

무선 센서 네트워크를 위한 센서 노드 배치

장웅진^o, 이승구

포항공과대학교 전자전기공학과 컴퓨터구조 연구실

itmind@postech.ac.kr, slee@postech.ac.kr

Sensor Node Deployment for Wireless Sensor Networks

Ungjin Jang^o and Sunggu Lee

CA Lab., Dept. of EE., POSTECH

무선 센서 네트워크는 일정 지역에 배치된 다수의 센서들이 특정 물리적, 화학적 현상에 대한 정보를 수집하여 무선 통신을 이용해 수집한 정보를 전달하는 네트워크이다. 이런 무선 센서 네트워크는 원래의 목적인 감시, 대상의 위치 파악 및 추적과 같은 군사적 목적에서부터 생태 환경 조사, 생산 설비의 상태 파악, 위험 상황 감지 등의 사회적인 목적으로 그 적용 범위가 확대되고 있다[1], [2].

이러한 센서 네트워크를 실제로 구축하기 위해서는 기술적인 요소뿐만이 아니라 경제적인 요소 또한 고려해야 한다. 센서의 가격은 기술이 발전함에 따라 점차 낮아지고 있는 추세이지만, 단순히 가격을 낮추는 것에 그치지 않고 센서들을 효율적으로 배치하여 보다 적은 수의 센서만으로 정보를 얻고자 하는 대상 지역을 최대한 커버하는 것이 필요하다. 여기에서 커버한다는 것은 특정 영역이 센서의 감지 범위 내에 들어감을 의미한다. 적은 수의 센서를 사용할 경우에는 센서의 감지 범위에 따라 직접 센서들을 배치하는 것이 효과적일 수가 있지만, 대부분의 센서 네트워크 응용들은 대량의 센서들을 사용하기 때문에 기본적으로 센서들을 무작위로 살포하는 것을 전제로 하여 효율적인 배치와 관련된 다양한 연구가 진행되어 왔다. 초기의 연구들 [3], [4]은 움직임이 제한된 고정형 센서 만을 고려했던 반면에, 최근에는 일정 영역을 움직일 수 있는 이동형 센서를 활용하여 커버할 수 있는 영역을 늘리고자 하는 연구들 [5], [6]이 진행되었다. 뿐만 아니라, 상대적으로 가격이 저렴한 고정형 센서와 가격이 비싼 이동형 센서를 적절히 혼합하여 소요 비용을 줄이면서 센서들이 커버하는 영역의 크기를 늘리는 방법 [7]도 제안되었다.

이 논문에서는 두 단계에 걸친 센서 배치를 통해 센서 네트워크의 커버 범위를 향상시키는 알고리즘을 제안하였다. 첫 번째 단계에서는 살포와 같은 방법을 이용해 대량의 센서들을 무작위로 배치한다. 이러한 센서들을 “무작위 배치 센서”라고 부르도록 하겠다. 무작위 배치 센서들은 자신의 주변을 가상의 격자(grid) 구조에 대응시켜 어떠한 무작위 배치 센서에도 커버되지 않는 격자점(grid point)의 수를 계산함으로써 커버 불능 영역의 크기를 추정하고, 새로운 센서가 배치되었을 때 커버되지 않았던 격자점들을 가장 많이 커버할 수 있는 격자점을 찾아낸다. 이 과정에서 각각의 무작위 배치 센서들은 자신의 주변 영역에 대해서만 격자 구조를 형성하기 때문에 각각의 무작위 배치 센서들이 다루게 되는 격자점의 수는 상수가 된다. 그리고 제시한 알고리즘에서는 각 격자점이 다른 무작위 배치 센서에 의해 커버되는지 여부를 통해 커버 불능 영역을 추정하기 때문에, 각 무작위 배치 센서가 커버 불능 영역을 추정하는 계산의 복잡도는 $O(n)$ 이 된다. 여기에서 n 은 주변의 무작위 배치 센서의 수이다. 두 번째 단계에서는 첫 번째 단계에서 찾아낸 격자점에 추가로 센서들이 배치된다. 이 때 배치되는 센서들은 지정된 위치에 배치된다는 의미에서 “지정 배치 센서”라고 부르도록 하겠다. 지정 배치 센서는 상황에 따라 사람이 직접 배치하거나 이동형 센서를 사용하여 자동적으로 배치가 가능하도록 할 수 있다. 새롭게 배치된

지정 배치 센서는 배치된 사실을 알림으로써 주변의 무작위 배치 센서들이 다시 커버 불능 영역을 추정하여 아직 배치가 끝나지 않은 지정 배치 센서들의 배치에 반영할 수 있도록 한다.

