

# 대규모 무선 센서 네트워크에서 계층 기반의 동적 불균형 클러스터링 기법

김진수<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>동명대학교 항만물류시스템학과

## A Layer-based Dynamic Unequal Clustering Method in Large Scale Wireless Sensor Networks

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

<sup>1</sup>Department of Port & Logistics System, Tongmyong University

**요 약** 불균형 클러스터링은 클러스터의 크기를 서로 다른 크기로 나누는 방법으로 균형 클러스터링에 비해 핫스팟 문제를 어느 정도 해결할 수 있으므로 전체 네트워크의 에너지 소모량을 줄인다. 본 논문에서는 불균형 클러스터링 모델을 이용하여 계층 기반의 동적 불균형 클러스터링을 제안한다. 이는 라운드별로 최적의 클러스터 수 및 클러스터 헤드 위치를 제공함으로써 전체 네트워크에 대한 에너지 소모를 균형 있게 하고 또한 네트워크 수명을 연장시킨다. 실험을 통하여 제안된 기법이 이전 클러스터링 기법보다 네트워크 수명이 연장되었음을 보였다.

**Abstract** An unequal clustering method in wireless sensor networks is the technique that forms the cluster of different size. This method decreases whole energy consumption by solving the hot spot problem. In this paper, I propose a layer-based dynamic unequal clustering using the unequal clustering model. This method decreases whole energy consumption and maintain that equally using optimal cluster's number and cluster head position. I also show that proposed method is better than previous clustering method at the point of network lifetime.

**Key Words** : Dynamic unequal clustering, Hot spot problem, Optimal cluster's number, Cluster head position, Network lifetime

### 1. 서론

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. 클러스터링 방식은 두 가지로 나눌 수 있는데, 균형 클러스터링(Equal Clustering)은 전체 네트워크를 클러스터링 할 때 클러스터의 크기를 동일한 크기로 나누는 방식이고, 불균형 클러스터링(Unequal Clustering)은 클러스터의 크기를 서로 다른 크기로 나누

는 방식이다. Soro[1]에서 제안한 불균형 클러스터링 방법은 균형 클러스터링에 비해 핫스팟 문제 즉, 다중홉 통신에서 기지국에 가장 가까이 있는 노드는 과중한 중계 트래픽 부하로 인해 특정 노드가 가장 먼저 수명이 다하는 문제를 어느 정도 해결할 수 있으므로 전체 네트워크의 에너지 소모량을 줄인다. 핫 스팟 문제를 해결하는 다른 방법으로는 Xin[2]의 방법으로 CH에 대한 과중한 에너지 소모를 덜고 내결함성의 성능을 향상시키기 위해 백업 클러스터 헤드를 이용한다. 그러나 위의 일반적인 클러스터링 방법으로 핫스팟 문제 및 전체적인 에너지 소비를 효율적으로 하기에는 한계가 있어 불균형 클러스터링을 이용하되 계층별로 여러 클러스터를 하나의 그룹

\*Corresponding Author : Jin-Su Kim (Tongmyong University)

Tel: +82-10-4553-8543 email: kjs8543@tu.ac.kr

Received November 8, 2012 Revised November 22, 2012 Accepted December 6, 2012

으로 묶어서 관리하는 에너지 소비 모델[3]이 제시되었다. 그러나 이 모델은 에너지 효율은 많이 개선되었으나 정적 클러스터링 방법이므로 클러스터 내 노드들의 에너지를 균형 있게 사용하지 못하는 점이 있다.

본 논문에서는 Kim[3]의 정적 불균형 클러스터링 모델을 보완하여 동적으로 클러스터를 형성함으로써 전체 네트워크에 대한 에너지 소모를 균형 있게 하고 네트워크 수명을 연장시키는 계층 기반의 동적 불균형 클러스터링(LDUC: Layer-based Dynamic Unequal Clustering) 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 대해 알아보고, 3장에서는 본 논문에서 제안된 LDUC 클러스터링 기법을 설명한다. 4장에서는 제안된 기법과 기존 기법에 대해서 실험을 통해 비교 분석하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

클러스터링에 대해서는 다양한 연구가 이루어지고 있다. Park[4]에서는 에너지 효율적인 동심원 형태의 클러스터링 방법 EECCRS(Energy Efficient Concentric-Clustering Routing Scheme)를 제안하였다. EECCRS는 각 클러스터에 배분되는 노드 수를 조정함으로써 일반적인 동심원 형태의 클러스터링 방법의 비효율적인 한계를 극복하여, 무선 센서 네트워크의 생존시간을 증가시켜 보다 효율적으로 동작할 수 있는 라우팅 방법이다. Chen[5]에서는 다중홉 통신에서 핫스팟 문제의 부담으로 인해 특정 노드가 가장 먼저 수명이 다하는 문제를 해결하기 위해서 불균형 클러스터를 기반으로 한 프로토콜을 제안하였다. Soro[1]에서는 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[6]를 개선하여 다중홉 통신을 이용한 불균형 클러스터링을 제안하였다. 이 방법은 균형 클러스터링에 비해 핫스팟 문제를 어느 정도 해결할 수 있으나 클러스터의 수가 많아질 때에는 전체 네트워크의 에너지 소모량을 줄이는 데 한계가 있다. Xin[2]에서는 수명이 긴 센서 네트워크를 위한 계층적 클러스터링을 제안하였다. 이 방법은 CH 선출을 위한 새로운 방법 즉, 백업 클러스터 헤드의 개념을 소개한다. 각 클러스터는 기본적으로 두 개의 CH를 지정하는데 일반적으로 작동하는 것은 주 CH이고, 주 CH가 파괴되거나 에너지가 고갈될 때는 백업 CH를 이용한다. 이러한 방법을 이용하여 전체 노드에 대해 에너지를 균형 있게 사용하므로 핫 스팟 문제를 어느 정도 해소할 수 있다. 그러나 이 역시 네트워크의 규모가 커질 경우 다중홉으로 데이터를 전송할 때 에너지 효율

