

# 무선 센서 네트워크에서 에너지 소모 모델의 임계값을 고려한 클러스터링 기법

김진수<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>동명대학교 항만물류학부

## A Clustering Method Considering the Threshold of Energy Consumption Model in Wireless Sensor Networks

Jin-Su Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Port & Logistics, TongMyong University

**요약** 무선 센서 네트워크는 한정된 자원의 센서 노드들로 구성되어 있고, 한번 구성된 후에는 유지 보수가 어렵다는 단점을 갖고 있다. 따라서 무선 센서 네트워크에서는 에너지 소비를 최소화하고, 한정된 자원을 효율적으로 사용하여 네트워크 수명을 최대화하는 것이 중요한 문제이다. 본 논문에서는 클러스터링 방식에서 클러스터 수를 효율적으로 지정하여 에너지 소모량을 최적화하는 기법을 제안한다. 이 기법은 무선 전송에 소비되는 에너지량은 거리(임계값)에 따라 많은 차이가 있으므로 이러한 임계값을 고려하여 클러스터 수를 지정함으로써 에너지 소비를 줄이는 방식이다. 실험을 통하여 제안된 클러스터링 기법은 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)에 비해 전체 에너지 소모량 측면에서 높은 성능을 나타냄을 확인하였다.

**Abstract** Wireless sensor network is composed of sensor node with limited sources, and to maintain and repair is vexatious once made up. Accordingly it is important matter to maximize the network lifetime by minimizing the energy consumption in wireless sensor network, and utilizing the limited sources efficiently. In this paper, I propose a technique arranging the cluster number with efficiency in clustering method to optimize the energy consumption. The energy usage needed for wireless transmission varies in distance(threshold). This technique reduces the energy consumption considering the threshold when arranging the cluster number. I verify that the clustering method organized through the valid processes outperform the LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) in total energy consumption.

**Key Words** : Wireless Sensor Network, Clustering Method, Network Lifetime, Cluster Number, Threshold, Total Energy Consumption

### 1. 서론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks)는 화산 활동 지역 등 접근이 어려운 지역, 군사, 의료, 교육, 상업, 홈 네트워크 등 여러 분야에 응용될 수 있다. 그러나 무선 센서 네트워크의 다양한 응용기능성에도 불구하고, 무선 센서 네트워크는 한정된 자원의 센서 노드들로 구성되어 있고, 한번 구성된 후에는 유지 보수가 어렵다는 단점을 갖고 있다. 따라서 무선 센서 네트워크에서는 에

너지 소비를 최소화하고, 한정된 자원을 효율적으로 사용하여 네트워크 수명을 최대화하는 것이 중요한 문제이다. 현재 각 계층별로 많은 연구가 진행되고 있으며, 네트워크 계층에 있어서는 자가 구성(self-organizing) 능력, 제한된 전력, 데이터 중심적인 특성 등을 고려하여 클러스터 기반 등의 다양한 라우팅 프로토콜들이 제안되고 있다[1,2].

무선 센서 네트워크상에서 센서는 센싱, 데이터 처리, 무선 전송 등의 작업에 에너지를 소비하게 된다. 이 중

\*교신저자 : 김진수(kjs8543@tu.ac.kr)

접수일 10년 09월 13일

수정일 10년 09월 29일

게재확정일 10년 10월 15일

센싱 및 데이터 처리에 소비되는 에너지양은 모든 센서에서 거의 일치하고, 무선 전송에 소비되는 에너지양에 비해 상대적으로 매우 적기 때문에 센서 노드의 수명을 연장하기 위해서는 에너지 효율적인 무선 송신에 초점을 맞춰야 한다[3].

무선 송신에 소비되는 에너지양을 줄이기 위한 대표적인 방법 중 하나가 클러스터링이다. 무선 센서 네트워크 상에서 클러스터링이란 센서들을 클러스터로 나누어 각 클러스터에서 클러스터 헤드로 지정된 센서만이 기지국(BS; Base Station)과 통신하도록 하는 방식을 의미한다. 이 때 클러스터 내에 속한 센서들은 기지국이 아닌 클러스터 헤드에게 센싱된 정보를 보내게 되고, 클러스터 헤드는 데이터 수집을 통해 클러스터 내의 정보를 통합하여 기지국에게 전송하게 된다. 무선 전송에 소비되는 에너지양은 데이터 송신 거리(임계값)에 따라 거리의 제곱 또는 4제곱에 비례하기 때문에 센서와 기지국 사이의 거리가 먼 일반적인 무선 센서 네트워크에서 모든 센서가 기지국과 직접 통신하는 방식 보다는 클러스터링을 통해 선출된 일부의 센서(클러스터 헤드)가 기지국과 통신하는 방식이 에너지 소비 측면에서 매우 효율적일 수 있다.

일반적으로 무선 센서 네트워크에 적용되는 클러스터링 알고리즘으로는 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[4]가 있다. 이러한 클러스터링은 센서 노드의 에너지 소비를 줄이는 데 많은 효과가 있다. 그러나 클러스터링을 하는 방법론에서도 많은 차이가 있다. 그 중에서 클러스터 헤드를 선출하는 방법, 클러스터 구획 방법, 클러스터링 할 때의 클러스터 개수를 결정하는 방법 등이 있다.

