

무선 센서네트워크 기반 위치 인식  
시스템의 구현 및 노드의 방향성에  
관한 연구

연세대학교 대학원  
의 공 학 과  
양 용 주

무선 센서네트워크 기반 위치 인식  
시스템의 구현 및 노드의 방향성에  
관한 연구

지도 윤 형 로 교수

지도 윤 영 로 교수

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2007년 7월 6일

연세대학교 대학원

의 공 학 과

양 용 주

# 양용주의 석사 학위논문을 인준함

심사위원            윤    형    로    인

심사위원            윤    영    로    인

심사위원            이    선    우    인

연세대학교 대학원

2007년 7월 6일

## 감사의 글

한편의 논문을 마무리하면서 학자로서의 작은 역할을 수행할 수 있도록 도와주신 모든 분들께 감사드립니다.

학문에 대한 변함없는 열정과 삶에 대한 긍정적이고 적극적인 자세를 가르쳐주신 지도 교수 윤영로 교수님께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다. 논문에서 제시한 모델을 평가해 주시고 실험에 대한 충고를 허락해주신 윤형로, 임창환 교수님, 그리고 전체적인 논문의 윤곽을 바로잡아 주시고 세밀한 지도를 아낌없이 베풀어주신 이선우 교수님께도 감사의 말씀을 드립니다.

오늘 날 의공학과와 의부신 성과를 일궈내시고 후학 양성에 온 정성을 다하시는 이윤선 교수님, 김동윤 교수님, 김영호 교수님, 신태민 교수님, 김법민 교수님, 김한성 교수님, 김경환 교수님, 정병조 교수님, 김지현 교수님, 이상우 교수님, 윤대성 교수님, 서종범 교수님, 이용흠 교수님, 권기운 교수님, 임도형 교수님께 감사드립니다. 그리고 항상 넉넉한 입담으로 대해주신 안중수 선생님께도 감사의 말씀을 드립니다.

생체신호처리연구실의 자랑스러운 동문들과 같은 연구실의 일원으로 동고동락하며 지내 온 신재우, 장승진, 이주성 선배님, 박세림 누나, 홍규석, 장용구 두 형들, 동기인 정집민, 심훈, 이주환, 송상하, 김효민에게 진심으로 감사함을 전하고 싶습니다. 그리고 내·외적으로 연구실 생활에 큰 힘이 되며 많은 도움을 준 사수 이정훈에게 진심으로 감사를 표합니다. 또한 모든 대학원 선·후배님들께 감사드리며 이 모든 분들께 눈부신 학문적 성과가 있으시길 기도합니다.

항상 자신의 위치에서 그 역할을 수행하고 자주 만나서 나눌 수는 없지만 그 변함없는 우정을 간직한 있는 정신적 지주 고미선과 대학 및 대학원 동기들에게도 감사의 뜻을 전하고 싶습니다.

고등학교 시절부터 지금까지 관심 가져 주시고 항상 인생에 조언을 아끼시지 않으며 어려운 시기에 많은 도움을 주신 황승연 선생님께 항상 감사드립니다.

우리 아들 최고라시며 제 모든 것을 있는 그대로 사랑하시고 자식에게만큼은 단 한순간도 약하거나 싫은 내색 하지 않으셨고, 또 항상 부족한 아들의 의견을 존중해주시는 부모님, 그리고 내가 없는 빈자리를 훌륭하게 채워주고 자신의 미래를 위해 무섭게 매진하는 당찬 나의 여동생에게 글로써 표현하기엔 턱없이 부족한 그 사랑과 믿음에 감사드리며, 또 가슴깊이 사랑한다는 말씀을 드리고 싶습니다.

앞으로 펼쳐질 삶에 대한 각오를 재차 환기하며, 오늘의 제가 있기까지 저를 아껴주신 모든 분들에게 이 작은 결실을 바칩니다.

2007년 7월  
양 용 주 올림

# 차 례

그림 차례	iv
표 차례	vi
국문 요약	vii
제1장 서론	1
제2장 무선 센서네트워크에서 위치인식 및 탐지 기법	3
2.1. 무선 센서네트워크의 정의	3
2.2. 기존의 위치인식, 트래킹, 타겟 소스 탐지 기법	4
2.2.1. 관련 연구 사례	4
2.2.2. 위치인식 기술	4
2.2.3. 위치 추정 기법	5
2.3. Received Signal Strength Indicator(RSSI)	5
2.4. 신호강도 맵(Signal Strength Map)	6
제3장 연구 재료	7
3.1. Nano-24	7
3.2. Nano-Q <sup>+</sup>	8
제4장 채택형 위치 인식 및 사용자 식별 시스템	9
4.1. 의료 및 의공학 분야에서의 모니터링 시스템의 필요성	9
4.2. 무선 센서네트워크 기기의 구성 및 기능	9
4.2.1. 센서	9
4.2.2. 라우터(Router, Coordinator)	10
4.2.3. 싱크(Sink, Pan Coordinator)	10
4.3. 무선 센서네트워크의 설계	10
4.3.1. 사용자 식별	10
4.3.2. 위치 인식 시스템	11
4.4. RSSI 기법과 모니터링 시스템	13

4.5. 시스템의 순서도 . . . . .	14
4.6. 실험 및 실험 결과 . . . . .	16
4.6.1. 자유 공간에서 1~5m RSSI 측정 . . . . .	16
4.6.2. 실내 공간에서 각 영역에서의 RSSI 측정 . . . . .	17
제5장 노드 방향의 영향을 최소화한 최적 RSSI 추정 방법 . . . . .	21
5.1. 노드의 방향성 고려 . . . . .	21
5.2. 실험 . . . . .	21
5.2.1. 노드를 0~5m까지 회전시키면서 RSSI 측정 . . . . .	21
5.3. 거리에 대한 최적의 RSSI 추정 방법 . . . . .	23
5.3.1. 사전조건 . . . . .	23
5.3.2. 상대적 위치 및 최적 RSSI 추정 방법 . . . . .	24
5.3.2.1. 평균을 이용한 추정 . . . . .	24
5.3.2.2. 최적 섹터의 데이터를 이용한 다항식 추정 . . . . .	25
5.3.2.3. Power method를 이용한 고유값 추정 . . . . .	25
5.3.2.4. Maximum Likelihood Estimation을 이용한 추정 . . . . .	26
5.3.2.5. Expectation & Maximization algorithm을 이용한 추정 . . . . .	27
5.3.2.6. 새롭게 제시한 노드모델을 이용한 추정 . . . . .	28
5.3.3. 추정 방법의 순서도 . . . . .	29
5.3.4. 각 추정 방법의 결과 및 오차 . . . . .	30
제6장. 소스의 방향성을 고려한 개선된 센싱 모델 . . . . .	32
6.1. Distributed Sensor Networks(DSNs)의 정의 . . . . .	32
6.2. DSNs에서 소스의 방향성분 고려 . . . . .	33
6.3. 실험 . . . . .	33
6.3.1. DSNs 기반 타겟소스 탐지 실험 . . . . .	33
6.4. 신호원의 Magnetic dipole . . . . .	34
6.5. RSSI 기법에서의 Pathloss 모델 . . . . .	34
6.6. 센싱 모델 . . . . .	35
6.6.1. 기존의 센싱 모델 . . . . .	35

6.6.2. 새롭게 제시한 센싱 모델 . . . . .	36
6.7. 역문제(Inverse Problem)을 이용한 타겟 신호원 탐지 . . . . .	36
6.8. 6.7의 시뮬레이션 . . . . .	38
제7장 고찰 . . . . .	42
제8장 결론 . . . . .	43
제9장 향후과제 . . . . .	46
참고문헌 . . . . .	47
영문요약 . . . . .	54

## 그림 차례

그림 2.1. 무선 센서네트워크 기술의 기본 개념 사례 . . . . .	3
그림 2.2. 특정구역에서 신호원과 수신기 사이 신호강도 맵의 일례 . . . . .	6
그림 3.1. 인터페이스 모듈 . . . . .	7
그림 3.2. 메인 모듈 . . . . .	7
그림 3.3. Nano - Q <sup>+</sup> 계층적 구조 . . . . .	8
그림 4.1 스타 네트워크 . . . . .	11
그림 4.2 메쉬 네트워크 . . . . .	11
그림 4.3 위치 인식 시스템의 센서네트워크의 데이터 경로 . . . . .	12
그림 4.4 사용자 식별 및 거주자 위치 인식 시스템의 순서도 . . . . .	15
그림 4.5 RF 신호 특성을 알아보기 위한 실험 모습 . . . . .	16
그림 4.6 RF 신호의 거리에 따라 측정된 RSSI . . . . .	16
그림 4.7 각 공간마다 신호강도 맵을 구성하기 위해 1m×1m의 해상도로 센서 와 라우터간의 RSSI 측정 . . . . .	17
그림 4.8 그림4.7에서 설정한 해상도를 고려하여 각 노드 섹터에서 측정한 RSSI . . . . .	18
(a) 노드 5 섹터에서 측정한 RSSI	
(b) 노드 6 섹터에서 측정한 RSSI	
(c) 노드 7 섹터에서 측정한 RSSI	
(d) 노드 8 섹터에서 측정한 RSSI	
(e) 노드 9 섹터에서 측정한 RSSI	
그림 5.1 송신기와 수신기 사이의 방향을 고려한 실험 . . . . .	21
그림 5.2 0°~330°까지 송신기를 회전시키면서 측정한 RSSI . . . . .	22
그림 5.3 새롭게 제시한 센서 모듈 . . . . .	28
그림 5.4 제시한 모듈의 블럭도 . . . . .	28
그림 5.5 전체 추정 과정의 순서도 . . . . .	29



그림 5.6	각 추정결과와 레퍼런스의 비교	30
그림 6.1	DSNs에서 싱크의 에너지 소비 레벨	32
	(a) 노드들의 배치	
	(b) 센서가 싱크로 전송하는 정보를 싱크에서 수신할 때 소비되는 에너지 레벨	
그림 6.2	타겟 소스를 탐지하기 위한 실험	33
그림 6.3	센서 모듈의 magnetic dipole 모델링	34
그림 6.4	역문제 계산 후, 추정된 타겟 신호원의 놈분포(Norm Distribution)	39
	(a) 타겟 신호원이 (2, 0, 0.11)일 때	
	(b) 타겟 신호원이 (5, 0, 0.11)일 때	
	(c) 타겟 신호원이 (3, 1, 0.11)일 때	
	(d) 타겟 신호원이 (0, 2, 0.11)일 때	
	(e) 타겟 신호원이 (0, 3, 0.11)일 때	
	(f) 타겟 신호원이 (4, 3, 0.11)일 때	
	(g) 타겟 신호원이 (1, 4, 0.11)일 때	
	(h) 타겟 신호원이 (5, 4, 0.11)일 때	
	(i) 타겟 신호원이 (2, 5, 0.11)일 때	
	(j) 타겟 신호원이 (4, 5, 0.11)일 때	

## 표 차 례

표 4.1	각 라우터에서 측정된 RSSI의 표준편차	20
표 5.1	각 섹터의 구분	22
표 5.2	다항식 보간법 과정에서 측정값과 계산값의 퍼센트 오차(단위: %)	24
표 5.3	각 거리에서 추정된 다항식의 차수 및 퍼센트 오차(단위: %)	24
표 5.4	3차 다항식의 계산값과 추정된 섹터 1의 평균값의 오차(단위: %)	25
표 5.5	각 추정방법의 퍼센트 오차(단위: %)	31

## 국 문 요 약

### 무선 센서네트워크 기반 위치 인식 시스템의 구현 및 노드의 방향성에 관한 연구

본 논문에서는 무선 센서네트워크(Wireless Sensor Networks)기반 위치 인식 시스템을 구현하고 노드의 방향성을 최소화하여 최적의 RSSI(Received Signal Strength Indicator)를 추정하는 방법 및 개선된 센싱 모델을 이용하여 역문제(Inverse Problem)를 적용한 타겟 소스 탐지 기법을 제시하였다.

무선 센서네트워크를 이용한 거주자의 위치 추적 및 인식 기법은 유비쿼터스 컴퓨팅 분야에 있어 가장 활발히 연구가 이루어지고 있는 분야중 하나이다. 특히 기존의 유선 및 무선 통신 기기, GPS에 비해 노드간의 협업(Collaboration), 자기 구성(Self-organization), 온라인처리, 대규모 수의 센서노드, 저전력, 저비용의 장점을 가지고 있어 다양한 분야에서 각광을 받고 있다. 본 논문은 신호강도 맵(Signal Strength map)기반 RSSI 기술을 적용하여 위치인식과 타겟 탐지에 관한 방법을 제안하였다.

위치 인식 및 사용자 식별 시스템은 다수의 센서 노드를 사용하여 거주자와 라우터 사이는 메쉬 네트워크, 라우터와 싱크 사이는 스타 네트워크를 적용하여 스타-메쉬(Star-Mesh)네트워크를 혼용한 멀티홉 라우팅(Multi-hop routing)기법을 구현하였다. 위치 구별을 위한 영역 결정은 각 위치에서 측정된 RSSI를 이용하여 신호강도 맵을 데이터베이스화 하여 구분하였다. 또한 사용자 식별은 거주자가 휴대한 노드에 고유의 ID를 부여하였다.

직선 경로에서 거리에 따른 두 노드사이 RSSI를 측정할 때, 노드의 위치가 동일할 지라도 두 노드사이의 방향성에 따라 측정된 RSSI는 다르다. 따라서 본 논문은 노드 방향의 영향을 최소화하여 거리의 증감에 따른 최적의 RSSI를 추정하는 방법을 제안하였다. 사전에 측정된 RSSI를 이용하여 위치에 따른 RSSI를 추정하기

위한 방법으로는 평균, 보간법, power method를 이용한 고유값, maximum likelihood estimation, expectation & maximization 알고리즘, 새롭게 제시한 노드 모듈을 적용하였고 각 추정 방법의 퍼센트 오차는 각각 12.6%, 1.31%, 2.06%, 1.42%, 2.09% 이다.

마지막으로 분산 센서네트워크(Distributed Sensor Networks: DSNs)에서 제한된 공간에서 균일하게 분포된 노드의 위치를 탐지하는 기법을 제시하였다.  $5m \times 5m$  크기의 제한된 정사각형 영역에서 일반적인 DSNs 구조의 센서네트워크를 구성하였고 역문제(Inverse Problem)를 이용하여 타겟 소스를 탐지하였다. 또한 노드를 magnetic dipole로 간주하여 기존의 센싱 모델에 방향성분을 추가한 개선된 센싱 모델을 제시하였고 선형 연산 방정식(Linear operator equation)의 역과정을 적용한 뒤, 각 노드의 놈(Norm)을 취해 타겟 소스를 탐지하였다.

본 논문에서 제시한 시스템 및 기법의 성능에 대한 평가는 적절한 센서네트워크를 구성하여 측정한 값과 계산된 값의 퍼센트 오차를 비교·분석하는 방식과 시뮬레이션으로 진행하였고 비교적 안정된 시스템을 구현하였다.

---

핵심되는 말 : 무선 센서네트워크, 방향, 위치 인식, 역문제, 센싱 모델, 분산 센서네트워크, 소스 탐지, RSSI, 신호강도 맵

## 제1장 서론

무선 센서네트워크(Wireless Sensor Networks: WSNs)는 무선 센서 필드 개념을 중심으로 불특정 공간에 설치된 센서로 구성된 네트워크로부터 수집된 정보를 일괄적으로 활용하는 것을 의미한다[1]. 이는 기존의 유선 네트워크 서비스가 갖고 있는 제약을 벗어나 이용자가 자유롭게 정보통신 서비스를 이용할 수 있으며 유비쿼터스 네트워크와 다양한 센서 기기의 활용으로 많은 분야에서 응용되고 있다.

