

센서네트워크에서 Range-free 기반의 분산 음원위치 판별 기법

유영빈⁰ 차호정
연세대학교 컴퓨터과학과
{ybyou⁰, hjcha}@cs.yonsei.ac.kr

Distributed and Range-Free Acoustic Source Localization Techniques in Wireless Sensor Networks

Youngbin You⁰ Hojung Cha
Department of Computer Science, Yonsei University

요 약

본 논문에서는 수동형 위치판별 시스템의 대표적인 음원위치판별 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 무선 센서네트워크에 최적화 되어있으며, 일반적인 무선 센서네트워크에서 사용되는 노드와 마이크만 요구되며 추가적인 장비를 필요로 하지 않는다. 제안하는 시스템은 동일한 노드에 분산된 알고리즘을 이용하여 각 노드는 이벤트 발생시에 동적으로 추정 Grid를 생성한 후 이 Grid를 이용하여 추정치를 산정하고 이를 종합하여 최종적으로 2차원 평면에서의 음원의 위치를 판별한다. 제안하는 시스템의 위치판별 알고리즘은 Range-free 방식으로 생성된 Grid를 각 노드가 음파를 감지한 시각을 바탕으로 영역별로 근사한다. 시스템은 실제 MicaZ 노드에 구현되었으며 제한된 하드웨어와 자원만을 바탕으로 높은 복잡도를 지니는 음원탐지시스템을 구축하였다.

1. 서론

음원위치판별 시스템은 수동형 위치판별 시스템의 대표적인 기술이다. 유선 센서분야에서 음원위치판별기법은 전통적인 이슈였지만, 무선 센서네트워크에서는 최근 몇 년 동안 활발한 연구가 이루어지고 있다. 무선 센서네트워크에서는 기존의 음원위치판별기법이 요구하는 높은 연산량과 많은 자원, 네트워크 대역폭을 충분히 만족시킬 수 없기 때문에 초소형 노드만으로는 시스템을 구축할 수 없었다[1][2]. 따라서 최근 연구에서는 무선 센서노드와 높은 연산능력을 보이는 추가 하드웨어가 혼합된 형태가 제시되고 있다[3][4]. Wang의 연구[5]에서는 mica 노드와 pc/104의 혼합된 형태를 제시했다. 이런 혼합된 형태는 2단계 상하구조를 가지는 고정적 클러스터 형태가 되어 고정적 클러스터가 가지는 경계면 정확도 저하 현상, 클러스터 리더노드의 고른 분포요구 등의 문제점을 안고 있다. 게다가 Wang의 연구는 단위 노드당 담당 영역이 매우 제한적인 이유로 확장성이 높지 않았다. 또한 Chen의 연구[6]에서도 2단계 동적 클러스터를 구축하였으나, 클러스터의 헤드는 고정적인 부분적인 동적 클러스터이며, 음원의 위치를 노드의 위치로 가정했기에 그 정확도가 낮았고 실제로 구현되지 못하였다. 따라서 본 논문에서는 동일한 하드웨어로 완전한 동적 시스템을 제안한다. 이 시스템은 분산된 알고리즘을 통해 그 확장성이 증가시켰으며, Range-free 기반의 점근적 추정 알고리즘을 통해 한정된 능력을 가진 노드에서도 동작한다.

본 논문에서는 무선 센서네트워크에 특화된 음원위치판별 시스템을 제시한다. 이 시스템은 매우 한정된 자원과 연산능력을 가진

노드들만을 이용하여 음파를 듣고 이를 통해 음원의 2차원 상대적 좌표를 판별하는 것을 그 목적으로 한다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 이기종의 장비가 필요하지 않으며 동일한 노드들이 상태기반의 완전 분산된 알고리즘으로 단일 음원에 대한 위치판별을 수행한다. 그 결과 매우 높은 복잡도와 추가적인 하드웨어가 필요한 다른 음원위치판별 시스템이 가지는 정확도에 근접한 성능을 보인다. 또한 본 논문에서 제안하는 시스템은 MicaZ[7]에 구현되었으며, 구현된 시스템에서 실험을 통해서 시스템의 성능을 평가하였다.

