.1 시스템 설계 방향

본 위치인식시스템의 설계에 있어서 가장 중점적으로 고려한 사항은 다음과 같다.

- 센서 모듈간 거리 측정 알고리즘

센서모듈간 거리측정을 위해서 먼저 이동모듈이 비콘모듈로부터 수신한 RSSI 값의 측정 방법은 상호간의 거리를 몇 개의 그룹으로 나누어 그룹별 측정치를 효과적으로 산출하도록 하였다.

- 성능 실험을 위한 무선 센서네트워크 구성

제안하는 거리측정 알고리즘의 성능실험을 위해 무선 센서네트워크를 이동모듈, 비콘모듈, 싱크모듈로 구성하였다.

- 센서모듈간 통신 프로토콜 방식

비콘모듈에서 브로드캐스팅 방식으로 전송하는 신호의 신호충돌 회피 알고리즘과 이동모듈에서 RSSI 값을 수집하여 싱크로 전송하는 프로토콜을 구현하였다.

- 모니터링 시스템

RSSI 값을 이용해 이동모듈의 위치를 측정하고, 측정된 위치를 GUI 방식으로 실제 위치 및 인식된 위치 표시, 실제 위치와 인식위치의 오차 표시, 수신된 RSSI 값 출력 및 실제 위치 입력 창을 표시한다.

### 3.2 센서 모듈간 거리 측정 알고리즘

#### 3.2.1 알고리즘 제안 배경

본 논문에서 센서모듈간 거리 측정 알고리즘을 제시하기 위해서 먼저 실험적으로 한 개의 이동모듈과 5개의 비콘모듈을 사용하여 이동모듈과 비콘모듈간의 거리( $D_{MM-BM}$ )별 RSSI 값을 20여번 수행하였다. 실험 결과에 의하면 그림 1과 같이  $D_{MM-BM}$ 가 2m 이내일 경우에는 RSSI 값의 변화를 볼 수 있으나, 2~3m, 4~5m의 경우에는 RSSI 값의 변화를 볼 수 없음을 알 수 있다. 그리고 3~4m의 경우는 4m에서 측정된 RSSI 값 중 약 1/3이 3m에서 측정된 RSSI 값과 겹쳐 RSSI 값의 변화를 확실하게 인지하기가 어려움을 알 수 있다. 그림 1에서 사용된 비콘모듈 이외의 다른 비콘모듈 4개의 경우에서도  $D_{MM-BM}$ 별 RSSI 측정값은 사용한 비콘모듈에 따라 다르게 나옴을 확인하였다.

센서 모듈간 거리 측정을 하기 위해서는 먼저 RSSI 값을 측정하여야 하는데 사용한 방법은 첫째,  $D_{MM-BM}$ 가 1m이내의 경우는 비콘모듈을 10cm씩 이동시켜 20cm, 30cm ... 100cm까지 RSSI 값을 측정하는 방법이고, 둘째, 1m~5m의 경우는 1m씩 이동시켜 1m~5m까지 RSSI 값을 측정하는 방법이다. 그리고 측정된 RSSI 값을 분석하여 상기의 두 가지 방법을 고려한 거리측정 함수를 개발하였다. 이와 같이 두 가지 거리측정 함수를 개발 한 이유는 먼저 전파의 수신감도가 환경에 민감해서 동일한 거리에서 여러 개의 비콘모듈에서 측정된 RSSI 값들이 동일하지 않기 때문이다. 또한  $D_{MM-BM}$ 가 1m 이내의 경우에는 RSSI 값의 변화가 이동모듈과 비콘모듈의 거리에 비례하나, 1m~5m인 경우에는 RSSI 값의 변화가 이동모듈과 비콘모듈의 거리에 비례하지 않기 때문이다.

