센서 네트워크에서의 이동 객체 위치인식 기법

김태훈*, 탁성우*
*부산대학교 컴퓨터공학과
e-mail : ninkth@hotmail.com

A Localization Technique of Mobile Object in Wireless Sensor Networks

Taehoon Kim*, Sungwoo Tak*
*Dept. of Computer Engineering, Pusan National University

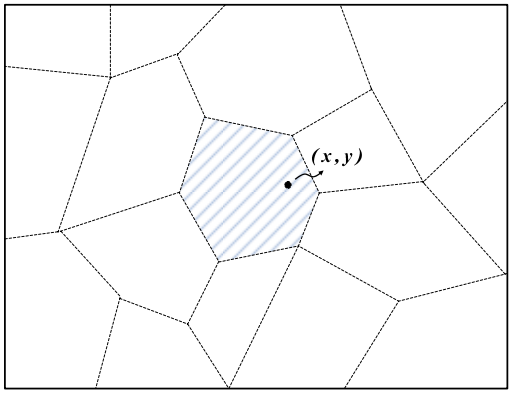
요 약

본 논문에서는 최근 필요성이 증가하고 있는 센서 네트워크에서의 위치인식 기법을 제안한다. 기존의 위치인식 기법들이 정확한 좌표 값을 측정하고자 하는데 반해 제안 기법은 지역 단위의 위치인식을 기반으로 실제 응용 단계에서 의미 있는 정보를 직접적으로 구할 수 있다. 또한 거리정보에 독립적인 방법을 사용하여 추가적인 장비의 필요 없이 기존의 WLAN, WPAN 과 같은 저가의 표준 장비만을 사용하여 구현할 수 있다. 본 논문의 기법은 큰 규모로 배포되어 있는 센서 네트워크 환경에서 뛰어난 성능을 보일 수 있으며, 셀이나 공간단위의 위치인식이 필요한 응용 서비스에 적합하다.

1. 서론

최근 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)에 대한 관심이 높아지고 있다. 무선 센서 네트워크는 저전력으로 동작하는 프로세서와 무선 송수신 칩을 장착한 초소형의 센서 노드를 기반으로 한다. 센서 노드를 이용해서 온도, 습도, 조도, 압력 등 다양한 센서 정보를 얻을 수 있으며, 이러한 정보를 수집하여 많은 분야에 응용이 가능하다. 이러한 센서 정보에 위치에 대한 정보를 추가하면 더욱 유용한 정보를 얻을 수 있으며, 위치 정보를 효율적으로 얻을 수 있게 하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 센서 네트워크에서의 위치인식 기법은 거리 정보를 기반으로 하는 방식과 근접 정보를 기반으로 하는 방식으로 나뉜다. 거리 정보를 기반으로 하는 위치인식 기법에는 TOA, AOA, RSSI 등이 있으며[1]-[5], 근접 정보를 기반으로 하는 위치인식 기법에는 Centroid[6], DV-Hop[7], APIT[8]가 있다. 센서 네트워크에서는 다중 홉(Multi hop)의 애드 혹(Ad hoc) 환경에서 적합한 위치인식 기법을 필요로 하며 이는 효율적이고 정확한 위치인식 기법의 설계를 더욱 어렵게 하고 있다.

이러한 상황에서 기존의 센서네트워크 위치인식 기법에 대한 연구는 센서의 정확한 좌표지점을 찾는데 초점을 맞추고 있다. 그러나 실제 응용분야에서 요구되는 위치정보는 좌표지점이 아니라 센서의 이벤트가 발생한 지역이다. 좌표 값은 점을 나타내기 때문에 그 자체로 사람이 인식하는 것은 어려우며, 사람이 인식할 수 있는 단위는 건물, 지형, 행정구역과 같은 면적이나 부피가 존재하는 큰 공간이다. 그림 1 에서 사람이 인식하는 공간이 다각형으로 나누어져 있다. 기존의 기법은 2 차원 좌표를 먼저 구한 다음에 그 좌표를 이용해서 이벤트가 발생한 지역을 추정한다. 여기서 문제는 좌표 값의 오차가 커지면 좌표 값이 지시하는 지역이 완전히 틀려질 수 있다는 것이다. 그래서 기존의 위치인식 기법은 보다 정확한 좌표를 획득하기 위해서 GPS, UWB 와 같은 고가의 장비를 사용한다. 그러나 이러한 고가의 장비는 많은 수의 센서노드가 필요한 센서 네트워크환경에서는 사용이 어렵다. 이에 본 논문은 기존의 표준 무선 장비만을 사용하여 구현할 수 있는 단위지역(Unit Region) 기반의 위치인식 기법을 제안한다. 이 기법은 위치인식 단계에서 지역 단위를 인식하여 일반 무선 장비만으로도 정확한 지역 인식이 가능하도록 한다.



