

무선 센서 네트워크에서의 머신러닝을 활용한 에너지 효율적인 클러스터 라우팅 방안 연구

강미영*

Energy Efficient Cluster Routing Method Using Machine Learning in WSN

Mi-Young Kang*

*Assistant Professor, Department of Information & Communication Engineering, Honam University, Gwangju, 62399 Korea

요약

본 논문에서는 K-평균 군집화 알고리즘을 사용하는 머신러닝을 활용하여 무선 센서 네트워크에서 센서 노드의 에너지 효율성을 향상시켜 네트워크의 수명을 향상시키고자 한다. 무선 센서 네트워크는 물리적인 센서로 배터리를 포함한 물리적 장치를 무선 네트워크로 구성한 것으로 센서 노드의 특성 상 에너지 소비를 최소화하여 네트워크 수명을 최대화하기 위해 모든 자원을 효율적으로 사용해야 한다. 클러스터기반 접근 방식은 상대적으로 많은 수의 노들로 구성된 그룹을 관리하는데 사용된다. 제안된 프로토콜에서는 기존의 LEACH 알고리즘을 개선하여 클러스터기반 접근방식과 위치기반 접근 방식을 사용하여 클러스터 헤드를 선정하는 클러스터링 알고리즘을 제안한다. 개선하고자 했던 성능 결과를 Matlab 시뮬레이션을 이용하여 측정하였다. 실험 결과를 통해 에너지 효율성 부분에 대해 K-means 클러스터링을 적용함으로써 에너지 효율이 개선되어 전체 네트워크의 수명이 연장됨을 확인한다.

ABSTRACT

In this paper, we intend to improve the network lifetime by improving the energy efficiency of sensor nodes in a wireless sensor network by utilizing machine learning using K-means clustering algorithm. A wireless sensor network is a wireless network composed of physical devices including batteries as physical sensors. Due to the characteristics of sensor nodes, all resources must be efficiently used to minimize energy consumption to maximize network lifetime. A cluster based approach is used to manage groups of relatively large numbers of nodes. In the proposed protocol, by improving the existing LEACH algorithm, we propose a clustering algorithm that selects a cluster head using a cluster based approach and a location based approach. The performance results to be improved were measured using Matlab simulation. Through the experimental results, K-means clustering was applied to the energy efficiency part. By utilizing K-means, it is confirmed that energy efficiency is improved and the lifetime of the entire network is extended.

키워드 : 무선 센서 네트워크, 클러스터 라우팅, 클러스터 헤드, LEACH 프로토콜, K-평균 군집화

Keywords : Wireless Sensor Network(WSN), Cluster Routing, Cluster Head(CH), LEACH Protocol, K-means Clustering

Received 28 November 2022, Revised 15 December 2022, Accepted 16 December 2022

* Corresponding Author Mi-Young Kang(E-mail:kmy2021@honam.ac.kr, Tel:+82-62-940-3632)

Assistant Professor, Department of Information&Computer Engineering, Honam University, Gwangju, 62399 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2023.27.1.124>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)는 물리적 또는 환경적 조건을 모니터링 하기 위해 센서를 사용하는 독자적인 디바이스로 구성된 무선 네트워크이다. 무선 네트워크는 저 비용, 저 전력 센서를 이용하여 우리 주변에서 일어나는 산불 및 화산 주변의 온도 측정, 스마트 팩토리에서의 공장 정보 수집, 생태계 환경 등 다양한 분야에 활용되고 있다.

이처럼 다양한 어플리케이션에 적용할 수 있는 기술로서 그림 1은 무선 센서 네트워크의 일반적인 구조를 나타낸다.

