

# 무선 센서 네트워크에서 클러스터 헤드의 멀티 홉 라우팅 트리 구성

최혜경\*, 강상혁\*

## A Method for Constructing Multi-Hop Routing Tree among Cluster Heads in Wireless Sensor Networks

Hyekyeong Choi\*, Sang Hyuk Kang\*

요약

무선 센서 네트워크를 위한 전통적인 계층기반 라우팅 프로토콜인 LEACH 방법은 센서 노드들의 에너지 소비가 싱크 노드까지의 거리에 비례하여 증가하기에 불균일한 에너지 소비패턴을 보인다. 센서 필드가 큰 경우 이를 해결하기 위하여 멀티 홉 라우팅에 관한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 기존의 연구에서는 클러스터 헤드로부터 단순히 가장 가까운 노드를 중계 노드로 선택하여 멀티 홉 경로를 구성하는데 반하여, 본 논문에서 제안하는 LEACH-CHT 방법은 최종 목적지인 싱크 노드까지의 전체 전송 에너지를 최소화 하는 경로를 선택한다. 본 논문의 방법은 클러스터 헤드가 매 홉에서 싱크 노드까지의 최소 비용 경로를 선택함으로써 추가적인 에너지 소비 없이 클러스터 헤드 자신보다 싱크 노드에서 멀리 위치한 노드들이 중간 경로 상에서 제외 되도록 하며 라우팅 상의 looping 문제를 효과적으로 해결할 수 있다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 본 논문에서 제안하는 방법이 노드들의 에너지 소모를 보다 균일하게 함으로써 LEACH보다 센서 노드의 평균 수명을 36% 더 연장하였고 참고한 기존의 멀티 홉 프로토콜들보다 12% ~ 36% 더 연장함으로써 성능이 더 뛰어나다는 것을 보였다.

**Key Words** : Wireless Sensor Networks, LEACH, Cluster Head, Multi-hop

### ABSTRACT

In traditional routing protocols including LEACH for wireless sensor networks, nodes suffer from unbalanced energy consumption because the nodes require large transmission energy as the distance to the sink node increase. Multi-hop based routing protocols have been studied to address this problem. In existing protocols, each cluster head usually chooses the closest head as a relay node. We propose LEACH-CHT, in which cluster heads choose the path with least energy consumption to send data to the sink node. In our research, each hop, a cluster head selects the least cost path to the sink node. This method solves the looping problem efficiently as well as make it possible that a cluster head excludes other cluster heads placed farther than its location from the path, without additional energy consumption. By balancing the energy consumption among the nodes, our proposed scheme outperforms existing multi-hop schemes by up to 36% in terms of average network lifetime.

\* First Author : University of Seoul, Department of Electrical and Computer Engineering, hqcui\_02@hotmail.com, 학생회원  
 \* Corresponding Author : University of Seoul, Department of Electrical and Computer Engineering, shkang@uos.ac.kr, 종신회원  
 논문번호 : KICS2014-07-251, Received July 2, 2014; Revised September 12, 2014; Accepted October 13, 2014

## I. 서 론

무선통신 기술의 발전과 저 전력 RF 기술, 센서 기술의 발전으로 무선 센서 네트워크의 응용도 점점 더 광범위해지고 있다. 무선 센서 네트워크를 형성하는 센서 노드들은 제한된 배터리 용량을 가지므로, 네트워크를 구성하는 노드들이 더 오래, 그리고 더 원활히 역할을 수행할 수 있도록 하기 위하여 효율적인 라우팅 기술이 필요하다<sup>[1-3]</sup>.

센서 네트워크의 에너지 소모를 최소화 하는 라우팅 방법으로서, 클러스터링 기법은 노드들의 효율적인 클러스터 구성과 데이터 병합을 통하여 노드들의 평균 에너지 소모를 줄이고 전체 네트워크의 수명을 연장하는 대표적인 방법이다. 클러스터링 기반 센서 네트워크 라우팅 기법으로 가장 유명한 방법은 LEACH<sup>[4]</sup> 라우팅 방법이다. LEACH에서는 모든 클러스터 헤드들이 싱크 노드에게 직접 데이터를 전송하는 싱글 홉 (single-hop) 전송 방법을 사용하므로 일반적으로 싱크 노드와 멀리 떨어져 있는 노드들은 상대적으로 더 많은 전송 에너지를 소모한다. 이러한 에너지 소모 불 균일 현상은 네트워크의 크기가 클수록 더 심각한 영향을 받으며 결과적으로 전체 네트워크의 수명을 단축시킨다.

