

위치 측정 시스템(Localization) 기술 동향

허 경* · 손원성** · 엄두섭***

1. 서 론

최근 들어서 유비쿼터스(Ubiquitous) 컴퓨팅에 관한 연구가 각광을 받고 있다. 유비쿼터스 컴퓨팅은 주변 공간의 상황을 인식할 수 있고, 인식한 상황을 바탕으로 적절한 시기에 필요한 정보를 올바른 사용자나 사용자 장치에게 제공해주는 지능적인 환경을 제공한다. 이는 주변 사물과 환경에 통신장치가 탑재된 초소형의 지능화된 임베디드(Embedded) 컴퓨터가 내재되어 상호 네트워크를 구성함으로써 가능해진다. 사용자들이 물리적으로 떨어져 있더라도, 원하는 장소나 시간에 따른 사물 및 주변 환경의 변화를 인식하거나 추적하여 상황 인식적이고 특화된 정보 서비스를 제공할 수 있음을 의미한다. 지능화된 사물이나 환경이 사용자가 처한 상황에 따라 적절한 서비스를 제공하기 위해서는 사용자 혹은 사용자 장치의

물리적인 위치와 조건 및 그 변화하는 정도 역시 인식할 수 있어야 한다. 이처럼 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 제공하게 될 상황 인식 서비스를 위해서는 사용자의 위치 정보가 매우 중요한 필수 요소가 될 것이다[1-4].

사용자의 위치정보를 획득할 수 있는 대표적인 시스템으로는 GPS(Global Positioning System)와 이동통신망을 이용한 위치 측정 시스템을 들 수 있다[5-6]. 특히 GPS의 경우는 이동통신망을 이용하는 위치 측정 시스템에 비하여 보다 정밀한 위치 측정이 가능하고 지구상의 모든 장소에서 사용이 가능하다는 장점으로 인하여 널리 사용되어지고 있다. 그러나, LoS(Line of Sight)를 요구하는 GPS의 특성상 실내에서는 사용이 곤란하며, 수십cm 이하의 오차 범위를 요하는 정밀한 위치 측정은 어렵다는 단점이 있다. 또한, 임베디드 컴퓨터가 주변 환경과 사물에 내재되어 사용되는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서는 장치의 가격이 매우 중요한 요소이므로 비교적 가격이 고가인 GPS는 적합하지 않다고 할 수 있다. 한편, 실내의 경우처럼 범위가 한정된 특정 지역에 있어서는 위도와 경도 등으로 표현되는 절대적인 위치정보보다는 기준 위치에서 어느 정도의 거리에 놓여 있는가 하는 상대적인 위치정보가 더욱 유용할 것이다. 이상과 같은 관점에서 실외에서 널리 사용되는 GPS를 대체할 수 있는 새로운 위치 측정 시스템

* 교신저자(Corresponding Author) : 허경, 주소 : 인천시 계양구 계산동 교대길 45, 전화 : 032)540-1318, FAX : 032)548-0288, E-mail : khur@ginue.ac.kr

* 경인교대 컴퓨터교육과 조교수
(E-mail: khur@ginue.ac.kr)

** 경인교육대학교 컴퓨터교육과 조교수
(E-mail: sohnws@ginue.ac.kr)

*** 고려대학교 전기전자전파공학부 교수
(E-mail: eomds@korea.ac.kr)

* 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (2010-0002366)

에 대한 필요성이 대두되고 있으며, 이에 따라 사용자의 장치 혹은 센서노드 등에 장착되어 상대적인 위치를 파악할 수 있는 저가의 위치 측정 시스템에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다[7-9].

본 고에서는 삼각 측량법(Triangulation)과 장면분석(Scene Analysis) 그리고 근접방식(Proximity)으로 대표되는 위치 인식 기술들의 기본적인 동작원리에 관하여 알아보고, 위치 측정 시스템의 특징을 측정된 위치의 정보, 위치 추적과 인식, 확장성과 정밀도, 비용 등의 관점에서 살펴본다. 또한, 현재 제안되어 있는 대표적인 위치 측정 시스템들이라 할 수 있는 AT&T사의 액티브 배지(Active Badge)[10], 캠브리지 대학의 액티브 배트(Active Bat)[11], MIT의 크리켓 시스템[12], 마이크로소프트사의 RADAR[13], RF-ID 및 UWB(Ultra Wide Band)를 이용한 위치 측정 시스템, EasyLiving 프로젝트[14], Pinpoint사의 3D-iD 시스템[15] 등의 구성 및 동작원리를 살펴보고, 마지막으로 센서노드에 대한 위치정보가 매우 중요한 역할을 하는 USN(Ubiquitous Sensor Network)에서의 위치 측정 기술 및 국내의 실내 위치 측정 시스템의 개발 동향에 대하여 살펴본다.

2. 위치 인식 기술

2.1 삼각측량법

삼각 측량법은 기준점으로부터 떨어져 있는 각도를 이용하는 각도 측정 방식과 기준점까지의 거리를 측정하는 거리 측정 방식이 있다. GPS는 측정된 거리로부터 삼각 측량법을 이용하여 위치를 계산하는 시스템의 대표적인 예이다.

2.1.1 AoA (Angle of Arrival)

AoA 방식은 DoA(Direction of Arrival)라고도 불린다. AoA 방식은 어레이 안테나(Array

Antenna)를 사용하여 수신된 신호의 방향을 계산한다. 따라서 하나의 AoA 측정값은 물체의 위치를 하나의 선상의 어느 한 점으로 국한할 수 있다. 만일 서로 다른 위치에 있는 최소한 두 개의 어레이 안테나로부터 AoA 측정값을 얻는다면, 물체의 위치는 각 안테나로부터 얻어지는 AoA 측정값들로부터 얻어지는 두 선의 교차점이 되며, 많은 AoA 측정값들을 사용할수록 측정된 위치의 정확도는 향상이 된다. 그림 1은 3개의 어레이 안테나를 사용하여 AoA 방식으로 물체의 위치를 찾는 방법을 보여주고 있다. AoA 방식은 레이더 및 상업적인 무선 시스템에서 흔히 사용되고 있으나, 어레이 안테나 배치에 따른 공간 등의 문제로 인하여 아직까지는 소형/저전력 플랫폼에는 거의 채택되고 있지 않다.

