

## 유비쿼터스 센서 네트워크에서 위치 측정 기술

박종태, 이위혁 (경북대학교 전자전기컴퓨터학부), 조영훈, 나재욱 (경북대학교 정보통신학과)

### 1. 서론

유비쿼터스 컴퓨팅은 모든 사물에 컴퓨터를 넣어 사물이 지능화 및 네트워크화 되어 상호간에 정보를 주고받는 발전된 컴퓨팅 환경을 말한다.<sup>1)</sup> 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 여러 사물은 초소형 컴퓨터 및 센서를 장착하여 주변 상황을 인지할 수 있으며, 인지된 상황을 기반으로 상황에 적합한 서비스를 제공할 수 있다. 이러한 서비스를 상황 인지 서비스 (context-aware service)<sup>2)</sup>라고 한다. 상황 인지 서비스는 많은 경우에 특정 위치 정보에 의존적이다. 왜냐하면 주변 상황을 정확히 인지해도 그 상황이 어느 위치에서 발생하였는지 알 수 없다면 많은 경우에 의미가 없기 때문이다. 따라서 상황 인지 서비스를 제공하기 위해서는 서비스를 제공하는 사물이나 제공받는 사용자의 물리적인 위치를 파악하는 것이 필요하며, 유비쿼터스 센서 네트워크 (Ubiquitous Sensor Network)에서 이러한 사물의 위치를 파악하는 것을 위치 측정 기술이라 한다. 최근 들어 우리나라 정부에서 추진중인 신성장동력산업이나 IT 839

에 포함된 홈 네트워크, 텔레매틱스 등의 IT 산업분야를 비롯하여 물류, 유통, 환경, 교통 등 산업 전반에 RFID (Radio Frequency Identification) 및 유비쿼터스 센서 네트워크의 응용이 가시화되고 있다. 유비쿼터스 센서 네트워크에서 위치 측정 기술은 이러한 새로운 유비쿼터스 기술 응용 산업의 중요한 핵심 기반기술이다.

사물의 위치정보를 알아내는 가장 대표적인 위치측정 시스템으로 GPS (Global Positioning System)<sup>3)</sup>를 들 수 있다. GPS는 위성 신호를 이용하므로 세계 어디에서나 이용이 가능하고 안정적인 서비스를 받을 수 있다는 장점이 있다. 그러나 상대적으로 위치측정 정밀도 (locating accuracy)가 낮고, 일반적으로 20미터 정도의 오차를 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 그 외 일반적으로 가격이 비싸고, 전파의 가시성 (LOS: Line-Of-Sight)을 요구하는 특성으로 인해 실내에서 사용할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 유비쿼터스 센서 네트워크는 실내 또는 특정 지역 내와 같은 한정된 지역에서 센티미터 혹은 밀리미터 단위의 정밀한 위치 측정을

요구한다. 유비쿼터스 센서 네트워크에서는 기존의 GPS나 이동통신망에서와 같이 전파를 이용하는 방법외에도 적외선이나 영상을 이용하기도 하며 그 외 접촉 혹은 압력측정을 통하여 물체의 위치를 파악하는 등 다양한 위치 측정 기술이 시도되고 있다. 그리고 대부분의 경우 GPS에서 사용하는 절대 위치 측정 기술 (positioning technology)보다는 상대 위치 측정 기술 (locating technology)을 사용하여 위치를 파악한다.

일반적으로 위치 측정 기술은 주변 환경에 따라 많은 측정 오차가 발생한다. 전파를 사용할 경우 다중경로페이딩 (Multi-Path Fading)과 비가시성 (NLOS: Non Line-Of-Sight)에 의한 위치 측정 오차를 줄이는 것이 중요한 이슈이다. 전파는 지상구조물에 의해 반사, 회절, 분산되며, 따라서 수신기는 송신기로부터 하나의 신호가 아닌 여러 개의 신호를 받게 된다. 이렇게 여러 개의 신호를 수신하게 됨으로써 수신된 신호의 위상왜곡이 발생하게 되는데 이러한 현상을 다중경로페이딩이라고 한다. 그리고 송신기와 수신기 사이의 시야가 확보되지 않아 수신기는 송신기가 보낸 신호를 직접 수신하지 못하고 반사, 회절, 분산된 신호만을 수신하게 되는 문제도 발생할 수 있는데 이러한 현상을 비가시성이라고 한다. 다중경로페이딩과 비가시성은 위치측정에 있어 오차를 발생시키는 큰 원인이 되며 수신된 신호는 주변 전파 환경의 영향을 받아 대부분의 경우 도달시간이나 수신된 전파의 세기 강도에서 오차를 포함하고 있다. 이러한 오차를 보정하고자 하는 노력이 GPS나 이동통신 망에서의 위치추적 기술에서 오랫동안 연구되어 왔다.<sup>63)</sup> 그러나

GPS 및 이동통신망에서와는 달리 앞에서 언급한 바와 같이 유비쿼터스 센서 네트워크에서는 센티미터 혹은 밀리미터 단위의 정밀 위치 측정 시스템 (Micro Positing System)이 요구되기 때문에 기존의 전파 오차 보정기술과는 다른 새로운 정밀 전파 위치오차 보정방법이 요구된다.

유비쿼터스 센서 네트워크에서 정밀 위치 측정 시스템(MPS: Micro Positing System)을 구축하기 위한 오차 보정 기술은 크게 시간 다이버시티 (Time Diversity) 방법, 주파수 다이버시티 (Frequency Diversity) 방법, 그리고 공간 다이버시티 (Space Diversity) 방법으로 분류될 수 있다. 시간 다이버시티는 송신측에서 일정 시간 간격으로 동일한 신호를 반복적으로 전송하여 수신측에서 이들 신호를 쉽게 합성하여 원래 신호에서 시간정보를 정밀하게 추출하기 위한 기술이다. RFID를 이용한 국제표준 실시간 위치 측정 시스템 (Real Time Locating System)에서 이러한 시간 다이버시티 방법을 사용한다.<sup>64)</sup> 주파수 다이버시티는 송수신 통신에 전파속도가 다른 복수의 주파수를 사용하여 전파의 도달 시간차이를 측정하여 정밀한 위치정보를 파악하기 위한 방법이다. 주로 초음파와 고주파를 함께 사용하여 초음파와 고주파의 도달 시간의 차이를 이용하거나, 거리에 따른 전파 세기의 감소를 측정하여 특정 지점의 위치를 추정한다.

