

# 섹터화된 랜덤 클러스터 헤더 선출 알고리즘 효율성 분석

김민제\* · 이두완\* · 장경식\*

\*한국기술교육대학교

## S-RCSA : Efficiency Analysis of Sectored Random Cluster Header Selection Algorithm

Min-je Kim\* · Doo-wan Lee\* · Kyung-sik Jang\*

\*Korea University of Technology and Education

E-mail : opopkmj@kut.ac.kr, neomenie@kut.ac.kr, ksjang@kut.ac.kr

### 요 약

WSN 분야의 대표적인 알고리즘의 하나인 LEACH는 시스템 수명동안 모든 노드들이 균일한 횟수로 클러스터 헤더가 되는 것을 보장한다. 하지만 각 라운드별로 일정한 클러스터 헤더 수를 보장하지 못하여 클러스터 헤더가 선출되지 못하는 경우가 발생하거나 적은 수로 선출되는 경우가 발생한다. 클러스터 헤더가 적게 선출될 경우 클러스터 헤더에 높은 부하가 걸린다. 또한 선출된 클러스터 헤더의 위치에 따라 센서 노드가 소속되지 않은 클러스터가 발생할 경우도 있다.

이에 본 논문에서는 관심 영역을 일정한 섹터로 나누어 각 섹터마다 클러스터 헤더를 무작위로 하나씩 선출하는 알고리즘을 제안한다. 클러스터 구성 시 각 센서 노드는 가장 가까운 클러스터 헤더에 소속되어 클러스터 구성은 섹터와는 무관하게 진행된다. 이 알고리즘은 매 라운드마다 일정한 수의 클러스터 헤더를 보장하며 소속된 센서 노드가 없는 헤더가 발생하지 않도록 한다.

### ABSTRACT

LEACH(One of the leading algorithms in the field of WSN) for the life of the system, even by the number of all nodes to ensure that the cluster header. However, each round does not guarantee a certain number of cluster header. So sometimes cluster header is elected of small number or not elected. If cluster header number is to small, takes a heavy load on cluster header. And empty cluster is occur depending on the location of the cluster header.

The algorithm proposed in this paper, the area of interest is divided into sectors. And randomly, cluster header be elected one the in each sector. When clustering the sensor nodes will belong to the nearest cluster header. So clustering is independent of the sector. This algorithm is guarantee a certain number of cluster header in each round. And has prevent occurrence of empty cluster.

### 키워드

Wireless Sensor Network, Cluster header election, Hierarchical, Random clustering

### 1. 서 론

무선 센서 네트워크는 여러 개의 센서 노드들이 서로 협력하여 수집한 데이터를 네트워크를 통해 베이스 스테이션으로 전달하는 시스템이다.[1] 이러한 무선 센서 네트워크는 환경 감시, 산업, 군사 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

무선 센서 네트워크의 센서 노드들은 배치 후

외부로부터의 에너지 공급이 어렵기 때문에 에너지 효율이 중요하다. 센서노드를 효율적으로 관리하고 베이스 스테이션과 센서 노드간의 직접 통신으로 인해 발생하는 막대한 트래픽을 줄이기 위해 계층형 클러스터링 알고리즘을 사용한다. 계층형 클러스터링 알고리즘은 클러스터 헤더와 멤버 노드로 구성되며, 센서 노드가 수집한 데이터를 클러스터 헤더로, 클러스터 헤더로 모인 데이

터는 가공되어 베이스 스테이션으로 전송된다.[2] 따라서 네트워크의 통신 소비 전력을 줄이고 네트워크 관리를 효율적으로 할 수 있지만 특정 노드가 계속 클러스터 헤더 역할 수행 시 해당 노드의 에너지 소모가 많아진다. 때문에 클러스터 고립이 발생하거나 네트워크 수명이 줄어드는 현상이 발생 할 수 있다. 이를 방지하기 위해서는 주기적으로 클러스터 헤더를 바꾸어 주어야 한다.[3] 이러한 계층형 클러스터링 구조의 효율적인 이용을 위해 다양한 연구가 진행되었다.[4][5][6]

