

# 센서 네트워크 환경에서 에너지 효율을 위한 계층적 통신 기법에 관한 연구

손민영\* · 김영학\*\*

A Study on Hierarchical Communication Method for Energy Efficiency  
in Sensor Network Environment

Min-Young Son\* · Young-Hak Kim\*\*

요 약

무선 통신과 센서 기술의 발달과 더불어 센서 네트워크의 응용이 다양한 분야에서 활용되고 있다. 센서 네트워크 환경에서 센서의 전력 소비를 최소화하는 것은 시스템의 수명을 연장하기 위한 중요한 요인 중의 하나이다. 센서 네트워크에서 각 센서 노드의 전력 소모는 헤드(싱크) 노드와의 통신 방법에 따라 달라 질 수 있다. 본 연구에서는 각 센서의 전력 소모를 최소화하기 위한 새로운 계층적 통신 방법을 제안한다. 제안된 방법은 분할 정복 기법을 사용하여 센서 네트워크의 영역을 네 개의 영역으로 구분하고 각 영역에서 헤드 노드와 가장 가까운 노드를 그 노드의 자식 노드로 구성한다. 다음에 더 이상 영역이 분할되지 않을 때까지 같은 방법을 반복적으로 적용하여 계층적 트리를 구성한다. 각 센서 노드는 이러한 계층적 트리를 이용하여 헤드 노드와 통신을 수행한다. 본 연구에서 제안된 결과는 시뮬레이션을 통하여 기존의 방법과 비교하였으며 그 결과 센서 네트워크의 에너지 효율에서 우수한 결과가 도출됨을 보였다.

ABSTRACT

With the development of wireless communication and sensor technology, sensor network applications in various fields have been applied. To minimize the power consumption of sensors in sensor network is one of the important factors in order to extend the system life. The power consumption of each sensor within sensor network can be different depending on the communication method between head(sink) node and its node. In this paper, we propose a new hierarchical communication method to minimize the power consumption of each sensor. The proposed method divides the area of sensor network into four areas using divide-and-conquer method and selects the nearest node to head node in each area as a child node of the node. Next the hierarchical tree in the same way is constructed recursively until each area is no longer divided. Each sensor can communicate to head node using this hierarchical tree. The proposed results were compared with the previous methods through simulation, and showed excellent results in the energy efficiency of sensor network.

키워드

Wireless Communication, Sensor Network, Power Consumption, Hierarchical Tree

무선통신, 센서 네트워크, 전력 소비, 계층적 트리

\* 금오공과대학교 컴퓨터공학과(son0804@kumoh.ac.kr)

\*\* 교신저자(corresponding author) : 금오공과대학교 컴퓨터공학과 교수(kimyh@kumoh.ac.kr)

접수일자 : 2014. 06. 23

심사(수정)일자 : 2014. 07. 21

게재 확정일자 : 2014. 08. 11

## 1. 서 론

센서 및 통신 기술의 발달과 더불어 최근에 무선 센서 네트워크에 대한 응용이 확대 되고 있다[1-5]. 센서 네트워크는 군사적 목적을 비롯하여 보안이나 재난대비, 의료 등 다양한 응용분야에 활용되고 있다. 이러한 기술을 사용하여 사람의 접근이 어려운 지형이나 위험이 존재하는 환경에 센서를 설치하여 다양한 데이터를 수집하여 효과적인 관리를 할 수 있다. 상업적 또는 군사적 응용에서 수천 개의 센서 노드들이 참여하여 센서 네트워크를 구성한다.

무선 센서 네트워크에 참여하는 센서 노드들은 제한적인 하드웨어 구성(프로세서, 메모리 등) 요소를 가지며 시스템의 생명 주기에 긴 시간을 유지할 수 있는 배터리의 관리가 매우 중요하다. 센서 노드에 장착된 배터리는 일반적으로 적은 용량을 가지기 때문에 오랜 유지를 위해서는 센서의 에너지 소모량을 최소화하여야 한다. 따라서 센서 네트워크의 통신 프로토콜은 저 전력 기반으로 설계 되어야 한다.

이전에 저 전력 기반의 센서 네트워크 구성 및 통신 프로토콜에 대해서 다수의 연구들이 진행되어 왔다[6-10]. 본 논문에서는 이들 프로토콜 중에서 직접 통신과 라우팅을 기반으로 하는 최소 에너지 라우팅 프로토콜을 고려한다. 직접 통신 프로토콜은 각 센서 노드가 거리와 관계없이 개별적으로 헤드 노드(싱크)와 통신을 한다. 이 프로토콜의 경우 헤드 노드와 먼 거리에 있는 센서 노드들의 전력 소비량이 많아 시스템의 생명 주기에 영향을 주게 된다. 최소 라우팅 프로토콜의 경우 각 센서 노드는 가까운 거리의 중간 센서 노드들을 경유하여 헤드 노드와 통신을 수행한다. 이 프로토콜은 각 센서 노드와 헤드 노드간의 통신 시간이 길어지며 헤드 노드에 가까운 노드일수록 전력 소모량이 많아진다는 단점을 갖는다.

