

# 분산 무선센서 네트워크의 클러스터-기반 에너지 소비 균형 라우팅 프로토콜

## A Cluster-based Routing Protocol with Energy Consumption Balance in Distributed Wireless Sensor Networks

김태효\*, 주연정\*\*, 오호석\*\*, 김민규\*\*, 정용배\*\*\*

Tae-Hyo Kim\*, Yeon-Jeong Ju\*\*, Ho-Suck Oh\*\*, Min-Kyu Kim\*\*, Yong-Bae Jung\*\*\*

### 요약

본 논문에서는 비교적 밀도가 높게 전개되는 무선 센서네트워크에서 센서노드들의 에너지를 균형있게 소비할 수 있는 클러스터-기반 에너지 소비 균형을 위한 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 본 프로토콜은 계층적 구조를 가지는 클러스터-기반으로 구현된다. 클러스터는 위치적으로 가까운 거리에 있는 센서노드들로 형성되며, 해당 클러스터 멤버들 중에서 잔류 에너지가 가장 높은 노드가 헤드노드로 선정된다. 경로 선정에서, 이웃하는 클러스터와 통신의 범위가 중첩되게 하여 그 공통영역 내에 있는 하나의 노드를 중계노드로 선택하여, 통신에너지 소비의 균형을 고려하여 노드들의 수명을 연장할 수 있게 하였다.

### ABSTRACT

In this paper, a cluster-based routing protocol in distributed sensor network is proposed, which enable the balanced energy consumption in the sensor nodes densely deployed in the sensor fields. This routing protocol is implemented based on clusters with hierarchical scheme. The clusters are formed by the closely located sensor nodes. A cluster node with maximum residual energy in the cluster, can be selected as cluster head node. In routing, one of the nodes in the intersection area between two clusters is selected as a relay-node and this method can extend the lifetime of all the sensor nodes in view of the balanced consumption of communication energy.

**Keywords :** Cluster-based routing, energy consumption balance, hierarchical protocol, cluster head, communication relay node

### 1. 서론

분산 무선 센서네트워크(DWSN)는 물리적 세계에서 근접한 센서들의 상호 작용을 가지는 광범위한 응용에 주목을 받고 있다. DWSN은 무선통신의 특징에 따라 분산 센싱 및 센서 전개 용이성을 바탕으로 최근에 우리의 일상생활에 중요한 부분을 담당하게 되었다.

DWSN은 대량의 센서노드로 구성되며, 이는 하나의 물리적 현상이 발생하는 영역의 내부 혹은 그와 가까이 밀집하여 전개된다. 이는 신뢰성 및 효율적인 감시를 가능하게 하고, 정확한 초기화를 위해 그 현상의 물리적 특징이 정확히 검출되어 해당 센서노드에 의해 제공되는 총체적인 정보로부터 추정되어야 한다[1]. 개별적 센서노드의 내부적

특성으로서 에너지 소비가 통신프로토콜에 영향을 미치게 된다.

DWSN에서 한 가지 중요한 문제는 라우팅으로서, 이를 해결하기 위해 많은 개발이 이루어져왔다[2]. 라우팅은 무선통신의 효과와 센서네트워크의 특징에 기인되는 문제에 직결된다. 라우팅 프로토콜의 주요 목표는 센서노드들과 싱크노드 사이에 정보의 효율적인 전달이다. DWSN 구성에서 고려할 사항은 다음과 같다.

- 1) 에너지 소비: 센서노드들의 한정된 에너지 자원 때문에, 네트워크의 수명에 직접적인 영향을 주게 된다. 따라서 정보의 내용이 훼손되지 않으면서 최적의 에너지-효율로 데이터가 전송될 필요가 있다. 이는 각 센서노드의 주위에 이웃하는 노드들과의 정보교환에 에너지가 소비된다. 이를 개선하기 위해 다중 노드들로부터 얻어진 데이터를 하나의 패킷으로 통합할 필요가 있다.
- 2) 확장성(scalability): DWSN에서 센서노드들이 조밀하게 전개되기 때문에 분산 프로토콜은 그 토폴로지의 제한된 지식으로 동작할 필요가 있고, 그 네트워크의 에너지 효율을 개선하기 위해 전체적인 정보교환이 아니라 국

\* 경남대학교                      \*\* 경남대학교 대학원

\*\*\* (주)쉬운기술 연구소장

본 논문은 2013년도 미래창조과학부 일반연구자\_커리어과학자 사업(과제번호:2012R1A1A2039445) 지원에 의해 연구되었습니다.

