

# 무선 센서 네트워크의 클러스터 라우팅에서 위치기반 부하 균등화 기법

유우성\*, 강상혁°

## Location Based Load Balancing Method for Cluster Routing in Wireless Sensor Networks

Woo Sung Yoo\*, Sang Hyuk Kang°

### 요약

사물 인터넷 환경 중에서 통신기기들이 필드 안에 무작위의 패턴으로 배치되는 무선 센서네트워크는 효율적인 라우팅 프로토콜을 통한 에너지소모의 최적화가 중요하다. 노드간에 주고받는 데이터의 크기가 다양한 사물 인터넷 환경에서는 클러스터 헤드노드의 버퍼의 크기가 데이터손실율과 네트워크의 수명에 큰 영향을 준다. 유한한 버퍼 상황에서 데이터의 손실율을 최소화 하기 위하여서는 각 클러스터에 균일한 숫자의 멤버가 할당되는 부하 균등화가 중요하다. 본 논문은 네트워크 구성 직후 싱크 노드와 센서 노드가 몇 차례의 메시지를 교환하고 이를 바탕으로 싱크 노드가 삼변 측량으로 센서 노드의 근사적 위치를 파악하고 클러스터를 구성함으로써, 클러스터 헤드의 수와 멤버수를 결정적(deterministic)으로 구현하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 데이터의 손실율과 네트워크의 평균 수명에 있어서 성능향상을 확인하였다.

**Key Words** : IoT, Routing, Load Balancing, Wireless Sensor Networks, LEACH, Trilateration, Buffer

### ABSTRACT

Efficient routing protocols designed for Wireless Sensor Networks (WSN) can be extended and applied to Internet of Things (IoT) data routing, as IoT can be considered to be an extension from WSN. When the size of the data in IoT is often bigger than in conventional WSNs, existing cluster routing protocol such as LEACH may cause high data loss rate due to its incomplete load balancing. We present an enhanced LEACH-based protocol which can minimize the data loss which is an important performance measure in IoT. In our proposed protocol, the base station estimates the location of nodes by the trilateration technique to make sure optimal number of cluster heads and members in a deterministic manner. We evaluate our proposed protocol via computer simulations in terms of data loss rate and average network lifetime.

### 1. 서론

최근 기기간의 능동적인 통신이 대두되며 사물 인터넷의 중요성이 강조되고 있다<sup>[1]</sup>. 이는 기존의 인터

넷에 연결되어있던 기기들뿐만 아니라 그렇지 않은 기기들도 고유의 주소를 부여받고 통신에 참여하는 구조가 될 것이고, 이를 위해서는 새로운 통신 라우팅 기법이 필요하다<sup>[2]</sup>. 여기에 사물 인터넷의 한 형태라

\* First Author : University of Seoul, Department of Electrical and Computer Engineering, yoows1@gmail.com, 학생회원

° Corresponding Author : University of Seoul, Department of Electrical and Computer Engineering, shkang@uos.ac.kr, 종신회원  
 논문번호 : KICS2016-01-020, Received January 28, 2016; Revised May 30, 2016; Accepted July 11, 2016

고 볼 수 있는 무선 센서 네트워크에 사용된 라우팅 프로토콜이 효과적으로 응용될 수 있다<sup>[3]</sup>. 무선 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜로는 다중 경로 라우팅<sup>[4]</sup>, 그리디 라우팅<sup>[5]</sup>, 클러스터를 통한 라우팅<sup>[6]</sup> 등 많은 연구가 진행되었다. 본 논문에서는 대표적인 클러스터 기반 라우팅 프로토콜인 LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)를 위치기반 라우팅 프로토콜로 발전시킨 방법을 제안하고자 한다<sup>[7-9]</sup>.

LEACH 프로토콜은 스토캐스틱한 방법으로 클러스터 헤드를 선출함으로써 무선 센서 네트워크 환경에서 LEACH 프로토콜을 통해 노드간 에너지 소모의 불균형을 해소하는 동시에 네트워크 수명을 연장할 수 있었다<sup>[8]</sup>. LEACH 프로토콜에서는 매 라운드 일정한 확률로 클러스터 헤드가 선출된다. 선출되는 클러스터 헤드의 숫자는 어느 정도 균일성이 있지만, 클러스터 헤드가 담당하는 멤버 노드의 숫자에 대해서는 클러스터 간에 균일성이 없다. 이러한 불균형 문제는 네트워크 수명에 불리하다. 또한 다양한 IoT 환경에서 특히 데이터의 크기가 클 때에는 과도하게 멤버 숫자가 많은 클러스터의 경우 데이터 손실로 이어질 수 있다.

