

센서 네트워크에서 이동음원을 이용한 자기위치 인식기법

이영화^o 차호정

연세대학교 컴퓨터과학과

{yhlee^o, hjcha}@cs.yonsei.ac.kr

Localization Scheme using Mobile Acoustic Beacon in Wireless Sensor Networks

Younghwa Lee^o, Hojung Cha

Dept. of Computer Science, Yonsei University

요 약

센서 네트워크를 구성함에 있어서 센서 노드들의 자기위치 인식은 가장 기본이 되며 중요한 부분 중 하나이다. 이런 자기 위치 인식 기법 중에서도 소리를 이용한 기법은 정확도가 높은 장점이 있어 많은 연구가 있어 왔지만 기존의 방법들은 추가적으로 고가의 하드웨어를 이용하거나 중앙 집중식 연산을 함으로써 시스템의 부하가 크며 소리의 발생시간을 미리 계획하여야 한다는 단점이 있었다. 본 논문에서는 일반 음원감지 센서를 장착한 노드들을 이용하여 임의의 시간에 소리를 발생시키고 이를 감지한 각 개별 노드들이 독립적으로 자기위치 인식의 연산을 수행함으로써 에너지 소모를 줄이고, 시스템 설계의 비용은 낮추며 소리의 특성 또한 사용자의 요구에 맞게 설계하여 실용성을 높이는 자기 위치 인식 기법을 제안하고, 실제 구현을 통한 성능 분석을 제시한다.

1. 서 론

센서 네트워크에서 위치인식(Localization)이란 배치된 센서 노드들이 자신의 위치 좌표를 획득하는 과정이다. 센서 노드들의 위치 인식은 센서 네트워크의 다양한 응용에서 중요하게 사용된다. 이런 위치 인식을 하는 방법으로 위성을 이용하는 GPS[1], 라디오와 초음파의 TDOA[2]를 이용한 Cricket[], 라디오의 신호세기기를 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. 또한, 라디오 파형의 불규칙함은 결과 값의 신뢰도를 떨어뜨린다. 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 연구이다. 음파를 이용한 위치인식 기법은 TDOA(Time Delay Of Arrival)[4], SLF(Spatial Likelihood Function)[5], beamformer-based energy scan[6] 기법 등 많은 연구가 되었다. 노드간의 음파 감지의 시간차를 이용한 기법[4]은 정확도가 높고 적용범위도 넓은 장점이 있으나 정확한 음파의 감지시간 측정을 위해 추가적인 고가의 하드웨어를 사용하고 있으며 음원의 발생시간을 미리 노드들에게 알려주어야 하는 스케줄링의 문제로 인해 미리 정보를 받지 못하거나 소리의 발생시간 이후에 정보를 받게 된 노드들은 자기 위치계산을 할 수가 없다. 또한, 중앙집중식(centralized) 연산으로 네트워크 통신이 많아 부하가 높으며 위치계산 결과를 중앙에서 처리한 후 다시 노드들에게 뿌려줌으로 느리다는 단점이 있다. [5]는 Bayesian 기법을 이용하여 소리의 데이터베이스를 구축한 뒤 이를 이용하여 위치인식을 하는 기법으로서 알고리즘이 단순하고 구현이 쉽지만 데이터베이스를 구축하기에 시간과 비용이 많이 들고 독립적인 위치인식이 어렵다는 단점이 있다. [6]은 likelihood 함수를 적용하여 여러 개의 소리감지 센서에서 소리의

파워를 감지하여 특정 위치의 파워와 비교함으로써 위치를 인식하는 기법으로 잘 정의된 likelihood 함수를 만들기 어려우며 개별노드가 독립적으로 계산하기에 제한된다.

소리를 정밀하게 감지하기 위하여 기존의 연구에서는 일반 mic 센서가 아닌 고가의 추가적인 하드웨어를 사용하였다. 하지만 추가의 하드웨어 사용으로 인하여 가격부담을 높여서 실용성에 제한을 가져왔으며 추가의 하드웨어를 사용하고도 소리의 발생시간을 정확하게 감지하지 못하는 구조적인 오차가 있었다. 이런 오차는 위치 인식의 결과의 정확도를 낮추는 결과를 보여주었다. 또한 노드들이 수집한 음원감지 정보를 이용하여 노드들이 직접 자신의 위치를 계산하지 못하고 중앙에서 정보를 종합하여 위치 계산을 하여 다시 노드들에게 계산된 위치정보를 돌려주는 방식을 이용함으로써 중앙으로 음원감지 정보를 보내기 위한 통신부하가 증가하였으며 배치된 모든 노드의 위치를 계산하기까지는 많은 시간이 소요된다는 제한이 있었다.