공간 다이버시티에서는 정밀한 위치측정을 위하여 다수의 위치 기준점 (reference point)들을 이용하여 이동중인 물체의 위치를 정밀하게 측정하는 방법이다. 미국 MIT 대학에서 개발한 크리켓 시스템은 이러한 주

파수 및 공간 다이버시티 방법을 사용한 혼합형 정밀 위치 측정 시스템으로 볼 수 있으며 4×4 스퀘어 피트의 정밀 위치파악능력을 제공한다.<sup>6)</sup> 그 외 영상을 이용한 것으로 마이크로소프트사의 EasyLiving 프로젝트를 들 수 있고 압력센서를 사용한 정밀 위치 측정 시스템으로 미국 조지아공대에서 개발한 스마트 플로어<sup>7)</sup>를 들 수 있다. 유비쿼터스 센서 네트워크에서 위치측정은 높은 정밀도를 요구하기 때문에 기준점들 사이의 시간 동기화도 매우 중요하다. 예를 들면 기준점과 물체간의 거리를 이용하여 물체의 위치를 측정하는 대표적인 알고리즘인 TDoA (Time Difference of Arrival)에서는 물체에서 기준점으로 시간 정보를 보내는 것이 아니라 기준점에서 수신된 신호의 도착 시간차를 이용하여 위치를 측정하게 되므로 각 기준점들 사이의 시간 동기를 매우 정확하게 맞추어야만 정확한 위치 측정이 가능하다.<sup>8)</sup>

본 본문에서는 위치측정 기술을 분류 및 소개하고, 유비쿼터스 센서 네트워크에서 지금까지 개발된 대표적인 연구 개발 시스템들의 특징을 비교 분석한다. 2장에서는 일반적인 위치 측정 기법을 분류하고 각 기술들의 특징을 자세하고 소개하고 비교분석한다. 3장에서는 현재 개발 중이거나 개발된 대표적인 위치 측정 시스템의 구성과 동작원리를 소개하고 특징을 비교 분석한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

## II. 위치측정 기술 분류 및 특징 분석

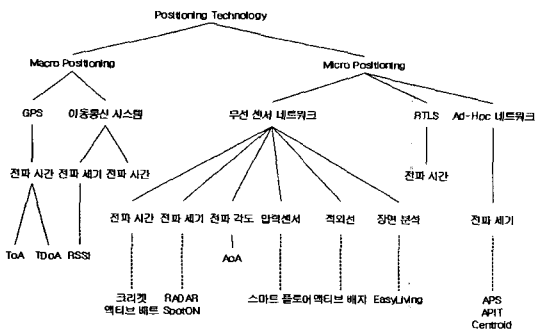
유비쿼터스 센서 네트워크에서의 위치 측정 방법은 위치 측정 규모에 따라 Macro

Positioning과 Micro Positioning으로 구분할 수 있다. Macro Positioning은 수십미터에서 수백킬로미터이상의 거리에서 위치를 측정하며 일반적인 오차 허용 범위도 크다. Macro 위치 측정은 GPS를 이용한 방법과 이동통신을 이용한 방법으로 구분된다. Micro Positioning은 수밀리미터에서 수미터내의 거리에서 위치를 측정하며 오차 허용 범위도 매우 작다. Micro 위치 측정 방법은 무선 센서 네트워크 (WSN: Wireless Sensor Network)에서의 위치 측정, RTLS (Real-Time Locating System)에서의 위치 측정, Ad-Hoc 네트워크에서의 위치 측정으로 구분될 수 있다.

위치 측정 방법은 다시 응용 프로그램에 따라 전파의 속도에 따른 시간, 전파의 세기, 전파의 각도, 압력센서나 적외선을 활용한 근접도 측정이나 장면 분석 등으로 구분될 수 있다. 대부분의 측정 기술들은 한가지 방법을 사용할 수 있지만 효율성을 고려하여 두 가지 이상의 기술을 혼합하여 사용하기도 한다. 전파의 전파사간을 측정한 방법은 ToA (Time of Arrival)와 TDoA (Time Difference of Arrival) 방법으로 좀 더 세분될 수 있다. 전파의 세기를 측정한 기술은 일반적으로 RSSI (Received Signal Strength Indicator)라 불린다. 그리고 전파의 각도를 측정하여 위치를 측정하는 방법을 일반적으로 AoA (Angle of Arrival)라고 불린다. 무선 센서 네트워크에서는 GPS나 이동통신시스템에서 사용된 전파외에 앞에서 언급한 바와 같이 압력센서나 적외선 혹은 영상기반의 장면분석 방법 등을 사용하기도 한다.

그림 1에서 앞에서 분류한 위치측정기술

및 개발된 대표적 시스템을 표시하였다. 전파의 속도에 따른 시간을 이용한 시스템은 크리켓과 액티브 배트가 있으며, 전파의 세기를 이용한 시스템은 RADAR와 SpotON이 있다. 압력센서를 이용하여 스마트 플로어 시스템, 적외선을 이용한 액티브 배지 시스템 등이 개발되었고, EasyLiving 프로젝트에서는 장면 분석을 이용한 위치측정 시스템이 개발되었다. RTLS 시스템에서는 RFID의 전파 시간을 주로 이용하여 실시간으로 위치를 측정하며 Ad-Hoc 네트워크는 참조 노드에서의 전파의 세기를 이용하여 APS, APIT, Centroid 등의 시스템이 개발되었다. 이러한 각각 시스템의 특징은 뒤의 3장에서 자세하게 소개한다.