넓은 지역의 무선 센서 네트워크에서 클러스터링 기반 라우팅을 더욱 효율적으로 수행하기 위하여 기존의 싱글 홉으로 데이터를 전송하는 대신 멀티 홉 (multi-hop)으로 데이터를 전송하여 에너지 소모를 줄이고 최종적으로 네트워크의 수명을 연장하는 방법이 연구되어 왔다. 참고문헌[5]에서는 클러스터 내에서 멤버 노드가 클러스터 헤드에게 멀티 홉으로 데이터를 전송하는 방법을 제시하였는데, 그보다 에너지 소모가 큰 클러스터 헤드 사이의 멀티 홉 라우팅 방법에 대한 설명이 없다. 참고문헌[6]에서는 기지국으로부터의 거리에 따른 레이어에 기반 한 멀티 홉 방법을 설명하였으나, 이전 레이어의 어느 노드가 중계노드 역할을 하는지에 대한 설명이 없다. 참고문헌[7]에서는 클러스터 헤드에서 가장 가까운 클러스터 헤드를 중계노드로 선택하지만, 이 방법은 라우팅에서 루프형성의 단점을 안고 있다. 참고문헌[8]에서도 참고문헌[7]과 같은 방법으로 클러스터 헤드 사이의 트리를 구성하지만, 기지국으로부터의 거리를 고려함으로써 루프가 형성되는 것을 방지하였다. 그러나 중계 클러스터 헤드를 선택할 때 자신으로부터 거리상 가장 가까운 것만 고려하고 방향성을 고려하지 않아 불필요한 에너지를 소모하게 된다. MH-LEACH<sup>[9]</sup>에서 클러스터

헤드들은 헤드의 잔여 에너지와 헤드로부터 싱크 노드까지의 거리에 의해 가중치 값을 정하여 가중치 값이 큰 헤드가 멀티 홉 전송의 중계 역할을 한다. 그러나 거리 요소를 1차원적으로 고려하였기에 거리에 따라서 2차 이상의 신호 감쇄현상을 보이는 무선 전송의 상황에서 에너지 최적화가 이루어지지 않았다. MR-LEACH<sup>[10]</sup>에서는 싱크 노드까지의 거리에 따라 클러스터 헤드들의 레벨이 나누어지고 이를 바탕으로 클러스터 헤드간의 중계 노드가 정해진다. MR-LEACH 역시 거리요소를 1차원적으로 고려한 단점이 있으며, 클러스터 헤드의 레벨이 정해지기 위하여 싱크 노드와 클러스터 헤드들이 많은 메시지를 주고받으면서 에너지를 소모하는 단점이 있다. UCMR<sup>[11]</sup> 프로토콜에서는 Dijkstra 알고리즘을 이용하여 클러스터 헤드간의 중계 노드를 정한다. 그러나 클러스터 헤드가 계속적으로 변하는 환경에서 Dijkstra 알고리즘을 수행하기에는 제한된 배터리용량과 저성능 컴퓨팅 파워를 가지는 센서 노드로는 적합하지 못하다.

본 논문에서는 클러스터 헤드들이 싱크 노드에게 데이터를 전송할 때 데이터 전송 에너지 모델을 바탕으로 한 에너지 사용량 비교를 통하여 에너지 소모가 제일 적은 경로를 선택하는 멀티 홉 라우팅 방법을 제시한다. 이를 위하여 클러스터 헤드 노드들은 자신과 싱크 노드사이의 거리 정보를 서로 교환하면서 멀티 홉 경로구성을 위한 트리를 형성하며, 결과적으로 노드들 사이에 에너지 소모 불 균일 현상을 최소화하고 전체 네트워크의 수명을 연장함을 시뮬레이션을 통하여 검증한다.

## II. 클러스터링 기반의 LEACH 라우팅 프로토콜

### 2.1 LEACH 구조

무선 센서 네트워크를 위한 기존의 LEACH<sup>[4]</sup> 라우팅 프로토콜은 노드들이 자발적으로 클러스터들을 형성한다. 클러스터 헤드는 에너지 소모가 크므로 임의적으로 돌아가면서 선출된다. 클러스터 헤드가 아닌 모든 노드는 자신의 클러스터 헤드에게 자신의 데이터를 전송하고 클러스터 헤드는 자신의 클러스터 멤버 노드로부터 받은 데이터를 병합하여 싱크 노드에게 직접 전송하며 이는 싱글 홉 방식에 해당한다.

LEACH는 시간을 라운드로 나누어 동작하며 라운드는  $r=0, 1, 2, \dots$  로 나타낸다. 그림 1과 같이 각 라운드는 클러스터 헤드를 정하고 클러스터가 형성되는 set-up phase 단계와 데이터가 멤버 노드로부터 클

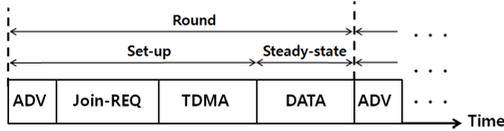


그림 1. LEACH의 라운드 구조  
Fig. 1. Round structure of LEACH

리스터 헤드에게 전송되고 다시 병합되어 싱크 노드로 전송되는 steady-state phase 단계로 이루어진다.

2.1.1 Set-up phase

Set-up phase는 클러스터 헤드 선출, Advertisement, Join-request, TDMA scheduling 단계로 이루어지며, 각 단계의 동작은 다음과 같다.

