

계층적 불균형 클러스터링 기법을 이용한 에너지 소비 모델

김진수^{1*}, 신승수²

¹동명대학교 항만물류학부, ²동명대학교 정보보호학과

An Energy Consumption Model using Hierarchical Unequal Clustering Method

Jin-Su Kim^{1*} and Seung-Soo Shin²

¹Division of Port & Logistics, Tongmyong University

²Dept. of Information Security, College of Information & Communication, Tongmyong University

요 약 무선 센서 네트워크에서 클러스터링 기법은 클러스터를 형성하여 데이터를 병합한 후 한 번에 전송해서 에너지를 효율적으로 사용하는 기법이다. 본 논문에서는 클러스터 그룹 모델을 이용한 계층적 불균형 클러스터링 기법을 제안한다. 이 기법은 전체 네트워크를 두 개의 계층으로 나누어 클러스터 그룹으로 형성된 2계층의 데이터를 병합해서 1계층으로 보내고, 다시 1계층에서 데이터를 병합하여 기지국으로 보낸다. 이와 같이 제안된 기법은 다중 홉 통신 구조와 클러스터 그룹 모델을 같이 이용함으로써 전체 에너지 소모량을 줄인다. 이러한 방식은 다중 홉 통신이지만 불균형 클러스터를 구축하여 핫 스팟 문제를 어느 정도 해결하고 있다. 실험을 통하여 제안된 계층적 불균형 클러스터링 기법이 이전의 클러스터링 기법보다 네트워크 에너지 효율이 향상되었음을 보였다.

Abstract Clustering method in wireless sensor networks is the technique that forms the cluster to aggregate the data and transmit them at the same time that they can use the energy efficiently. In this paper, I propose the hierarchical unequal clustering method using cluster group model. This divides the entire network into two layers. The data aggregated from layer 2 consisted of cluster group is sent to layer 1, after re-aggregation the total data is sent to base station. This method decreases whole energy consumption by using cluster group model with multi-hop communication architecture. Hot spot problem can be solved by establishing unequal cluster. I also show that proposed hierarchical unequal clustering method is better than previous clustering method at the point of network energy efficiency.

Key Words : Wireless Sensor Networks, Cluster Group Model, Hierarchical Unequal Clustering Method, Multi-hop Communication, Hot Spot.

1. 서론

무선센서 네트워크는 사람의 접근이 어려운 지역이나 자연 환경, 정밀한 센싱이 요구되는 특정 환경에 개별 컴퓨팅 능력을 가진 다수의 센서 노드를 배치하여 각 애플리케이션 서버에서 요구하는 다양한 데이터를 무선으로 수집할 수 있도록 구성된 네트워크를 말한다. 무선 센서 네트워크는 한 번 배치된 후에는 배터리를 교체하기가 어려우므로 이를 구성하는데 고려해야 할 주요 사항 중

하나의 에너지 소비를 최소화하는 것이다. 이를 위해 관련 통신 프로토콜도 저 전력 소모를 달성 할 수 있도록 설계 구현되어야 한다[1,2].

무선 전송에 소비되는 에너지양을 줄이기 위한 대표적인 방법 중 하나가 클러스터링이다. 무선 센서 네트워크 상에서 클러스터링이란 센서들을 클러스터로 나누어 각 클러스터에서 클러스터 헤드(CH: Cluster Head)로 지정된 센서만이 기지국(BS: Base Station)과 통신하도록 하는 방식을 의미한다. 이때, 클러스터 내에 속한 센서들은

*교신저자 : 김진수(kjs8543@tu.ac.kr)

접수일 11년 04월 17일

수정일 11년 04월 29일

게재확정일 11년 06월 09일

기지국이 아닌 클러스터 헤드에게 센싱된 정보를 보내게 되고, 클러스터 헤드는 클러스터 멤버(CM: Cluster Member 즉, Non-Cluster Head) 로부터 데이터를 병합(data aggregation)하여 그것을 다른 클러스터 또는 기지국으로 전달하는 역할을 한다. 무선 전송에 소비되는 에너지 중에서 무선 증폭 에너지는 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 방식보다는 클러스터링을 통해 선출된 일부의 센서 노드(클러스터 헤드)가 기지국과 통신하는 방식이 에너지 소비 측면에서 매우 효율적일 수 있다.