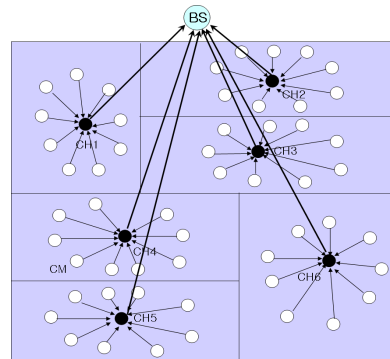
본 논문에서는 클러스터링 할 때의 클러스터 개수를 결정하는 방법에 초점을 맞춘다. 특히 무선 전송에 소비되는 에너지양은 송신 거리(임계값)에 따라 많은 차이가 있다. 특히 네트워크의 크기가 커져서 클러스터 멤버와 클러스터 헤드 또는 클러스터 헤드와 기지국과의 거리가 멀어질수록 결정되는 클러스터 개수에 따라 소비되는 에너지양은 많은 차이가 난다. 이렇게 임계값에 따라 최적의 클러스터 수를 결정하기 때문에 에너지 효율을 많이 높일 수가 있다.

## 2. 관련 연구

클러스터링 기법은 클러스터를 형성하여 데이터를 통합한 후 한 번에 전송해서 에너지를 효율적으로 사용하는 기법이다. 센서 필드를 클러스터라는 작은 영역으로 나누고, 각 클러스터에는 클러스터 헤드(CH : Cluster

Head)가 존재하여 클러스터 멤버(CM : Cluster Member 즉, Non-Cluster 헤드)로부터 데이터를 수집하고 이를 모아 그것을 다른 클러스터 또는 기지국으로 전달하는 역할을 한다. 무선 센서 네트워크에서는 인접한 노드간의 유사한 정보의 중복 전달이 많기 때문에 에너지 낭비를 줄이기 위한 데이터 집계(data aggregation)가 필요하다. 멀티 홉 기반의 모델에서는 모든 중계 노드가 데이터 집계를 수행하는 반면에, 클러스터 기반의 모델에서는 클러스터 헤드만이 데이터 집계를 수행한다. 따라서 클러스터 기반의 모델이 멀티 홉 기반의 네트워크보다 무선 센서 네트워크에 더 적합한 모델이 될 수 있다[5].

클러스터링에 대해서는 다양한 연구가 이루어지고 있다. 여명호외[6]에서는 클러스터 헤드의 에너지 소모를 분산할 수 있는 새로운 클러스터링 기법 즉, 클러스터를 수집과 전송을 위한 두 계층으로 분리하여 에너지 효율을 높인다. 김중기외[7]에서는 클러스터 방식에서 주기적으로 일어나는 클러스터 구성 부분을 효율화하여 에너지 소모량을 줄이는 방법을 제안하였다. 이 방식은 클러스터의 구성에 있어서 밀도를 고려한 노드가 배치될 영역을 균등 분할하여 클러스터 내의 센서 노드수를 거의 일정하게 하고, 클러스터의 중앙 근처에 헤드 노드의 선정함으로써 에너지 소모를 줄이는 방식이다. 김태형외[8]에서는 대표적인 클러스터 기반 라우팅 방식인 LEACH와 HEED[9]의 방법을 비교분석하고 헤드 노드의 최대 지연 발생 등과 같은 새로운 에너지 효율적인 클러스터 헤드 선출 방법을 제안한다.



[그림 1] LEACH 클러스터링 모델

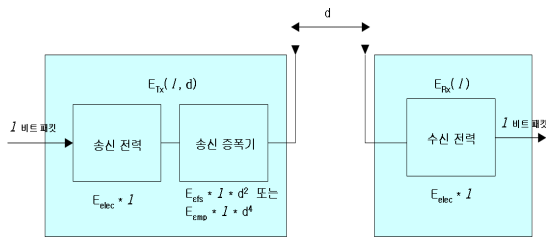
LEACH는 네트워크 수명을 연장하기 위하여 클러스터링을 사용하는 애플리케이션 특유의 데이터 전달 프로토콜이다. LEACH는 그림 1과 같이 클러스터링 기반 라우팅 기법으로서 이 기법의 특징은 네트워크에 있는 모든 센서 노드들에 에너지 소비를 공정하게 분산시키기

위해 에너지 집약적인 기능을 하는 클러스터 헤드를 무작위로 순환시키고, 전체적으로 통신 비용을 줄이기 위해 클러스터 헤드에서 클러스터 내의 데이터를 모아 지역적으로 집계하는 것이다. 또한 적응적인 클러스터, 라우팅 클러스터 헤드를 사용하고, 에너지 요구사항을 모든 센서에 분배함으로써 고전적인 클러스터링 알고리즘의 성능을 증가한다.

### 3. 클러스터링 모델

#### 3.1 클러스터링 모델에서의 에너지 소모량

클러스터링 모델에서의 에너지 소모량은 그림 2의 무선 에너지 소모 모델과 같이 송신기와 수신기 사이의 거리에 따라 자유 공간 모델(free space channel model;  $d^2$  power loss)과 다중 경로 모델(multipath fading channel model;  $d^4$  power loss)이 사용된다[10].



