

센서 네트워크에서 클러스터 헤드의 load-balancing을 통한 에너지 효율적인 클러스터링

남도현[†] · 민홍기^{**}

요약

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)에서 라우팅 방식은 에너지 효율 측면에서 데이터의 전송량을 줄일 수 있는 클러스터링 방식이 사용된다. 하지만 클러스터링 방식은 클러스터 헤드 노드의 에너지 소모가 많은 문제점이 있다. 클러스터 헤드 노드의 에너지 소모가 많은 문제를 보완하기 위한 방식으로 클러스터 헤드 노드의 재 선출을 통해 에너지 소모를 분산하는 동적 클러스터링(dynamic clustering) 방식이 사용되고 있다. 그러나 동적 클러스터링 방식의 경우 클러스터 헤드 노드를 재선출할 때마다 클러스터 구조가 바뀌게 되며, 이로 인한 에너지 소모가 발생한다. 즉 지금까지 연구된 동적 클러스터링 방식은 많은 에너지를 소모하는 클러스터 헤드 노드 선출 및 클러스터 형성의 셋업(set-up) 과정이 반복적으로 일어나는 문제점이 있다. 따라서 본 논문은 반복적인 셋업의 에너지 소모 문제를 해결하기 위해 클러스터는 고정하고, 클러스터 내의 클러스터 헤드 노드를 Round-Robin으로 선출하는 RRCH(Round-Robin Cluster Header)방식을 제안하였다. RRCH방식은 한번 구성된 클러스터 내에서 각 센서 노드(sensor node)의 지속적이고 균형적인 에너지 소모를 이루어, LEACH방식처럼 셋업 과정이 반복적으로 일어나지 않게 하는 에너지 효율적인 방식이다. 이 제안의 타당성을 모의실험을 통해 확인하였다.

키워드 : 무선센서네트워크, Ad hoc 네트워크, 라우팅, 클러스터링

An Energy-Efficient Clustering Using Load-Balancing of Cluster Head in Wireless Sensor Network

Do-Hyun Nam[†] · Hong-Ki Min^{**}

ABSTRACT

The routing algorithm many used in the wireless sensor network features the clustering method to reduce the amount of data transmission from the energy efficiency perspective. However, the clustering method results in high energy consumption at the cluster head node. Dynamic clustering is a method used to resolve such a problem by distributing energy consumption through the re-selection of the cluster head node. Still, dynamic clustering modifies the cluster structure every time the cluster head node is re-selected, which causes energy consumption. In other words, the dynamic clustering approaches examined in previous studies involve the repetitive processes of cluster head node selection. This consumes a high amount of energy during the set-up process of cluster generation. In order to resolve the energy consumption problem associated with the repetitive set-up, this paper proposes the Round-Robin Cluster Header (RRCH) method that fixes the cluster and selects the head node in a round-robin method. The RRCH approach is an energy-efficient method that realizes consistent and balanced energy consumption in each node of a generated cluster to prevent repetitious set-up processes as in the LEACH method. The propriety of the proposed method is substantiated with a simulation experiment.

Key Words : Wireless sensor network, Ad hoc network, Routing, Clustering

1. 서론

최근 무선통신기술의 발전과 다양한 센서 노드의 개발로 인해 무선 센서 네트워크(wireless sensor network)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[1]. 일반적으로 무선 센서

네트워크는 센서 노드의 에너지를 교체할 수 없는 제약사항을 가지고 있다. 그러므로 무선 센서 네트워크 구성에 있어서 에너지 효율 향상을 위한 라우팅 알고리즘 연구는 중요한 부분으로 취급되고 있다.

라우팅 방식은 모든 센서 노드가 센싱한 데이터를 기지국(base station)으로 보내는 평면적 라우팅 방식[2,3]과 센서 노드들의 클러스터를 형성하여 클러스터 내의 센서 노드가

[†] 정 회 원 : 클립소프트 연구소장

^{**} 정 회 원 : 인천대학교 정보통신공학과 교수

논문접수 : 2007년 3월 12일, 심사완료 : 2007년 5월 23일

센싱한 데이터를 클러스터 헤드 노드가 취합 후 기지국으로 전달하는 클러스터링 방식으로 구분할 수 있다[4,5,6,7,8,9].

클러스터링 방식은 평면 라우팅 방식보다 데이터의 전송량을 줄일 수 있어 에너지 효율 측면에서 효과적이다. 하지만 클러스터링 방식은 클러스터 헤드 노드에 부하가 집중되어 센서 노드들의 에너지 소모가 균등하게 이루어 지지 않는다. 에너지 소모가 각 센서 노드간에 균등하게 감소하지 않는 문제는 적절한 시점에 반복적으로 클러스터 헤드 노드를 재선출하여 클러스터를 재구성하는 과정을 통해 해결할 수 있다. 클러스터를 구성하는 부분은 클러스터 헤드 노드를 선정하고, 클러스터 헤드 노드에 최적화된 클러스터 소스 노드(cluster source node)를 형성하는 단계로, 대표적인 클러스터링 방식인 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)방식에서는 셋업 이라 정의하였다[4,5].