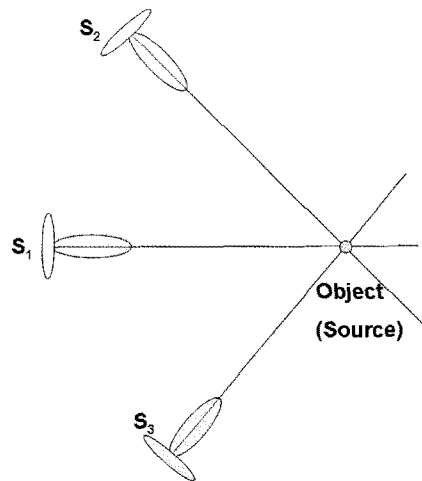


그림 1. AoA 방식

2.1.2 ToA (Time of Arrival)

거리 측정을 위한 신호를 송신하는 비컨(Beacon)과 이를 수신하는 수신기 간에 신호가 도달하는데 소요되는 절대적인 시간을 측정하여 거리를 구하는 방식이다. 3개 이상의 수신기 혹은 비컨이 있을 경우 측정된 거리들로부터 삼각법을

사용하여 위치를 계산할 수 있다. ToA는 동기식 또는 비동기식으로 계산될 수 있다. 동기식에서는 수신기와 비컨이 서로 시간적으로 동기화되어 있으며, 비컨은 수신기로 절대적인 현재 시간을 기록한 신호를 보낸다. 수신기와 비컨 간에 시간이 동기되어 있기 때문에 수신기는 신호의 수신 시간을 측정하여 비컨과 수신기 간에 신호 도달에 걸리는 절대적인 시간을 구할 수 있다. 따라서, 알고 있는 신호의 전송속도와 신호 도달 시간으로부터 거리를 구할 수 있다. 비동기 방식에서는 수신기와 비컨 간에 시간 동기를 맞추는 필요가 없다. 비컨은 현재 시간을 기록한 다음 즉시 수신기에 신호를 보낸다. 수신기는 비컨으로부터 수신한 신호를 다시 비컨에게 되돌려 보낸다. 수신기에서 신호를 다시 비컨에게 되돌려 보내는데 걸리는 지연이 일정하다고 한다면, 비컨은 신호의 전송 시간과 수신 시간의 차 및 수신기에서의 지연 시간으로부터 비컨과 수신기 사이의 거리를 계산할 수 있다.

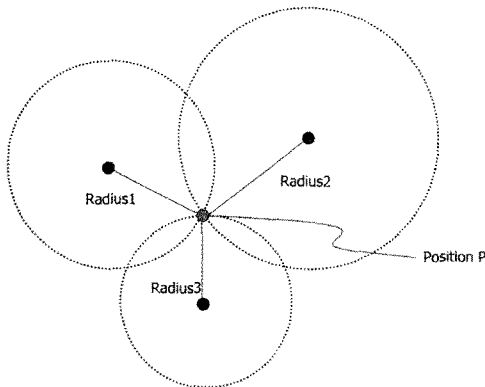


그림 2. ToA 방식

2.1.3 TDoA (Time Difference of Arrival)

여러 개의 수신기에서 수신한 신호의 도착 시간들의 차로부터 비컨의 위치를 측정하는 방식이다. 이 방식에서는 비컨에서 신호를 보낸 절대적인 시간은 알 수 없으며, 서로 시간적으로 동기되

어 있는 수신기들이 비컨으로부터 수신한 신호의 도착 시간을 각각 측정한다. 그림 3에서 수신기 R_i 들은 비컨이 전송한 신호의 도달 시간을 측정한다. 수신기 R_1 과 R_2 의 도달 시간들의 차로부터 $d_1 - d_2$ (d_i 는 비컨으로부터 수신기 R_i 까지의 거리)를 계산할 수 있으며, 이로부터 두 지점으로부터의 거리의 차가 일정한 점들의 궤적인 쌍곡선 방정식을 얻을 수 있다. 마찬가지로 방식으로 $d_1 - d_3$ 로부터 또다른 쌍곡선 방정식을 구할 수 있다. 위치를 측정하고자 하는 대상(비컨)이 이차원 평면상에 놓여져 있을 경우 두 쌍곡선의 교차점으로부터 측정 대상의 위치를 구할 수 있다.

2.1.4 AoA / ToA 혼합방식

AoA와 ToA 방식을 혼합한 혼합형 위치 측정 방식이 있으며, 이 경우 하나의 수신기만으로도 위치 측정이 가능하다. ToA 방식에 의해서 비컨이 존재 가능한 영역을 수신기를 기준으로 하는 특정 길이의 반지름을 갖는 원으로 한정할 수 있으며 AoA 방식으로 비컨이 존재 가능한 영역을 하나의 선으로 한정할 수 있기 때문에, 원과 선의 교차점이 찾고자 하는 대상의 위치가 된다. 이러한 방법은 높은 정확도를 제공하지는 않지만 하나의 수신기만으로도 위치를 찾을 수 있다는 장점이 있다.

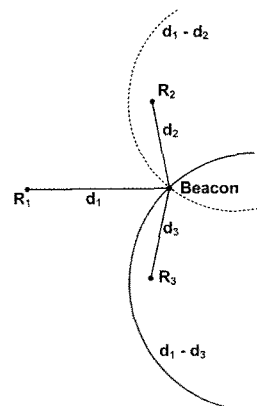


그림 3. TDoA 방식

2.1.5 수신된 신호의 세기

이 방법은 수신기에서 수신한 전파의 세기가 거리에 따라 달라지는 점을 이용하여 비컨과 수신기 사이의 거리를 측정하는 방식이다. 수신된 신호의 세기는 전파 환경에 따라 달라지며, 오픈된 공간에서는 수신기와 비컨간의 거리를 R이라 할 때 $1/R^2$ 의 함수로 수신된 신호의 세기가 감쇄되며, 지표면의 경우에는 $1/R^4$ 의 함수로 수신된 신호의 세기가 감쇄된다. 이와 같이 전파 환경에 따라 수신된 신호의 세기를 나타내는 경로 손실(Pass Loss) 모델이 달라지기 때문에 위치측정 시스템을 사용하는 환경에 대한 정확한 경로 손실 모델이 필요하며, 일반적으로 앞서 언급한 다른 방법들에 비하여 정확도가 떨어진다는 단점이 있다.

2.2 장면 분석

장면 분석 위치 인식 기술은 특정 지점에서 관측된 장면의 특성을 이용한다. 이 때 관측된 장면은 표현하고 비교하기 용이한 특성을 얻을 수 있도록 간략화 한다. 정적 장면 분석법에서는 미리 데이터 테이블에 특정 위치와 특정 위치에서 관측되는 장면의 특성을 매핑하여 기록하여 두었다가 실제 관측된 특성을 데이터 테이블에서 검색하여 물체의 위치를 구하는 방식이다. 차동 장면 분석법은 위치를 예측하기 위해 연속적인 장면 간 차이를 추적하며 장면의 차이가 물체의 움직임을 나타낸다. 장면 자체는 휴대용 카메라에 찍힌 프레임과 같은 가시적 이미지나 물체가 특정 위치나 방향에 있을 때 발생하는 전자기적 특성과 같은 측정 가능한 물리적 현상 등으로 이루어진다. 이러한 장면의 특성을 분석하면 장면에서 관찰자나 물체의 위치를 알 수 있다.