위치인식은 실내와 음영지역에서도 가능하며, 비교적 좁은 영역에서 수십 cm이 내의 정밀도를 요구하는 위치인식 서비스는 물류 자동화, 보안, 산업 자동화 및 제어를 위한 무선 센서 네트워크, 건물 자동화, 로봇 공학, 어린이 보호, 전투 중 군인의 위치인식, 진화 중에 고립되거나 실종된 소방관의 구출, 의료 분야 등 다양한 분야에서 응용이 가능하다[2,3]. 특히 이를 기반으로 주변 상황인식 및 위치인식이 활발히 연구되고 있으며 의료 분야에 있어서 비품 또는 의료진이나 환자의 위치를 찾고자 할 때, 환자의 현재 상태를 나타내는 전자 의료기록을 자동으로 갱신할 때, 의료 장비를 찾거나 현재 상태를 모니터링 할 때 중요하다. 따라서 무선 센서네트워크에서 위치인식과 관련한 서비스는 매우 중요하고 현재 많은 연구가 진행 중이다.

본 논문에서 적용한 RSSI 기법은 time of arrival(TOA), time difference of arrival(TDOA), angle of arrival(AOA), 적외선(IR), 초대역(ultra-wideband; UWB) 비해 시스템 동작을 위한 추가적인 하드웨어가 필요하지 않고 측정이 간편하며 상대적으로 저전력 소비가 가능해 위치와 관련한 연구 분야에 매우 적합하다. 본 논문은 3개의 주제로 구성되어 있으며, 첫 번째로 위치 인식 및 사용자 식별 시스템은 스타-메쉬(Star-Mesh)네트워크를 혼용한 멀티홉 라우팅(Multi-hop routing)기법을 구현하였다. 제한된 공간에서 위치 구분을 위해 각 위치에서 측정된 RSSI를 근거로 신호강도 맵을 데이터베이스화 하였고 사용자 식별은 거주자가 휴대한 노드에 고유의 ID를 부여하였다.

송신기와 수신기 사이의 RSSI를 측정할 때, 두 노드가 동일한 위치에 있더라도

노드사이의 방향성에 따라 측정된 RSSI는 다르다. 따라서 본 논문은 노드 방향의 영향을 최소화하여 거리의 증감에 따른 최적의 RSSI를 추정하는 방법을 제안하였다. 위치에 따른 RSSI를 추정하기 위한 방법으로는 평균, 보간법, power method를 이용한 고유값, maximum likelihood estimation(MLE), expectation & maximization(EM) 알고리즘, 새롭게 제시한 노드 모듈을 적용하였다.

마지막으로 분산 센서네트워크(Distributed Sensor Networks)에서  $5m \times 5m$  크기로 제한된 정사각형 영역에서 일반적인 DSNs 구조의 네트워크를 구성하여 균등하게 분포된 제한된 공간에서 노드의 위치를 탐지하는 기법을 제시하였다.

## 제2장 무선 센서네트워크에서 위치인식 및 탐지 기법

### 2.1. 무선 센서네트워크의 정의

무선 센서네트워크(Wireless Sensor Networks: WSNs)는 무선의 센서필드 개념을 중심으로 불특정공간에 배포된 센서로부터 수집된 정보를 일괄적으로 활용하는 것으로 특정 지역에 소형의 센서노드를 설치하여 주변 정보 또는 특정 목적의 정보를 획득하고 베이스 스테이션이 정보를 수집하여 이를 활용하기 위한 서비스를 말한다[1,4]. 즉 각 센서노드가 특정 목적을 위해 필요한 주변 정보를 센싱하고 센싱된 정보를 센서 노드 간의 무선통신을 이용하여 특정지점으로 자동화된 방식으로 전달함으로써 사용자가 센서필드 주변의 정보를 원격으로 수집하여 활용할 수 있다.

그림 2.1은 무선 센서네트워크의 정의에 대한 예시로 불이 난 지역을 센싱하여 네트워크의 싱크로 전송한 뒤, 싱크에 연결된 PC를 경유하여 소방서까지 정보를 전송하는 과정을 설명한다[4,5].

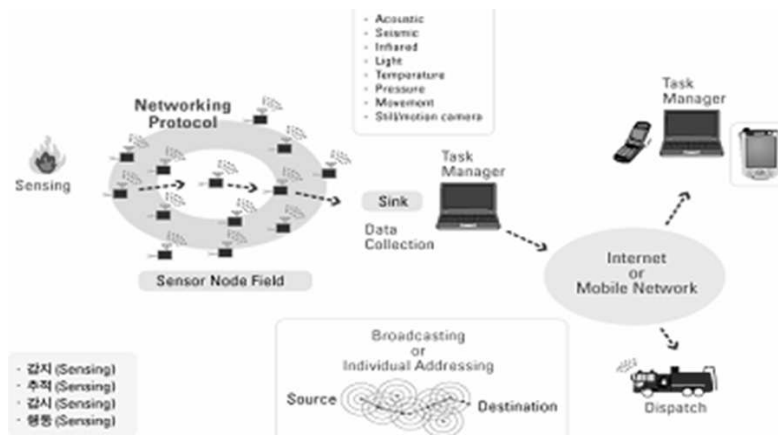


그림 2.1. 무선 센서네트워크 기술의 기본 개념 사례

## 2.2. 기존의 위치 인식, 트래킹, 타겟 소스 탐지 기법

### 2.2.1. 관련 연구 사례

위치 인식은 커버 영역에 따라 매크로와 마이크로 위치 인식 시스템으로 분류할 수 있다. 무선 센서네트워크 기반 위치인식은 매크로 위치인식 시스템을 사용할 수 없는 건물의 음영지역 또는 실내에서 사람이나 사물의 위치를 인식하는 마이크로 위치인식 시스템에 속한다. 관련된 대표적인 연구 사례로는 적외선을 사용한 AT & T의 active badge는 active badge[6]의 위치를 찾아 건물 내에서 사용자의 위치를 인식하는 방식이고, 초음파와 RF를 이용한 MIT의 Cricket[3], WLAN의 RSSI를 사용한 Microsoft사의 RADAR[6,37]는 IEEE.802.11 무선 네트워킹 기술을 기반으로 하는 건물영역의 위치 인식 및 추적 시스템이다. Ultra wide-band(UWB) 신호를 사용한 Ubisense 사의 Ubisense[13]가 있다.

### 2.2.2. 위치인식 기술

대표적인 위치 인식 기술은 삼각 측량 방식과 영상 분석 위치 인식, 근접 방식이 있다. 삼각 측량 방식은 직접 거리를 측정하거나 물체와 특정 지점까지 정해진 속도로 이동하는데 걸리는 시간을 측정함으로써 거리가 멀어짐에 따라 신호의 세기가 감소하는 원리를 이용하여 거리를 측정할 수 있다. 영상 분석 위치 인식은 특정 지점에서 관측된 영상의 특성을 이용한다. 영상의 이미지에 대한 크기나 모양 등의 정보를 비교하여 거리를 계산할 수 있다. 마지막으로 근접 방식은 물체가 알려진 위치에 있을 때 위치를 인식하는 방법으로 3가지로 요약할 수 있다. 첫 번째, 물리적 접촉 감지에 의한 위치인식으로 압력센서, 터치센서를 이용한다. 두 번째, 무선 셀룰러 네트워크에서 이동 장치가 한 개 이상의 접속점 영역에 있는지 모니터링 함으로써 위치인식을 할 수 있으며 Active Badge, IEEE 802.11 무선 네트워크를 이용한 Carnegie Mellon Wireless Andrew가 있다[7]. 세 번째, 자동 식



별 시스템이나 식별태그를 이용하여 태그를 호출하거나 라벨을 스캔하는 장치의 위치를 알면 이동 물체의 위치를 유추할 수 있다[3].

### 2.2.3. 위치 추정 기법

2006년 J. Lee등은 tri-lateration 기법을 적용하여 신호원 주위 3개의 센서와의 상대적 거리 비를 이용한 radiometric vector iteration(RVI) 알고리즘을 제시[10]하였고, 2004년 Omid S. Jahromi등은 Ring, Star 알고리즘을 이용한 위치 추정방식 [11]을 적용하였으며, 2003년 Y. Zou등은 energy consumption model에 근거한 각 위치에서의 확률 밀도 함수를 이용하여 추정하는 방식[8,9]을 이용하였다. 분산 센서네트워크(Distributed Sensor Networks: DSNs)에서는 랜덤하게 위치한 센서를 클라이언트/서버 관계로 클러스터링 시켜 소스를 탐지하는 방법을 제시하였으며, particle swarm optimization(PSO)[14], genetic algorithm(GA), simulated annealing(SA)[13], evolution strategy(ES)[24]등 최적화 기법을 이용하여 제한된 공간에서 모든 노드의 존재여부를 판별하는 방법 등이 있다.

### 2.3. Received Signal Strength Indicator(RSSI)

Received signal strength indicator(RSSI)는 신호원으로부터 수신기에 들어오는 신호전력을 의미하며 안테나의 이득이나 회로내부의 손실은 고려하지 않는다[15]. 실제 프로그래밍에서 신호 강도를 나타내는 16진수의 패킷은 link quality indicator(LQI)로 노드간의 연결 정도를 0x00 ~ 0xFF의 8비트 다이내믹 레인지로 나타낸다.

## 2.4. 신호강도 맵 (Signal Strength Map)

신호강도 맵은 주로 일기 예보에 이용되며 특히 마이크의 음성 전달 스펙트럼, 라디오 신호의 전파 등 다양한 분야에 적용된다. 본 논문에서는 사전에 특정 지역에서 수신기와 신호원 사이의 다양한 위치에서 측정된 RSSI를 이용하여 각 위치에 대하여 데이터를 수집한다. 타겟 노드의 RSSI 패킷이 수신될 때 데이터베이스화 된 위치 정보로부터 위치를 추정한다. 즉, 실험을 통해 사전에 측정된 RSSI를 토대로 신호강도 맵을 데이터베이스화 하여 측정된 값으로부터 거리를 추정하는 방식을 적용하였다. 신호강도 맵 방식은 가구의 이동과 같은 주변 환경이 달라지면 다시 신호강도 맵을 구성해야 하는 단점이 있다. 그렇지만 TOA, TDOA, AOA 기법과 달리 RSSI 기법은 노드간의 시간차 및 신호의 세기를 측정하고 계산하는 추가적인 모듈이 필요 없고 측정 각도의 범위를 넓히기 위해 어레이 안테나를 부착하는 노드 개조가 필요 없으며 무선 센서네트워크의 저전력, 초소형, 이동성, 휴대성 측면에서 가장 적절하다.

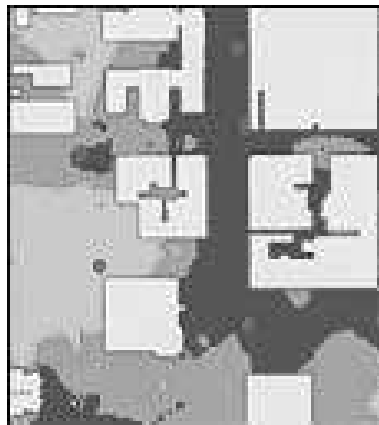


그림 2.2. 특정 구역에서 신호원과 수신기 사이 신호강도 맵의 일례

## 제3장 연구 재료

### 3.1. Nano-24

Nano-24는 유비쿼터스 환경의 기반 기술인 센서 네트워크 환경 개발 및 교육을 위한 하드웨어 모듈로 IEEE 802.15.4를 만족하는 센서네트워크 장비이다. CPU는 RISC 구조의 Atmega128L이며 In-System Reprogrammable(ISR) 기반의 플래시 메모리, 내부 SRAM, EEPROM과 내·외부 SDRAM을 지원한다[17].

본 논문에 사용된 모듈은 인터페이스 모듈과 메인 모듈이다. 인터페이스 모듈은 메인 모듈 혹은 다른 센서 모듈과 적층하여 프로그램 다운로드, 외부 전원 사용, Max232를 이용한 시리얼 통신과 같은 기능을 갖추고 있다. 메인 모듈은 MCU(Atmega128L)와 2.4GHz의 주파수 대역을 이용하는 RF 송수신 모듈(CC2420)을 가지고 있어 기본적인 RF통신이 가능하고 OS를 구동시키며 Zigbee 프로토콜 및 PCB안테나가 내장되어 있다.

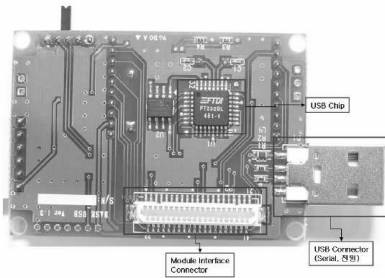


그림 3.1. 인터페이스 모듈

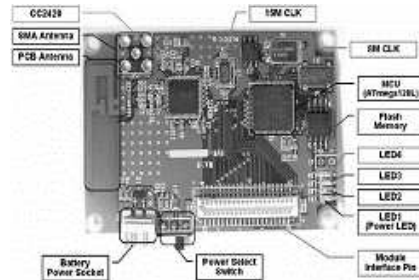


그림 3.2. 메인 모듈

### 3.2. Nano - Q<sup>+</sup>

Nano - Q<sup>+</sup>는 한국전자통신연구원(ETRI)에서 개발한 Nano 시스템을 구동하기 위한 소프트웨어로 Simple Scheduler, Timed Scheduler, Preemption Scheduler, RF Driver, Serial Driver, ADC Driver 등의 모듈을 포함한 저전력 센서 네트워크 운영 체제이다. 본 논문에서는 센서에서 감지한 값을 RF를 이용하여 전송하고 각 시스템의 노드들을 경유하여 목표로 하는 노드로 전송하는 기능을 수행한다. 또한 사용된 커널은 Nano-qplus 1-5.1e 버전이다[4,16].

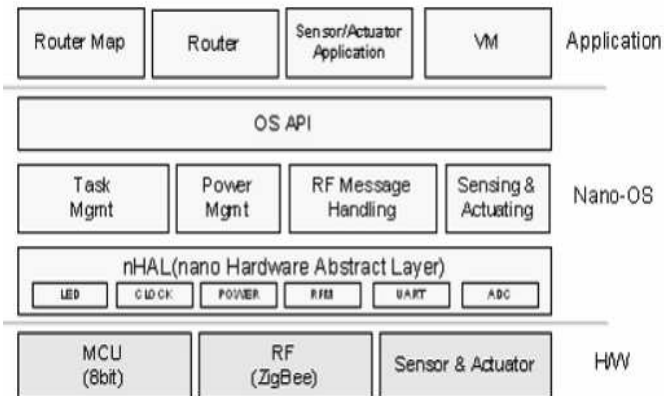


그림 3.3. Nano - Q<sup>+</sup> 계층적 구조

## 제4장 재택형 위치 인식 및 사용자 식별 시스템

### 4.1. 의료 및 의공학 분야에서의 모니터링 시스템의 필요성

노인 인구의 증가에 따라 가족의 보호를 받지 못하는 독거노인 및 주간에 혼자 집에 생활하는 아동이 늘어나고 있으며 최근에는 가정 내 안전사고와 급사에 대한 사례가 증가하는 추세다. 따라서 이를 예방하는 방법으로 실내에서 무선 센서네트워크를 이용하여 거주자의 위치를 감지하는 모니터링 시스템은 중요한 서비스이다. 의료 분야에 있어서 비품 또는 의료진이나 환자의 위치를 찾고자 하거나 환자의 현재 상태를 나타내는 전자 의료기록을 자동으로 갱신하거나 의료 장비를 찾거나 환자의 현재 상태를 모니터링 할 때 중요하다[1]. 따라서 무선 센서네트워크에서 위치 인식과 관련한 서비스는 매우 중요하고 현재 많은 연구가 진행 중이다. 본 논문은 신호강도 맵(signal strength map)을 이용한 위치 인식 및 사용자 식별 시스템을 구현하였다.