지금까지 에너지 효율적인 클러스터링에 대한 연구가 대부분 클러스터 구성에 대한 효율적인 알고리즘을 제시하였을 뿐, 에너지 소모가 큰 클러스터 재구성 자체가 반복적으로 일어나는 부분에 대한 해결책은 제시하지 않았다[6,7,8,9].

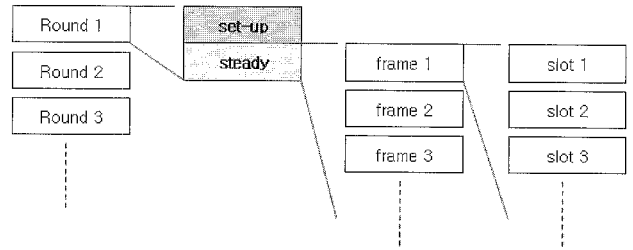
본 연구에서는 에너지 소모가 큰 셋업과정이 한번만 일어나는 RRCH(Round-Robin Cluster Header)방식을 제안한다. RRCH방식은 센서필드 내의 모든 센서 노드의 에너지 소모 균등화 부분을 한번 구성된 클러스터는 고정하고, 클러스터 내에서 클러스터 헤드 노드를 Round-Robin방식으로 선출하여 해결한다. 또한 비정상적인 센서 노드가 발생할 경우 클러스터 헤드 노드가 변경될 때 결함 허용 메시지(fault-tolerant message)를 사용하여 제거 한다.

2. 관련 연구

무선 센서 네트워크에서 클러스터링 방식은 센서 노드들을 그룹화 하는 것으로, 하나의 센서그룹 (group)은 하나의 클러스터 헤드 노드를 중심으로 나머지 클러스터 소스 노드들로 구성된다. 모든 클러스터 소스 노드들은 오직 클러스터 헤드 노드에게만 센싱한 데이터를 보내며, 클러스터 헤드 노드는 수신된 데이터를 취합하여 기지국에게 보낸다. 대표적인 클러스터링 방식은 LEACH(low-energy adaptive clustering hierarchy)방식이 있다[4].

LEACH방식은 무선 센서 네트워크에서 대표적인 클러스터링 방식으로 클러스터가 계속 변하는 동적 클러스터링 방식을 사용하였다. (그림 1) 에서와 같이 LEACH방식은 라운드(round)라는 구간의 반복이며, 라운드는 셋업부분과 안정(steady)부분으로 구성된다.

셋업 부분은 클러스터를 구성하는 부분으로 클러스터 헤드 노드를 초기 확률 값에 의해 선정하고, 그에 최적화된 클러스터 소스 노드들을 선정하는 과정이다. 클러스터 소스



(그림 1) 시간에 따른 LEACH방식의 동작 과정

노드들은 선정된 클러스터 헤드 노드들이 최초로 보낸 신호 중 수신강도가 가장 강한 곳을 자신의 클러스터 헤드 노드로 선정한다. 안정 부분은 여러 개의 프레임 부분으로 구성되며, 프레임 부분은 클러스터 소스 노드가 센싱한 데이터를 클러스터 헤드 노드에게 보내고, 클러스터 헤드 노드는 데이터를 취합하여 기지국에 보내는 과정이다. 프레임 내에서 클러스터 헤드 노드는 스케줄링(scheduling)에 의해 TDMA(Time Division Multiple Access)방식으로 클러스터 소스 노드에게 데이터를 받는다. 클러스터 소스 노드들은 클러스터 헤드 노드에게 데이터를 전달하는 자신의 슬롯(slot)을 제외하고는 휴식(sleep) 상태를 이루어 에너지 효율을 높인다.

LEACH방식에서 각 센서 노드의 에너지 소모량은 송신과 수신으로 구분되며, 송신에너지 소모량은 식 (1)과 같고, 수신 에너지 소모량은 식 (2)와 같다[5].

$$E_{tx}(l, d) = \begin{cases} IE_{elec} + IE_{mp}d^4 & : \text{ 먼 거리 전송 (기지국 까지)} \\ IE_{elec} + IE_{fs} \frac{M^2}{2\pi k} & : \text{ 근 거리 전송 (클러스터 내)} \end{cases} \quad (1)$$

$$E_{rx}(l) = IE_{elec} \quad (2)$$

여기서 l 은 데이터 크기, E_{elec} 은 전자에너지 (electronics energy), E_{mp} 는 증폭에너지(amplifier energy - multipath model), d 는 기지국까지의 거리, E_{fs} 는 증폭에너지(amplifier energy - free space model), k 는 클러스터의 수, M 은 $M \times M$ 지역의 한 변의 길이이다. LEACH방식에서 클러스터 헤드 노드는 수신, 데이터 취합, 송신의 세 가지 일을 하고, 클러스터 소스 노드는 송신만 하므로 클러스터 헤드 노드의 에너지 소모량 $E_{leach-frame-ch}$ 는 식 (3)이고, 클러스터 소스 노드의 에너지 소모량 $E_{leach-frame-non-ch}$ 는 식 (4)이다[5].

