

## Zigbee 환경에서 그룹 크기 조정에 의한 에너지 효율적인 클러스터링 기법

박종일\* · 이경화 · 신용태

### An energy efficient clustering scheme by adjusting group size in zigbee environment

Jong-il Park\*, Kyoung-hwa Lee, and Yong-tae Shin

#### Abstract

The wireless sensor networks have been extensively researched. One of the issues in wireless sensor networks is a developing energy-efficient clustering protocol. Clustering algorithm provides an effective way to extend the lifetime of a wireless sensor networks. In this paper, we proposed an energy efficient clustering scheme by adjusting group size. In sensor network, the power consumption in data transmission between sensor nodes is strongly influenced by the distance of two nodes. And cluster size, that is the number of cluster member nodes, is also effected on energy consumption. Therefore we proposed the clustering scheme for high energy efficiency of entire sensor network by controlling cluster size according to the distance between cluster header and sink.

**Key Words** : clustering, wireless sensor network, zigbee, power saving scheme, LEACH

## 1. 서 론

Zigbee 환경에서는 에너지를 효율적으로 활용하기 위해 계층적 라우팅 방법인 클러스터링을 활용한다. 각 센서 노드들은 클러스터에게 자신의 센싱 데이터를 전송하고 헤더는 이를 수집하여 Sink 노드에게 전달함으로써 모든 노드가 Sink로 데이터를 전송하는 부담을 줄여 전체 네트워크의 에너지 효율을 극대화한다.

최근 클러스터링을 활용한 전송 프로토콜이 많이 연구되었으며<sup>[1,2]</sup>, 그 중 대표적인 프로토콜로는 LEACH (low energy adaptive clustering hierarchy)와 HEED(hybrid, energy-efficient approach) 등이 있다. LEACH는 확률적인 방법에 의해 일정 시간 동안 헤더를 변경하는 방식이며, HEED는 각 노드의 잔여 에너지양에 따라 클러스터 헤더를 선출하는 방식이다. 그러나 LEACH나 HEED의 경우 각 클러스터의 에너지 소비에 대한 형평성을 고려하지 않고 있기 때문에, 전체 에

너지 효율이 떨어진다는 단점이 나타날 수 있다.

본 논문에서는 소규모 Zigbee 환경에서 위와 같은 단점을 극복하고 에너지 효율성을 높이기 위해 Sink와 거리에 따라 클러스터의 크기를 조절하여 에너지 효율을 높일 수 있는 클러스터링 기법을 제안하고자 한다.

본 논문의 2장에서는 관련연구로써 기존에 제안된 클러스터링 기법을 살펴본다. 3장에서는 제안하는 클러스터링 알고리즘을 제시하고, 4장에서는 제안하는 알고리즘의 성능평가를 수행한다. 5장에서는 결론으로 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

## 2. 관련 연구

LEACH는 클러스터링 기반 라우팅 기법으로, 클러스터 헤드가 클러스터의 멤버 노드들로부터 데이터를 수집하여 직접 싱크로 전달한다. 이 기법의 특징은 네트워크에 있는 모든 센서 노드들에 에너지 소비를 공정하게 분산시키기 위해, 에너지 집약적인 기능을 하는 클러스터 헤드를 무작위로 순환시키고, 전체적인 통신 비용을 줄이기 위해 클러스터 헤드에서 클러스터내의 데이터를 모아 지역적으로 aggregation하는 것이다.

\*송실대학교 대학원 컴퓨터학과(Dept. of Computer Science, Graduate School of Soongsil University)

†Corresponding author : jipark@cherry.ssu.ac.kr

(Received : May 25, 2010, Revised : August 2, August 26, 2010  
Accepted : August 26, 2010)

각 라운드는 크게 클러스터가 형성되는 Setup 단계와 여러 개의 TDMA 프레임으로 구성되는 Steady-state 단계로 구성된다. Setup 단계의 시작에서 모든 노드는 자신이 현 라운드동안 클러스터 헤드가 될 수 있을지에 대해 이전 라운드들 동안 클러스터 헤드였는지의 여부와 이상적 클러스터 헤드 수에 기반을 두고 결정한다.

