

# Zigbee 환경에서 Sink와의 거리를 고려한 효율적인 클러스터 헤더 선출기법

박 종 일<sup>†</sup> · 이 경 화<sup>†</sup> · 이 주 현<sup>\*\*</sup> · 신 용 태<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

계층적인 센서네트워크에서는 클러스터 헤더의 선출이 네트워크의 수명에 중요한 영향을 미치기 때문에 효율적인 클러스터 헤더 선출이 중요하다. 따라서 최근 연구에서는 전체 네트워크의 수명을 늘리기 위해 효율적인 클러스터 헤더 선출 기법에 대해 다양한 연구 활동이 진행되고 있다.

본 논문에서는 Sink와의 거리를 고려하여 클러스터를 Group으로 분할하고 노드 밀도에 의해서 클러스터 헤더를 선출하는 방식을 제안한다. 또한 제안하는 기법의 성능을 평가하여 Zigbee 환경에서 네트워크 수명이 향상됨을 보이고자 한다.

키워드 : Zigbee, 센서 네트워크, 클러스터 헤더

## An Efficient Cluster Header Election Scheme Considering Distance from a Sink in Zigbee Environment

Jong-Il Park<sup>†</sup> · Kyun-Hwa Lee<sup>†</sup> · Jooh-Hyun Lee<sup>\*\*</sup> · Yong-Tae Shin<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

It is important to efficiently elect the cluster header in Hierarchical Sensor Network, because it largely effects on the life duration of the network. Therefore, a recent research is going forward a research activity with regard to life time 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 a Sink, 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.

Keywords : Zigbee, Sensor Network, Cluster Header

## 1. 서 론

Zigbee 환경에서는 에너지를 효율적으로 활용하기 위해 계층적 라우팅 방법인 클러스터링을 활용한다. 각 센서 노드들은 클러스터 헤더에게 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 연구되

었으며[1], 그 중 대표적인 프로토콜은 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)와 HEED(Hybrid Energy-Efficient Approach)이다. 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 Sink와 거리와 클러스터 내의 밀도를 고려하여 클러스터 헤더를 선출하는 기법을 제안하고자 한다.

<sup>†</sup> 준 회원 : 숭실대학교 컴퓨터학과 박사과정  
<sup>\*\*</sup> 정 회원 : 숭실대학교 컴퓨터학과 석사  
<sup>\*\*\*</sup> 종신회원 : 숭실대학교 컴퓨터학부 교수  
논문접수 : 2010년 4월 21일  
수정일 : 1차 2010년 7월 22일  
심사완료 : 2010년 7월 23일

본 논문의 2장에서는 관련연구로써 기존에 제안된 클러스터 헤더 선출 기법을 살펴본다. 3장에서는 제안하는 헤더 선출 기법의 알고리즘을 제시하고, 4장에서는 제안하는 기법의 성능평가를 수행한다. 5장에서는 끝으로 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

## 2. 관련 연구

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

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

$P$ 는 전체 노드들 중에서 선출되는 클러스터 헤더의 비율,  $r$ 은 현재 라운드,  $G$ 는  $1/p$ 라운드 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.

이러한 LEACH의 문제를 해결하기 위해 LEACH-C (LEACH-Centralized)가 제안되었다. LEACH-C는 클러스터 헤더의 결정권을 Sink에게 넘김으로써 헤더 결정에 따른 에너지 소모를 줄인다[3]. Sink는 헤더 결정을 위해 각 노드들의 위치와 에너지 정보를 확인하여 클러스터 헤더를 결정한다. 그러나 LEACH-C는 위치와 에너지 정보 확인을 위한 추가적인 오버헤드가 발생하고 라운드마다 BS와 통신을 하기 위한 에너지 손실률이 매우 크다.

HEED프로토콜은 노드 자신의 잔여 에너지가 많으면 헤더로 선출될 확률이 높아지는 방식이다. 임의의 노드가 클러스터 헤더로 선출될 확률 값은 다음과 같다[4].

