

무선센서 네트워크에서 클러스터 균일화를 위한 클러스터링 방법

Clustering Methods for Cluster Uniformity in Wireless Sensor Networks

이 중 호[★]

Joong-Ho Lee[★]

Abstract

In wireless sensor networks, communication failure between sensor nodes causes continuous connection attempts, which results in a large power loss. In this paper, an appropriate distance between the CH(Cluster Head) node and the communicating sensor nodes is limited so that a group of clusters of appropriate size is formed on a two-dimensional plane. To equalize the cluster size, sensor nodes in the shortest distance communicate with each other to form member nodes, and clusters are formed by gathering nearby nodes. Based on the proposed cluster uniformity algorithm, the improvement rate of cluster uniformity is shown by simulation results. The proposed method can improve the cluster uniformity of the network by about 30%.

요 약

무선센서 네트워크에서 센서 노드간의 통신 연결 실패는 계속된 연결 시도를 유발하여 많은 전력 손실이 발생한다. 본 논문에서는 CH(Cluster Head) 노드와 통신되는 센서 노드 사이의 적정 거리를 제한하여, 2차원 평면상에 적정 크기의 클러스터 그룹이 형성되도록 하였다. 클러스터 크기의 균일화를 위해 최단 거리에 존재하는 센서 노드들이 서로 통신하여 멤버 노드를 구성하고 근접한 노드를 모아서 클러스터가 형성되도록 하였다. 제안한 클러스터 균일화 알고리즘을 기반으로 클러스터링을 위한 최단 거리 기반의 클러스터링 방식에 대한 클러스터 균일화 개선율을 시뮬레이션 결과로 나타내었다. 제안한 방식은 네트워크의 클러스터 균일성을 약 30% 향상시킬 수 있다.

Key words : Wireless Sensor Networks, cluster uniformity, battery power supply, lifespan, multi-hop

1. 서론

무선센서 네트워크(WSN)는 각종 센서 장치를 사용해 다양한 혹독한 자연환경에서 주변 환경의 물리적 상태를 감시한다. WSN을 구성하는 센서 노드는 한정된 전원 장치로부터 구성 요소를 동작시키기 때문에 에너지 효율적

인 동작을 보장 받을 수 있어야 한다. 무선 센서 네트워크는 광범위한 영역에 무작위로 센서를 배포하는데, 지리적 조건 등에 의해 센서들이 균일하게 배포되지 않는다. 센서가 균일하지 않게 분포된 네트워크에서 형성된 클러스터는 각 클러스터 간 서로 다른 밀도의 센서 노드를 가지게 된다[1]. 이로 인해 클러스터 헤드(CH) 노드

* Dept. of Computer Science, Yongin University

★ Corresponding author

E-mail : joongho65@yongin.ac.kr, Tel : 031-8020-2768

※ Acknowledgment

This study is funded by Yongin University.

Manuscript received Dec. 4, 2023; revised Dec. 17, 2023; accepted Dec. 21, 2023.

가 구성원 센서 노드로부터 데이터를 수집하여 인접 클러스터 헤드로 전송할때 에너지 소비량의 차이가 발생하게 된다. 센서 밀도가 높은 클러스터의 CH노드는 상대적으로 센서 노드 밀도가 낮은 클러스터에 비해 더 많은 에너지를 소비하게 되고, 이는 클러스터의 수명을 단축시켜 결과적으로 네트워크의 수명을 단축시킨다. CH노드의 배터리가 고갈되면 멤버내의 다른 SN노드들 중에서 CH노드를 선출해서 교체해야 한다. 이러한 과정이 빈번할 경우 클러스터 내의 전체 멤버노드의 배터리 수명을 단축시키는 결과를 초래한다[2]. 클러스터의 수명은 CH노드 교체 주기가 짧아질수록 빨리 단축되고 결국 전체 네트워크의 수명이 단축된다[3, 4].