본 논문에서는 실외의 넓은 환경에서 소리를 이용한 위치 인식 기법을 제안하고자 한다. 고가의 추가 하드웨어 없이, 소리를 감지하는 일반 mic 센서만을 이용하여 개별 노드들이 중앙으로의 정보 전송없이 독립적으로 자신의 위치를 직접 연산하는 기법을 제안하며 또한 기존의 기법에서 제한사항으로 알려졌던 미리 소리의 발생시간을 계획하여 센서 노드들에게 뿌려주어야 하는 점을 없애기 위해 소리가 발생한 뒤 소리의 발생시간을 보내주어 소리를 사용자의 요구에 따라 다양하게 설계가 가능하며 개별노드의 독립적인 자기 위치 인식과 스케줄링의 문제를 해결하고 시스템의 부하를 낮추면서도 정확도는 보장함으로써 실제적인 사용이 가능한 시스템을 구현하고 평가하고자 한다.

2. 이동음원을 이용한 위치인식 시스템

본 논문에서 제안하는 기법은 그림 1에서와 같이 동작한다. 먼저 비컨 노드와 일반 노드사이에 시간 동기화를 실시한다. 그 후, 필드에 배치된 노드와 동일한 mic 센서를 장착하고 자신의 위치를 알고 있는 비컨(beacon)노드에서 특정 소리를 임의의 시간에 발생시킨다. 이때, 비컨의 mic에서 감지한 시간을 소리의 발생시간으로 하여 비컨의 위치와 소리발생 시간을 일반 노드들에게 전송 해준다. 배치된 노드들은 지속적으로 소리의 감지시간을 저장하고, 비컨 노드로부터 위치 정보와 시작시간 정보를 받게 되면 자신의 저장 정보와 비교하여 비컨에서 발생한 소리의 정보를 추출하게 되고, 비

본 연구는 한국과학재단에서 지원하는 국가지정 연구실 사업으로 수행하였음 (과제번호 : 2005-01352)

컨 노드와 일반 노드들의 소리 감지의 시간차를 이용하여 거리를 구해 낼 수 있게 된다. 최종적으로 일반 노드들은 거리 정보와 비컨 노드의 위치 정보를 이용하여 삼면측량(trilateration) 기법을 통하여 자신의 위치를 독립적으로 동시에 계산해 낼 수가 있다.

시스템은 기본적으로 음원을 발생시키는 Acoustic Beacon(AB) 노드와 이 음원을 감지하여 위치인식을 하는 Acoustic Detector(AD) 노드 두 부분으로 나뉘어 동작하게 된다. AB와 AD 간에는 서로 시간 동기화가 이루어져 있는 상황에서 AB노드가 음원을 발생시키면 이를 AB노드의 Mic 센서가 가장 먼저 감지하게 되고 이 시점을 음원의 발생시간으로 하여 AD 노드에게 발생시간을 알려준다. AB노드는 음원의 감지를 우선한 후 AD노드로부터 음원 발생시간을 확인하여 일정한 범위 내에 들어온 음원을 골라 시간차이와 음원발생의 위치를 저장한다. 이 과정을 반복하여 수행하며 AB노드는 3개의 음원의 위치를 얻게 되면 위치계산을 하게 된다. 각 부분의 상세한 동작원리는 다음과 같다.