(그림 1) 단위지역기반의 위치인식

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07 국토정보 C04)에 의해 수행되었습니다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 센서네트워크에서의 위치인식 문제를 정의하고, 3 장에서는 단위지역 기반의 위치인식 기법을 제안한다. 4 장에서는 결론을 말한다.

2. 센서 위치인식

본 장에서는 단위지역기반의 이동객체 추적기법을 설계하기 위해 센서네트워크에서의 위치인식 문제를 먼저 정의한다.

먼저, 센서네트워크가 동작하는 지역은 정적이라고 가정한다. 센서네트워크의 배포 (Deployment) 지역 R 은 2 차원 공간상의 길이 l 을 가지는 정사각형 $R=[0,1]^2$ 으로 정의된다. 배포지역에 두 가지의 종류의 센서노드 존재하며, 이는 자신의 위치를 알 수 있는 비컨노드(Beacon Node)와 자신의 위치를 스스로 알 수 없는 이동객체 (Moving Object)이다. 본 논문에서 위치인식의 대상은 이동객체이다.

비컨노드의 집합은 N 으로 정의되며, 비컨노드의 수는 $|N|=n$ 으로 정의된다. 비컨노드 $u \in N$ 은 2 차원 실수 좌표계에서 자신의 위치 (x_u, y_u) 를 정확하게 알고 있다. 비컨노드의 위치는 사용자가 수동으로 설치 시에 입력하거나, GPS 를 사용하여 알 수 있다고 가정한다.

이동객체 $v \in MO$ 는 인식반경 r 을 가진다. v 의 인식반경 내부에 있는 비컨노드들은 v 와 통신이 가능하며, 자신의 위치정보를 전달해준다. v 와 통신이 가능한 비컨노드 집합은 $C(v)$ 으로 나타낸다. 인식반경 r 은 비컨노드 u 가 보낸 무선신호의 신호세기인 $P_{u\to v}$ 에 의해 결정된다. $P_{u\to v}$ 는 전송 거리에 따라 감소하며, 임계 값보다 작아지면($P_{u\to v}<\delta$), 인식반경에 벗어나게 된다. IEEE802.11, IEEE802.15.4 표준 장비를 비롯하여 대부분의 무선 장비들은 수신 신호세기를 측정할 수 있으며, 본 논문의 이동객체 또한 수신된 신호의 세기를 알 수 있다.

서론에서 언급한 바와 같이 위치인식은 대부분 이동객체의 지역단위 추적에 응용된다. 실제 위치인식의 기준이 되는 단위지역(Unit Region) 은 $UR_i=\{p_1^i, p_2^i, ..., p_m^i\}$ 와 같은 2 차원 공간상의 다각형으로 정의할 수 있다. 단위지역은 서로 겹치지 않으며 ($UR_i \cap UR_j=\phi, \forall i, j$), 모든 배포지역은 하나의 단위 지역에 포함된다 ($\sum UR_i = R$). 본 논문에서 해결하고자 하는 이동객체의 위치인식 문제는 이동객체가 존재하는 단위지역을 찾는 것이며, 이는 아래와 같이 정의된다.

정의 1. 단위지역기반의 위치인식 문제

배포지역 R 에 비컨노드 N 이 조밀하게 분포되어 있을 때, 이동객체 v 의 인식영역 r 과 비컨노드로부터 수신된 신호세기 $P_{u\to v}$ 를 이용하여 v 가 속한 단위지역 UR_i 내부에 위치하는 지를 판단한다.

