

유비쿼터스 센싱 인프라 구축을 위한 최적센서 배치 방법

김정은¹⁰ 윤만기¹ 한정희² 이창건^{1*} 하은용³

서울대학교¹ 삼성전자² 안양대학교³

deep0314@snu.ac.kr, ymk3337@snu.ac.kr, junghee0917.han@samsung.com,
cglee@snu.ac.kr, eyha@anyang.ac.kr

Optimal Sensor Placement method for Construction of Ubiquitous Sensing Infra

Jung-Eun Kim¹⁰ Man-Ki Yoon¹ Junghee Han² Chang-Gun Lee^{1*} Eun Yong Ha³

The School of Computer Science and Engineering, Seoul National University¹

Samsung Electronics Co.Ltd² Dept. of CSE Anyang University³

요 약

유비쿼터스 환경에 대한 관심이 증폭됨에 따라, 센서는 다양한 어플리케이션들에서 점점 더 많이 사용되고 있다. 이러한 센서 시스템에서, 최소 개의 센서를 가지고 대상 공간이 복수 개의 센서에 의해 완전히 센싱 되게 하기 위해서는, 센서를 어디에 배치하느냐가 중요한 문제이다. 또한 복수 개의 센서에 의해 센싱된 데이터로부터 의미 있는 정보를 추출하기 위해서는 센서 서로 간의 거리가 너무 가까워서는 안 된다. (최소거리 요건). 이를 위하여 우리는 TRE-based approach라고 하는, 최소거리 요건을 만족하며 3-coverage 문제를 해결하는 방법을 제안하며, 이를 기반으로 3-coverage 문제를 3차원으로 확장시킬 때 가능한 센싱 coverage 모델과 그 확장 가능성에 대해 논의한다.

1. 서 론

유비쿼터스 환경에 대한 관심이 증폭됨에 따라, 센서는 다양한 어플리케이션들에서 점점 더 많이 사용되고 있다. 이러한 센서 시스템에서, 최소 개의 센서를 가지고 대상 공간이 완전히 센싱 되게 하기 위해서는, 센서를 어디에 배치하느냐가 중요한 문제이다. 이 문제를 위해 여러 가지 방법들이 제안되어 왔다 (1; 2; 3). 많은 연구들에서, 대상 공간의 한 지점이 적어도 한 개의 센서에 의해 센싱 되도록 (이하 1-coverage라 함.) 센서의 위치를 정하는 방법에 대한 연구들이 진행되어 왔다.

그러나 실제로는 대상 공간의 어느 지점이 하나의 센서만을 통해 센싱 되는 것으로는 충분한 결과를 얻을 수 없다. 예를 들어, 목적물의 위치 계산에 흔히 쓰는 triangulation 방법만 해도, 적어도 3개의 센서가 그 대상을 sensing 해야 한다. 또한 이러한 관점에서 3-

coverage 문제를 제안한다.

실제로 센서를 배치하는 데에 있어 그 동안 간과되어 왔던 중요한 이슈 중의 하나는, 센서간의 최소 거리 요건이 존재한다는 것이다. 최소 거리 요건이란, 극도로 가깝게 배치된 센서들은 불필요한 정보를 내보내게 되어, 이들을 융합해 봤자 단일 센서에서 얻을 수 있는 정보 이상을 얻을 수 없다는 것이다. 그림 1 은 세 개의 크리켓 울트라소닉 센서 (4) 간의 거리를 조정하면서, 각 센서로부터의 거리를 가지고 triangulation을 하여 얻은 위치 측정 값의 평균 오차를 보여주고 있다. 센서 간의 거리가 20cm이내로 줄어드는 지점에서 그 오차가 확연히 커진다. 즉, 최소 거리 요건을 만족하게 되는 최소값이 20cm이라는 의미이다.(이하에서는 이 최소 거리 값을 MinSep이라 칭한다.) 따라서 어떤 대상 지점에 대해 20cm 이상 떨어져 있는 센서들만을 고려 대상으로 삼아야 한다는 것이다.