제시한 알고리즘의 성능은 시뮬레이션을 통해 평가하였다. 첫 번째 실험에서는 60m x 60m 영역에 60개의 센서를 배치할 때, 지정 배치 센서의 비율을 0, 10, 20, 30, 40, 50%로 변경해서 측정하였다. 실험 결과, 지정 배치 센서만을 사용했을 때에는 약 80% 정도의 커버 비율을 얻을 수 있었지만, 지정 배치 센서를 10%만 사용하여도 커버 비율을 90% 정도로 향상시킬 수 있었고, 지정 배치 센서의 비율을 50%로 늘렸을 때에는 커버 비율을 98% 이상으로 향상시킬 수 있었다. 두 번째 실험에서는 같은 60m x 60m 영역에서 지정 배치 센서의 비율을 변경시켜 가면서 원하는 수준의 커버 비율을 얻기 위해 필요한 최소한의 센서 수를 측정하였다. 90% 커버 비율을 얻기 위해서 무작위 배치 센서만을 사용할 때는 85개의 센서가 필요했지만, 지정 배치 센서를 10% 사용했을 때에는 60개의 센서만으로도 90% 커버 비율을 얻을 수 있었고, 지정 배치 센서를 50% 사용했을 때에는 42개의 센서가 필요했다. 98% 커버 비율을 얻기 위해서는 무작위 배치 센서만을 사용했을 때와 지정 배치 센서를 10%, 50% 사용했을 때, 각각 130, 82, 58개의 센서가 필요했다. 이 실험과 더불어서 무작위 배치 센서의 비용을 1, 지정 배치 센서의 비용을 2로 하였을 때, 90%와 98% 커버 비율을 얻기 위해 필요한 비용은 지정 배치 센서를 30% 비율로 사용했을 때 가장 저렴했다. 이는 지정 배치 센서를 많이 사용할 경우 같은 커버 비율을 얻기 위한 전체 센서 수는 줄어들지만 지정 배치 센서의 비용이 상대적으로 높기 때문에 센서 배치에 필요한 비용이 다시 증가하는 양상을 보이기 때문이다. 따라서, 센서 노드 배치를 위한 전략으로서 이 논문에서 취한 무작위 배치 센서와 지정 배치 센서의 혼용이 비용적인 측면에서 효과적이라고 할 수 있다. 비슷한 전략을 취하는 [7]의 VOR 알고리즘과 비교했을 때, 필요한 센서 노드의 수와 비용이 전체적으로 10~15% 정도 적었다는 점에서 더욱 큰 의미를 부여할 수 있다.

참고문헌

- [1] D. Puccinelli and M. Haengi, "Wireless sensor networks: Applications and challenges of ubiquitous sensing," *IEEE Circuits and Systems Magazine*, Vol. 5, No. 3, pp. 19-31, 2005.
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, No. 8, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [3] T. Clouqueur, V. Phipatanasuphom, P. Ramanathan, and K. K. Saluja, "Sensor deployment strategy for target detection," *Proc. International Workshop Wireless Sensor Networks and Application, 2002*, pp. 42-48, Sep. 2002.
- [4] S. Dhillon, K. Chakrabarty, and S. Iyengar, "Sensor placement for grid coverage under imprecise detections," *Proc. International Conference on Information Fusion, 2002*, Vol. 2, pp. 1581-1587, Jul. 2002.
- [5] Y. Zou and K. Chakrabarty, "Sensor deployment and target localization based on virtual forces," *Proc. IEEE INFOCOM, 2003*, Vol. 2, pp. 1293-1303, Mar. 2003.
- [6] A. Howard, M. J. Mataric, and G. S. Sukhatme, "An incremental self-deployment algorithm for mobile sensor networks," *Autonomous Robots, special issue on intelligent embedded systems, 2002*, Vol. 13, No. 2, pp. 113-126, Sep. 2002.
- [7] G. Wang, G. Cao, and T. F. La Porta, "A bidding protocol for deploying mobile sensors," *Proc. 11th IEEE International Conf. Network Protocols*, pp. 315-324, Nov. 2003.