$$E_{leach-frame-ch} = IE_{elec} \left(\frac{N}{k} - 1 \right) + IE_{da} \frac{N}{k} + IE_{elec} + IE_{mp}d^4 \quad (3)$$

$$E_{leach-frame-non-ch} = IE_{elec} + IE_{fs} \frac{M^2}{2\pi k} \quad (4)$$

여기서 E_{da} 는 데이터 취합 에너지(data Aggregation energy), N 은 전체 노드의 수, $(N/k - 1)$ 은 클러스터 당 클러스터 소스 노드 수 이다. 식 (3)과 식 (4)를 이용하면 하나의 프레임에서 에너지 소모량 $E_{leach-frame-tot}$ 는 식 (5)와 같이 유도된다[5].

$$E_{leach-frame-tot} = f \left(2E_{elec}N + E_{da}N + kE_{mp}d^4 + E_{fs} \frac{M^2}{2\pi k} N \right) \quad (5)$$

그러므로 전체 라운드의 에너지 소모량 E_{leach} 는 셋업에서의 에너지 소모량을 E_{setup} 으로 보았을 때 식 (6)으로 표현된다.

$$E_{leach} = (E_{setup} + (E_{leach-frame-tot} \times f)) \times R \quad (6)$$

여기서 f 는 프레임 수, R 은 라운드 수 이다. LEACH방식은 클러스터 헤드 노드의 선택을 단지 초기의 확률값과 자신이 발생한 임의의(random)값에 의해 스스로 결정되므로 효율적이지 못한 문제가 있다. 단순히 확률을 기반으로 클러스터를 형성하는 점을 해결하기 위해 LEACH-C(LEACH-Centralized)방식이 제안되었다[5]. LEACH-C방식은 센서 노드의 잔존에너지와 위치정보를 가지고 클러스터 헤드 노드를 선정하므로 LEACH방식에 비해 클러스터링에 효율적이다. 이후 좀더 효율적인 클러스터링 방안으로 다양한 연구가 진행되고 있다[6,7,8,9].

3. 제안 방식

LEACH방식은 클러스터 기반의 라우팅 알고리즘으로 클러스터 헤드 노드 의 에너지 소모가 많은 문제가 있다. 그러므로 클러스터 헤드 노드의 에너지 소모가 많은 문제를 해결하기 위해 주기적으로 클러스터 헤드 노드를 바꾸어 주고 있다. 클러스터 헤드 노드와 클러스터 소스 노드의 부하 분산을 위해 클러스터를 재구성하는 셋업이 반복적으로 일어난다. 클러스터 셋업은 클러스터 헤드 노드를 선정하고 그에 최적화된 클러스터 소스 노드를 선정하는 과정으로 데이터 전송과는 무관하게 에너지 소모가 일어나는 과정이다.

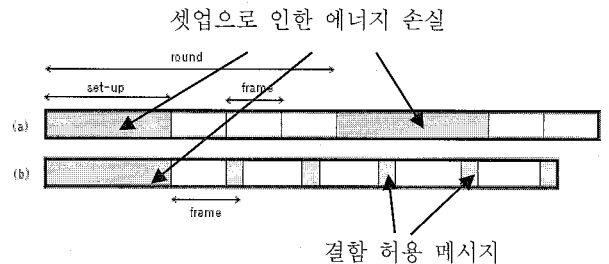
따라서 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율을 위해 클러스터 셋업과정이 반복적으로 일어나지 않게 하는 방식으로, 셋업이 최초에 한번만 있고 프레임 내에서 클러스터 헤드 노드의 에너지 소모를 Round-Robin방식을 사용하여 효율적으로 분산하는 RRCH(Round-Robin Cluster Header)방식을 제안한다.

3.1 제안 방식의 특징

LEACH방식이 매 라운드마다 셋업 과정을 통해 클러스터 헤드 노드를 변경해 나가는 것에 비해, RRCH방식은 매

프레임마다 클러스터 헤드 노드를 Round-Robin방식으로 순차적으로 채택한다. 그러므로 RRCH방식은 최초 셋업 이외에는 별도의 셋업이 없이 클러스터내의 각 센서 노드들 간의 부하 분산을 구현할 수 있고 전체적인 에너지 효율을 높일 수 있다.

