

# 계층적 WSN에서 에너지 사용 감소를 위한 릴레이 클러스터 헤더 선출 기법

박시용\*, 조현숙\*

\*대전대학교 교양학부

e-mail:{sympark, chojo}@dju.ac.kr

## A Relay Cluster Header Selection Scheme for Reduction of Energy Usage on Hierarchical WSN

Si-Yong Park\*, Hyun-Sug Cho\*

\*Division of General Education, Daejeon University

### 요 약

본 논문에서는 클러스터 기반의 계층적 무선 센서 네트워크에서 에너지 사용을 줄이기 위해서 클러스터 헤더를 선출할 때 에너지 소모량을 고려하여 선출하는 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 무선 센서 네트워크의 크기나 위치 정보와 같은 전체적인 정보 없이 분산 환경을 기반으로 하고 있으며, 이전 클러스터 헤더가 에너지 잔류량과 현재 라운드에서의 에너지 소비량을 예측하여 다음 라운드의 클러스터 헤더를 선출한다. 실험결과 제안한 기법은 비교기법인 LEACH에 비하여 에너지 소모를 향상시켰고, 라운드마다 고른 에너지 소비량을 보였다.

### 1. 서론

유비쿼터스 컴퓨팅을 선도하고 있는 무선 통신 기술과 IC 회로 기술의 발전은 작은 센서들을 이용하여 네트워크를 구성할 수 있는 센서 네트워크라는 새로운 응용의 탄생을 가져왔다.

센서 네트워크는 센서를 장착한 노드들이 경량의 데이터 송수신 장치와 프로세스를 이용하여 정보를 수집하고 전송할 수 있는 네트워크이다. 센서네트워크는 환경 모니터링, 기상측정, 위험지역 관찰 등의 목적으로 주로 사용되며, 일반적으로 전력 공급에 문제점이 있기 때문에 배터리 교환, 전력 재충전과 같은 기능을 수행할 수 없다.

이러한 전력과 관계된 특징 때문에 센서 네트워크의 수명 연장에 대한 많은 연구들이 활발히 진행되고 있다. 센서 네트워크의 수명 연장을 위해서 모든 센서 노드들이 BS에 바로 수집한 데이터를 전송하는 대신 가상적인 그룹인 클러스터를 형성하여 클러스터 헤더에 수집한 데이터를 전송하고 이를 취합한 클러스터 헤더가 BS에 전송하는 방법이 제안되었다[1, 2, 3, 4, 6]. 이러한 클러스터링 기반의 방법에서는 전체적인 전력소모를 개선하기 위하여 클러스터의 크기 및 클러스터 헤더 선출 등이 중요한 핵심 기술로 연구되고 있다.

클러스터링 방법은 전체적인 네트워크의 전력 소모를 줄이는 반면 클러스터 헤더의 에너지 부담은 가중된다. 잘 알려진 대표적인 클러스터링 기법인 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)에서는 모든 클러스터 노드가 공평하게 클러스터 헤더의 역할을 수행하여 에너지

소모를 분산시켰다. 그러나 LEACH는 센서 노드들의 에너지 잔류량에 대한 고려가 없기 때문에 센서 네트워크의 에너지 소모에 효율적이지 못하였다.

본 논문에서는 이러한 에너지 소모량을 고려하여 센서 네트워크의 수명을 연장시킬 수 있는 클러스터 헤더 선출 기법을 제안한다. 본 기법에서는 전체적인 센서 네트워크의 정보 없이 분산 환경 기반으로 현재 라운드의 클러스터 헤더가 클러스터 멤버의 에너지 잔류량과 현재 라운드의 에너지 소모량을 예측하여 다음 라운드의 클러스터 헤더를 지정한다. 그리고 본 논문에서 제안하는 기법은 센서 노드와 클러스터 헤드간에 멀티 홉이 아닌 1홉을 기반으로 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안 기법과 관련된 주요 연구들을 살펴보고, 3장에서는 릴레이 클러스터 헤더 선출 기법을 제안한다. 4장에서는 제안 기법과 비교 기법인 LEACH의 성능을 비교 분석하고, 5장에서 결론 및 향후 연구과제에 대하여 언급한다.

