

https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.2.205

IIBC 2017-2-29

노드 재배치 알고리즘을 이용한 효율적인 무선 센서 네트워크 구성 기법

Configuration Technique of Efficient Wireless Sensor Networks using Node Relocation Algorithm

허준영*, 민 홍**, 김봉재***, 정진만****

Junyoung Heo*, Hong Min**, Bongjae Kim***, Jinman Jung****

요 약 무선 센서 네트워크는 환경 모니터링, 감시 시스템, 무인 우주 탐사 등의 다양한 분야에서 활용 가능하다. 하지만 노드의 부적절한 배치로 인해 센싱할 수 없는 지역이 생기거나 특정 지역에 노드가 과도하게 중복 될 수도 있다. 이는 데이터 수집을 어렵게 하고, 에너지 낭비를 야기할 수 있다. 본 논문에서는 노드 재배치를 통해 이러한 배치 문제를 해결한다. 먼저 중복 배치된 노드를 찾고, 이 노드들을 센싱할 수 없는 지역으로 옮겨서 최대한 넓은 지역을 센싱할 수 있도록 한다. 본 논문에서는 이를 위해 필요한 효율적인 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통해 제안 방법을 검증하였다.

Abstract Wireless sensor networks are useful to various unmanned monitoring application such as monitoring environments, surveillance system, unmanned space exploration, and so on. Due to the inappropriate placement of sensor nodes, there are some problems, for example, low connectivity and high overlapped sensing area. These problems can make it difficult for the data collection and lead to a waste of energy. In this paper, we propose a node relocating method to resolve the inappropriate placement of sensor nodes. Given monitoring area, we place sensor nodes randomly and find redundant nodes and move them to uncovered area. Through the simulation, We show that the proposed method is viable and efficient compared with the existing randomly locating method.

Key Words : Sensing Hole, Sensor Node Placement, Sensor Node Relocation, Wireless Sensor Networks

1. 서 론

무선 센서 네트워크는 주변 환경 센싱과 센싱 데이터 처리, 무선 통신이 가능한 노드의 네트워크로 분산 시스템의 형태를 갖다. 그리고 환경 모니터링, 감시 시스템, 무인 우주 탐사 등 그 응용 분야가 매우 다양한 기술이다

[1-3]. 무선 센서 네트워크는 센서들이 모니터링 영역에 얼마나 잘 배치되었는지에 따라 그 성능이 좌우된다. 그리고 센서들 간에 서로 협력을 통해 에너지 소모를 줄임으로써 무선 센서 네트워크의 수명이 결정된다.

일반적으로 센서의 배치는 항공기나 차량과 같은 이동수단에서 무작위로 뿌려서 배치하거나 위치를 사전에

*정회원, 한성대학교, 컴퓨터공학부

**정회원, 호서대학교, 컴퓨터정보공학부

***정회원, 선문대학교, 컴퓨터공학부

****정회원, 한남대학교, 정보통신공학부

접수일자 2016년 12월 28일, 수정완료 2017년 3월 7일

게재확정일자 2017년 4월 7일

Received: 28 December, 2016 / Revised: 7 March, 2017 /

Accepted: 7 April, 2017

****Corresponding Author: jmjung@hnu.kr

Department of Information and Communication Engineering,

Hannam University, Korea

계산하여 하나씩 설치하는 두 가지 방법이 가능하다^[4]. 후자의 경우 사전에 최적의 위치를 계산하여 배치하므로 배치 후에 고장이나 배터리 방전으로 인한 노드를 교체 해주면 문제가 없다. 하지만, 사전에 모니터링 지역에 대한 많은 이해가 필요하기 때문에 미지의 지역에서는 활용할 수 없다^[5].

센서의 무작위 배치는 센싱 홀과 과도한 센서 중복 배치란 문제를 야기한다. 센싱 홀은 센서 노드들의 센싱 영역을 벗어나서 전혀 센싱할 수 없는 영역을 말한다. 과도한 센서 중복 배치란 특정 영역에 센서가 너무 많이 배치되어 센서 일부는 계속 수면 상태로 두어도 전체 네트워크 수명에 영향을 주지 않음을 말한다^[1].

