

## 클러스터에 기반한 에너지 효율적 삼각모양 라우팅 프로토콜에 관한 연구

누 루 하야티\*, 이 경 오\*\*

### Research on An Energy Efficient Triangular Shape Routing Protocol based on Clusters

Nurhayati \*, KyungOh Lee \*\*

#### 요 약

무선 센서 네트워크는 제한된 에너지를 갖는 배터리에 의해 가동되며 한번 배치되면 사용자가 접근할 수 없고 배터리 교환이 불가능하다. 따라서 네트워크의 수명을 늘리기 위하여 네트워크 디자인 시에 에너지 효율성이 매우 중요하게 고려되어야 한다. BCDCP 기법에서는 모든 센서가 CH(클러스터 헤드)로 데이터를 보내고 CH는 BS(베이스 스테이션)로 취합된 데이터를 송신하는 효율적 클러스터링 프로토콜이지만 규모가 큰 네트워크에서는 적합하지 않으며 노드들의 물리적 위치를 고려하지 않기 때문에 효율성이 떨어진다. UCR 기법의 경우 BS와 노드들의 거리만을 고려하기 때문에 BS에 가까운 노드가 빨리 죽는 문제가 있다. 본 논문에서는 균형된 에너지 소비를 통하여 네트워크 수명을 늘리기 위한 삼각모양 클러스터 라우팅 프로토콜(TSCR- Triangular Shape Cluster Routing Protocol)을 제안한다. 본 기법은 비교적 간단하게 운영되기 때문에 헤드 선출에 필요한 오버헤드가 적고 센서들의 에너지 보유량뿐만 아니라 센서들과 BS간의 거리를 유기적으로 결합하여 리더 노드를 선정하기 때문에 다른 기법에 비해 효율적이다. 실험에 의하면 TSCR가 LEACH, BCDP, UCR보다 우수한 것으로 나타났다.

▶ Keyword : 무선 센서 네트워크, 라우팅 규약, 클러스터링, 에너지 효율

#### Abstract

In this paper, we propose an efficient dynamic workload balancing strategy which improves the performance of high-performance computing system. The key idea of this dynamic workload balancing strategy is to minimize execution time of each job and to maximize the system throughput by effectively using system resource such as CPU, memory. Also, this strategy

• 제1저자 : Nurhayati • 교신저자 : 이경오

• 투고일 : 2011. 05. 02, 심사일 : 2011. 06. 09, 게재확정일 : 2011. 07. 05.

\* 선문대학교 컴퓨터공학과(Dept. of Computer Engineering, Sunmoon University)

\*\* 선문대학교 컴퓨터공학과(Dept. of Computer Engineering, Sunmoon University)

dynamically allocates job by considering demanded memory size of executing job and workload status of each node. If an overload node occurs due to allocated job, the proposed scheme migrates job, executing in overload nodes, to another free nodes and reduces the waiting time and execution time of job by balancing workload of each node. Through simulation, we show that the proposed dynamic workload balancing strategy based on CPU, memory improves the performance of high-performance computing system compared to previous strategies.

▶ Keyword : Wireless Sensor Network, Routing Protocol, Clustering, Energy Efficiency

## I. 서론

무선 센서 네트워크의 센서 노드들은 제한된 컴퓨팅 리소스와 충분하지 못한 에너지를 가지고 있기 때문에, 무선 센서 네트워크 시스템을 설계하기 위해서는 에너지 효율적인 특성이 반드시 고려되어야 한다. 특히 센서 네트워크에서 무선 통신은 센서노드에서 소비되는 전체 에너지 중에서 가장 큰 비율을 차지하고 있기 때문에 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜이 필요하다. 현재 무선 센서 네트워크를 위한 많은 라우팅 프로토콜들이 제안되어 있으며, 이 라우팅 프로토콜들은 계층적 라우팅 프로토콜, 평면 기반 라우팅 프로토콜로 분류된다[1, 2, 3, 4].