따라서 본 연구에서는 이러한 두 프로토콜에서 제기되는 단점을 극복하기 위해 계층적 에너지 라우팅 프로토콜을 제안한다. 계층적 라우팅 네트워크를 구성하기 위해 센서 노드들이 포함된 전체 영역을 먼저 네 개의 영역으로 분할하고 가장 중심에 위치한 센서 노드를 헤드 노드로 지정한다. 다음에 각 영역에서 헤드 노드에 가장 가까운 거리에 위치한 노드를 선정하여 헤드 노드의 자식 노드로 지정한다. 본 연구에서

센서 노드간의 거리가 알려진 정적인 환경을 고려하고 있으나 가까운 거리의 센서 노드를 결정하기 위해 주변 센서 노드들로 전송받은 전파의 수신 강도 등의 변수를 고려한 동적인 환경으로 확장될 수 있다. 다음에 이러한 절차가 분할된 각 영역에서 같은 방법으로 반복되며 각 영역은 네 개의 서브 영역으로 나누어진다. 각 서브 영역에서 전 단계에서 자식으로 지정된 센서 노드가 기준이 되어 네 개의 자식 노드를 생성한다. 이러한 과정은 분할된 영역에서 더 이상 센서 노드가 없을 때까지 반복된다.

본 논문에서 제안한 방법의 에너지 소모량을 이전 방법들과 비교를 위해 랜덤 센서 네트워크 환경을 구성하여 MATLAB을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 통하여 본 연구에서 제안된 방법이 다양한 환경의 대부분 경우에서 이전 방법들에 비해 에너지 효율성이 향상됨을 보였다. 또한 이러한 결과가 센서 네트워크의 생명 주기의 연장에도 매우 영향을 준다는 결과를 확인하였다.

본 논문의 2장에서는 기존의 통신 방법들에 대한 장단점에 대해서 기술하며, 3장에서는 본 연구에서 제안한 계층적 에너지 절약 통신 네트워크의 구성 방법에 대해 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통하여 기존의 방법과 제안된 방법을 비교하며 마지막으로 5장에서는 향후 과제 및 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

무선 센서네트워크 환경에서 각 센서 노드와 헤드 노드가 데이터 송신을 위한 몇 개의 라우팅 프로토콜들이 연구되어 왔다[6-7]. 이 장에서는 본 연구에서 제안된 계층적 에너지 절약 통신 방법의 비교를 위해 직접 통신 프로토콜과 라우팅 통신 프로토콜에 대한 기본적인 원리를 알아보고 각 방법에 대한 장단점을 기술한다. 직접 통신 프로토콜과 라우팅 통신 프로토콜에 대한 장단점을 비교하면 다음과 같다.

- 직접 통신 프로토콜은 헤드 노드와 통신 시간 및 통신 오버헤드를 줄인다.
- 라우팅 통신 프로토콜은 센서 노드들의 에너지 소모량을 분산시킨다.

- 직접 통신 프로토콜의 경우, 헤드 노드와 먼 거리에 위치한 센서 노드일수록 에너지 소모량이 증대된다.
- 라우팅 통신 프로토콜의 경우, 헤드 노드와 가까운 거리에 위치한 센서 노드일수록 에너지 소모량이 증대하고, 통신 오버헤드 발생할 가능성이 높아진다.

직접 통신 프로토콜의 경우 각 센서 노드는 자신의 데이터를 헤드 노드와 직접 전송하는 통신 방법을 사용한다. 직접 통신의 경우 각 센서 노드가 헤드 노드에게 직접 데이터를 전송하여 통신 시간을 절약할 수 있는 장점이 있다. 일반적으로 한 센서 노드가 갖는 에너지 소모량은 송수신 센서의 거리에 의존하게 된다. 만일 한 센서 노드와 헤드 노드와의 거리가 멀어질수록 해당 센서 노드는 많은 양의 에너지를 소모하게 된다. 즉 헤드 노드와 가까운 거리에 위치한 센서 노드의 에너지 소모량이 적은 반면에 거리가 멀어질수록 에너지 소모량이 증가하게 된다. 이러한 급격한 에너지 소모는 센서 네트워크의 수명에도 큰 영향을 미치게 된다.

