

# 무선 센서 네트워크에서 에너지의 효율적 사용방법

오세준<sup>1</sup> · 허 선<sup>2\*</sup> · 이건우<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한양대학교 산업공학과 / <sup>2</sup>한양대학교 산업경영공학과 / <sup>3</sup>(주)미라콤아이앤씨

## An Efficient Energy Usage of Wireless Sensor Network

Sejun Oh<sup>1</sup> · Sun Hur<sup>2</sup> · Gunwoo Lee<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Industrial Engineering, Hanyang University, Seoul

<sup>2</sup>Industrial and Management Engineering, Hanyang University, Ansan

<sup>3</sup>Miracom, Inc.

Wireless sensor network may be installed where it is hard to access or where one has to constantly gather data without any human's monitoring. Sensors which compose a sensor network are usually small with poor battery capacities and thus energy-efficient usage is very important because of difficulties in replacing or recharging the batteries to make the lifetime of the whole sensor network longer. LEACH protocol, a well-known hierarchical routing protocol, may resolve this problem by distributing the role of cluster header evenly to the sensor nodes in the whole area of network at each round. In this thesis, we introduce a variant of LEACH protocol which considers the distance between base station and sensors in the way that if a node is far from the base station then the probability that this node becomes a cluster header is low. Experiments to evaluate the energy efficiency and the ability to collect the information show that the proposed method in this paper has maintained much wider sensing area while keeping the energy efficiency same as LEACH.

**Keyword:** wireless sensor network, energy-efficient, LEACH

### 1. 서론

#### 1.1 연구배경

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network: WSN)는 사람의 접근이 불가능한 군사지역, 숲이나 바다와 같은 자연환경, 또는 안전감시를 위한 목적으로 다리나 건물 등에 구축되어 각 상황의 특성에 맞는 다양한 정보를 수집하는데 많이 이용되고 있다. 최근에 무선 센서 네트워크는 일상의 전범위로 확장되어 언제, 어디서나 쓸 수 있다는 의미로 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Network: USN)라고 부르기도 한다. 무선 센서 네트워크는 사회전반에 걸친 통신 환경 분야의 선도 기

술이며 정보통신부의 IT 성장 동력 정책인 IT839 정책에서 첨단 인프라 구축 기술로 선정된 바 있다(Sin, 2005).

무선 센서 네트워크의 성능 평가요소는 크게 에너지 효율성, 감지 데이터의 정확도, 서비스 품질로 나누어진다. 이 중에서 장애는 에너지 효율성이다. 에너지 효율성이란, 센서가 시간이 지나면서 에너지를 소모하여 그 수명이 다할 때까지 얼마나 오랜 시간동안 작동할 수 있는지를 나타내는 척도이다(Ganesan *et al.*, 2004). 무선 센서 네트워크를 이루는 센서 노드들은 대개 크기가 작고 배터리 용량도 제한적이다. 또한 배터리는 쓰이는 환경의 특성상 교환이나 충전이 불가능하거나 어려운 경우가 많다. 그래서 센서 노드들이 에너지를 효율적으로 사용하도록 디자인하고 프로세스를 효과적으로 운영하는 것이 매우 중요하다.

본 연구는 지식경제부 우수제조기술연구센터 지원사업의 연구비로 진행되었음(10032910-2009-11).

\*연락처 : 허 선 교수, 426-791, 경기도 안산시 상록구 사3동 한양대학교 산업경영공학과 Fax : 409-2423, E-mail : hursun@hanyang.ac.kr  
투고일(2009년 10월 21일), 심사일(1차 : 2010년 02월 03일), 게재확정일(2010년 03월 11일).

1.2 연구목적과 방법

무선 센서 네트워크에서 각 센서가 수집한 정보를 전달하는 전송방식을 라우팅 프로토콜이라고 한다. 라우팅 프로토콜은 크게 두 가지 방법으로 나눌 수 있다. 첫째는 모든 센서 노드들이 각자 수집한 정보들을 기지국에 직접 전송하는 평면적 라우팅 방식(직접적 방식)이다(<그림 1> 참조). 둘째는 센서 노드들이 여러 개의 클러스터를 형성하여 클러스터 헤더를 정하고 나머지 노드들은 클러스터 멤버가 되는 계층적 라우팅 방식이다. 클러스터 헤더는 클러스터 내의 멤버 노드들로부터 정보를 수집하고 이를 기지국으로 전송하는 역할을 한다. <그림 1>에서 볼 수 있듯이 직접적 방식은 간단한 방식이지만 먼 거리의 기지국에 모든 센서 노드가 데이터를 전송하므로 총 에너지 소비가 크다. 반면에 계층적 방식은 먼 거리의 기지국에 데이터를 전송하는 센서 노드가 클러스터 헤더노드 하나이므로 센서 네트워크 전체를 고려하면 계층적 라우팅 방식으로 전송하는 것이 에너지 소비가 적다.

센서 노드들의 에너지 효율을 높이기 위하여 다양한 저 전력 MAC(Medium Access Control) 프로토콜과 라우팅 프로토콜이 많이 개발되어왔다. 전통적으로 사용되어 오던 라우팅 프로토콜인 직접통신(Direct Communication) 라우팅, MTE(Minimum Transmission Energy) 라우팅, 정적 클러스터(Static Cluster) 라우팅 등은 센서 네트워크를 유지하기 위해 사용되는 에너지 소모량, 프로세스 진행 중 센서 노드 간 잔여 에너지의 균형 여부, 전체 센서 노드의 효율적 관리, 네트워크 수명 등에 있어서 많은 문제점들이 있음이 지적되어 왔다. 이에 대한 대안으로 제안된 것이 클러스터링 기반의 계층적 라우팅 알고리즘인 LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 방식이다(Heinzelman *et al.*, 1999).

LEACH는 센서 네트워크의 전체 에너지 효율을 높이고자 개발된 프로토콜이다. 즉, 다른 센서 노드보다 에너지 소모가 큰 클러스터 헤더의 역할을 각 센서가 번갈아가며 나누어 맡아 센서 네트워크의 모든 센서 노드들이 에너지를 효율적으로 사용하도록 한 방법이다. 한편, LEACH의 성능을 개선한 LEACH-C (LEACH-Centralized) 방법은 기지국(Base Station)이 각 센서들로부터 위치와 잔여 에너지에 대한 정보를 받고 이 정보를 바탕으로 가장 적합한 형태의 클러스터를 형성함으로써 LEACH보

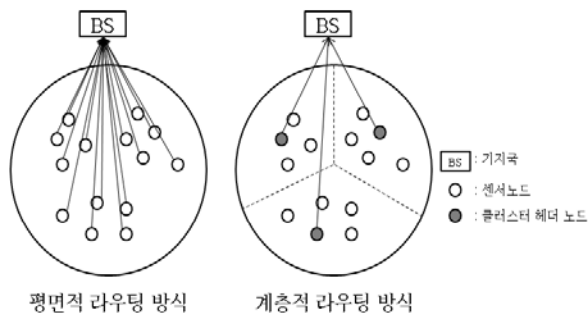


그림 1. 무선 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜

다 효율적인 형태로 클러스터를 구성할 수 있게 하였다(Heinzelman *et al.*, 1999). 그러나 이 방법 역시 매번 각 노드들이 기지국과 에너지에 대한 정보를 주고받기 위한 통신을 해야 하므로 많은 에너지가 추가로 소비된다는 단점이 있다.