이 다소 떨어지는 문제가 있다. Kim[3]의 불균형 클러스터링은 전체 네트워크가 두 개의 계층으로 구성된 점은 Soro[1]와 유사하나 2계층은 여러 개의 클러스터 그룹으로 형성되고 그 그룹에는 여러 개의 클러스터가 포함된다는 것이 다른 점이다. 2계층의 클러스터 그룹에는 CGH(Cluster Group Head)가 있고, 각각의 클러스터에는 CH와 CM (Cluster Member)가 있다. 2계층의 CM에서 센싱한 정보는 2계층의 CH로 보내어져 병합되고, 그 데이터는 다시 CGH에 보내지고 1계층의 CH를 거쳐 BS에 송신된다. Kim[3]의 불균형 클러스터링 기법은 에너지 효율이 좋은 모델을 제시하고 있으나, 클러스터 구성이 정적으로 형성되어 라운드별로 효율적인 클러스터를 구성하지 못한다. 그래서 센서 노드의 추가나 삭제에 적절하게 대처하지 못하고 CH에 대한 적절한 위치 지정이 이루어지지 않기 때문에 네트워크 전체적으로 에너지를 균형 있게 사용하기에는 부족한 면이 있다.

## 3. LDUC 클러스터링 기법

본 장에서는 Kim[3]의 정적 불균형 클러스터링 모델을 기본으로 하여 클러스터 수, 센서 노드의 에너지 잔량 및 사용량, 클러스터 헤드 위치 적합도, 클러스터 적합도 등의 정보를 이용하여 네트워크 에너지를 효율적으로 사용하는 계층 기반의 동적 불균형 클러스터링 기법을 제안한다. 이 기법의 목적은 동적인 클러스터링을 이용하여 라운드별로 클러스터 내에서 에너지 소모를 최소화하도록 CH 및 CGH를 배치시키고 또한 계층별 최적의 클러스터 수를 찾아내어 새로운 클러스터를 형성함으로써 네트워크의 전체 수명을 최대한 늘리는 것이다.

### 3.1 클러스터 그룹 및 클러스터 형성

계층을 기반으로 한 동적 불균형 클러스터링 알고리즘은 Fig. 1과 같다.

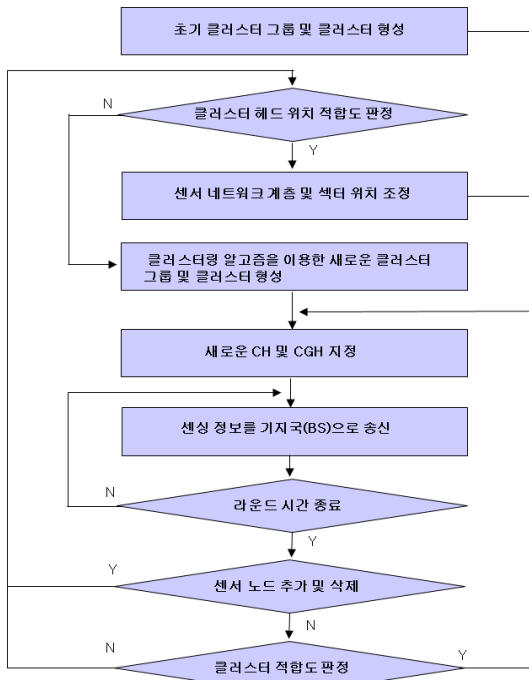
#### 1) 초기 클러스터 그룹 및 클러스터 형성

계층별로 네트워크의 크기 및 특성에 따라 BS에서 계층별로 섹터를 구분하여 k개의 클러스터를 지정한다. 또한 이 때 적절한 계층에 여러 개의 클러스터를 묶어 하나의 클러스터 그룹으로 지정한다.