현 라운드동안, 클러스터 헤드로 결정된 경우, 이를 이웃 센서 노드들에 알린다. 이를 수신한 비클러스터 헤드 노드들은 수신 강도 등의 파라미터를 기반으로 클러스터 헤드를 결정하며, 이를 클러스터 헤드로 전송하여 클러스터가 구성된다. 클러스터가 형성되면, 클러스터 헤드는 클러스터 멤버들의 데이터 전송 순서를 지시하는 TDMA 스케줄을 방송하고, Steady-state 단계로 간다. Steady-state 단계에서 각 클러스터 멤버 노드들은 자신의 전송 슬롯에서만 데이터를 전송하고 나머지 슬롯들에서는 sleep 모드로 가서 전력 소모를 줄인다.

LEACH에서는 클러스터 내부에서는 TDMA를 사용하여 노드간 간섭을 피하고, 클러스터간의 간섭을 피하기 위하여 각 클러스터들이 서로 다른 확산 코드를 사용하는 방법을 채택한다.

LEACH의 성능은 매 라운드마다 일정한 수의 클러스터를 구성하고, 클러스터 헤드가 고르게 배치되는데 있으나, 자기 스스로 선출하는 방법으로는 이를 보장할 수가 없다. 또한 각 클러스터 마다 지정된 노드의 수를 결정할 수 있는 제한이나 규칙이 없기 때문에, 각 클러스터 별 에너지 소비량에 차이가 발생한다. 싱크에서 센서 노드의 위치 정보와 에너지 보유량을 고려하여, 클러스터 헤드와 클러스터를 결정하는 LEACH-C(LEACH-centralized) 기법도 제안되었다.

LEACH-C는 클러스터 헤드의 결정권을 Sink에게 넘김으로써 헤더 결정에 따른 에너지 소모를 줄인다<sup>[4]</sup>. Sink는 헤더 결정을 위해 각 노드들의 위치와 에너지 정보를 확인하여 클러스터 헤드를 결정하는 기법이다. 그러나 LEACH-C는 위치와 에너지 정보 확인을 위한 부가적인 오버헤드가 발생하고 라운드마다 BS와 통신을 하기 위한 에너지 손실률이 매우 크다. 그러나 LEACH-C 역시 클러스터의 규모에 대한 별다른 정의가 없으므로 모든 클러스터의 균등한 에너지 소비를 보장할 수 없기 때문에, 전체적인 에너지 효율은 낮아지게 된다.

본 논문에서는 클러스터와 Sink 간의 전송은 중계 없는 직접 통신으로 가정하여 처리한다. 이것은 중계할 경우 한 클러스터 영역의 데이터를 중계해야 할 노드의 에너지 소모량이 클러스터 헤더와 비슷해지므로 전체적인 센서 네트워크의 에너지 소모량이 증가하게 되

기 때문이다. 게다가 헤더와 헤더 간의 통신에 의해 전송을 하게 될 경우, 중계 역할을 수행하는 헤더의 에너지 소모량은 중계에 참여하지 않는 클러스터 헤더의 약 2배 이상의 에너지를 소모하게 된다. 따라서 모든 노드가 Sink와 직접 통신이 가능한 영역에서의 센서 네트워크인 경우, 클러스터와 Sink 간의 전송은 중계 없는 직접 통신 방식이 적합하다.