클러스터링에 대한 관련 기존 연구를 정리하면 다음과 같다. 균형 클러스터링(EC: Equal Clustering)은 전체 네트워크를 클러스터링 할 때 클러스터의 크기를 동일한 크기로 나누는 방법이고, 그에 비해 불균형 클러스터링(UC: Unequal Clustering)은 클러스터의 크기를 서로 다른 크기로 나누는 방법이다. 단일 홉 통신(One-Hop Communication)은 센서 네트워크의 노드 데이터를 BS로 전송할 때 한 번에 보내는 방법이고, 이에 비해 다중 홉 통신(Multi-Hop Communication)은 여러 노드를 경유하여 BS에 데이터를 전송하는 방법이다. 그룹별 클러스터링은 전체 네트워크를 여러 개의 그룹으로 나누어, 각 그룹에 여러 개의 클러스터를 생성하는 방법이다. 계층별 클러스터링은 전체 네트워크를 여러 계층(layer)으로 나누어 각 계층별로 여러 개의 클러스터를 생성하는 방법이다.

클러스터링에 대해서는 다양한 연구가 이루어지고 있다. Heinzelman[3]에서 제안한 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)는 클러스터 기반 라우팅 기법으로 네트워크 수명을 연장하기 위하여 클러스터링을 사용하는 애플리케이션 특유의 데이터 전달 프로토콜이다. 그러나 이 알고리즘은 균형 클러스터링이고 단일 홉 통신 방법으로서 CH에 에너지 소모가 집중되어 네트워크 수명을 단축시키는 단점이 있다.

Myung Ho Yeo 외[4]에서는 CH의 에너지 소모를 분산할 수 있는 새로운 클러스터링 기법 즉, 클러스터를 수집과 전송을 위한 두 계층으로 분리하여 에너지 효율을 높인다. Jong-Ki Kim 외[5]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.

Chen 외[6]에서는 다중 홉 통신에서 핫스팟 문제(다중

홉 통신에서 BS에 가장 가까이 있는 노드는 무거운 중계 트래픽 부하(relay traffic load)의 부담으로 인해 특정 노드가 가장 먼저 수명이 다하는 문제를 해결하기 위해서 불균형 클러스터를 기반으로 한 라우팅 프로토콜을 소개하고 있다.

Soro 외[7]에서는 다중 홉 통신을 이용한 불균형 클러스터링을 제안한다. 이 방법은 균형 클러스터링에 비해 핫스팟(hot spot) 문제를 어느 정도 해결할 수 있고 단일 홉에 비해 전체 네트워크의 에너지 소모량을 줄인다.

Jin-Su Kim[8]에서 제안한 그룹별 클러스터링은 일반 클러스터링에 비해 에너지 소모를 줄이는 데 많은 효과가 있다. 클러스터링에 기반을 두어 CH에 집중된 에너지 소비를 클러스터 그룹 헤드(CGH: Cluster Group Head)와 CH로 분산시켜서 전체 에너지 소모량을 줄인다. 그러나 이 방법은 그룹 수가 적을 때 효율은 좋으나, CGH에 너무 과중한 부하를 주어 전체 네트워크 수명에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있다. 또한 제안한 내역이 단일 홉 통신을 이용하기 때문에 에너지 효율을 높이는 데 어느 정도 한계가 있다.

본 논문에서는 클러스터 그룹 모델을 이용한 계층적 불균형 클러스터링 기법을 제안한다. 이 기법은 전체 네트워크를 두 개의 계층으로 나누어 클러스터 그룹으로 형성된 2계층의 데이터를 병합해서 그 병합된 데이터를 1계층의 CH에 보내고, 1계층의 CH에서 BS에 데이터를 전송한다. 제안한 기법은 다중 홉 통신 구조와 클러스터 그룹 모델을 같이 이용함으로써 전체 에너지 소모량을 줄인다. 본 방식은 이전 연구보다 에너지 효율이 높고, 다중 홉 통신이지만 불균형 클러스터를 구축하여 핫스팟 문제를 어느 정도 해결하고 있다. 또한, 2계층에만 클러스터 그룹을 형성하므로 특정 CGH에 대한 과부하를 줄일 수 있다. 그래서 전체 센서 네트워크의 수명을 최대화한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존에 제시된 클러스터링 모델에 대해 알아보고, 3장에서는 계층적 불균형 클러스터링의 소모 에너지에 대한 수식 모델을 제안한다. 그리고 4장에서 수식 모델에 의한 에너지 소모량에 대한 시뮬레이션 결과를 비교 분석한 후, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 클러스터링 모델

클러스터링 모델에서의 에너지 소모량은 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[9].

송신 에너지는 다음 수식과 같고, 그에 사용되는 에너지 소비 모델 파라미터는 표 1 및 표 2와 같다.

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

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

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

위 수식에서

$$d_0 = \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}} \quad (2)$$

이다. 여기서, 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.

$$E_{Rx}(l) = E_{Rx-elec}(l) = l E_{elec} \quad (3)$$

E_{Rx} 는 수신에 필요한 전체 에너지이고, $E_{Rx-elec}$ 는 데이터를 수신할 때 소비되는 에너지이다.