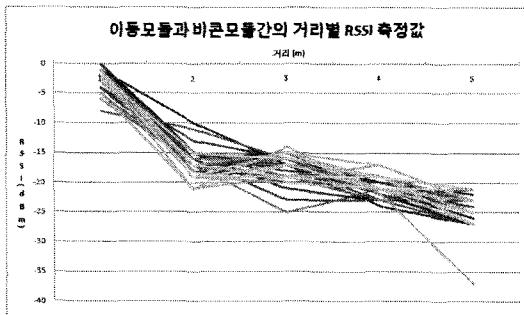


그림 1. 이동모듈과 비콘모듈간의 거리별 RSSI 측정값

#### 3.2.2 거리측정 알고리즘 설계

본 논문에서 설계한 거리측정 알고리즘(LAtu)은 그림 2와 같다. 거리측정 함수  $C_{ID}(RSSI)$ 는 그림 2에서 보는 바와 같이  $D_{MM-BM}$ 를 구분하는 식별코드(CID : Identification Code)를 구하는 함수인데, 식 (1)은  $D_{MM-BM}$ 가 1m 이내인 경우에 적용되고, 식 (2)는  $D_{MM-BM}$ 가 1m~5m인 경우에 적용된다. 식 (1)의 경우는 RSSI 값이 양수이기 때문에 큰 값일수록  $D_{MM-BM}$ 가 근접한 경우이고 반대로 작은 값일수록 그 거리가 먼 경우이다. 식 (2)의 경우는 RSSI 값이 음수이기 때문에 식 (1) 경우와 반대의 결과가 산출된다. 따라서 식 (1)의 경우  $C_{ID}(RSSI)$ 가 2일 때 측정된 거리는 0~40cm, 1일 때 40~70cm, 0일 때 70~100cm으로 산출된다. 식 (2)의 경우  $C_{ID}(RSSI)$ 가 0일 때 측정된 거리는 1m 이내, 1일 때 1~3m, 2일 때 3~5m로 산출된다. 이때, 식 (1)에 사용된 변수들의 값은  $M_d$ 은 0.3,  $G$ 는 0.33을 사용하였고, 식 (2)에 사용된 변수들의 값은  $R_{max}$ 는 5,  $M_d$ 은 2를 사용하였다.

$C_{ID}(RSSI)$ 를 이용해 상기의 거리를 산출한 근거는 20여개의 거리별 RSSI 값 측정데이터의 분석에 의한 것이다. 그리고 식 (1)과 식 (2)에 사용된 변수의 값들도 거리별 RSSI 값 측정데이터를 기반으로 산출된 것인데, 식 (1)에서 사용된 변수  $G$ 의 값은 거리별로 측정된 RSSI 값의 기울기 평균이다. 식 (2)의  $R_{max}$ 는 5m 이후에서는 RSSI 값의 변화가 적어 거리를 인식할 수 없기 때문에 최대 거리인 5m를 변수 값으로 사용하였다. 또한  $D_{MM-BM}$ 이 1m 이내이면  $RSSI > 0$ 인 근거는 실험데이터의 분석에서 RSSI 값이 0을 기점으로 90~100cm의 거리가 산출되었기 때문이다.

거리 식별코드에 대한 거리 값은 그림 2와 같이

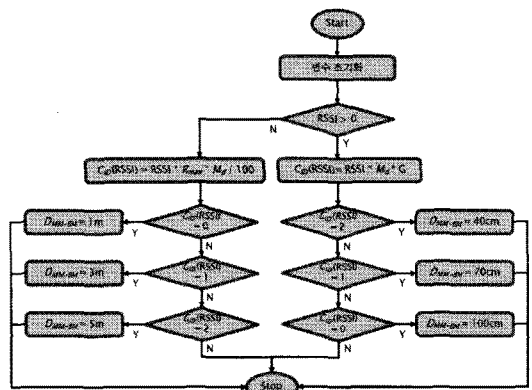


그림 2. 위치인식 거리측정 알고리즘

거리별 RSSI 값을 식 (1)과 식 (2)를 이용해 거리 식별코드를 구하여 각 거리에 맞는 식별코드를 거리 값으로 환산하여 구한다.