클러스터의 멤버 숫자의 균일성을 위하여서는 각 노드의 위치정보를 바탕으로 하여 멤버를 구성하는 위치기반 클러스터링 방법이 효과적이다. 참고문헌 [10]에서는 네트워크 필드를 구역 단위로 나누어 클러스터링을 진행하는 방법이 제안되었다. 이 논문에서는 한 구역에서 노드 A가 클러스터 헤드가 선출이 되면, A는 자신의 위치 정보와 함께 선출 정보를 브로드캐스트로 알린다. 이후, 다른 구역에서 노드 B가 클러스터 헤드가 선출되었을 때, 그 위치가 노드 A와 가깝다면 노드 B는 클러스터 헤드 선출을 포기한다. 때문에 클러스터 헤드가 밀집되어 선출되는 상황을 방지할 수 있었지만, 매 라운드 선출되는 클러스터 헤드의 숫자가 줄어들 수가 있다. 참고문헌 [11]에서는 이를 보정하기 위해 클러스터 헤드를 포기한 노드의 숫자를 선출 확률 모델에 적용하여 그 확률을 높였고, 노드의 잔여 에너지와 클러스터 헤드 선출 여부를 고려 사항에 추가하였다.

그러나 기존의 위치기반 클러스터링 방법들은 모든 노드가 현재 자신들의 절대적인 위치를 알고 있다는 가정을 하고 있으므로, 이러한 가정을 구현하기 위한 관련 비용이 높아지거나 또는 GPS 수신이 안될 경우 활용이 불가능한 상황이 발생 할 수 있다. 본 논문에서는 각 노드가 자신의 위치를 알지 못하는 상황을 가정하고 각 노드들이 서로 신호레벨을 측정하고 싱크 노드가 삼변 측량을 진행하는 등의 과정을 통해 네트

워크 필드 상의 노드 위치를 파악하도록 하여, 위치기반 클러스터링을 실시하도록 한다. 이러한 방법으로 클러스터 멤버 숫자의 균일성을 확보하고 결과적으로 네트워크의 배터리 수명과 데이터의 손실율의 측면에서 성능향상을 도모한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 위치기반 클러스터 헤드 선출을 위하여 새롭게 제안하는 Location phase를 포함하는 새로운 제안방법을 소개하고, 3장에서는 네트워크 수명 및 데이터 손실율의 측면에서 성능 평가에 대한 내용을 기술하며, 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

## II. 새로운 위치기반 클러스터 라우팅 프로토콜

### 2.1 제안 프로토콜의 개요

본 논문에서 제안하는 방법은 기존의 LEACH 기반 클러스터 노드 선출 방법을 새롭게 대체할 수 있는 위치정보에 기반 클러스터 선출방법을 주요골자로 한다. 클러스터 헤드 노드가 멤버의 데이터를 병합하여 전송할 버퍼의 제한이 존재하는 상황에서는 메시지 송신 에너지를 최소화하기 위해 인접한 노드들끼리 클러스터를 구성해야할 뿐만 아니라 각 클러스터에 균일하게 멤버 노드가 할당될 필요가 있다. 클러스터 헤드가 가능한 일반 노드를 고르게 나누어 가져야 버퍼 초과로 인한 데이터의 손실과 에너지 소모를 줄일 수 있기 때문이다. 제안하는 프로토콜에서는 싱크 노드가 삼변측량을 통해 노드의 대략적 위치를 파악, 이를 바탕으로 위치 기반 클러스터링을 실시해 특정 클러스터 헤드에 일방적으로 데이터가 물리는 상황을 방지한다.

### 2.2 제안 프로토콜의 동작

본 논문에서 제안하는 프로토콜에는 네트워크 구성 초기 시점에만 진행되는 location pahse가 존재하며, 이후로는 그림 1에 나타난 바와 같이 매 라운드마다 기존 LEACH와 유사한 set-up phase와 steady-state phase가 반복적으로 진행된다.

먼저, 그림 1에 나타난 라운드가 반복시행 되기 이

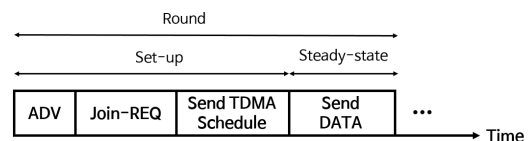


그림 1. LEACH 프로토콜기반 라운드  
Fig. 1. LEACH protocol based round

전, 네트워크가 시작되는 초기에 수행되는 Location phase에 대하여 설명한다. Location phase 는 기존의 LEACH 방법 및 이에 기반한 클러스터 헤드 선출방법들과는 다른 새로운 클러스터 헤드 선출 방법을 포함한다.