1) 클러스터 헤드 선출: 센서 노드의 전체의 개수를  $N$ 이라고 하고 그 중에 클러스터 헤드 노드의 최적의 개수는  $k$ 개라고 한다<sup>[4]</sup>. 라운드  $r$ 이 시작되면 노드  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ )는  $P_i$ 의 확률로 자신을 클러스터 헤드로 선출한다. 확률  $P_i$ 는 아래의 식 (1)과 같다.

$$P_i(t) = \begin{cases} \frac{k}{N - k \times (r \bmod \frac{N}{k})} : C_i(t) = 1 \\ 0 : C_i(t) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

여기에서  $C_i$ 는 노드  $i$ 가 클러스터 헤드로 선출된 여부를 표시하는데,  $C_i = 0$ 이면 최근  $(r \bmod (N/k))$  라운드동안 노드  $i$ 가 클러스터 헤드로 선출된 적이 있는 것이고  $C_i = 1$ 이면 선출된 적이 없는 것이다.

2) Advertisement : 클러스터 헤드로 선출된 노드는 자신이 클러스터 헤드로 선출된 사실을 ADV 메시지로 전체 네트워크에 방송하는데 이 메시지에는 자신의 ID와 CDMA코드 정보가 포함된다.

3) Join-request : 일반 노드는 자신과 제일 가까운 클러스터 헤드를 선택하여 join-request를 보낸다.

4) TDMA scheduling : 클러스터 헤드가 TDMA schedule을 생성하여 멤버 노드에게 전송한다.

2.1.2 Steady-state phase

일반 노드는 수신한 TDMA 스케줄에 따라 자신의 타임 슬롯에 데이터를 클러스터 헤드에게 전송하고 클러스터 헤드는 자신의 멤버 노드로부터 수신한 데이터를 병합하여 싱크 노드에게 직접 싱글 홉으로 전송한다.

2.2 에너지 소모 모델

LEACH<sup>[4]</sup>에서 데이터 송수신에 소모하는 에너지는 신호처리를 위한 회로에서 소모하는 부분  $E_{elec}$  [nJ/bit]와 무선전송 증폭을 위해 소모하는 에너지가 있다. 오픈 공간의 무선 채널의 데이터 전송에서 단거리의 거리에 제공으로 전력이 감소하는 자유 공간 모델로  $\epsilon_{fs}$  [pJ/bit/m<sup>2</sup>]의 값으로 특성이 표시되며, 먼 거리의 거리에 네제곱으로 전력이 감소되는 다중 경로 페이딩 모델로  $\epsilon_{mp}$  [pJ/bit/m<sup>4</sup>]을 사용한다.  $l$  [bit] 메시지를  $d$  [m]거리만큼 전송하는데 소모하는 에너지는 다음과 같이 모델링 한다<sup>[4]</sup>.

$$E_{Tx}(l, d) = \begin{cases} lE_{elec} + l\epsilon_{fs}d^2, & d < d_0 \\ lE_{elec} + l\epsilon_{mp}d^4, & d > d_0 \end{cases} \quad (2)$$

여기에서 임계값  $d_0$ 은

$$d_0 = \sqrt{\epsilon_{fs}/\epsilon_{mp}} \quad (3)$$

이다. 한편,  $l$  [bit] 메시지를 수신하는데 소모하는 에너지는 다음과 같다.

$$E_{Rx}(l) = lE_{elec} \quad (4)$$

III. LEACH의 불 균일 에너지 소모 문제점 분석

수식 (2)에서 볼 수 있듯이 LEACH에서 노드가 데이터를 전송할 때 소모하는 에너지는 거리  $d$ 가 임계거리  $d_0$ 보다 클 때는  $d$ 의 4제곱에 비례하므로 전송거리가 에너지 소모에 대한 영향은 아주 크다. 기존의 LEACH에서 클러스터 헤드는 싱크 노드에게 싱글 홉으로 데이터를 전송하므로 싱크 노드와의 거리가 커질수록 에너지 소모가 급격히 커지며 이러한 현상은 전체적인 센서 필드의 크기가 커질수록 더욱 심하다.

그림 2는 각 노드에 대하여 싱크 노드까지의 거리와 노드의 잔여 에너지의 관계에 대한 시뮬레이션 결과이다.  $M=200$  [m], 즉, 네트워크의 크기가  $200 \times 200$  [m<sup>2</sup>]이고 각 노드의 초기에너지가 4 [J]으로 시작하여 round가 300까지 진행 하였을 때의 노드들의 잔여 에너지를 나타내었다. 그림에서 보면 싱크 노드와 멀리 있을수록 에너지 소모가 크고 잔여 에너지가 작다. 따라서 멀리 있는 노드들이 먼저 죽게 되고 그러면 그 지역의 측정 신뢰도가 떨어지고 전체 네트워크의 수명 또한 급격히 감소한다.