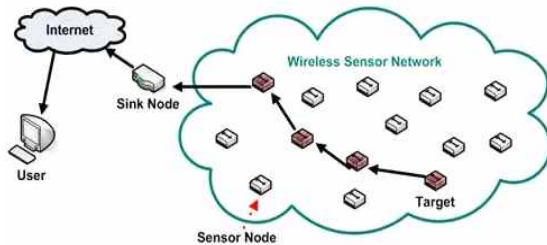


Fig. 1 General Architecture of Wireless Sensor Network

무선 센서 네트워크는 물리적 환경적 조건을 측정하기 위해 분산 배치된 센서 노드들, 무선을 통해 센서 노드로부터 정보를 수집하여 중앙 서버로 전달하는 싱크 노드와 수집된 정보를 저장, 관리, 분석, 활용하기 위한 사용자 인터페이스인 소프트웨어로 이루어진다[1].

무선 센서 네트워크에서 고려해야 할 중요한 요소 중 하나는 에너지 효율이다. 일반적으로 센서 노드들은 사람이 접근하기 힘든 환경에 설치되어 동작하고 센서 노드의 소형화를 위해 제한된 용량의 배터리를 사용한다. 이때, 센서 노드의 크기는 산업용, 군사용, 감시용 등 어플리케이션의 경우에 따라 달라지며[2] 센서 노드들은 네트워크의 신뢰성을 강화하기 위해 수백 개 또는 수천 개의 센서 노드가 모여 데이터를 수집한다.

무선 센서 네트워크는 배터리를 기반으로 에너지를 모두 소비하면 배터리 교체나 재충전이 어렵기 때문에 센서 노드의 효율적인 에너지 사용으로 네트워크 수명을 오래 유지하는 것은 중요한 요소이다.

에너지를 최소화하여 네트워크의 수명을 늘리기 위한 다양한 무선 센서 네트워크 프로토콜이 연구되어지고 제안되었다[3-4].

LEACH는 센서 노드들의 정보를 클러스터 헤드로 보낸 후, 클러스터 헤드에서 데이터를 병합하여 싱크 노드로 보낸다. LEACH의 클러스터링 기반의 라우팅은 센서 노드들을 위치와 에너지에 상관없이 무작위로 배치하게 된다. 이는 클러스터 내의 센서 노드 수가 일정하지 않으며 위치를 고려하지 않고 매 라운드마다 클러스터 헤드를 재 선출해야 하는 상황에서 클러스터 헤드와 싱크 노드 간의 거리 및 방향에 따라 데이터를 전송하는데 있어 에너지 소모가 커지게 되어 전체 네트워크의 수명이 짧아지게 된다.

물론, LEACH를 바탕으로 위치와 에너지를 고려한 연구들이 제시되고 있다[5]. 하지만 네트워크가 구성된 이후에도 위치정보 전송에 부담이 존재하여 기존 LEACH에서 센서노드와 클러스터 헤드의 위치 관계에 따른 불필요한 전송에 대한 문제를 해결하지 못하고 있다.

본 논문에서는 클러스터 구성 시에 머신러닝을 활용한 K-평균 군집화 알고리즘을 사용하여 최적 클러스터 수를 고려한 클러스터를 형성하고 위치 기반 접근 방식을 사용하여 클러스터 헤드 선출방식을 개선하여 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 클러스터 라우팅 알고리즘을 제안한다.

다음 2장에서는 무선 센서 네트워크의 관련 연구에 대해 소개하고 3장에서는 클러스터 기반인 LEACH 알고리즘을 분석하고, 제안한 알고리즘에 대해 설명한다. 4장에서는 실험을 통해서 얻은 결과를 기반으로 제안한 알고리즘에 대한 성능을 분석한 후, 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

무선 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜은 플랫 기반 라우팅 프로토콜, 계층기반 라우팅 프로토콜, 위치기반 라우팅 프로토콜 등으로 네트워크 구성 조직에 따라 대표적으로 분류할 수 있다. 본 연구와 관련이 있는 계층기반 라우팅 프로토콜과 위치기반 라우팅 프로토콜에 대해 알아본다.

2.1. LEACH 프로토콜

LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 프로토콜은 센서노드들을 클러스터 단위로 구성하며

한 클러스터 내부의 센서노드들은 해당 클러스터 헤드 로 데이터를 전송하고 클러스터 헤드는 중복 데이터를 병합해 기지국으로 보내준다.