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

$C_{prob}$ 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 거리가 먼 노드는 효율이 떨어지게 되는 한계를 지닌다.

센서 네트워크에서 에너지 소모는 대부분 데이터의 전송에서 이루어지며[5], 데이터 전송은 거리에 많은 영향을 받

게 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 Sink와의 거리를 우선적으로 고려하는 것이 에너지 효율성을 높일 수 있다. 본 논문에서는 Sink와의 거리와 클러스터 내 센서 노드의 분포를 고려하여 헤더를 선출하는 기법을 제안한다.

## 3. 제안하는 헤더 선출기법

본 논문에서는 클러스터 영역에 분포된 센서 노드의 Sink와의 거리를 고려하여 헤더를 선출하는 기법을 제안한다. 각 센서 노드들은 Sink와의 거리를 파악하기 위하여 자신의 위치정보를 가지고 있다. 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. 최초의 클러스터 헤더는 LEACH의 기법을 활용하여 선출한다. 이때, 클러스터 헤더는 노드의 거리 밀도를 파악하기 위해 필요한 위치 정보와 Sink와의 거리 값을 각 센서 노드들로부터 제공받아 이후 클러스터 헤더의 이주를 위해 활용한다. 제안하는 기법의 전체적인 메커니즘은 다음과 같다.

첫째, 클러스터 헤더는 Sink와의 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 Sink와의 거리 값과 헤더 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 Sink와 각 센서 노드 간의 거리 값을 통해 클러스터를 Group으로 분할하는 단계이다. Sink와 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[7] 등의 기법을 활용하여 구할 수 있다.

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

식 (3)에서  $N_{latitude}$ 는 위도를,  $N_{longitude}$ 는 경도,  $D_{Sink}$ 는 Sink까지의 거리를 나타내는 값으로, 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  $D_{Sink}$ 를 기준 값( $D_{CH}$ )으로 사용함으로써 클러스터를 두 개의 집합으로 만드는 것이며, 그 식은 다음과 같다.