[그림 2] 무선 에너지 소모 모델

송신 에너지는 다음 수식과 같고, 그에 사용되는 파라미터는 [표 1]과 같다.

$$E_{Tx}(l, d) = E_{Tx-elec}(l) + E_{Tx-amp}(l, d) \quad (1)$$

$$= l E_{elec} + l \epsilon_{fs} d^2, \quad d < d_0$$

$$l E_{elec} + l \epsilon_{mp} d^4, \quad d \geq d_0$$

$E_{Tx}$ 는 송신에 필요한 전체 에너지,  $E_{Tx-elec}$ 는 송신 전력,  $E_{Tx-amp}$ 는 송신 증폭 에너지이고,  $d$ 는 송수신 거리,  $d_0$ 는 송신 증폭 임계값이다.

수신 에너지는 다음 수식과 같다.

$$E_{Rx}(l) = E_{Rx-elec}(l) = l E_{elec} \quad (2)$$

$E_{Rx}$ 는 수신에 필요한 전체 에너지,  $E_{Rx-elec}$ 는 수신 전력이다.

본 논문에서는 센서 네트워크 클러스터에서의 에너지 소모량을 유도하기 위하여 제한적인 측면이 있으나 측정치의 정확도를 위해 다음과 같이 가정하였다.

- 클러스터 내의 클러스터 멤버(CM; Cluster Member) 수 및 위치는 거의 균등하게 분포한다.
- 클러스터에는 하나의 클러스터 헤드(CH)와 여러 개의 CM가 존재하고, CM의 데이터를 CH에 병합(aggregation)하여 그 데이터를 기지국(BS; Base Station)으로 보낸다.
- 모든 네트워크의 동작이 발생하는 시간적인 비율은 일정하다.

[표 1] 에너지 소모량 계산에 필요한 파라미터

| 파라미터                           | 내용   |
|--------------------------------|--|
| k                              | 클러스터의 수  |
| N                              | 노드의 수  |
| M                              | 네트워크 크기(M * M)   |
| N/k                            | 클러스터 내의 클러스터의 멤버 수   |
| r                              | 하나의 클러스터에서의 반지름  |
| $d_{toCH}$                     | 클러스터 멤버에서 클러스터 헤드까지의 거리  |
| $d_{toBS}$                     | 클러스터 헤드에서 기지국까지의 거리  |
| $E \epsilon_{fs}$              | 자유 공간 모델을 적용했을 때의 무선 송신 전력. $10 \text{ pJ/bit/m}^2 \times l \times d^2$  |
| $E \epsilon_{mp}$              | 다중 경로 모델을 적용했을 때의 무선 송신 전력. $0.0013 \text{ pJ/bit/m}^4 \times l \times d^4$  |
| l                              | 데이터를 송수신할 때의 메시지 길이(bit)   |
| $\epsilon_{fs}$                | 자유 공간 모델 상수. $10 \text{ pJ/bit/m}^2$   |
| $\epsilon_{mp}$                | 다중 경로 모델 상수. $0.0013 \text{ pJ/bit/m}^4$   |
| BS                             | 기지국  |
| $E_{elec}$                     | 데이터 송수신 에너지. $50 \text{ nJ/bit}$   |
| $E_{DA}$                       | 데이터 병합 에너지. $5 \text{ nJ/bit/signal}$  |
| $E_{CM}$                       | 클러스터 멤버의 사용 에너지  |
| $E_{CH}$                       | 클러스터 헤드(CH)의 사용 에너지  |
| $E_{total1}$ ( $E_{total1}'$ ) | $d_{toBS}$ 가 임계값( $d_0$ )보다 작을 경우의 한 프레임에 대한 전체 에너지 소모량. $E_{total1}$ 은 $d_{toCH} < d_0$ 인 경우이고, $E_{total1}'$ 는 $d_{toCH} \geq d_0$ 인 경우임     |
| $E_{total2}$ ( $E_{total2}'$ ) | $d_{toBS}$ 가 임계값( $d_0$ )보다 크거나 같을 경우의 한 프레임에 대한 전체 에너지 소모량. $E_{total2}$ 는 $d_{toCH} < d_0$ 인 경우이고, $E_{total2}'$ 는 $d_{toCH} \geq d_0$ 인 경우임 |
| $k_{opt1}$ ( $k_{opt1}'$ )     | $d_{toBS}$ 가 임계값( $d_0$ )보다 작을 경우의 최적 클러스터 수. $k_{opt1}$ 은 $d_{toCH} < d_0$ 인 경우이고, $k_{opt1}'$ 는 $d_{toCH} \geq d_0$ 인 경우임                    |
| $k_{opt2}$ ( $k_{opt2}'$ )     | $d_{toBS}$ 가 임계값( $d_0$ )보다 크거나 같을 경우의 최적 클러스터 수. $k_{opt2}$ 는 $d_{toCH} < d_0$ 인 경우이고, $k_{opt2}'$ 는 $d_{toCH} \geq d_0$ 인 경우임                |

CM 및 CH에서의 에너지 소모량은 임계값에 따라서 두 가지 경우로 나누어 생각할 수 있다.

