

碩士學位論文

유비쿼터스 환경을 위한 RFID/USN 기반
위치인식 방법에 관한 연구

濟州大學校 大學院

컴퓨터工學科



朴 相 烈

2005年 12月

유비쿼터스 환경을 위한 RFID/USN 기반 위치인식 방법에 관한 연구

指導教授 邊 暎 哲

朴 相 烈

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2005 年 12 月



朴相烈의 工學 碩士學位 論文은 認准함

審査 委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 大學院

2005 年 12 月

A Method of Object Location Sensing using RFID/USN for Ubiquitous Environment

Sang-Yeol Park

(Supervised by professor Yung-Cheol Byun)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF MASTER OF
ENGINEERING

DEPARTMENT OF COMPUTER ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2005. 12.

목 차

SUMMARY	1
I. 서 론	1
1. 유비쿼터스 개요	1
2. 위치인식의 중요성	2
4. 논문 구성	4
II. 관련 연구 및 제안하는 방법 개요	5
1. 위치인식 방법	5
2. 위치 기술 및 시스템	7
3. 고려 사항	16
4. 연구범위 및 목표	18
5. 제안하는 방법 개요	20
III. RF 기반 USN을 이용한 위치인식	22
1. RF 신호 정보 획득	22
2. 전처리	23
3. 특징 벡터 생성	25
4. 특징 벡터 정규화	26
5. 지식 모형화와 학습	27
6. 유클리드 거리를 이용한 위치인식	28
IV. 실험 결과	29
1. 실험 환경 및 방법	29
2. 거리에 따른 RF 신호 특징 분석	31
3. 학습 및 지식 획득	34
4. 위치인식 실험	35
V. 결론 및 고찰	38
참고문헌	40

그 립 목 차

Fig. 1 2차원 상에 존재하는 사물 위치인식 방법	5
Fig. 2 각도 측정을 이용한 방법	6
Fig. 3 이미지 분석에 의한 위치 추적	7
Fig. 4 GPS 위치인식 원리	8
Fig. 5 AOA 위치인식 원리	9
Fig. 6 TDOA 위치인식 원리	10
Fig. 7 하이브리드 위치인식 시스템	10
Fig. 8 액티브 배지	11
Fig. 9 액티브 배트와 동작방식	13
Fig. 10 기존 시스템과 UWB 방법의 스펙트럼 및 전력 밀도 비교	14
Fig. 11 크리켓 장치	15
Fig. 12 RFID 시스템 구성	16
Fig. 13 시스템 동작 개요	20
Fig. 14 RF Zig Bee 센서 모듈 (T사)	22
Fig. 15 이동노드와 고정노드 간에 통신	22
Fig. 16 전달 노드로 전송되는 신호 정보	23
Fig. 17 이동 노드로부터 여러 번의 신호를 받은 모습	23
Fig. 18 평활화하여 고주파 성분을 제거한 결과	25
Fig. 19 지식 모형을 생성함으로써 학습한 결과	27
Fig. 20 RF 신호 분석을 위한 실험 환경	29
Fig. 21 실제 주차장에서의 실험 환경	30
Fig. 22 동일 지점에서 20번 신호를 받은 결과	32
Fig. 23 정규화 및 평활화 결과	32
Fig. 24 RF 노드로부터 받은 신호의 세기 측정 결과	33
Fig. 25 특징 벡터 테이블	35
Fig. 26 입력된 신호 값과 모형에 등록된 신호 값을 비교한 결과	36
Fig. 27 고정 노드 수에 따른 위치인식률	37

표 목 차

Table. 1 실험 데이터	31
-----------------------	----

Summary

This paper proposes the methods for an automatic location sensing of a mobile object using RF sensor modules and ubiquitous sensor networks. By analyzing the patterns of signal strength that many fixed RF module receive from a mobile RF module we can recognize the location of a mobile RF module. For the location sensing, the signal strength values sent by fixed nodes are smoothed firstly. The values are normalized and constructed as a feature vector. A number of feature vector are calculated for a specific location during a period of time, and the average element value of feature vectors is computed and used as a model pattern for a future usage. In the learning process, the model patterns are acquired for all of the location which we are going to recognize. In the recognition process, the pattern of signal strength for an arbitrary location is acquired, which is used as an input . The input pattern is compared with the model patterns registered previously and a distance value is calculated. The input pattern is classified as one of the known model patterns which has a small distance compared to the input pattern. Experimental results show that the proposed methods have performed the location sensing successfully with the 100% rate of recognition when the number of fixed nodes is 10 or more than 12. In terms of applicability, the experimental results seem to be encouraging. Especially the proposed methods are very efficient from the viewpoint of the cost of RF modules and sensor networks.

I. 서 론

1. 유비쿼터스 개요

급속한 IT기술의 발달은 유비쿼터스(ubiquitous)라는 새로운 패러다임으로의 변화를 가져 왔다. 즉, 컴퓨터와 사물이 하나가 되는 유비쿼터스 세상이 당연하게 생각되는 시대가 도래한 것이다. 많은 사람들이 유비쿼터스 컴퓨팅이 IT 시장의 판도를 바꿀 새로운 패러다임이라는데 동의하고 있다. 유비쿼터스 시대에는 언제 어디서나 어떠한 기기를 통해서도 자유롭게 연결해 각종 정보를 얻고 편리하게 생활할 수 있다.

지금까지의 정보화는 사람과 사람(P2P)간의 의사소통을 위한 통신 도구로 사용되어 왔으나, IT가 점차 기계와 사물로 확산됨에 따라 사람과 기계(P2M), 사람과 사물(T2T)을 연결하는 새로운 정보화 패러다임으로 바뀌고 있다. 유비쿼터스 패러다임은 모든 사물에 컴퓨터와 네트워킹 기술이 적용되어 도처에 존재하는 컴퓨팅 인프라를 통해 사람과 컴퓨팅 기기 및 환경이 서로 상호작용하여 컴퓨터가 사람의 필요사항을 알아서 처리하는 인간중심의 컴퓨팅 환경을 지향하고 있는 것이다[1].

유비쿼터스라는 용어는 마크 와이저(Mark Weiser)가 1996년에 발표한 'The Coming Age Calm Technology' 라는 논문에서 처음으로 창안한 말이었다. 많은 사람이 대형 컴퓨터 한 대를 공유하던 메인 프레임 시대에서 1980년부터 시작된 PC 시대와 90년대 중반 이후 광역 분산 컴퓨팅을 제공하던 인터넷 시대를 거쳐, 개개인이 환경에 편재된 수많은 컴퓨터에 둘러싸이는 유비쿼터스 컴퓨팅 시대가 도래할 것이며, 그 시기는 2005년에서 2020년 사이에 일반화될 것으로 예측하였다[2].

세계 각국들이 선점 경쟁을 하고 있는 유비쿼터스 세상의 도래는 컴퓨팅(computing), 커뮤니케이션(communication), 접속(connectivity), 콘텐츠(contents), 조용함(calm) 등 5C의 5Any화를 지향하고 있다[3]. 즉 유비쿼터스 네트워크 환경에서는 언제(any-time), 어디서나(any-where), 어느 기기(any-device)로도 미디어에 구애받지 않고(any-media), 경제적이며 편리하게 어떠한 서비스(any-service)를 이용하는 것을 가능하게 한다.

유비쿼터스란 용어의 의미가 명확해지기 시작한 것은 미국 제록스(Xerox)사 팔로 알토연구소(RARC)의 마크와이저(Mark Weiser)박사가 1988년에 시작한 '쉬운 컴퓨터 연구'라는 프로젝트를 추진하면서이다. 그는 미국의 대표적인 과학저널인 'Scientific American' 1991년 9월호에 'The Computer for the 21st Century'라는 논문에서 '미래의 컴퓨터는 우리들이 컴퓨터의 존재를 의식하지 못한 형태로 생활 속에 파고들게 되며, 하나의 방에 수백 개의 컴퓨터들이 유선 네트워크와 양방향 무선 네트워크로 상호 접속될 것'으로 예견하였다[4]. 그가 주장하는 유비쿼터스 정보기술은 보이지 않고(invisible) 조용하게(calm) 현실공간(real)에서의 연결(connectivity)을 이끌어 내어 기존의 IT 기술의 한계를 혁신적으로 극복하는 기술로 보았다[5].

유비쿼터스 컴퓨팅은 Ubiquitous와 Computing이 결합된 단어로 '언제 어디서든 어떤 기기를 통해서도 컴퓨팅할 수 있는 것'을 의미한다. 유비쿼터스 환경은 언제, 어디서나 네트워크에서 접속할 수 있다는 뜻으로 우리가 살고 있는 주변 환경과 물체 안에 컴퓨팅과 네트워킹 기능을 포함시켜 사물과 공간, 인간, 정보가 하나로 통합되어 효과적인 정보 교환 및 활용을 가능하게 하는 기술 또는 환경을 의미한다[6].

이러한 유비쿼터스 컴퓨팅 환경의 구축은 유·무선 네트워크 접속 기능을 갖춘 컴퓨터뿐만 아니라 네트워크와 교신 능력을 가진 초소형 센서칩을 TV·냉장고·전자레인지 등 가전기기, 자동차, 진열대 등 모든 기기·사물에 내장해 각종 정보를 송·수신하여 생활을 보다 편리하게 해준다.

2. 위치인식의 중요성

유비쿼터스 컴퓨팅의 특징은 어떤 영역을 강조하는가에 따라 조금씩 차이가 있다. Mark Weiser(1991)는 유비쿼터스 컴퓨팅의 특징으로 첫째, 다수의 작고 값싼 특수 기능의 수많은 컴퓨터가 네트워크를 통해 언제나 연결되어 상호작용하고, 둘째, 이러한 컴퓨터들은 사용자의 눈에 보이지 않게 우리 생활 속에 파고들어야 하며, 셋째, 실제 생활 현장 어디에서나 컴퓨터 사용이 가능해야 하고, 넷째, 인간화된 인터페이스로서 조용하고 묵묵히 이용자를 지원해야 함을 지적하고 있다. 많은 연구 논문을 보면 유비쿼터스 컴퓨터의 특징으로서 첫째, 네트워크에 연결

되지 않은 컴퓨터는 유비쿼터스 컴퓨팅이 아니고, 둘째, 인간화된 인터페이스로서 눈에 보이지 않아야 하며, 사용자의 상황(장소, ID, 장치, 시간, 온도, 명암, 날씨 등)에 따라 서비스는 변해야 한다고 한다.

유비쿼터스 컴퓨팅의 특징들 중에서 실제 생활에 적용할 때 중요시 될 수 있는 네 가지 특성, 즉 인간 중심적 컴퓨팅 환경, 사물들의 네트워킹, 사물의 지능화, 자율성 기능 등이 중요하다. 첫째, 유비쿼터스 정보 기술을 실제 적용할 때에는 인간 중심적 컴퓨팅이 되어야 한다. 유비쿼터스 컴퓨팅의 궁극적인 모습은 상호 연결된 수많은 컴퓨터가 우리의 생활 주위에 편재되어 있지만, 결코 사용자를 귀찮게 하거나 불편하게 하지 않고 조용히 사용자가 자신을 이용해 주기를 기다리는 컴퓨팅 환경(calm & silent technology)이다[7]. 인간이 컴퓨터의 존재를 인식하지 않으면서도 컴퓨터를 사용할 수 있도록 자연스럽게 주변상황에 파고들게 만드는 기술을 강조하고 있는 인간 중심으로 유비쿼터스 기술 개발이 중요하다.