투고 일자 : 2014. 9. 15    수정완료일자 : 2014. 10. 24

게재확정일자 : 2014. 11. 2

부적인 정보교환으로 한정되어야한다. 각 노드에서 얻은 개별적인 정보보다 상위-레벨의 정보가 더 중요하므로 라우팅 프로토콜은 에너지 소비를 줄이며 많은 노드들에서 얻은 정보를 결합하여 전송할 필요가 있다.

- 3) 강인성(robustness): DWSN은 그 네트워크 내부에서 센서 노드들이 multi-hop 형태로 구성된다. 센서노드는 저가격 소자로서, 그 동작이 예기치 않게 통신의 실패를 야기할 수도 있다. 지정된 노드가 통신을 못할 경우 정보의 손실이 생긴다. 따라서 통신 채널의 예러가 있는 조건에서도 센서노드와 싱크노드 사이에 정보전송이 가능해야 한다.
- 4) 토폴로지: 일반적으로 센서노드들은 개별적으로 그 네트워크의 초기적 토폴로지를 인지하지 못하지만, 하나의 센서노드 주위의 이웃들의 상대적인 위치를 알 수 있고 이것은 라우팅 성능에 큰 영향을 준다. 그리고 네트워크 토폴로지는 그 네트워크의 동작에 많은 변화를 가지며, 수명에도 큰 영향을 미친다.

이러한 관점에서 볼 때, 평탄 구조의 프로토콜은 싱크노드 근방에서 노드들의 과부하와 에너지 손실이 크게 되는 단점이 있다. 이를 극복하기 위해 계층적 구조의 프로토콜이 바람직하다. 일반적으로 계층적 프로토콜은 클러스터를 형성하여 클러스터 헤드노드를 선택하고 이를 통해 정보를 전송하므로 과부하 문제의 해결과 에너지 절약을 꾀할 수 있다. 클러스터 헤드가 그 클러스터의 정보를 수집하고 이웃의 클러스터 헤드로 전송함으로써, 센서노드들의 에너지를 절약할 수 있다[3][4][5].

이러한 장점에도 불구하고, 클러스터-기반 프로토콜은 잦은 헤드의 교체로 인한 통신의 overhead가 증가하고 싱크노드까지 직접 통신을 하기 때문에 높은 송신전력이 필요하다. 이러한 단점을 보완하기 위해 과거 수년간에 걸쳐 많은 프로토콜들이 ad hoc 및 센서네트워크에 대하여 제안되었다. 에너지 자원의 낭비에 기인하여 D. Estrin 등[6]은 에너지 소비를 줄이기 위한 하나의 프로토콜을 제안하였고, B. Chen 등[7]은 센서노드들의 지리적 위치에 따라 분류되는 토폴로지 관리형 프로토콜을 제안하였으며, N. M. Adul Latiff 등[8] PSO알고리즘을 구현하여 에너지-효율 및 데이터 전송의 성능을 개선하였다. 이 알고리즘은 클러스터 간의 통신이 클러스터 헤드를 통해 이루어지므로 에너지의 균형적 분산 소비가 이루어지지 않는다는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 계층적 구조와, 센서노드들의 위치적 정보를 기반으로, 클러스터 내부의 정보 융합은 헤드노드에서 분산 칼만 consensus 필터링[10]을 이용하고, 클러스터 간의 데이터 전송은 클러스터 간에 공유되는 범위에 놓여있는 중계노드에 의해 이루어지는 에너지 소비 균형 라우팅(ECBR, energy consumption balance Routing) 알고리즘을 제안하였다. 논문의 구성은 2절에서 적용할 시스템 모델을 설명하고, 3절에는 제안한 ECBR을 설명하며, 4절에 시뮬레이션 및 그 결과를 나타내고 마지막 5절에서 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

### 2.1 네트워크 모델

하나의 다중 hop 형태로 구성되는 분산 무선 센서네트워크(DWSN)에서 센서노드의 데이터를 하나의 BS(베이스 센터)로 전송하는 프로토콜을 생각한다. 각 센서노드는 이웃하는 다른 노드들과 정보를 교환할 수 있고, 이들은 클러스터 헤드가 될 수도 있고 멤버노드도 될 수 있다.

DWSN은 방향성 그래프  $G=(V, E)$ 로서 표현할 수 있고,  $i \in V$ 인 노드들로 나타내고,  $\langle i, j \rangle \in E$ 는 두 노드  $i, j \in V$  사이의 링크를 표시하며, 그들은 서로 데이터 패킷을 교환할 수 있다. 따라서 문헌 [3]과 유사하게 다음과 같이 네트워크 모델을 가정한다.