$$C_{ID}(RSSI) = RSSI * M_d * G, D_{MM-BM} < 1m \quad (1)$$

$$C_{ID}(RSSI) = RSSI * R_{max} * M_d / 100, 1m < D_{MM-BM} < 5m \quad (2)$$

여기에서

$C_{ID}(RSSI)$  : 이동모듈과 비콘모듈간의 거리 식별 코드에 의한 거리측정 함수

$M_d$  : 거리측정을 위한 이동모듈-비콘모듈간 기본 거리단위(m)

$G$  : RSSI 값의 기울기(Degree)를 100으로 나눈 값

$R_{max}$  : 최대거리 측정 구간(m)

$RSSI$  : RSSI 값(dBm)

$D_{MM-BM}$  : 이동모듈과 비콘모듈간의 거리(cm)이다.

### 3.3 무선 센서네트워크 구성

무선 센서네트워크는 그림 3과 같이 NANO-24 하드웨어를 사용하는 싱크, 비콘모듈 및 이동모듈들이 서로 센서 네트워크로 연결되며 모니터링 시스템은 센서 네트워크에 싱크와 접속되어 이동모듈의 위치를 파악한다.

적용한 센서 네트워크는 비콘모듈의 신호를 이동모듈이 수신하여 바로 싱크에게 전달하는 체계로, 각 모듈간의 통신 방식은 국제 표준규격인 IEEE 802.15.4를 적용하였다.

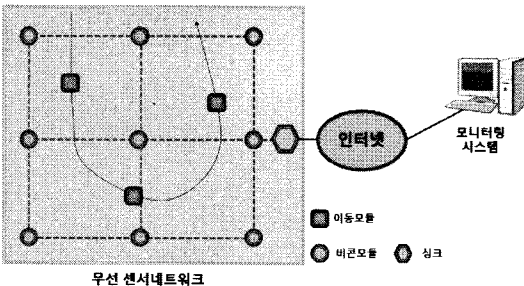


그림 3. 무선 센서네트워크 구성

### 3.4 센서 네트워크의 모듈간 프로토콜

센서 네트워크의 모듈간 프로토콜 동작과정은 다음과 같이 진행된다.

- ① 비콘모듈은 3초에 한 번씩 자신의 ID와 패킷 타임을 담은 신호를 브로드 캐스팅한다. 이때 신호

충돌 현상을 피하기 위해 1~3초의 랜덤 백오프를 가지게 되는데 3초에 한 번씩 전송하기 위해 1초의 백오프를 가지게 되면 2초간 슬립모드(Sleep Mode)에 들어가게 된다. 이와 같은 방법으로 신호충돌 현상을 줄이고 3초에 한 번씩 신호를 브로드캐스팅하게 된다.

- ② 이동모듈은 비콘모듈이 브로드 캐스팅한 신호를 수신하면 측정된 RSSI 값을 레지스터에서 읽어 비콘모듈의 ID로 구분하여 비콘모듈별로 RSSI 값과 ID를 버퍼에 저장하여 3초에 한 번씩 싱크로 전송한다.
- ③ 싱크는 수신된 RSSI 값을 ID별로 소켓 통신을 통해 모니터링 시스템으로 전송한다.

### 3.5 RSSI 값 분류 기법

RSSI 값 수집 및 분류 기능은 이동모듈의 MAC 계층에서 이루어진다. NANO-24 모듈의 CC2420 칩셋은 신호를 수신하면 자동적으로 RSSI 값을 CC2420 칩셋 내의 Configuration Registers의 RSSI에 RSSI\_VAL이란 이름으로 저장된다.

이렇게 저장된 RSSI 값을 MAC 계층에서 RSSI 값을 레지스터로부터 읽어 오는 함수를 이용해 비콘모듈의 신호를 수신함과 동시에 읽어 비콘모듈의 ID별로 RSSI 값을 저장하도록 하였다.