LEACH-C는 거리와 에너지를 고려하여 효율적인 클러스터 범위를 지정하기 위해 복잡한 알고리즘을 이용하지만 센서 네트워크의 에너지 사용의 효율 자체는 LEACH에 비해 크게 개선되지 못했다(Heinzelman *et al.*, 1999). 따라서 센서의 메모리를 고려하여 단순하면서도 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 프로토콜이 필요하다.

각 센서 노드나 클러스터 헤더가 기지국으로 정보를 전송할 때 필요한 에너지는 거리의 제곱 또는 네 제곱에 비례한다고 알려져 있다. 하지만 LEACH는 이 점을 고려하지 않았기 때문에 시간이 경과하면서 상대적으로 기지국으로부터 먼 곳의 센서 노드의 배터리 사용량이 많아져서 우선적으로 수명이 다하게 되고 이로써 센서 네트워크가 커버하는 영역이 축소되면서 정보의 수집이 편중되는 단점이 있다(Heinzelman *et al.*, 1999).

본 논문에서는 계층적 방식의 라우팅 프로토콜인 LEACH 알고리즘을 기본으로 하여 문제점과 개선해야 할 점을 알아본 후 이를 개선한 LEACH 알고리즘(LEACH-D)을 제시한다. 무선 센서 네트워크가 설치된 지역 내에서 고르게 정보를 얻기 위해서는 시간이 경과하여 정보수집의 편중이 일어나지 않도록 해야 한다. LEACH-D 프로토콜은 클러스터 헤더를 결정하는 확률식에 거리에 대한 가중치를 곱하는 간단한 방법을 사용하여 시간이 경과한 후에도 센서 네트워크가 커버하는 영역의 축소를 억제하여 고른 정보 수집이 가능하다. 시간에 경과에 따른 에너지 소모, 잔존 센서, 센싱 가능한 범위 등의 성능척도들을 정의하고 수치계산을 통해 LEACH와 본 연구에서 제시한 LEACH-D의 성능을 비교한다.

2. 관련 연구

2.1 센서 네트워크 라우팅 프로토콜

센서 네트워크는 다수의 소형 노드들로 구성되어 있으며, 각 노드들은 센서를 가지고 있어서 센서로 읽어 들인 정보를

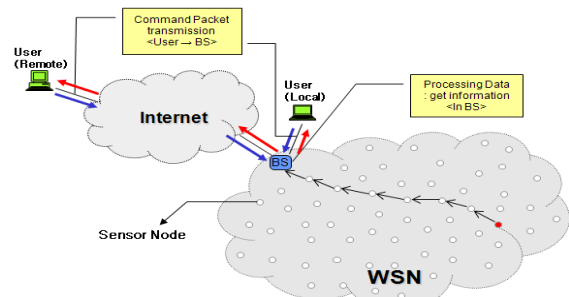


그림 2. 무선 센서 네트워크의 구조

사용자에게 보내기 위해서 인터넷에 연결되어있는 기지국으로 데이터를 전달해야 한다. <그림 2>는 센서 네트워크의 구성을 보여준다.

센서가 정보를 수집하고 기지국으로 보내는 라우팅 프로토콜에는 여러 가지 방법이 있다. 앞 장에서 언급한 바와 같이 크게 평면적 라우팅 프로토콜과 계층적 라우팅 프로토콜로 나누어진다. 평면 라우팅 프로토콜은 전체 센서 네트워크를 하나의 영역으로 간주하여 모든 노드들이 기지국(싱크 노드)으로 수집한 정보를 직접 보낸다. 이와 관련된 방식으로는 Directed Diffusion(Intanagonwiwat et al., 2000), SPIN(Sensor Protocols for Information via Negotiation)(Kulik et al., 2002), Minimum Cost Forwarding Algorithm(Ye et al., 2001) 등이 있다.

계층적 라우팅 프로토콜은 클러스터링 과정을 통하여 센서 네트워크를 클러스터 단위의 다수 영역으로 분할하고 클러스터 내의 센서 노드를 각자의 역할에 따라 클러스터 헤드 노드, 일반노드(클러스터 멤버 노드)로 나눈다. 일반 노드는 정보를 감지하여 지역 클러스터 헤드 노드로 전송하고 클러스터 헤드 노드는 일반 노드에서 수집한 정보를 싱크노드로 전송한다. 이 과정에서 클러스터 헤드노드는 무선 센서 네트워크에서 인접한 노드 간의 유사한 정보의 중복 전달로 인한 에너지 낭비를 줄이기 위해 데이터 병합(Data aggregation)을 한다. 계층적 프로토콜에 관련된 연구로는 LEACH(Heinzelman et al., 1999), TEEN(Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)(Lindsay et al., 2002), HEED(Hybrid Energy Efficient Distributed clustering approach)(Younis et al., 2004) 등이 있다. 다음 절에서는 계층적 프로토콜 중에서 대표적인 LEACH에 대해 좀 더 자세히 알아본다.

### 2.2 LEACH 프로토콜

#### (1) LEACH 프로토콜 수행과정

LEACH 프로토콜은 네트워크 내의 모든 센서들의 에너지 부하가 균등하게 배분되도록 구성된 프로토콜이다(Heinzelman et al., 1999). 계층적 프로토콜에서 헤드 노드는 클러스터 내의 일반 노드들이 수집한 정보를 병합하여 기지국으로 송신하기 때문에 일반 노드보다 에너지 소모가 많다. 선출된 클러스터 헤드가 매번 같은 센서 노드라면 많은 에너지 소모로 센서의 수명이 끝날 수 있다. LEACH는 에너지 사용이 큰 헤드 노드 역할을 전체 노드들이 각각 번갈아가며 맡게 하는 프로토콜이다. 클러스터 내의 일반 노드들이 클러스터 헤더에 정보를 순차적으로 보내는 한 주기를 라운드(Round)라고 하는데, <그림 3>은 임의의 라운드에서 클러스터 구성의 예를 보이고 있으며 <그림 4>는 다음 라운드에서 클러스터 구성이 변화하고 이에 따라 클러스터 헤더 역할을 하는 노드도 바뀐 것을 예로 보여준다.

LEACH 프로토콜 과정은 <그림 5>와 같이 라운드 단위로 나누어지고 각 라운드는 셋업(set-up)부분과 안정상태(steady-state)부분으로 구성된다.

