

무선센서 네트워크에서 센서와 기지국과의 거리를 고려한 클러스터 헤드 선택기법

(A Study on Cluster Head Selection Based on Distance from Sensor to Base Station in
Wireless Sensor Network)

고성원* · 조정환

(Sung-Won Ko · Jeong-Hwan Cho)

Abstract

In Wireless Sensor Network, clustering scheme is used to prolong the lifetime of WSN by efficient usage of energy of sensor. In the distributed clustering protocol just like LEACH, every sensor in a network plays a cluster head role once during each epoch. So the FND is prolonged. But, even though every sensor plays a head role, the energy consumed by each sensor is different because the energy consumed increases according to the distance to the Base Station by the way of multiple increase. In this paper, we propose a mechanism to select a head depending on the distance to Base Station, which extends the timing of FND occurrence by 68% compared to the LEACH and makes network stable.

Key Words : Clustering, LEACH, HWSN, SEP, Energy Efficiency, FND

1. 서 론

무선센서 네트워크(WSN, Wireless Sensor Network)는 다수의 소형 센서(Sensor)들로 구성된 네트워크로 각 센서는 주변을 모니터링(Monitoring)하고 그 결과를 기지국(Base Station)으로 전송한다. 기지국에 수집된 데이터는 군사지역이나 보안지역에서의 침입탐지, 자연환경에서 야생동물의 서식지 모니터링 등 사

람의 접근이 어려운 지역이나 자연환경에 다양하게 응용되어 사용될 수 있다[1]. 주변을 모니터링하고 센싱(Sensing)된 데이터를 처리하고 기지국과 통신하는 센서는 제한된 에너지 자원을 가지고 있어 센서의 에너지 자원의 고갈은 센서의 기능 상실뿐 아니라 네트워크의 존속 기간, 수명(Lifetime)을 결정한다. 센서에 있어 에너지 소모의 주된 원인은 기지국과의 통신이다[2]. 그러므로 무선센서 네트워크의 수명을 연장하기 위해서 인접한 다수의 센서들로 클러스터(Cluster)를 구성하고 하나의 클러스터에 하나의 헤드(Head)를 두어 클러스터 내에서 수집된 데이터는 헤드를 통해 기지국으로 전송함으로써 네트워크의 전체 에너지 소비를 줄이고 네트워크의 수명을 늘릴 수 있다. 이러한 클러스터 기반 WSN 프로토콜로 LEACH(Low

* 주저자 : 김포대학교 인터넷정보과 교수
* Main author : Kimpo College, Major Internet Information, Professor
Tel : 031-999-4154, Fax : 031-999-4775
E-mail : swko@kimpo.ac.kr
접수일자 : 2013년 7월 3일
1차심사 : 2013년 7월 11일, 2차심사 : 2013년 9월 4일
심사완료 : 2013년 9월 14일

Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[3] 프로토콜이 있다.

LEACH는 저 전력 소모를 달성하기 위해 네트워크에 존재하는 센서의 수, N 과 네트워크의 크기, $(M \times M)$ 등을 고려하여 네트워크 전체 에너지 소비량을 최소로 하는 클러스터의 수, k_{opt} 를 구한다. k_{opt} 가 주어지면 임의의 센서가 클러스터 헤드가 될 확률은 $p = k_{opt}/N$ 이다. 또한 LEACH에서는 네트워크 센서들의 에너지 소비를 균등하게 하기 위하여 헤드가 데이터를 전송한 후, 헤드의 역할을 하지 않은 센서를 클러스터 헤드로 다시 클러스터를 구성하여 데이터의 수집과 기지국으로의 전송을 마치면 또 다시 클러스터를 형성하는 과정을 반복한다. 네트워크의 센서들이 p 의 확률로 클러스터 헤드가 되어 데이터를 수집하고 기지국으로 전송하는 과정을 하나의 Round라 한다. Round가 끝나면 새로운 클러스터의 형성과 함께 새로운 Round가 실행되고 $1/p (= N/k_{opt})$ 개의 Round가 지나면 네트워크의 모든 센서는 모두 1번의 클러스터 헤드의 역할을 하고 기지국과 1번의 통신을 하게 된다. $1/p$ 개의 Round를 하나의 Epoch라 한다. 결국 네트워크의 모든 센서들은 시간이 지남에 따라 균일하게 에너지를 소비하며 모든 에너지를 소비한 센서의 출현을 저지하여 네트워크의 수명을 연장하게 된다. 즉 최적의 확률(p)을 기반으로 $p \cdot N$ 개의 클러스터로 구성되는 때 Round가 1개의 Epoch 동안 진행되며 네트워크 내의 모든 센서들이 한번 씩 클러스터 헤드의 역할을 수행함으로써 센서들 간의 에너지 소비량을 균등하게 하여 네트워크의 수명을 연장한다.

