

무선 센서 네트워크에서 2-레벨에 따른 단계적 클러스터링 기법

이성룡*, 박지수**, 손진곤*

*한국방송통신대학교 대학원 정보과학과

**고려대학교 컴퓨터교육과

e-mail:alcong0120@naver.com

Phased Clustering Scheme of Two-Levels in Wireless Sensor Networks

Seong-Lyong Lee*, JiSu Park**, Jin Gon Shon*

*Dept. of Computer Science, Graduate School, Korea National Open University

**Dept. of Computer Science Education, Korea University

요 약

무선 센서 네트워크는 제한된 에너지를 가진 센서 노드들로 구성되며, 센서 노드의 에너지를 효율적으로 활용하기 위해 클러스터링 알고리즘을 사용한다. 균형 있는 클러스터 구성을 위해서는 클러스터 헤드의 선정이 중요하다. 기존의 연구는 확률, 노드의 잔여 에너지, 이웃 노드의 수, 이웃 노드와의 거리 등의 정보를 활용하여 클러스터 헤드를 선정하였다. 그러나 확률은 클러스터 헤드의 밀집으로 인한 에너지 소비의 불균형이 있을 수 있으며, 이웃 노드와의 정보 비교는 필요한 정보 수집을 위해 많은 에너지가 필요하다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 본 논문은 센서 노드를 베이스 스테이션과의 거리에 따라 2-레벨로 나누고 각 상위 레벨에 속한 동일한 하위 레벨을 순차적으로 변경해가며 클러스터를 구성하는 기법을 제안한다.

1. 서론

무선 센서 네트워크는 센서 노드(이하 노드)가 감지한 데이터를 수집하기 위해 무선 통신을 이용하는 네트워크이며, 현재 환경, 산업시설, 농업, 의료 분야 등에서 사용되고 있다. 무선 센서 네트워크는 라우터나 기지국과 같은 네트워크 기반시설 없이 노드 간의 통신으로만 네트워크를 구성한다. 노드는 배터리를 사용하기 때문에 에너지 제약이라는 단점이 있다. 즉, 노드의 수명이 곧 네트워크의 수명이 된다. 따라서 노드의 에너지 효율을 최대화할 수 있는 방안이 필요하다.

클러스터 라우팅 기법은 클러스터 헤드를 선정하여 클러스터 내의 노드로부터 데이터를 수집함으로써 에너지 효율을 높이는 대표적인 방식이다. 주기적인 데이터 수집이 필요하거나 네트워크 전체를 정기적으로 모니터링 해야 하는 곳에서 주로 사용한다. 클러스터링에 따른 무선 센서 네트워크는 클러스터 단위로 데이터를 수집하고 통합하여 베이스 스테이션(Base Station, BS)으로 자료를 전송한다. 이러한 방식은 클러스터 단위의 데이터 통합을 통해 안정적인 데이터 전송이 가능하기 때문에 에너지 효율이 증가하고 네트워크 확장이 용이하다는 장점이 있다. 클러스터링 알고리즘은 클러스터 헤드(Cluster Head, CH) 선정에 따라 클러스터의 구성이 달라지고, 라우팅의 효율에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 CH를 선정하기 위해 확률, 잔여 에너지, 클러스터 멤버의 수 등의 다양한 요소를 고

려한다. [1][2] 연구에서는 주변 노드들보다 잔여 에너지의 양이 많거나 이웃 노드의 수가 많은 노드를 선정 하는 방법을 제안하였다. 그러나 이러한 방법은 이웃 노드의 정보를 활용하기 위해 노드 간에 많은 통신이 필요하다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 먼저 각 노드를 BS와의 거리에 따라 2-레벨, 즉 1계층 상위 레벨(이하 상위 레벨)과 2계층 하위 레벨(이하 하위 레벨)로 나눈다. 클러스터 구성 시 각 상위 레벨에 속한 동일한 하위 레벨의 노드를 CH로 선출하여 CH 분산과 이웃 노드의 범위를 제한하는 효과를 유도함으로써 에너지 효율을 높이는 방안을 제시한다.

