

유비쿼터스 환경에서의 위치인식 기술

이지영*

양성원*

이영화*

차호정**

◆ 목 차 ◆

- | | |
|--------------------------|------------------|
| 1. 서론 | 4. 위치인식 기술 구현 사례 |
| 2. 거리 정보 기반 위치인식 기술 | 5. 결론 |
| 3. 거리정보에 기반하지 않은 위치인식 기술 | |

1. 서론

최근 저전력으로 동작하는 프로세서와 메모리 그리고 무선 송수신 칩을 장착한 초소형의 센서 노드의 사용이 활발해지고 있다. 센서 네트워크 기술은 생태 혹은 환경 모니터링, 건축물의 이상 징후 감지, 사물의 위치 추적과 같은 분야에 응용할 수 있다. 이와 같은 응용의 구현 시 중요하게 고려되어야 할 부분이 각 노드의 위치를 판단하는 위치인식 기술(Localization)이다. 센싱된 데이터에 위치 정보가 포함되지 않으면 그 정보는 무의미하므로 유용한 정보활용과 수집된 대량의 정보를 효과적으로 전송하기 위한 routing path 설정을 위해서도 노드의 위치인식은 중요하다. 무선 센서 네트워크는 저전력과 저비용을 만족해야 하므로 강력한 무선 통신 장비나 고비용의 GPS와 같은 장비를 사용하여 개별적으로 노드의 위치를 파악하기 보다는 각 노드간 또는 노드가 배치된 환경의 특성을 고려한 위치인식 기법이 선호되며 다양한 기술이 소개되고 있다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서의 위치인식 기법을 거리정보 기반 위치인식(range based) 방식과 거리정보에 기반하지 않는 위치인식(range free) 방식으로 분류하고 대표적인 기술들을 소개한다. 또한, 실내와 실외에서 무선 센서 노드를 이용하여 위치인식

기술을 구현한 사례를 소개한다.

2. 거리정보 기반 위치인식 기술

센서 네트워크 환경에서의 위치인식 기술은 이미 알고 있는 위치에서부터의 거리나 각도와 같은 형식의 상대 위치를 추정, 이를 통해 노드들의 위치를 계산하는 기술이다. 이를 위한 다양한 방식 중 거리정보 기반 방식은 노드와 노드간의 위치정보를 특정 요소를 이용하여 직접 측정하는 방식을 지칭한다. 이 장에서는 거리정보 기반 위치인식 기술의 구체적 측정 방식과 위치계산 방식들을 살펴본다.

2.1 거리 측정 Metric

센서 네트워크에서 거리 측정 방식으로 이용할 수 있는 것이 RSSI(Received Signal Strength Indicator)이다. RSSI는 센서 노드가 라디오 신호를 받았을 때 신호의 세기를 나타내 주는 척도다. 신호가 전달된 거리가 길수록 RSSI는 작아진다고 가정할 경우, RSSI 값을 거리로 변환할 수 있다. 하지만 RSSI는 주변 환경의 특성에 따라서 변화가 심하기 때문에 직접적으로 이용하기가 어렵다. 이런 불규칙한 RSSI 값을 통해서 거리를 측정하기 위해 많은 연구들이 이루어지고 있다[1][2][3].

초음파를 이용한 위치인식 방식은 널리 알려진 실내 위치인식 기술 중 하나이다. 기존의 많은 연구들이 초음파를 이용하여 센서 노드의 위치를 추적하는데

* 연세대학교 석사과정

** 연세대학교 교수

초점을 맞추고 있다[4]. 초음파는 전파 거리가 비교적 짧고 전파 각도도 좁다. 하지만 다른 측정 방식에 비해서 짧은 거리에 대한 거리측정이 정확해서 주로 실내 위치인식 방식에 적용되고 있다. 초음파를 이용한 거리 측정은 시스템의 특성에 따라 다양하게 적용될 수 있다.

이 밖에도 거리를 측정할 수 있는 metric은 여러 가지 존재한다. 빛을 이용한 기법[5]은 정확도가 높고 시스템의 부하는 낮으나 가시거리를 보장하여야 하며 지형의 굴곡과 고도에 따라 동일한 반경을 가지는 광원을 만들어 내기가 어렵다는 단점이 있다. 소리를 사용한 기법[6][7][8]은 정확도가 높으며 넓은 대규모의 야외 환경에서 성능이 좋지만 장애물과 잡음에 의한 영향을 받으며 정확한 소리를 발생시키는 것이 기술적으로 제한된다.