1) Location Phase : 총 5개의 step으로 이루어져 있으며, 싱크 노드가 노드의 위치를 파악하고 클러스터를 구성하는 구간이다.

(1) Step 1: ADV 메시지 송수신

네트워크에 배치된 노드들은 세 번의 ADV 메시지 ( $ADV_{first}$ ,  $ADV_{second}$ ,  $ADV_{info}$ )를 송출한다.

$ADV_{first}$ 의 송출 반경은 네트워크 필드 대각선 길이, 즉 네트워크 내의 최대 거리이므로, 노드의 네트워크 필드에서의 위치와 상관없이 다른 노드의  $ADV_{first}$ 를 수신할 수 있다. 또한, 노드  $n_i$ 의  $ADV_{first}$ 를 수신한 어떤 노드  $n_j$  ( $n \neq j$ )는 이를 통해  $n_i$ 까지의 거리  $d_{i,j}$ 를 파악할 수 있다.

$ADV_{second}$ 는  $ADV_{first}$ 의 절반, 즉, 네트워크 필드 대각선의 절반을 송출 반경으로 하며, 각각의 노드는 다른 노드들로부터 오는  $ADV_{second}$ 의 수신 횟수만을 센다. 노드들이 네트워크 필드에 고르게 배치되었다고 가정할 때, 네트워크 필드 중앙에 가까게 위치한 노드일수록  $ADV_{second}$  수신횟수가 높을 것이고, 반대로 네트워크 필드의 모서리에 위치한다면 그 횟수가 낮을 것이다. 각 노드의 위치에 따른 평균  $ADV_{second}$  수신 횟수의 분포는 그림 2와 같다.

마지막으로 모든 노드는  $ADV_{first}$ 와 동일한 송출 반경으로  $ADV_{info}$ 를 싱크 노드에게 전송하는데, 여

기에는 각 노드와 다른 노드 간의 거리 정보와 해당 노드의  $ADV_{second}$  수신 횟수가 담겨있다. 싱크노드는 정사각형 모양의 센서필드의 한 변의 중앙에 위치한다고 가정한다.

(2) Step 2: 센터 노드와 버텍스 노드의 선발 및 추측 위치 설정

싱크노드  $n_{sink}$ 는 자신의 위치  $loc_{sink}$ 는 이미 알고 있으며, 앞에서 설명한 Step1이 끝나고 나면, 각 노드에 대하여 다음의 정보를 가지게 된다.

- $d_{sink,i}$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ;  $N =$  배치된 노드의 개수) :  $n_{sink}$ 와  $i$ 번째 노드  $n_i$ 사이의 거리
- $d_{i,j}$  ( $i \neq j$ ) :  $n_i$ 와  $n_j$  사이의 거리

싱크 노드는 위를 바탕으로 네트워크 필드 정중앙에 가장 가까운 노드  $n_{center}$ 와 가장 먼 노드  $n_{vertex}$ 를 선정하고 추측 위치를 결정한다.  $n_{center}$ 의 경우  $ADV_{second}$ 를 가장 많이 수신한 노드가 선정되며, 그 위치는 네트워크의 정중앙으로 설정한다. 예를 들어 네트워크 필드가  $100 \times 100$  ( $m^2$ )이라면  $n_{center}$ 의 추측 위치는 좌표로 (50, 50)이 된다.

$n_{vertex}$ 는  $ADV_{second}$  수신 횟수가 가장 낮은 노드가 선정된다. 정사각형 형태의 네트워크 필드 환경에서  $loc_{vertex}$ 는 네 모서리 중 어느 한 곳에 가장 가까운 노드의 위치로 볼 수 있으며, 다시 싱크 노드와 상대적으로 가까울 경우와 그렇지 않을 경우로 나눌 수 있다.  $n_{vertex}$ 의 추측 위치를 결정하는 과정은 그림 3과 함께 설명하도록 한다.