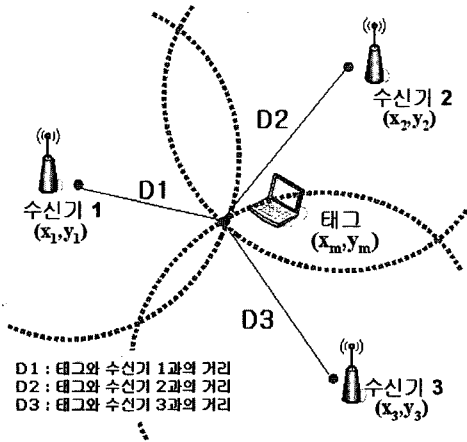
(그림 1) 위치 측정 방법 분류

위에서 살펴본 여러 가지 위치 측정 방식 중 전파 시간, 전파 세기, 전파 각도를 이용한 위치 측정 알고리즘은 간단하고 비교적 정확한 위치를 측정할 수 있어 가장 많이 사용되고 있다. 이 장에서는 보편적으로 사용되고 있는 위치 측정 방식인 ToA, TDoA, AoA, RSSI, 근접성 이용 방법과 장면 분석 방법에 대해서도 살펴보도록 한다.

## 1. ToA (Time of Arrival)

ToA는 이동단말과 세 개 이상의 기지국 사이에서 신호의 도착 시간을 이용해 이동단말의 위치를 계산하는 알고리즘이다. 이동단말과 기지국 사이의 거리는 사용하는 신호의 종류에 따라 적절한 상수를 곱하여 산출할 수 있으며, 각 기지국에서 산출된 이동단말과의 거리를 기지국 중심의 반경으로 나타낼 수 있다. 그리고 각 기지국과 이동단말 사이의 거리를 반경으로 하는 원들의 교점이 이동단말의 위치가 된다. 3차원 위치를 측정하기 위해서는 일반적으로 4개 이상의 기지국이 필요하며 기지국의 개수가 많아질수록 정밀도는 높아진다. ToA를 이용하는 대표적인 위치 측정 시스템으로는 GPS가 있다. ToA 방식을 이용하기 위해서는 기지국과 이동단말 사이의 시간 동기화가 이루어져야 하고 위치 오차를 최소화하기 위해서는 정밀한 동기화가 필요하다. ToA 방식에서 정밀한 위치 측정을 위해서는 정밀한 거리 측정이 가장 중요하며 거리 측정 오차에 가장 많은 영향을 주는 것으로 이 앞에서 언급한 다중경로 페이딩 문제와 비가시선 문제가 있다.<sup>[10]</sup>

그림 3은 ToA 동작 방식을 나타내고 있다.  $(x_m, y_m)$ 은 이동단말의 위치 좌표이며  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ ,  $(x_3, y_3)$ 는 각각의 기지국 위치 좌표를 나타내고 있다.  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ 은 이동단말로부터 기지국에 도착한 신호의 도착 시간을 근거로 산출한 거리를 나타내고 있다. 각 기지국과 이동단말의 거리인  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ 를 이용해 각 기지국을 원점으로 하는 원을 나타낼 수 있고 원들의 교차점인  $(x_m, y_m)$ 가 이동단말의 위치가 된다.



D1 : 태그와 수신기 1과의 거리  
 D2 : 태그와 수신기 2과의 거리  
 D3 : 태그와 수신기 3과의 거리

$$D_1 = \sqrt{(x_1 - x_m)^2 + (y_1 - y_m)^2}$$

$$D_2 = \sqrt{(x_2 - x_m)^2 + (y_2 - y_m)^2}$$

$$D_3 = \sqrt{(x_3 - x_m)^2 + (y_3 - y_m)^2}$$

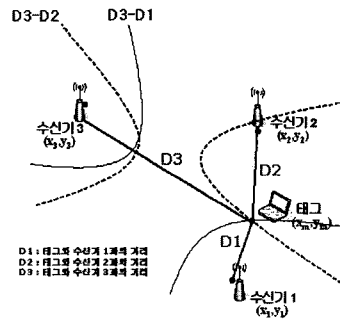
〈그림 2〉 ToA에 의한 위치 추정

## 2. TDoA (Time Difference of Arrival)

TDoA 방식은 이동단말과 두 개 이상의 기지국이 송수신하는 신호의 도착 시간의 차이를 측정하여 기지국 간의 거리차가 일정한 지점, 즉 기지국을 초점으로 하는 쌍곡선 상에서 이동단말의 위치를 찾아내는 알고리즘이다. 3개 이상의 기지국이 존재할 경우 여기에서 얻어지는 2개의 쌍곡선을 이용하여 그 교점을 찾아냄으로써 이동단말의 2차원 위치를 찾을 수 있으며 4개 이상의 기지국을 가질 경우 3차원 위치 판별이 가능하다. TDoA 방식의 경우 정밀 위치 측정을 위해 전파 수신 측인 기지국의 정밀 동기화가 반드시 필요하다.