2.2 거리 측정 방식

특정 신호의 특성을 이용하여 거리를 측정하는 방식에는 여러 가지가 있다. 사용하고자 하는 시스템과 신호의 종류, 특성에 따라 알맞은 방식을 선택하는 것이 중요하다. 신호를 이용한 거리 측정 방식으로 TDOA, TOA, AOA 방식이 대표적이다.

TDOA(Time Difference Of Arrival)은 두 개의 서로 다른 신호가 동시에 발생했을 때, 두 신호가 목적지에 도착하는 시간 차이를 이용해서 거리를 계산하는 방식이다. TDOA 방식은 주로 두 신호의 속도 차이를 알고 있을 때 사용하게 된다. 많은 경우 라디오와 초음파 혹은 소리를 이용해서 TDOA를 사용한다. 라디오는 광속으로 진행하고 초음파는 상대적으로 느린 음속으로 진행하기 때문에 두 신호의 속도차이는 곧 음파의 속도라고 가정할 수 있다. 이를 토대로 두 신호를 동시에 발생시켜서 거리 측정을 위한 목적지까지 보내는 방식이다. 하지만 실질적으로 두 신호를 정확히 동시에 보내기는 매우 힘들기 때문에, 실제 구현에서는 오차를 보정하는 방식을 사용한다.

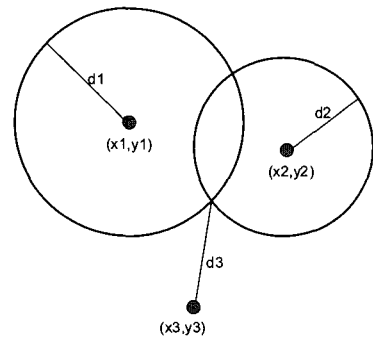
TOA(Time of Arrival)은 TDOA와 비슷한 원리로 작동한다. 신호를 발생시켜서 목적지에 도달했을 때의 시간을 그대로 거리로 환산하는 방식이다. 즉, 소리와 같은 느린 속도로 진행되는 신호가 출발지에서 출발

한 시점과 목적지에 도착한 시간을 알고 있다면 그 진행 시간을 신호의 속도에 곱함으로써 거리를 측정하는 것이다. 이 방식은 거리 측정을 위해 하나의 신호만을 필요로 하기 때문에 TDOA방식에서 동시에 신호를 발생시켜야 하는 문제는 갖고 있지 않다. 하지만 신호가 출발하는 노드와 도착하는 노드끼리 서로 같은 시간체계를 갖고 있어야 한다. 이를 위해서 시간 동기화 알고리즘을 필요로 하고 이 과정에서 생기는 오차가 발생할 수 있다.

AOA(Angle of Arrival)은 두 출발 지점에서 하나의 목적 지점까지 도달하는 두 신호가 이루는 각도를 측정하는 방식이다. 거리를 직접 측정하는 방식에 비해서 시간 동기화 혹은 신호 동기화와 같은 알고리즘을 필요로하지 않기 때문에 비교적 정확한 결과를 산출해 낼 수 있다. 이는 거리 정보가 없다고 하더라도 출발지의 각도를 통해 삼각망을 만들어 나가면서 위치를 계산해 낼 수 있다는 점을 이용하고 있다. AOA방식은 측정이 간접적이고 비교적 정확한 결과를 이끌어 내지만 신호의 각도 측정을 위해서 추가적인 장비를 필요로 한다.

2.3 위치 계산 방식

거리 정보를 통해 위치를 계산하는 방식은 크게 삼변측량과 삼각측량의 두가지로 나눌 수 있다. 삼변측량은 직접적인 거리 측정 기술이 발전하면서 최근 GPS 등에서 많이 사용되고 있는 방식이다. 삼각측량은 거리의 측정이 힘든 지상에서의 위치 측량을 위해 많이 사용되던 방식이다. 다음은 삼변측량과 삼각측량



(그림 1) 삼변측량의 원리

에 대해서 기술한다.

