

소리를 이용한 센서 네트워크 위치인식 기법에서의 에러보정 기법

이영화[○] 차호정
연세대학교 컴퓨터과학과
(yhlee[○], hjcha)[○]@cs.yonsei.ac.kr

Error Recovery Scheme for Acoustic-based Localization in Wireless Sensor Networks

Younghwa Lee[○], Hojung Cha
Dept. of Computer Science, Yonsei University

요 약

센서 네트워크에서 노드들의 위치 인식에는 여러 가지 기법이 이용된다. 그 중 소리를 이용한 위치인식 기법은 정확도가 높고 넓은 지역에서도 활용이 가능하다는 장점이 있다. 소리를 이용한 위치 인식 기법은 음원으로부터 노드까지의 거리 정보 수집을 통하여 위치 인식이 가능하다. 하지만 기존의 기법에서는 거리를 정확하게 측정을 하는 것에만 초점이 맞춰져 있었으며 위치인식에 필요한 정보의 부족으로 위치인식 과정을 진행시키지 못하는 경우에 있어서는 고려를 하고 있지 않다. 본 논문에서는 소리를 이용한 위치인식 과정에서 발생할 수 있는 에러 보정 기법을 제안한다.

1. 서 론

센서 네트워크에서 위치인식(Localization)이란 배치된 센서 노드들이 자신의 위치 좌표를 획득하는 과정이다. 센서 노드들의 위치인식은 센서 네트워크의 다양한 응용에서 중요하게 사용된다. 이런 위치 인식을 하는 방법으로 위성을 이용하는 GPS[1], 라디오와 초음파의 TDOA를 이용한 Cricket[2], 라디오의 신호세기를 이용한 RADAR[3] 등 여러 방법이 제안되어 왔다. GPS[1]는 사용이 간편하며 비교적 정확하나 가격이 높고, 가시거리를 보장하여야 하며 실내에서는 사용이 제한된다. 초음파[2]는 정확도가 높지만 실외에서는 사용이 제한되고, 장애물의 영향을 많이 받으며 짧은 도달범위로 인해 많은 수의 센서 노드가 필요하다. 라디오[3]는 반경이 넓고 실내외에서 두루 사용이 가능하나 정확도가 낮으며 간섭과 장애물의 영향을 많이 받는다. 본 논문에서는 여러 기법들 중에서도 야외 환경의 넓은 영역과 좁은 영역을 모두 커버할 수 있고 정확도도 높은 소리를 이용한 기법을 제안하고자 한다.

소리는 온도와 습도에 따라 차이는 있지만 일정한 속도를 지니고 있다. 이 소리의 속도를 이용하여 노드들의 자기 위치 인식을 하고자 하는 것이 기존의 연구[4][5][6]이다. 하지만 기존의 기법은 추가적인 고가의 하드웨어를 사용하여야 하며 음원의 발생시간을 미리 노드들에게 알려주어야 하는 스케줄링의 문제와 네트워크 오버헤드가 크며 데이터페이

스를 구축하기에 시간과 비용이 많이 들고 독립적인 위치인식이 어렵고 개별노드가 독립적으로 계산하기에 제한된다는 단점이 있다. LSLT[7]은 이런 기존의 음파를 이용한 위치인식의 문제점을 해결하고 실제적인 적용이 가능하도록 하였다. 하지만, LSLT에서도 위치인식의 과정에서 소리를 감지하지 못하여 위치인식에 필요한 정보가 부족할 경우에는 위치인식 과정을 진행하지 못하는 단점이 있다. 기존의 위치인식 기법[8][9]은 거리 측정의 정확도를 높여 위치인식의 정확도를 높이기 위한 것에만 초점이 맞추어져 있다.

본 논문에서는 소리를 이용한 위치인식 시스템에서 위치인식에 필요한 정보를 충분히 수집하지 못한 노드들의 자기 위치 인식 기법을 제안한다. 위치 인식을 하지 못한 노드들은 자신에게 부족한 정보를 주변 노드와의 정보 교환을 통하여 주변 노드의 정보를 획득하고 자신에게 없는 정보를 보완함으로써 위치인식을 가능하게 한다.