따라서 중복 배치된 센서를 센싱 홀의 적절한 위치로 옮김으로써 보다 효율적인 센서 노드 활용이 가능하다. 이러한 재배치는 로봇과 같은 자율 이동 시스템을 이용할 수 있다. 특히 센서 네트워크를 활용하는 응용에서 화산이나 방사능 지역, 외계 행성과 같이 사람의 접근이 어려운 경우가 많기 때문에 로봇을 이용한 재배치 시스템이 필요하다^[1,5,6,7].

센서 재배치를 위해서는 중복된 노드를 찾아내고, 센싱 홀을 찾는 알고리즘이 필요하다. 또한 중복 노드를 옮기기 위한 최적의 센싱 홀 내의 위치를 찾아내는 방법도 필요하다. 본 논문에서는 이러한 알고리즘을 제안한다, 제안 알고리즘을 이용하면, 일차로 무작위로 배치된 무선 센서 네트워크에서 수집한 정보를 토대로 센싱 홀과 과도한 센서 중복 노드들을 찾아낸다. 그리고 이 정보를 토대로 센서 재배치를 수행한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II 장에서 관련 연구를 설명하고, III 장에서 제안 알고리즘을 설명한다. IV 장에서 시뮬레이션을 통해 제안 기법을 검증하고 V 장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

무선 센서 노드에서 노드 배치와 관련하여 다양한 연구가 수행되어 왔었다. 여기에서는 로봇을 이용하여 노드를 배치하는 연구에 대해서 살펴본다.

Yu 등은 로봇을 이용한 노드 배치 방법을 제안하였다^[1]. 무인 로봇은 재배치 뿐 아니라 데이터 수집에도 사용된다. 로봇이 센서 노드를 운반 및 배치 할 수 있으며 센

서 노드에서 데이터를 수집 할 수 있다고 가정하였다. 한 지역에서 관심 지점 집합이 주어졌을 때, 모든 관심 지점을 커버하는 센서 노드의 최소 수를 결정하는 방법과 로봇의 경로가 최소가 되도록 특정 위치에 센서 노드를 배치하도록 로봇을 스케줄링하는 방법, 그리고 센서 배치 후, 어떻게 로봇이 센서 노드를 방문하고 통신하여 로봇의 경로가 최소가 되도록 하는 방법을 제안하였다. 하지만, 본 논문에서와 같이 무작위로 배치된 노드들을 재배치하는 방법을 다루지는 않는다.

Greg 등은 로봇을 이용하여 무작위 배치된 센서 노드를 재배치하여 센싱 홀을 커버하는 방법을 제안하였다^[5]. 커버리지 수리를 위한 정적 센서 재배치 (R3S2) 알고리즘과 G-R3S2라고 불리는 그리드 기반 변형 알고리즘을 제안하였다. 이러한 알고리즘을 통해 모바일 로봇은 네트워크 내에서 이동하여 여분의 센서를 수집하여 센싱 홀로 이동시킨다. R3S2에서 로봇은 무작위로 완전히 이동하고 중복된 센서 노드를 재배치한다. G-R3S2에서 로봇 무작위 운동은 가상 그리드에서 제한되며, 로봇은 여분의 센서 노드 및 센싱 홀을 발견 할 확률을 높이기 위해 가장 최근에 방문한 그리드 지점으로 계속 이동한다. 하지만, 본 논문에서는 싱크 노드에서 수집된 데이터를 기반으로 센싱 홀과 노드의 이동 위치를 결정한다.

III. 재배치 알고리즘

본 논문은 다음과 같은 가정을 바탕으로 한다.

1. 센서는 자신의 위치를 GPS나 위치 검출 기법 등을 통해 알고 있다^[8].
2. 센서의 센싱 거리(R_s)보다 통신 거리(R_c)가 길다.
3. 배치된 센서들은 싱크와 통신이 가능하다. 즉, 고립된 센서는 존재하지 않는다.