이때, 센서노드들 중에서 클러스터 헤드를 각 라운드 마다 랜덤하게 선출하고 주기적으로 재 선출함으로써 전체 무선 센서 네트워크의 에너지 소모를 최소화하는데 목적이 있다.

LEACH 프로토콜은 설정 단계와 안정단계인 2단계로 라운드가 동작한다. 1단계인 설정 단계에서는 클러스터 헤드를 선택한다. 다음은 클러스터 헤드의 선출 과정에 필요한 동작이다.

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P \times (r \bmod \frac{1}{P})} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

각 센서 노드는 0과 1 사이의 난수를 생성하며 식(1)에서 구한 임계값 $T(n)$ 과 비교하여 난수 값이 임계값 보다 작으면 그 센서 노드는 현재 라운드에 클러스터 헤드로 선정된다. P 는 클러스터 헤드가 뽑힐 확률이고, r 은 현재의 라운드 번호, G 는 최근 라운드 동안 클러스터 헤드로 선정 되지 않았던 노드들의 집합이다.

선택된 클러스터 헤드는 시간 분할 다중 액세스 (TDMA) 방식으로 클러스터에 존재하는 센서 노드에 데이터 전송 시간에 할당하고 센서 노드에 알려준다.

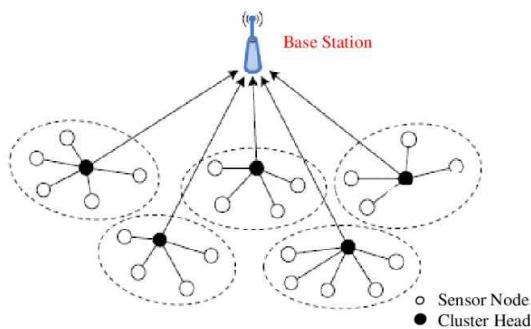


Fig. 2 Architecture of LEACH protocol

2단계인 클러스터 안정화 단계에서는 클러스터에 속한 센서 노드는 클러스터 스케줄링에 따라 클러스터 헤드로 데이터를 전송한다. 모든 센서 노드들이 비활성화 모드에 있으며, 자신의 전송 시간에 활성화 되어 데이터를 전송하고, 다시 비활성화 모드로 돌아가 에너지를 소모를 최소화한다.

클러스터 헤드는 수신된 데이터를 병합하여 CDMA 방식으로 싱크노드로 데이터를 전송한다.

2.2. LEACH 프로토콜

LEACH 프로토콜은 LEACH 프로토콜에서 제안된 클러스터 형태에서 센서 노드들끼리의 라우팅 연결을 중앙 집중형으로 구성하는 방식을 추가하여 네트워크 전체에 클러스터 헤드를 분산시킴으로서 LEACH 프로토콜의 클러스터링 과정에서 에너지를 항상 효율적으로 소비할 수 없는 단점을 해결하고자 제안되었다. LEACH 클러스터링은 라운드가 시작될 때마다 각 노드는 GPS 기술을 사용하여 위치와 잔류 에너지를 싱크로 보내며, 클러스터링 구성을 위해 싱크는 센서 노드의 평균 에너지를 계산하고 평균보다 작은 에너지를 가진 센서 노드를 결정하게 된다.

이때 결정된 센서 노드들은 클러스터 헤드를 선택하는 동안 배제가 된다. 클러스터 헤드의 선택 단계와 클러스터 구성 후에 싱크 노드는 멤버 노드의 수와 각각의 클러스터의 헤더를 확인한다[6].

LEACH 프로토콜은 클러스터 헤드 선택 시, 매 라운드 마다 싱크 노드에 모든 센서 노드의 위치 및 정보를 전송하기 때문에 많은 에너지가 소모되는 단점을 가지고 있다.