둘째, 유비쿼터스 컴퓨팅은 물리 공간의 모든 컴퓨터뿐만 아니라 컴퓨팅 기능이 내재된 모든 사물들이 서로 연결(connected)된 네트워킹(networking)이 되어야 한다. 유비쿼터스 네트워크 기반구조는 유무선 사이에 단절 없는 통신망이 실현되고, 점조직과도 같은 무선망에 의해서 누구든지 언제 어디서나 네트워크에 접속된 단말기기를 사용하여 네트워크로부터 필요한 정보를 얻을 수 있는 등 우리 주변 환경에 내재되어 모든 사물 및 사람이 보이지 않는 네트워크로 연결된 새로운 공간을 의미한다[8]. 이러한 네트워킹을 위해서는 근거리에서 주변 환경을 감지하는 센서(sensor) 기술의 발전이 필연적으로 요구된다.

셋째, 유비쿼터스 컴퓨팅은 특정한 기능이 내재된 컴퓨터가 환경과 사물에 심어짐으로써(embedded) 우리 주변의 모든 환경이나 사물 속에 내재화된 칩(chips)과 같은 작은 컴퓨터들은 주변공간의 상황을 인식할 수 있게 되며, 공간 속에서 주변 환경과 사물들의 변화를 어느 정도 떨어진 거리에서까지 지각·감시·추적(sensing, monitoring, tracking) 할 수 있게 되는 환경이다[9]. 사람들의 의도적인 조작이 없이도 정보접속이 가능하며, 사물 속에 내재되어 숨어 있는 컴퓨터들과의 연결은 우리가 의식할 수 없을 정도로 조용하고 지능화되어야 한다.

넷째, 유비쿼터스 컴퓨팅은 장소에 구애받지 않아야 하며, 자연스럽게 존재해야 하며, 스스로 판단할 수 있는 자율성을 가져야 한다[10]. 특히 사람과 사물, 사물과 사물간 상호 연결되고 상황을 능동적으로 인지하고 반응하는 등 자율성과 지능성을 극대화하는 것에 초점을 두고 있다. 단순히 빠른 컴퓨터보다는 사람이

일일이 개입하지 않아도 스스로 알아서 일을 처리하고 인간이 감지하지 못했던 세세한 부분의 정보까지 획득하는 똑똑한 컴퓨팅환경이 구현되어야 한다.

이제까지 설명한 바와 같이 유비쿼터스 컴퓨팅에서의 가장 중요한 요소는 사용자 혹은 사물의 상황에 따라 지능적으로 사용자 중심의 서비스를 제공하는 것이다. 사용자 및 사물의 상황 정보 중에서 가장 중요한 것은 위치(location) 정보이다. 위치 정보는 사용자 및 사물의 상황 정보를 이해하기 위해 필요한 주요 수단이 될 수 있다. 이러한 위치 정보는 다양한 항법 항해 시스템, 홈네트워킹, 노약자 보호, 공간 기반 가이드 시스템 등 다양한 응용에 이용될 수 있다. 따라서 사용자 및 사물의 위치를 효과적으로 인식하고 이를 기반으로 서비스를 지능적으로 제공하기 위한 연구가 무엇보다도 필요하다. 본 논문에서는 사용자 및 사물의 위치를 효과적으로 인식하기 위한 방법에 대해 제안한다.

3. 논문 구성

다음 장에서는 인식 기술과 관련된 연구 및 기술 동향에 대하여 살펴보고 기존 방법의 문제점 및 고려할 점에 대해 살펴본다. 그리고 이를 해결하기 위한 방법으로 본 논문에서 제안하는 방법의 개요를 살펴본 후 III 장에서는 자세한 내용에 대해 설명한다. IV 장에서는 제안하는 방법의 구현 및 실험 결과에 대해 설명하고, 마지막으로 V 장에서 본 연구에 대한 결론 및 고찰에 대해 다룬다.

II. 관련 연구 및 제안하는 방법 개요

유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 위치인식 방법에는 (1)거리나 (2)각도 측정을 이용한 삼각 측량 방법, (3)사물의 영상을 이용한 영상 분석(image processing) 방법, (4) 물리적 접촉 및 근접 감지 정보를 이용한 근접 인식 방법 등이 있다. 이러한 인식 방법을 구현하는 주요 기술 및 시스템으로서 Active Badge, Active Bat, RFID, RADAR, EasyLiving, UWB 등 다양한 시스템이 있으며, 각 시스템마다 서로 다른 문제 해결 능력을 가지고 조금씩 용도로 사용된다.

1. 위치인식 방법

1) 거리 측정에 의한 위치인식 방법

거리 측정 방식은 여러 개의 기준점으로부터 거리를 측정하여 물체의 위치를 계산한다. 2차원으로 물체의 위치를 계산하려면 Fig. 1과 같이 동일 직선상에 있지 않은 세 점으로부터 거리를 측정해야 한다. 참고로 3차원 위치를 계산 하려면 동일 직선상에 있지 않는 네 점으로부터 거리를 측정해야한다[11].

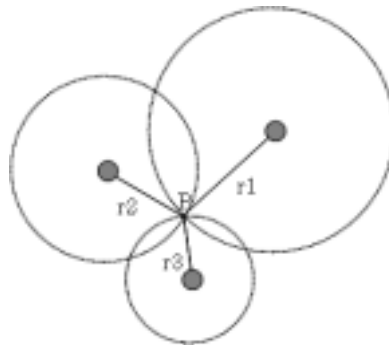


Fig. 1 2차원 상에 존재하는 사물 위치인식 방법

거리를 측정에 의한 위치인식 방법은 일반적으로 세 가지로 구분되는데, 첫 번째는 직접 거리를 측정하는 방식으로 이 방식은 단순하지만 물리적으로 이동

하면서 측정해야 하므로 물리적인 이동을 자동적으로 조절하기 어렵다. 두 번째는 물체와 기준 지점까지 정해진 속도로 이동하는데 걸리는 시간을 측정함으로써 물체와 기준 지점간 거리를 측정할 수 있다. 세 번째는 거리가 멀어 짐에 따라 신호의 세기가 감소하는 원리를 이용하여 거리를 측정할 수 있다. 이 때 원래 신호에 대해 상대적으로 세기가 감소하는 것을 감쇄라고 하는데, 감쇄와 거리가 상관 함수가 주어지면, 기준 지점에서의 신호 세기를 측정함으로써 물체와 기준 지점까지의 거리를 계산할 수 있다.

2) 각도 측정에 의한 위치인식 방법

각도 측정에 의한 위치인식 방법은 거리 측정 방식과 유사하나 물체의 위치를 계산하는데 거리 대신 각도를 이용하는 방식으로 Fig. 2와 같이 2차원 각도 측정을 위해 두 개의 각도와 기준점 간 거리가 필요하며, 3차원 각도 측정에서는 두 개의 각도와 기준 점간 거리뿐만 아니라 방위도 필요하다.



Fig. 2 각도 측정을 이용한 방법

3) 영상 분석에 의한 위치인식 방법

영상 분석에 의한 위치인식 기술은 특정 지점에서 관측된 장면의 특성을 이용한다. 이 때 관측된 장면은 표현 및 비교가 용이하도록 간략화 한다. 정적 영상 분석법에서는 미리 정의된 데이터 테이블이 물체의 위치와 매핑 되어 있어 관측된 특성을 데이터 테이블에서 검색하면 물체의 위치를 찾을 수 있다. 차동 장면 분석법은 위치를 예측하기 위해 연속적인 장면 간 차이를 추적하고 장면의 차이가 물체의 움직임에 해당한다.

영상 자체는 휴대용 카메라에 찍힌 프레임과 같은 가시적 영상이나 물체가 특

정 위치나 방향에 있을 때 발생하는 전자기적 특성과 같은 측정 가능한 물리적 현상 등으로 이루어진다. 이러한 영상의 특성을 이용하면 영상에서 관찰자나 물체의 위치를 알 수 있다. Fig. 3은 두 영상 프레임 간에 차영상을 구한 결과를 이용하여 사람의 위치를 인식하는 원리를 보여 준다.



Fig. 3 이미지 분석에 의한 위치 추적

4) 접촉 및 근접 감지를 이용한 방법

특정 물체가 알려진 위치 근처에 있을 때 위치를 인식하는 방법에는 세 가지가 있다. 첫 번째 방법인 물리적 접촉 감지에 의한 위치인식은 가장 기본적인 방식으로서 압력 센서, 터치 센서와 같이 좁은 공간에서의 물체 위치를 파악할 수 있는 방법으로 공장 자동화 또는 산업자동화, 물류 등에 사용되어진다. 두 번째, 무선 셀룰러 네트워크에서 이동 장치가 한 개 이상의 접속된 기지국 영역을 모니터링 함으로써 위치인식을 할 수 있다. 세 번째, 자동식별 시스템이나 식별 태그를 이용한다. 태그를 호출하거나 라벨을 스캔하는 장치의 위치를 알면 이동 물체의 위치를 유추 할 수 있다.

2. 위치 기술 및 시스템

현재 연구 및 구현되고 있는 위치인식 기술 및 시스템은 위치인식 영역에 따라서 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째로, GPS와 이동통신망 기지국 접속지역에 따른 위치인식 등 광역 영역으로 가장 광범위한 위치인식 가능 영역을 제공할 수 있는 방법이 있다. 두 번째 방법으로, 무선 환경의 제한으로 특정 구역이나 공간 영역의 위치인식을 위한 지역 영역 기반 위치인식 방법이 있다. 세 번

제 방법으로, 좀 더 좁은 영역에서 정밀하게 위치인식을 필요로 하는 시스템으로 Ad-hoc 위치인식 방법이 있다.

1) 광역 영역 기반 위치인식 방법

광역 영역 기반 위치인식 방법으로는 GPS를 이용한 위치인식 방법과 이동통신 기지국 접속을 이용한 위치인식 방법, 그리고 이 두 방법을 혼합한 방법이 있다. 먼저 GPS 방법에 대해 살펴본다.

GPS(Global Positioning System)위성은 1990년대 전반까지 미국에 의해 24개가 쏘아 올려졌다. 위성은 고도 약 20,200Km의 원형 궤도를 11시간 58분의 주기로 회전하고 있고 경사가 55°로 6개의 다른 궤도를 4개씩 돈다. 각 위성은 1.2Ghz와 1.6GHz의 전파를 궤도 정보와 위성 내에 있는 정도 높은 세슘 원자 시계로 만들어진 시간 신호와 함께 지상으로 보낸다. 지상에서는 이 전파를 수신하여 위치를 측정하는데, 인공위성으로부터 수신기까지의 거리는 각 위성에서 발생시키는 부호의 발생 시점과 수신 시점의 시간차이를 측정한 다음 여기에 빛의 속도를 곱하여 계산하고, 인공위성의 위치를 기준으로 GPS 수신기의 위치를 결정하기 위해서는 인공위성으로부터 전송되는 궤도력을 사용한다.

GPS는 단말기에서 위치를 계산하는 핸드셋 기반 방식으로 확장성이 뛰어나고, 지구상의 모든 지역에서 가능하다는 장점을 가지고 있다. 하지만 위치를 파악하기 위해서 GPS 수신기가 반드시 필요하다. 또한 실내용 고층 건물 인근에서는 GPS 위성의 수신 장애가 발생하게 되는데 그 오차의 범위는 5-10m가 발생하게 된다. Fig. 4는 GPS 위치인식 시스템의 원리를 나타낸다[12].