- 각 센서노드는 주기적으로 센싱하고, 항상 이 데이터를 헤드노드로 보낸다.
- 모든 노드들은 정지 상태이며 한정된 에너지를 가진다.
- 해당 노드들은 가변적인 전송전력의 제어가 가능하다.
- 모든 노드들은 클러스터 헤드노드와 센싱노드로 동작할 수 있다.
- 전송될 전체 데이터 메시지를 줄이기 위해 데이터 융합이 적용된다.

### 2.2 무선통신 에너지 모델

센서들에 대한 에너지 모델은 문헌 [9]에서 사용한 무선통신 모델을 적용한다. 이 모델에서, 무선 송·수신기는 정보 전송에 필요한 최소의 전력을 소비한다. 전송 거리에 대하여, 비교적 단거리의 경우는 그 전력손실이  $d_{ij}^2$ , 먼 거리의 경우  $d_{ij}^4$ 에 비례한다. 여기서  $d_{ij}$ 는 노드  $i$ 와 노드  $j$  사이의 유클리드 거리이다. 거리  $d$ 에 대한  $l$ 비트의 메시지를 송신하는데 수용 가능한 SNR을 얻기 위하여, 무선통신에 소요되는 에너지는식 (1)로 주어진다.

$$E_{TX}(l, d) = lE_{elec} + l\epsilon_{FS}d^2, \quad \text{if } d < d_0 \quad (1)$$

$$= lE_{elec} + l\epsilon_{TR}d^4, \quad \text{if } d > d_0$$

여기서  $E_{elec}$ 은 송신기 또는 수신기의 동작에 대한 비트당 소비되는 에너지이고,  $\epsilon_{FS}$ 와  $\epsilon_{TR}$ 은 송신기의 증폭기 모델에 의존한다. 그리고  $l$ 비트의 메시지를 수신하는 위해 식 (2)의 에너지가 소비된다.

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

여기서,  $E_{elec} = 50 \text{ nJ/bit}$ ,  
 $\epsilon_{FS} = 10 \text{ pJ/bit/m}^2$ ,  $\epsilon_{TR} = 0.0013 \text{ pJ/bit/m}^4$ 이다[8].

본 실험에서 적용할 데이터 융합은, 하나의 클러스터 멤

버들이  $n$ 개 이고, 각 멤버가 수신한 신호를 비교하여 멤버들 중에서 잔류 에너지가 가장 큰 멤버가 그 클러스터의 헤드로 선임된다. 선임된 헤드는 그 클러스터의 멤버노드들의 정보를 융합한다. 데이터의 융합은, 융합되기 전의 기존 데이터가  $k$ 비트라고 할 때, 해당 클러스터 헤드는 Kalman consensus 필터링[10]을 적용하여 그 클러스터의 융합 데이터도  $k$ 비트로 압축한다.

### III. 에너지 소비 균형 라우팅 알고리즘

#### 3.1 네트워크의 셋업 단계

네트워크의 초기 경로설정은 센서들을 네트워크 영역에 전개한 이후에 센서들의 각 정보를 초기화하는 것으로써, 센서노드의 상태에 관한 정보 및 갱신 정보를 의미한다. 여기서 노드의 상태 정보는 에너지(배터리)의 정보, 거리 정보, 자신의 역할 등을 포함한다.

네트워크의 초기 환경을 구성하기 위해, 계층적 구조를 기반으로 이웃 노드들 사이의 상호 간섭이 최소화될 수 있도록 클러스터링을 하게 된다. 클러스터링 기준은 해당 클러스터의 헤드노드와 클러스터 사이를 중계하는 게이트노드를 그림 1과 같은 구조에서 선정한다. 그림 1에서 원으로 표시한 것은 각 센서노드들이 이웃 노드들과의 통신할 수 있는 범위를 나타낸다. 이 때 각 클러스터 사이에 공유하는 영역을 생기게 하여, 공유영역에 센서노드들이 존재하도록 설정하고, 이들을 중계용 게이트노드 후보로 선정하는 클러스터를 생성한다. 이 과정은 BS를 최상위 계층으로 시작하여 점차로 하위 계층으로 생성해 나간다.