그러나 클러스터 헤드의 역할을 하는 센서의 에너지 소비량은 기지국과의 거리에 따라 거리의 2제곱 또는 4제곱으로 소비하는 에너지의 양이 다르므로 하나의 Epoch 동안 소비하는 에너지의 양은 네트워크의 모든 센서에 균일하지 않다. 기지국과의 거리에 따른 에너지 소비량의 차이는 기지국으로부터 멀리 떨어져 있는 센서들의 에너지가 기지국과 가까운 거리에 있는 센서의 에너지에 비해 시기적으로 일찍 소진되고 기지국으로부터 멀리 떨어진 곳의 센서들이 먼저 센서 기능을 하지 못하는 현상이 나타난다. 이러한 현상은 서로 다른 에너지를 가지고 네트워크를 시작하는 이

질적인 무선 센서 네트워크(HWSN, Heterogeneous WSN)[4]로 해석될 수 있다. 센서들이 에너지를 다르게 가지는 네트워크에서는 더 많은 에너지를 가지는 센서가 에너지 비율에 따라 더 많이 클러스터 헤드의 역할을 수행하여 각 센서의 에너지 소비의 비율을 균등하게 하여 전체 네트워크의 수명을 연장하게 된다. 이러한 HWSN의 원리를 적용하되 각 센서가 가지는 에너지의 이질성이 아니라 기지국과의 거리를 이질성으로 본다. 그러므로 같은 에너지를 가진 센서라도 기지국과의 거리에 따라 기지국과의 거리가 가까운 센서는 한번의 Epoch 동안 여러 번 클러스터 헤드의 역할을 수행하고 기지국과 거리가 먼 센서는 한 번도 헤드의 역할을 수행하지 않는다. 그러므로 시간이 지남에 따라 센서들의 에너지 소비비율을 균등히 하여 네트워크의 수명을 늘린다.

본 논문에서는 LEACH 프로토콜이 갖는 에너지 소비의 문제점을 지적하고 이질적인 센서 네트워크에서 사용하는 에너지 이질성의 개념을 기지국과의 거리에 따른 이질성으로 적용하는 알고리즘을 제시하고 시뮬레이션(Simulation)하여 LEACH의 에너지 소비 문제점이 개선되었음을 보인다.

2. 이질적 센서 네트워크의 클러스터링 고찰

2.1 무선 센서 네트워크의 수명(Lifetime)과 안전성(Stability)

무선 센서 네트워크에서 센서의 에너지는 제한되고 시간이 지남에 따라 에너지가 고갈된 센서들은 기능을 상실함으로써 기지국에서는 신뢰할 수 있는 데이터를 얻을 수 없게 된다. 기지국이 네트워크로부터 신뢰(Reliable)할 수 있는 데이터를 안정(Stable)되게 수집할 수 있는 기간이 네트워크의 수명이다. 네트워크의 모든 센서들이 기능을 상실하게 되는 시점, LND(Last Node Dies)는 이미 무선 센서 네트워크가 신뢰할 수 있는 데이터 수집 기능을 수행하지 못하므로 네트워크의 수명으로 의미가 없으며, 네트워크에

존재하는 센서의 50%가 살아있는 시점, HNA(Half of the Nodes Alive)는 네트워크에 존재하는 센서들이 가깝게 존재하여 동일하거나 유사한 데이터를 생성하여 가깝게 존재하는 다른 센서의 기능상실에도 전체 네트워크의 성능에 문제가 되지 않는 경우 네트워크의 수명으로 생각할 수 있다. 네트워크에서 제공하는 데이터의 신뢰성과 안정성을 고려했을 때, 네트워크 내 임의의 센서가 에너지가 고갈되어 기능을 실행하지 못하는 시점, FND(First Node Dies)를 네트워크에서 제공하는 신뢰할 수 있는 데이터를 안정적으로 제공할 수 있는 기점으로 간주한다[5].

네트워크가 안정적으로 신뢰할 수 있는 데이터를 생성하기 위해서는 네트워크내의 모든 센서들의 에너지 소비를 줄여 네트워크의 시작에서 FND 발생 시점까지의 네트워크 안정시기(Network Stability Period)를 늘려야 하며 또한 FND와 HNA의 시점 사이에 네트워크 내의 모든 센서들이 균등하게 에너지를 소비하여 에너지가 고갈된 센서가 네트워크 전체에 고르게 분포하여 일정 지역에서만 데이터가 생성되는 국지적 데이터 생성의 문제를 극복할 수 있다.

2.2 LEACH와 클러스터

LEACH는 완전하게 분산된 자가 구성 클러스터링 프로토콜이다. LEACH는 네트워크를 클러스터로 분할하고 각 클러스터에는 헤드를 두어 클러스터 멤버로부터 온 데이터를 처리하여 기지국으로 전달하는 기능을 하여 네트워크 센서들의 에너지 소비를 줄이는 역할을 한다. 그림 1은 클러스터로 구성된 LEACH의 무선 센서 네트워크를 보여주고 있다.

LEACH의 한 Round는 클러스터 형성단계(Set-up Phase)와 각 헤드로부터 기지국으로 데이터의 전송이 이루어지는 데이터 전송단계(Steady-State Phase)로 구분된다. 클러스터 형성 단계는 헤드 광고단계(Advertisement Phase), 멤버 가입단계(Cluster Set-Up Phase), 전송타임 설정단계(Schedule Creation Phase), 그리고 센스 데이터 전송단계(Data Transmission Phase)로 구성되며 그림 2에서와 같이 $1/p$ Round가 실행되면 1개의 Epoch가 완성되고 네트워크의 모든

센서들은 1번의 클러스터 헤드를 실행한다.