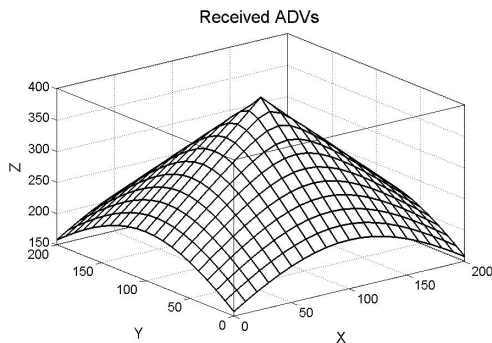


그림 2. 노드의 위치에 따른 평균  $ADV_{second}$  수신 밀도  
Fig. 2. Average  $ADV_{second}$  reception density according to node location

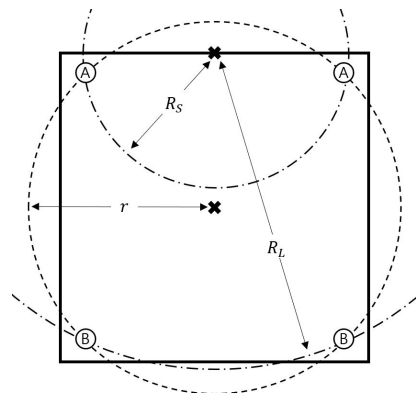


그림 3. 버텍스 노드의 위치 설정  
Fig. 3. Setting up the location of the vertex nodes

그림 3에서 네트워크 필드는 정사각형으로 표시되었으며, 필드 상단 중앙의 X 표기는 싱크노드  $n_{sink}$ , 필드 정중앙의 X 표기는  $n_{center}$ 를 나타낸다. 싱크 노드는  $n_{center}$ 를 중심으로 반지름  $r = d_{center, vertex}$ 인 원을 그린다. 다음으로  $n_{sink}$ 를 중심으로 반지름  $d_{sink, vertex}$ 인 원을 그리는데, 이때 반지름의 길이가 상대적으로 짧을 경우 그려지는 원이 반지름이  $R_S$ 인 원, 길 때 그려지는 원이 반지름이  $R_L$ 인 원으로 그려져 있다. 이후, 싱크 노드는 두 원의 접점을 찾는데, 접점은 반지름이  $R_S$ 인 원이 그려진 경우 A가 표시된 곳이 위치하게 되고,  $R_L$ 인 원의 경우에는 B가 표시된 곳에 위치한다.  $loc_{vertex}$  결정하는 데 사용된 기준점이  $loc_{sink}$ ,  $loc_{center}$  두 개 뿐이기 때문에 한 개의 확실한 위치가 아닌 두 개의 접점이 나오는 것인데, 본 논문의 제안 프로토콜에서는 임의로 좌측 접점을  $loc_{vertex}$ 로 설정한다. 이는  $n_{sink}$ ,  $n_{center}$  그리고  $n_{vertex}$ 를 기준으로 다른 노드의 위치를 삼변 측량을 통해 구할 때, 실제와는 다른 위치를 선택했다라도 노드의 추측 위치는 좌우 반전만 이루어질 뿐이며, 균일 랜덤한 배치를 가정한 상황에서 노드들의 상대적인 위치와 분포 파악하고 라우팅 경로 설정에는 동일한 결과를 가져온다.

(3) Step 3: 삼변 측량을 통한 모든 노드의 추측 위치 설정

싱크 노드는 자신과 센터 노드, 버텍스 노드의 위치를 기준점으로 하고, 세 노드와 다른 노드의 거리를 기반으로 하여 삼변 측량을 실시하여 모든 노드의 네트워크 필드 상 추측 위치를 설정한다. 2차원 좌표계에서 각각 중심점이  $(i_1, j_1)$ ,  $(i_2, j_2)$ ,  $(i_3, j_3)$ 이고 반지름이  $d_1, d_2, d_3$ 인 세 원의 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} d_1^2 &= (x - i_1)^2 + (y - j_1)^2 \\ d_2^2 &= (x - i_2)^2 + (y - j_2)^2 \\ d_3^2 &= (x - i_3)^2 + (y - j_3)^2 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 각 원의 중심을 싱크 노드, 센터 노드, 버텍스 노드의 추측 위치로 설정하고, 반지름을 일반 노드  $n_i$ 와의 거리라고 했을 때, 일반 노드  $n_i$ 의 추측 위치 좌표  $(x_i, y_i)$ 는 다음과 유도할 수 있다. 첨자는  $c=center, s=sink, v=vertex$ 를 의미한다.

$$\begin{aligned} x_i &= [(y_v - y_c)\{(d_{s,i}^2 - d_{c,i}^2) + (x_c^2 - x_s^2) + (y_c^2 - y_s^2)\} \\ &\quad - (y_c - y_s)\{(d_{c,i}^2 - d_{v,i}^2) + (x_v^2 - x_c^2) + (y_v^2 - y_c^2)\}] \\ &\quad / 2[(x_c - x_v)(y_c - y_s) - (x_s - x_c)(y_v - y_c)] \end{aligned} \quad (2)$$

$$y_i = \frac{(d_{s,i}^2 - d_{c,i}^2) + (x_c^2 - x_s^2) + (y_c^2 - y_s^2) + 2x_i(x_s - x_c)}{2(y_c - y_s)} \quad (3)$$

