

무선 센서 네트워크에서 클러스터의 분할을 이용한 에너지 효율적 클러스터링

An Energy-Efficient Clustering Using Division of Cluster in Wireless Sensor Network

김 중 가* 김 용 원**
Jong-Ki Kim Yoeng-Won, Kim

요 약

에너지 교체가 어려운 무선 센서네트워크(Wireless Sensor Network)에서 에너지 소모량을 줄이기 위하여 효율적 라우팅에 관한 연구가 다양하게 진행되고 있다. 그 중 라우팅 분야는 현재 클러스터링 방식이 가장 효율적인 방식으로 연구되고 있다. 클러스터링 방식은 클러스터를 구성하는 부분과 데이터를 전송하는 부분으로 구성된다. 클러스터를 구성하는 부분은 클러스터 내에 센서 노드들 간에 에너지 소모를 동등하게 하기 위하여 주기적으로 반복된다. 클러스터 구성 부분은 클러스터 헤드 노드를 선정하고 클러스터 헤드 노드에 최적화된 클러스터 멤버 노드를 구성하는 부분으로 알고리즘이 복잡하고 에너지 소모가 크다. 또한 데이터를 전송하는 부분은 크로스오버 영역을 중심으로 에너지 소모량이 d^2 과 d^4 으로 비례된다. 본 논문은 클러스터 방식에서 주기적으로 일어나는 클러스터 구성 부분을 효율화하여 에너지 소모량을 줄이는 방법을 제안하였다. 이 방식은 클러스터의 구성에 있어서 밀도를 고려한 노드가 배치될 영역을 균등 분할하여 클러스터 내의 센서 노드수를 거의 일정하게 하고, 클러스터의 중앙 근처에 헤드 노드의 선정함으로써 에너지 소모를 줄이는 방식이다. 이 제안의 타당성을 모의실험을 통하여 보면, LEACH 방식에서의 에너지 소모량보다 적은 것이 확인하였다.

Abstract

Various studies are being conducted to achieve efficient routing and reduce energy consumption in wireless sensor networks where energy replacement is difficult. Among routing mechanisms, the clustering technique has been known to be most efficient. The clustering technique consists of the elements of cluster construction and data transmission. The elements that construct a cluster are repeated in regular intervals in order to equalize energy consumption among sensor nodes in the cluster. The algorithms for selecting a cluster head node and arranging cluster member nodes optimized for the cluster head node are complex and requires high energy consumption. Furthermore, energy consumption for the data transmission elements is proportional to d^2 and d^4 around the crossover region. This paper proposes a means of reducing energy consumption by increasing the efficiency of the cluster construction elements that are regularly repeated in the cluster technique. The proposed approach maintains the number of sensor nodes in a cluster at a constant level by equally partitioning the region where nodes with density considerations will be allocated in cluster construction, and reduces energy consumption by selecting head nodes near the center of the cluster. It was confirmed through simulation experiments that the proposed approach consumes less energy than the LEACH algorithm.

☞ keywords: Wireless Sensor Network, Routing, Cluster Partition, Clustering, 무선센서네트워크, 라우팅, 클러스터 분할, 클러스터링

1. 서 론

* 정 회 원 : 건양대학교 정보보호학과 교수
jkkim@konyang.ac.kr(제1저자)
* 정 회 원 : 건양대학교 기업정보관리학과 교수
ywkim@konyang.ac.kr(교신저자)

[2008/06/02 투고 - 2008/06/03 심사 - 2008/06/17 심사완료]

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)에서는 네트워크 계층 프로토콜에 기반을 두어 에너지를 절약하기 위한 연구가 다각도로 진행 중에 있으며 데이터의 경로 설정(routing), 데이터 병합(aggregation) 등에 대해 많은 연구가 수행되