1계층 및 2계층에서 CM의 사용 에너지는 다음 수식과 같다.

$$E_{CM1} = l E_{elec} + l \epsilon_{fs} d_{toCH1}^2, \quad (d < d_0) \quad (4)$$

$$E_{CM1}' = l E_{elec} + l \epsilon_{mp} d_{toCH1}^4, \quad (d \geq d_0) \quad (5)$$

$$E_{CM2} = l E_{elec} + l \epsilon_{fs} d_{toCH2}^2, \quad (d < d_0) \quad (6)$$

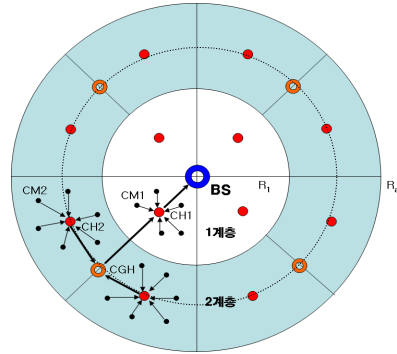
$$E_{CM2}' = l E_{elec} + l \epsilon_{mp} d_{toCH2}^4, \quad (d \geq d_0) \quad (7)$$

3. 계층적 불균형 클러스터링 모델 제안

3.1 계층적 불균형 클러스터링 모델

전체 센서 네트워크는 그림 1의 예와 같이 두 개의 계층으로 구성되어 있다. 1계층은 4개의 클러스터, 2계층은 8개의 클러스터로 구성되어 있다. 이 때 2계층은 하나의 클러스터 그룹에 두 개의 클러스터가 포함되어 4개의 그룹이 형성되어 있다. 2계층의 클러스터에는 하나의 클러스터 헤드와 여러 개의 클러스터 멤버가 존재하고, CM의 데이터를 CH에 병합하여 그 데이터를 클러스터 그룹 헤드(CGH: Cluster Group Head)에 보낸다. 즉, 클러스터 그룹에는 하나의 CGH와 여러 개의 CH가 존재하고, CH의 데이터를 CGH에 병합하여 그 데이터를 1계층의 CH에 보낸다. 1계층의 클러스터 역시 하나의 CH와 여러 개의

CM이 존재하고, CM의 데이터와 2계층의 CGH에서 보낸 데이터를 CH에 병합하여 그 데이터를 기지국에 보낸다.



[그림 1] 두 개의 계층으로 구성된 불균형 클러스터링 모델

[Fig. 1] An Unequal Clustering Model Composed of 2 Layers

이 모델의 목적은 전체 센서 네트워크를 두 개의 계층으로 나누고 불균형적인 클러스터링을 이용해서 에너지를 모두 소모한 센서 노드가 처음 발생하는데 걸리는 시간을 최소화하는 데 있다. 그리고 2계층에서 CH에 집중된 에너지 소비를 CGH와 CH로 분산시켜서 전체 에너지 소모량을 줄인다. 또한 LEACH와 다르게 그 병합된 데이터를 바로 BS에 보내지 않고 1계층의 CH에 보냄으로써 데이터 송신을 위한 부하를 줄인다.

계층적 불균형 클러스터링 모델의 전제 조건은 다음과 같다.

- 전체 네트워크에서 노드 수는 N 이고, 반지름 R_a 인 원형 지역에 배치되었다고 가정한다.
- 전체 네트워크는 두 개의 계층으로 구성되고, 전체 네트워크의 반지름은 R_a , 1계층의 반지름 R_1 이다. 2계층은 여러 개의 클러스터 그룹으로 형성되고 그 데이터는 CGH에 병합된다. 2계층의 CGH에 병합된 데이터는 1계층의 CH로 보내지고, 1계층의 CH는 클러스터에서 병합된 데이터와 2계층의 CGH에서 보내온 데이터를 병합하여 BS에 송신한다.
- 모든 계층은 특별한 클러스터 수를 포함한다. 1계층 즉, 안쪽 계층은 k_1 , 2계층 즉, 바깥쪽 계층은 k_2 개의 클러스터를 가진다. 단, $k_2 \geq k_1$ 이다. 이때 k_2 는 k_1 의 n 배이고, k_1 은 3보다 크거나 같다. 이때 2계층의 클러스터 그룹 수는 k_1 개이다.
- 하나의 계층 내에 있는 모든 클러스터는 같은 크기와 같은 모양을 가진다. 그러나 두 계층의 클러스터 내에 있는 계층의 모양은 다르다.

- 모든 클러스터는 동일한 밀도의 노드들로 구성된다.
- BS는 네트워크 지역의 중앙에 위치하고 네트워크로부터 데이터를 모은다.
- 각 계층의 CH 및 CGH는 각 클러스터의 CM 중에서 주기적으로 선택된다.