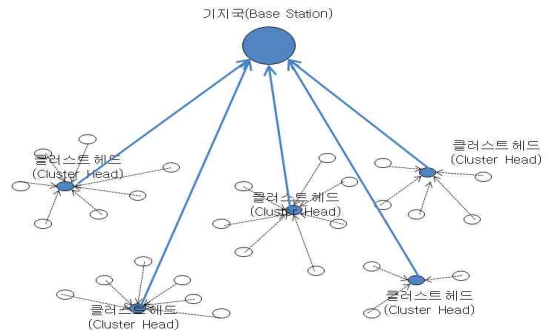


그림 1. 무선 센서 네트워크와 클러스터
Fig. 1. Wireless Sensor Network with Cluster



그림 2. Round(클러스터 형성 및 데이터 전송), Epoch
Fig. 2. Round and Epoch

각 Round의 클러스터 형성단계에서 모든 센서는 자신의 클러스터 헤드 선택 여부를 임의로 발생시킨 난수와 식 (1)을 이용하여 확률적으로 결정한다. 식 (1)은 임의의 센서 n 이 자신의 클러스터 헤드 선정에 결정하기 위한 임계값($T(n)$, Threshold)으로 사용된다.

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

여기서 p 는 각 Round에서 클러스터 헤드 선택 확률이며, r 은 현재 Round, G 는 하나의 Epoch에서 클러스터 헤드의 역할을 하지 않은 센서들의 집합을 뜻한다. 각 센서는 새로운 Round가 시작되면 Round 시작 시점에 0과 1사이의 임의의 난수를 선택하고, 만약 선택한 난수가 임계값 $T(n)$ 보다 작다면 자신을 클러스터 헤드로 선택한다. 이 때 p 를 고정시키고 Round r 을 변화하면 1개의 Epoch 동안 $T(n)$ 은 p 에서 1까지 값이 변화하고 $(1/p)$ Round 후에는 다시 p 에서 시작하여 1까지의 값을 가지는 것을 반복한다. T 값이 1이 되면

클러스터의 헤드 역할을 하지 않았던 모든 센서들이 헤드의 역할을 한다. 그러므로 LEACH와 같은 Round 구조를 사용하는 프로토콜에서는 네트워크의 모든 센서들이 $(1/p)$ Round 동안에 한번 클러스터 헤드가 되는 것을 보장한다. 각 Epoch 동안 에너지 소비가 많은 헤드의 역할을 1번씩 공평하게 수행함으로써 네트워크의 모든 센서들은 균일하게 에너지를 소비하는 것으로 네트워크의 수명을 연장한다.

클러스터 헤드로 선택된 센서는 모든 센서가 수신할 수 있는 강도로 자신이 헤드임을 광고한다. 클러스터 헤드가 아닌 센서들은 광고를 수신한 후, 수신 강도, 즉 헤드와의 거리를 기반으로 자신의 클러스터 헤드를 결정하고, 해당 클러스터에 참여하겠다는 멤버가입을 해당 클러스터 헤드에게 전송하여 클러스터를 형성한다. 클러스터가 형성된 후 클러스터 헤드는 자신의 클러스터 멤버들의 데이터 전송 순서를 지시하는 TDMA 스케줄을 작성하여 멤버에게 알리며 클러스터 멤버는 설정된 TDMA 스케줄에 따라서 클러스터 헤드로 센싱 데이터를 전송하고 자신에게 할당된 시간이 지나면 휴면상태로 들어가며 Round는 데이터 전송단계를 시작한다. 두 번째 단계인 데이터 전송단계에서 클러스터 헤드는 멤버로부터 수신한 데이터를 병합한 후 이를 기지국에 전송한다. LEACH에서는 이러한 과정을 계속 반복하여 클러스터 형성과 데이터 전송이 이루어진다.

2.3 센서의 이질성과 SEP

SEP[6]는 서로 다른 에너지를 갖는 이질적인 센서로 구성된 HWSN에서 센서의 에너지를 균등하게 소비하기 위한 모델을 제안하였다. 기본 개념은 클러스터와 Round를 사용하는 LEACH와 같으나 에너지가 많은 센서는 에너지가 많은 만큼 보통의 센서보다 더 많은 클러스터 헤드의 역할을 수행하도록 한다.

N 개의 센서로 구성된 이질적 무선 센서 네트워크(HWSN)에서 m 개의 센서가 보통의 센서가 가지고 있는 에너지의 α 배를 가지고 있다면, 네트워크 전체는 보통의 센서들이 있을 때보다 $\alpha*m$ 배의 에너지를 더 가지게 된다. HWSN은 $\alpha*m$ 개의 보통 센서를 더 가지

고 있는 것으로 간주되고 그림 3과 같이 LEACH의 Epoch 길이를 $\alpha*m$ 배만큼 길어지게 되고(Heterogeneous Epoch), m 개의 센서는 α 배 많이 클러스터 헤드의 역할을 하게 되어 Heterogeneous Epoch 동안 서로 다른 에너지를 갖는 센서들이 가지고 있는 에너지의 비율로 에너지를 소비하게 된다. 균등한 에너지의 소비는 네트워크의 수명을 연장시킨다.