무선 센서 네트워크의 통신은 각 노드들이 데이터를 중계해주는 형태로 구성된다. 이 경우 센서 노드에서 마지막으로 모든 정보를 수신 받는 BS(Base Station)까지의 전송 경로를 효율적으로 구성하여야 한다. 이러한 라우팅을 평면 기반 라우팅이라고 부른다. 또한 무선 센서 네트워크는 여러 개의 클러스터(cluster)로 분할할 수 있다. 각 클러스터는 클러스터 헤드(cluster head)라고 불리는 특별한 센서 노드와 클러스터 멤버(cluster member)라고 부르는 일반적인 센서 노드들로 이루어져있다[5]. 계층적 라우팅(hierarchical routing)은 클러스터 멤버에서 전송된 데이터 패킷(data packet)이 동일한 클러스터에 존재하는 클러스터 헤드를 통해서만 베이스 스테이션으로 전송된다[6, 7].

클러스터를 이용하여 라우팅을 하는 기법 중에 BCDCP[8, 9]가 잘 알려져 있다. BCDCP는 충분한 계산능력과 에너지를 가지고 있는 BS에서 클러스터를 구성하고 클러스터 헤드 노드 CH를 선정한다. 클러스터 헤드는 클러스터 내의 노드들로부터 정보를 수집한 후 헤드들끼리 전송경로를 구성하여 헤드 노드 중에 하나인 리더 노드가 최종 취합된 정보를 BS로 송신하는 방식이다. 하지만 BCDCP의 경우 규모가 큰 센서필드를 가지는 경우 센서들과 BS사이의 거리에 대한 고려가 없기 때문에 효율적인 운영이 어렵고 헤드 노드의 에너지 소모가

크기 때문에 일찍 수명을 다하는 문제가 있다. 또한 UCR[10] 기법의 경우 BS와 리더 노드 간의 거리를 고려하고 있지만 BS로부터 가까운 노드들이 자주 리더 노드로 선정됨으로 인해 빨리 수명을 다하는 문제가 있다.

본 논문에서 제안하는 기법은 단순하면서도 센서노드들과 BS의 거리와 노드의 에너지 잔량을 동시에 고려하여 리더 노드를 선정함으로써 리더 노드의 에너지 소모를 줄이고 헤드 노드의 역할을 분담함으로써 노드들의 에너지 소모를 균형 있게 만들어 전체적인 네트워크 수명을 늘릴 수 있다.

본 논문의 2장에서는 관련 연구가 기술되며 3장에서는 제안하는 기법의 주요 내용을 설명하고 4장에서는 실험결과를 보여주며 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

LEACH[11]는 그림 1에서 보는 바와 같이 클러스터 기반의 대표적인 프로토콜로서 분산된 다수의 클러스터를 가진다. LEACH기법은 BS(Base Station)는 센서노드들과는 떨어진 위치에 고정되어 있으며 무한한 계산 능력과 전력을 가지고 있으며 필드에 뿌려진 센서 노드들은 제한된 에너지와 제한된 계산 능력을 가지고 모든 센서 노드들은 동일한 속성을 가지는 것을 가정하고 있다. LEACH 기법에서는 클러스터 형태가 계속해서 변경되고 센서노드들 간에 스스로 클러스터 헤드(CH)를 선정하는 것이다. 그래서 선택된 클러스터 헤드 노드의 에너지 소모를 줄이고, 네트워크 전체 에너지 소모 부하를 센서 노드 간에 분산하여 전체적인 네트워크 수명을 늘린다. 그리고 데이터는 병합하여 BS(Base Station)에 전송하기 때문에 전송되는 데이터양도 적다. 먼저, 준비 단계에서는 클러스터 헤드를 선출한다. 클러스터 헤드의 선출은 각 노드가 정해진 확률과 수식에 의해 스스로 선출을 한다. 클러스터 헤드가 선출되고 나면, 클러스터 헤드는 광고 메시지를 방송하여 클러스터 멤버(CM)노드들을 모은다. 클러스터 멤버들은 자기의 클러스터 헤드를 통해 수집된 데이터를 BS로 전송하게 되는 것이다.

