

# 센서 네트워크 환경에서 RF 전송 레벨 기반의 계층적 클러스터링 기법

김병관<sup>0</sup>, 김진환, 이광모  
한림대학교 컴퓨터공학과  
e-mail : {kwani<sup>0</sup>, kim, kmlee}@hallym.ac.kr

## A Hierarchical Clustering Method based on RF Transmission Levels in Sensor Network Environment

Byung-Kwan Kim<sup>0</sup>, Jin-Hwan Kim, Kwang-Mo Lee  
Dept. of Computer Engineering, Hallym University

### 요 약

센서 네트워크는 주변 데이터를 수집하기 위해 널리 퍼뜨려진 작고 저렴한 센서 노드들로 구성된 무선 네트워크 환경이다. 이러한 센서 네트워크는 배치의 편리성과 ad-hoc 적인 연결성, 저렴한 비용의 이유로 다양한 목적의 응용프로그램에서 사용되고 있다. 그러나 센서 노드의 크기가 제한되기 때문에 센서 노드의 유용한 전체적인 파워나 전력량의 크기에 제약을 가져온다. 그러므로, 센서 네트워크의 일반적인 목적은 에너지 효율성을 고려하여 전체 네트워크의 성능을 저하시키지 않고 데이터를 수집하는 것이다. 본 논문에서는 에너지 효율성 증대 및 전체 네트워크의 유지 시간을 증가시키기 위해 각 센서가 가지는 RF 전송 레벨을 이용하여 노드 간의 거리를 통한 계층적 클러스터링 방법을 제안하고 비교 실험을 통해 전체 네트워크에 대한 에너지 효율성을 측정하고자 한다.

### 1. 서론

센서 네트워크(Sensor network)는 주변 데이터를 수집하기 위해 널리 퍼뜨려진 작고 저렴한 센서 노드들로 구성된 무선 네트워크 환경이다. 수많은 센서들로 이루어진 네트워크는 특별한 임무를 수행하기 위하여 상호 협동적인 센서 노드들의 집합으로 나타낼 수 있으며 또한 멀리 떨어진 위치에서 물리적인 환경의 제어와 감시를 용이하게 한다. 이러한 센서 네트워크의 특성으로 군사 목적 및 주변 환경 감시와 같은 다양한 분야에서 응용되고 있다[1].

센서 네트워크는 수많은 노드들이 밀집된 형태로 구성되어 있으며 노드 간에 무선 ad hoc 네트워킹 능력을 가지고 있어야 한다. 그러나 기존의 ad hoc 네트워크 기술을 적용할 때 몇 가지 문제점이 있다. 센서 네트워크는 많은 수의 노드로 구성되어 있고 데이터 중심의 특성을 가지며 에너지 제약이 크다는 점이다[1].

센서 네트워크 환경에서 센서 노드는 주로 제한된 데이터를 처리하지만 서로 다른 다수의 노드들 사이의 정보 교환을 통해 주어진 환경에서 좀 더 상세한 측정 값을 얻을 수 있다. 그러나 이러한 센서 노드들은 단일 노드들의 하드웨어 제약과 제한된 컴퓨팅 파워 및 처리

능력의 제약이 따른다. 이와 같은 환경에서 시스템의 견고성과 시스템의 생명주기를 최대화하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다[2].

생명주기 최대화를 위한 에너지 효율을 달성하기 위한 방법 중 하나로 클러스터 라우팅 기법이 많이 사용된다. 클러스터 라우팅은 센서 네트워크를 클러스터라는 서브네트워크로 나누고 각 클러스터에서 헤더를 선출하여 클러스터 내의 정보를 수집하여 BS(Base station)에게 전달하는 방법으로 모든 노드가 BS와 통신하여 발생하는 오버헤드를 크게 줄일 수 있다.

본 논문에서는 각 센서 노드들의 에너지 효율성 증대를 통한 전체 네트워크의 생명주기를 늘리고자 각 센서가 가지는 RF 전송 레벨을 이용하여 노드 간의 거리를 통한 계층적 클러스터를 구성하는 방법을 제안하고 제안한 계층적 클러스터 방법이 가지는 전체 네트워크에 대한 에너지 효율성을 실험을 통해 측정하고자 한다.