2.3 근접 방식

근접 방식은 물체의 정확한 위치를 인식하기

보다는 물체가 어느 지점 근처에 있다는 정도만을 인식할 수 있는 기술로서 일반적으로 세 가지 형태로 분류할 수 있다. 첫 번째는, 압력 센서, 터치 센서 등으로 사람이나 물체의 특정 위치에 대한 물리적 접촉을 감지하여 대상체가 특정 위치 주변에 있음을 파악하는 방식이다. 두 번째는, 이동통신망에서 이동 단말기가 어느 액세스 포인트(Access Point) 영역에 있는지를 모니터링 함으로써 해당 단말기의 대략적인 위치 파악할 수 있는 것처럼, 대상체와 위치 파악을 위한 인프라와의 통신 연결 상태를 통하여 대상체의 대략적인 위치를 파악하는 방법이다. 이러한 예로는 액티브 배지 시스템과 IEEE 802.11 무선 네트워크를 이용한 Carnegie Mellon 대학의 Wireless Andrew 등이 있다. 세 번째는, 자동식별 시스템이나 식별 태그(Tag)를 이용하는 방법으로 대상체가 소지한 태그를 읽거나 대상체에 부착된 라벨을 스캔한 장치의 위치를 통하여 대상체의 대략적인 위치를 유추하는 방법이다.

3. 위치측정 시스템의 특징

위치에 정보를 기반으로 하는 응용 서비스의 요구사항에 따라 적합한 위치측정 시스템을 사용해야 한다. 본절에서는 위치 측정 시스템의 특징을 측정된 위치의 정보, 위치 추적과 인식, 확장성과 정밀도, 비용 등의 관점에서 살펴본다.

3.1 절대적인 위치와 상대적인 위치

측정된 위치로부터 알 수 있는 정보에는 두 가지가 있다. 즉, 위도와 경도로 표현되는 절대적인 위치 정보와 어떤 장소 혹은 물체를 기준점으로 하여 표현되는 상대적인 위치 정보가 있다. 절대적인 위치를 측정하는 시스템들의 경우에는 사용

하는 위치측정 시스템이 달라도 같은 장소에 대한 위치를 측정하면 시스템들은 모두 동일한 위도와 경도를 나타낸다. 그러나 상대적인 위치를 측정하는 시스템의 경우에는 같은 장소에 대한 위치를 측정하는 경우라 할지라도 반드시 동일한 측정치를 갖지 않는다. 왜냐하면 상대적인 위치를 측정하는 시스템의 경우에는 기준점으로부터의 상대적인 위치를 측정하기 때문에 기준점이 다를 경우 같은 장소라 할지라도 다른 측정치를 갖게 되기 때문이다. 실내 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서는 위도와 경도로 표현되는 절대적인 위치보다 상대적인 위치로 사용자나 사용자 장치의 위치를 측정하는 방식이 유용하다.

3.2 위치 추적과 위치 인식

사용자의 위치를 계산하는 주체가 네트워크 혹은 사용자 장치인가에 따라 사용자에 대한 프라이버시 침해 문제가 발생할 수 있다. 캠브리지 대학의 액티브 배트의 경우, 비컨 역할을 하는 사용자 장치가 위치 측정을 위한 신호를 전송하면 네트워크 상의 수신기가 이를 수신하여 사용자의 위치를 파악하게 된다. 이 경우 네트워크 상에 존재하는 위치 측정을 위한 서버는 사용자의 현재 위치를 추적하는 것이 가능하기 때문에 사용자의 프라이버시를 침해할 수 있다는 문제점을 갖고 있다. 이러한 프라이버시 문제를 해결하기 위하여는 네트워크 상에 위치 측정을 위한 신호를 전송하는 비컨들이 위치해야 하며, 사용자 장치(수신기)는 비컨들이 전송한 신호를 수신하여 스스로의 위치를 인식하는 핸드셋 기반 위치 측정 시스템의 구조를 가져야 한다. 그 예로는 MIT 대학에서 개발된 크리켓 시스템이 있다.

3.3 확장성과 정밀도, 비용 그리고 제약사항

위치 측정 시스템의 확장성 측면에서 보면 비

컨들 간에는 어떠한 종류의 중앙 집중형 제어기 없는 분산형 구조를 갖는 것이 바람직하다. 따라서 각각의 비컨들은 비동기적으로 불규칙하게 전송을 시도하는 분산형 경쟁기반의 신호 전송 방식을 취해야 한다.

위치측정의 정밀도 측면에서 보면, 현재 가장 널리 사용되고 있는 GPS는 삼각 측량법을 이용하여 위치를 5~10m 오차 범위 내에서 측정할 수 있는 비교적 정밀도가 높은 시스템이다. 그러나 LoS가 보장된 장소가 아닌 도심의 전파 음영지역이나 콘크리트 건물 안에서는 GPS 신호 세기의 급감으로 인하여 사용이 매우 어렵다. 이동통신망을 이용한 위치 측정 시스템은 500~2000m의 오차를 갖기 때문에 실내에서 사용자의 위치를 측정하기에는 정밀도가 낮고, 단말기 가격 또한 비싸다. 실내 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 사람 혹은 사물의 정확한 위치를 측정하는 위치 측정 시스템은 저가이어야 하고 최소한 수cm 이하의 오차 범위를 갖는 높은 정밀도를 보장해야 한다.

4. 위치측정 시스템의 개발 동향

GPS를 사용할 수 없는 실내 또는 전파 음영 지역 등에서 사용자 혹은 사용자 장치의 위치를 인식하기 위한 위치 측정 시스템은 적외선을 이용하는 AT&T사의 액티브 배지와 초음파를 이용하는 캠브리지 대학의 액티브 배트 및 MIT의 크리켓 시스템, 전파 신호의 전달 지연 혹은 세기를 측정하는 마이크로소프트사의 RADAR, 입체 영상을 이용하는 EasyLiving 프로젝트와 Pinpoint사의 3D-iD 시스템, RF-ID 혹은 UWB를 이용한 위치 측정 시스템 등이 있다. 그밖에 애드혹 기반의 무선 센서네트워크에서 센서노드들의 위치를 측정하기 위한 시스템들이 있다.

4.1 액티브 배지

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

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 전파속도가 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 시스템이다.

4.2 액티브 배트

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 그림 5와 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

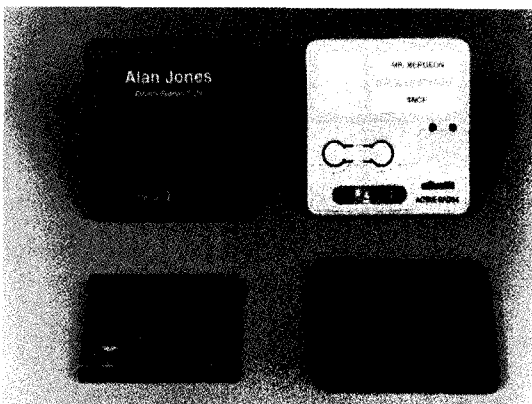


그림 4 액티브 배지

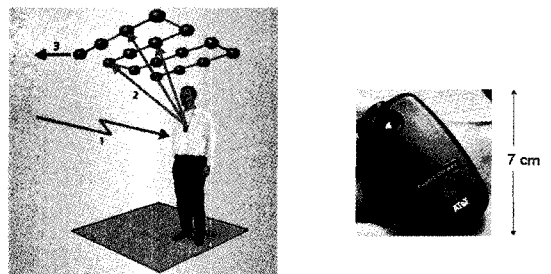


그림 5 액티브 배트와 동작방식

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.