## II. 관련 연구

### 1. LEACH

LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)는 센서 네트워크 분야의 대표적인 프로토콜로서 헤더 선출 확률식에 의해 클러스터 헤더를 선출한다. 이 식은 네트워크를 구성하는 모든 노드가 일정한 횟수만큼 클러스터 헤더가 되는 것을 보장한다. LEACH는 라운드마다 Set-up phase와 Steady-state phase로 나뉘며 특성은 다음과 같다.[4]

#### (1) Set-up phase

Set-up Phase는 클러스터 헤더를 선출하고 네트워크를 구성하는 과정으로 클러스터 헤더 선출식에 의해 클러스터 헤더가 선출된다. 클러스터 헤더 선출 식은 다음과 같다.

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

식 (1)에서  $k$ 는 선출하고자 하는 헤더의 평균 수,  $N$ 은 전체 노드의 수,  $r$ 는 라운드 수를 의미한다.  $C_i(t)$ 는 클러스터 헤더 선출 여부로  $\frac{N}{k}$ 번의 라운드 주기 동안 클러스터 헤더로 선출된 적이 있으면 0으로 변경된다.

모든 노드는 매 라운드마다 식 (1)의 결과와 무작위로 뽑은 수를 비교하여 무작위로 뽑은 수가 작으면 자신을 클러스터 헤더로 선출하고 주변에 통보한다.

통보를 받은 노드는 가장 가까운 클러스터 헤더에 소속된다.

#### (2) Steady-state phase

Steady-state phase에서 각 노드는 TDMA 스케줄에 의해 정해진 시간에 클러스터 헤더로 정보를 전송하며 정해진 시간 이외는 대기 상태로 존재한다.

LEACH는 모든 노드가 일정한 횟수만큼 클러스터 헤더로 선출되는 것을 보장하지만 다음과

같은 몇 가지 특성이 비효율을 가져온다.

첫째, 매 라운드 일정한 클러스터 헤더의 수를 보장하지 않는다. LEACH 알고리즘을 이용하여 클러스터 헤더를 선출하는 경우 매 라운드마다 각기 다른 수의 클러스터 헤더가 선출된다. 클러스터 헤더가 적게 선출 될 경우 클러스터 헤더에 많은 부하가 오고 또한 하나의 클러스터 헤더도 선출되지 않는 경우도 발생한다.

둘째, 클러스터 헤더의 위치를 보장하지 않는다. LEACH는 각각의 노드가 클러스터 헤더가 될 것인지 여부를 직접 결정하기 때문에 클러스터 헤더간의 위치를 고려치 않아 선출된 클러스터 헤더가 몰려있는 경우가 발생 할 수 있는데 이때 단 하나의 센서 노드도 소속되지 않은 클러스터 헤더가 발생할 수 있다.

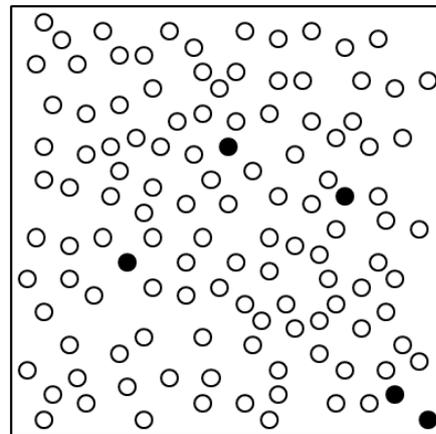


그림 1. 선출된 클러스터 헤더의 위치가 인접한 경우

그림 1의 우측 하단을 보면 두 개의 클러스터 헤더가 인접해 있는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 네트워크 외곽에 여러 클러스터 헤더가 인접해 있으면 인접한 헤더 노드의 반대편에 센서 노드들이 없는 경우가 발생한다. 이때 주변의 센서 노드들이 두 개의 클러스터 헤더 중 가까운 곳으로 소속되기 때문에 두 개의 클러스터 헤더 중 하나의 노드로만 소속된다. 이는 다른 클러스터 헤더에 부담이 가중되어 네트워크의 효율이 떨어진다.