첫째, CM에서 CH까지 및 CH에서 BS까지의 에너지 소모 모델을 자유공간 모델( $d < d_0$ 인 경우)로 간주한 경우는 다음과 같은 수식을 적용한다.

$$E_{CM1} = l E_{elec} + l \epsilon_{fs} d_{toCH}^2 \quad (3)$$

$$E_{CH1} = l E_{elec} \left( \frac{N}{k} - 1 \right) + l E_{DA} \left( \frac{N}{k} \right) + l E_{elec} + l \epsilon_{fs} d_{toBS}^2 \quad (4)$$

둘째, CM에서 CH까지 및 CH에서 BS까지의 에너지 소모 모델을 다중 경로 모델( $d \geq d_0$ 인 경우)로 간주한 경우는 다음과 같은 수식을 적용한다.

$$E_{CM2} = l E_{elec} + l \epsilon_{mp} d_{toCH}^4 \quad (5)$$

$$E_{CH2} = l E_{elec} \left( \frac{N}{k} - 1 \right) + l E_{DA} \left( \frac{N}{k} \right) + l E_{elec} + l \epsilon_{mp} d_{toBS}^4 \quad (6)$$

### 3.2 최적 클러스터링을 위한 수식 모델

각 클러스터가 차지하고 있는 면적은 대략적으로  $M^2/k$ 이다. 일반적으로, 일반적인 형태의 영역에서의 노드 분포는  $\rho(x, y)$ 이다.

클러스터의 멤버에서 클러스터 헤드까지의 예상 거리(Expected Distance)의 곱은 다음 수식과 같다[4]. 단, “클러스터의 질량은 중앙에 있다”라고 가정을 한다.

$$\begin{aligned} \text{Exp}[d_{toCH}^2] &= \iint (x^2 + y^2) \rho(x, y) dx dy \quad (7) \\ &= \iint r^2 \rho(r, \theta) r dr d\theta \end{aligned}$$

하나의 클러스터는 반지름이  $r = \frac{M}{\sqrt{\pi k}}$ 인 원이고,  $\rho(r, \theta)$ 는  $r$ 과  $\theta$ 에 대하여 상수이다.

수식 (7)을 정리하면

$$\text{Exp}[d_{toCH}^2] = \rho \int_{\theta=0}^{2\pi} \int_{r=0}^{\frac{M}{\sqrt{\pi k}}} r^3 dr d\theta = \frac{\rho}{2\pi} \frac{M^4}{k^2} \quad (8)$$

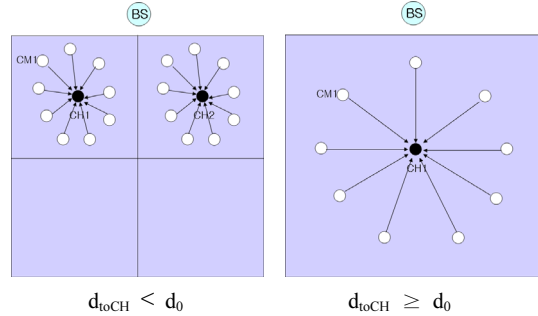
클러스터 멤버의 밀도가 클러스터 면적 전체에서 균등하다고 가정하면

$$\begin{aligned} \rho &= (1/(M^2/k)) \\ \text{Exp}[d_{toCH}^2] &= \frac{1}{2\pi} \frac{M^2}{k} \quad (9) \end{aligned}$$

따라서 하나의 클러스터 멤버의 에너지 소비량은 다음과 같다.

$$E_{CM1} = l E_{elec} + l \epsilon_{fs} \frac{1}{2\pi} \frac{M^2}{k} \quad (d_{toCH} < d_0) \quad (10)$$

$$E_{CM2} = l E_{elec} + l \epsilon_{mp} \frac{1}{4\pi^2} \frac{M^4}{k^2} \quad (d_{toCH} \geq d_0) \quad (11)$$



[그림 3]  $d_{toCH}$ 가 임계값( $d_0$ )보다 작을 때 또는 클 때의 네트워크 토폴로지 예

위의 수식 (10), (11)을 구분하는 기준인 클러스터 멤버에서 클러스터 헤드까지의 거리인  $d_{toCH}$  값은 수식 (9)에서 센서 네트워크의 크기( $M$ )와 클러스터의 개수( $k$ )가 결정되면 구할 수 있다. 또한 임계값( $d_0$ )은 두 에너지 소모 모델을 이용하여 그 값을 구할 수 있다.

클러스터 헤드에서 기지국까지의 에너지 소모 모델을 자유 공간 모델로 간주한 경우의 한 프레임 동안 클러스터 전체에 소모되는 에너지량은 다음과 같은 수식을 적용한다. 즉, CH에서 BS까지의 거리( $d_{toBS}$ )가 임계값( $d_0$ )보다 작을 경우이다.

$$\begin{aligned} E_{cluster1} &= \left( \frac{N}{k} - 1 \right) E_{CM1} + E_{CH1} \quad (d_{toCH} < d_0) \quad (12) \\ &\approx \left( \frac{N}{k} \right) E_{CM1} + E_{CH1} \\ E_{cluster1}' &= \left( \frac{N}{k} - 1 \right) E_{CM2} + E_{CH1} \quad (d_{toCH} \geq d_0) \quad (13) \\ &\approx \left( \frac{N}{k} \right) E_{CM2} + E_{CH1} \end{aligned}$$