4.3 크리켓 시스템

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 부착하게 된다. 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 수신기의 위치를 계산할 수 있다. 초음파 신호와 RF 신호를 동시에 사용하면 비컨과 수신기 간의 시간 차이가 맞지 않아도 두 신호의 도달 시간 차를

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 개발 되었으며, 5~7cm 정도의 오차 범위를 갖는 정밀한 위치 측정이 가능하고 저전력으로 동작하도록 설계되어 있다.

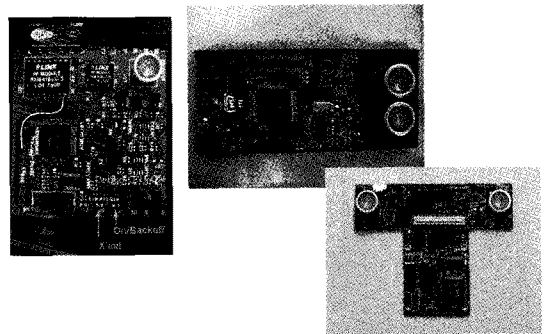


그림 6 크리켓 장치

크리켓 시스템은 다수의 비컨들이 무작위적으로 거리 측정을 위한 신호들을 송출하는 상황에서 각 비컨들이 전송하는 RF 신호와 초음파 신호의 쌍을 구분할 수 있도록 하기 위하여 다음의 기법을 사용한다. 먼저 각 비컨이 자신이 전송한 초음파 신호가 수신기에 도달할 때까지 RF 신호를 계속 전송하도록 하여, 수신기가 항상 초음파 신호를 수신할 경우 반드시 이에 대응하는 RF 신호도 동시에 수신할 수 있도록 한다. 한편, 비컨들은 자신의 RF 신호를 전송하기 전에 캐리어 센싱을 하여 다른 송신기가 신호를 보내지 않고 있음을 확인한 후에 신호를 전송하기 때문에, 수신기에서는 특정 비컨이 보내는 RF 신호와 초음파 신호의 쌍을 구분할 수 있다.

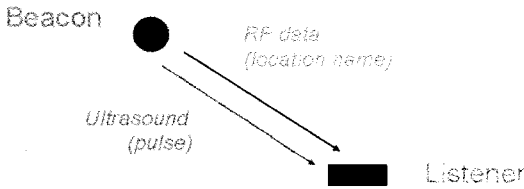


그림 7. 크리켓 시스템에서의 거리 계산 방법

비컨은 RF 신호의 전송을 위해서 여러 가지 변조 방식을 사용할 수 있으나, 비컨에서 전송할 데이터의 양이 많지 않고, 넓은 지역에 많은 수의 비컨들이 설치될 경우에는 가격적인 면이 중요하다는 점을 고려한다면 비컨은 간단한 OOK(On-Off Keying) 방식을 사용하여 RF 신호를 전송할 수 있다. 그러나 OOK 전송은 전송하고자 하는 2진 데이터의 논리 값에 따라서 반송파를 전송하거나 차단하는 방식으로 데이터를 전송하므로, 반송파 감지 방식에 의해 비컨의 데이터 전송 여부를 파악하는 것이 어렵고, 따라서 비컨 들간의 신호 충돌을 완전히 피할 수 없다. 이러한 충돌로 인하여 수신기의 위치 갱신율이 저하되는 문제가 발생할 수 있다.

4.4 RADAR & Pinpoint 3D-iD

무선랜의 RF 신호의 세기를 이용하거나 RF 신호의 전달 지연을 이용하여 위치를 파악하는 시스템의 대표적인 방식으로는 마이크로소프트사에서 개발한 RADAR 시스템이 있다. RADAR는 건물 내 사용자 위치를 인식하고 추적하기 위한 RF 기반 시스템으로, 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 검증하

고 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, 상대적인 가격도 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.

4.5 UWB를 이용한 위치 측정 시스템

UWB는 고속의 근거리 무선 통신망을 제공할 수 있는 해결책으로 최근 각광을 받고 있는 무선 통신 방식이다. 이는 원래 군사용 레이더에 사용되던 기술로 임펄스 통신이라고도 한다. UWB 기술은 수백 pico second의 아주 짧은 펄스를 안테나를 통해 바로 전송하는 통신 방식이다. UWB 시스템은 초음파 기반 위치 측정 시스템에 필적하는 위치 측정 정확도를 가지면서 그보다는 훨씬 적은 기반 시설을 요구한다. 또한 아주 짧은 무선 펄스를 연속적으로 전송하므로 수 GHz의 광대역 스펙트럼을 차지하는 반면, 매우 낮은 전력 밀도를 갖는다.

UWB 시스템은 기존의 위치 측정 시스템들에 비해 여러 가지 장점을 가진다. 우선 거리 분해력

이 매우 우수하여 신호의 전파 지연 시간을 정확히 측정할 수 있기 때문에 위치 측정 시스템으로 적합하다. 그리고 UWB 신호는 낮은 중심 주파수에서 동작하여 투과력이 우수하므로 LoS가 보장되지 않는 실내 환경이나 전파 음영지역에서도 위치 측정 정확도가 뛰어나다. 또한 기존 RF 통신 기술과는 달리 반송파를 사용하지 않으므로 간단한 무선 구조로 설계할 수 있다. 또한, UWB 펄스의 듀티 사이클(duty cycle)이 매우 작기 때문에 전송 속도가 매우 높고 다중 접속이 가능하며 다중 경로에 의한 간섭 영향을 억제할 수 있는 장점이 있다. 특히 시간상에서 타임 호핑(time hopping) 개념을 도입하여 송신기와 수신기가 타임 호핑 시퀀스(time hopping sequence) 정보를 알고 있다는 가정 하에, 여러 UWB 기기를 동시에 사용할 수 있는 다중 접속 기술을 적용할 수 있다.

그러나 UWB는 임펄스를 이용하기 때문에 대역폭이 확산되어 많은 대역폭을 차지하게 되므로 기존에 사용하고 있는 다른 무선 통신시스템에 장애를 일으킬 수 있다. 따라서 상업용 목적으로는 사용되지 못하다가 최근 미국 통신위원회(FCC: Federal Communications Commission)에서 규정을 새롭게 제정하면서 상업용으로 사용할 수 있게 허가한 뒤로 많은 회사들이 차세대 이동통신의 핵심 기술로 개발하고 있다.