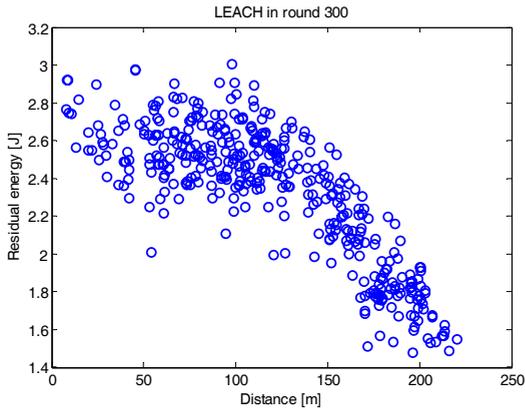


그림 2. LEACH 중 싱크 노드까지의 거리와 잔여에너지의 관계  
 Fig. 2. The relationship between distance and residual energy in LEACH

센싱 기능과 네트워크 수명을 극대화하기 위하여서는 센서 노드들이 균일한 에너지 사용량을 보이는 것이 바람직한데, 본 논문에서는 이를 위하여 클러스터 헤드들이 트리를 구성하여서 싱크 노드에 데이터를 멀티 홉으로 전송하는 방법을 다음과 같이 제안한다.

#### IV. 새로운 멀티 홉 라우팅 방식 (LEACH-CHT)

##### 4.1 제어 메시지 전송거리 (R)에 대한 고찰

무선 센서 네트워크에서 멀티 홉 라우팅은 센서 필드가 넓을 때 필요하다. 기존의 LEACH에서는 클러스터 헤드가 Advertisement 메시지나 TDMA 스케줄 메시지를 전송할 때 전체 네트워크를 전송 범위로 하였다. 예를 들어서 한 번의 길이가  $M$ 인 정사각형의 필드가 있을 때 LEACH 프로토콜은 Advertisement의 전송범위를 네트워크상의 최대거리  $\sqrt{2}M$ 으로 한다. 그러나 본 논문에서 가정하는 넓은 센서필드 상에서 네트워크를 구성할 때 클러스터의 멤버 노드나 클러스터 헤드간의 중계전송을 고려하면 제어 메시지 전송 거리  $R$ 을 전체 네트워크 크기와 같게 하는 것은 에너지를 과다하게 소모한다는 것을 관찰하였다.

본 논문에서는 Set-up phase 단계에서 헤드와 멤버노드, 헤드 사이의 전송거리  $R$ 값을 기존의 방법인 네트워크 최대크기  $\sqrt{2}M$ 보다 작게 하면서 동시에 클러스터 헤드 사이의 트리구성을 위한 송수신을 고려하여 다음과 같이  $R$ 의 최소, 최대값 범위를 정한다.

먼저,  $k$ 개의 클러스터 헤드가 선출되었을 때, 한 클러스터의 평균 반경은  $r = M / \sqrt{k\pi}$  이고 클러스터

헤드사이의 평균 거리는  $2r$  이므로  $R$ 의 최소값  $R_{\min}$  은 다음과 같이 정한다.

$$R_{\min} = \frac{2M}{\sqrt{k\pi}} \quad (5)$$

한편,  $R$ 의 최대값  $R_{\max}$  는 클러스터 헤드와 싱크노드의 최대거리로 정하고 이를 계산하면 다음과 같다.

$$R_{\max} = \frac{\sqrt{5}}{2}M \quad (6)$$

##### 4.2 센서 노드간의 거리 측정

네트워크가 대칭채널이고 송신 노드의 전송출력을  $P_s$ 이라 하고 수신 노드의 수신출력 RSS(Received Signal Strength)를  $P_r$ 이라 하면 본 논문에서 사용한 에너지 모델에 의하여 송신 노드와 수신 노드 사이의 거리는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$d(P_s, P_r) = \begin{cases} \sqrt{\frac{P_s}{P_r \epsilon_{fs}}}, & d < d_0 \\ \sqrt[4]{\frac{P_s}{P_r \epsilon_{mp}}}, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (7)$$

수신 RSS가 강할수록 해당 메시지를 보낸 노드와 더 가까이 있다는 것을 의미한다.

본 논문에서 제안하는 방법은 네트워크가 처음 형성될 때 싱크 노드가 정해진 출력  $P_{BS}$ 으로 전 네트워크에 beacon 메시지를 뿌리는 것으로 시작한다. 각 노드  $i$ 는 이 메시지를 수신하고 RSS (Received Signal Strength) 에 의해 자신과 싱크 노드 사이의 거리  $d_i = d(P_{BS}, P_r)$  을 계산 할 수 있다. 또한 클러스터 헤드는 advertisement 메시지를 보낼 때 이 정보 ( $d_i$ ) 도 같이 포함하여 보낸다. Advertisement 메시지를 전송 할 때 모든 헤드들은 자신으로부터 정해진 거리  $R$  까지 도달할 수 있도록 전송출력을  $P_{adv}$ 로 정한다. 이렇게 함으로써 클러스터 헤드 노드  $i$ 와  $j$ 사이의 거리를  $d_{ij} = d(P_{adv}, P_r)$  로 계산할 수 있다.