그리고 한 프레임에 대한 전체 에너지 소모량은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E_{total1} &= k E_{cluster1} \quad (d_{toCH} < d_0) \quad (14) \\ &= k \left( \frac{N}{k} E_{CM1} + E_{CH1} \right) \\ &= l \{ E_{elec}(2N) + E_{DA}(N) + \epsilon_{fs} \left( \frac{1}{2\pi} \frac{NM^2}{k} + k \epsilon_{fs} d_{toBS}^2 \right) \} \\ E_{total1}' &= k E_{cluster1}' \quad (d_{toCH} \geq d_0) \quad (15) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= m \left( \frac{N}{k} E_{CM2} + E_{CH1} \right) \\
 &= I \{ E_{elec}(2N) + E_{DA}(N) + \epsilon_{mp} \left( \frac{1}{4\pi^2} \frac{NM^4}{k^2} \right) \right. \\
 &\quad \left. + k \epsilon_{fs} d_{toBS}^2 \right\}
 \end{aligned}$$

클러스터 헤드에서 기지국까지의 에너지 소모 모델을 다중경로 모델로 간주한 경우의 한 프레임 동안 클러스터 전체에 소모되는 에너지량은 다음과 같은 수식을 적용한다. 즉, CH에서 BS까지의 거리( $d_{toBS}$ )가 임계값( $d_0$ )보다 크거나 같을 경우이다.

$$E_{cluster2} = \left( \frac{N}{k} - 1 \right) E_{CM1} + E_{CH2} \quad (d_{toCH} < d_0) \quad (16)$$

$$\approx \left( \frac{N}{k} \right) E_{CM1} + E_{CH2}$$

$$E_{cluster2'} = \left( \frac{N}{k} - 1 \right) E_{CM2} + E_{CH2} \quad (d_{toCH} \geq d_0) \quad (17)$$

$$\approx \left( \frac{N}{k} \right) E_{CM2} + E_{CH2}$$

그리고 한 프레임에 대한 전체 에너지 소모량은 다음 수식과 같다.

$$E_{total2} = k E_{cluster2} \quad (d_{toCH} < d_0) \quad (18)$$

$$= k \left( \frac{N}{k} E_{CM1} + E_{CH2} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= I \{ E_{elec}(2N) + E_{DA}(N) + \epsilon_{fs} \left( \frac{1}{2\pi} \frac{NM^2}{k} \right) + \\
 &\quad k \epsilon_{mp} d_{toBS}^4 \}
 \end{aligned}$$

$$E_{total2'} = k E_{cluster2'} \quad (d_{toCH} \geq d_0) \quad (19)$$

$$= k \left( \frac{N}{k} E_{CM2} + E_{CH2} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= I \{ E_{elec}(2N) + E_{DA}(N) + \epsilon_{mp} \left( \frac{1}{4\pi^2} \frac{NM^4}{k^2} \right) + \\
 &\quad k \epsilon_{mp} d_{toBS}^4 \}
 \end{aligned}$$

수식 (14)와 (15)를 이용하여  $E_{total1}$ 과  $E_{total1}'$ 을  $k$ 로 미분해서 그 값을 0으로 두어 최적 클러스터 수인  $k_{opt1}$ 과  $k_{opt1}'$ 를 계산한다. 즉, CH에서 BS까지의 거리( $d_{toBS}$ )가 임계값( $d_0$ )보다 작을 경우의 최적 클러스터 수를 구한다.

$$k_{opt1} = \frac{\sqrt{NM^2}}{\sqrt{2\pi} d_{toBS}^2} \quad (d_{toCH} < d_0) \quad (20)$$

$$k_{opt1}' = \sqrt[3]{\frac{\epsilon_{mp} NM^4}{2\pi^2 \epsilon_{fs} d_{toBS}^2}} \quad (d_{toCH} \geq d_0) \quad (21)$$

수식 (18)과 (19)를 이용하여  $E_{total2}$ 와  $E_{total2}'$ 을  $k$ 로 미분해서 그 값을 0으로 두어 최적 클러스터 수인  $k_{opt2}$ 와  $k_{opt2}'$ 를 계산한다. 즉, CH에서 BS까지의 거리( $d_{toBS}$ )가 임계값( $d_0$ )보다 크거나 같을 경우의 최적 클러스터 수를 구한다.

$$k_{opt2} = \frac{\sqrt{\epsilon_{fs} NM^2}}{\sqrt{2\pi} \epsilon_{mp} d_{toBS}^4} \quad (d_{toCH} < d_0) \quad (22)$$

$$k_{opt2}' = \sqrt[3]{\frac{NM^4}{2\pi^2 d_{toBS}^4}} \quad (d_{toCH} \geq d_0) \quad (23)$$

### 3.3 수식 모델에 의한 에너지 소모량 분석

실험 환경 파라미터는 표 1과 같고 메시지 길이( $l$ )는 4,000 비트이다. 센서 네트워크 변화에 따른 최적 클러스터 개수와 한 프레임 당 사용되는 에너지 소모량은 표 2와 같다.