삼변측량법(trilateration)은 세 점으로부터 구한 거리를 이용해서 알고자 하는 위치를 계산해 내는 방식이다. 삼변측량은 간단한 수학적 계산에 기초하고 있다. (그림 1)은 삼변측량의 위치 계산 방식을 보여주고 있다. 두 점 (x1, y1), (x2, y2)에서부터 현 위치까지의 거리가 얼마인지 알고 있다면 두 원의 교점에 의해서 현 위치가 될 수 있는 2개의 점을 찾을 수 있다. 추가로 (x3, y3)에서부터의 거리를 알게 된다면 그 가능성 중의 하나를 제거 할 수 있다. 삼변측량은 알고 있는 위치로부터의 거리정보를 토대로 위치를 계산하는 방식 중 대표적인 방식으로 간단한 계산을 통해서 위치를 계산해 낼 수 있지만, 측정된 거리 자체에 오차가 발생하면서 처음 두 원에 교점이 존재하지 않으면 위치 계산에 실패할 수 있다.

삼각측량(triangulation)은 거리의 계산이 적당치 않은 경우 사용되는 측량기법이다. 삼각측량은 측량 지역을 적절한 크기의 삼각형으로 된 망의 형태로 만들고 삼각형의 꼭지점에서 내각과 한 변의 길이를 측정하여 나머지 변의 길이는 삼각함수에 의하여 계산하고 각 점의 위치를 정하게 된다. 이때 삼각형의 꼭지점을 삼각점, 삼각형들로 만들어진 망의 형태를 삼각망, 직접 측정한 변을 기선이라고 한다. 센서 네트워크에서 적용되는 삼각측량은 AOA 기법을 이용하고 실제 측량에서 필요로 하는 변기선(check base)을 실제 위치를 알고 있는 노드들 사이의 계산된 거리를 이용한다.

3. 거리정보에 기반하지 않은 위치인식 기술

거리 정보에 기반하지 않은 위치인식 기술은 센서 노드 간의 실제 거리를 측정하지 않고 각 노드의 위치를 파악하는 기법이다. 다음은 거리 정보에 기반하지 않는 위치인식의 대표 기술로 Centroid [9], DV Hop [10], APIT [11] 기술을 소개한다.

3.1 Centroid

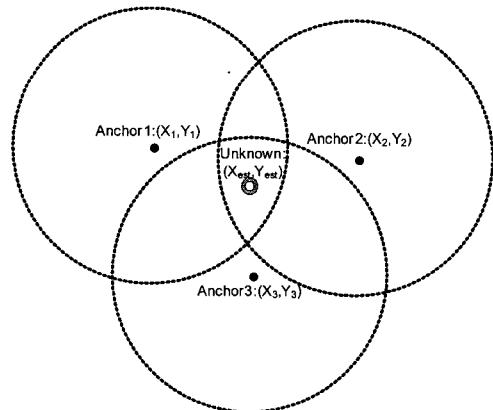
거리 정보에 기반하지 않은 위치인식 기법 중 가장 간단한 방식이다. 센서 노드는 자신의 위치를 알고 있

는 기준 노드와 위치를 모르는 일반 노드로 구분되며 일반 노드의 위치는 1 hop으로 통신 가능한 기준 노드 좌표들의 중점으로 인식된다. (그림 2)는 일반 노드와 통신 가능한 기준 노드가 3개이고 기준 노드의 통신범위가 점선과 같을 때의 centroid 방식의 위치인식을 보여준다. 기준 노드의 수가 n개이고 k번째 노드의 위치 좌표가 (Xk, Yk)일 때 일반 노드의 위치 좌표 (Xest, Yest)는 다음과 같이 추정된다.