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

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

식 (4), (5)에서  $S_n$ 과  $S_f$ 는 헤더와 Sink 간의 거리 값  $D_{CH}$ 를 기준 값으로 하여 Sink와 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  $x$ 축을 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(ClusterHeaderElectionList())한다. 헤더 Group 선정 알고리즘은 다음과 같다.

```

Algorithm 1 : 1차 클러스터 분할 알고리즘
while (i < n) = TRUE do
     $d_{Sink} \leftarrow Node_i(N_{latitude}, N_{longitude}, D_{Sink})$ 
     $d_{CH} \leftarrow Node_{CH}(N_{latitude}, N_{longitude}, D_{Sink})$ 
    if  $d_{Sink} \leq d_{CH}$  then
         $S_n \leftarrow Node_i$ 
    else
         $S_f \leftarrow Node_i$ 
    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
     $x_i \leftarrow S_f\{Node_i(N_{latitude})\}$ 
     $x_{CH} \leftarrow Node_{CH}(N_{latitude})$ 
    if  $x_i > x_{CH}$  then
         $S_3 \leftarrow Node_i$ 
    else
         $S_4 \leftarrow Node_i$ 
    end if
end while
    
```

```

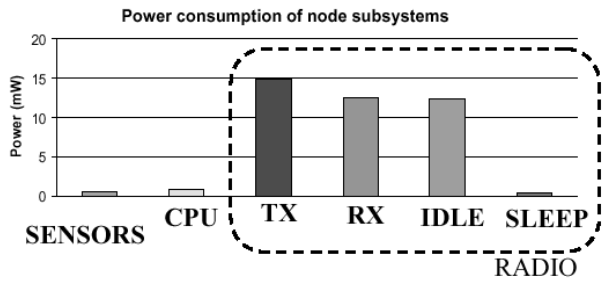
Algorithm 3 : Group 선택 알고리즘
if  $S_1 > S_2$  then
    ClusterHeaderElectionList( $S_1, S_2$ )
    if  $S_3 > S_4$  then
        ClusterHeaderElectionList( $S_1, S_2, S_3, S_4$ )
    else
        ClusterHeaderElectionList( $S_1, S_2, S_4, S_3$ )
    end if
else
    ClusterHeaderElectionList( $S_2, S_1$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

Algorithm 1에서  $d_{Sink}$ 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  $S_f$ 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[5]에 따르면 센서 노드의 일반적인 에너지 소모량은 (그림 1)과 같이 나타난다.

즉, 통신에서 소모되는 에너지가 가장 크게 나타나며, 이에 반해 센싱과 데이터 처리에 사용되는 에너지는 무시할 수 있을 정도로 작다. W. B. Heinzelman의 연구[3]에 따르



(그림 1) 센서 노드에서의 에너지 소비량[5]

면 통신에 소모되는 에너지는 전송거리에 가장 큰 영향을 받기 때문에 인접한 노드일수록 소모되는 에너지가 가장 적다. 또 기존 헤더와 인접한 노드의 경우 헤더와의 위치정보 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 재구성이 간편해지며, 기존 클러스터 내 멤버노드들과의 관계를 지속적으로 유지함으로써 헤더 이주 시 나타날 수 있는 오버헤드를 감소시킬 수 있다는 이점을 얻게 된다.

