LBS를 위한 무선 노드 위치 인식 기법

백호기 | 이지혜 | 임재성
아주대학교

요 약

최근 무선 네트워크를 기반으로 한 다양한 서비스 모델이 제안됨에 따라 이와 관련된 활발한 연구 활동이 진행 중이다. 이러한 연구주제의 한 분야로서, 무선 노드의 위치 정보를 활용한 기술은 향후 무선 네트워크 서비스에 중요한 기술적 토대가 될 것으로 예상된다. 위치 인식 기술은 질적으로 우수한 서비스 제공 및 서비스의 다양화를 위해 필수적인 기술로서 그 중요성은 더욱 높아 질 것으로 예상된다.

본 원고에서는 무선 네트워크에 대한 수요를 충족시키기 위한 위치정보기반의 서비스(LBS)를 위해 그 동안 연구된 무선 노드의 위치 인식 기법을 정리하였고, 이를 이용한 응용 서비스에 대하여 설명하였다.

I. 서 론

최근 무선 네트워크 서비스의 다양화와 그에 따른 수요가 높아지면서 안정적이고 신속한 서비스를 제공할 수 있는 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 그러나 무선 네트워크에서 무선 노드의 이동성을 고려해야 할 경우, 무선 채널이 불안정하고 특히 네트워크 구성 형태가 빈번하게 변하기 때문에 무선 네트워크를 통한 서비스를 제공하는데 큰 어려움이 있다. 이러한 문제의 해결방안으로, 무선 노드의 위치 인식 정보를 기반으로 안정적이고 신속하며 효율적인 서비스를 제공할 수 있다.

위치 인식 기법에 대한 대표적인 기술로서 GPS(Global Positioning System) 기술이 있다 [27][28]. GPS는 인공위성이 주기적으로 전송하는 신호를 GPS 수신기가 수신하는 TOA(Time Of Arrival) 기반 위치인식 방식으로서, 현재 상업적으로 가장 널리 쓰이고 있는 위치 인식 기법이다. 미국의 경우, GPS를 이용한 기본적인 네비게이션 기능 외에도 자동차의 도난을 방지하는 목적으로 한 서비스가 이미 상용화 단계에 있다[28]. 그러나 실내 환경과 지하 주차장이나 높은 빌딩이 많은 도심에서는 GPS 신호의 수신 장애로 인해 정확한 위치 정보를 획득하는 것에 어려움이 있다.

MIT에서 개발한 초음파 기반의 Cricket [2][3][4]은 실내에서 위치 측정을 하기 위해서 개발되었다. Cricket은 초음파를 사용하기 때문에 TOA나 TDOA(Time Difference Of Arrival) 기법을 사용하여 무선 노드의 위치를 인식한다. 초음파의 장점은 신호가 음속으로 전파되기 때문에 빛의 속도로 전파되는 RF에 비해서 신호 감지의 오차가 줄어든다. 따라서 TOA나 TDOA같이 시간을 기반으로 한 위치 인식 기법에서 정확도를 높이는데 큰 도움이 된다. 하지만 초음파의 경우 RF신호에 비해 수신률이 떨어지고 전파거리가 짧기 때문에, 2~3m 정도의 가까운 간격으로 anchor 를 배치해야 한다. 그렇기 때문에 Cricket은 배치된 센서 노드의 수와 무선 채널을 통해 전송되는 트래픽 양이 증가하는 문제점을 갖는다.

IEEE 802.15.4a는 위치 인식을 위한 거리 측정을 다룬 표준

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 2007년도 대학IT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음.

으로 현재 표준화가 진행 중이다. IEEE 802.15.4a에서 사용하는 UWB(Ultra Wide Band)와 CSS(Chirp Spread Spectrum)는 나노 초 단위까지 신호감지가 가능한 특성으로 인해 시간을 기반으로 한 위치 인식 기법의 정밀도를 높이는데 크게 기여하였다.

그 밖에도 무선 노드의 위치 정보를 기반으로 한 연구 주제들이 있다. 위치를 기반으로 한 라우팅 방법 [6], 위치를 기반으로 한 방향성 안테나의 사용 [7], 위치를 기반으로 보안을 강화하여 공격 노드로부터 네트워크를 방어하는 기술 [8] 등이 위치를 기반으로 한 연구들의 예제이다. 이러한 연구들에서 다루고 있는 무선 노드의 위치 정보는 정확히 위치 인식이 된다는 가정하에 진행되는 연구들이다. 그렇기 때문에 무선 노드의 위치를 정확히 인식하는 방법은 앞서 언급한 연구를 가능하게 하기 위한 기술로써 큰 의미가 있다.