논문 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문과 관련된 위치인식 기법을 살펴보고 기존 기법에 대한 문제점을 기술하고, 3장에서는 적용적 위치인식 시스템의 원리에 대하여 기술한다. 4장에서는 실험 및 평가를 통하여 이론을 검증하며 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 연구배경

소리를 이용한 기존의 위치 인식 기법중에서 LSLT는 기존의 기법[4]에서 소리의 발생시간을 스케줄링 하여야 했던 제한사항을 해결하고, 환경에 따라 음원을 자유로이 설정할 수

본 연구는 한국과학재단에서 지원하는 국가지정 연구실 사업으로 수행하였음 (과제번호 : 2006-01546)

있으며 저비용으로 실제적인 환경에서 각각의 노드들이 독립적으로 위치인식을 할 수 있다는 장점이 있다. LSLT는 다음과 같이 동작한다. 필드에는 소리 감지센서를 장착한 노드들이 배치되어 있고, 노드들은 서로 통신가능하다. 모든 노드들은 시간 동기화를 실시한다. 그 후, 필드에 배치된 노드와 동일한 소리 감지 센서를 장착하고 자신의 위치를 알고 있는 AB노드에서 특정 소리를 임의의 시간에 발생시킨다. 이후, AB의 위치와 소리발생 시간을 AD 노드들에게 전송해주고 AD 노드들은 AB에서 발생한 소리와 그의 감지되는 모든 소리를 지속적으로 감지하여 감지시간을 저장하게 되고, AB 노드로부터 위치 정보(Ln)와 소리의 발생시간(Ts) 정보를 받게 되면 자신의 저장 정보와 비교하여 AB에서 발생한 소리의 정보를 추출하게 된다. 최종적으로 AD 노드들은 AB 노드까지의 거리 정보와 위치 정보가 3개가 수집되게 되면 삼변측량 기법을 통하여 자신의 위치를 독립적으로 동시에 계산하게 된다.

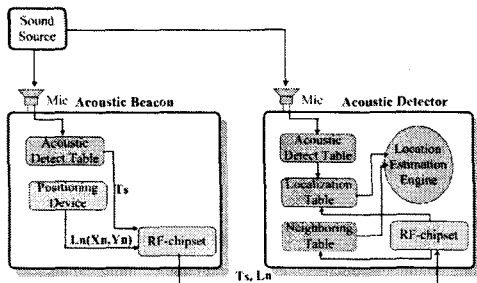


그림 1. LSLT 구조도

그림 1은 LSLT의 동작 원리를 보여 준다. LSLT는 소리를 이용한 기존의 기법[4]에서 소리의 발생시간을 스케줄링 하여야 했던 제한사항을 해결하고, 환경에 따라 음원을 자유로이 설계할 수 있고 저비용으로 실제적인 환경에서 각각의 노드들이 독립적으로 위치인식을 할 수 있다는 장점이 있다. 하지만, LSLT는 다른 소리를 이용한 기법들처럼 환경적, 하드웨어적 영향으로 인하여 위치 인식 되지 못한 노드가 발생하게 된다.

위치 인식 되지 못한 노드란 위치 인식에 필요한 정보가 부족하여 위치인식 되지 못한 노드를 말한다. 기존의 연구[9]에서 소리를 이용한 위치인식의 오차를 줄이기 위한 기법들이 제안되었지만 여전히 위치 인식 되지 못한 노드가 발생한다. 위치 인식 되지 못한 노드가 발생하는 첫 번째 이유는 수용영역의 문제이다. 넓은 영역의 위치 인식을 하기 위해서는 음원이 도달할 수 있는 범위를 고려하여 영역을 분할하여 음원을 발생시키게 된다. 수용영역의 크기를 크게 하면 위치인

식의 시간이 적게 걸린다는 장점이 있지만 수용되는 영역이 좁아지게 되어 위치 인식 되지 못한 노드 발생 확률이 높아지게 된다. 수용영역을 작게 하였을 경우는 노드들의 음원 감지 확률은 높아지지만 시간이 많이 걸리고 모든 영역을 포함하는 수용영역을 결정하기가 쉽지 않다. 또한 수용영역의 크기에 관계없이 환경적 요인으로 인하여 수용영역내에 있다고 하여도 소리를 감지 하지 못할 수도 있으며 균일한 정방향의 음파가 발생하는 것이 아니기 때문에 계획한 수용영역대로 음파가 전파 되지도 않기 때문에 계획했던 수용영역을 음원이 포함하지 못 할 수 있다. 음원이 계획된 수용영역을 포함하지 못했을 경우 위치 인식 되지 못한 노드가 발생하게 된다.