TDoA 방식에서는 이동단말과 기지국간 특별한 동기화가 필요하지 않으므로 알고리즘 구현이 용이한 반면 신호 도달 시간의 정밀도가 요구됨으로 신호의 다중경로페이딩

및 비가시선 효과로 인한 신호 전달의 지연 문제를 최소화해주어야 한다.<sup>[11]</sup> 또한 쌍곡선 라인이 가지는 특성으로 인한 비선형성 (non-linearity) 문제도 고려되어야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 기지국의 역할을 대신하거나 보완할 수 있는 추가적인 기준 장치 (reference device)를 이용함으로써 이동단말에 대한 보다 정확한 위치를 얻을 수 있다. 그림 4는 TDoA의 동작 방식을 보여주고 있다. 이동단말의 위치 좌표는 (x<sub>m</sub>, y<sub>m</sub>) 이고 (x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>), (x<sub>2</sub>, y<sub>2</sub>), (x<sub>3</sub>, y<sub>3</sub>)는 각각의 기지국 위치 좌표를 나타낸다. D1-D2, D1-D3, D2-D3는 각 기지국에서 이동단말의 신호 도착 시간의 지연차를 나타내며 각 신호의 도착 시간 지연차는 쌍곡선 형태로 도시될 수 있다. 그리고 이 쌍곡선의 교차점이 이동단말의 위치 좌표가 된다.



D1 : 태그와 수신기 1과의 거리  
 D2 : 태그와 수신기 2과의 거리  
 D3 : 태그와 수신기 3과의 거리

$$D_3 - D_2 = \sqrt{(x_3 - x_m)^2 + (y_3 - y_m)^2} - \sqrt{(x_2 - x_m)^2 + (y_2 - y_m)^2}$$

$$D_3 - D_1 = \sqrt{(x_3 - x_m)^2 + (y_3 - y_m)^2} - \sqrt{(x_1 - x_m)^2 + (y_1 - y_m)^2}$$

〈그림 3〉 TDoA 방식에 의한 위치 측정

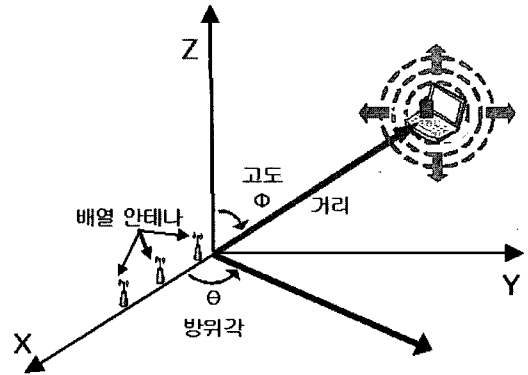
## 3. RSSI (Received Signal Strength Indicator)

RSSI는 신호를 수신하는 측에서 신호의 세기를 통계적인 방법에 근거하여 확률분포와

대조하여 위치를 측정하는 방법이다. RSSI 방식을 이용하기 위해서는 우선적으로 미리 정의된 다양한 지점에서의 신호 세기들을 RSSI 표본 수집을 통해 측정하여야 한다. 이러한 과정을 수행하고 나면 이동단말의 송신 신호를 각 기지국이 수신할 때 발생하는 신호의 감쇠 정도를 측정하여 확률적 방법을 통해 미리 수집되었던 RSSI 표본과 매핑하여 이동단말의 위치를 측정한다. 이 방식은 이동단말과 기지국 사이에 많은 장애물이 존재하거나 복잡한 실내 환경일 경우 거리 측정 오차가 매우 클 수 있다.

#### 4. AoA (Angle of Arrival)

AoA는 각도를 측정하여 위치를 측정하는 대표적인 방법으로 기지국에서 이동단말이 보내는 신호의 방향각 (LOB, Line of Bearing)을 이용하여 각을 측정하고 각 기지국과 이동단말 사이의 방향각의 교차점을 계산하여 이동단말의 위치를 측정하는 알고리즘이다. AoA 방식의 경우 기지국에서는 배열 안테나를 이용하여 방향각을 측정할 수 있다. 배열 안테나는 특정한 규칙에 의해 여러 개의 안테나를 배열시키는 것이다. 이러한 배열 안테나를 사용하면 특정 공간을 안테나로 스캔할 수 있으므로 군사용은 물론 이동체의 위성신호 수신기, 기지국 안테나 등으로 사용되고 있다. 이동 단말의 위치를 측정하기 위해서는 최소 2개 이상의 방향각들이 필요하며 이들을 교차시킴으로써 위치 파악이 가능하다.



〈그림 4〉 AoA에 의한 위치 측정

그러나 전파 전파의 특성상 다중경로 현상을 완전히 제거하는 것이 불가능하므로 정확한 신호의 방향각을 측정하기 어렵다. 복잡한 도심과 같이 장애물이 많을 경우 정확한 신호의 방향각 측정이 어려우므로 실제 이동단말의 위치와 측정된 이동단말 간에는 큰 오차가 발생할 수 있다. 또한 단말기와 기지국간의 거리가 너무 가깝거나 멀어질수록 위치 측정 오차는 커지게 되며 지향성 안테나나 배열 안테나가 필요하므로 AoA 알고리즘을 구현하기가 매우 어렵다.<sup>[12]</sup> 그림 4는 AoA 방식에 대해 설명하고 있다. 지향성 안테나나 배열 안테나를 탑재한 각 기지국에서는 이동단말로부터 들어오는 신호의 방향각을 측정하고 각 방향각을 교차시킨 교점을 찾음으로써 이동단말의 위치를 검출할 수 있다.

#### 5. 근접성 (Proximity)

근접성을 이용하여 위치 측정을 하는 경우 현재 위치를 알고자 하는 물체가 이미 위치를 알고 있는 다른 물체와의 근접성을 확인하여 위치를 파악한다. 근접성을 감지하는 방법에는 이미 알려진 위치의 피사체에 접촉

되었는지를 판단하는 물리적인 접촉을 감지하거나 적외선등을 사용하여 이동 기기가 무선 셀 네트워크 안에서 하나 혹은 복수의 액세스 포인트의 가용 범위 내에 들어와 있는지를 감시하는 방법 등이 있을 수 있다.