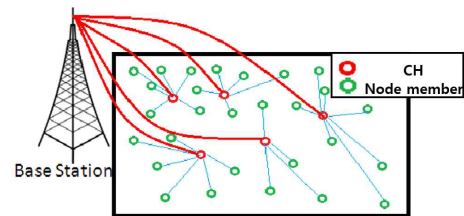


Fig. 3 Architecture of LEACH protocol

2.3. GPSR 프로토콜

GPSR(Greedy Perimeter Stateless Routing)[7]은 위치기반 무선 네트워크 환경을 위한 라우팅 방법이다. GPSR 프로토콜은 확장성이 좋고 빠르게 경로 탐색이 가능하며 구현이 용이하다는 장점을 가지고 있다. 데이터를 전송하기 위해서는 각 센서노드는 이웃노드들의 위치와 최종 목적지의 위치 정보를 고려하여 최적 경로를 결정한다. 그림4에서 보는 것처럼 각 센서노드는 그리디(greedy) 알고리즘을 사용하여 현재 위치(x)에서 최종 목적지(D)에 가장 가까운 즉, 1 hop 거리에 있는 노드들 중 목적지 D와 가까운 노드인 이웃 노드(y)를 다음

노드로 선택하고 있다.

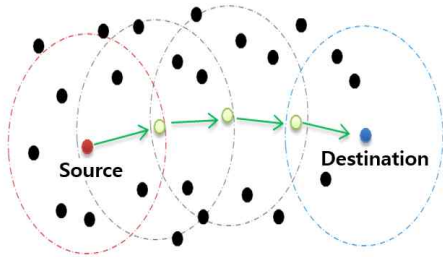


Fig. 4 Greedy forwarding packets of GPSR

GPSR 프로토콜은 이웃 노드의 ID와 위치 정보만을 아는 상태에서 효율적으로 전달 경로를 구축할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 기존 관련 연구를 기반으로 첫 번째, 클러스터 헤드의 효율적인 분산 문제를 K-means 군집화 클러스터링을 적용하여 보다 개선된 해결에 접근하였다.

두 번째, 클러스터 헤드의 장애, 이탈, 에너지 고갈로 인한 상황이 발생할 경우 전송이 차단되거나 최악의 경우 전체 네트워크의 수명을 단축시키는 악영향을 가져올 수 있다. 본 연구를 통해 이를 해결하고자 하였다.

III. 제안 방안

LEACH 프로토콜은 라운드가 시작될 때 센서 노드들은 GPS 기술을 사용하여 자신의 위치정보와 잔류 에너지 정보를 싱크로 보낸다. 클러스터 헤드의 결정권을 싱크로 위임함으로써 클러스터 헤더 결정을 위한 처리 과정 중 발생하는 에너지 소모 요인을 줄이고자 하였다.

이때, 센서노드들이 라운드가 시작될 때마다 클러스터 내부에서 혹은 클러스터 간 1 hop 전송을 사용하여 위치정보와 에너지 정보를 싱크로 보낼 때 센서노드와 클러스터 헤드는 많은 에너지를 소비하게 된다.

무선 센서 네트워크에서 데이터를 수신하고 처리하는데 소비하는 에너지보다 데이터를 전송하는데 소비하는 에너지가 훨씬 크다[8].

센서노드는 정보를 전송하는 일련의 절차를 수행하는 도중 위치좌표와, 잔류 에너지 정보를 싱크에 전달할 수 없는 상황일 일어 날 수 있으며 이로 인해 데이터 손실로 이어져 전체 네트워크의 수명에 악영향을 가져올 수 있다.

본 연구에서 사용할 에너지 소비모델은 LEACH 프로토콜 작동원리를 기반으로 하며, 클러스터링 구성과 클러스터 헤더 선택을 위해 K-means 클러스터링을 적용하여 전체적인 네트워크 수명을 연장하는데 있어 에너지를 효율적으로 사용하는 알고리즘을 제안한다.