LEACH방식과 RRCH방식의 생명주기는 (그림2)와 같다. (그림 2)의 (a)는 LEACH방식의 생명주기로 반복적인 셋업으로 인한 에너지 소모가 일어난다. (그림 2)의 (b)는 RRCH방식의 생명주기로 LEACH방식에 비해 셋업부분이 반복적으로 존재하지 않는다. LEACH방식이 셋업에서 비정상적인 센서 노드의 제거가 자동으로 이루어지는 것에 비해, RRCH방식은 비정상적인 센서 노드의 제거를 위해 (그림 2)의 처럼 프레임 부분에 결합 허용 메시지 영역이 추가된다.

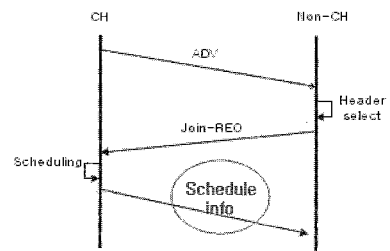


(그림 2) (a)LEACH방식의 수명 구간, (b)RRCH방식의 수명 구간.

3.2 제안 방식의 셋업 상태에서의 에너지

RRCH방식의 초기 셋업 과정은 LEACH방식의 셋업 과정과 동일하게 사용하였다. (그림 3)은 LEACH방식에서의 셋업 과정을 표현한 것이다[5].

셋업 과정에서 RRCH방식이 LEACH방식과 차이를 보이는 것은 마지막에 클러스터 헤드 노드가 클러스터 소스 노드들에게 보내는 schedule정보의 구조이다. (그림 4)는 RRCH방식의 셋업 프로토콜을 표현한 것이다. RRCH방식에서 셋업은 한번만 수행된다. 처음 셋업 시간에 임의의 센서 노드가 클러스터 헤드 노드가 되는 것은 LEACH방식과 같이 확률값 p 에 의해 결정된다. 전체적인 내용은 LEACH방식[5]과 유사하나 앞서 설명한 것처럼 클러스터 헤드 노드가 보내는



(그림 3) 셋업 과정 중 클러스터 소스 노드 선정과정

```

01) p = start_value;
02) IF random_value(0..1) < p THEN
           //CH selected
03)   broadcast(my_id);
04)   waiting until non_ch_send_event;
05)   repeat receive(non_ch_id)
           until non_ch_count;
06)   scheduling();
07)   send_non_ch_id(
           sch_info(node_id, seq));
08) ELSE
           //non_CH selected
09)   waiting until ch_send_event;
10)   repeat receive(ch_id)
           until ch_count;
11)   select_best_ch_id();
12)   send_ch_id(ch_id, non_ch_id);
13)   waiting until ch_send_event;
14)   receive(sch_info(node_id, seq));
15)   tdma_sch ← sch_info;
16) END IF
    
```

(그림 4) RRCH 셋업 프로토콜

7라인의 스케줄정보 구조와 이를 기반으로 센서노드 자신의 TDMA주기를 결정하는 15라인의 명령은 차이가 있다.

RRCH방식은 스케줄 정보에 파라미터 (parameter)값으로 (node_id, sequence)를 가지고 있다. 이 파라미터를 수신한 모든 클러스터 소스 노드들은 스케줄링에 의해 자신의 node_id에 해당하는 순서(sequence)에 맞추어 클러스터 헤드 노드로서의 역할을 수행한다. 예를 들어 자신의 node_id의 순서가 '3'이라면 세 번째 프레임에서 자신이 클러스터 헤드 노드가 되는 것이다. 결국 모든 센서 노드가 한번씩 클러스터 헤드 노드가 되므로, 재 셋업 과정 없이 클러스터 헤드 노드와 클러스터 소스 노드의 에너지 소모를 균등화 할 수 있다.

RRCH방식의 셋업 과정은 (그림 3)처럼 클러스터 헤드 노드는 송신과정 2회와 수신과정 1회 그리고 스케줄링 연산 과정으로 구성되어 있다. 송신은 ADV(advertisement message)를 보내는 과정과 스케줄 정보(schedule infomation)를 보내는 과정이고, 수신은 ADV의 응답 메시지인 Join_REQ를 수신하는 과정이다. 클러스터 소스 노드는 송신과정 1회와 수신과정 2회로 구성되어 있다. 송신은 Join-REQ를 보내는 과정이고, 수신은 ADV를 수신하는 과정과 스케줄 정보를 수신하는 과정이다. RRCH방식의 셋업에너지 소모량을 식으로 표현하기 위해 센서 노드에서의 송신 에너지 소모량인 식 (1)과 수신 에너지 소모량인 식 (2)를 이용하였다. 클러스터 헤드 노드의 에너지 소모량 $E_{setup-ch}$ 는 식 (7)로 유도되고, 클러스터 소스 노드의 에너지 소모량 $E_{setup-non-ch}$ 는 식 (8)로 유도된다.