4.6 EasyLiving 프로젝트

많은 연구 그룹에서 영상 인식을 이용한 위치 측정 시스템을 연구하고 있는데 그 중에서 마이크로소프트의 EasyLiving 프로젝트에서는 Digiclops 이라고 하는 3차원 카메라를 이용하여 가정과 사무실 내에서 유비쿼터스 서비스를 구현하였다. 마이크로소프트 연구소의 Easy Living은 컴퓨터 비

전 기술을 이용하여 물체가 어디에 있는지 찾아낸다. 실시간 3차원 카메라를 이용하여 가정환경에서 위치 인식 능력을 제공한다. 카메라로 찍힌 장면을 통해 이동 거리(Δx , Δy)와 이동 각도($\Delta \theta$)를 측정하여 각 entity간 좌표 프레임을 정의한다. 또한 실루엣, 얼굴색, 얼굴 패턴 등을 이용한 멀티모달 프로세싱을 통해 정확도를 향상시킬 수 있다. 그러나 고성능 카메라를 사용하더라도 일반적으로 비전 시스템이 프레임을 분석하기 위해서는 엄청난 양의 프로세싱 전력이 필요하다는 단점이 있다.



그림 8. Digiclops color 3차원 카메라

4.7 RF-ID를 이용한 위치 측정 시스템

RF-ID 시스템은 적은 기반 시설과 낮은 비용으로 구축할 수 있는 대표적인 위치 측정 시스템이다. RF-ID 시스템은 크게 RF-ID 태그(Tag), 리더기(Reader), 데이터 처리 시스템으로 구성된다. 신체, 사물, 건물 등에 부착된 RF-ID 태그는 RF-ID 리더기의 호출에 의해 대상체의 식별 번호를 RF-ID 리더기에게 전송하며, 이를 데이터 처리 시스템에 보내 필요한 정보를 사용자가 이용

할 수 있는 자원, 즉 단말이나 주변 장치에 표시해 준다. RF-ID를 이용한 위치 측정 시스템은 대상체의 정확한 위치를 측정할 수 없으며, 다만 태그를 읽은 리더기의 위치를 통하여 태그를 부착한 대상체의 대략적인 위치를 추정할 뿐이다. 따라서 근접 방식의 위치 측정 시스템이라 할 수 있다.

RF-ID 태그는 마이크로칩, 코일 안테나로 구성되며 배터리의 유무에 따라 Active, Passive로 구분되나, 일반적으로 비용 측면에서 Passive RF-ID 태그를 고려한다. 태그는 리더기의 호출이 있을 때만 통신을 하고 리더기는 RF 모듈, 제어 유닛, 커플링 소자로 구성된다. 모든 리더기는 데이터 처리 시스템에 연결되어 있다. 대상체에 부착된 RF-ID 태그에 식별 번호를 저장하고 이를 포인터로 하여 대상체에 대한 정보를 네트워크에 연결된 데이터 처리 시스템으로부터 얻는다. 따라서 태그에 필요한 메모리와 전력, 비용을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 네트워크를 통해 대량의 데이터를 전송하므로 무선 대역폭 자원을 절약할 수 있다. 일반적으로 RF-ID 시스템은 주로 13.56 MHz, 915MHz의 ISM(Industrial Scientific and Medical Equipment) 대역을 사용하며, 태그 간 또는 리더기 간 충돌을 방지하기 위해 여러 가지 Anti-Collision 방식을 사용한다. 최근에는 보안 문제에 대한 중요성이 급증하여 상호 인증, 접속 제어, 공중키 암호화 방식 등이 제안되고 있다.

4.8 센서 네트워크에서의 위치 측정 시스템

특정지역에서 발생하는 물리적인 현상을 관측하는 무선 센서 네트워크의 경우 센서노드가 센싱한 값과 센서노드의 위치가 매핑되지 안되면 센싱한 값으로부터 얻을 수 있는 정보는 매우 한정된다. 예를 들면, 일정한 지역에 센서노드들이 뿌려져서 그 지역의 온도 변화를 관찰하고자 한다고

가정하여 보자. 이 경우 센서노드들이 자신의 위치를 알지 못한다면 센서노드들이 보내오는 온도 측정값들로부터 알 수 있는 정보는 그 지역의 평균 온도의 변화 정도일 것이다. 그러나, 센서노드들이 온도 측정값과 함께 자신의 위치를 함께 보낸다면 지역내 위치에 따른 온도의 분포를 포함한다보다 다양한 정보의 획득이 가능하다. 즉, 센싱 데이터와 위치가 결합된 경우 그렇지 않은 경우에 비하여 보다 유용한 정보를 추출할 수 있다. 또한, 센서노드의 위치정보는 센서노드의 위치정보를 기반으로 라우팅을 수행하는 지리적인 라우팅(geographic routing)에 유용하게 사용될 수 있다.

그러나 기존 위치 측정 시스템을 애드혹을 기반으로 하는 무선 센서 네트워크에 적용하기에는 많은 문제점들이 존재한다. 우선 무선 센서 네트워크에서는 GPS 인공위성이나 이동 통신망과 혹은 실내 위치 측정 시스템에서 미리 설치되는 비컨들의 네트워크와 같은 위치 측정을 위한 인프라가 없다. 또한 센서노드에는 비용적인 측면과 자원의 제약으로 말미암아 GPS 수신기와 같은 고가의 위치 측정을 위한 하드웨어를 추가하기 어렵다. 한편, 배터리로 동작하는 무선 센서 네트워크의 경우 전력소모가 최우선적으로 고려되어야 하기 때문에 센서노드들은 근거리 무선통신 기술을 사용하여 데이터를 전송하고, 멀리 떨어져 있는 싱크노드(엑세스 포인트 혹은 기지국)까지는 중간에 존재하는 다른 여러 센서노드들을 경유해야만 데이터 전달이 가능한 멀티홉 방식의 라우팅을 사용한다. 이러한 특징을 갖고 있는 멀티홉 애드혹 기반의 센서 네트워크를 위하여 제안된 위치 측정 방식들은 크게 두가지로 구분할 수 있다. 첫째 센서 네트워크를 구성하는 센서노드들 간의 무선 연결 상태 정보만을 가지고 센서노드들의 위치를 추론하는 방법이 있다. 이 경우 노드들 간

의 흡수가 거리로 환산된다. 대표적인 방법으로는 참고문헌 [16]과 [17]이 있다. 두 번째 방법은 센서 노드들의 무선 연결 상태 정보뿐만 아니라 센서노드들 간의 상대적인 거리측정을 통하여 보다 정확하게 센서노드들의 위치를 결정하는 방법이다. 이 경우 거리측정을 위하여는 앞서 언급하였던 ToA 혹은 AoA 방식 등이 다양하게 사용된다. 대표적인 방법으로는 참고문헌 [18]과 [19] 등이 있다.

4.9 국내 위치 측정 시스템 개발 현황

국내에서는 고려대, ICU, 원광대 등의 대학과 한국전자통신연구원 등의 연구소를 중심으로 주로 실내 환경에서 적용할 수 있는 위치 측정 시스템들을 연구하고 있다. 그 중에서 고려대학교 미래정보망 연구실에서 개발된 위치 측정 시스템은 8bit CPU, 메모리, RF 송수신기로 구성된 센서 보드와 초음파 송수신기 보드로 구성되어 있으며, 초음파 송수신기 보드는 센서 보드에 탑재되어 동작된다. 그림 9는 자체 제작한 센서 보드와 초음파 송수신 보드의 사진이다.