3.1. 제안 모델의 클러스터 구성 기법

K-means 클러스터링은 성능이 좋은 대표적인 클러스터링 알고리즘 중 하나다.

$$\sum_{i=0}^n \min_{\mu_j \in C} (\|x_i - \mu_j\|^2) \quad (2)$$

- n개의 등분산 그룹으로 군집화
- 제곱합 함수를 최소화
- 군집화 개수를 지정한다.
- 각 군집 C의 평균 μ 중심점이다.
- 수식(1)을 만족하는 중심점을 찾음

K-means 군집화의 각 군집에는 하나의 중심이 있다. 각 센서 노드는 가장 가까운 중심점에 속하게 되며, 동일한 중심점에 소속된 센서노드는 함께 모여 클러스터를 형성한다. K-means 군집화의 특징은 군집 수를 미리 결정해야 한다. 제안한 알고리즘에서는 최적 군집 수의 결정은 Elbow Method를 적용하여 군집의 개수를 정하였다.

본 연구를 통해 에너지 효율을 높이고자 접근하였던 클러스터 헤드의 균형잡힌 분산 배치와 클러스터 헤드의 부재의 상황에 대해 다음과 같은 절차로 성능을 개선할 수 있었다.

- 1) 1단계 : Elbow Method를 적용하여 군집의 개수를 결정한 후 K-means 클러스터링 수행 (클러스터 구성 시)

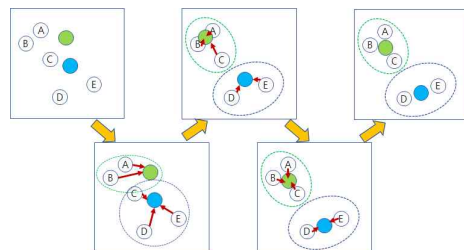


Fig. 5 Cluster construction using K-means algorithm

2) 2단계 : 싱크 노드는 클러스터 헤드 선정 시 클러스터 중심점과 가장 근접한 클러스터 헤드를 선정함과 동시에 후보 헤드 리스트 정보를 관리 (클러스터 헤드 부재 상황 대비)

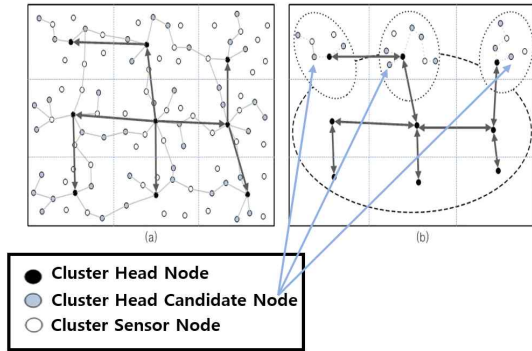


Fig. 6 Cluster Head Selection Technique

제안한 모델은 클러스터 구성과 클러스터 헤드를 선정하는데 있어 머신러닝 기법인 K-means 알고리즘을 적용함으로써 에너지와 거리 라우팅 프로토콜을 고려한 WSN에 대한 클러스터 헤드 정보를 보유함으로써 전체 네트워크 수명을 연장하였다.

IV. 시뮬레이션 및 결과

본 연구를 통해 진행된 시뮬레이션 환경은 제안한 프로토콜과 기존 프로토콜 LEACH를 Matlab 시뮬레이션을 이용하여 에너지 효율을 비교 분석한다. 무선 센서 네트워크는 500 x 500 m²의 영역에 300개의 센서 노드를 랜덤하게 배치한다. 싱크 좌표는 (250, 550)에 위치하고 센서 노드들 초기 에너지는 0.5J로 하고, 클러스터 헤드에서 수집된 센서 노드의 데이터를 병합하는 데 드는 에너지 E_{DA}는 5nJ/bit/signal 이다.

시뮬레이션을 위한 센서 네트워크 필드의 설정은 다음의 표 1과 같이 정의한다.

