

## 무선 센서 네트워크의 수명연장을 위한 클러스터링 알고리즘

김선철\*, 최승권\*, 조용환\*

### Clustering Algorithm for Extending Lifetime of Wireless Sensor Networks

Sun-Chol Kim\*, Seung-Kwon Choi\*, Yong-Hwan Cho\*

#### 요약

최근 무선 센서 네트워크는 다양한 분야에서 유비쿼터스 컴퓨팅 환경을 구현하기 위해 사용되고 있으며 센서 필드의 정보 수집을 위해 소형의 저전력, 저가격 센서를 사용한다. 본 논문은 이러한 센서 노드의 에너지 효율성을 고려한 클러스터링 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 기존의 LEACH에 기반하며 슬립 기법과 전송 모드의 변경을 통해 네트워크와 노드의 수명을 연장할 수 있다. 제안 알고리즘에서 노드는 이웃 노드들과의 거리를 기반으로 자신의 클러스터링 참여 값을 구하고 자신의 주위에 노드들이 많이 존재한다면 슬립 모드로 대기하도록 한다. 또한 BS로의 데이터 전달에 기존의 싱글 홉 전송만 사용하는 것이 아니라 클러스터 헤드의 에너지 수준에 따라 멀티 홉 전송으로 변경할 수 있도록 하여 에너지를 보존하도록 한다. 제안 기법의 성능을 확인하기 위해 LEACH와 비교 실험을 수행하였으며 특히 불균일하게 노드가 배치된 네트워크에서 제안기법의 성능이 우수함을 확인하였다.

▶ Keywords : 무선 센서 네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅, 클러스터링, 라우팅 기법

#### Abstract

Recently, wireless sensor network(WSN) have been used in various fields to implement ubiquitous computing environment. WSN uses small, low cost and low power sensors in order to collect information from the sensor field. This paper proposes a clustering algorithm for energy efficiency of sensor nodes. The proposed algorithm is based on conventional LEACH, the representative clustering protocol for WSN and it prolongs network and nodes life time using sleep technique and changable transmission mode. The nodes of the proposed algorithm first calculate their clustering participation value based on the distance to the neighbor nodes. The nodes located in high density area will have clustering participation value and it

•제1저자 : 김선철 •교신저자 : 조용환

•투고일 : 2014. 12. 19, 심사일 : 2015. 1. 13, 게재확정일 : 2015. 3. 25.

\* 충북대학교 컴퓨터공학과(Dept. of Computer Engineering, Chungbuk National University)

※ 이 논문은 2013년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

(This paper was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2013)

can turn to sleep mode. Besides, proposed algorithm can change transmission method from conventional single-hop transmission to multi-hop transmission according to the energy level of cluster head. Simulation results show that the proposed clustering algorithm outperforms conventional LEACH, especially non-uniformly deployed network.

▶ Keywords : WSN, Ubiquitous Computing, Clustering, Routing Scheme

## I. 서 론

무선 센서 네트워크는 최근 이슈가 되고 있는 유비쿼터스 컴퓨팅의 기반 기술로서 많은 관심을 받고 있는 분야이다. 무선 센서 네트워크는 감지, 저장, 처리, 통신이 가능한 센서 노드들의 집합으로 구성된다(1). 센서 노드는 데이터를 수집하고 수집된 데이터는 무선 채널을 통해 BS(Base Station)으로 전달되며 이 데이터들은 최종적으로는 응용 서비스에 전달된다(2). 이러한 무선 센서네트워크는 사람이 상주하기 어려운 환경이나 접근이 어려운 곳에서 정보를 수집하고 처리하는 데에 유용하게 사용될 수 있다.

무선 센서 네트워크의 가장 큰 관심사는 각 센서 노드의 에너지 소모를 최소화하는 것이다. 네트워크 수명을 첫 번째 노드의 에너지가 모두 소모되는 시점이라 생각했을 때, 모든 센서 노드들의 에너지 소모를 균일하게 유도하는 것이 네트워크의 수명을 연장하는 것이며 이를 위한 다양한 방법들이 연구되고 있다(3)(4).

본 논문에서는 클러스터를 구성할 때 노드 주변의 이웃 노드의 수를 검사하고 이웃 노드가 충분히 많은 경우, 일부 센서 노드들이 슬립 모드로 에너지를 보존할 수 있는 클러스터링 알고리즘을 제안한다.

또한 클러스터 헤드에서 BS로의 데이터 전송을 노드의 에너지 레벨에 따라 싱글 홉 전송에서 멀티 홉 전송으로 변경할 수 있는 전송 방식을 제안한다. 제안 알고리즘에서는 센서 노드들이 처음 배치되어 에너지 수준이 높을 때에는 지연이 작은 싱글 홉 방식을 사용하도록 하고 에너지 수준이 임계치보다 낮아지는 경우 멀티 홉 방식으로 인근 클러스터 헤드를 통해 BS로 데이터를 전송하도록 하였으며 이를 통해 전체 네트워크 수명을 증대시킬 수 있다.