II. 위치 인식 기법

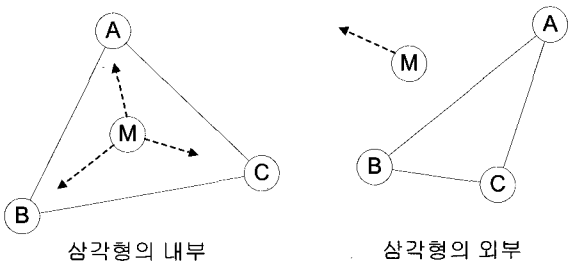
위치 인식 기법은 크게 Range-free 기법과 Range-based 기법으로 분류된다. Range-free 기법은 신호를 송수신하는 무선 노드 간의 거리를 직접 계산하지 않고 무선 노드의 위치를 추정하는 방식이고, Range-based 기법은 무선 노드 간의 거리를 측정하여 위치를 계산하는 방식이다. 일반적으로 위치 인식을 위한 네트워크는 무선 노드와 anchor 노드로 구성된다. 무선 노드는 위치 인식 기법을 통해 자신의 위치를 계산하는 노드이고, anchor 노드는 배치 시 미리 정해진 자신의 위치 정보를 알고 다른 무선 노드가 위치 인식을 할 수 있도록 돕는 노드이다.

1. Range-free 기법

Range-free 기법은 무선 노드 간 거리를 직접 측정하지 않고 위치를 추정하는 기법이다. 대표적인 기법으로 APIT [9], DV-Hop [10] 그리고 Centroid [11] 등이 있다.

1) APIT (Approximate P.I.T test)

APIT에서 anchor는 자신의 위치 정보를 담아 주기적으로 비콘(beacon) 신호를 방송한다. 비콘 신호를 수신한 무선 노드는 3개 이상의 anchor를 선택하고, anchor 3개로 구성된 여러 개의 조합을 만든다. 예를 들어, anchor A, B, C, 그리고 D가 있을 경우, 4개의 조합 (A, B, C), (A, B, D), (A, C, D), (B, C, D) 을 만들 수 있다. 이 때, 각 조합의 3개의 anchor를 가지고 만들어진 삼각지역 안에 무선 노드가 들어있는지 없는지 여부를 테스트하는데 이것을 PIT (Point-In Triangle) 테스트라고 한다. 각 조합마다 PIT 테스트를 통해 무선 노드가 위치할 가능성이 높은 곳을 좁혀나가며 무선 노드의 위치를 인식한다.

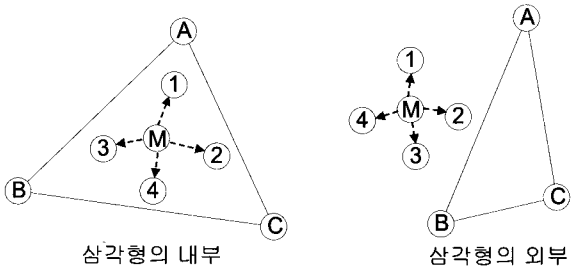


(그림 1) Point-In-Triangle 테스트

(그림 1)은 무선 노드 M이 PIT 테스트를 하는 모습을 나타낸 그림이다. 무선 노드 M이 anchor A, B, C로 구성된 삼각지역 안과 밖에 존재한 그림이 각각 왼쪽과 오른쪽에 있다. PIT 테스트를 하는 방법은 다음과 같다. 무선 노드 M이 이동 시 anchor A, B, C와 모두 멀어지고 있다면, 현재 삼각지역 밖에 있고, 그게 아니라면 삼각지역 안에 있다고 판단한다. 멀어지고 가까워지는 정보는 수신 신호의 세기를 이용한다. 신호가 보다 강하게 수신되면 점점 가까워지는 것을 의미하고, 신호가 보다 약하게 수신되면 점점 멀어지는 것을 의미한다. 그러나 무선 노드 M이 이동하지 않는다면 점점 가까워지는지 멀어지는지 여부를 알 수 없기 때문에 PIT 테스트를 할 수 없다. 따라서 이웃 노드를 활용한 APIT 기법을 제안하였다.

(그림 2)는 APIT 테스트를 나타낸 그림이다. 무선 노드 M이 이동하지 않더라도, 이웃 노드 1, 2, 3, 그리고 4가 anchor들로부터 수신하고 있는 신호의 세기 정보를 수집하여 간접적으로 PIT 테스트를 할 수 있다. 예를 들어, 1이 A로부터 받은 신호세기보다 M이 A로부터 받은 신호의 세기가 약하다

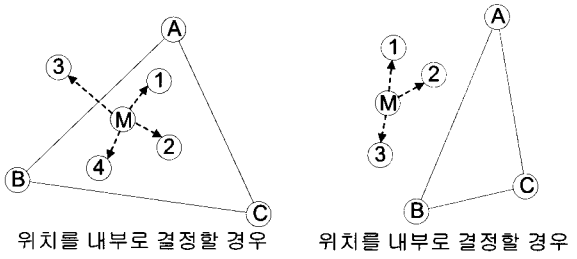
면, M은 A로부터 멀어진 것이다. 이 경우, 1이 B와 C로부터 받은 신호의 세기 정보 역시 M이 B와 C로부터 받은 신호의 세기와 비교하여 PIT 테스트를 할 수 있다.



(그림 2) Approximate Point-In-Triangle 테스트

APIT은 이웃 노드의 위치에 따라 PIT 테스트가 잘못된 결과를 초래할 수 있다는 문제가 있다. (그림 3)의 왼쪽 그림에서는, 무선 노드 M은 삼각지역 안에 있지만 이웃 노드 3번으로 인해서 삼각지역 밖에 있는 것으로 간주된다. 왜냐하면, 이웃 노드 3이 A, B, C로부터 받은 신호의 세기가 모두 무선 노드 M이 A, B, C로부터 받은 신호에 비해서 약해지기 때문이다. 그리고 (그림 3)의 오른쪽 그림도 비슷한 이유로 무선 노드 M이 삼각지역 밖에 있지만, PIT 테스트 결과 삼각지역 안에 있는 것으로 간주된다.