아래에서는 위에서 정의한 위치인식문제를 해결하기 위하여 단위지역기반 위치인식 문제의 특성을 분석한다. 단위지역기반의 위치인식 문제에서 이동객체가 단위지역의 내부에 존재하는 비컨노드와 통신이 가능하고 외부의 비컨노드와 통신이 불가능하다면, 그림 2(a)와 같이 단위지역 내부에 있다고 추측할 수 있다. 반대로 단위지역의 외부에 존재하는 비컨노드와 통신이 가능하고 내부의 비컨노드와 통신이 불가능하다면, 그림 2(b)와 같이 단위지역 외부에 있다고 추측할 수 있다. 이를 일반화하면 정리 1 과 같다.

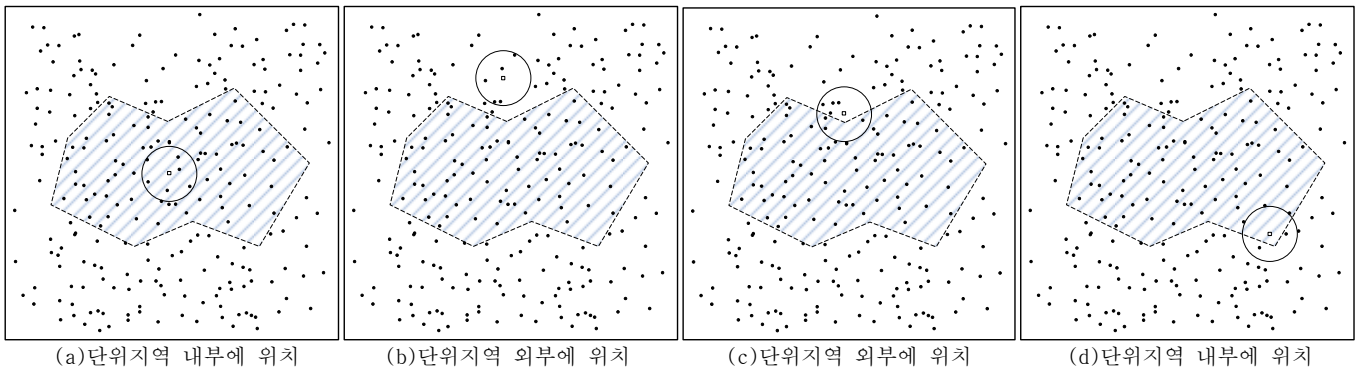
정리 1. 비컨노드가 충분히 많은 경우에 이동객체가 단위지역 내부의 비컨노드와 통신이 가능하면서 외부의 비컨노드와 통신이 불가능하면,이동객체는 단위지역의 내부에 존재한다.

증명. $n\to\infty$ 이라고 가정하자. 그러면, 이동객체 v 의 인식영역 내에 있는 비컨노드의 수도 무한하다 ($|N\cap C(v)|\to\infty$). 또한 단위지역 UR_i 외부에 있는 비컨노드의 수도 무한하다($|N\cap\overline{UR_i}|\to\infty$). 그래서 이동객체의 인식영역과 단위지역의 외부가 겹칠 경우 이동객체는 단위지역외부의 비컨노드와 통신이 가능하다[$\because |(N\cap\overline{UR_i})\cap(N\cap C(v))|\to\infty$].

정리2. 비컨노드가 충분히 많은 경우에 이동객체가 단위지역 외부의 비컨노드와 통신이 가능하면서 내부의 비컨노드와 통신이 불가능하면,이동객체는 단위지역의 외부에 존재한다.

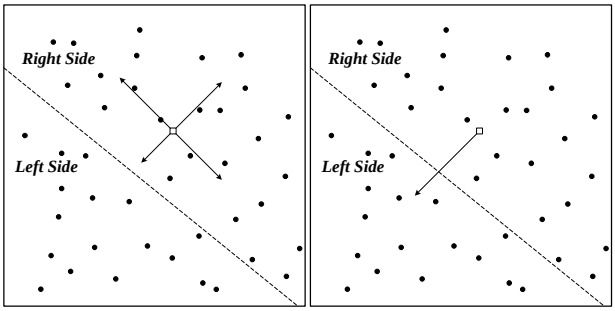
증명. 정리1과 같다.

비컨노드의 수가 충분히 많은 경우에는 단위지역내의 존재여부를 판단할 수도 있다. 하지만 모든 경우에서 가능한 것은 아니며, 그림 2 의 (c),(d)와 같은 상황이 발생한다.