2. 관련연구

클러스터 기반 알고리즘 중 LEACH[3]는 에너지소모를 모든 노드에게 분산시켜 네트워크 수명을 연장하는 방법이다. 클러스터를 구성하기 위해 모든 노드를 대상으로 CH가 선정될 수 있는 확률을 계산하여 CH를 선출하며, 이는 일정 시간동안 한번만 가능하다. 선출된 CH는 주변 노드에 메시지를 전송한다. 여러 CH로부터 메시지를 받은 노드는 신호의 세기에 따라 자신이 속할 클러스터를 선택하여 응답 메시지를 보낸다. 이렇게 클러스터를 구성하고, TDMA 스케줄을 활용하여 클러스터 내의 멤버노드로부터 데이터를 수집한다. 그리고 수집한 데이터를 압축하여 BS로 전송한다. 이 방법은 클러스터 구성과 데이터 전송

방식의 단순함으로 인하여 에너지 소모를 적게 하며, 네트워크 확장에 용이하다. 하지만 CH가 밀집하여 클러스터가 불균형하게 생성될 수 있기 때문에 에너지 소모가 불균형하고 데이터의 압축 효과가 줄어든다. 또한 에너지가 적은 노드가 CH로 선출되어 네트워크 수명을 단축시킬 수도 있다. 이러한 확률의 문제점과 클러스터의 불균형 문제를 해결하기 위해 LEACH-C[4]를 제안하였다. 이것은 노드 간의 통신을 통해 네트워크를 구성하던 방법과는 달리 각 노드의 정보를 주기적으로 수집하여 BS에서 최적의 클러스터를 구성하는 방식이다. 노드의 잔여 에너지와 위치 정보를 활용하여 최적의 클러스터 구성을 만들 수 있다. 그러나 여전히 주기적인 노드 정보의 수집을 위해 많은 통신 에너지와 시간이 필요하다는 문제점이 있다.

이를 해결하기 위해 에너지 소비의 부담을 분산시키고 에너지가 많은 노드에 역할을 분담하기 위해 잔여 에너지를 활용하는 방법이 있다[5][6]. 즉, 초기 에너지 대비 잔여 에너지를 확률에 곱하여 잔여 에너지가 많은 노드의 확률을 높인다[5]. 또 다른 제안으로는 각 노드에 잔여 에너지와 반비례하게 대기 시간을 부여하고, 대기 시간이 지날 때까지 메시지를 받지 않으면 스스로 CH가 되는 방법이 있다[6]. 이 방법들은 다른 노드와의 통신 없이 노드 자체의 정보를 활용하기 때문에 클러스터 구성에 부담이 없다는 장점이 있다.

3. 시스템 환경

3.1 시스템 환경 제약 사항

본 논문에서 제안하는 시스템 환경은 지속적인 모니터링이 필요한 2차원 평면 환경에 고정된 n개의 노드를 균일하게 배포했다고 가정하며, 다음과 같은 특징을 갖는다.

- 1) 모든 노드는 자신의 위치에 대한 투명성을 가진다.
- 2) 모든 노드는 수신된 전파의 세기를 통해 송신자와의 거리를 알 수 있다.
- 3) 모든 노드는 에너지를 조절하여 원하는 범위 내로 데이터를 전송할 수 있다.
- 4) 모든 노드는 자유공간과 다중경로공간을 구분하는 거리(d_0)와 최적의 클러스터 크기를 알고 있다.
- 5) BS는 노드들로부터 멀리 떨어진 곳에 하나만 존재하며, 에너지와 메시지 브로드캐스팅에 제한이 없다.

3.2 에너지 소비모델

에너지 소비를 측정하기 위해 논문[3]에서 사용한 FORM(First Order Radio Model)을 사용한다. 이 모델에서는 송수신 노드 사이의 거리에 따라 자유공간과 다중경로공간으로 구분한다. 데이터 전송 에너지는 특정 거리 d 에 따라 d 보다 가까운 자유공간은 d^2 에 비례하여 에너지가 소비되고, d 보다 먼 거리의 다중경로공간은 d^4 에 비례하여 에너지가 소비된다. 즉, l bit의 메시지를 전송하기 위한 에너지는 식(1)과 같다. 식(2)는 l bit의 메시지를 수신하기 위해 필요한 에너지이다.