어 왔다. 일반적으로 무선 센서 네트워크는 센서 노드의 에너지 교체가 어려우므로, 에너지 소모량은 이 라우팅의 방식에 따라 차이가 상당히 크고, 이 에너지 소모를 줄이는 문제 또한 매우 중요한 부분이다. 라우팅 방식에는 평면적 방식의 라우팅과 계층적 방식의 라우팅이 있다. 평면적 방식의 라우팅은 모든 센서 노드들이 획득한 데이터를 먼 거리의 기지국에 전달하므로 에너지 소모가 상당히 크다. 반면에 계층적 방식의 라우팅은 에너지 소모 측면에 효율성이 좋아 계속 연구되고 있다[1]. 그 대표적인 계층적 방식의 라우팅 프로토콜로는 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)방식이 있다[2,3]. 하지만 계층적 방식의 라우팅은 클러스터 헤드 노드와 클러스터 멤버 노드 간에 에너지 불균형 문제로 인해 클러스터 구성을 바꿔주는 셋업 과정이 반복적으로 존재한다. 셋업 과정은 클러스터 헤드를 교체하고 클러스터 헤드 노드에 최적화된 클러스터 멤버 노드를 선정하는 복잡한 과정으로 인하여 에너지 소모가 크다. 그래서 지금까지 에너지 소모가 적은 클러스터링에 대한 연구는 대부분 클러스터 구성에 대한 효율적인 알고리즘을 제시하고 있다.

본 논문은 위치를 기반으로 에너지 사용이 균등한 클러스터를 구성하는 방법을 제안 한다. 이 제안된 방법은 클러스터 구성에 있어서 클러스터를 균등 분할하여 각 클러스터 내의 노드 수를 거의 일정하게 하고, 또한 클러스터 헤드 노드를 그 클러스터의 중앙에 위치하도록 선정하는 방법으로 LEACH 방식보다 에너지 효율을 높일 수 있다. 제안 방식의 타당성을 모의실험을 통하여 보면, 제안 방식의 에너지 소모량이 LEACH 방식에서의 에너지 소모량보다 9%가 적은 것으로 나타났다.

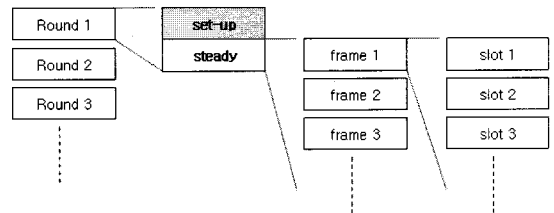
본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 무선 네트워크에서 데이터 수집을 위한 클러스터 구성 방법과 관련된 기존 연구에 대해 알아본다. 3장과 4장에서는 제안한 집단 구성의 상세한 내용과 분석적 모델을 통한 검증과 시뮬레

이션을 통한 성능에 대한 평가 결과를 기술하고, 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향으로 끝을 맺는다.

2. 관련연구

네트워크 노드의 클러스터링에 기반을 둔 통신 모델의 대표적인 것은 일정지역을 관장하는 기지국을 통해 일반 노드들이 송수신을 하는 이동통신이다. 클러스터링 방식은 센서 노드들을 클러스터링 하고, 각 클러스터는 하나의 클러스터 헤드 노드를 중심으로 나머지 노드들로 구성된다. 모든 클러스터 노드들은 센싱한 데이터를 오직 헤드 노드에게만 전송하고, 헤드 노드는 이 데이터를 취합하여 기지국으로 보낸다. 이 구조를 무선 센서네트워크에 적용하려는 시도한 이유는 대역폭의 효율적인 관리와 클러스터 헤드 노드에서 데이터 병합(aggregation)을 수행할 수 있기 때문이다[4].

무선 센서네트워크의 대표적인 프로토콜은 LEACH[2,3]와 HEED[5] 방식이 있다. LEACH 방식은 클러스터 구조와 에너지의 균등한 사용을 위한 확률적 클러스터 구성 방법을 제안하였고, HEED 방식에서는 노드의 잔여 에너지와 집단 내부의 통신비용을 고려하여 헤드를 결정하는 알고리즘을 제안하였다.



(그림 1) 시간에 따른 LEACH 방식의 동작 과정

대표적 클러스터링 방식인 LEACH 방식은 클러스터가 계속 변하는 동적 클러스터링 방식을 사용하였으며, (그림 1)과 같이 라운드라는 구간

의 반복이고 각 라운드는 셋업(set-up) 부분과 안정(steady) 부분으로 구성된다[6]. 셋업 부분은 클러스터를 구성하는 부분으로 클러스터 헤드 노드를 초기 확률 값인 식 (1)에 의해 선정하고, 최적화된 클러스터 멤버 노드들을 선정하는 과정이다.

$$P_{i,t} = \begin{cases} \frac{k}{N - k * (r \bmod \frac{N}{k})} & : C_{i,t} = 1 \\ 0 & : C_{i,t} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

이 식에서 i 는 노드의 식별자, t 는 시간, N 은 전체 노드의 수, k 는 시스템에서 요구하는 집단의 수, r 은 라운드를 나타낸다. $C_{i,t}$ 는 최근 $r \bmod (N/k)$ 라운드 동안 클러스터 헤드였다면 0이고, 아니라면 1이다.