Table. 1 Simulation Energy Parameters

Parameter	Value
Number of Sensor nodes	300
Network Size	500 x 500m
Sink Position	(250, 550)

Parameter	Value
Initial Energy	0.5J
E _{DA}	5nJ/bit/signal
E _{elec}	50nJ/bit
E _{fs}	10pJ/bit/m ²
E _{mp}	0.0013pJ/bit/m ⁴

에너지 효율을 높이고자 접근하였던 클러스터 헤드의 균형 잡힌 분산 배치와 클러스터 헤드의 부재의 상황에 대해 다음과 같은 절차로 성능을 개선 할 수 있었다.

그림 7은 전체 네트워크의 에너지 소모와 네트워크의 수명에 관련하여 센서 노드의 Dead를 제안한 기법과 LEACH 프로토콜을 비교한 것이다.

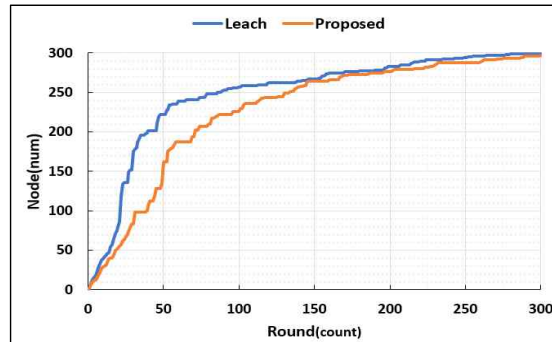


Fig. 7 The Number of dead nodes (round=300)

그림 7은 센서 노드 300개를 제안한 모델 구성에 따라 랜덤하게 배치하고, 기지국인 싱크 노드를 (250, 550)에 위치하였다. x축은 라운드 횟수, y축은 라운드에 대한 Dead 노드 수를 나타낸다. 같은 환경하에 진행하였으며 1라운드부터 에너지 잔량이 부족했던 센서 노드들이 Dead 노드로 누적 되어 졌으며 280라운드에서 LEACH 프로토콜은 거의 모든 센서가 수명을 다 하였으며 제안한 프로토콜에서는 280라운드에서 7개의 센서 노드가 생존하여 역할을 하고 있음을 알 수 있다.

그림 8, 그림 9, 그림 10은 K-means 클러스터링이 적용된 제안한 프로토콜의 에너지 효율성을 비교하고자 하는 시뮬레이션 결과이다.

LEACH와 같이 각 클러스터의 센서 노드들은 클러스터 헤드에게 데이터를 전송하고 클러스터 헤드는 이 데이터들을 모아 싱크로 보낸다. 이때 클러스터 헤드는 그리드 공간에서 싱크와 가까운 위치의 클러스터에서

의 노드들 중 하나가 선택된다. 제안한 모델에서는 K-means 클러스터링을 수행한 각 클러스터의 중심과 가까운 센서 노드를 클러스터의 헤드로 선출한다.

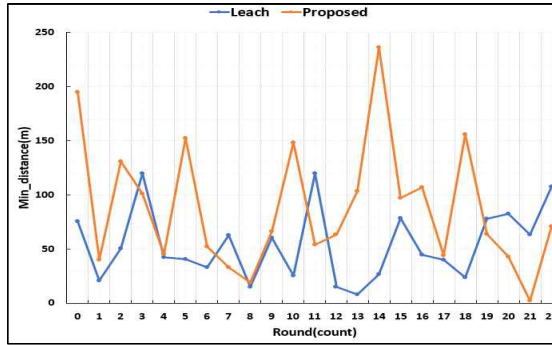


Fig. 8 The Position for Cluster in Sink

그림 8은 클러스터 헤드로 선출된 노드와 싱크 노드로부터의 거리를 분석한 그래프이다. 에너지 효율성을 비교하고자 하는 시뮬레이션 결과로서 그래프에서 보는 것처럼 LEACH 프로토콜을 통해 선출된 클러스터 헤드는 싱크노드와 가장 가까운 노드가 선출되었음을 알 수 있다. 제안한 프로토콜을 통해 선출된 클러스터 헤드는 K-means 클러스터링 된 각 클러스터의 중심에 가까운 클러스터 헤드가 선택되어 있는 것을 확인 할 수 있다.