이전에 여러 연구에서 에너지를 절약하는 라우팅 프로토콜들에 대한 연구가 진행되어 왔다[7-13]. 이들 프로토콜에서 각 센서 노드는 헤드 노드에 데이터를 전송하기 위해 중간 센서 노드들을 경유하며, 중간 센서 노드들은 전송 에너지를 최소화 하는 센서 노드가 선택된다. 여기서 에너지 최소화를 위한 변수는 거리가 주요 요인이 된다. 예로서 네 개의 센서 노드 A, B, C, D가 있다고 가정하고 센서 노드 A가 센서 노드 D에 데이터를 전송하고자 한다. 노드 B와 C가 D에게 데이터를 전송하기 위한 경유 노드로 고려된다고 할 때, B를 경유한 통신과 C를 경유한 통신 경로인 A-B-D와 A-C-D의 거리를 비교하여 더 적은 경로를 선택한다. 이러한 방법은 헤드 노드와 거리가 먼 센서 노드의 전송 에너지를 분산하여 소모량을 줄이는 장점이 있으나 헤드 노드에 가까운 센서 노드일수록 송수신을 빈번하게 수행하여 에너지 소모량이 많게 된다. 또한 라우팅 경로에 포함된 노드가 많아질수록 통신 속도가 길어지게 된다.

### III. 제안된 계층적 센서 네트워크 구성 방법

#### 3.1. 4-way 트리 기반의 계층적 네트워크 구성

본 장에서는 각 센서 노드들의 전력 소모량을 줄이기 위해 계층적 센서 네트워크의 구성 및 통신 방법을 설명한다. 2장에서 기술한 것과 같이 직접통신 방법은 모든 센서 노드들이 헤드 노드와 직접 통신을 하기 때문에 헤드 노드와 멀리 떨어진 노드일수록 전력 소모량이 심하다. 라우팅 통신의 경우 각 센서 노드로부터 가장 가까이 있는 노드를 경유하여 헤드 노드에 데이터를 전송하기 때문에 헤드 노드에 가까운 노드들이 전력을 많이 소모하게 된다. 두 방법에서 각 센서 노드의 전력 소모의 주요 요인은 통신 노드들 간의 거리와 경유 통신 횟수를 들 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 두 요인을 고려하여 전력 소모를 최소화하기 위한 새로운 방식의 계층적 센서 네트워크의 구성 방법을 제안한다.

센서 네트워크는 응용 및 지형에 따라 다양하게 설치될 수 있으나 본 연구에서는 제안된 방법의 설명을 쉽게 하기 위해 평면의 구조를 가정한다. 먼저 그림 1에서 보인 것과 같이 랜덤하게 센서 노드가 설치되어 있는 상황을 고려해 본다. 전체 영역에서 가장 중심에 위치한 센서 노드를 헤드 노드로 선정한다. 다음에 전체 영역을 네 개의 서브 영역으로 나눈다. 각각의 영역은 균등한 크기로 나누어진다. 전체 크기의 중심을 지나는 하나의 축을 x축으로 보았을 때, x축과 수직의 특성을 가지고 전체 크기의 중심을 지나는 y축 선정한다. x축과 y축을 기준으로 분할되는 각각의 영역을 균등한 4가지 영역으로 지정한다. 센서가 2차원 평면 구조에 랜덤하게 분포되어 있다고 가정하였으므로, 각각의 균등한 영역에는 유사한 개수의 센서가 분포할 것이라고 예상할 수 있다.

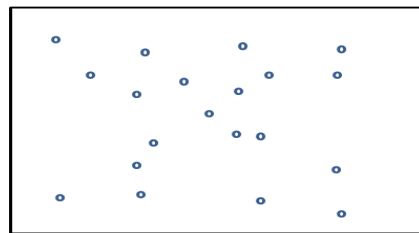


그림 1. 랜덤 센서 네트워크 예  
Fig. 1 Example of random sensor network

4개의 균등하게 분할된 각 영역에서 헤드 노드와 가장 가까운 거리에 있는 노드들을 선택하여 헤드 노드와 연결한다. 그림 2는 헤드 노드가 선정되어 네 영역에서 가장 가까운 거리에 있는 센서 노드를 선택하여 연결된 예를 보여준다. 이러한 과정은 분할된 각 영역에서 같은 방법으로 적용된다. 그림 3의 경우는 네 개로 분할된 각 영역을 다시 네 개의 서브 영역, 총 16개의 영역으로 분할된 예를 보여준다. 그림 2의 각 영역에서 헤드 노드와 연결된 각 센서 노드가 기준이 되어 다시 분할된 각 서브 영역에서 가까운 거리에 있는 노드를 연결한다.

