[UCI]I804:24011-200000256853

2 0 1 1 년 2월

석사학위논문

이동노드의 RSSI를 활용한 실내 위치 인식 시스템 개발

조선대학교 대학원

정보통신공학과

김 일 영

2012년 2월 석사학위논문

이동노드의 RSSI를 활용한 실내 위치 인식 시스템 개발

김 일 영

이동노드의 RSSI를 활용한 실내 위치 인식 시스템 개발

Indoor location-aware system development using RSSI of mobile node

2012년 2월 24일

조선대학교 대학원

정보통신공학과

김 일 영

이동노드의 RSSI를 활용한 실내 위치 인식 시스템 개발

지도교수 최 광 석

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함

2011년 10월

조선대학교 대학원

정보통신공학과

김 일 영

김일영의 석사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 변 재 영 印

위 원 조선대학교 교수 최 광 석 印

위 원 조선대학교 교수 권 구 락 印

2011 년 11 월

조선대학교 대학원

목 차

1. 서론 ····· 1
1.1 연구배경 ····· 1
1.2 연구 목적 및 구성 ····· 2
1.3 대표적 위치 인식 시스템 ····· 3
1.4 실내 위치 인식 시스템 ····· 5
1.4.1 적외선을 이용한 위치 인식 시스템 ····· 5
1.4.2 Vision을 이용한 위치인식 시스템 ····· 6
1.4.3 초음파 신호를 이용한 위치 인식 시스템 ····· 6
1.4.4 RFID를 이용한 실내 위치 인식 시스템 ····· 7
1.4.5 UWB를 이용한 실내 위치 인식 시스템 ····· 8
1.5 위치 인식 기법 ····· 9
1.5.1 RSSI(Received Signal Strength Indication) ····· 9
1.5.2 AOA(Angle of Arrival) ····· 11
1.5.3 TOA(Time of Arrival) ····· 12
1.5.4 TDOA(Time Difference of Arrival) ····· 13
1.6 Zigbee ····· 14
1.7 삼각 측량 기법 ····· 16
1.8 Fingerprint 기법 ····· 17
1.9 칼만 필터 (Kalman Filter) ····· 18
2. 제안하는 실내 위치 인식 시스템 ····· 20
2.1 기존 RSSI 값 측정의 문제점 ····· 20
2.2 RSSI의 잡음 제거 ····· 20
2.2.1 재귀식을 이용한 잡음 제거 ····· 20
2.3 EKF(Extended Kalman Filter)를 이용한 위치 인식 알고리즘 ····· 22
2.3.1 EKF 개요 ····· 22
2.3.2 EKF의 위치 인식 알고리즘 ····· 24
2.4 이동 노드의 RSSI 수신 범위를 활용한 노드선택 방식 제안 ····· 27
3. 실험 환경 및 결과 ····· 29
3.1 실험 환경 ····· 29

3.2 실험 결과 ····· 32
3.2.1 Fingerprint를 이용한 데이터 저장 ····· 32
3.2.2 RSSI 거리측정시 성능 평가 ····· 34
3.2.3 EKF의 좌표 추정 성능 평가 ····· 35
3.2.4 실험 결과를 통한 성능 비교 ····· 38
4. 결론 및 향구 연구 과제 ····· 39
참고문헌 ····· 41

그 림 목 차

그림 1.1 인공위성을 이용한 위치 인식 ····· 3
그림 1.2 AP에서 거리별 RSSI 측정 ····· 9
그림 1.3 AOA를 이용한 위치 인식 시스템 ····· 11
그림 1.4 TOA를 이용한 위치 인식 시스템 ····· 12
그림 1.5 TDOA를 이용한 위치 인식 시스템 ····· 13
그림 1.6 삼각 측량 기법 도시화 ····· 16
그림 1.7 각 위치별 RSSI의 데이터베이스 구축 ····· 17
그림 1.8 칼만 필터 알고리즘 흐름도 ····· 18
그림 2.1 EKF 알고리즘 흐름도 ····· 23
그림 2.2 이동노드의 수신 범위를 이용한 고정노드 선택 ····· 28
그림 3.1 ZigbeX ····· 29
그림 3.2 마이크로 컨트롤러와 CC2420 연결 ····· 30
그림 3.3 TinyOS의 RSSI 제어 컴포넌트 구조 ····· 30
그림 3.4 ZigbeX의 패킷 도시화 ····· 31
그림 3.5 Fingerprint를 이용한 RSSI값 ····· 32
그림 3.6 평균필터를 이용한 기준 RSSI값 ····· 33
그림 3.7 RSSI별 거리 측정값 ····· 34
그림 3.8 x의 좌표가 25일 때 EKF와 삼각측량법의 비교 ····· 35
그림 3.9 y의 좌표가 26일 때 EKF와 삼각측량법의 비교 ····· 35
그림 3.10 x의 좌표가 14일 때 EKF와 삼각측량법의 비교 ····· 36
그림 3.11 y의 좌표가 20일 때 EKF와 삼각측량법의 비교 ····· 36

표 목 차

표 1.1 적외선을 이용한 위치 인식 시스템 ····· 5
표 1.2 Vision을 이용한 위치 인식 시스템 ····· 6
표 1.3 초음파 신호를 이용한 위치 인식 시스템 ····· 7
표 1.4 RFID를 이용한 위치 인식 시스템 ····· 7
표 1.5 UWB를 이용한 위치 인식 시스템 ····· 8
표 2.1 Zigbee 응용 사례 ····· 15
표 3.1 고정노드 9개 사용 시 거리측정방법과 노드 선택의 방법의 거리 오차값 비교 · 38
표 3.2 삼각측량법과 EKF의 최종 좌표 오차값 비교 ····· 38

ABSTRACT

Indoor location-aware system development using RSSI of mobile node

Kim, IlYoung
Advisor : Prof. Choi, GoangSeog, Ph.D.
Department of Information and Communication Engineering
Graduate School of Chosun University

In this thesis, more accurate and efficient indoor location-aware system, which uses Zigbee protocol of short-range wireless communications technology and the technique of selecting RSSI(Received Signal Strength Indication), is proposed. There are several methods in an indoor location-aware approach using the RSSI values. First of all, the distances among three fixed nodes having predetermined coordinates and a mobile node are measured. With three computed distance values, the final coordinate of a mobile node can be obtained. Among many distance measuring methods, typical one is to use triangulation. But the measured or calculated coordinates of a mobile node through the triangulation have a lot of errors. The RSSI values are irregularly measured due to several environmental causes. Thus, the database, which is the reference point every distance of RSSI, should be built up. The RSSI values at every distance are measured and stored using the fingerprint method. The distances on each node are measured with the stored values. But the received RSSI value should be stabilized in environmental causes for more accurate indoor location-awareness. In this thesis, this method choosing the node having reliable RSSI values based on the reliability of the signal is proposed for the

more accurate indoor location-awareness when the distance is calculated using RSSI values. To find final coordinate, the determining method of coordinate of a mobile node using the EKF instead of triangulation is proposed.

1.서론

1.1 연구배경

최근의 디지털기술의 혁신적인 발달은 이전에는 상상하지도 못한 새로운 사회 패러다임을 가능하게 하고 있다. 디지털 기술 중 새로운 컴퓨팅 패러다임으로 등장한 유비쿼터스화는 물리공간을 지능화함과 동시에 물리공간에 펼쳐진 각종 사물들을 네트워크로 연결시키려는 노력으로 정의 할 수 있다. 유비쿼터스는 라틴어에서 유래한 말로 '언제 어디에서나 존재하는'이란 뜻이며, 유비쿼터스 컴퓨팅 환경 또는 유비쿼터스 네트워킹은 일상생활의 모든 사물에 컴퓨터, 통신 기능을 내장시켜 언제 어디에서나 컴퓨팅 환경의 사용이 가능하고, 네트워크에 접속하여 다양한 서비스를 제공 받는 것을 말한다[1]. 유비쿼터스 시대로 진입하면서 사람 또는 사물의 위치 인식을 위한 서비스들이 필요하게 되었는데 이러한 서비스들은 무선통신 기술을 주로 사용하여 개발되어졌다[2]. 무선 통신을 이용하여 서비스 이용자에게 위치 정보와 관련 정보를 제공하는 것을 위치기반서비스(LBS, Location Based Service)라 한다. 최근 무선통신 기술이 다양화되고, 발전되면서 LBS가 GPS(Global Positioning System), GIS(Geographic Information System), ITS(Intelligent Transport Systems) 등을 활용한 다양한 응용 산업으로 발전하고 있으며, 휴대 인터넷, DMB, RFID/USN 등의 기술발달과 유비쿼터스 컴퓨팅 환경의 조성으로 위치 정보의 활용성은 더욱 다양화 될 것으로 예상되고 있다[3,4].

이러한 이유로 하여금 위치 인식 시스템은 여러 가지 방법을 통해 연구되어 왔으나, 기존의 연구들은 로봇의 자기 위치 추정을 위한 방법들 위주로 연구 되었고, 이는 높은 시스템 성능과 휴대 가능한 크기의 한계를 넘어서는 것이 대부분이기 때문에 그 효용성은 비교적 작다 할 수 있다. 또한 기존의 위치 추정 방법들은 환경에 종속되는 오차의 요소들을 많이 내포하고 있기 때문에, 이를 극복할 수 있는 방법이 필요하다. 이에 본 논문은 실내 위치 인식시스템이 가질 수밖에 없는 물리적 제약, 예를 들어 신호의 간섭문제, 생활 잡음과 같은 환경적 요인에 대한 보완, 효과적인 운용알고리즘등과 같은 문제를 극복하는 방안을 모색해 본다.

1.2 연구 목적 및 구성

기존의 실내 위치 인식 기법들은 성능향상을 위해 개선되어야 할 문제점들을 가지고 있으며, 이 문제점들을 효과적으로 개선한다면 좀 더 효율적이고 실용 가능한 실내 위치 인식 방법이 될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이미 좌표를 알고 있는 고정 노드로부터 수신되는 RSSI값을 받아들여 거리 측정하고, 그 거리 값을 바탕으로 EKF(Extented Kalman Filter)를 사용하여 타켓의 위치를 추적하는 방식을 사용한다. 하지만 RSSI값으로 거리를 측정하는 방법은 건물의 외벽이나 창의 메탈 성분 같은 장애물로 인한 전파의 반사와 회절, 분산 등의 환경적인 요인으로 인하여 RSSI값이 크게 흔들려 정확한 거리측정이 어렵다. 그러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 좀 더 안정된 RSSI값을 얻기 위하여 이동노드가 RSSI를 선택하는 방법을 제안한다. 이때 측정된 RSSI값은 평균 필터를 사용하여 안정화시키고 고정노드에서 수신되는 RSSI값의 신뢰도를 비교하여 값을 선택하고, 선택된 세 개의 고정노드를 이용하여 거리를 구하게 되면 EKF를 사용하여 이동노드의 좌표를 구하는 위치 인식 시스템을 구현한다.

본 논문의 구성은 총 4장으로 구성되어 있으며 그 내용은 다음과 같다. 1장에서는 기존에 사용되고 있는 위치 인식 시스템에 관한 연구를 서술하고, 본 논문과 밀접한 관련이 있는 Fingerprint 기법, 그리고 칼만 필터에 대해 기술한다. 2장에서는 제안하는 실내 위치 인식 시스템을 소개하고 시스템의 구조를 설명한다. 그리고 위치 인식 알고리즘을 기술한다. 3장에서는 제안하는 위치 인식 시스템과 성능 분석을 통한 연구 결과를 기술하고, 4장에서는 결론을 맺으며 향후 연구 과제를 기술한다.

1.3 대표적 위치 인식 시스템

위치 정보를 얻기 위해서 사용되는 측위기술에는 적외선, 초음파, RF, UWB(Utra wide Band), RFID, WLAN(Wireless Local Area Network), CDMA, Bluetooth, OFDM, Vision, Sound, ZigBee 등을 이용한 기술들이 있다. 이 중에서 위성 신호를 기반으로 위치를 계산하는 GPS가 가장 많이 사용이 되고 있다[4]. 위치인식의 대표적인 기술에는 실외에서 사용하는 GPS 기술이 있다.