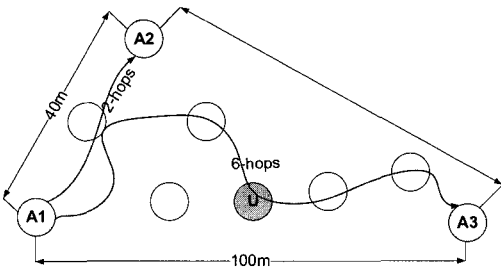
$$(X_{est}, Y_{est}) = \sum_{k=1}^n \left(\frac{X_k}{n}, \frac{Y_k}{n} \right) \quad (1)$$

3.2 DV - Hop

DV - Hop은 노드의 배치 분포가 균일하고 기준 노드의 밀도가 적은 경우에 사용할 수 있는 위치인식 기법이다. 이 방식은 노드 사이의 연결성을 이용하여 노드간 거리를 추정한다. 각 기준 노드는 자신의 위치 정보를 다른 기준 노드로 multi-hop flooding 기법으로 전송하는데, 이때 다른 기준 노드로 전송되기까지의 가장 짧은 hop count를 저장한다. 하나의 기준 노드가 다른 기준 노드로부터의 메시지를 받으면 두 기준 노드의 위치좌표를 통해 직선 거리를 구하고 메시지가 전송되기까지의 가장 적은 hop 수로 나누어 노드간 1-hop의 평균거리를 추정한다. 이렇게 두 기준을 통해 구해진 노드간 평균거리는 다시 네트워크 전



(그림 2) Centroid Localization(9)



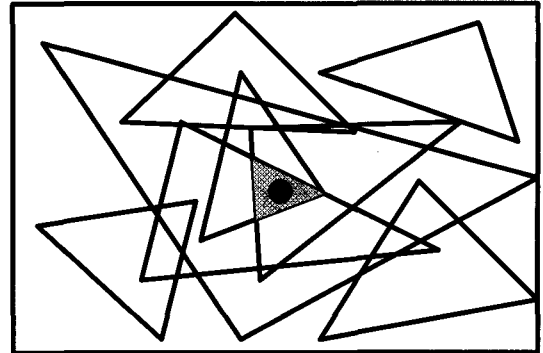
(그림 3) DV-Hop Localization(10)

체로 전송되어 전체 네트워크에서의 노드간 평균거리를 계산하는데 사용된다. 노드간 평균 거리가 구해지면 일반 노드의 위치는 노드간 평균거리와 기준 노드까지의 hop 수를 곱해 얻은 거리값을 이용해 삼변측량법을 이용해 구할 수 있다. (그림 3)은 DV-Hop 기법에서 노드간 평균 거리를 구하는 한 예를 설명한다.

A1, A2, A3 가 위치를 알고 있는 기준 노드고 U가 일반 노드일 때, A1 노드가 자신의 위치 정보를 포함한 메시지를 multi-hop flooding 방식으로 전송한다. 이 메시지는 2 hop을 거쳐 A2 노드로, 3 hop을 거쳐 A3 노드에 도착하게 된다. 각 기준 노드는 자신의 위치 정보를 알기에 A1, A2 노드간 직선거리가 40m, A1, A3 노드간 직선거리가 100m 임을 계산하고 각 hop 수인 2, 6으로 나눈다. 최종적으로 hop 간 평균거리는 $\frac{40 + 100}{2 + 6} = 17.5$ 가 된다. 노드간 평균 거리가 구해지면 U 노드로부터 각 기준 노드까지의 hop 수를 곱해 거리를 추정하고 이를 이용해 삼변측량을 하게 된다.

3.3 APIT

APIT (Approximate Point In Triangle)은 일반 노드 주변에 통신 가능한 기준 노드가 비교적 많을 경우 사용할 수 있는 위치인식 기법이다. 위치를 모르는 일반 노드는 라디오 통신을 통해 주변에 있는 1-hop 기준 노드를 찾고 찾은 노드들 중 3개의 노드를 선택해 삼각형을 만든다. 이렇게 만들어진 삼각형에 대하여 일반 노드가 삼각형에 내부에 있는지 외부에 있는지 판단하는데, 주변 기준 노드들로 만들 수 있는 모



(그림 4) APIT Localization(11)

든 삼각형에 대한 반복작업을 통해 전체 1-hop 네트워크 영역에서 일반 노드의 위치 범위를 줄여 나가게 된다. 일반 노드의 최종 위치는 (그림 4)와 같이 모든 삼각형의 영역 중 중첩된 부분이 가장 많은 영역의 중점이 된다.