이와 같은 상황에서의 클러스터링은 Sink와의 거리에 따라서 클러스터 헤더가 소모하는 에너지양이 달라진다. 센서 네트워크에서의 에너지 소모량은 전송 거리의 제곱에 비례하기 때문에 Sink와 인접한 클러스터 헤더는 원거리의 클러스터 헤더보다 에너지 소모율이 적다. 즉 Sink와의 거리가 멀면 멀수록 센서의 생존 시간이 짧아지게 되고 이는 곧 전체 센서 네트워크의 수명을 단축시키게 된다. 따라서 모든 클러스터의 균등한 에너지 소비량을 유도함으로써 전체 네트워크의 수명을 증가시킬 수 있게 된다. 본 논문에서는 클러스터의 노드 수를 조절하여 각 클러스터에서 에너지양을 균등하게 소모하여 전체 네트워크의 수명을 늘릴 수 있는 클러스터링 기법을 제안한다.

### 3. 그룹크기 조절에 따른 클러스터링

#### 3.1. 제안하는 클러스터링 기법

본 논문에서 제안하는 클러스터링 알고리즘은 Sink와의 거리에 따라 클러스터들의 에너지 소모량이 일정하도록 각 클러스터의 크기를 조절하는 것으로, 이때 클러스터의 크기는 멤버 노드의 개수가 된다. 센싱 영역의 모든 노드는 자신의 위치 정보를 바탕으로 Sink와의 거리를 계산한다. 이때 계산된 거리 값은 노드들을 Class화 하는데 사용한다. 즉, 모든 노드들을 Sink와의 거리 값에 따라 Sink에 인접한 노드들부터 Class 0부터 Class  $n$ 으로 구분하고, 이 Class에 따라서 그룹의 크기를 지정하는 것이다. 제안하는 클러스터링 알고리즘의 전체적인 알고리즘은 다음과 같다.

- ① Sink는 자신의 위치정보와 기준값을 센싱 영역 전체에 방송
- ② 각 노드는 Sink의 위치정보와 자신의 위치정보로 거리를 계산
- ③ 각 노드는 기준값과 계산된 거리값으로 자신의 Class를 결정
- ④ 각 Class 중간지점의 일부 노드는 클러스터 헤드 공지
- ⑤ 클러스터 설정 후 일정 라운드까지 데이터 전송
- ⑥ 일정 라운드 이후 클러스터 헤더 이주

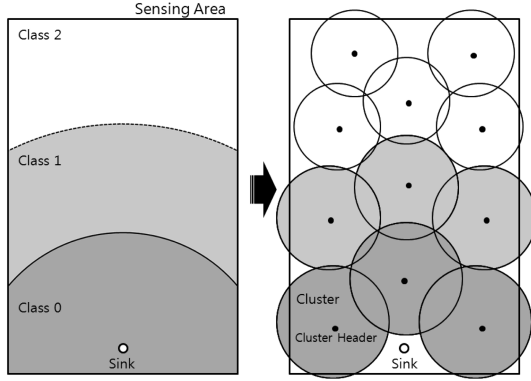


Fig. 1. Proposed clustering scheme.

노드의 Class 구분을 위한 기준값은 W. B. Heinzelman이 제안한 센서 네트워크의 에너지 소비 모델<sup>[7]</sup>에서 근거리와 원거리 전송을 구분하는 거리 값인  $l$ 를 활용하여 도출한다.

Class에 따른 클러스터의 크기는 Class 0 > Class 1 > ... > Class  $n$ 이 되도록 지정한다. 본 논문에서는 클러스터링 알고리즘을 그 범위로 하기 때문에, 클러스터 헤더의 재전송 및 이주와 관련된 사항은 향후연구에서 다루도록 하겠다. 제안하는 클러스터링 기법을 도식화하면 Fig. 1과 같다.

