

베이지 이론을 이용한 무선 센서 네트워크 기반의 위치 인식 기술

공영배, 박귀태
고려대학교 전자전기공학과

Distributed localization using Bayes' rule in wireless Sensor Networks

Young-Bae Kong, Gui-Tae Park

Dept. of Electronics and Electrical Engineering, Korea University

Abstract - 무선 센서 네트워크에서 위치인식 기술은 데이터 수집, 라우팅, 위치기반 서비스와 같은 기술에 필수적인 기술이다. 본 논문에서는 베이지 이론을 이용한 그리드방식의 분산형 위치 인식기술을 제안한다. 이 기법은 센서 노드들이 받은 신호세기를 바탕으로 하여 그리드를 구성해서 베이지 이론을 이용하여 가장 큰 확률을 갖는 그리드를 자신의 위치로 인식하는 방식이다. 우리는 시뮬레이션을 통하여 기존의 방식보다 제안된 알고리즘이 정확한 위치를 갖으며, 더욱 효율적인 연산을 수행함을 알 수 있다.

1. 서 론

무선 센서 네트워크는 많은 수의 무선 센서 노드들이 특정 지역에 일정한 형태, 혹은 무작위적으로 분포되어 해당 이벤트가 발생했을 경우에 사용자에게 이벤트 데이터를 전송하게 된다. 이러한 무선 센서 네트워크는 환경 데이터 모니터링, 로봇, 군사 기술과 같은 다양한 어플리케이션을 갖는다 [1]. 무선 센서 네트워크에서 위치인식 기술은 해당 이벤트의 위치를 사용자에게 알려주거나, 지역적인 라우팅 그리고 위치기반의 서비스를 제공과 같은 것에 필수적인 기술이다. 이러한 위치인식은 기본적으로 노드들간의 상대 거리를 received signal strength(RSS), time of arrival(TOA), angle of arrival(AOA), time difference of arrival(TDOA) 등을 이용하여 자신의 위치를 알지 못하는 노드들의 위치를 측정한다. 이러한 방식 중에서 RSSI를 이용하여 거리를 측정하는 방식은 추가적인 하드웨어를 필요로 하지 않고 상대적으로 가격이 낮기 때문에 다른 방식에 비하여 많은 장점을 갖는다. 하지만 이러한 RSSI방식의 위치인식은 신호의 세기가 multi-path fading, shadowing effect, noise와 같은 영향을 받기 때문에 정확한 위치를 측정하는데 어려움을 갖는다. 또한 기존의 중앙집중적인 위치 인식 알고리즘은 많은 자원과 연산 시간을 필요로 하므로 많은 수의 노드들로 이루어진 무선 센서 네트워크에 적용하기에는 적당하지 않다. 따라서 무선 센서 네트워크 위치인식 기술은 RF신호의 불확실성을보상해주는 정확성, 실시간 위치 측정을 위한 알고리즘의 단순성, 마지막으로 대규모 네트워크에도 적용할 수 있는 분산적인 특성을 갖고 있어야 한다.

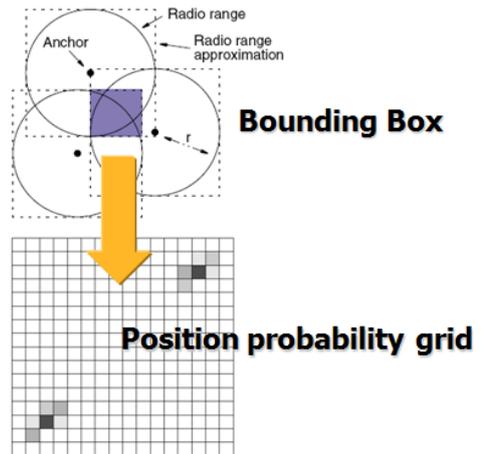
본 논문에서는 베이지 이론을 이용한 그리드방식의 분산형 위치 인식 알고리즘을 제안한다. 이 방식은 먼저 위치를 아는 각각의 레퍼런스 노드들로부터 받은 신호세기를 기반으로 하여 Bounding Box [2]를 이용해서 일정한 단위의 그리드를 형성한다. 다음으로 각각의 그리드는 베이지 이론을 이용하여 위치를 알고자 하는 노드들이 해당 그리드에 있을 확률 값을 계산하고, 이러한 확률값 중에서 가장 큰 값을 갖는 그리드를 자신의 위치로 결정한다. 본 기법은 기존의 분산형 방식보다 높은 정확성을 갖고 있으며, 분산형 방식을 적용하여 연산 시간을 단축시켜서 실시간 위치인식을 가능하게 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 관련 연구 동향에 대해 기술한다. 3장에서는 제안한 알고리즘에 대해 기술한다. 다음으로 4장에서는 시뮬레이션 결과 및 분석에 대해 논의한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 계획에 대해 논의한다.