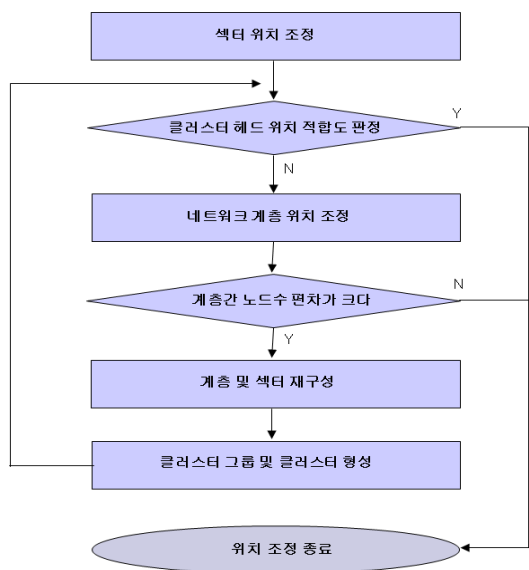
#### 2) 클러스터 헤드 위치 적합도 판정

클러스터 헤드 위치 적합도(FIT<sub>CHPS</sub>)는 CH가 각 계층에서 특정 환형선상에 몰려있는 정도를 나타낸다. 즉,

CH의 밀집된 정도가 낮을수록  $FIT_{CHPS}$ 가 좋다.  $FIT_{CHPS}$ 가 좋으면 전체적으로 클러스터를 재구축하지 않고 Fig. 3의 (b) 및 (c)와 같이 내부적으로 센서 네트워크 계층 및 섹터 위치를 조정한다.  $FIT_{CHPS}$ 가 좋지 않으면 클러스터 그룹 및 클러스터를 다시 형성한다.



[Fig. 1] Layer-based Dynamic Unequal Clustering Algorithm



[Fig. 2] Layer and Sector Position Adjustment Algorithm

### 3) 센서 네트워크 계층 및 섹터 위치 조정

- 섹터 위치를 조정하여 이전에 CH가 된 적이 있는 노드는 새로운 CH에 지정되지 않고 새로운 CH 근처에 위치하여 데이터 전송에 따른 부담을 덜도록 한다.
- 클러스터 헤드 위치 적합도를 판정하여 적합하면 위치 조정을 종료하고 적합하지 않으면 네트워크의 계층 위치를 조정하여 계층별 에너지 사용에 대한 불균형을 조정한다.
- 계층간 노드 수의 편차를 체크하여 편차가 크지 않으면 이상이 없으므로 위치 조정을 종료하고 편차가 크면 계층 및 섹터를 재구성하여 새로운 클러스터 그룹 및 클러스터를 구성한다.

### 4) 새로운 클러스터 그룹 및 클러스터 형성

BS는 Fig. 4와 같은 최적 계층 크기 및 클러스터 수 산정 알고리즘을 이용하여 새로운 환경에 적합한 계층 크기, 클러스터 그룹 및 클러스터를 형성한다. 그 다음에 새로운 CH 및 CGH를 지정한다.

### 5) 라운드 시간 종료 체크

라운드 시간 내에서는 센싱된 정보를 계속하여 BS로 송신하고, 라운드 시간이 종료되면 센서 노드의 추가 및 삭제 여부나 클러스터 적합도( $FIT_{CL}$ )를 판정한다.  $FIT_{CL}$ 는 네트워크 전체적인 클러스터의 적합도로서 클러스터에서 각 노드의 에너지 잔량에 대한 표준편차의 평균이다.

$$FIT_{CL} = \left( \sum_{i=1}^K STD_{res}(i) \right) / K \quad (1)$$

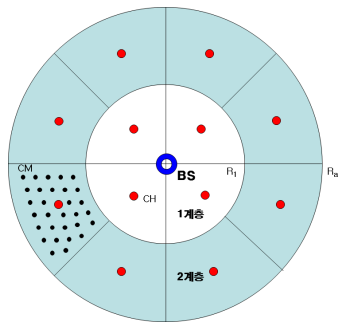
여기서,  $STD_{res}(i)$ 는 클러스터  $i$ 에 속한 노드들의 잔량에 대한 표준편차이고,  $K$ 는 네트워크 전체의 클러스터 수이다.

### 6) 센서 노드의 추가·삭제 및 클러스터 적합도 판정

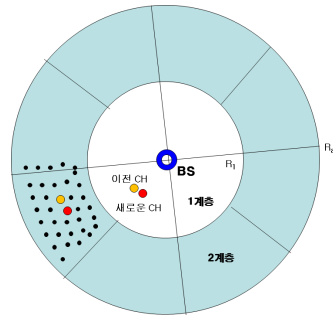
센서 노드의 추가 및 삭제가 발생하면 2)와 같은  $FIT_{CHPS}$ 를 판정하고, 아니면  $FIT_{CL}$ 를 판정한다.  $FIT_{CL}$ 가 적합하면 새로운 CH 및 CGH를 지정하고, 아니면 새로운 클러스터를 구축하기 위해  $FIT_{CHPS}$ 를 판정한다.

### 3.2 클러스터 재구성 단계

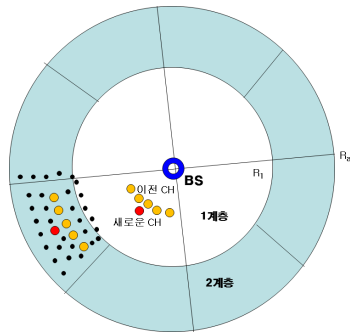
클러스터 재구성 단계는 Fig. 3과 같이 섹터 조정, 계층 조정 및 전체 클러스터 재편성의 3단계로 이루어져 있다.