제안 기법은 그림 1과 같이 무선 센서 네트워크의 모니터링 영역을 격자로 구분하여 각 격자점을 노드로 하고 각 노드를 연결하는 그래프로 가정한다. 단, 기존 그래프와의 차이는 각 노드들이 위치 정보를 갖고 있다. 이 그래프의 노드를 관심 지점이라고 한다. 제안 기법은 특정 센서 노드가 센싱 가능한 범위를 이 관심 지점의 집합으로 근사(approximation)한다.

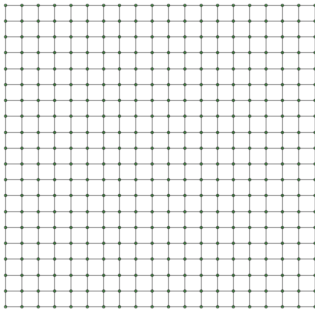


그림 1. 모니터링 영역을 그래프로 표현
 Fig. 1. Graph representation of monitoring area

각 노드는 자신의 위치와 센싱 가능한 관심 지점들을 싱크로 전송한다. 싱크는 이 정보를 바탕으로 1) 중복 센서 노드 찾기, 2) 센싱 홀 찾기, 3) 센싱 홀에서 최적 노드 위치 찾기를 수행한다. 각 알고리즘은 싱크 노드에서 동작하며 이에 대한 설명은 다음과 같다.

1. 중복 센서 노드 찾기

모든 관심 지점(ipoint)에 대해 센싱 가능한 노드들 중 중복하지 않도록 모은 노드들의 집합을 필수 노드 집합이라고 정의한다. 구체적으로 다음의 알고리즘으로 찾을 수 있다.

```
function significant_nodes()
SN := ∅
for every ipoint IP
    covered_nodes := nodes covering IP
    if covered_nodes ≠ ∅
        if covered_nodes ∩ SN = ∅
            mcn := most covered nodes in covered_nodes
            SN := SN ∪ mcn
return SN
```

전체 노드에서 필수 노드 집합을 제외한 센서 노드를 중복 센서라고 정의한다. 중복 센서가 일정 범위 내에 일정 수 이상이 존재하면 과도한 센서 중복으로 판단하여 수거를 계획한다. 그림 2에서 빨간 원과 파란 원은 모두 센서 노드를 나타내는데, 여기에서 파란 원이 중복 센서 노드이다. 이 중복 노드들은 제거하더라도 센싱 홀의 크기가 달라지지 않는다. 본 논문에서는 단순화하기 위해 모든 중복 센서를 단순히 과도한 센서 중복으로 간주하였다.

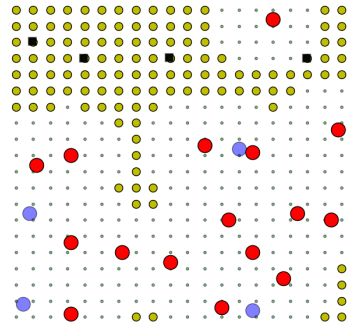


그림 2. 센서 노드(빨간 원)와 중복 센서 노드(파란 원), 센싱 홀의 관심 지점(노란 작은 원), 센싱 홀에서 최적 노드 위치(검정 사각형)의 예

Fig. 2. Sensor nodes(red circle), redundant nodes (blue circle), interesting points of sensing holes(small yellow circle), and the optimal position of node for covering sensing hole (black rectangle)

2. 센싱 홀 찾기

그림 1의 모니터링 영역의 그래프 표현에서 센서 노드의 센싱 범위내에 있는 관심 지점을 모두 제거한다. 남은 노드만으로 구성된 그래프가 바로 센싱 홀을 나타낸다. 그림 2와 같이 센싱 홀(노란 작은 원으로만 이루어진 그래프)을 나타내는 그래프는 하나가 아니라 여러 개의 서브 그래프로 구성될 수 있다. 그림 2에서는 총 3개의 서브 그래프, 즉 센싱 홀이 존재한다.