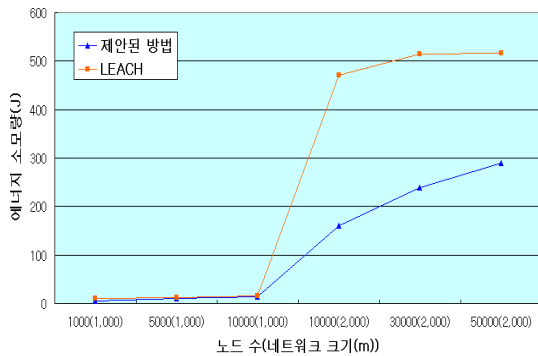
[표 2] 센서 네트워크 변화에 따른 최적 클러스터 개수와 한 프레임 당 사용되는 에너지 소모량

| 네트워크 크기 (m²m) | 노드수     | $d_{toBS}$ (m) | 제안된 방법의 클러스터 수 | 제안된 방법의 에너지 소모량(J) | LEACH에서 제시한 클러스터 수 | LEACH 에너지 소모량 (J) |
|---------------|---------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| 50            | 50      | 40             | 4              | 0.0215             | 8                  | 0.0216            |
|               | 100     |                | 5              | 0.0426             | 11                 | 0.0428            |
|               | 150     |                | 6              | 0.0638             | 13                 | 0.0640            |
| 100           | 100     | 90             | 4              | 0.045              | 4                  | 0.045             |
|               | 200     |                | 6              | 0.088              | 6                  | 0.088             |
|               | 500     |                | 10             | 0.217              | 10                 | 0.217             |
| 500           | 500     | 250            | 6              | 0.46               | 6                  | 0.46              |
|               | 1,000   |                | 9              | 0.78               | 9                  | 0.78              |
|               | 2,000   |                | 13             | 1.35               | 13                 | 1.35              |
| 1,000         | 1,000   | 500            | 9              | 4.97               | 4                  | 9.96              |
|               | 5,000   |                | 16             | 9.88               | 10                 | 11.94             |
|               | 10,000  |                | 20             | 14.00              | 14                 | 15.48             |
| 2,000         | 10,000  | 1,000          | 20             | 160.94             | 7                  | 471.13            |
|               | 30,000  |                | 29             | 238.65             | 12                 | 514.50            |
|               | 50,000  |                | 34             | 289.05             | 16                 | 516.23            |
| 3,000         | 50,000  | 1,500          | 34             | 1377.99            | 10                 | 5624.22           |
|               | 100,000 |                | 43             | 1751.58            | 15                 | 5183.52           |
|               | 200,000 |                | 55             | 2237.99            | 21                 | 5480.34           |

제안된 방법은 네트워크 크기가 커질수록 클러스터의 수가 서서히 증가하면서 에너지 소모량도 서서히 증가한다. 그러나 LEACH는 네트워크 크기가 커질수록 클러스터의 수가 일정하지 않고 에너지 소모량도 급격히 증가하는 양상을 띤다. 이는 LEACH가 에너지 소모모델을

적용할 때 임계값을 제대로 고려하지 않았기 때문으로 보인다. 즉, 에너지 소모량을 계산할 때 데이터 송신 증폭 거리(임계값)를 기준으로 자유 공간모델 또는 다중경로 모델을 적용하지 않고, CM에서 CH로 데이터를 송신할 때는 자유 공간 모델, CH에서 BS로 데이터를 송신할 때는 다중 경로 모델을 일괄적으로 적용했다. 그래서 네트워크 크기가  $100m \times 100m$  또는  $500m \times 500m$  등의 중규모 네트워크에서는 이러한 적용 방법이 문제가 없지만 네트워크 크기가  $100m \times 100m$  보다 작은 소규모 또는 네트워크 크기가  $1,000m \times 1,000m$  보다 큰 대규모 네트워크에서는 문제점이 발생할 수 있다.

특히 LEACH의 경우 센서 네트워크의 크기가  $3,000m \times 3,000m$ 일 때 노드 수가 50,000개에서 100,000개 또는 200,000개로 많아졌는데도 불구하고 에너지 소모량은 감소하는 경향을 보이는 것은 LEACH에서 제시하는 클러스터 수가 문제가 있다고 볼 수 있다. 센서 네트워크 크기와 노드 수에 따른 한 프레임 당 사용되는 에너지 소모량을 비교하면 그림 4와 같다.



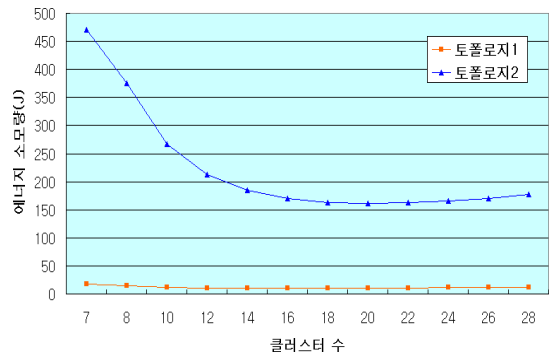
[그림 4] 센서 네트워크의 노드 수(네트워크 크기)에 따른 한 프레임 당 사용되는 에너지 소모량 비교

노드 수 및 네트워크 크기가 작을 때는 제안된 방법과 LEACH가 유사하다. 그러나 그 규모가 커질 때는 차이가 많이 난다. 이 역시 LEACH가 에너지 소모 모델을 적용할 때 임계값을 제대로 고려하지 않았기 때문으로 보인다.

네트워크 토폴로지별 클러스터 수에 따른 프레임 당 에너지 소모량 비교한 도표 및 그림은 표 3 및 그림 5와 같다. 표 3에서 이탤릭체로 된 부분이 LEACH에서 제안된 클러스터 수에 대한 에너지 소모량이고, 고딕체로 된 부분이 본 논문에서 제안된 클러스터 수에 대한 에너지 소모량이다.