## II. 관련 연구

무선 센서 네트워크는 원격 환경 감시등에서 유용하게 사용될 수 있다. 이러한 환경에서 인접한 센서 노드들의 데이터는 서로 관련이 있기 때문에 동일한 이벤트에 대한 중복 데이터가 생성될 수 있다. 그러나 일반적으로 최종 사용자는 이러한 중복 데이터를 필요로 하지 않으므로 LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)에서는 클러스터 헤드가 중복된 데이터를 병합하여 기지국으로 전송하도록 한다. LEACH 에서는 다음과 같은 사항을 가정하고 있다(5). 먼저 LEACH는 기본적으로 모든 노드들이 BS까지 직접 데이터를 전송할 충분한 전력을 가지고 있고 각 노드는 송신 전력을 변동할 수 있는 전력 컨트롤이 가능하다고 가정하고 있다. 또한 노드들은 다양한 MAC 프로토콜을 지원하는데 필요한 계산 전력을 가지고 있고 신호 처리 함수를 수행하는데 필요한 계산 전력을 가지고 있다고 가정하여 노드의 에너지 상황을 유추할 수 있도록 하였다.

LEACH 에서 여러 센서 노드들이 모여 하나의 클러스터를 구성하며 클러스터 내의 노드들 중 하나는 클러스터 헤드가 된다. 모든 멤버 노드들은 자신의 데이터를 클러스터 헤드에게 보내고, 클러스터 헤드는 이 데이터들을 수신한 후 BS로 전송한다. 클러스터 헤드는 에너지 소모가 많으므로 LEACH 에서는 센서 노드들의 에너지 소모를 균등하게 하기 위하여 클러스터 헤드를 라운드마다 랜덤하게 선출하여 교체한다. 다음의 식은 클러스터 헤드 재선출을 위한 식이다.

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

여기서,  $T(n)$ 은 클러스터 헤드 선출을 위한 임계값,  $P$ 는 전체 노드 중 클러스터 헤드의 비율,  $t$ 은 현재 라운드, 그리고  $C_n$ 는 클러스터 헤드가 아닌 센서 노드들의 집합을 나타낸다. 노드가  $r \bmod 1/p$  라운드 동안 클러스터 헤드였다면 클러스터 헤드 후보에서 제외되며 클러스터 헤드 후보 중 계산된 임계값  $T(n)$ 과 0과 1사이에서 생성된 난수 값과 비교하여 임계값이 더 큰 경우 클러스터 헤드로 선정된다. 한번 클러스터 헤드로 선택된 노드는  $r \bmod 1/p$  라운드 이후에 다시 클러스터 헤드가 될 수 있다. LEACH에서 클러스터 헤드의 비율  $P$ 는 0.05 이다. 즉, 전체 노드의 5%가 클러스터 헤드일 때 최적의 성능을 보여준다.

그림 1은 LEACH 에서 동작하는 세부적인 타임 라인의 예를 보여주고 있다. 각 라운드는 크게 클러스터가 구성되는 설정(setup) 단계와 여러 개의 TDMA 프레임으로 구성되는 지속 상태(steady-state) 단계로 이루어진다. 셋업 단계를 형성하는 시간은 지속 상태 단계를 수행하는 시간에 비해 아주 적은 시간이 소요된다.

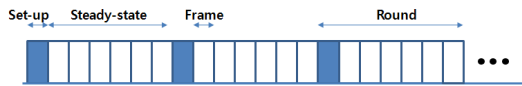


그림 1. LEACH의 타임 라인  
Fig.1. Time-line of LEACH

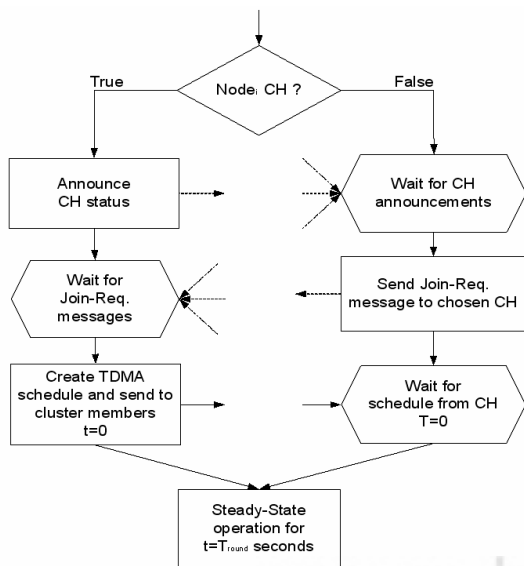


그림 2. LEACH의 설정 단계  
Fig.2. Set-up phase of LEACH

그림 2는 앞의 클러스터 헤드 선출 확률식을 통해 클러스터 헤드를 선출하고 이를 광고하며 클러스터 헤드 이외의 노드들이 해당 클러스터 헤드에 가입하는 과정을 보이고 있다.