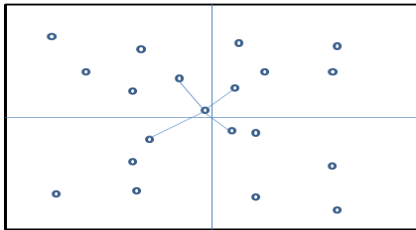


그림 2. 첫 번째 단계의 결과 예  
Fig. 2 Example of first step's result

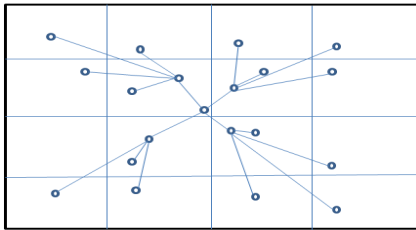


그림 3. 두 번째 단계의 결과 예  
Fig. 3 Example of second step's result

그러면 그림 3에서 보인 것과 같이 각 센서 노드들이 계층적으로 구성되며 이러한 계층적 구조를 트리 형식으로 표현한 결과는 그림 4에서 보인 것과 같다. 그림 4의 계층적 트리에서 루트 노드는 헤드 노드가 되며 각 단계마다 네 개의 영역으로 구분하였기 때문에 각 노드는 많아야 네 개의 자식 노드를 갖게 된다. 그림 1에서 센서 노드들은 두 단계의 분할 과정을 거치면 그림 4에서 보인 것과 같은 계층적 트리를 구성하게 된다. 이러한 과정은 분할된 블록에 더 이상 노드가 없을 때까지 반복되며 분할된 횟수에 따라 계층적 트리의 높이가 달라진다.

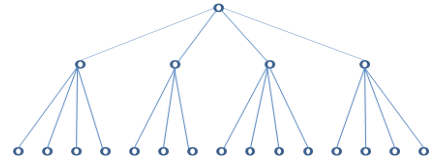


그림 4. 4-way 트리 기반의 계층적 트리 구성  
Fig. 4 Configuration of hierarchical tree based on 4-way tree

### 3.2. 통신방법

전 절에서 구성된 계층적 트리를 활용한 통신은 두 가지로 구분된다. 하나는 헤드 노드가 갖는 데이터를 모든 센서 노드에 브로드캐스트 하는 것이며 다른 하나는 각 센서 노드가 갖는 데이터를 헤드 노드로 전송하는 것이다. 헤드 노드의 데이터를 모든 노드에 브로드캐스트 하기 위해서는 헤드 노드가 자식 노드에 데이터를 전송하고 이를 받은 자식 노드는 다시 자신의 자식의 노드에 전송한다. 이러한 과정을 단말 노드까지 반복하면 모든 노드는 헤드 노드에서 전송된 데이터를 갖게 된다. 반대로 각 센서 노드의 데이터를 헤드 노드에 전송하기 위해서는 자신의 데이터를 부모 노드에 전송하고 이 데이터를 받은 노드는 다시 자신의 부모 노드에 전송한다. 이러한 과정은 계층적 트리를 활용하여 전송된 데이터가 헤드 노드에 도달 될 때까지 반복된다.

만일 랜덤 센서 네트워크 내에  $n$ 개의 센서 노드가 설치되어 있으며 분할된 각 서브 영역에 센서 노드가 균등하게 분포되어 있다고 가정할 경우 계층적 트리의 높이는  $O(\log_4 n)$ 이 되나 센서 노드들이 극단적으로 일렬로 배치될 경우 트리의 높이는  $n$ 이 될 수 있다. 따라서 헤드 노드의 정보를 모든 센서 노드들에 브로드캐스트 하기 위해서는  $O(\log_4 n)$ 에서  $O(n)$  사이의 시간을 갖는다. 보통 특별한 경우를 제외하고 센서 노드들이 정해진 구역에서 일정한 간격으로 설치되기 때문에 평균적으로  $O(\log_4 n)$  시간에 브로드캐스트가 이루어 질수 있다. 각 센서 노드의 정보가 헤드 노드에 전송되기 위한 시간의 경우도 같은 개념이 적용된다. 일반적으로 이러한 계층적 트리는 각 영역을 몇 개로 분할하는가에 따라 달라질 수 있으며  $w$ 개의 영역을 가질 경우 트리의 높이는  $O(\log_w n)$ 에서  $O(n)$  사이의 값을 갖게 된다.

### 3.3. 에너지 잔량을 고려한 계층적 트리의 갱신

MTE 라우팅 통신 방법은 헤드 노드에 가까운 위치의 노드가 더 많은 데이터 메시지를 받아서 헤드 노드에 전송한다. MTE 방법의 경우, 헤드 노드에 가까울수록 노드가 데이터를 전달하기 위한 노드로 다수 선택될 확률이 높고, 전달을 위하여 수신된 메시지들과 자신의 메시지를 통합하여 다시 송신하기 때문에 전송 활동이 활발하다. 이러한 특성으로 헤드 노드에 가까운 위치의 노드들은 에너지를 빠르게 소모하게 되고, 에너지를 다 소모하게 된 노드는 통신 기능을 하지 못한다.

특정 노드의 급격한 에너지 소모량 증가는 시스템의 전체 수명 시간을 짧게 줄이는 연쇄 현상을 발생시킬 뿐만 아니라, 시스템의 데이터 전송에 대한 신뢰성을 저하시킨다. 본 연구에서 제안한 방법(HTE)의 경우도 MTE 라우팅 방법과 마찬가지로 계층적 트리에서 상위 레벨의 노드일수록 에너지 소비량이 증가하여 MTE와 동일한 문제가 발생할 수 있다. 따라서 네트워크 전체 수명을 연장하려면 에너지 잔량을 고려하여 계층적 트리의 노드를 갱신할 필요가 있다.

