

# 센서 네트워크에서 균등한 클러스터 형성을 위한 클러스터헤드 재선출 기법

남춘성\*, 구용기\*, 윤종완\*, 신동렬\*  
\*성균관대학교 전자전기컴퓨터 공학과  
e-mail:namgun99@skku.edu

## Cluster Head Re-Selection Algorithm for Equal Cluster Formation in Wireless Sensor Networks

Choon-Sung Nam\*, Yong-Ki Ku\*, Jong-Wan Yoon\*,  
Dong-Ryeol Shin\*

\*School of Information and Communication Engineering,  
SungKyunKwan University

### 요약

무선 센서 네트워크의 목적은 특정 지역에 뿌려져 있는 센서 노드를 통해서 센서 정보를 수집하는 것이다. 지역 내 센서 노드는 환경 값을 측정, 수집, 처리하여 싱크 노드로 전송된다. 이러한 과정은 센서네트워크를 구성하는 센서 노드의 제한된 능력 때문에 센서 노드의 저전력 동작 기법을 고려해야 한다. 인접한 센서 노드는 유사한 데이터를 가지기 때문에, 로컬 클러스터를 형성하고 클러스터 헤드로 데이터 가공 처리하는 클러스터링 기법이 저전력 동작 기법에 효과적이다. 또한 제한된 전송 범위에 따라 다중 홉 방식의 클러스터 형성 기법요구 된다. 클러스터 형성 시 클러스터 내 멤버 노드의 개수는 균형적인 클러스터 형성에 영향을 주기 때문에 클러스터를 균등하게 분할하는 방법이 필요하다. 이에 본 논문은 클러스터 헤드의 재선정을 통해 불균형하게 형성된 클러스터를 균등한 클러스터로 형성할 수 있는 방법을 제안한다.

### 1. 서론

무선 센서 네트워크는 특정 지역의 환경 정보를 무선 네트워크를 통해 수집하기 위한 것을 목적으로 한다. 센서 네트워크를 구성하는 노드는 주변 환경의 변화를 센싱 할 수 있는 센서, 수집된 센싱 데이터를 가공할 수 있는 프로세서, 그리고 이러한 데이터를 전송할 수 있는 무선 송수신기로 구성한다. 무선 센서 네트워크는 역할에 따라 센서 노드와 싱크 노드로 나뉜다. 센서 노드는 주변 환경 정보를 수집하고, 가공하여 싱크 노드로 전송하는 역할을 수행하고, 싱크 노드는 센서 노드로부터 정보를 수집하고, 외부 네트워크로 데이터를 전송하는 게이트웨이 역할을 수행한다.[1]

센서 노드는 접근이 용이하지 않은 환경에서 동작하기 때문에 다른 이동형 기기와는 달리 센서 노드의 배터리 교환이나 충전이 어렵다는 특징을 가진다. 따라서 센서 노드가 저전력으로 동작하는 기법의 개발은 중요하다. 센서 네트워크를 구성하는 요

소 중 하나는 라우팅 프로토콜이다. 센서 네트워크는 전통적인 무선 네트워크와는 달리 제한된 특성가지기 때문에, 라우팅 알고리즘을 설계하는 방법에 저전력 동작 기법을 고려해야 한다[2].

센서 네트워크의 라우팅 기법은 평면 라우팅 기법과 계층적 라우팅 기법으로 나뉜다. 일반적으로 인접한 센서 노드는 유사한 데이터를 가지고, 유사한 데이터 중복 전달에 따른 에너지 소모가 크기 때문에, 클러스터링 기법이 저전력 동작을 위한 효율적인 라우팅 기법이다.

센서 노드의 제한된 무선 범위는 자신의 통신 범위 밖에 있는 노드와 통신하기 위해서 다중 홉(multi-hop) 방식을 이용하는 것이 알맞다[3]. 다중 홉 방식의 클러스터링 기법에서 클러스터내의 멤버 개수는 에너지 소비를 측정하는데 중요한 요인이다. 만약 클러스터 멤버의 개수가 많다면 클러스터 헤드의 에너지 및 클러스터 내 에너지 소비가 크다. 그리고 만약 클러스터 멤버의 개수가 적으면 클러스터

헤드의 에너지 및 클러스터 내 에너지 소비가 적다. 따라서 클러스터 형성할 때, 멤버 노드의 개수를 균등하게 설정하는 것이 중요하다. 이에 본 논문에서는 클러스터 헤드를 통한 균등한 클러스터링 형성 방법에 대해서 제안한다. 이 방법은 클러스터 헤드들간의 거리와 각 노드 사이의 거리를 고려하고 각 클러스터 헤드의 위치를 조정하여 균등한 클러스터를 형성하는 방법이다.