자연환경의 장애물 또한 위치 인식 되지 못한 노드 발생의 이유이다. 소리는 투과성이 약해서 마이크 센서 앞에 장애물이 있게 되면 장애물 방향에서 발생하는 소리를 감지 할 확률이 떨어진다. 때문에, 장애물이 주변에 있는 노드들은 특정 방향에서 오는 소리를 감지하지 못하기 때문에 위치 인식에 필요한 정보가 부족하여 위치 인식을 하지 못하게 된다.

하드웨어적인 요인 또한 위치 인식 되지 못한 노드의 발생 요인이다. 센서 노드들이 장착하고 있는 소리 감지 센서는 정해진 크기 이상의 소리를 감지하여 위치 인식을 하게 되는데 하드웨어적 오차로 인하여 정해진 크기 이상이 되어도 소리를 감지하지 못할 수가 있다. 이런 소리 감지 센서의 민감도에 오차가 발생한 노드는 자신에게서 가까운 음원에서 나는 큰소리를 감지를 하고 자신에게서 멀리 떨어진 음원에서 발생하는 소리는 인식을 하지 못할 수가 있게 된다. 또한 수많은 센서 노드들 뿌릴 경우 소리 감지 센서가 처음부터 불량인 경우도 있으며 배치되는 과정에서 고장이 발생하여 정보를 수집할 수 없어서 위치 인식 되지 못하게 된다.

센서 네트워크에서 노드들의 위치인식은 가장 먼저 실시되는 과정이다. 위치 인식 되지 못한 노드의 발생은 가장 선행되는 과정을 수행하지 못함으로써 위치 인식 이후에 수행하여야 할 정보의 수집이나 정보 전달 등의 실제적인 역할을 수행하지 못하는 필요없는 노드가 되어 버린다. 본 논문에서는 이런 위치 인식 되지 못한 노드들의 부족한 정보를 주변의 이웃노드들의 정보를 통하여 보완함으로써 위치 인식 되지 못한 노드가 독립적으로 자신의 위치를 재인식 하는 알고리즘을 제안한다.

3. 위치인식 에러보정 기법

3.1 시스템 개요

본 절에서는 위치 인식 되지 못한 노드들이 가지고 있는 정확한 거리정보를 기반으로 이웃노드들의 정보를 이용하여 위치인식을 하는 기법을 제안하고자 한다. 소리를 이용한

위치 인식 알고리즘은 LSLT[7] 알고리즘을 적용하였으며 센서 노드들은 hop간 서로 통신 가능한 센서 필드를 가정한다. LSLT를 이용한 위치인식 과정이 끝나면 베이스 스테이션에서는 적용적 위치 인식 과정을 수행하라는 메시지를 모든 노드에게 보내게 된다. 모든 노드들은 자신이 가지고 있는 음원까지의 거리 정보와 음원의 위치 정보를 자신의 1-hop neighbor와 교환하게 된다. localized된 노드들은 정보 교환이 끝나면 자신의 역할을 마치게 되고, 위치 인식 되지 못한 노드들은 자신이 가지고 있던 정보와 이웃노드들의 정보를 이용하여 recovery 과정을 실시하게 된다. 일련의 과정들은 기본적으로 필드에 localized된 노드가 하나라도 있으면 모든 노드들이 위치인식을 할 수가 있다. 다음 절에서는 이웃노드와의 정보교환을 통한 Area Bound의 설정과 자신이 가지고 있는 정보에 따른 알고리즘의 적용에 대하여 알아본다.

3.2. 예리 보정 기법

센서 필드의 모든 노드들이 multi-hop 통신이 가능하다면 모든 노드들은 적어도 1개 이상의 이웃 노드를 가지게 된다.

$$Area\ Bound = (\max(x) - r, \min(x) + r, \max(y) - r, \min(y) + r) \quad (식 1.)$$

이런 이웃 노드들의 위치 좌표와 라디오의 최대 도달 거리(r)를 이용하여 위치 인식 되지 못한 노드가 어떤 영역에 속해 있는지 최대 Area Bound를 <식 1.>과 같이 구해 낼 수가 있다. 위치 인식 되지 못한 노드는 이웃 노드에 의한 Area Bound와 기존의 위치 인식 되지 못한 노드가 가지고 있는 AB 까지의 거리정보를 이용하여 자기 위치 인식 연산을 수행하게 된다.