본 연구에서는 WSN에서 서로 다른 밀도의 센서 노드들을 비슷한 크기의 클러스터로 재생성함으로써 클러스터 내의 센서 노드 밀도를 균일하게 유지할 수 있는 클러스터링 기법을 제시하였다. 제안하는 알고리즘은 센서 노드 사이의 거리에 따라 클러스터를 생성함으로써 센서 노드의 밀도 분포가 적절하게 이루어지며, 이를 통해 기존 클러스터 크기의 균일성이 약 30% 향상된다. 부가적으로 CH노드 선택 알고리즘을 개선하여 에너지 효율을 향상 시키도록 하였다. 또한 제안한 알고리즘과 기존 알고리즘을 비교한 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

II. 클러스터 그룹

무선 센서 네트워크에서는 센서가 야생의 넓은 지역에 무작위로 배치된 후 인접 센서들끼리 통신하여 클러스터를 형성한다. 다양한 지리적 환경에 대량의 센서들이 무작위로 배포되면 센서들이 불균일하게 배치되며, 불균일한 밀도의 센서들이 클러스터를 형성하면 서로 다른 크기의 클러스터가 형성된다. 단일 홉 거리의 센서들이 서로 통신하여 클러스터 멤버를 구성하고 이 멤버 노드들이 하나의 클러스터를 형성하므로 센서 밀도가 높은 조건에서 형성된 클러스터 내의 센서 노드 멤버 수가 다른 클러스터 보다 증가한다. 그림 1에 무작위로 배포된 센서 노드들이 단위 거리 내에 통신되는 노드들을 멤버 노드로 추가하여 클러스터를 형성한 시뮬레이션 결과를 보여 주고 있다. 이 시뮬레이션 결과는 100×100 단위 거리(센서노드 간 직교 및 대각위치의 최소 거리를 1단위로 표시함) 내에 약 3000개의 센서 노드가 배포되었을 때를 가정하였다. 붉은색은 CH노드를 나타내고, 이를 중심으로 클러스터내 각 멤버 노드들은 CH노드와 연결상태를 초록색으로 나타내었다. 검은색 점은 센서노드를

나타낸다. 그림에서 보듯이 2차원 평면상에 멤버 노드 밀도가 높게 배치될 경우(인접한 노드가 밀집할 경우) 각 센서 노드가 인접한 노드로 추가할 멤버가 증가하여 하나의 클러스터 그룹이 크게 형성된 것을 확인할 수 있다. 센서 노드들의 지리적 위치는 x축과 y축에 대해 단위 거리로 단순화하여 나타내었다. 즉, x축으로 +1만큼 거리에 있다는 것은 1단위 거리 만큼 떨어진 곳에 인접함을 의미한다. 그림 1의 클러스터 형성 예에서 보듯이 센서 노드가 특정 영역에 무작위로 배포 되기 때문에 센서 노드의 밀도가 일정하지 않다. 따라서 형성된 클러스터의 크기도 차이가 크다는 것을 보여 주고 있다. 그림에서 붉은색 점선으로 표시된 영역이 클러스터 A~K이며, 이 그룹들을 제외한 다른 그룹들의 센서 노드 밀도와 극명히 차이 나는 것을 확인할 수 있다. 센서노드의 밀도 차이는 파라미터에 의해 조정한다. 클러스터내 센서 노드와 CH노드 간의 통신 장애를 방지하기 위해 클러스터 크기가 너무 커지지 않도록 조정하면 센서노드의 에너지 소비를 줄일 수 있다[5, 6, 7].