### 6. 장면 분석 (Scene Analysis)

장면 분석법은 관측되는 장면의 특징을 이용해 피사체의 물체를 측정하는 방법이다. 장면 분석법은 위치를 알고자 하는 곳에서의 환경적 특징을 미리 알고 있다는 가정 하에 이루어지며 관측되어진 장면은 그 자체를 데이터베이스에 저장한 후 비교하는 정적인 분석과 연속적인 장면의 차이에 의한 차등적인

분석 등 두 가지 방법이 있다. 장면 분석법은 위치 측정이 거리나 각도와 같은 지리적인 특성을 필요로 하지 않고 수동적인 관측만을 이용해서도 가능하다. 하지만 위치 측정을 위해서는 위치를 알고자 하는 피사체의 장면을 시스템이 미리 알고 있어야 하기 때문에 피사체가 이동했을 경우나 환경의 변화가 있었을 경우 데이터베이스를 다시 구축해야 한다는 단점이 있다.

### 7. 위치 측정 방법의 특징 비교

앞 절에서 서술한 위치 측정 기술들에 대한 전체적인 특징을 표 1에 비교분석하였다.

〈표 1〉 위치 측정 방법 비교

분류	방식	특징
전파 이용법	ToA	<ul style="list-style-type: none"> <li>이동 단말과 기지국간 동기화가 이루어져야 하기 때문에 이동 단말에 동기화 시스템이 탑재되어야 함</li> <li>별도의 고가 장비가 필요 없음</li> <li>신호의 송수신 시각 알고 있음</li> <li>고정 노드 위치를 미리 알고 있어야 함</li> </ul>
	TDoA	<ul style="list-style-type: none"> <li>기지국간의 동기화가 이루어져야 함</li> <li>이동 단말의 시스템적인 변경이 필요 없음</li> </ul>
	AoA	<ul style="list-style-type: none"> <li>기지국간 동기화 시스템이 필요</li> <li>다중 배열 안테나 필요</li> <li>고가의 안테나 필요</li> <li>최소 2개의 안테나로 위치 파악 가능</li> </ul>
	RSSI	<ul style="list-style-type: none"> <li>전파의 시간을 이용한 방법에 비해 정확한 위치 측정이 불가</li> <li>거리에 따른 신호의 감쇠를 이용하여 위치 측정</li> <li>비가시선 등 환경의 영향을 많이 받음</li> </ul>
장면 분석법	Scene Analysis	<ul style="list-style-type: none"> <li>위치 측정하고자 하는 곳의 환경이 바뀔 때마다 데이터베이스 갱신이 필요</li> <li>일반적인 위치 측정 방식의 오차 보정을 위해 사용</li> </ul>
근접방식	Proximity	<ul style="list-style-type: none"> <li>피사체 주위의 모든 참조 물체에 대한 정보가 필요함</li> <li>근접을 측정하는 참조 물체의 속성 및 개수에 따라 위치 측정의 정밀도 결정</li> <li>일반적으로 다수의 위치파악이 어려움</li> </ul>

### III. 유비쿼터스 센서 네트워크에서 위치 측정 시스템 기술

#### 1. 센서 네트워크 위치 측정 기술

센서 네트워크에서 전파의 시간차이를 이용한 크리켓 시스템과 액티브 배트, 적외선을 이용한 액티브 배지, 전파의 세기를 이용한 RADAR와 SpotON, 압력센서를 이용한 스마트 플로어, 장면분석을 이용한 EasyLiving 프로젝트등을 소개한다.

##### 1) 크리켓 (Cricket) 시스템

크리켓은 2000년 미국 MIT 대학에서 개발되었다.<sup>16)</sup> 크리켓은 TDoA 위치 측정 방법을 사용하며, 초음파와 무선 신호의 전파속도의 차이를 이용하여 위치를 측정한다. 초음파 발생기와 무선신호 발생기가 위치한 장소에 수신기가 부착된 사람 혹은 물체가 이동할 때, 동시에 발생한 초음파와 무선 신호는 전파속도의 차이로 초음파가 먼저 수신된 후 무선 신호가 수신된다. 수신기에서는 이 시간차를 이용해서 신호 발생기까지의 거리를 측정하고, 알려진 위치의 다수의 신호 발생기까지의 거리를 통해서 현재 수신기의 위치를 결정한다. 크리켓은 분산형 관리방법을 통해 제어 및 관리에 드는 노력과 비용이 현저히 감소되며, 중앙 서버에서 위치를 결정하지 않고 개인의 핸드셋이 자기 위치를 결정하게 함으로 개인 정보보호 기능을 크게 향상시켰다.

##### 2) 액티브 배지 (Active Badge)

액티브 배지는 1992년 AT&T 캠브리지 연

구소에서 기지국감시 위치 측정 방법을 이용하여 건물 내 개인의 위치를 파악하기 위해서 개발되었다.<sup>13)</sup> 액티브 배지는 주기적으로 고유의 아이디 정보를 가진 적외선 신호를 송신하는 송신기와 천정에 부착된 수신기로 구성된다. 수신기는 특정한 아이디를 가진 송신기가 현재 범위 이내에 있음을 통해서 송신기의 위치를 결정한다. 액티브 배지는 매우 단순한 송수신 시스템으로 구성되어 저렴하게 시스템을 구성할 수 있지만, 햇빛이나 형광등 등의 간섭이 심하다는 단점을 가진다. 또한 적외선 신호의 충돌이 일어날 수 있기 때문에 확장성의 문제를 가진다.

##### 3) 액티브 배트 (Active Bat)

액티브 배트는 액티브 배지의 후속으로 2001년 AT&T 캠브리지 연구소에서 개발되었다[14]. 액티브 배트는 전형적인 ToA 위치 측정 방법을 이용하며, 초음파 신호의 송수신 시간을 이용하여 위치를 측정한다. 초음파 신호를 송신하는 배트 (Bat unit)는 고유한 아이디를 전송하며, 일반적으로 천정에 위치한 수신기는 받은 아이디와 도착시간을 유선 네트워크를 통해서 서버로 전송한다. 배트 신호의 도착시간을 통해 각각의 거리를 측정할 수 있으며, 3개 혹은 그 이상의 거리정보를 통해 정확한 위치를 측정할 수 있다.