식 (1)의 확률 함수에 의해 나온 값이 임의의 값보다 크면 헤드 노드가 된다[7]. 헤드 노드는 이를 이웃노드에게 브로드캐스트하고 멤버 노드는 하나의 집단에 속하게 된다. 이는 에너지 소모가 많은 클러스터 헤드를 노드 간에 균등하게 하여 네트워크 생존시간을 늘리기 위한 것이다. 안정 부분은 여러 개의 프레임 부분으로 구성되며, 프레임 부분은 한 클러스터 멤버 노드가 센싱한 데이터를 헤드 노드에게 보내고, 헤드 노드는 데이터를 취합하여 기지국으로 보내는 과정이다

센서 네트워크에서 에너지 소모량은 송신과 수신으로 나누어지고, 송신 에너지 소모량 $E_{tx}(l, d)$ 는 식 (2)로 표현되고, 수신 에너지 소모량 $E_{rx}(l)$ 은 식 (3)과 같다.[3]

$$E_{tx}(l, d) = \begin{cases} lE_{elec} + lE_{amp}d^4 & : \text{ 먼 거리 전송} \\ lE_{elec} + lE_{fs}d^2 & : \text{ 근 거리 전송} \end{cases} \quad (2)$$

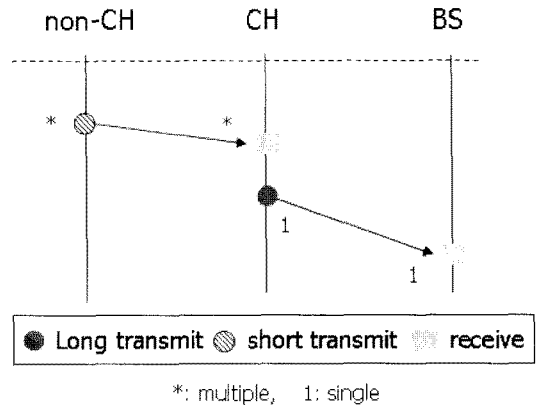
$$E_{rx}(l) = lE_{elec} \quad (3)$$

여기서 l 은 데이터 크기, E_{elec} 은 송신에서의 소모되는 전자 에너지(electronics energy)이고, E_{amp} 는 먼 거리 송신에 필요한 증폭 에너지

(amplifier energy-multipath model), d 는 기지국까지의 거리, E_{fs} 는 짧은 거리 송신을 위한 증폭 에너지(amplifier energy-free space model)이다.

계층적 방식의 라우팅은 라운드의 반복이고, 각 라운드에는 셋업 부분과 안정 부분으로 구성되어 있다. 여기서는 여러 개의 프레임 부분으로 구성되어 있는 안정 부분만을 언급한다. 프레임은 데이터를 클러스터 헤드노드에게 보내고, 클러스터 헤드 노드가 이를 취합하여 기지국에 전달하는 과정이다.

LEACH 방식과 제안 방식의 안정 부분에서 데이터 전송횟수와 에너지 소모량은 (그림 2)으로 표현 된다. 이때 기지국까지의 송신은 먼 거리 송신이고, 헤드 노드까지의 송신은 근 거리 송신이다.



(그림 2) LEACH 방식 및 제안 방식의 프레임 과정

프레임과정의 에너지 소모량을 (그림 2) 과정을 통해 알아보자. 클러스터 헤드 노드는 송신 1회와 수신 1회로 구성되어 있고, 클러스터 멤버 노드는 송신 1회만으로 구성되어 있다. 그러므로 전체 클러스터에서의 전송 횟수는 클러스터 헤드 노드와 클러스터 멤버 노드의 송신과 수신을 더한 값에 클러스터 수를 곱하면 된다. 따라서 클러스터 헤드 노드의 에너지 소모량은 클러스터 멤버 노드가 보내는 데이터들의 수신 1회의 에너지