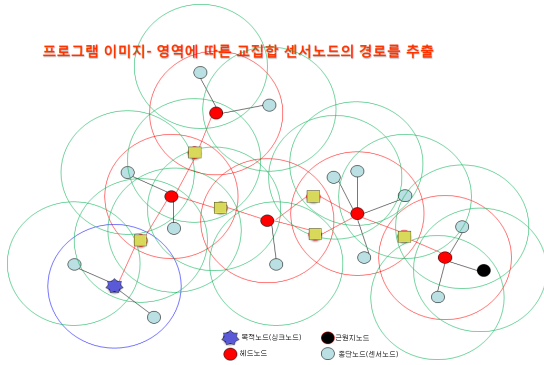


그림 1. 클러스터 헤드의 선정 구조  
Fig. 1. A structure of cluster head selection

초기화 과정에서 모든 노드들 사이의 거리와 에너지 상태에 관한 정보가 수집된다. 거리의 값들을 얻기 위해, 노드들은 네트워크를 향해 광고 메시지를 보낸다. 각 노드는 여러 신호의 세기를 다른 노드들로부터 이 광고 메시지를 수신하고, 다음에 식 (3)을 이용하여 거리를 계산한다.

$$d_{ij} = s(P^r)^{-1/2}, \text{ where } s = c(P^s)^{1/2}/4\pi f \quad (3)$$

여기서  $d_{ij}$ 는 노드  $i$ 와 노드  $j$  사이의 거리이고,  $f$ 는 주파수,  $c$ 는 광속이며,  $P^r$ 과  $P^s$ 는 수신 및 송신 신호의 세기이다. 이로부터 모든 노드들이 자신의 이웃 노드들 사이의 거리를 얻을 수 있고, 잔류 에너지 정보를 BS로 보낼 수 있다.

#### 3.2 에너지 균형 라우팅 알고리즘

네트워크에서  $n$ 개의 센서노드들은 각 개별적 전력  $P_n > 0$ 를 가지며 배터리에 저장되어 있다고 가정한다. 저장된 에너지를  $E_{S_n}$ 이라 하고, 최대 배터리 용량을  $E_{M,n}$ 이라고 한다.

각 노드의 에너지 정보를 기반으로 BS는 모든 노드들의 평균 에너지 지속률을 식 (3)으로 계산할 수 있다[8].

$$ST(n) = \frac{E_{M,n}}{(P_n + \sigma) \log \mu} (\mu^{\lambda(n)} - 1) \quad (3)$$

$$\text{where, } \lambda(n) = \frac{E_{M,n} - E_{S,n}}{E_{M,n}}$$

여기서  $\sigma$ 와  $\mu$ 는 적당하게 선정된 상수이다. 충분한 에너지 지속성을 가지는 노드가 클러스터의 헤드로 선택되는 것을 확인하기 위해, 평균치 이하의  $ST(n)$ 을 가지는 노드만 클러스터 헤드의 후보가 될 수 있다.

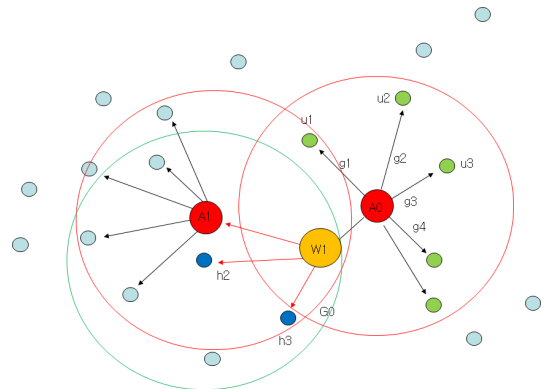


그림 2. 클러스터 헤드 사이의 중계노드 생성  
Fig. 2. Generation of relay node between two cluster head node

이렇게 정해지는 클러스터 헤드노드가 결정되면, 그림 2와 같이, 계층적 구조에서 헤드노드(적색의 큰 원들)을 기준으로, 클러스터 사이에 공유하는 영역(교집합)에서 중계노드를 설정한다.

우선, 목적지 노드를  $A_0$ 로 하고, 통신이 가능한 영역을 하나의 클러스터로 설정하여 그 클러스터 내에 존재하는  $A_0$ 에서 센서노드  $u_i$ 간의  $(A_0, u_1), (A_0, u_2), \dots$  등의 단방향성 경로인 링크들의 집합  $G_0$ 를 생성한다. 여기서 종단 단자를  $i$ 라 하고,  $i = 1, 2, \dots, n$ 으로 나타낼 수 있다.

