

센서 네트워크에서 효율적인 센서 배치 문제의 새로운 접근 방향

이철기^o 이승학 윤현수

한국과학기술원 전산학과

{cklee^o, shlee}@nslab.kaist.ac.kr hyoon@kaist.ac.kr

New Approach for the Efficient Sensor Deployment in Sensor Networks

Cheolki Lee^o Seunghak Lee Hyunsoo Yoon
Korea Advanced Institute of Science and Technology

요 약

우리는 센서 영역에서 노드들을 효율적으로 배치하기 위한 새로운 관점의 문제를 제안하고자 한다. 기존 연구에서는 센서 영역에서 발생하는 이벤트를 잘 감지할 수 있도록 센서를 배치하기 위해서 임의의 지역에서의 센싱 능력 목표량(Threshold) T의 값 이상을 보장하도록 배치하는 방법을 사용하였다. 하지만, 센서 영역의 형태가 달라지거나 센서 영역 내에 중요성이 다른 지역이 있다면 위의 방법이 효율적이지 않다. 따라서 본 연구에서는 센서들의 평균적인 센싱 능력이 최대가 되도록 배치하는 접근방안과 그 필요성을 제안한다.

키워드 : 센싱 능력, 센서 배치, 센서 네트워크

Abstract

We propose the new approach for the efficient sensor deployment in sensor networks. In the existing works, they use the approach that guarantee the sensing ability T for any point in the sensor field. However, if the shape of the sensor field is changed or it is composed of the sections that have different importance each other, the previous approach is not efficient. So, in this work, we propose the approach that maximize the average sensing ability and it's necessity.

Keyword : Sensing ability, Sensor deployment, Sensor networks

1. 서 론

센서 네트워크는 물리공간 상에서 발생하는 빛, 소리, 온도, 움직임 등과 같은 이벤트를 감지하고 측정하고 측정된 정보를 가공하여 싱크나 베이스스테이션과 같은 노드에 전달을 하여 정보를 얻는 시스템이다. 이러한 센서 네트워크는 야생 서식지, 재난 관리, 군사 정보 획득 등 환경을 감시하는 시스템으로 유용하게 활용될 수 있다. 하지만, 센서 네트워크는 제한된 자원과 처리, 통신 능력을 통해 넓은 지역에 서비스를 제공해야 하기 때문에 응용분야에 따라서 센서들을 효율적으로 배치하는 문제가 필수적으로 중요한 요소가 된다.

센서들을 배치하는 문제에는 제한된 수의 센서를 센서 영역상에 배치하여 가장 높은 센싱 능력을 얻는 방법과 원하는 센싱 능력을 얻기 위해 필요한 센서의 수를 찾는 문제를 생각할 수 있다. 본 논문에서는 전자의 문제에 초점을 두고 접근하였다.

기존의 연구방향을 살펴보면 대개 일정지역에서 발생하는 이벤트를 잘 감지하기 위해서 모든 지역의

센싱 능력이 r 이상이 되도록 보장하는 방법을 연구하였다. 이 관점은 발생하는 모든 이벤트가 최소한 센서의 감지반경 r 이내에 있어야 한다는 것이다. 하지만 이와 다른 관점에서 살펴보면 이벤트를 잘 감지하기 위해서 센서 영역에 있는 대상에 대한 센서들의 평균적인 센싱 능력을 최대화하는 방식으로 문제를 해결할 수 있다.

주어진 센서를 최대의 센싱 능력이 보장되도록 배치하는 문제는 일반적으로 상당히 복잡한 계산과정을 필요로 하여 풀기 어렵다. 따라서 우리는 센서 영역을 2차원의 격자 형태로 이루어진 영역으로 나타내고 이러한 격자영역에서의 센서 배치 방법을 다룰 것이다. 우리는 센서영역에서의 최적화 커버리지 문제를 풀기 위해서 두 가지의 접근방식을 제안하고 그 두 가지 접근방식을 비교할 것이다. 또한 센서영역은 물리적인 공간의 지역적인 특성과 영역의 중요성(ex. 군사적인 목적의 전략적 특성을 고려)의 차이로 인해서 지역마다 발생하는 이벤트는 다른 확률로 발생할 수도 있다. 먼저, 이벤트가 발생할 확률이 같은 경우에 두 가지

접근방식이 다르며, 특히 발생할 확률이 다른 경우에 커버리지를 최적화하는 문제에서 두 가지 접근방식의 차이점을 설명할 것이다.

논문의 남은 부분의 구성은 다음과 같다. 2장에서 우리는 관련된 문제에 대해 기존의 연구개발 동향을 살펴보고, 3장에서 두 가지의 접근방식을 설명하고 그 차이점에 대해서, 4장에서 미래 연구방향, 5장에서 결론을 맺을 것이다.