### 4. 성능평가

#### 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.[6]

$$E_T(l, d) = \begin{cases} lE_{elec} + l\epsilon_{fs}d^2 & \text{if } d \leq d_0 \\ lE_{elec} + l\epsilon_{mp}d^4 & \text{if } d > d_0 \end{cases} \quad (6)$$

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.  $d_0$ 는 다음과 같다.[6]

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

$l$  bit 메시지를 전송받는데 드는 에너지양은 다음과 같다.

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

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 같다.

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

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 에너지양은 다음과 같다.

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

본 논문에서는 한 클러스터에서 소비되는 전체 에너지양을 비교하여 성능을 평가한다.

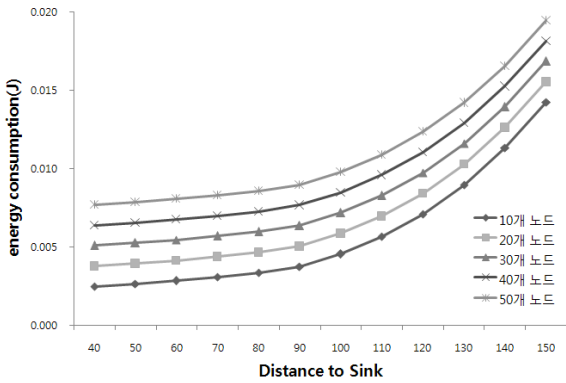
#### 4.2 에너지 소모량에 따른 성능분석

본 논문에서 제안하는 기법의 성능평가를 위한 환경 설정은 다음 <표 1>과 같다.

성능평가 파라미터 중 Network grid와 Data의 길이를 제외한 나머지 값은 W. B. Heinzelman의 연구[3]를 참조한다. 근거리 전송과 원거리 전송에 대한 증폭 에너지의 기준 값인  $d_0$ [3]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 Sink까지의 거리이다. 식 (9)에 노드의 수와 Sink까지의 거리에 변화를 주어 값을 측정 한 결과는 (그림 2)과 같다.

<표 1> 성능평가 파라미터

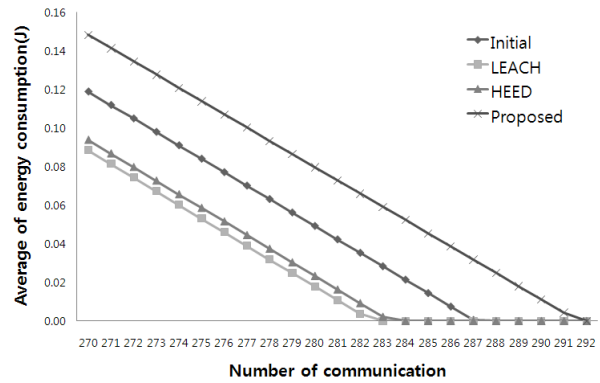
Network grid	160m × 160m
Length of Data	1000 bit
Length of Header	310 bit
Length of Footer	2 bit
Electronics energy, $E_{elec}$	50n.J/bit
Data Aggregation energy, $E_{DA}$	50n.J/bit/report
Transmitter energy, $\epsilon_{fs}$	10p.J/bit/m <sup>2</sup>
Amplifier energy, $\epsilon_{mp}$	0.0013p.J/bit/m <sup>4</sup>
$d_0 = \sqrt{\epsilon_{fs}/\epsilon_{mp}}$	87m



(그림 2) 거리와 멤버 노드 수에 따른 클러스터 헤더의 에너지 소모량(거리 단위 : m)

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

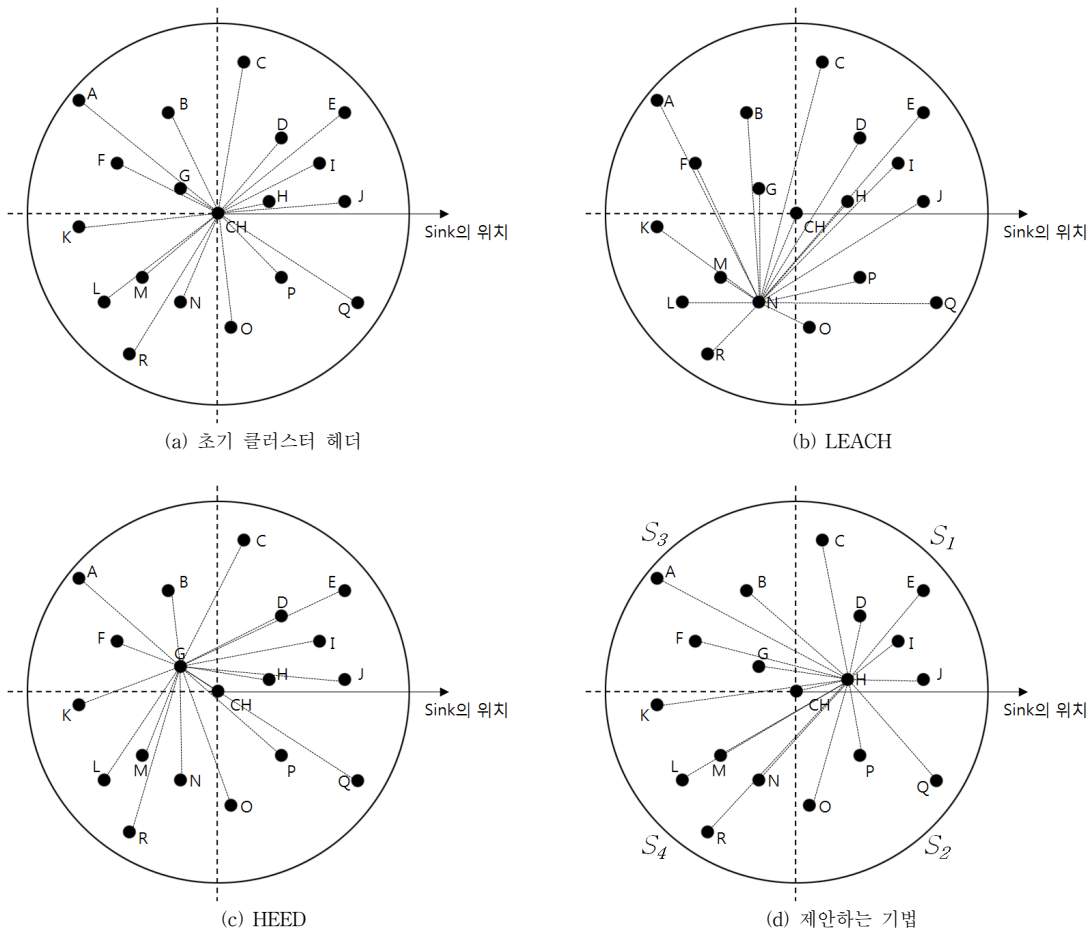
통신 중에 나타나는 저항값은 일정하며 통신 거리에 따라 서만 잔여 에너지양이 달라진다. 초기에 각 센서 노드에 설



(그림 4) 통신 횟수에 따른 클러스터의 에너지 소모량

정된 에너지가  $2J$ 이라고 할 때 LEACH, HEED와 제안하는 기법의 에너지 소모량을 계산한 결과는 (그림 4)과 같다.

(그림 4)의 결과에서 볼 수 있듯이 클러스터 헤더가 잘못 선출되었을 경우 기존 헤더를 사용하는 것보다 효율이 더 낮게 나타날 수 있다. 전반적으로 네트워크를 유지할 수 있는 시간이 LEACH가 283회로 가장 짧으며, 제안하는 기법이 292회로 가장 오래 유지됨을 알 수 있다.