### 2. 관련 연구

LEACH는 전체적인 센서 네트워크를 몇 개의 클러스터 영역으로 나누고 센서 노드들은 해당 클러스터 헤더에게 수집한 데이터를 전송하는 계층적인 구조이다. 그리고 라운드로 구분되어지는 전송 주기를 이용한다. 각각의 센서 노드들은 (수식 1)을 이용하여 임계치를 구하고 0과 1 사이의 임의의 값을 생성한 후에 임계치( $T(n)$ )보다 작으면 스스로가 클러스터 헤더가 된다. (수식 1)은 모든

노드들이 일정한 라운드동안 공평하게 한 번씩 클러스터 헤더의 역할을 수행하는 것을 보장한다. (수식 1)에서  $P$ 는 전체 센서노드 중에서 클러스터 헤더의 비율을 의미하고  $G$ 는 지난  $\frac{1}{P}$ 라운드 동안 클러스터 헤더에 선출되지 않은 센서노드들의 집합을 의미한다. 그리고  $R$ 은 현재 라운드를 의미한다.

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

선출된 클러스터 헤더는 나머지 센서 노드들에게 ADV(광고)메시지를 전송하여 자신이 클러스터 헤더로 선출되었음을 알린다. 각 센서 노드들은 자신이 수신한 ADV 메시지의 수신강도가 가장 강한 클러스터 헤더의 클러스터 멤버로 등록한다. 이후 클러스터 헤더는 등록된 클러스터 멤버를 기반으로 구성된 TDMA 스케줄링 메시지를 전송하고 각 각의 클러스터 멤버들은 자신의 프레임에 맞추어 수집한 데이터를 전송한다[1]. 그러나 LEACH는 확률기반으로 공평성에 맞추어 클러스터 헤더를 선출하기 때문에 에너지 소비의 효율성을 저하시켰다.

[4]에서 제안한 HEED(A Hybrid, Energy Efficient, Distributed Clustering Approach)에서는 센서 노드 자신의 잔류 에너지량을 고려한 클러스터 헤더 선출 기법을 제안하였다. (2)는 HEED의 클러스터 헤더 선출 확률 함수이다.

$$CH_{prob} = C_{prob} \frac{E_r}{E_{max}} \quad (\text{수식 2})$$

(수식 2)에서  $C_{prob}$ 는 클러스터 헤더 선출 확률을 의미하고  $E_r$ 과  $E_{max}$ 는 각각 센서 노드의 에너지 잔류량과 센서노드의 초기 에너지량을 의미한다. HEED에서는 에너지 잔류량이 많은 센서 노드가 클러스터 헤더에 선출될 확률이 높지만, 라운드가 증가할수록 에너지 잔류량이 작아져서 클러스터 헤더에 선출된 센서 노드들이 작아지는 단점을 가진다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 각각의 센서 노드들은 구해진  $CH_{prob}$ 에 2를 곱하여 빨리 1에 도달하는 센서 노드들을 선출하는 방법을 제안하였으나, 1에 도달하는 센서 노드 수가 많아져서 대부분의 노드가 클러스터 헤더가 되는 단점이 있다.

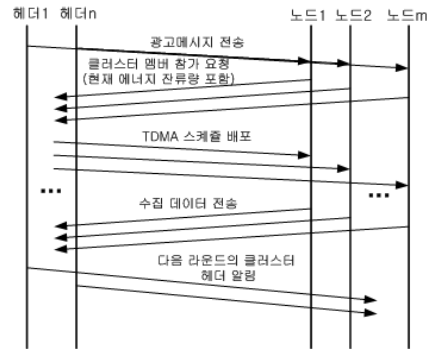
[6]에서는 기존의 LEACH에 센서 노드들의 잔류에너지를 고려한 EACHS를 제안하였다.

$$T(n) = \frac{P}{1 - P(R \bmod \frac{1}{P})} \left[ \frac{E_r - E_{dis}}{E_{Avg} - E_{dis}} \right] \quad (\text{수식 3})$$

(3)에서  $E_r$ 과  $E_{Avg}$  및  $E_{dis}$ 는 각각 센서노드의 에너지 잔류량, 모든 노드의 평균 에너지, 최근 라운드에 소모된 에너지를 의미한다. EACHS에서는 모든 노드의 에너지량을 알아야 하는 큰 단점을 가지고 있다.

### 3. 에너지의 잔류량을 고려한 릴레이 클러스터 선출 기법

본 논문에서는 클러스터 멤버 노드들의 에너지 잔류량을 고려하여 클러스터 헤더가 다음 라운드의 클러스터 헤더를 선출하는 릴레이 클러스터 헤더 선출 기법을 제안한다. (그림 1)에서 제안하는 기법의 전체적인 흐름을 설명한다.



(그림 1) 제안기법의 전체 흐름

(그림 1)에서  $n$ 은 클러스터 헤더의 개수이고  $m$ 은 클러스터 헤더를 제외한 센서 노드들의 개수이다.  $n + m$ 은 센서 네트워크의 전체 노드의 개수를 의미한다.