LEACH 프로토콜의 셋업부분은 광고(advertisement)단계, 클

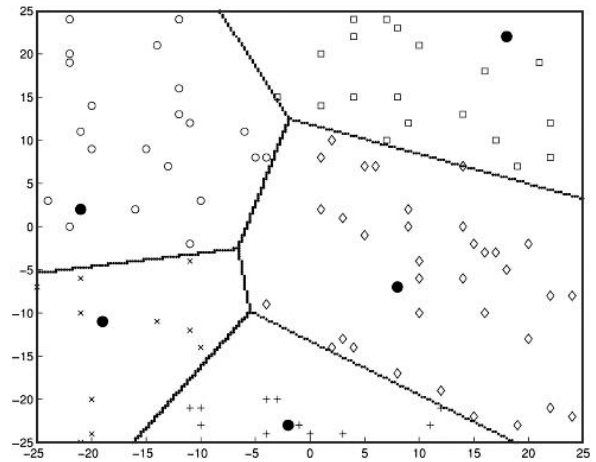


그림 3. 클러스터 형태의 예

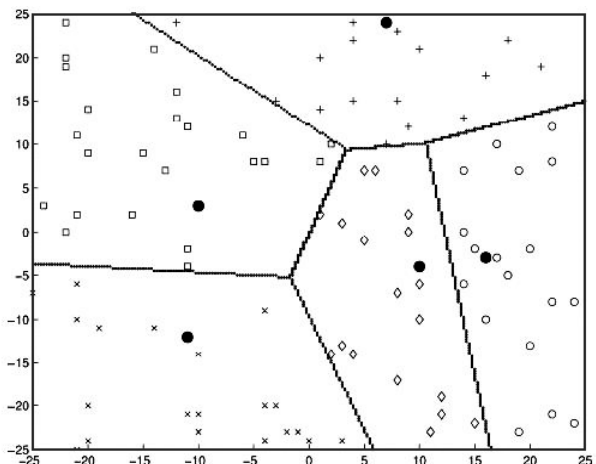


그림 4. <그림 3>의 다음 라운드에서의 클러스터 형태의 예

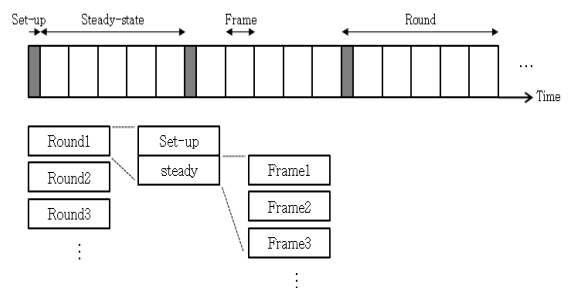


그림 5. LEACH의 라우팅 과정

러스터 설정(cluster set-up)단계, 스케줄 생성단계로 나누어지고 안정상태는 데이터 전송이 이루어지는 단계이다. 각 단계에서 이루어지는 센서 네트워크의 활동 내용을 자세히 살펴보면 다음과 같다.

#### ① 광고 단계

처음 센서 네트워크가 클러스터로 나누어질 때 각 센서 노드는 스스로가 현 라운드에서 클러스터 헤더가 되어야 할 지

아닌지를 결정한다. 즉, 각 센서 노드는 식 (1)에서 계산되어지는 확률로 클러스터 헤더가 된다.

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

위 식에서  $N$ 은 전체 노드의 수,  $i$ 는 노드의 식별자 ( $i = 1, 2, \dots, N$ ),  $t$ 는 시간,  $k$ 는 클러스터의 수,  $r$ 은 라운드를 나타낸다.  $C_i(t)$ 는 노드  $i$ 가 최근  $r \bmod (N/k)$  라운드 동안 클러스터 헤더 역할을 했는지( $C_i(t) = 0$ ), 안했는지( $C_i(t) = 1$ )를 구분하는 지시확률변수이다.

예를 들어, 전체 노드 개수가  $N=100$ 이고 클러스터 수는  $k=5$ 이면 각 클러스터에는 평균  $N/k = 100/5 = 20$ 개의 센서 노드가 있다. 따라서 각 센서 노드들은 평균 20라운드에 한 번 꼴로 클러스터 헤더가 된다. 예를 들어  $r=60$ 이라면,  $60 \bmod 20 = 0$ , 즉 59번째 라운드까지는 모든 센서 노드들이 동일한 횟수만큼 클러스터 헤더를 맡았으며, 이제  $r=60$ 번째 라운드에서는 모든 노드들이 클러스터 헤더가 될 가능성이 동일해야 하므로 식 (1)에서 모든 노드들은  $P_i(t) = \frac{5}{100-0} = \frac{5}{100}$ 의 확률로 클러스터 헤더가 될 수 있다.  $r=61$ 번째 라운드에서는 총 100개 노드 중 60번째 라운드에서 클러스터 헤더 역할을 수행했던 5개 노드를 제외하고 나머지 95개 노드가 각각  $P_i(t) = \frac{5}{100-5} = \frac{5}{95}$ 의 확률로 헤더로 선정된다.

클러스터 헤더가 된 센서는 클러스터 안에 들어올 센서를 지정하기 위해 클러스터 헤더 광고를 CSMA, MAC 등의 프로토콜을 이용하여 알린다. 일반 노드들은 현 라운드에서 어느 클러스터에 포함될지를 결정한다. 통신의 결합이나 이상으로 선택하지 않을 경우 임의의 클러스터로 편성된다.

② 클러스터 설정 단계

센서 네트워크 내의 모든 노드들이 각자 소속될 클러스터가 결정되면 각 일반 노드들은 해당 클러스터의 소속이 되었음을 CSMA, MAC 프로토콜 등을 사용하여 클러스터 헤더에게 공지를 한다.

③ 스케줄 생성 단계

클러스터가 구성되면 클러스터 헤더 노드는 클러스터 내의 일반 노드에 대한 정보를 수신하고 일반 노드에게 전송순서를 정해준다.

④ 데이터 전송 단계

클러스터가 형성되고 스케줄이 확정되면 일반 노드가 클러스터 헤더 노드에게 정보를 전송한다. 각 일반 노드는 할당 받은 전송시간 이외에는 슬립모드(sleep mode)로 전환함으로써 에너지 소비를 줄일 수 있다.

한 라운드가 끝나면 다시 클러스터 헤더 결정부터 순차적으로 되풀된다. <그림 6>은 LEACH 프로토콜의 흐름도이다.

(2) LEACH 에너지 소비

여기서는 LEACH 프로토콜의 에너지 소비에 대해 살펴본다. 센서 네트워크에서는 정보를 송신할 때와 수신할 때 모두 에너지가 소모된다. <그림 7>과 같이 정보를 송신 또는 수신할 때 소모되는 에너지양이 다르다.