본 연구에서는 특정 노드의 급격한 에너지 소비의 증가로 인한 문제점을 해결하기 위하여, 데이터가 전달되는 경로 내의 각각의 노드가 주어진 한계 값 이상으로 에너지를 소비했는지 여부를 검토하였다. 계층적 트리 내의 노드가 미리 정해진 한계 값 이상으로 에너지를 소비했다고 판단되면, 에너지가 남아 있는 노드 중 거리가 가장 가까운 노드를 찾아 자신을 대체하는 방법을 사용하였다.

## IV. 실험결과 및 평가

### 4.1. 에너지 소모량 비교 모델

본 절에서는 제안된 방법의 비교를 위해 직접 통신 프로토콜과 라우팅 프로토콜의 에너지 소모량에 대한 개요를 설명한다. 직접 통신 프로토콜을 사용할 경우 각 센서 노드는 그 자신의 데이터를 헤드 노드에 직접 전송한다. 이런 경우 한 노드와 헤드 노드의 거리가 멀어질수록 경우 에너지 소모량이 많아져서 시스템의 수명 시간을 줄이게 된다. 라우팅 프로토콜을 사용할 경우는 각 노드의 데이터가 자신과 가까운 중간

노드들을 거쳐 헤드 노드에 전송된다. 이런 경우 헤드 노드와 가까운 노드일수록 에너지 소모량이 많아지게 된다. 본 논문에서는 제안된 방법과 이전 방법의 비교를 위해 [7]에서 기술된 에너지 소모량 평가 모델을 사용하며 그 내용은 다음과 같다.

$E_{elec}$  : 송신 또는 수신 회로를 동작하기 위한 에너지 소모량 (nJ/bit)

$\xi_{amp}$  : 송신기 앰플리파이어의 에너지 소모량

$E_{Tx}(k,d)$  : 거리  $d$ 인 송신기에  $k$ 비트를 전송하기 위한 수신기의 에너지 소모량

$E_{Rx}(k)$  :  $k$ 비트를 받기 위한 송신기의 에너지 소모량

$E_{direct}$  : 직접 통신 프로토콜의 에너지 소모량

$E_{MTE}$  : 라우팅 통신 프로토콜의 에너지 소모량

한 센서 노드가 거리  $d$ 인 노드에  $k$ 비트를 전송하기 위한 직접 통신 프로토콜을 사용한 에너지 소모량은 (1)과 같이 정의된다.

$$E_{direct} = E_{Tx}(k,d) = k(E_{elec} + \xi_{amp}d^2) \quad (1)$$

라우팅 통신 프로토콜에서 각 센서 노드는 자신의 데이터를 가장 가까운 노드에서 전송하며 이러한 과정을 통하여 최종적으로 헤드 노드에 전송된다. 이 프로토콜에서 각 센서 노드 사이의 거리가  $d$ 이며  $n$ 개 라우팅 노드를 가질 경우  $k$ 비트를 전송하기 위한 에너지 소모량은 (2)와 같이 정의된다. 다음 절의 시뮬레이션에서 이 통신 방법을 MTE로 표현한다.

$$\begin{aligned} E_{MTE} &= n \times E_{Tx}(k,d) + (n-1) \times E_{Rx}(k) \\ &= k((2n-1)E_{elec} + \xi_{amp}nd^2) \end{aligned} \quad (2)$$

본 논문에서 제안된 계층적 트리 방법은 매 단계에서 4개의 블록으로 나누어지는 계층적 트리를 사용하기 때문에 전체 노드의 수가  $n$ 개일 경우 최장의 라우팅 경로는  $\log_4 n$ 이 된다. 이런 경우 제안된 프로토콜에서 각 센서 노드 사이의 거리가  $d$ 이며  $k$ 비트를 전송하기 위한 에너지 소모량은 (3)과 같다. 다음 절의 시뮬레이션에서 이 통신 방법을 HTE로 표현한다.

$$E_{HTE} = \log_4 n \times E_{Tx}(k, d) + (\log_4 n - 1) \times E_{Rx}(k) \\ = k((2\log_4^n - 1)E_{elec} + \xi_{amp}nd^2) \quad (3)$$

위의 평가 모델에서 거리 d는 일정하다고 가정하였으나 실제 상황에서는 다를 수 있으며 본 논문에서는 시뮬레이션 수행과정에서 이러한 부분을 고려하였다.

### 4.2. 실험결과 및 평가

본 연구에서 제한한 계층적 트리를 사용한 통신 방법에 대한 성능을 평가하기 위하여 그림 5와 같이 100개의 센서 노드를 갖는 랜덤 센서 네트워크를 생성하였다. 모든 노드에서부터 데이터의 전송이 이루어지고, 각 전송된 데이터는 가장 중심에 위치한(x=0, y=0) 헤드 노드가 수신하도록 MATLAB을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션에서 에너지 소비량을 측정하기 위하여 메시지의 수신과 송신이 일어날 때  $E_{elec} = 50$  nJ/bit를 소요하고, 트랜스미트 증폭기가 실행될 때  $\xi_{amp} = 100$  pJ/bit/m<sup>2</sup>가 소요된다고 가정하였다.