Fig. 4 GPS 위치인식 원리

광역 영역 기반 위치인식 방법의 두 번째 방법으로서 이동통신 기지국 접속을 이용한 위치인식 방법이 있다. 이는 CDMA, GSM/GPRS, WCDMA 등과 같은 이동통신 네트워크 기반 방식으로서 다음 세 가지 방식으로 나눌 수 있다. 첫 번째로 Fig. 5와 같이 AOA(Angle of Arrival)기술은 단말기에서 기지국(Base Station, BS)으로 보내 신호의 AOA를 측정하여 단말기의 위치를 측정하는 시스템으로, 두 개의 기지국에서 단말기로 오는 신호의 방향을 측정하여 방위각을 구하고 이것을 이용하여 단말기의 위치를 측정한다. 이 방식은 LOS(Line of Sight)를 가정하고 위치를 구하는데 도심 지역에서는 건물들에 의해 실제 LOS 신호 성분이 수신되지 않거나 반사되어 들어온 신호에 의해 상당히 큰 오차가 나타날 수 있는 문제점을 갖고 있으며, 신호원과 수신기 간의 거리가 멀어지면 정확도가 떨어지는 단점을 갖고 있다.

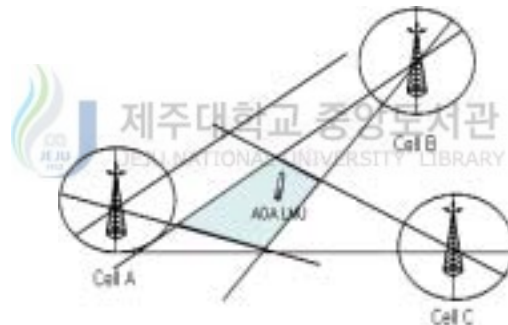


Fig. 5 AOA 위치인식 원리

두 번째, TOA(Time of Arrival) 측위 방식은 단말기와 기지국 간의 전파 전달 시간을 측정하여 거리를 구하는 방식이다. 이러한 원리는 여러 기지국을 중심으로 한 원들이 생기게 되고 단말기는 이 원들의 교점에 놓이게 된다. 대표적인 측위 시스템인 GPS 위성을 이용한 시스템에는 TOA 방법을 이용하여 단말기의 위치를 측정한다. 그리고 IS-95B와 IS-2000에서는 신호원과 수신기 간의 동기를 맞추기 위해 GPS가 이용된다.

세 번째, Fig. 6과 같이 TDOA(Time Difference of Arrival) 방식은 항법을 위해 널리 사용되고 있는 시스템인 LORAN이나 DECCA에서 사용되고 있다. 사용

중인 TDOA 방식은 서로 다른 곳에서 송신한 신호의 도달 시간차를 이용하여 위치를 결정한다. TDOA 방식은 다수의 신호원과 한 개의 수신기로 구성된 Forward Link 방식과 한 개의 신호원과 다수의 수신기로 구성된 Reverse Link 방식이 있다.

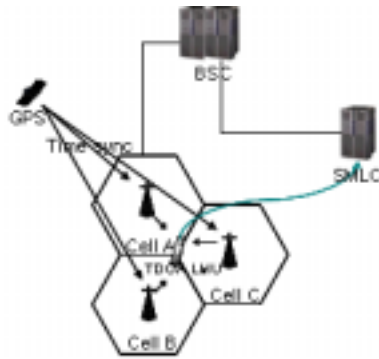


Fig. 6 TDOA 위치인식 원리

보다 정확한 위치인식을 위하여 GPS와 이동통신망을 함께 사용하는 방식이 있다. 이 두 방법을 결합함으로써 실내에서나 실외에서 정확한 위치를 알 수 있다. 단말기는 GPS 위성으로부터 위치 동기를 이루고 이 데이터들을 이동통신 망을 통해 위치인식 서버에 전송함으로써 단말기 위치를 효과적으로 인식할 수 있다[13].

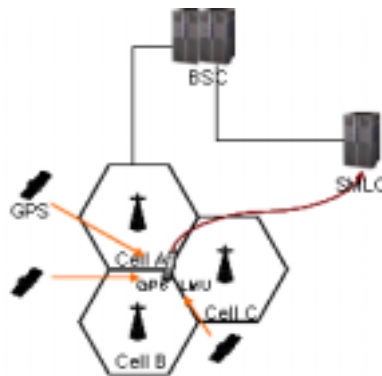


Fig. 7 하이브리드 위치인식 시스템

2) 지역 영역 기반 위치인식 방법

앞서 설명한 방법에 비해 상대적으로 좁은 영역에서 위치를 인식하기 위한 방법이 있다. 이 방법은 제한된 영역 내에서 RF 신호, 적외선(IR), 초음파, UWB 등을 이용하여 사물의 위치를 인식한다.

RF 신호를 이용한 방법

이 방법은 RF 신호의 세기를 이용하거나 RF 신호의 전달 지연을 이용하여 위치를 파악하는 방법으로서 마이크로소프트사에서 개발한 RADAR 시스템이 대표적인 시스템이다. RADAR는 건물 내 사용자 위치를 인식하고 추적하기 위한 RF 기반의 방법으로, 다중 수신기에서 수집된 신호 세기 정보를 이용하여 사용자의 좌표를 측정한다. RADAR는 IEEE 802.11 무선랜 환경을 기반으로 하며, 액세스 포인트에서 무선랜 기기들이 전송하는 신호의 세기와 신호 대 잡음비를 측정하고 이를 이용하여 실내 환경에서 무선랜 장치들의 2차원 위치를 계산한다.

신호 전파 모델을 검증하고 실시간으로 사용자 위치를 유추하기 위해 사용자 위치 함수로서 무선 신호에 대한 정보를 기록하여 수집한다. 위치가 다른 세 개의 액세스 포인트로부터 얻어진 신호들의 세기 정보는 하나의 테이블로 수집되고 각각에 대한 표준과 편차를 계산한다. 그 밖에 건물의 각 층에 대한 레이아웃 정보도 이용한다.

RADAR 방식을 사용하면 위치 측정에 필요한 기기의 수가 적고, 별도의 장치 없이 빌딩 내의 무선랜 환경을 이용한다는 장점이 있으나 위치 측정 대상들이 모두 무선랜을 지원하여야 하기 때문에 전력소모 측면에서 소형 기기나 배터리 등과 같은 제한적인 전원을 갖는 기기들에는 적용하기 힘들며, 상대적으로 가격이 비싸다는 단점이 있다. 이밖에도 몇 개의 기업에서 RF 신호의 도달 시간을 측정하여 위치를 파악하는 시스템을 판매하고 있으며, 그 중에서 Pinpoint사의 3D-iD 시스템은 정밀도가 1~3m 정도가 된다고 알려져 있다[14].

적외선을 이용한 방법

적외선을 이용한 위치 측정 시스템으로 사무실의 천장에 적외선 수신기를 설치하고 사용자들에게는 배지 형태의 적외선 송신기를 갖는 액티브 배지를 부착시킨다. 액티브 배지는 각각 고유인 인식 번호를 가지고 있고, 주기적으로 자신의 인식 번

호를 적외선으로 송출한다. 송출된 적외선 신호를 천장에 설치된 적외선 수신기들이 감지하여 특정 사용자의 위치를 파악하는 시스템이다. 사무실마다 한 개 이상의 적외선 수신기들이 고정된 위치에 설치되어 네트워크를 구성하고, 사용자들의 인식 번호를 수신하면 이를 위치 관리 소프트웨어로 전달한다.



Fig. 8 액티브 배지

액티브 배지는 마이크로프로세서를 탑재하고 있고 양방향 통신이 가능하다. 시스템 구성이 비교적 간단하기 때문에 저렴한 비용으로 위치 측정 시스템을 구성할 수 있다. 또한, 고유의 인식 번호만 송출하기 때문에 신호의 발생 시간이 아주 짧고, 배지마다 초기화된 시간이 조금씩 다르기 때문에 같은 공간에 있는 여러 개의 배지에서 동시에 신호가 발생하는 경우는 거의 없다고 한다. 그러나 적외선 통신은 제한된 거리 내에서만 가능하고, 설치 및 유지비용이 많이 들며, 창문이 있는 사무실에서 햇빛이 비치면 성능이 악화된다.

또한, 사용자가 증가함에 따라 통신 시 충돌 발생률이 높아질 뿐만 아니라 시스템이 확장되어야 한다는 단점을 가지고 있다. 그리고 적외선의 전파 속도가 빠르기 때문에 저가의 하드웨어로 높은 정밀도의 위치 측정 시스템을 구성하기 어렵다는 문제로 인하여, 일정 영역에 하나의 수신기만을 두어 배지를 달고 있는 사람이 어떤 영역에 들어와 있는지만을 파악하는 용도로 사용되어지는 방법이다[14].

초음파를 이용한 방법

액티브 배트는 사람이나 사물에 배트(Bat)라고 불리는 초음파 송신기를 부착하고, 사무실의 천장에 초음파 수신기를 부착한다. 초음파 송신기와 초음파 수신기는 각각 고유의 인식 번호를 갖고 있으며 초음파 수신기는 네트워크 서버에 연결되어 있고, 송신기는 별도의 무선 송수신 장치를 갖고 있다. 위치를 파악하는 방식은 Fig. 9와 같이 서버에서 초음파 수신기들을 모두 초기화하고, 특정 송신기를 호출한다 (1). 호출된 송신기는 초음파를 발생하고(2), 발생된 초음파를 천장에 부착되어 있는 수신기들이 검출하여 초기화 이후 초음파 신호를 수신할 때까지의 지연시간을 저장한다(3). 서버에서는 각 수신기에 저장되어 있는 지연시간을 가져와서 3개의 수신기들에서 검출한 지연시간을 이용하여 각 수신기와 송신기 사이의 거리를 계산한다. 수신기는 천장에 약 1.2m 간격으로 설치한다.

액티브 배트는 송신기와 수신기 사이의 측정된 거리를 바탕으로 삼각측량법으로 송신기의 위치를 파악한다. 즉, 사람이나 사물에 부착된 송신기가 짧은 펄스의 초음파를 발생시켜 천장에 달려있는 수신기까지의 도달 시간을 측정한다. 도달 시간에 음속을 곱해주면 송신기와 수신기 사이의 거리를 쉽게 계산할 수 있다. 송신기와 3개 이상의 수신기들 간의 거리를 측정하면, 송신기의 3차원 위치를 결정할 수 있는 충분한 정보가 얻어진다.

사람이나 사물에 2개 이상의 송신기를 부착하여, 송신기들의 상대적인 위치를 알아내면 위치 측정 대상의 방향도 파악할 수 있다. 송신기가 한 개만 있는 경우에도 수신기가 받는 초음파의 패턴과 검출된 신호의 세기로부터 사용자가 어느 방향을 향해 서 있는지를 대략적으로 알 수 있다.



Fig. 9 액티브 배트와 동작방식

UWB를 이용한 방법

UWB(Ultra Wide Band) 위치인식 방법은 초음파 위치인식 시스템 정도의 정확도를 가지면서 그보다 훨씬 적은 기반 시설을 요구하는 방법이다. UWB는 아주 짧은 무선 펄스를 연속적으로 전송하므로 수 GHz의 광대역 스펙트럼을 차지하는 반면 매우 낮은 전력 밀도를 갖는다. Fig. 10은 스펙트럼 및 전력 밀도를 비교한 것이다.