3.2 계층적 불균형 클러스터링의 소모 에너지에 대한 수식 모델 제안

불균형 클러스터링에서 클러스터 멤버의 밀도가 클러스터 면적 전체에서 균등하다고 가정하면, 각 계층의 클러스터 멤버에서 클러스터 헤드까지의 예상 거리의 곱은 수식 (8) 및 (9)과 같다.

- 1계층의 면적은 πR_1^2 이다.
- 1계층의 클러스터 당 면적은 $\pi R_1^2/k_1$ 이다.
- UC-Exp[d_{toCH1}^2] $R_1^2/2k_1$ (8)
- 2계층의 면적은 $\pi(R_a^2 - R_1^2)$ 이다.
- 2계층의 클러스터 당 면적은 $\pi(R_a^2 - R_1^2)/k_2$ 이다.
- UC-Exp[d_{toCH2}^2] = $(R_a^2 - R_1^2)/2k_2$ (9)

2계층의 CH2에서 CGH까지의 예상 거리의 곱은 다음 수식과 같다.

$$UC-Exp[d_{CH2toCGH}^2] = (R_a^2 - R_1^2)/2k_1 \quad (10)$$

1계층의 CH1, 2계층의 CH2 및 CGH에서의 에너지 소모량 역시 임계값에 따라서 두 가지 경우, 즉 자유공간 모델과 자유 공간 모델로 나누어 생각할 수 있다. 두 수식 모델은 다음과 같다.

첫 번째, CM1에서 CH1, CM2에서 CH2, CH2에서 CGH, CGH에서 CH1 그리고 CH1에서 BS까지의 에너지 소모 모델을 자유 공간 모델($d < d_0$ 인 경우)로 간주한 경우는 다음과 같은 수식을 적용한다.

$$E_{CH1} = l E_{elec} (N_{cl1}) + l E_{DA}(N_{cl1} + 1) + l E_{elec} + l \epsilon_{fs} d_{CH1toBS}^2 \quad (11)$$

$$E_{CH2} = l E_{elec} (N_{cl2} - 1) + l E_{DA}(N_{cl2}) + l E_{elec} + l \epsilon_{fs} d_{CH2toCGH}^2 \quad (12)$$

$$E_{CGH} = l E_{elec} \left(\frac{k_2}{k_1}\right) + l E_{DA}\left(\frac{k_2}{k_1}\right) + l E_{elec} + l \epsilon_{fs} d_{CGHtoCH1}^2 \quad (13)$$

클러스터 전체의 에너지 소비를 줄이기 위해서 클러스터 헤드의 위치는 가능한 중앙에 위치해야 한다. 이러한 경우에 CH1 및 CH2에서 BS까지의 거리는 다음 수식과

같다[7].

$$d_{CM\ to\ BS} = \frac{\int_0^{R_1} r 2r \sin(\beta_1) dr}{R_1^2 \beta_1} \quad (14)$$

$$= \frac{2}{3} R_1 \frac{\sin(\beta_1)}{\beta_1}$$

$$d_{CH2\ to\ BS} = \frac{\int_{R_1}^{R_a} r 2r \sin(\beta_2) dr}{(R_a^2 - R_1^2) \beta_2} \quad (15)$$

$$= \frac{2}{3} \frac{(R_a^3 - R_1^3)}{(R_a^2 - R_1^2)} \frac{\sin(\beta_2)}{\beta_2}$$

단, β_1, β_2 는 각 계층의 클러스터 수에 의해 결정되는 라디안 각도이다. 즉, $\beta_1 = 2\pi/k_1$ 이다.

1계층과 2계층에서 하나의 클러스터에 대한 노드 수는 다음 수식과 같다.

$$N_{cl1} = (N R_1^2)/(R_a^2 k_1) \quad (16)$$

$$N_{cl2} = (N (R_a^2 - R_1^2))/(R_a^2 k_2) \quad (17)$$

2계층의 CGH 역시 2계층의 중심부에 위치해야 한다. 따라서 CGH에서 CH1까지의 거리는 다음 수식과 같다.

$$d_{CGH\ to\ CH1} = d_{CH2\ to\ BS} - d_{CH1\ to\ BS} \quad (18)$$

CH2에서 CGH, CGH에서 CH1 그리고 CH1에서 BS까지의 에너지 소모 모델을 자유 공간 모델로 간주한 경우 한 프레임 동안에 사용되는 전체 에너지 소모량은 다음 수식과 같다. 이 모델은 두 지점 사이의 거리가 임계값(d_0)보다 작을 경우이다.