Anchor 3개로 만들 수 있는 모든 조합에서 PIT 테스트를 한 후, (그림 4)와 같이 PIT 테스트의 결과를 가지고 무선 노드의 위치를 계산한다. 무선 노드가 삼각지역 안에 있는 것으로 간주되면, 삼각지역 안에 포함된 사각형들은 값이 1씩 증가한다. 반대로 무선 노드가 삼각지역 밖에 있는 것으로



(그림 3) APIT의 문제점

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
0	0	1	2	1	1	1	0	0	0
0	1	2	2	1	1	1	0	0	-1
1	2	2	2	2	1	1	0	-1	-1
0	1	1	2	2	2	1	-1	-1	-1
0	1	1	1	1	1	0	-1	-1	-1
0	1	1	1	0	0	-1	-1	-1	-1

(그림 4) 무선 노드의 위치 계산

간주되면, 삼각지역 안에 포함된 사각형들은 값이 1씩 감소한다. 그리고 전체 사각형 중에서 값이 가장 큰 사각형들의 좌표 값을 평균하여 무선 노드의 위치를 계산한다.

APIT은 받은 신호의 세기를 기반으로 한 기법이다. 그렇기 때문에 페이딩의 영향으로 실제 거리가 먼 무선 노드라 할지라도 실제 거리가 짧은 노드에 비해서 신호 세기가 높게 측정될 수 있다. 이 점은 결국 PIT 테스트의 잘못된 결과를 유발할 수 있다. 그렇기 때문에 APIT은 네트워크에 무선 노드가 많이 밀집해 있는 환경에 사용하기 적합하다. 무선 노드의 밀집도가 낮은 환경에서 APIT을 사용할 경우, 무선 노드의 정밀한 위치 인식이 불가능하고 오차가 커진다. 그러나 실제로 많은 수의 무선 노드가 무선 네트워크에 밀집해 있는 경우는 일반적인 경우가 아니기 때문에 정밀한 위치 인식을 위한 무선 네트워크에서 APIT을 사용하기 어렵다.

2) DV-Hop

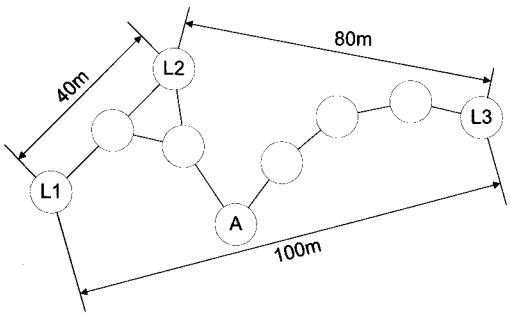
DV-Hop위치 인식 기법은 기존의 DSR (Dynamic Source Routing)과 같이 홉 간 라우팅 (Hop-by-Hop Routing) 정보 전송 방법과 삼변측량법 (Trilateration) 을 이용하여 무선 노드의 위치를 계산한다. 각 무선 노드는 기존의 DSR을 이용하여 각 anchor들로부터의 홉 수(Hop count) 를 테이블로 가지고 있으며, 이웃 노드와의 정보 교환을 통해 이 테이블을 갱신한다. 무선 노드가 삼변측량법을 사용하기 전에 anchor들로부터의 홉 수를 무선 노드와 anchor 사이의 거리로 환산한다. 이를 위해서 각 anchor마다 홉 당 거리를 계산하는데, 식(1)은 홉 당 거리를 구하는 식이다.

$$HopSize_i = \frac{\sum \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum h_i} \quad (1)$$

where $i \neq j$, all anchors j

식(1)에서 (x_i, y_i)와 (x_j, y_j)는 각각 anchor i와 j의 위치 정보이며, h_i는 각 anchor j로부터 i까지의 홉 수이다. 예를 들어, 무선 노드가 anchor i로부터 2홉 떨어져 있다면, 무선 노드가 anchor i로부터 떨어져있는 거리는 $HopSize_i$*2가 되는 것이다.

(그림 5)는 DV-Hop을 통한 무선 노드의 위치를 인식하는 예제를 나타낸 그림이다. 그림에서 L1, L2, 그리고 L3는 anchor를 나타낸다. L1, L2, 그리고 L3는 서로 간의 거리와 홉 수를 알고 있다. L1의 경우, L2까지 2 홉에 걸쳐 40m, L3까지 7홉에 걸쳐 100m가 떨어져 있음을 알고 있다. 식(1)을 이용하여 L1의 평균 홉 당 거리를 계산하면, (100 + 80) / (2 + 7) = 20 이다. 같은 방법으로 L2의 홉 당 거리는 (40 + 80) / (2 + 6) = 15이고, L3는 (80 + 100) / (7 + 6) = 13.85이다. 이 정보는 anchor들에 의해서 네트워크로 방송되고, 이를 수신한 무선 노드는 가장 가까운 anchor를 선택하여, 각 anchor들과의 홉 수와 홉 당 거리를 곱하여 무선 노드와 각 anchor 사이의 거리를 계산한다. 그리고 계산된 거리는 삼변측량법을 통해 무선 노드의 위치를 인식하는데 사용된다.