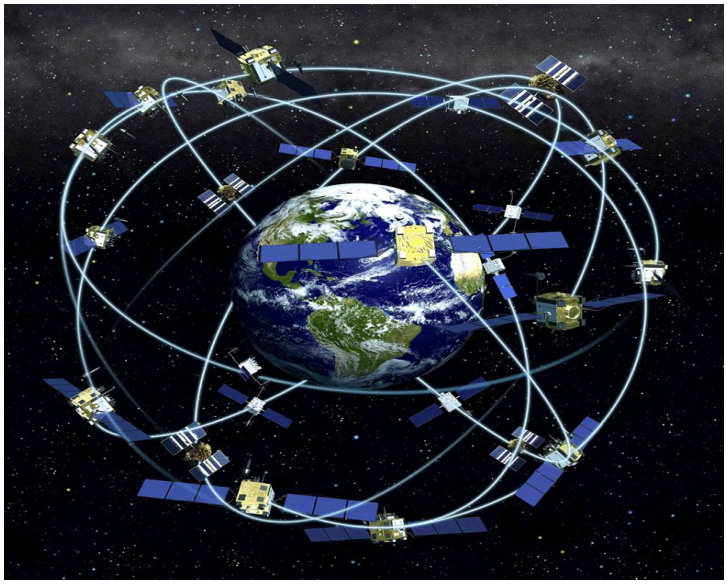

그림 1.1 인공위성을 이용한 위치 인식

GPS 방식은 지구 궤도 상공에 올려 진 총 24개의 인공위성을 이용해 지상의 어느 지점이든 24시간 관측할 수 있는 시스템이다. 위치 인식의 대표적인 기술인 GPS를 이용하여 3개 이상의 GPS 위성들의 위성 신호를 이용하여 삼각 측량법을 통하여 위치를 측정한다. GPS는 현재 위치 인식기술 중에서 가장 많이 사용되어지고 있으나, 위성 신호를 수신하지 못하는 실내나 높은 건물로 가려진 음영지역에서는 위치 인식을 하지 못하는 단점이 있다. 이러한 GPS의 단점으로 인하여 GPS를 이용한 네비게이션 장치들은 실외에서만 사용이 가능하며, 실내나 터널 등 GPS를 수신하지 못하는 곳으로 들어가게 되면 사용을 하지 못한다. 옥외에서 비교적 정확하고 많이 사용하는 GPS

의 역할을 대신하기 위하여 실내 위치 인식 시스템이 많이 개발 되었다[4]. 그래서 실내 위치 추적을 위한 새로운 방법들이 많이 제안되었다. 대표적인 실내 위치 추적들에는 초음파를 이용한 방법, RF를 이용하는 방법 및 적외선을 이용하는 방법 등이 있다.

1.4 실내 위치 인식 시스템

실내 측위 기술에는 적외선, 초음파, UWB, WLAN, ZigBee, RFID등 다양한 방식을 기반으로 한 연구가 연구 중이며, 이러한 기술들은 수신된 신호의 처리 방법 및 인프라의 운용 기술 등을 고려하여 여러 가지로 분류가 가능하다.

1.4.1 적외선을 이용한 위치 인식 시스템

적외선을 이용한 위치 인식 시스템은 고정된 적외선 센서와 이동체에 부착 된 적외선 센서로 구성이 되며, 적외선 센서 간 통신으로 위치를 인식한다[5]. 대표적인 방식인 Active Badge System은 건물 내에서 사용자의 위치를 인식하는 방식으로, 사용자가 가지고 있는 적외선 센서에서 고유한 신호(ID)를 송신하면 건물 내에 고정된 위치의 수신기에서 신호를 수신하여 위치를 관리 하는 프로그램으로 전달하여 사용자의 위치를 측정한다. 적외선을 이용한 위치 인식 방식은 시스템이 간단하여 설치가 편리하다는 장점이 있지만, 통신 거리가 짧아서 넓은 공간의 실내에서는 사용하기에 제한이 있고, 직사광선이나 형광등에 의해서 적외선의 인식에 영향을 받아 수신율이 달라진다.

표 1.1 적외선을 이용한 위치 인식 시스템

방식	- Active Badge(AT&T Lab)
장점	- 시스템 구성이 간단, 구성비용이 저렴. - 송신 데이터가 간단, 신호 발생 시간이 짧음 - 개발된지 오래되어 많은 상용화 솔루션 존재
단점	- 사용자가 많으면 신호 충돌 가능성이 높아짐 - 직사광성에 의해 적외선이 영향을 받아 성능 저하 - 적외선 통신 거리가 짧아 서비스 범위 제한

1.4.2 Vision을 이용한 위치 인식 시스템

Vision을 이용한 위치 인식 시스템은 카메라에 찍힌 장면을 통해 이동 거리와 이동 각도를 측정하는 방식과 적외선 카메라와 적외선만을 반사하는 Passive Land Mark를 이용하여 고정위치에 Land Mark를 부착한 후 적외선 카메라로 Land Mark를 인식하여 위치를 측정하는 방식 등이 있다[6]. 영상을 이용한 위치 인식 방법은 이동체가 보이는 영상을 분석해서 직접 경로를 설정하고 주위 상황을 인식할 수 있어서 사람의 눈과 같은 역할을 할 수 있지만, 주위의 조명에 따라서 달라지는 차이점을 인식하는 문제와 영상을 실시간으로 분석하기 위해서 필요한 H/W의 사양이 매우 높아야 하기 때문에 비용적인 문제가 있다.

표 1.2 Vision을 이용한 위치 인식 시스템

방식	- StarLITE(ETRI) - StarGazer(RIST) - Easy Living(마이크로소프트 연구소)
장점	- 시스템 구성을 위한 추가적인 장비가 필요 없음. - 사람과 가장 가까운 위치 인식을 할 수 있음.
단점	- 영상 분석을 위한 HW의 비용이 높음. - 조명의 영향으로 인한 오차율 발생 - 영상 분석을 위한 알고리즘 구성이 어려움

1.4.3 초음파 신호를 이용한 위치 인식 시스템

초음파를 이용한 위치 인식 시스템은 RF신호에 비해 느린 초음파 전송속도를 이용한다. 초음파는 가청주파수 초음파와 RF신호를 같이 전송하여 초음파의 도달 시간을 이용하여 거리를 측정하고, RF신호를 이용하여 이동 물체와 고정 물체 간의 시작 시간 동기화를 위한 신호로 사용한다[7]. 초음파를 이용한 방식은 3차원 측위가 가능하고, 위치 인식의 정확도가 높으나, 고정 노드의 위치와 주위 환경에 따라 초음파 신호의 간섭이 심하다는 문제가 있으며, 반송파에 의해서 인식률의 오차가 발생한다.

표 1.3 초음파 신호를 이용한 위치 인식 시스템

방식	- Cricket System(MIT) - Active bat system(AT&T Lab)
장점	- 3차원 위치 인식 가능 - 위치 정확도가 높음
단점	- 신호 송신기의 위치를 미리 알고 있어야 함 - 시스템 구성을 위한 비용이 높음 - 송신기 배치에 따른 오차 발생

1.4.4 RFID를 이용한 실내 위치 인식 시스템

RFID를 이용한 위치 인식 시스템은 위치 정보를 가지고 있는 태그(Tag)와 태그의 정보를 읽을 수 있는 리더기(Reader)로 구성이 되며, 리더기의 송신기가 동작 신호를 송출하면 태그가 신호를 받은 뒤 자신이 가지고 있는 위치 정보를 회신하고, 회신된 위치 정보를 리더기의 수신기가 받아서 위치를 측정하는 방식이다[8]. RFID를 이용한 위치 인식 방식은 태그의 종류에 따라 수동형과 능동형으로 구분이 되는데 수동형 태그는 통신 거리가 짧아 노이즈에 의한 오차에 강하고, 가격이 저렴한 장점이 있다. 능동형 태그는 안테나를 부착하여 통신 거리를 증가시켜 수동형 태그의 단점인 짧은 통신 거리 문제를 해결 할 수 있다.

표 1.4 RFID를 이용한 위치 인식 시스템

장점	- 근접 센서로 통신 거리에 따른 NLOS(None Line Of Sight) 오차 문제 없음 - 태그에 추가적인 정보 저장 가능 - 능동형 태그에 안테나를 부착하여 통신거리 증가
단점	- 통신 거리가 짧음 - 위치 정밀도를 높이려면 다수의 태그를 설치해야 함

1.4.5 UWB를 이용한 실내 위치 인식 시스템

UWB는 근거리용 무선 통신 기술로 수 GHz 대역을 사용하며, 전송 속도는 500Mbps ~ 1Gbps이다. 미국 국방부에서 군사적 목적으로 개발하였다[9]. UWB는 장애물에 대한 투과성이 좋고, 짧은 펄스를 이용하여 위치 측위 시 정확도가 수cm이내일 정도로 정확하다.

표 1.5 UWB를 이용한 위치 인식 시스템

장점	- 위치 추적 정확도가 높음(15cm 이내) - 신호 도달 거리가 길다. - 대용량의 데이터 전송 가능 - 데이터 전송 속도 빠름
단점	- UWB의 개당 생산 단가가 높음 - UWB 사용 주파수 대역에서 간섭 문제 발생

1.5 위치 인식 기법

1.5.1 RSSI(Received Signal Strength Indication)

RSSI값을 이용한 거리 측정 방법은 AP(Access Point)에서 수신된 무선이동장치 혹은 태그의 신호 세기를 측정하여 이용하는 것으로, 태그와 AP 사이에서의 신호의 파워 손실 혹은 경로 손실(Path Loss)을 신호가 이동한 거리와 연결시키는 방식이다 [11,12]. 신호의 경로 손실과 거리와의 관계는 식 (1)에 보이는 Friis의 공식에 의해 설명된다. RSSI값은 그림 1.2과 같은 신호세기 분포를 가진다. 고정 노드가 신호를 발생시키면 수신 노드에서 신호를 받고, 받은 신호의 수신 강도를 측정한다. 이 수신 신호의 세기는 이론적으로 거리의 제곱에 반비례하기 때문에 이 수신 강도를 이용하여 이동 노드와 고정 노드 간의 거리를 구할 수 있다. 실제 환경에서의 수신 강도는 신호의 잡음, 간섭, 안테나의 형태 등 다양한 요소에 영향을 받아서 거리에 비례 수신 강도가 일정하지 않다. 따라서 RSSI값을 이용하여 거리를 측정하기 위해서는 다양한 지점에서 RSSI값의 데이터를 측정하여 RSSI 수신 감쇄에 대한 데이터를 수집하고, 이 데이터를 기반으로 거리를 측정해야한다.

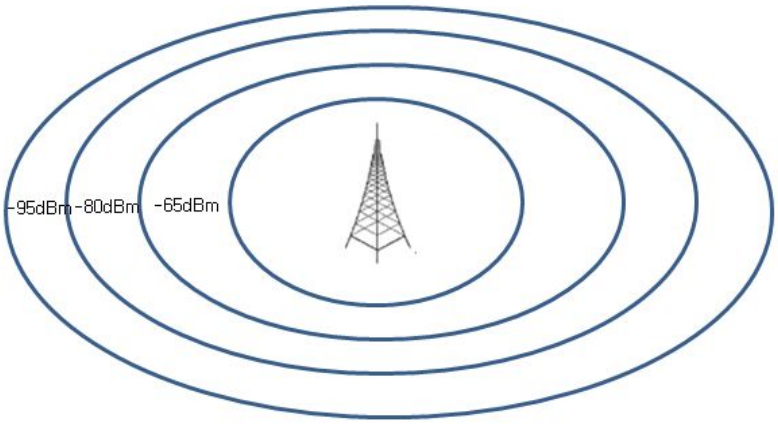

그림 1.2 AP에서 거리별 RSSI값 측정

RSSI를 이용한 거리 측정 방법은 앞서 소개했던 것과 같이 AP에서 수신된 무선 이동 장치의 신호 세기를 측정하여 신호의 파워 손실 혹은 경로 손실을 신호가 이동한 거리와 연결시키는 방식이다. 신호의 경로 손실과 거리와의 관계는 Friis의 공식에 의해 설명 되고, 식 (1)과 같다[12].

$$L = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) \quad [\text{dBm}] \tag{1}$$

이때 L는 자유공간에서의 경로 손실을 나타나며 λ는 전파의 파장을 나타낸다. 식(1)을 두 지점 사이의 거리 d에 대해 나타내면 식 (2) 와 같다.

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot 10^{\frac{L}{10}} = \frac{c}{4\pi f} \cdot 10^{\frac{L}{10}} \tag{2}$$

여기서 c는 전파 속도이며 f는 주파수를 나타낸다. 앞 절에서 설명한 것과 같이 실제 측정값은 다중경로에 의한 신호나 여러 가지의 환경적인 요인으로 인해 이론값과의 오차가 발생할 수 있다.

1.5.2 AOA(Angle of Arrival)

AOA 방식은 그림 1.3와 같이 이동 노드와 고정 노드의 방향각을 이용하여 거리를 구하는 방식으로 고정 노드에서 전송하는 신호를 노드에서는 방향 인식이 가능한 안테나를 이용하여 수신한 신호를 바탕으로 수신된 데이터를 송신한 고정 노드의 각도를 구한다[13]. 신호의 방향각만을 측정하기 때문에 이동노드의 위치를 결정하기 위해서는 2개의 신호의 방향각이 필요하다. 하지만 2개의 방향각만으로는 위치추적에 어려움이 많기 때문에 실제 시스템에서는 3개 이상의 방향각을 이용하여 사용자의 위치를 결정한다. AOA측정은 어레이 안테나를 이용하는데 이동노드에서 오는 신호를 기지국에서 어레이 안테나로 측정하여 서로 근접한 안테나간의 위상차를 이용하여 측정한다. 보통 4개 이상의 안테나를 이동 물체의 이동구간 외곽에 적절하게 배치하여 기준선을 중심으로 수신된 태그의 RF 신호 각도가 결정되면 삼각측량법에 의해 태그의 위치를 계산할 수 있게 된다.