(4) Step 4: 추측 위치의 X/Y 좌표 정렬을 통한 클러스터링

싱크 노드는 Step 3에서 설정된 추측 위치를 사용하여 노드를 분류한다. 매 라운드 클러스터 헤드 선출 개수를  $k = LCM(W, H)$  ( $W, H$ 는 양의 정수)라고 할 때, 일반 노드를  $y_i$ 를 기준으로 정렬한 뒤에  $H$ 개의 노드 그룹으로 나눈다. 그 후  $H$ 등분 된 그룹을 각각  $x_i$  기준으로 정렬하고,  $W$  등분하여 총  $k$ 개의 그룹을 형성한다. 분류가 끝나면 각 그룹은 균일한 숫자의 노드를 가지면서 그 노드들은 서로 가깝게 위치하게 되는데, 싱크 노드는 이 그룹을 하나의 클러스터로 지정하고 노드를 클러스터의 멤버로 할당한다. 이 과정 중에 싱크 노드는 클러스터의 각 노드에 대해 가장 멀리 위치한 다른 멤버 노드까지의 거리를 계산하여 기록하는데, 이는 이후 해당 노드가 클러스터 헤드를 맡았을 때 ADV 메시지의 송출 반경으로 사용된다.

멤버 노들 할당을 그림 4를 예를 들어 설명하면 현재 네트워크에는 60개의 노드가 배치되어있으며, 각 노드의 추측 위치가 검은 점으로 나타난다. 위와 같은 상황에  $k$ 는 20,  $W$ 와  $H$ 는 각각 4, 5이다. 먼저  $y_i$ 를 기준으로 노드를 정렬한 뒤, 노드 12개씩, 5개의 그룹

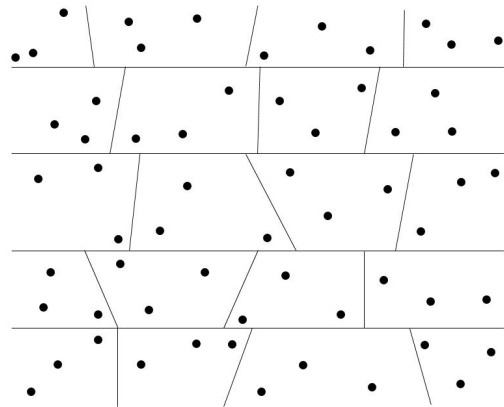


그림 4. 추측 위치 기반 클러스터링  
Fig. 4. Clustering based on location estimation

으로 나눈다. 그림에서는 4개의 가로선이 그룹을 나누고 있다. 다음으로 5개의 그룹에 속한 노드를  $x_i$  기준으로 정렬한 뒤, 4개의 그룹으로 분할한다. 위 과정이 완료되면 필드에는 총 20개의 클러스터가 구성되며 각 클러스터에는 서로 가까이 위치한 3개의 노드가 균일하게 할당된다.

(5) Step 5: 싱크 노드의 클러스터링 정보 송출

싱크 헤드가 클러스터링 정보 메시지를 일반 노드들에게 전송한다. 해당 메시지에는 클러스터 구성 정보, 클러스터 헤드 선출 순서 그리고 각 노드의 ADV 메시지 송출 반경이 담겨있다.

지금까지 설명한 location phase는 네트워크 구성 초기에 한번만 수행되고, 이어서는 그림 1에 나타난 set-up phase와 steady-state phase가 매 라운드마다 반복적으로 실행되며, 각 동작은 다음과 같다.

2) Set-up Phase : 싱크 노드는 클러스터 구성 메시지를 송신하고, 일반 노드는 메시지에 적힌 순서에 따라 돌아가며 클러스터 헤드의 역할을 맡는다. 만약 특정 라운드에 클러스터 헤드를 담당하는 노드가 에너지를 모두 소진해 죽은 상태라면, ADV 메시지를 받지 못한 클러스터 멤버 노드 중에 그 다음 차례 멤버 노드가 클러스터 헤드가 되어 ADV 메시지를 송신하며 이를 수신한 멤버 노드들은 클러스터 헤드 담당 순서 목록을 갱신한다. 이후 TDMA scheduling은 기존의 LEACH 프로토콜과 동일하게 진행된다.

3) Steady-state Phase : 기존 LEACH 프로토콜과 차이가 없으며 set-up phase에서 수신한 TDMA schedule에 따라 멤버 노드와 클러스터 헤드 간의 데이터 전송이 이루어진다. 이 과정에서 통신은 DSSS와 CSMA/CA를 적용하여 통신의 안정성을 높인다.