2. 분산 위치 판별 시스템

그림 1은 분산 음원위치 판별 시스템의 구성을 제시한다. 그림의 왼쪽 노드가 리더역할을 하는 노드이며 오른쪽이 일반 노드이다. 음원 발생시 동적으로 리더가 선출되는 분산 시스템이기 때문에 두 노드의 구성은 동일하다. 센서 하드웨어가 가지는 한정된 능력을 고려하여 시스템은 일렬화되어 동작한다. 또한 각 노드간의 통신은 모듈별로 구분되어 있어 상호 간섭하지 않는다. 이는 넓은 목적 영역에 많은 수의 노드를 배포하였을 경우 음파를 감지 못한 노드들과의 간섭을 최소화하기 위한 구성이다. 먼저 시스템은 초기 시점에는 시각동기화를 실시한다. 시각동기화가 종료 이벤트 발생 시 샘플링 모듈은 음파를 감지하기 위한 샘플링을 시작한다. 샘플링 데이터는 음파감지 모듈에 의해 원하는 음파가 도달했는지 판단하고 음파를 감지했을 경우 샘플링을 중지한다. 음파감지 정보는 다른 노드로 전파하며, 음파 감지정보는 각 노드의 테이블에 저장된다. 저장된 정보를 바탕으로 자신이 리더인지에 대한 의사결정을 한다. 리더선출 알고리즘에 따라 선출된 리더는 자신이 리더임을 명시적으로 알리고 이 선언 메시지를 수신시 각 노드는 위치 판별

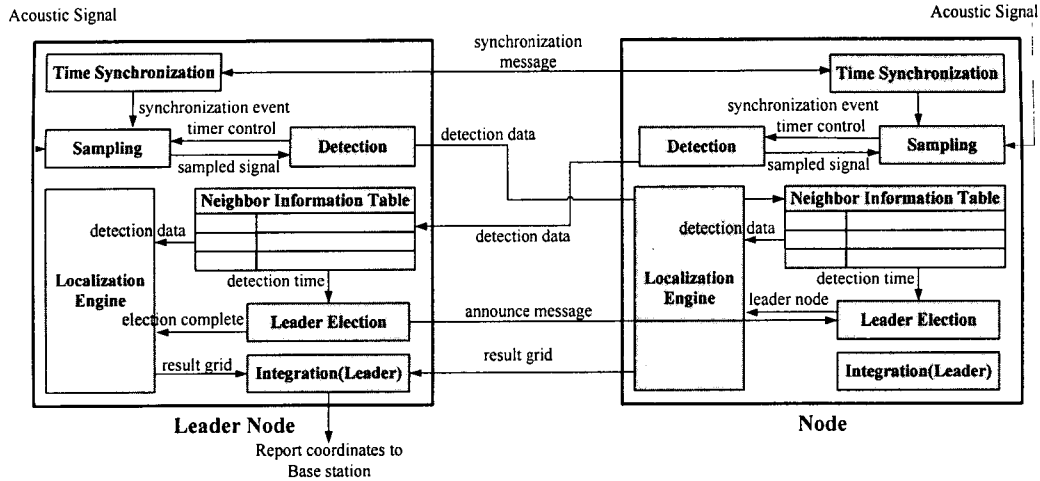


그림 1 분산 음원위치 판별 시스템

알고리즘을 수행한다. 알고리즘 모듈은 추론 Grid를 생성하고 이를 통해서 음원 위치 추정 영역을 산출한다. 마지막으로 리더노드에 추정된 영역을 보내며 리더 노드는 추정된 영역을 합하여 최종 위치를 결정한다.

3. Range-free 기반 위치 판별 알고리즘

음파를 탐지한 모든 노드는 자신이 그룹원이며, 리더라고 가정한다. 이후 음파감지시점은 자신의 위치 값과 노드 번호와 함께 전파된다. 각 노드들은 받아들이는 정보들을 테이블에 기록하며 각 음파 탐지 시점을 자신의 음파 탐지 시점과 비교를 수행한다. 자신보다 더 빠른 시간에 음파를 탐지한 노드가 있다면 자신은 리더를 포기한다. 이러한 과정을 거치면 일정시간 후에는 하나의 노드만이 자신을 리더라고 가정하고 있으며 자신이 음원에 가장 가깝다는 것을 알 수 있다. 그 후 리더 노드는 자신이 선출되었음을 그룹 내의 다른 노드들에게 알린다.

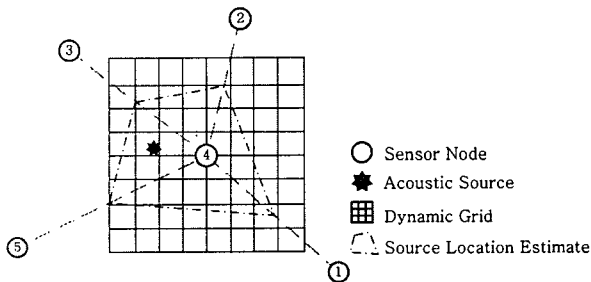


그림 2 음원위치에 따른 리더 선출과 추정 Grid 생성

각 노드는 리더의 위치를 받으면 그 위치를 중심으로 가상의 동적 추정 Grid를 생성한다. 리더는 자신이 음원에서 가장 가까운 위치에 있으므로 자신을 중심으로 다른 노드들과의 연결선의 중점좌표를 구한다. 이 좌표를 모두 포함하는 최소의 정사각형을 생각할 때 이 사각형안에 음원이 위치한다고 할 수 있으며 이 정사각형의 크기가 추정 Grid의 크기가 된다. 그림 2에서는 4번 노드가 음원에 가장

가우며 실선의 정사각형이 추정 Grid의 크기가 된다.