##### 4.3 제안하는 멀티 홉 라우팅 프로토콜의 동작

기존의 LEACH 방법에서 싱크 노드로부터 거리가 먼 노드들이 먼저 죽는 현상은 이 노드들이 클러스터 헤드의 기능을 수행 할 때 싱크 노드로 직접 싱글 홉으로 데이터를 전송하기 때문이다. 이러한 원거리 전

송에서 에너지 소모 측면에서 최적화를 위하여 클러스터 헤드는 다른 클러스터 헤드를 거쳐서 전송할 때의 에너지 소모와 직접 전송할 때의 에너지 소모를 비교하여 최소의 에너지를 소모하는 경로를 선택한다. 결과적으로 클러스터 헤드들 간의 에너지 최적화된 트리를 형성하는 방법을 제안한다.

그림 3을 예를 들어 설명하면 다음과 같다. 클러스터 헤드 노드  $i$ 로부터 싱크까지의 거리가  $d_i$ 이고 클러스터 헤드 노드  $j$ 로부터 싱크까지의 거리가  $d_j$ 이고 두 헤드  $i, j$  사이의 거리가  $d_{ij}$ 라 한다. 클러스터 헤드  $i$ 가 싱크 노드에게  $l$  [bit] 데이터를 직접 전송할 때 소모하는 에너지  $E_i$ 는

$$E_i = E_{Tx}(l, d_i) \tag{8}$$

이다. 한편, 클러스터 헤드  $j$ 를 경유하여 전송할 때 소모하는 에너지는  $i$ 에서  $j$ 로 전송할 때의 에너지  $E_{ij}$ 와 노드  $j$ 에서 싱크 노드에게 전송할 때의 에너지  $E_j$ 의 합이며 결과 값은 다음과 같다.

$$E_{ij} + E_j = E_{Tx}(l_{req}, d_{ij}) + E_{Rx}(l_{req}) + E_{Tx}(l, d_{ij}) + E_{Rx}(l) + E_{Tx}(l, d_j) \tag{9}$$

여기에서  $l_{req}$ 는 클러스터 헤드 간에 트리 구성을 위하여 전송되는 Request 메시지로써 트리 구조상 중계 노드에게 트리 구성을 위하여 요청하는 메시지이다. 이 때 클러스터 헤드 노드  $i$ 는  $E_i$ 와  $E_{ij} + E_j$ 의 크기를 비교하여  $E_{ij} + E_j < E_i$ 인 경우에 노드  $j$ 를 트리 상에서 중계 노드로 정하고 Req 메시지를 보낸다.

이와 같은 방법을 사용하여 각 클러스터 헤드는 주변의 다른 클러스터 헤드에서 온 advertisement를 수신하였을 때 대응하는 모든 주변 헤드에 대하여 그 헤

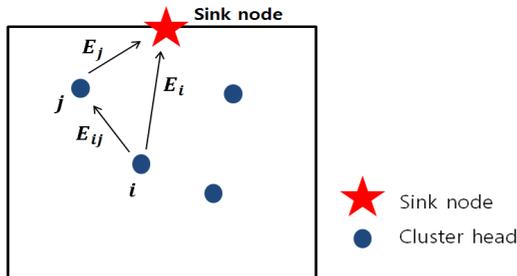


그림 3. 클러스터 헤드가 데이터를 전송하는 두 경로  
Fig. 3. Two route cluster head transmits data

드를 중계 노드로 하여 데이터를 전송할 때 소모하는 에너지를 계산한다. 직접 전송하는 것보다 에너지 소모가 적은 중계 노드들이 있다면 그중 에너지 소모가 가장 적은 중계 노드를 선택한다. 직접 전송하는 경우가 에너지 소모가 가장 적다면 중계 노드를 정하지 않고 싱크 노드에게 직접 전송한다. 즉, 전체 노드  $i = 1, 2, \dots, N$  중에서 클러스터 헤드로 선출된 노드들의 집합을  $A_{CH}$ 라 할 때, 클러스터 헤드 노드  $i$ 의 중계 노드  $j$ 는 아래와 같이 정한다.

$$j = \arg \min_{k \in A_{CH}} \{E_{ik} + E_k\} \tag{10}$$

여기에서  $E_{ii} = 0$ 으로 정의하고 또한  $j = i$ 일 때에 노드  $i$ 는 싱크 노드에게 직접 전송한다.

클러스터 헤드가 데이터를 전송 할 다음 노드를 알고 있으므로 클러스터 헤드가 싱크 노드에게 데이터를 전송하는 멀티 홉 경로를 알 수 있으며, 클러스터 헤드들이 트리 모양을 형성하므로 본 논문의 제안 알고리즘을 LEACH-CHT(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy-Cluster Head Tree)로 이름 짓는다.