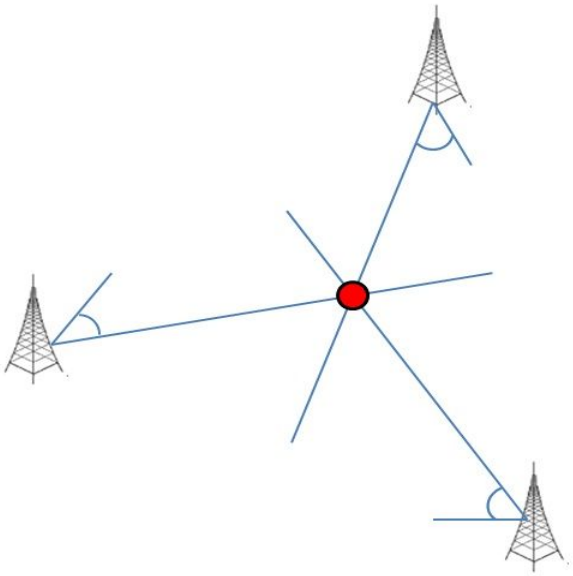

그림 1.3 AOA를 이용한 위치 인식 시스템

1.5.3 TOA(Time of Arrival)

TOA 방식은 그림 1.4와 같이 고정 노드에서 이동 노드 도달하는 시간을 측정해서 태그와 리더기간 거리를 구하고 삼각측량법을 이용하여 이동체의 위치를 계산하는 방식으로 GPS의 위치 측위에 사용되는 방식이다[13].

이동 물체에 부착된 태그가 전송하는 RF 신호가 이동노드의 이동구간 외곽에 배치된 적어도 3대 이상의 리더 안테나에서 인식되는 시간을 측정하면, 각 리더와 태그간의 거리를 알 수 있고, 각 리더를 중심으로 태그와의 거리를 반경으로 하는 원(또는 구)을 그려보면 점점을 찾아낼 수 있다. 이렇게 찾아낸 접점에 이동체가 위치하게 된다.

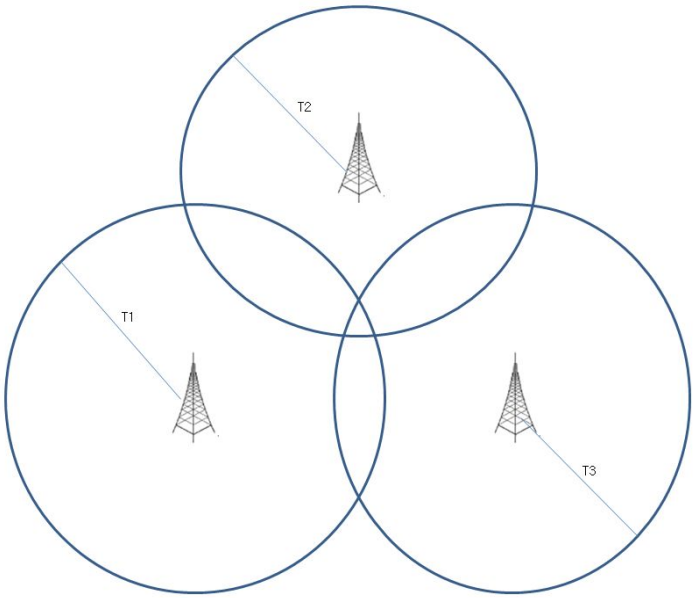

그림 1.4 TOA를 이용한 위치 인식 시스템

1.5.4 TDOA(Time Difference of Arrival)

TDOA 방식은 그림 1.5와 같이 이동노드가 송신하는 신호를 고정 노드에서 수신하는데 걸린 시간을 계산하고 계산된 시간을 위치 계산 프로그램으로 전송하여 고정 노드 간에 시간 차이를 구하고, 그 시간 차이를 거리로 환산해 리더기를 중심으로 그리면 쌍곡선(또는 쌍곡면)이 만들어 진다[13]. TOA의 경우는 원(또는 구)의 접점을 이용하듯이, TDOA는 쌍곡선(또는 쌍곡면) 이동노드가 위치하게 된다.

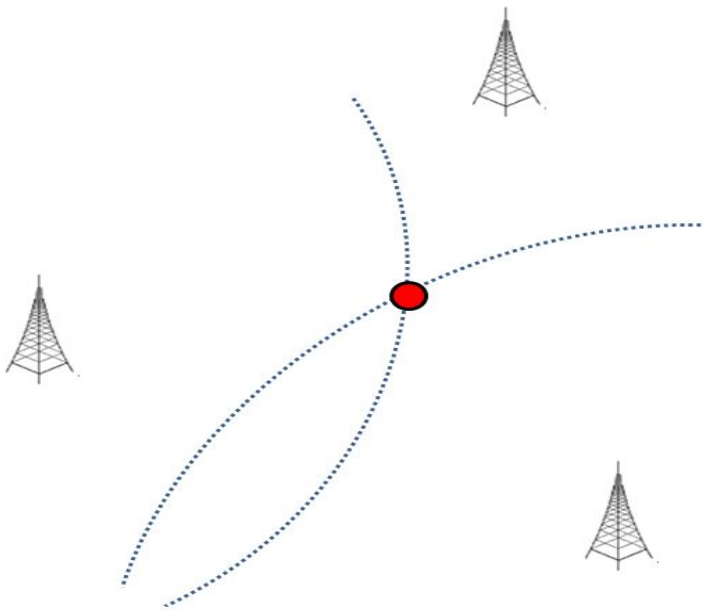

그림 1.5 TDOA를 이용한 위치 인식 시스템

1.6 Zigbee

앞서 언급한 것과 같이 위치기반서비스가 큰 주목을 받고 있는데 위치기반 서비스의 기반이 되는 무선 측위는 Range free approach와 Range based approach 방식으로 접근방식에 따라 크게 2가지로 분류된다[10]. 옥외 환경에서는 이미 GPS가 일정 수준 이상의 정확도로 옥외에서 많은 사용자들의 요구를 충족시키고 있다. 하지만 GPS는 실내에서 활용이 어려우며, 단말기가 고가라는 단점이 있다. 이러한 이유로 실내에서의 무선 측위를 위해 WLAN, UWB 통신 및 WSN(Wireless Sensor Network)등의 방식이 제안되고 많은 연구가 진행 되었다. 그중 WSN은 크기가 작은 센서노드를 많이 확보하여 측위에 이용하는 방법이다. Zigbee 기술은 IEEE 802.15.4 기반의 저가, 저전력, 저속의 근거리 무선통신 기술이다. 매우 간단한 하드웨어 구조를 지니고 있어 초저가의 센서네트워크를 구성할 수 있으며 하나의 네트워크에 많은 노드를 연결할 수 있게 만들어 졌다. Zigbee IEEE 802.15.4 표준의 물리 계층과 매체접근 제어 MAC 계층 위에 그 상위 계층으로 네트워크 계층, 응용지원 계층과 보안 및 응용을 규격화 하였다. Zigbee,의 물리 계층은 간단한 구조이며, MAC 계층은 저력 소비를 최소화 할 수 있도록 연구 되었다. Zigbee는 원격 제어, 원격 관리, 원격 모니터링에 적합하다. 본 논문에서는 Zigbee를 이용하여 송신단과 수신단의 거리를 추정하는 방법인 RSSI라는 수신된 신호의 세기를 바탕으로 거리를 추정하는 방법으로 신호의 경로손실 모델을 사용한다. 이 방법은 간단하지만. 신호의 특성상 비가시선(NLOS)가 형성되면 정확도가 떨어진다. 하지만 Zigbee 저가의 노드로 좁은 지역에 네트워크를 구성하면 각 노드들이 가시선(LOS, Line of Sight)을 형성할 수 있다.

표 1.7 Zigbee 응용 사례

분야	Zigbee 응용 사례	응용 내용
산업	원격 감시 시스템	각기 다른 산업에서 에너지 비용의 절감을 위하 시작 에너지 손실 추적 및 생산과정에서 가스 사용 가능
	공장의 모니터링 적용	생산공장에 대한 모니터링 프로파일 작성 IPM(Industrial Plant Monitoring)프로토타입 표준화 및 테스트, 공장 관리 및 제품의 생산 과정 제어
	원격 검침	전격 사용량 검침, 검침의 정확성이 높고 고객 서비스 개선, 사용 통계 제공
홈 오토 메이션	HVAC 응용 Zigbee 프로파일	Heating Ventilation and Air Conditioning을 위한 응용 프로파일 작성 홈 네트워크 환경에서 Zigbee 기반의 기술을 사용하기 위한 프레임쿼크 구축
위치 확인	실시간 위치 확인 솔루션	실시간으로 사용자의 위치를 확인하고 방문을 기록함, 시설의 보안 관리에 활용
물품 관리	주유소 센서네트워크	주유소 판매시점 정보 관리 시스템에 적용 Zigbee 네트워크를 통한 주유 량 검침 및 전자 결재
	자동 판매기 재고 관리	자동판매기 실시간 물품 재고 관리 상품 판매량, 재고량을 중앙관제소로 전송
국방 외교	A Line in the Sand	자기탐지기 센서 및 임펄스 레이더 센서를 이용 차량 통과 시 비 금속성, 금속성 여부를 판단
	Military Surveillance	RSC 무선감지네트워크는 분산된 센서들의 정렬진동과 자성적인 신호를 식별하는 알고리즘 센서로 탐지된 위험요인 이미지는 관계자에게 전송됨
	가스센서네트워크	가스 센서네트워크는 테러 위협에 대응 빠르고 정확하게 도심 영역에서 화학 공격을 감지 인명사고를 줄임
차량	UAV 센서네트워크를 이용한 차량 추적	길에 센서노드를 설치하여 지나가는 차량의 이동 위치를 추적 수집된 위치 정보는 센서네트워크를 통해 전달, UAV가 장착된 센서 노드를 이용하여 호스트로 전송

1.7 삼각 측량 기법

삼각측량법이란 어떤 한 점의 좌표와 거리를 삼각형의 성질을 이용하여 알아내는 방법으로, 평면 기준점을 가지고 측량할 때 소개되는 가장 정밀한 방법이다[14]. 최근에는 전자파거리 측량기의 발달로 인해 사용빈도수가 적지만 장거리 정밀측량으로는 삼각측량이 매우 정밀한 결과를 얻어낼 수 있기 때문에 아직까지 많이 사용되고 있다. 이 방법은 계산 방법이 복잡하고 조건도 많기 때문에 시간이 많이 걸리는 단점이 있으나 정밀도가 높은 장점이 있다.

삼각측량법은 한 점과 두 기준점이 주어졌으면 그 점과 두 기준점이 이루는 삼각형에서 밑변과 다른 두변이 이루는 각을 각각 측정하고 그 변의 길이를 측정한 뒤 사인 법칙 등을 이용하여 일련의 계산을 수향함으로써 그 점에 대해 좌표와 거리를 알아내는 방법이다. 그림 1.6과 같이 각각의 고정 노드들의 좌표를 (x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)라고 정의하고 가운데 원이 가리키는 것이 이동노드라 했을 때 좌표는 (x, y)라 정의 한다. 이때 고정노드와 이동노드의 거리 값을 d_k라고 했을 때 다음과 같은 공식을 이용하여 이동노드의 좌표값을 구할 수 있다.

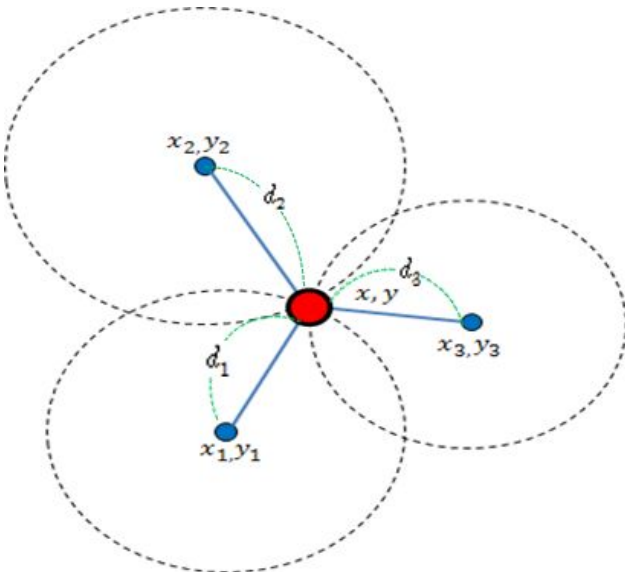

그림 1.6 삼각측량법 도시화

$$\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} = d_1 \quad (3)$$

$$\sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2} = d_2 \quad (4)$$

$$\sqrt{(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2} = d_3 \quad (5)$$

이동노드와 고정노드간의 거리 (d_1, d_2, d_3)를 구하였고 고정노드의 좌표(x_1, y_1), $(x_2, y_2), (x_3, y_3)$를 알고 있으므로 그림 1.6과같이 3개의 원이 만나는 점을 식 (3)~(5)을 통하여 위치 좌표(x, y)를 얻을 수 있다.