2. 연구개발 동향

센서 네트워크에서 센서를 효율적으로 배치하여 높은 커버리지를 얻기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다. 센서 배치 방법과 미술관 내에서 감시 시스템을 구축하는 문제(AGP)가 밀접한 관련성이 존재한다는 연구가 있었다[1]. AGP문제는 미술관 내부를 잘 감시하기 위해서 필요한 경비들의 최소 수를 결정짓는 문제로 정의되었다. 이 문제는 반경 R을 가진 디스크로 주어진 공간을 채워서 빈 공간이 없도록 배치하는 문제로 생각할 수 있다. 또한, 센서 네트워크가 일정기간의 시간 동안 임의의 패스를 따라서 이동하는 물체를 잘 감지하기 위한 관점에서 커버리지 문제를 풀기 위해서 Exposure가 사용되었다[2]. Minimal Exposure Path(MEP)는 물체가 이동하는 경로의 Exposure가 최소화 될 수 있도록 구성된 경로이다. 인가되지 않은 사람이나 물체는 센서로부터 최대한 노출이 적도록 움직이려고 할 것이기 때문에 MEP를 따라서 경로를 찾게 되므로 센서 영역을 잘 커버하기 위해서는 이러한 MEP를 찾아서 커버리지를 높이는 것이 필요하다. 따라서, 기존에 배치된 센서 네트워크에 추가적인 K개의 센서를 배치하여 인가되지 않은 사람이나 물체가 이동하는 경로를 잘 감지하기 위한 환경에서는 MEP 중에서 최대한 노출이 잘 되는 위치에 추가적인 센서를 배치 하였을 때 효율이 가장 높다[6].

K개의 센서가 주어졌을 때 영역을 가장 잘 커버하기 위한 알고리즘도 제안되었다[3]. 여기서는 임의의 한 점에서의 커버리지가 목표량(Threshold) T이상일 수 있도록 배치하는 방법에 초점이 맞추었다. 최적화된 배치를 얻어내는 것은 상당히 복잡하고 찾기 어렵기 때문에 센서 영역을 격자 형태로 나누어 Heuristic 알고리즘을 통해서 문제를 풀었다. 2가지 알고리즘이 제안되었는데 그 두 가지는 센서를 배치했을 때 감지될 확률이 최소인 위치를 찾아 그 위치에 센서를 배치하는 MAX_MIN_COV 알고리즘과 센서를 배치했을 때 센서 영역 내에 모든 점들의 평균적인 커버리지가 최대가 되도록 배치하는 MAX_AVG_COV 알고리즘이다. 이 두 가지의 알고리즘은 공통적으로 영역 내 모든 점에서 목표 커버리지 값을 얻어내기 위해서 주어진 센서를 하나씩 Greedy 방식으로 배치한다는 점이다. 따라서

하나씩 센서를 배치하기 때문에 K개의 센서가 주어졌을 때의 최대의 커버리지를 위한 최적화된 방법과는 거리가 있고 본 논문에서 제안하는 센서들의 평균적인 커버리지를 높이는 방법과도 차이가 있다. 따라서 우리는 본 논문에서 이러한 접근방식의 차이를 설명하고 제안하는 접근방식이 필요함을 설명하고자 한다.

3. 효율적인 센서 배치 방법

3.1. 센서 네트워크 응용분야

제안하는 센서배치 문제에서의 접근방식이 사용될 수 있는 경우를 생각해 보자. 전략적으로 중요한 목적을 지닌 군사시설에는 각 병사들로부터 각기 다른 중요한 임무를 맡고 있는 장교, 지휘관, 연구원 들로 구성되어 있다. 이러한 시설에서는 그 중요성으로 인해서 사람 또는 다른 물체의 이동량을 감시할 필요성을 가지며 각 구역별로 그 중요성은 달라질 수 있다. 즉, 극비의 보안을 요구하는 장소들을 이동하는 사람 또는 물체는 정확히 감지를 할 필요가 있고 상대적으로 중요성이 떨어지는 지역 내에서는 고도의 감시를 필요로 하지 않으며 또는 감시 자체가 문제가 되지 않을 수도 있다. 따라서 우리는 이러한 지역에 주어진 센서를 사용하여 가장 효율적으로 감시할 수 있는 시스템을 구축하기 위해서 어떻게 센서를 배치할 수 있을까? 이러한 경우에는 임의의 지역에 센싱 능력이 R이상일 되도록 보장하는 방법보다는 발생하는 이벤트를 고려하여 타겟과 센서들 사이의 평균적인 센싱 능력이 최대가 되도록 구성하는 방법이 더 효율적이다.