2. 본 론

2.1 관련 기술 동향

무선 센서 네트워크 기반의 위치인식 기술은 다양하게 연구되어지고 있으며, 이러한 기술들은 크게 range-based방식과 range-free방식으로 나누어진다. Range-free 방식은 위치를 알고있는 레퍼런스 노드와 위치를 모르는 블라인드 노드들간의 거리를 계산하지 않고 블라인드 노드들의 위치를 측정하는 방식이다. Centroid [2]는 블라인드가 수신한 레퍼런스 노드들의 중심을 자신의 위치로 결정하는 방식이다. APIT[3]는 수신된 레퍼런스 노드들이 삼각형을 이루는 면적이 모두 중첩되는 영역의 중점을 자신의 위치로 결정하는 방식이다.



<그림 1> 제안된 알고리즘

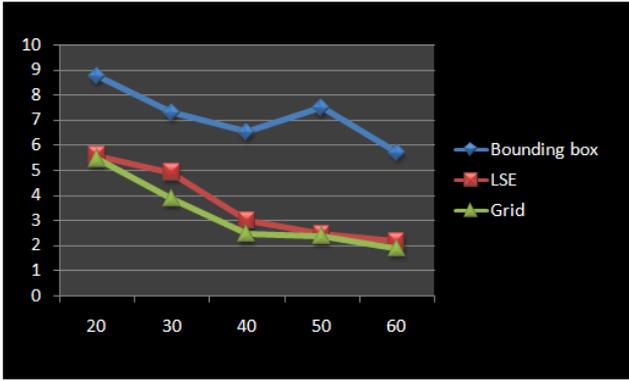
Bounding box [4]는 수신된 레퍼런스 노드들이 형성하는 box들의 중첩되는 영역의 중점을 자신의 위치로 결정하는 방식이다. 이러한 range-free방식은 연산이 간단하고 분산적이기 때문에 실시간 위치인식이 가능하며, 신호 세기에 따른 거리측정을 하는 range-based 방식에 비하여 노이즈에 강한 특성을 갖는다. 하지만, range-based 방식에 비해서 정확한 위치를 얻는 것이 어려우며, 정확한 위치를 얻기 위해서는 레퍼런스 노드들의 수를 증가시켜야 한다. Range-based 방식은 RSSI로부터 블라인드 노드와 레퍼런스 노드간 거리를 계산하고, 이를 바탕으로 multi-lateration을 이용하여 블라인드 노드의 위치를 측정하는 방식이다. 이러한 대표적인 방식은 Maximum-likelihood-estimation이다. RADAR [5]와 SpotOn [6]은 RF신호 기반의 위치인식 및 추적 시스템을 제안하였다. RADAR는 채널 모델을 사용하여 신호세기를 거리로 변환하는 방식 및 기존의 신호세기와 거리간 데이터를 사용하여 거리를 역환산하는 empirical방식을 사용하였다. SpotON은 수신 신호세기를 사용하여 데이터 맵핑을 사용하는 함수를 사용하였다.