## III. S-RCSA

앞의 관련 연구에서 언급한 LEACH의 단점중 하나인 클러스터 헤더가 선출되지 않는 경우를 개선하는 방법 중 가장 간단한 방법은 일정한 수의 클러스터 헤더를 베이스 스테이션에서 무작위로 결정해서 통보를 하는 방법이다. 하지만 이 방법 역시 LEACH의 경우처럼 클러스터 헤더의 위치를 보장하지 못하여 소속된 센서 노드가 없는

클러스터 헤더가 발생하기도 한다. 이에 무작위로 클러스터 헤더를 선출하는 것을 기본으로 간단한 고려사항을 추가하여 소속된 센서 노드가 없는 클러스터 헤더를 최소화 하는 방법을 제안한다.

S-RCSA(Sectored Random Cluster header Selection Algorithm)은 계층형의 클러스터링 구조를 가지며 한 라운드는 클러스터 구성 단계 및 센싱 데이터 전송 단계로 나뉘고 노드 배치 후 첫 라운드가 시작하기 전 섹터 분할을 수행한다.

1. 네트워크 조건

- 베이스 스테이션은 관심영역의 중앙에 배치된다.
- 베이스 스테이션은 섹터별로 노드 등록 테이블을 가진다.
- 모든 노드는 관심 영역에 랜덤 배치되며 이동성이 없다.
- 모든 노드는 위치 정보를 알고 있다.
- 모든 노드는 1hop에 통신이 가능하다.

2. 노드배치 및 섹터 분할 단계

노드 배치 및 섹터 분할은 다음의 스텝으로 진행된다.

- step1. 관심 영역에 노드들을 랜덤 배치하고 베이스 스테이션은 중앙에 배치한다. 단, 관심 영역 밖으로는 배치되지 않는다고 가정한다.
- step2. 베이스 스테이션은 관심 영역의 1/4 크기의 관심 영역과 동일한 형태의 중앙 섹터를 배치하고 중앙섹터를 기준으로 외부영역을 4분할한다.
- step3. 섹터 분할을 마친 베이스 스테이션은 노드의 위치 정보를 보고하도록 명령을 전송한다.
- step4. 모든 노드들은 베이스 스테이션으로 위치 정보를 전송한다.
- step5. 베이스 스테이션은 수신한 위치 정보를 확인하여 위치에 해당하는 섹터의 노드 등록 테이블에 노드를 기록한다.

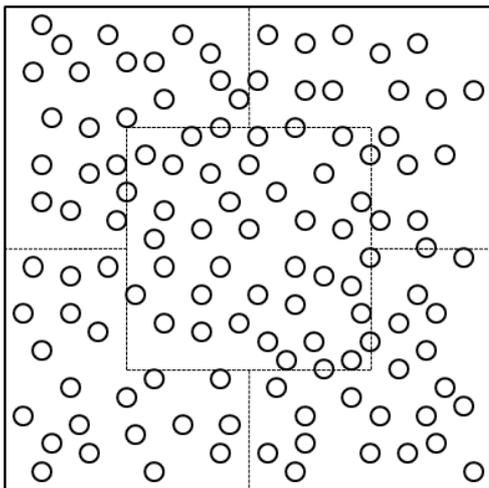


그림 2. 섹터로 나누어진 관심 영역

3. 클러스터 구성 단계

S-RCSA의 클러스터 구성은 다음의 과정으로 진행된다.