##### 4) RADAR 프로젝트

RADAR는 1997년 미국 마이크로소프트 연구소에서 제안하였다.<sup>15)</sup> RADAR에서는 기지국감시 위치 측정을 통하여 기존 이동통신망 내에서 이동하는 물체의 위치를 측정한다. RADAR는 IEEE 802.11 기반의 무선랜을 기



반으로 한다. 이동물체는 IEEE 802.11의 NIC를 가지고 이동하며, AP는 장치들이 송출하는 신호의 세기와 신호대잡음비(SNR)를 통해 2차원 위치를 측정한다. RADAR 시스템은 별도의 지원 장비 없이 기존의 망을 이용하는 장점이 있지만 위치를 파악하기 위한 모든 장치가 IEEE 802.11을 지원해야 하기 때문에 소형 기기에는 적용되기 힘들다.

### 5) EasyLiving 프로젝트

EasyLiving은 1997년 마이크로소프트에서 제안되었으며, 3차원 카메라를 이용하여 유비쿼터스 환경의 가정과 사무실을 구현하는 프로젝트이다[7]. EasyLiving에서는 사용자에게 효과적인 위치기반 서비스를 제공하기 위해서 장면분석 위치측정 방법을 이용한다. 실시간 3차원 카메라를 통해 캡처된 물체의 이미지를 분석하여 시각적인 위치를 파악하며 인터넷을 통한 관리 기능을 제공한다. 그러나 캡처된 이미지를 분석하기 위한 많은 컴퓨팅 파워가 필요하며 또한 정확도를 유지하는 것이 어렵다.

### 6) Motion Star

Motion Star는 1995년 미국 Ascension사에 의해서 인간의 움직임을 캡처하기 위해서 개발된 시스템이다[16]. 인체에 부착된 센서는 3차원적으로 움직이는 현재 위치를 정확히 측정할 수 있다. 정확도가 1mm에 불과할 정도의 매우 정확한 위치를 기반으로 사람 혹은 이동물체의 위치를 정확히 파악하는 Motion Star는 3차원 캐릭터의 움직임이나 실시간 애니메이션, 스포츠 의학, 쌍방향 게임 등의 서비스에 이용되고 있다.

### 7) 스마트 플로어 (Smart Floor)

스마트 플로어는 미국 조지아 공대의 Aware Home 프로젝트에서 제안된 시스템으로 물리적접촉감지 위치측정방법을 이용한다.<sup>[8]</sup> 스마트 플로어는 계단 혹은 복도에 압력 센서를 부착한 후 그 위를 지나가는 사람의 위치를 추적하고 발걸음 패턴을 이용하여 사용자 인증까지 구현하게 된다. 스마트 플로어는 압력센서를 이용하므로 적외선이나 초음파, 무선 신호를 사용하는 방식에 비해 환경의 영향을 적게 받으며 그에 따라 시스템 성능이 저하되지 않는다. 또한 모든 사용자가 일일이 배지와 같은 아이디 송출도구를 지닐 필요가 없으며 사용자의 확인 기능에 제한됨으로써 다른 기술들이 가지는 사생활 침해를 방지할 수 있다.

### 8) SpotON

SpotON은 1999년 7월 미국 워싱턴 대학에서 수행한 Portolano 프로젝트에서 제안한 시스템으로 무선 신호의 거리에 따른 감쇠 특성을 이용하였다[17]. 천정이나 벽에 붙어 있는 고정된 위치의 태그와 이동물체의 태그는 상대적인 거리를 계산할 수 있다. RSSI를 이용하여 태그들 사이의 상대 거리를 알아낸 후 다른 태그들과의 위치 정보를 종합하여 자기 위치를 측정할 수 있다.

다음 표2에 앞에서 소개한 유비쿼터스 센서 네트워크에서 다양한 위치측정 시스템의 특징 및 장단점을 비교분석하였다.