안정 단계는 여러 개의 프레임으로 구성되며, 각 프레임에는 클러스터를 형성하는 센서 노드들이 수집한 정보를 자신들에게 할당된 TDMA 슬롯에 클러스터에 송신하며 이후 이를 반복하며 정보를 전달한다.

### III. 에너지 효율적인 클러스터링 기법 제안

#### 1. 초기화 단계

센서 노드가 배치되면 BS는 초기화 메시지(INIT\_MSG)를 전송하여 각 노드들이 클러스터를 형성하도록 한다. 각 노드들은 배치된 후 INIT\_MSG의 수신을 기다리며 메시지를 수신하면 이를 다시 이웃 노드들도 브로드캐스트 한다. INIT\_MSG에는 노드 ID, 라우팅을 위한 BS까지의 홉 수, 클러스터의 평균 노드 개수, 수신 전력 임계치를 포함한다. 클러스터의 평균 노드 개수는 고밀도 영역을 구분하기 위한 기준으로 사용되게 되며 이는 BS에서 미리 계산된 값을 모든 노드들에게 알려준다. 수신전력 임계치는 RSSI (Received Signal Strength Indicator)를 이용하며 각 노드는 INIT\_MSG의 수신 신호의 강도에 따른 거리  $RSSI_{th}$ 가 클러스터의 평균 반경  $r$ 보다 크다면 이웃 노드 카운터  $C_i$ 를 1증가시킨다.

$$RSSI_{th} > r \tag{2}$$

클러스터의 평균 반경  $r$ 은 다음과 같이 구할 수 있다[5].

$$r = \sqrt{\frac{M^2}{\pi k}} \tag{3}$$

INIT\_MSG의 브로드캐스팅이 완료되면 각 노드는 자신의 이웃 노드가 몇 개 있는지를 알 수 있으며 이 값과 전체 노드수  $N$ 을 고려하여 모든 노드들이 동작해야만 하는지 아니면 몇몇 노드들은 슬립상태로 대기해도 되는지를 결정하게 된다.

①  $C_i \leq N/k$  인 경우

이는 반경  $r$ 내의 이웃 노드의 수가 클러스터당 평균 노드

수에 미치지 못하거나 동일한 상태로 이 노드는 슬립 모드로 대기할 수 없다. 즉, 이 노드는 클러스터링에 반드시 참여해야 한다.

②  $C_i > N/k$  인 경우

이는 반경  $r$  내의 이웃 노드의 수가 클러스터당 평균 노드 수를 초과하는 경우이다. 이 노드는 클러스터링에 참여하거나 슬립 상태로 대기할 수도 있다.

클러스터링에의 참여는 다음과 같다. 먼저 각 노드는 자신의 클러스터링 참여 값  $P_i^{join}$  를 다음과 같이 계산한다.

$$P_i^{join} = (N/k)/C_i \tag{4}$$

노드는 계산된  $P_i^{join}$  을 이웃 노드에 전달하고 자신은 슬립 모드로 상태를 변경한다. 이 노드는 현재 라운드에는 참여하지 않는다.

다른 노드의 클러스터링 참여값  $P_j^{join}$  을 수신한 노드는 자신의 클러스터링 참여값  $P_j^{join}$  에 이를 더하여 이 값이 1이 넘으면 클러스터링에 참여하고 그렇지 않으면 다시 다음 노드로 참여값을 전송하고 자신은 슬립 모드로 들어간다. 이러한 순서에 따라 어떤 노드  $i$  가 클러스터링에 참여하지 않고 슬립 모드로 들어갈 경우 이웃한 노드는 클러스터링에 참여하게 된다. 만약 노드가 매우 고밀도로 배치되어 있다면 다수의 노드가 슬립상태로 변경되고 하나의 노드만이 클러스터링에 참여할 수도 있을 것이다. 이러한 과정을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$P_i^{join} = \begin{cases} \frac{C_i}{N/k} + \{P_h^{join} + P_g^{join} + \dots\} & : \text{if } C_i > N/k \\ 1 & : \text{if } C_i \leq N/k \end{cases} \tag{5}$$

상기와 같은 방법으로 클러스터링 참여 여부를 결정하는 이유는 랜덤하게 슬립모드로 들어갈 노드를 결정하면 센싱 영역에 공백이 발생할 수 있다. 따라서 이를 방지하기 위해서는 고밀도로 노드가 배치된 영역일지라도 인접한 노드들 중 적어도 하나는 클러스터링에 참여하도록 하기 위함이다. 다음의 그림 3은 클러스터링 참여 결정을 그림으로 나타낸 것이다.