최상위 계층  $A_0$  중심의 클러스터 영역 내에 존재하는 센서노드  $u_i$  간 최적정보를 우선순위로 센서노드  $u_i$ 가 새로운 기준이 되어 통신 가능한 영역을 가지는 클러스터를 구성하고 구성된 클러스터 영역 내 센서노드 간의  $Gu_{i_1}$ 의 집합을 구성한다.  $Gu_{i_1}$ 의 집합의 연결점을 가지는 센서노드  $u_i$ 를 연장하여  $Gu_i h_i$ 의 집합의 연결점을 가지는 센서노드  $h_i$ 를 생성한다. 이렇게 센서노드  $h_i$ 를 등록한 후 센서노드  $h_i$ 의 통신 가능범위 내의 클러스터 영역에 중단 센서노드의 존재여부를 체크하고 존재 여부에 따라 센서노드  $h_i$ 는 다음 클러스터  $A_1$  또는 중단센서로 등록한다. 또한 클러스터  $A_0$ 와  $A_1$ 의 교집합으로 구성되는 센서노드  $u_i$  중에서 중계노드  $W_{1i}$ 를 구성한다(그림 2 참조). 이때 교집합으로 구성되는  $W_i$ 들 중에서 가장 큰 에너지를 가진 노드가 중계노드로 선정된다. 이 과정을 반복 적용하여 주어진 네트워크의 경로설정이 그림 3과 같이 이벤트가 발생하면 센서노드로부터 목적 노드까지의 라우팅이 이루어진다.

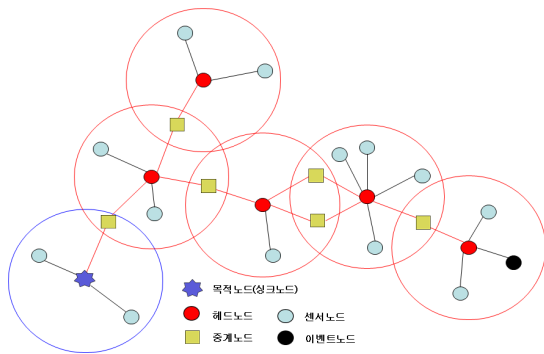


그림 3. 최적 경로 설정의 예  
Fig. 3. An example of optimal routing

경로 설정에 참여하지 않은 노드들은 자동으로 OFF 상태를 유지한다. 이렇게 하여 균형적 에너지 분산 라우팅이 이루어진다. 경로설정이 이루어진 후에, BS는 전체의 소비 에너지를 최소화하고 헤드노드의 에너지를 최적으로 하기 위해, 각 클러스터 헤드들의 에너지 조건들과 그들 사이의 거리를 얻을 수 있다. 하나의 헤드노드  $i$ 가 다음 hop의 클러스터  $j$ 를 연결하기 위해 중계노드  $W$ 를 통하여 선정한다. 노드  $j$ 는 노드  $i$ 와 BS 사이에 위치한 클러스터 헤드들 가운데서 식 (4)의 평가함수에서 최소치를 가져야 한다.

$$cost(i, j) = x(d_{ij} + d_{jbs}) + yST(j) + zST(k) \quad (4)$$

여기서  $d_{ij}$ 는 노드  $i$ 에서 노드  $j$ 까지의 거리이고,  $d_{jbs}$ 는 노드  $j$ 에서 BS까지의 거리이며,  $k$ 는 노드  $j$ 의 다음 hop을 나타낸다. 다시 말해서, 다음의 두 노드들의 에너지 지속를

을 포함한다. 이 식으로부터 이웃들의 미약한 에너지 지속를 가지는 노드를 회피할 수 있다. 여기서  $x, y, z$ 는 각 성분들의 크기를 나타내는 계수이고,  $x + y + z = 1$ 이다. 이 평가함수로서, 높은 신뢰성을 가지는 최적의 라우팅을 얻을 수 있다.

#### IV. 시뮬레이션 및 분석

본 시뮬레이션에서 센서 네트워크 필드를 640X640 화소로 하고, 화소 당 유클리드 거리를 1m로 하였다. 센서노드를 10개씩 증가하는 조건에서 센서들의 송신 및 수신 거리는 80 화소의 조건을 적용하고, 전개된 센서노드는 총 350개로 하였다. 싱크노드는 주어진 필드의 우측 상단에 위치하고, 센서노드들의 전개는 임의로 하였으며, 주어진 전개 상태에서 선택 가능한 모든 경로들을 검출한 결과를 부록의 그림 1에 보였다. 그리고 본 알고리즘을 적용한 경우의 경로선택에서 클러스터 헤드들이 선정되었을 때의 가능한 전체 경로들을 그림 4에 나타내었다. 이 라우팅 경로는 에너지의 균형적 소비를 고려한 경우이다.

