

Zigbee 환경에서 Upper Node와의 거리를 고려한 효율적인 클러스터 헤더 선출기법

박종일[†] · 이경화 · 신용태

An efficient cluster header election scheme considering distance from upper node in zigbee environment

Jong-il Park[†], Kyoung-hwa Lee, and Yong-tae Shin

Abstract

It is important to efficiently elect the cluster header in Hierarchical Sensor Network, because it largely affects on the lifetime of the network. Therefore, recent research is focused on the lifetime extension of the whole network for efficient cluster header election. In this paper, we propose the new Cluster Header Election Scheme in which the cluster is divided into Group considering Distance from Upper Node, and a cluster header will be elected by node density of the Group. Also, we evaluate the performance of this scheme, and show that this proposed scheme improves network lifetime in Zigbee environment.

Key Words : Zigbee, sensor network, cluster Header

1. 서 론

최근 홈 네트워크 및 유비쿼터스 네트워크에 대한 요구가 증대 하면서 직장 및 가정의 사무기와 가전 기기 및 각종 정보기기를 근거리에서 배선의 불편에서 벗어나 고속으로 연결시켜줄 수 있는 개인용 무선 네트워크 기술로써 Zigbee 환경이 주목을 받고 있다.

Zigbee를 비롯하여 현재 연구 중인 대부분의 센서 네트워크는 에너지를 효율적으로 사용하기 위해 계층적 라우팅 방법인 클러스터링 기법을 적용하여 연구를 진행하고 있으며^[1], 그 중 LEACH(low energy adaptive clustering hierarchy)와 HEED(hybrid energy-efficient approach)가 가장 주목받고 있다. LEACH는 확률적인 방법에 의해 일정 시간 동안 헤더를 변경하는 방식이며, HEED는 각 노드의 잔여 에너지양에 따라 클러스터 헤더를 선출하는 방식이다. 그러나 LEACH의 경우 헤더가 확률에 의해 선출되기 때문에 헤더가 잘못 선출되면 전체 네트워크의 에너지 효율이 떨어지게 되며, HEED의

경우 헤더의 선출 수를 보장하지 않아 에너지가 비슷한 대부분의 노드가 헤더가 될 수 있다는 단점을 갖는다.

본 논문에서는 Zigbee 환경에서 위와 같은 단점을 극복하고 에너지 효율성을 높이기 위해 sink 또는 클러스터 헤더 간의 거리와 클러스터 내의 밀도를 고려하여 클러스터 헤더를 선출하는 기법을 제안하고자 한다.

이를 위하여 본 논문에서는 기존에 제안된 클러스터 헤더 선출 기법의 분석을 통해 헤더 선출 기법의 알고리즘을 새로이 제시하고 성능평가를 수행하였다.

2. 관련연구

LEACH프로토콜은 노드 간의 에너지 소모를 균등하게 하기 위해 확률을 기반으로 하여 헤더를 선출하고 그룹을 구성하는 클러스터링 방법이다. LEACH에서는 클러스터가 재구성되고 이를 기반으로 한 통신이 이뤄지기까지를 라운드라 정의한다^[2]. 적절한 헤더를 선출하기 위한 임계값은 다음과 같이 결정된다.

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

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

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

(Received : August 2, 2010, Revised : September 13, 2010)

Accepted : September 14, 2010)

P 는 전체 노드들 중에서 선출되는 클러스터 헤더의 비율, r 은 현재 라운드, G 는 라운드 $1/p$ 동안 헤더로 선출되지 않은 노드들의 집합이다. LEACH는 클러스터 형태에 대한 고려 없이 노드 간의 확률적인 방법에 의하여 노드들이 $1/p$ 라운드 동안 공평하게 클러스터 헤더로 선출됨을 보장한다. 그러나 확률적인 방법에 의한 클러스터 헤더의 선정은 에너지를 효율적으로 사용할 수 없다는 한계가 있다.

HEED프로토콜은 노드 자신의 잔여 에너지가 많으면 헤더로 선출될 확률이 높아지는 방식이다. 임의의 노드가 클러스터 헤더로 선출될 확률 값은 다음과 같다^[3].

$$CH_{prob} = C_{prob} \times \frac{E_{residual}}{E_{MAX}} \quad (2)$$

C_{prob} 는 전체 노드의 클러스터 헤더 비율, E_{MAX} 는 최대 에너지양, $E_{residual}$ 는 임의의 노드의 잔여 에너지양이다. HEED는 노드 자신의 잔여 에너지가 많으면 헤더로 선출될 확률이 높아진다. 그러나 클러스터 헤더가 네트워크에 고루 분포되지 않을 경우 헤더에서 거리까 먼 노드는 효율이 떨어지게 되는 한계를 지닌다.