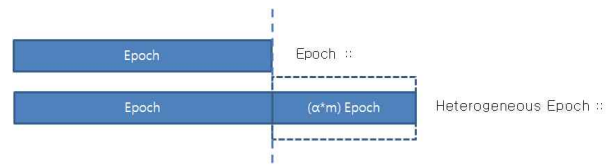


그림 3. Epoch & Heterogeneous Epoch
Fig. 3. Epoch and Heterogeneous Epoch

3. 제안하는 클러스터 헤드선택기법의 설계

본 논문에서는 LEACH의 Round 구조에서와 같이 모든 센서가 동일한 비율로 클러스터 헤드의 역할을 하지 않고 기지국과의 거리에 따라 다른 비율로 헤드의 역할을 하는 방법을 제안한다. 개선되어 제안된 방법은 FND의 발생 시기를 연장하고 에너지가 소진된 센서가 네트워크 전체에 고르게 분포하게 하여 에너지 사용 효율을 높이고 성능을 개선한다.

3.1 무선 센서 네트워크 모델

$M \times M$ 크기의 무선센서 네트워크에 N 개의 센서가 고르게 분포하여 주변 환경을 모니터링하고 기지국으로 데이터를 전송한다. 네트워크, 센서 및 기지국은 다음과 같은 특성을 가지는 것으로 가정한다.

- 기지국은 센서들로부터 떨어져 있고 최초 지정된 장소에 고정되어 있다.
- 기지국의 전송범위는 네트워크 전체이며 전체 네트워크를 통제할 수 있는 능력을 가지고 있다.
- 센서는 기지국과 1홉(Hop)의 거리에 있다.
- 센서들은 동일한 성질(Homogeneous)을 가진다.
- 센서의 초기에너지는 같고 설치된 후 고정되어

있다.

- 센서는 수집한 데이터를 고정된 비율로 항상 기지국으로 전송한다.
- 센서는 송신전력을 조절할 수 있으며, 수신 전력으로부터 송신 지와의 거리를 계산할 수 있다.
- 채널은 symmetric radio channel이다.

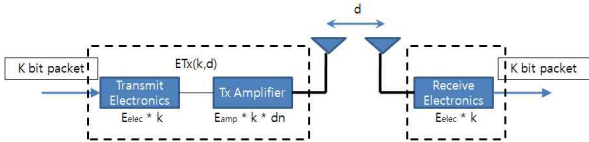


그림 4. 센서의 Radio Energy Dissipation 모델
Fig. 4. Radio Energy Dissipation Model

그림 4는 무선센서 네트워크에서 센서의 데이터 전송 에너지 소비를 설명하기 위한 센서 Radio 모델이다.

그림 4의 Radio 모델에서 센서가 데이터를 송신하기 위해 소비하는 에너지는 식 (2)와 같고 데이터를 수신하기 위해 소비하는 에너지는 식 (3)과 같다[7].

$$E_{Tx}(k, d) = \begin{cases} kE_{elec} + k\epsilon_{fs}d^2, & d < d_0 \\ kE_{elec} + k\epsilon_{mp}d^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (2)$$

$$E_{Rx}(k) = kE_{elec} (= E_{Rx-elec}) = E_{Tx-elec}() \quad (3)$$

여기서 E_{elec} 는 길이가 k 인 데이터를 송수신하기 위해 Radio의 송수신 회로를 동작하기 위해 소비되는 에너지로 송신과 수신시 동일한 에너지를 소비한다. 송신기는 송신기와 수신기 사이의 거리 d 에 따라 d_0 을 기준으로 증폭기를 동작시키기 위해 $\epsilon_{fs}d^2$ (free space Model) 또는 $\epsilon_{mp}d^4$ (multipath Model)에 비례하는 에너지를 소비한다.

3.2 LEACH 프로토콜의 문제점

센서가 소비하는 에너지는 주로 센싱된 데이터를 전송하는데 소비되며, 식 (2)에서 송신 센서는 데이터 전송거리의 2승배 혹은 4승배의 비율로 에너지를 소비하게 된다. WSN에서 데이터 전송을 하는 경우는 클

러스터 멤버로서 클러스터 헤드에 데이터를 전송하는 경우와 클러스터 헤드로서 기지국으로 데이터를 전송하는 경우가 있다. 헤드와 멤버 사이의 거리는 일반적으로 짧고 헤드와 기지국간의 거리가 길므로 센서는 헤드의 역할을 할 때 많은 에너지를 소비한다. 그림 5는 임의의 Round에서 100개의 센서 중 8개가 헤드의 역할을 한 경우, 소비한 에너지의 양을 나타낸다. 센서의 초기 에너지는 0.5J이고 막대위의 번호는 헤드의 센서 번호이다.