## 2. 관련연구

### 2.1. LEACH

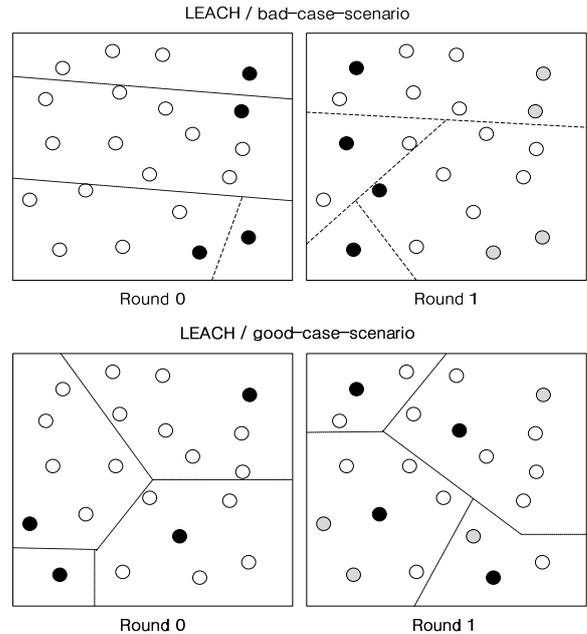
LEACH[4] 는 네트워크에서 센서들의 에너지를 분산시키기 위한 클러스터링 기반 라우팅 기법이다. LEACH는 클러스터 헤드를 선정하여 클러스터 헤드가 클러스터 멤버 노드들로부터 감지 정보를 수집하고, 데이터를 처리하여 싱크노드로 데이터를 전달하는 기법이다. 이 기법의 특징은 네트워크에 있는 모든 센서 노드들에게 에너지 소비를 공정하게 분산시키기 위해, 에너지 집약적인 기능을 하는 클러스터 헤드를 무작위로 순환시키고, 전체 네트워크의 에너지 소모를 줄이기 위해 노드를 지역적으로 관리하는 클러스터링 기법을 사용한다. LEACH는 클러스터를 구성하는 ‘설정(set-up)’ 단계와 여러 개의 TDMA 프레임으로 구성되는 ‘상태지속(steady-state)’ 단계로 구성한다. ‘설정(set-up)’ 단계에서 모든 센서 노드들은 수식(1)과 같은 임계값( $T(n)$ )에 따라 클러스터 헤드를 선출한다. 노드가 0과 1사이의 임의의 숫자를 선택하여 생성된 수가 임계값( $T(n)$ ) 보다 작은 값을 가진 노드가 현재 라운드에서 클러스터 헤드로 선출한다.

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

클러스터 헤드의 균등한 역할 분배를 통해, LEACH는 에너지소비가 큰 클러스터 헤드를 균등하게 순환시킴으로써 네트워크 내 센서 노드들의 에너지 소비를 공평하게 분산시킬 수 있다. 그럼으로, LEACH는 평면 라우팅 기법에 비해 많은 에너지 절약이 있을 수 있으며, 이에 따른 네트워크 전체의 수명을 연장시킬 수 있다.

LEACH는 한 라운드가 종료될 때 마다 클러스터를 다시 구성하는데, 클러스터를 균등하게 분할할 수도 있고(Good-Case), 그렇지 못 할 수 있는 경우(Bad-case)가 있다.[5] 즉, 클러스터를 균등하게 분

할하지 못 하는 경우에 센서 네트워크 에너지 분배에 어려움을 가진다. 만약 클러스터 내 멤버 노드의 개수가 많다면, 클러스터 헤드의 에너지 소모와 각 노드의 에너지 소비가 지나치게 늘어난다. 반대로 클러스터 내 멤버 노드의 개수가 적다면, 클러스터 헤드의 에너지 소모와 각 노드의 에너지 소비는 줄어든다. 이러한 클러스터 불균형으로 인해 센서 네트워크의 에너지 균형을 유지하지 못 한다.