센서 네트워크에서 에너지 소모는 대부분 데이터의 전송에서 이루어지며^[4], 데이터 전송은 거리에 많은 영향을 받게 된다. 즉 클러스터 내에서의 통신보다 sink와의 통신에 소모되는 에너지양이 월등하게 많다. 이것은 헤더가 클러스터 내의 모든 데이터를 aggregation함과 동시에 원거리의 sink로 데이터를 전송해야 하기 때문이다. 따라서 헤더를 선출할 때는 sink 또는 클러스터 헤더 간의 거리를 우선적으로 고려하는 것이 에너지 효율성을 높일 수 있다. 본 논문에서는 거리 값과 클러스터 내 센서 노드의 밀도를 고려하여 헤더를 선출하는 기법을 제안한다.

3. 제안하는 헤더 선출기법

각 센서 노드들은 sink와의 거리를 파악하기 위하여 자신의 위치정보를 가지고 있다. 클러스터 헤더와 sink가 1 홉으로 전송하는 방식일 경우, 센싱 영역이 설정되면 sink는 영역 전반에 걸쳐 자신의 위치정보를 broadcast한다. 각 센서 노드는 sink의 위치정보와 자신의 위치정보를 계산하여 sink와 거리 및 sink와의 상대적인 위치정보를 저장한다.

멀티 홉 방식으로 sink에 전송되는 경우, sink와의 거리 값을 사용하는 것은 무의미하다. 이 경우 클러스터 헤더들은 라우팅을 위한 트리를 생성하게 되며, 클러스터 생성 이후 첫 전송 시 라우팅 경로 상의 부모 클러스터 헤더가 자식 헤더에게 보내는 ACK에 자신

의 위치정보를 전송함으로써 헤더 간의 거리 정보를 구할 수 있도록 한다.

최초의 클러스터 헤더는 LEACH의 기법을 활용하여 선출한다. 이때, 클러스터 헤더는 노드의 거리 밀도를 파악하기 위해 필요한 위치 정보와 전송 경로 상에 있는 Upper Node(sink 또는 클러스터 헤더)와의 거리 값을 각 센서 노드들로부터 제공받아 이후 클러스터 헤더의 이주를 위해 활용한다. 제안하는 기법의 전체적인 메커니즘은 다음과 같다.

첫째, 클러스터 헤더는 거리 값을 기반으로 센서 노드들을 논리적으로 Grouping 한다. 둘째, 각 Group의 멤버 노드 수를 비교하여 가장 큰 Group을 선정한다. 셋째, 선정된 Group에서 이전 헤더와 가장 인접한 센서 노드를 다음 클러스터 헤더로 선출한다. 기존의 헤더는 클러스터 헤더 변경 시 각 멤버 노드의 위치정보를 인계하여 헤더 선출시 발생하는 추가적인 오버헤드를 방지한다.

제안하는 클러스터 헤더 선출기법은 Upper Node와의 거리 값과 헤더의 위치정보를 통해 클러스터를 분할하는 Group Division Phase, 분할된 Group의 멤버 수를 비교하여 노드 수가 가장 큰 Group을 선정하는 Group Selection Phase, 선정된 Group의 멤버 노드 중 헤더와 가장 가까운 노드를 선출하는 Node Comparison Phase로 분류한다.

Group Division Phase는 크게 두 단계로 나뉘어 진행된다. 첫 번째는 Upper Node와 각 센서 노드 간의 거리 값을 통해 클러스터를 group으로 분할하는 단계이다. 클러스터 헤더의 거리 값은 기준 값이 되어 헤더보다 큰 거리 값을 갖는 group과 헤더보다 작은 거리 값을 갖는 노드 집합으로 분할한다. 각각의 노드들의 위치정보는 위도와 경도를 나타내는 상수를 이용한다. 센서의 위치정보는 GPS나 삼각측량^[5] 등의 기법을 활용하여 구할 수 있다.