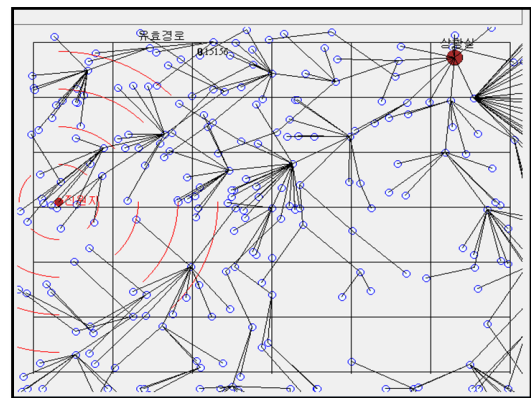


그림 4. EBCR 알고리즘에 의해 탐색된 모든 센서노드들의 정보전송 경로

Fig. 4. Data transmission routes of every sensor node founded by the EBCR algorithm

그림 5는 센서노드들의 수에 따라 생성되는 중계노드들의 수를 나타낸 것이다. 여기서 센서노드들의 수가 증가할 때, 중계노드들의 수도 비례함을 알 수 있었다. 그림 6은 센서노드들의 수의 증가에 대한 형성된 계층수를 보였다. 계층 수의 변화는 센서노드들이 약 50에서 180여개 사이에서 변화가 나타났다.

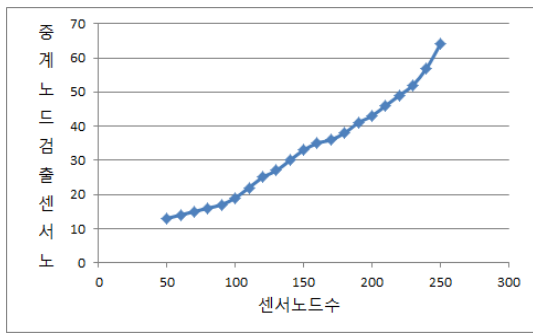


그림 5. 전개된 센서노드에서의 중계노드 수

Fig. 5. Average of relay nodes under deployed sensor nodes

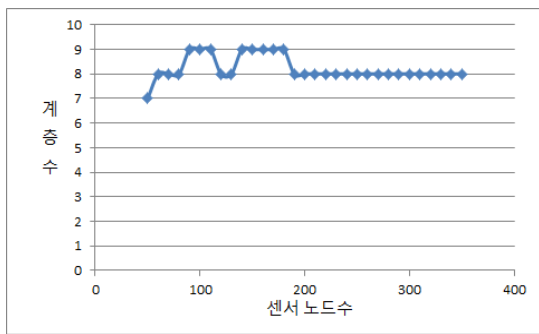


그림 6. 전개된 센서노드에서의 형성된 계층 수

Fig. 6. The formed hops under deployed sensor nodes

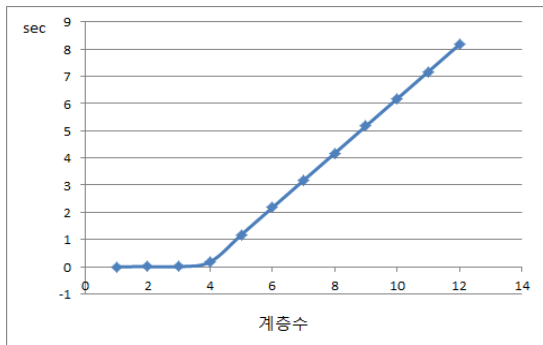


그림 7. 계층 수에 대한 지연시간

Fig. 7. Delay times over the hops

그림 7은 센서노드들의 증가에 따른 경로 설정의 지연시간을 나타낸 것이며, 계층 수가 4개 이상에서 지연시간도 직선적으로 증가하였다.

제안한 프로토콜에서 최적 경로를 검출한 예를 그림 8에 보였다. 좌측 중간부분에 있는 하나의 센서노드에서 이벤트가 발생한 경우 본 알고리즘을 적용하여 최적의 경로를 검출한 예를 보였다. 그리고 부록의 그림 2에, 각 다른 분포로 전개되는 네트워크에서 위치가 다른 이벤트 노드를 선정하여 최적 경로를 검출한 경로들의 예를 나타내었다.