### 4.2. 무선 센서네트워크 기기의 구성 및 기능

무선 센서네트워크 기기는 센서, 라우터(Router, Coordinator), 싱크(Sink, Pan coordinator)로 나뉜다.

#### 4.2.1. 센서

센서는 데이터만을 전송하고 다른 센서나 라우터의 수신 및 참여(Association)는 할 수 없으며 reduced function devices(RFDs)에 해당한다. 즉, 싱크에게 참여를 요청하고 허락되면 16bit short MAC 주소를 부여 받으며 항상 수신 기능을 켜지 않고 라우터에게 beacon frame을 받거나 데이터를 받을 때만 수신 기능이 활성화되기 때문에 전력 소모를 줄일 수 있다. 또한 무한 반복 루틴 함수로 구성되

어 일정 시간마다 센서로부터 센싱된 데이터 값을 싱크로 전송한다. 센서는 거주자가 휴대하는 기기에 해당 한다.

#### 4.2.2. 라우터(Router, Coordinator)

라우터는 다른 라우터 혹은 센서로의 전송, 수신, 참여가 모두 가능하고 부분 네트워크를 제어하며 제어 하에 있는 기기들로부터 수집한 정보는 싱크로 전송하는 코디네이터(Coordinator) 역할을 한다. 천장에 고정되어 있는 기기로 거주자와 전체 네트워크의 서버 역할을 하는 싱크 사이 중계기 역할을 한다.

#### 4.2.3. 싱크(Sink, Pan Coordinator)

싱크는 네트워크에서 하나만 존재하고 전송, 수신, 참여가 가능하지만 라우터와는 달리 전체 네트워크에서 수집된 정보가 모이고 전체 네트워크에 참여한 기기들을 제어한다는 점에서 더욱 포괄적이라 할 수 있으며 이는 full function devices(FFDs)에 해당한다. 그리고 고유한 16bit short MAC 주소를 가지고 있어 센서로부터 센싱된 데이터를 받기 위해 항상 수신 기능을 활성화되어 있다.

### 4.3. 무선 센서네트워크의 설계

#### 4.3.1. 사용자 식별

사용자는 고유 ID가 할당된 메인 모듈을 휴대하고 사용자가 변기, 욕조, 침대의 일정 영역 이내로 접근하면 모듈에 할당된 ID가 계측기에 부착된 모듈로 전송된다. 그 때 자동적으로 사용자는 편안하게 생체신호를 측정할 수 있게 된다. 각 계측기의 사용자를 한 명으로 가정하였고 휴대한 모듈과 부착된 모듈 사이의 link quality indicator(LQI)가 0xF0 이상일 경우 할당된 ID가 전송된다.

### 4.3.2. 위치 인식 시스템

구현한 네트워크는 멀티-홉 라우팅(Multi-hop routing) 방식을 적용하였고 세부적으로 나누어 보면 그림 4.1의 스타 네트워크와 그림 4.2의 메쉬 네트워크를 혼용한 스타-메쉬 네트워크라 할 수 있다.

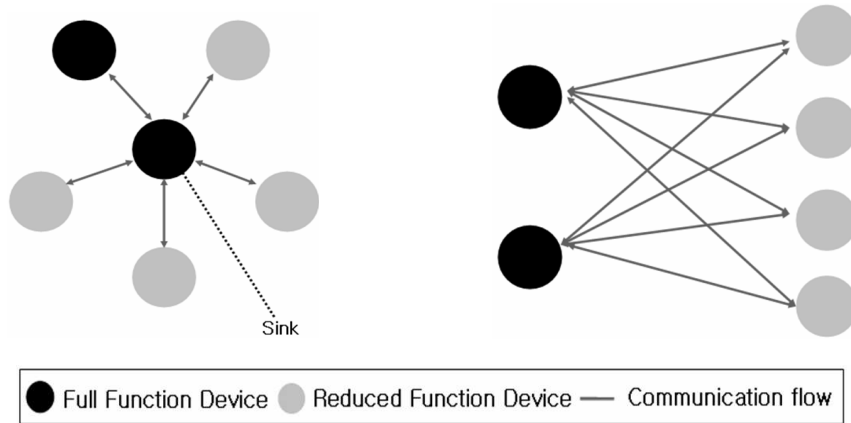


그림 4.1. 스타 네트워크

그림 4.2. 메쉬 네트워크

센서와 라우터 사이에 적용한 메쉬 구조는 링크가 끊어졌을 때 다시 복구될 수 있고 각각의 라우터가 서로 정보를 교환하고 네트워크의 상태를 파악할 수 있다는 점에서 최상의 루트를 구성할 수 있다. 또한 실내 공간이 협소하고 좁기 때문에 라우터들이 서로 연결될 수 있는 가까운 위치에 존재하고 대체적으로 주어진 공간에 많은 노드가 분포되어 있다. 라우터와 싱크 사이의 스타구조는 싱크를 지정해 줄 있어 모양이 단순하고 문턱치 RSSI를 적용함에 따라 전송 지연과 같은 병목현상 및 전체 네트워크의 트래픽을 분산시킬 수 있는 장점이 있다[5]. 측정할 센서 디바이스의 RF통신 범위는 약 0~50m 이다. 따라서 거리 제한으로 인한 넓은 범위의 데이터 수집을 위해서 데이터간의 릴레이(Relay)가 가능한 멀티-홉 라우팅 방식을 이용한다. 각 센서들은 센서 값을 수집하면서 최종 목적지인 싱크까지 라

우팅 하면서 데이터를 전송한다. 사용자가 센서를 휴대하고 이는 실험실 내에 고정된 라우터로 브로드캐스팅한다.

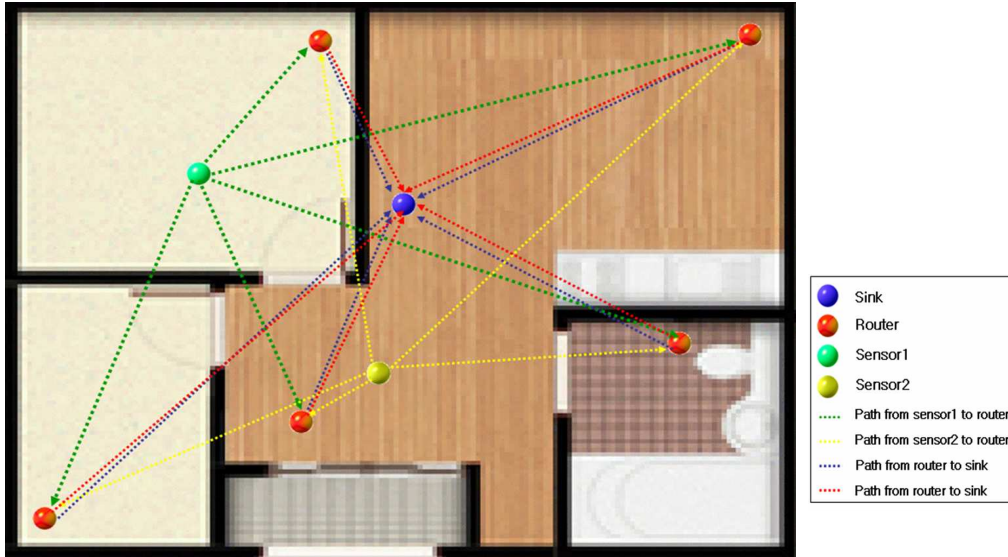


그림 4.3. 위치인식 시스템의 센서네트워크의 데이터 경로

따라서 모든 라우터는 4개의 센서로부터 RF 신호를 수신 받는다. 단 각 센서는 고유 ID를 갖게 되고 네트워크의 라우터로 ID를 브로드캐스팅한다. 따라서 센서에서 라우터로 전송할 수 있는 경로는 20개이다. 하나의 라우터에 4개의 센서 기기로부터 접근이 가능하고 그물망 형태를 유지하며 각 기기는 peer to peer 네트워크를 형성하는 메쉬 네트워크이다. 라우터에서 수신한 센서의 정보는 라우터 자신의 ID와 센서와 라우터 사이의 RSSI를 포함하여 싱크로 전송한다. 각 라우터와 싱크사이에는 스타 네트워크로 라우터가 송신한 정보는 싱크에서 1:1로 수신한다. 다시 말해, 하나의 싱크를 중심으로 모든 노드가 싱크로 연결을 요청하고 싱크가 연결을 허락한 모든 노드의 연결을 제어한다. 따라서 스타-메쉬 네트워크는 하나의 싱크와 다수의 라우터 및 라우터에 연결된 다수의 센서로 구성된다. 라우터가 동일한 데이터를 싱크로 전송할 경우 전체 네트워크에서 데이터 전송률은 갑자기



증가한다. 이는 모듈간 데이터 전송시간 동안 네트워크 연결을 그대로 유지하거나 특정 문턱치 이상의 RSSI를 설정하여 전체 네트워크의 데이터량을 줄임으로써 해결할 수 있다. 구현한 네트워크의 흐름은 그림 4.3과 같다. 4개의 센서가 고유 ID를 라우터로 전송하고 5개의 라우터는 센서로부터 전송된 ID와 RSSI를 수신한 뒤, 다시 라우터의 ID를 포함하여 싱크로 전송한다. 최종적으로 싱크에서 수신한 데이터는 센서 ID, 라우터 ID, 센서와 라우터 사이의 RSSI, 라우터와 싱크 사이의 RSSI이다. 따라서 구현한 무선 센서네트워크는 센서 4개, 라우터 5개, 싱크 1개로 구성된다.

#### 4.4. RSSI 기법과 모니터링 시스템

본 논문은 IEEE 802.15.4 규격을 따르는 센서를 사용하여 실내에서 위치 인식하는 방식으로 주어진 장소에서 사전에 측정된 RSSI를 사용하는 신호강도 맵 방법을 적용하였다. 본 논문에서 이용한 RSSI 방식에 있어 경로 손실(path loss)을 분석하는 것은 위치의 정확도를 높이는 데 중요하다. RSSI 측정 시, 여러 신호를 수신하는 경우 수신된 신호의 위상 왜곡이 발생하는 다중 경로 페이딩(Multi-path fading)과 송신기와 수신기 사이의 시야가 확보되지 않아 수신기는 송신기가 보낸 신호를 직접 받지 못하고 반사, 회절, 분산된 신호만 수신함에 따른 오차가 발생하기도 한다[2]. 실외는 Friis model을 주로 적용하며 실내 공간처럼 좁은 공간에 있어서는 Siwiak-Petroff, Marquess, Rusch model이 주로 이용된다. 그렇지만 CC2420 데이터 시트에 안테나의 길이와 넓이의 치수는 있지만 PCB 안테나 패턴의 두께 및 높이를 알 수 없어 모델 적용이 힘들다[17]. 따라서 주어진 장소에서 사전에 측정된 RSSI를 이용하여 데이터베이스를 구축하는 신호강도 맵 방법을 적용하였다. CC2420으로부터 측정한 RSSI는 100dB의 다이내믹 레인지(Dynamic range)를 갖고 시리얼로 전송된 RSSI는 0x00~0xFF까지 8비트의 해상도이다.

일반적으로 모니터링 시스템은 real time monitoring system(RTMS), location based service(LBS)로 나눌 수 있다. RTMS는 실시간으로 위치를 모니터링 하는 방식으로 라우터가 많을수록 해상도가 높다. LBS는 이동 중인 사용자의 위치를

추적하는 자에게 유·무선 통신을 통해 쉽고 빠르게 사용자의 위치와 관련된 다양한 정보를 제공하는 서비스로 정해진 구역에 거주자의 존재유무를 알 수 있으며 RTMS에 비해 필요한 노드의 수가 작다. 본 논문은 LBS 방식에 이동 경로의 트래킹을 제외한 거주자의 생체 신호 계측기 사용 유무(변기, 욕조, 침대), 사용자 신상 정보, 건강상태 등의 정보를 거주자 위치를 근거로 실시간으로 모니터링 하였다.

#### 4.5. 시스템의 순서도

구현한 네트워크와 전체시스템의 흐름은 그림 4.4와 같다. 센서에서 라우터로 고유 ID를 브로드 캐스팅한다. 라우터에서는 센서에서 송신한 ID와 센서로부터 RSSI를 수신하고 외부 노드로부터 RSSI 데이터 패킷이 수신될 때마다 수신함수가 호출된다. 그리고 일정 시간의 지연을 가진 뒤 참여 관계에 있는 싱크로 센서 ID, 라우터 ID, 센서로부터 수신된 RSSI 값이 전송된다. 싱크로 수신된 데이터는 38400bps로 pc로 전송된다. 전송된 데이터는 마이크로소프트 C#를 이용하여 이진 트리(Binary tree)와 더블 링크드 리스트(double linked list)을 적용하여 데이터를 처리하였고 100ms마다 모든 정보가 업데이트 되는 실시간 모니터링 프로그램을 구현하였다.

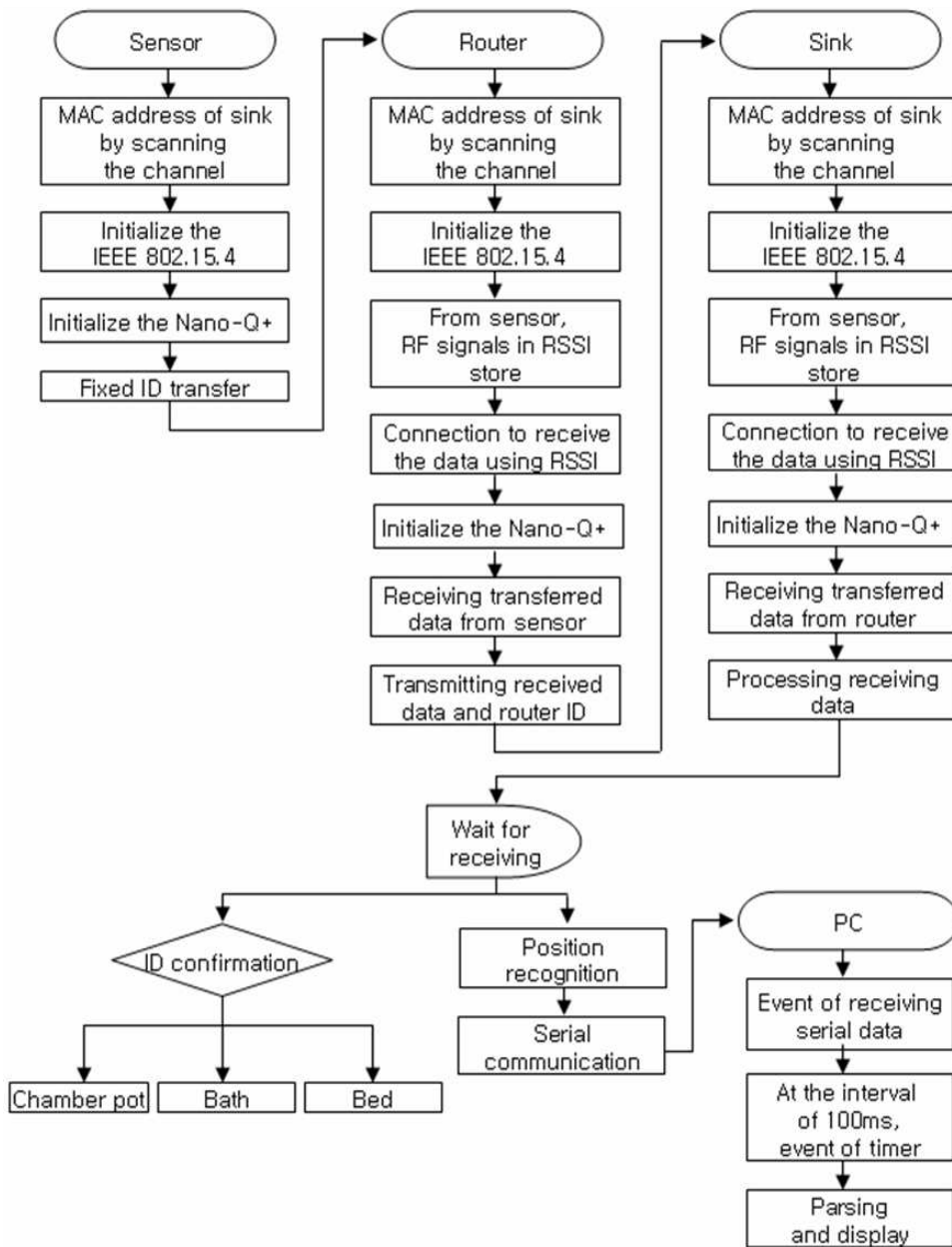


그림 4.4. 사용자 식별 및 거주자 위치 인식 시스템의 순서도

## 4.6. 실험 및 실험 결과

### 4.6.1. 자유 공간에서 1 ~ 5m RSSI 측정

거리에 대한 RF 신호의 고유한 특성을 알아보기 위해 운동장에서 50cm씩 이동하면서 RSSI를 측정하였다. 두 노드 사이의 방향을 고려하여 삼각대에 노드를 고정시켜 평행한 상태에서 거리를 변화시키면서 30회 실험하였다. 수집된 데이터를 이용하여 50cm 간격으로 평균을 취하고 그림 4.6처럼 측정된 RSSI는 거리가 늘어남에 따라 감소함을 알 수 있다.