## 2. Ad-Hoc 네트워크에서의 위치 측정 기술

Ad-Hoc 네트워크를 구성하는 노드는 유

〈표 2〉 위치 측정 시스템 특징 비교

위치 측정 기술	연구기관	정밀도	위치 측정 방식	시스템 특징	장단점
크리켓	MIT	4×4 (feet)	초음파와 무선 신호의 속도차 이용	<ul style="list-style-type: none"> <li>이동물체의 핸드셋에서 수신기를 가지고 위치 계산</li> <li>10\$이하의 비전과 수신기 유닛으로 구성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>분산형이기 때문에 확장성이 용이</li> <li>핸드셋의 성능이 우수해야 하며, 에너지 문제 발생</li> </ul>
액티브 배지	AT&T Cambridge	방 규모의 정확도	적외선 이용	<ul style="list-style-type: none"> <li>배지와 수신기 및 관리 비용 저렴</li> <li>햇빛, 형광등의 간섭이 심함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>시스템이 단순하여 저렴하게 시스템을 구축할 수 있음</li> <li>정확한 위치를 파악할 수 없으며 빛의 영향을 많이 받음</li> </ul>
액티브 배트	AT&T Cambridge	9cm (95%)	초음파 이용	<ul style="list-style-type: none"> <li>배트와 센서 및 관리 비용 저렴</li> <li>천정에 고정된 다수의 수신센서를 이용하여 위치 계산</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>정확한 3차원 위치 파악 가능</li> <li>많은 양의 수신 센서가 필요하며, 프라이버시 문제 발생</li> </ul>
RADAR	마이크로 소프트	3m (50%)	무선랜 이용	<ul style="list-style-type: none"> <li>시스템 구축을 위해 IEEE 802.11 내장 호환 기기가 필요</li> <li>이동물체가 무선랜 카드를 장착해야 함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>IEEE 802.11을 사용하기 때문에 설치 및 관리가 용이</li> <li>IEEE 802.11 장치를 내장해야 하기 때문에 작은 장치에 적용 불가능</li> </ul>
EasyLiving	마이크로 소프트	방 규모의 정확도	카메라를 이용한 영상인식	<ul style="list-style-type: none"> <li>고가의 고성능 영상 인식 카메라</li> <li>위치 뿐 아니라 다양한 응용에 이용 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>영상을 이용하므로 전파의 환경이 복잡한 곳에서 사용가능</li> <li>영상을 인식하기 위한 연산능력이 우수해야 함</li> </ul>
Motion Star	Ascension	1mm (10미터 거리)	장면 분석, 거리측정	<ul style="list-style-type: none"> <li>장면 분석을 위한 고가의 하드웨어 필요</li> <li>마그네틱 자기장을 이용한 모션 캡처 방식 이용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>높은 위치 정확도를 가짐</li> <li>고가의 하드웨어 장비 필요</li> <li>금속성 물체에서 작동 불가</li> </ul>
스마트 플로어	조지아 공과대학	접촉 장소 (93%)	물리적 접촉에 의한 근접도 이용	<ul style="list-style-type: none"> <li>센서 그리드를 설치하기 위한 비용, 시스템 트레이닝 비용</li> <li>직접적인 접촉 방식의 시스템</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>부가적인 장치 불필요</li> <li>다수의 사람 인식 불가능, 고가의 장비 필요</li> </ul>
SpotON	워싱턴 대학	3m	RSSI	<ul style="list-style-type: none"> <li>전체 가격 120\$</li> <li>환경에 따른 무선 신호세기의 변화가 큼</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>부가적인 시설이 불필요</li> <li>무선신호의 전파속도에 비해 신호 감쇠가 좀더 부정확</li> </ul>

비쿼터스 센서 네트워크의 센서 노드에 비해 일반적으로 배터리 교체가 자유로우며, 크기가 더 크며, 망의 구성이 더 유동적이다. 그러나 여전히 비용 및 시스템 자원이 제한적이며, 무선 전파환경의 특성을 그대로 따른다. 이러한 Ad-Hoc 네트워크의 특징에 따라 위치를 측정하는 기술 또한 다르게 연구되고 있다. 아래에서 대표적인 Ad-Hoc 네트워크에서의 위치 측정 기술들에 대해 알아본다.

### 1) APS (Ad-hoc Positioning System)

APS는 삼각 측량 방식과 DV (Distance Vector) 라우팅 기법을 사용한 위치 측정 시스템이다.<sup>[18]</sup> Ad-Hoc 네트워크에는 위치가 결정되어 있는 참조 노드 (reference node)가 배치되어 있다. 참조노드들은 이웃하는 참조 노드와의 거리와 홉 (Hop) 수를 알고 있으며, 그 정보를 주기적으로 비컨 신호를 이용하여 이웃 노드로 전송한다. 위치를 측정하고자 하는 이동 노드는 이웃하는 참조 노드의 신호를 수신하여 홉 수를 하나 증가한 후 이웃하는 노드로 전달한다. Ad-Hoc 네트워크 내의 모든 이동 노드는 이러한 과정을 통해 참조 노드와의 홉 수에 대한 정보를 얻을 수 있으며, 이 정보를 통해 자신의 위치를 측정한다.

### 2) APIT (Approximation Point in Triangulation Test)

APIT는 APS와 같이 위치가 결정되어 있는 참조 노드의 비컨 신호를 이용한다.<sup>[19]</sup> APIT에서 이동 노드는 3개의 참조노드로 구성된 삼각형안에 자신이 있는지를 판단한다. 이 과정을 수행하기 위해 이동 노드는 신호의

세기를 감지할 수 있는 기능을 포함해야 한다. 위치 오차를 줄이기 위해서 이동 노드는 3개의 참조노드로 구성된 다수의 삼각형을 활용한다. 이동 노드가 포함되는 다른 모양의 삼각형이 여러개가 결정될 경우 중첩되는 지점을 통해 위치를 측정할 수 있다.

### 3) Centroid

Centroid는 동일한 무선 전송 범위를 가진 위치가 결정된 참조 노드를 사용한다.<sup>[19]</sup> 위치를 측정하고자 하는 이동 노드는 주기적으로 송신되는 참조 노드로부터의 비컨 신호를 수신하여 주변의 참조 노드의 위치 정보를 측정한다. 이동 노드는 수신하는 모든 참조 노드에서 중첩되는 영역을 통하여 정확한 위치를 측정할 수 있으며, 오차를 줄이기 위해서 참조 노드의 신호 전송 거리를 짧게 하거나 배치 밀도를 높이면 된다.

아래 <표 3>에 앞에서 소개한 Ad-Hoc 네트워크에서 위치측정 기술의 특징을 비교분석하였다.

<표 3> Ad-Hoc 네트워크에서의 위치 측정 기술 비교

분류	APS	APIT	Centroid
정확도	상	상	중
앵커	9개 이상	10개 이상	11개 이상
참조 노드 수	9개 이상	7개 이상	1개 이상
오버헤드	대	중	소

## IV. 결론

본 논문에서는 유비쿼터스 센서 네트워크에서 위치 측정 방법들을 소개하였다. 새로운 분류법을 통해 여러 가지 위치 측정 기술들을 분류하고, 대표적인 위치 측정 시스템

및 프로젝트를 소개하였다. 특히, 여러 가지 기술들의 특징을 비교 분석하고 각 기술의 특징과 동작방법, 장단점을 알아보았다. 유비쿼터스 센서 네트워크에서 마이크로 위치 측정기술은 홈네트워크 관리나 지능형 로봇 등에도 활용가능하다. 앞으로 좀 더 연구가 필요한 분야로 초광대역망 (UWB) 펄스를 이용한 위치측정 기술과 지능형 로봇에 응용될 수 있는 실시간 정밀 위치추적기술등은 본 논문에 포함되지 않았다.