#### 4.4 LEACH-CHT의 라운드 구조

LEACH-CHT에서 클러스터 헤드 선출은 기존의 LEACH와 같은 방법을 사용한다. 그러나 Set-up phase와 Steady-state phase는 앞에서 설명한 내용을 바탕으로 다음과 같이 수정되며 그림 4는 LEACH-CHT의 라운드 구조이다. 새로운 라운드 구조의 설명은 다음과 같다.

##### 4.4.1 Set-up phase

Set-up phase는 클러스터 헤드 선출, Advertisement, Join-request, TDMA scheduling 단계로 이루어지며 아래에 설명한 바와 같다.

1)클러스터 헤드 선출: 2.1.1에서 소개한 LEACH 방법과 같다.

2)Advertisement: 클러스터 헤드는 자신의 ID, CDMA 코드 외에 본 논문의 트리 구성을 위하여 추

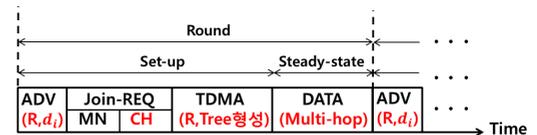


그림 4. LEACH-CHT의 라운드 구조  
Fig. 4. Round structure of LEACH-CHT

가적으로 자신으로부터 싱크 노드까지의 거리  $d_i$ 를 전송한다. 이 때 전송 거리는 전체 네트워크가 아닌 R [m]가 되도록 출력을 제한하는 기능이 추가된다.

(3) Join-request : 일반 노드는 자신과 제일 가까운 클러스터 헤드를 선택하여 join-request를 보낸다. 한편, 클러스터 헤드들은 4.3절에서 설명한 에너지 계산을 통하여 데이터를 전송할 경로를 정하며 중계 헤드 역할을 하는 헤드가 존재할 때 그 클러스터 헤드에게 멤버 클러스터 헤드로 가입한다는 Request 메시지를 보내는 기능이 추가된다.

(4) TDMA scheduling : 클러스터 헤드가 멤버 노드 및 트리에서 하위 클러스터 헤드를 위한 TDMA schedule을 생성하여 멤버노드와 멤버 클러스터 헤드에게 전송한다. 스케줄의 앞부분은 멤버 노드의 전송 순서에 따라 멤버 노드의 ID를 적은 것이고 뒤 부분은 멤버 클러스터 헤드의 ID인데 전송 순서와 관계되는 것이 아니고 join-request에 대한 reply이다. 클러스터 헤드가 중계 헤드로부터 TDMA schedule을 받고 자신의 ID가 있다는 것을 확인하면 전송 트리가 성공적으로 구축되었다는 것을 알 수 있다. 그림 5는 LEACH-CHT의 TDMA schedule 포맷이다.

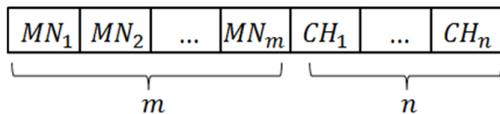


그림 5. TDMA 스케줄 포맷  
Fig. 5. TDMA schedule format

4.4.2 Steady-state phase

일반 노드는 클러스터 헤드가 정해진 TDMA 스케줄에 따라 자신의 슬롯에 데이터를 클러스터 헤드에게 전송한다. 클러스터 헤드는 자신의 멤버 노드로부터 수신한 데이터를 병합한 후 4.3절에서 제안한 에너지 비교 방법으로 정해진 결과에 따라서 싱글 홉으로 싱크 노드에게 직접 전송하거나 또는 멀티 홉으로 데이터를 전송한다.

V. 성능평가

본 논문에서 제안하는 LEACH-CHT의 성능을 평가하기 위하여 C-language를 이용한 시뮬레이션 결과를 LEACH<sup>[4]</sup>와 기존의 멀티 홉 프로토콜 MH-LEACH(Neto)<sup>[8]</sup>, MH-LEACH<sup>[9]</sup>, MR-LEACH<sup>[10]</sup>과 비교하였다. 시뮬레이션에서 사용한 에너지 모

델 관련 상수 값은  $E_{elec}=50$  nJ/bit,  $\epsilon_{fs}=10$  pJ/bit/m<sup>2</sup>,  $\epsilon_{mp}=0.0013$  pJ/bit/m<sup>4</sup>이다. 클러스터 헤드가 데이터를 병합하는데 사용되는 에너지  $E_{DA}$ 는 5 nJ/bit/signal이다. 표 1은 시뮬레이션을 수행하기 위한 환경 값이다.

먼저 제어 메시지 전송거리 R에 대하여, 기존의 LEACH 프로토콜에서 사용한  $R=282$  [m] 값과 비교하여 본 논문에서 제안한 멀티 홉 프로토콜에서 사용할 최적의 값을 4.1절에서 제안한  $R_{min}=50$  [m]과  $R_{max}=225$  [m]의 사이에서 찾기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 6은 R을 50 [m]부터 변화시키면서 관측한 센서 노드의 평균수명을 나타낸다. 그 결과 R이 약 100 [m]일 때 노드의 평균 수명이 제일 길게 나타난다. 그러므로 본 논문에서 R을 100 [m]로 하고 시뮬레이션을 통하여 본 논문에서 제안한 LEACH-CHT의 성능을 평가한다.