3. 센싱 홀에서 최적 노드 위치 찾기

센싱 홀 찾기의 결과인 센싱 홀 그래프에 대해 가장 노드(관심 지점)가 많은 그래프에 대해 가장 많은 관심 지점을 센싱할 수 있는 위치를 찾아 센서 노드를 가상으로 배치한다. 그 결과로 만들어진 센싱 홀 그래프에 대해 앞의 과정을 반복한다. 다음은 이 과정을 나타낸 알고리즘이다. UG는 센싱 홀 찾기에서 리턴되는 센싱 홀 그래프의 리스트이다.

```
procedure most_covered_position(UG)
for every redundant node N
    if length of UG = 0
        break # no more sensing hole
    g = who_has_max_nodes(UG)
    N.x, N.y = pos_covering_most_nodes(g)
    covered_nodes = covered_nodes(N.x, N.y)
    g.remove_nodes_from(covered_nodes)
    g_list = subgraphs(g)
    UG = (UG - g) ∪ g_list
```

who_has_max_nodes()는 인자로 받은 그래프 리스트에서 노드(관심 지점) 수가 가장 많은 서브 그래프를 리턴한다. pos_covering_most_nodes()는 인자로 받은 그래프에서 노드(관심 지점)를 가장 많이 커버할 수 있는 위치를 리턴한다. covered_nodes()는 인자로 받은 위치에 센서 노드를 위치시켰을 때 센싱 가능한 노드(관심 지점)의 리스트를 리턴한다. subgraphs()는 인자로 받은 그래프에서 연결되지 않은 서브 그래프들을 리턴한다.

그림 2의 검정 사각형 4개는 중복 노드 4개가 옮겨질 최적 위치를 표시한 것이다. 그리고 이동으로 인한 결과는 그림 3과 같다.

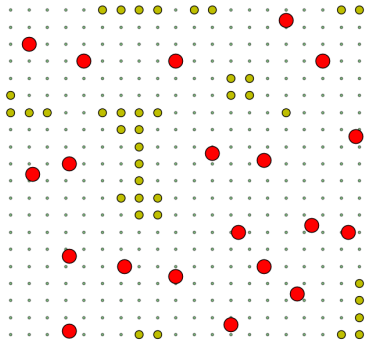


그림 3. 중복 노드 재배치 후 센서 노드와 센싱 홀
Fig. 3. Sensor nodes and sensing holes after relocating the redundant nodes

IV. 실험 및 결과

1. 격자 크기와 제안 기법의 정확도

제안 기법의 정확도는 관심 지점의 정밀도와 관련이 있음은 자명하다. 관심 지점의 정밀도를 결정하는 격자의 크기가 작을수록 정확하지만 계산 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 따라서 먼저 격자의 크기에 따른 센싱 홀 영역의 크기가 얼마나 달라지는지 검증하였다. 격자의 크기와 함께 센서 노드의 수와 센싱 거리를 변화시키면서 격자 크기에 따른 센싱 홀 크기를 비교하였다. 실험은 100x100영역에 무작위로 노드를 배치하고 센싱 홀을 계산하는 과정을 10번 반복하여 평균을 구하였다.

그 결과는 그림 4, 5와 같다. 격자의 크기에 따라 약간의 차이가 있으나 노드의 수나 센싱 거리의 차이에 따른 정도가 더 크게 나타남을 확인할 수 있다. 즉, 격자 크기

를 적절히 잡는다면, 센서 노드의 수나 센싱 거리의 변화에 따른 알고리즘 수행 결과가 격자 크기에 따라 문제가 되지 않음을 확인할 수 있다.