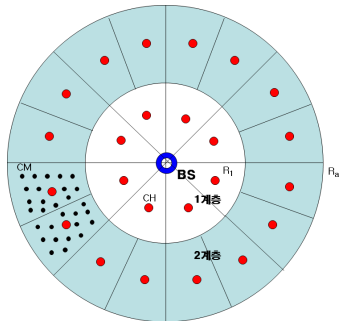
(a) Cluster Initial Formation



(b) Cluster Reformation Stage-1



(c) Cluster Reformation Stage-2



(d) Cluster Reformation Stage-3

[Fig. 3] Cluster Reformation 3 Stages

### 1) 클러스터 초기 구성

네트워크를 여러 계층으로 나누고, 각 계층을 섹터로 나눈다. 이 구획을 여러 개의 클러스터로 구분한다. Fig. 3의 (a)는 계층은 2계층, 섹터는 4개로 나누어, 2계층은 하나의 섹터 구획을 두 개의 클러스터로 구분한 예이다. 이 때 2계층에 있는 두 개의 클러스터를 하나의 클러스터 그룹으로 지정하여 관리할 수 있다.

### 2) 클러스터 재구성 1단계

섹터 각도를 조정하여 이전에 CH를 한 적이 있는 노드의 위치를 클러스터 중심에서 왼쪽으로 이동한다. 이렇게 하면 새로운 CH는 클러스터의 중심에 위치하게 되어 에너지 효율이 좋아지고, 이전 CH는 새로운 CH와의 거리가 가까우므로 CH와의 데이터 전송에 대한 부담을 덜게 하고 클러스터 내에 있는 노드들의 에너지 소모를 균형 있게 한다.

### 3) 클러스터 재구성 2단계

이전에 CH가 된 적이 있는 노드가 어떤 환경선상에 밀집된 경우는 섹터 각도를 조정하더라도 클러스터 내 노드들의 에너지 사용에 대한 불균형을 줄이지 못한다. 그래서 이러한 경우는 계층의 크기를 조정하여 1단계를 반복 처리한다.

### 4) 클러스터 재구성 3단계

1단계 및 2단계를 모두 이용하더라도 네트워크 전체적으로 에너지를 효율적으로 사용하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 이때는 전체적인 네트워크에 대해서 에너지 효율적인 계층수 및 섹터수를 산정하여 새로운 클러스터를 구성한다.

### 3.3 최적 계층 크기 및 클러스터 수 산정

새로운 클러스터 그룹 및 클러스터를 형성하기 위해서 Fig. 4와 같은 알고리즘을 이용하여 새로운 환경에 적합한 최적의 계층 크기( $R_{1opt}$ ), 계층별 클러스터 수( $K_{1opt}$ ,  $K_{2opt}$ )를 구해야 한다. 그러기 위해서는 먼저 한 프레임 동안에 사용되는 총 에너지 소모량, 계층별 에너지 소모량 등을 구해야 한다.

한 프레임 동안에 사용되는 전체 에너지 소모량 ( $E_{es-total}$ )은 수식 (2)와 같고, Rappaport[7]의 에너지 소비 모델 및 Kim[8]의 수식을 이용해서 구한다.

$$E_{cs-total} = L_1 E_{cs-total} + L_2 E_{cs-total} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} &= (K_1 + \frac{2NR_u^2}{R_u^2}) (l E_{elec}) + \\ & (K_1 + K_2 + \frac{NR_u^2}{R_u^2}) (l E_{DA}) + \\ & (\frac{NR_1^4}{2K_1 R_u^2} + \frac{N(R_u^2 - R_1^2)^2}{2K_2 R_u^2} - \frac{R_u^2}{2}) (l \epsilon_{fs}) + \\ & (K_1 \left( \frac{2}{3} R_1 \frac{\sin(\beta_1)}{\beta_1} \right)^4 + \\ & K_1 \left( \left( \frac{2}{3} \frac{(R_u^3 - R_1^3)}{(R_u^2 - R_1^2)} \frac{\sin(\beta_2)}{\beta_2} \right) - \left( \frac{2}{3} R_1 \frac{\sin(\beta_1)}{\beta_1} \right) \right)^4 \\ & + K_2 \frac{(R_u^2 - R_1^2)^2}{4K_1^2}) (l \epsilon_{mp}) \end{aligned}$$