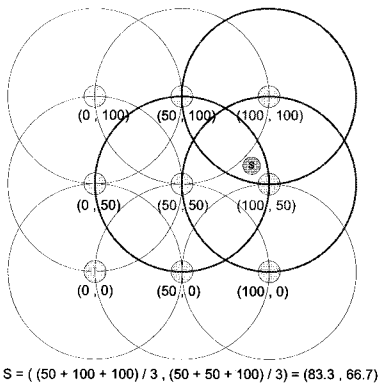
(그림 5) DV-Hop을 통한 무선 노드의 위치 인식

DV-Hop은 anchor 노드가 같은 간격을 두고 떨어져있는 네트워크에서 작동한다는 단점이 있다. 평균 홉당 거리와 홉 수를 사용하여 무선 노드의 위치를 인식하기 때문에 각 홉 마다 거리의 차이가 크다면 평균 홉 당 거리 무선 노드의 위치 오차가 커진다. 또한, anchor의 개수가 많을수록 위치 인식을 보다 정확히 할 수 있지만, 자신의 위치 정보를 방송하는 횟수가 증가하여 네트워크 내 통신 비용이 증가한다는 단점이 있다.

3) Centroid

Centroid는 anchor를 등간격의 그리드 형태로 배치한 후 무선 노드의 위치를 인식하는 기법이다. 각 anchor는 주기적으로 자신의 위치 정보를 담은 비콘 신호를 전달하고, 무선 노드는 수신한 비콘으로부터 각 anchor의 좌표를 모두 더해 평균값을 자신의 위치로 결정한다.

(그림 6)을 보면 알 수 있듯이, 그림에는 총 9개의 anchor들이 등간격의 그리드 형태로 배치가 되어있다. 그리고 각 anchor를 중심으로 한 큰 원은 anchor의 통신 가능한 범위를 나타낸 것이다. 그리고 무선 노드 S가 그 사이에 위치에 있다. 무선 노드 S는 총 3개의 anchor로부터 비콘 신호를 수신한다. 비콘 신호에 들어가있는 anchor의 좌표 정보는 각각 (50, 50), (100, 50), (100, 100) 이다. 따라서 무선 노드의 위치는 x좌표는 각 anchor의 x좌표를 평균한 83.3 ((50+100+100)/3) 이고, 무선 노드의 y좌표는 같은 방법으로 각 anchor의 y좌표를 평균한 66.7 ((50+50+100)/3)이다.



(그림 6) Centroid를 통한 무선 노드의 위치 인식

Centroid의 경우, anchor 들이 등간격으로 배치되어 있다. 그러나 anchor간 간격이 좁아야 정밀한 위치 인식을 할 수 있기 때문에, 위치 인식을 정밀하게 해야 할 경우에는 anchor의 수가 증가한다. 네트워크에서 anchor의 수가 증가하면, anchor 들의 방송을 위한 통신 비용을 증가하게 된다.

따라서 Centroid는 정밀한 위치인식을 위해서 사용하기에는 비효율적이다.

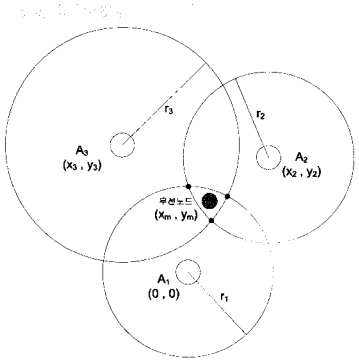
2. Range-based 기법

Range-based 기법은 무선 노드 간 거리를 측정하여 이를 무선 노드의 위치를 인식하는데 사용하는 기법이다. 따라서 Range-based 기법은 무선 노드 간 거리를 측정하여 위치를 계산한다. 무선 노드 간 거리를 측정하기 위해서 수신 신호의 도착 시간, 수신 신호의 세기, 그리고 수신 신호의 들어온 각도를 이용한다. Range-based 위치 인식 기법의 대표적인 예로 TOA(Time Of Arrival), TDOA(Time Difference Of Arrival), ROA(Received signal strength Of Arrival), 그리고 AOA(Angle Of Arrival)가 있다.

1) TOA

무선 노드 간 거리를 측정하는데 신호의 시간 정보를 사용할 수 있다. 일반 무선 신호는 빛의 속도로 전파되기 때문에 송신 노드에서 수신 노드까지 신호를 전송하는데 걸린 시간 tprop에 빛의 속도 c를 곱하여 송신 노드와 수신 노드 사이의 거리 d로 환산할 수 있다.

$$d = c \times t_{prop} \tag{2}$$



(그림 7) TOA 기법을 통한 무선 노드의 위치 인식

TOA는 무선 노드와 anchor들 사이에 시간 동기가 맞아 있는 상태에서 무선 노드가 주기적으로 보낸 시각을 담아 신호를 전송하면, 각 anchor에서 신호가 도착하였을 때 시각을 비교하여 무선 노드와 각 anchor 사이의 거리를 측정할 수 있다. TOA 기반의 위치 인식을 하기 위해서 몇 가지 변수를 정의하겠다. 무선 노드가 신호를 전송하는 시각을 t_0, i번째 anchor가 신호를 수신하는 시각을 t_i 라고 하자. 그리고 c를 빛의 속도 ($3 * 0^8$ m/s) 라고 하자. 무선 노드로부터 i번째 anchor까지 측정된 거리는 다음 식(3)과 같다.