[그림 1] 다양한 클러스터 구성

또한 LEACH는 송수신 센서의 거리에 따른 전송 파워 조절 능력을 가정하였기 때문에, 모든 센서 노드가 수집된 데이터를 클러스터 헤드 혹은 싱크 노드로 최소 신호 레벨로 직접 전송 한다. 하지만 센서 노드의 전송 범위의 한계[6] 때문에, 다중홉(multi-hop) 방식을 이용하여 전송 범위 밖의 노드와 통신하는 것이 알맞다. 따라서 클러스터 헤드 혹은 싱크 노드와 직접적인 통신 범위에 속하지 않았을 경우라도 다중홉방식을 이용하여 클러스터 구성할 필요가 있다[3].

## 3. 균등한 클러스터 형성을 위한 클러스터 재구성

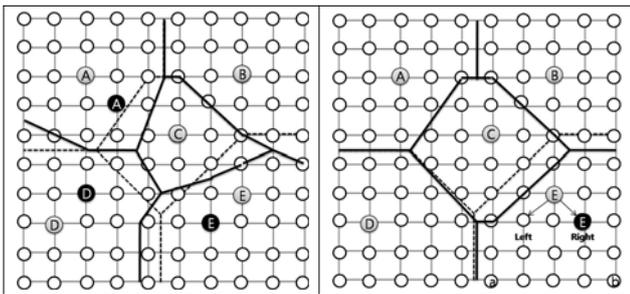
### 3.1. 다중홉 기반의 클러스터링

다중 홉을 적용한 클러스터 형성을 위해서, 클러스터헤드를 이용하여 클러스터를 형성한다, CHRS(Cluster Head Re-Selection). 클러스터 헤드는 자신과 1홉 거리에 있는 이웃 노드에게 ADV 메시지를 보내고 이웃노드에게 보내는 과정을 반복하여 클러스터에 속하는 경계를 형성한다. ADV 메시

지를 수신한 노드들은 자신이 클러스터에 포함되어 있는지를 판단한다. 만약 그렇지 않다면, 자신을 ADV에 포함된 CH id를 로컬 클러스터를 결정하고, ADV 메시지를 보낸 노드보다 홉카운트(hop-count)를 증가시키고, REP 메시지를 클러스터 헤드로 보내어 자신을 로컬 클러스터에 등록한다. 이러한 과정을 통해 클러스터 헤드는 자신의 멤버 노드로부터 자신의 멤버 개수와 홉 거리를 구할 수 있다[7].

### 3.2. 클러스터 헤드 재설정

이전 연구에서 클러스터 헤드 재설정을 통해 불균형한 클러스터 형성을 방지하고자 FMN(Furthest Member Node)과 SCH(Shortest Cluster Head)의 거리를 이용하여 균등한 클러스터 형성 기법을 제안하였다, ACHS[5]. 하지만, 균등하게 형성된 클러스터 또한 이 기법을 이용하면 불균형하게 형성될 수 있는 가능성이 있다.



(a) (b)  
[그림 2] 클러스터 헤드 재설정 문제점

그림 2 -(a) 에서, 클러스터 헤드로 선출된 노드는 희색원 A,B,C,D,E이다. 우선 LEACH로 클러스터를 형성하면 점선과 같은 로컬 클러스터를 형성할 수 있다. 각 클러스터 헤드가 갖는 멤버 노드의 개수는 A는 21개, B는 16개, C는 14개, D는 21개, 그리고 E는 23개이다. 위에서 언급했듯이, 다중홉으로 형성된 로컬 클러스터의 클러스터 헤드는 멤버 노드의 개수를 파악할 수 있다. 이를 통해 전체 노드에서 자신이 가질 수 있는 노드의 적정 개수를 알 수 있다. 이 예에서 로컬 클러스터당 가질 수 있는 적정 개수(전체 노드수/클러스터헤드 개수)는 클러스터 헤드 포함 20개이다. 클러스터 헤드 A와 D는 멤버 노드가 적정하게 배치되었다고 할 수 있다. 하지만, 클러스터 B, C, E는 그렇지 않다. 우선 이전 방법[5]에서 제안한 방법으로 클러스터 헤드를 재설정하면, 클러스터 헤드가 검은원 A,D,E으로 변경한다. 이때, B,E는 FMN과 SCH가 같으므로 변경되지 않는다. 변경