### 2. 관련 연구

#### 2.1. 클러스터링(Clustering)

클러스터링 기법의 동작은 각 클러스터 헤더에 의해 로컬 클러스터가 형성되고 클러스터 멤버는 주위 환경에 대한 정보를 인지, 가공한 후 클러스터 헤더로

전송한다. 클러스터 헤더는 데이터 집약을 통해 정보의 중복을 방지한다. 또한 클러스터 구조는 노드 증가에 따른 네트워크의 확장성을 용이하게 하며 라우팅, 네트워크 효율성, 에너지 소비의 최소화를 목표로 한다[5].

### 2.1.1. LEACH

대표적인 기법인 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)는 클러스터 헤더가 센서 노드들로부터 데이터를 전송 받은 후 데이터를 병합하여 싱크 노드로 전송하는 방식이다. 이 기법의 특징은 네트워크를 구성하는 모든 센서 노드들의 에너지 소모를 균등하게 하여 네트워크 생존시간을 최대화하기 위해 클러스터 헤더를 라운드(round)라는 시간 단위마다 무작위로 선택한다[3,4].

LEACH는 클러스터 헤더 역할을 공평하게 순환시켜 네트워크의 생명주기 연장을 목표로 한다. 그러나 클러스터 헤더 선출 시 센서 노드들의 잔여 에너지에 대한 고려가 없기 때문에 특정 센서 노드의 에너지가 고갈되는 경우가 많다.

### 2.1.2. LEACH-C

LEACH가 가지는 단점을 보완하는 LEACH-C는 클러스터 구성을 위해 BS(base station)를 사용하며, BS는 각 노드에 대한 위치 정보와 남아있는 에너지에 대한 정보를 전송 받는다. 전송 받은 정보를 이용하여 네트워크 전체 노드들의 평균 에너지를 계산하고 평균 에너지보다 낮은 에너지량을 가지는 노드는 클러스터 헤더 선정에서 제외한다. 센서 노드의 에너지 보유량을 고려하여 클러스터 헤더를 선출함으로써 네트워크 생명주기를 최대화 시킨다[3,4].

그러나 LEACH-C 기법은 매번 각 노드들이 기지국과 통신을 해야 하기 때문에 클러스터 구성 단계에서 많은 에너지의 소모를 가져오고 자신의 위치 정보에 대한 처리에 따른 추가적인 오버헤드가 생기는 문제점이 있다.

## 3. RF 전송 레벨을 이용한 계층적 클러스터링

그림 1은 클러스터를 기반으로 구성된 전형적인 센서 네트워크의 데이터 전송 과정이다. 각 센서는 데이터를 수집하여 자신의 클러스터 헤더에게 전송하고 클러스터 헤더는 데이터를 병합하여 BS에게 전송한다.

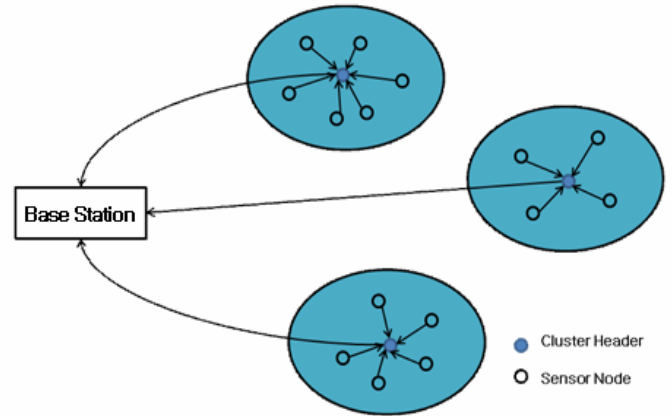


그림 1 센서 네트워크 구조

본 논문에서는 센서가 가지는 RF 전송 레벨을 이용하여 전체 네트워크의 수명을 향상시키는 클러스터링을 구성하고 노드 간의 거리 정보와 각 노드가 가지는 하위 노드들의 밀집도를 이용하여 클러스터 헤더를 선출하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 크게 헤더 선출 단계, 로컬 클러스터 구성 단계 그리고 계층적 클러스터 구성 단계의 3부분으로 나누어진다.

### 3.1. 헤더 선출

LEACH에서 클러스터 헤더는 다음의 식을 이용한 확률 함수에 의해 결정된다.

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

위 식에서  $P_i$ 는 목표로 하는 클러스터 헤더의 백분율,  $r$ 은 현재 라운드,  $G$ 는  $1/P_i$  라운드 동안 클러스터 헤더를 하지 않았던 노드들의 집합이다[3].