**과정 1.** 첫 번째 라운드가 시작되기 전에 각각의 센서노드는 0에서 1사이의 임의의 값  $\sigma$ 를 생성하고 (수식 4)를 만족한다면 클러스터 헤더의 역할을 선택한다. (수식 4)에서  $P$ 는 전체 센서 노드에서 클러스터 헤더의 비율을 의미한다.

$$\sigma < P \quad (\text{수식 4})$$

**과정 2.** 선출된  $n$ 개의 클러스터 헤더들은 송신 전력을 포함한 ADV메시지를 센서 네트워크의 전체 노드들에게 전송한다. 이 ADV메시지를 수신한 센서 노드들은 (수식 5)를 기반으로 클러스터 헤더들의 거리를 추정하고 가장 가까운 클러스터 헤더를 선출한다.

$$d = \sqrt{\frac{C \times Pow_{TX}}{Pow_{RX}}} \quad (\text{수식 5})$$

(수식 5)는 센서네트워크에서 전통적으로 사용하는 거리를 추정하는 모델로서  $Pow_{TX}$ 와  $Pow_{RX}$ 는 송신 전력과 수신 전력을 의미하고  $\lambda$ 와  $C$ 는 각각 경로 손실 계수와 상수를 의미한다[5].

**과정 3.** 센서 노드들은 자신이 선택한 클러스터 헤더에게 클러스터 멤버 참가 메시지를 전송한다. 이 메시지에는 자신의 현재 에너지 잔류량과 송신 전력을 포함하여 전송한다.

**과정 4.** 각 클러스터 헤더들은 수신한 클러스터 참가 메시지를 기반으로 LEACH와 동일한 방법으로 TDMA 스케줄을 작성하여 클러스터 멤버들에게 전송한다.

**과정 5.** 각 클러스터 멤버 노드들은 TDMA 스케줄에 기반하여 자신의 슬롯에 수집한 데이터를 전송하고 나머지 시간은 Sleep상태에 진입하여 에너지의 소모를 줄인다.

**과정 6.** 각 클러스터 헤더들은 수집한 데이터를 취합하여 BS에 전송하고 클러스터 멤버 노드들에 대한 잔류 에너지 추정량을 (수식 6)과 같이 계산한다.

$$E_{est}(i) = E_r(i) - (\alpha + \beta \times d_i^n) b \quad (\text{수식 6})$$

(수식 6)에서  $E_r(i)$ 는 과정 3에서 전송받은 클러스터 멤버 노드  $i$ 의 에너지 잔류량이고  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 센서 노드가 송신할 때 필요한 전송장치의 에너지 소모량과 증폭장치의 에너지 소모량이다. 그리고  $d_i^n$ 은 (수식 5)에 의해서 추정된 클러스터 멤버 노드  $i$ 의 거리이다. (수식 6)에서  $(\alpha + \beta \times d_i^n)b$ 는  $b$ 비트를 전송하기 위하여 사용하는 센서 노드의 에너지 소모량이다[7].

$$\max(E_{est}(1), E_{est}(2), \dots, E_{est}(k)) \quad (\text{수식 7})$$

(수식 7)을 이용하여 추정된 최대 잔류 에너지를 가지는 클러스터 멤버를 다음 라운드의 클러스터 헤더로 선출한다.

**과정 7.** 현재 라운드의 클러스터 헤더는 선출된 클러스터 멤버 노드에게 다음 라운드의 클러스터 헤더가 되었음을 통지한다.

**과정 8.** 다음 라운드에서는 과정 2부터 과정 7까지를 계속하여 반복한다.

본 논문에서 제안하는 릴레이 클러스터 헤더 선출의 또 다른 장점은 다음 라운드의 클러스터 헤더를 선출할 때 현재 클러스터 헤더에서 가까운 거리의 클러스터 멤버를 다음 라운드의 클러스터 헤더로 선출할 가능성이 높다는 것이다. 그 이유는 (수식 6)에서  $E_r(i)$ 의 값이 모든 클러스터 멤버 노드들이 동일하다면 각 멤버들의 거리( $d_i^n$ )가 작을수록  $E_{est}(i)$ 의 값이 더 커지기 때문이다. 이는 이전 라운드에서 많은 에너지를 소모한 클러스터 헤더가 다음 라운드에서의 가까운 거리의 클러스터 헤더가 선출되었기 때문에 에너지 소모를 줄여주는 효과가 있다.