즉,  $l$  비트의 정보를  $d$  만큼 떨어진 거리에 송신할 때와 이를 수신할 때의 총 에너지 소모를 각각  $E_{Tx}(l, d)$ ,  $E_{Rx}(l)$ 라 하자.  $E_{elec}$ 은 단위비트 당 전송 및 수신에 소모되는 에너지를 나타내며,  $\epsilon_{amp}$ 는 전파 전송장치들이 송수신시 거리에 반비례하여 신호가 약해지는 현상을 막고 잡음의 영향을 최소화하기

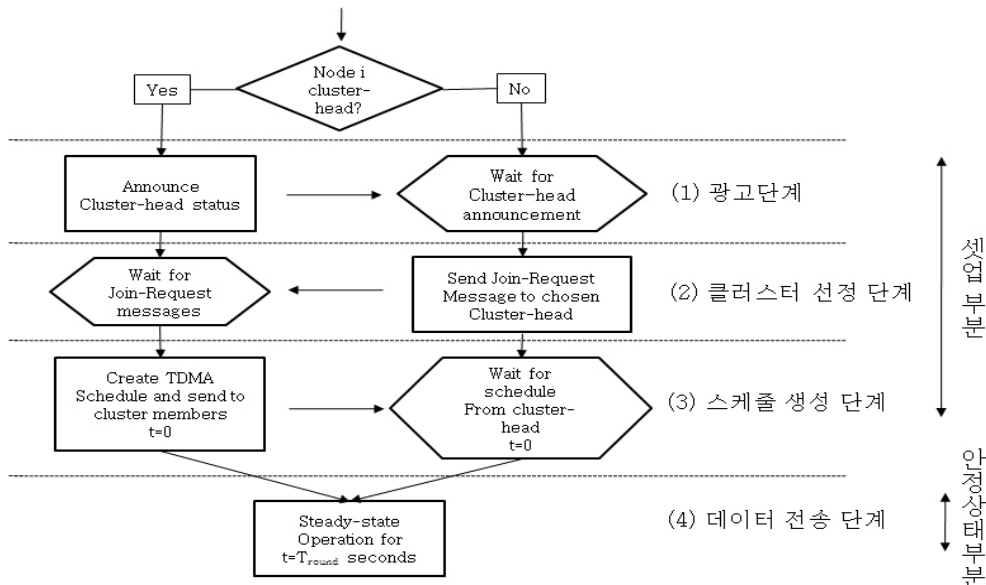


그림 6. LEACH 프로토콜의 흐름도

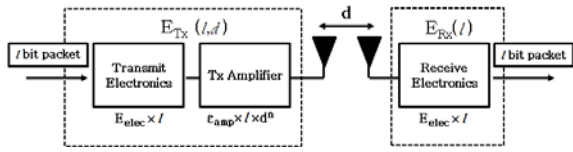


그림 7. 정보 송수신에 필요한 에너지

위해 필요한 증폭 에너지를 표시한다. 정보 송신과 수신에 필요한 에너지 식은 식 (2)와 식 (3)과 같다.

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

$$E_{Tx}(l, d) = \begin{cases} lE_{elec} + l\epsilon_{amp}d^2, & d_0 > d, \\ lE_{elec} + l\epsilon_{amp}d^4, & d_0 < d. \end{cases} \quad (3)$$

식 (2)는 정보량  $l$ 만큼의 정보를 수신하는데  $lE_{elec}$ 만큼의 에너지가 든다는 것을 의미한다. 한편 식 (3)은 정보량  $l$ 만큼의 정보를 송신하는데 드는 에너지는 정보를 송신하는 에너지 ( $lE_{elec}$ )와 거리에 따라 증폭에 필요한 에너지( $l\epsilon_{amp}d^n$ )가 든다는 것을 나타내고 있다. 여기서  $d_0$ 는 정보를 송신하는 측과 수신측간의 거리, 송수신 안테나의 높이 등에 의해 정해지는 기준거리로서, 이 기준거리보다 먼 거리에의 송수신인 경우에는 거리의 네제곱비( $n=4$ )의 정보증폭이 필요하고 기준거리보다 거리가 가까울 경우에는 거리의 제곱비( $n=2$ )의 정보증폭이 필요하다(Heinzelman *et al.*, 1999).

LEACH 프로토콜의 헤더노드는 클러스터 내의 센서로부터 정보를 받아 정보를 취합(Data Aggregation : DA)하여 기지국으로 정보를 보낸다. 또한 일반 노드는 정보를 수집하여 클러스터 헤더노드로 보낸다. LEACH 프로토콜의 송신과 수신에 대한 식은 다음과 같다.

$$E_{non-CH} = lE_{elec} + l\epsilon_{fs}d^2, \quad (4)$$

$$E_{CH} = lE_{elec} \left( \frac{N}{k} - 1 \right) + lE_{DA} + lE_{elec} + l\epsilon_{mp}d^4 \quad (5)$$

$E_{CH}$ 는 클러스터 헤더노드의 에너지 소모,  $E_{non-CH}$ 는 클러스터 내의 일반 센서 노드의 에너지 소모량을 나타낸다. 또한  $E_{DA}$ 는 클러스터 헤더 노드가 센서 노드로부터 받은 정보를 취합(DA)하는데 필요한 에너지이고,  $\epsilon_{mp}$ 와  $\epsilon_{fs}$ 는 증폭에 필요한 에너지이다. LEACH에서 기준거리가 되는 것은 센서 네트워크의 범위 즉, 센서 필드이다. 센서 필드 안과 밖에 송신할 때 드는 증폭에너지가 다르다. 센서 필드 밖에 송신하기 위해서는  $\epsilon_{mp}$ 만큼의 증폭에너지가 필요하고 센서 필드 안의 송신은  $\epsilon_{fs}$ 만큼의 증폭에너지를 필요하다. 클러스터 내 일반 센서 노드의 정보 송수신에서 사용되는 에너지는 수집된 정보를 전송하는 에너지와 증폭하는 에너지를 합한  $E_{elec} + l\epsilon_{fs}d^2$ 이 된다(식 (4)). 또한 클러스터 헤더는 클러스터 내의  $(N/k) - 1$ 개의 일반

노드로부터  $l$ 비트의 정보를 수신할 때 소모되는 에너지  $lE_{elec}$  ( $N/k - 1$ )와 일반노드에서 받은 정보를 취합하는데 소모되는 에너지가  $lE_{DA}$ , 그리고 기지국으로 송신하는데 필요한 에너지  $lE_{elec} + l\epsilon_{mp}d^4$ 를 사용한다(식 (5)).

### 2.3 LEACH 프로토콜의 문제점

앞 절에서 설명한 것처럼 센서의 에너지 소모는 정보의 양과 전송거리에 따라 달라진다. 이 중 클러스터 헤더 노드와 일반 센서 노드는 소모되는 에너지가 다르다. 일반노드는 정보를 수집하여 거리상으로 비교적 가까운 클러스터 헤더 노드로 보내고 이 때 소모되는 에너지는 거리의 제곱에 비례한다. 클러스터 헤더 노드는 클러스터 내 센서들로부터 받은 정보를 취합하여 센서필드 밖에 있는 기지국으로 정보를 송신한다. 이 때 소모되는 에너지는 거리의 네제곱에 비례한다(Heinzelman *et al.*, 1999).

LEACH 프로토콜은 클러스터 헤더의 부하를 네트워크 전체 센서에게 고르게 부담하게 하여 네트워크 수명을 연장하고 있다. 하지만 각 센서의 위치가 다르기 때문에 센서에서 기지국의 거리가 다르고, 따라서 클러스터 헤더 역할을 한 번씩 맡게 되더라도 센서 노드는 기지국과의 거리에 따라 에너지 소모량이 차이가 난다. 이러한 차이는 클러스터 헤더 역할이 반복되면서 더 많아지게 되고 결국에는 기지국에서 먼 센서 노드부터 배터리의 수명이 다하게 된다. 그러므로 시간이 경과할수록 센서는 기지국에 가까운 쪽에 편중되어 잔류하고 이로써 지리적으로 편중된 정보를 수집하게 되는 문제가 발생한다.