- step 1. 각 섹터마다 무작위로 하나의 클러스터 헤더를 선택한다.
- step 2. 베이스 스테이션은 선택된 클러스터 헤더에 네트워크 구성 명령을 전송한다.
- step 3. 클러스터 헤더는 전체 네트워크에 자신이 클러스터 헤더임을 통보하고 센서 노드의 멤버 구성 요청 메시지를 기다린다.
- step 4. 각 센서 노드는 클러스터 헤더 중 가장 가까운 클러스터 헤더에 멤버 구성 요청을 전송한다.
- step 5. 센서 노드로부터 멤버 구성 요청을 수신한 헤더는 해당 센서 노드를 멤버로 등록한다.
- step 6. 클러스터 구성이 끝나면 각 클러스터 헤더는 베이스 스테이션으로 클러스터 구성 완료료를 보고한다.

4. 센싱 데이터 전송 단계

- step 1. 클러스터 구성 단계가 완료되면 베이스 스테이션은 클러스터 헤더에 센싱 시작 명령을 전송한다.
- step 2. 센싱 시작 명령을 수신한 클러스터 헤더는 멤버 노드에 센싱 시작 명령을 전송한다.
- step 3. 센싱 시작 명령을 수신한 센서 노드는 센싱 데이터 수집을 시작하고 TDMA 스케줄에 의해 할당된 시간에 데이터를 클러스터 헤더로 전송한다.
- step 4. 멤버 노드로부터 센싱 데이터를 모두 수신한 클러스터 헤더는 베이스 스테이션으로 센싱 데이터 수집이 완료되었음을 보고한다.
- step 5. 베이스 스테이션은 모든 클러스터 헤더로부터 센싱 데이터 수집 완료 보고를 받으면 라운드 종료 메시지를 클러스터 헤더로 전송한다.
- step 6. 라운드 종료 메시지를 수신한 클러스터 헤더는 멤버 노드로 라운드 종료 메시지를 전달후 베이스 스테이션으로 라운드 종료 메시지에 대한 ACK를 보낸다.
- step 7. 클러스터 헤더로부터 라운드 종료 메시지를 받은 센서 노드는 클러스터 헤더와의 연결을 끊는다.
- step 8. 모든 클러스터 헤더로부터 ACK를 받은 베이스 스테이션은 클러스터 구성단계로 전환하여 새로운 라운드를 시작한다.

VI. 분석

LEACH와 같이 클러스터 헤더와 센서 노드의 거리를 기준으로 소속될 클러스터를 정하는 알고리즘은 그림 1에서처럼 관심 영역의 외곽에서 클

러스터 헤더가 인접하여 결정되었을 경우 멤버 노드가 없는 클러스터 헤더가 발생할 가능성이 있다.

그림 2와 같이 섹터로 나누어진 관심 영역이 있다고 가정한다.

그림 2와 같이 나누어진 네트워크에서 각 섹터마다 선출된 클러스터 헤더들이 인접해 있는 경우를 가정한다.

아래의 그림 3을 보면 클러스터 헤더가 두 곳에 모여 있는 것을 알 수 있다. 각각의 경우에 대하여 멤버 노드 소속 가능 여부를 따지면 다음과 같다.

그림 3의 상단을 보면 세 개의 섹터에서 선택된 클러스터 헤더들이 인접해 있는 것을 확인할 수 있다. 이 경우 세 개의 클러스터 헤더가 관심 영역의 외곽에 위치해 있는 것이 아니기 때문에 세 노드 모두 멤버 노드가 존재한다.

그림 3의 하단을 보면 네트워크 외곽에 두 개의 클러스터 헤더가 존재한다. 하지만 인접한 클러스터 헤더의 반대쪽 방향에 센서 노드들이 존재하기 때문에 멤버 노드가 없는 클러스터 헤더는 발생하지 않는다.