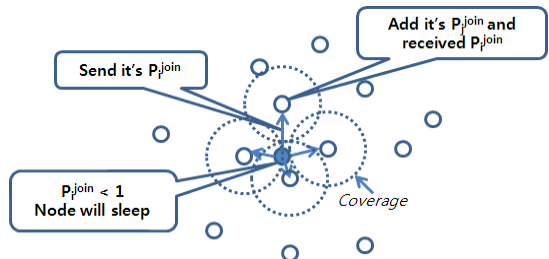


그림 3. 슬립 여부 결정  
Fig.3. Decision for Sleep Mode

그림 3에서 보는 바와 같이 어떤 노드  $i$  의  $P_i^{join}$  값이 1 이하라면 자신은 슬립 모드로 대기하고 클러스터 구성에 참여하지 않는다. 그리고 이 노드는 이웃 노드들에게 자신의  $P_i^{join}$  값을 전달한다. 이웃 노드는 수신한  $P_i^{join}$  에 자신의 클러스터링 참여값  $P_j^{join}$  을 더하여 이 값이 1이 넘으면 클러스터 구성에 참여하고 슬립 상태로 되지 않는다. 노드들이 매우 고밀도로 배치된 경우가 아니라면 대부분 하나의 슬립 노드의 이웃 노드들은 동작 상태로 클러스터링에 참여할 것이다. 또한 이러한 방식으로 슬립 여부를 결정하여 슬립 노드의 이웃 노드는 자신의 참여값이 1보다 작더라도 슬립 상태가 되지 않고 동작하도록 하여 센싱 영역에 공백이 발생하는 것을 방지할 수 있다.

다음의 그림 4는 초기화 과정의 알고리즘을 의사코드로 기술한 것이다.

```

// INITIATION //
Broadcast INIT_MSG ; //starts from BS
C_i = 0 ;
for (i=0 ; i < N ; i++) {
    if (RSSI_m > r) then C_i++ ;
}
if (C_i > N/k) then {
    P_i^join = (N/k)/C_i ;
    Send P_i^join ;
    Sleep ;
    goto END ;
}
// Receiving neighbor node's P_j^join //
P_j^join = P_j^join + P_i^join ;
if (P_j^join > 1) then goto END ;
END ;
    
```

그림 4. 초기화 단계 알고리즘  
Fig.4. Algorithm for Initiation Phase

2. 클러스터 형성 단계

지속 상태 단계에서는 수집한 이벤트 정보를 클러스터 헤드로 모아서 BS로 직접 전송하게 된다. 클러스터 헤드에서 BS로의 데이터 전송은 크게 싱글 홉 전송과 멀티 홉 전송의 두 가지 방식으로 나누어진다.

초기 네트워크가 구성되었을 경우 노드의 에너지는 균일하게 높은 잔량을 가지고 있을 것이다. 이때는 기존의 LEACH와 같이 싱글 홉으로 데이터를 전송한다. 시간이 지남에 따라 노드의 에너지 소모량이 증가하면서 BS에서 멀리 위치한 노드들의 에너지 레벨이 먼저 감소하게 된다. 노드의 에너지 레벨이 특정한 임계값에 도달하면 이때부터는 자신의 에너지를 보존해야 노드의 수명을 연장할 수 있으므로 멀티 홉 방식으로 전송방식을 교체한다. 멀티 홉 전송을 위해 노드는 BS에 가까운 다음 클러스터 헤드를 알고 있어야 하므로 설정 단계에서 자신이 클러스터 헤드이면서 자신의 상위 클러스터에 멤버로 가입한다. 상위 클러스터는 이웃한 클러스터 헤드 중 거리가 가장 가까운 노드를 선택한다. 이후 자신의 멤버들로부터 수집한 데이터를 상위 클러스터로 전송하여 최종적으로 BS로 전달한다.

전송 방식의 변경시점을 결정하기 위한 노드  $i$ 의 에너지 임계값  $E_i^{th}$ 는 다음과 같다.

$$E_i^{th} = \frac{E_i}{E_{initial}} \tag{6}$$

여기서  $E_i$ 는 노드의 현재 에너지,  $E_{initial}$ 은 노드의 초기 에너지이다. 이러한 방식으로는 센싱 필드의 어느 곳에 노드가 위치하더라도  $E_i^{th}$ 에 따라 비슷한 수준의 에너지 소모를 보이도록 할 수 있다. 여기서 만약 다른 클러스터 헤드의 가입 메시지를 받은 클러스터 헤드의 에너지 수준도 낮다면 자신의 에너지를 보존하는 것이 우선이므로 Join-REQ 메시지를 거부하도록 한다. 가입을 거부당한 클러스터 헤드는 현재 라운드에서는 싱글 홉 전송을 통해 BS로 수집한 데이터를 전송하도록 한다.