APIT 방식으로 위치인식을 하기 위해서는 일반 노드가 3개의 기준 노드로 이루어진 삼각형 내부에 위치하는지를 판단해야 한다. 만일 노드가 삼각형 외부에 있다면 이 노드가 삼각형으로부터 멀어지면 해당 방향으로 삼각형의 세 꼭지점에 대해서도 멀어지게 된다. 반대로 노드가 삼각형 내부에서 움직이면 삼각형의 세 꼭지점에서 모두 멀어지는 방향은 존재하지 않는다. 위와 같은 방법을 PPIT(Perfect Point In Triangle) 이론이라 한다. 하지만 센서 노드는 고정되어 있기 때문에 PPIT 방식을 사용할 수는 없다. 대신 APIT은 일반 노드 주변의 노드들을 이용하여 노드가 삼각형의 내부에 있는지를 판단한다.

4. 위치인식 기술 구현 사례

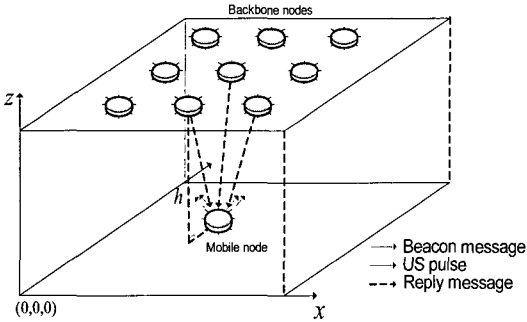
다음은 초음파를 이용한 실내 위치인식 기술과 소리를 이용한 실외 위치인식 기술에 대해 소개한다.

4.1 초음파 기반의 위치인식 기법

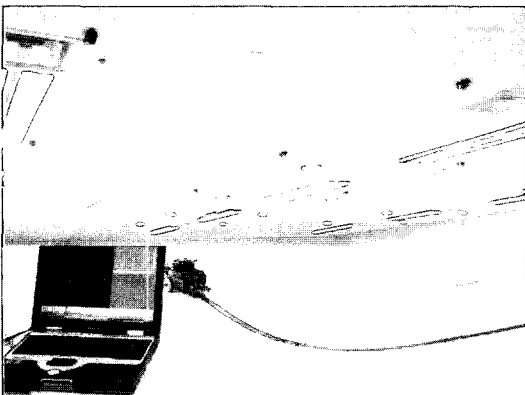
초음파 기반의 위치인식 시스템은 위치를 알고자 하는 모바일 노드와 거리를 측정하는 기간 노드들로 구성된다. 위치를 알고자 하는 대상이 신호를 발생하

는가에 따라 능동적(active) 방식과 수동적(passive) 방식으로 나누어진다.

(그림 5)와 같이 능동적 위치인식 방식[12]에서 모바일 노드는 동기화된 라디오 신호와 초음파 펄스를 주기적으로 송출한다. 기간 노드는 모바일 노드의 동기화된 라디오 신호를 받으면 이후 도달하게 될 초음파 펄스를 인식한 후 두 도달 시간의 차이를 이용하여 거리를 측정하고 측정된 거리를 다시 모바일 노드에게 전송한다. 세 개 이상의 기간 노드들로부터 거리 정보를 받으면 모바일 노드는 삼변측량을 이용하여 2D 좌표 평면상의 위치 좌표를 계산하여 자신의 위치를 인식한다. 이 과정은 모바일 노드의 비컨 주기마다 수행되기 때문에 모바일 노드가 움직임에 따라 변화되는 위치의 변화를 추적할 수 있다. 능동적 방식에서 측정된 거리는 하나의 신호로부터 계산된 것이기 때문에 움직이는 물체에 대해서도 정확한 위치 추적을 가능하게 한다.