본 논문에서는 LEACH에서 고려되지 않은 잔여 에너지량과 센서가 RF 전파를 보낼 때 레벨을 달리하여 보낼 수 있는 점[6]을 이용하여 헤더 선출을 위한 고려 사항에 추가한다. 전파 레벨을 이용하여 가능한 낮은 레벨에서 많은 노드를 포함하고 있는 노드를 선택하여 헤더 후보 군으로 선정한다. 후보로 선정된 노드들은 다음의 조건을 기준으로 추가적인 수식을 이용하여 각 클러스터를 위한 헤더로써 선출된다.

- ① 노드의 잔여 에너지량
- ② 각 RF 신호 레벨에 포함된 노드의 수에 따른 노드 밀집도

③ 후보 노드 간의 근접도

위의 3가지 조건 중 ②번 노드 밀집도는

식  $\sum_{l=1}^{31} \frac{N_{number}(l)}{l}$  를 이용하여 계산한다. 식에서

$N_{number}$  은 각각의 전송 레벨  $l$  에 포함된 노드의 수를 나타낸다. 이 식은 헤더 후보 노드의 전송 1레벨부터 31레벨까지 포함된 노드의 개수를 나타낸다. 1레벨에서 31레벨로 갈수록 헤더 노드와 거리가 먼 것을 의미한다. 보다 낮은 레벨에서 많은 노드가 포함되면 해당 헤더 후보를 기준으로 노드의 밀집도가 큰 것을 의미하게 된다. 이 값을 통해 해당 후보 노드를 가지는 밀집도가 계산된다.

③번 후보 노드 간의 근접도는 서로 자신의 RF 신호 레벨에 서로 다른 후보 노드가 포함되는지 계산한다. 각 헤더 후보는 전송 레벨을 31레벨까지 검사하며 서로 다른 헤더 후보가 존재하는지 검사한다. 만약 31개의 전송 레벨에 포함되는 다른 헤더 후보가 없으면 값은 0이 되고 포함되는 다른 후보가 있으면 포함된 전송 레벨에 따른 값이 계산된다. 이 값을 통해 서로 다른 헤더 후보 노드 사이의 근접도를 계산한다.

3.2. 로컬 클러스터 구성

선출된 헤더를 기준으로 클러스터를 구성하기 위하여 각각의 일반 노드들은 헤더 노드로부터 받은 레벨 정보를 이용하여 클러스터의 구성원이 된다. 서로 다른 클러스터 헤더에 포함된 노드는 각 클러스터 헤더로부터 받은 신호의 레벨을 확인하여 좀 더 낮은 레벨의 신호를 받은 클러스터 헤더의 구성원이 되고 그림 1과 같은 형태의 최초 클러스터 단계가 완성된다.

3.3. 계층적 클러스터 구성

각각의 클러스터 헤더를 중심으로 로컬 클러스터가 구성되면 계층적 클러스터를 구성하기 위해 헤더를 root로 하는 트리를 구성한다. 트리 구성의 기준은 각 노드가 가지는 RF 전송 레벨을 사용한다. RF 전송 레벨에 따른 전송 거리를 알 수 있으므로 구성이 가능하다. 하지만 총 31개의 전송 레벨이 존재하기 때문에 레벨 별로 트리를 구성하면 최악의 경우 32의 깊이를 가지는 형태가 형성될 수 있다. 이럴 경우 최하위 레벨의 노드는 헤더까지 데이터 전송 시 많은 노드를 거치게 되고 그로 인해 부가적인 오버헤드가 발생할 수 있다.

또한 트리 구성 시 각각의 클러스터 헤더에 많은 노드가 자식 노드가 될 경우 전체 네트워크에 발생하는 오버헤드는 줄일 수 있지만 RF 전송 레벨에서 많은

레벨이 동일 트리 레벨로 구성이 되어 상위 레벨까지의 거리가 멀어지게 되고 그에 따른 메시지 전송 시 전력 소모가 늘어날 수 있다.

$$(X)dBm = 10 \times \log_{10}(P)$$

위의 공식[7,8]에서  $X$  는 dBm 값이고  $P$  는 mW 값이다. 위의 식을 통하여 RF 전송 레벨에 따른 dBm 값을 mW로 변환한 것이다. 변환된 값을 RF 전송 레벨에 따라 소모되는 mW 값과 그에 따른 전송 가능 거리의 모습을 그림 2에서 나타내고 있다.