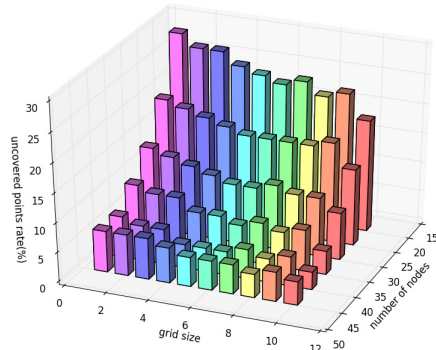


그림 4. 격자 크기(grid size)와 센서 노드 수에 따른 관심 지점 미커버 비율(%) (센싱 거리는 15로 고정)
Fig. 4. Uncovered points rate(%) by the grid size and the number of nodes (sensing range = 15)

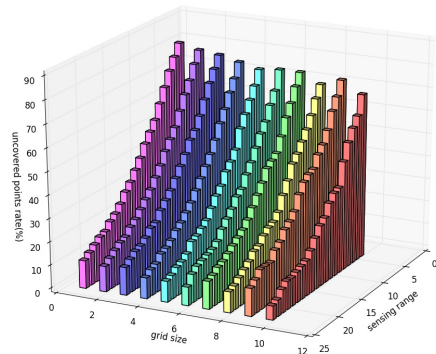


그림 5. 격자 크기(grid size)와 센싱 거리에 따른 관심 지점 미커버 비율(%) (센서 노드의 수는 23개로 고정)
Fig. 5. Uncovered points rate(%) by the grid size and the sensing range (the number of sensor nodes = 23)

2. 제안 기법의 성능

제안 기법을 통한 센서 노드 재배치에 따라 관심 지점의 커버 비율이 얼마나 향상되는지 확인하기 위해 100x100영역에 무작위로 배치한 후 제안 기법을 수행하여 커버 비율을 구하였다. 이 과정을 20번 반복하여 평균을 구한 결과가 그림 6과 같다.

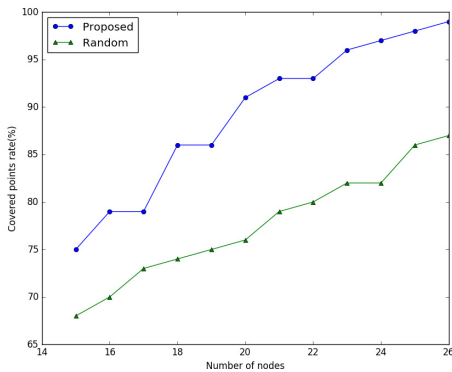


그림 6. 센서 노드 수에 따른 관심 지역 커버 비율(%) (격자 크기는 5, 센싱 거리는 15로 고정)

Fig. 6. Covered points rate(%) by the number of sensor nodes (grid size = 5, sensing range = 15)

그림 6에서 Random은 무작위로 센서 노드를 배치했을 때 관심 지점 커버 비율이고, Proposed는 제안 기법의 경우이다. 센서 노드의 수가 증가할수록 두 가지 모두 커버 비율이 증가한다. 센싱 거리에 따라 최대한 멀리 센서 노드를 격자로 100x100에 배치할 경우 총 28개의 센서 노드가 필요한데, 그림 6의 제안 기법 결과를 보면 26개 노드의 경우에 재배치를 통해 거의 최적에 근접한 결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

시뮬레이션에 사용된 코드는 파이썬으로 작성되었으며 <https://github.com/jyheo/pywsn/tree/2016iibc> 에서 확인 할 수 있다.

V. 결론

무선 센서 네트워크는 센서들을 모니터링 영역에 얼마나 잘 배치하느냐에 따라 그 성능이 좌우된다. 그리고 센서들 간에 서로 협력을 통해 에너지 소모를 줄임으로써 센서 네트워크의 수명이 결정된다.

본 논문에서는 일차로 무작위로 배치된 무선 센서 네트워크에서 수집한 정보를 토대로 센싱 홀과 과도한 센서 중복 영역을 찾아낸다. 그리고 센싱 홀에서 관심 지점을 최대한 많이 커버할 수 있는 최적 위치를 찾아 중복 센서 노드를 이동시킨다. 이러한 센서 노드 재배치를 이용하여 무선 센서 네트워크를 효과적으로 구성할 수 있다.