* 교신저자임

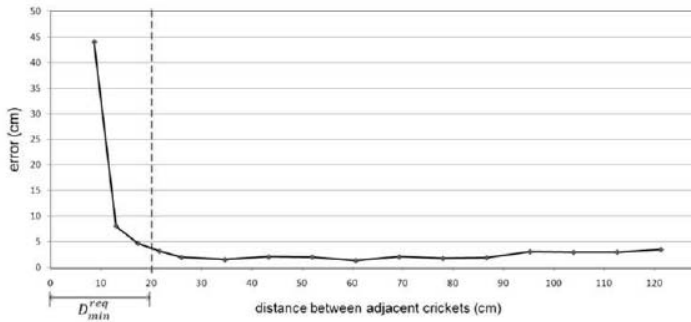


그림 1. 크리켓 울트라소닉 센서의 최소거리 요건*

실제 응용에서의 이러한 최소 거리 요건을 만족하면서 3-coverage를 해결하기 위하여 TRE-based approach를 제안한다. TRE(Triple-Round-Edge area)는 세 센서의 센싱 영역이 중첩되는 부분으로, 이 TRE를 반복적으로 붙여나가면서, 전체 대상 공간을 cover하게 만든다.

이를 토대로, 우리의 실제 생활공간인 3차원으로 그 문제를 확장하여 생각해 볼 수 있다. 3차원 상의 센서 배치는 좀 더 정확하고 세밀하게, 더 적은 오차 범위 내에서 물체 위치를 인식할 수 있도록 한다. 이를 위해서는 먼저, 센서의 센싱 coverage를 기하학적으로 모델링 하는 과정이 필요하며, 이 센서 coverage 모델을 바탕으로 3차원 공간의 3-coverage를 만족시키는 효율적 센서 배치 방법의 가능성을 논의해 본다.

2. 문제 기술

이 센서 배치 문제를 기하학적으로 풀기 위하여, 센서의 센싱 영역을 원으로 모델 하도록 한다. 그림 2는 크리켓 울트라 소닉 센서 (4)를 가지고, 센서 주위의 영역에 대한 거리 측정의 정확도를 보여 주고 있다. 실험 결과에서 보여주듯이, 90%이상의 정확도를 가진 영역을 원의 모양으로 모델링 할 수 있다.

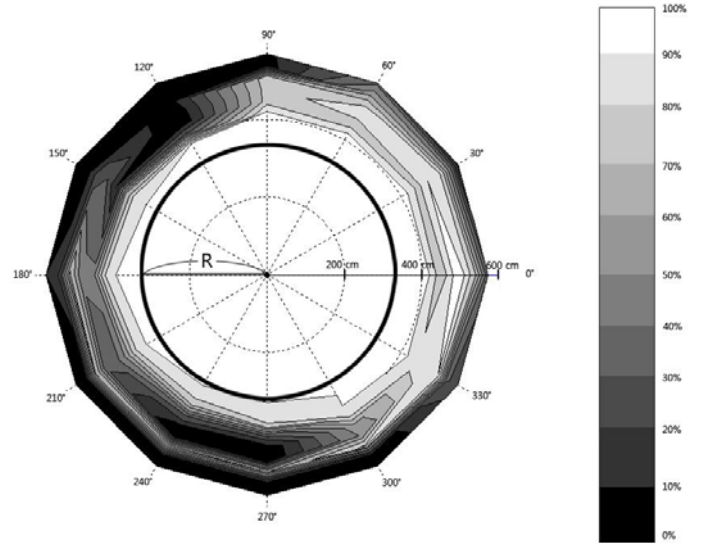


그림 2 크리켓 울트라 센서의 센싱 영역*

우리가 풀어야 하는 문제는, 대상 공간의 모든 지점이 3개 이상의 센서에 영역에 의해 중첩되게 하는, 최소개의 센서를 사용하는 배치 조합을 찾는 것이다.

3차원으로 확장하는 경우에도 비슷한 방법으로 실측 데이터를 통해 3차원 도메인에서 센싱 coverage를 모델하고, 그 배치방법을 찾는 데 있어서, 2차원에서의 방법을 확장 적용 해 볼 수 있다. 3차원 문제로의 확장 가능성에 대한 논의는 뒤에서 단락을 더 할애하여 논의하도록 한다.