초음파 송수신 보드가 탑재된 센서보드는 천장과 거리 측정 대상체에 각각 부착이 되며, 천장에 부착된 센서보드가 거리 측정을 위하여 RF 및 초음파 신호를 송출하는 비컨으로 동작한다. 한편, 수신기 역할을 하는 대상체에 부착된 센서보드는 수신한 RF 신호와 초음파 신호의 도달 시간차를 측정하여 거리를 계산하게 된다. 앞서 설명한 것

처럼 전파 속도가 다른 두 신호를 사용하기 때문에 비컨과 수신기 간의 시간 동기화는 필요없다. 수신기가 측정한 거리값들은 시리얼 인터페이스를 통해 수신기에 연결된 노트북 컴퓨터에 전달되며, 노트북 컴퓨터는 위치 계산 알고리즘을 수행하여 대상체의 위치를 계산한다. 이때 수신기에서의 거리 측정 속도보다 시리얼 통신속도가 느리기 때문에 변화되는 위치 갱신율의 저하를 막기 위해 한번의 위치 계산에 필요한 서로 다른 세 개의 비컨으로부터의 거리값을 하나의 프레임으로 묶어서 시리얼 인터페이스로 전송하는 방법을 사용한다.

위치 계산 알고리즘은 수신기에서 측정된 세 개의 거리값을 입력으로 하여 3원 2차 연립방정식을 세워 위치를 계산한다. 이 연립방정식의 해가 대상체의 최종 좌표값이 된다. 해는 임의의 초기 좌표값에서 출발한 반복계산을 통해 귀납적으로 얻어진다. 해가 일정 오차 범위 내에 수렴하면 이를 좌표로 결정하고 화면에 디스플레이 한다. 일단 위치 계산을 시작하면 가장 최근에 계산된 위치를 초기 좌표값으로 사용하므로 수렴할 때까지 걸리는 시간을 단축할 수 있다.

초음파와 RF간의 도달 시간차를 이용하여 거리를 측정하고 세 개 이상의 측정된 거리값을 사용하여 삼각측량법으로 위치를 계산한다는 점에서 MIT 크리켓 시스템과 동일하지만, 사용자 장치가 자신의 위치를 인식하는 것뿐 아니라 서비스를 제공하는 서버에서 위치 정보에 대한 요청이 있을 경우 센서 네트워크 라우팅을 통하여 사용자

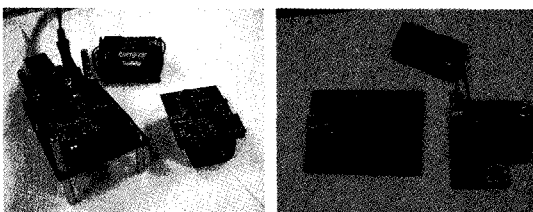


그림 9. 자체 제작된 센서 보드와 초음파 송수신 보드

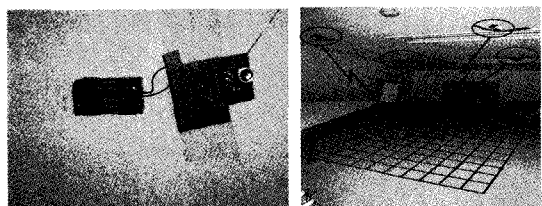


그림 10. 천장에 부착된 비컨의 모습

장치로부터 서버까지 위치 정보 전달도 가능하다는 점에서 MIT 크리켓 시스템과 구분된다. 또한, 천장의 비컨들이 무작위적인 전송을 시도하는 MIT 크리켓 시스템은 캐리어가 검출되지 않는 경우 각 비컨들이 전송하는 신호들 간에 충돌이 발생하여 위치 갱신율이 저하되는 문제점이 발생할 수 있다. 반면에 개발된 시스템에서는 비컨이 캐리어 센싱을 하여 전송하는 방법과 더불어 수신기가 스스로 자신의 주위에 있는 비컨들을 파악하고 이들을 스케줄링하여 거리 측정을 위한 신호를 보내도록 하므로써 비컨들이 전송하는 신호들 간에 충돌이 발생하는 문제를 해결하였다.

개발된 위치 측정 시스템의 실험 환경은 다음과 같다. 실험실의 바닥에 그림 11처럼 150cm × 150cm의 정사각형을 구성하고 이를 가로 및 세로로 10 등분하여 총 100개의 격자를 구성하였다. 각 격자의 크기는 15cm × 15cm이다. 정사각형의 각 모서리로부터 높이가 240cm가 되는 천장에 4개의 비컨을 설치하였다. 바닥에 놓여진 수신기는 시리얼 케이블을 통하여 노트북 컴퓨터에 연결이 되고, 수신기를 이동시키면서 위치를 측정하였다. 실험 결과 최대 10cm의 오차가 발생하였으나, 대부분의 경우 5cm 이내의 오차 범위에 들어갔다. 또한, 수신기의 스케줄링을 통하여 비컨의 신호

전송을 제어하는 방식으로 비컨들이 전송하는 신호들 간의 충돌 현상을 해결할 수 있음을 확인할 수 있었다.

4.10 센서 네트워크에서 위치정보가 필요없는 위치 측정 기술

센서 네트워크에서 위치측정기술(Localization) 방법은 크게 두 가지로 분류 될 수 있다. 그 중 첫 번째는 range-based 방법이다. 이것은 노드와 노드 사이의 거리 또는 각도 정보를 통해서 위치를 가늠하는 방법이다. 그 정보는 TOA, TDOA, AOA의 방법을 통해서 얻어지게 된다. 보통 이런 range-based 방법은 높은 정확도를 보장해주는 장점이 있지만 이런 거리 또는 각도 정보를 얻기 위해서는 특별한 하드웨어가 필요하게 되므로 수천 또는 수만 개의 센서 노드가 필요한 일반적인 환경에서는 적절하지 못하다. Localization의 두 번째 방법은 range-free 방법이다. 이것은 센서 노드의 위치를 결정하는데 거리 또는 각도 정보를 쓰는 대신 다른 방법을 사용한다. 비록 range-based 방법에 비해서 오차의 크기는 커지지만 특별한 하드웨어가 필요하지 않게 됨으로 센서 네트워크와 같이 많은 수의 노드가 필요한 환경에서는 더 적절한 방법이라고 할 수 있다[20]. 따라서 여

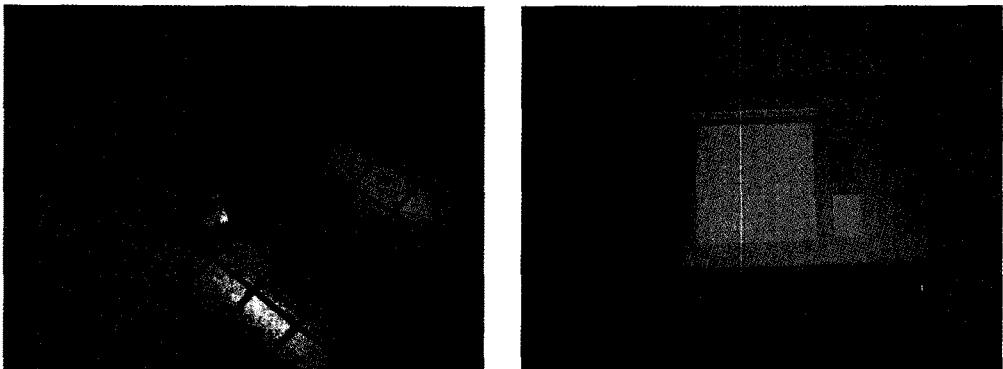


그림 11. 개발된 위치 측정 시스템의 실험 환경

기에서는 경제성에 이점을 가진 기존에 대표적인 range-free 방법인 centroid, APIT에 대해 설명하고 각각의 알고리즘이 가진 장점과 단점을 소개하도록 하겠다.