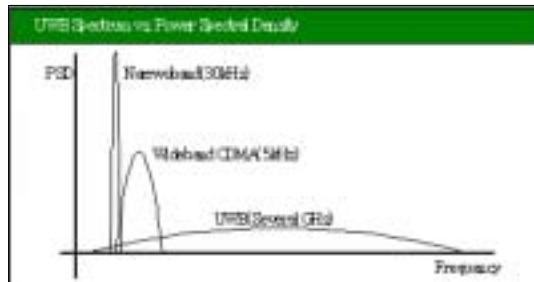


Fig. 10 기존 시스템과 UWB 방법의 스펙트럼 및 전력 밀도 비교

다음 공식은 UWB 신호의 도달 시간을 이용한 위치측정 방법을 나타낸다. 송신기 TX가 t_0 시점에서 UWB 신호를 전송하면, 수신기 RX1과 RX2는 각각 t_1 , t_2 시점에 UWB 신호를 수신한다. 절대적인 도달 시간을 이용하면, 송신기 TX와 수신기 RX1간 거리 d_1 은 다음과 같고, 이로부터 위치를 계산할 수 있다. 이 경우에는 접속점(AP)과 노드간 클럭 동기가 필요하다.

$$d_1 = (t_1 - t_0) \times c$$

UWB 시스템은 기존의 시스템에 비해 여러 가지 장점을 가진다. 우선 거리 분해력이 매우 우수하여 신호의 이동 시간을 정확히 추정할 수 있기 때문에 위치인식 방법으로 적합하다. 그리고 UWB 신호는 낮은 중심 주파수에서 동작하여 투과력이 우수하므로 non-LOS(Line-of-Sight) 상황인 실내 환경이나 shadowed 환경에서도 위치인식 정확도가 뛰어나다[23]. 또한 기존 RF 통신기술과는 달리 반송파를 사용하지 않으므로 IF 모듈이 필요 없는 간단한 무선 구조로 설계할 수 있다는 장점이 있다[14].

RF와 초음파를 이용한 방법

MIT에서 개발한 크리켓은 핸드셋 기반의 위치 측정 시스템으로, 천장에 거리 측정을 위한 신호를 송신하는 비컨이라 불리는 장치를 부착하고 거리 측정의 대상이 되는 사람이나 사물에는 수신기를 부착한다. 비컨은 거리 측정을 위하여 초음파 신호와 RF 신호를 동시에 송출한다. 초음파와 RF 신호는 전파 속도가 서로 다르기 때문에 수신기에 RF 신호가 먼저 도착하고 초음파 신호는 그 후에 수신하게 된다. 이러한 두 신호의 도달 시간차를 이용하면 비컨과 수신기 간의 거리 측정이 가능하고, 3개 이상의 비컨들과 수신기 간의 거리들을 측정하면 삼각 측량법을 사용하여 사람 혹은 사물의 위치를 계산할 수 있다.

초음파 신호와 RF 신호를 동시에 사용하면 비컨과 수신기 간의 시간 동기가 맞지 않아도 두 신호의 도달 시간차를 이용하여 거리 측정이 가능하다는 장점을 얻을 수 있다.

크리켓은 공간 식별자(Space Identifiers), 위치 좌표(Position Coordinates), 기준점(Orientation) 등의 위치 정보를 휴대 단말기, 노트북 컴퓨터, 센서 노드 등의 응용 서비스에 제공한다. 크리켓은 GPS가 동작하기 어려운 실내나 실외에서 사용될 목적으로 개발되었으며, 5~7cm 정도의 오차 범위를 갖는 정밀한 위치 측정이 가능하고 저 전력으로 동작하도록 설계되어 있다.



Fig. 11 크리켓 장치

RFID를 이용해 방법

RFID 시스템은 적은 기반 시설과 낮은 비용으로 구축할 수 있는 위치인식 시스템이다. RFID 시스템은 크게 RFID 태그, 리더, 데이터 처리시스템으로 구성된다. Fig. 12는 RFID 시스템을 나타내고 있다. 신체, 사물, 건물 등에 부착된 측정기, 센서, RFID 태그는 RFID 리더의 호출에 의해 대상체의 식별 번호를 RFID 리더에게 전송하며, 이를 데이터 처리 시스템에 보내 필요한 정보를 사용자가 이용할 수 있는 단말이나 주변 장치에 표시해 준다[15].



Fig. 12 RFID 시스템 구성

3. 고려사항

본 연구는 주차장에서의 차량 위치인식 등과 같이 비교적 넓은 영역에서의 위치인식을 위한 방법에 대한 연구이다. 따라서 인식 범위(영역) 측면과 비용적인 측면에서 위치를 효과적으로 인식할 수 있는 방법에 대해 제안한다.

앞서 살펴 본 여러 가지 위치인식 방법 및 기술들은 응용 분야에 따라 다양하게 사용할 수 있다. 넓은 영역에서는 당연히 GPS, 이동통신망을 이용한 방법이 유리하지만 위치인식에 시간이 걸린다는 것과 통신비용이 많이 든다는 것, 그리고 GPS 인공위성과 GPS 수신기와의 통신 불량 지역에서는 사용이 불가능하다는 단점이 있다. 특히 기본적인 오차 범위가 GPS는 5-10m가 되며 이동통신망 기지

국에 의한 위치인식은 오차 범위가 500m가 넘어서 정밀도가 떨어진다.

RFID를 이용한 방식의 경우 tag 구입 비용은 비교적 저렴하지만 리더기를 원하는 위치에 모두 설치하여야 하는데 그 비용 또한 만만치 않다. 즉 경제성 측면에서 효율성이 떨어지기 때문에 위치인식 방법으로 적합하지 않다. 적외선을 이용한 위치인식과 같은 것은 정밀도는 매우 높지만 구입 가격이 커서 연구 개발 용도나 정밀도를 요구하는 사업 모델에 적용이 가능하다. 그 외의 무선 통신을 이용하는 방법에 관한 연구가 계속해서 이루어지고 있다.

지역 영역에 기반을 둔 기존 연구에서는 신호의 세기 및 거리와의 상관관계에 초점을 맞추어 위치를 인식한다. 하지만 거리와 신호 세기 정보의 관계는 반드시 반비례하지 않기 때문에 이러한 방법은 높은 인식률을 얻는데 한계가 있으며, 실제로 여러 기존의 연구에서 그러한 문제점을 제기하였다.

따라서 본 연구에서는 기존 연구의 문제점인 신호 세기 및 거리와의 상관관계를 이용한 위치인식 방법 보다는 거리에 따른 신호 세기 정보의 패턴을 분석하여 위치를 인식한다. 또한 비용을 획기적으로 줄일 수 있도록 하기 위하여 RF 신호를 이용한 위치인식 방법에 대해 제안한다. 마지막으로 영역적인 면에서 주차장과 같이 넓은 영역을 처리할 수 있도록 하기 위하여 RF 센서 모듈을 센서 네트워크로 연결함으로써 넓은 영역을 다룰 수 있도록 한다.

4. 연구범위 및 목표

본 연구는 RF 기반 USN을 이용한 위치인식 방법에 관한 연구로서 주차장과 같이 비교적 넓은 영역에서 비용을 최소화 하면서 인식률을 효과적으로 높일 수 있는 방법에 관한 연구이다.

본 연구에서는 기존 연구의 문제점을 해결하기 위하여 다음을 목표로 연구한다.

- 신호 세기 및 거리와의 상관관계를 이용한 위치인식 방법 보다는 거리에 따른 신호 세기 정보의 패턴을 이용함으로써 보다 안정적이고 효과적으로 위치를 인식한다.
- 또한 비용을 획기적으로 줄일 수 있도록 하기 위하여 RF 신호를 이용한 위치인식 방법을 연구한다.
- 마지막으로 영역적인 면에서 주차장과 같이 넓은 영역을 처리할 수 있도록 하기 위하여 RF 센서 모듈을 센서 네트워크로 연결함으로써 넓은 영역을 다룰 수 있도록 한다.

이를 위해 본 연구에서는 다음과 세부 내용을 연구한다.

- 거리에 따른 RF 신호의 세기 정보 및 거리 간의 상관관계 및 이를 이용한 위치인식 가능성 여부 확인
- 사물의 위치를 인식하는데 거리 정보와 신호 세기 정보 간의 관계를 이용할 수 있을 경우의 연구 방법, 그리고 이용할 수 없을 경우 대안
- 사물의 위치 정보를 인식하는데 중요한 기준 및 근거가 되는 정보에는 어떤 것이 있는지 확인
- 거리에 따른 신호 정보 패턴 분석 및 위치인식에의 적용 방법
- 이동 노드로부터 RF 신호를 받는 고정 노드 수 및 이에 따른 인식률의 변화와 그 원인
- 주차장 혹은 기타 다른 응용에 적용하였을 때 현실 생활에서 적용 가능한 조건 및 위치인식률

- 위치인식을 위한 특징 추출 방법 및 특징 간 거리를 계산하기 위한 방법, 그리고 인식률에 따른 방법의 타당성 검토
- 제안하는 방법이 비용적인 측면 등에서 현실적으로 적용 가능한지를 실험적으로 확인해 봄

다음 절에서는 위와 같은 내용 및 목표를 이루기 위하여 본 연구에서 제안하는 방법의 전반적인 개요에 대해 설명한다.



5. 제안하는 방법 개요

제안하는 방법은 크게 신호 세기 정보를 이용하여 위치에 관한 지식 정보로 등록하는 학습 과정과 이후 입력되는 신호 세기 정보를 기존의 등록된 지식 정보와 비교하여 인식을 수행하는 인식 과정으로 나눌 수 있다.

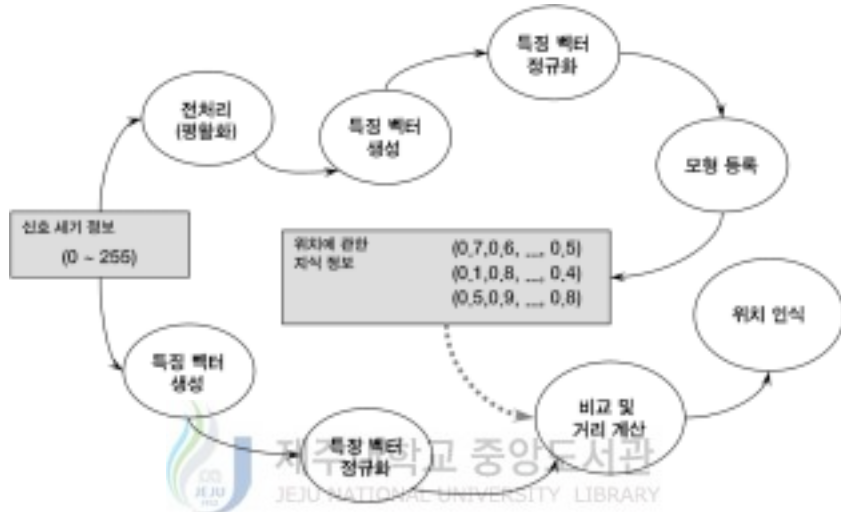


Fig. 13 시스템 동작 개요

먼저 학습 과정에 대해 설명한다. n 개의 고정 노드는 각각 잠시 멈추어 있는 이동 노드로부터 일정 시간 동안 수 개 혹은 수 십 개의 신호 세기 정보를 받는다. 각각의 고정 노드가 받은 여러 신호 정보에 대해 잡음 성분을 제거하는 평활화 과정을 수행한 후 평균값을 구하여 특징 벡터를 생성한다. 그리고 특징 벡터를 정규화한 후 데이터베이스에 위치에 관한 지식 정보로 등록한다. 참고로 본 연구의 실험에서는 15 번의 신호를 입력받아 등록하였다. 지식 정보에는 인식하고자 하는 위치의 수, 가령 주차장의 경우 차를 세울 수 있는 주차 공간 수만큼의 특징 벡터가 등록된다.