본 논문에서는 클러스터 헤더노드와 기지국 사이의 거리를 고려하여 클러스터 헤더를 결정하게 하는 수정된 LEACH 프로토콜을 제시한다. 이는 LEACH 프로토콜에서 고려되지 않은 점으로, 에너지 소모를 고르게 분배하여 시간이 경과한 후에도 보다 넓은 지역의 정보 수집을 할 수 있다는 장점이 있다.

## 3. 설계 및 실험

본 장에서는 기존의 LEACH 프로토콜에서 고려되지 않은 기지국과 클러스터 헤더노드의 거리에 대한 변수를 클러스터 헤더 결정에 포함시키는 방법을 설명한다.

### 3.1 클러스터 헤더 결정을 위한 수정된 확률식

LEACH 프로토콜에서는 최근 라운드에서 센서 노드가 클러스터 헤더 역할을 했다면 0의 값을, 역할을 하지 않았다면 1의 값을 부여하고, 0의 값을 가진 센서는 클러스터 헤더 선정과정에서 선정 확률을 0으로 함으로써 클러스터 선정에서 제외하게 하였다. 반면 1의 값을 가진 센서에 대해서는 클러스터 헤더 선정에서 식 (1)에 의해 클러스터 헤더가 될 확률을 계산하였다. 그래서 에너지 소모가 큰 클러스터 헤더 역할을 고르게 분

배하여 전통적 라우팅 프로토콜방식의 센서 네트워크보다 전체 센서네트워크 수명을 늘렸다. 하지만 거리에 대한 고려가 없어 각각 한 번씩 클러스터 헤더 역할을 맡더라도 에너지 소모의 차이가 생긴다는 점을 감안하여 LEACH 프로토콜의 확률식에 거리에 대한 가중치를 주어 헤더노드를 결정하는 식을 제시한다.

기존 LEACH 프로토콜의 확률 식( $P_i(t)$ )에 거리에 대한 가중치( $w_i$ )를 곱한다. 가중치는 기지국에서 센서까지 거리의 총합을 각각의 센서 거리로 나눈 값이다. 거리에 대해 반비례 가중치를 곱하는 이유는 기지국에서 먼 클러스터 헤더 노드의 에너지 부하를 고려하기 위해서이다. 이렇게 거리에 대해 반비례한 식을 가중치로 하여 거리가 멀수록 클러스터 헤더 선정될 확률이 낮아지게 한다. 그래서 거리가 먼 노드는 클러스터 헤더 역할을 덜 맡게 되고 LEACH 프로토콜의 에너지 편중 문제를 해결할 수 있다. 또한 가중치는 식에서는 거리의 합으로 하였으나 거리의 제곱의 합, 네제곱의 합 등 다양하게 변형시킬 수가 있다. 본 연구에서는 여러 가지 가중치를 사용하여 실험을 통해 그 차이를 비교해 본다. 기존 클러스터 확률식에 가중치를 곱한 값을  $k_i(t)$ 이라 하고 식 (8)과 같이 계산한다.

$$P_i(t) = \begin{cases} \frac{k}{N - k \times (r \bmod \frac{N}{k})}, & C_i(t) = 1 \\ 0, & C_i(t) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$w_i = \left( \frac{d_i}{\sum_{j=1}^N d_j} \right)^{-1} \quad (7)$$

$$k_i(t) = P_i(t)w_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

기존의 확률식을 바탕으로 거리에 대한 가중치를 곱한  $k_i(t)$ 를 다음 식 (9)와 같이 정규화한다. 정규화한 식 (9)를  $Q_i(t)$ 라고 하고 본 논문의 클러스터 헤더 선정을 위한 확률식으로 사용한다.

$$Q_i(t) = k_i(t) / \sum_{j=1}^N k_j(t) \quad (9)$$

이렇게 수정한 프로토콜을 기존의 LEACH 프로토콜에 거리를 고려하였다는 측면에서 LEACH-D 프로토콜(LEACH-Distance)이라고 부르기로 한다.

### 3.2 실험설계 및 구현

#### 3.2.1 실험 환경

LEACH-D 프로토콜의 성능을 분석하기 위해 LEACH 프로토콜의 에너지 소비에 대한 식 (4)와 식 (5)를 토대로 실험을 하였다. 실험에 사용된 매개변수들의 값은 LEACH 프로토콜을

표 1. 실험 매개 변수

변 수	값
노드 수	100개
클러스터 개수	5개
네트워크 범위	100m × 100m
기지국의 위치	좌표(50, 175)m
초기에너지	2J
정보의 크기	500byte
$E_{elec}$	50nJ
$E_{DA}$	5nJ/byte/signal
$\epsilon_{fs}$	10pJ/byte/m <sup>2</sup>
$\epsilon_{mp}$	0.0013pJ/byte/m <sup>4</sup>

$nJ = 10^{-9}J, pJ = 10^{-12}J.$

제안하고 그 성능을 평가하기 위해 실험을 행한 연구결과인 (Heinzelman *et al.*, 2000)에서 사용한 것과 동일한 값들을 사용하였다.

100m × 100m의 영역에 100개의 센서 노드들을 임의로 배치한 다음 LEACH 프로토콜에서 사용한 에너지 소비식(식 (4), 식 (5))에 맞추어 라운드 별로 에너지 소모량을 측정하였다. 에너지 소모가 배터리 용량을 넘어 센서 노드의 수명이 다한 노드를 제외한 잔존 센서노드의 개수가 클러스터의 개수보다 적어지면 실험을 종료하도록 하였다. 모든 센서 노드들은 초기에 2J의 에너지를 동일하게 보유하고 클러스터의 평균 개수는 LEACH 프로토콜에서 가장 적절하다고 알려진 바와 같이 전체 노드수의 5%로 설정하였다(Heinzelman *et al.*, 2000). 각 센서 노드는 자신과 기지국의 거리를 알고 있으며 반경 10m의 센서 수집 능력이 있다고 가정한다. 그 밖에 본 실험에서 사용된 매개변수의 값들은 <표 1>과 같다.

#### (2) 구현

실험은 다음과 같이 세 가지로 나누어 시행한다.

##### ① 센서 노드의 생존개수 비교

LEACH 프로토콜의 송수신에 대한 에너지 소모량을 나타내는 식 (4)와 식 (5)를 이용하여 라운드 별 센서 네트워크 에너지 총합과 센서의 생존개수로 에너지 효율을 비교한다.

##### ② 생존노드의 지역적 범위 비교

센서 네트워크의 정보수집능력을 측정하기 위하여 <그림 8>과 같이 100m × 100m의 센서 네트워크 범위를 x축, y축으로 1m 간격으로 격자를 만든다. 센서의 센싱 범위를 표시한 후 그 범위 안에 들어가는 정사각형 격자의 개수로 센싱 가능한 범위를 나타내는 성능으로 정의한다. 초기의 센싱 범위안에 들어온 격자의 수를 기준삼아 백분율로 나타내어 라운드 별 센싱 범위의 변화를 추적한다.