자신의 위치를 알고 있는 앵커 노드는 통신 반경에 있는 센서 노드들에게 자신의 위치를 브로드캐스트한다. 보통 앵커 노드의 통신 반경이 센서 노드의 그것보다 몇 배 이상 크기 때문에 센서 노드들은 몇 개의 앵커 노드의 비콘 신호를 듣게 된다. 센서 노드가 수신하는 앵커 노드의 좌표 수가 많을수록 오차율이 작아지기 때문에 앵커 노드의 통신 반경은 작으면서 앵커 노드의 개수가 되도록 많이 배치 할 수 있는 네트워크에서 이 방법은 유용하다. 비콘 신호를 받은 센서 노드들은 앵커 노드의 위치를 저장하고 있다가 더 이상 새로운 앵커 노드의 좌표에 관한 비콘 신호가 수신되지 않으면 localization을 한다. 수신된 비콘에 저장되어 있는 앵커 노드의 좌표를 그림 12와 같이 Centroid 방식을 이용하여 자신의 위치를 결정하게 된다[21].

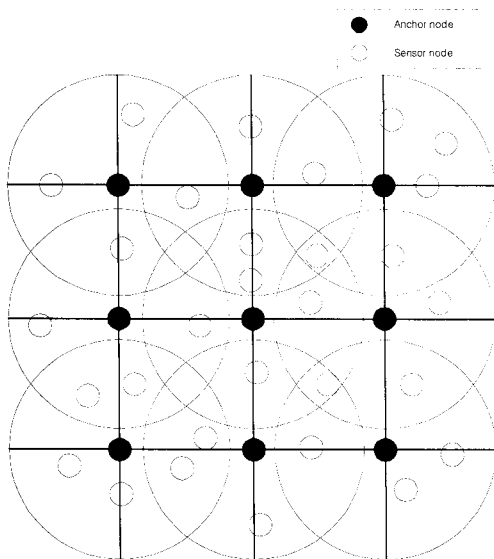


그림 12. Centroid Algorithm

Centroid 방식은 단순하게 센서 노드의 위치를 계산 할 수 있다는 장점이 있다. 각각의 센서 노드는 앵커가 보내는 비콘만 듣고 있다가 더 이상의 새로운 비콘 신호가 없으면 수신된 모든 앵커 노드들의 중심을 계산하여 자신의 위치로 삼는다. 계산과정이 단순하지만 이 방법은 커다란 오차를 발생시킨다. 앞서 설명한 바와 같이 수신된 앵커 노드의 좌표가 많을수록 위치 오차가 줄어드나 앵커 노드의 가격이 센서 노드에 비해 고가이기 때문에 개수에 제한을 받을 수 밖에 없는 센서 네트워크 환경에서는 적절하지 못하다.

그림 13에 나타낸 APIT 알고리즘은 모든 앵커 노드는 자신의 위치 정보를 브로드캐스트 시키는 것으로부터 시작한다. 이를 수신한 센서 노드는 앵커의 ID, 위치, RSSI 값을 테이블로 저장하게 된다. 그리고 노드들은 자신이 가지고 있는 앵커 테이블을 이웃 노드들과 서로 교환한다. 그런 다음 임의의 3개의 앵커로부터 자신이 삼각형 안에 존재 하는지 여부를 판단하게 된다. 판단을 하는 위해서 APIT 테스트라는 것을 수행하게 된다. 이것은 Localization을 수행하고자 하는 센서 노드의 이웃 노드들 중에서 하나라도 임의로 잡은 3개

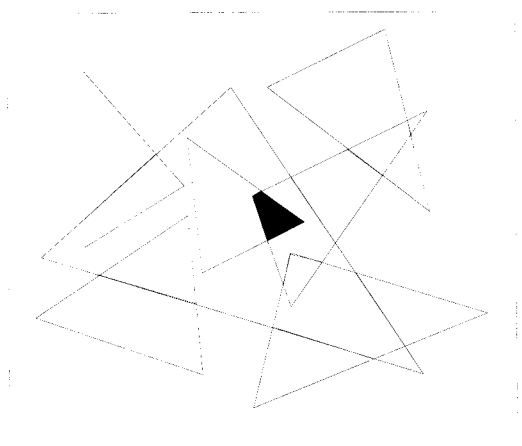


그림 13. APIT 알고리즘

의 앵커 노드에 동시에 가까워 지거나 동시에 멀어지는 현상이 나타나면 자신의 위치가 세 개의 앵커 노드로 만든 삼각형 밖에 존재하는 것으로 인식한다. 이와 반대로 이런 현상이 나타나지 않는다면 자신을 삼각형 내부에 존재한다고 인식한다. 이런 과정을 반복하여 모든 경우에 대하여 3개의 앵커로부터 삼각형의 오버랩 되는 부분을 찾음으로써 자신의 위치를 결정하게 된다[22].

APIT 알고리즘은 위치 결정을 하는데 있어 자신의 위치가 삼각형의 안쪽에 존재하는나 외부에 존재하는나의 여부가 가장 중요한 문제이다. 삼각형을 그렸을 때 변의 주변에 위치하는 노드들은 삼각형 안에 있는지 밖에 존재하는지 틀리게 판단할 확률이 높아진다(edge effect). 이와 반대로 삼각형 외부에 있는데 이웃 노드들의 부적절한 배치로 인해서 내부에 있다고 판단하여 위치 오차를 발생시키는 경우가 발생 할 수도 있다. APIT 알고리즘은 자신이 수신한 모든 앵커 노드에 대해서 삼각형을 그리고 오버랩 되는 부분을 찾는 것이기 때문에 자신의 위치를 틀리게 판단한 노드의 위치 오차는 커 질 수 밖에 없다. 센서 네트워크 환경은 노드가 밀집하여 분포하기 때문에 이웃 노드의 부적절한 위치로 인해서 발생하는 삼각형 내부로의 잘못된 판단은 줄어 들겠지만 삼각형의 변에 위치하는 노드들에 의해서 Localization은 오차가 커 질 수 밖에 없다.