$$E_{total} = k_1 \{ (N_{cl1} - 1) * (l E_{elec} + l \epsilon_{fs} d_{toCH1}^2) \} + \{ l E_{elec}(N_{cl1}) + l E_{DA}(N_{cl1} + 1) + l E_{elec} + l \epsilon_{fs} d_{CH1toBS}^2 \} + \{ l E_{elec} (k_2/k_1) + l E_{DA} (k_2/k_1) \} + l E_{elec} + l \epsilon_{fs} d_{CGHtoCH1}^2 \} + k_2 \{ (N_{cl2} - 1) * (l E_{elec} + l \epsilon_{fs} d_{toCH2}^2) \} + \{ l E_{elec} (N_{cl2} - 1) + l E_{DA}(N_{cl2}) + l E_{elec} + l \epsilon_{fs} d_{CH2toCGH}^2 \} \quad (19)$$

두 번째, CH2에서 CGH, CGH에서 CH1 그리고 CH1에서 BS까지의 에너지 소모 모델을 다중 경로 모델($d \geq d_0$ 인 경우)로 간주한 경우는 첫 번째와 유사한 방법으로 다음과 같은 수식을 적용한다.

$$E_{CH1}' = l E_{elec} (N_{cl1}) + l E_{DA}(N_{cl1} + 1) + l E_{elec} + l \epsilon_{mp} d_{CH1toBS}^4 \quad (20)$$

$$E_{CH2}' = l E_{elec} (N_{cl2} - 1) + l E_{DA}(N_{cl2}) + l E_{elec} + l \epsilon_{mp} d_{CH2toCGH}^4 \quad (21)$$

$$E_{CGH}' = l E_{elec} (k_2/k_1) + l E_{DA}(k_2/k_1) + l E_{elec} + l \epsilon_{mp} d_{CGHtoCH1}^4 \quad (22)$$

CH2에서 CGH, CGH에서 CH1 그리고 CH1에서 BS까지의 에너지 소모 모델을 다중 경로 모델로 간주한 경우 한 프레임 동안에 사용되는 전체 에너지 소모량은 다음 수식과 같다. 이 모델은 두 지점 사이의 거리가 임계값(d_0)보다 크거나 같은 경우이다.

$$E_{total}' = k_1 \{ (N_{cl1} - 1) * (l E_{elec} + l \epsilon_{fs} d_{toCH1}^2) + \{ l E_{elec} (N_{cl1}) + l E_{DA}(N_{cl1} + 1) + l E_{elec} + l \epsilon_{mp} d_{CH1toBS}^4 \} + \{ l E_{elec} (k_2/k_1) + l E_{DA}(k_2/k_1) + l E_{elec} + l \epsilon_{mp} d_{CGHtoCH1}^4 \} + k_2 \{ (N_{cl2} - 1) * (l E_{elec} + l \epsilon_{fs} d_{toCH2}^2) + \{ l E_{elec} (N_{cl2} - 1) + l E_{DA}(N_{cl2}) + l E_{elec} + l \epsilon_{mp} d_{CH2toCGH}^4 \} \} \quad (23)$$

4. 시뮬레이션 결과 및 비교 분석

시뮬레이션에 사용되는 파라미터의 정의 및 가정 값은 표 1과 표 2에 나타내었다.

[표 1] 에너지 소비 모델 변수
[Table. 1] A Variables of Energy Consumption Model

변수	설명
R_a, R_r	전체 네트워크의 반지름, 1계층의 반지름
k_1, k_2	1계층의 클러스터 수, 2계층의 클러스터 수
N	전체 네트워크의 노드 수
N_{cl1}	1계층의 하나의 클러스터에 대한 노드 수
N_{cl2}	2계층의 하나의 클러스터에 대한 노드 수
d_{toCH1}	1계층의 CM에서 CH까지의 거리
d_{toCH2}	2계층의 CM에서 CH까지의 거리

$d_{CH2toCGH}$	2계층의 CH에서 CGH까지의 거리
$d_{CGHtoCH1}$	2계층의 CGH에서 1계층의 CH까지의 거리
$d_{CH1toBS}$	1계층의 CH에서 BS까지의 거리
E_{CM1}	1계층에서 CM의 사용 에너지
E_{CM2}	2계층에서 CM의 사용 에너지
E_{CH1}	1계층에서 CH의 사용 에너지
E_{CH2}	2계층에서 CH의 사용 에너지
E_{CGH}	2계층에서 CGH의 사용 에너지

[표 2] 시뮬레이션 변수
[Table. 2] A Variables for Simulation

변수	설명
l	데이터를 송수신할 때의 메시지 길이(bit)
ϵ_{fs}	자유 공간 모델 상수. 10 pJ/bit/m ²
ϵ_{mp}	다중 경로 모델 상수. 0.0013 pJ/bit/m ⁴
E_{elec}	데이터 송수신 에너지. 50 nJ/bit
E_{DA}	데이터 병합 에너지. 5 nJ/bit/signal