1.8 Fingerprint 기법

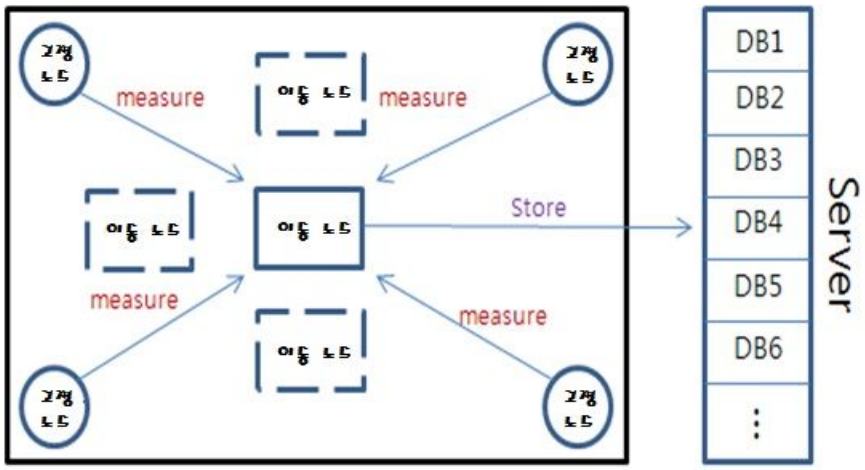

그림 1.7 각 위치별 RSSI의 데이터베이스 구축

Fingerprint 기법은 그림 1.7과 같이 각각의 위치에 고정노드를 설치하고 위치를 참조할 데이터베이스를 생성하기 위해 많은 요청이 발생할 것이라 판단되는 지점이나 사용자의 이동이 빈번한 위치를 선정하여 각각의 신호세기를 측정한다[15,23]. 그리고 각각의 고정노드로부터 위치 데이터를 데이터베이스에 기록한다. 이때 위치를 측정하

기 위해 위치를 요구하는 장소에서 신호세기를 측정 후 이미 데이터베이스에 저장해 두었던 데이터들과 비교 후 요구하는 이동노드의 위치와 가장 적합한 위치 데이터의 정보를 얻어 값을 얻어 낸다. 하지만 Fingerprint기법은 측정 환경이 변화하게 되면 환경변화 정보를 반영할 수 없기 때문에 실내 환경처럼 빈번한 환경 변화가 일어날 경우 환경 변화에 능동적으로 대처하기 어려운 문제점이 있다.

1.9 칼만 필터 (Kaman Filter)

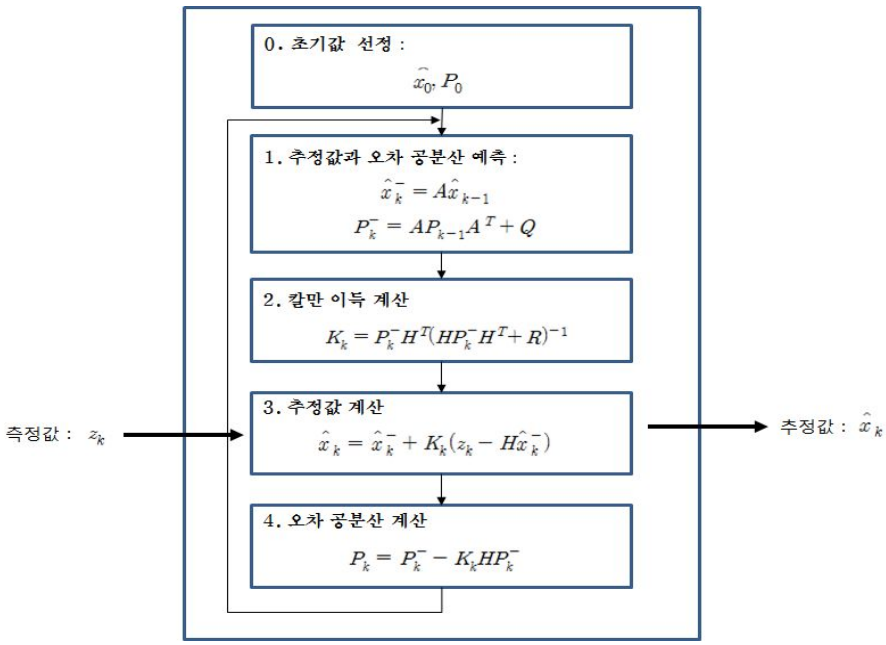

그림 1.8 칼만 필터 알고리즘 흐름도

그림 1.8는 칼만 필터를 나타낸 것이다[16]. 칼만 필터의 알고리즘의 계산과정을 구체적으로 살펴보면 첫 번째 단계는 예측 단계이다. 이 단계에서는 2~4단계에서 계속 사용하는 두 변수 $\hat{x}_k^-$ 와 P_k^- 를 계산한다. 이때 변수 $\hat{x}_k$ 와 P_k 는 각각 상태변수와 오차 공분산을 나타낸다. 또한 윗 첨자 '-'는 예측값을 의미한다. 2단계에서는 칼만 이득(K_k)을 계산한다. 칼만 이득은 오차들의 가중치를 부여하기 위해 계산되며 매 계산 시 다시 계산된다. 칼만 이득을 계산할 때는 시스템의 행렬 H와 R과 오차 공분산을

통해 구하는데, 이 때 오차는 정규분포를 따르는 것을 가정한다. 3단계에서는 입력된 측정값으로 추정 값을 계산한다. 그 다음 4단계는 오차 공분산을 구하는 단계이다. 오차 공분산은 추정값이 얼마나 정확한지를 알려주는 척도로써 보통 오차 공분산을 검토해서 앞서 계산한 추정값을 믿고 쓸지 아니면 버릴지 판단한다.

표 1.8 칼만 필터 변수 용도별 분류

외부 입력	z_k (측정값)
최종 출력	$\hat{x}_k$ (추정값)
시스템 모델	A , H , Q , R
내부 계산용	$\hat{x}_k^-$, P_k^- , P_k , K_k

칼만 필터 알고리즘은 계산 과정이 네 단계로 되어 있지만 의미를 기준으로 나누면 크게 두 단계로 분류 된다.

- 예측 과정

  그림 1.8의 1단계가 여기에 해당된다. 직전 추정값($\hat{x}_{k-1}$)과 오차 공분산(P_{k-1})을 입력으로 받아서, 최종 결과로 예측값($\hat{x}_k^-$, P_k^-)이 나온다. 아 값들은 추정 과정에서 사용된다. 예측과정에서 사용하는 시스템 모델 변수는 A , Q 이다.

- 추정 과정

  칼만 필터 알고리즘에서 2단계, 3단계, 4단계가 여기에 속한다. 추정 과정의 결과물은 추정값($\hat{x}_k$)과 오차 공분산(P_k)이다. 입력 값으로는 예측과정의 예측값($\hat{x}_k^-$, P_k^-) 뿐만 아니라, 측정값(z_k)을 전달받아 사용한다. 추정과정에서 사용하는 시스템 모델 변수는 H , R 이다.

이는 선형화 칼만필터를 설명한 것으로서 선형화 모델이 유효한 범위 내에서만 사용해야 한다. 만약 선형화 모델에 사용하지 않았을 시 성능을 보장할 수 없다[17,18].

2. 제안하는 실내 위치 인식 시스템

2.1 기존 RSSI값 측정의 문제점

IEEE 802.15.4 규격을 따르는 근거리 통신용 Zigbee를 사용하여 무선 센서 네트워크상에서 RSSI값을 이용하여 실내에서 절대 좌표를 알고 있는 고정노드로 이동노드의 위치를 인식 할 수 있다. RSSI값은 신호의 입력 세기가 수신기에서 얼마나 수신되었는지 측정한 값이다. RSSI값은 수신기 세팅과 채널 상에서의 측정된 신호레벨 기준을 두고 있으며 신호의 감도는 0 ~ -90dBm이며, 신호의 감도는 로그 값으로 나타낼 수 있다. 보통 무선 전파는 전송되는 거리의 제곱 또는 네제곱에 반비례한다. 하지만 실제로 실내 위치 인식을 위해서 RSSI값을 측정하면 다른 노드들의 통신 간섭이나 다른 환경적인 요인으로 인해 같은 거리에서의 RSSI값도 일정한 값을 얻기 어렵다는 문제가 존재한다.

2.2 RSSI의 잡음 제거

2.2.1 재귀식을 이용한 잡음 제거

RSSI값을 이용한 위치를 추적하기 위해서는 그림 1.7과 같이 Fingerprint 방법을 이용하여 각각의 위치에서 RSSI값의 데이터를 받아 그 데이터들을 저장하고 그 값들을 위치 값으로 저장해야 한다. 하지만 RSSI값은 앞 절에 설명한 것 같이 주변 환경에 많은 영향을 받아 값들이 일정치 않은 데이터들을 얻게 된다. 그래서 이 RSSI값들을 이용하여 일정한 값으로 바꾸어 위치 정보를 저장해야 한다. 이 값들을 일정하게 하기위해 흔히 데이터의 평균을 식 (6)과 같이 구한다.

$$\bar{x}_k = \frac{x_1 + x_2 + \cdot\cdot\cdot + x_k}{k} \tag{6}$$

이렇게 데이터를 모두 모아서 한꺼번에 계산하는 식을 배치식이라고 한다. 그런데 이 식은 데이터가 하나 더 추가 될 경우 다시 모든 데이터를 다시 더해서 $k+1$로 나눠야 한다. 앞서 계산한 평균($\bar{x}_k$)은 전혀 사용할 수 없다. 이러한 단점을 해결하기 위해 재

귀식 필터를 많이 사용하는데 식 (6)을 $k-1$개의 평균 계산식으로 유도하면

$$\bar{x}_{k-1} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_{k-1}}{k} \tag{7}$$

이제 식 (7)의 양변에 k를 곱하면

$$k\bar{x}_k = x_1 + x_2 + \cdots + x_k \tag{8}$$

이 식을 다시 $k-1$로 나누면

$$\frac{k}{k-1}\bar{x}_k = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_k}{k-1} \tag{9}$$

x_k만 따로 분리해서 우변을 두 개의 항으로 나누면

$$\begin{aligned} \frac{k}{k-1}\bar{x}_k &= \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_k}{k-1} \\ &= \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_{k-1}}{k-1} + \frac{x_k}{k-1} \end{aligned} \tag{10}$$

그런데 우변의 첫 번째 항은 식 (7)에서 소개한 $\bar{x}_{k-1}$의 정의와 같다. 따라서 위의 식은 다음과 같이 바꿔 쓸 수 있다.

$$\frac{k}{k-1}\bar{x}_k = \bar{x}_{k-1} + \frac{x_k}{k-1} \tag{11}$$

이 식의 양변을 $\frac{k}{k-1}$로 나누면 다음과 같은 재귀식이 나온다.

$$\bar{x}_k = \frac{k-1}{k}\bar{x}_{k-1} + \frac{1}{k}x_k \tag{12}$$

이렇게 유도 된 식은 평균필터로 사용되며 하나씩 차례로 입력되는 데이터의 평균을 계산할 때 유용하다. 본 논문에서는 Fingerprint의 방법으로 RSSI값의 데이터를 받아 식(12)에 적용하여 평균을 구한다.

2.3 EKF (Extended Kalman Filter)를 이용한 위치 인식 알고리즘

2.3.1 EKF 개요

EKF는 1960년 Rudolf E.Kalman이 이전의 최적 반복 필터 기술을 상태-공간과 시간영역에서 기술할 수 있는 칼만 필터로 고안한 것으로, 상태변수의 오차공분산 초기값(P_0), 프로세서 잡음강도(Q) 및 측정 잡음 공분산값(R)의 적절한 파라미터를 사용할 때 최적의 성능을 낼 수 있다. EKF 알고리즘은 다음과 같은 비선형 시스템 모델에서 사용된다[19-21].

$$x_{k+1} = f(x_k) + w_k \tag{13}$$

$$z_k = h(x_k) + v_k \tag{14}$$

식 (13)~(14)의 모델이 선형 모델과 다른점은 상태변수(x_k)와 계수를 따로 분리해서 쓰지 못하고 선형 행렬식이 비선형 함수로 바뀐 것을 확인할 수 있다.
그 밖의 다른 변수와 의미의 형태는 칼만 필터와 같다.

$$Ax_k \Rightarrow f(x_k) \tag{15}$$

$$Hx_k \Rightarrow h(x_k)$$

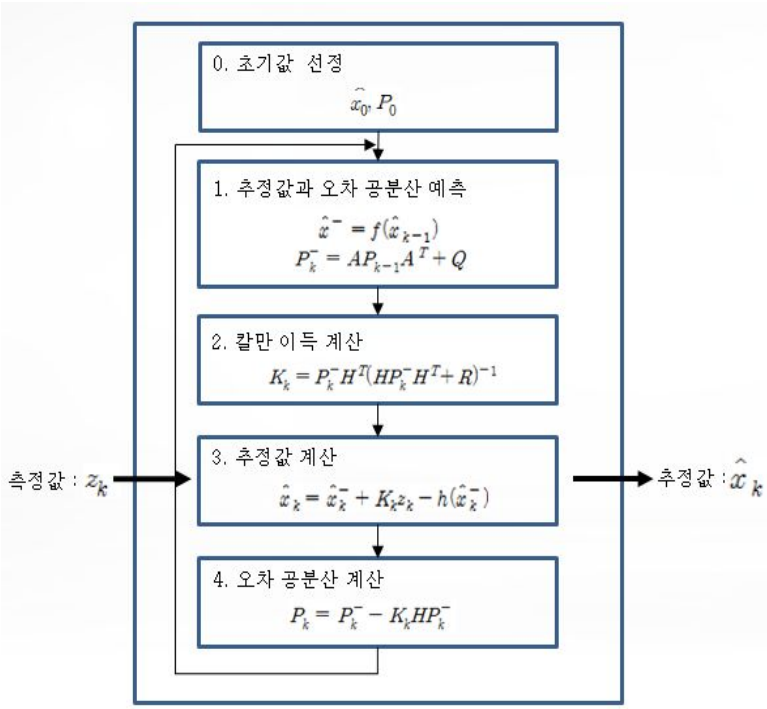

그림 2.1 EKF 알고리즘 흐름도

선형 칼만 필터와 EKF의 상태변수 예측 식을 비교했을 때 다음에 나타난 식은 첫 번째가 칼만 필터의 관계식이고 두 번째가 칼만 필터의 식이다.

$$\hat{x}_{k+1}^- = f(\hat{x}_{k-1}) \tag{16}$$

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} \tag{17}$$

두변을 비교해 보면 우변이 서로 다르다.

$$A\hat{x}_{k-1} \Leftrightarrow f(\hat{x}_{k-1}) \tag{18}$$

나머지 3단계의 수식을 비교해 보면 우변의 마지막 항만 다르고 나머지는 똑같은 것을 확인할 수 있다.