이와 같이 설정 단계에서의 클러스터 구성에 대한 알고리즘은 다음의 그림 5와 같이 표현할 수 있다.

```

// CLUSTER SET-UP PHASE //
Receive ADV_MSG from CH ;
for (i = 0 ; i < k ; i++) {
    CH = null ;
    d_CH = ∞ ;
    if d_CH > d_CH(i) then
        CH = CH(i) ;
    }
send Join-REQ ;
if (E_i < E_i^{th}) then
    for (j = 0 ; j < k-1 ; j++) {
        CH(j) send Join-REQ to CH(j) ;
        if (E_j < E_j^{th}) then {
            refuse Join-REQ message ;
        }
    }
}
END:
    
```

그림 5. 클러스터 구성 단계 알고리즘  
Fig.5. Algorithm for Cluster Forming Phase

3. 지속 상태 단계

이후 TDMA를 통해 센서들이 수집한 데이터를 클러스터 헤드에서 병합하여 BS로 전송하는 방식은 LEACH와 동일하게 동작한다.

IV. 실험 및 결과 분석

1. 실험 모델

실험을 위해 사용되는 에너지 모델은 [6]에서 제시된 무선 하드웨어 에너지 손실 모델을 이용하였다. 다음의 그림 6은 본 논문에서 사용된 에너지 모델을 나타낸다.

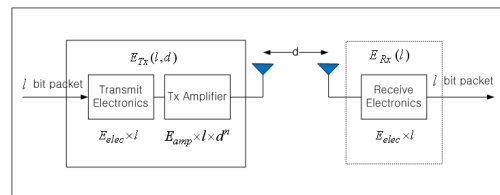


그림 6. 에너지 소비 모델  
Fig.6. Energy Consumption Model

거리  $d$ 에서  $l$  비트의 데이터를 전송하기 위한 에너지  $E_{Tx}$ 는 다음과 같다.

$$E_{Tx}(l,d) = \begin{cases} l \times E_{elec} + l \times \epsilon_{fs} d^2, & d < d_{crossover} \\ l \times E_{elec} + l \times \epsilon_{mp} d^4, & d \geq d_{crossover} \end{cases} \quad (7)$$

여기서  $l \times E_{elec}$ 은 무선 전송에 따른 에너지 소비를 나타내며,  $l \times \epsilon_{fs} d^2$ 과  $l \times \epsilon_{mp} d^4$ 은 무선 전파를 위해 손실된 에너지이다. 송신 에너지 모델은 두 가지의 채널로 분류할 수 있는데 하나는 자유 공간 모델(Free space model)이고 다른 하나는 다중경로 페이딩 모델(Multi-path fading model)로 전송 노드와 수신 노드간의 거리에 따라 자유공간  $\epsilon_{fs}$  ( $d^2$  전력 손실) 채널 모델과 다중경로 페이딩  $\epsilon_{mp}$  ( $d^4$  전력 손실) 채널 모델로 구분된다[7]. 두 노드 사이의 거리가 임계값  $d_{crossover}$ 보다 작을 경우 자유공간 모델을 사용하고 큰 경우에는 다중경로 페이딩 모델을 사용한다. 여기서  $d_{crossover}$ 는 전송거리,  $l$ 은 전송하려는 비트 수, 그리고 전기적 에너지 ( $E_{elec}$ )은 디지털 코딩, 변조, 필터링 그리고 신호의 스프레딩에 의존하며 식(7)에 적용된  $d_{crossover}$ 의 값은 식 8과 같이 계산할 수 있다.

$$d_{crossover} = \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}} \quad (8)$$

이를 이용하여 계산한  $d_{crossover}$ 의 값은 대략 87m이다. 데이터 수신에 대한 에너지 모델은 다음과 같다.

$$E_{Rx}(l) = l \times E_{elec} \quad (9)$$

또한 신호 채널은 대칭이며 한 노드에서 다른 노드로 데이터를 전송하는데 필요한 에너지는 이의 역방향 전송에 필요한 에너지와 같다.

실험을 위한 가정은 다음과 같다. 먼저 무선 센서 네트워크에서 매체는 무선이며, MAC 프로토콜은 802.15.4, 트래픽 발생은 CBR(Constant Bit Rate)로 가정하였다. 센싱 필드는 100m×100m로 이 영역내에 100개의 센서 노드들을 분포시키고, 각각의 노드들은 0.5J의 초기 에너지를 보유하고 가정하였다. 노드는 센싱 필드에 균등하게 배치되거나 특정 지역에 편중되어 배치되는 경우를 모두 가정하였다. 또한 클러스터의 수  $k$ 는 전체 노드  $N=100$ 을 기준으로 하여 LEACH의 최적  $k$ 값인 5로 가정하였다.

무선 환경에서 사용된 파라미터들은 [6]에서 정의된 내용을 참조하였으며 이러한 실험 환경을 정리하면 다음의 표 1과 같다.