### 3.2. 클러스터 에너지 소모량 분석

W. B. Heinzelman은 한 센서 노드에서 소모되는 에너지를 분석하기 위해 다음의 식을 사용하였다<sup>[6,8]</sup>.

$$E_T(l, d) = \begin{cases} lE_{elec} + l\epsilon_{fs}d^2 & \text{if } d \leq d_0 \\ lE_{elec} + l\epsilon_{mp}d^4 & \text{if } d > d_0 \end{cases} \quad (3)$$

여기서  $l$ 은 데이터 크기,  $E_{elec}$ 은 송신에서의 소모되는 전자 에너지(electronics energy)이고,  $\epsilon_{fs}$ 는 짧은 거리 송신을 위한 증폭에너지(amplifier energy-free space model),  $d$ 는 수신자와 송신자 사이의 전송 거리,  $\epsilon_{mp}$ 는 먼 거리 송신에 필요한 증폭 에너지(amplifier energy-multipath model)이다. 이때  $d = d_0$  라고 하면,  $d_0$ 는 다음과 같다<sup>[6,7]</sup>.

$$d_0 = \sqrt{\epsilon_{fs}/\epsilon_{mp}} \quad (4)$$

$l$  bit 메시지를 전송받는데 드는 에너지양은 다음과 같다.

$$E_R(l) = lE_{elec} \quad (5)$$

Sink가 전체 센싱 영역의 중심에 있으며, 클러스터

헤더와 Sink 간 거리  $d_s$ 가  $d_s \leq d_0$  라고 가정할 때, 클러스터 헤더가 한 라운드에서 소모하는 에너지양은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E_{CH}(l) = \left(\frac{n}{n_c} - 1\right)lE_{elec} + \frac{n}{n_c}lE_{DA} + l_A E_{elec} + l_A \epsilon_{fs} d_s^2 \quad (6)$$

전체 센싱 영역이  $M \times M$ 이라고 할 때,  $n$ 은 센서 노드의 개수,  $n_c$ 는 클러스터 헤더의 개수를 나타내며,  $E_{DA}$ 는 데이터 Aggregation에 소모되는 에너지이며,  $l_A$ 는 Aggregation된 데이터 크기를 나타낸다.  $l_A$ 는 다음과 같다.

$$l = l_H + l_D + l_F \quad (7)$$

$$l_A = l_H + \frac{n}{n_c}l_D + l_F \quad (8)$$

여기서  $l_H$ 는 패킷의 header,  $l_D$ 는 데이터,  $l_F$ 는 footer의 길이를 각각 나타낸다. 헤더와의 거리가  $d_H$ 인 일반 노드에서의 에너지 소모량은 다음과 같다.

$$E_{nonCH}(l) = lE_{elec} + l\epsilon_{fs}d_H^2 \quad (9)$$

따라서 한 클러스터에서 소모하는 전체 에너지양은 다음과 같다.

$$E_{cluster} \approx E_{CH} + \frac{n}{n_c}E_{nonCH} \quad (10)$$

### 3.3. 균등한 에너지 소모를 위한 클러스터 간 노드 개수

두 클러스터 A와 B가 존재하며 클러스터 A가 클러스터 B에 비하여 Sink에 인접해 있다고 가정할 때, 각 클러스터 헤더의 에너지 소모량은 식 (6)를 통해서 얻을 수 있다. 각 클러스터의 멤버 노드의 수가  $N$ 으로 동일하고 클러스터 A의 헤더와 Sink 간의 거리가  $d_1$ , 클러스터 B의 헤더와 Sink 간의 거리가  $d_2$ 일 때, 이 두 값은 식 (6)에 적용하면, A 헤더의 에너지 소모량은

$$E_A = (N-1)lE_{elec} + NlE_{DA} + l_A E_{elec} + l_A \epsilon_{fs} d_1^2 \quad (11)$$

이며, B 헤더의 에너지 소모량은

$$E_B = (N-1)lE_{elec} + NlE_{DA} + l_A E_{elec} + l_A \epsilon_{fs} d_2^2 \quad (12)$$

가 될 것이다. 여기서  $d_1 < d_2$  이므로,  $E_A < E_B$ 가 된다.