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k z_k - h(\hat{x}_k^-) \tag{19}$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k z_k - H(\hat{x}_k^-)$$

위의 식이 나타내듯이 EKF는 선형 알고리즘의 모델식 Ax_k와 Hx_k 자리에 비선형 모델의 관계식을 대신 사용하는 점이 다르다.

단순하게 설명하면 비선형 모델을 선형화 시키는 방법을 사용하고 있다. 선형화 방법은 아래의 식과 같은 기법을 사용한다.

$$A \equiv \frac{\partial f}{\partial x}|_{\hat{x}_k}, \ H \equiv \frac{\partial h}{\partial x}|_{\hat{x}_k^-} \tag{20}$$

여기서 $\frac{\partial}{\partial x}$는 해당 함수를 변수 x에 대해 편미분을 한다는 뜻이다. 예를 들어 $\frac{\partial f}{\partial x}$는 함수 f를 x에 대해 편미분 한다는 의미이다. 만약 f와 x가 벡터이면 이 값은 행렬이 된다. 그리고 $\frac{\partial f}{\partial x}|_{\hat{x}_k}$ 는 행렬 $\frac{\partial f}{\partial x}$에 $\hat{x}_k$를 대입해서 계산한다.

2.3.2 EKF의 위치 인식 알고리즘

EKF는 상태 변수의 오차 공분산 초기 값(P_0^-), 프로세스 잡음 강도(Q), 그리고 측정 잡음 공분산값(R)의 적절한 파라미터를 사용하여 현재 상태를 예상하고 측정치로 예상치를 교정하는 과정을 반복한다.

앞서 설명했던 EKF를 적용하기 위해서는 시스템 모델(비선형 시스템)을 정의해야 한다. EKF는 2단계로 나눠 정리할 수 있다.

단계 1:

$$z_k = h(x_k) + v_k \tag{21}$$

식 (21)은 측정값을 나타낸 것이다. 앞서 Fingerprint를 이용하여 RSSI값마다의 거리값을 알고 있으므로 측정된 거리는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$d_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} + v_i \quad \text{단, } i = 1, \ldots, 9 \tag{22}$$

단, 고정노드와 이동노드의 높이는 서로 같으며 X_k, Y_k는 고정노드의 좌표로써 이미 정해진 값이고 $[x, y]^T$는 이동노드의 좌표이다. 여기서 v_k는 측정 잡음을 나타낸다. 여기서 측정오차 v_k는 평균 0, 분산 σ^2인 백색 가우시안 잡음으로 가정한다.

3개의 고정노드에서 거리를 구했다면 이동노드의 위치를 구할 수 있으며, $r^0 = (x_0\, y_0)^T$을 기준으로 선형화하면 다음과 같은 식이 나온다.

$$\begin{bmatrix} d^1 - d_0^1 \\ \ldots \\ d^m - d_0^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h(x_1) & h(y_1) \\ \ldots & \ldots \\ h(x_m) & h(y_m) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v^1 \\ \ldots \\ v^m \end{bmatrix} \equiv \delta d = H \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \end{bmatrix} + v \tag{23}$$

이때 이동노드의 기준점으로 계산한 거리의 값은 $d_0^i = \sqrt{(X^i - x_0)^2 + (Y^i - y_0)^2}$이며, $(h(x_1) = \dfrac{X_i - x_0}{r_0^i}, h(y_1) = \dfrac{X_i - y_0}{r_0^i})$는 기준점에서의 이동노드 벡터를 나타낸다.

단계 2:

$$x_{k+1} = f(x_k) + w_k \tag{24}$$

시스템 모델을 정할 때 칼만 필터는 여러 가지 방법들이 있는데 그 방법 중 운동 방정식을 이용한 방법들이 있다. 본 논문에서는 정지 상태의 모델을 사용할 것이므로 정지 모델을 이용하여 다음과 같은 식을 전개 한다.

$$\begin{bmatrix} x_{k+1} \\ y_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_{xk} \\ w_{yk} \end{bmatrix} \tag{25}$$

여기서 시스템 오차 $W_k \sim N(0, Q_k)$ 는 모델링 오차를 나타낸 것으로, 정지 상태의 사용자의 위치를 측정하는 경우에는 $Q_k = 0$ 로 설정한다. 이 식들을 칼만 필터에 적용하기 위하여 비선형 측정식을 선형화하면

$$\delta X_{k+1} = A\delta X_k + W_k \tag{26}$$

$$\delta Z_k = H_k \delta X_k + V_k$$

이때 구해진 값은 $\delta \hat{X}_k$이며 최종 위치는 $\hat{X}_{k+1} = \hat{X}_0 + \delta \hat{X}_k$ 로 구하면 된다. 오차 $\delta \hat{X}_k$가 아닌 전체 $\hat{X}_k$을 상태로 두고 EKF를 구성하면 최종 위치는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\hat{X}_{k+1} = \hat{X}_k + K_{k+1}(Z_{k+1} - \hat{Z}_{k+1}), \hat{Z}_{k+1} = h(\hat{X}_k) \tag{27}$$

2.4 이동 노드의 RSSI 수신 범위를 활용한 노드선택 방식 제안

앞서 2.1절에서 언급한 것과 같이 안정된 RSSI값을 얻기가 어려운데 이러한 문제점을 개선하면 실제 위치와 더 근사한 위치 인식이 가능하다. 그래서 인접된 고정노드로부터 보다 안정된 RSSI값을 얻기 위하여 이동노드 중심의 노드 선택 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 이동노드 중심의 노드 선택방법은 다음과 같다. 이동노드가 임의의 장소에 위치해 있을 때 수신 범위에 닿는 모든 고정노드의 RSSI값을 수신한다. 이때 이동노드는 측정된 RSSI 값들 중 그 신호세기가 강하고 오차가 적게 측정되는 고정노드를 선택한다. 그림 2.2는 이동노드가 위치추적에 필요한 최소한의 고정노드를 RSSI값을 측정하여 선택하는 방법을 나타낸 것이다. 이동노드가 고정노드의 RSSI값을 수신하는 세기 영역을 정하고 그 영역 안에 존재하는 모든 고정 노드들의 RSSI값을 받는다. 그래서 이동 노드의 수신 RSSI값의 범위를 설정하여 이동노드가 고정노드를 선택하게 되고 이동노드의 위치가 변하게 되면 설정한 RSSI값의 수신 범위 안에 가장 신뢰도가 높은 RSSI값이 측정되는 세 개의 고정노드만 선택하여 안정된 RSSI값을 얻는데 중점을 두고 있다. 먼저 이동노드가 갖추어야 할 RSSI값의 수신 범위를 정하기 위해 이동노드와 고정노드 사이의 공간을 일정한 셀로 나누어 셀 각각의 RSSI값을 저장하여 데이터베이스를 구축한다. 먼저 RSSI 데이터베이스의 구축을 위해 그림 1.7과 같이 고정노드위치를 지정하고 나누어진 셀로 이동노드의 위치를 변경하면서 RSSI값을 저장한다. 이때 이동노드의 안테나의 방향에 의해 RSSI값이 불안정할 수 있으므로 이동노드의 안테나는 항상 같은 방향으로 고정한다.

데이터베이스를 바탕으로 이동노드의 수신 범위를 설정하고 인근에 수신되는 RSSI값을 비교한다. 그리고 이동노드는 나머지 RSSI값의 세기가 큰 순서대로 우선순위를 주어 나머지 두 번째 및 세 번째 크기 갖는 RSSI값의 고정 노드들을 선택하여 이동노드와의 거리를 측정한다. 이동노드의 RSSI 측정범위 안에서 RSSI값의 1,2,3순위가 변하지 않는다면 RSSI측정을 지속적으로 한다. 만약 다른 고정노드에 이동노드가 접근하여 이동노드의 수신 되는 RSSI의 범위에 속한 경우 그림 2.2와 같이 신호강도가 세고 오차가 적은 RSSI값이 측정되는 고정노드로 변경시키고 나머지 이동노드의 수신범위에서 벗어난 고정노드들은 데이터들을 송신하지 못하게 휴면상태에 접어든다. 이와 같은 방법으로 RSSI값을 측정해서 고정노드간의 간섭을 최소화 한다.

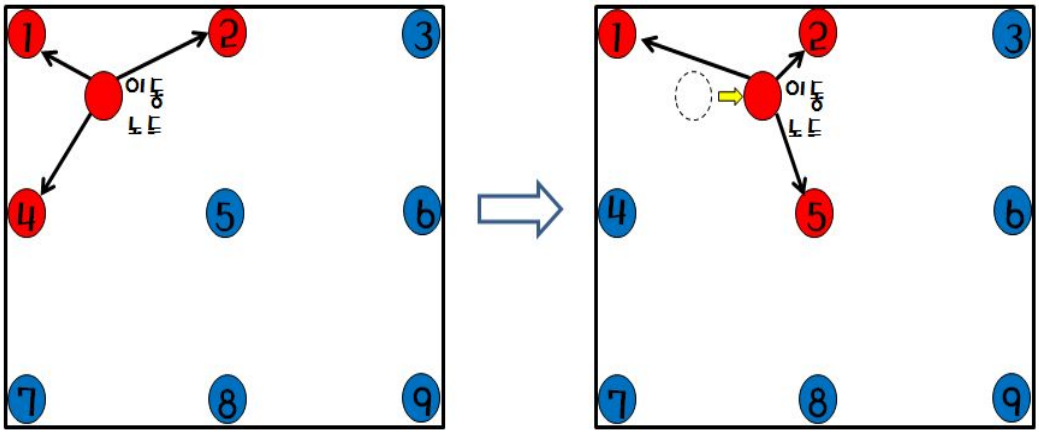

그림 2.2 이동노드의 수신 범위를 이용한 고정 노드 선택

3. 실험 환경 및 결과

3.1. 실험 환경

본 논문에서 제안한 방식을 검증하기 위하여 다음과 같은 실험 환경을 구축하였다. 먼저 실내 위치 인식을 위하여 LOS, 즉 아무런 장애물이 없는 3.6m x 3.6m 공간에 고정 노드를 1.2m간격으로 그림 2.2와 같이 9개를 설치한다. 실험에 사용되는 Zigbee 무선통신모듈은 ZigbeX를 사용하였고 그림 3.1과 같다.