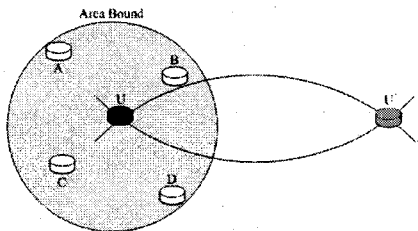


그림 2. 정보가 2개일 경우

그림 2에서와 같이 위치 인식 되지 못한 노드 U는 거리 정보 2개만을 가졌을 경우 교선법을 이용해 예상되는 위치로 A와 B 두 곳이 선정된다. 이 경우는 acoustic beacon의 정보로부터 위치 인식 되지 못한 노드의 위치가 두 지점 중 하나로 압축이 되어 있는 상태이며 두 가지의 예상 위치 중에서 한 곳을 결정 해주는 것만으로 위치 인식 되지 못한 노드의 위치를 인식할 수가 있으며 Area Bound 안에 그 지점만이 포함

되어 있다면 그 지점이 위치 인식 되지 못한 노드의 위치가 된다.

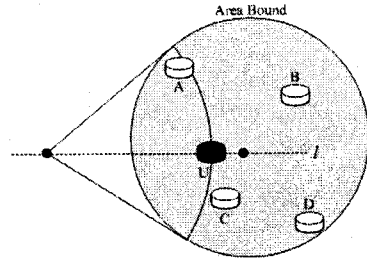


그림 3. 정보가 1개일 경우

소리를 이용한 위치 정보가 1개일 경우는 <그림 3>에서와 같이 원주상의 한 지점에 위치 인식 되지 못한 노드가 위치하고 있다는 것을 예측할 수 있다. <그림 3>과 같이 Area Bound가 원의 일부분을 포함하는 영역일 경우는 Area Bound의 영역의 중점과 위치 인식 되지 못한 노드가 가지고 있는 AB 노드의 좌표를 연결하는 선의 교점중 Area Bound에 속하는 지점을 선택하게 되고 Area Bound의 중심에서 가장 가까운 원주상의 지점을 위치 인식 되지 못한 노드의 위치 U로 인식하게 된다.

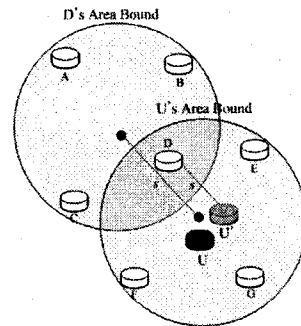


그림 4. 정보가 0개일 경우

소리를 이용한 거리 정보가 0개일 경우는 어떤 사전 정보도 없는 경우로서 Area Bound와 RSSI 거리만을 가지고 위치인식을 하여야 한다. 위치 인식 과정은 그림 4와 같이 동작한다. 위치 인식 되지 못한 노드 U는 이웃노드중 가장 RSSI가 강한 노드 D를 선택하고 그 노드까지의 RSSI 거리를 알 수가 있다. 그림 4와 같이 unlocalized 노드 U의 이웃들의 그룹의 평균좌표와 D노드의 이웃들의 그룹의 평균 좌표를 통하여 각각의 Area Bound의 기울기 s를 알 수가 있고 U노드는 U노드의 Area Bound의 일원이므로 D노드로부터 U노드까지의 기울기는 s와 동일하다고 간주하면 U의 위치는 D의

좌표에서 기울기 방향으로 RSSI 거리의 길이만큼 더하여 준 값이 예측되는 위치 인식 되지 못한 노드의 위치 U가 된다.

4. 실험

실험은 소리 감지 센서를 장착한 13개의 Micaz 센서를 이용하여 30m X 30m 환경에서 실시하였다.

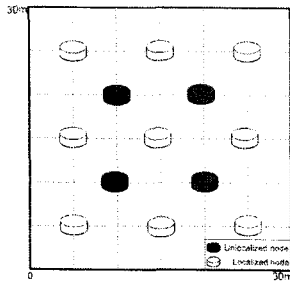


그림 5. 실험 환경

실험 환경의 센서 노드의 배치는 그림 5와 같으며 위치 인식 되지 못한 노드의 획득정보를 달리 하면서 위치인식의 오차를 측정하였다. 라디오의 최대 도달 거리(r)는 10m로 선행 실험을 통하여 설정하였다. LSLT를 사용한 위치인식의 오차를 포함한 에러보정 효과를 측정하기 위하여 실험에서는 소리의 정보를 부족하게 측정하게 하기 위하여 소리의 발생 후에 측정하고자 하는 센서 노드의 소리 감지 센서를 제거하여 더 이상 소리를 감지하지 못하게 함으로써 소리를 이용한 거리 정보가 부족한 상황을 조성하였다.