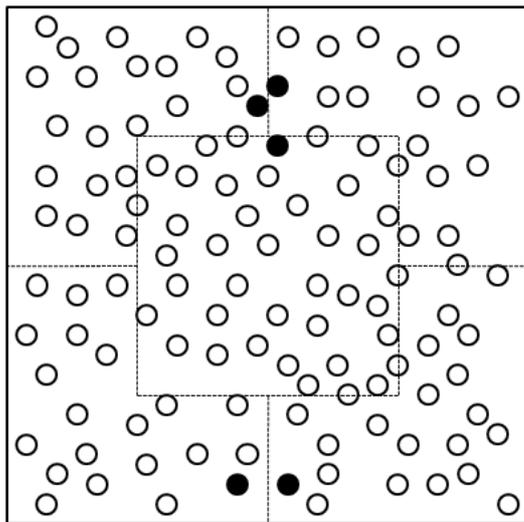


그림 3. 섹터로 나누어진 네트워크에서 클러스터 헤더가 인접한 경우

S-RCSA를 이용하여 클러스터 헤더를 선택할 경우 클러스터 헤더가 서로 인접해 있는 것을 방지하지는 못한다. 하지만 헤더들이 인접하여 발생할 수 있는 위치를 섹터의 경계로 제한함으로써 서로 인접한 헤더 방향의 반대 방향으로 센서 노드들이 존재하기 때문에 멤버 노드가 존재하지 않는 경우는 방지가 가능하다.

따라서 특정 클러스터에 멤버 노드가 소속되지 않아 다른 클러스터 헤더로 부담이 가중되는 것을 방지하여 효율성을 높인다.

## V. 결 론

LEACH는 클러스터 헤더 선출시 위치를 고려하지 않고 센서 노드가 소속될 클러스터 헤더를 결정할 때 클러스터 헤더와의 거리를 기준으로 삼는다. 이는 여러 개의 클러스터 헤더가 관심 영역의 외곽에 인접하여 있을 경우 멤버 노드가 존재하지 않는 클러스터 헤더가 발생해 다른 클러스터 헤더로 부담을 가중시켜 효율성을 떨어뜨릴 수 있다. 이에 본 논문에서는 섹터라는 영역을 지정하여 클러스터 헤더 선택 시 섹터를 고려하게 하여 클러스터 헤더가 인접하게 선택되더라도 멤버 노드가 없는 클러스터가 발생하지 않는 S-RCSA 알고리즘을 제안하였다.

S-RCSA는 클러스터 헤더가 서로 인접하게 위치하는 것을 방지하지는 못하지만 멤버노드가 없는 클러스터 헤더의 발생을 방지함으로써 다른 헤더로 부담이 가중되는 것을 막아 효율성을 높인다.

향후 연구 과제로 LEACH와 전력 소모 등을 비교하여 제안 알고리즘의 효율성을 분석해 더 효율적인 알고리즘을 제안하는 것이 남아있다.

## 참고문헌

- [1] 정성영, 이동욱, 김재훈, "센서 네트워크를 위한 그리드 기반의 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜", 정보과학회논문지 : 컴퓨팅의 실제 및 레터, 제 14권 제 2호, pp.216-220, 2008.
- [2] 최경진, "무선센서 네트워크에서 에너지 효율적인 클러스터 헤드 선출 알고리즘", 연세대학교 대학원 석사학위 논문, 2007.
- [3] 김진수, 박양재, "가변적 클러스터 반경을 이용한 에너지 효율적인 클러스터 헤드 선출 프로토콜", 한국정보통신학회 논문집 제 8권 제 6호, pp.41-48, 2010.
- [4] Wendi Beth Heinzelman, "Application-specific protocol architectures for wireless networks", Doctor of Philosophy at the M.S., Massachusetts Institute of Technology, 2000.
- [5] 김대영, "계층적 센서 네트워크에서의 클러스터링 및 라우팅 알고리즘", 경희대학교 대학원 석사학위 논문, 2006.
- [6] 김진수, 최성용, 한승진, 최준혁, 임기욱, 이정현, "변형된 셋업 단계를 이용한 클러스터 헤드 선출 프로토콜", 한국콘텐츠학회논문지, '09 Vol. 9 No. 1, pp.167-176, 2009.