### 3. 실험 및 성능 평가

본 논문에서 제안한 릴레이 클러스터 헤더 선출 기법의 성능 평가를 위해서 LEACH와 비교하여 모의실험을 실시하였다. 모의실험에서는 C언어로 소프트웨어적인 환경을 구축한 생존 센서 노드들의 개수, 각 라운드가 끝난 후의 클러스터 헤더들의 평균 잔류 에너지량, 각 라운드별 평균 에너지 소모량을 측정하였다. 센서 노드들의 소모되는 에너지는 송신과 수신에 각각 (수식 8)과 (수식 9)를 따른다고 가정하였다[7].

$$E_{tx} = b(\alpha + \beta d^n) \quad (\text{수식 8})$$

$$E_{rx} = b\alpha \quad (\text{수식 9})$$

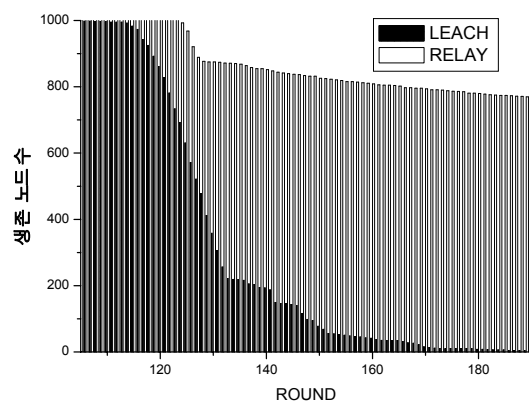
(수식 8)과 (수식 9)에서 사용한 변수들의 의미는 (수식 6)의 변수들의 의미와 동일하다.

<표1>에서 실험에 사용한 변수들을 정의한다. <표1>에서 전체 센서 노드는  $1000m \times 1000m$ 의 공간에 임의로 배치하였다.

<표 1> 실험 변수 정의

변수 설명	값
전체 센서 노드 수	1000개
클러스터 헤더 비율( $P$ )	5%
센서노드 초기 에너지	5J
송수신 전송장치 에너지 소모량( $\alpha$ )	50nJ
송신 에너지 증폭량( $\beta$ )	0.0013pJ

(그림 2)는 각 라운드당 생존한 센서 노드들의 개수를 나타낸다.

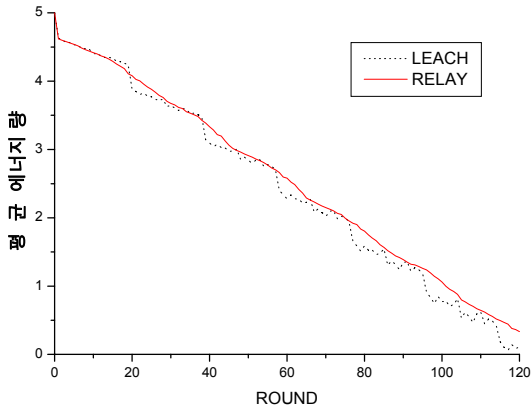


(그림 2) 각 라운드별 생존 노드 개수

LEACH 기법은 클러스터 헤더의 과중한 에너지 소모를 모든 센서 노드들이 돌아가면서 책임을 지지만 센서 노드들의 에너지 소비량이 동일하지 않기 때문에 전체적인 성능의 감소를 가져온다. 클러스터 멤버들은 클러스터 헤더와의 거리에 따라서 사용하는 에너지의 소비량이 다르고, 클러스터 헤더들은 클러스터 멤버들의 수에 따라서 에너지 소비량에 차이가 있다. 본 논문에서 제안한 릴레이 클러스터 헤더 선출 기법은 센서 노드들의 에너지 잔류량에 기반하여 클러스터 헤더를 선출하기 때문에 더 좋은 성능을 보인다. (그림 2)에서 LEACH 기법에서는 110라운드 이후에 에너지가 고갈하는 센서 노드들이 나타나기 시작하지만 RELAY 기법에서는 130라운드 이후에 에너지가 고갈하는 센서노드들이 보이기 시작한다. 또한, LEACH 기법에서는 처음으로 에너지가 고갈된 센서 노드가 나타난 후에 에너지가 고갈된 센서노드들이 급격하게 많이 나타나지만, RELAY 기법에서는 에너지가 고갈된 센서 노드들의 수가 완만하게 나타난다.