그림 4.5. RF 신호 특성을 알아보기 위한 실험 모습

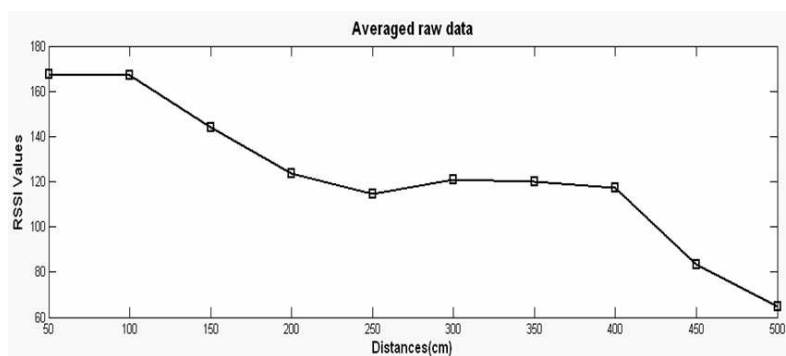


그림 4.6. RF 신호의 거리에 따라 측정된 RSSI

#### 4.6.2. 실내 공간에서 각 영역에서의 RSSI 측정

실험에 사용된 환경은 7m \* 9m \* 2.5m 크기의 연세대학교 첨단의료기기테크노타워 내 재택건강관리시스템 모의환경실험실에서 이루어졌다. 실험은 생체신호 측정을 위한 ID 인증과 위치인식으로 나누어져 있다. 실험은 생체신호 측정을 위한 ID 인증과 위치인식으로 나누어져 있다. ID 인증은 침대, 욕조, 변기에서 생체신호를 측정을 위한 사용자 식별을 하기 위한 것이다. 사용자가 메인 모듈을 휴대하고 방에서 활동하다가 변기, 침대, 욕조에 다가가면 침대, 욕조, 변기에 부착된 모듈로 할당된 ID가 전송되어 자동적으로 측정된다. 측정된 혈당, 혈압, 맥박, 심전도, 혈중산소농도(SpO<sub>2</sub>)와 같은 정보를 실험실내 사용자 위치를 토대로 모니터링 할 수 있다. 두 번째로 방안에서 거주하고 있는 사람의 위치 인식과 모니터링 시스템이다. 방 내부를 1m \* 1m 로 나누어 5개의 라우터에서 최소 1m, 최대 3m 까지 각 위치마다 센서와 라우터 사이의 RSSI를 50회 측정하였으며 그림 4.7의 각 위치에서 신호 강도 맵을 구현하였다.

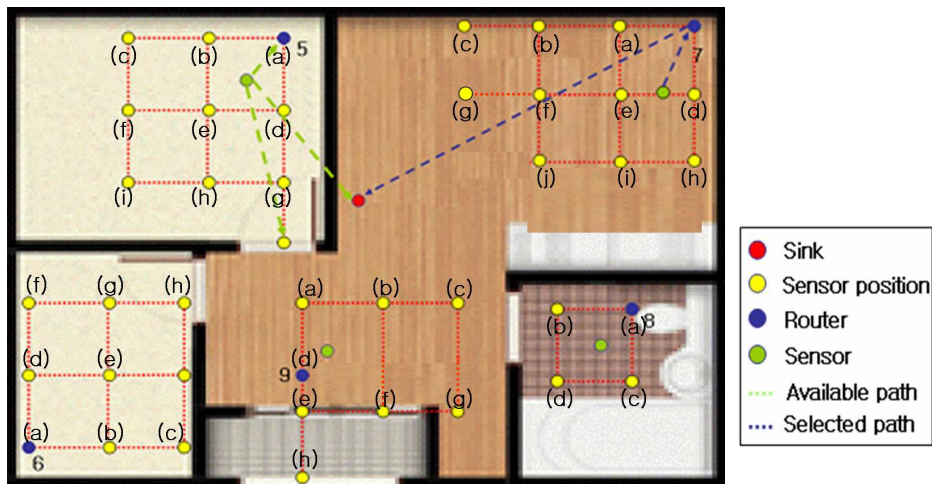
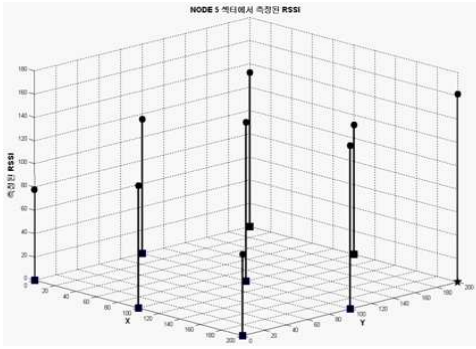
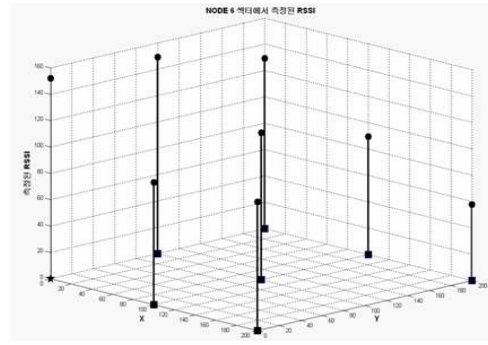


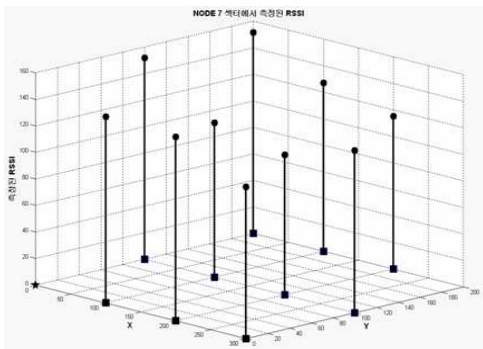
그림 4.7. 각 공간마다 신호강도 맵을 구성하기 위해 1m×1m의 해상도로 센서와 라우터간의 RSSI 측정



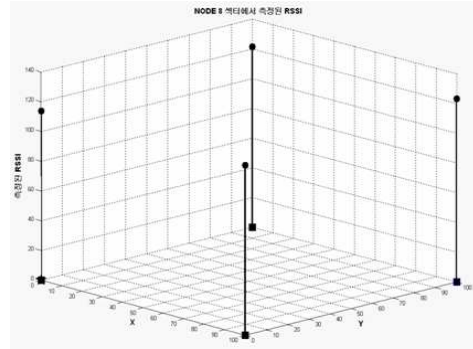
(a)



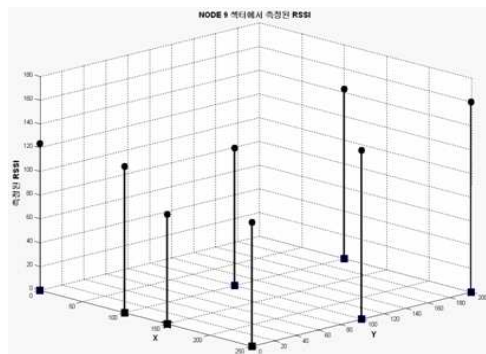
(b)



(c)



(d)



(e)

그림 4.8. 그림4.7에서 설정한 해상도를 고려하여 각 노드 섹터에서 측정된 RSSI

- (a) 노드 5 섹터에서 측정된 RSSI
- (b) 노드 6 섹터에서 측정된 RSSI
- (c) 노드 7 섹터에서 측정된 RSSI
- (d) 노드 8 섹터에서 측정된 RSSI
- (e) 노드 9 섹터에서 측정된 RSSI

주> \* 지점이 각 섹터의 천장에 설치된 라우터이다.

그림 4.8은 각 섹터의 고유 위치에서 측정된 RSSI로 제한된 공간에서의 신호강도 맵이다. 측정 결과는 RF 신호의 특성과 유사하게 송신부와 수신부 사이의 거리가 멀어짐에 따라 RSSI는 감소하였지만 가구와 가전제품과 같은 장애물의 영향에 따른 RF 신호의 회절 및 반사로 인해 RSSI가 증가하는 구간도 확인할 수 있었다. 표4.1는 그림 4.7에서 측정된 RSSI의 표준편차로 사람의 움직임에 따라 송신기와 수신기 사이의 송수신 각도의 변화가 분포의 주된 요인이라 할 수 있다.

표 4.1 각 라우터에서 측정된 RSSI 표준편차

(1) 라우터 5에서 측정된 RSSI 표준편차

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
표준편차	2.24	3.64	4.06	5.14	5.66	1.40	2.19	3.01	2.00

(2) 라우터 6에서 측정된 RSSI 표준편차

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
표준편차	1.14	1.55	2.13	5.75	3.08	5.06	3.03	1.03

(3) 라우터 7에서 측정된 RSSI 표준편차

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
표준편차	4.90	5.76	3.56	1.09	5.01	3.36	4.97	1.15	5.58	4.17

(4) 라우터 8에서 측정된 RSSI 표준편차

	(a)	(b)	(c)	(d)
표준편차	3.24	2.01	4.16	4.99

(5) 라우터 9에서 측정된 RSSI 표준편차

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
표준편차	1.04	5.317	1.07	1.09	5.28	4.63	4.71	3.05



## 제5장 노드 방향의 영향을 최소화한 최적 RSSI 추정 방법

### 5.1. 노드의 방향성 고려

그림 5.1처럼 수신기는 고정되어 있고 송신기를 회전시켜 보면 동일한 위치에 있더라도 5.3.1의 결과와 같이 측정된 RSSI는 두 노드사이의 방향에 따라 상이하다. 따라서 이번 절에서는 동일한 위치에서 송신기의 방향에 상관없이 최적의 RSSI를 도출하는 방법을 제시한다.



그림 5.1. 송신기와 수신기 사이의 방향을 고려한 실험

### 5.2. 실험

#### 5.2.1 노드를 0 ~ 5m까지 회전시키면서 RSSI 측정

송신기와 수신기가 서로 마주보고 있을 때 두 노드사이의 각도를 0도로 정의한다. 수신기를 고정시켜 놓고 송신기를 50cm마다 30도 간격으로 회전시켜 0~5m까지 RSSI를 100번 측정하였다. 그림 5.2처럼 동일한 위치에서 측정된 RSSI

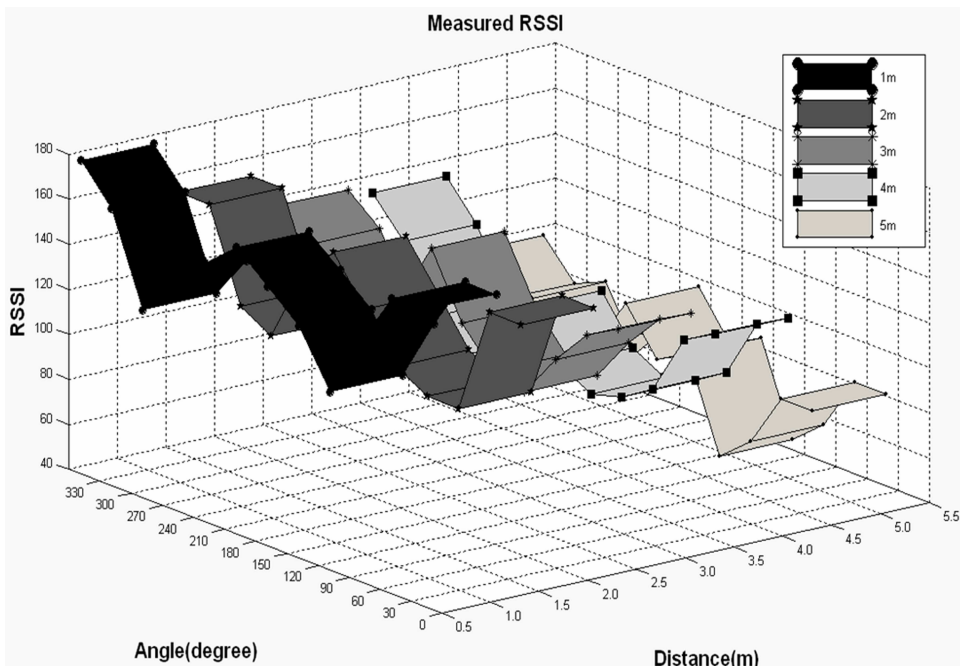


그림 5.2. 0°~330°까지 송신기를 회전시키면서 측정한 RSSI

는 송신기와 수신기 사이의 각도에 따라 다르다. 각 섹터는 표 5.1처럼 구분하였다. 각 섹터에서 측정된 RSSI는 거리가 늘어남에 따라 일부 구간에서 증가하였지만 대체로 선형적으로 감소하며 정의한 섹터끼리는 동일한 값을 갖는다. 게다가 300°~30°은 거리에 대한 RSSI 선형성이 가장 좋고 스펙트럼 리소스를 공유하는 대역이 가장 넓기 때문에 최적 섹터로 결정하였다.

표 5.1. 각 섹터의 구분

섹터 1	섹터 2	섹터 3	섹터 4
300°~30°, 180°	60°, 120°, 240°	90°, 270°	150°, 210°

### 5.3. 거리에 대한 최적의 RSSI 추정 방법

5.2.1에서 사전에 측정된 RSSI를 사용한 신호강도 맵 기법을 적용하여 거리를 추정하였다. 거리 추정은 계산이 쉽고 연산 과정이 간단하며 센서네트워크 모듈의 메모리 제한으로 인해 실제 프로그래밍이 가능한 '평균'과 관련된 기법을 고려하였다. 추정 방법의 구현은 Matlab 7.0을 이용하였고 거리 추정 전에 2개의 사전조건이 필요하다. 총 3단계에 걸쳐 거리에 대한 RSSI를 추정할 수 있다.