$$Node_{id} = Node(N_{latitude}, N_{longitude}, D_U) \quad (3)$$

식 (3)에서 $N_{latitude}$ 는 위도를, $N_{longitude}$ 는 경도, D_U 는 Upper Node와의 거리를 나타내는 값이며, 이 $Node_{id}$ 는 각 센서 노드들의 고유 ID로 사용한다. 클러스터 헤더는 각 센서 노드들로부터 식 (3)과 같은 상수 값을 전달 받아 group 분할에 사용한다. 클러스터의 1차 분할은 클러스터 헤더의 ID에 포함된 D_U 를 기준 값(D_{CH})으로 사용함으로써 클러스터를 두 개의 집합으로 만드는 것이며, 그 식은 다음과 같다.

$$S_n = \{X | X \text{ is a Node where } D_U \leq D_{CH}\} \quad (4)$$

$$S_j = \{X|X \text{ is a Node where } D_U > D_{CH}\} \quad (5)$$

식 (4), (5)에서 S_n 과 S_j 는 헤더와 sink 간의 거리 값 D_{CH} 를 기준 값으로 하여 Upper Node와 가까운 노드 집합과 먼 노드 집합을 나타낸다.

두 번째, 각 센서 노드와 클러스터 헤더와의 위치정보(또는 헤더와 각 센서노드 간의 거리 값)를 활용하여 노드 집합을 최종 group으로 분할한다. 지역적으로 공평한 분할을 위해 헤더의 위치정보를 나타내는 좌표의 x축을 반시계방향으로 회전하여 4분면을 구성한다. 즉 클러스터 헤더 선출을 위해 클러스터를 총 4개의 Group(S_1, S_2, S_3, S_4)으로 분할한다.

Group Selection Phase는 각 group의 센서 노드의 수를 비교하여 가장 많은 수의 노드를 소유한 group을 선정하는 단계이다. 클러스터 헤더는 센서 노드들의 위치정보를 통해 각 group 별 센서 노드의 개수를 파악할 수 있다. 이를 통해 클러스터 헤더를 선정하기 위한 group의 순서를 지정하여 목록화(cluster header election list)한다. 헤더 group 선정 알고리즘은 다음과 같다.

```

Algorithm 1 : 1차 클러스터 분할 알고리즘
while ( $i < n$ ) = TRUE do
     $d_U \leftarrow Node_U(N_{latitudes}, N_{longitudes}, D_U)$ 
     $d_{CH} \leftarrow Node_{CH}(N_{latitudes}, N_{longitudes}, D_U)$ 
    if  $d_U \leq d_{CH}$  then
         $S_n \leftarrow Node_i$ 
    else
         $S_j \leftarrow Node_i$ 
    end if
end while
    
```

```

Algorithm 2 : 2차 클러스터 분할 알고리즘
    Compute Coordinates(Nodei) by Sink direction
    and Cluster Header Coordinate
while ( $i < sn$ ) = TRUE do
     $x_i \leftarrow S_n\{Node_i(N_{latitude})\}$ 
     $x_{CH} \leftarrow Node_{CH}(N_{latitude})$ 
    if  $x_i > x_{CH}$  then
         $S_1 \leftarrow Node_i$ 
    else
         $S_2 \leftarrow Node_i$ 
    end if
end while
while ( $i < sf$ ) = TRUE do
     $x_i \leftarrow S_j\{Node_i(N_{latitude})\}$ 
     $x_{CH} \leftarrow Node_{CH}(N_{latitude})$ 
    if  $x_i > x_{CH}$  then
         $S_3 \leftarrow Node_i$ 
    else
         $S_4 \leftarrow Node_i$ 
    end if
end while
    
```

```

Algorithm 3 : Group 선택 알고리즘
if  $S_1 > S_2$  then
    Cluster Header Election List( $S_1, S_2$ )
    if  $S_3 > S_4$  then
        Cluster Header Election List( $S_1, S_2, S_3, S_4$ )
    else
        Cluster Header Election List( $S_1, S_2, S_4, S_3$ )
    end if
else
    Cluster Header Election List( $S_2, S_1$ )
    if  $S_3 > S_4$  then
        Cluster Header Election List( $S_2, S_1, S_3, S_4$ )
    else
        Cluster Header Election List( $S_2, S_1, S_4, S_3$ )
    end if
end if
    
```

Algorithm 1에서 d_U 와 d_{CH} 는 i 번째 노드와 sink와의 거리 값과 클러스터 헤더와 sink와의 거리 값을 각각 저장하는 변수이다. Algorithm 2에서 sn 과 sf 는 각각 집합 S_n 과 S_j 의 노드 개수를 나타낸다.