다음은 위치인식에 관한 내용이다. n 개의 고정 노드는 멈추어 있는 이동 노드로부터 신호 세기 정보를 입력 받는다. 학습 과정에서는 수 개 혹은 수 십 개의 신호 세기 정보를 입력 받아 등록하지만 인식 과정에서는 단 한 번의 정보를 입력 받아 인식을 수행한다. 입력된 값은 특징 벡터로 구성되고 정규화 과정을

거치 모형으로 등록된 정보와 비교되는 과정을 거친다. 유사도를 측정하는 방법으로 유클리드 거리를 이용하며, 거리를 구한 결과 가장 작은 값을 갖는 모형의 위치로 인식된다.



Ⅲ. RF 기반 USN을 이용한 위치인식

1. RF 신호 정보 획득

본 연구에서 사용하는 RF 센서 노드는 다음 Fig. 14와 같다.



Fig. 14 RF Zig Bee 센서 모듈 (T사)

모든 노드는 무지향성 안테나를 탑재한 RF 2.45 Ghz Zig Bee 센서이며, 본 연구에서는 기능에 따라 RF 센서 모듈을 크게 고정 노드와 이동 노드, 그리고 전달 노드 등으로 분류하였다. 이동 노드는 사람, 차량 등과 같이 움직이는 사물에 부착함으로써 고정 노드에게 수시로 신호를 전송하는 노드이다. 고정 노드는 주차장, 건물 등의 고정된 장소에 설치되어 이동 노드로부터 신호 정보를 지속적으로 받는 노드이다. 전달 노드는 모든 고정 노드로부터 데이터를 받아 계산을 수행하는 컴퓨터로 전송하는 역할을 담당한다. Fig. 15는 3 가지 유형의 노드 및 컴퓨터를 연결한 구성도이다.

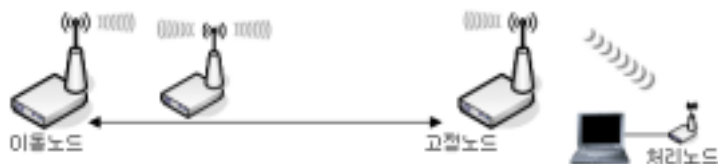


Fig. 15 이동노드와 고정노드 간에 통신

고정 노드가 이동 노드로부터 받아 전달 노드로 전송한 데이터 형식을 보면 Fig. 16과 같다. RSSI는 신호의 감도를 나타내며 LQI는 신호 세기 정보이다. LQI'은 이를 정규화한 값이다.

거리	A node ID	이동 node ID	RSSI	LQI	LQI(십진)	LQI'
2-9	513C0400006F0D00	028C0000006F0D00	F0	E6	230	0,901960784

Fig. 16 전달 노드로 전송되는 신호 정보

2. 전처리

n 개의 고정 노드는 이동 노드(혹은 움직이는 물체)로부터 1초에 한 번의 RF 신호 세기 값을 받아들인다. 이동 노드를 한 곳에 멈추게 한 후 일정 시간 동안 신호 세기 값을 얻어 보면 주변 환경 조건에 따라 조금씩 변할 수 있다. 따라서 잡음이 없는 보다 안정적인 신호 값을 생성하기 위하여 Fig. 17과 같이 가급적 여러 번 신호 값을 받아 이용한다.



Fig. 17 이동 노드로부터 여러 번의 신호를 받은 모습

이처럼 실시간으로 RF 신호 값을 입력받을 경우 조건에 따라 신호 세기 값이 불규칙적으로 들어 올 수 있다. 가령, 사람이 지나갈 때와 같이 노드 주위에서 움직임이 있을 경우 신호 세기 값이 불규칙적으로 바뀔 수 있다. 이 경우 잡음을

제거하기 위한 전처리 과정으로서 평활화(smoothing) 방법으로 잡음을 제거할 수 있다[16].

$$s'_i = \Delta a_1 \times s_{i-1} + \Delta a_2 \times s_i \quad (1)$$

식 (1)은 평활화를 위한 식으로서 s'_i 은 평활화를 한 결과 값이고 s_{i-1} 과 s_i 는 특징 벡터를 구성하는 요소 값으로서 특정 시간에 고정 RF 노드로부터 받은 신호 값을 의미한다. Δa_1 과 Δa_2 는 $\Delta a_1 + \Delta a_2 = 1$ 을 만족하는 파라미터이다. 예를 들어 하나의 고정 노드에서 일정 시간동안 다음과 같은 RF 신호 값들을 받았다고 가정하자.

[206 202 200 208 204 208 204 206 202 204 202 206]

Δa_1 과 Δa_2 를 각각 1/2과 1/2이라고 할 때 위 값들을 평활화한 결과는 다음과 같다.



[206 204 201 204 206 206 206 205 204 203 203 204]

평활화하기 이전 값과 평활화한 값을 그래프로 표현해 보면 다음 Fig. 18과 같다. 예상한 대로 잡음으로 예상되는 고주파 성분이 제거되어 보다 안정적인 신호 값을 구할 수 있음을 알 수 있다.

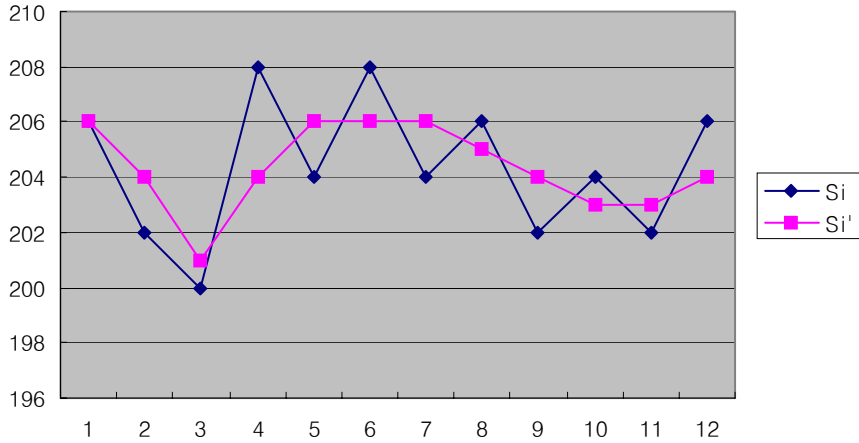


Fig. 18 평활화하여 고주파 성분을 제거한 결과

3. 특징 벡터 생성

앞서 하나의 고정 노드에서 일정 시간동안 얻은 신호 값 12 개를 평활화하는 방법에 대해 살펴보았다. 고정 노드가 4 개일 경우 나머지 3개의 고정 노드에서 얻은 값에 대해서도 동일한 과정을 수행한다. 평활화를 수행한 후 12 개의 값에 대한 평균값을 특징 벡터의 요소로 이용한다. 즉 다음 식 (2)와 같이 특징 벡터가 있다고 하자.

$$f = (f_1, f_2, f_3, \dots, f_M) \quad (2)$$

f_i 는 특징 벡터를 구성하는 요소로서 i 번째 고정 노드에서 얻은 값에서 구한 요소 값이고 M 은 고정 노드의 수 4가 된다. 이때 특징 벡터 요소 f_i 는 다음 식 (3)과 같이 정의할 수 있다.

$$f_i = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^N s_{ij} \quad (3)$$

식 (3)에서 N 은 입력받은 신호 값의 수(앞서 예를 든 값, 12)이며, s_{ij} 는 i 번째 고정 노드에서 얻은 j 번째 신호 값을 의미한다. 가령 앞서 평활화한 값은 다음과 같다.

$$[206 \ 204 \ 201 \ 204 \ 206 \ 206 \ 206 \ 205 \ 204 \ 203 \ 203 \ 204]$$

위와 같이 한 고정 노드에서 구한 값으로부터 얻은 f_i 요소 값은 204.3이 된다.

고정 노드가 4 개일 때 나머지 3 개의 고정 노드로부터 구한 f_i 값이 201.7, 184.3, 89.1이라고 한다면 결과적으로 특징 벡터 f 는 다음과 같다.

$$f = (204.3 \ 201.7 \ 184.3 \ 89.1)$$

4. 특징 벡터 정규화

본 연구에서 사용하는 RF 센서 모듈은 기본적으로 0보다 크고 255보다 작은 LQI 값을 만들어내도록 설계되었다. 본 연구에서는 이 신호 값을 0과 1사이의 실수 값으로 정규화하여 사용하도록 한다. 특징 벡터, 즉 인식기의 입력으로 사용한다. 신호 값을 정규화하기 위한 식은 다음 식 (4)와 같다.

$$s_n = \frac{s - s_{\min}}{s_{\max} - s_{\min}} \quad (4)$$

s 는 정규화 이전의 값이고 s_n 은 정규화된 값이다. s_{\min} 은 최소 RF 신호 값이고 s_{\max} 는 최대 RF 신호 값이다. 이처럼 최대 신호 값과 최소 신호 값을 이용하면 모든 RF 신호 값은 0과 1 사이의 실수 값으로 정규화 된다. 예를 들어 앞서 보았던 특징 벡터는 다음과 같다.

$$f = (204.3 \ 201.7 \ 184.3 \ 89.1)$$

이때 식 (4)에 의해 정규화한 특징 벡터 f_N 은 다음과 같다.

$$f_N = (1.0 \ 0.98 \ 0.83 \ 0)$$

5. 지식 모형화와 학습

100 대의 차를 주차할 수 있는 주차장이 있다고 가정하자. 이 경우 자동차의 위치를 인식할 것이므로 인식할 위치의 수는 100 개이다. 그리고 이 주차장에 자동차로부터 RF 신호를 받는 고정 노드를 4 개 설치하였다고 할 때 다음과 Fig. 19와 같이 4 차원 특징 벡터 100 개를 구할 수 있다. 이것이 바로 위치를 인식하기 위한 지식을 모형(model)화한 것이고 인공지능 관점에서 볼 때 학습한 결과에 해당된다.

0번 위치	0.9	0.5	0.7	1.0
1번 위치	0.5	0.2	0.8	0.1
2번 위치	0.1	1.0	0.6	1.0
3번 위치	0.9	1.0	0.2	0.4
...
99번 위치	0.3	0.2	0.8	0.3

Fig. 19 지식 모형을 생성함으로써 학습한 결과

이 값은 향후에 이동 노드의 위치를 인식하기 위한 모형으로 사용되며, 인식 알고리즘으로는 유클리드 거리(distance) 계산 방법을 이용할 것이다.

6. 유클리드 거리를 이용한 위치인식

5절에서 설명한 방법과 같이 학습 과정에서는 위치인식을 위한 특징 벡터 테이블, 즉, 학습 모형을 구한다. 그리고 인식 과정 혹은 테스트 과정에서는 임의의 위치에 있는 이동 노드로부터 얻은 특징 벡터를 모형과 비교하여 거리를 구함으로써 위치를 인식할 수 있다.