#### 5.3.1 사전조건

조건 1)  $300^\circ \sim 30^\circ$  대역에서 측정된 RSSI의 평균 데이터를 이용하여 polynomial interpolation 적용한다.  $x$ 는  $300^\circ \sim 30^\circ$  대역에서 측정된 데이터의 평균을 취한 RSSI로 7차 다항식으로 (5.1)과 같다.

$$f(x) = 0.0031x^7 - 0.0938x^6 + 0.5165x^5 - 3.7842x^3 + 171.3585 \quad (5.1)$$

$f(x)$ 는 최적 섹터에서 추정된 거리를 출력하는 함수로 송신기로부터 수신된 RSSI로부터 거리를 추정할 수 있다. 다항식 보간법 과정에서의 퍼센트 오차는 표 5.2과 같다. 또한  $300^\circ \sim 30^\circ$  대역에서 측정된 데이터의 평균이 각 위치에서 레퍼런스 RSSI이다.

표 5.2. 다항식 보간법 과정에서 측정값과 계산값의 퍼센트 오차 (단위: %)

	1m	2m	3m	4m	5m
오차	-3.3835e-014	3.7397e-014	0	4.5841e-014	3.1396e-013

조건 2) 조건 1에서 추정된 거리를 사용하여 해당 거리에서  $0^{\circ}\sim 330^{\circ}$  RSSI를 추정한다. 모든 섹터에서 측정된 RSSI는 일반적으로 거리가 늘어남에 따라 선형적으로 감소하기 때문에 섹터 1에서의 값을 이용하여 추정된 식으로부터 섹터 1 이외의 각도에서의 RSSI를 결정하는 방법이다. 조건 2에서 추정된 다항식은 조건 1에서 산출된 거리로부터 해당 거리에서의  $0^{\circ}\sim 330^{\circ}$  RSSI를 추정할 수 있으며 추정된 데이터를 이용하여 각 거리에서의 최적 RSSI를 추정할 수 있다.

표 5.3. 각 거리에서 추정된 다항식의 차수 및 퍼센트 오차 (단위: %)

	1m	2m	3m	4m	5m
차수	7	7	8	8	7
오차	0.1362 %	0.1054 %	0.2067 %	0.1682 %	1.1262 %

### 5.3.2. 상대적 위치 및 최적 RSSI 추정 방법

조건 2에서 거리에 따라 추정된  $0^{\circ}\sim 330^{\circ}$  RSSI를 이용하여 다음과 같은 방법으로 거리에 따른 최적 RSSI를 추정한다.

#### 5.3.2.1. 평균을 이용한 추정

평균은 데이터 집합의 구성원 값들 사이의 중간값을 나타내는 양으로 통계학적 관점에서 데이터의 균형을 이루는 한 점을 뜻한다. 조건 2에서 추정된 RSSI의 산술적인 평균을 구하는 방법으로 계산은 간단하지만  $0^{\circ}\sim 330^{\circ}$ 의 모든 대역을 고려하는 방법이기 때문에 다른 추정법에 비해 크기가 작다. 따라서 비례식을 이용하여 스케일 처리하였다.

### 5.3.2.2. 최적 섹터의 데이터를 이용한 다항식 추정

조건 2에서 추정된 RSSI에서  $300^\circ \sim 30^\circ$ 대역 값의 평균을 취한 뒤 평균값과 거리에 대한 다항식을 추정한다. 추정된 다항식은 3차로 (5.2)와 같다.

$$f(x) = -2.0997x^3 + 16.7145x^2 - 55.2634x + 206.0512 \quad (5.2)$$

추정된  $f(x)$ 로부터 특정 지점에서 RSSI를 알 수 있다. 다항식 추정과정에서의 섹터 1의 평균값과 추정된 식의 계산값 사이의 퍼센트 오차는 표 5.4과 같다.

표 5.4. 3차 다항식의 계산값과 추정된 섹터 1의 평균값의 오차 (unit: %)

	1m	2m	3m	4m	5m
오차	0.4228	1.8728	3.0244	2.2891	0.0811

### 5.3.2.3. Power Method를 이용한 고유값 추정

평균 고유값과 고유벡터는 주어진 데이터 집합의 특성을 나타내는데 이는 곱하기, 나누기와 같은 스케일 처리 후에도 데이터 본래의 특성을 유지한다[18,19].

Power method는 Perron-Frobenius 정리에 따라 데이터 원소 중 가장 큰 고유값을 수치적으로 구하는 방법으로 조건 2에서 추정된 RSSI를 3 X 3 행렬로 재배열한 뒤 고유값을 구하였다. 추정된 고유값은 거리에 대한 차가 일정하였고 측정된 RSSI에 비해 큰 값을 가지고 있어서 경험적으로 2.7로 나누어 스케일 처리 하였다.

### 5.3.2.4. Maximum Likelihood Estimation을 이용한 추정

Maximum likelihood estimation(MLE)은 관찰된 데이터의 가장 가능성 있는 관찰된 데이터의 확률분포를 찾는 방법으로 우도함수(likelihood function)를 최대화시키는 파라미터의 값을 찾는다[20,21]. 파라미터  $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_M)$  집합으로 구성된 어떤 확률밀도함수  $P(X|\theta)$ 로부터 관측된 표본 데이터 집합을  $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$  라 할 때, 이 표본들로부터 파라미터  $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_M)$  들을 추정할 때 어떤 표본 집합이 특정한 확률밀도함수  $P(X|\theta)$ 로 표현되는 프로세스로부터 발생한 데이터로 이루어져 있다면 전체 표본 집합은 (5.3)과 같이 표현된다.

$$P(X|\theta) = \prod_{k=1}^n P(X_k|\theta) \quad (5.3)$$

추정된  $0^\circ \sim 330^\circ$  RSSI는 가우시안 분포(Gaussian distribution)를 따르고 이 때 확률밀도함수는 가우시안 함수로 (5.4)와 같다.

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5.4)$$

가우시안 함수를 로그우도(log-likelihood)함수로 변형한 뒤, 최대값을 구하기 위해  $\theta$ 에 대해 편미분을 하면 (5.5)와 같이 표현된다.

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \log P(x|\theta) = - \sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial \theta} \log P(x_i|\theta) = 0 \quad (5.5)$$

마지막으로 추정된 최대값은 step 2에서 추정된  $0^\circ \sim 330^\circ$  RSSI 데이터 집합의 평균으로 5.3.2.1과 동일한 결과를 도출한다.

### 5.3.2.5. EM algorithm을 이용한 추정

Expectation & Maximization(EM) 알고리즘은 주어진 표본 데이터 집합의 분포 밀도를 하나의 가우시안 확률밀도함수로 모델링하는 방법을 개선한 것으로 복수 개의 가우시안 확률밀도함수로 데이터의 분포를 모델링하는 방법이다[21,22,23]. 또한 표본 데이터 집합이 주어질 경우 데이터의 로그-우도를 최대로 하는 각 혼합 가우시안들의 파라미터를 추정할 수 있다. EM 알고리즘은 expectation과 maximization으로 나뉜다.

#### ○ Expectation

데이터  $X$ 와 사전의 추정된 파라미터  $\theta^{i-1}$ 가 주어져 있을 때, 즉 RSSI가 추정할 변수이다.  $Q(\theta|\theta^{i-1})$ 를 구하기 위해 확률변수  $Z$ 에 대해 로그-우도 함수의 기대값(Expectation)을 계산한다.

$$Q(\theta|\theta^{i-1}) = E_z[\log P(X, Z|\theta|X, \theta^{i-1})] = \sum_{n=1}^N \left( \log \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{c=1}^C E[Z_c^n] (x^n - \mu_c)^2 \right) \quad (5.6)$$

$X$ 와  $\theta^{i-1}$ 는 상수,  $\theta$ 는  $Q$ 가 증가하는 방향의 최적화 될 갱신 파라미터이다.

#### ○ Maximization

$Q(\theta|\theta^{i-1})$ 로 정의되는 기대값을 최대로 하는 파라미터  $\{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_c\}$ 를 구한다.

$$\begin{aligned} \theta &= \underset{\{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_c\}}{\operatorname{argmax}} Q(\theta|\theta^{i-1}) = \underset{\{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_c\}}{\operatorname{argmax}} \sum_{n=1}^N \left( \log \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{c=1}^C E[Z_c^n] (x^n - \mu_c)^2 \right) \\ &= \underset{\{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_c\}}{\operatorname{argmin}} \sum_{n=1}^N \sum_{c=1}^C E[Z_c^n] (x^n - \mu_c)^2 \end{aligned} \quad (5.7)$$

EM 알고리즘은 보이지 않는 잠재 변수(latent variable)에 의존하는 확률 모델에서 파라미터의 MLE를 찾고자 하는 알고리즘으로 Expectation 단계에서는 잠재 변수의 기대치를 계산하고 Maximization 단계에서는 주어진 데이터와 기대치가 부여된 잠재변수를 이용하여 파라미터의 MLE를 계산한다[22]. 기대값이 최대가 될 때 확률변수는 거리에 대한 RSSI이다. EM 과정을 반복할 때, 로그-우도는 이전 프로세스에 비해 점점 커지고 국부 최대값(Local maximum)에 수렴한다. 추정된 RSSI는 결합된 확률밀도함수의 수와 같고 MLE가 하나의 확률밀도함수로 추정되어 1회 연산 시 단일 지점의 RSSI를 추정할 수 있는 것과 달리 EM은 여러 개의 확률밀도함수를 사용하기 때문에 1회의 연산과정으로 다수의 RSSI의 추정이 가능하여 거주자의 이동경로를 추적할 수 있다.

### 5.3.2.6. 새롭게 제시한 노드 모델을 이용한 추정

모듈을 휴대한 거주자가 이동할 때 수신기에 수신된 RSSI는 모듈이 사용자의 몸에 고정되어 있을지라도 미약한 움직임이 오차의 원인이 된다. 사용한 안테나가  $300^\circ \sim 30^\circ$  대역에서 스펙트럼 리소스를 공유하는데 착안하여 송신기에서 수신기로 전송하는 시간과 센서 모듈이 1회전하는 시간을 일치 시킨다.

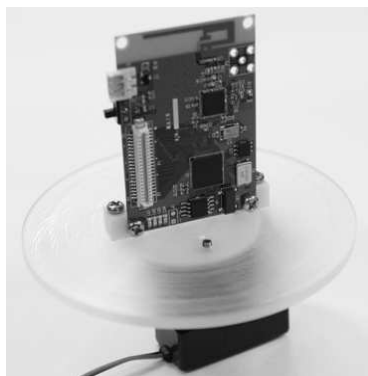


그림 5.3. 새롭게 제시한 센서 모듈

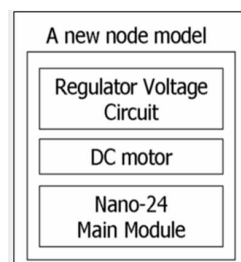


그림 5.4. 제시한 모듈의 블록도



RSSI 패킷을 전송하는 시간은 타이머를 이용하여 프로그래밍 할 수 있고 센서의 1회전 속도 조절은 마이크로 컨트롤러(MCU)의 펄스폭 변조(Pulse Width Modulation: PWM) 사용하여 DC 모터의 속도를 제어할 수 있다. 4800bps 조건하에서 두 과정은 1회 동작 시간은 1.44초이다. 그러나 배터리의 전압강하에 따라 DC 모터의 속도가 감소하기 때문에 정전압 회로를 추가하여 이를 보완하였지만 DC 모터를 사용함에 따라 센서 모듈의 전력소비가 이전에 비해 커졌다.

### 5.3.3. 추정 방법의 순서도

그림 5.5는 거리에 따른 최적의 RSSI를 추정하는 순서도로 사전조건과 위치에 대한 RSSI를 추정하는 단계로 나뉘어져 있다.

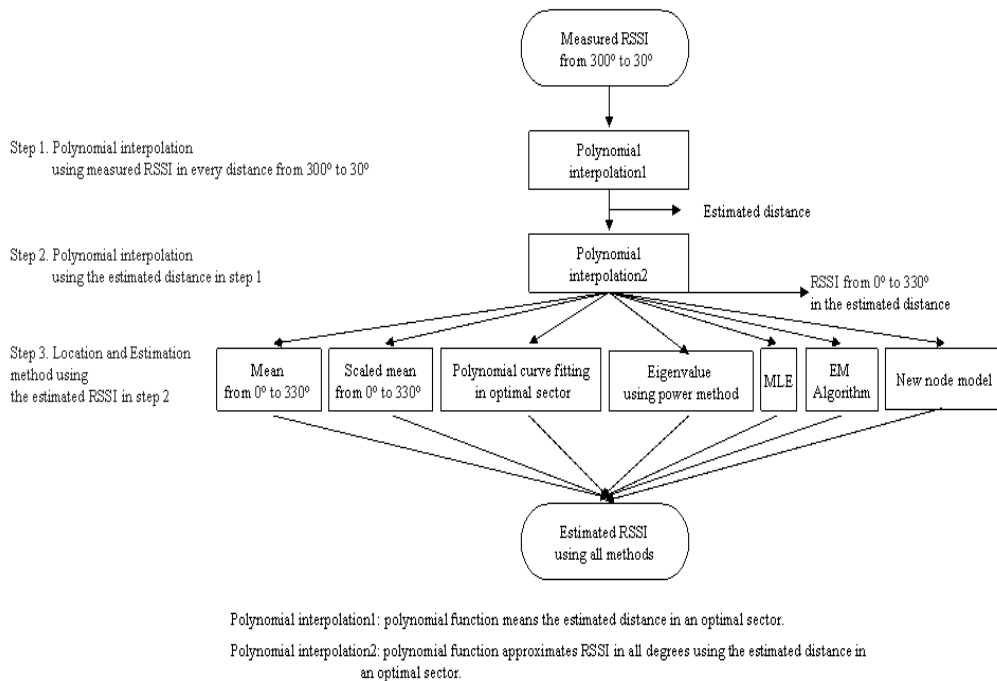


그림 5.5 전체 추정 과정의 순서도

### 5.3.4. 각 추정 방법의 결과 및 오차

그림 5.6은 각 추정방법에 대한 결과로 1~5m의 추정된 RSSI를 나타낸다. MLE는 데이터가 가우시안 분포를 따를 때 추정된 파라미터는 평균과 같기 때문에 평균을 이용한 추정법과 동일한 결과를 얻는다. 평균을 스케일한 방법이 1.3158%의 오차로 가장 정확하였다. EM 알고리즘은 100번 수행한 평균의 오차를 표 5.4에 도시하였고 6~24회 EM과정을 반복하였을 때 RSSI를 추정하였다. 새롭게 제시한 센서 모듈은 직접적으로 최적 섹터 대역을 이용하기 때문에 연산과정 및 제한된 메모리 측면에서 가장 효율적이다.