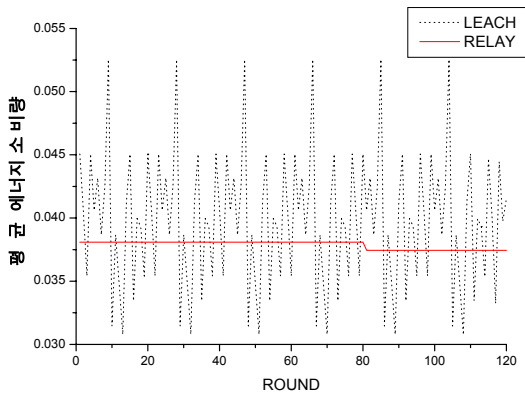
(그림 3)은 한 라운드가 종료된 후에 클러스터 헤더들의 평균 에너지 잔류량을 나타낸다. LEACH 기법에서는 선출된 클러스터 헤더의 평균 잔류 에너지량이 고르지 못

하지만 제안하는 RELAY 기법에서는 클러스터 헤더의 잔류 에너지량이 일정한 비율로 고르게 감소함을 알 수 있다. 이러한 이유는 RELAY 기법에서는 클러스터 헤더들을 선출할 때 클러스터 멤버들 중에서의 에너지 잔류량이 가장 큰 멤버를 클러스터 헤더로 선출하여 클러스터 헤더의 과중한 에너지 소모를 분산시키기 때문이다.



(그림 3) 클러스터 헤더들의 평균 잔류에너지

(그림 4)는 센서 네트워크의 전체 센서 노드들이 라운드당 사용하는 평균 에너지 소모량을 나타낸다.



(그림 4) 센서 네트워크의 평균 에너지 소모량

LEACH 기법에서는 라운드마다 고르지 못한 에너지 소모량을 보이는 반면 RELAY 기법에서는 고른 에너지 소모량을 보인다. 이러한 이유는 RELAY 기법에서는 다음 라운드의 클러스터 헤더를 선출할 때 (식 6)과 (식 7)에서 보이는 것과 같이 이전 라운드의 클러스터 헤더에서 가까운 거리의 클러스터 헤더가 다음 라운드에 선출 될 가능성이 높기 때문에 평균 에너지 소모량의 차이가 거의 일정하지만, LEACH 기법에서는 클러스터 헤더와의 거리나 클러스터 멤버의 개수가 급격하게 변할 수 있기 때문

에 고르지 못한 에너지 소모를 보인다. LEACH는 각 라운드 당 평균 0.03971838J의 에너지를 소비한데 비하여 RELAY는 0.03787271J의 에너지를 소비하였다. <표 2>에서 (그림 4)의 라운드당 평균에너지 소모량에 따른 표준편차를 보인다.

<표 2> 평균 에너지 소모량의 표준편차

LEACH	RELAY
0.005223	0.000307

### 3. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 센서 네트워크의 전체적인 에너지 소모를 줄일 수 있는 릴레이 클러스터 헤더 선출 기법을 제안하였다. 이 기법은 라운드 당 에너지 소비도 감소시킬 뿐만 아니라 에너지 소비를 고르게 분포시킬 수 있다. 이러한 성능의 향상은 전체적인 센서 네트워크의 수명을 연장시킬 수 있는 중요한 요인이다. 실험을 통해서 본 논문에서 제안한 기법이 비교 기법에 비하여 우수한 성능을 보이고 있음을 증명하였다.

향후에는 센서 노드들의 밀도를 추가하여 전체적인 센서 네트워크의 수명을 연장할 계획이다.

### 참고문헌

- [1] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in proceeding of HICSS-33, pp. 3005-3014, Jan. 2000.
- [2] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, pp. 660-670, Oct. 2002.
- [3] S. Bandyopadhyay and E. J. Coyle, "An energy efficient hierarchical clustering algorithm for wireless sensor networks," IEEE Infocom pp.1713-1723, April 2003.
- [4] O. Younis and S. Fahmy, "Distributed Clustering in Ad hoc Sensor Networks: A hybrid energy efficient approach," IEEE Infocom, pp. 629-640, March 2004.
- [5] 오두환, 김종덕, "실내 무선랜 환경에서 RSSI를 이용한 거리 측정 및 성능 비교 분석," pp. 한국통신학회 추계 종합학술발표회 논문집, 11월 2007년.
- [6] Y. Liang, H. Yu, "Energy Adaptive Cluster-Head Selection for Wireless Sensor Networks," pp. 634-638, PDCAT2005, Dec. 2005.
- [7] M. Bhardwai, T. Garnett, and A. P. Chandrakasan, "Upper Bounds on the Lifetime of Sensor Networks," pp. 785-790, ICC 2001, June 2001.