$d_1$ 과  $d_2$ 를 변경할 수 없는 상황에서 두 클러스터 헤더의 에너지 소모량이 같아지도록 하기 위해서 변경할 수 있는 값은  $N$ 뿐이다. 즉 Sink와 가까운 클러스터 A의 멤버 노드 수를 증가시키거나, 먼 클러스터 B의 멤

버 노드 수를 감소시킴으로서 두 클러스터 헤더의 에너지 소모량을 동일하게 만들 수 있다. 이러한 방식으로 전 클러스터의 에너지 소모량을 균형 있게 만들어 센서 네트워크의 Life time을 증가시킬 수 있게 된다.

전체적인 Life time을 증가시키기 위해서는 에너지 소모가 적은 클러스터를 기준으로 삼는 것이 적당하기 때문에, 클러스터 B의 멤버 노드 수를 감소시킨다.

클러스터 B의 멤버 노드 수를  $\alpha$ 만큼 감소시킨다고 할 때,  $\alpha$ 를 식 (12)에 적용한다.

$$E_B = (N - \alpha - 1)E_{elec} + (N - \alpha)E_{DA} + l_A E_{elec} + l_A \epsilon_{fs} d_s^2 \quad (13)$$

여기서  $E_A = E_B$  일 때,  $\alpha$ 를 도출하면 다음과 같다.

$$\alpha = \frac{\epsilon_{fs}(d_2^2 - d_1^2)l_A}{l(E_{elec} + E_{DA}) - \epsilon_{fs}d_2^2} \quad (14)$$

### 3.4. Class화를 위한 기준값 도출

Class화를 위한 기준값은 에너지 소모량에 영향을 주는 요소이지만, 큰 비중을 차지하지 않는다. 이것은 전체 센싱 영역의 넓이, 센서 노드의 초기 에너지양, 최적화된 클러스터의 개수, 또는 실험에 따른 적정 값으로 도출할 수 있다.

본 논문에서는 각 센서 노드는 자신의 Class를 정하기 위해 Sink와의 거리와 에너지 소비 모델의  $d_0$ 로 도출한 기준값을 사용한다. Sink로부터 센싱하는 전체 영역의 가장 먼 가장자리까지의 거리가  $R$ 일 때, 기준값  $d_i$ 는 다음과 같다.

- ① if  $R \leq \frac{d_0}{2}$ ,  $d_i = 0$  (No Classification)
- ② if  $\frac{d_0}{2} < R \leq d_0$ ,  $d_i = \frac{d_0}{2}$  (2 Classification)
- ③ if  $d_0 < R \leq 2d_0$ ,  $d_i = \frac{2d_0}{3}$  (3 Classification)

본 논문에서는  $R$ 이  $2d_0$ 보다 클 경우도 ③의 값을 기준값으로 한다. 추가적으로 Class에 따른 클러스터의 개수를 최적화하면 좀 더 효율적인 에너지 소모율을 갖는 알고리즘을 구현할 수 있다. W. B. Heinzelman이 제안한 최적화된 클러스터의 개수는 다음 식 (15)과 같다<sup>[6]</sup>.

$$k_{opt} = \frac{\sqrt{N}}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\frac{\epsilon_{fs} M}{\epsilon_{mp} d^2}} \quad (15)$$

여기서  $d$ 는 Sink와의 거리를 나타내며, 은 전체 노드  $N$ 의 개수,  $M$ 은 센싱 영역의 한 변을 나타낸다<sup>[6]</sup>. W.

B. Heinzelman은 식 (15)을 통해  $M \times M$  영역에서 노드가  $N$ 개 일 때의 최적화된 클러스터 개수를 구할 수 있다. 이를 본 논문에 적용하여, 각 Class 별로 최적화된 클러스터 개수를 구한다.

$$k_{c-opt} = \frac{\sqrt{N_{Class}}}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\frac{\epsilon_{fs} M_{Class}}{\epsilon_{mp} d_C^2}} \quad (16)$$

Class의 최적화된 클러스터 개수  $k_{c-opt}$ 는 Class의 노드 개수  $N_{Class}$ 와 클래스 면적  $M_{Class}$ , Class에 속한 노드와 Sink 간의 평균 거리  $d_C$ 를 사용하여 구한다. 여기서 도출된 클러스터 개수는 한 클러스터의 멤버 노드 수, 즉 클러스터의 크기를 결정하는데 사용할 수 있을 것이다.