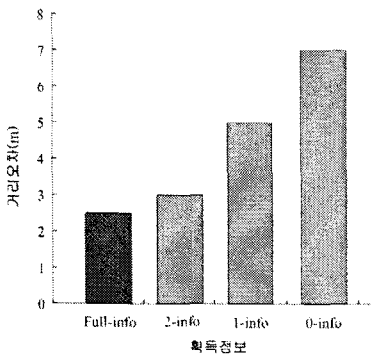


그림 6. 획득정보에 따른 위치인식 정확도

그림 6은 위치 인식 되지 못한 노드가 획득한 정보의 개수에 따라 정확도가 향상되는 모습을 보여주고 있다. 특히, 2개의 정보를 가지고 있을 경우에는 3개의 정보를 모두 가지고 있는 경우와 유사한 정확도를 보여 주고 있으며 나머지 2가

지의 경우에 있어서도 실의 환경임을 감안 하였을때 7m 내의 비교적 정확한 결과를 보여 주고 있다.

이 실험을 통하여 기존의 LSLT에서 완벽한 정보수집을 하지 못하여 위치 인식되지 못하는 노드의 발생 문제를 해결하였다. 위치 인식을 하지 못하는 노드라 하더라도 위치 인식 과정 전까지의 동작을 통하여 수집한 거리 정보의 양에 따라서 차등한 정확도를 보여 주었다. 소리를 이용한 거리의 오차는 RSSI를 이용한 거리의 오차에 비하여 정확한 결과를 보인다. 따라서, 정보의 부족으로 위치인식은 하지 못하였지만 노드가 가지고 있는 소리를 이용한 거리정보는 에러를 보정하는 기법에서 정확도를 향상시키는 요소로 작용하는 것을 알 수가 있다.

5. 결론

본 논문에서는 소리를 이용한 위치 인식 시스템(LSLT)에서 위치인식에 필요한 거리정보를 부족하게 획득하여 위치 인식 과정을 진행시키지 못하는 위치 인식 되지 못한 노드를 주변의 위치 인식된 이웃 노드의 위치와 전파세기 정보등을 이용하여 위치 인식하게 하는 알고리즘을 제시하였다. 기존의 에러 보정 알고리즘들이 거리정보의 정확도 향상에만 관심을 가지고 위치 인식 되지 못했던 노드들에 대해서는 별다른 복구의 노력을 기울이지 않았던 문제를 해결하려는 시도를 하였다는 점이 본 논문의 기여도라고 하겠다.

향후에는 음파를 이용한 위치인식의 일반적인 오차를 줄이기 위한 기법과 어떤 환경에서든지 적용적으로 동작하는 적용형 위치인식 시스템을 개발하고자 한다.

참고 문헌

- [1] B.W. Parkinson, J. Spilker, "Global Positioning System: theory and applications," in Progress in Aeronautics and Astronautics, vol. 163, 1996.
- [2] N. Priyantha, A. Chakaborty, H. Balakrishnan, "The Cricket Location-support System," in Proceedings of MobiCom, 2000.
- [3] P. Bahl, V.N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System," in Proceedings of Infocom, 2000
- [4] M. Kushwaha, Karoly Molnar, Janos Sallai, Peter Volgyesi, Miklos Maroti, Akos Ledeczi, "Sensor Node Localization Using Mobile Acoustic Beacons," in Proceedings of MASS, 2005
- [5] Stanley T. Birchfield and Daniel K. Gillmor, "Acoustic source direction by hemisphere sampling," in ICASSP, 2001.
- [6] 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.
- [7] Y. Lee, H. Cha, "A Light-weight and Scalable Localization Technique Using Mobile Acoustic Source, " in Proceedings of Computer and Information Technology, 2006
- [8] Y.Shang, W.Ruml, Y.Zhang, and M.Fromherz, "Localization from mere connectivity," ACM Mobihoc, pp.201-212, 2003
- [9] P. Drineas, A. Javed, M. Ismail, G. Pandurangan, R. Virrankoski, and A. Savvides, "Distance Matrix Reconstruction from Incomplete Information for Sensor Network Localization, " in Proceedings of SECON, 2006.
- [10] M. Maroti, B. Kusy, G. Simon, A. Ledeczi, "The Flooding Time Synchronization Protocol, " in Proceedings of Sensys, 2004.