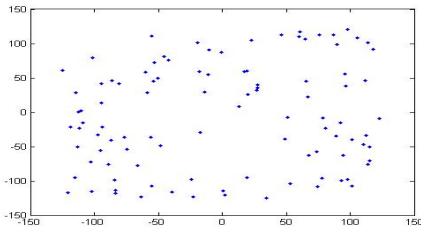


그림 5. 100개의 센서 노드를 갖는 랜덤 네트워크  
Fig. 5 Random network with 100 sensor nodes

그림 6과 그림 7은 네트워크의 지름이 5m×5m부터 500m×500m의 크기로 변화하고,  $E_{elec}$ 가 10nJ/bit에서 100nJ/bit까지 변화함에 따라 직접 통신 방법과 MTE 라우팅 방법, 그리고 본 연구에서 제안한 방법(HTE)의 총 에너지 소비량이 변화되는 그래프를 보여준다. 이 때, 각 센서 노드는 2000bit의 데이터 패킷을 헤드 노드에 전송한다고 가정하였다. 그 결과, 본 연구에서 제안한 방법(HTE)이 평균적으로 직접 통신 방법과 MTE 라우팅 방법에 비하여 총 에너지 소모량이 작은 것을 확인 할 수 있었다.

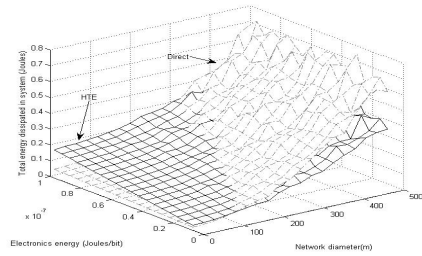


그림 6. 100개의 센서 노드를 갖는 랜덤 네트워크에서 직접 통신 방법과 제안된 방법(HTE)의 총 에너지 소모량 비교

Fig. 6 Comparison of total energy dissipated in random network with 100 sensor nodes using direct communication protocol and the proposed protocol(HTE)

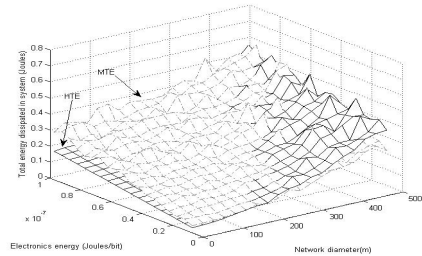


그림 7. 100개의 센서 노드를 갖는 랜덤 네트워크에서 라우팅 방법(MTE)과 제안된 방법(HTE)의 총 에너지 소모량 비교

Fig. 7 Comparison of total energy dissipated in random network with 100 sensor nodes using MTE routing protocol and the proposed protocol(HTE)

그림 6은 직접 통신 방법과 본 연구에서 제안한 방법의 총 에너지 소비량을 비교한 그래프이다.  $E_{elec}$ 가 크고 네트워크의 지름이 짧을수록 직접 통신 방법의 총 에너지 소비량이 적게 나타나 효율적임을 알 수 있었다. 그러나 직접 통신 방법은 네트워크의 지름이 클수록 총 에너지 소비량이 급격하게 증가한데 반하여, 본 연구에서 제안한 방법은 비교적 완만한 경사를 지닌 에너지 소모량의 결과를 보였다.

그림 7은 MTE 라우팅 방법과 본 연구에서 제안한 알고리즘(HTE)의 총 에너지 소비량을 비교한 그래프이다. 평균적으로 MTE 라우팅 방법보다 본 연구에서 제안한 방법의 에너지 소비량이 작아 효율적임을 알 수 있었다. MTE 라우팅 방법은  $E_{elec}$ 의 값이 커질수

록 총 에너지 소비량이 증가하였다. 그에 반해, 본 연구에서 제안한 방법은  $E_{elec}$  변화량에 따른 에너지 소모량에는 비교적 완만한 모습을 보였으나, 거리에 따른 에너지 소모량이 MTE 라우팅 방법에 비교하여 더 민감함을 보였다. 따라서 가장 효율적인 프로토콜은 네트워크 환경이나 송수신 에너지 소모량에 따라 다를 수 있으나, 본 연구에서 제안한 방법이 대부분 효율적이며 안정적인 결과를 보인다는 것을 확인하였다.

그림 8은 세 가지 방법에 따라 반복적인 데이터 전송을 시뮬레이션 하였을 때, 에너지를 모두 소비한 센서 노드를 나타낸 그래프를 보여준다. 각 센서 노드는 초기에 0.5J의 에너지를 가졌다고 가정하여 200회의 반복 시뮬레이션을 수행하여 에너지가 변화되는 결과를 확인하였다. 헤드 노드가  $x=0, y=0$  지점에 위치한 것을 고려하였을 때, 직접 통신 방법은 헤드 노드에서 먼 노드부터 에너지를 모두 소비하기 시작하였고, MTE 라우팅 방법은 헤드 노드와 가까운 노드부터 에너지를 모두 소비하기 시작하였다는 것을 알 수 있다.