본 논문에서 제안한 내용이 다중 홉 통신과 클러스터 그룹 모델을 이용한 불균형 클러스터링 방법이므로 UCMG(Unequal Clustering method using Multi-hop communication and cluster Group model)로 호칭한다. 이와 비교되는 다중 홉 통신과 클러스터 그룹 모델을 이용한 균형 클러스터링 방법은 ECMG(Equal Clustering method using Multi-hop communication and cluster Group model)로 호칭한다. Jin-Su Kim[8]의 내용은 단일 홉 통신과 클러스터 그룹 모델을 이용한 균형 클러스터링 방법이므로 ECSG(Equal Clustering method using Single-hop communication and cluster Group model)로 호칭한다. 그리고 Solo 외[7]의 내용은 다중 홉 통신을 이용한 불균형 클러스터링 방법이므로 UCMC (Unequal Clustering method using Multi-hop Communication)로 호칭한다. 또한 LEACH[3]은 단일 홉 통신을 이용한 균형 클러스터링 방법이다.

UCMC, ECMG 및 UCMG 기법에서 한 프레임 당 사용되는 총 에너지 소모량은 표 3과 같다. 이 표를 보면 UCMG 기법은 네트워크 크기가 커질수록 클러스터의 수가 서서히 증가하면서 에너지 소모량도 서서히 증가를 한다. 이 방법은 2계층에 클러스터 그룹을 형성하여 CGH에 병합된 데이터를 1계층의 CH에 전송하므로 UCMC보다 에너지 소모량이 훨씬 적다. 이로써 클러스터 그룹을 이용한 방법이 에너지 효율이 높은 것을 알 수 있다. 또한 다중 홉 통신과 클러스터 그룹 모델을 같이

사용하더라도 불균형 클러스터링이 균형 클러스터링에 비해 전체 네트워크 소모량이 적은 것을 알 수 있다.

LEACH 및 ECSG에서 한 프레임 당 사용되는 총 에너지 소모량은 표 4와 같다. 참고로 표 3에서 네트워크의 크기 즉, 반지름(R_a)이 1,000m인 경우 표 4에서는 네트워크의 크기($m \times m$)가 2,000m인 경우와 유사하다. 또한 클러스터 그룹 수는 ECSG에만 해당되는 항목이다. 표 4에서 LEACH 및 ECSG의 에너지 소모량은 본 논문에서 제안된 UCMG 기법보다 많은 것을 알 수 있다. 또한 UCMG 기법은 ECSG에 비해 클러스터 그룹 수가 많아서 특정 노드에 대한 과부하를 줄일 수 있으므로 전체 네트워크 수명을 늘릴 수 있다.

[표 3] UCMC, ECMG 및 UCMG 기법에서 한 프레임 당 사용되는 총 에너지 소모량

[Table. 3] An Total Energy Consumption for 1 Frame at UCMC, ECMG and UCMG Method

네트워크 크기 : R_a (R_1)	노드수	1계층 클러스터 수	2계층 클러스터 수	UCMG 에너지 소모량(J)	ECMG 에너지 소모량(J)	UCMG 에너지 소모량(J)
500 (250)	1,000	8	32	1.08	0.62	0.59
	5,000	20	160	4.44	2.52	2.38
	10,000	30	240	7.62	4.79	4.60
1,000 (500)	5,000	14	168	14.29	5.09	3.99
	50,000	30	600	51.25	31.50	26.30
	100,000	40	1200	79.95	57.38	49.77
1,500 (750)	10,000	18	360	101.50	22.64	14.46
	100,000	40	1200	195.25	83.69	65.38
	200,000	40	2400	276.46	153.82	115.19

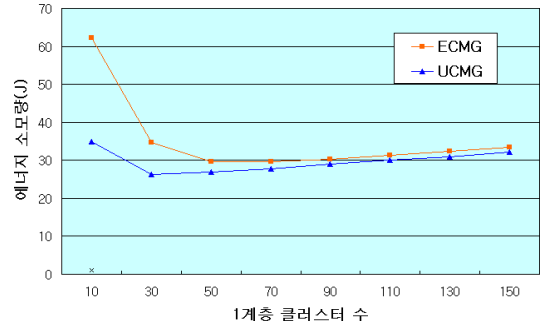
[표 4] LEACH 및 ECSG에서 한 프레임 당 사용되는 총 에너지 소모량