추정 Grid의 크기가 리더 선언 메시지에 포함되어 각 노드에 도착하면 위치판별 알고리즘이 각 노드에서 시작된다. 각 노드 그룹내의 모든 다른 노드의 음파감지 정보를 자신과 비교하여 음원이 어떤 노드에 더 가까운지를 결정한다. 예를 들어 노드 n_1 과 n_2 가 존재할 때 노드 n_1 의 음원감지시점이 더 빠를 경우 두 노드 중 n_1 과 가까운 영역에 음원이 위치한다고 생각할 수 있다. 노드는 자신과 자신이 모든 다른 노드들과의 음파감지정보를 비교하여 추정 Grid의 각 셀에 예상되는 음원의 위치를 표기한다.

각 노드는 자신이 표기한 Grid를 리더에게 되돌려 보내며 그 후에 다시 음파를 감지하기 위한 샘플링 하는 시점으로 돌아가게 된다. 리더도 위치판별 알고리즘을 수행한 뒤 일정시간을 기다리게 된다. 각 노드가 동일한 시간에 연산을 시작했기 때문에 리더는 미리 정해진 시간 동안 각 노드가 보고하는 Grid를 받게 되며 각 Grid를 합하여 하나의 종합적인 Grid를 만들게 된다. 이 Grid에서 가장 많은 추정치를 가진 부분이 음원의 위치로 결정되며 이는 리더에 의해 베이스 시스템으로 전송된다. 전송을 마친 리더는 다시 음파감지를 위한 샘플링 시점으로 돌아감으로써 시스템은 초기화된다.

4. 실험

구현은 무선 센서네트워크용 하드웨어 MicaZ를 이용하였으며 저가의 마이크가 장착된 센서보드 MDA310CA를 이용하였다. 랩탑과 연결된 베이스 노드를 두고, 이 노드를 각 노드에서 통신하는 내용과 마지막에 산출되는 음원위치좌표값을 수신하였으며, 이를 랩탑으로 전송하는 역할을 하게 하였다. 각 노드에 사용된 OS는 UC Berkeley에서 개발된 TinyOS를 사용하였고, 시각동기화는 Vanderbilt University에서 개발된 Flooding Time Synchronization Protocol(FTSP)[8]을 이용하였다. 본 시스템은 추가적인 신호처리장비를 가정하지 않기 때문에 음원의 성질을 충격적인 것으로 한정한다. 따라서 음파의 감지는 신호의 크기를 바탕으로 했다. 이를 달성하기 위해서는 높은 샘플링 비율이 필요하나 TinyOS의 기본적인 타이머로는 KHz 대의 샘플링이 불가능하다. 따라서 MCU인 ATmega128L에 있는 추가적인 타이머를 이용하였으며, 실제로 실험에는 2KHz의 샘플링 비율을 사용하였다.

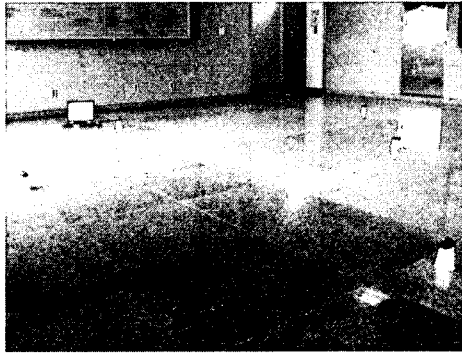


그림 3 실험 환경

그림 3은 구현된 시스템을 실제 촬영한 사진이다. 실험은 일반적인 소음이 존재하는 건물의 로비에서 진행하였다. 실험구성은 아래 그림 4와 같이 6m×6m의 공간에서 진행되었다. 각 원은 노드를 나타내며 노드의 좌표를 표시하였다. 그리고 별 모양의 붉은 점들은 음원이 위치한 곳으로 각 음원의 위치마다 10번의 테스트가 진행되었다. 또한 동적으로 생성되는 Grid는 8×8로 이루어 졌다. 리더 선출시간은 필드에서 가능한 물리적 최대 음파 전파 시간으로 결정하는데 예를 들어 노드간 최대거리가 10m라면 약 30ms이상의 값이 된다. 실험에서는 50ms, 리더에서 각 노드의 추정 Grid를 기다리는 시간도 역시 50ms로 실험을 하였다. 실험은 참여노드가 4, 5, 6개일 경우에 대해 각각 실험을 하였으며 4개의 노드 외에 추가로 참여한 노드는 회색 원으로 표기하였다.