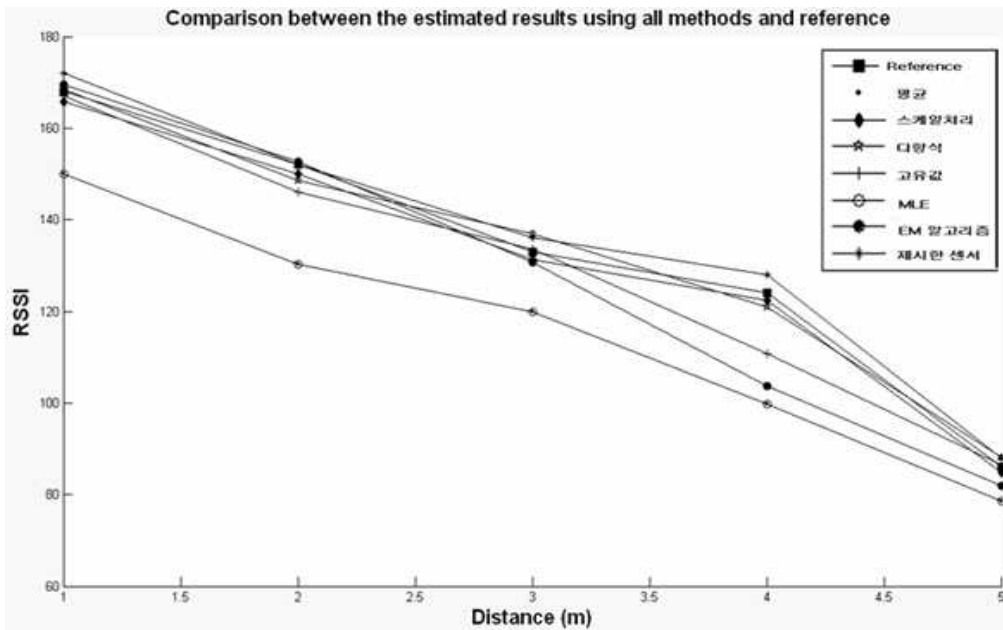


그림 5.6. 각 추정결과와 레퍼런스의 비교

표 5.4. 각 추정방법의 퍼센트 오차

(단위: %)

추정법	1m	2m	3m	4m	5m
5.3.2.1	10.7143	14.2544	9.7744	19.5565	8.7209
스케일 5.3.2.1	1.3158	1.3158	1.3158	1.3158	1.3158
5.3.2.2	0.2396	2.2472	3.0059	2.383	2.4734
5.3.2.3	0.6176	3.9432	0.4657	10.5972	0.4886
5.3.2.5	5.653	10.5174	12.6803	26.5996	15.2343
5.3.2.6	2.381	0	2.556	3.2258	2.3256

## 제6장 소스의 방향성을 고려한 개선된 센싱 모델

### 6.1. Distributed Sensor Networks(DSNs)의 정의

Distributed Sensor Networks(DSNs)는 특정 영역에 분포하는 센서로 구성된 센서네트워크를 의미한다. DSNs는 2차원 또는 3차원으로 좌표화된 영역에서 타겟의 존재 유무 혹은 위치를 탐지하는 분야에서 많은 각광을 받고 있다[25,26].

그림 6.1은 DSNs의 응용분야의 실례로 랜덤하게 분포된 노드들의 에너지 소비 정도를 클러스터링으로 표현하였다[9,10]. 작은 점은 센서, 큰 점은 싱크를 나타내고 센서가 송신하는 정보를 수신하기 위해 싱크가 소모하는 에너지 소비 정도를 표현한다.

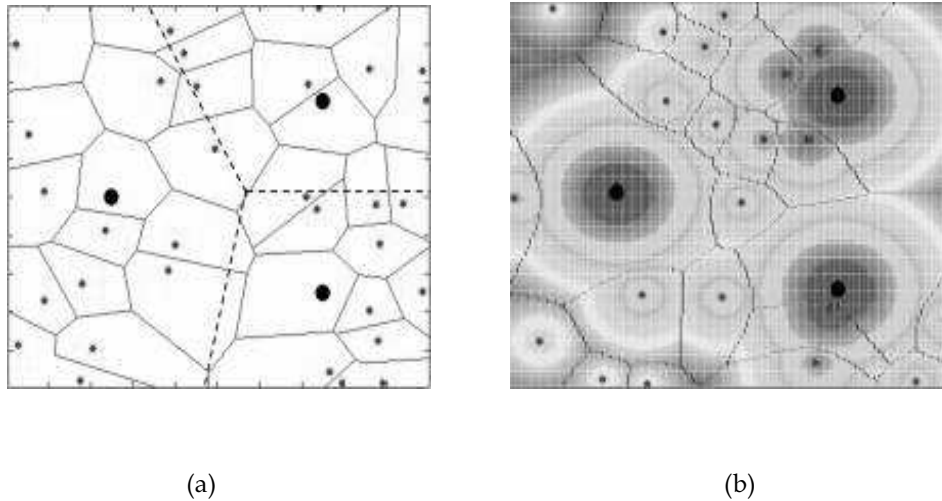


그림 6.1. DSNs에서 싱크의 에너지 소비 레벨

(a) 노드들의 배치

(b) 센서가 싱크로 전송하는 정보를 싱크에서 수신할 때 소비되는 에너지 레벨

## 6.2. DSNs에서 소스의 방향성분 고려

그림 5.2의 결과에서 보듯이 송신기와 수신기 사이의 방향은 두 노드사이에 전송되는 RSSI 패킷에 커다란 장애요인이다. 따라서 본 논문은 제한된 영역에서 신호원의 방향성분을 고려한 새로운 센싱 모델을 제시하고 역문제를 적용하여 신호원의 위치를 탐지하였다.

## 6.3. 실험

### 6.3.1 DSNs 기반 타겟 소스 탐지 실험

특정위치에 고정된 9개의 센서와 1m마다 신호원을 위치시킬 수 있는 36개의 위치를 갖는 5m x 5m의 정사각형의 공간에서 실험하였다. 그림 6.2는 실험환경을 나타낸다. 노란색 점은 신호원이 위치할 수 있는 지점이고 파란색의 점은 신호원이 전송하는 RSSI 패킷을 수신할 수 있는 센서이다. 센서와 신호원의 높이는 1.22m와 0.11m이고 센서의 방향벡터는  $(1, 1, 0)$ , 신호원의 방향벡터는  $(-1, -1, 0)$ 이다. 센서의 방향벡터는 전방향에서 측정가능하기 때문에 실제 연산에 적용하지 않고 두 노드간의 방향을 알기 위한 정보이다.

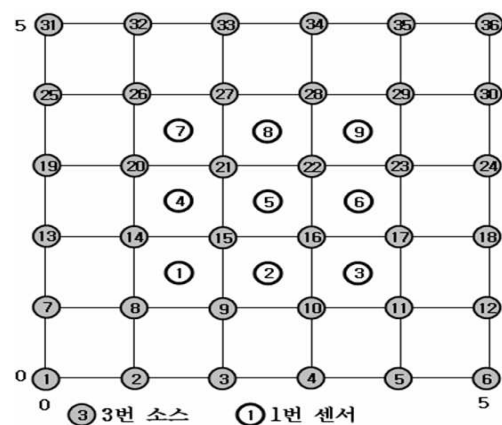


그림 6.2. 타겟 소스를 탐지하지 위한 실험

## 6.4. 신호원의 *Magnetic dipole*

2001년 Patwari, N.등은 위치 및 트래킹 분야에서 사용하는 센서 모듈을 magnetic dipole로 모델링하였다[27]. 이동 중인 군인 혹은 차량과 같은 물체를 강자성을 띠는 사물로 간주하고 물체의 중심을  $(x, y, z)$ 로 정의한다. magnetic dipole은 (+) 전하, (-) 전하를 갖는 두 개의 magnetic monopole로 구성되어 있다. 이는 거리에 대해 시간의 함수  $x(t), y(t), z(t)$ 이고 dipole의 방향은 dipole의 중심에 대해 구좌표계로 표현된다. dipole의 중심에서 각 전하까지의 극좌표( $\phi$ ), 방위각( $\theta$ ), 반지름( $r$ )는 magnetic dipole의 방향 및 위치를 그림 6.3처럼 적절하게 증명할 수 있다[43]. 따라서 본 논문은 신호원을 magnetic dipole로 간주하고 위치와 방향 성분을 고려한 새로운 센싱 모델을 제시하였다.

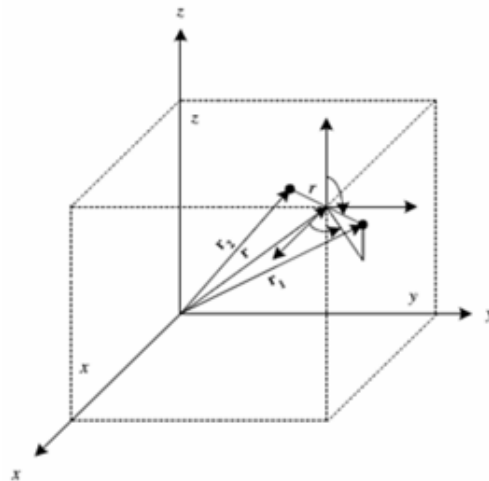


그림 6.3. 센서 모듈의 magnetic dipole 모델링

## 6.5. RSSI 기법에서의 *pathloss* 모델

Pathloss는 신호가 전파될 때 매질의 감쇠 특성을 기술한다. RSSI 기법에서 두 노드 사이의 수신되는 전력, 채널 페이딩을 이용한 pathloss 모델은 (6.1)과 같이

표현된다[28,29].

$$p_{i,j} = p_o - 10\alpha \log_{10}\left(\frac{d_{i,j}}{d_o}\right) d_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2} \quad (6.1)$$

$p_{i,j}$ 는  $i$  번째 노드와  $j$  번째 노드사이의 소비 전력으로  $i$  번째 노드가 전송하고  $j$  번째 노드가 수신할 때의 전력을 의미한다.  $p_o$ 는 레퍼런스 지점  $d_o$ 에서 수신되는  $dB$  단위의 전력.  $\alpha$ 는 pathloss,  $d_{i,j}$ 는  $i$  와  $j$  번째 노드사이의 거리를 의미한다.

## 6.6. 센싱 모델

### 6.6.1 기존의 센싱 모델

기존의 센싱 모델은 RSSI가 전파 거리가 늘어남에 따라 지수적으로 감소하는 특성에 근거한다[8,30]. 일반적으로 사용되는 에너지 전파 모델(Energy propagation model)은 (6.2)로 표현된다.

$$r_j = \frac{A}{|X - S_j|^\alpha} + \omega_j, (1 \leq j \leq N) \quad (6.2)$$

$r_j$ 는 사전에 구성된 네트워크에서 임의의 신호원으로 부터  $j$ 번째 센서로 전송된 RSSI 값,  $A$ 는 타겟 신호원에서의 원래 신호강도,  $X$ 은 2차원 좌표 시스템에서 타겟 신호원의 위치,  $S_j$ 는  $j$ 번째 센서의 위치,  $|X - S_j|$ 는  $X$ 와  $S_j$ 사이의 유클리디언 거리,  $\alpha$ 는 (6.1)에 계산된 pathloss,  $N$ 은 전체시스템에서 센서의 총 개수,  $\omega_j$ 는 평균 0, 분산  $\sigma^2$ 을 갖는 가우시안 노이즈를 의미한다.

## 6.6.2 새롭게 제시한 센싱 모델

본 논문에서 제시한 센싱 모델은 (6.3)과 같고 신호원의 방향성분을 고려한 방식으로 기존의 센싱 모델에 신호원의 방향성분을 추가하였다.

$$A = |Q_s \times (r_j - \omega_j) \times |X - S_j|^\alpha|, (1 \leq j \leq N) \quad (6.3)$$

$$\alpha = \frac{p_o - \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}}{10 \log_{10} \left( \frac{d_{i,j}}{d_o} \right) d_{i,j}} \quad (6.4)$$

$Q_s$ 는 타겟 신호원의 방향 벡터,  $X$ 와  $S_j$ 는  $(x, y, z)$ 를 갖는 3차원 좌표 시스템이다. 또한 path model (6.4)에서 채널 상수는 -1.75, 두 노드사이 소비전력은 0 dBm,  $d_o = 1m$ ,  $p_o = 20.0776 dB$ 이다.

새롭게 제시한 모델은 기존의 모델과 다른 점은 아래와 같다.

- (1) 백색 가우시안 잡음(White Gaussian Noise)는 시스템 출력에 영향을 주지 않아야 한다.
- (2) 그림 5.2와 6.3.1에 근거하여 타겟 신호원의 방향성을 고려하여 방향벡터를 추가하였다.

## 6.7. 역문제(Inverse Problem)를 이용한 타겟 신호원 탐지

정모델(Forward model)은 역문제를 풀기 위해 반드시 필요하다[13,31]. 신호원의 위치를 알고 있을 때 새롭게 제시한 센싱 모델을 이용하여 센서들과 신호원사이의 RSSI를 계산한다. 선정된 정모델 식은 실제 측정값과 가까워야 한다.

역문제는 사전에 측정된 결과로부터 미지의 상태를 추론할 수 있으며 이를 이



용하여 타겟 신호원의 위치를 추정할 수 있다. 무선 센서네트워크에서 신호원의 위치를 추정하는 과정에서 역문제는 일반적으로 2가지 유형으로 나뉜다[32].

- (1) 시스템의 특성이 주어질 때, 측정된 출력을 산출하는 입력을 찾는다.
- (2) 입력과 출력이 주어질 때, 입력과 출력을 산출하는 시스템의 특성을 찾는다.

대부분의 역문제는 (2)유형이 많지만 타겟 신호원을 찾는 유형은 (1)이 적절하다. 또한 본 논문에서 적용한 역문제는 모든 신호원이 주어진 공간에 존재하고 그 수가 작기 때문에 즉 시스템에서 입력이 제한되어 있기 때문에 ill-posed가 아니며 강자성을 지닌 물체를 탐지할 수 있다.

센싱 모델에서 산출된 RSSI(출력)으로부터 식 (6.5)의 선형 연산 방정식을 이용하여 타겟 신호원을 탐지하였다[33].

$$X = AS \tag{6.5}$$

$X$ 는 제시한 센싱 모델로부터 계산된 RSSI,  $A$ 는 Leadfield 행렬,  $S$ 는 역과정으로 추정해야 할 파라미터이다.

제안한 시스템을 증명하고 타겟 신호원을 탐지하기 위한 전체 과정은 아래와 같다.

- Step 1. 3차원의 위치와 방향성분을 갖는 초기 신호원을 가정한다.
- Step 2. 초기의 신호원에서 제시한 센싱 모델을 계산한다. 계산된  $X$ 는 초기 신호원과 센서들 사이의 원래의 신호강도(RSSI) 이다.
- Step 3. 역문제를 풀기 위하여, 전체 시스템의 모든 소스의 크기를 1로 가정하고  $x, y, z$  방향에 대해 Forward 모델을 계산하여 Leadfield 행렬을 구성한다.
- Step 4. 식 (6.5)의  $S$ 를 계산하기 위해서, Singular Vector Decomposition (SVD) 을 이용하여 Leadfield 행렬의 pseudo inverse 행렬,  $A^*$ 를 구한다.

$$A = UWV^T \quad (6.6)$$

$$A^* = V \frac{1}{W} U^T \quad (6.7)$$

$A$ 는 leadfield 행렬,  $A^*$ 는 leadfield 행렬의 pseudo inverse 행렬,  $T$ 는 원래 행렬의 전치를 의미한다.