소모량 $E_{rx}(l)$ 에 클러스터 당 센서 노드의 개수 $\left(\frac{N}{k} - 1\right)$ 을 곱하고, 기지국에 보내는 먼 거리 송신 1회의 에너지 소모량 $E_{tx}(l, d)$ 을 더하면 식 (4)이 된다. 또한 클러스터 멤버 노드의 에너지 소모량은 근거리 송신 1회의 에너지 소모량 $E_{tx}(l, d)$ 에 클러스터 당 센서 노드의 개수 $\left(\frac{N}{k} - 1\right)$ 을 곱하면 식 (5)이 된다.

$$E_{CH} = E_{tx}(l, d) + E_{rx}(l) \times \left(\frac{N}{k} - 1\right) \quad (4)$$

$$E_{SN} = E_{tx}(l, d) \times \left(\frac{N}{k} - 1\right) \quad (5)$$

따라서 LEACH 방식과 제안 방식의 전체 에너지 소모량은 식 (4)과 식 (5)을 합하여 식 (6)로 표현된다.

$$E_{tot} = \sum_k (E_{CH} + E_{SN}) \quad (6)$$

무선 센서 네트워크에서 에너지 소모가 발생하는 요소는 한 클러스터에 많은 양의 노드들이 집중되고, 또한 기지국과의 거리가 멀수록 에너지 소모가 가중된다. 그러나 한 클러스터 내에 노드의 수를 일정하게 하고, 클러스터 헤드 노드가 그 클러스터의 중앙 위치에 두면, 헤드 노드와 멤버 노드 사이의 거리를 최적화 하게 되어 에너지 소모량을 줄일 수 있게 된다.

본 논문에서는 클러스터를 분할하는 방법과 클러스터 헤드 노드 수를 결정하는 방법을 제안하고, 또한 이 제안 방식과 LEACH 방식을 비교하고자 한다.

3. 제안한 클러스터 구성 방법

이번 장에서는 본 연구에서 목표로 하는 무선 센서 네트워크에서의 클러스터 구성 방법을 제안한다. 클러스터 구성 방법은 클러스터의 분할을

통하여 각 클러스터의 노드 수를 거의 일정하게 하고, 또한 클러스터 헤드 노드를 그 클러스터의 중앙에 위치하도록 선정하여 에너지의 소모를 줄이는 것이다.

본 논문에서 사용한 무선 센서 네트워크 모델은 다음과 같다.

- ① 모든 노드가 배포될 위치의 범위 및 좌표 값을 알고 있다.
- ② 무선 센서 네트워크의 노드는 배포 후 위치 이동이 거의 없다.
- ③ 무선 센서 네트워크의 노드는 GPS 등의 도구를 이용하여 자신의 위치를 알고 있다.

따라서 본 연구에서는 클러스터 구성에 있어서 분할을 통하여 각 클러스터의 노드 수를 거의 일정하게 되고, 또한 클러스터 헤드 노드를 그 클러스터의 중앙에 위치하도록 선정하여 에너지의 소모를 줄인다.

3.1 클러스터 구성을 위한 분할

노드가 배치될 부분의 영역은 $M \times M$ 이고, 각 클러스터의 분할을 다음 함수를 이용하여 균등하게 분할한다.

$$k = \left\lceil \frac{\left(\frac{N}{M} + 1\right)^2}{\log\left(\frac{N}{M} + 1\right)} \right\rceil \quad (7)$$

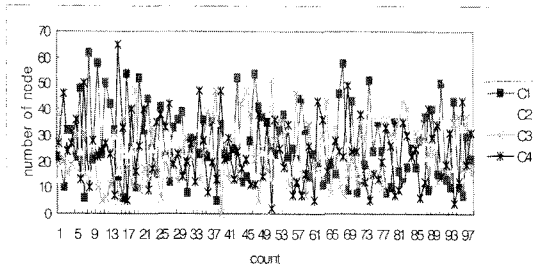
식 (7)에서 k 는 클러스터의 수이고 N 은 노드의 수이다. 또 M 은 노드를 배치할 영역으로, 그 값을 100으로 정한다. 기호 $\lceil \cdot \rceil$ 은 ceiling으로 $\lceil \cdot \rceil$ 안에 있는 임의의 수에 대하여 그 수보다 크거나 같은 정수들 중에서 가장 작은 정수를 나타낸다. 클러스터의 수는 헤드 노드의 수와 같다. 식 (7)의 분자 $(N/M + 1)^2$ 은 제곱으로 비례하고 있으므로, 분모에 로그 함수를 도입하여 식을

보정하면, 클러스터의 수가 LEACH 방식에서 최적화라고 입증한 전체 노드의 4-6%와 일치하게 된다. 다음의 (표 1)은 100에서 800까지의 노드 수에 대한 LEACH 방식과 제안 방식의 클러스터의 수를 비교한 것이다.