$$E_{Tx}(l, d) = \begin{cases} lE_{elec} + l_{efx} d^2, & d < d_0 \\ lE_{elec} + l_{emp} d^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (1)$$

$$E_{Rx}(l) = lE_{elec} \quad (2)$$

위의 에너지 소비 모델을 보면, 메시지의 송신과 수신 모두 에너지가 필요하다. 일반적으로 노드는 전체 에너지 중 약 80%를 데이터 전송에 사용한다[7]. 여기에서는 불필요한 데이터 전송을 최소화하는데 초점을 맞춘다. 클러스터를 구성할 때 잔여 에너지나 위치 정보 등을 공유하기 위한 통신을 최소화 하고, CH간의 데이터 전송을 위한 릴레이 노드 간의 적정 거리를 유지하여 데이터 전송 에너지를 최소화하는 방법이 필요하다.

4. 2-레벨 기반 에너지 어웨어 클러스터링 기법

본 논문에서 제안하는 클러스터링 기법은 2-레벨 설정, 클러스터 구성으로 이루어진다. 각 노드는 BS와의 거리에 따라 상위 레벨로 분할하고, 각 상위 레벨을 다시 BS와의 거리에 따라 하위 레벨로 나눈다. CH는 상위 레벨에 속한 동일한 하위 레벨의 노드 중에서 선출하며, 데이터 전송은 기존 기법을 사용한다.

4.1 2-레벨 설정

이 단계는 네트워크를 BS와의 거리에 따라 각 노드를 2계층 레벨로 분할하는 단계이다. 각 노드는 거리에 따라 1계층 상위 레벨로 나누고, 상위 레벨은 다시 BS와의 거리에 따라 2계층 하위 레벨로 나눈다. 이 단계는 네트워크 구성 처음에 한번만 진행된다.

노드가 배포된 후, BS는 최대 세기로 모든 노드에 네트워크 구성 시작을 알리는 HELLO_MSG 메시지를 전송한다. 이를 수신한 노드는 신호의 세기를 바탕으로 BS와의 거리를 계산한다[8]. 각 노드는 BS와의 거리를 미리 정해진 클러스터의 크기로 나누어 상위 레벨을 설정한다. 상위 레벨을 설정한 모든 노드는 BS와의 거리를 이용하여 각 레벨을 다시 BS와의 거리에 따라 1부터 n레벨까지 나눈다. 상위 레벨과 하위 레벨은 아래의 식(3)과 식(4)와 같이 계산한다.

$$Level = \frac{d(BS, SN)}{CS} + 1 \quad (3)$$

$$Sub_Level = \frac{(d(BS, SN) \% CS)}{LS} + 1 \quad (4)$$

위 식에서 SN은 센서 노드, CS는 클러스터의 크기, LS는 하위 레벨의 크기이며, $d(BS, SN)$ 은 BS와 SN의 거리이다. 상위 레벨은 식(3)과 같이 BS와 SN의 거리를 CS로 나눈 값이며, 하위 레벨은 식(4)와 같이 BS와 SN의 거리를 CS로 나눈 나머지를 LS로 나눈 값이다.

4.2 클러스터 구성

클러스터를 구성하기 위해서 먼저 CH를 선출하고, CH를 중심으로 클러스터를 구성한다.

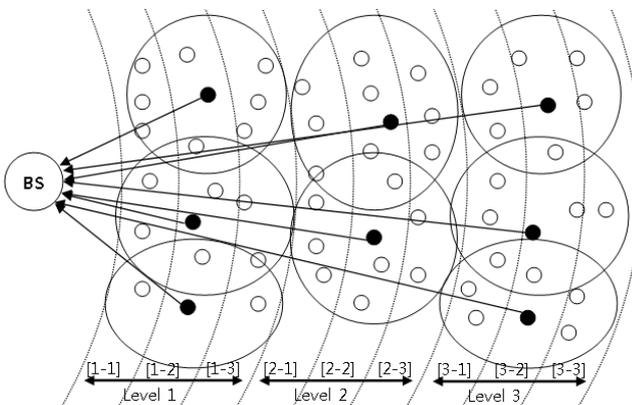
$$n = (r - 1) \% LS + 1$$

$$CH \in n \text{ Level} \tag{5}$$

식(5)는 라운드를 시작할 때 CH를 선출할 레벨을 찾기 위한 식이다. r은 현재 라운드이며, n은 각 라운드에서 CH를 선출할 레벨이다. 즉, 첫 번째 라운드에서는 각 상위 레벨의 하위 레벨 Level 1-1, Level 2-1, 두 번째 라운드에서는 Level 1-2, Level 2-2와 같이 각 라운드별로 각 상위 레벨의 동일한 하위 레벨에서 CH를 선출한다. CH 선출은 LEACH에서 사용한 아래의 확률을 사용한다.