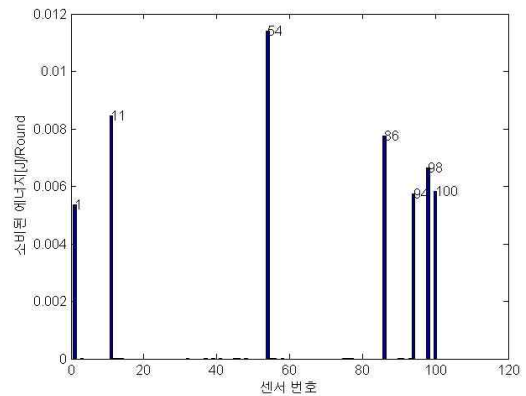


그림 5. 클러스터 헤드와 멤버의 에너지 소비
Fig. 5. Energy consumed by Head and Member

LEACH에서는 Round 구조를 사용하므로 하나의 Epoch 동안 모든 센서들이 한 번씩 클러스터 헤드의 역할을 한다. 같은 헤드의 역할을 하는 센서라도 기지국과의 거리가 먼 헤드는 주기적으로 더 많은 에너지를 소비하고 결국은 먼저 모든 에너지를 소진하게 되어 센서의 기능 상실하게 되며 네트워크의 수명을 줄인다. 또한 기지국과 먼 거리에 있는 지역이 먼저 모니터링 기능을 상실하여 전체 네트워크의 지역적 에너지 불균형을 초래하고 수집된 데이터의 신뢰성을 떨어뜨리게 된다.

이러한 현상을 고려하여 모든 센서들이 비슷하게 에너지를 소비하게 하기 위해서는 기지국과의 거리를 고려하여 센서가 클러스터 헤드가 되는 비율을 조정한다. 기지국과의 거리가 먼 센서가 1번 클러스터 헤드의 역할을 하는 동안, 기지국과의 거리가 가까운 센서는 클러스터 헤드의 역할을 여러 번 하여 에너지의

지역적 불균형 소비를 방지하고 FND 발생 시기를 연장한다.

센서와 기지국과의 거리가 다르다는 것을 HWSN에서 서로 다른 능력을 갖는 (Heterogeneous) 센서의 한 항목으로 간주할 수 있다. SEP에서는 센서의 에너지를 서로 다른 능력을 갖는 센서의 항목으로 해서 더 많은 에너지를 갖는 센서는 더 많이 클러스터 헤드의 역할을 수행함으로써 전체 센서의 에너지 소비량을 균일하게 조절하였다.

3.3 LEACH 프로토콜의 개선방안

본 논문에서는 LEACH에서와 같이 한번의 Epoch 동안 모든 센서들이 한 번씩 클러스터(1차 클러스터 헤드)를 형성하지만 클러스터 헤드의 역할은 클러스터 내에서 기지국과 가장 가까운 센서(2차 클러스터 헤드)가 수행하도록 하였다. 더욱이 LEACH 프로토콜은 센서의 잔존 에너지를 고려하지 않고 모든 센서들이 공평하게 클러스터 헤드로 선택되도록 하고 있어 에너지가 많은 센서가 존재함에도 에너지가 적은 센서가 헤드의 역할을 하고 에너지를 소진한다. 본 제안에서는 HEED(Hybrid, Energy Efficient Distributed clustering)[8]에서와 같이 잔존 에너지를 헤드 역할 선택의 한 항목으로 추가한다. 클러스터 영역 내에서 헤드를 포함한 모든 멤버는 멤버의 잔존 에너지와 기지국과의 거리를 고려한 식 (4)의 값이 큰 멤버가 클러스터 헤드의 역할을 수행한다. 하나의 Epoch 동안 기지국과 거리가 가까운 센서는 1번 이상 헤드 역할을 하고 기지국과의 거리가 먼 센서는 한 번도 헤드의 역할을 하지 않음으로써 네트워크 전체의 에너지 소비량을 균일하게 한다.

$$CH_{able} = \frac{E_{res}}{\beta \times D_{2BS}} \quad (4)$$

여기서 CH_{able} 는 클러스터 멤버의 헤드 역할의 가능성을 나타낸다. E_{res} 는 멤버 센서의 잔존 에너지 양이며, D_{2BS} 는 멤버 센서에서 기지국까지의 거리를 나타낸다. CH_{able} 가 큰 멤버 센서가 2차 클러스터의 헤드

역할을 한다. 즉 잔존 에너지 양이 많고 기지국으로부터 가까운 센서가 선택된다. β 는 E_{res} 와 D_{2BS} 의 스케일을 보정하기 위해 사용되었으며, 10의 값일 때 최적의 결과를 보였다.

본 연구의 시뮬레이션은 무선 센서 네트워크에서 에너지를 다 소비한 센서들의 분포를 균일하게 하고 모든 에너지를 소비한 첫 센서의 발생 시기를 연장함으로써, 네트워크의 수명을 늘리고, 네트워크 안정시기를 늘림을 보인다. 또한 FND의 발생 이후에는 빠른 속도로 센서들이 에너지를 소진하는 모습을 볼 수 있다.