## 4. 성능 평가

본 논문에서 제안하는 기법의 성능평가를 위한 환경 설정은 다음과 같다.

Network grid	100m × 100m
Length of Data	1000bit
Length of Header	310bit
Length of Footer	2bit
Electronics energy, $E_{elec}$	50nJ/bit
Data Aggregation energy, $E_{DA}$	50nJ/bit/report
Transmitter energy, $\epsilon_{fs}$	10nJ/bit/m <sup>2</sup>
Amplifier energy, $\epsilon_{mp}$	0.0013pJ/bit/m <sup>4</sup>
$d_0 = \sqrt{\epsilon_{fs}/\epsilon_{mp}}$	87m

각 클러스터에서 Sink로 데이터를 전송하는 방법은 1-hop 또는 Multi-hop이 될 수 있으나, 본 논문에서 설정한 환경 하에서, 근거리 전송과 원거리 전송에 대한 증폭 에너지의 기준 값인  $d_0$ <sup>[3]</sup>가 전체 전송 영역의 반경보다 크기 때문에, 클러스터 헤더와 Sink 간의 전송은 중계 없는 1-hop 전송 방식으로 처리된다고 가정한다.

따라서 본 논문에서는 클러스터 헤더와 Sink 간의 전송은 중계 없이 이루어진다고 가정할 때, 한 클러스터링 영역의 에너지 소모량에 큰 영향을 주는 것은 멤버 노드의 수와 Sink까지의 거리이다. 이러한 환경 하에서 노드의 수와 Sink까지의 거리에 변화를 주어 측정된 결과는 Fig. 2와 같다.

Fig. 2로 알 수 있는 것은 멤버 노드 수의 증가보다 Sink와의 거리 차에 따라 에너지 소모량이 크게 증가한다는 것이다. 위의 환경에서 거리에 따라 두 클러스터의 에너지 소모량을 동일하게 하기 위한  $\alpha$ 는 Fig. 3

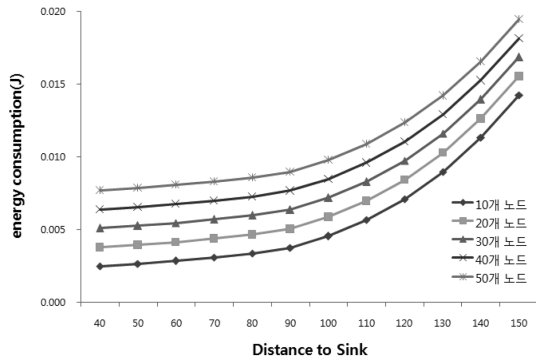
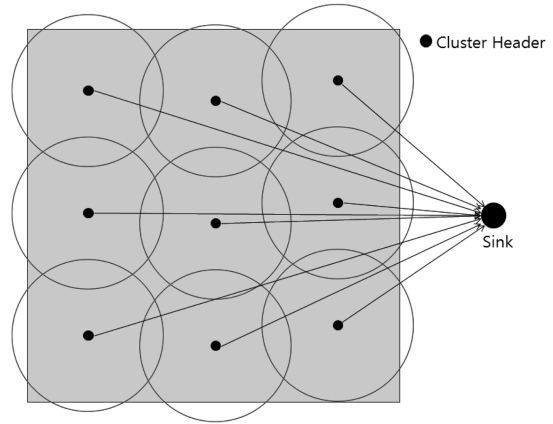


Fig. 2. Energy consumption of cluster header according to node number and distance.