(a)단위지역 내부에 위치 (b)단위지역 외부에 위치 (c)단위지역 외부에 위치 (d)단위지역 내부에 위치

(그림 2)통신가능영역



(a) 접선의 한쪽 면에서 이동 (b) 지역의 접선을 통과

(그림 3)통신가능영역

그림 2(c)에서 이동객체는 단위지역의 외부에 존재하지만, 내부의 비컨노드와도 통신이 가능하다. 그리고 그림 2(d)의 경우에는 단위지역의 내부에 존재하지만, 외부의 비컨노드와도 통신이 가능하다. 이러한 경우에는 정리 1 을 이용하여 단위지역내의 존재여부를 알 수 없다.

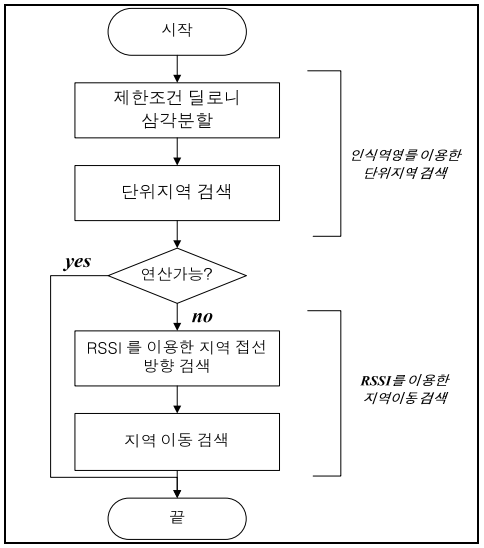
그림 2(c),(d)의 상황에서 단위지역을 추적을 하기 위해 객체의 이동성과 무선신호의 RSSI(Received Signal Strength Indicator)를 이용한다. 무선신호의 RSSI 는 거리에 따라 감소하는 경향을 보인다. 무선 채널이 불규칙적이 기 때문에 RSSI 를 집적적으로 거리를 예측하는데 쓰기는 어렵지만, 거리의 감소와 증가는 충분히 추정할 수 있다[5].

그림 3(a)에서는 이동객체가 단위지역 접선의 오른쪽 면에서 이동하고 있다. 접선 내에서 이동하는 경우에는 비컨노드와의 거리가 일률적으로 증가 감소현상을 보이지 않는다. 일부 비컨노드와의 거리는 가까워지고, 다른 비컨노드와의 거리는 멀어지게 된다.

그림 3(b)은 이동객체가 단위지역의 접선을 통과하여 다른 면으로 이동하는 경우를 나타내고 있다. 이동객체가 접선의 오른쪽 면에서 왼쪽 면으로 이동하는 순간 오른쪽 면에 위치한 비컨노드와의 거리는 멀어진다. 이를 이용하여 이동객체가 다른 단위지역으로 이동하였음을 알 수 있다.

< 표 1> 알고리즘 1

알고리즘	단위지역검색(v , $C(v)$, UR_i)
입력.	v , $C(v)$, UR_i
출력.	v 가 UR_i 에 포함되는지에 대한 판단
1.	$T \leftarrow \phi$
2.	$T \leftarrow CDT\ (UR_i)$
3.	for each $t \in T$ do
4.	$X \leftarrow t \cap C(v)$
5.	end-loop
6.	if $\mid X \mid = \mid C(v) \mid$ then
7.	return INTERIOR
8.	if $\mid X \mid = 0$ then
9.	return EXTERIOR
10.	return NON-DETERMINED



(그림 4)이동객체 위치인식 기법

3. 이동객체 위치인식 기법

본 장에서는 2 장에서 설명한 단위지역기반의 위치인식 의 특성에 따라 이동객체를 추적하기 위한 알고리즘을 설명한다.

그림 4 의 이동객체 위치인식 기법은 크게 두 단계로 나뉘어진다. 먼저, 이동객체의 인식영역을 이용한 단위지역 검색단계이다(알고리즘 1). 만약에서 첫 번째 단계에서 위치확인이 불가능하다면, 객체의 이동방향을 이용하여 단위지역 사이의 이동을 확인한다(알고리즘 2). 각 단계에 대한 자세한 설명은 다음과 같다.