된 로컬 클러스터 범위는 검은색 선으로 표시할 수 있다. 클러스터의 멤버 노드의 개수는 A는 21개, B는 18개, C는 10개, D는 22개, 그리고 E는 24개로 이전보다 클러스터 불균형을 일으키는 로컬 클러스터 C,D,E 발생하였으며, C같은 경우 더욱더 불균형한 로컬 클러스터를 초래한다. 따라서 제안하는 기법은 균등하게 형성된 로컬 클러스터의 클러스터 헤드를 고정시키고 불균형하게 형성된 로컬 클러스터 간의 헤드만을 변경하여 이러한 문제를 해결한다. 이에 대한 알고리즘은 그림 3과 같다.

```

Procedure E-ACHS
Input selected cluster head id
Output reselected cluster head id


---


If selected cluster head id Then
  Begin
    If (# of CM )
      becomeEC
    Else
      check Diff = differencebetweenSCHandFMN
      If (Diff = 0)
        become EC
      If (Diff > 0)
        select farther FMN from SCH
        move to SCH as far as Diff-hop(s)
      If(Diff<0)
        select farther SCH from FMN
        moveto FMN as far as Diff-hop(s)
    End


---


    # of CM Number of cluster member
    EC Equal cluster
    FMN the farthest member node
    SCH the shortest cluster head
  
```

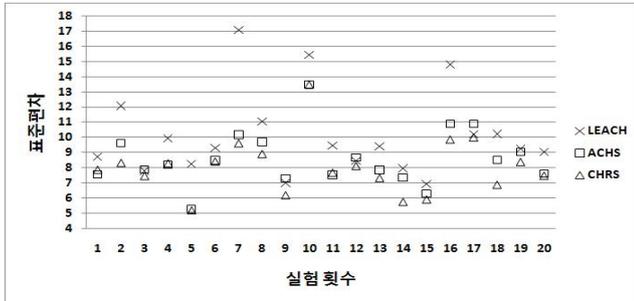
[그림 3] 클러스터 형성을 위한 슈도코드

### 4. 성능평가

네트워크의 정확한 홉 수를 분석하기 위해 간단한 네트워크 토폴로지를 구성한다. 전체 네트워크의 크기는 100m x 100m로 구성하였고- 20x20 그리드 구조 - 고립 노드를 방지하기 위해 300개의 노드를 분포한다. 300개의 5%인 15개의 노드가 클러스터 헤드로 선출되고, 적정한 멤버 노드의 개수19개이다. 노드의 통신 범위는 10m로 설정하고, 뿌려진 노드 간의 최소 거리는 5m로 설정한다.

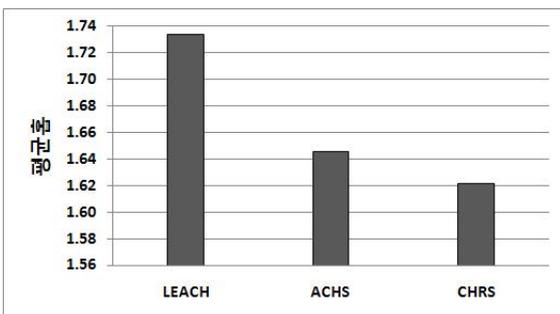
그림 4는 로컬 클러스터 내 멤버 노드의 표준편차를 나타낸다. 위 그림에서, LEACH는 대부분의 실험에서 멤버 노드의 표준편차 값이 크다. 하지만, ACHS와 CHRIS는 LEACH에 비해 상대적으로 낮은 표준편차 값을 나타낸다. 균등한 클러스터를 형성하는 3, 9, 12의 실험에서는 ACHS가 LEACH 보다 표준편차가 높은 것으로 나타난다. 다시 말해, ACHS로 인해서 이전보다 불균등한 클러스터 영역을 형성

하는 결과를 초래한다. 반면에, CHRS의 경우 전체 실험에서 LEACH보다 낮은 표준 편차값을 나타내고 ACHS 보다 조금 낮은 표준 편차값을 가짐을 알 수 있다. 따라서 CHRS보다 균등한 클러스터를 형성할 수 있다.