(a) LEACH

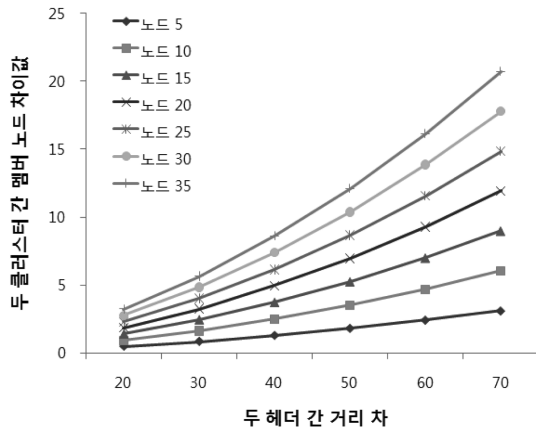
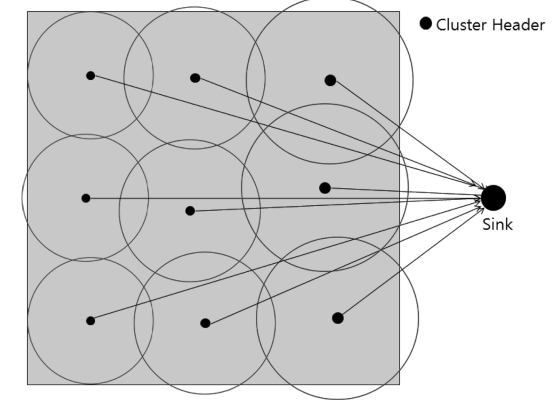


Fig. 3. Differential value.



(b) Proposed scheme

Fig. 4. Simulation Environment.

과 같이 나타난다.

Fig. 3은 두개의 클러스터에 대해서, 각 클러스터 헤더와 Sink의 거리가 Fig. 3의 X축의 값과 같을 때, 식 (13)과 (14)에 이때의 멤버 노드 수와 거리 값을 적용한 결과이다. 거리의 차가 늘어날수록  $\alpha$ 는 기하급수적으로 증가하게 된다.  $\alpha$ 의 값이 너무 크게 될 경우 Class별 클러스터의 멤버수가 너무 큰 차이를 보이게 되므로 적절한 조절이 요구된다.

위의 환경 설정과  $\alpha$ 를 적용한 본 논문의 성능 평가를 위한 시뮬레이션 환경은 Fig. 4와 같다.

통신 중에 나타나는 저항값은 일정하며 통신 거리에 따라서만 잔여 에너지량이 달라진다. 초기에 각 센서 노드에 설정된 에너지가 2J이라고 할 때 LEACH와 제안하는 기법의 에너지 소모량에 따른 노드 생존율은 Fig. 5와 같다.

Fig. 5의 결과에서 볼 수 있듯이 모든 노드의 생존시

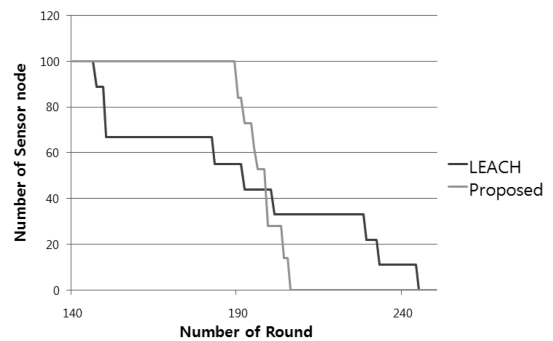


Fig. 5. Simulation result.

간이 LEACH 보다 제안하는 기법이 오랫동안 지속되는 것을 확인할 수 있다. LEACH의 경우 146 round 이후부터 네트워크에 참여하는 노드의 수가 감소하는 반면, 제안하는 기법의 경우 189 round 이후부터 참여

노드의 수가 감소한다. 즉 제안하는 클러스터링 기법의 전체 네트워크 생존율이 LEACH보다 1.3배 높다. 비록 전체 노드가 자신의 모든 에너지를 소모하는 시점은 LEACH가 더 길지만, 이때의 노드 생존율이 40% 미만이 되기 때문에, 네트워크가 유지된다고 보기는 어렵다.