Node Comparison Phase는 헤더를 선출하는 단계이다. 이 단계에서는 기존 헤더와 Group Selection Phase에서 선정된 group의 각 센서 노드 간 거리를 비교하여, 헤더와 가장 인접한 노드를 헤더로 선출하게 된다. 기존 헤더와 가장 인접한 노드를 헤더로 선출하는 이유는 다음과 같다.

먼저, 기존 클러스터 헤더와 인접한 노드일수록 에너지의 잔량이 가장 많다. 센서 노드의 에너지는 센싱, 데이터 처리, 통신에 대부분을 소모하게 된다. 특히 M. Ding, X. Cheng, G. Xue의 연구^[4]에 따르면 센서 노드의 일반적인 에너지 소모량은 Fig. 1과 같이 나타난다.

즉, 통신에서 소모되는 에너지가 가장 크게 나타나며, 이에 반해 센싱과 데이터 처리에 사용되는 에너지는 무시할 수 있을 정도로 작다. W. Heinzelman과 A. Chandrakasan, H. Balakrishnan의 연구^[6]에 따르면 통신에 소모되는 에너지는 전송거리에 가장 큰 영향을

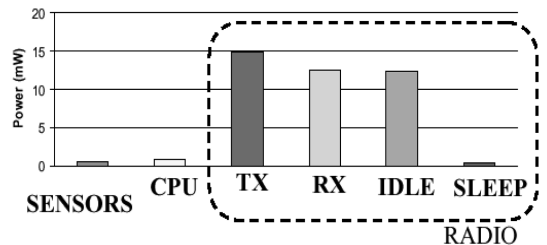


Fig. 1. Power consumption of node subsystems

받기 때문에 인접한 노드일수록 소모되는 에너지가 가장 적다.

또 기존 헤더와 인접한 노드의 경우 헤더와의 위치 정보 차이가 가장 작기 때문에, 기존 클러스터의 규모와 멤버의 정보를 사용하는데 무리가 없다. 따라서 기존 헤더와 가장 인접한 노드에게 헤더의 권한을 넘김으로써 가장 많은 에너지 잔량을 가진 노드가 헤더로 선출되는 것과 함께, 클러스터의 재구성성이 간편해지며, 기존 클러스터 내 멤버노드들과의 관계를 지속적으로 유지함으로써 헤더 이주 시 나타날 수 있는 오버헤드를 감소시킬 수 있다는 이점을 얻게 된다.

4. 성능 평가

4.1. 센서 노드의 에너지 소모량 분석

제안하는 기법의 성능평가를 위해 LEACH, HEED 프로토콜과의 에너지 소모량을 비교 분석한다. 각 기법의 에너지 소모량을 비교하기 위해 S. Bandyopadhyay와 E.J. Coyle의 에너지 소모 모델을 사용한다^[7].

$$E_T(l, d) = \begin{cases} lE_{elec} + l\epsilon_{fs}d^2 & \text{if } d \leq d_0 \\ lE_{elec} + l\epsilon_{mp}d^2 & \text{if } d > d_0 \end{cases} \quad (6)$$

여기서 l 은 데이터 크기, E_{elec} 은 송신에서의 소모되는 전자 에너지(electronics energy)이고, ϵ_{fs} 는 짧은 거리 송신을 위한 증폭에너지(amplifier energyfree space model), d 는 수신자와 송신자 사이의 전송 거리, ϵ_{mp} 는 먼 거리 송신에 필요한 증폭 에너지(amplifier energy-multipath model)이다. d_0 는 다음과 같다^[7].

$$d_0 = \sqrt{\epsilon_{fs}/\epsilon_{mp}} \quad (7)$$

l bit 메시지를 전송받는데 드는 에너지량은 다음과 같다.

$$E_R(l) = lE_{elec} \quad (8)$$

sink가 전체 센싱 영역의 중심에 있으며, 클러스터 헤더와 Upper Node 간 거리 d_s 가 $d_s \leq d_0$ 라고 가정할 때, 클러스터 헤더가 한 라운드에서 소모하는 에너지량은 다음과 같다.

$$E_{CH}(l) = \left(\frac{n}{n_c} - 1\right)lE_{elec} + \frac{n}{n_c}lE_{DA} + l_A lE_{elec} + l_A \epsilon_{fs} d_s^2 \quad (9)$$

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 과 l_A 는 다음과 같다.

$$l = l_H + l_D + l_F \quad (10)$$

$$l_A = l_H + \frac{n}{n_c} l_D + l_F \quad (11)$$

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.

$$E_{nonCH}(l) = lE_{elec} + l\epsilon_{fs}d_H^2 \quad (12)$$

따라서 한 클러스터에서 소모하는 전체 에너지량은 다음과 같다.

$$E_{cluster} \approx E_{CH} + \frac{n}{n_c} E_{nonCH} \quad (13)$$

본 논문에서는 한 클러스터에서 소비되는 전체 에너지를 비교하여 성능을 평가한다.