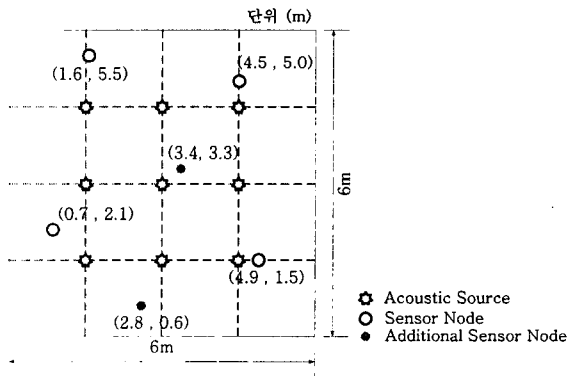


그림 4 실험 구성

그림 5는 음원의 위치별 평균 오차를 제시한다. 결과에서는 노드의 정확도가 중심으로 갈수록 더욱 정확해 지는 것을 알 수 있다. 이는 제안하는 알고리즘의 정확도는 음원의 위치와 센서의 위치에 따라 달라지기 때문이다. 이런 문제는 본 알고리즘이 가지는 높은 확장성을 바탕으로 목적 영역을 담당할 수 있는 노드를 적절히 배치함으로써 그 정확도를 높일 수 있을 것이라 예상된다. 오차의 원인은 시각동기화 오차와 알고리즘이 영역을 기반으로 추정하기 때문에 다소 넓은 범위를 결과로 제시하는 경우가 존재하기 때문이다. 이 문제는 각 노드가 리더에게 보내는 추정 Grid를 포함한 패킷을

잃어버린 경우에 더욱 자주 발생한다. 하지만 위치판별에 참여 노드의 수가 증가할수록 좁은 범위의 결과가 나올 것으로 예상되며 결과의 정확도가 크게 증가할 것이다.

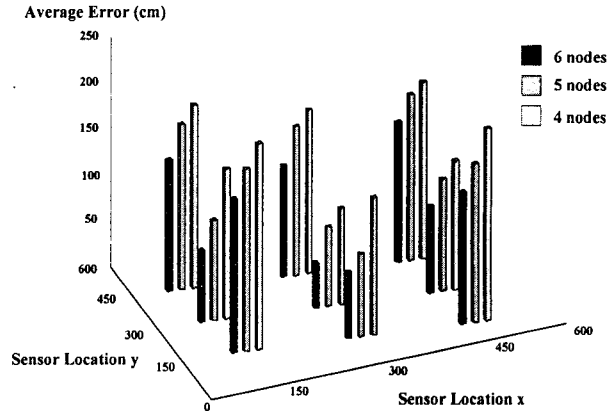


그림 5 음원 위치와 노드 수에 따른 평균 오차

5. 결론

본 논문에서는 Range-free방식의 음원탐지시스템을 제안하였다. 제시하는 시스템은 초소형, 저 전력의 무선 센서노드만을 이용하며, 분산된 알고리즘을 가진다. 따라서 본 시스템은 높은 확장성을 지니며, 실제 구현 가능하다. 향후 높은 정확도를 위한 추정기법개선을 포함하여 네트워크의 효율적 사용을 위해 혼잡제어, 데이터양 최소화를 위한 데이터 압축 기법, 네트워크 수명 최대화 등에 대한 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

- [1] Dan Li, Yu Hen Hu, "Energy-Based Collaborative Source Localization Using Acoustic Microsensor Array," J. EURASIP on Applied Signal Processing, vol. 4, pp. 321337, April 2003
- [2] X. Sheng and Y. Hu, "Maximum Likelihood Wireless Sensor Network Source Localization Using Acoustic Signal Energy Measurements," IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 53, no. 1, January 2005.
- [3] Simon, G., et al, "Sensor Network-based Countersniper System," In Proc. of the Second ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, November 2004.
- [4] Wen Hu, Van Nghia Tran, Nirupama Bulusu, Chun Tung Chou, Sanjay Jha, Andrew Taylor, "The Design and Evaluation of a Hybrid Sensor Network For Cane-toad Monitoring," Proc. of the 4th Workshop on Information Processing in Sensor Networks, April, 2005.
- [5] Q. Wang, W-P Chen, R. Zheng, K. Lee, and L. Sha, "Acoustic Target Tracking Using Tiny Wireless Sensor Devices," Proc. of the 2nd Workshop on Information Processing in Sensor Networks, April 2003.
- [6] W. P. Chen, C. J. Hou, and L. Sha, "Dynamic clustering for acoustic target tracking in wireless sensor networks," Proc. of IEEE International Conference on Network Protocols, November 2003.
- [7] <http://www.xbow.com/Products/productsdetails.aspx?sid=101>
- [8] Maroti, M., Kusy B., Simon G., Ledeczi A., "The Flooding Time Synchronization Protocol," Proc. of The Second ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, November 2004.