3.2. 센서 네트워크 모델

센서들이 대상을 감지하기 위해서는 대상이 센서의 센싱 반경 R 내에 위치해야 한다. 이러한 센서의 센싱 능력은 대상과의 거리가 증가함에 따라 감소하고 센서가 측정하는 시간이 증가함에 따라서 향상될 수 있다. 이러한 관점에서 임의의 점 p에서 센싱 모델 S를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$S(s, p) = \frac{\lambda}{[d(s, p)]^k}$$

여기서 d(S,P)는 센서 s와 임의의 점 p 사이의 유클리드 거리이고 상수 λ 와 K는 센서 기술에 의존적인 요소이다. 이러한 센서의 센싱 모델은 영역 내에 모든 센서들을 고려하는 모델과 대상과 가장 가까운 센서만을 고려하는 모델이 있다. 먼저, 영역 내 모든 센서들을 고려하는 모델로 센서 영역 F에서 한 점 p가

주어졌을 때 모든 센서들로부터의 효과적인 센싱 능력의 측정값은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$I_A(F, p) = \sum_1^n S(s_i, p)$$

다음은 대상에 가장 가까운 센서만을 고려하는 모델로 센서 영역 F에서 한 점 p가 주어졌을 때 센싱 능력의 측정값은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$I_C(F, p) = S(s_{\min}, p)$$

본 논문에서는 두 번째 센싱 모델을 사용함으로써 한 점 p에 있는 대상이 감지되는 센싱 값은 가장 가까운 센서로부터만 영향을 받는다고 가정한다. 즉, 본 논문에서 풀고자 하는 문제는 K개의 센서가 주어졌을 때 최대의 센싱 능력을 얻기 위한 방법을 찾는 것이며 여기서 한 점 p에서의 커버리지는 가장 가까운 센서와의 거리 d에 의해 결정된다고 가정한다.

3.3. 센싱 능력 r이 보장되도록 하는 방법

센서 네트워크에서 최적화된 센서의 배치를 하기 위해서 모든 지역이 일정한 센싱 능력 이상을 보장할 수 있도록 배치하는 방법을 알아보자. 주어진 센서 공간을 7개의 센서로 모두 커버하면서 센싱 반경 r이 최소화되도록 배치하려면 어떻게 해야 할까? 그림 1과 같이 배치함으로써 얻어낼 수 있다. 여기서 풀고자 하는 문제는 이러한 r을 최소로 줄이는 것이며 결과적으로 모든 점에서 센싱능력 r을 보장하게 된다.

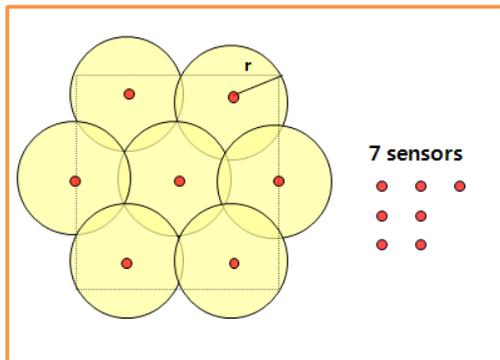


그림 1. 센싱 능력 r이 보장되도록 하는 방법

따라서 센싱 능력 r이 보장되도록 하는 문제는 다음과 같이 정의할 수 있다. 센서 영역 F의 모든 점 p에 대해서,

$$\text{Minimize } \text{MAX}_{p \in F} d(S, p).$$

여기서, S는 센서 영역 F에 배치될 센서 집합이며 d(S,p)는 두 위치 사이의 유클리드 거리를 말한다. 이러한 결과를 얻을 수 있는 방법은 여러 가지

알고리즘으로 제안 되었으며 본 논문에서는 이러한 방법론은 논외로 한다.

3.4. 평균적인 센싱 능력을 최대화하는 방법

발생하는 이벤트들이 센서들과 평균적인 거리가 최소화되도록 배치를 하면 센서들의 평균적인 센싱 능력이 최대가 된다. 이러한 배치 방법은 이벤트가 발생할 확률이 다르거나 센서 영역이 복잡할 때는 센서 영역을 위의 방식보다 효율적일 수 있다.

아래 그림 2는 센서 영역에서 발생하는 이벤트들이 어느 지역에 집중될 때 2개의 센서를 배치하는 문제를 나타내고 있다. 왼쪽 그림은 센서와 발생하는 이벤트들의 거리의 평균이 최소가 되도록 배치한 것이고 오른쪽 그림은 센싱 능력이 r이상이 되도록 배치한 예이다. 여기서 센싱 능력이 r이상이 되도록 배치한다는 것은 가장 센싱 능력이 좋지 않을 때의 반경이 r이 된다는 의미이다. 따라서 오른쪽 배치는 센서 영역이나 이벤트가 발생하는 분포에 따라서 배치가 변하지 않는다는 것을 알 수 있다. 이벤트가 일부 지역에 집중될 때 그 지역 내에 더 많은 센서를 배치하여 네트워크 전체의 감지 능력을 극대화 시킬 수 있다. 반면 오른쪽 그림은 전체적으로 어느 정도(r)의 센싱을 보장받지만 네트워크 전체의 센싱 효율을 보았을 때는 좋지 않을 것이다.