$$E_{setup-ch} = E_{rx}(l) \times \left(\frac{N}{k} - 1\right) + E_{schedule}(l) \times \frac{N}{k} + E_{tx}(l, d) \times 2 \quad (7)$$

$$E_{setup-non-ch} = E_{tx}(l, d) + E_{rx}(l) \times 2 \quad (8)$$

여기서 $E_{schedule}$ 은 클러스터 헤드 노드에서의 스케줄링에 의한 에너지 소모량이다. 식 (7)에서 두 번의 송신 중 하나는 모든 클러스터 소스 노드들에게 전달하는 ADV로 먼 거리 송신이고, 나머지 하나는 클러스터 내에 스케줄 정보를 전달하는 짧은 거리 송신이다. 그러므로 식 (1)과 식 (2)를 대입하면 식 (9)로 변환된다. 식 (8)에서 송신은 클러스터 헤드 노드에게 전달하는 짧은 거리 송신이므로 식 (1)과 식 (2)를 대입하면 식 (10)으로 변환된다.

$$E_{setup-ch} = lE_{elec} \left(\frac{N}{k} - 1\right) + lE_{schedule} \frac{N}{k} + lE_{elec} + lE_{mp}d^4 + lE_{elec} + lE_{fs} \frac{M^2}{2\pi k} \quad (9)$$

$$E_{setup-non-ch} = lE_{elec} + lE_{fs} \frac{M^2}{2\pi k} + 2lE_{elec} \quad (10)$$

식 (9)와 식 (10)을 이용하여 하나의 클러스터에서의 에너지 소모량을 구하고, 센서 노드 영역 전체 에너지 소모량 E_{setup} 을 구하기 위해 클러스터 수인 k 를 곱하면 식 (11)로 유도된다.

$$E_{setup} = k \left(E_{setup-ch} + \left(\frac{N}{k} - 1\right) E_{setup-non-ch} \right) = l \left(N \left(4E_{elec} + E_{schedule} + E_{fs} \frac{M^2}{2\pi k} \right) + k \left(E_{mp}d^4 - 2E_{elec} \right) \right) \quad (11)$$

3.3 제안방식의 안정 상태에서의 에너지

LEACH방식은 반복적인 셋업을 통해 에너지 소모가 큰 클러스터 헤드 노드를 변경하여 주고 클러스터를 재구성한다. 클러스터를 재구성할 때 자연적으로 비정상적인 센서 노드의 제거가 이루어진다.

RRCH방식의 경우 LEACH방식처럼 셋업이 반복적으로 존재하지 않기 때문에 클러스터 헤드 노드의 변경과 비정상적인 센서 노드의 제거를 안정 상태의 프레임에서 처리한다. 클러스터 헤드 노드를 변경하는 것은 각 센서 노드의 스케줄 정보에 의해 Round-Robin방식으로 처리를 한다. 비정상적인 센서 노드를 제거하는 것은 프레임이 변경할 때 비정상적인 센서 노드에 대한 정보를 클러스터 내에 broadcast시키고, 각 센서 노드는 자신의 스케줄 정보에서 해당 센서 노드 정보를 삭제함으로써 처리한다. 그러므로 LEACH방식은 비정상적인 센서 노드가 발생할 경우 다음 셋업이 있는 라운드까지 해당 클러스터가 기능을 하지 못하지만, RRCH방식은 비정상적인 센서 노드의 발생 경우 하나 또는 두 개의 프레임 내에서만 해당 클러스터가 동작을 하지 않는 장점

```

01) seq, slot = 1;
02) LOOP
03) IF sch_info.my_seq == seq THEN
    //ch_selected
04)   waiting until non_ch_send_event;
05)   repeat receive(data)
        until non_ch_count;
06)   data_fusion();
07)   send_bs_id(result_data);
08)   IF fail_node_id_check() THEN
09)     broadcast(fail_node_id);
10)   END IF;
11) ELSE //non_ch_selected
12)   repeat
13)     IF sch_info.slot == slot THEN
14)       send_ch_id(
           sensing_data, non_ch_id);
15)     ELSE
16)       sleep();
17)     END IF;
18)   until slot_count;
19)   IF fail_id_event THEN
20)     receive(fail_id);
21)     delete fail_id to sch_info;
22)   END IF;
23) END IF;
24) seq ++;
24) END LOOP
    
```

(그림 5) RRCH 프레임 프로토콜

이 있다.

(그림 5)는 RRCH방식의 프레임 프로토콜을 나타낸 것으로 LEACH방식과 유사하나 비정상 센서 노드가 발생했을 경우, 프레임이 바뀔 때 해당 정보를 broadcast하는 명령 8,9,10라인과 비정상 센서 노드 정보를 자신의 스케줄정보에서 삭제하는 19~22라인 명령은 차이가 있다.