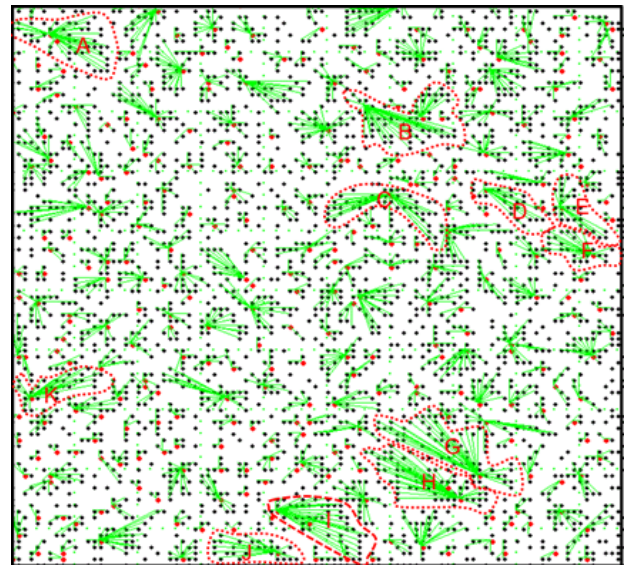


Fig. 1. Example of forming a cluster within a 100×100 unit distance.

그림 1. 100×100 단위 거리 내 클러스터 형성 예

III. 클러스터 그룹 균일화

1. 최대 밀도 클러스터링

센서 노드의 밀도를 낮추기 위해 단위 거리에 있는 센서 노드를 모두 멤버 노드로 추가하지 않고, 단위 거리 당 물리적인 상호 인력이 가장 강한 노드들을 멤버 노드로 추가한다. 이때 센서노드를 하나의 객체로 가정하고

객체 간의 거리가 가까우면 서로 끌어당기는 힘(상호 인력)이 크다는 점에 착안하여 클러스터 그룹을 형성하도록 하였다. 단위 거리 내에서 상호 인력이 가장 강한 노드들을 동일 클러스터 내의 멤버로 추가하여 클러스터가 나누어지는 과정의 예를 그림 2에 나타내었다. 그림 2는 센서노드가 배치된 예를 나타내었으며, 노드 내의 숫자는 단위 거리내에 존재하는 노드의 숫자이며, 숫자가 높을수록 연결 강도가 높음을 나타낸다. 단위 거리로 연결된 노드에 의해 Group 1이 하나의 클러스터로 형성되었지만, 노드간 상호 인력을 고려하면 두개의 소그룹이 형성되어 2개의 클러스터(Group 1-1, 1-2)로 나눌 수 있다. b)의 클러스터 Group 2도 마찬가지로 단위 거리로 연결된 센서 노드들의 상호 인력을 적용하면 두개의 서버 그룹(Group2-1, 2-2)으로 나눌 수 있다. 그림 1에서 생성된 클러스터 그룹 중 높은 밀도의 클러스터 그룹에 대해 클러스터 그룹을 재형성하여 낮은 밀도의 클러스터 그룹들로 분리되는 시뮬레이션 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3은 전체 네트워크에서 클러스터 균일화 작업이 완료된 결과이다.