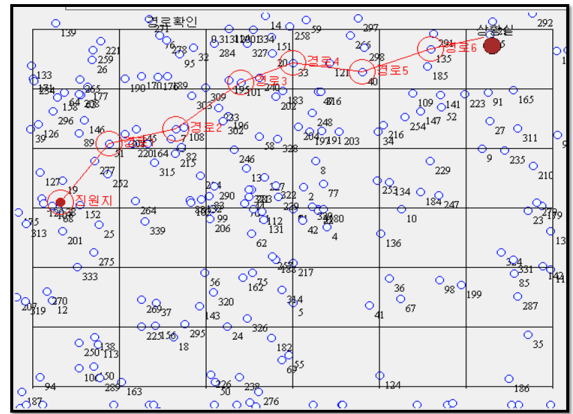


그림 8. 주어진 이벤트 노드에서의 최적 경로 검출 예

Fig. 8. An example of detected optimal route for a given event node

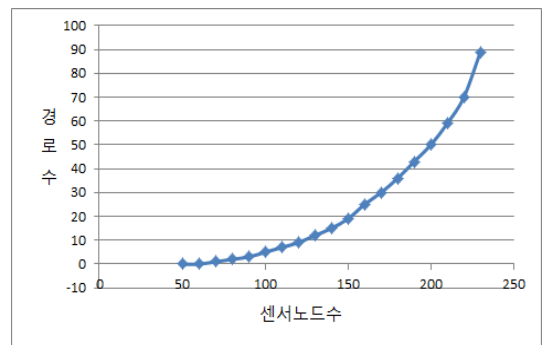


그림 9. 센서노드의 수에 대한 경로의 수

Fig. 9. number of routes for number of sensors

그리고 그림 9는 센서노드의 수가 증가할수록 라우팅 가능한 경로들의 수도 지수 함수적으로 증가함을 알 수 있다. 결과적으로, 데이터 전송에 따른 헤드노드 간의 통신거리가 중계노드를 통해 줄어들기 때문에 각 센서노드들은 식 (2)의 통신에너지를 적게 소비하게 된다.

## V. 결론

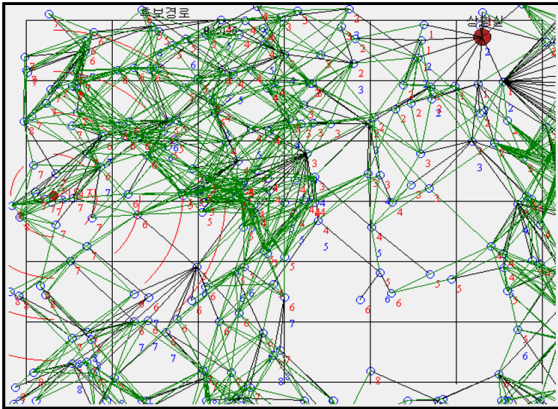
본 논문에서는 비교적 밀도가 높게 전개되는 무선 센서 네트워크에서 센서노드들의 에너지를 균형적으로 소비할 수 있는 클러스터-기반 에너지소비 균형을 위한 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 본 프로토콜은 계층적 구조를 가지는 클러스터-기반으로 구현된다. 클러스터는 위치적으로 가까운 거리에 있는 센서노드들로 형성되며, 해당 클러스터 멤버들 중에서 잔류 에너지가 가장 높은 노드가 헤드노드로 선정된다.

경로 설정에서, 이웃하는 클러스터와 통신의 범위가 중첩되게 하여 그 공통영역 내에 있는 하나의 노드를 중계노드로 선택하여 통신의 에너지 효율을 개선할 수 있고 노드들의 수명을 증가시킬 수 있다. 실험에서, 전개되는 노드들

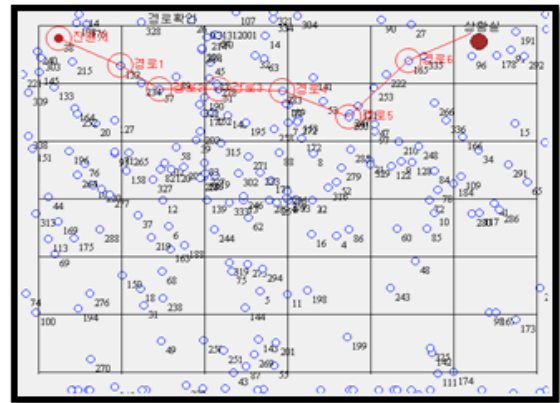


수의 증가에 따른 중계노드들의 수, 형성되는 계층 수, 통신의 지연시간 및 경로들의 수에 대한 측정을 실시하였다. 따라서 본 라우팅 프로토콜은 중계노드로 하여금 클러스터의 헤드노드에서 소비되는 통신에너지를 중계노드를 통하여 통신거리를 줄여줌으로써, 센서노드들의 에너지 지속기간을 연장할 수 있게 된다.