(그림 7)과 같이 무선 노드의 위치 인식을 하기 위해서 적어도 3개 이상의 anchor (A1, A2, A3)가 필요하다. 무선 노드의 좌표를 , i번째 anchor의 좌표를 이라고 하면, 각 anchor로부터 무선 노드의 거리는 식(4)와 같이 표현할 수 있다. 그리고 식(4)를 이용하여 식(5)를 유도할 수 있다.

$$r_i = (t_i - t_0)c \tag{3}$$

$$\begin{aligned} r_1^2 &= (x_1 - x_m)^2 + (y_1 - y_m)^2 \\ r_2^2 &= (x_2 - x_m)^2 + (y_2 - y_m)^2 \\ r_3^2 &= (x_3 - x_m)^2 + (y_3 - y_m)^2 \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} &a_{ij}x + b_{ij}y = c_{ij}, \quad i,j = 1,2,3\,(i < j) \\ &\text{where} \\ &a_{ij} = x_i - x_j, b_{ij} = y_i - y_j, \\ &c_{ij} = \frac{(x_i^2 - x_j^2) + (y_i^2 - y_j^2) + (r_i^2 - r_j^2)}{2} \end{aligned} \tag{5}$$

위의 식(5)를 행렬로 표현하여 식(6)의 최소제곱법을 통해 무선 노드의 위치 $\hat{\mathbf{x}}$ 을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} &\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{A}^T\mathbf{A})^{-1}\mathbf{A}^T c \\ &\text{where} \\ &\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{12} & a_{13} & a_{23} \\ b_{12} & b_{13} & b_{23} \end{bmatrix}, \mathbf{c} = \begin{bmatrix} c_{12} & c_{13} & c_{23} \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{6}$$

2) TDOA

TDOA는 무선 노드와 각 anchor 사이의 거리를 계산할 때 무선 노드가 전송한 신호가 각 anchor에 어떤 시간 차이로 도착하는지를 고려하여 무선 노드의 위치를 계산한다. 따라서 무선 노드는 시간 동기가 맞을 필요가 없이 각 anchor들 사이의 시간 동기만 맞으면 된다. 무선 노드는 주기적으로 신호를 전송하고, anchor들 중에서 가장 먼저 신호를 받은 anchor를 중심으로 각 anchor (A1, A2, A3) 마다 받은 신호의 시간 차이를 가지고 무선 노드의 위치를 계산한다. 가장 먼저 신호를 받은 anchor A1이 신호를 받은 시각을 t_1 이라고 하자. A1과 Ai에 신호가 도달한 시간 차이는 $t_i - t_1$ 이다.

이것을 거리로 환산하면, 무선 노드와 A1사이의 측정된 거리와 무선 노드와 Ai 사이의 측정된 거리의 차이는 식(7)과 같다. 그리고 식(7)에서 구한 r_{i1} 와 식(3)에서 구한 r_i를 응용하여 식(8)을 만들 수 있다.

$$\begin{aligned} r_{r1} &= r_i - r_1 \\ &= (t_i - t_0)c - (t_1 - t_0)c = (t_i - t_1)c \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned} &(r_{r1} + r_1)^2 = K_i^2 - 2x_i x_m - 2y_i y_m + r_1^2 \\ &where\ K_i^2 = x_i^2 + y_i^2,\ i = 2,3(i \neq 1) \end{aligned} \tag{8}$$

식(8)을 정리하여 식(9)를 유도하고, 식(10)에 나타난 것처럼 행렬화 하여 최소제곱법을 적용해 무선 노드의 위치를 계산할 수 있다.

$$-x_i x_m - y_i y_m = r_{i1} r_1 + \frac{1}{2}(r_{i1}^2 - K_i^2) \tag{9}$$

$$\begin{aligned} &\mathrm{Hx} = r_1 \mathrm{c} + \mathrm{d} \Rightarrow \hat{\mathrm{x}} = (\mathrm{H}^T\mathrm{H})^{-1}\mathrm{H}^T(r_1\mathrm{c} + \mathrm{d}) \\ &\text{where} \\ &\mathrm{H} = \begin{bmatrix} x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \end{bmatrix}, c = \begin{bmatrix} -r_{21} \\ -r_{31} \end{bmatrix}, d = \frac{1}{2}\begin{bmatrix} K_2^2 & -r_{21}^2 \\ K_3^2 & -r_{31}^2 \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{10}$$

3) ROA

무선 노드가 anchor로부터 신호를 수신할 때 거리에 따른 신호 감쇄 모델을 사용하여 이용하여 거리를 측정할 수 있다. 식(11)은 거리에 따른 신호 감쇄 모델의 예이다.

$$L_P = L_0 + 10\alpha \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X(0,\sigma^2) \tag{11}$$