그림 8의 그래프를 분석한 후, 성능을 확인하기 위해 진행 된 결과는 그림 9와 같이 측정 비교 할 수 있었다. 먼저 클러스터의 수를 확인 해 보았다. 구현 환경의 모든 조건은 같으며 이 때 센서 노드의 위치는 랜덤 배치이다. 100, 300개의 센서 노드에서 50, 168개의 그룹을 만들었으며 제안한 알고리즘은 100, 300개의 센서 노드에서 35, 133개의 균일하게 분산배치 된 그룹을 만들어 낸 것을 확인할 수 있었다.

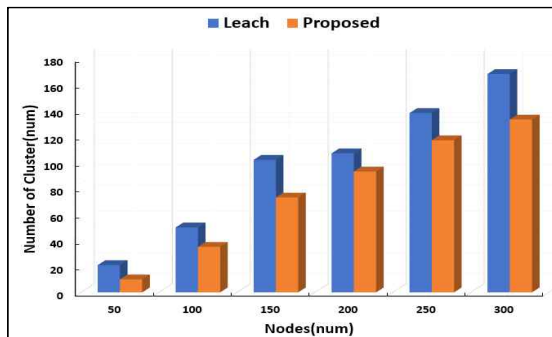


Fig. 9 The Number of Cluster

그림 9에서 에너지 효율성을 비교하고자 나온 결과를 토대로 클러스터된 생존하는 센서 노드에서 클러스터 헤드로 보내는 데이터의 전송량을 모니터링 하면서 시간에 따라 변경 되는 생존 노드의 수를 비교한 그래프가 그림 10과 같은 실험 결과이다.

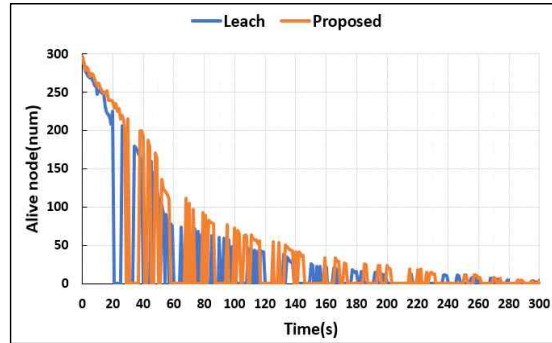


Fig. 10 The Packet to Cluster Head(Lifetime)

LEACH는 클러스터된 센서 노드들 중 싱크노드와 가장 가까운 노드가 클러스터 헤드로 선출된 후 에너지 효율성을 비교하고자 하는 시뮬레이션 결과로서 생존노드와 클러스터 헤드 사이에 데이터를 전송하는 lifetime 이다. 제안한 모델과의 비교 그래프를 통해 본 연구에서 제안하였던 클러스터 헤드 선출방식 개선을 통해 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 것을 검증할 수 있었다.

제안한 모델을 통해 클러스터 된 모니터링 결과를 토대로 클러스터 된 생존하는 센서 노드에서 클러스터 헤드로 보내는 데이터의 전송량을 분석 하면서 시간에 따라 변경 되는 생존 노드의 수를 비교한 그래프가 그림 10과 같은 실험 결과이다.

V. 결론

본 논문은 무선 센서 네트워크에서 LEACH 클러스터링 알고리즘의 문제점을 비교 분석하고, 개선된 에너지 효율적인 알고리즘을 제안하였다. LEACH 프로토콜은 센서 노드의 랜덤한 분포로 인해 클러스터로 구성된 그룹 센서 노드들의 수가 균일하지 않다. 즉, 클러스터마다 센서 노드 수가 많거나 적게 구성이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 K-means 클러스터링을 적용하여 클러스터화 하였다. 구현 결과 비슷한 수의 센서 노드들

로 클러스터를 구성하여 에너지 소모 측면에서 에너지 수명을 연장할 수 있었으며 어느 정도 끝나는 수명도 예측 가능하다는 점도 확인할 수 있었다.