수식 (2)에서  $L_1 E_{cs-total}$ 과  $L_2 E_{cs-total}$ 은 1계층 및 2계층의 한 프레임 당 사용하는 전체 에너지 소모량이다.  $L_1 E_{cs-total}$ 은 CM1에서 CH1(CH1에서 BS)까지 전송하는 에너지이고,  $L_2 E_{cs-total}$ 은 CM2에서 CH2(CH2에서 CGH 그리고 CGH에서 CH1)까지 전송하는 에너지이다.  $R_u$ 는 전체 네트워크의 반지름,  $R_1$ 은 1계층의 반지름,  $N$ 는 전체 노드수이다.  $Ncl1$ 은 1계층의 하나의 클러스터에 대한 노드 수로서  $N * R_1^2 / (Ra^2 * K_1)$ ,  $Ncl2$ 는 2계층의 하나의 클러스터에 대한 노드 수로서  $N * ((Ra^2 - R_1^2)/(Ra^2 * K_2))$ 이다.  $\epsilon_{fs}$ 는 자유 공간 모델 상수로서 10 pJ/bit/m<sup>2</sup>,  $\epsilon_{mp}$ 는 다중 경로 모델 상수로서 0.0013 pJ/bit/m<sup>4</sup>,  $E_{elec}$ 는 데이터 송수신 에너지로서 50 nJ/bit,  $E_{DA}$ 는 데이터 병합 에너지로서 5nJ/bit/signal 이다.

네트워크 전체 예상 에너지 잔량은 수식 (3)과 같다.

$$E_{exp-total} = E_{res-total} - E_{cs-total} \quad (3)$$

$$\text{여기서, } E_{res-total} = \sum_{i=1}^N E_{res}(i)$$

위 수식에서  $E_{res-total}$ 은 네트워크 전체 에너지 잔량이고,  $E_{res}(i)$ 는 각 노드  $i$ 의 현재 에너지 잔량이다.

1계층 및 2계층의 한 프레임 당 사용하는 각 노드의 평균 에너지 소모량은 각각  $L_1 E_{cs-avg}$ ,  $L_2 E_{cs-avg}$ 이고, 계산 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} L_1 E_{cs-avg} &= L_1 E_{cs-total} * \frac{R_u^2}{NR_1^2} = 2 (l E_{elec}) \quad (4) \\ &+ \frac{NR_1^2 + K_1 R_u^2}{NR_1^2} (l E_{DA}) + \left( \frac{R_1^2}{2K_1} + \frac{K_1 R_u^2}{NR_1^2} \right) (l \epsilon_{fs}) \\ &+ \frac{K_1 R_1^2 R_u^2}{N} \left( \frac{2}{3} \frac{\sin(\beta_1)}{\beta_1} \right)^4 (l \epsilon_{mp}) \end{aligned}$$

$$L_2 E_{cs-avg} = L_2 E_{cs-total} * \frac{R_u^2}{N(R_u^2 - R_1^2)} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} &= \left( \frac{K_1 R_u^2}{N(R_u^2 - R_1^2)} + 2 \right) (l E_{elec}) + \\ & \left( \frac{K_2 R_u^2}{N(R_u^2 - R_1^2)} + 1 \right) (l E_{DA}) + \\ & \left( \frac{(R_u^2 - R_1^2)}{2K_2} + \frac{R_u^2}{2N} \right) (l \epsilon_{fs}) + \left( \frac{K_1 R_u^2}{N(R_u^2 - R_1^2)} \right. \\ & \left. \left( \left( \frac{2}{3} \frac{(R_u^3 - R_1^3)}{(R_u^2 - R_1^2)} \frac{\sin(\beta_2)}{\beta_2} \right) - \left( \frac{2}{3} R_1 \frac{\sin(\beta_1)}{\beta_1} \right) \right)^4 \right. \\ & \left. + \frac{K_2 R_u^2 (R_u^2 - R_1^2)}{4NR_1^2} \right) (l \epsilon_{mp}) \end{aligned}$$

전체 네트워크의 수명을 연장하기 위해서 총 에너지 소모량을 계층별로 균형 있게 사용하는 대강의 1계층의 클러스터 수( $K_1$ ) 및 2계층의 클러스터 수( $K_2$ )를 구한다.  $K_1$ 과  $K_2$ 를 구하는 방식은 다음과 같다.

첫째,  $K_1$ 은  $E_{cs-total}$ 을  $K_1$ 으로 편미분하면 다음과 같다.

$$K_1 = \sqrt[3]{-\frac{d}{2a} + \sqrt{\left(\frac{d}{2a}\right)^2 + \left(\frac{c}{3a}\right)^3}} + \sqrt[3]{-\frac{d}{2a} - \sqrt{\left(\frac{d}{2a}\right)^2 + \left(\frac{c}{3a}\right)^3}} \quad (6)$$

$$\text{여기서, } a = l E_{elec} + l E_{DA} + \left( \frac{2}{3} \frac{\sin(\beta_1)}{\beta_1} \right)^4 (l \epsilon_{mp})$$

$$\begin{aligned} &+ \left( \left( \frac{2}{3} \frac{(R_u^3 - R_1^3)}{(R_u^2 - R_1^2)} \frac{\sin(\beta_2)}{\beta_2} \right) - \left( \frac{2}{3} R_1 \frac{\sin(\beta_1)}{\beta_1} \right) \right)^4 \\ & (l \epsilon_{mp}), \end{aligned}$$

$$c = -\frac{NR_1^4}{2R_u^2} (l \epsilon_{fs}),$$

$$d = -\frac{K_2}{2} (R_u^4 - 2R_1^2 R_u^2 + R_1^4) (l \epsilon_{mp}) \text{이다.}$$