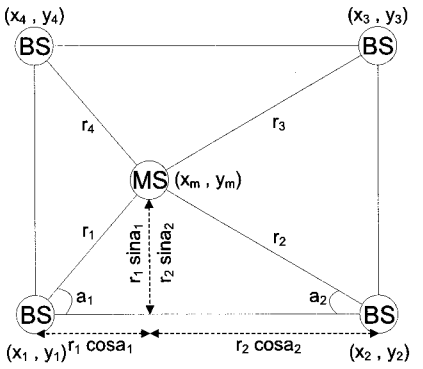
L_P는 총 감쇄된 신호의 양이다. L_0는 단위 거리 d_0만큼 떨어졌을 때의 감쇄된 신호의 양으로 일반적으로 단위 거리는 1m이다. 그리고 d는 anchor와 무선 노드 사이의 실제 거리이다. α는 거리에 따라 신호감쇄가 어느 정도 되는지에 대한 변수(path-loss exponent)로써 통신 환경마다 다르다. 변수 X는 쉐도우 페이딩 변수로 일반적으로 평균이 0이고 분산이 σ^2인 가우시안 랜덤 변수이다. 신호 감쇄 모델에서 α와 쉐도우 페이딩의 σ^2은 통신 환경에 따라 달라진다. 무선 노드와 anchor 사이의 거리를 측정하기 위해서 식(12)를 사용한다.

$$d = d_0 \times 10^{\frac{L_P - L_0}{10\alpha}} \tag{12}$$

위식은 쉐도우 페이딩에 대한 변수를 포함하지 않고 있다. 그 이유는 쉐도우 페이딩을 정확히 예측할 수 없기 때문이다. 그렇기 때문에 무선 노드가 신호 세기를 기반으로 위치 인식을 할 경우, 쉐도우 페이딩으로 인해 큰 오차가 발생할 수 있다.

4) AOA

무선 노드의 위치를 인식할 때, 신호의 수신 각도를 이용하여 위치를 인식할 수 있다. (그림 8)을 보면 4개의 BS가 있다. BS는 앞서 보았던 anchor와 같은 역할을 하는 노드이고, MS는 무선 노드를 의미한다. 그리고 ri는 각 BS로부터 측정된 거리이고, 는 각 BS로부터 수신된 신호의 각도이다. (그림 8)을 보고 BS1과 MS 사이의 식(13)을 만들 수 있다.



(그림 8) AOA 기법을 통한 무선 노드의 위치 인식

$$\begin{bmatrix} x_m \\ y_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r_1 \cos\alpha_1 \\ r_1 \sin\alpha_1 \end{bmatrix} \tag{13}$$

식(13)을 4개의 BS에 적용하여 식(14)와 같이 표현할 수 있다. 그리고 식(14)를 최소제곱법에 적용하여 식(15)와 같이 무선 노드의 위치를 계산할 수 있다.

$$\mathrm{H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \mathrm{x} = \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \end{bmatrix}, \mathrm{b} = \begin{bmatrix} x_1 + r_1\cos\alpha_1 \\ y_1 + r_1\sin\alpha_1 \\ x_2 - r_2\cos\alpha_2 \\ y_2 + r_2\sin\alpha_2 \\ x_3 - r_3\cos\alpha_3 \\ y_3 - r_3\sin\alpha_3 \\ x_4 + r_4\cos\alpha_4 \\ y_4 - r_4\sin\alpha_4 \end{bmatrix} \tag{14}$$

$$x = (H^T H)^{-1} H^T b \quad (15)$$

III. 위치 인식 기법의 응용

앞서 다룬 위치 인식 기법들을 통해 획득한 위치정보를 응용하여 제공할 수 있는 분야 및 서비스에 대해서 서술하겠다. 위치정보는 미아 방지, 치매노인 및 장애인 보호, 물품 도난 방지 등 보안 분야에 응용될 수 있다. 무선 노드는 미아나 치매 노인, 장애인, 중요한 물건 등에 부착되어 위치정보를 제공한다. 따라서 위치정보를 필요로 하는 사람이 실시간으로 해당 위치정보를 파악하여, 실종이나 도난을 방지할 수 있다.

또한 RTLS(Real-Time Location System) [24][25][26] 기반 서비스를 통해 RFID 태그의 위치 정보를 이용하여 물류 관리를 할 수 있다. 하루에도 수천에서 수만 개의 생산품이 저장, 관리, 배송되는 물품 창고의 경우, 물건을 분실하거나 잘못 배송하는 문제가 자주 발생한다. 따라서 어디에 어떤 물건이 위치해 있는지 알고 있다면, 보다 효과적으로 물류를 관리할 수 있다.

그리고 가정자동화나 건물자동화 같이 어떤 건물이나 집에 들어갔을 때 사람의 위치를 파악하여 전등을 켜주거나, 에어컨이나 히터를 통해 온도를 쾌적하게 맞춰주는 서비스를 자동화하여 제공할 수 있다.

그 외에도 재해 및 재난 발생 시 응급환자의 위치정보나 소방관의 위치정보를 통한 효율적인 구조 작업, GPS를 통한 차량 네비게이션 및 차량 위치에 따른 다양한 텔레메틱스 서비스 제공, 군 통신에서 부대원이나 이동 장비의 위치를 기반으로 한 효과적인 지휘 및 통제 등에 사용될 수 있다.