3.3.1 클러스터 헤드 선택 방식

제안하는 알고리즘의 클러스터 헤드 선택방식은 LEACH의 확률적 클러스터 헤드선택 방식을 적용하여 $(1/p)$ Round 동안 모든 센서들이 한 번씩 클러스터를 형성한다. 형성된 클러스터에서 1차 클러스터 헤드는 모든 멤버로부터, 잔존 에너지와 기지국과의 거리에 대한 정보를 받아들인다. 그리고 모든 멤버 중 식 (4)의 값이 최고인 멤버가 2차 클러스터 헤드임을 모든 멤버에게 알린다. 이후 모든 멤버들은 새로 선택된 센서를 2차 클러스터 헤드로 받아들이고 새로운 2차 클러스터 헤드는 센싱된 데이터의 전송을 위한 스케줄(Schedule)을 모든 멤버에 알림으로써 클러스터 형성 과정을 마치게 된다.

LEACH와 다른 점은 LEACH에서는 지난 $(1/p)$ Round에서 클러스터 헤드가 아니었던 센서만이 현 Round에서 클러스터 헤드로 선택될 수 있지만 본 논문에서 제안하는 방식은 모든 센서들이 현 Round에서 클러스터 헤드로 선택될 수 있으며 $(1/p)$ Round 동안 클러스터 헤드의 역할을 여러 번 할 수 있다.

3.3.2 제안하는 방식의 동작 과정

LEACH와 동일한 방식으로 각 Round에서 클러스터 헤드로 선택된 센서는 자신이 클러스터 헤드라는 광고를 모든 센서에게 한다. 이 때 클러스터 헤드를 1차 클러스터 헤드라 한다. 광고 메시지를 수신한 비클러스터 헤드들은 전파 수신강도 등 값을 비교하여 자신의 클러스터 헤드를 선택하고 해당 클러스터 헤

무선센서 네트워크에서 센서와 기지국과의 거리를 고려한 클러스터 헤드 선택기법

드에 멤버가입 메시지를 보낸다. 이 때 멤버 센서들은 자신의 잔여 에너지와 기지국과의 거리를 같이 보낸다. 이를 수신한 1차 클러스터 헤드는 모든 멤버의 잔존 에너지와 기지국까지의 거리를 사용하여 식 (4)이 가장 큰 멤버를 2차 클러스터 헤드로 선정한다. 1차 클러스터 헤드는 2차 클러스터 헤드를 모든 멤버에게 광고한다. 이 때 멤버 센서들은 새로운 2차 클러스터 헤드에게 멤버로 가입한다. 2차 클러스터 헤드는 센싱한 데이터의 전달을 위한 타임 스케줄을 설정하고 멤버 센서들은 센싱된 데이터를 스케줄에 따라 전송한다. 그림 6은 이를 도식적으로 보여준다.



그림 6. 제안된 클러스터 형성 과정
Fig. 6. Proposed Cluster Formation

4. 시뮬레이션 구성, 방법 및 결과의 비교 분석

본 논문에서 제안한 기법의 성능을 분석하기 위해 MATLAB을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

4.1 시뮬레이션 모델

시뮬레이션을 위해 $(x=0, y=0)$ 와 $(x=100, y=100)$ 사이, 즉 $100m * 100m$ 의 면적에 100개의 센서를 랜덤하게 분포시켰다. 기지국의 위치는 $(x=50, y=175)$, 데이터 패킷의 크기는 6,400bits, 클러스터 헤드 선택확률을 0.1로 시뮬레이션하였다.

시뮬레이션에서 데이터 송수신에 따른 클러스터 헤드의 에너지 소비량 및 클러스터 멤버의 에너지 소비량을 계산하기 위해 사용되는 파라미터의 정의 및 값은 표 1에 나타내었다. 여기서 EDA는 센서가 데이터를 처리하는데 소비하는 에너지이다.

표 1. 에너지 소비 모델 파라미터
Table 1. Parameter for Energy Dissipation

파라미터	값
E_{elec}	50nJ/bit
E_{DA}	5nJ/bit
ϵ_{fs}	10pJ/bit/m ²
ϵ_{mp}	0.0013pJ/bit/m ⁴
d_0	87.7m
p	0.1
E_{max} (초기 에너지)	0.5J
k (메시지 길이)	6400bit

4.2 시뮬레이션 결과

제안된 알고리즘과 LEACH의 결과를 비교하였다. 그림 7은 $100*100m$ 환경에서 100개의 센서가 랜덤하게 배치되고 클러스터가 구성된 무선센서 네트워크이다. 기지국, 클러스터 헤드, 클러스터 멤버로 구성된다. 모든 멤버는 헤드로의 점선 화살표가 있고, 모든 헤드는 둥근 원과 함께 센서의 번호가 적혀 있다.