[그림 4] 로컬 클러스터당 멤버노드 표준편차

클러스터가 균등하게 형성되어 있을 지라도, 클러스터 헤드와 멤버 노드간의 홉 거리가 크면, 통신 비용이 증가한다. 따라서 우리는 위와 같이 형성된 클러스터를 기반으로 평균 홉수를 구하였다. 그 결과(그림 5), 우리가 제안한 CHRS가 LEACH와 ACHS보다 적은 평균 홉수를 갖는 결과를 얻었다. 이는 클러스터 헤드와 멤버간의 통신 거리가 짧다는 것을 뜻하는 것으로, 로컬 클러스터 내 에너지 소비(클러스터 헤드와 멤버노드)를 낮출 수 있는 결과이다. 그럼으로, 제안하는 CHRS는 로컬 클러스터 내 적절한 클러스터 멤버 개수를 갖는 클러스터를 형성하고, 이를 통해 센서 네트워크 전체의 에너지 소모를 줄일 수 있는 결과를 초래할 수 있다.



[그림 5] 로컬 클러스터 당 평균 홉 수

### 5. 결론

본 논문은 클러스터 헤드 재선정을 통해 균등한 클러스터링 형성 방법에 대해서 제안하였다. 이 방법을 적용하기 위해서 센서 노드의 제한된 전송 범위를 기반으로 클러스터를 형성하는 방법에 대해서 논하였다. 또한 클러스터의 균등한 분할을 위하여,

클러스터 헤드들과 멤버 노드 사이의 홉 수를 고려하여 클러스터 헤드들을 분산시켜 클러스터를 재구성하였다. 제안된 방법의 성능 분석을 위하여 시뮬레이션 환경을 구현하였다. 로컬 클러스터 내 멤버 노드의 개수와 클러스터 헤드와 멤버 노드 사이의 평균 홉(hop)수를 낮춤으로 인해 균등한 클러스터 형성과 에너지 효율적인 클러스터링 기법임을 보였다. 또한, 클러스터 Bad-Case와 Good-Case에 상관없이 향상된 클러스터 분할을 할 수 있음을 보였다.

### Acknowledgement

본 연구는 경기도의 경기도지역협력연구센터사업의 일환으로 수행하였음.[2008-064-0002-0003, 적응형 온톨로지 센서 미들웨어]

### 참고문헌

- [1] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh SanKarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "A survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol.40, No.8, pp.102-114, August 2002.
- [2] A. Wadaa, S. Olariu, L. Wilson, K. Jones, Q. Xu, "On Training a Sensor Network", *Proceedings of the International Parallel and Distributed Processing Symposium(IPDPS'03)*, IEEE, 2003.
- [3] S. Toumpis, A.J. Goldsmith, "Capacity regions for wireless ad hoc networks", *Wireless Communications, IEEE Transactions on Volume 2, Issue 4, Jul 2003* Page(s): 736-748
- [4] Wendy Rabiner Heinzelman, Anantha Chandrakasan, and Hari Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", *Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences*, January 2000.
- [5] Choon-Sung Nam, Hee-Jin Jeong and Dong-Ryeol Shin, "The Adaptive Cluster Head Selection in Wireless Sensor Networks", *IEEE International Workshop on Semantic Computing and Applications*, pp. 147-149, 2008.
- [6] J. A. Gutierrez, M. Naeve, E. Callaway, M. Bourgeois, V. Mitter and B. Heile, "IEEE 802.15.4: A Developing Standard for Low-Power Low-Cost Wireless Personal Area Networks," *IEEE Network Magazine*, volume 15, Issue 5, pp.12-19, September/October 2001.
- [7] Choon-Sung Nam, Hee-Jin Jeong, Yiseok Jeong and Dong-Ryeol Shin, "Routing Technique Based on Clustering for Data Duplication Prevention in Wireless Sensor Networks", *Proceedings of International Ubiquitous Workshop*, January 22, 2008.