5. 결 론

유비쿼터스 컴퓨팅이 차세대 컴퓨팅의 패러다임(Paradigm)으로 부각되고 있다. 유비쿼터스 컴퓨팅이 실현되면 사용자 주위의 사물과 환경이 지능화되어 사용자가 위치해 있는 주변 공간의 상황을 인식하고 이를 바탕으로 적절한 시기에 필요한 정보를 제공해줄 수 있게 된다. 이러한 서

비스를 제공하기 위해서는 사용자의 위치를 파악하는 것이 우선적이고 필수적인 요소가 될 것이다. 본 고에서는 위치 측정을 위하여 사용되는 기술인 삼각측량법, 장면분석, 근접법 등의 기본적인 동작 원리에 살펴 보았고, 유비쿼터스 환경에서의 위치 추적 시스템이 가져야 하는 특성을 위치 정보의 표현, 개인 프라이버시, 확장성과 정밀도, 비용 등의 측면에서 고찰하였다. 마지막으로 위치 측정 시스템의 국내외 개발 현황을 살펴보았다. 특정지역에서 발생하는 물리적인 현상을 관측하는 센서 네트워크의 경우 센서노드가 센싱한 값과 센서노드의 위치가 매핑되지 않을 경우 센싱한 값으로부터 얻을 수 있는 정보는 매우 한정된다. 하지만 모든 센서노드들이 자신의 위치 측정을 위하여 GPS 수신기를 부착하는 것은 가격면이나 전력소모 면에서 적절하지 않다. 따라서, GPS가 아닌 다른 방식으로 센서 네트워크를 구성하는 센서노드들의 위치를 찾는 저가의 저전력 위치 측정 방식의 개발은 반드시 필요하다고 할 수 있다. 하지만 이에 관한 연구는 국내외적으로 아직까지는 주목할만한 연구 결과가 발표되고 있지 않은 상황으로 향후 보다 많은 연구와 노력이 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] G. Chen and D. Kotz, "A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research," Dartmouth Computer Science Tech Report TR2000-381, 2000.
- [2] B. Schilit, N. Adams, and R. Want, "Context-aware computing applications," Proc. of IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp. 85-90, December 1994.
- [3] M. Satyanarayanan, "Pervasive computing:

- vision and challenges,” IEEE Personal Communications, pp.10-17, Aug. 2001.
- [4] Dey, A. K., “Understanding and Using Context,” Personal and Ubiquitous Computing Journal, Vol.5(1), pp.4-7, 2001.
- [5] I. Getting, “The Global Positioning System,” IEEE Spectrum. Vol. 30, No. 12, pp.36-47, December 1993.
- [6] GPS, <http://boom.x-y.net/>
- [7] Jeffrey Hightower, and Gaetano Borriello, “A Survey and Taxonomy of Location Systems for Ubiquitous Computing,” Technical Report UW-CSE 01-08-03, University of Washington, Aug. 2001.
- [8] Jeffrey Hightower, and Gaetano Borriello, “Location Systems for Ubiquitous Computing,” Computer, Vol. 34, No. 8, pp. 57-66, IEEE Computer Society Press, Aug. 2001.
- [9] 박옥선, 정광렬, 김성희, “유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 위치인식 기술 및 시스템,” ETRI 주간기술동향, 1098호, 2003. 6.
- [10] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, J. Gibbons, “The active badge location system,” ACM Trans. on Information Systems, 10(1), pp. 91-102, Jan. 1992.
- [11] A. Harter, A. Hopper, P. Steggle, A. Ward, and P. Webster, “The anatomy of a context-aware applications,” Proc. of 5th Annual ACM/IEEE International Conf. On Mobile Computing and Networking (Mobicom1999), pp.59-68, Aug. 1999.
- [12] Nissanka B. Priyantha, Anit Chakraborty, Hari Balakrishnan, “The Cricket Location-Support system,” Proc. 6th ACM MOBICOM, Boston, MA, Aug. 2000.
- [13] P. Bahl and V. Padmanabhan, “RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system,” Proc. of IEEE INFOCOM, pp.775-784, March 2000.
- [14] Microsoft Reserch, Easy living, Website, 2001.
- [15] Pinpoint home page. (<http://www.pinpointco.com>)
- [16] L. Doherty, L. El Ghaoui and K. S. J. Pister, “Convex Position Estimation in Wireless Sensor Networks,” Proceedings of Infocomm 2001, April 2001.
- [17] Y. Shang, W. Rumi, Y. Zhang and M. Fromherz, “Localization from Mere Connectivity,” In proceedings of the Fourth ACM Symposium on Mobile Ad-Hoc Networking and Computing(MobiHoc), Annapolis, MD June 2003.
- [18] D. Nicosescu and B. Nath, “Ad-Hoc Positioning Systems Using AoA,” In Proceedings of IEEE INFOCOMM, San Francisco, CA, April 2003.
- [19] R. L. Moses and R. M. Patterson, “Self-calibration of Sensor Networks,” in Unattended Ground Sensors Technologies and Applications IV (Proc. SPIE Vol. 4743), pp. 108-119, April 2002.
- [20] Vijayanth Vivekanandan and Vincent W.S. Wong, “Concentric Anchor-Beacons(CAB) Localization for Wireless Sensor Networks”, IEEE ICC 2006 proceedings, pp. 278-286, Oct. 2006.
- [21] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin. “GPS-less low cost outdoor localization for very small devices,” IEEE Personal Communications Magazine, Vol. 7, No. 5, pp. 28-34, Oct. 2000.
- [22] T. He, C. Huang, B. Lum, J. Stankovic, and T. Adelzahr, “Range-free localization schemes for large scale sensor networks,” in Proc. Of ACM Mobicom, pp. 154-165, Sept. 2003.



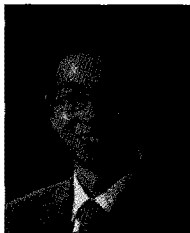
허 경

- 1998년 고려대 전자공학과 학사
- 2000년 고려대 전자공학과 석사
- 2004년 8월 고려대 전자공학과 통신공학박사
- 2004년 8월~2005년 8월 삼성종합 기술원(SAIT) 전문연구원
- 2005년 9월~현재 경인교대 컴퓨터교육과 조교수
- 관심분야: QoS, Mobile IP, Wireless MAC, 컴퓨터교육



엄 두 섭

- 1987년 고려대학교 전자공학과(공학사)
- 1989년 고려대학교 전자공학과(공학석사)
- 1989년~1999년 한국전자통신연구원 선임연구원
- 1996년~1999년 일본 오사카대학 정보공학과 (공학박사)
- 2000년 현재 고려대학교 전기전자전파공학부 교수
- 관심분야: Ubiquitous Sensor Networks, RFID, Localization, Ad hoc Networking, Communication Network Design, Wireless ATM, Internet QoS.



손 원 성

- 1998년 동국대 컴퓨터공학 학사
- 2000년 동국대 컴퓨터공학 석사
- 2004년 연세대학교 컴퓨터과학 공학박사
- 2004년~2006년 Carnegie Mellon Univ., Post Doc.
- 2006년~현재 경인교육대학교 컴퓨터교육과 조교수
- 관심분야: HCI, 멀티미디어 문서처리, 컴퓨터교육