### III. 성능 평가

#### 3.1 시뮬레이션 환경

제안한 프로토콜의 성능 분석을 위해 JAVA 프로그래밍을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, IoT 환경에서 버퍼를 고려한 경우 LEACH 프로토콜 대비 어느 정도의 성능 향상이 있었는지 확인하였다. 시뮬레이션 환경에서 네트워크 필드의 크기, 배치되는 일반 센서 노드의 개수는 세 프로토콜에 동일하게 적용하였다. 전체 노드 숫자 대비 라운드 당 선출되기 바

라는 클러스터 헤드의 비율은 LEACH와 참고문헌 [10], [11]의 경우 해당 논문에서 적용한 비율에 맞추어 20으로 적용하였고, 본 논문에서 제시한 프로토콜의 경우는 고정된 값 20을 적용하였다.

본 논문의 주요 고려 요소인 버퍼의 크기는 기존 LEACH 논문과 [10], [11]에서 클러스터 헤드가 무한한 숫자의 센싱 데이터를 수용할 수 있던 것과는 달리, 클러스터 헤드 자체의 데이터를 포함하여 20개의 데이터만을 저장할 수 있도록 하였다. 이와 같은 경우, 하나의 클러스터가 20개 이하의 노드로 이루어져야 데이터 손실이 발생하지 않는다. 결과 값이 변화하는 모습을 파악하기 쉽도록 노드의 숫자는 기존 LEACH 프로토콜 논문보다 4배 증가한 400개로 설정하였으며, 노드 밀도를 동일하게 유지하기 위하여 네트워크 필드의 크기 역시 4배 넓은 200x200[m]로 변경하였다. 시뮬레이션 시간에 해당하는 라운드는 네트워크 필드의 모든 노드가 에너지를 소진하기 충분하도록 매 시뮬레이션 1600 라운드를 시행하였으며, 최종 결과 값은 위 시뮬레이션을 랜덤변수의 씨앗값(seed number)를 달리하여 100번 시행하여 얻은 결과의 평균값을 사용하였다. 이외의 노드 초기 에너지, 싱크 노드의 위치, 메시지 송신에서 에너지 소모는 기존 LEACH 논문의 설정과 동일하며 세부 내용은 표 1에 기재한다.

표 1. 시뮬레이션의 설정 값  
Table 1. Simulation parameters

항목	값
Number of sensor nodes(N)	400
Ratio of number of cluster heads to N (%)	5
Buffer size [packets]	20
Sensor field size [m <sup>2</sup> ]	200 x 200
Location of Sink node (x, y)	(100, 200)
Initial energy of node [J]	4
$E_{elec}$ (nJ/bit)	50
$\epsilon_{fs}$ (pJ/bit/m <sup>2</sup> )	10
$\epsilon_{mp}$ (pJ/bit/m <sup>4</sup> )	0.0013
$E_{DA}$ (nJ/bit/signal)	5
h(spreading code) (bit/signal)	5

### 3.2 시뮬레이션 결과

가장 먼저 네트워크의 수명을 비교하였으며, 매 라운드 잔여 에너지가 존재하는 노드의 숫자를 파악하는 것으로 네트워크 수명을 측정하였다.

그림 5를 보면 제안한 프로토콜의 그래프가 LEACH과 [10], [11]의 프로토콜보다 위에 위치하는 것을 확인할 수 있다. 이는 LEACH 프로토콜에서는 ADV 메시지 송출 빈도가 항상 네트워크 필드의 대각선 길이로 고정되어있지만, 제안한 프로토콜에서는 location phase에서 각 노드의 최소한의 ADV 메시지 송출 빈도를 지정되기 때문이다. [10], [11]과 같은 경우에는 구역간 클러스터링 프로토콜로인해 기존 LEACH 프로토콜보다는 네트워크 수명이 길다. 하지만, 클러스터의 멤버 숫자가 균일하지는 않기 때문에 본 논문에서 제안한 프로토콜보다는 빠르게 네트워크의 에너지를 소모한다.

다음으로 특정 라운드에 각 클러스터의 멤버 수를 확인하였다. 제안한 프로토콜에서는 싱크 노드가 클러스터를 구성하기 때문에 매 라운드 선출되는 클러스터 헤드의 숫자가 노드의 개수 400개의 5%인 20개로 정해져있다. 하지만 LEACH 프로토콜에서는 각 노드가 5% 확률로 클러스터 헤드로 선출이 되기에 그 숫자가 일정하지 못하다. 때문에 여러 라운드 중, 20개의 클러스터 헤드가 선출된 라운드를 특정하여 멤버 숫자를 비교하였으며 그 결과는 그림 6과 같다. 제안한 프로토콜은 각 클러스터에 속한 멤버 노드의 숫자가 20개로 균일하지만 LEACH 프로토콜은 그렇지 않을 것을 볼 수 있다. 위와 같은 상태에서 데이터 송수신이 이루어진다면, LEACH 프로토콜은 약 18%의 손실률을 보이며 제안한 프로토콜의 손실률은 0%이다.