RSSI 값을 저장하는 버퍼는 비콘모듈에서 송신하는 여러 개의 RSSI 값을 저장할 수 있도록 2차원 배열 형태로 구성된다. RSSI 값이 버퍼에 저장되는 순서는 신호의 도착 순서이며, 수신된 신호의 ID가 이미 버퍼에 저장된 ID와 동일한 경우는 저장된 ID의 RSSI 값 다음 위치에 저장되게 된다.

이와 같은 방식으로 분류된 RSSI 값은 이동모듈의 어플리케이션이 요청하면, 배열로 이루어진 버퍼와 버퍼에 저장되어 있는 RSSI 값의 개수를 나타내는 카운터를 전달한다. 이 카운터는 ID당 RSSI 값의 개수가 동적으로 변동하더라도 정확하게 그 값을 나타낸다.

### 3.6 모니터링 시스템

모니터링 시스템은 거리측정 함수를 이용해 측정된 거리를 삼각법을 통해 이동모듈의 위치를 실시간으로 인식하여 GUI방식으로 화면에 출력하는 시스템이다.

세부적인 모니터링 시스템의 기능은 1) 소켓 통신으로 RSSI 값 수신 부문, 2) 위치를 인식하는 Triangulation 부문, 3) 인식된 위치를 화면상에 보

여주는 Draw 부분의 3부분으로 나누어진다.

RSSI 값 수신 부분은 소켓 통신으로 ID별 RSSI 값을 수신하여, 3개 이상의 ID별 RSSI 값이 들어왔을 때만 Triangulation 부분으로 넘겨진다.

Triangulation 부분은 RSSI값을  $LA_{tu}$ 를 이용해 비콘모듈 ID별로 거리 값으로 변환한 뒤, 삼각법을 이용해 위치를 인식하게 되는데 위치인식에는 수신된 모든 RSSI 값이 사용된다. 삼각법을 이용해 위치를 인식하는 과정은 다음과 같다.

- ①  $LA_{tu}$ 를 이용해  $D_{MM-BM}$ 를 계산한다.
- ② 다수의  $D_{MM-BM}$ 를 3개씩 중복되지 않는 경우의 수대로 묶어 삼각법을 이용해 경우의 수만큼의 위치좌표를 구한다.
- ③ 이때, 삼각법을 이용해 위치좌표를 구하는 과정에서 유일한 근이 존재하지 않게 되는데 세 원을 원의 방정식을 이용해 6개(원 1, 2의 교점 2개, 원 1, 3의 교점 2개, 원 2, 3의 교점 2개)의 교점을 구하고, 두 원(원 1, 2)의 교점을 구하는데 사용되지 않은 나머지 원(원 3)의 범위에 들어 있는 교점인 중심교점을 3개를 구하여, 남은 나구해진 3개의 중심교점을 삼각형의 무게 중심을 구하는 방식을 이용해 위치좌표를 구한다.
- ④ 이렇게 구해진 다수의 위치좌표를 x, y별 평균값을 이동모듈의 위치로 인식하게 된다.

Draw 부분은 인식된 위치를 그래픽 화면으로 표시하는 기능으로 비콘모듈의 위치와 실제 이동모듈의 위치를 같이 표시하게 된다.

#### IV. 실험 및 평가

##### 4.1 실험환경 및 실험 항목

위치인식시스템의 실험은 먼저 RSSI 값을 측정 및 수집한 후 이를 근거로 설계한  $LA_{tu}$ 를 적용하여  $D_{MM-BM}$ 별 정확도를 산출하였다. 그리고 실제 실험 환경에서 설계한  $LA_{tu}$ 와 삼각법을 적용하여 위치인식 오차를 측정하는 실험을 하였다.

위치인식시스템 실험은 본 대학교의 정보통신대학 건물의 복도, 강의실 및 산학협력관 강당에서 LOS(Line of Sight)환경에서 실시되었다.  $D_{MM-BM}$ 별 정확도 산출은 각 거리를 1m 간격씩 설정하여 최대 10m까지 범위를 정하여 실시되었다. 그림 4와 같이 위치인식 오차율 측정 실험에서 비콘모듈은 6m×6m의 공간에 가로 3개, 세로 3개씩 총 9개를 각각 3m의 거리를 두고 격자 모양으로 배치되었다.