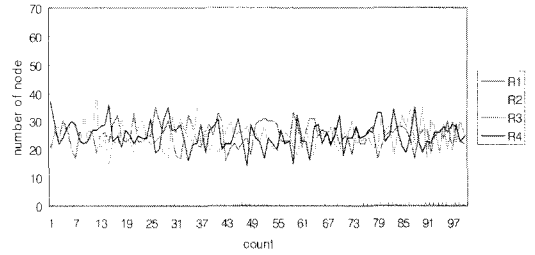
(표 1) 노드 수에 대한 클러스터 헤드 수 비교

노드 N의 수	클러스터의 수	
	LEACH 방식	제안 방식
100	4-6	6(= 2 × 3)
200	8-12	9(= 3 ²)
300	9-18	12(= 3 × 4)
400	16-24	16(= 4 ²)
500	20-30	20(= 4 × 5)
600	24-36	25(= 5 ²)
700	28-42	30(= 5 × 6)
800	32-48	36(= 6 ²)

식 (7)를 이용하여 센서 노드가 배치된 영역을 분할하면, 각 클러스터내의 노드 수는 LEACH 방식과 비교하여 거의 균등하게 이루게 된다. 이것은 (그림 3)의 실험을 통하여 LEACH 방식과 비교함으로써 확인하였다. (그림 3)에서 100개의 노드를 100번 시행 하였을 때 4개의 클러스터내의 노드 수의 분포를 나타낸 것이다. ①의 경우는 LEACH 방식이고 ②의 경우는 제안 방식이다. 여기에서는 LEACH과 제안 방식을 서로 비교하기 쉽게 하기 위하여 클러스터수를 동일하게 하여 4개로 정하였고, 클러스터를 분할하였다. 이 그림을 보면, 각 클러스터의 노드 수들의 편차는 LEACH 방식이 제안 방식보다 심한 것으로 나타나고 있다.



① LEACH 방식



② 제안 방식

(그림3) 각 클러스터내의 노드 수

3.2 클러스터 헤드 노드의 선정

N개의 노드를 영역 M × M에 배치하고 식 (7)를 사용하여 영역을 분할하면 모든 노드는 자신의 위치를 알고 있으므로, 각 노드들은 어느 클러스터에 속하게 되는지 알게 된다. 모든 노드들은 같은 클러스터에 속하는 노드끼리 서로 자신의 위치를 브로드캐스트를 한다. 이후 각 노드들은 각 클러스터의 중앙 위치에 가장 가까이 있는 노드의 위치를 탐색한 후 그 노드가 클러스터 헤드 노드로 선정이 된다. 각 클러스터의 중앙 위치는 두 가지 경우, 즉 ①영역의 가로 세로의 분할이 다른 경우와 ②영역의 가로 세로의 분할이 같은 경우로 나누어 생각할 수 있다. 다음 함수에 의하여 좌표로 결정된다.

① 영역의 가로 세로의 분할이 다른 경우

$$x_i = \frac{2i-1}{(N/M)+5} M, \quad y_j = \frac{2j-1}{(N/M)+3} M \quad (8)$$

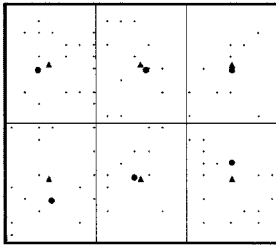
이고, 식 (8)에서 $i = 1, 2, 3, \dots, \frac{1}{2} \left(\frac{N}{M} + 5 \right)$ 이고, $j = 1, 2, 3, \dots, \frac{1}{2} \left(\frac{N}{M} + 3 \right)$ 이며 좌표의 수는 순열의 개수 만큼이다.