Step 5. 초기 신호원을 구하기 위해 식 (6.5)를 식(6.9)로 변형시킨다.

$$A^* X = A^* A S \quad (6.8)$$

$$A^* X = S \quad (6.9)$$

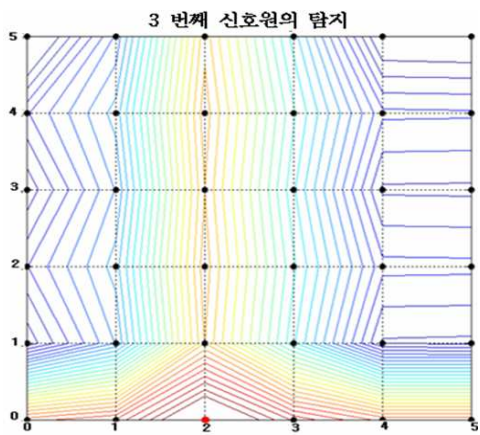
Step 6. 계산된  $S$  행렬의 모든 값의 놈(Norm)을 취한다.

Step 7. 놈의 최대값의 위치와 초기 신호원의 위치를 비교한다. 놈의 최대값의 위치와 초기 신호원의 위치가 같을 경우, 정확하게 신호원의 위치를 탐지한 것으로 결정할 수 있다.

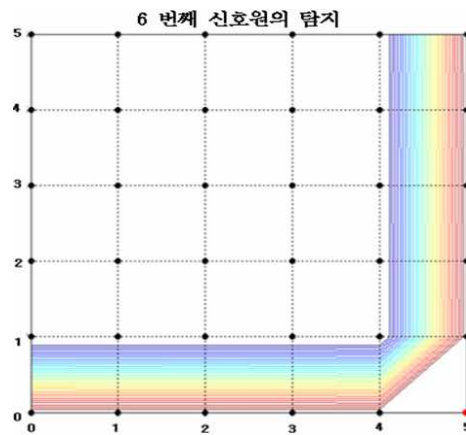
## 6.8. 6.7의 시뮬레이션

본 논문에서는 일반적인 DSNs를 구성하여 시뮬레이션 하였다. 일반적인 DSNs는 센서 노드(신호원)의 집합과 이를 처리하는 프로세싱 성분, 라우터(센서)로 구성된다. Matlab 7.0을 이용하여 신호원의 위치를 변화시키면서 6.7의 과정을 반복하였다. 그림 6.4는 전체시스템의 시뮬레이션 결과로 타겟 신호원을 정확히 탐지하는 것을 알 수 있다. 빨간색 점은 역문제를 이용하여 추정된 타겟 신호원이고 검은색 점은 신호원의 위치들이고 등고선은 식 (6.9)부터 계산된 놈 분포(Norm

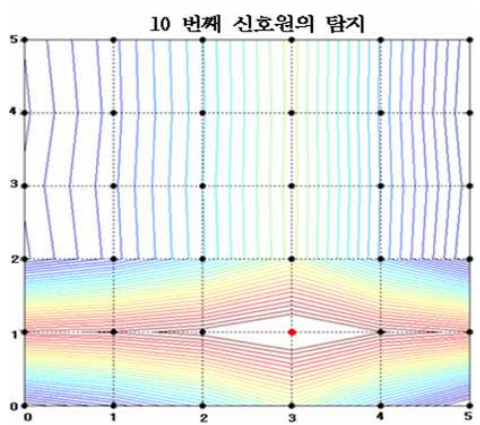
distribution)를 나타낸다.



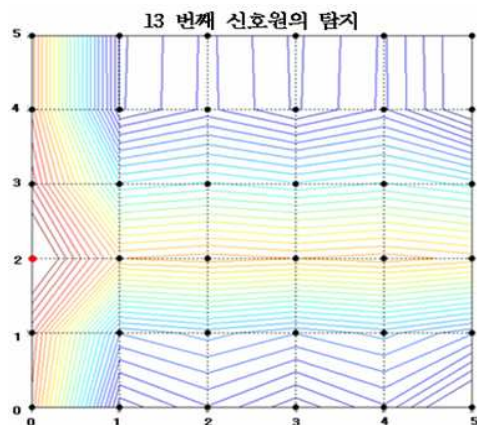
(a)



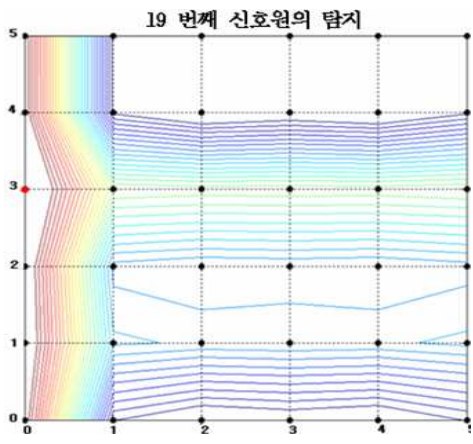
(b)



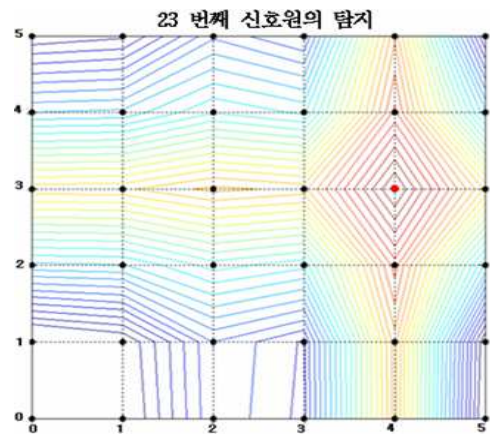
(c)



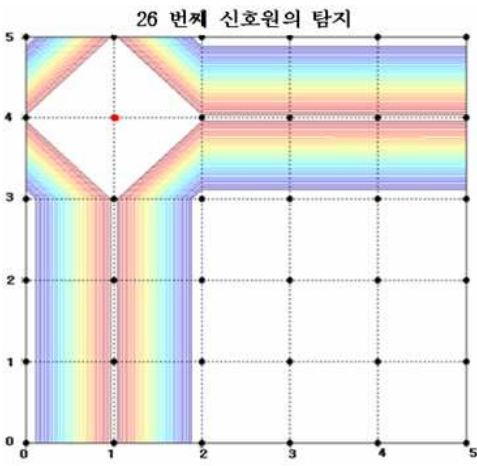
(d)



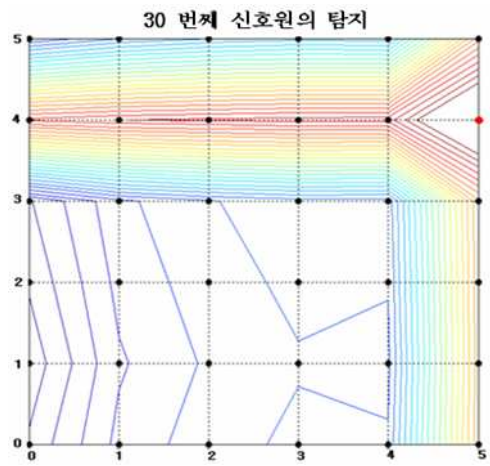
(e)



(f)



(g)



(h)

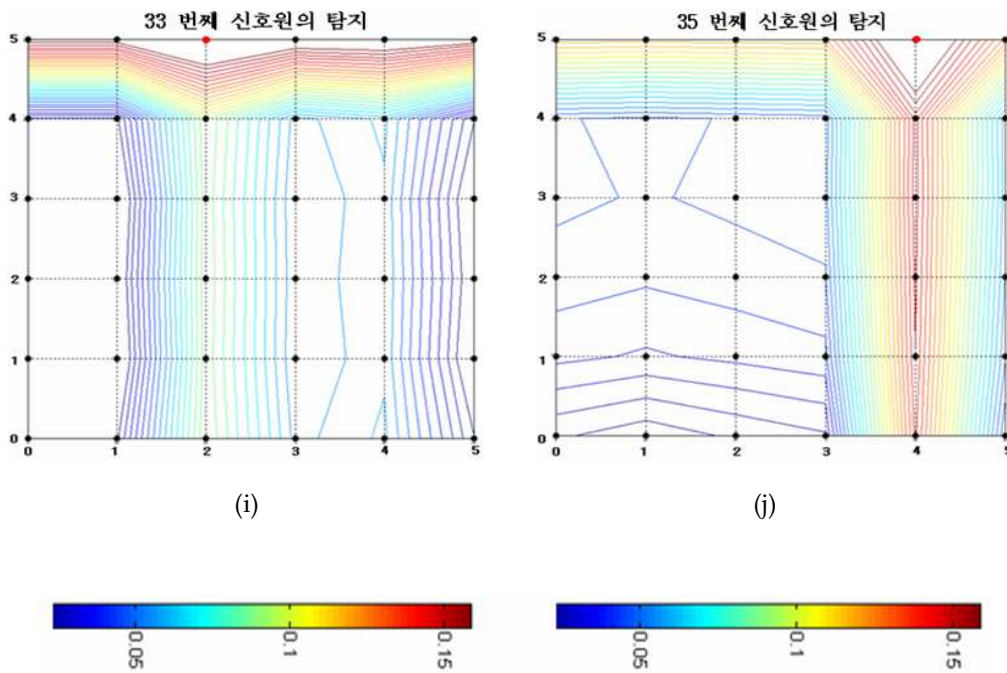


그림 6.4. 역문제 계산 후, 추정된 타겟 신호원의 놈 분포(Norm Distribution)

- (a) 타겟 신호원이 (2, 0, 0.11)일 때
- (b) 타겟 신호원이 (5, 0, 0.11)일 때
- (c) 타겟 신호원이 (3, 1, 0.11)일 때
- (d) 타겟 신호원이 (0, 2, 0.11)일 때
- (e) 타겟 신호원이 (0, 3, 0.11)일 때
- (f) 타겟 신호원이 (4, 3, 0.11)일 때
- (g) 타겟 신호원이 (1, 4, 0.11)일 때
- (h) 타겟 신호원이 (5, 4, 0.11)일 때
- (i) 타겟 신호원이 (2, 5, 0.11)일 때
- (j) 타겟 신호원이 (4, 5, 0.11)일 때

## 제7장 고찰

본 논문에서 제시한 방법은 신호강도 맵과 RSSI 기법 기반으로 사전적인 측정이 매우 중요한 방식이다. 실험 과정이 복잡하고 실험 시간에 비해 비효율적이며 장소가 변화하면 다시 실험을 통해 계산해야 하는 치명적인 단점에도 불구하고 정확도 측면에서 가장 적절하며 무선 센서네트워크의 목적에 가장 부합한 방법이기에 때문에 많은 연구자들에 의해 활발하게 진행되고 있다.

위치 인식과 관련하여 일반적으로 구현된 시스템은 알고리즘 측면이 가미되기 보다는 실험값에 의존하며 측정된 RSSI 패킷으로 부터 거리를 추정하는 전파모델(propagation model)에서 3개의 파라미터는 실험값으로 추정하는 등 위치 추적을 위한 정제화된 식은 없다. 따라서 본 논문에서 제시한 실시간 모니터링 시스템은 실제 활용이 가능하며 건물 내 사원 관리, 환자 관리, 비품관리 등 다양한 분야에 적용될 수 있을 거라 기대된다.

일반적으로 대부분의 기존 논문에서는 센서에서 브로드캐스팅한 RSSI 패킷은 모든 방향에 대해 균등하게 전파된다고 가정한다. 이와 같은 가정하의 대표적인 위치 인식 및 탐지 방법은 MLE, ES, GA, PSO과 같은 확률, 추정 및 최적화 기법을 주로 사용하며 되풀이(Iteration)나 반복 과정으로 추정된 결과는 최적화된 근사값이다. 실제 좁은 지역을 구분하기 위해서는 송신기와 수신기 사이의 방향을 고려해야 한다. 장애물이 없는 지역에서 두 노드 사이의 거리가 45m까지 측정되었지만 5m이내의 범위까지만 RSSI는 선형성을 유지하며 그 이상의 거리에서는 왜곡된다. 따라서 본 논문에서 신호원의 각도, 방향을 고려한 방법은 적절하다고 할 수 있다.

## 제8장 결론

본 논문은 무선 센서네트워크에서 센서의 위치 인식과 최적 탐지 기법에 관한 연구로 크게 3가지로 구성되어 있다. 첫 번째로 거주자 기반 재택형 위치 인식 및 사용자 식별 시스템이다. 구현한 시스템은 센서네트워크의 초경량, 저전력 휴대성의 목적에 부합하도록 문턱치 RSSI를 적용하였다. 기존의 TOA, TDOA, AOA 알고리즘은 송신부와 수신부 사이에 시간을 측정하기 위한 별도의 하드웨어가 필요하거나 다양한 각도의 신호를 측정하기 위해 어레이 안테나가 추가로 필요하다. 또한 RSSI 알고리즘은 수신기와 송신기 사이의 전력을 비교하여 거리를 추정하는 방식으로 경험적인 측정이 중요하기 때문에 특정 환경에 대해 사전에 RSSI를 측정하여 신호강도 맵을 구성하고 이를 이용해 수신된 RSSI 패킷을 토대로 거주자의 위치를 구별하였다.

RF 신호의 경로는 신호를 방해하는 환경 및 장애물에 따라 달라진다. 이러한 현상의 적절한 예는 집안의 가전제품, 가구 등에 의한 RF 신호의 회절, 반사로 인해 거리에 따라 측정된 RSSI는 비선형적이고 센서 모듈의 메모리의 용량이 매우 작아 계산과정 및 연산이 복잡한 알고리즘을 구현할 수 없다. 따라서 신호강도 맵을 이용한 방법은 구현하기 메모리 및 계산과정 측면에서 매우 효율적이지만 추정된 공간의 변화나 새로운 공간에 적용할 때 다시 측정해야 한다는 단점이 있다.

RTMS는 LBS에 비해 모니터링 할 때 위치 트래킹에 실시간에 이점이 있지만 사용자가 1인 늘어날 때에 네트워크상에 증가하는 데이터량에 비해 훨씬 비효율적이다. 따라서 추적하고자 하는 이동 개체가 기 지정된 공간에 존재하는지 여부를 통해 이동 개체의 위치를 확인하는 방식을 도입하였고 이는 노드가 촘촘하게 배치되어 있을수록 추정의 정확도는 높아진다. 2개 이상의 사용자가 라우터 경계에 존재하는 경우 선택의 문제가 발생하기 때문에 각 구역마다 공간을 격자화하여 적용하였고 경로가 관심의 대상이므로 주요 지점만을 골라서 사용자의 존재 여부를 확인하였다. 또한 전파세기 및 전파 도착시간 혹은 도착각도가 항상 일정하지 않고 시간에 따라 변하며 정지 상태에 있던 장치가 움직이기 시작하는 경우

오차가 더욱 커지기 때문에 주어진 환경에 적합한 문턱치 RSSI를 적용한 LBS 방식이 더 적합하다.

두 번째는, 노드 방향의 영향을 최소화 한 최적의 RSSI 추정 방법이다. 수신부는 고정되어 있고 송신부의 방향에 따라 동일한 위치에 있을지라도 측정되는 RSSI는 상이하다. 이를 해결하기 위해, 2개의 다항식을 이용하여 두 노드사이의 거리에서  $0^{\circ}$ ~ $330^{\circ}$ 의 데이터를 추정한 뒤 평균, 최적 섹터를 고려한 polynomial interpolation 추정, Power Method를 이용한 고유값 추정, MLE를 이용한 추정, EM 알고리즘을 이용한 추정, 새롭게 제시한 센서 모듈의 추정법을 적용하여 거리에 따라 하나의 RSSI를 도출하였다. 본 논문에서 제시한 다양한 추정방법은 평균 측면에서 적용한 방법으로 평균, 스케일 처리한 평균, 최적 섹터를 고려한 polynomial interpolation은 메모리 측면에서 실제 프로그래밍이 가능하지만 나머지 방법들은 연산과정이 복잡하여 불가능하다. 또한 새롭게 제시한 센서 모듈은 메모리를 고려하지 않아도 되는 방법으로 가장 효율적이지만 기존의 센서 모듈에 비해 DC 모터 구동에 따른 전력소비가 많고 크기가 큰 단점이 있다. EM 알고리즘은 연산과정에 비해 추정량이 경제적이다. 즉 1회 연산으로 여러 지점의 RSSI를 추정할 수 있기 때문에 거주자의 이동 경로의 추적이 가능하지만 다른 기법에 비해 상대적으로 오차가 크다. 비례식을 이용하여 평균을 스케일 처리한 기법은 다른 방법에 비해 가장 정확하였다.