표1. 무선 센서 네트워크 노드 환경  
Tab. 1. Nodes Environment for WSN

파라미터	설정
Network Grid	100m×100m
Number of nodes	100
Number of clusters	5
Initial energy	0.5J
MAC protocol	802.15.4
Traffic pattern	CBR
Data packet size	4000 bit
Broadcast packet size	200 bit
Packet header size	200 bit
$E_{elec}$	50 nJ/bit
$\epsilon_{fs}$	10 pJ/bit/m <sup>2</sup>
$\epsilon_{mp}$	0.0013 pJ/bit/m <sup>4</sup>
$d_{crossover}$	87m

## 2. 노드의 수명

먼저 제안 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 노드의 평균 수명을 LEACH와 비교하여 보았다. 이는 노드들이 얼마나 효율적으로 에너지를 사용하고 있는가를 알아보기 위함이며 일반적으로 다른 기법들에서 가정하고 있는 노드의 배치가 균일한 경우에서부터 노드가 특정 영역에 밀집되어 있는 경우까지 비교하였다. 노드의 밀도는 전체 센싱 필드의 1/4 영역에 전체 노드의 25%가 포함되어 있는 경우(균일하게 분포)와, 30%가 포함되어 있는 경우부터 10%씩 증가하여 90%까지 실험하였다.

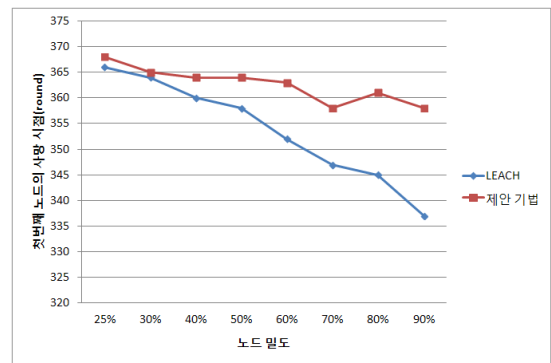


그림 7. 첫 번째 노드의 사망 시점  
Fig.7. Time of First Node's Death

그림 7에서 보는 바와 같이 제안 알고리즘과 LEACH의 첫 번째 노드의 수명이 다하는 시점 비교에서는 노드들이 균일하게 전체 센싱 필드에 배치되어 있는 경우(25%)는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 이는 노드 분포가 균일한 경우 모든 센서 노드들이 적절한 위치에 배치된 것이며 어느 하나의 노드가 슬립 모드가 되거나 수명이 다하면 센싱 커버리지에 빈

공간이 생기게 되어 센서 네트워크 본연의 기능을 수행하지 못하게 된다. 따라서 제안 알고리즘을 이용하더라도 거의 대부분의 노드들은 적절한 수의 주변 이웃 노드들을 가지게 되고 슬립 모드로 대기하는 노드들은 거의 없을 것이다. 다만 BS로의 전송 방식의 차이로 인해 제안기법이 LEACH보다 약간 더 큰 노드 수명을 보이고 있다.

### 3. 노드별 에너지 편차

무선 센서 네트워크에서는 각 노드의 수명을 연장하는 것도 중요하지만 개별 노드들이 거의 유사하게 에너지를 소모하여 전체 센서 네트워크 영역에서 특정 영역의 노드들이 먼저 수명이 다하여 더 이상 이벤트를 감지할 수 없는 영역이 생기지 않도록 하는 것도 중요하다.

본 실험에서는 300라운드와 580라운드에서 센서 노드들의 에너지 수준을 LEACH와 제안 기법에 대하여 알아보았다. 먼저 300라운드에서 센서 노드들의 에너지 수준을 살펴보면 다음의 그림 8, 9와 같다.

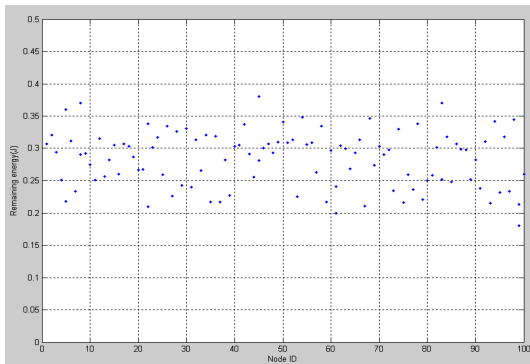


그림 8. 노드별 에너지 수준 및 편차(LEACH, 300라운드)  
Fig.8. Energy Level and Deviation of Nodes(LEACH, 300 Rounds)

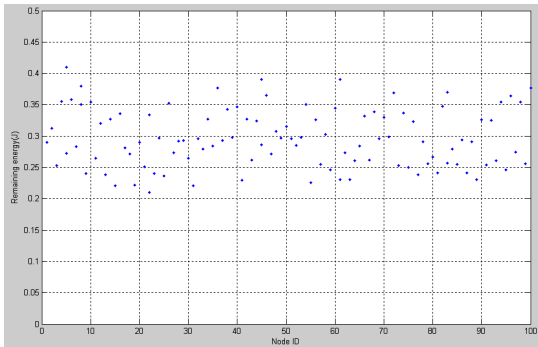


그림 9. 노드별 에너지 수준 및 편차(제안기법, 300라운드)  
Fig.9. Energy Level and Deviation of Nodes(Proposed, 300 Rounds)

그림 8과 9를 비교하여 보면 300라운드에서는 아직 노드들의 에너지 수준이 높으므로 제안 알고리즘에서는 LEACH와 같은 싱글 홉 전송을 사용한다. 이에 따라 고밀도 영역의 노드들의 에너지 편차는 LEACH와 비교하여 큰 차이는 없으나 슬립 모드로 대기하는 노드들이 있음에 따라 몇몇 에너지 레벨이 높은 노드들을 볼 수 있다.