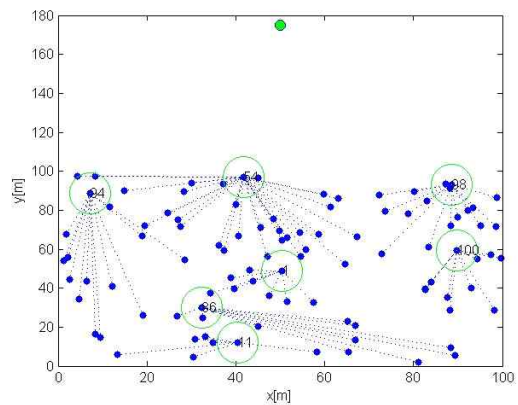


그림 7. 클러스터로 구성된 무선센서 네트워크
Fig. 7. WSN with Cluster

4.2.1 FND(First Node Dies) 발생시기

그림 8은 LEACH 알고리즘에 따른 시뮬레이션에서 522 Round에서 FND가 발생함을 보여준다. 그림 9는 제안된 알고리즘에 따른 시뮬레이션에서 FND의 발생시기가 875 Round임을 보여준다. FND 발생 시기를

네트워크 안정 기간으로 볼 때, 제안된 알고리즘은 네트워크의 안정 기간을 68% 연장시킴을 보여준다. 더욱이 FND 발생 이후, 제안된 알고리즘을 사용하는 경우 급격하게 에너지가 고갈된 센서의 수가 급격하게 증가함을 보여 주고 있다. 이는 네트워크 전체 에너지가 고르게 사용되었음을 보여 준다.

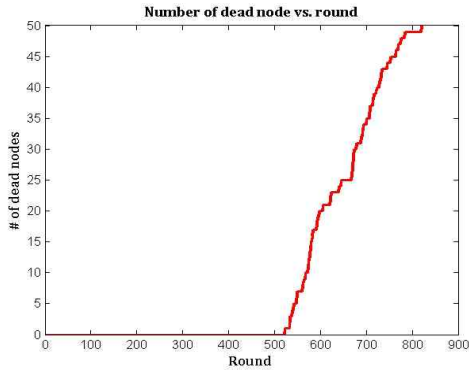


그림 8. FND(LEACH-522R)
Fig. 8. FND(LEACH-522R)

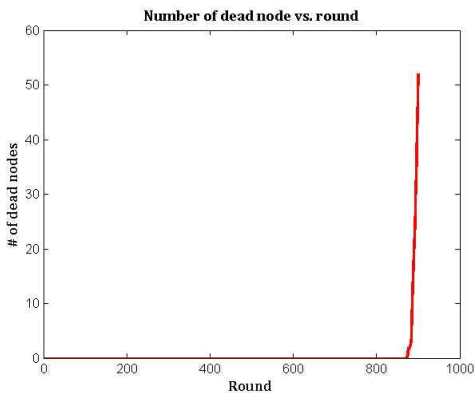


그림 9. FND(제안된 알고리즘-875R)
Fig. 9. FND(Proposed Algorithm -875R)

4.2.2 HNA(Half of the Nodes Alive)시 에너지를 소진한 센서의 분포

그림 10과 그림 11은 각각 LEACH 알고리즘과 제안된 알고리즘을 사용하여 HNA가 발생하였을 때, 에너지를 소진한 센서들의 분포를 보여준다. 센서들은 클러스터 헤드를 중심으로 점선으로 연결되어 클러스터를 형성하고 에너지가 고갈된 센서들은 점선으로 연결되어 있지 않다. 본 논문에서 제안한 알고리즘을 사

용하는 경우 에너지가 고갈된 센서들이 네트워크 전체에 고르게 분포함을 확인할 수 있다.

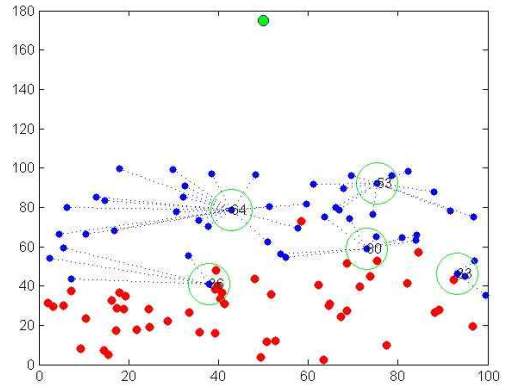


그림 10. LEACH 알고리즘 (HNA-821R)
Fig. 10. LEACH Algorithm (HNA-821R)

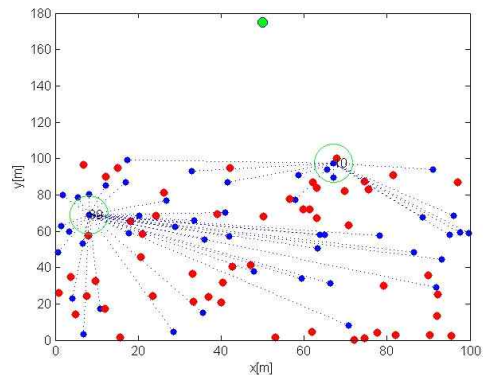


그림 11. 제안된 알고리즘 (HNA-901R)
Fig. 11. Proposed Algorithm (HNA-901R)