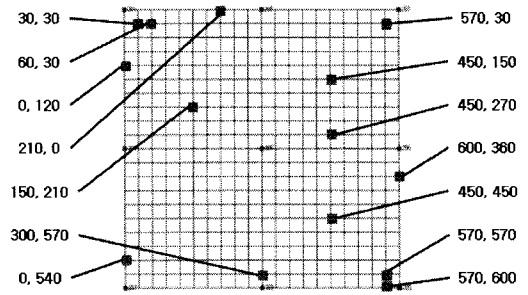


그림 4. 비콘모듈 배치도 및 위치인식 지점

위치인식 오차율 측정 실험을 위해서 임의의 실험 위치 14곳을 선정하고, 각 위치에서 25개씩의 실험 데이터를 수집하였다.

성능분석에 있어서 먼저, 본 논문의 3장에서 제안한 거리측정 알고리즘( $LA_{tu}$ )과 IEEE 802.15.4 표준규격의 채널모델( $LA_{ieee}$ )의 Ranging 정확도를 비교하고, 그 다음 실제 실험환경에서 본 논문에서 제안한  $LA_{tu}$ 를 적용해서 개발한 위치인식시스템( $System(LA_{tu})$ )과 IEEE의 채널모델을 적용한 위치인식시스템( $System(LA_{ieee})$ )의 오차 성능을 비교하였다.

IEEE에서 정의되어 있는 채널모델은 식 (3)과 같다.<sup>[11]</sup> 식 (3)에서 8m는 FCC에서 언급하고 있는 측정 방식으로 주변에 아무런 장애물이 없는 트린 공간에서 지상 1m 높이 위에서 측정할 때, 반사파가 생기지 않는 최대 거리로 식 (3)은 8m까지는 LOS 임을 의미한다.

$$d = 10 \frac{P_t - P_r - 40.2}{20} \text{ for } d < 8\text{m} \quad (3)$$

여기에서

$d$  : 이동모듈과 비콘모듈의 거리(m)

$P_t$  : 전송 신호 세기(dBm)

$P_r$  : 수신 신호 세기(dBm)

이다.

##### 4.2 실험 결과 및 분석

###### 4.2.1 Ranging 정확도

Ranging 정확도에 대한 성능은 그림 5와 같이 복도, 강의실 및 산학협력관 강당 3곳 모두 본 논문에서 제시한  $LA_{tu}$ 가  $LA_{ieee}$  보다 더 좋음을 알 수 있다.

즉,  $D_{MM-BM}$ 가 2m일 때, Ranging의 정확도(복도)는 그림 9에서 보는 바와 같이  $LA_{tu}$ 가 83%로,  $LA_{ieee}$ 의 49%로 보다 34% 더 좋음을 알 수 있었

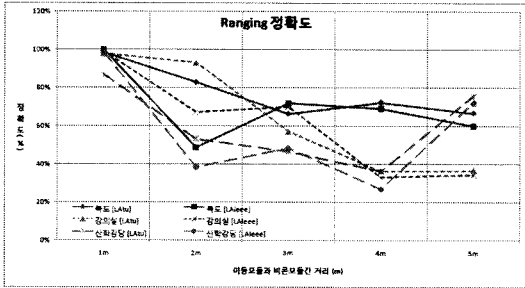


그림 5. 이동모듈과 비콘모듈간 거리별 Ranging 정확도

표 1. DMM-BM별 RSSI 값의 측정 범위

DMM-BM	LAtu (dBm)	LAieee (dBm)	비고
2m	-5~-14	-10~-13	LAtu가 우수
3m	-15~-21	-14~-22	LAieee가 우수

다. 강의실에서의 실험결과는 LAtu가 93%, LAieee가 67%로 26%가 더 좋았고, 강당에서의 실험결과는 LAtu가 53%, LAieee가 38%로 15% 더 좋음을 알 수 있었다. 복도의 경우 실험결과는 전체적으로 2m인 경우에 Ranging의 정확도가 가장 우수하였고, DMM-BM가 3m의 경우만 LAtu가 LAieee 보다 성능이 1%~15% 정도 더 저하됨을 알 수 있었다.