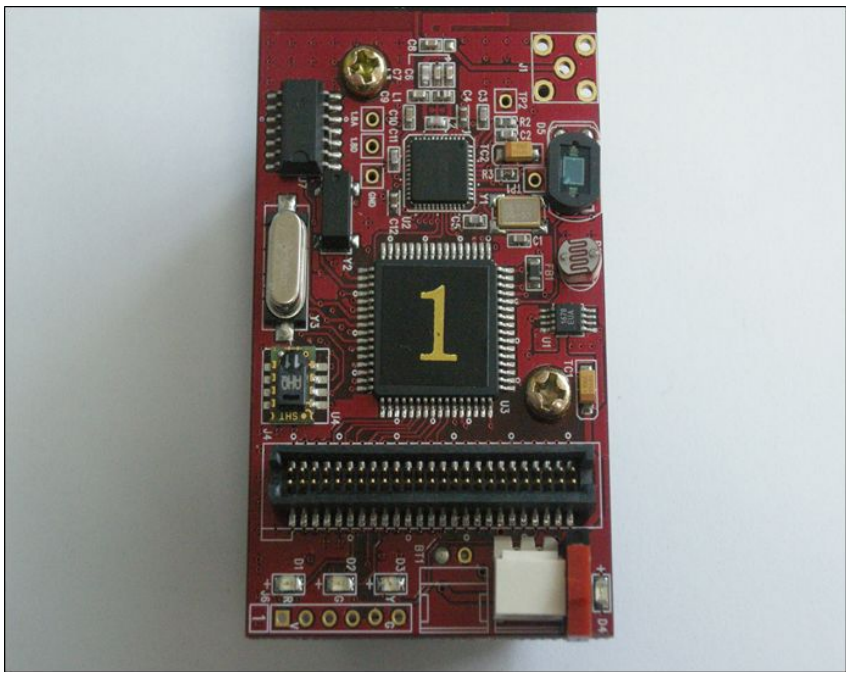

그림 3.1 ZigbeX 모듈

일반적으로 센서 노드들은 배터리 기반의 제한된 에너지로 동작하기 때문에 ZigbeX에는 저전력 CPU인 ATmega 128을 사용하고, 무선 RF 송수신 칩은 CC2420을 사용한다. ATmega 128과 4선 인터페이스인 SPI(Spherical Peripheral Interface)통신을 통한 동작을 하며 그림 3.2와 같이 연결된다. 또한 운영체제로 사용되는 TinyOS는 제한된 자원을 가진 작은 센서 노드를 위해 개발한 컴포넌트 기반으로 된 이벤트

구동방식의 센서 네트워크 운영체제로 그림 3.3과 같이 RSSI측정을 위한 컴포넌트를 제공하고 있다. 그림 3.3의 구조에서 본 연구에서는 ControlC와 ActiveMessageC 컴포넌트를 사용한다. 여기서, ControlC는 채널 변경을 위한 컴포넌트이고, ActiveMessageC는 RSSI 세기 조정을 위한 컴포넌트이다[22].

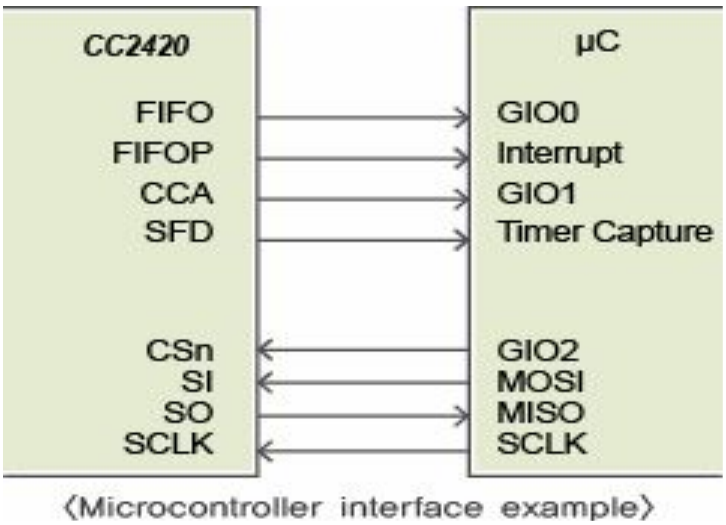

그림 3.2 마이크로 컨트롤러와 CC2420 연결

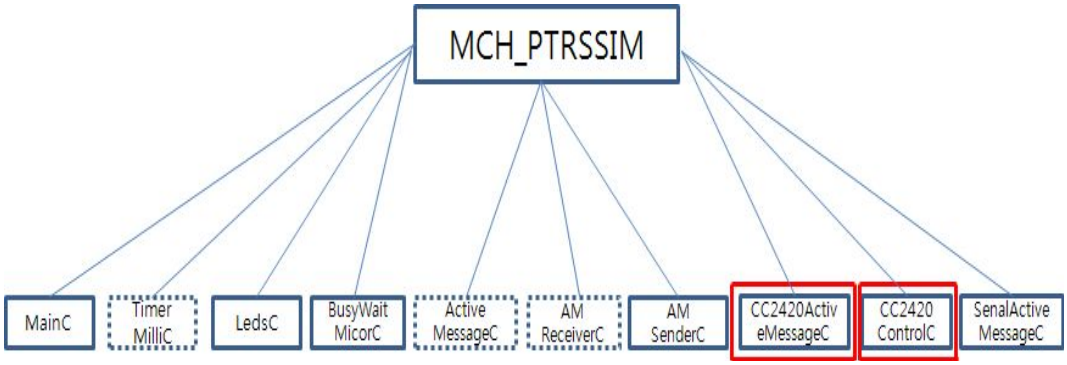

그림 3.3 TinyOS의 RSSI 제어 컴포넌트 구조

먼저 실험에서 참조할 데이터베이스를 생성하기 위하여 그림 2.2와 같이 9개의 고정 노드를 위치시킨다. 9개의 고정 노드마다 노드의 아이디[1,2,・・・,9]를 부여하고,

각 고정 노드의 배치 장소의 위치를 (x, y) 형태로 정한다. 그리고 고정 노드의 안테나들은 서로 수평이 되게 설치하며 이동 노드의 안테나는 노드 1,2,3번과 수평이 되도록 항상 같은 각도를 유지하면서 위치를 이동시키며 각 고정 노드들 간의 거리와 방향에 따른 RSSI 값을 측정하여 저장한다. ZigbeX는 패킷을 받게 되는데 그림 3.4와같이 RSSI값과 고정노드의 번호를 확인할 수 있다. 이때 RSSI값은 Signed 값을 갖는 2진보수로 되어 있다. 받은 16진수의 값을 2진보수를 구한 뒤 10진수로 고쳐서 RSSI값을 확인하면 된다. 이때 각 고정 노드의 RSSI값을 식으로 표현하면 식(28)과 같이 나타낸다. 여기서, RSSI_VAL은 ZigbeX상에서 측정된 값이고, RSSI_OFFSET은 -45[dBm]으로 오프셋 값이다. RSSI_VAL 값과 오프셋 값이 더해져서 계산에 사용되어지는 값인 P 값을 얻게된다. 이렇게 하는 이유는 CC2420의 경우, RSSI 값이 -95[dBm] 이상이어야 메시지 복호가 가능하기 때문에 ZigbeX상에서 측정된 값에 오프셋 값을 더해준다. 예를 들어, 실제 수신된 RSSI 값(P)이 -65[dBm]이라면 수신기에서 45[dBm]을 증폭(RSSI_OFFSET)시켜 약 -20[dBm]값(RSSI_VAL)이 측정된다.

$$P = RSSI_VAL + RSSI_OFFSET[dBm] \tag{28}$$

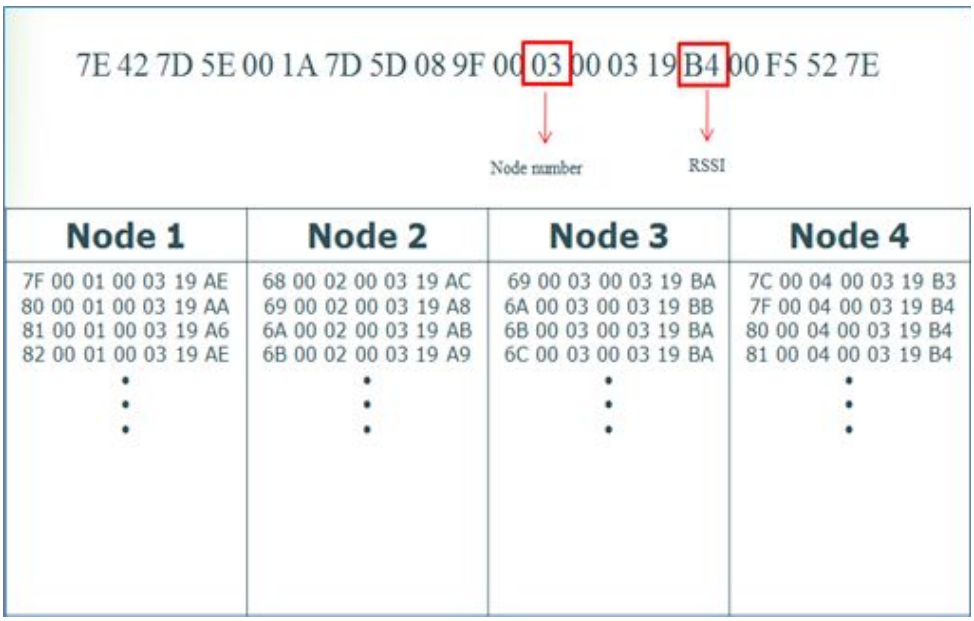

그림 3.4 ZigbeX의 패킷 도시화

3.2 실험 결과

3.2.1 Fingerprint를 이용한 데이터 저장

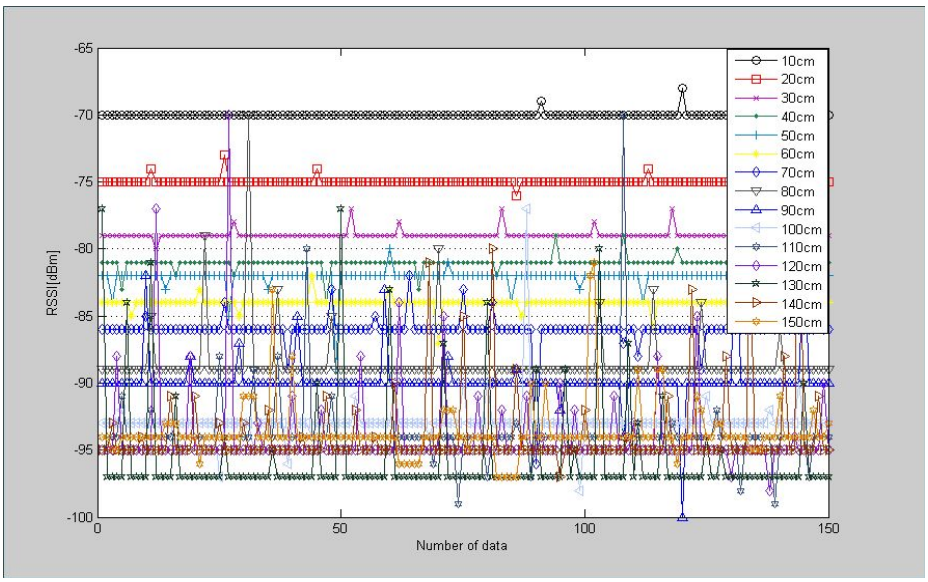

그림 3.5 Fingerprint를 이용한 RSSI값

그림 3.5은 Fingerprint를 이용하여 거리별로 RSSI값을 150개씩 측정한 값이다. 거리는 각각 10cm의 간격을 두고 측정하였으며 각 거리마다 150개의 데이터를 받고 그 데이터를 그래프로 나타낸 것이다. 이 그래프를 통하여 거리별로 RSSI값이 변화되어 진다는 사실을 확인 할 수 있었다. 그래프의 RSSI값을 살펴보면 이동노드와 고정노드의 거리가 10cm와 150cm일때의 RSSI값을 살펴보면 각각 -70dBm, -94dBm정도가 된 것을 확인 할 수 있었다. 또한 이 그래프는 이동노드와 고정노드와의 거리가 가까우면 오차가 비교적 적게 발생하고 RSSI의 간격이 더 큰 것을 확인할 수 있었고 이동노드와 고정노드의 거리가 멀면 오차 발생이 많아지고 거리당 RSSI값도 간격이 좁아진다는 사실을 확인할 수 있었다. 이 사실을 근거로 거리가 RSSI값으로 거리를 측정시 정확도를 위하여 RSSI가 다른 RSSI와 비교시 더 안정된 값을 이용해야 한다는 사실을 알 수 있었다. 이렇게 얻은 RSSI의 값을 평균 필터를 이용하여 잡음을 걸러 내고 평균을 구하여 그래프로 나타내면 그림 3.6과 같은 그래프를 얻어 낼 수 있다.