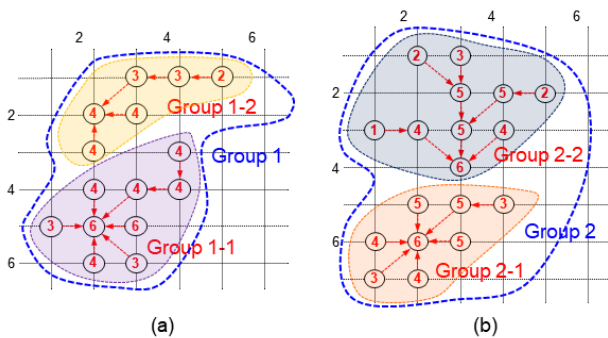


Fig. 2. Example of forming a cluster group separation.
 그림 2. 클러스터 그룹 분리 형성 예

2. 클러스터 헤드와 에너지 소비

클러스터 그룹이 크면 그룹내 CH노드는 클러스터 그룹이 작은 그룹의 CH노드 대비 상대적으로 많은 센서노드로부터 데이터를 수집해야 한다. 즉 센서노드 밀집도가 높은 클러스터 그룹일수록 많은 센서노드를 멤버로 갖는 클러스터 그룹이 형성되고, 그 내부에서 선출된 CH노드는 많은 센서 노드들로부터 데이터를 수집하여 싱크노드(sink node)로 전달해야 하므로 더 많은 전력을 소비한다. 따라서 더 빨리 전력을 소비하여 CH노드 교체횟수가 더 많아진다. CH노드 교체 주기가 짧을수록 교체로 인한 전력소비가 증가하여 결국 클러스터 그룹내의 전체 센서노드의 수명을 빠르게 단축시키는 결과를 초래한다.

3. 시뮬레이션 방법

클러스터 균일화가 진행된 결과를 시뮬레이션을 통해 확인하도록 하였다. 시뮬레이션은 센서노드간의 단위 거리에 위치하는 노드들을 동일한 클러스터 그룹으로 형성하고 그 내부에서 CH노드를 선출하여 CH노드와 그룹내의 멤버노드를 실선으로 표시하여 동일 그룹 멤버임을 나타내었다. 그림1에서 밀도가 높은 클러스터 그룹이 그림3과 같이 작은 크기의 클러스터 그룹으로 나누어지는지를 확인하고 균일화 정도를 비교하여 그림4에 나타내었다. 시뮬레이션 결과는 자바 프로그램으로 구현하였다.

4. 시뮬레이션 결과

센서노드가 100×100 단위 거리에 무작위로 분포될 경우 형성된 클러스터 그룹에 대해 균일화 시뮬레이션을 수행하여 그림 3에 나타내었다. 그림 2의 클러스터 그룹 A~K 대비 재형성된 클러스터 그룹은 균일화가 적용되어 작은 단위의 클러스터 그룹으로 분리된 결과를 확인할 수 있다. 그림에서 빨간색 점은 클러스터 그룹내에 선출된 CH노드이며, 파란색 실선은 CH노드와 통신되는 멤버노드를 나타내었다. 하늘색 점은 그룹으로 형성되지 않은 상태를 나타내며, 그룹으로 형성하기 위해 연결 강도를 조정하여 재생성한다. 그림 4는 클러스터 균일화 전후의 비교 결과를 보여준다. x축은 클러스터 그룹내 센서노드의 수를, y축은 해당 센서 노드 수를 가지는 클러스터 그룹의 수를 나타내었으며, 100회 이상의 시뮬레

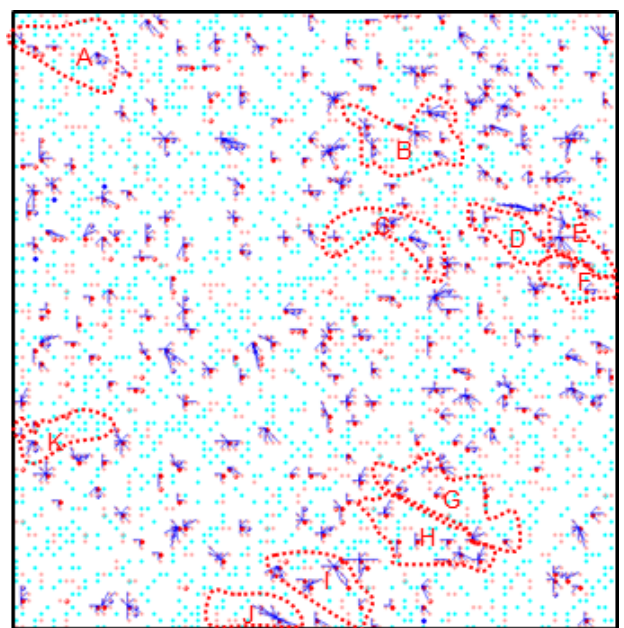


Fig. 3. Simulation results of cluster homogenization.
 그림 3. 클러스터 균일화 시뮬레이션 결과

이선 결과를 누적 평균한 값이다. 클러스터 그룹내 센서 노드의 밀도가 균일화 이전대비 30% 이상 낮게 형성된 것을 확인할 수 있다.