3. TRE-based approach

3-coverage를 만족시키는 센서 배치 알고리즘인 TRE-based approach는, 서로 똑같은 거리 만큼 떨어져 있는 세 센서의 중첩 영역인 TRE(Triple-Round-Edge area)라고 하는 3-covered area (그림 3)를 단위로 센서를 배치하는 것이 그 핵심이다. TRE-based approach의 기본적인 아이디어는, 대상 공간의 모든 영역이 적어도 MinSep 만큼 떨어져 있는 센서 3개에 의해 센싱 되어야 하므로, 미리 이러한 요건을 만족하는 영역을 만들어, 그 영역들로 공간을 채우는 것이다.

* 그림 1 과 그림 2 는 이전 연구인 (6)에서 참조한 것임.

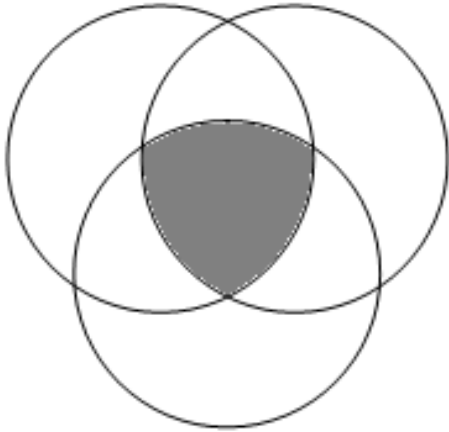


그림 3 TRE (세 센서의 중첩 영역)

이 TRE들을 가지고 TRE의 한 호가 다른 TRE의 한 호와 접하도록 TRE들을 반복적으로 배치시켜 나간다. 이렇게 하면 6개의 TRE들이 접하면서 맞물리게 되고, 이 6개의 TRE들의 중앙에 또 하나의 TRE를 놓고, 이 7개의 TRE들을 가지고, 바깥에 있는 TRE에 또 다른 TRE들이 접하도록 같은 방법으로 계속 7개 씩 맞물려 있는 TRE들을 이어나가도록 배치하면 모든 부분이 3-coverage를 만족하게 된다.

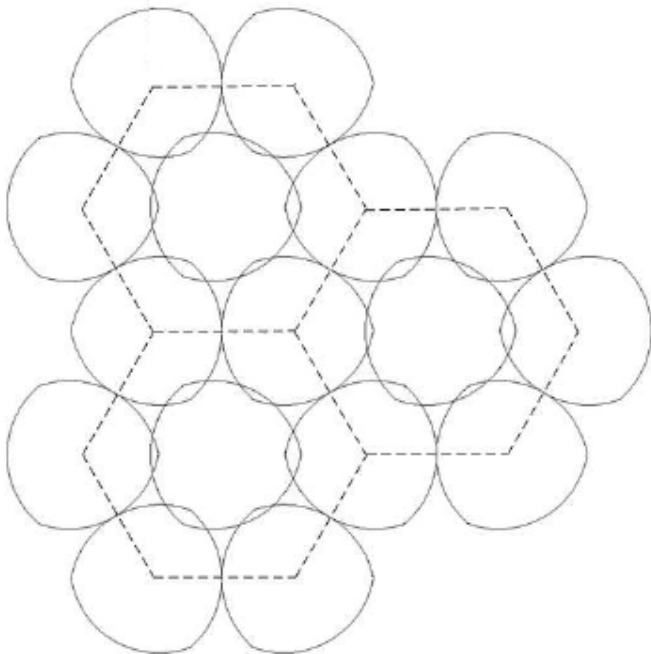


그림 4 연속해서 맞물린 TRE들의 실제 배치

문제의 목적이 최소개의 센서 배치를 찾는 것이기 때문에, 이 TRE-base approach 방법은 대상 공간의 크기에 대한 사용된 센서의 개수의 비율을 따져 봤을 때, 3-coverage를 만족시키고 있음에도 불구하고, 1-

coverage 문제에서 optimal로 알려진 (1) 보다, (센싱 범위의 반지름에 비해 MinSep이 상대적으로 많이 작은 영역에서) 그 사용된 센서 개수 측면에서 더 효율적이다.