4.2. 에너지 소모량에 따른 성능분석

본 논문에서 제안하는 기법의 성능평가를 위한 환경 파라미터의 설정은 Table 1과 같다.

성능평가 파라미터 중 network grid와 data의 길이를 제외한 나머지 값은^[6]을 참조한다. 근거리 전송과 원거리 전송에 대한 증폭 에너지의 기준 값인^[6]가 전체 전송 영역의 반경보다 크기 때문에, 클러스터 헤더와 sink 간의 전송은 증폭 없이 이루어진다고 가정한다. 이때 한 클러스터링 영역의 에너지 소모량에 큰 영향을 주는 것은 멤버 노드의 수와 Upper Node와의 거리이다. 식 (9)에 노드의 수와 sink까지의 거리에 변화를 주어 값을 측정할 결과는 Fig. 2와 같다.

Fig. 2로 알 수 있는 것은 멤버 노드 수의 증가보다 Upper Node와의 거리 차에 따라 에너지 소모량이 크게 증가한다는 것이다. 본 논문의 성능 평가를 위한 시뮬레이션 환경은 Fig. 3과 같다.

통신 중에 나타나는 저항 값은 일정하며 통신 거리에 따라서만 잔여 에너지량이 달라진다. 초기에 각 센

Table 1. Environment parameter

| | |
|--|-----------------------------|
| Network grid | 160 m × 160 m |
| 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, ϵ_{fs} | 10nJ/bit/m ² |
| Amplifier energy, ϵ_{mp} | 0.0013pJ/bit/m ⁴ |
| $d_0 = \sqrt{\epsilon_{fs}/\epsilon_{mp}}$ | 87 m |

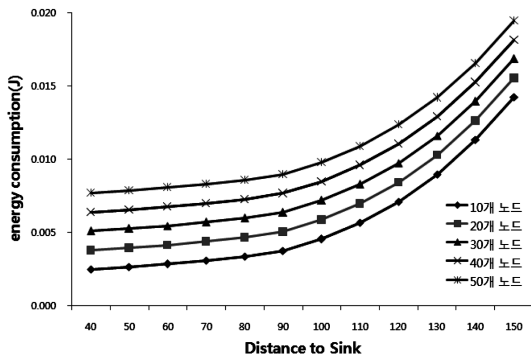


Fig. 2. Energy consumption of cluster header according to distance and member nodes.

서 노드에 설정된 에너지가 2J이라고 할 때 LEACH, HEED와 제안하는 기법의 에너지 소모량을 계산한 결과는 Fig. 4과 같다.

Fig. 4의 결과에서 볼 수 있듯이 클러스터 헤더가 잘못 선출되었을 경우 기존 헤더를 사용하는 것보다 효율이 더 낮게 나타날 수 있다. 전반적으로 네트워크를

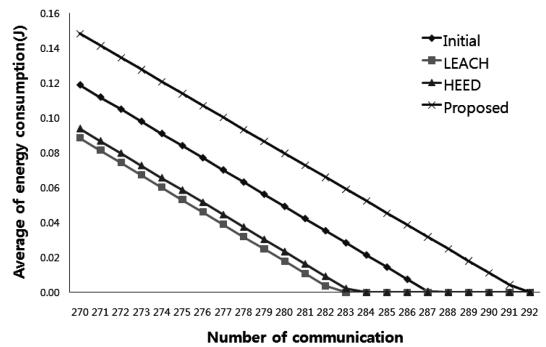


Fig. 4. Energy consumption of cluster.

유지할 수 있는 시간이 LEACH가 283회로 가장 짧으며, 제안하는 기법이 292회로 가장 오래 유지됨을 알 수 있다.