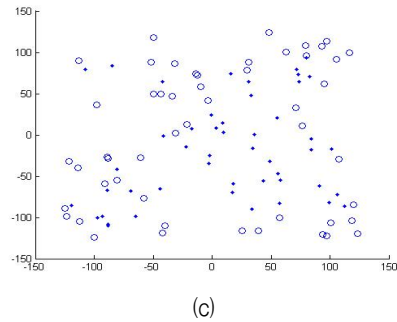


그림 8. 각각의 노드가 0.5J의 에너지를 가졌을 때 200회의 반복 후 에너지가 남은 노드(원으로 표시)와 에너지를 모두 소비한(점으로 표시) 노드를 나타낸 그래프. 상-(a) 직접 통신 방법, 중-(b) MTE 라우팅 방법, 하-(c) 제안된 방법(HTE)

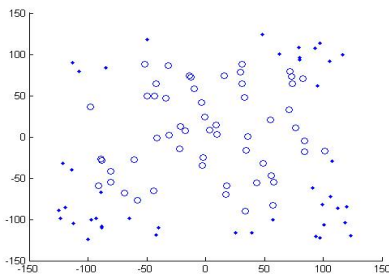
Fig. 8 Sensors that remain alive (circles) and those that are dead (dot) after 200 rounds with 0.5 J/node for (a) direct transmission, (b) MTE routing, and (c) HTE routing

본 연구에서 제안한 방법의 경우 200회의 반복이 끝난 뒤, MTE 방법과 유사한 결과인 헤드 노드와 가까운 곳의 노드들이 에너지가 소비되는 경향이 있지만, MTE 라우팅 방법에 비하여 분산된 경향이 있음을 확인할 수 있었다.

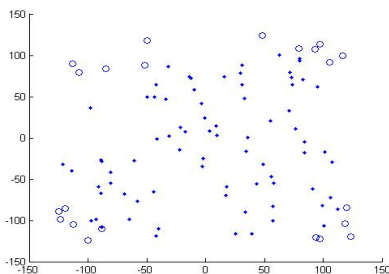
MTE 라우팅 방법에서 헤드 노드와 가까운 노드들의 에너지가 먼 노드들에 비하여 더 빨리 소비되는 경향을 가지는 이유는 해당 구역 내 서브 트리를 구성하는 노드의 위치가 헤드 노드를 기반으로 가까운 곳에 설정되는 경향이 있기 때문이다. 뿐만 아니라, 시뮬레이션에서 트리의 노드가 한계점 미만으로 에너지를 소비했을 때, 인근의 노드로 트리의 노드를 대체하여 시뮬레이션을 수행하였기 때문에, 헤드 노드와 가까운 인근의 노드가 선택될 확률이 높은 것도 이러한 결과를 보인 원인이라고 할 수 있다.

에너지를 모두 소비한 점으로 표시된 노드의 수가 직접 통신 방법이 가장 적게 나타났다. 직접 통신 방법은 에너지를 모두 소비 하였을 때 다른 노드로 대체하여 전송하는 방법을 채택하지 않았다. 따라서 직접 통신 방법은 본 시뮬레이션에서 수행한 세 가지 방법 중 에너지를 모두 소비한 노드의 수가 가장 적지만, 데이터의 유실 확률이 가장 크다고 할 수 있다.

MTE 라우팅 방법과 본 연구에서 제안한 방법



(a)



(b)

(HTE)은 노드의 에너지 부재로 인한 데이터의 유실 확률이 적었다. 특히, 본 연구에서 제안한 방법(HTE)이 MTE에 비하여 데이터의 유실 확률이 적으면서도 에너지를 모두 소비한 노드의 수가 약 30% 적게 나타났다. 이러한 결과는 본 연구에서 제안한 방법(HTE)이 계층적 트리를 사용하여 전송할 노드 간의 거리를 최적화하고 불필요한 데이터 경우 전송을 줄여 효율성을 증가시켰기 때문이다.

## V. 결론

센서 네트워크 환경에서 센서 노드들의 에너지 소모량을 줄이는 것은 센서 네트워크의 수명을 연장하기 위한 가장 큰 요인 중의 하나이다. 각 센서에서 에너지 소모의 주요 원인은 통신을 위한 센서 노드들 간의 거리와 통신 횟수이다. 본 연구에서는 센서 네트워크 환경에서 에너지 소모량을 줄여 시스템의 수명 주기를 늘리기 위한 계층적 트리 방식의 센서 네트워크 구성 및 통신 방법을 제안하였다. 계층적 라우팅 네트워크를 구성하기 위해 분할 정복 기법을 사용하여 전체 영역을 반복적으로 네 영역으로 분할하여 계층적 트리를 구성하였다.