[Table. 4] An Total Energy Consumption for 1 Frame at LEACH and ECSG Method

네트워크 크기	노드수	클러스터그룹 수	전체 클러스터 수	LEACH 에너지 소모량(J)	ECSG 에너지 소모량(J)
1,000	1,000	3	18	1.17	0.77
	5,000	3	27	5.35	2.45
	10,000	3	36	8.66	3.75
2,000	5,000	5	40	21.69	8.70
	50,000	5	70	124.54	37.90
	100,000	5	80	172.45	50.81
3,000	10,000	8	64	129.17	29.57
	100,000	8	120	311.23	87.82
	200,000	8	136	635.59	152.79

센서 네트워크의 크기 즉, R_a 가 1,000m, R_1 이 500m이고, 노드 수가 50,000일 때 1계층 클러스터 수에 따른 한

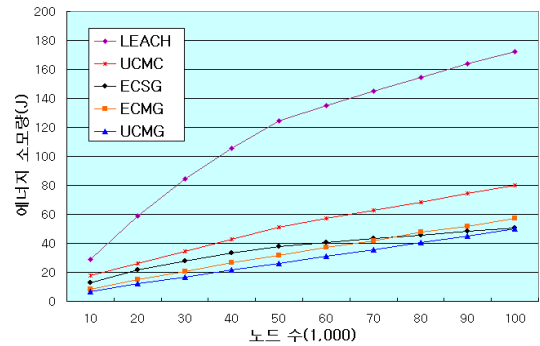
프레임 당 사용되는 에너지 소모량 변화 그래프는 다음 그림과 같다.



[그림 2] R_a 가 1000m이고 N 가 50,000일 때 클러스터 수에 따른 에너지 소모량 변화 그래프

[Fig. 2] A Variation Graph of Energy Consumption on Cluster Number (R_a :1000m, N :50,000m)

그림 2에서 1계층의 클러스터 수 즉, 클러스터 그룹 수가 30인 경우 에너지 소모량이 제일 적다. 1계층 클러스터 수에 따른 한 프레임 당 사용되는 에너지 소모량은 클러스터 그룹 모델을 사용한 불균형 클러스터링 방법(UCMG)이 클러스터 그룹 모델을 사용한 균형 클러스터링 방법(ECMG)에 비해 전체적으로 에너지 소모량이 적다. 따라서 불균형 클러스터링이 균형 클러스터링에 비해 에너지 효율을 높여 전체 네트워크의 수명을 연장시킨다.



[그림 3] R_a 가 1000m일 때 노드 수에 따른 에너지 소모량 비교 그래프

[Fig. 3] A Comparative Graph of Energy Consumption on Node Number (R_a : 1000m)

센서 네트워크의 크기 즉, R_a 가 1,000m, R_1 이 500m일 때 노드 수 변화에 따른 LEACH, UCMC, ECSG, ECMG 및 UCMG 기법의 한 프레임 당 사용되는 에너지 소모량 비교 그래프는 그림 3과 같다. 위 그림에서 에너지 소모

량은 LEACH, UCMC, ECSG, ECMG 및 제안된 기법인 UCMG 순서대로 점점 더 적고 에너지 효율이 더 좋아진다. 즉, UCMG 기법은 LEACH에 비해 76%, UCMC에 비해 44%, ECSG에 비해 21%, ECMG에 비해 15% 정도 에너지 소모량이 감소되었다.

ECSG, ECMG 및 UCMG의 경우 클러스터 그룹에 병합된 데이터를 한 번에 송신할 수 있다고 가정하였다. 그러나 네트워크 크기가 커지고 노드 수가 많은 경우 병합된 데이터를 한 번에 송신할 수 없는 경우가 생길 수 있다. 이러한 측면에서 클러스터 그룹 수를 많게 형성한 경우와 적게 형성한 경우는 분명한 차이가 있다. 그래서 에너지 소모량이 유사한 경우이면 제안된 UCMG와 같이 클러스터 그룹 수를 많게 하는 것이 전체 네트워크 수명 연장에 도움이 된다. 노드 수가 100,000개인 경우 ECSG는 클러스터 그룹 수가 5개, 에너지 소모량은 50.81(J)이다. 이에 비해 본 논문에서 제안된 UCMG 기법은 클러스터 그룹 수가 40개, 에너지 소모량은 49.77(J)이다. 이 경우 두 기법의 에너지 소모량은 표면상으로 유사하지만 실제로는 UCMG 기법이 훨씬 더 효율적이다.

성능 평가를 위해 센서 네트워크 크기별 에너지 소모량, 클러스터 수별 에너지 소모량, 특정 네트워크 크기에서 노드 수별 에너지 소모량 등을 측정 및 비교하였다. 표 1 ~ 표 4와 같은 제한된 환경의 실험 결과에서 제안된 클러스터링 방법은 LEACH[3], UCMC[7] 및 ECSG[8]에 비해 전체 에너지 소모량 측면에서 높은 성능을 나타냄을 확인하였다.