## 5. 결 론

멤버 노드의 데이터를 수집하여 Sink로 보내는 클러스터링 기법의 경우 대부분의 에너지는 데이터의 전송에 사용되며, 이때 소모되는 에너지는 Sink와의 거리와 멤버노드의 수에 큰 영향을 받게 된다.

본 논문에서는 Sink와의 거리에 따라 클러스터의 멤버 노드 수를 조절하여 전체적인 에너지 효율을 높일 수 있는 클러스터링 기법을 제안하였으며, 제안한 알고리즘을 LEACH와의 비교 분석을 통해 30% 이상 높은 에너지 효율을 보임으로서 성능의 우수성을 입증하였다.

향후에는 Class화를 위한 최적의 기준값 도출 및 각 Class 별 최적의 클러스터 개수 도출 등과 관련된 추가적인 연구를 통해 본 논문을 보완하여 더욱 에너지 효율성을 높일 수 있는 방안을 연구하고 성능평가를 통해 우수성을 입증하도록 하겠다.

## 감사의 글

본 연구를 위해 힘써주신 신용태 교수님과 함께 연구를 진행한 이경화 박사과정 등 선후배님들께 감사의 말씀을 드립니다.

## 참고 문헌

[1] D. Estrin, L. Girod, G. Pottie, and M. Srivastava,

- “Instrumenting the world with wireless sensor networks”, *Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 4, pp. 2033-2036, 2001.
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “A survey on sensor networks,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, 2002.
- [3] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, “Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks”, *System Sciences*, vol. 2, pp. 10-19, 2000.
- [4] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan. “An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks”, *IEEE Transactions on Wireless Communication*, vol. 1, no. 4, 2002.
- [5] O. Younis and S. Fahmy, “HEED: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for Ad Hoc sensor networks”, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 3, no. 4, pp. 366-379, 2004.
- [6] W. B. Heinzelman, “Application-specific protocol architectures for wireless networks”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 1, no. 4, 2002.
- [7] X. Wu, M. A. U. Khan, J. Cho, S. Y. Lee, and Y.-K. Lee, “Energy-efficient clustering with fast data compression in sensor networks”, *International Conference on Hybrid Information Technology (ICHIT'06)*, Cheju Island, Korea, Nov 9-11, 2006, ISBN 0-7695-2674-8, IEEE Computer Society, pp. 403-408.
- [8] S. Bandyopadhyay and E. J. Coyle, “An energy efficient hierarchical clustering algorithm for wireless sensor networks”, *Proceeding of INFOCOM*, 2003.
- [9] Singh. V. Kumar, H.-T. Lim, and W.-Y. Chung, “A wireless sensor network approach to enable location awareness in ubiquitous healthcare applications”, *J. Kor. Sensors Soc.*, vol. 16, no. 4, pp. 277-285, 2007.



### 박 종 일

- 2002년 2월 숭실대학교 컴퓨터학부 졸업 (학사)
- 2004년 8월 숭실대학교 컴퓨터학과 졸업 (석사)
- 2004년 2월~현재 숭실대학교 컴퓨터학과 박사과정
- 주관심분야: Sensor Network, RFID, DRM, Mobile 기술, 정보보호



### 이 경 화

- 2007년 2월 숭실대학교 정보처리학과 (석사)
- 2007년 3월~현재 숭실대학교 컴퓨터학과 박사과정



### 신 용 태

- 1985년 2월 숭실대학교 한양대학교(학사)
- 1990년 2월 University of Iowa Computer Science(석사)
- 1994년 2월 University of Iowa Computer Science(박사)
- 1994년 5월~8월 University of Iowa 객원교수
- 1994년 8월~1995년 1월 Michigan state University 객원교수
- 1995년 3월~현재 숭실대학교 교수