[표 3] 네트워크 토폴로지별 클러스터 수에 따른 프레임 당 에너지 소모량 비교 도표

| 클러스터 수 | 토폴로지1 에너지 소모량(J) | 토폴로지2 에너지 소모량(J) |
|--------|------------------|------------------|
| 7      | 17.83            | 471.13           |
| 8      | 15.00            | 375.43           |
| 10     | 11.94            | 267.16           |
| 12     | 10.58            | 213.10           |
| 14     | 10.01            | 184.63           |
| 16     | <b>9.88</b>      | 169.81           |
| 18     | 9.98             | 162.91           |
| 20     | 10.25            | <b>160.94</b>    |
| 22     | 10.70            | 162.19           |
| 24     | 11.23            | 165.63           |
| 26     | 11.77            | 170.61           |
| 28     | 12.34            | 176.71           |



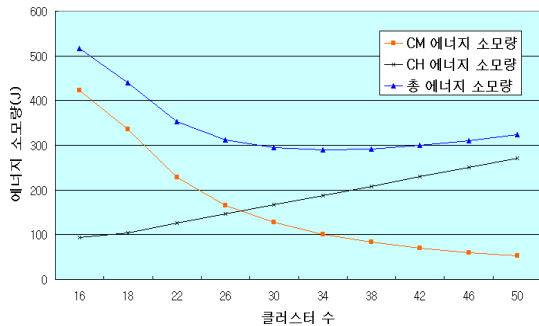
[그림 5] 네트워크 토폴로지별 클러스터 수에 따른 프레임 당 에너지 소모량 비교

토폴로지1 즉, 센서 네트워크의 크기(M)가  $1,000m \times 1,000m$ , 센서 네트워크 노드 수(N)가 5,000( $d_{obs} : 500m$ )인 경우, 제안된 방법은 최적 클러스터 수가 16, 에너지 소모량은 9.88이고, LEACH는 최적 클러스터 수가 10, 에너지 소모량은 11.94이다. 노드 수 및 네트워크 크기가 작을 때는 제안된 방법과 LEACH의 에너지 소모량이 크게 차이가 나지 않는다.

토폴로지2 즉, 센서 네트워크의 크기(M)가  $2,000m \times 2,000m$ , 센서 네트워크 노드 수(N)가 10,000( $d_{obs} : 1,000m$ )인 경우, 제안된 방법은 최적 클러스터 수가 20, 에너지 소모량은 160.94이고, LEACH는 최적 클러스터 수가 7, 에너지 소모량은 471.13이다. 이와 같이 노드 수 및 네트워크 크기가 클 때는 제안된 방법과 LEACH의 에너지 소모량이 크게 차이가 난다. 이는

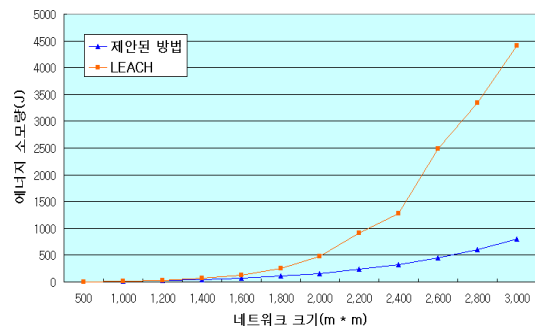
근본적으로 LEACH가 에너지 수식 모델을 중소 규모 또는 대규모 센서 네트워크에 대해 일반적인 수식 모델을 설정하지 않고 중소 규모의 센서 네트워크에 국한한 것으로 보인다.

센서 네트워크의 크기(M)가 2,000m×2,000m, 노드 수(N)가 50,000( $d_{obs} : 1,000m$ )인 경우, 클러스터 수에 따른 프레임 당 에너지 (CM 에너지 / CH 에너지) 소모량을 분석한 경우의 그림은 다음과 같다.



[그림 6] 센서 네트워크의 크기(M)가 2,000m x 2,000m, 노드 수(N)가 50,000( $d_{obs} : 1,000m$ )인 경우 클러스터 수에 따른 프레임 당 에너지 (CM 에너지 / CH 에너지) 소모량

클러스터 수가 많아질수록 CM의 에너지 소모량은 줄어들고, CH의 에너지 소모량은 늘어난다. 제안된 방법에서는 클러스터 수가 34개일 경우 최적의 클러스터링으로 잡고 있다. 이는 전체 에너지 소모량 측면만으로 지정한 것이기 때문에 전체 네트워크 수명 측면에서는 조금 차이가 있을 수 있다. 즉, CH의 에너지 소모가 많아진다는 것은 어느 특정 노드에 많은 에너지를 소모하도록 편중되기 때문에 실제로 적용할 때에는 CM의 에너지 소모량과 CH의 에너지 소모량이 동일한 클러스터 수가 27개인 경우도 좋은 방안이 될 수 있다.