4. 3차원 문제로의 확장

최소의 센서로 3차원 공간에 3-coverage를 제공하는 효율적 센서 배치기법 설계에 대한 논의에 앞서, 먼저 센서의 coverage의 기하학적 모델에 대해 생각해 볼 수 있다.

2차원에서와 마찬가지로 실측 데이터를 수집하고, 그에 기반한 실측 센서 coverage를 Curve-fitting 기술을 적용해 그림 5 과 같이 구형, 반구형, 콘형의 3차원 기하학적 모델로 표현할 수 있다.

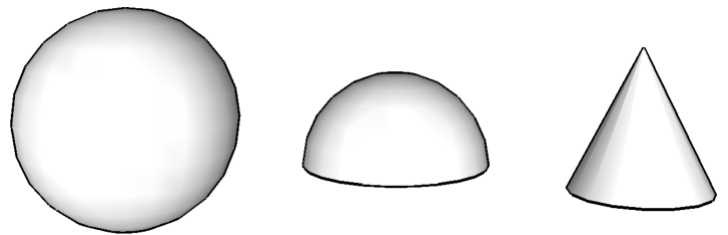


그림 5 기하학적 센싱 coverage 모델

2차원 원의 3차원에서의 사상이 구형 이므로, 3차원에서의 센싱 coverage 모델이 구형이라고 가정할 경우, 3차원 3-coverage 문제는 2차원 문제의 연장선상에서 보다 직접적으로 연계하여 생각해 볼 수 있다. 때문에 구형을 가지고 TRE-based approach를 응용하여 배치하는 것이 일단은 흥미로운 결과를 줄 수 있을 것이다.

3차원 공간에서 1-coverage를 제공하는 센서 배치에 관하여 현재 까지 진행된 관련 연구들에서는, 구의 중심들이 체심입방격자(body centered cubic lattice : bcc lattice) (그림 6) 의 꼭지점에 위치할 때, 가장 효율적인 배치[†]가 된다고 보고하고 있다. (5)

[†] 최적 배치가 아님.

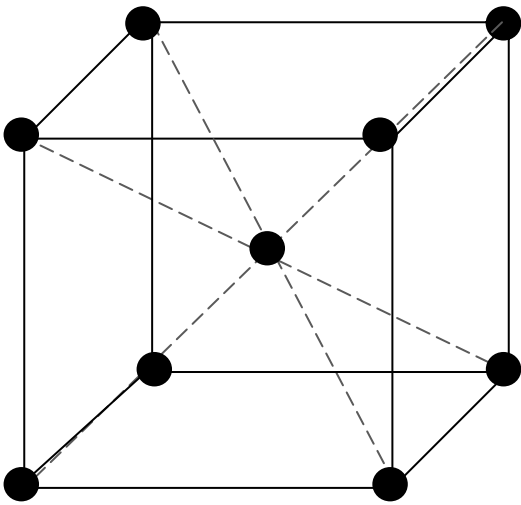


그림 6 체심입방격자(body-centered cubic lattice : bcc)

그러나, 아직까지 3차원 공간에서 multi-coverage를 제공하는 센서 배치 기법에 대한 연구는 진행된 바가 없다.

2차원 상에서 3-coverage를 제공하는 TRE-based approach 기법을 응용하여 3차원 공간에 적용하는 것과 반대로, 3차원 상에서 1-coverage를 제공하는 체심입방격자 배치를 이용하여 3-coverage를 만족하도록 중첩하여 배치하는 것도 하나의 방법이 될 수 있다. 이 때에도 역시 최소거리요건을 고려하여 배치해야 하며, 이 요건에 의해 반지름에 대한 MinSep의 비율이 제한 될 수 있다. 즉, 반지름에 비해 너무 큰 MinSep값을 갖는 센서의 경우에는 그 배치가 제한 될 수 있다.

또한 3차원 센싱 coverage의 모델이 반구형으로 모델링 될 경우, 간단하게는 센서 2개를 결합하여 구형으로 취급할 수도 있으나, 이 경우에도 MinSep을 고려해야 하므로, 그 배치에 좀 더 제약이 가해 질 수 있다. 따라서 이를 해결할 좀 더 부가적인 해결방안이 필요할 것이다.