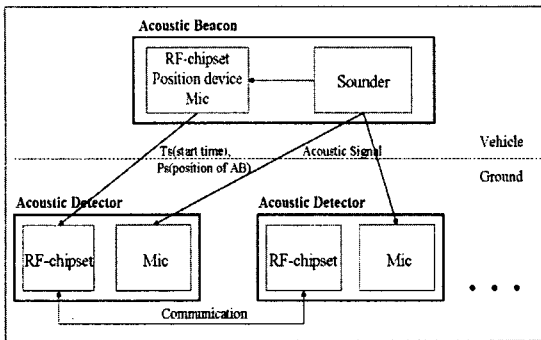


그림 1. 시스템 구조

2.1. Acoustic Beacon

필드에 뿌려진 일반노드(AD)들과 음원을 발생시키는 AB 노드와는 timesync[7]을 통하여 global한 timesync가 맞춰져 있는 상황을 가정한다. Beacon 노드는 이동체에 탑재되어 있어서 이동이 가능한 노드이다. 이동체에서 요구되는 영역에 전달될 수 있는 충분한 크기의 소리를 발생시키고 이 소리는 Beacon에 있는 음원감지센서에 의해 제일먼저 detect 되게 된다. 음원 발생 장치에서 낼 수 있는 가장 큰 소리가 커버할 수 있는 영역이 요구되는 영역이 되며 AB 노드는 이동이 가능하기 때문에 넓은 지역이라 해도 이동하며 소리를 발생시킴으로써 커버가 가능하다. 요구되는 영역에 대해 음원을 발생시켰을 때 이동체 내에서 음원의 발생장치와 음원감지센서의 위치차이는 거의 없다고 한다면 음원감지 센서가 음원을 감지한 시점을 음원의 발생시점(T_s : starting time)이다. 노드들은 음원이 언제 발생할지에 대한 정보는 필요치 않으며 음원감지 센서는 지속적으로 일정 한계 값(threshold)을 넘는 음원에 대한 자료를 수집한다. 비컨에서는 음원을 발생시킨 후에 음원 발생시간(T_s)을 보내주게 되고 AD노드들은 이 값과 미리 구성해 놓은 자료를 비교하여 비컨의 음원정보를 추출하게 된다. 또한, AB노드와 AD노드는 동일한 음원감지 센서를 사용하고 있어서 음파 초기의 약한 파형을 인식하지 못하는 것도 동일하기 때문에 구조적 오차를 제거할 수 있다.

Beacon 노드에는 소리발생 장치 외에도 위치인식 장치(positioning device)를 가지고 있다. 이 위치인식 장치는 절대적인 좌표를 인공위성으로부터 받는 GPS가 될 수도 있고, 지도 경시를 통한 절대 좌표를 미리 입력하여서 비컨에서 음원을 발생시킬 때 지도도를 통해 미리 계획된 지점에서 음원을 발생시킬 수도 있다. 위치인식은 소리발생과는 별도로 지속적으로 실행되며 가장 최신 값이 비컨 노드에 지속적으로 저장된다. 이때, 음원발생 장치에서 음원을 발생시키게 되어 음원감지 센서가 작동을 하게 되면 비컨 노드

는 소리발생 시간(T_s)과 비컨노드의 현재 위치좌표(L_n)을 AD노드들에게 송신하게 된다. AB 노드는 이런 동작을 커버하고자 하는 영역의 크기에 따라 이동하면서 위의 동작을 반복하여 실시한다.

2.2. Acoustic Detector

Acoustic Detector(AD) 노드는 사운드를 감지하는 음원감지(mic) 센서와 통신을 위한 RF-chipset 만을 탑재하고 있다. 노드들은 자기 위치 인식의 첫 번째 단계로 먼저 비컨 노드와 Global한 시간 동기화(Timesync)를 맞추게 된다. 시간 동기화는 필드에 노드를 뿌리기 전에 미리 실시하거나 필드에 배치한 뒤에 실시를 할 수 있다. 필드에 배치된 노드들은 미리 설정된 한계 값을 넘는 음원을 지속적으로 감지하여 메모리에 감지한 시간을 저장하게 된다. 이 시간들 중에는 AB에서 발생시킨 음원을 감지한 시간도 포함되어 있을 것이다. 이 시간들을 음원 감지 테이블(detect table)로 유지한다. 이렇게 위치인식 모드로 동작을 하고 있는 노드들이 AB 노드로부터 음원의 발생시간과 위치를 전달받게 되면 AD 노드들은 자신의 Table을 확인한다. 음원의 최대 도달거리가 n 미터일 때 음원 감지 테이블의 감지시간들과 AB에서의 음원 발생시간의 차이가 $m \cdot c$ ($m = n / V$ (음원의 속도)) 이내에 있는 값을 추출하여 위치 인식 테이블(localization table)에 저장한다.

위치 인식 Table에 3개의 값이 저장되게 되면 AD노드는 위치인식 연산을 하게 된다. AD노드들은 분산적이고 동시적으로 자신의 위치를 계산하게 되며 3개의 정보를 수집한 노드들은 독립적으로 삼면측량(trilateration) 기법을 이용하여 자신의 위치를 계산한다.