② 영역의 가로 세로의 분할이 같은 경우

$$x_i = \frac{2i-1}{(N/M)+4} M, \quad y_j = \frac{2j-1}{(N/M)+4} M \quad (9)$$

이고, 식 (9)에서 i 와 j 는 $1, 2, 3, \dots, \frac{1}{2} \left(\frac{N}{M} + 4 \right)$ 이며 좌표의 수는 순열의 개수 만큼이다. 각 노드들은 자신의 id 및 중앙값과 자신의 위치와의 차이를 브로드캐스트하여 가장 작은 값을 가진 노드가 클러스터 헤드 노드로 선정이 된다.

(그림 4)은 100개의 노드를 영역 내에 랜덤하게 배치하였을 때의 노드의 위치와 식 (7)를 사용하여 영역을 분할한 모양이다. 또한 각 클러스터 내의 중앙 위치와 그 중앙에 가장 가까운 클러스터 헤드 노드들을 나타낸 것이다.



● : 헤드 노드 ▲ : 중앙 위치

(그림4) 각 클러스터내의 헤드 노드와 중앙 위치

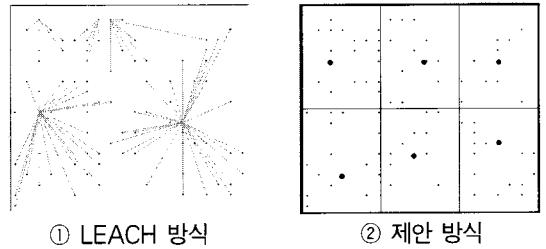
4. 실험 및 고찰

본 장에서는 제안된 클러스터 구성 방법의 시뮬레이션을 통해 성능 측정 결과를 보인다. 이를 위해 LEACH 방식과 제안 방식에 대한 모의실험을 하여 보았다. LEACH 방식의 프로토콜은 각 노드에서 확률함수를 수행하여 헤드의 여부를 결정하는 분산된 방법이다.

제안 방식의 프로토콜은 최적 클러스터 헤드를 구하기 위하여 클러스터를 분할하게 되면 각 클러스터 내의 노드 수들이 LEACH 방식 보다 거의 일정한 수가 된다. 또한 각 클러스터의 중앙 위치에 있는 노드를 클러스터 헤드로 결정하지만, 기지국을 통하지 않고 클러스터 내에서의 위치만으로 선정한다.

전체 에너지 소모량을 LEACH 방식과 제안 방식을 비교하여 모의실험을 하였다. 모의실험을 위

하여 네트워크의 구성은 $N=100$ 개의 노드를 영역 $M=100$ 내에 임의로 위치시키고, 기지국은 150으로 센서 필드 밖에 있다. 즉, 실험 환경은 E_{elec} 는 50 nJ/bit , E_{fs} 는 10 PJ/bit/m^2 , E_{mp} 는 $0.0015 \text{ PJ/bit/m}^4$, l 은 512 bit , k 는 6개, N 은 100개, d 는 150 m , M 은 100이다. 노드의 초기 에너지 값은 모두 동일하다. 네트워크의 노드 위치는 (그림 5)와 같다.



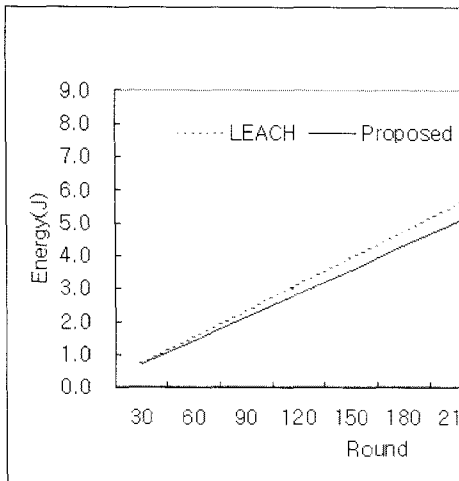
(그림 5) 헤드노드와 멤버노드들의 클러스터 형성 모양

또한 라운드별 전체 에너지 소모량을 LEACH 방식과 제안 방식으로 비교한 결과는 (표 2)와 같고, (그림 6)은 그것을 그림으로 나타낸 것이다.

(표 2)와 (그림 6)에서 보면 라운드가 30인 경우에는 두 방식의 에너지 소모량은 비슷하나, 라운드 횟수가 증가 할수록 차이가 나는 것을 알 수 있다. 라운드가 증가 할수록 에너지 소모 효율이 LEACH 방식보다 제안 방식이 9%정도 적은 것으로 확인하였다.