5. 결 론

멤버 노드의 데이터를 수집하여 sink로 보내는 클러스터 헤더의 경우 대부분의 에너지를 전송하는데 사용

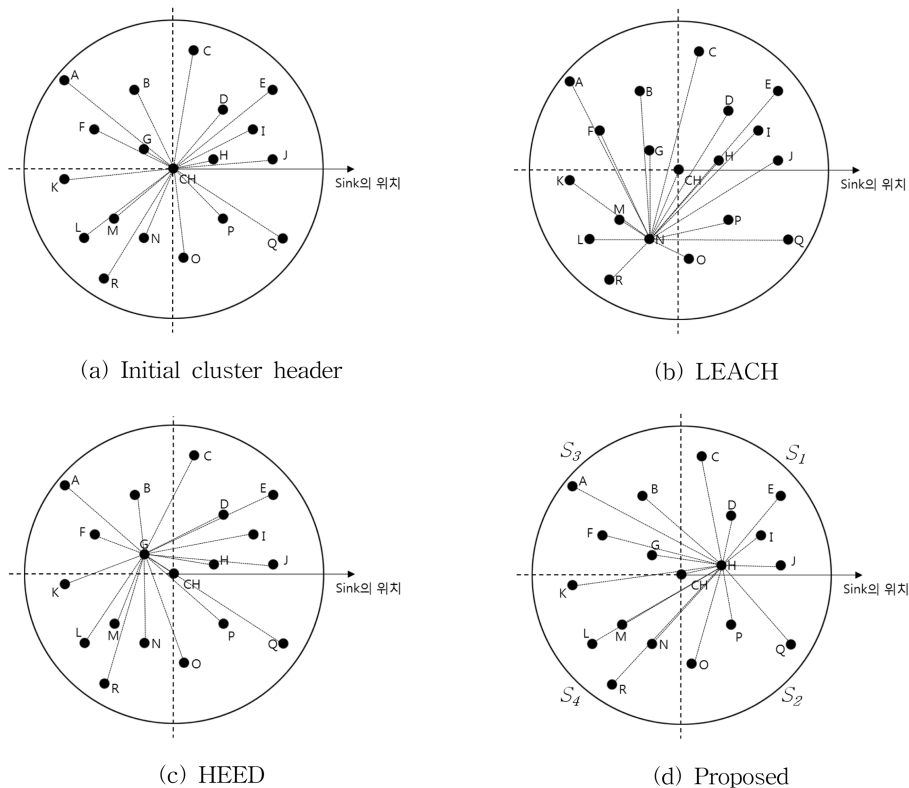


Fig. 3. Simulation environment for cluster header election.

하며, 이때 소모되는 에너지는 Upper Node와의 거리에 큰 영향을 받게 된다. 본 논문에서는 Upper Node와의 거리를 우선적으로 고려하여 헤더를 선출하는 알고리즘을 제안하였으며, 제안한 알고리즘을 LEACH, HEED와의 비교 분석을 통해 성능의 우수성을 입증하였다.

향후에는 본 논문에서 제안한 헤더 선출 알고리즘을 클러스터링 기법에 적용하여 전체 센서 네트워크 환경에서 에너지 효율성을 높일 수 있는 방안을 연구하고 성능평가를 통해 우수성을 입증하겠다.

감사의 글

본 연구를 위해 힘써주신 지도 교수님과 함께 연구를 진행한 선배님들께 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] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks", *System Sciences*, vol. 2, pp. 10-19, 2000.
- [3] 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.
- [4] M. Ding, X. Cheng, G. Xue, "Aggregation tree construction in sensor networks," *2003 IEEE 58th Vehicular Technology Conference*, vol. 4, no. 4, pp. 2168-2172, 2003.
- [5] A. Boukerche, H. A. B. Oliveira, E. F. Nakamura, and A. A. F. Loureiro, "Localization systems for wireless sensor networks," *IEEE Wireless Communications*, vol. 14, pp. 6-12, 2007.
- [6] 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.
- [7] S. Bandyopadhyay, and E. J. Coyle, "An energy efficient hierarchical clustering algorithm for wireless sensor networks," *Proceeding of INFOCOM*, 2003.
- [8] Singh, Vinay Kumar, Lim H.-T., Chung, and W.-Y., "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 숭실대학교 컴퓨터학부 졸업 (학사)
- 2004년 숭실대학교 컴퓨터학과 졸업 (석사)
- 2004년~현재 숭실대학교 컴퓨터학과 박사과정
- 주관심분야: Sensor Network, RFID, DRM, Mobile 기술, 정보보호



이 경 화

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



신 용 태

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