그림 2를 보면 레벨 증가에 따른 거리 증가는 선형적인 그래프의 모습을 보이지만 이 때 사용되는 mW의 값은 지수 형태의 그래프 결과를 볼 수 있다. 이 결과를 통해 각 노드가 클러스터 헤더에게 직접 메시지를 전송하는 것이 트리를 이용한 중간 노드를 통해 메시지를 전송하는 것보다 많은 에너지가 소모된다는 것을 알 수 있다.

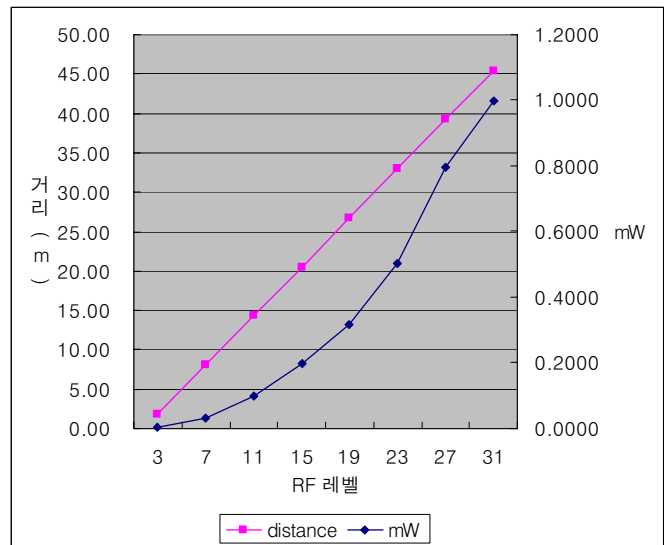


그림 2 RF 전송 레벨에 따른 mW와 거리

또한, RF 전송 레벨을 기준으로 구성된 트리 형태로 인해 발생하는 전체 네트워크에 대한 부가적인 오버헤드와 트리 레벨 간의 거리로 인해 메시지 전송 시 발생하는 전력 소모를 최소화하기 위해 노드가 최대한 가질 수 있는 트리의 차수를 결정한다.

3.3.1. 트리의 차수 결정

구성된 클러스터를 계층적인 트리 형태로 구성하기 위해 전체 노드 수와 선출된 헤더 수에 따라 클러스터의 노드가 가질 수 있는 차수를 구하고 구해진 차수에 따른 트리의 깊이를 조절해야 한다. 이를 위해 전체 노드 수와 헤더 수를 여러 가지 경우의 수를

가지고 계산한 결과 다음의 식을 이용해서 트리의 차수를 구할 수 있다.

$$T_{degree} = \left\lceil \left\lfloor \sqrt{\frac{N_{total}}{CH_{number}}} \right\rfloor / 2 \right\rceil$$

위의 식에서  $T_{degree}$ 는 트리의 차수이고  $N_{total}$ 은 네트워크를 구성하는 전체 노드의 수이며  $CH_{number}$ 는 선출된 클러스터 헤더의 수이다. 이 식을 통해 얻어진 차수 값을 가지고 각 로컬 클러스터를 계층적인 트리로 구성한다. 위 식을 통해 다음의 표1에 나오는 트리 차수 및 트리 레벨 값을 얻는다.

표 1 CH 수와 노드 수에 따른 트리의 차수 및 레벨

노드수 CH수	트리 차수		트리 레벨	
	100	200	100	200
2	4	5	4	4
3	3	4	4	4
4	3	4	4	4
5	2	3	5	4
6	2	3	4	4
7	2	3	4	4

표 1은 CH의 개수와 노드의 개수에 따라 위에서 보인 식을 적용하여 계산한 결과를 나타낸다. 표 1의 결과에서처럼 노드의 개수에 무관하게 선출되는 CH의 수에 따라 트리의 차수가 결정된다. 결정된 트리의 차수에 따라 CH를 기준으로 한 트리의 레벨이 평균 4정도의 레벨을 가지는 레벨 트리가 구성된다.

위 식을 통해 네트워크를 구성하는 전체 노드의 수와 선출된 클러스터 헤더의 수에 따른 트리의 레벨 및 차수를 조절함으로써 에너지 효율성 증대를 통한 네트워크의 수명을 늘릴 수 있는 트리의 구성이 가능하다. 또한 클러스터 헤더의 수와 네트워크를 구성하는 노드의 수에 따른 차수의 결정은 전체 네트워크에서 발생할 수 있는 오버헤드를 줄일 수 있다.