이후 안정화(Steady) 단계에서는 초기설정 단계에서 설정된 클러스터의 스케줄링에 따라 멤버노드가 CH에게 데이터를 전송한다. 전 멤버노드들은 평상시에 수면 상태로 있다가 자신의 전송시간이 되면 깨어나 데이터를 전송하고 다시 수면 상태로 돌아가기 때문에 전송이외 필요 없는 에너지 소모를 줄일 수 있다.

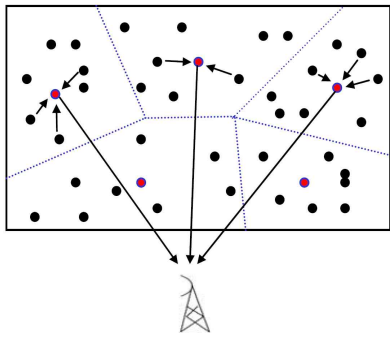


그림 1. LEACH 기법  
Fig.1. LEACH Algorithm

그림 1은 LEACH 기법의 기본 동작 원리를 보여주고 있다. 우선적으로 센서들을 클러스터로 그룹화한 후 자율적으로 클러스터 헤드를 선출하여 클러스터에 소속된 멤버 노드가 클러스터 헤드에게 데이터를 보내고 클러스터 헤드가 BS(Base Station)에게 직접 데이터를 보내는 방식이다. 이 기법은 기본적으로 모든 클러스터 헤드가 직접 BS와 교신하고 있기 때문에 클러스터 헤드의 에너지 소모가 많은 단점이 있으며 확률에 의한 헤드 선출방식은 클러스터 헤드가 특정지역에 몰리게 될 수 있는 위험을 내재하고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 BCDCP[8] 기법이 제안되었다. BCDCP는 LEACH와 마찬가지로 일단 필드에 있는 센서노드를 그룹화 하여 클러스터를 구성한다. LEACH가 센서들의 자율적인 방법으로 클러스터 헤드를 선정하는데 비해 BCDCP는 센서들의 모든 정보를 BS로 보내고 BS가 취합된 정보를 바탕으로 클러스터를 구성하고 클러스터 헤드를 선정하게 된다. 클러스터 헤드는 정해진 알고리즘에 의해 동일한 수의 센서 노드들이 위치할 수 있도록 구성된다. 그리고 어느 노드가 클러스터 헤드고 어느 노드가 멤버인지를 알려준다.

일단 클러스터가 구성되면 멤버 노드들은 수집된 정보를 클러스터 헤드로 보내게 되고 클러스터 헤드는 직접 BS로 취합된 정보를 보내는 것이 아니라 PEGASIS[11, 12] 기법에서와 마찬가지로 클러스터 헤드간의 체인을 구성하고 이 구성된 체인에 존재하는 클러스터 헤드 중 가장 적합한 노드를 리더

노드로 선정하여 BS로 정보를 보내게 된다.

BCDCP는 그림 2에서 보는 바와 같이 LEACH와는 달리 모든 클러스터 헤드가 멀리 떨어져 있는 BS와 교신하지 않고 클러스터 헤드끼리 최소 확장트리[14]를 만들고 루트에 있는 헤드 노드가 BS로 데이터를 전송하기 때문에 에너지를 절약할 수 있다. 하지만 BCDCP는 규모가 큰 무선 네트워크에서는 1홉 통신을 통한 클러스터 헤드와 멤버 노드들 간의 통신 효율이 떨어질 수 있으며 각 노드들의 거리 특성을 고려하지 않았기 때문에 효율성이 떨어질 수밖에 없고 리더 노드의 오버헤드가 크다는 단점이 있다.