거리를 구하는 방법은 다음 식 (5)와 같이 유클리드 거리(euclidean distance)를 이용한다.

$$d_i = \sum_{j=0}^M \sqrt{(a_{ij} - b_j)^2} \quad (5)$$

식 (5)의 경우 a_{ij} 는 Fig. 19에서 i 번째 특징 벡터의 j 번째 벡터 요소 값을 의미한다. b_j 는 이동 노드가 임의의 위치에 있을 때 고정 노드로부터 획득한 특징 벡터 중 j 번째 요소 값이다. d_i 는 모형과 현재 얻은 특징 벡터의 유클리드 거리 값을 의미한다.

임의의 위치에 이동 노드가 있을 때 Fig. 19의 경우 100개의 모형과 비교함으로써 100 개의 거리 값을 구할 수 있다. 이때 d_i 값이 가장 작은 값을 갖는 위치에 있는 것으로 인식할 수 있다. 즉, 식 (6)과 같다.

$$\min \left(\sum_{i=0}^K d_i \right) \quad (6)$$

현재의 예의 경우 식 (6)에서 K 값은 100이 되며, 따라서 식 (5)를 이용하여 구한 유클리드 거리 100 개 중 가장 작은 값을 갖는 위치로 인식한다는 의미이다.

IV. 실험 결과

1. 실험 환경 및 방법

본 논문에서는 제안된 방법에 대한 성능을 테스트하기 위하여 고정 노드, 이동 노드 및 전달 노드에 RF 2.45 Ghz 지그비(Zig Bee) 센서를 이용하였고, 수집된 데이터 분석에는 펜티엄 5 2.5 Ghz 시스템을 이용하였다.

우선 RF 신호 세기 정보의 특징을 분석하기 위하여 직선상에 두 개의 고정 노드를 설치하였고 한 개의 이동 노드를 이용하여 그 사이를 움직여 보았다. Fig. 20은 운동장에서 고정 노드 A와 B를 10 구간 떨어진 거리에 1.2m 높이로 설치하고 데이터를 처리하는 컴퓨터 및 고정 노드로부터 데이터를 받아 컴퓨터로 전송하는 전달 노드를 설치한 모습을 보여준다.

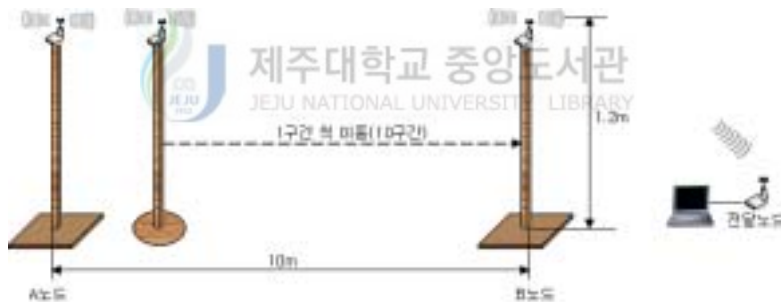


Fig. 20 RF 신호 분석을 위한 실험 환경

이동 노드 위치에 따른 RF 신호 세기 정보를 분석하기 위하여 Fig. 20과 같이 노드를 설치한 후 그 사이에서 이동 노드를 1 구간 간격으로 움직이면서 신호 세기 값이 어떻게 변하는지 실험하고 분석하였다. 분석된 정보를 바탕으로 특징 추출 및 인식 방법에 대한 연구 방향이 결정되었다. 컴퓨터에 연결된 전달 노드는 이동 노드로부터 받은 신호의 세기 정보, 노드 ID를 받아 컴퓨터로 전송한다. 전송된 데이터는 컴퓨터에서 분석하여 위치를 인식한다.

또한 실제 환경에서의 테스트를 위하여 Fig. 21과 같이 주택가에 있는 형태의 넓은 공간의 주차장을 이용하였다. 이동 노드로부터 RF 신호를 받기 위한 고정

노드를 3 개에서 10 개까지 증가하면서 학습 및 인식 실험을 수행하였다. 고정 노드는 가급적 주차장의 모든 부분을 수용하도록 주차 공간에 적절히 배치하였다. Fig. 21은 주차장에 4 개의 고정 노드를 설치한 모습이다.

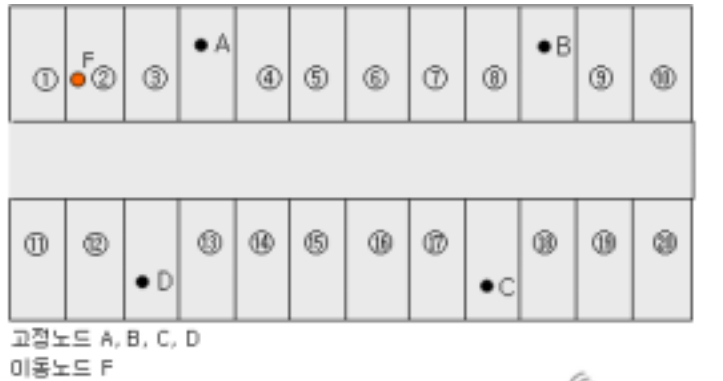


Fig. 21 실제 주차장에서의 실험 환경

실험에 사용한 데이터는 다음과 같이 구하였다. 우선 고정 노드 수인 n 을 3, 4, ..., 10까지 증가하면서 각 노드 수에 따라 15 개의 신호 값을 얻어 특징 벡터 테이블 모형을 구하는 학습 과정에 이용하였고, 다시 5 개의 신호 값을 얻어 테스트에 이용하였다. 이동 노드의 위치에 따라 10 개의 노드에서 얻는 신호 정보는 다음 Table. 1과 같다.

Table. 1 실험 데이터

위치		학습 데이터				인식 테스트 데이터			
		노드1	노드2	...	노드10	노드1	노드2	...	노드10
1 구역	1	15개	15개	...	15개	5개	5개	...	5개
	2	15개	15개	...	15개	5개	5개	...	5개
	3	15개	15개	...	15개	5개	5개	...	5개
	4	15개	15개	...	15개	5개	5개	...	5개
	5	15개	15개	...	15개	5개	5개	...	5개
	6	15개	15개	...	15개	5개	5개	...	5개
	7	15개	15개	...	15개	5개	5개	...	5개
	8	15개	15개	...	15개	5개	5개	...	5개
	9	15개	15개	...	15개	5개	5개	...	5개
	10	15개	15개	...	15개	5개	5개	...	5개
2 구역	1	15개	15개	...	15개	5개	5개	...	5개
	2	15개	15개	...	15개	5개	5개	...	5개
	3	15개	15개	...	15개	5개	5개	...	5개
	4	15개	15개	...	15개	5개	5개	...	5개
	5	15개	15개	...	15개	5개	5개	...	5개
	6	15개	15개	...	15개	5개	5개	...	5개
	7	15개	15개	...	15개	5개	5개	...	5개
	8	15개	15개	...	15개	5개	5개	...	5개
	9	15개	15개	...	15개	5개	5개	...	5개
	10	15개	15개	...	15개	5개	5개	...	5개
합계		300 세트				100 세트			

2. 거리에 따른 RF 신호 특징 분석

앞 절에서 설명한 실험 환경 및 방법에 근거하여 실험을 수행하였다. 우선 특정 지점에서 20번 반복하여 RF 신호를 받아 보았다. Fig. 22는 두 개의 고정 노드가 특정 지점에 있는 이동 노드로부터 20 번의 신호 세기 값을 받아 표시한 모습이다. 신호 세기 값은 원시 데이터로 정규화 및 평활화를 하기 전 값이다.

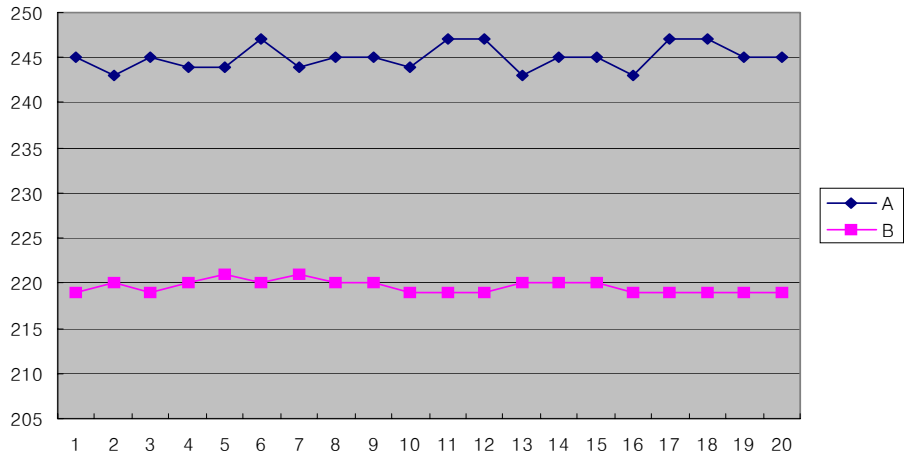


Fig. 22 동일 지점에서 20번 신호를 받은 결과

Fig. 23은 Fig. 22의 신호 값들을 정규화하고 평활화한 결과이다. 평활화한 결과 잡음 성분이 제거되었다. 실험 결과 주변 조건에 따라 신호 세기 값이 조금씩 변하지만 비교적 안정적으로 일정한 패턴으로 신호 세기 값이 측정됨을 알 수 있다.

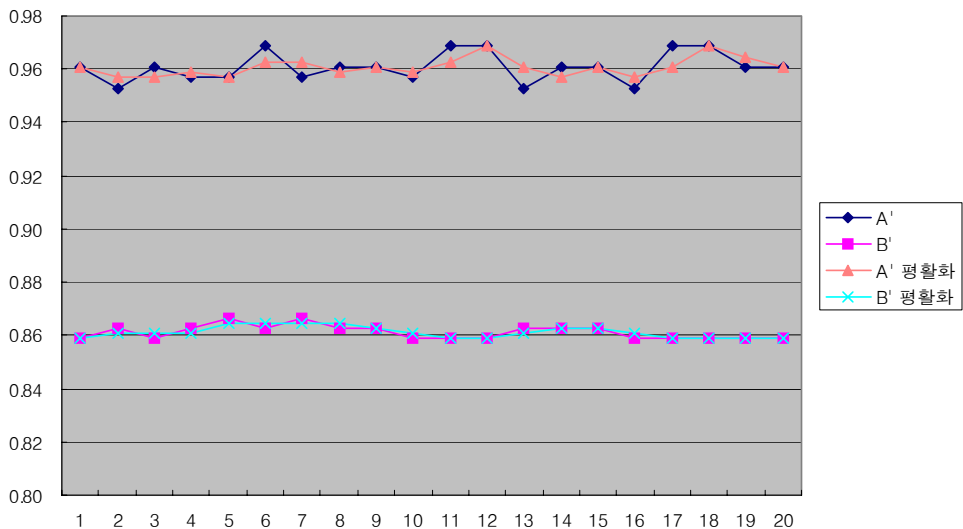


Fig. 23 정규화 및 평활화 결과

그 다음, 거리에 따른 RF 신호의 특징을 분석하였다. Fig. 24는 고정 노드 A와 B 사이의 10 개 구간에 이동 노드를 움직이면서 신호 세기 정보를 받은 결과이다. 각 위치에서는 신호 세기 정보를 20 번씩 받아 평균값을 구하였다.