2.3. 시스템 구현

음파의 신호는 일정한 연속성을 지닌 파형으로 이루어져 있다. 음파는 발생초기 약한 강도에서 시작하여 강도가 커지다가 한계점에 이르면 다시 작아지면서 소멸하게 된다. 기존의 기법에서처럼 음파의 발생 시간을 계획하여 노드들에게 전송한 뒤 음파를 발생할 경우 노드들은 음파의 시작시간에는 음파의 강도가 약하기 때문에 감지를 하지 못하고 실제의 시작시간보다 늦게 감지하게 된다. 하지만 비컨에서도 노드에서의 음파 감지 센서와 동일한 센서를 장착하고 음파를 감지하여 두 노드사이의 감지 시간차를 구할 경우에는 두 센서 모두 음파의 감지가능 시점에서 음파를 감지하게 되어 음파의 시작시간을 감지한 것과 같은 결과를 얻게 된다. 또한 하드웨어 적으로도 계획된 시간에 정확한 소리를 낸다는 것은 힘든 일이며 소리를 발생시키는 시간과 계획된 시간사이의 오차가 발생할 수 있게 되는데 이런 오차를 계획된 시간이 아닌 임의의 시간에 소리를 발생시키고 비컨의 음파감지 센서에서 감지한 시간을 음파의 시작시간으로 함으로써 음파를 정확한 시간에 발생시켜야 하는 기술적인 문제도 해결할 수 있다.

또한, 기존의 기법과 달리 본 논문에서와 같이 소리의 발생 후에 발생 시간을 보내는 기법을 사용하게 되면 음원을 사용자의 요구에 맞게 여러 가지로 설계가 가능하다. 박수 소리는 소리의 강도가 낮아서 신호가 멀리 전달되지 못하고, 반면 총소리는 훨씬 먼 거리에서도 감지가 가능하다. 사용자는 자신이 커버하고자 하는 영역에 알맞은 음원을 이용하면 된다. 실제로 실험에서 사용된 경영용 신호총을 사용하였을 경우 100m X 100m 영역내의 노드들을 커버하기 위해서 단 3번의 총을 쏘는 것만으로 가능하였지만 박수소리를 내어서 똑같은 영역을 커버하고자 한다면 훨씬 많은 횟수의 소리를 발생시켜야 할 것이다.

음원의 사용에 있어서도 미리 계획된 음원발생 시간이 없기 때문에 요구되는 영역에 대한 소리발생에 있어서 유연하게 실시할 수가 있으며 시간의 제약에서 벗어나 능동적인 시스템의 운용이 가능하다. 하드웨어적으로도 정확한 시간에 소리를 내지 못함으로 인해 발생하는 오차를 줄일 수 있었다. 이런 음원의 설계는 다양한 응용을 가능하게 도와주며 시스템의 확장성과 유동성면에서 이점을 가지게 된다.

3. 실험

사용한 하드웨어는 mic센서를 부착한 MICAZ이며 실험 영역은 60M X 60M의 야외환경에 10개의 노드를 배치하였으며 소리를 내는 음원으로는 경주용 신호총을 사용하였다. 외부의 온도는 섭씨 15도를 기준으로 하였으며 AB의 위치 좌표는 영역 내의 여러 지점을 미리 상대좌표로 변환하여 직접 입력하는 방식을 사용하였다. 그림 2는 실험을 위해 실제로 AB와 AD를 구성하여 배치한 모습이다.