(그림 5) 위치 추적 시스템 구성



(그림 6) 위치 추적 시스템 실험 환경

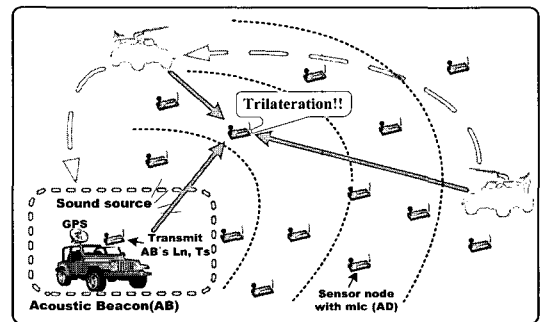
수동적 위치인식 시스템[3]은 이미 배치되어있는 기간 노드들이 초음파 신호를 송출한다. 모바일 노드는 신호를 받게 되면 기간 노드까지의 거리를 계산하고 이를 토대로 삼변측량을 통해 위치를 계산하게 된다. 이 방식은 서로 다른 기간 노드들에서부터 도착한 초음파 신호로 거리를 계산하기 때문에 움직이는 물체를 추적하는 경우 정확도가 떨어질 수 있다. 하지만 전체 시스템상에 존재하는 신호의 개수가 한정되어 있기 때문에 여러 개의 모바일 노드를 동시에 추적하기 용이하다는 장점이 있다.

(그림 6)은 실제로 배치된 실내 위치인식 시스템 환경을 보여주고 있다. 이러한 위치 추적 시스템은 실내 물체 추적, 네비게이션 등의 위치인식 서비스에 활용될 수 있다.

4.2 소리를 이용한 위치인식 기술

소리는 온도와 습도에 따라 차이는 있지만 일정한 속도를 지니고 있다. 소리의 속도는 거리로 변환이 가능하며, 다음은 소리를 이용한 기존 기법의 문제점이었던 소리 발생을 미리 계획하여야 하는 문제와 추가의 고가장비를 장착하여야 하는 문제 등을 해결하기 위한 방법[13]을 간단히 기술한다.

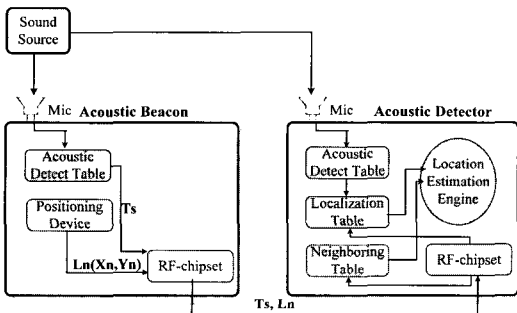
시스템은 (그림 7)과 같이 동작한다. 먼저 자신의 위치를 알고 있는 비컨 노드와 자신의 위치를 모르는 일반 노드 사이에 시간 동기화를 실시한다.[14] 그 후, 펄드에 배치된 노드와 동일한 소리 감지 센서를 장착



(그림 7) 시스템 개관

하고 있는 비컨 노드에서 특정 소리를 임의의 시간에 발생시킨다. 이 때, 비컨의 마이크에서 감지한 시간을 소리의 발생시간으로 하여 비컨의 위치와 소리발생 시간을 일반 노드들에게 전송 해준다. 일반 노드들은 지속적으로 소리의 감지시간을 저장하고, 비컨 노드로부터 위치 정보와 시작시간 정보를 받게 되면 자신의 저장 정보와 비교하여 비컨에서 발생한 소리의 정보를 추출하게 되고, 비컨 노드와 일반 노드들의 소리 감지의 시간차를 이용하여 비컨 노드와 일반 노드 사이의 거리를 구한다. 최종적으로 일반 노드들은 거리 정보와 비컨노드의 위치 정보를 이용하여 삼변측량(trilateration) 기법을 통하여 자신의 위치를 독립적으로 동시에 계산한다.

시스템은 기본적으로 음원을 발생시키는 Acoustic Beacon(AB) 노드와 이 음원을 감지하여 위치인식을 하는 Acoustic Detector(AD) 노드 두 부분으로 나뉘어 동작하게 된다. 전체적인 시스템 구조는 (그림 8)와 같다. AB와 AD 간에는 서로 시간 동기화가 이루어져 있는 상황에서 AB노드가 음원을 발생시키면 이를 AB 노드의 마이크 센서가 가장 먼저 감지하게 되고 이 시점을 음원의 발생시간으로 하여 AD 노드에게 발생 시간을 알려준다. AB 노드는 음원의 감지를 우선한 후 AD 노드로부터 음원 발생시간을 확인하여 일정한 범위 내에 들어온 음원을 골라 시간차이와 음원발생의 위치를 저장한다. 이 과정을 반복하여 수행하며 AB 노드는 3개의 음원의 위치를 얻게 되면 위치계산을 하게 된다.