RRCH방식의 프레임 과정은 식 (3)과 식 (4)에서 본 LEACH방식의 프레임 과정에 비해 클러스터 헤드 노드는 비정상적인 센서 노드가 발생할 경우 송신하는 부분이, 클러스터 소스 노드는 비정상적인 센서 노드 정보에 대한 수신하는 부분이 추가된다. 그러므로 RRCH방식의 프레임에서의 클러스터 헤드 노드의 에너지 소모량 $E_{rrch-frame-ch}$ 는 식 (12)로 표현되고, 클러스터 소스 노드의 에너지 소모량 $E_{rrch-frame-non-ch}$ 는 식 (13)으로 표현된다. LEACH방식에 비해 추가된 에너지 소모량 식은 식 (12)의 $E_{rx}(l, d) \times \alpha$ 이며, 식 (13)의 $E_{rx}(l) \times \alpha$ 이다. α 는 비정상적인 센서 노드가 발생할 확률이다.

$$E_{rrch-frame-ch} = E_{rx}(l) \times \left(\frac{N}{k} - 1\right) + E_{da}(l) \times \frac{N}{k} + E_{tx}(l, d) + E_{rx}(l, d) \times \alpha \quad (12)$$

$$E_{rrch-frame-non-ch} = E_{tx}(l, d) + E_{rx}(l) \times \alpha \quad (13)$$

식 (12)의 송신 2회는 기지국까지 보내는 먼 거리 송신 1회와 비정상적인 센서 노드가 발생했을 경우 클러스터 내에 송신하는 짧은 거리 송신 1회가 함께 있으므로, 식 (1)과 식 (2)를 대입하면 식 (14)로 변환된다. 식 (13)의 송신은 클러스터 헤드 노드에게 보내는 짧은 거리 송신이므로 식 (1)과 식 (2)를 대입하면 식 (15)로 변환된다.

$$E_{rrch-frame-ch} = lE_{elec} \left(\frac{N}{k} - 1\right) + lE_{da} \frac{N}{k} + lE_{elec} + lE_{mp}d^4 + \left(lE_{elec} + lE_{fs} \frac{M^2}{2\pi k}\right) \times \alpha \quad (14)$$

$$E_{rrch-frame-non-ch} = lE_{elec} + lE_{fs} \frac{M^2}{2\pi k} + (lE_{elec}) \times \alpha \quad (15)$$

식 (14)와 식 (15)를 이용하여 하나의 클러스터에서의 에너지 소모량을 구하고, 클러스터 수 k 를 곱하면 하나의 프레임에서의 전체 에너지 소모량 식 (16)으로 유도된다.

$$\begin{aligned}
 E_{rrch-frame-tot} &= k \left(E_{rrch-frame-ch} + \left(\frac{N}{k} - 1\right) E_{rrch-frame-non-ch} \right) \\
 &= l \left(2E_{elec}N + E_{da}N + kE_{mp}d^4 + E_{fs} \frac{M^2}{2\pi k} N \right) \\
 &\quad + l \left(E_{fs} \frac{M^2}{2\pi} + E_{elec}N \right) \times \alpha
 \end{aligned} \quad (16)$$

그러므로 RRCH방식의 모든 프레임의 에너지 소모량은 식 (5), 식 (11), 식 (16)을 이용하여 요약하면 식 (17)로 유도된다.

$$E_{rrch} = E_{setup} + \left(E_{leach-frame-tot} + l \left(E_{fs} \frac{M^2}{2\pi} + E_{elec}N \right) \times \alpha \right) \times f \quad (17)$$

식 (16)에서 α 는 센서 노드가 정상적인 경우는 0이므로 LEACH방식의 전체 에너지 소모량인 식 (6)과 RRCH방식의 전체 에너지 소모량인 식 (17)를 비교하여 보면 센서 노드가 정상적인 경우에 대해 RRCH방식은 LEACH방식에 비해 $E_{setup} \times (\text{라운드수} - 1)$ 만큼의 에너지 소모가 감소된다.

4. 실험 및 고찰

제안된 RRCH방식의 타당성을 확인하기 위해 C++ 프로그램을 사용해 LEACH방식과 비교하여 모의 실험을 하였다. 이때 실험 환경은 E_{elec} 는 50 nJ/bit, E_{fs} 는 10 pJ/bit/m², E_{mp} 는 0.0013 pJ/bit/m⁴, $E_{schedule}$ 는 5 nJ/bit/signal, E_{da} 는 5 nJ/bit/signal, l 은 1000 bit, k 는 25개, N 은 500개, d 는 100m, M 은 100m이며 클러스터의 수는 LEACH방식에 가장 효율이 좋은 전체 노드의 5%를 적용하였다[5].