5. 결론

본 논문에서는 클러스터 그룹 모델을 이용한 계층적 불균형 클러스터링 기법(UCMG)을 제안한다. LEACH[2]는 클러스터에서 병합된 데이터를 BS에 단일홉으로 전송하기 때문에 CH에 에너지 소모가 집중되어 네트워크 수명을 단축시키는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 제안된 Soro 외[6]의 방법은 UCMC 기법으로서 다중홉으로 전송하고 불균형 클러스터링이기 때문에 핫스팟 문제는 어느 정도 해결하고 에너지 소모량은 다소 감소하였으나 단일 클러스터링을 이용하는 것만으로 전체 네트워크 수명을 연장시키는 데에는 한계가 있다.

본 논문에서 제안한 UCMG 기법은 전체 네트워크를 두 개의 계층으로 나누어 클러스터 그룹으로 형성된 2계층의 데이터를 병합해서 1계층으로 보내고, 다시 1계층에서 데이터를 병합하여 기지국으로 보낸다. 이와 같이 UCMG 기법은 다중홉 통신 구조와 클러스터 그룹 모델

을 같이 이용함으로써 전체 에너지 소모량을 줄인다. 이 기법은 다중홉 통신이지만 불균형 클러스터를 구축하여 핫스팟 문제를 어느 정도 해결하고 있다. 또한 전체 네트워크가 아닌 2계층에만 클러스터 그룹을 형성하므로 특정 CGH에 대한 과부하를 줄일 수 있다. 그래서 전체 센서 네트워크의 수명을 최대화한다.

성능 평가를 위해 센서 네트워크 크기별 에너지 소모량, 클러스터 수별 에너지 소모량, 특정 네트워크 크기에서 노드 수별 에너지 소모량 등을 측정 및 비교하였다. 표 1 ~ 표 3과 같은 제한된 환경의 실험 결과에서 제안된 클러스터링 방법은 LEACH[2], UCMC[6] 등에 비해 전체 에너지 소모량 측면에서 높은 성능을 나타냄을 확인하였다.

제안된 UCMG 기법은 동형(homogeneous) 네트워크, 이형(heterogeneous) 네트워크, 동적(dynamic) 네트워크 등의 다양한 특성을 고려하지 않고, 동형 및 정적 네트워크의 전체 에너지 소모량만을 고려하였다. 또한 각 계층의 CH 및 CGH의 선정 방법에 대한 내역이 부족하였다. 다음에는 네트워크의 종류 및 다양한 특성을 고려해서 전체 에너지 소모량을 최소화시키고 네트워크 수명을 최적화시키는 연구와 클러스터 그룹 모델에서 CH 및 CGH의 효과적인 선정 방법에 대한 연구를 진행할 것이다.

References

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Mag., Vol. 40, No.8, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [2] K. Akkaya and M. Younis, "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," Ad Hoc Networks, Vol. 3, pp. 325-349, 2005.
- [3] W. B. Heinzelman, "Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol.1, NO. 4, pp.660-670, Oct, 2002.
- [4] Myung Ho Yeo, Yu Mi Kim, Jae Soo Yoo, "A Dual-layer Energy Efficient Distributed Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks," Journal of KIISE : Databases, Vol.35 No.1, pp.84-95, 2008.
- [5] Jong-Ki Kim, Yoeng-Won Kim, "An Energy-Efficient Clustering Using Division of Cluster in Wireless Sensor Network," Journal of KSII, Vol.9 No.4, pp.43-50, 2008.
- [6] Guihai Chen, Chengfa Li, Mao Ye, Jie Wu, "An

unequal cluster-based routing protocol in wireless sensor networks," Springer Science + Business Media, LLC 2007.

- [7] S. Soro and W.Heinzelman, "Prolonging the Lifetime of Wireless Sensor Networks via Unequal Clustering," Proceedings of the 5th International Workshop on Algorithms for Wireless, Mobile, Ad Hoc and Sensor Networks (IEEE WMAN '05), April 2005.
- [8] Jin-Su Kim, "An Energy Method Using Cluster Group Model in Wireless Sensor Networks," Journal of KAIS, Vol.11 No.12, 2010.
- [9] T. Rappaport, "Wireless Communications: Principles & Practice," Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.

김진수(Jin-Su Kim)

[정회원]



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

<관심분야>

데이터베이스, 센서 네트워크, 소프트웨어 공학

신승수(Seung-Soo Shin)

[정회원]



- 2001년 2월 : 충북대학교 수학과 (이학박사)
- 2004년 8월 : 충북대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 정보보호학과 교수

<관심분야>

암호프로토콜, 네트워크 보안, USN, 스마트 카드