이와 같이 DMM-BM가 2m에서는 LAtu가 LAieee 보다 성능이 매우 우수하고, 3m에서는 LAtu가 LAieee 보다 다소 성능이 나쁜 결과를 초래한 이유는 LAtu와 LAieee 두 가지의 거리측정 알고리즘을 이용해 거리를 계산할 때 각각 DMM-BM에 대한 RSSI 값의 범위가 표 1과 같이 다르기 때문이다. DMM-BM가 2m인 경우는 LAtu가 LAieee 보다 RSSI 값의 범위가 더 크고, DMM-BM가 3m인 경우는 LAtu가 LAieee 보다 오히려 RSSI 값의 범위가 작기 때문에 발생한 것으로 판단된다.

4.2.2 실제 실험에 의한 위치인식 오차 결과

본 논문에서 설계한 System(LAtu)와 IEEE의 채널모델을 적용한 System(LAieee)의 오차 성능을 실제 실험환경에서 강의실 및 강당에서 측정한 실험결과는 그림 6 및 그림 7과 같다. 위치인식시스템의 오차를 비교분석 해 본 결과, 대체적으로 본 논문에서 개발한 System(LAtu)는 System(LAieee) 보다 위치인식 지점 (0, 120)에서 0.18m, (600, 360)에서 0.16m, (570, 600)에서 0.17m 등으로 다소 오차율이 높게 나오나, 큰 차이는 없음을 알 수 있었고,

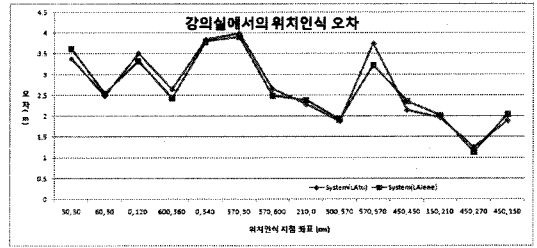


그림 6. 강의실에서의 위치인식 오차 비교

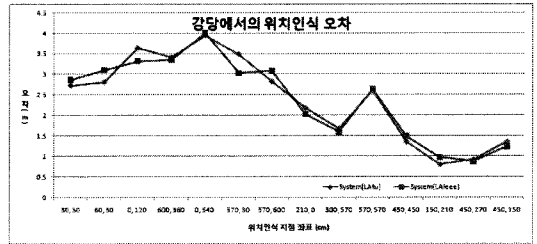


그림 7. 강당에서의 위치인식 오차 비교

대부분의 경우 두 가지 경우의 시스템은 각 위치에서의 오차의 생성 패턴이 동일함을 알 수 있었다.

System(LAtu)는 14개의 위치인식 지점 중 오차가 System(LAieee) 보다 낮은 곳이 7개 위치이고, 반대로 System(LAtu)가 System(LAieee) 보다 높은 곳이 7개 위치로 확인되어 위치인식시스템에서 위치인식 성능은 큰 차이가 없는 것으로 분석된다.

그림 8은 각 위치인식 지점에서 System(LAtu)의 오차 값에서 System(LAieee)의 위치인식 오차 값을 뺀 결과를 그래프로 표시 한 것이다. 위치인식 오차의 결과가 양수의 값인 경우는 System(LAieee)의 성능이 좋은 것을 의미하고, 반대로 음수의 값인 경우는 System(LAtu)의 오차 성능이 좋은 것을 의미한다.