2.2 제안한 알고리즘

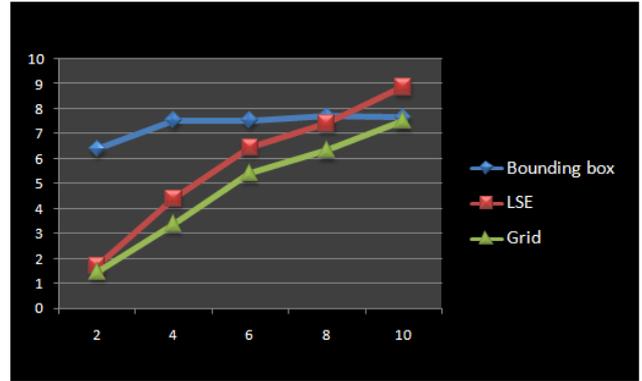
본 논문에서는 베이지 이론을 이용한 그리드방식의 분산형 위치 인식 알고리즘을 제안한다. 이 방식은 데이터 수집 단계, 그리드 구성 단계, 위치 측정 단계의 세단계로 구성된다. 그림 1은 제안된 알고리즘에 대한 방법을 나타낸다. 데이터 수집 단계에서 블라인드 노드들은 레퍼런스 노드들로부터 신호를 받는다. 해당 신호에는 레퍼런스 노드들의 좌표 및 해당 노드 식별자 등이 있다. 이를 바탕으로 블라인드 노드들은 Bounding box알고리즘을 이용하여 그리드를 구성한다. Bounding box알고리즘은 식 (1)과 같다.

$$[\max(x_i - d_i), \max(y_i - d_i)] \times [\min(x_i + d_i), \min(y_i + d_i)] \quad (1)$$

다음으로 구성된 그리드를 바탕으로 블라인드 노드들은 각각의 그리드에서 채널 모델과 베이지 이론을 이용해서 확률 분포를 계산하고 이러한 그리드 중에서 가장 큰 확률값을 갖는 그리드를 자신의 위치로 결정한다. 채널 모델 및 베이지 이론기반의 위치측정 식은 각각 식 (2), (3)과 같다.



〈그림 2〉 레퍼런스 노드 수에 따른 평균 에러치



〈그림 3〉 노이즈 잡음에 따른 평균 에러치

$$P_{ij} = p_0 - 10\eta \log_{10} \left(\frac{l_{ij}}{d_0} \right) + X_\sigma \quad (2)$$

식 (2)에서 p_0 는 기준 거리(1m)에 대한 수신세기이고, η 는 신호의 감쇄율이며, X_σ 는 평균이 0이고, 분산이 σ^2 인 가우시안 분포, 즉

$X_\sigma \sim N(0, \sigma^2)$ 를 말한다. l_{ij} 는 각각의 그리드와 레퍼런스 노드간의 거리이다.

$$P(l_i | O) = \frac{P(O | l_i) P(l_i)}{P(O)} \quad (3)$$

식 (3)에서 $l_i, O, P(l_i | O), P(O | l_i)$ 는 각각 그리드의 위치, 레퍼런스 노드로부터 받은 수신 신호세기, 수신신호의 세기에 따른 각각의 위치에 있을 확률, 그리고 각각의 그리드에서 수신신호를 받을 확률을 나타낸다. 이때 $P(l_i), P(O)$ 는 수신신호에 관계없이 일정하기 때문에 따라서 $P(l_i | O)$ 는 결국 $P(O | l_i)$ 에 따라 결정되며 이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(O | l_i) = \prod_{j=1}^m P(o_j | l_i) = \prod_{j=1}^m P_i^j(o_j) \quad (4)$$

이 때 $P_i^j(o_j)$ 는 해당 그리드 l_i 에서 받은 수신 신호가 $O=o_j$ 일 확률이며, 식 (5)와 같다.

$$P_i^j(o_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{p_{ij} - \hat{p}_{ij}}{\sigma} \right)^2 \right\} \quad (5)$$

$$position = \arg \max_{i \in I_i} P(l_i | o) = \arg \min_{i \in I_i} \sum_{i=1}^n \| p_{ij} - \hat{p}_{ij} \|^2 \quad (6)$$

식 (5), (6)을 이용하면, 측정된 신호세기 \hat{p}_{ij} 와 계산된 P_{ij} 를 바탕으로 하는 위치추정 식을 구할 수 있다. 결과적으로 식 (1)과 (6)을 통하여 각각의 블라인드 노드는 해당 영역의 그리드 및 수신신호의 세기를 이용해서 최적화된 위치를 추정할 수 있다.