향후 연구로 모니터링 지역을 격자로 나눈 제안 기법에서 격자의 크기를 적절히 정하는 수학적 모델과 재배

치를 위한 로봇의 최적 이동을 결정하는 휴리스틱 알고리즘에 대한 연구가 필요하다. 또한 고립된 센서 노드들이 존재하는 상황에서 재배치를 통해 네트워크를 회복하는 방법에 대한 연구도 필요하다.

References

- [1] Wang, Yu, and Chang-Hua Wu. "Robot-assisted sensor network deployment and data collection." *Computational Intelligence in Robotics and Automation*, 2007. CIRA 2007. International Symposium on. IEEE, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1109/CIRA.2007.382919>
- [2] Wu, Jie, and Shuhui Yang. "SMART: a scan-based movement-assisted sensor deployment method in wireless sensor networks." *INFOCOM 2005. 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings IEEE. Vol. 4. IEEE*, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1109/INFCOM.2005.1498518>
- [3] H. Min, et al. "Rendezvous Node Selection in Interworking of a Drone and Wireless Sensor Networks," *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication* 17.1 (2017): 167–172.
DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2017.17.1.167>
- [4] Wang, Guiling, Guohong Cao, and Tom La Porta. "Movement-assisted sensor deployment." *Mobile Computing, IEEE Transactions on* 5.6 (2006): 640–652.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TMC.2006.80>
- [5] Fletcher, Greg, et al. "Randomized Robot-Assisted Relocation of Sensors for Coverage Repair in Wireless Sensor Networks." *VTC Fall. 2010*.
DOI: <https://doi.org/10.1109/VETECF.2010.5594513>
- [6] Li, Xu, et al. "Randomized carrier-based sensor relocation in wireless sensor and robot networks." *Ad hoc networks* 11.7 (2013): 1951–1962.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.06.007>
- [7] Corke, Peter, et al. "Deployment and connectivity

repair of a sensor net with a flying robot." Experimental robotics IX. Springer Berlin Heidelberg, 2006. 333-343.

DOI: https://doi.org/10.1007/11552246_32

- [8] Kang, Hyung-Seo, and In-Soo Koo. "Beacon node based localization algorithm using received signal strength (RSS) and path loss calibration for wireless sensor networks." The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication 11.1 (2011): 15-21.

저자 소개

허 준 영(정회원)



- 1998년 : 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사).
- 2009년 : 서울대학교 컴퓨터공학부 졸업(박사).
- 2009년 ~ 현재 : 한성대학교 컴퓨터공학부 부교수.

<주관심분야: 운영체제, 무선 센서 네트워크, 임베디드 시스템, 기계학습>

민 흥(정회원)



- 2004년 : 한동대학교 전산과학 졸업(학사).
- 2011년 : 서울대학교 컴퓨터공학부 졸업(박사).
- 2013년 ~ 현재 : 호서대학교 컴퓨터정보공학부 조교수.

<주관심분야: 운영체제, 무선 센서 네트워크, 스마트폰 센싱, 임베디드 시스템, 결합허용 시스템>

김 봉 재(정회원)



- 2008년 : 광운대학교 컴퓨터공학부 졸업(학사).
- 2014년 : 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 졸업(박사).
- 2016년 ~ 현재 : 선문대학교 컴퓨터공학부 조교수.

<주관심분야: 운영체제, 임베디드 시스템, 무선 센서 네트워크, 모바일 시스템, 고성능 컴퓨팅>

정 진 만(정회원)



- 2008년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사)
- 2014년 서울대학교 전기컴퓨터공학과 졸업(박사)
- 2014년 ~ 현재 : 한남대학교 정보통신공학과 조교수

<주관심분야: 운영체제, 임베디드 시스템, IoT, 시스템 보안>

※ 본 연구는 한성대학교 교내학술연구비 지원과제임 (허준영). 또한, 이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2016R1C1 B1015454) (민흥).