[그림 7] 노드 수(N)가 10,000인 경우, 센서 네트워크의 크기(M)에 따른 프레임 당 에너지 소모량 비교

노드 수(N)가 10,000인 경우, 센서 네트워크의 크기(M)에 따른 프레임 당 에너지 소모량 비교해보면 그림 7과 같다. 이 경우 센서 네트워크의 크기가 1,600m×1,600m일 때까지는 제안된 방법과 LEACH가 큰 차이를 보이지 않고 있고, 그 이후로 급격한 변화를 보이는 것은 그 지점이 임계값이 구분되는 지점으로 보인다.

#### 4. 결론

클러스터링 기반의 센서 네트워크에서는 클러스터 멤버에서 클러스터 헤드로 센싱 데이터를 전송하고, 그 데이터를 병합하여 기지국으로 전송하기 때문에 클러스터 헤드는 에너지 소모가 과중하게 된다. 본 논문에서는 이렇게 클러스터 헤드에 집중된 에너지 과부하를 분산시키고 네트워크 전체에 사용되는 에너지 소모량을 최소화하기 위해 클러스터 수를 최적화하는 클러스터링 기법을 제안하고 실험을 통해 성능을 확인하였다.

성능 평가를 위해 센서 네트워크 크기별 에너지 소모량, 노드 수별 에너지 소모량, 클러스터 수별 에너지 소모량 등을 측정 및 비교하였다. 표 1과 같은 제한된 환경의 실험 결과에서 제안된 클러스터링 방법은 LEACH[4]에 비해 전체 에너지 소모량 측면에서 높은 성능을 나타냄을 확인하였다.

본 논문에서 제안한 클러스터링 기법은 에너지 소모 모델을 기반으로 임계값을 고려해서 클러스터링을 위한 수식 모델을 제안한다. LEACH의 클러스터링은 임계값을 고려하지 않았기 때문에 제한된 환경에 국한하였다. 즉, 에너지 소모량을 계산할 때 데이터 송신 거리(임계값)를 기준으로 자유공간 모델 또는 다중경로 모델을 적용하지 않고, 클러스터 멤버에서 클러스터 헤드로 데이터를 송신할 때는 자유공간 모델, 클러스터 헤드에서 기지국으로 데이터를 송신할 때는 다중 경로 모델을 일괄적으로 적용했다. 그래서 중규모 네트워크에서는 이러한 적용 방법이 문제가 없지만 소규모 또는 대규모 네트워크에서는 문제점이 발생할 수 있다. 그러나 제안된 클러스터링 기법은 네트워크의 크기, 노드의 수, 기지국과의 거리, 무선 통신 임계값 등 좀 더 일반적인 네트워크 환경에 맞도록 수식 모델을 설계하여 데이터 송신에 대한 에너지 효율을 증대시켰다.

제안된 클러스터링 기법은 동적 네트워크 등의 다양한 특성을 고려하지 않고 정적인 네트워크의 전체 에너지 소모량만을 고려하여 최적의 클러스터 수를 지정하였다. 다음에는 네트워크의 다양한 특성을 고려해서 전체 에너

지 소모량을 최소화시키고 또한 네트워크 수명을 최적화시키는 연구를 진행할 것이다.

### 참고문헌

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankkarasubraminiam, and E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A Survey," In IEEE Communications Magazine, Vol. 40, No. 8, pp102-114, Aug, 2002.
- [2] Jamil Ibriq and Imad Mahgoub, "Cluster-based Routing in Wireless Sensor Networks: Issues and Challenges," Proceedings of the 2004 Symposium on Performance Evaluation of Computer Telecommunication Systems, pp.759- 766, July, 2004.
- [3] 정우현, 장형수, "센서의 상대적 위치정보를 이용한 무선 센서 네트워크에서의 클러스터링 알고리즘", 정보과학회논문지, 제36권 제3호, pp. 212-221, 2009.
- [4] W. B. Heinzelman, "Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 1, NO. 4, pp. 660-670, Oct, 2002.
- [5] 김진수, 박찬흠, 김종근, 강병욱, "센서 네트워크에서 계층적 필터링을 이용한 에너지 효율적인 데이터 집계연산", 한국컴퓨터정보학회논문지, 제12권 제1호, 2007.
- [6] 여명호, 김유미, 유재수, "무선 센서 네트워크를 위한 에너지 효율적인 이중 레이어 분산 클러스터링 기법", 정보과학회논문지 데이터베이스, 제35권 제1호, pp. 84-95, 2008.
- [7] 김종기, 김용원, "무선 센서 네트워크에서 클러스터의 분할을 이용한 에너지 효율적 클러스터링", 인터넷정보학회논문지, 제9권 제4호, pp. 43-50, 2008.
- [8] 김태형, 강근택, 이원창, "무선 센서 네트워크의 효율적인 에너지 사용을 위한 클러스터링 알고리즘", 한국지능시스템학회논문지, 제20권 제1호, pp. 36-41, 2010.
- [9] Ossama Younis, Sonia Fahmy, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach," in Proceedings of IEEE INFOCOM, 2004.
- [10] T. Rappaport, "Wireless Communications: Principles & Practice," Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.

김진수(Jin-Su Kim)

[정회원]



- 1982년 2월 : 영남대학교 전기공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 송실대학교 정보산업학과 (이학석사)
- 2007년 6월 : 영남대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
- 1992년 8월 : 정보처리 기술사
- 2006년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 향만물류학부 교수

<관심분야>

데이터베이스, 센서 네트워크, 소프트웨어 공학