4.1 셋업과 프레임의 에너지 소모량 비교

셋업 에너지 소모량과 프레임 에너지 소모량을 비교하여 보기 위하여 셋업에서의 에너지 소모량은 식 (11)를 이용하

<표 1> 셋업과 프레임의 에너지 소모량 비교

	셋업 에너지 (J)	프레임 에너지 (J)
클러스터 헤드 노드 하나	0.00128	0.00123
클러스터 소스 노드 하나	0.00015	0.00005
클러스터 하나	0.00429	0.00224
전체 노드	0.10733	0.05607

였고, 프레임의 에너지 소모량은 식 (16)를 이용하였다. 결과는 <표 1>과 같다.

<표 1>에서와 같이 셋업 과정에서의 에너지 소모량은 프레임에서의 에너지 소모량의 2배 가까이 되는 것을 알 수 있다. 또한 클러스터 헤드 노드의 에너지 소모량은 클러스터 소스 노드에 비해 20배에 이르는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 셋업과정의 반복을 제거하는 방식은 에너지 소모를 효과적으로 줄일 수 있다.

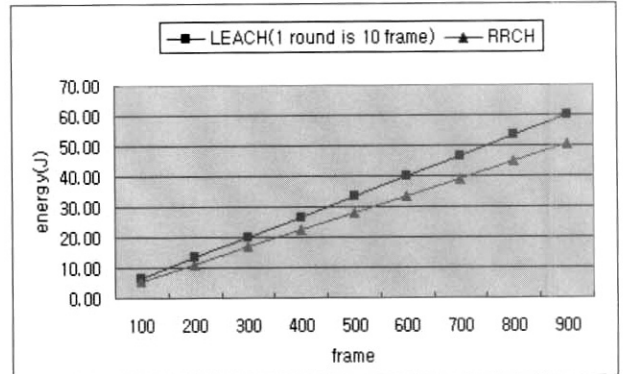
4.2 LEACH방식과 RRCH방식의 에너지 소모량 비교

LEACH방식과 RRCH방식의 동일 프레임 개수에 해당하는 에너지 소모량을 계산하였다. LEACH방식은 라운드개념을 가지고 있고 셋업과 프레임이 같이 있으므로 식 (6)과 식 (11)를 사용하여 계산하였다. RRCH방식은 프레임만을 가지고 있으므로 식 (17)를 사용하여 에너지 소모량을 계산하였다. RRCH방식의 셋업 부분은 최초에 한번만 일어나고, LEACH방식과 protocol형태는 동일하다. 그러므로 LEACH방식과 RRCH방식의 셋업을 동일한 에너지 소모량으로 계산하였다.

RRCH방식의 에너지 소모량은 LEACH방식이 라운드당 프레임이 10개인 경우 <표 2>와 (그림 6)로 나타난다.

<표 2> 라운드당 프레임이 10개인 LEACH방식과 에너지 소모량 비교

프레임 (회)	LEACH 에너지(J)	RRCH 에너지(J)
100	6.67	5.60
200	13.34	11.20
300	20.01	16.80
400	26.68	22.40
500	33.35	28.00
600	40.02	33.60
700	46.69	39.20
800	53.36	44.80
900	60.03	50.40



(그림 6) 라운드당 프레임이 10개인 LEACH방식과 에너지 소모량 비교

(그림6)에서 보는 바와 같이 RRCH방식은 LEACH방식의 셋업에 해당하는 에너지 소모량을 제거했기 때문에 라운드가 반복하면 할수록 LEACH방식에 비해 [(라운드 수-1) × 셋업에서의 에너지 소모량] 만큼 감소된다.

RRCH방식은 셋업이 최초에 한번만 이루어 지므로 지속적인 클러스터 헤드 노드의 에너지 소모의 균등화 문제는 클러스터는 고정하고 클러스터 내에서 클러스터 헤드 노드를 Round-Robin방식으로 채택하여 해결하고, 비정상적인 센서 노드의 제거 문제는 RRCH방식의 프레임 내에서 별도의 결합 허용 메시지를 통하여 해결한다. RRCH방식의 프레임에서의 에너지 소모량은 LEACH방식에 비해 비정상적인 센서 노드가 발생할 경우만 추가로 에너지 소모가 발생되므로, 정상적인 경우는 LEACH와 동일하다.

4.3 고 찰

지금까지 본 논문에서 제안한 RRCH방식의 타당성을 확인하기 위해 LEACH방식과 RRCH방식의 에너지 소모량을 산출하여 보았다. <표 1>에서 볼 수 있듯이 LEACH방식은 한번 구성된 클러스터 내에서 클러스터 헤드 노드의 에너지 소모가 클러스터 소스 노드의 에너지 소모에 비해 약 20배 가량 되므로 셋업을 통한 클러스터의 재구성이 필요함을 알 수 있었다. 또한 LEACH방식은 <표 1>에서 보듯이 셋업의 에너지 소모량이 프레임의 에너지 소모량에 비해 약 2배 가량 소모되므로 반복적인 셋업의 제거에 대한 필요성을 확인하였다.