(그림 3) 각 프로토콜에 따라 선출된 클러스터 헤더

### 5. 결 론

멤버 노드의 데이터를 수집하여 Sink로 보내는 클러스터 헤더의 경우 대부분의 에너지를 전송하는데 사용하며, 이때 소모되는 에너지는 Sink와의 거리에 큰 영향을 받게 된다. 본 논문에서는 Sink와의 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.

### 참 고 문 헌

- [1] D. Estrin, L. Girod, G. Pottie, M. Srivastava, 'Instrumenting the World with Wireless Sensor Networks,' Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol.4, pp.2033-2036, May., 2001.
- [2] Heinzelman, W, Chandrakasan, A and Balakrishnan, H, 'Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks,' System Sciences, Vol.2, pp.10-19, Jan., 2000.
- [3] 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, Oct., 2002.
- [4] 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, Oct., 2004.
- [5] 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, October, 2003.
- [6] S. Bandyopadhyay, E. J. Coyle, 'An energy efficient hierarchical clustering algorithm for wireless sensor networks,' Proceeding of INFOCOM, 2003.
- [7] Boukerche, A, Oliveira, H.A.B, Nakamura, E.F, and Loureiro, A.A.F, 'Localization systems for wireless sensor networks,' Wireless Communications, IEEE, Vol 14, pp.6-12, Dec., 2007.

### 박 종 일



e-mail : jipark@cherry.ssu.ac.kr  
2002년 숭실대학교 컴퓨터학부(학사)  
2004년 숭실대학교 컴퓨터학과(공학석사)  
2004년~현 재 숭실대학교 컴퓨터학과 박사과정  
관심분야: Sensor Network, RFID, 정보보호

### 이 경 화



e-mail : khlee@cherry.ssu.ac.kr  
2001년 가천의과대학 뉴미디어학과(학사)  
2007년 숭실대학교 정보처리학과(석사)  
2007년~현 재 숭실대학교 컴퓨터학과 박사과정  
관심분야: Sensor Network, RFID, DRM, Mobile 기술, 정보보호

### 이 주 현



e-mail : jihlee@cherry.ssu.ac.kr  
2005 동명대학 멀티미디어게임과(전문학사)  
2005 평생교육진흥원 멀티미디어학과(학사)  
2010 숭실대학교 컴퓨터학과(석사)  
관심분야 : Sensor Network, Mobile 기술

### 신 용 태



e-mail : shin@ssu.ac.kr  
1985년 한양대학교(학사)  
1990년 University of Iowa Computer Science (석사)  
1994년 University of Iowa Computer Science (박사)  
1994년 University of Iowa 객원교수  
1994년~1995년 Michigan state University 객원교수  
1995년~현 재 숭실대학교 컴퓨터학부 교수  
관심분야: Sensor Network, DRM, CDN, Mobile 기술, IPTV, 차세대인터넷기술