2.3 시뮬레이션 결과

제안된 알고리즘을 평가하기 위해 우리는 Bounding-box, MLE, 그리고 제안한 알고리즘을 비교하였다. 먼저 네트워크 환경은 100m x 100m로 하였고, 블라인드 노드의 개수는 20개 레퍼런스 노드의 개수는 80개, 노드의 통신 반경은 25m로 설정하였다. 이를 바탕으로 각각의 블라인드 노드들이 측정된 위치와 실제 위치간의 에러에 대한 평균치를 비교하였다.

$$\sigma_{err}^2 = \sum_{i=1}^n \frac{\| P_{real} - \hat{P}_{est} \|^2}{n} \quad (7)$$

무선 센서 노드들은 특정 지역에 균일하게 분포하여 있고, 레퍼런스 노드들은 일정 영역 안에 일정하게 배치되어 있다고 가정하였다. 식 (7)은 측정 위치와 실제 위치에 대한 평균 에러치를 의미한다. 이를 통한 시뮬레이션 결과는 그림 2과 3과 같다. 그림 2는 레퍼런스 노드 수에 따른 평균 에러치를 그림 3은 노이즈 잡음에 따른 평균 에러치를 의미한다. 그림에서 알 수 있듯이, 레퍼런스 노드의 수가 증가할수록 평균 에러는 계속 감소함을 알 수 있으며, 노이즈 잡음이 커질 수록 평균에러는 증가함을 알 수 있다. 또한 이는 다른 알고리즘에 비해서 본 논문에서 제시한 방식이 가장 효율적임을 알 수 있다. 또한 본 알고리즘은 Least Square 방식에 비하여 노이즈 잡음에 강한 특성을 갖는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서 우리는 그리드 기반의 위치인식 알고리즘을 제안하였다. 본 방식은 Bounding box 알고리즘을 적용하여 그리드를 형성하고, 이 그리드를 바탕으로 베이지 이론을 이용하여 가장 높은 확률을 갖는 그리드는 자신의 위치로 결정하는 방식이다. 이 방식은 전체 위치 대신에 Bounding box내 그리드에서만 위치추정을 수행하기 때문에 연산량을 효율적으로 감소시키면서도 정확한 위치를 측정할 수 있다. 또한 이 방식은 기존의 range-base 방식에 비하여 노이즈 잡음에 robust한 특성을 갖는다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 알고리즘이 기존의 방식보다 큰 의 방식보다 제안된 알고리즘이 정확한 위치를 갖으며, 더욱 효율적인 연산을 수행함을 알 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Ian F. Akyildiz, W. Su, Y.Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks", IEEE Communications Magazine, pp. 102-114, August 2002.
- [2] N. Bulusu, et al., "GPS-less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices", IEEE. Personal Communications Magazine, Vol. 7, No.5, pp. 28-34, Oct. 2000.
- [3] T. He, C. Huang, B.M. Blum, J. A. Stankovic, T. Abdelzaher, "Range-Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks", In The Ninth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2003).
- [4] S. Simic and S. Sastry. Distributed localization in wireless and ad hoc networks, 2002
- [5] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System, In Proceedings of the IEEE INFOCOM '00, March 2000.
- [6] J. Hightower, G. Boriello and R. Want, SpotON: An indoor 3D Location Sensing Technology Based on RF Signal Strength, University of Washington CSE Report #2000-02-02, February 2000.