그림 8에서 비콘모듈 201과 비콘모듈 209에 근접한 위치인식 지점인 (30, 30), (30, 60), (570, 570), (570, 600)을 제외하면 System(LAtu)는 비콘모듈이 배치된 곳의 중심지역인 위치인식 지점 (150,

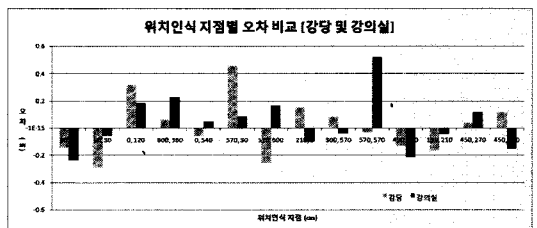


그림 8. 위치인식 지점별 오차 비교 (강의실 및 강당)

표 2. 강의실 및 강당의 전체 오차 평균

	System (LAtu)	System (LAieee)	전체 오차 평균의 차이
강의실	2.69m	2.65m	0.04m
강당	2.40m	2.39m	0.01m

210), (450, 150), (450, 450)에서 System(LAieee)에 비해 15cm 이상 의 위치인식 정확도를, 반대로 System(LAieee)의 위치인식시스템은 비콘모듈이 배치된 곳의 외곽 지역인 위치인식 지점 (0, 120), (570, 30), (600, 300)에서 System(LAtu)에 비해 15cm 이상의 위치인식 정확도를 보이고 있다.

이러한 결과는 Ranging 정확도에서 알 수 있듯이 System(LAtu)는 System(LAieee)에 비해  $D_{MM-BM}$ 가 2m에서는 높은 정확도를, 3m에서는 낮은 정확도의 결과에서 기인한 것으로  $D_{MM-BM}$ 가 3m인 비콘모듈이 배치된 외각부분보다  $D_{MM-BM}$ 가 2m인 중심부분에서 System(LAieee)에 비해 오차가 낮게 나오는 것으로 판단되어, 본 논문에서 실험장소의 크기 문제로 비콘모듈간의 거리를 3m로 하였는데 이를 5m로 늘리면 System(LAtu)이 System(LAieee)보다 위치인식정확도가 높아질 것으로 판단된다.

강의실과 강당의 위치인식 지점 전체의 오차 평균 표 2와 같다. System(LAtu)와 System(LAieee)의 전체 오차 평균의 차이는 강의실이 0.04m, 강당이 0.01m로 거의 비슷한 성능을 보인다. 이와 같은 결과로 볼 때 LAtu의 성능이 LAieee 보다 좋다고 판단되는데, 그 이유는 전체적인 Ranging 정확도는 LAtu가 LAieee 보다 더 높은 정확도를 보이며, 위치인식 정확도는 1cm, 4cm의 차이로 LAtu 보다 LAieee가 더 좋게 나오나 미터 단위의 정확도의 실험에서는 무시 할 수 있는 정도이기 때문이다. 또한 LAtu에 실험을 통해 구해진 일반적인 변수 값을 실제 실험환경에 맞게 적용하면 각 환경별로 좀 더 정확한  $D_{MM-BM}$ 를 측정하여 보다 나은 위치인식 정확도를 가질 수 있을 것으로 판단된다.

### V. 결 론

본 논문에서는 RSS 기반 무선 센서네트워크에서의 거리측정 알고리즘인 LAtu를 제안하고 이를 기반으로 위치인식시스템(System(LAtu))을 설계 및 구현하였다. 제안한 LAtu의 Ranging 정확도(복도 경우는  $D_{MM-BM}$ 가 3m일 경우를 제외한 모든  $D_{MM-BM}$ 에

서 LAtu가 높은 Ranging 정확도를 보여 LAtu가 LAieee 보다 우수함을 알 수 있었다.