### VI. 부록



부록 그림 1. 전개된 센서들에 대한 유효경로들  
Append. fig. 1. Valuable routes for deployed sensors



부록 그림 2. 여러 다른 분포의 네트워크에 대한 다른 이벤트의 최적 경로 검출 예

Append. fig. 2. Examples of different optimal event detection for some different distributions of networks

### 참고문헌

- [1] Akyildiz, I. F. Akyildiz, Su. Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, Wireless sensor networks: a survey. Computer Networks, 38(4), pp. 393-422, March, 2002.
- [2] C. Siva Ram Murthy and B. S. Manoj, Ad Hoc Wireless Networks Architectures and Protocols, Prentice Hall, pp. 365-446, 2004.
- [3] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks, Proc. of IEEE Hawaii Int. Conf. on System Sciences, pp. 1-10, Maui, HI, Jan. 2000.
- [4] S. Lindsey, C. S. Raghavendra, "Data Gathering Algorithms in Sensor Networks Using Energy Metrics, IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems, vol. 13, no. 9, September 2002.
- [5] Liu Ya-nan, Wang Jian, Du He, ShaLi-jun, "Intracluster Key Sharing in Hierarchical Sensor Networks, IET on Wireless Sensor Systems, pp. 172-182, FEB., 2013.
- [6] W. Ye. J. Heidenmann, D. Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," Proc. IEEE INFOCOM, June, 2002.
- [7] B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan, "Span: An Energy-Efficient Coordination Algorithm for Topology Maintenance in Ad Hoc Routing," ACM Wireless Networks, vol.8, no. 5, Sep. 2002.
- [8] N. M. Abdul Latiff, C. C. Tsimenidis, B. S. Sharif, "Energy-Aware Clustering for Wireless Sensor Networks Using Particle Swarm Optimization," The 18<sup>th</sup> IEEE Int. Sympo. on Personal, Indoor and Mobile Comm., 2007.

- [9] Yin Wu, Wenbo Liu, "Routing Protocol Based on Genetic Algorithm for Energy Harvesting-Wireless Sensor Networks, Proc. IET of Wireless Sensor Systems, Vol. 3, Issue 2, pp. 112-118, 2013.
- [10] 송재민, 하찬성, 황지홍, 김태효, "정보 융합 칼만-Consensus 필터를 이용한 분산 센서네트워크 구현," 한국신호처리.시스템학회논문지, 14권 4호, pp. 243-248, 2013.



**김 태 효** (Tae-Hyo Kim)

正會員

1977. 2. 영남대학교(공학사)

1980. 8. 동 대학원(공학석사)

1988. 2. 동 대학원(공학박사)

1990. 12-1991. 12 미국 펜실베니아대학 Electrical Eng. 박사후과정

2007. 7-2008.7 미국 하와이대학 Electrical Eng. 해외파견 연구

주 관심분야: 영상처리, 센서네트워크, 영상계측

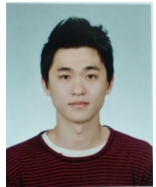


**주 연 정** (Yeon-Jeong Ju)

2012년 : 경남대 정보통신공학과  
학사 졸업

2014년 : 경남대학원 첨단공학과  
석사 과정

주 관심분야 : FPGA설계, 임베디드 시스템



**김 민 규** (Min-Kyu Kim)

2012년 : 경남대 정보통신공학과  
학사 졸업

2014년 : 경남대학원 첨단공학과  
석사 과정

관심분야 : 임베디드, 안드로이드



**오 호 석** (Ho-Seok Oh)

2012년 : 경남대 정보통신공학과 학사 졸업

2014년 : 경남대학원 첨단공학과 석사 과정

관심분야 : 임베디드 시스템 소프트웨어  
설계



**정 용 배** (Yong-Bae Jung)

(주)쉬운기술, 연구소장

2003.2. 경남대학교 정보통신 공학과  
졸업(공학사)

2006.8. 경남대학교 대학원 정보통신공학과  
졸업(공학석사)

2010.8. 동 대학원 정보통신공학과 졸업(공학박사)

관심분야: 영상처리, 컴퓨터비전, 센서네트워크 설계