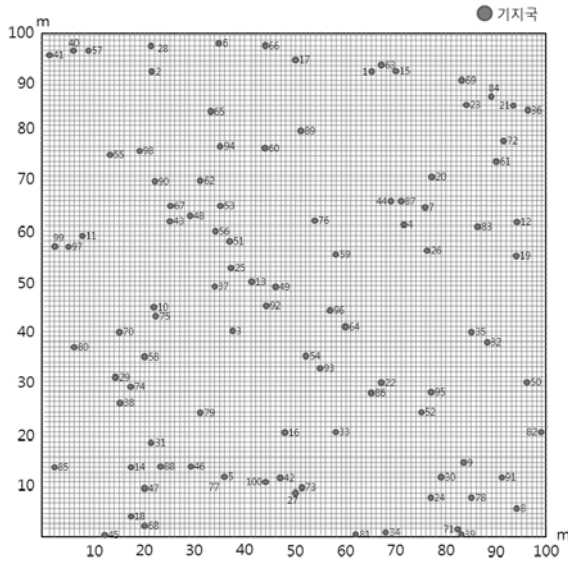


그림 8. 센서 네트워크와 격자모형

③ 다양한 가중치의 사용

식 (7)에서 보는 바와 같이 클러스터 헤더를 결정할 때 확률식에서 가중치를 대한 변수를 기지국과 클러스터 헤더의 거리에 대한 값으로 한 바 있는데, 이를 변형하여 다음 식 (10)과 같은 두 가지 경우를 적용하여 비교한다.

$$w_i = \left( \frac{d_i^2}{\sum_{j=1}^N d_j^2} \right)^{-1}, \quad w_i = \left( \frac{d_i^4}{\sum_{j=1}^N d_j^4} \right)^{-1} \quad (10)$$

4. 실험 결과 및 평가

본 장에서는 앞선 세 가지 실험에 대한 결과를 제시하고 그 의미를 살펴보기로 한다.

4.1 센서 노드의 생존개수 비교실험 결과

센서 네트워크의 소비 에너지 측정과 시간경과에 따른 센서의 정보수집능력에 대한 결과를 살펴본다. <그림 9>는 LEACH 프로토콜과 본 논문에서 제시한 LEACH-D의 라운드 별 총 에너지 소비에 대한 실험 결과의 평균이다. 그래프에서 x축은 라운드, y축은 센서 네트워크 내 센서 노드의 에너지의 총합이다.

그림에서 보듯이 에너지 소모량은 기존의 LEACH와 본 연구에서 제시한 LEACH-D는 유사한 결과를 보이고 있다.

다음 <그림 10> 시간 경과에 따른 생존 노드의 개수를 나타낸다. x축은 라운드, y축은 센서 네트워크의 살아있는 센서의 개수이다.

이 그림의 그래프 추이를 보아도 생존 노드의 개수에 있어 두 프로토콜에는 차이가 거의 없다.

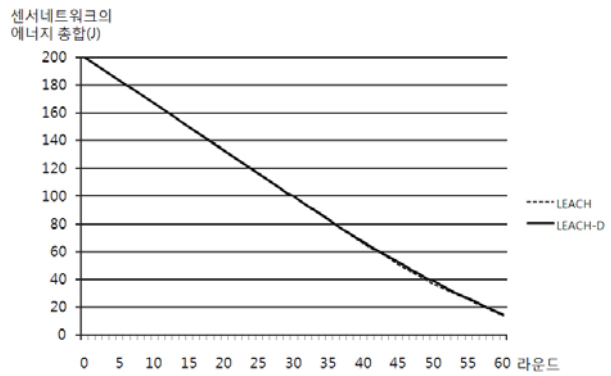


그림 9. 라운드별 센서 네트워크 에너지 소모

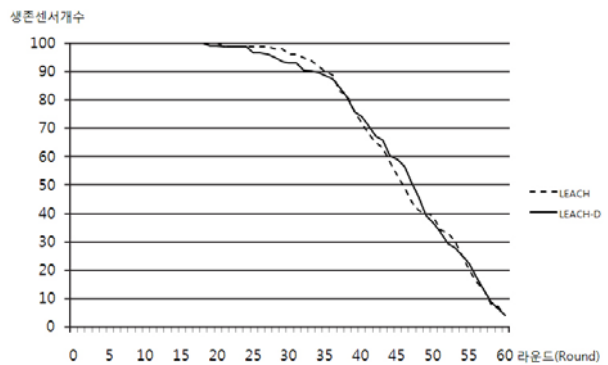


그림 10. 라운드별 생존 센서 개수

4.2 생존노드의 지역적 범위 비교실험

센서 네트워크의 정보수집능력, 즉 생존 센서 노드의 지역적 분포를 살펴보기 위해 비교 실험을 통해 LEACH와 LEACH-D를 분석하였다. <그림 11>에서 <그림 16>까지는 LEACH와 LEACH-D 프로토콜에서 50번째, 55번째, 60번째 라운드가 끝난 직후 생존해 있는 센서의 정보수집 범위를 표시한 것이다.

다음 <표 2>에서는 각 라운드별로 생존해 있는 센서의 측정범위에 포함되는 격자개수를 표시하였다.

<표 2>에서 보는 바와 같이 최초 센서의 측정범위를 기준으로 LEACH-D 프로토콜이 LEACH 프로토콜보다 55라운드 경과 후 14.5%p, 50라운드 경과 후 3.6%p, 60라운드 경과 후 4.2%p 측정범위가 넓었다. 따라서 LEACH-D 프로토콜이 보다 더 고른 정보 수집을 한다고 볼 수 있다.

<그림 17>에서는 생존 센서의 비율을 도시하였다.

4.3 다양한 가중치의 사용 비교실험

거리에 대한 가중치를 고려할 때 거리의 제곱과 네제곱으로 실험을 하여 이의 영향을 알아본다. <그림 18>, <그림 19>, <그림 20>은 각각 센서 네트워크의 에너지 소모, 생존 센서 개수, 센서 측정 범위를 나타내고 있다. 그림에서 식 (7)의 가중치를 사용한 경우는 D로, 식 (10)에서 제곱인 경우는 D<sup>2</sup>,