둘째,  $K_2$ 는  $E_{cs-total}$ 을  $K_2$ 로 편미분하면 다음과 같다.

$$K_2 = \sqrt{\frac{N(R_u^4 - 2R_1^2 R_u^2 + R_1^4)}{4R_u^2} (l \epsilon_{fs})} \quad (7)$$

$$\sqrt{l E_{DA} + \frac{R_u^4 - 2R_1^2 R_u^2 + R_1^4}{4K_1^2} (l \epsilon_{mp})}$$

1계층 및 2계층 네트워크의 예상 평균 에너지 잔량은 수식 (8) 및 (9)와 같다.

$$L_1 E_{exp-avg} = L_1 E_{res-avg} - L_1 E_{cs-avg} \quad (8)$$

여기서,  $L_1 E_{res-avg} = L_1 E_{res-total} * \frac{R_a^2}{NR_1^2}$

$$L_1 E_{res-total} = \sum_{i=1}^{K_1} E_{res}(i)$$

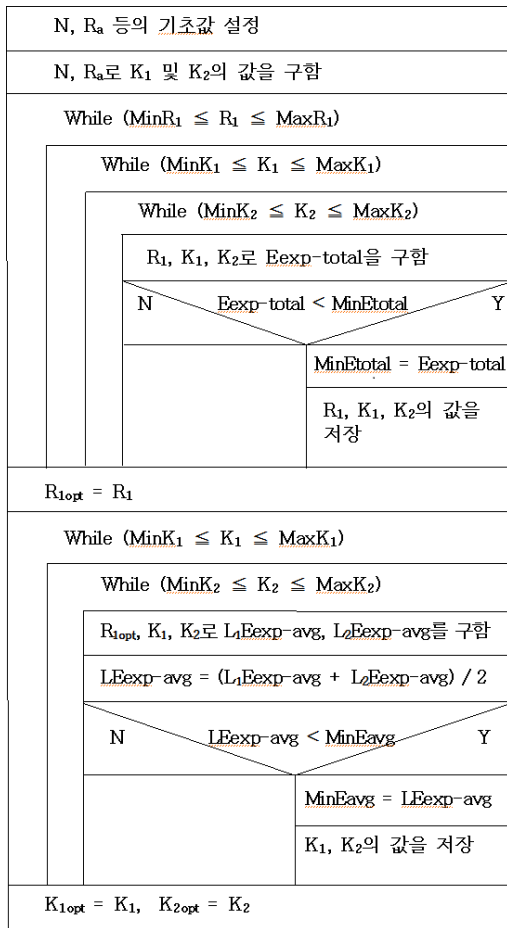
$L_2 E_{exp-avg} = L_2 E_{res-avg} - L_2 E_{cs-avg}$  (9)

여기서,  $L_2 E_{res-avg} = L_2 E_{res-total} * \frac{R_a^2}{NR_1^2}$

$$L_2 E_{res-total} = \sum_{i=1}^{K_2} E_{res}(i)$$

위 수식에서  $L_1 E_{res-total}$  및  $L_2 E_{res-total}$ 은 네트워크의 1계층 및 2계층의 전체 에너지 잔량이다.

최적 계층 크기 및 클러스터 수 산정 알고리즘은 Fig. 4와 같다.



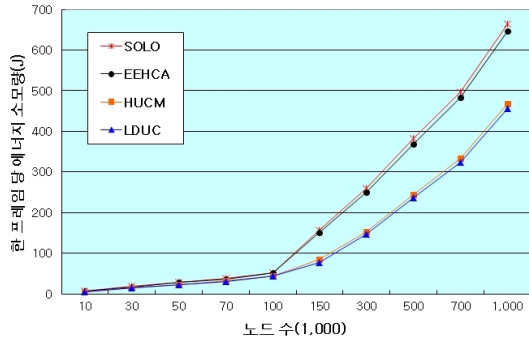
[Fig. 4] Algorithm for Optic Layer Size and Cluster Number Computation