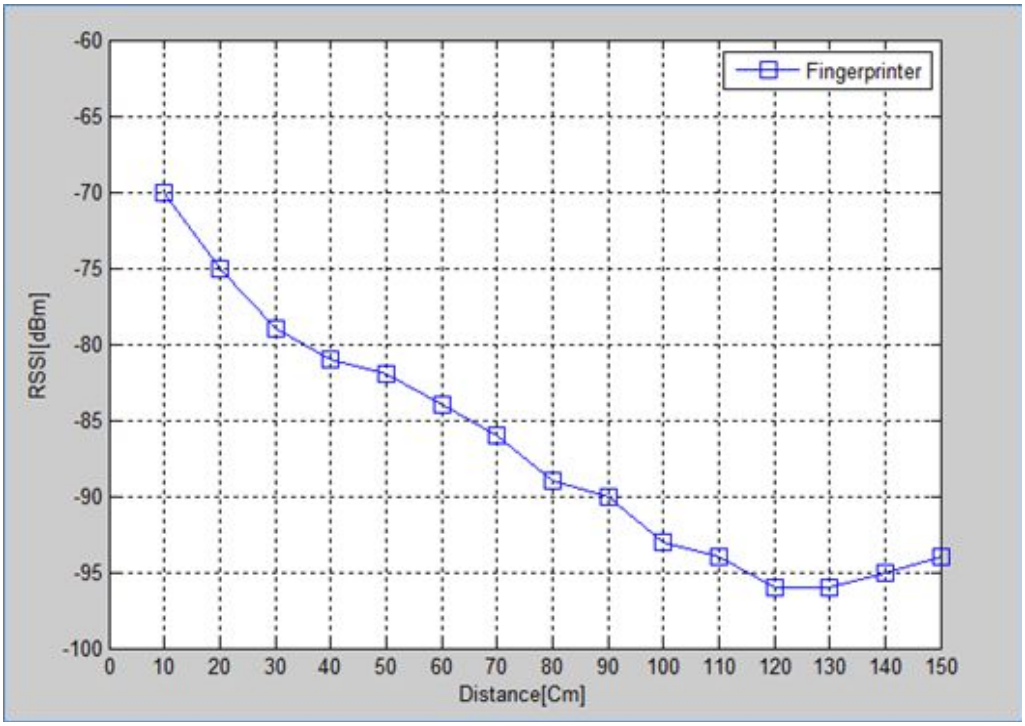

그림 3.6 평균필터를 이용한 기준 RSSI값

그림 3.6은 고정노드 거리별 RSSI값을 나타낸 것이다. 그림 3.6의 데이터들을 평균필터를 통해 평균을 구하여 나타낸 값이다. 1.5m의 거리를 최대로 한 상태에서 일정한 간격으로 RSSI값을 측정하여 저장하였다. 이때 측정할 노드가 RSSI값을 측정하면 나머지 고정 노드들은 전원을 내려 간섭에 대한 영향을 최소한으로 줄여 측정하였다. 이때 RSSI값은 안테나의 각도에 따라 미세하게 차이가 나는데, 고정노드와 이동노드 간의 거리가 멀어지게 되면 1dBm의 미세한 차이에 따라 실제 거리와의 오차의 크기가 ±10cm이상 발생할 수 있으므로 각 노드의 각도에 대한 오차를 최대한 줄이기 위하여 이동 노드의 안테나 방향이 고정 노드 1번과 3번을 잇는 선과 항상 평행을 유지하게 한다. 앞으로의 모든 실험은 이 데이터베이스가 바탕이 되는 거리를 이용할 것이며 기존의 위치 인식 방법과 제안한 알고리즘의 정확도에 대한 평가가 이루어진다. 120cm 이상의 RSSI값은 정확도가 떨어지므로 그 이상의 거리에서는 활용하지 않는다.

3.2.2 RSSI 거리측정시 성능 평가

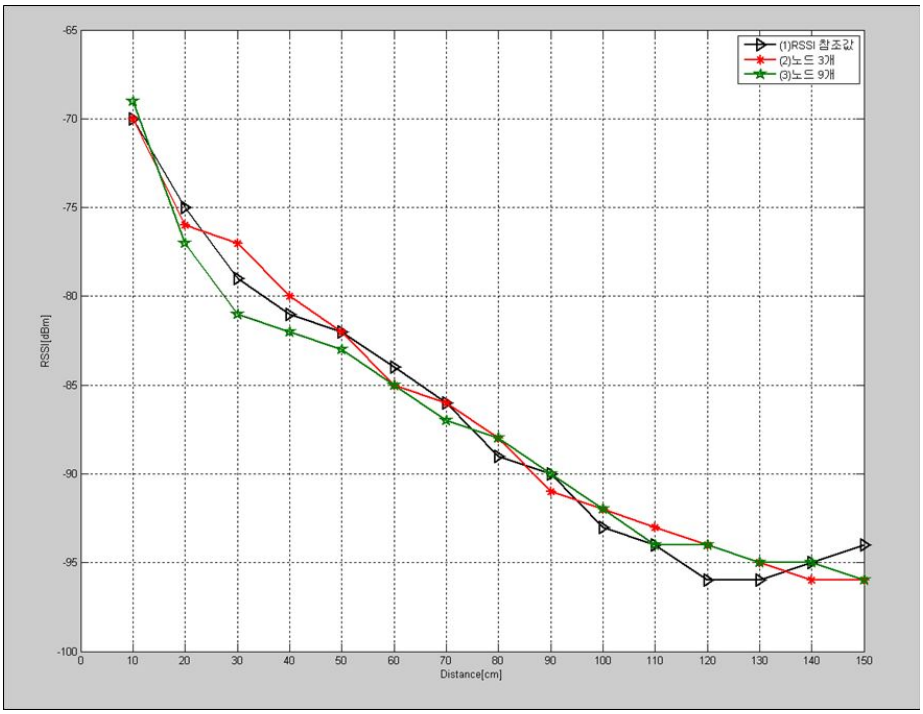

그림 3.7 RSSI별 거리 측정 값

(1)Fingerprint를 이용한 RSSI 참조값, (2)이동노드가 고정노드 3개 선택했을 때의 RSSI값, (3)9개의 고정노드 모두를 사용한 RSSI값

그림 3.7은 같은 채널 상에서 이동노드를 이용하여 RSSI의 신뢰도 높은 고정노드를 선택한 RSSI값과 노드 9개에서의 거리별 RSSI값을 측정하였을 때 고정 노드 1번의 값을 비교하여 나타낸 것이다. 이동 노드의 노드선택 방법을 적용한 측정값과 9개의 모든 노드들을 측정하였을 때 거리별 RSSI값을 측정한 후 데이터베이스의 RSSI값과 비교하였다. 데이터베이스의 경우와 비교하였을 때, 9개의 모든 노드를 사용했을 때 거리 값은 참조 값과 약±25cm의 오차가 발생하였고, 이동노드가 고정노드를 세 개만 선택하여 거리를 측정했을 때 약±15cm의 오차가 발생하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 방식을 사용하여 얻은 RSSI측정값들이 기존 방식을 사용하여 측정한 경우에 비해서 적은 오차를 나타냄을 알 수 있다.