4.2.3 클러스터 헤드 선택 횟수

네트워크에 100개의 센서가 있고, 임의의 센서가 클러스터 헤드가 될 확률을 0.1로 설정한 경우, 한 Round에 클러스터 헤드가 10개가 선택 되어야 하고 하나의 Epoch 동안 모든 센서는 한 번의 헤드 역할을 한다. 그러므로 900 Round를 시뮬레이션 했을 때, 임의의 센서의 누적 클러스터 헤드 선택 횟수는 90이 되어야 한다. 그림 12는 본 논문에서 제안한 알고리즘을 사용하여 900 Round가 되었을 때 센서별 클러스터 헤드 선택 수를 나타낸다. 제안한 알고리즘에서 임의의 센서는 하나의 Epoch 동안 헤드의 역할을 할 수도 하지 않을

수도 있으므로 각 센서별 클러스터 헤드 선택 횟수는 90을 중심으로 편차를 보인다. 그림 12에서 원 위에 숫자가 있는 6개의 센서는 에너지를 모두 소진한 경우로, 숫자는 클러스터의 역할을 한 횟수이다.

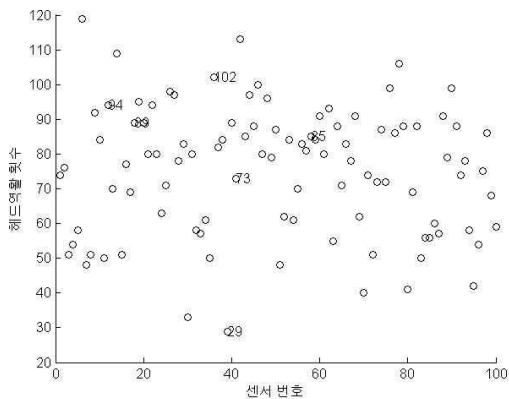


그림 12. 임의 센서의 클러스터 헤드 역할 수
Fig. 12. The Number of Role of Cluster Head

5. 결 론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 클러스터 기반의 LEACH 알고리즘을 분석하고 센서의 에너지 분포를 균등하게 하여 FND의 발생을 연장할 수 있는 새로운 클러스터링 기법을 제안한다. 제안한 클러스터링 기법은 임의 센서의 잔존 에너지와 기지국까지의 거리를 고려하여 클러스터 헤드를 선택하여 네트워크의 에너지 소비율을 LEACH 알고리즘에 비해 균등하게 소모하도록 하였다. 본 논문의 결과에서 알 수 있듯이 제안하는 클러스터 헤드 선택 알고리즘은 LEACH 알고리즘에 비해 68% 정도의 FND 발생 시기를 연장시킬 수 있었으며, 에너지 소모를 네트워크 전체에 고르게 분포하도록 하였다. 향후 연구에서는 클러스터 헤드와 멤버간의 거리, 클러스터 멤버의 수 그리고 클러스터 내에서 헤드의 위치 등을 고려한 클러스터링 기법에 관한 연구를 진행할 것이다.

본 논문은 2013학년도 김포대학교 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

- [1] Vinay Kumar, Sanjeev Jain and Sudarshan Tiwari, "Energy Efficient Clustering Algorithms in Wireless Sensor Networks: A Survey," IJCSI, Vol.8, Issue 5, No.2, Sept. 2011.
- [2] Otgondimeg Buyanjargal and Youngmi Kwon, "adaptive and energy efficient clustering algorithm for event-driven application in wireless sensor networks(AEEC)," Journal of Networks, Vol. 5, No.8, August 2010.
- [3] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H.Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in Proc. 33rd Hawaii Int. Conf. System Sciences(HICSS), Maui, HI, Jan. 2000.
- [4] A. MeenaKowshalya and A. Sukanya, "Clustering Algorithms for Heterogeneous Wireless Sensor Networks - A Brief Survey," IJASUC, Vol.2, NO.3, September 2011.
- [5] M.J. Handy, M. Hasse and D. Timmermann, "Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy with Deterministic Cluster-Head Selection", IEEE MWCN, Stockholm, Sweden, Sep. 2002.
- [6] G. Smaragdakis, I. Matta and A. Bestavros, "SEP: A stable election protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks," International Workshop on SANPA, no. 4, pp. 660-670, 2004.
- [7] Wendi B. Heinzelman, Anantha P. Chandrakasan and Hari Balakrishnan, "an application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 1, No.4, October 2002.
- [8] O. Younis and S. Fahmy, "HEED : a Hybrid, Energy-Efficient, Distributed clustering approach for Ad-hoc Sensor Networks", IEEE Trans. on Mobile Computing, vol. 3, no. 4, pp. 366-379, Oct. 2004.

◆ 저자소개 ◆



고성원 (高成元)

1960년 8월 6일생. 1983년 한양대학교 전자공학과 졸업. 1985년 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2008년 숭실대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 현재 김포대학교 인터넷정보과 교수.



조정환 (趙正煥)

1963년 12월 12일생. 1988년 한양대학교 전자공학과 졸업. 1990년 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2003년 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 현재 김포대학교 항공전기전자과 교수. 산업계측제어 기술사.