LEACH 프로토콜의 클러스터 헤드 선출 시 클러스터 구성 완료 후 싱크 노드와 가장 가까운 센서 노드를 헤드로 선출한다. 이 경우의 발생할 수 있는 여러 가지 문제점 중 센서 노드들 중 클러스터 헤드로 데이터를 보내는 효율성 보다 직접 싱크 노드로 보냈을 때 더 효율적인 상황이 발생하였다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 K-means 클러스터링이 가지고 있는 부분을 활용하여 클러스터의 중심점과 가장 가까운 센서 노드를 클러스터 헤드로 선출하여 이를 개선함으로써 클러스터링에 사용하는 에너지 효율성 측면에서 LEACH 프로토콜 대비 70%정도 센서 노드들의 수명을 연장할 수 있었다.

LEACH 프로토콜과 제안한 프로토콜의 성능을 시뮬레이션을 통해 비교하였으며 제안된 알고리즘의 성능 개선된 부분의 확인을 통해 센서 노드에 대한 클러스터 및 네트워크에 대한 에너지 효율이 전체 네트워크의 수명 연장에 영향을 준다는 것을 확인할 수 있었다.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported by research fund from Honam University, 2021

References

[1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A Survey," *Computer Networks*, vol. 38, no. 4, pp. 393-422, Mar. 2002. DOI: 10.1016/S1389-1286(01)00302-4.

[2] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy Efficient Communication Protocol for Wireless microsensor Networks," in *Proceeding of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, Maui: HI, USA, pp. 1-10, 2000. DOI: 10.1109/HICSS.2000.926982.

[3] T. M. Behera, U. C. Samal, S. K. Mohapatra, M. S. Khan, B. Appasani, N. Bizon, and P. Thounthong, "Energy-Efficient Routing Protocols for Wireless Sensor Networks: Architectures, Strategies, and Performance," *Electronics*, vol. 11, no. 15, Article ID. 2282, Jul. 2022. DOI: 10.3390/electronics11152282.

[4] P. Gulganwa and S. Jain, "EES-WCA: energy efficient and secure weighted clustering for WSN using machine learning approach," *International Journal of Information Technology*, vol. 14, pp. 135-144. Aug. 2022. DOI: 10.1007/s41870-021-00744-5.

[5] I. Khalaf, G. M. Abdulsahib, "Energy Efficient Routing and Reliable Data Transmission Protocol in WSN," *International Journal Advance Soft Computing and its Applications*, vol. 12, no. 3, pp. 45-53. Nov. 2020.

[6] D. Mechta and S. Harous, "Improving LEACH using sink mobility," in *Proceedings of IEEE 7th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference(UEMCON)*, New York: NY, USA, pp.1-6, Oct. 2016. DOI: 10.1109/UEMCON.2016.7777901.

[7] M. Houmer and M. L. Hasnaoui, "An Enhancement of Greedy Perimeter Stateless Routing Protocol in VANET," in *Procedia Computer Science*, Coimbra, Portugal, vol. 160, pp. 101-108, Nov. 2019. DOI: 10.1016/j.procs.2019.09.449.

[8] D. W. Sambo, B. O. Yenke, A. Forster, and P. Dayang, "Optimized Clustering Algorithms for Large Wireless Sensor Networks: A Review," *Sensors*, vol. 19, no. 2, Article ID. 322, Jan. 2019. DOI: 10.3390/s19020322.



강미영(Mi-Young Kang)

2003년 전남대학교 대학원 정보통신공학과 졸업(공학석사)
2008년 전남대학교 대학원 컴퓨터정보통신공학과 졸업(공학박사)
2008년~2010년 전남대학교 PostDoc.
2021년~현재 호남대학교 정보통신공학과 교수
2021년~현재 광주시 스마트도시사업협의회 자문위원
※관심분야 : 무선센서네트워크, 라우팅프로토콜, 인공지능