3.2.3 EKF의 좌표 추정 성능 평가

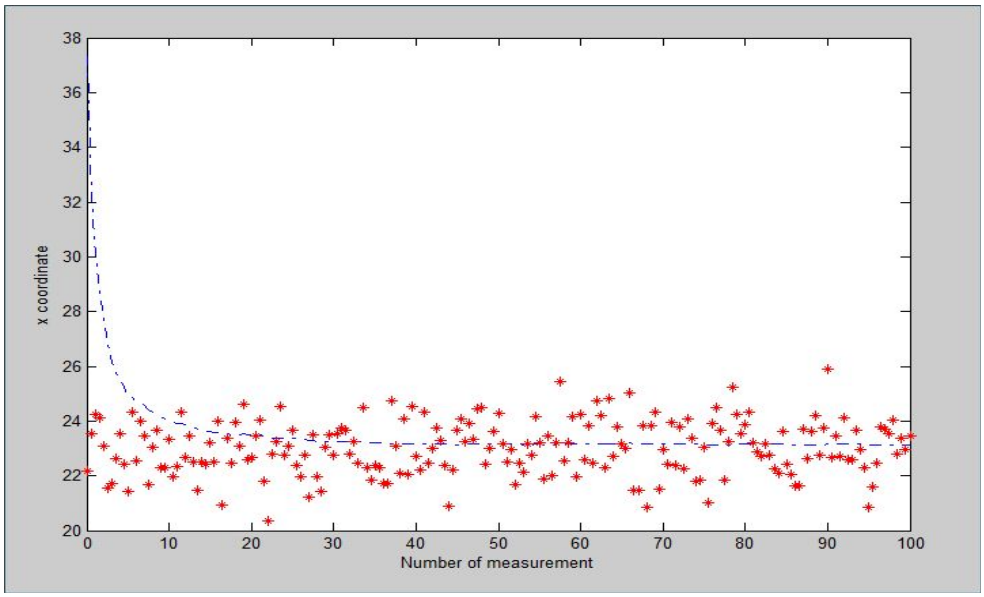

그림 3.8 x의 좌표가 25일 때 EKF와 삼각측량법의 비교

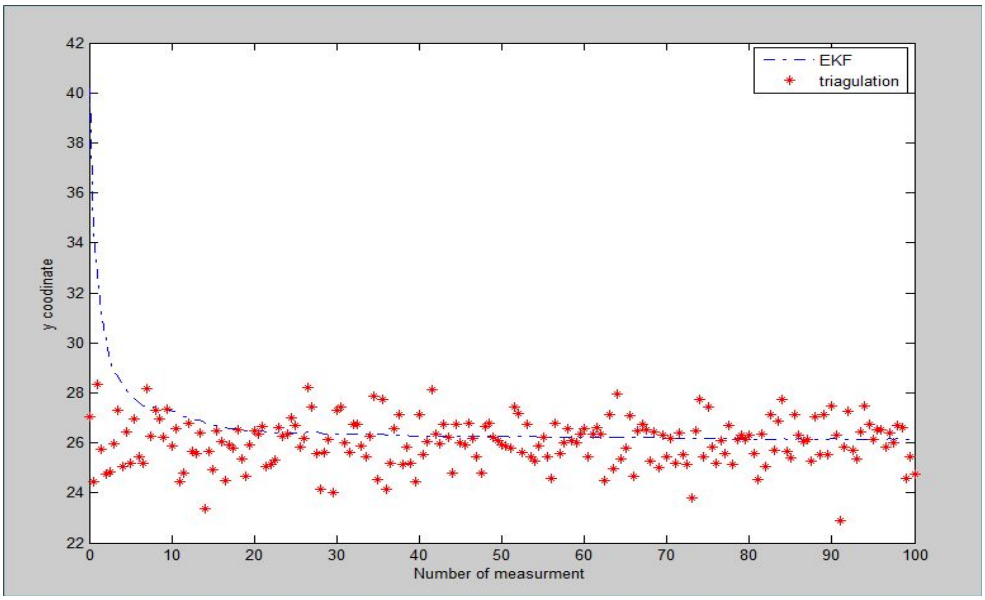

그림 3.9 y의 좌표가 26일 때 EKF와 삼각측량법의 비교

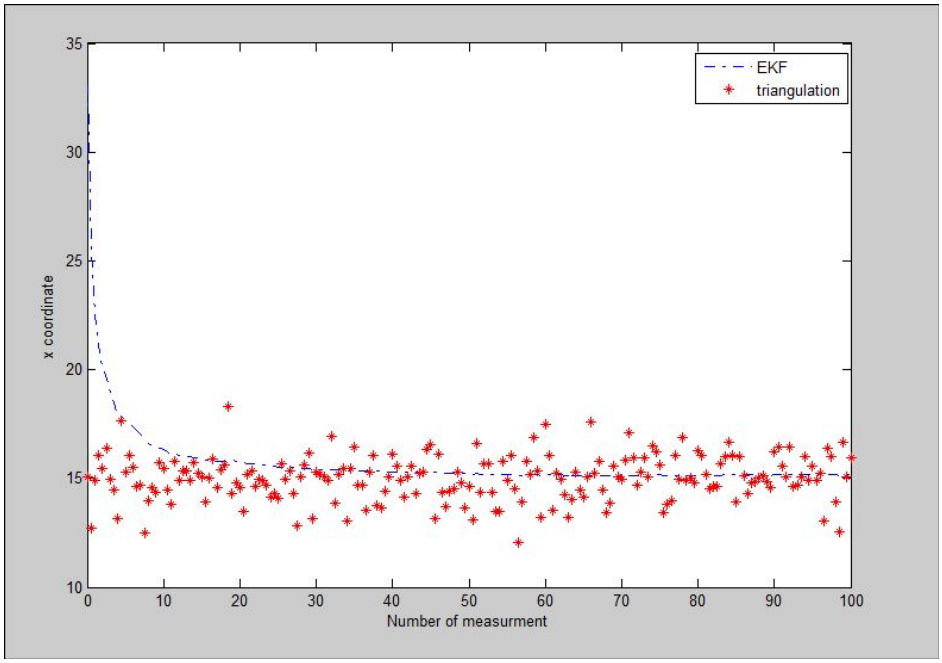

그림 3.10 x의 좌표가 14일 때 EKF와 삼각측량법의 비교

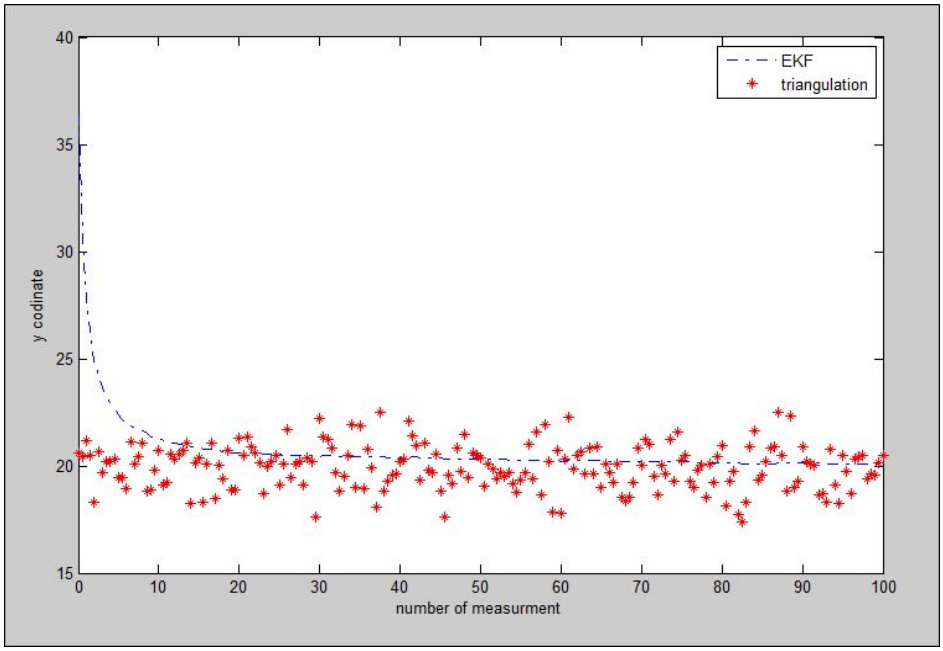

그림 3.11 y의 좌표가 20일 때 EKF와 삼각측량법의 비교

그림 3.8 ~ 3.11는 확장 EKF와 삼각측량법의 최종 좌표 측정값을 나타낸 그림이다. 거리는 앞서 이동노드에게 선택된 고정노드 3개의 데이터를 사용한 RSSI 데이터를 사용하여 x,y좌표의 값을 구하는 거리에 사용하였다. 그림 2.2에서 좌표는 7번 고정노드를 중심으로 y좌표는 7번~1번 구간으로 설정하였으며, y 좌표는 7번~9번 구간으로 설정한다. 이때 고정 노드 7번의 x,y좌표는 (0,0)이다. 각각의 좌표간의 거리는 10cm로 지정하였으며 9번 고정노드의 좌표 값은 (42,0)이 된다. 1번 고정노드의 좌표값은 (0,42)가 된다. 이렇게 모든 고정노드들을 10cm 간격의 격자모양을 만들고 임의로 이동노드를 이동시켜 정지 상태의 이동노드의 좌표를 구하였다. 이때 EKF의 성능평가를 위하여 위치추적에서 많이 활용되는 삼각측량법과 비교하였다. 먼저 이동노드가 좌표(25,26) 위치에 있을 때 위치 좌표를 측정해 보았다. 좌표 값은 그림 3.8 ~ 3.9 그래프와 같이 나타났다. EKF는 필터 특성상 초기값에서 큰 오차가 발생하였으나 측정이 지속될수록 안정된 좌표값을 얻을 수 있었으며 x좌표 14에 가까워지는 것을 확인 할 수 있었다. 반면에 삼각측량법을 이용한 좌표 추적은 x좌표 14에 가까웠으나 오차가 발생하고 값들이 일정하게 구해지지 않는 것을 확인 할 수 있었다. 고정노드간의 10cm간격의 격자에서 좌표 1값은 10cm를 나타내는 것이므로 오차가 그래프의 좌표들이 1차이가 발생할 때 마다 오차는 10cm이상 발생하게 된다. y좌표값도 x좌표의 값과 비슷한 결과 값이 나타났으며 그림 3.9을 통해 그 결과를 확인할 수 있다. 그림 3.10 ~ 3.11는 x,y 좌표(14,20)에서의 이동노드의 좌표값을 EKF와 삼각측량법을 이용하여 나타낸 값이다. 이 그래프들을 보았을 때 EKF를 이용하여 좌표를 측정했을 때 삼각측량법을 이용한 좌표 측정보다 더 안정된 좌표를 얻을 수 있었다.

3.2.4 실험 결과를 통한 성능 비교

위와 같은 연구를 통해 얻어진 결과를 가지고 고정노드 9개가 수신되고 있을 때의 거리 측정과 신뢰도 높은 노드를 3개를 선택했을 때의 거리 측정값을 나타낸 것이다.

표 3.1 고정노드 9개 사용시 거리측정 방법과 노드 선택 방법의 거리 오차값 비교

시스템	오차
고정노드 9개	약±25cm
선택된 고정노드 3개	약±15cm

표 3.1은 모든 고정노드를 사용하여 측정한 거리값과 위치추적에 필요한 신뢰도 높은 고정노드 3개의 거리의 오차를 비교한 표이다. 이때 일반 RSSI의 거리측정시 모든 고정노드을 이용한 값으로써 9개의 노드가 모두 같은 채널을 사용하고 있을 때의 최대 거리오차를 나타낸 것이다. 표 3.1에서와 같이 최대 오차에서 약 10cm의 오차의 차이가 났으며 기존의 일반적인 방법에 비해 신뢰도 높은 고정노드 선택한 방법을 이용하였을 때 성능향상이 이루어진 것을 확인할 수 있었다.

표 3.2 삼각측량법과 EKF의 최종 좌표 오차값 비교

시스템	오차
삼각측량	약±35cm
EKF	약±20cm

표 3.2은 삼각측량법와 EKF의 최종좌표 추정시 최대 오차를 나타낸 표이다. 오차확인 시 최대 15cm의 오차 차이가 났으며 표 3.2에서 확인할 수 있듯이 EKF를 사용하여 최종 좌표 추정시 삼각측량법보다 성능향상이 있었음을 확인할 수 있었다.

4. 결론 및 향후연구 과제

RSSI값을 이용하여 이동노드가 고정노드를 선택하게 하는 새로운 실내 위치 인식 시스템을 제안하고 구현하였다. RSSI값을 이용하여 거리를 구하기 위해서 Fingerprint 방법을 이용하여 데이터를 저장하고 그 저장된 값을 참조 값으로 거리를 측정하였다. RSSI값은 이동노드와 고정노드의 거리가 멀어지면 거리별로 RSSI의 간격이 좁아지기 때문에 1dBm의 차이가 발생해도 오차가 크게 발생한다. 이때 모든 노드들은 같은 채널은 사용하기 때문에 전파간의 간섭이 발생한다. 노드간의 RSSI 간섭을 피하기 위해 이동 노드의 수신 범위를 사용하여 노드를 선택하는 방법을 사용하였고, 이동노드가 신뢰성 높은 RSSI값을 송신하는 고정노드들을 선택함으로써 기존의 방법보다 안정된 RSSI 값을 측정하였고 그 값을 바탕으로 기존의 방법보다 실제거리에 근사한 거리값를 얻어 낼 수 있었다. 이렇게 측정한 거리값을 통하여 값을 EKF를 적용하였다. 이렇게 하여 이동노드의 좌표를 추적할 수 있었고 실제로 위치추적에서 가장 많이 사용되는 삼각측량법보다 더 좋은 최종 좌표값을 얻어낼 수 있다는 사실을 실험을 통해 알 수 있었다. 실내 위치인식 연구는 실제로 실내에서 관심 대상에 대한 위치 정보를 획득할 수 있어, 물류, 엔터테인먼트. 보안등의 위치기반 서비스 구현에 응용될 수 있다. 그래서 Zigbee 기반 위치 인식 시스템은 비용적인 측면에서 매력적인 시스템이다. 또한, 이러한 비용적인 이점을 이용하여 고정 노드를 많이 설치함으로써 NLOS를 극복할 수 있다. 하지만 Zigbee 기반은 시스템들은 변이가 큰 RSSI를 이용한 위치 인식 방법을 사용하므로 위치 추정 정밀도와 정확도를 더 높일 필요가 있다. 앞으로 제안된 시스템을 더 개선시키기 위하여 연구되어야할 사항들을 아래에 적어 보았다.

- 이동노드의 이동중 일정한 RSSI값을 얻을 수 있는 방법 연구
- Zigbee RSSI값이 안테나의 방향에 따라 틀려지는 오차 보정
- EKF의 초기 오류 개선
- NLOS를 정확하게 인지할 수 있는 환경 데이터베이스의 구축

이와 같은 방향으로 개발이 진행된다면 더 뛰어난 성능을 갖는 위치 인식 시스템이 될 것이다. 앞으로 로봇이나 시스템들이 실내에서 좀 더 효율적이고 더 많은 기능을 갖기

위해서는 실내 위치 인식 기술이 필수적이다. 실내의 공간에서 위치 인식을 통해 길 안내나 물체의 상태에 대한 다양한 정보를 제공하고 주고받을 수 있는 시스템개발이 가능하게 됨으로써 유비쿼터스 시스템의 발전이 가속화 될 것으로 생각된다.

참고 문헌

[1] 이웅재 “수신 신호 세기를 이용한 ZigBee 실내 위치 추적 기법,” 정보기술논문지, 23-31쪽, 2009년

[2] 김일영, 강경식, 구정주, 최광석 “RSSI 기반의 실내 위치 추적 기능을 가진 청소 로봇의 구현,” 대한 전자 공학회 추계 학술 대회 논문집, 474-475쪽, 2010년 11월

[3] Emanuele Goldoni, Alberto Savioli, Marci Risi and Paolo Gamba, "Experimental Analysis of RSSI-based Indoor Location with IEEE 802.15.4," 2010 European Wireless Conference, pp.71-77, 2010.

[4] Jeffrey Hightower and Gaetano Borriello,"Location System for Ubiquitous Computing," IEEE Computer Society, Vol. 34, No. 8, pp.57-66, August 2001.

[5] Roy Want and Andy Hopper, "Active badges and personal interactive computing objects," Consumer Electronics, IEEE Transactions on, pp.10-20, February 1992.

[6] JongBae Kim and HeeSung Jun, "Vision-based location positioning using augmented reality for indoor navigation," Consumer Electronics, IEEE Transactions on, pp.954-962, August 2008.

[7] Michael Popa, Junaid Ansari, Janne Riihijarvi, and Petri Mahonen, "Combining Cricket System and Inertial Navigation for Indoor Human Tracking," Wireless Communications and Networking Conference, 2008. WCNC 2008. IEEE, pp.3063-3068, April 2008.

[8] Huang Yihua, Lui Zongyuan and Ling Guojun, "An Improved Bayesian-Based RFID Indoor Location Algorithm," Computer Science and Software Engineering 2008 International Conference on 2008, pp.511-514, December 2008.

[9] Juan Choliz, Miguel Eguizabal, Angela Hernandez-Solana and Antonio Valdovinos, "Comparison of Algorithms for UWB Indoor Location and Tracking Systems," Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2011 IEEE 73rd, pp.1-5, May 2011.

[10] Yuh-Ming Cheng, "Using ZigBee and Room-Based Location Technology to Constructing an Indoor Location-Based Service Platform," Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 2009. IIH-MSP '09. Fifth International Conference on, pp.803-806, September 2009.

[11] Leopoldo Angrisani, Matteo Bertocco, Giovanni Gamba and Alessandro Sona "Effects of RSSI impairmets on IEEE 802.15.4 wireless devices performance susceptibility to interference," Electromagnetic Compatability -EMC Europe, 2008 International Symposium, pp.8-12, September 2008.

[12] Daisuke Anzai and Shinsuke Hara, "An RSSI-Based MAP Localization Method with Channel Parameters Estimation in Wireless Sensor Networks," Vehicular Technology Conference,2009.VTC spring 2009. IEEE 69th, pp.1-5, April 2009.

[13] Q. Spencer, Michael Rice, Brian Jeffs and Michael Jensen, "A statistical model for angle of arrival in indoor multipath propagation," IEEE Vehicular Technology Conference, vol. 3, pp.1415-1419, May 1997.

[14] Tekdas Onur., Isler Volkan, A. Chakraborty and H. Balakrishnan, "Sensor Placement Algorithms for Triangulation-Based Localization," Vol 7, pp.681-685, July 2010.

[15] Apostolia Papapostolou, Wendong Xiao and Hakima Chaouchi, "Cooperative fingerprint-based indoor localization using Self-Organizing Maps," Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2011 7th International, pp.1814-1819, July 2011.

[16] Kalman R.E, "A new approach to linear filtering and predictionproblems," Trans. ASME, Journal of Basic Engineering. pp. 34-45. 1960.

[17] N. J. Thomas, D. G. M. Cruickshank and D. I. Laurenson, "A robust location estimator architecture with biased Kalman filtering of TOA data for wireless systems," IEEE 6th International Symposium on Spread- Spectrum Tech & Applications, pp.296-300, September 2000.

[18] K. -I. Itoh, S. Watanabe and j. Shih, "Performance of handoff Algorithm based on Distance and RSSI Measurements," IEEE Transactions on Vehicular Technology, IEEE Transactions on, pp.1460-1468, November 2002.

[19] B. L. Le, K. Ahmed and H. Tsuji, "Mobile location estimator with NLOS mitigation using Kalman filtering," IEEE Wireless Communications and Networking Conference 2003 (WCNC 2003), Vol. 3, pp.16-20, March 2003.

[20] M. Najar and J. Vidal, "Kalman tracking for mobile location in NLOS situations," The 14th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication (PIM1RC), Vol. 3, pp. 2203-2207, September 2003.

[21] S. Singhal and L.Wu, "Comparative analysis of backpropagation and the extended

Kalman filter for training multilayer perceptrons," Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, pp 862-863, August 2001.

[22] 김신택, “Zigbee기반 Ubiquitous sensor network 이론 및 실습” 한백전자, 2008.

[23] Kaemarungsi, K. and Krishnamurthy, P.,"Properties of indoor received signal strength for WLAN location fingerprinting," Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, 2004. MOBIQUITOUS 2004. The First Annual International Conference on, pp14-23, August 2004.