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P \times (r \bmod \frac{1}{P})}, & \text{if } n \in G \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{6}$$

T(n)은 CH의 수를 조절하기 위한 임계 값이다. P는 전체 노드 중 CH의 비율, G는 1/P 라운드 동안 CH로 선출되지 않은 노드의 집합이다. 각 노드는 0~1사이 임의의 수를 가지고 있으며, 이 값이 T(n)보다 작으면 CH가 된다. 선출된 CH는 주변 노드에 미리 정의된 클러스터 크기의 신호 세기로 CH_MSG 메시지를 전송하며, 이 메시지를 받은 노드는 클러스터 멤버가 된다. 만약 임의의 시간 동안 CH_MSG를 받지 못한 노드는 스스로 CH가 되어 주변 노드에 CH_MSG 메시지를 전송한다. 이때 한 개 이상의 메시지를 받은 노드는 신호의 세기가 가장 큰 메시지를 보낸 노드를 자신의 CH로 선택한다. (그림 1)은 LEACH에 하위 레벨을 3으로 하여 제안 기법을 적용한 모습이다.



(그림 1) LEACH에 제안 기법 적용

5. 성능평가

5.1 시뮬레이션 환경

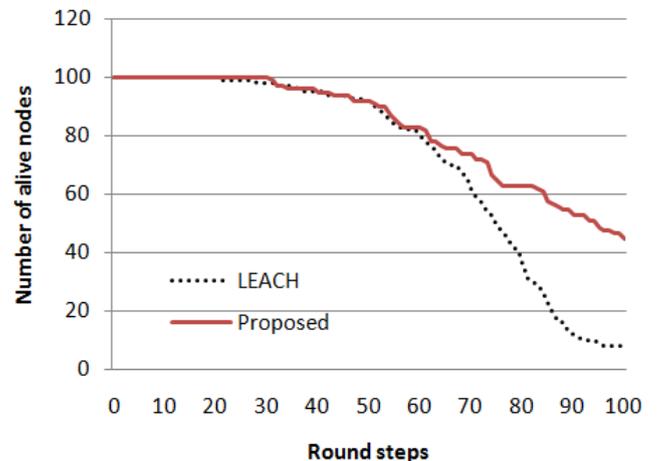
본 논문에서는 LEACH 기법과 제안 기법에 적용한 방식의 성능을 동일한 환경에서 매트랩을 이용하여 시뮬레이션한다. 무선 센서 네트워크의 영역은 100m × 100m 네트워크에 100개의 노드를 무작위로 배포하였다. <표 1>은 시뮬레이션에 사용한 환경변수의 값이다.

<표 1> 시뮬레이션 환경변수 값

환경변수	값
네트워크 영역	100m × 100m
노드	100 개
각 노드의 초기 에너지	0.5 J
데이터 송수신 에너지	50 nJ/bit
자유 경로 전송 증폭 에너지	10 pJ/bit/m ²
다중경로 전송 증폭 에너지	0.0013 pJ/bit/m ²
데이터 통합 에너지	5 nJ/bit
CH 선출 확률	5 %
전송 데이터	4000 bits
클러스터의 크기	30 m
하위 레벨의 크기	10 m