다음의 그림 10, 11은 580라운드에서 노드들의 에너지 수준을 보인 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 580라운드에서 평균적인 노드의 에너지 수준은 제안 알고리즘이 높으며 노드별 에너지 편차는 제안기법이 작은 것을 알 수 있다.

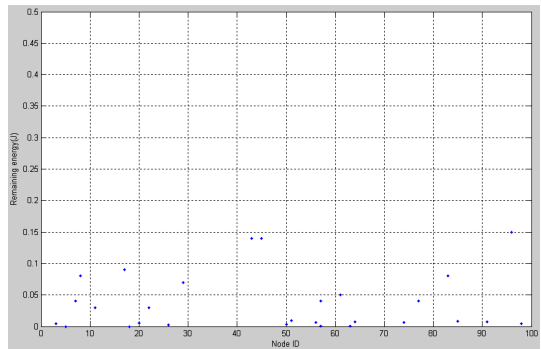


그림 10. 노드별 에너지 수준 및 편차(LEACH, 580라운드)  
Fig.10. Energy Level and Deviation of Nodes(LEACH, 580 Rounds)

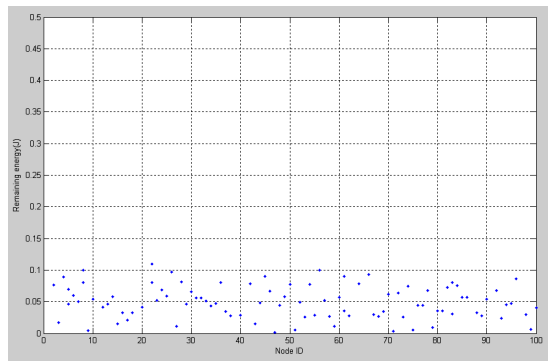


그림 11. 노드별 에너지 수준 및 편차(제안기법, 580라운드)  
Fig.11. Energy Level and Deviation of Nodes(Proposed, 580 Rounds)

300라운드 때에 비하여 580라운드에서의 노드들의 평균 에너지와 에너지 편차는 LEACH와 큰 차이를 보이게 된다. 이는 노드들의 에너지 수준이 낮아짐에 따라 에너지 수준이 낮은 클러스터 헤드는 멀티 홉 전송을 사용하여 가까운 클러스터로 자신이 수집한 데이터를 전송하여 자신의 에너지를 보

존한다. 반대로 에너지 수준이 높은 클러스터 헤드는 다른 클러스터의 데이터까지 함께 BS로 전송하므로 전력 소모가 커지게 된다. 이에 따라 전체 노드들의 에너지 수준에 대한 편차는 LEACH의 경우에 비해 작아지게 된다.

#### 4. BS에서의 총 데이터 수신량

다음은 노드 배치가 균일한 상태와 센싱 필드 중앙 1/4 영역에 90%의 노드가 배치되어 있는 경우, 700라운드 동안 BS에서 수신한 총 데이터 량을 보인 것이다. 이는 얼마나 많은 이벤트 정보를 수집하여 성공적으로 BS로 전송한 것인가를 알아보기 위함이다.

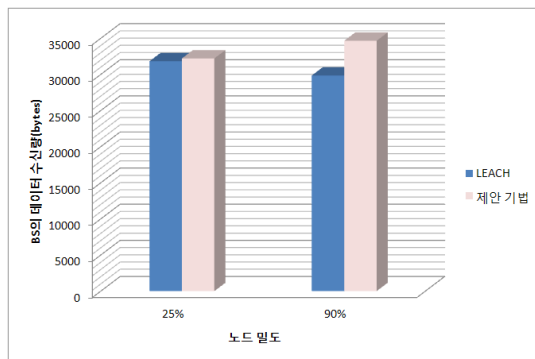


그림 12. BS에서의 총 데이터 수신량  
Fig.12. Total Received Data of BS

그림 12와 같이 기존의 LEACH와 이를 비교해 볼 때 제안 알고리즘이 더 많은 데이터를 BS로 전송하였음을 볼 수 있다. 클러스터링 기법인 LEACH와 제안 기법은 모두 클러스터 헤드에서 중복 이벤트에 대한 데이터를 병합하여 BS로 전송한다. 제안 기법의 경우 노드가 고밀도로 배치된 영역에서는 일부 센서 노드를 슬립 모드로 두어 에너지 소모를 감소시켰다. 또한 멀티 홉 전송을 이용하여 노드들이 균일하게 오랜 기간 생존하도록 하여 지속적으로 이벤트 정보를 수집하고 이를 BS로 성공적으로 전송할 수 있도록 하였다. 따라서 LEACH에 비해 더 많은 이벤트 데이터를 더 오랜 기간 BS로 전송하였으므로 데이터 수신량이 많은 결과를 보이게 된다.