한편, 그림 2에 나타난 바와 같이 LEACH에서 제기된 싱크 노드와 멀리 떨어진 노드가 훨씬 더 많은 에너지를 소모하며 결국 먼저 죽게 되는 에너지 소모 불균일 문제점에 대한 LEACH-CHT의 성능을 검증하였다. 그림 7에 LEACH-CHT 방법으로 300 round까지 시뮬레이션을 실행한 결과를 싱크 노드에서의 거

표 1. 시뮬레이션 초기 설정 값  
Table 1. Initial value for simulation

Item	Value
Number of sensor nodes (N)	N=400
Ratio of CH to N (k/N)	0.05
Area of sensor field (M)	200m x 200m
Location of Sink Node	x=100m, y=200m
Initial node energy	4 [J]

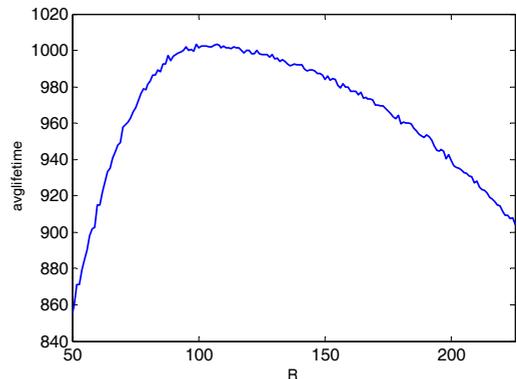


그림 6. 전송 범위 R과 노드의 평균 수명의 관계  
Fig. 6. Transmission range R versus node's average lifetime

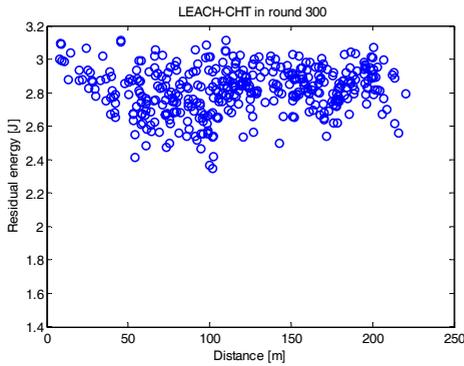


그림 7. LEACH-CHT 중 싱크 노드까지의 거리와 잔여 에너지의 관계  
 Fig. 7. The relationship between distance and residual energy in LEACH-CHT

리에 대하여 노드들의 잔여 에너지로 나타내었다. 그림에서 보면 싱크 노드까지의 거리와 관계없이 노드들의 에너지 소모가 균일하여 싱크 노드에서 먼 노드가 먼저 죽는 현상을 해결하였다. 또한 그림 8에서 보듯이 이것은 전체적인 네트워크의 수명을 연장하는데 기여한다.

그림 8은 본 논문에서 제안한 LEACH-CHT 방법을 기존의 LEACH<sup>[4]</sup>, 멀티 홉을 적용한 MH-LEACH (Neto)<sup>[8]</sup>, MH-LEACH<sup>[9]</sup> 및 MR-LEACH<sup>[10]</sup>과 성능을 비교한 그래프이다. 가로축은 round를 나타내고 세로축은 살아있는 노드개수를 나타내는데 그림에서 보면 LEACH-CHT에서 처음으로 죽는 노드가 제일 늦게 나타난다. 동일한 살아있는 노드개수에 대응하는 round도 LEACH-CHT에서 제일 크므로 LEACH-CHT의 노드의 평균수명이 제일 길며 전체 네트워크의 생존도 제일 길다는 것을 알 수 있다. 각 방법에 따라서 평균수명(L\_AVG), 처음으로 죽는 노드(FND; first node death), 마지막으로 죽는 노드

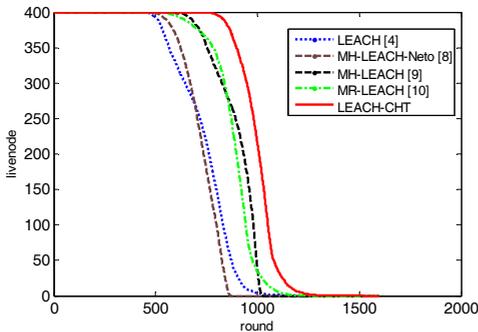


그림 8. 라운드 경과에 따른 생존 노드 수  
 Fig. 8. Round versus livenode number

(LND; last node death)의 시간(round)을 표 2에 비교하였다.