본 논문에서 제안된 방법은 시뮬레이션을 통하여 직접 통신과 라우팅 통신 방법과 비교되었다. 그 결과로 제안된 방법이 다양한 환경의 대부분 경우에서 이전 방법들에 비해 에너지 효율이 좋아지는 결과를 보였다. 또한 이러한 결과로 센서 네트워크의 수명 주기가 향상할 수 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 랜덤 네트워크를 구성하여 정적인 환경에서 계층적 트리를 구성하였으나 실제 환경에서는 동적으로 계층적 트리가 구성될 필요가 있다. 동적으로 계층적 트리 네트워크를 구성하기 위해서는 한 센서 노드가 가까운 위치에 있는 센서 노드를 어떻게 찾아야 하는 것이 주요 문제가 될 수 있다. 이러한 부분은 주변 센서 노드들에서 보낸 수신 강도 등의 변수를 활용할 수 있으며 향후 추가적으로 연구가 필요한 부분이라 생각된다.

## 감사의 글

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임.

## References

- [1] C. Li, H. Zhang, B. Hao, and J. Li, "A survey on routing protocols for large-scale wireless sensor networks," *Sensors*, vol. 11, no. 10, 2011, pp. 3498-3526.
- [2] Y. Jang, J. Lee, J. Park, D. Seong, and J. Yoo, "Efficient Distributed Broadcast Schemes using Sensor Networks in Road Network Environments," *J. of Korea Contents Association*, vol. 11, no. 1, 2010, pp. 26-33.
- [3] S. Kang, D. Hwang, J. Park, D. Seong, and J. Yoo, "Efficient Bi-directional Linear Broadcast Scheme with Sensor Networks in Road Environments," *J. of KIISE : Computing Practices and Letters*, vol. 18, no. 3, Mar 2012, pp. 239-243.
- [4] W. S. Ku, R. Zimmermann, and H. Wang, "Location-Based Spatial Query Processing in Wireless Broadcast Environments," *IEEE Trans. Mobile Computing*, vol. 7, no. 6, June 2008, pp. 778-791.
- [5] H. Lee, H. Lee, and H. Shin, "A Study On Ubiquitous Sensor Network Technology," *The J. of the Korean Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 4, no. 1, 2009, pp. 68-74.
- [6] K. Akkaya and M. Younis, "A Survey on Routing Protocols for wireless Sensor Networks," *AdHoc Networks*, vol. 3, 2005, pp. 325-349.
- [7] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," *Proc. of the 33rd Hawaii Int. Conf. on System Sciences*, Maui, Hawaii, USA, Jan, 2000.
- [8] Y.-S. Kim, Y.-P. Hong, Y.-I. Cho, J.-S. Kim, J.-W. Eun, J.-Y. Lee, and S.-H. Lee, "A Study on clustering method for Balancing Energy



Consumption in Hierarchical Sensor Network," *J. of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 11, no. 9, 2010, pp. 3472-3480.

- [9] J.-S. Park, J.-Y. Lee, and S.-H. Lee, "A Study on SR Packet MAC Protocol for Energy Saving in Wireless Sensor Network," *J. of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 11, no. 5, 2010, pp. 1646-1652.
- [10] D. Wei, Y. Jin, S. Vural, K. Moessner, and R. Tafazolli, "An energy-efficient clustering solution for wireless sensor networks," *IEEE Trans. Wireless Communications*, vol. 10, no. 11, 2011, pp. 3973-3983.
- [11] S. K. Singh, M. P. Singh, and D. K. Singh, "Routing Protocols in Wireless Sensor Networks : A Survey," *Int. J. of Computer Science and Engineering Survey*, vol. 1, no. 2, Nov. 2011, pp. 63-83.
- [12] N. Park, C. Son, and W. Kim, "The Efficient Computation of Node Position on Mobile Sensor Network," *J. of the Korean Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 5, no. 4, 2010, pp. 391-398.
- [13] K. Kim, B. Kim, S. Bae, and D. Kim, "An Improved Message Broadcast Scheme over Wireless Sensor Networks," *J. of the Korean Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 5, no. 6, 2010, pp. 588-594.

### 저자 소개



#### 손민영(Min-Young Son)

2008년 8월 고려대학교 컴퓨터정보학과 (이학사)

2010년 8월 고려대학교 정보경영공학과 (공학석사)

2013년 9월~현재 금오공과대학교 컴퓨터공학과 박사과정

※ 관심분야 : 네트워크, 분산처리, 그래프, 데이터마이닝



#### 김영학(Young-Hak Kim)

1984년 2월 금오공과대학교 전자공학과(공학사)

1989년 2월 서강대학교 대학원 전자계산학과(공학석사)

1997년 8월 서강대학교 대학원 전자계산학과(공학박사)

1999년 3월~현재 금오공과대학교 컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야 : 병렬알고리즘, 분산처리, 임베디드시스템 등