마지막으로는 특정 라운드에서의 클러스터 멤버 숫

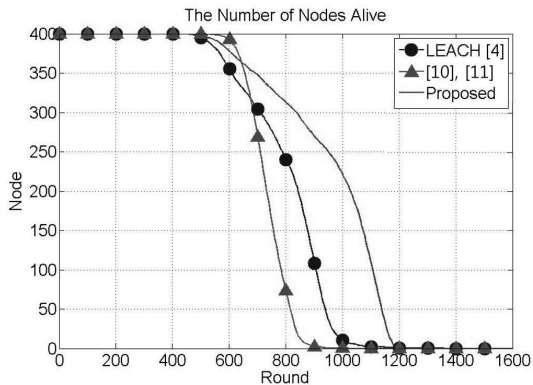


그림 5. 살아있는 노드의 개수 비교  
Fig. 5. The number of nodes alive

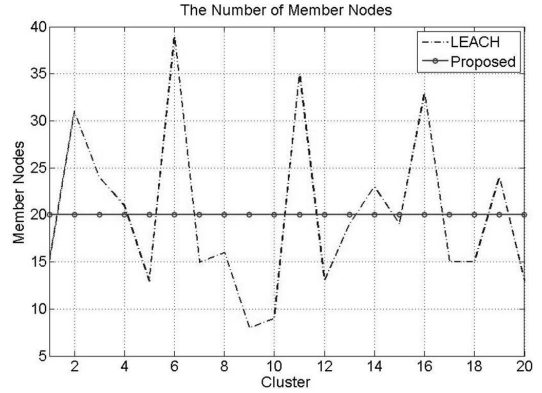


그림 6. 클러스터 간 멤버 숫자 비교  
Fig. 6. The number of member nodes

자나 손실률이 아닌, 시뮬레이션을 진행하면서 전체적인 손실률의 변화를 확인하였다. 여기서 데이터 손실률은 각 라운드에 네트워크에서 생성되는 데이터 개수 대비 클러스터 헤드의 데이터 병합과정에서 손실된 데이터의 비율이다. 손실률은 데이터 손실이 전혀 없는 경우 0, 모든 데이터가 손실되었을 경우에는 1이 되며, 그 결과는 <그림 7>과 같다. 세 프로토콜 모두 라운드가 진행될수록 손실률이 증가하는 양상을 보이지만 시뮬레이션 초반부터 LEACH 프로토콜과 [10], [11] 프로토콜의 손실률이 1에 다다르는 약 1200 라운드에까지 항상 제안한 프로토콜의 그래프가 더 낮게 그려지며, 이로써 네트워크의 성능이 향상되었음을 확인할 수 있다.

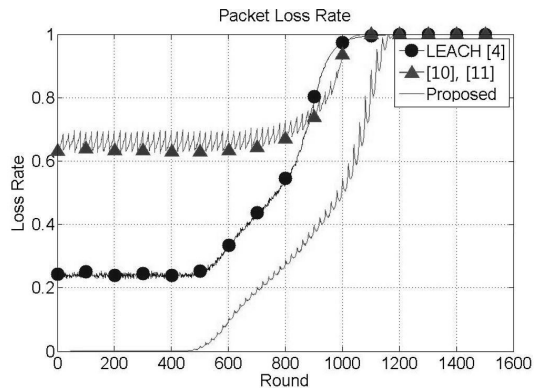


그림 7. 데이터 패킷 손실률 비교  
Fig. 7. Data packet loss rate

## IV. 결론

LEACH 프로토콜은 무선 센서 네트워크에서 모든

일반 노드들이 센싱한 데이터를 싱크 노드까지 직접 전달하지 않고 클러스터링을 통해 데이터를 연계 전송함으로써 에너지 손실을 줄이고 네트워크 수명을 연장시킨 프로토콜이다. 본 논문에서는 LEACH 프로토콜의 장점인 노드의 효율적인 에너지 활용을 개선 하면서 데이터 병합 과정에서 발생할 수 있는 데이터의 손실도 최소화하는 프로토콜을 제안하였다.