- 1) 네트워크 크기(Ra), 전체 노드수(N) 등의 기초값을 설정한다.
- 2) 지정된 기초값(Ra, N)으로 수식 (6), (7)을 이용하여 1계층 및 2계층의 대강의 클러스터 수(K1 및 K2)를 구한다.
- 3) Ra 값을 이용하여 MinR1과 MaxR1 값을 구하고, 새로운 R1 값이 MinR1과 MaxR1 값 사이에 있을 경우, 다음 로직을 반복 수행한다.
- 4) 위에서 구한 K1 값을 이용하여 MinK1과 MaxK1 값을 구하고, 새로운 K1 값이 MinK1과 MaxK1 값 사이에 있을 경우, 다음 로직을 반복 수행한다.
- 5) 위에서 구한 K2 값을 이용하여 MinK2와 MaxK2 값을 구하고, 새로운 K2 값이 MinK2와 MaxK2 값 사이에 있을 경우, 다음 로직을 반복 수행한다.
- 6) R1, K1, K2 값으로 수식 (2)와 (3)을 이용하여 네트워크 전체 예상 에너지 잔량(Eexp-total)을 구한다.
- 7) 전체 예상 에너지 잔량(Eexp-total)값이 MinEtotal보다 작으면 Eexp-total을 MinEtotal에 옮기고 그에 해당하는 R1, K1 및 K2를 저장한다.
- 8) 위에서 구한 R1을 최적의 에너지를 소모하는 R1opt에 옮긴다.
- 9) 위에서 구한 K1 값을 이용하여 MinK1과 MaxK1 값을 구하고, 새로운 K2 값이 MinK1과 MaxK1 값 사이에 있을 경우, 다음 로직을 반복 수행한다.
- 10) 위에서 구한 K2 값을 이용하여 MinK2와 MaxK2 값을 구하고, 새로운 K2 값이 MinK2와 MaxK2 값 사이에 있을 경우, 다음 로직을 반복 수행한다.
- 11) R1opt, K1, K2 값으로 수식 (4) ~ (9)를 이용하여 1계층 및 2계층의 각 노드의 평균 예상 에너지 잔량인 L1Eexp-avg, L2Eexp-avg 및 그 둘의 평균인 LEexp-avg를 구한다.
- 12) LEexp-avg 값이 MinEavg보다 작으면 LEexp-avg를 MinEavg에 옮기고 그에 해당하는 K1 및 K2를 저장한다.
- 13) 위에서 구한 K1 및 K2를 네트워크 최적의 에너지를 소모하는 K1opt 및 K2opt에 옮긴다.

#### 4. 실험을 통한 비교 및 분석

실험 환경 파라미터는 수식 (2)에서 사용하는 상수와 같고 메시지 길이(l)는 4,000 비트, 각 노드에 주어지는 기본 에너지는 2J이다. 실험 대상은 Solo[1], EEHCA[2], HUCM(Hierarchical Unequal Clustering Method)[3] 및 본 논문에서 제안한 LDUC의 4가지이다. 네트워크의 크기

즉,  $R_a$ 가 600m,  $R_i$ 이 300m일 때 네트워크 노드 수(N)가 10,000, 30,000, 50,000, 70,000 및 100,000인 경우와  $R_a$ 가 1,200m,  $R_i$ 이 600m일 때 N가 150,000, 300,000, 500,000, 700,000 및 1,000,000인 경우의 한 프레임 당 사용되는 총 에너지 소모량 그래프는 Fig. 5와 같다.

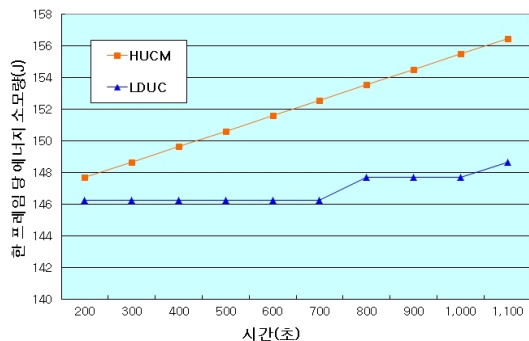


[Fig. 5] A Total Energy Consumption per 1 Frame on Network Size and Node Numbers

$R_a$ 가 600m일 경우는 4가지 실험 대상의 에너지 소모량은 큰 차이가 없으나  $R_a$ 가 1,200m일 경우는 노드수가 많아질수록 차이가 더 커진다.

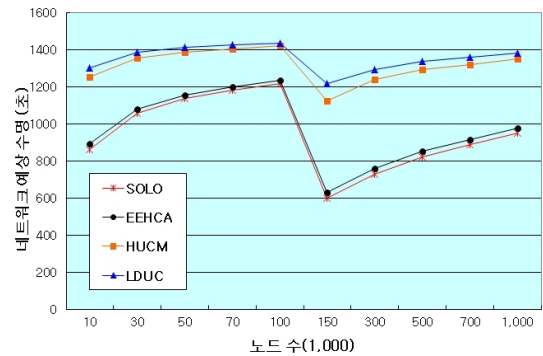
LDUC와 Solo 및 EEHCA의 에너지 소모량 차이는 LDUC가 여러 개의 클러스터에 있는 병합된 CH 데이터를 클러스터 그룹의 CGH로 병합하여 BS에 송신하기 때문에 그 에너지 효율이 커진 것으로 보인다. LDUC와 HUCM의 에너지 소모량 차이는 큰 차이가 없는 것으로 보인다. 그러나 이는 특정 시간대에 사용되는 한 프레임 당 에너지 소모량이고 Fig. 6과 같이 시간이 경과할수록 에너지 소모량의 차이는 커진다.

$R_a$ 가 1,200m,  $R_i$ 이 600m이고 N가 300,000일 경우, 시간 변화에 따른 한 프레임 당 사용되는 총 에너지 소모량 그래프는 Fig. 6과 같다.