## V. 결 론

본 논문에서는 노드가 불균일하게 배치된 환경에서 노드의 에너지를 효율적으로 사용하고 에너지 소모를 균등하게 하여 네트워크 수명을 연장시킬 수 있는 학습기반 클러스터링 알고

리즘을 제안하였다.

제안한 알고리즘은 기본적으로 LEACH를 기반으로 하나 초기 네트워크 구성시에 노드들이 자신의 이웃 노드들의 수를 파악하여 선택적으로 슬립 모드로 대기하며 에너지를 보존할 수 있도록 하였다.

또한 클러스터 헤드에서 BS로 데이터 전송을 클러스터 헤드의 에너지 수준에 따라 싱글 홉에서 멀티 홉 전송으로 변경할 수 있도록 하였다. 이는 네트워크 내의 모든 센서 노드들이 고르게 에너지를 사용하도록 할 수 있다.

제안한 클러스터링 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 LEACH와 네트워크 수명, 노드의 수명, 데이터 전송량 등을 비교하여 실험을 수행하였다. 실험 결과 노드가 균등하게 배치되어 있는 경우를 제외하고는 제안 알고리즘이 노드와 네트워크의 수명 연장에서 우수한 성능을 보였으며 노드가 특정영역에 편중되어 배치될수록 더욱 큰 차이를 보였다. 또한 노드의 에너지 편차를 비교하여 보았을 때 라운드가 증가할수록 노드의 에너지 편차는 LEACH에 비해 작아짐을 볼 수 있었다.

제안 알고리즘은 RSSI를 활용하여 노드가 동작하도록 할 것인가에 대한 여부를 결정하도록 하였으나 향후 주변에 위치한 다수의 노드들에 대한 정보를 가지고 더욱 정확하게 클러스터 영역을 결정해 줄 수 있는 방법에 대한 연구가 필요할 것이다.

## REFERENCES

- [1] Dâmaso, A., Freitas, D., Rosa, N., Silva, B., & Maciel, P., "Evaluating the Power Consumption of Wireless Sensor Network Applications Using Models," *Sensors*, 13(3), pp. 3473-3500, 2013
- [2] M. Weiser, "Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing," *Communications of the ACM*, vol. 36, no. 7, pp.75-84., 1993.
- [3] Maju Prasad, Andhe Dharani, "A QoI Based Energy Efficient Clustering for Dense Wireless Sensor Networks," *International Journal Of Advanced Smart Sensor Network Systems (IJASSN)*, Vol 3, No.2, pp. 1-9., 2013
- [4] Sébastien Faye and Jean Frédéric Myoupo, "Secure and Energy-efficient Geocast Protocols for Wireless Sensor Networks based on a



- Hierarchical Clustered Structure," International Journal of Network Security, Vol.15, No.1, pp.121-130., 2013
- [5] W. B. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," Proceedings of the Hawaii International Conference on System Science, pp.1-10, January 2000.
- [6] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," IEEE Transactions on Wireless Communications , vol. 1, no. 4, pp.660-670., 2002.
- [7] V. Mhatre, and C. Rosenberg, "Design guidelines for wireless sensor networks: communication, clustering and aggregation," Ad Hoc Networks Journal, Elsevier Science, Vol. 2, No. 1, pp45-63, 2004

## 저 자 소 개



**김 선 철**  
 2014: 충북대학교 컴퓨터공학과 공학박사  
 현 재: (주)엔에코 대표이사  
 관심분야: 멀티미디어통신, 유비쿼터스 네트워킹, RFID, 무선통신  
 Email : kimsunc@hanmail.net



**최 승 권**  
 2001: 충북대학교 컴퓨터공학과 공학박사  
 현 재: 서원대학교 컴퓨터교육과 강사  
 관심분야: USN, 분산시스템, 게임기획  
 Email : skchoi1972@hotmail.com



**조 용 환**  
 1989: 고려대학교 통계학과 이학박사  
 1978-1980: 한국전자통신연구원 (ETRI) 선임연구원  
 현 재: 충북대학교 컴퓨터공학과 교수 (사)신진한국정책충북연구원 원장  
 관심분야: 엔터테인먼트기반기술, USN, 멀티미디어통신, 정보통신정책  
 Email : yhcho@cbnu.ac.kr