새롭게 제안한 프로토콜은 네트워크 구성 초기에 싱크 노드가 고유한 방법으로 클러스터링을 진행하여 네트워크 필드 전반에 고르게 클러스터를 배치했으며 일반 노드의 메시지 송출 범위를 결정짓는다. 이를 통해 모든 클러스터에 멤버의 숫자가 균일하도록 조절 하여, 클러스터 헤드가 일반 멤버 노드의 데이터를 수신하는 과정에서 발생할 수 있는 데이터 손실을 줄였다. 또한 일반 노드의 메시지 송출 범위를 일정 범위 이내로 제한하는 것으로 에너지 소비 역시 감소시켜 전체적인 네트워크의 수명이 증가하였다.

시뮬레이션을 결과를 통해, 제안한 프로토콜은 에너지 소모 측면에서 효율적인 LEACH 프로토콜의 장점을 발전시키면서 각 클러스터에 노드를 균일하게 배치하여 기존의 프로토콜에 비하여 개선된 데이터 손실률을 보이는 것을 확인하였다. 본 논문에서는 노드의 배치가 균일랜덤 분포를 가지는 경우에 대하여 멤버의 숫자를 고르게 하는 것이 성능향상에 도움이 되는 상황을 연구하였다. 노드의 배치가 심하게 불균형 할 경우에 멤버 노드수의 균일화와 전송에너지의 소모간에 trade-off 가 존재할 수 있고 이에 대한 고려는 추후 연구에서 수행한다.

## References

[1] L. Tan and N. Wand, "Future internet: The internet of things," *ICACTE*, vol. 5, pp. 376-380, Aug. 2010.

[2] M. Zorzi, A. Gluhak, S. Lange, and A. Bassi, "From today's INTRANet of things to a future INTERNet of things: A wireless- and mobility-related view," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 17, no. 6, pp. 44-51, Dec. 2010.

[3] J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: A survey," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 11, no. 6, pp. 6-28, Dec. 2004.

[4] K. Jung, H. Yeom, H. Park, J. Lee, and S. Kim, "Flexible disjoint multipath routing

protocol using local decision in wireless sensor networks," *J. KICS*, vol. 38, no. 11, pp. 911-923, Nov. 2013.

[5] H. Cho, S. Kim, C. Kim, S. Kim, and C. Hwang, "Energy-efficient face routing protocol considering radio range in wireless sensor networks," *J. KICS*, vol. 40, no. 6, pp. 1058-1069, Jun. 2015.

[6] S. Yoo, H. Kim, and W. Choi, "Energy efficient clustering method in wireless sensor networks using cooperative communication," *KICS Int. Conf. Commun.*, pp. 359-360, Seoul, Korea, Nov. 2013.

[7] K. Singh, "WSN LEACH based protocols: a structural analysis," *IEMCON 2015*, pp. 1-7, Vancouver, Canada, Oct. 2015.

[8] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, Aug. 2002.

[9] W. B. Heinzelman and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 1, no. 4, pp. 660-670, Oct. 2002.

[10] M. F. K. Abad and M. A. J. Jamali, "Modify LEACH algorithm for wireless sensor network," *Int. J. Computer Sci. Issu.*, vol. 8, no. 5, pp. 219-224, Sept. 2011.

[11] S. I. Abdul and M. R. Dixit, "Energy optimized data routing in wireless sensor network," *EESCO*, pp. 1-4, Visakhapatnam, India, Oct. 2015.

[12] K. Machado, D. Rosario, E. Cerqueria, A. F. Loureiro, A. Neto, and J. N. Souza, "A routing protocol based on energy and link quality for internet of things applications," *Sensors 2013*, no. 13, pp 1942-1964, 2013.

[13] A. Mehmood, S. Khan, D. Zhang, J. Llort, and S. H. Ahmed, "IoTEC: IoT based efficient clustering protocol for wireless sensor network," *2014 The Int. Ind. Inf. Sys. Conf.*, pp. 10-11, 2014.

유 우 성 (Woo Sung Yoo)



2014년 2월 : 서울시립대학교 전  
자전기컴퓨터 공학부 졸업  
2014년 3월 : 서울시립대학교 전  
자전기컴퓨터 공학과 석사과  
정  
<관심분야> 센서 네트워크, 무  
선통신

강 상 혁 (Sang Hyuk Kang)



1990년 : KAIST 전기 및 전자  
공학과 공학사  
1992년 : KAIST 전기 및 전자  
공학과 공학석사  
1997년 : KAIST 전기 및 전자  
공학과 공학박사  
1997년~현재 : 서울시립대학교  
전자전기컴퓨터공학부 교수  
<관심분야> 데이터 네트워크, 무선통신, 유비쿼터스  
센서 네트워킹, 사물인터넷