[Fig. 6] A Total Energy Consumption per 1 Frame on Time Transition

Fig. 6과 같이 시간 변화에 따른 HUCM과 LDUC의 한 프레임 당 총 에너지 소모량은 네트워크를 처음 구축할 때에는 크게 차이가 나지 않지만 시간이 흐를수록 그 격차가 벌어진다. 그것은 정적 클러스터링인 HUCM은 처음에는 CH를 지정하는데 큰 무리가 없으나 시간이 지남에 따라 CH가 클러스터의 중심부보다는 가장자리에 치우치기 때문인 것으로 보인다. 또한 각종 환경 변화적인 요소를 감안하는 능력이 약한 것으로 보인다. 이와 반대로 LDUC는 시간이 지나도 에너지 소모량에 큰 차이를 보이지 않는 것은 동적 클러스터링을 이용하여 CH가 중심부에 위치하도록 유도하고, 항상 적절한 클러스터 수를 유지하기 때문인 것으로 보인다.



[Fig. 7] A Network Expectation Lifetime on Network Size and Node Numbers

네트워크 크기 및 노드 수가 Fig. 5의 실험과 같은 조건일 때, 네트워크 크기 변화에 따른 네트워크 예상 수명 그래프는 Fig. 7과 같다.

$R_a$ 가 600m일 경우 4가지 실험 대상에서 LDUC는 HUCM에 비해 1.2% ~ 3.8%, EEHCA에 비해 16.2% ~ 46.2% 네트워크 수명이 늘어난다. 또한  $R_a$ 가 1,200m일 경우 LDUC는 HUCM에 비해 2.2% ~ 8.2%, EEHCA에 비해 41.4% ~ 93.6% 네트워크 수명이 늘어난다.

LDUC와 EEHCA의 수명 차이는 LDUC가 동적 불균형 클러스터링 동시에 여러 개의 클러스터를 그룹으로 묶어서 관리하기 때문에 에너지 효율성 측면에서 차이가 큰 것으로 보인다. LDUC와 HUCM의 수명 차이는 네트워크 크기가 커질수록 그 차가 커진다. 그 이유는 HUCM은 정적 클러스터링 LDUC는 동적 클러스터링이므로 라운드별 클러스터 수, CH의 위치 등의 영향이 대형 네트워크일 경우 더 커지는 것으로 보인다.

## 5. 결론

불균형 클러스터링은 클러스터의 크기를 서로 다른 크기로 나누는 방법으로 균형 클러스터링에 비해 핫스팟 문제를 어느 정도 해결할 수 있으므로 전체 네트워크의 에너지 소모량을 줄인다. 본 논문의 목적은 이러한 불균형 클러스터링을 기본 모델로 하여 동적인 클러스터링을 이용하여 라운드별로 클러스터 내에서 에너지 소모를 최소화하도록 CH를 배치시키고 또한 계층별 최적의 클러스터 수를 찾아내어 새로운 클러스터를 형성함으로써 네트워크의 전체 수명을 최대한 늘리는 것이다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하고 네트워크의 수명을 최대한 연장하기 위해 네트워크 계층별 노드의 평균 에너지 소모량을 최적화하는 계층 기반의 동적 불균형 클러스터링 기법을 제안한다. 제안된 알고리즘은 수식 (2)와 같은 제한된 실험 환경에서 EEHCA에 비해 16.2% ~ 93.6%, HUCM에 비해 1.2% ~ 8.2% 정도의 네트워크 수명이 연장되었음을 확인하였다.

본 논문에서는 기본 에너지 등 모든 센서 노드의 사양이 동등한 동형(homogeneous) 네트워크를 고려하였으나 산업체 등의 실무 배치에서 유용한 이형(heterogeneous) 네트워크에 대한 연구가 추가로 필요하다.

## References

- [1] S. Soro, 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.
- [2] Guan Xin, Wu Hua Yang, Bi DeGang "EEHCA: An Energy-Efficient Hierarchical Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks," Information Technology Journal 7, pp.245-252, 2008, [Article\(CrossRefLink\)](#)
- [3] Jin-Su Kim, Seung-Soo Shin, "An Energy Consumption Model using Hierarchical Unequal Clustering Method," Journal of KAIS, Vol. 12, No. 6, 2011.
- [4] Min-Woo Park, Jin-Young Choi, Young-Ju Han, Tai-Myoung Chung, "An Energy Efficient Concentric Clustering Scheme in Wireless Sensor Networks," KSII, 2009 Conference, pp.127-132, 2009.
- [5] Guihai Chen, Chengfa Li, Mao Ye, Jie Wu, "An Unequal Cluster-Based Routing Protocol in Wireless Sensor Networks," Springer Science + Business Media, LLC 2007.

- [6] W. B. Heinzelman, "Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol.1, NO. 4, pp.660-670, Oct, 2002, [Article\(CrossRefLink\)](#)
- [7] T. Rappaport, "Wireless Communications: Principles & Practice," Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.
- [8] Jin-Su Kim, "An Algorithm of Prolonging the Lifetime using Unequal Clustering," KCS 2011 Conference, 2011.

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 향만물류학부 교수

<관심분야>

데이터베이스, 센서 네트워크, 소프트웨어 공학