센싱 coverage를 구형 또는 반구형으로 모델링 하는 것은, 좀 더 수학적, 기하학적으로 정형화된 응용을 가능하게 한다. 따라서, 이 정형화된 방법을 적용하여 3-coverage 이상의 multi-coverage로 확장 응용하는 것도 가능할 것이다. 물론 이 때에도 센서 종류에 따라, MinSep 특징에 따라 그 coverage level이 제한 될 수 있다.

그러나 센싱 coverage의 모델이 구형이 아닌 콘형으로 모델링 될 경우, 단순히 정형화된 어떤 방법으로 배치하는 것은 무리가 있다. 이 경우에는 수학적으로 어떤 최적의 배치를 찾는 것 보다, 실질적으로 센싱 커버리지가 확률적 임계치 이상이 되도록 하는 효율적인 센서 배치를 찾는 것을 목적으로 하는 것이 보다 적절하다. 그림 7 은 센서의 센싱 coverage를

콘형으로 모델 했을 경우, 그 실제적인 응용을 그려본 구상도 이다.

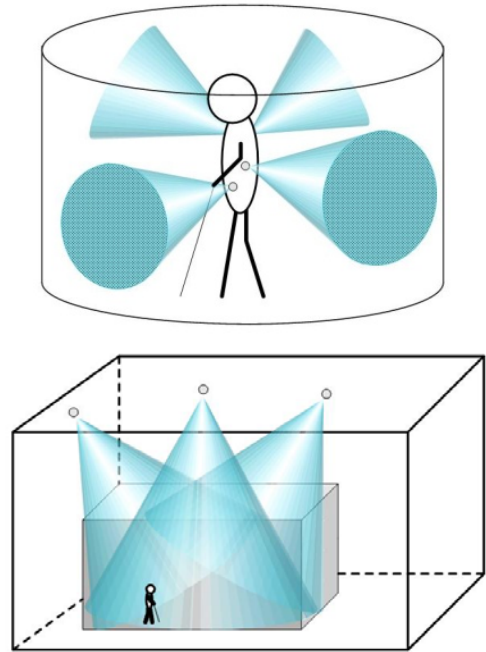


그림 7 콘형으로 모델링 된 센서 응용의 구상도

5. 결론

많은 센서 응용 시스템에서, 대상 공간의 모든 지점은 특정 거리 만큼 떨어진 복수 개의 센서에 의해 센싱 되어야, 보다 의미 있고 좀 더 정확한 정보를 제공할 수 있다.

본 논문에서는 최소거리 요건을 만족하면서 3-coverage를 제공하는 센서 배치 방법인 TRE-based approach를 제안하였고, 이 TRE-based approach 와 체심입방격자를 응용한 센서 배치 방법을 기반으로 이를 3차원에서 3-coverage를 만족시키는 기술로의 확장 가능성에 대해 논의 하였다.

특별히 3차원에서의 multi-coverage를 만족시키는 센서의 배치 기법은 도래하는 유비쿼터스 사회에 활발히 응용되고 실제적으로 사용될 기술로써 그 가치가 크다고 할 수 있다.

참고 문헌

1. "The Number of Circles Coering a Set." KershnerR.: American Journal of Mathematics, 1939.

페이지: 665-671.

2. "A Coverage-Preserving Node Scheduling Scheme for Large Wireless Sensor Networks. "

TianGeorganas, N.D.D., : Proceedings of ACMWorkshop on Wireless Sensor Networks, 2002.

3. " Deploying wireless sensors to achieve. "

BaiKumar, S., Yun, Z., Xuan, D., Lai, T.H.X., : Proceedings of ACM MobiHoc., 2006.

4. Crossbow : MCS Cricket Series (MCS410):

<http://www.xbow.com>.

5. "Optimality Measures for coverage in 3D Wireless Sensor Networks. "

Mohamed K.WatfaCommuriSesh. : IEEE, 2006. 0-7803-9410-0.

6. "Sensor Placement for 3-Coverage with Minimum Separation Requirements. "

Jung-Eun Kim, Man-Ki Yoon, Junghee Han, Chang-Gun Lee. : DCOSS, 2008.