RRCH방식의 프레임 부분에서의 에너지 소모량은 비정상적인 센서 노드가 발생하지 않을 경우 LEACH방식의 프레임 부분에서의 에너지 소모량과 같다. 그러므로 시간에 따른 RRCH방식의 에너지 소모량은 LEACH방식에 비해 [(라운드 수 - 1) × 셋업에서의 에너지 소모량] 만큼 더 효율적임을 <표 2>를 통해 확인하였다.

5. 결 론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)에서 클러스터링 방식은 클러스터 헤드 노드의 부하가 집중된다. 그러므로 주기적으로 클러스터 헤드 노드를 교체하여 클러스터를 재구성하는 동적 클러스터링 방식을 사용한다. 클러스터를 재구성하는 과정을 셋업 이라 하며 셋업 은 프레임 에서의 에너지 소모보다 약 2배 이상 많이 에너지를 소모하는 것을 실험을 통해 확인 하였다. 본 논문은 에너지 소모가 큰 셋업과정을 제거하는 방법으로 셋업을 초기에 한번 하는 것 이외에는 발생하지 않게 하고, 프레임 부분만 존재하게 하여 에너지 소모를 줄이는 RRCH방식을 제시하였다. RRCH 방식은 클러스터 헤드 노드의 교체를 매 프레임 마다 스케줄에 의해 Round-Robin방식으로 한다. 또한 비정상적인 센서 노드를 클러스터에서 제거하는 것을 프레임이 변경 시 비정상적인 센서 노드의 정보를 알리고 해당정보를 삭제하는 기능으로 한다. RRCH방식에서 클러스터 헤드 노드의 교체는 특별한 송신과 수신 없이 센서 노드 내부작업만 있으므로 에너지 소모가 미약하고, 비정상적인 센서 노드의 제거는 정상적인 경우는 해당되지 않으므로 에너지 소모가 일어나지 않는다. 이 결과는 RRCH방식이 기존 LEACH방식의 동적 클러스터링 에서 반복하는 셋업의 에너지 소모에 비해 셋업 부분에서 소모하는 에너지만큼 에너지 효율이 증가함을 확인할 수 있었다. 앞으로 RRCH방식에 적합한 초기 셋업 과정 및 센서 노드의 잔존 에너지를 고려한 RRCH방식에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] I.Akyildiz, W.Su, Y.Sankarasubramaniam, and E.Cayirci, "A survey on sensor networks," IEEE Communications Magazine, Volume: 40 Issue: 8, pp.102-114, Aug., 2002.
- [2] W.R.Heinzelman, J.Kulik, H.Balakrishnan, "Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks", Proceedings of the ACM MobiCom'99, Seattle, Washington, pp.174-185, 1999.
- [3] C.Intanagonwiwat, R.Govindan, and D.Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks" in Proceedings of the ACM/IEEE international Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), 2000
- [4] Wendi B.Heinzelman, Anantha P.Chandrakasan, and hari Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks" in Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences, Jan., 2000
- [5] Wendi B.Heinzelman, Anantha P.Chandrakasan, and hari Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks"IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol.1, No.4, 2002
- [6] A.Manjeshwar and D.P.Agrawal. "TEEN: A Routing Protocol for enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks". in 1st International Workshop on Paralled and Distributed Computing Issues in Wireless, 2001.
- [7] S.Bandyopadhyay and E.Coyle, "An Energy-Efficient Hierarchical Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks," in Proceedings of IEEE INFOCOM, Apr., 2003
- [8] Ossama Younis and Sonia Fahmy, "HEED: A Hybird, Energy-Efficient Distributed Clustering Approach for Ad-hoc Sensor Networks", IEEE Trans. on Mobile computing, Vol.3, No.4, pp.660-669, 2004.
- [9] M.Ye, C.li, G.Chen, and J.Wu, "EECS: An Energy Efficient Clustering Scheme in Wireless Sensor Networks", Proceedings of IEEE IWSEEASN'05, 2005.



남도현

e-mail : dhnam@inhac.ac.kr

2000년 인천대학교 전자계산학과 졸업
(학사)

2004년 중앙대학교 정보대학원 졸업
(석사)

2004~현재 인천대학교 대학원
정보통신공학과(박사과정)

1996년~2004년 인크루트 연구소장

2004년~현재 클립소프트 연구소장

2003년~현재 인하공업전문대학교 겸임교수

관심분야: 센서네트워크, 보안, 디자인패턴



민홍기

e-mail : hkmin@incheon.ac.kr

1979년 인하대학교 전자공학과(학사)

1981년 인하대학교 대학원 전자공학과
(석사)

1985년 인하대학교 대학원 전자공학과
(박사)

1985년~1991년 한국과학기술연구원 선임연구원

1993년~1994년 Univ. of Delaware 방문교수

1991년~현재 인천대학교 정보통신공학과 교수

관심분야: 센서네트워크, 신호처리, 재활공학, HCI