LEACH-CHT는 싱크노드와 거리가 먼 노드가 에너지를 과도로 소비하여 먼저 죽는 것이 아니라 모든 노드가 거의 균일하게 에너지를 소모하여 비슷한 시간에 죽는다. 이는 센싱한 데이터의 정확도를 길게 유지하는 데에도 크게 유리하다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 센서 네트워크의 효율적인 프로토콜인 LEACH에 대하여 살펴보고 LEACH에 존재하는 에너지 소모가 불균일한 문제점을 다루었다. 기존의 LEACH에서 클러스터 헤드가 직접 데이터를 싱크 노드에게 전송하기에 싱크 노드와 멀리 떨어져 있는 노드가 일찍 죽게 된다. 이것을 해결하기 위하여 본 논문에서는 클러스터 헤드가 데이터를 전송할 때 에너지 비교를 통하여 싱글 홉과 멀티 홉 중 에너지를 더 절약하는 방법을 실시간으로 선택한다. 또한 일부 메시지들의 전송 범위가 전체 네트워크여서 네트워크 크기가 큰 경우에는 과도한 에너지 소모가 있는데 이를 줄이기 위해 제어 메시지 전송 범위 R에 대한 최적 값을 시뮬레이션을 통하여 분석하였다.

시뮬레이션을 통하여 검증한 결과 본 논문에서 제안하는 LEACH-CHT 프로토콜이 기존의 LEACH와 기존의 멀티 홉 프로토콜들보다 노드들의 에너지 소모가 적고 균일하여 전체적인 네트워크의 수명을 효율적으로 연장한 것을 알 수 있다. 표 2를 보면 본 논문의 제안방법은 LEACH보다 평균수명이 36% 늘었고 기존의 다른 멀티 홉 프로토콜보다는 12~36% 늘었다. 또한 처음으로 죽는 노드가 나타난 것도 LEACH 보다 60% 개선되었고 다른 멀티 홉 프로토

표 2. 노드의 수명 비교  
 Table 2. Comparison of node life

	Avg. Life (round)	First Note Death (round)	Last Node Death (round)
LEACH [4]	737	459	1,149
MH-LEACH [8]	732	533	912
MH-LEACH [9]	898	593	1,014
MR-LEACH [10]	886	534	1,207
LEACH-CHT	1,002	735	1,321

콜보다 24~38% 개선되었다.

## References

[1] W. Park, "Fast link-setup protocol for wireless multimedia sensor networks," *J. KICS*, vol. 39C, no. 03, pp. 247-254, Mar. 2014.

[2] S. Kim, C. Kim, H. Cho, Y. Yim, and S.-H. Kim, "Continuous moving object tracking using query relaying in tree-based sensor networks," *J. KICS*, vol. 39B, no. 05, pp. 271-280, May 2014.

[3] W. Park, "Low power MAC protocol design for wireless sensor networks using recursive estimation methods," *J. KICS*, vol. 39C, no. 03, pp. 239-246, Mar. 2014.

[4] W. Heinzelman, "An application-specific protocol architecture for wireless micro sensor networks," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 1, no. 4, pp. 660-670, Oct. 2002.

[5] L. Zhang, D. Wang, and Y. Sun, "Research on cluster-based routing protocol with multi-hop," *2013 3rd Int. Conf. Instrument, Measurement, Computer, Commun. Control*, pp. 1578-1581, Shenyang, China, Sept. 2013.

[6] L. Xu, G. M. P. O'Hare, and R. Collier, "A balanced energy-efficient multihop clustering scheme for wireless sensor networks," *Wirel. Mob. Netw. Conf.*, pp. 1-8, Vilamoura, Portugal, May 2014.

[7] B. Manjuprasad and A. Dharani, "Uniform multihop clustering for low communication overhead in sensor networks," *C2SPCA Int. Conf.* pp. 1-4, Bangalore, India, Oct. 2013.

[8] J. Neto, A. Rego, A. Cardose, and J. Junior, "MH-LEACH: A distributed algorithm for multi-hop communication in wireless sensor networks," *ICN 2014*, pp. 55-61, Nice, France, Feb. 2014.

[9] G. Wang, H. Zhu, and H. Dai, "The clustering algorithm of wireless sensor networks based on multi-hop between clusters," *Comput. Sci. Inf. Eng.*, pp. 177-181, Los Angeles, USA, Mar. 2009.

[10] M. O. Farooq, "MR-LEACH: Multi-hop

routing with low energy adaptive clustering hierarchy," *2010 4th Int. Conf. Sensor Technol. Appl.*, pp. 262-268, Venice, Italy, Jul. 2010.

[11] U. Hari, B. Ramachandran, and C. Johnson, "An unequally clustered multihop protocol for wireless sensor networks," *2013 Int. Conf. Advances in Comput., Commun. Informatics (ICACCI)*, pp. 1007-1011, Mysore, USA, Aug. 2013.

### 최혜경 (Hyekyeong Choi)



2011년 6월 : 중국 연변대학 전자전기컴퓨터공학과 졸업  
 2014년 2월 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 석사  
 2014년 2월~현재 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 박사과정

<관심분야> 센서 네트워크, 무선통신

### 강상혁 (Sang Hyuk Kang)



1990년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학사  
 1992년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사  
 1997년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사  
 1997년~현재 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수

<관심분야> 데이터 네트워크, 무선통신, 통신 방송 융합 네트워크