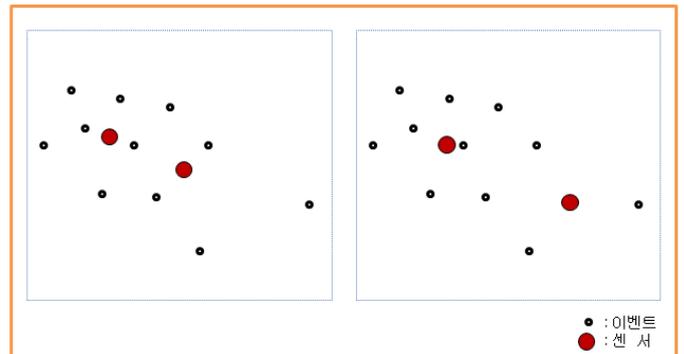


그림 2. 평균적인 센싱 능력을 최대화 하는 방법(왼쪽)과 센싱 능력 r이 보장되도록 하는 방법(오른쪽)의 비교

여기서 평균적인 센싱 능력을 최대화 하는 문제는 다음과 같이 정의할 수 있다. 센서영역 F의 모든 점 p에 대해서,

$$\text{Maximize } \text{AVG}_i^n I_C(F, p_i).$$

위의 제시한 두 접근방식은 센서 네트워크의 각 응용분야에 따라 서로 다른 방식에 비해 더 효율적일 수 있다. 그러므로 센서의 배치문제는 두 가지 방식 중 어느 한 방향이 아닌 두 방향을 모두 고려해야 한다.

4. 미래 연구 방향

앞에서 센서 영역의 형태가 달라지거나 각 위치에서 이벤트가 발생할 확률이 달라진다면 센서를 균일하게 배치하는 것이 아니라 센서로부터 가장 가까운 위치에서 이벤트가 발생할 수 있도록 센서 네트워크를 배치해야 한다고 언급하였다. 이러한 센서 네트워크의 응용분야는 많은 분야에서 필요할 것이다.

센서를 영역 내에서 센싱 능력을 최적화하는 문제는 상당히 복잡한 계산과정을 필요로 하기 때문에 아직 풀리지 않았고 Approximation 알고리즘들만 제안되고 있다. 동일하게 제안하는 접근방식도 최적화된 배치방법을 찾기는 어렵지만 우선은 최적화된 배치에 최대한 가까운 결과를 얻을 수 있는 Heuristic 방법으로 우선 접근해야 할 것이다.

5. 결 론

센서 네트워크에서 최적화된 센서의 배치를 하기 위해서는 모든 지역이 일정한 센싱 능력 이상을 보장할 수 있도록 배치하는 방법 뿐 아니라 지역 내 모든 점에 대해 평균적인 센싱 능력을 최대화되도록 배치하는 것이 중요한 문제임이 분명하다. 따라서 센서 네트워크에서 센서 배치문제가 전체적으로 크게 두 부분으로 나뉘어져 있으며 응용분야에 따라서 이 두 방식의 각각 고려되어야 한다는 점에서 큰 의미가 있다. 또한 이러한 접근 방식을 연구함으로써 센서 배치문제의 많은 문제가 풀릴 수 있을 것으로 기대한다.

4. 참고 문헌

[1] J. O'Rourke, Art Gallery Theorems and Algorithms, Oxford University Press, New York, NY, 1987.
 [2] S. Meguerdichian, F. Koushanfar, M.Potkonjak, and M. Srivastava "Coverage problems in wireless ad-hoc sensor network," Proc. IEEE INFOCOM '01, pp. 1380-1387, 2001.
 [3] S. S. Dhillon and K. Chakrabarty, "Sensor placement for effective coverage and surveillance in distributed sensor networks", Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp. 1609-1614, 2003.
 [4] K. Chakrabarty, S. S. Iyengar, H. Qi and E. Cho, "Grid coverage for surveillance and target location in distributed sensor networks", IEEE Transactions on Computers, vol. 51, pp. 1448-1453, 2002.

[5] Thomas Clouqueur , Veradej Phipatanasuphorn , Parameswaran Ramanathan , Kewal K. Saluja, "Sensor deployment strategy for target detection", Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications, September 28-28, 2002.
 [6] Y. T. Hou, T.C. Lee, C. M. Chen, Bi. Jenq, "Node placement for optimal coverage in sensor networks", Proc. Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing, 2006. IEEE, Vol. 1, pp. 352-357, 2006.