#### 참고 문헌

- [1] M. Weiser, "Hot Topics: Ubiquitous Computing," *IEEE Computer*, Vol.26, Iss.10, Oct. 1993, pp.71-72.
- [2] T. G. Kanter, "Attaching context-aware services to moving locations," *IEEE Internet Computing*, Vol.7, Iss.2, Mar.-Apr. 2003, pp.43-51.
- [3] I. Getting, "The Global Positioning System," *IEEE Spectrum*, Vol.30, Iss.12, Dec. 1993, pp.36-47.
- [4] Y. Zhao, "Mobile phone location determination and its impact on intelligent transportation systems," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol., Iss.1, Mar. 2000, pp.55-64.
- [5] ISO/IEC FCD 24730-2.3 "Information technology automatic identification and data capture techniques - Real Time Locating Systems (RTLS) - Part 2: 2.4 GHz air interface".
- [6] N. B. Priyantha, A. Chakraborty and H. Balakrishnan, "The Cricket Location-support system," in *Proceedings of the Sixth Annual ACM International Conference on Mobile Computing and Networking*, Aug. 2000.
- [7] J. Krumm, S. Harris, B. Meyers, B. Brumitt, M. Hale, and Steve Shafer, "Multi-Camera Multi-Person Tracking for EasyLiving," *Third IEEE International Workshop on Visual Surveillance*, Jul. 1, 2000.
- [8] J. O. Rober and G. D. Abowd, "The Smart Floor: A Mechanism for Natural User Identification and Tracking," in *Proceedings of the 2000 Conference on Human Factor Computing Systems*, Apr. 1, 2000.
- [9] F. Sivrikaya and B. Yener, "Time Synchronization in Sensor Networks : A Survey," *IEEE Network*, Jul.-Aug. 2004.
- [10] G. P. Yost and S. Panchapakesan, "Improvement in Estimation of Time of Arrival (TOA) from Timing Advance (TA)," *IEEE International Conference on Universal Personal Communications*, Vol.2, Oct. 1998, pp.1367-1372.
- [11] L. Zhu and J. Zhu, "A New Model and its Performance for TDOA Estimation," *IEEE Vehicular Technology Conference 2001*, Vol.4, Oct. 2001, pp.2750-2753.
- [12] D. Niculescu and B. Nath, "Ad Hoc Positioning System (APS) Using AOA," *INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*. Vol.3, No.30, Mar.-Apr. 2003.
- [13] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, and J.

- Gibbons, "The Active Badge Location System," *ACM Transactions on Information Systems*, Vol.10, No.1, Jan. 1992, pp. 91-102.
- [14] A. Harter, A. Hopper, P. Steggle, A. Ward, and Paul Webster, "The Anatomy of a Context-Aware Application," in *Proceedings of the Fifth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, USA, August 1999, pp.59-68.
- [15] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System," *IEEE INFOCOM 2000*.
- [16] <http://www.ascension-tech.com/>
- [17] J. Hightower, R. Want, and G. Borriello, "SpotON: An Indoor 3D Location Sensing Technology Based on RF Signal Strength," *UW CSE 2000-02-02*, Univ. of Washington, Feb. 2000.
- [18] D. Niculescu and B. Nath, "Ad Hoc Positioning System(APS)," *Proceeding of the IEEE International Conference on INFOCOM*, 2001, pp.2926-2931.
- [19] T. He, C. Huang, B. M. Blum, J. A. Stankovic, and T. Abdelzaher, "Range-Free Localization Schemes in Large Scale Sensor Networks," in *Proceedings of the International Conference on Mobile Computing and Networking*, Sep. 2003.

## 저자소개



박종태

1881년 - 1987년 미국 Univ. of Michigan, EECS (공학박사)  
 1979년 - 1981년 서울대학교 전자공학과(공학석사)  
 1971년 - 1978년 경북대학교 전자공학과(공학사)  
 1989년 - 현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수  
 2000년 - 2003년 IEEE Technical Committee on Information Infrastructure(TCII) 의장  
 1999년 - 2001년 경북대학교 BK21 연구사업 단장  
 1988년 - 1989년 삼성전자 컴퓨터시스템 사업부 수석연구원  
 1987년 - 1987년 미국 AT&T Bell 연구소 연구위원  
 주관심 분야 유비쿼터스 센서 네트워크, 실시간 위치 추적 기술, 모바일 RFID 시스템, 멀티미디어 모바일 응용시스템 개발, 차세대 통신망 운영 및 관리



이위혁

2001년 2월 경북대학교 전자전기공학부 (공학사)  
 2003년 8월 경북대학교 전자공학과 (공학석사)  
 현재 경북대학교 전자공학과 박사과정 재학 중  
 주관심 분야 센서 네트워크 관리, Mobile RFID 시스템, 위치 추적



조영훈

1999년 2월 경북대학교 전자전기공학부 (공학사)  
 2001년 2월 경북대학교 정보통신학과 (공학석사)  
 2003년 2월 경북대학교 정보통신학과 박사과정 재학 중  
 주관심 분야 실시간 위치 추적 기술, Ad-Hoc 네트워크 모빌리티, SIP 기반의 모바일 멀티미디어 응용 개발



나재욱

2001년 2월 경북대학교 농업경제학과(경제학사)/컴퓨터공학과(공학사)  
 2003년 2월 경북대학교 정보통신학과(공학석사)  
 현재 경북대학교 정보통신학과 박사과정 재학 중  
 2002년 6월 - 2003년 11월 한국전자통신연구원 무선랜모뎀연구팀 위촉연구원  
 주관심 분야 위치추적기술, 위치기반서비스 기술