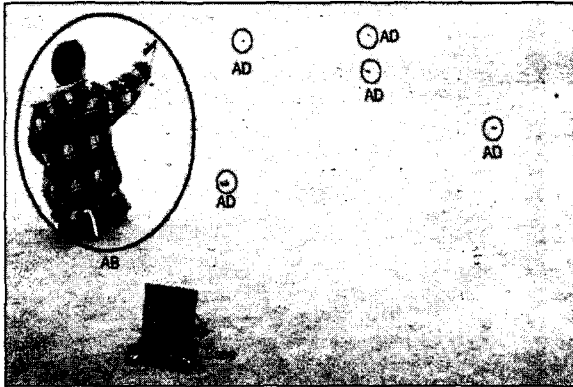


그림 2. 실험환경 구성 모습

시간 동기화는 Vanderbilt 대학에서 개발한 FTSP(Flooding Time Synchronization Protocol)를 사용하였으며 이는 배치된 노드들 중에서 임의의 한 노드를 기준으로 통신을 통하여 global한 time을 맞추는 방식이다. 장애물은 없고 운동장 밖에는 큰 도로가 있어서 차량의 통행이 많아 다소 시끄러운 환경이다. 소리 감지의 적용 값은 이런 소음에는 둔감하면서도 발생시키는 소리에는 인식할 수 있도록 실험을 통하여 90을 사용하였다. 적용 값은 0~250의 값을 가지며 값이 클수록 민감한 반응을 보인다.

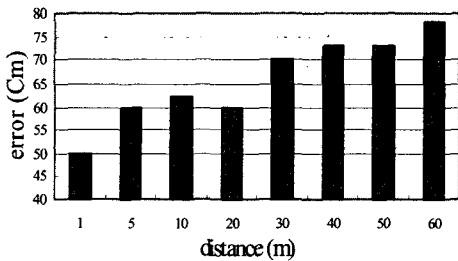


그림 3. 거리에 따른 측정오차

그림 3은 거리에 따른 측정오차를 나타낸다. 거리 측정은 2개의 노드를 이용하였으며 음원은 신호총을 이용하였다. 두 개의 노드 중 한 개의 노드는 고정 시키고 다른 한 개의 노드를 거리에 따라 이동 시키면서 소리를 발생 시키고 움직이는 노드는 소리의 감지 시간을 고정된 노드에게 보내주어서 고정된 노드에서 자신이 감지한 시간과의 차이를 이용하여 거리를 계산한 뒤 UI를 통하여 출력하는 방식으로 측정하였다. 1m ~ 60m 사이에서 거리를 측정 하였을 때 50~90Cm 정도의 일정한 오차를 보였다. 거리가 멀어질수록 오차가 조금 커지긴 하였으나 오차 발생의 가장 큰 원인은 mic의 sampling rate에 의한 것으로 4ms는 0~1.3m 정도의 고정된 오차를 모든 거리에서 보인다. 여기에 추가적으로 거리가 멀어짐에 따라 신호의 감

쇄와 소리의 속도의 변화등의 요인으로 인하여 오차가 조금씩 커지는 것을 볼 수 있다.

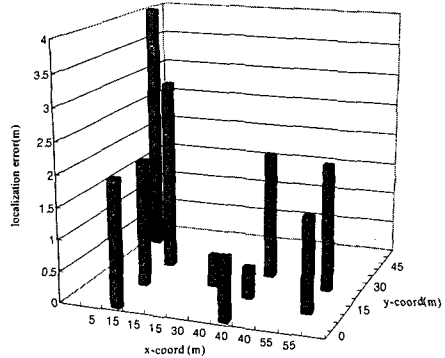


그림 4. 상대좌표를 이용한 위치인식 결과

그림 4는 60m X 60m 필드에서 10개의 노드에 대하여 10번의 수행 후 평균값을 구하였다. AB의 위치는 미리 계산된 상대좌표를 이용하였다. 전체 노드의 90%가 50Cm ~ 3m 정도의 위치 인식 오차를 보였으며 기존의 기법과 유사한 정확도를 보였다. 추가적인 하드웨어 없이 일반 mic 센서만을 사용하여 보인 실험 결과임을 감안하면 비용을 획기적으로 줄이고 정확도는 유사한 성능을 보였다.

4. 결론

본 논문에서는 음파를 통한 새로운 위치인식 기법을 제안 하였다. 제안된 기법은 기존의 기법에 비하여 실제적이며 저비용의 시스템을 구성하였고, 정확도 측면에서도 기존의 결과와 유사한 성능을 보여주었다. 분산된 위치인식 처리기법은 기존의 기법에서 제한되었던 개별노드의 동시 위치인식을 가능하게 하였고, 중앙 통제부와 통신이 필요 없게 시스템의 부하를 줄이고 빠른 위치인식을 하게 되었다. 또한, 여러 종류의 음원을 설계 가능하게 함으로써 사용자에게 더 많은 융통성과 응용력을 부여하였다.

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 surce 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] M. Maroti, B. Kusy, G. Simon, A. Ledeczi, "The Flooding Time Synchronization Protocol", in Proceedings of Sensys, 2004.