세 번째는, DSNs에서 새롭게 제시한 센싱 모델을 이용한 타겟 소스 탐지 방법으로 다수의 센서(라우터)를 이용하여 신호원의 위치를 탐지 기법을 제시하였다. 본 논문에서 제시한 센싱 모델은 센서를 magnetic dipole로 고려하여 z축의 성분을 추가한 3차원의 시스템으로 실제 환경과 가장 흡사하다. 센서와 신호원 사이의 방향에 따라 동일한 위치에 있을지라도 전송된 RSSI 패킷은 차이가 있기 때문에 센서의 방향은 사전에 알고 있어야하며 신호원의 방향성분은 반드시 고려해야 한다. 따라서 본 논문에서는 신호원의 방향성분을 추가하였다. 신호원을 탐지하기 위해 적용한 역문제 방법은 모든 신호원의 위치에서 Matlab 7.0을 이용하여 시뮬레이션 하였으며 모든 신호원의 위치를 정확히 탐지하였다.



본 논문은 무선 센서네트워크에서 가장 많은 연구와 각광을 받고 활발히 진행 중인 위치와 관련한 여러 기법을 제시하였다. LBS 방식의 위치 인식 및 사용자 식별 시스템을 구성하였고 센서 모듈에 안테나 추가 부착과 같은 하드웨어 개조 및 연산을 위한 추가 모듈 방식 보다는 센서 네트워크 목적에 가장 적합한 RSSI 방식을 이용하였으며 RF 신호의 회절 및 반사등을 고려한 RSSI 추정 방법을 제안하였고 이에 따라 새로운 센싱 모델을 제시하였다.

본 논문은 실험에 근거한 신호강도 맵과 RSSI 기법을 근거한 방식으로 정확도 및 무선센서네트워크 목적 및 정확도 측면에서 볼 때 이를 유연하게 만족시킬 수 있는 실용 가능한 시스템을 설계 하였고 신호원의 방향을 고려한 다양한 추정 및 탐지 방법은 상당 부분 의미 있는 과정이라 할 수 있겠다. 그러나 기존의 연구가 매번 실험적인 추정에 의한 것이라면 향후에는 RSSI와 거리에 대해 외부로 나타나는 물리적인 현상 및 정제화된 모델 등을 바탕으로 편향이 없는 절대적 표준을 마련하려는 방향으로 진행되어야 할 것이다.

## 제9장 향후 과제

본 논문은 무선 센서네트워크를 이용하여 위치 인식 시스템을 구현하고 노드간의 방향성을 고려한 모델을 제시하여 소스를 탐지하였다.

Peer to peer 방식에서 노드 사이의 방향성의 영향을 최소화하는 방법을 제시하였지만 이는 RSSI와 거리와의 관계만을 표현하는 한계가 있다. 즉,  $300^\circ \sim 30^\circ$ 의 가정에서는 두 번의 polynomial interpolation 방법과 다양한 추정방법을 이용하여 노드의 방향성을 최소화한 RSSI를 산출하였지만 송신기 노드의 회전 각도를 알 수 없기 때문에 peer to peer 방식이 아니라 tri-lateration 등 다른 기법을 적용해야 한다.

RSSI와 신호강도 맵을 이용한 위치인식 시스템을 구현하였지만 센서를 소지한 사용자의 방향을 고려할 수 있는 시스템으로 발전시켜야 한다.

## 참고문헌

- [1] O.S.Park, K.R.Jung, H.S.Kim, "Position recognition technology and system for ubiquitous computing", A weekly technology trend in ETRI, vol. 1098, 2003.
  
- [2] 박종현, 김문구, 백종현, "위치기반서비스(LBS)의 산업구조 분석 및 시장개발전략방향," 한국통신학회지 Vol. 20, No. 4, 2003년 4월.
  
- [3] IEEE 802.15.4a, "Informal Call for applications response," July 2003.
  
- [4] S. Y. Nam, H. B. Song, "Wireless Sensor Network application using MOTE-KIT", Sang Hak Dang, 2005.
  
- [5] Han-Sik Jang, Sang-Do Lee, Jae-Seong Lim, Ho-Jin Choi, Sang-don Park, "Implementation of Location Information Technologies Using Zigbee and Application Services", TELECOMMUNICATIONS REVIEW in SK Telecom, vol.16-2, 2006, pp. 203-225.
  
- [6] Want R., Hopper A., Falco V., J. Gibbons, "The Active Badge Location System", ACM Transactions on Information Systems, pp. 91-102, 1992.
  
- [7] IEEE Standard,"IEEE 802.15.4:Wireless Medium Access Control (MAC) and Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)", 2003.
  
- [8] Y. Zou and K. Chakrabarty "Target localization based on energy considerations in distributed sensor networks", Ad Hoc Networks, Vol 1,

Issue 2-3, September 2003, pp. 261-272.

- [9] S. J. Seung and G. de Vecianan and X. Su, "Minimizing energy consumption in large-scale sensor networks through dsitributed data compression and hierarchical aggregation", IEEE/ACM JSAC Issue on Fundamental Performance limits of wireless sensor networks, January 2004.
- [10] JeongKen Lee, Kideok Cho, Seungjae Lee, Taekyoung Kwon and Yanghee Choi, "Distributed and energy-efficient target localization and tracking in wireless sensor networks", Computer Communications, Vol 29, Issue 13-14, 21 August 2006, pp 2494-2505.
- [11] "On Random Event Detection with Wireless Sensor Networks", <http://www.cs.berkeley.edu/~prabal/pubs/masters/dutta04masters.pdf>.
- [12] Balakrishnan R. D., Gyawali T., Kwon, H. M., "An Inverse Problem based Approach for Channel Parameters Estimation in UWB systems", Vehicular Technology Conference 2004. VTC 2004-Spring. 2004 IEEE 59<sup>th</sup> 17-19 May 2004, Vol.2, pp. 1073-1077.
- [13] Kannan A. A., Guoqiang Mao, Vucetic B., "Simulated Annealing based Localization in Wireless Sensor Networks", Local Computer Networks, 2005 30th Anniversary. The IEEE Conference on 15-17 Nov. 2005, pp. 2.
- [14] Noel M. M., Joshi P.P., Jannett T. C., "Improved Maximum Likelihood Estimation of Target Position in Wireless Sensor Networks using Particle Swarm Optimization", Information Technology: New Generations, 2006.

ITNG 2006 Third International Conference on 10-12 April 2006, pp. 274-279.

[15] Jagoba Arias, Aitzol Zuloaga, Jesús Lázaro, Jon Andreu and Armando Astarloa. "Malguki: an RSSI based on ad hoc algorithm", Microprocessors and Microsystems 2004, 28, pp. 403-409.

[16] <http://www.Octacomm.net>.

[17] Chipcon, "CC2420 Data Sheet", 2005, <http://www.chipcon.com>.

[18] <http://en.wikipedia.org/wiki/Eigenvalue>.

[19] <http://www.prenhall.com/divisions/esm/app/ph-linear/leon/html/perron.html>.

[20] In Jae Myung. Tutorial on maximum likelihood estimation. Journal of Mathematical Psychology 2003, 47, pp. 90-100.

[21] Hak yong H., "Introduction to pattern recognition.", Hanbit media Inc., Korea, 2005, pp. 208-219.

[22] <http://crow.ee.washington.edu/people/bulyko/papers/em.pdf>.

[23] Xiaohonh Sheng, Yu-Hen Hu, Parameswaran Ramanathan, "Distrubuted particle filter with GMM approximation for multiple targets localization and tracking in wireless sensor network", Information Processing in Sensor Networks, 2005, IPSN 2005, Fourth International Symposium on 15

April 2005, pp. 181-188

- [24] Terwilliger, M., Gupta, A., Khokhar, A., Greenwood, G., "Localization Using Evolution Strategies in Sensornets", *Evolutionary Computation*, 2005. The IEEE Congress on, 2-5 Sept. 2005, Vol. 1, pp. 322-327.
- [25] Xiaohong Sheng, Yu-Hen Hu, "Maximum Likelihood Multiple-Source Localization Using Acoustic Energy Measurements with Wireless Sensor Networks", *Signal Processing, IEEE Transactions on*, Vol 53, issue 1, Jan.2005, pp. 44-53.
- [29] L. G. Taff, "Target localization from bearing-only observations", *IEEE Trans. Aerosp. Electron.*, vol.3, no.1, pp. 2-10, Jan.1997.
- [27] Patwari, N., O'Dea, T.J., YanweiWang, "Relative location in wireless networks", *Vehicular Technology Conference* ,2001. VTC Spring. IEEE VTS 53<sup>rd</sup>, 6-9 May 2001, Vol. 2, pp. 1149-1153.
- [28] Q. L. Dimitrios Lymberopoulos, Andreas Savvides., "An Empirical Analysis of Radio Signal Strength Variability in IEEE 802.15.4 Networks using Monopole Antennas." Yale ENABLE Technical Report 050501. 2005.
- [29] Jean-Philippe Montillet, Carlos Pomalaza-Raez, " Wireless Sensor Networks: nodes localization issue", [http://www.cwc.oulu.fi/~carlos/WSN\\_Presentations\\_and\\_Papers/JP\\_paper.pdf](http://www.cwc.oulu.fi/~carlos/WSN_Presentations_and_Papers/JP_paper.pdf)
- [30] M. Alpay and M. Shor, "Model-Based Techniques for the Source Localization Problem," *IEEE Trans. on Control Systems Technology*, Vol.8,

No.6, 2000, pp. 895-904.

- [31] Laura C. Thomson, Bill Hirst, Graham Gibson, Steve Gillespie, Phillip Jonathan, Kenneth F. Skeldon and Miles J. Padgett, "An improved algorithm for locating a gas source using inverse methods", *Atmosphere Environment*, vol 41, Issue 6, February 2007, pp. 1128-1134.
- [32] B. MacDonald, B. Abidi and M. Abidi., "DEPLOYMENT AND CHARACTERIZATION OF A ROBOTIC PLATFORM FOR RADIATION DETECTION", Department of Homeland Security Conference on Research and Development Partnership, Boston, MA, April 2005.
- [33] TAPAN K. SARKAR, DONALD D. WEINER, VIJAY K. JAIN, "Some Mathematical Considerations in Dealing with the Inverse Problem", *IEEE TRANSACTION ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, Vol AP-29, NO.2, MARCH 1981.
- [34] S. H. Park, E. K. Park, J. S. Lee, I. Y. Kim, S. I. Kim, "Personal Identification using signal strength in Wireless Sensor Network based on Zigbee", 33<sup>th</sup> autumn science conference, The Korea Society of medical & Biological Engineering, pp. 134.
- [35] Chin-Lung Yang, Bagchi, S., Chappell, W. J, "Location Tracking with Directional Antennas in Wireless Sensor Networks.", *Microwave Symposium Digest IEEE MTT-S International 2005*, pp 131-134.
- [36] Lawakubo S., Chansavang A., Tanaka S., Iwasaki T., Sasaki K., Hirota T., Hosaka H., Ando H., "Wireless Network System for Indoor Human

Positioning.", *Wireless Pervasive Computing*, 2006 1<sup>st</sup> International Symposium on 16-18 Jan. 2006.

[37] P. Bahl, V. N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System.", *INFOCOM*, 2000, pp. 775-784.

[38] Andrzej Czyzewski. "Intelligent Acquisition of Audio Signal Employing Neural Network and Rough Set Algorithm.", Chapter 20 in *ROUGH-NEURO COMPUTING: A WAY TO COMPUTING WITH WORDS*(S.K. pal, L. Polkowski, A. Skowron eds.), Springer Verlag, Series on Artificial Intelligence. 2004, pp. 521-541.

[39] Ruimun Huang. Manoli Y., "Phased Array and Adaptive Antennas Transceivers in Wireless Sensor Networks.", *Digital System Design 2004 Euromicro Symposium* on 31 Aug.-3 Sept. 2004.

[40] P. K. Varshney, "Distributed Detection and Data Fusion.", Springer, 1996.

[41] C. R. Clark, K. A. Moores, A. Lewis, D. L. Weber, S. Fitzgibbon, R. Greenblatt, G. Brown and J. Taylor, "Distributed Sensor Networks - a review of recent research", *International Journal of Psychophysiology*, Vol 42, Issue 2, October 2001, pp. 161-176.

[42] Rabbat M., Nowak R., "Distributed optimization in sensor networks", *Information Processing in Sensor Networks*, 2004. *IPSN 2004. Third International Symposium* on 26-27 April 2004, pp. 20-27.

[43] JAAKKO MALMIVUO, ROBERT PLONSEY, "Bioelectromagnetism:



principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields",  
OXFORD UNIVERSITY PRESS, New York, 1995.

[44] 이상학, 정태충, "무선 센서네트워크의 기술", 경희대학교 출판국, 2005.

## *ABSTRACT*

### *Implementation of Location Recognition System and a Study of the Orientation between nodes in Wireless Sensor Networks(WSNs)*

Yang, Yong Ju

Dept. of Biomedical Engineering

The Graduate School

Yonsei University

In this paper, we implemented location recognition and user identification system and suggested methods to estimate the optimal distance without the effect of orientation between nodes. Moreover, we proposed a new sensing model to calculate RSSI between sensors and a specific source and carefully considered the orientation vector of the source.

Location recognition monitoring and user identification system based on location based services (LBS) using a signal strength map are necessary to the database: it is made use of previous empirically measured received signal strength indicator (RSSI). User identification system automatically controls instruments which is located in home and freely measures body signal. We construct a multi-hop routing method using the Star-Mesh networks, use the sensor devices which are satisfied with the IEEE 802.15.4 specification. Moreover, we express monitoring program using Microsoft C#.

The most important factor in tracking and estimating the position of a target is by means of the received signal strength indicator (RSSI). However, RSSI is

different in angle when we measure RSSI between nodes over the same distance. This paper serves to describe diverse methods in estimating the optimal distance by minimizing the effect of orientation between nodes. The mathematical methods we used are mean, polynomial interpolation, eigenvalue using power method, maximum likelihood estimation (MLE), expectation & maximization (EM) algorithm in estimating RSSI in given site. We also suggest a new sensor device that does not require a complex mathematical process and which considers the orientation of nodes. The error rates of distance estimation, on average, were sequentially 12.6%, 1.31%, 2.06%, 1.42%, 14.13% and 2.09%.

Finally, We apply an inverse problem approach to locating a known node source in a uniformly distributed sensor networks from simultaneous measurement of RSSI between sensors and sources. We also propose a new sensing model to calculate RSSI between sensors and a specific node source and take into consideration the orientation vector of node source. We detect an original node source by means of linear inverse problem which uses the calculated RSSI at target source from the improved sensing model. Finally, we simulate the proposed sensing model to verify an ability which detects an original node source changing the initial node source and the calculated result is quite in place. Moreover, norm of the detected node source is much larger than any other norm of other sources.

---

Keywords : Wireless sensor networks(WSNs), orientation, tracking, location based service(LBS), inverse problem, sensing model, distributed sensor networks(DSNs), source detection, RSSI, signal strength map