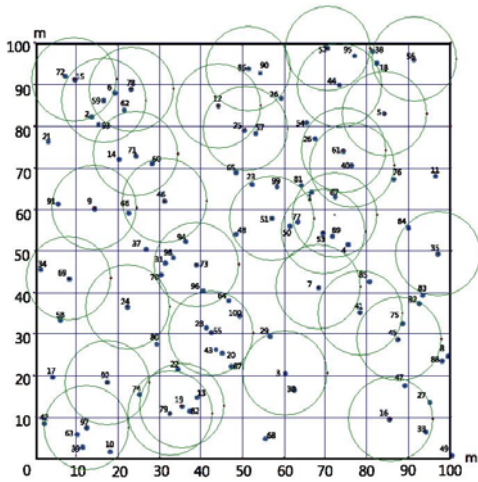


그림 11. LEACH 프로토콜에서 50라운드 직후 생존센서의 센싱범위

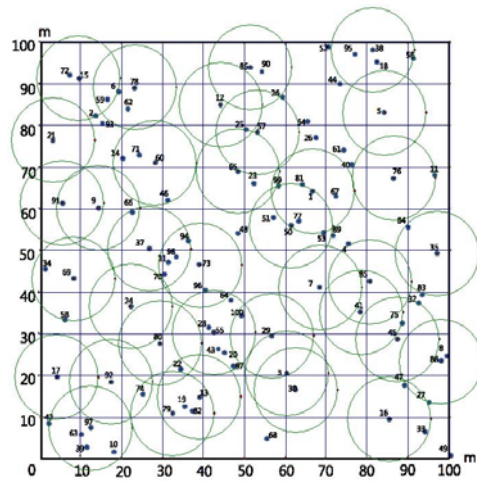


그림 12. LEACH-D 프로토콜에서 50라운드 직후 생존센서의 센싱범위

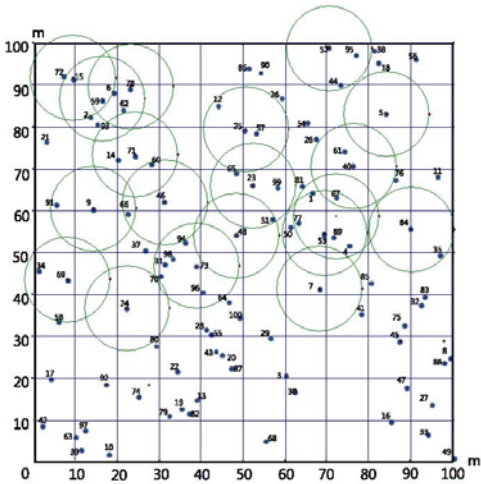


그림 13. LEACH 프로토콜에서 55라운드 직후 생존센서의 센싱범위

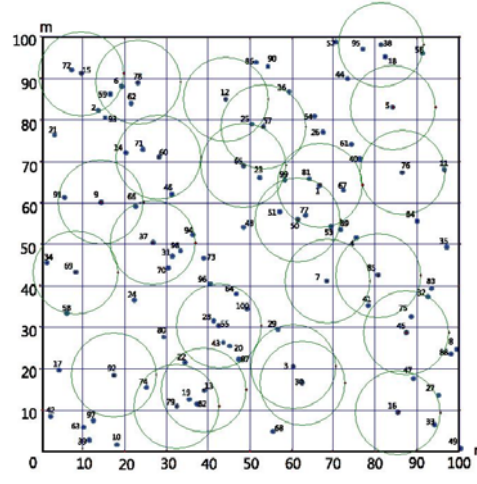


그림 14. LEACH-D 프로토콜에서 55라운드 직후 생존센서의 센싱범위

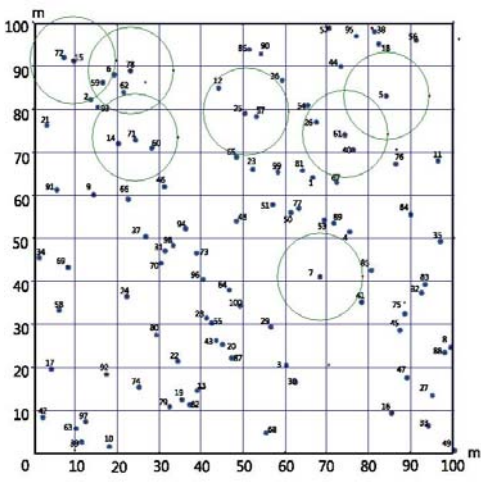


그림 15. LEACH 프로토콜에서 60라운드 직후 생존센서의 센싱범위

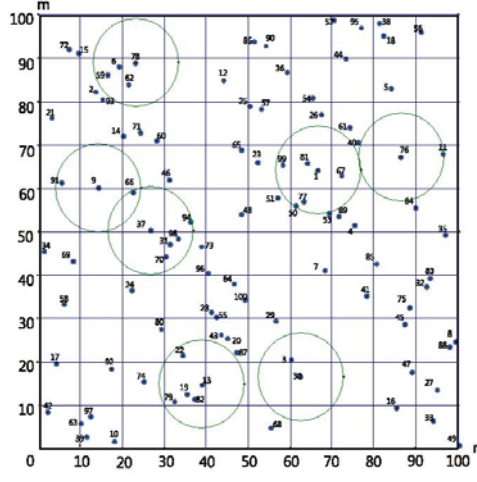


그림 16. LEACH-D 프로토콜에서 60라운드 직후 생존센서의 센싱범위



표 2. 라운드별 측정범위 차이(격자수)

라운드	LEACH (A)	LEACH-D (B)	차이(개수) (B-A)	센싱범위 비율차이 (%p)*
0	9758	9758(C)	0	0
5	9758	9758	0	0
10	9758	9758	0	0
15	9758	9758	0	0
20	9758	9758	0	0
25	9758	9758	0	0
30	9658	9698	40	0.4
35	9628	9660	32	0.3
40	9598	9622	24	0.2
45	9320	9455	135	1.3
50	7758	8112	354	3.6
55	4856	6275	1419	14.5
60	1404	1809	405	4.2

\* (%p) = (B-A)/C\*100, 단 C는 최초 센서의 측정범위(격자수).

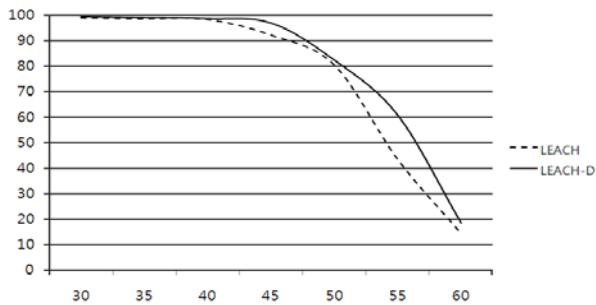


그림 17. 라운드별 센서 측정 범위(백분율)

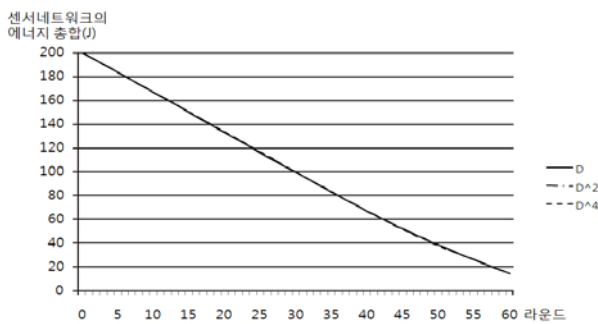


그림 18. 여러 가지 가중치에 따른 라운드별 센서 네트워크 에너지 소모의 비교

네제공인 경우는  $D^4$ 로 표시하였다.

위 그림들에서 보는 바와 같이 거리에 대한 여러 가지 가중치를 사용하여 실험을 하였으나 현저한 차이를 보이지 않고 있다.