〈표 1〉은 지금까지 알아보았던 무선 노드의 위치 정보를 활용하여 응용할 수 있는 분야를 정리한 것이다.

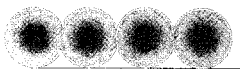
〈표 1〉 위치 인식 시스템의 응용 분야

응용 분야	설 명
Security	미아 방지, 노약자 보호 및 물품 도난 방지
물류 시스템	물류 관리, 개별 배송 시스템 최적화
창고, 재고관리	운송 및 배달 시각에 따른 자동 물품 목록 작성
건물 자동화	상황인지를 위한 각종 제어 장치의 자동화
가정 자동화	거주자 행동 감지에 따른 실내 환경 조절
구호 시스템	재해, 재난 시 응급환자의 위치파악 및 구조
Healthcare	환자, 의사의 위치 파악 및 자동 의료기록 갱신
텔레메틱스	차량내의 안전 및 엔터테인먼트 서비스 제공
Military	대원들의 위치를 파악하여 지휘 및 통제

IV. 결 론

무선 노드의 위치 정보를 획득하기 위한 기술은 오래 전부터 연구되어 왔으나 실제 상업적으로 널리 쓰이는 위치 인식 기술은 GPS 기술 정도밖에 없는 것이 현실이다. 본 원고에서는 기존에 연구되어 왔던 위치 인식 기법들을 분류하고 정리하여 설명하였고, 무선 노드의 위치 정보를 어떤 분야에 응용할 수 있는지 알아보았다.

본 원고에서 볼 수 있듯이, 무선 노드의 위치 인식 기술은 많은 분야 응용될 수 있고, 연구적인 측면이나 산업적인 측면에 모두 이바지할 수 있는 기술이다. 최근 산업적인 측면에서는 유비쿼터스 서비스에 대한 수요가 점점 증가하고 있고, 연구적 측면에서는 위치 인식 기술 자체에 대한 연구뿐만 아니라 위치 정보를 기반으로 한 다른 통신 기술들도 연구되고 있다. 따라서 무선 노드의 위치 인식 기술은 이러한 수요를 뒷받침 해줄 수 있는 중요한 핵심 기술이라고 볼 수 있다.



[1] A. H. Sayed, A. Tarighat, N. Khajehnouri, "Network-Based Wireless Location: challenges faced in developing techniques for accurate wireless location information", IEEE Signal Processing Magazine, vol. 22, pp.24-40, July 2005.

[2] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, H. Balakrishnan, "The Cricket Location-Support System", ACM MobiCom2000, pp.32-43, 2000.

[3] N. Priyantha, A. Miu, H. Balakrishman, and S. Teller,

"The Cricket Compass for context-aware mobile applications", ACM MobiCom2001, pp.1-14, July 2001.

[4] A. Smith, H. Balakrishnan, M. Goraczko, and N. Priyantha, "Tracking Mobile Devices with the Cricket Location System", ACM MobiSys '04, pp.190-202, June 2004.

[5] IEEE 802.15.4a D7 (Draft), Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks, January 2007.

[6] Y. Ko and N. Vaidya, "Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Adhoc Networks", ACM MobiCom '98, pp.66-75, October 1998.

[7] V. Navda, A. P. Subramanian, K. Dhanasekaran, A. Timm-Giel, S. R. Das, "MobiSteer: Using Steerable Beam Directional Antenna for Vehicular Network Access", ACM MobiSys '07, pp.192-205, June 2007.

[8] L. Lazos and R. Poovendran, "SeRLoc: Secure Range-Independent Localization for Wireless Sensor Networks", ACM WiSe '04, pp.21-30, October 2004.

[9] T. He, C. Huang, B. M. Blum, J. A. Stankovic, and T. F. Abdelzaher, "Range-Free Localization Schemes in Large Scale Sensor Networks", MobiCom '03, pp.81-95, September 2003.

[10] D. Niculescu and B. Nath, "Ad-Hoc Positioning Systems (APS)", IEEE GLOBECOM 2001, pp.2926-2931, November 2001.

[11] N. Bulusu, J. Heidemann and D. Estrin, "GPS-less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices", IEEE Personal Communications Magazine, vol.7, issue.5, pp.28-34, October 2000.

[12] J. Caffery, jr. "A New Approach to the Geometry of TOA Location", IEEE Vehicular Technology Conference Fall 2000, vol. 4, pp.1943-1949, September 2000.

[13] P. Chen, "A Non-Line-of-Sight Error Mitigation Algorithm in Location Estimation", IEEE Wireless Communications and Networking Conference, vol. 1, pp.316-320, September 1999.

[14] P. Bahl and V.N. Padmanabhan, "RADAR: An in-bulding RF-based user location and tracking system", IEEE INFOCOM 2000, vol. 2, pp. 775-784, March 2000.

[15] X. Li and K. Pahlavan, "Super-resolution TOA estimation with diversity for indoor geolocation", IEEE Trans. Wireless Communication, vol. 3, pp.224-234, January 2004.

[16] L. Cong and W. Zhuang, "Hybrid TDOA/AOA mobile user location for wideband CDMA cellular systems", IEEE Trans. Wireless Communication, vol. 1, no. 3, pp.439-447, July 2002.