표 1 의 알고리즘 1 에서는 정리 1,2 를 이용하여 이동객체가 단위지역에 위치하는지를 검색한다. 단위지역은 다각형으로 표현되는데, 이를 제한된 딜로니 삼각분할(Constrained Delaunay Triangulation)

< 표 2> 알고리즘 2

알고리즘	지역이동검색(v , $C(v)$, UR_i)
입력.	v , $C(v)$, UR_i
출력.	v 가 UR_i 에서 이동하는지에 대한 판단
1.	$Count := 0$
2.	$T \leftarrow \phi$
3.	$T \leftarrow CDT\ (UR_i)$
4.	for each $t \in T$ do
5.	for each $u \in N \cap t$ do
6.	if $P_{u \rightarrow v}$ is increasing then
7.	$Count := Count + 1$
8.	end-loop
9.	end-loop
10.	if $Count = 0$ then
11.	return MOVING
12.	if $Count = \mid C(v) \mid$ then
14.	return STAYING

알고리즘을 이용하여 삼각분할 한다. 분할된 삼각형 집합을 이용해서 인식영역내의 비컨노드 $C(v)$ 가 단위지역에 포함되는지를 검사한다. 단위지역은 오목(Concave)다각형일 수도 있지만, 삼각분할을 이용하여 포함여부를 판단할 수 있다. 인식영역내의 비컨노드 $C(v)$ 가 단위지역에 걸쳐있다면, 다음 단계로 넘어가게 되며, 아닌 경우에는 내 외부를 판단한다.

표 2 의 알고리즘 2 에서는 RSSI 의 변화를 이용하여 지역이동을 검색한다. RSSI 의 변화는 거리의 변화로 간주할 수 있으며, 이를 이용하여 단위지역의 접선을 통과하는 것을 알 수 있다. 이를 통해 접선 근처에서 바뀐 위치를 알 수 있으므로, 어떤 단위지역으로 이동했는지를 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 단위지역기반의 위치인식문제를 정의하고 이를 해결하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 기존의 위치인식 기법들이 좌표지점을 연산하여 해당 지역을 찾는데 비해서 제안 기법은 해당 지역을 보다 간단한 장비만을 이용하여 지역에 대한 위치 정보를 획득할 수 있다.

향후 연구과제로써 제안 기법의 비교평가를 위한 실험이 필요하다. 본 논문에서는 센서네트워크 내부에 비컨노드가 충분히 많다는 것을 가정하였다. 그러나 이는 모든 응용환경에서 만족할 수는 없는 조건이며, 비컨노드의 수에 따라 성능의 변화를 분석할 필요가 있다. 그리고 다른 거리측정이 필요 없는 위치인식 기법들과 성능을 비교 분석해야 한다.

참고문헌

[1] G. Sun, J. Chen, W. Guo, and K.J.R. Liu, “Signal processing techniques in network- aided positioning,’’ IEEE Signal Processing Mag., vol. 22, no. 4, pp. 12–23, July 2005.

[2] F. Gustafsson and F. Gunnarsson, “Mobile positioning using wireless networks,’’ IEEE Signal Processing Mag., vol. 22, no. 4, pp. 41–53, July 2005..

[3] J. Hightower and G. Borriello, “Location systems for ubiquitous computing,”IEEE Computer, vol. 34, no. 8, pp. 57–66, Aug. 2001.

[4] K. Pahlavan, X. Li, and J.P. Makela, “Indoor geolocation science and technology,”IEEE Commun. Mag., vol. 40, no. 2, pp. 112–118, Feb. 2002.

[5] P. Bahl and V.N. Padmanabhan, “RADAR: An In-Building RF Based User Location and Tracking System,” Proc. INFOCOM, pp. 775-784, 2000.

[6] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin: GPS-less Low-Cost Outdoor Localization for Very Small Devices, IEEE Personal Communications Magazine, Oct. 2000

[7] D. Niculescu and B. Nath, Ad hoc Positioning System (APS), IEEE Globecom ’01, San Antonio, TX, Nov. 2001

[8] T. He, C. Huang, B.M. Blum, J.A. Stankovic and T. Abdelzaher, Range-Free Localization Schemes