#### 4. 성능 평가

성능 평가를 위해 네트워크를 구성하는 노드들의 분포 및 간격을 균일하게 배치하였다. 네트워크의 크기는 100(m) X 100(m)이며 센서 노드의 개수는 100개로 설정하여 LEACH와 제안하는 Level-Tree의 전체 네트워크의 잔여 에너지를 비교하였다.

각 라운드는 클러스터 구성 단계와 데이터 전송 단계로 이루어져 있으며 각 노드들은 클러스터가 구성된 후 데이터를 클러스터 헤더에게 전송하고 클러스터 헤더는 수신한 데이터를 BS에 전송한다. 이때 각 노드들은 데이터를 송신하거나 수신 할 때마다 에너지를 소모한다. 이와 같은 조건으로 각 라운드가 끝난 후에 각 노드의 잔여 에너지량을 모두 합하여 전체 네트워크의 잔여 에너지량을 산출한다.

그림 3은 LEACH와 Level-Tree의 라운드 수에 따른 전체 잔여 에너지량의 측정 결과를 나타낸다. 각 노드의 초기 에너지는 3J씩 설정되어 초기의 전체 에너지량은 300J이 되며 라운드 수는 200라운드이다. 그림 3에서 보는 것처럼 두 방법 모두 완만한 하강 곡선 형태를 나타내고 있으며 Level-Tree의 잔여 에너지량이 LEACH에 비해 평균 8%정도 효율성을 나타낸다.

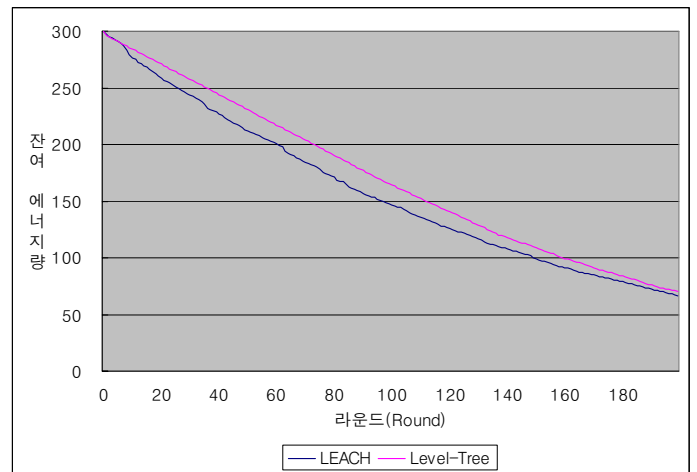


그림 3 라운드 수에 따른 전체 잔여 에너지량

#### 5. 결론

본 논문에서는 RF 전송 레벨을 이용하여 클러스터를 구성하고 구성된 로컬 클러스터는 선출된 CH에 따른 전송 레벨을 이용하여 Level-Tree를 구성하였다. 또한 선출되는 CH의 수에 따라 구성되는 트리의 차수와 레벨을 조절하여 전체적인 잔여 에너지량의 효율성을 나타내었다.

하지만 본 논문에서는 노드의 간격이 균일한 상태에서 전체 네트워크의 잔여 에너지량만 측정하였다. 향후 노드의 간격이 불균일한 상태에서 전체 네트워크의 잔여 에너지량 측정이 필요하고 또한 각 라운드에 따라 실패되는 노드의 수 측정하여 네트워크의 수명을 측정하고자 한다.

#### 참고문헌

[1] Akyildiz, I., W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "A survey on sensor network," IEEE Communications Magazine, Vol. 40, No. 4, pp.

- 102-114, 2002.
- [2] Bulusu, N., D. Estrin, L. Girod and J. Heidemann, "Scalable coordination for wireless sensor network: Self-configuring Localization Systems," In Proceedings of the Sixth International Symposium on Communication Theory and Application(ISCTA 2001), Ambleside, Lake District, UK, 2001.
- [3] Heinzelman, W., A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," in Proc. Of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, pp. 3005-3014, 2000.
- [4] Heinzelman, W., A. 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.
- [5] Mhatre, V., et. al., "Design guidelines for wireless sensor networks: communication, clustering and aggregation," Ad Hoc Networks Journal, Elsevier Science, pp. 45-63, 2004.
- [6] 채상윤, 한주선, 하란, "무선 센서 네트워크에서 RF 전송 레벨을 이용한 위치 측정 기법," 한국 정보과학회 논문집, Vol. 34, No.2(D), pp.0366-0371, 2007
- [7] <http://en.wikipedia.org/wiki/DBm>
- [8] <http://www.terabeam.com/support/calculations/>