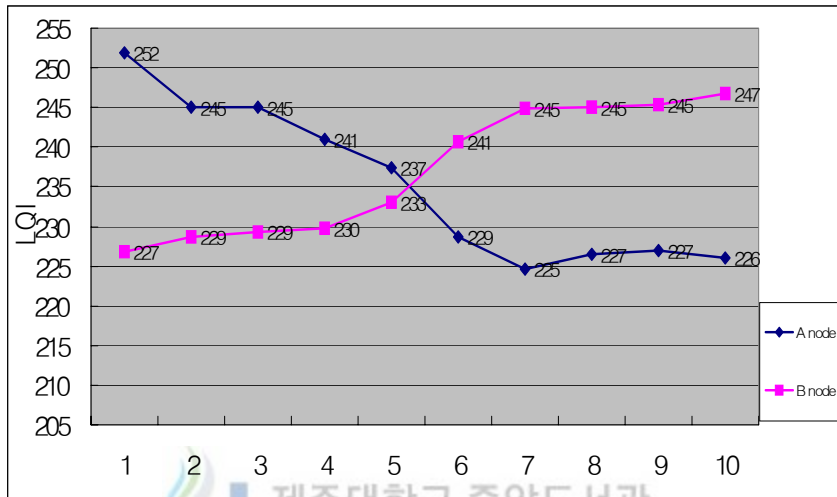


Fig. 24 RF 노드로부터 받은 신호의 세기 측정 결과

실험에서 첫 번째 구간은 고정 노드 A가 이동 노드로부터 가장 가까이 있기 때문에 전파의 세기 또한 가장 높다. 반면에 고정 노드 B는 이동 노드와 가장 먼 거리에 존재하기 때문에 가장 낮은 신호 세기 값을 갖게 된다. 두 번째 구간에서는 고정 노드 A에서 측정된 값은 245로 다소 떨어진 반면 고정 노드 B에서 측정된 값은 229로 첫 번째 구간 보다 신호의 세기 값이 상승하였다.

다섯 번째 구간 근처에서는 그래프가 서로 교차하게 됨을 볼 수 있는데, 이것은 고정 노드 A와 고정 노드 B에서 이동 노드의 전파의 세기 값이 유사하게 측정된 것을 의미한다. 여섯 번째 이후부터는 이동 노드의 위치가 고정 노드 B가 위치한 방향으로 가까워짐에 따라 고정 노드 B의 전파 세기가 더욱 강해진 반면 고정 노드 A와는 점차 멀어짐에 따라 전파의 세기가 점점 약해짐을 알 수 있었다.

이와 같이 이동 노드와 고정 노드 A 및 B에 전파의 세기가 노드 간 통신 거리와의 대략적인 상관 관계를 파악할 수 있다. 실험을 통해 부가적으로 알 수 있

있던 것은 이동 노드와 고정 노드와의 통신 전파의 세기가 거리뿐만 아니라 주변 환경(철 구조물, 사람, 날씨)등에 따라 조금씩 변화가 있음을 알 수 있었다. 이러한 이유 때문에 신호 세기 값과 거리간의 관계는 명확하게 드러나지 않았다. 일반적으로 생각하기에 두 값은 반비례할 것으로 예상되지만 실제 실험 결과로는 그렇지 않음을 알 수 있었다. 실제로 A 노드의 경우 2, 3 구간에서 동일한 값이 측정되었으며 7, 8 구간에서는 신호 값이 줄어들어야 함에도 불구하고 오히려 증가하였다.

이러한 실험으로부터 내릴 수 있는 결론은, 실제 실험 환경에서 단순히 신호 세기 값과 거리의 상관 관계를 이용한 위치인식 방법은 한계가 있다는 것이다. 실제로 앞서 살펴보았던 기존 연구에서도 이러한 문제점을 지적하였으며, 따라서 본 연구에서는 신호 세기 값 그 자체보다는 신호 세기의 패턴 정보에 기반을 두어 학습하고 인식을 수행하는 방법을 제안하였다.

3. 학습 및 지식 획득

신호 패턴을 학습하여 지식을 획득하기 위하여 Fig. 21과 같이 주차장에 n ($3 \leq n \leq 10$)개의 고정 노드를 설치하면 n 개의 노드 각각은 일정 시간동안 이동 노드로부터 20 번의 신호 세기 정보를 받는다. n 개의 고정 노드 각각은 받은 값 중 15 개의 값을 전 처리하여 정규화한 후 평균값을 구하였다. Fig. 25는 그 결과 값을 이용하여 특징 벡터 테이블을 구성한 모습이다.

이동체 위치	A-node	B-node	C-node	D-node
1-1	0,10	0,12	0,11	0,09
1-2	0,04	0,06	0,09	0,05
1-3	0,01	0,05	0,05	0,06
1-4	0,95	0,07	0,06	0,05
1-5	0,03	0,04	0,04	0,05
1-6	0,04	0,09	0,04	0,07
1-7	0,07	0,13	0,04	0,06
1-8	0,07	0,95	0,03	0,07
1-9	0,07	0,03	0,06	0,07
1-10	0,09	0,04	0,05	0,07
2-1	0,07	0,06	0,11	0,07
2-2	0,08	0,07	0,10	0,04
2-3	0,07	0,05	0,09	0,98
2-4	0,08	0,06	0,09	0,00
2-5	0,06	0,04	0,09	0,03
2-6	0,07	0,05	0,05	0,04
2-7	0,06	0,05	0,93	0,06
2-8	0,06	0,04	0,04	0,07
2-9	0,10	0,05	0,12	0,12
2-10	0,04	0,05	0,09	0,07

Fig. 25 특징 벡터 테이블



4. 위치인식실험

이동 노드가 20개의 주차 영역 각각의 위치에 있을 때 얻은 신호 세기 정보를 바탕으로 전처리와 정규화, 그리고 평균값을 구하여 특징 벡터를 생성한 후 앞서 구한 특징 벡터 테이블과 비교를 수행함으로써 위치를 인식한다. 모형에 등록되어 있는 각 특징 벡터와 유클리드 거리를 구한 후 가장 작은 거리를 갖는 위치로 인식한다. 다음 Fig. 26은 고정 노드가 4 개일 때 테스트 데이터와 모형과의 유클리드 거리를 구한 결과의 일부 모습이다.

테스트 데이터					1번째 특징 벡터와의 거리 값	2번째 특징 벡터와의 거리 값	3번째 특징 벡터와의 거리 값				
	1	2	3	4							
(1, 1) 위치에서 구한 신호 값	1	370	354	328	370	*	1.27	42.1300000000000	52.50	251.47	63.99
	2	370	354	328	370	*	1.27	42.1300000000000	52.50	251.47	63.99
	3	340	344	348	340	*	1.26	43.1200000000000	53.00	252.27	64.91
	4	350	354	357	350	*	1.27	43.1200000000000	53.00	252.27	64.91
	5	370	373	377	370	*	1.26	43.1200000000000	52.50	251.47	63.99
(1, 2) 위치에서 구한 신호 값	1	340	344	348	340	*	1.26	43.0000000000000	53.00	252.27	63.99
	2	340	344	348	340	*	1.27	43.0000000000000	53.00	252.27	63.99
	3	340	344	348	340	*	1.27	43.0000000000000	53.00	252.27	63.99
	4	340	344	348	340	*	1.27	43.0000000000000	53.00	252.27	63.99
	5	340	344	348	340	*	1.27	43.0000000000000	53.00	252.27	63.99
(1, 3) 위치에서 구한 신호 값	1	340	344	348	340	*	1.26	43.0000000000000	53.00	252.27	63.99
	2	340	344	348	340	*	1.26	43.0000000000000	53.00	252.27	63.99
	3	340	344	348	340	*	1.26	43.0000000000000	53.00	252.27	63.99
	4	340	344	348	340	*	1.26	43.0000000000000	53.00	252.27	63.99
	5	340	344	348	340	*	1.26	43.0000000000000	53.00	252.27	63.99
(1, 4) 위치에서 구한 신호 값	1	340	344	348	340	*	1.26	43.0000000000000	53.00	252.27	63.99
	2	340	344	348	340	*	1.26	43.0000000000000	53.00	252.27	63.99
	3	340	344	348	340	*	1.26	43.0000000000000	53.00	252.27	63.99
	4	340	344	348	340	*	1.26	43.0000000000000	53.00	252.27	63.99
	5	340	344	348	340	*	1.26	43.0000000000000	53.00	252.27	63.99

Fig. 26 입력된 신호 값과 모형에 등록된 신호 값을 비교한 결과

(1, 1) 위치에서 구한 테스트 데이터 신호 값 5개 중 1 번째 신호 값으로부터 구한 특징 벡터를 모형의 특징 벡터와 비교한 결과 모형의 1 번째 특징 벡터와는 거리가 1.27이었으며, 두 번째와의 거리는 42.13이었다. 그리고 계속해서 62, 251.47, 63.99, ... 등과 같이 구할 수 있었다. 모형의 첫 번째와 유클리드 거리가 가장 작기 때문에 첫 번째 등록된 위치, 즉, (1, 1) 위치에 있는 것으로 인식된다.

Fig. 26의 경우 고정 노드가 4 개일 때 실험한 결과이다. Table 1 에서와 같이 모든 테스트 데이터 100 개에 대해 실험한 결과 95%의 인식률을 얻을 수 있었다. 고정 노드를 3 개에서 10 개까지 증가하면서 동일한 방법으로 인식 실험을 수행하였다. Fig. 27은 위치인식 실험 결과이다.

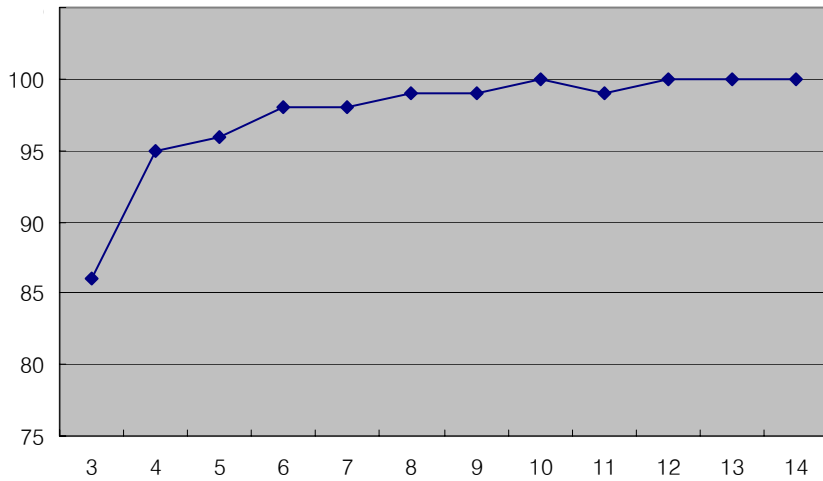


Fig. 27 고정 노드 수에 따른 위치인식률

실험 결과 노드의 수를 증가함에 따라 상대적으로 높은 인식률을 얻을 수 있었다. 3 개의 고정 노드만을 이용하더라도 86%의 비교적 높은 인식률을 얻을 수 있었으며, 7 개의 고정 노드를 이용할 경우 98%의 인식률을, 10 개의 고정 노드를 이용할 경우 인식률이 100%까지 향상됨을 알 수 있었다. 하지만 11 개의 노드를 이용할 경우 오히려 인식률이 떨어졌으나 이후 노드 수를 더 늘린 결과 지속적으로 100%의 인식률을 보였다.