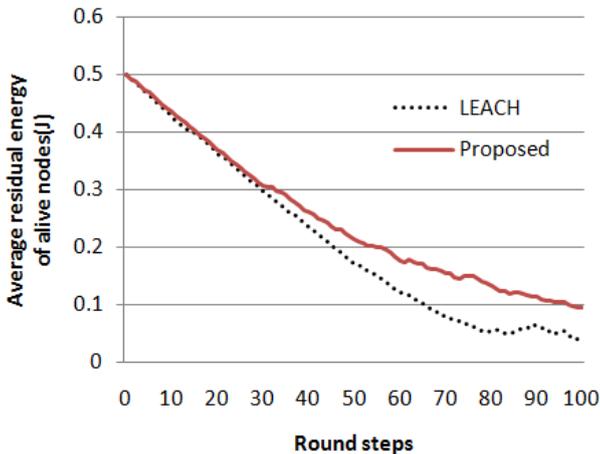
5.2 시뮬레이션 결과

LEACH와 제안 기법의 성능을 비교하기 위해 시간 경과에 따른 생존 노드의 수와 노드의 잔여 에너지량을 비교하였다. (그림 2)와 (그림 3)은 두 기법을 총 100 라운드 수행한 시뮬레이션의 결과이다. (그림 2)에서 에너지 고갈 노드가 처음 발견된 시점은 LEACH는 21 라운드, 제안 기법은 31 라운드이다. LEACH에서 초기에 에너지 고갈 노드가 발견된 것은 CH를 선출할 때 확률만 사용하여 CH가 밀집하는 문제가 발생하였기 때문이다. 이로 인해 특정 CH가 많은 멤버 노드를 가져 에너지 소비가 빠르게 진행되었다. 이에 반해 제안 기법은 2-레벨을 사용하여 단계적으로 CH를 분산시켜 에너지 고갈 속도를 늦추었다.



(그림 2) 라운드에 따른 생존 노드의 수

(그림 3)에서 제안 기법은 LEACH에 비해 평균 에너지 소모량이 적다. 제안 기법의 생존 노드가 더 많아 데이터의 전송량이 많음에도 불구하고 노드의 평균 잔여 에너지가 많다. 이러한 결과는 제안 기법이 거리에 따라 단계적으로 CH를 배치함으로써 인해 균형 있는 클러스터가 형성되어 에너지 소비 분산 효과가 있기 때문이다.



(그림 3) 라운드에 따른 노드의 잔여 에너지

6. 결론

제안한 기법은 각 노드를 BS와의 거리에 따라 상위 레벨과 상위 레벨에 속하는 하위 레벨의 2계층으로 나눈다. 그리고 각 라운드마다 같은 하위 레벨의 노드에서 CH를 선출하며 클러스터의 크기를 제한한다. 이를 통해 CH의 간격을 일정하게 유지하여 CH가 밀집할 확률을 줄이고, 네트워크 전체 클러스터의 크기가 일정하게 유지한다. 이는 각 노드의 에너지 소비를 균등하게 만들어 네트워크의 수명을 연장한다.

향후 연구에서는 최적화된 클러스터와 레벨의 크기를 찾고, 멀티홉 라우팅 기법에 이를 적용하여 비교 평가할 예정이다.

참고문헌

[1] Younis, Ossama, and Sonia Fahmy. "HEED: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks." *Mobile Computing, IEEE Transactions on* 3.4 (2004): 366-379.

[2] Ding, Ping, JoAnne Holliday, and Aslihan Celik. "Distributed energy-efficient hierarchical clustering for wireless sensor networks." *Distributed Computing in Sensor Systems*. Springer Berlin Heidelberg, 2005. 322-339.

[3] Heinzelman, Wendi Rabiner, Anantha Chandrakasan, and Hari Balakrishnan. "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor

networks." *System Sciences, 2000. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on*. IEEE, 2000.

[4] Heinzelman, Wendi B., Anantha P. Chandrakasan, and Hari Balakrishnan. "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks." *Wireless Communications, IEEE Transactions on* 1.4 (2002): 660-670.

[5] Xuhui, Chen, Yang Zhiming, and Cheng Huiyan. "Unequal clustering mechanism of leach protocol for wireless sensor networks." *Computer Science and Information Engineering, 2009 WRI World Congress on*. Vol. 1. IEEE, 2009.

[6] Yu, Jiguo, Yingying Qi, and Guanghui Wang. "An energy-driven unequal clustering protocol for heterogeneous wireless sensor networks." *Journal of Control Theory and Applications* 9.1 (2011): 133-139.

[7] Kimura, Naoto, and Shahram Latifi. "A survey on data compression in wireless sensor networks." *Information Technology: Coding and Computing, 2005. ITCC 2005. International Conference on*. Vol. 2. IEEE, 2005.

[8] 임철우, "노드의 인접성과 신호 강도에 의한 센서 노드 위치 추정법", 영남대학교 대학원 박사학위 논문, 2009.