[17] S. Al-Jazzar, J. Caffery, and H. R. You, "A scattering model based approach to NLOS mitigation in TOA location systems", IEEE Vehicular Technology Conference Spring, vol. 2, pp.861-865, 2002.

[18] X. Wang, Z. Wang, and B. O' Dea, "A TOA-based location algorithm due to NLOS propagation", IEEE Trans. Vehicular Technology, vol. 52, no. 1, pp.112-116, January 2003.

[19] B. Alavi, N. Alsindi, K. Pahlavan, "UWB Channel Measurements for Accurate Indoor Localization", MILCOM 2006, pp.1-7, October 2006.

[20] IEEE 802.15.4, Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks, October 2004.

[21] X.Li, "RSS-Based Location Estimation with Unknown Pathloss Model", IEEE Trans. Wireless Communications, vol. 5, no. 12, pp.3626-3633, December 2006

[22] M. Robinson and I. Psaromiligkos, "Received Signal Strength Based Location Estimation of a Wireless LAN Client", IEEE WCNC 2005, pp.2350-2354, March 2005.

[23] Y. T. Chan, W. Y. Tsui, H. C. So, and P. Ching, "Time-of-Arrival Based Localization Under NLOS Conditions", IEEE Trans. Vehicular Technology, vol. 55, no. 1, pp.17-24, January 2006

[24] http://www.aeroscout.com/

[25] http://www.ekahau.com/

[26] http://www.innerwireless.com/vision-over.asp/

[27] http://www.gps.gov/
[28] http://www.hunterpro.com/

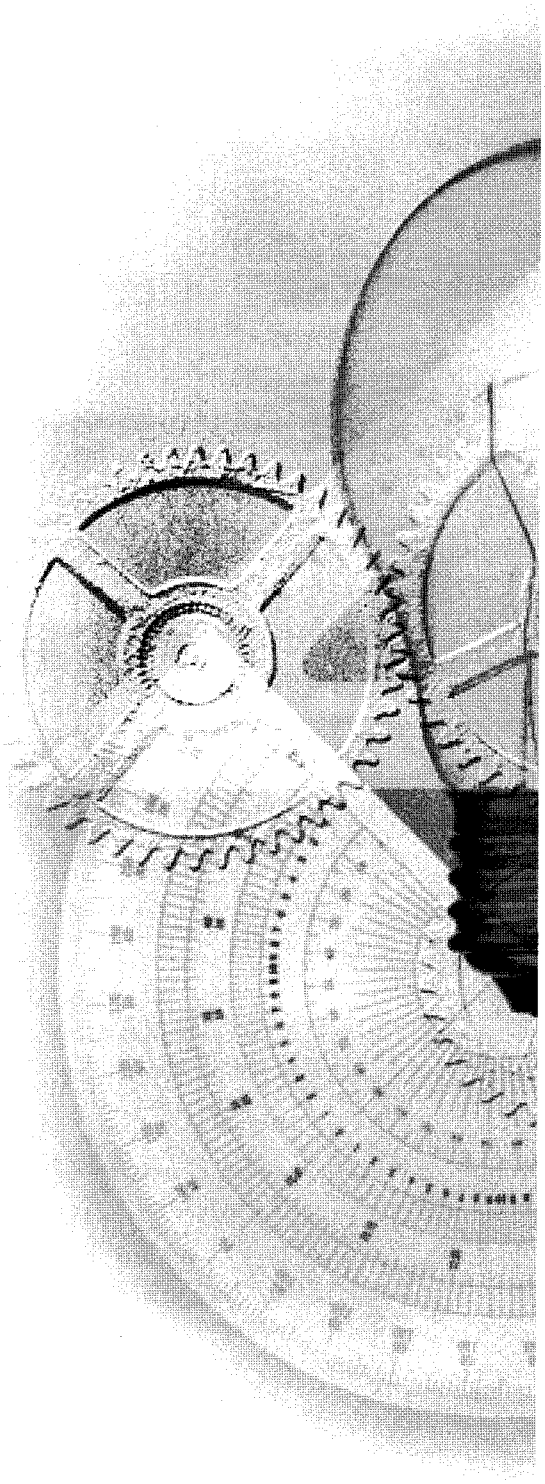
약 력

백 호 기

2006년 아주대학교 정보및컴퓨터공학부 학사
2007년 ~ 현재 아주대학교 정보통신전문대학원 석사과정
관심분야 : 위치 인식, 센서 네트워크, Wireless MAC

이 지 혜

2004년 ~ 현재 아주대학교 정보및컴퓨터공학부 학사과정
관심분야 : 위치 정보 관리, 위치 인식

임 재 성

1983년 아주대학교 전자공학과 학사
1985년 KAIST 영상통신 석사
1994년 KAIST 디지털통신 박사
1985년 ~ 1988년 대우통신 종합연구소 전임연구원
1988년 ~ 1995년 디지콤 정보통신연구소 책임연구원
1995년 ~ 1998년 SK텔레콤 중앙연구원 책임연구원
1998년 ~ 현재 아주대학교 정보통신 전문대학원 교수
2006년 ~ 현재 아주대학교 국방전술네트워크연구센터장
관심분야 : 이동통신, 무선네트워크, 국방 전술통신