고정 노드를 11 개로 늘렸을 때 인식률이 떨어진 이유는 추가된 특징 벡터 요소 값이 잡음으로 인하여 전체 거리 값에 오히려 나쁜 영향을 미친 결과였다. 이후 더 추가한 고정 노드는 그러한 오류도 허용함으로써 다시 100%의 인식률을 얻을 수 있었다.

V. 결론 및 고찰

본 연구는 RF 기반 USN을 이용하여 사물의 위치를 인식하기 위한 방법에 관한 연구이다. RF 모듈을 이용하기 때문에 상대적으로 비용이 저렴할 뿐만 아니라 USN을 이용함으로써 아무리 넓은 영역이라도 효과적으로 위치를 인식할 수 있다. 제안하는 방법을 구현하여 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

테스트 결과 RF 신호의 세기 정보는 반드시 거리에 반비례하게 나타나지 않았기 때문에 신호 세기 정보를 거리와 연관시키기 보다는 정형화된 패턴을 알아냄으로써 긍정적인 결과를 얻을 수 있었다. 즉 신호 세기 정보와 거리 간의 관계에 기반을 둔 위치인식은 불가하였으므로 본 연구에서는 패턴 정보를 이용하였다. 또한 신호의 세기 정보와 거리 간의 관계 정보는 불규칙하게 변화하였으나 위치에 따른 신호 패턴이 일정하게 나타났으므로 본 연구에서는 여기에 착안점을 두어 인식 방법을 제안하였고 결과적으로 이러한 일정한 신호 패턴이 인식률에 바람직한 영향을 줌을 알 수 있었다. 연구의 실험 환경은 주차장을 대상으로 하였으며, 주차장에서의 자동차 위치인식 실험 결과 10 개의 고정 노드 및 12 개 이상의 고정 노드를 설치하였을 때 100%의 인식률을 얻을 수 있었으며 RF 신호를 받는 고정 센서 노드의 수가 증가할수록 인식률이 향상되는 것을 알 수 있었다. 신호의 세기의 패턴 정보를 유클리드 거리 등과 같이 비교적 간단한 인식 알고리즘을 이용하더라도 인식률 면에서 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

또한 RF 센서 모듈의 위치에 따라 신호 세기 값은 다르게 나타났다. 하지만 어떠한 위치든지 위치를 고정시킬 경우 발생하는 신호 패턴은 유사하게 나타났으므로 학습 과정만 거치면 높은 인식률로 위치를 인식할 수 있었다.

RF 모듈은 현재 개당 2만원 정도에 구입할 수 있으며, 따라서 20대에서 30대 정도의 주차 영역에 대해 높은 인식률로 차량의 위치를 인식하는데 RF 모듈의 경우에 20만원 정도의 저렴한 비용으로 시스템을 구축할 수 있다.

실험 및 분석 결과 본 연구에서 제안하는 방법은 네트워크 인프라가 필요하지 않음으로써 타 방법에 비해 비용적인 측면에서 저렴할 뿐만 아니라 인식을 수행할 수 있는 영역 면에서도 효율적임을 알 수 있었다. 특히 본 방법은 응용 특성상 위치인식률이 100%가 되지 않더라도 업무의 효율성 측면에서 많은 비용을 절

감할 수 있을 것으로 판단된다.

향후 연구 방향으로는 유클리드 거리를 이용한 위치인식 방법 대신에 신경망을 이용한 위치인식 방법이 있으며, 날씨 및 계절, 실내 및 실외 등과 같은 다양한 조건이 위치인식률에 미치는 영향을 분석하고 이를 지식으로 이용함으로써 사물의 위치를 보다 정확히 인식하기 위한 방법에 관한 연구 등이 있다. 또한 GA에 의한 최적화 방법을 이용함으로써 인식률과 계산 시간 관점에서 보았을 때 최적의 결과를 얻을 수 있는 다양한 파라미터들, 가령 고정 노드의 수와 관련 요소(factor)를 구할 필요가 있다.



[참고문헌]

- [1] 한국전산원, “u-Korea 전략 연구,” 2004.
- [2] 현미환, “u-Commerce 환경 하에서 비즈니스 모델에 관한 실증 연구,” 석사학위 논문, 2003.
- [3] 권수갑, “Ubiquitous Computing 개념과 동향,” 전자부품연구원 전자정보센터, 2003.
- [3] 원규, “u-Korea 구축 전략과 행동 계획 : 비전, 이슈, 과제, 체계,” Telecommunication Review, 제13권 제1호, 2003.
- [4] Mark Weiser, “The Computer for the 21st Century,” Scientific American, 1991.
- [5] 연승준, 박상현, 하원규, “유비쿼터스 컴퓨팅의 시스템적 함의와 관련 기술 동향,” 전자통신동향분석, 제19권 제2호, 2004.[4] 남희, “유비쿼터스 컴퓨팅 기술의 응용과 과제 : u-비지니스를 중심으로,” ICAT 학술발표논문집, 2003.
- [6] 주병, “모두가 함께하는 유비쿼터스 사회구현을 위한 대응과제,” 정보격차, 통권 5호, 한국정보문화진흥원, 2004.
- [7] 하원규, 김동환, 최남희, “유비쿼터스 IT 혁명 제3공간,” 전자신문사, 2002.
- [8] 이근호, “유비쿼터스 무선기술 개요 및 개발 전략 방향,” 한국전파진흥협회, 2003.
- [9] 최남희, “유비쿼터스 정보 기술을 활용한 물리 공간과 전자 공간의 연계 구도와 어플리케이션 체계에 대한 연구,” Telecommunication Review, 제13권 제1호, 2003.
- [10] 삼성경제연구소, “유비쿼터스 컴퓨팅 : 비즈니스 모델과 전망,” 삼성경제연구소 이슈리포트, 2003.
- [11] 박옥선, 정광렬, 김성희, “유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 위치인식 기술 및 시스템,” 2005.
- [12] 정화영, 양승용, 김연준, 정명기, 윤상일, “측량학,” 2002.

- [13] 한국전자통신연구원, "IT전략품목 기술/시장 보고서 - LBS기술 시장 보고서," 2002.
- [14] 이원희, 이우용, 김민규, 엄두섭, 짐진원, "유비쿼터스 환경을 위한 위치측정 시스템 기술동향," 정보과학회지, 제22권 제12호, 2004.
- [15] Sanjay E. Sarma, Stephen A. Weis, Daniel W. Engels, "White Paper: RFID Systems, Security & Privacy implications," AUTO-ID Center, MIT, Nov. 2002.
- [16] H. Arakawa, "On-Line Recognition of Handwritten Characters - Alphanumeric, Hiragana, Katakana, Kanji," Pattern Recognition, Vol. 16, No. 1, pp. 9-21, 1983.
- [17] 한국전산원, "2004 국가정보화백서," 2004.
- [18] 김재호, 김영섭, 박옥선, 김성희, "유비쿼터스 위치기반 서비스 및 위치인식 시스템 연구 동향," 2005.
- [19] John Krumm, Lyndsay Willicams, Greg Smith, "SmartMoveX on a Graph-An Inexpensive Active Badge Tracker," Technical Report MSR-TR-2002-70, Microsoft Research, Jun. 2002.
- [20] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, H. Balakrishnan, "The Cricket Location-support system," Proc. of the Sixth Annual ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), August 2000.
- [21] Joon-Yong Lee, Robert A. Scholtz, "Ranging in a Dense Multipath Environment Using an UWB Radio Link," IEEE JSAC, Vol. 20, No. 9, Dec. 2002.
- [22] Tian He, Chengdu Huang, B. M. Blum, John A. Stankovic, and Tarek F. Abdelzaher, "Range-Free Localization Schemes in Large Scale Sensor Networks," CS-TR-2003-06, Submit to MobiCom, 2003.
- [23] PinPoint Corporation, <http://www.pinpointco.com>, 2001.
- [24] J. Hightower, G. Borriello, "Location systems for ubiquitous computing,"

Computer, 34(8), IEEE Computer Society Press, 2001.

- [25] D. Niculescu, B. Nath, "DV Based Positioning in Ad hoc Networks,"
Journal of Telecommunication Systems, 2003.



감사의 글

어느덧 날이 차가워져 교정은 하얀 눈꽃으로 덮였습니다. 공대 창가에서 바라본 공대 바깥 풍경은 너무 아름다워 보입니다. 하이얀 풍경을 보면서 문득 이정화 선생님께 멋진 풍경을 벗 삼아 일 하셔서 좋겠다고 물었더니 미소 지으시더군요. 어느덧 시간이 흘러 이 겨울을 끝으로 지난 2년간의 대학원생활을 마친다는 생각에 마음 한구석이 짙짙한 날씨만큼이나 쓸쓸해집니다. 제가 지난 2년간의 대학원 생활을 무리 없이 마치게 된 것은 아낌없이 가르침을 주셨던 변영철 교수님의 도움이 있었기에 가능했다고 생각합니다. 무엇보다 지도 교수님이신 변영철 교수님께 감사의 말을 드리면서 제가 지금 이 자리까지 올 수 있게 도와주신 모든 분들께 드리는 감사의 글을 시작할까 합니다.

먼저 논문이 완성되기까지 세심한 지도를 아끼지 않아주셨던 김장형 교수님, 안기중 교수님, 변상용 교수님, 이상준 교수님, 광호영 교수님, 송왕철 교수님, 김도현 교수님께 감사의 인사드립니다.

연구실에서 함께 고민하던 선배님, 후배님들과 관계자 분들께도 감사드립니다. 입학한지 얼마 안 되어서 취업을 하신 김영민 선생님, 대학원 생활에 대한 조언을 아끼지 않아주셨던 김정희 선배님, 항상 수고하시면서 연구실 살림을 챙겨 주셨던 정응경 선배님, 졸업을 하시고도 후배들에게 조언을 아끼지 않았던 양동호 선배님, 작성된 논문을 보시고 방향을 제시 해주신 오상현 박사님, 대학원 생활을 시작할 무렵 힘이 되어주신 김정희 선배님, 항상 곁에서 도와준 친구같은 동생들인 김인석, 권훈 에게도 감사의 말을 전하고 싶습니다. 언제나 같이 했던 경진, 정윤, 김재석, 임정홍씨에게도 감사의 말을 전합니다. 그리고 우리회사 직원들인 강명호, 고경민, 소대웅 씨에게도 감사드립니다. 특히 추운 날씨에 야외에서 실험을 도와주면서 비교적 좋은 결과가 나오자 자기 일처럼 함께 기뻐해주었던 강승진, 고지호 씨에게도 감사하다는 말을 전합니다. 늘 연구 활동 전반을 세심히 1보살펴 주신 변영철 교수님과 함께 연구 활동을 하고 계신 조운상 씨, 김현미 씨에게 다시 한 번 감사의 말씀을 전합니다.

마지막으로 언제나 관심과 사랑으로 나를 있게 해준 나의 사랑하는 아내와 언제나 나의 힘이 되어주는 우리 귀여운 딸 수민에게 사랑한다는 말을 전하고 늘 제주도의 IT 산업의 섯별이 되고자 노력을 아끼지 않는 자바정보기술 가족들에게 감사 말을 전하며 글을 마칩니다.