실제 위치인식 실험에 의한 System(LAtu)의 성능은 System(LAieee) 보다 위치인식 지점 (0, 120)에서 0.18m, (600, 360)에서 0.16m, (570, 600)에서 0.17m 등으로 다소 오차율이 높게 나오나, 큰 차이는 없음을 알 수 있었고, 대부분의 경우 두 시스템은 각 위치에서의 오차의 생성 패턴이 동일함을 알 수 있었다. 결과적으로 System(LAtu)와 System(LAieee)의 전체 오차 평균의 차이는 강당이 1cm, 강의실이 4cm로 거의 비슷한 성능을 보여 위치인식의 정확도는 동일하다고 볼 수 있다.

향후 무선 센서네트워크에서의 위치인식시스템의 성능개선을 위하여 이동모듈이 비콘모듈로부터 일정한 개수의 신호를 받아 RSSI 값을 선별적으로 선정해 위치를 인식하는 알고리즘을 적용한 결과를 분석한 후, 지금의 결과와 비교할 예정이다. 또한 IEEE802.15.4a 표준의 CSS(Chirp Spread Spectrum) 방식으로 좀 더 정확한 위치인식시스템을 개발할 필요성이 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] M. Weiser, "The Computer for the 21st Century," *Scientific American*, pp.94-104, September 1991.
- [2] 조영수, 조성윤, 김병주, 이성호, 김재철, 최완식, "실내의 연속측위 기술 동향", 한국전자통신연구원, 전자통신동향분석, 22권 3호, pp.20-28, 2007. 6.
- [3] 박옥선, 정광렬, 김성희, "유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 위치인식 기술 및 시스템," 정보통신연구진흥원, 주간기술동향(1098호), pp.11-21, 2003. 6. 4.
- [4] 김재호, 김영섭, 박옥선, 김성희, "유비쿼터스 위치기반 서비스 및 위치인식시스템 연구 동향", 정보통신연구진흥원, 주간기술동향(1127호), pp.1-15, 2003. 12. 24.
- [5] 김학용, 김성덕, 서동길, 지정강, 장현태, "근거리 위치추적 기술 동향", 정보통신연구진흥원, 주간기술동향(1322호), pp.1-12, 2007. 11. 14.
- [6] 남윤석, 최은창, 허재두, "저속 WPAN에서 수신 신호제거의 Vector Matching을 이용한 위치인식 방식," 한국데이터베이스학회, 정보기술과 데이터베이스 저널 제12권 제4호, pp.93-104, 2005. 12.

- [7] A. Ward, A. Jones, and A. Hopper, "A New Location Technique for the Active Office," *IEEE Personal Communications*, Vol.4, No.5, pp.42-47, October, 1997.
- [8] N.Priyantha, A. Chakraborty, H. Balakrishnan, "The Cricket Location-Support System," Proc. 6th int'l Conf. on Mobile Computing and Networking(Mobicom 2000), pp.32-43, 2000.
- [9] A. Savvides, C. C. Han, and M. B. Srivastava, "Dynamic fine-grained localization in ad-hoc Networks of sensors," *Proc. MobiCom 2002*, Rome, Italy, July, 2001.
- [10] Gresham, I. et al., "Ultra-Wideband Radar Sensors for Short-Range Vehicular Applications," *Invited Paper*, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol.52, No.9, pp.2105-2122, September 2004.
- [11] IEEE Std, IEEE802.15.4 : Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LRWPANs), pp.266, October, 2003.

최창용 (Chang-yong Choi)

준회원



2008년 2월 동명대학교 컴퓨터공학과  
2008년 3월~현재 동명대학교 컴퓨터공학과 석사과정  
<관심분야> 센서네트워크, 위치인식, LBS, Flex

이동명 (Dong-myung Lee)

정회원



1982년 3월 숭실대학교 전자계산학과(학사)  
1990년 3월 숭실대학교 전산공학과(석사)  
1997년 8월 숭실대학교 전자계산학과(박사)  
1982년 3월~2000년 2월 한국전자통신연구원 연구원, 선임연구원, 책임연구원  
2000년 2월~현재 동명대학교 컴퓨터공학과 교수  
<관심분야> 이동통신시스템, 센서네트워크