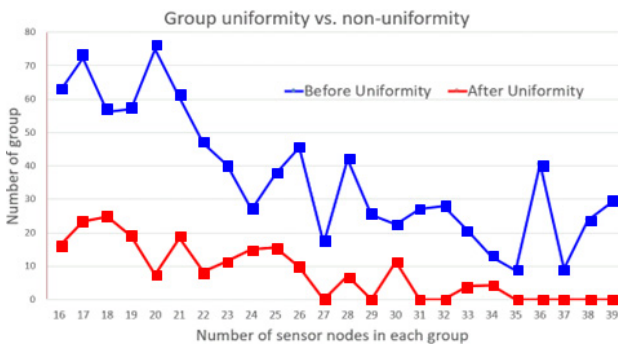


Fig. 4. Cluster non-uniformity vs. uniformity comparison.
그림 4. 클러스터 비균일화 대비 균일화 비교

IV. 결론

본 논문에서는 단위 거리 내에 있는 센서 노드들의 상호 인력을 이용해 클러스터 정규화를 구현하였다. 본 논문에서는 노드 간의 상호 인력을 기반으로 클러스터 그룹의 무게 중심에 해당하는 노드를 찾아 CH노드로 선출할 수 있도록 하였다. 클러스터 균일화는 비정상적으로 큰 밀도로 형성된 클러스터 그룹의 수를 줄임으로써 네트워크의 수명을 늘릴 수 있도록 하는 것이 목적이다. 본 연구에서 시뮬레이션 결과 약 30%의 클러스터 균일화 개선이 가능하였다. 클러스터링 단계를 반복하여 균일도를 더욱 향상시킬 수 있다 향후 클러스터 그룹 균일화로 인한 네트워크 수명연장 정도를 수치화 할 수 있도록 추가 연구 진행이 필요하다.

References

- [1] S. Wong, J. Lim, S. Rao and W. Seah, "Multihop Localization with Density and Path Length Awareness in Non-Uniform Wireless Sensor Networks," *Proc. of the International Symposium on Parallel Architectures Algorithm, and Networks*, vol.4, pp.2551-2555, 2005.
DOI: 10.1109/VETECS.2005.1543795
- [2] E. Kim, D. Kim and J. Park, "Min-Distance Hop Count based Multi-Hop Clustering In Non-uniform Wireless Sensor Networks," *International Journal of Contents*, vol.8, no.2, pp.13-18, 2012.

DOI: 10.5392/IJOC.2012.8.2.013

- [3] W. Heizelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "An Application Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol.1, no.4, pp.660-670, 2002.

DOI: 10.1109/TWC.2002.804190

- [4] S. Saleh, A. Al-Awamry and F. M. Mahmoud, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Sensor Networks," *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol.4, 2015.

DOI: 10.17577/IJERTV4IS051108

- [5] Shankar, A., Jaisankar, N., Khan, M. S., Patan, R., Balamurugan, "Hybrid model for security-aware cluster head selection in wireless sensor networks," *IET Wireless Sensor Systems*, vol.9(2): pp.68-76. 2019. DOI: 10.1049/iet-wss.2018.5008

- [6] Chen, J. Sackey, S. H. Anajemba, J. H., Zhang, X. He, Y. "Energy-efficient clustering and localization technique using genetic algorithm in wireless sensor networks," *Complexity*, pp.1-12. 2021.

DOI: 10.1155/2021/5541449

- [7] Jagan, G.C., Jesu Jayarin, P. "Wireless sensor network cluster head selection and short routing using energy efficient," *Electro Static discharge algorithm. Journal of Engineering*, pp.1-10. 2022.

DOI: 10.1155/2022/8429285