(그림 8) 시스템 구조

5. 결론

본고에서는 유비쿼터스 환경에서의 위치인식 기술에 대하여 살펴보았다. 위치인식 기술은 다른 기술들에 우선하는 기반 기술로서 중요도가 높으며 활발히 연구되고 있다. 다양한 방법들이 연구 개발되고 있으나, 어떤 환경에서든 유연하게 동작하는 위치인식 기술은 개발되지 않고 있으며 향후에도 중요한 연구 주제가 될 것이다. 유비쿼터스 환경에서 위치인식 기술은 어떤 한가지의 기술이 아니라 여러 가지의 기술이 상황에 알맞게 적용되어 사용될 것으로 보이며 다양한 상황에 따라 적절한 위치인식 기술을 선별하여 적용하는 것이 중요한 기술이 될 것이다.

참고 문헌

- [1] Paramvir Bahl and Venkata N. Padmanabhan. RADAR: An In Building RF Based User Location and Tracking System. IEEE InfoCom 2000, March 2000
- [2] Neal Patwari and Alfred O. Hero III. Using Proximity and Quantized RSS for Sensor Localization in Wireless Networks. Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications. September 2003.
- [3] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan. The Cricket Location Support System. In 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom 00), August 2000.
- [4] A. Smith, H. Balakrishnan, and M. Goraczko. Tracking Moving Devices with the Cricket Location System. In 2nd International Conference on Mobile Systems, Applications and Services (Mobisys 2004), June 2004
- [5] R. Stoleru, T. He, J. A. Stankovic and D. Luebke, "High Accuracy, Low Cost Localization System for Wireless Sensor Networks", 3rd ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys) 2005
- [6] M. Kushwaha, K. Molnar, J. Sallai, P. Volgyesi, M.

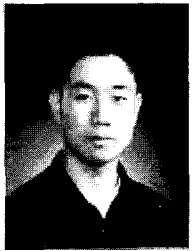
- Maroti and A. Ledeczi, "Sensor Node Localization Using Mobile Acoustic Beacons", MASS, 2005.
- [7] S. T. Birchfield and D. K. Gillmor, "Acoustic source direction by hemisphere sampling", ICASSP, 2001.
- [8] J. L. Flanagan, J. D. Johnston, R. Zahn and G. W. Elko, "Computer steered microphone arrays for sound transduction in large rooms", Journal of the Acoustical Society of America, vol. 78, no.5, 1985.
- [9] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin: GPS less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices, IEEE Personal Communications Magazine, Oct. 2000.
- [10] D. Niculescu and B. Nath, Ad hoc Positioning System (APS), IEEE Globecom '01, San Antonio, TX, Nov. 2001
- [11] T. He, C. Huang, B.M. Blum, J.A. Stankovic and T. Abdelzaher, Range Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks, ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 03), San Diego, CA, Sep. 2003
- [12] S. Yi and H. Cha, "Active Tracking System using IEEE 802.15.4 based Ultrasonic Sensor Devices," In 2nd International Workshop on RFID and Ubiquitous Sensor Networks (USN) 2006, Seoul, Korea, August, 2006.
- [13] Y. Lee and H. Cha, "A Light weight and Scalable Localization Technique Using Mobile Acoustic Source", IEEE International Conference on Computer Information Technology (CIT), 2006
- [14] K. Maroti, B. Kusy, G. Simon and A. Ledeczi, "The Flooding Time Synchronization Protocol", Sensys, 2004.

◎ 저 자 소개 ◎



이 지 영

2006년 연세대학교 컴퓨터과학과 학사
2006 ~ 현재 연세대학교 대학원 컴퓨터과학과 석사과정



양 성 원

2006년 연세대학교 컴퓨터과학과 학사
2006 ~ 현재 연세대학교 대학원 컴퓨터과학과 석사과정



이 영 화

2002년 육군사관학교 전산학과 학사
2005 ~ 현재 연세대학교 대학원 컴퓨터과학과 석사과정



차 호 정

1985년 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
1987년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사
1991년 University of Manchester 전산학 박사
1993년 ~ 2001년 광운대학교 부교수
2001년 ~ 현재 연세대학교 교수