(표 2) 라운드별 전체에너지 소모량

라운드	LEACH	Proposed	감소량(%)
30	0.730	0.720	1.37
60	1.560	1.500	3.85
90	2.330	2.200	5.58
120	3.080	2.850	7.47
150	3.890	3.550	8.74
180	4.730	4.300	9.09
210	5.520	5.015	9.15
240	6.310	5.730	9.19
270	7.080	6.445	8.97
300	7.800	7.085	9.17



(그림 6) 라운드별 전체에너지 소모량의 비교

5. 결론 및 향후 연구 방향

에너지 사용이 제약적인 무선 센서 네트워크에서 네트워크의 생존 시간을 늘릴 수 있는 에너지 효율적인 프로토콜의 개발이 매우 중요하고 또한 라우팅 프로토콜은 에너지 측면에 효율성이 좋은 계층적 방식의 라우팅이 연구되고 있다. 계층적 방식의 라우팅은 클러스터 헤드 노드와 클러스터 멤버 노드간의 에너지 불균형 문제로 인해 클러스터 구성을 하는 방법에 따라 에너지 소모가 큰 문제점이 있다.

본 논문은 클러스터 구성에 있어서 기존의 LEACH 방식에서의 클러스터 구성과 헤드를 선정하는 방법보다 에너지 소모가 적은 클러스터를 분할하는 방법을 제안하였다. 제안 방법의 클러스터 구성은 우선 클러스터를 분할하여 각 클러스터 내의 노수 수를 거의 일정하게 만들고, 그 클러스터의 중앙에 가장 가까이에 있는 노드를 클러스터 헤드 노드로 정한 후 LEACH 방법으로 셋업을 하여 에너지 소모를 줄일 수 있다. 이와 같이 클러스터의 분할하여 각 클러스터 내의 노드 수를 보면 그 수가 LEACH 방식에 비해 현격히 차이가 있고, 에너지 소모 효율이 9%정도 적

은 것으로 확인하였다. 앞으로 클러스터의 분할 방법을 균등하게 하고, 이 방법을 이용하여 잔존 에너지를 고려한 에너지 효율에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [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, August 2002.
- [2] W. B. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks" Proc. of the Hawaii International Conference on System Sciences, pp3005-3014, Jan. 2000.
- [3] W. B. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks" *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 1, NO. 4, pp660-670, Oct., 2002.
- [4] K. Dashupta, K. Kalpakis and P. Namjoshi, "An Efficient Clustering based Heuristic for Data Gathering and Aggregation in Sensor Networks", *Wireless Communications and Networking*, pp1948 - 1953, Mar., 2003.
- [5] O. Younis and S. Fahmy, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid Energy-Efficient Approach", *IEEE INFOCOM 2004*, Mar., 2004.
- [6] 남도현, 민홍기, "센서 네트워크에서 클러스터 헤드의 load-balancing을 통한 에너지 효율적인 클러스터링", *정보처리학회논문집, 제14-C권 제3호*, pp.277-283, 2007.
- [7] 이상학, 정태충, "무선 센서네트워크의 에너지 효율적 집단화에 관한 연구", *정보처리학회논문집, 제11-C권 제7호*, pp.923-930, 2004.

◎ 저자 소개 ◎



김 종 기 (Jong-Ki Kim)

1977년 인하대학교 수학과 졸업(학사)

1982년 인하대학교 대학원 수학과 졸업(석사)

1992년 인하대학교 대학원 수학과 졸업(박사)

1993~현재 건양대학교 정보보호학과 교수

관심분야 : 데이터베이스, 센서 네트워크, 보안, 정보보호 및 암호 etc.

E-mail : jkkim@konyang.ac.kr



김 용 원 (Yoeng-Won, Kim)

1986년 고려대학교 수학과 졸업(학사)

1988년 고려대학교 대학원 수학과 졸업(석사)

1995년 고려대학교 대학원 전산학과 졸업(박사)

1995~현재 건양대학교 기업정보관리학과 교수

관심분야 : 데이터베이스 모델링, 데이터 검색, 데이터베이스 품질, 인터넷 데이터베이스 etc.

E-mail : ywkim@konyang.ac.kr