위의 세 가지 실험을 통하여 본 연구에서 제시한 LEACH-D 프로토콜은 대표적인 클러스터 방식의 프로토콜이며 가장 널리 쓰이고 있는 LEACH 프로토콜에 비해 에너지 소모량과 생존 센서노드의 개수 측면에서는 차이가 없지만 생존 센서노드

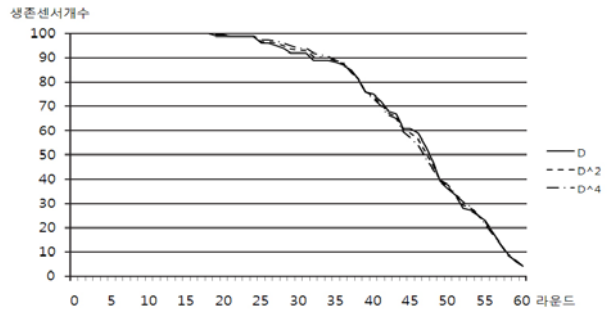


그림 19. 여러 가지 가중치에 따른 라운드별 생존 센서 개수의 비교

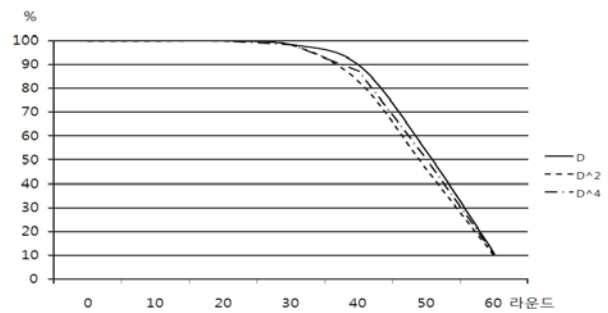


그림 20. 여러 가지 가중치에 따른 라운드별 센서 측정 범위(백분율)의 비교

의 위치 측면에서는 LEACH-D가 더 고르게 분포되어 센싱 가능범위가 더 넓게 나타나는 것을 알 수 있다.

### 5. 결론 및 추후 연구과제

무선 센서 네트워크에서는 에너지를 효율적으로 사용하는 것이 중요하다. 계층적 라우팅 프로토콜의 대표적인 프로토콜인 LEACH 프로토콜은 전통적으로 사용되던 직접통신 라우팅 프로토콜, 평면적 라우팅 프로토콜, MTE, 정적 라우팅 프로토콜 등에 대해 클러스터 헤더의 부하를 네트워크 전체에 분할하는 방법으로 센서 노드간의 잔여 에너지 균형, 센서 네트워크의 효율적 관리, 네트워크 수명 등의 문제를 해결하였다.

센서 네트워크 내의 각 노드는 정보를 송신하거나 수신할 때에 에너지가 소모되는데 전송하는 정보의 양과 거리에 따라 그 소모량이 달라진다. LEACH 프로토콜은 에너지 소모가 큰 클러스터 헤더역할을 전체 센서 네트워크에 고르게 분배하지만 기지국과 클러스터 헤더의 거리에 대한 고려가 없어서 클러스터 헤더역할을 고르게 맡더라도 기지국과의 거리가 달라 에너지 소모량에 있어서 차이가 난다. 이런 에너지 차이는 시간이 경과할수록 커지게 되고 결국 기지국에서 먼 센서 노드부터 배터리의 수명이 다하게 된다.

이같은 문제점을 해결하기 위해서 기지국과 클러스터 헤더의 거리를 고려한 LEACH-D 프로토콜을 제안하였다. 이 프로

토콜은 거리에 대한 식을 가중치로 활용하여 클러스터 헤더 선정을 위한 확률식을 수정하였다. 또한 실험을 통해 제안한 프로토콜의 성능을 평가하였다.

실험의 결과 에너지 효율에서는 LEACH와 LEACH-D 모두 큰 차이를 보이지 않았으나 시간의 경과함에 따라 정보 수집 능력을 나타내는 생존센서의 지역적 분포는 개선되었음을 보였다. 한편 거리에 대한 가중치에 변화는 에너지 소모와 센서 정보수집 능력에 그다지 영향을 주지 않았다.

본 논문의 결과 기존에 널리 사용되고 있는 LEACH 프로토콜을 개선하여 센서 네트워크의 정보수집 능력을 높일 수 있는 방안을 제시하였다. 향후 연구과제로는 정보의 양과 거리에 대한 고려를 한 프로토콜이 필요하다. 즉 클러스터 내의 센서 개수를 조절하여 각 클러스터의 센서 개수가 편중되지 않게 함으로서 클러스터 헤더의 정보 처리 양을 조절하여 클러스터 헤더의 부하를 줄일 수 있을 것이다. 이를 통해 센서 네트워크의 전체 에너지 효율을 높일 수 있고 거리에 대한 고려를 통하여 센서의 수집능력을 개선할 수 있다.

## 참고문헌

- Sin, S. (2005), IT839 test business promotion, *Korea Information and Communication Society*, 22(2), 13-20.
- Ye, F., Chen, A., Lu, S., and Zhang, L. (2001), "A scalable solution to minimum

- cost forwarding in large sensor networks," *International Conference on IEEE Computer Communications and Networks*, 304-309.
- Ganesan, D., Cerpa, A., Ye, W., Yu, Y., Zhao, J., and Estrin, D. (2004), "Networking issues in wireless sensor networks," *Parallel and Distributed Computing*, 64(7), 799-814.
- Heinzelman, W. R., Kulik, J., and Balakrishnan, H. (1999), "Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks," *International Conference on Mobile Computing and Networking*, 174-185.
- Heinzelman, W. B. (2000), Application-specific protocol architectures for wireless networks, Ph. D. Dissertation, MIT, Cambridge.
- Heinzelman, W. B., Chandrakasan, A. P., and Balakrishnan, H. (2002), An application-specific protocol architecture for wireless networks, *IEEE Transactions on Wireless Communication*, 1(4), 660-670.
- Intanagonwiwat, C., Govindan, R., and Estrin, D. (2000), Directed diffusion : a scalable and robust communication paradigm for sensor networks, *International Conference on Mobile computing and Networks*, MA, USA, 56-67.
- Kulik, J., Heinzelman, W. R., and Balakrishnan, H. M. (2002), Negotiation-based protocols for disseminating information in wireless sensor networks, *Wireless Networks*, 8(2), 169-185.
- Lindsay, S., Raghavendra C., and Sivalingam, K. (2002), Data gathering algorithms in sensor networks using energy metrics, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed system*, 13(9), 924-948.
- Manjeshwar A. and Agrawal, D. P. (2001), "TEEN : a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks," *Parallel and Distributed Processing Symposium*, 2009-2015.
- Younis, O. and Fahmy, S. (2004), HEED : A hybrid energy-efficient, distributed clustering approach for adhoc sensor networks, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 3(4), 355-379.



### 오 세 준

경일대학교 산업공학 학사  
한양대학교 산업공학 석사  
현재 : 한국생산기술연구원 연구원  
관심분야 : 모델링, 센서네트워크, 에너지효율



### 허 선

서울대학교 산업공학 학사 · 석사  
Texas A&M 산업공학 박사  
현재 : 한양대학교 교수  
관심분야 : 응용확률, 정보통신, 스케줄링



### 이 건 우

호서대학교 컴퓨터공학사  
현재 : (주)미라콤아이앤씨 수석연구원  
관심분야 : 장비자동화, EES, NGF, RTS, RTD