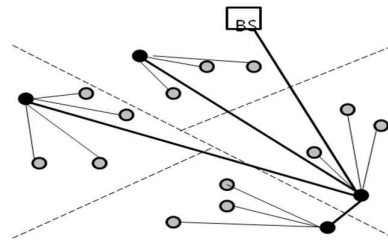


그림 2. BCDCP 기법  
Fig. 2. BCDCP Algorithm

UCR[10] 기법의 경우 BS와 노드들 간의 거리를 고려하여 전송 효율을 높이기 위한 기법이다. 일단 UCR의 경우 BS에서 가까운 클러스터의 경우 클러스터의 크기가 작아진다. 거리가 먼 클러스터의 헤드는 BS로의 거리가 가까운 클러스터 헤드로 데이터를 중계하여 주며 결국 BS에서 가장 가까운 클러스터의 헤드들이 BS로 데이터를 전송하게 된다. 직관적으로 BS로 전송하는 헤드 노드들이 BS와 가까이 있는 노드들이므로 전송에너지를 절약할 수 있다. 하지만 BS와 가까이 있는 노드들은 상대적으로 멀리 있는 BS로 자주 데이터를 전송해야 하기 때문에 에너지 소모가 많이 된다는 단점이 있다. UCR의 기본 개념도는 그림 3에 표시되어 있다.

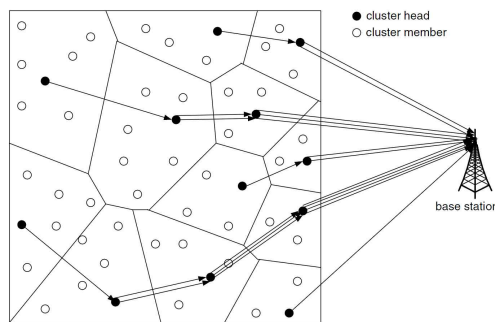


그림 3. UCR 기법  
Fig. 3. UCR Algorithm

### III. TSCRП 기법

본 장에서는 TSCRП(Triangular Shape Routing Protocol)에 대하여 설명한다. TSCRП는 다음과 같은 가정을 하고 있다.

1. BS는 센서 필드로부터 멀리 떨어져 있으며 한 번 설치된 센서 노드들은 움직이지 않는다.
2. 센서들의 능력은 동일하며 각각이 고유 ID를 가지고 있다.
3. 센서 노드들은 동작 모드와 수면 모드로 동작할 수 있다.
4. 센서들은 수신자와의 거리에 따라 송신 전파의 세기를 조정할 수 있다.

#### 1. 무선 전파 에너지 소비 모델

무선 전파 송신 장치는 송신기, 수신기, 전력 확대 장치로 구성되며 성능 확인을 위한 에너지 소비 모델[13, 14]은 다음과 같으며 사용된 인수들은 표1에 기술되어 있다.

표 1. 에너지 모델에 필요한 변수  
Table 1. Parameters required for the Energy Model

변수	설명
L	전송되는 메시지의 크기(비트)
$E_{elec}$	회로 소모 에너지
EDA	데이터 수집에 필요한 에너지
$\epsilon_{fs}$	자유공간 손실
$\epsilon_{mp}$	다중경로 손실
$d_0$	거리 임계값
k	클러스터 헤드 수
n	노드 총 수

L 비트 메시지를 거리 d까지 전송하기 위해 소비되는 노드의 에너지는 수식 (1)과 같으며 노드가 L비트의 메시지를 수신하기 위해 소비되는 에너지는 수식 (2)와 같다.

$$E_{Tx}(l, d) = \begin{cases} LE_{elec} + L\epsilon_{fs}d^2, & d \leq d_0 \\ LE_{elec} + L\epsilon_{mp}d^4, & d > d_0 \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

$$E_{Rx} = LE_{elec} \dots\dots\dots (2)$$

$$d_0 = \sqrt{\epsilon_{fs}/\epsilon_{mp}} \dots\dots\dots (3)$$

L 비트 메시지를 거리 d까지 전송하기 위해 소비되는 에너지는 수식 (1)에서 보는 바와 같이 전송하는 거리가 수식 (3)에서 구한 임계값인  $d_0$  보다 작다면 거리 제곱에 비례한 에너지가 소모되며, 임계값인  $d_0$  보다 크다면 거리 네제곱에 비례한 에너지가 소모된다.

메시지를 수신할 경우에는 단순히 메시지 크기에 비례한

에너지를 소모하게 된다. 즉 메시지의 크기에 회로를 구동하는데 드는 고정된 에너지를 곱하면 된다.

#### 2. 클러스터의 구성 및 라우팅

TSCRП에서는 클러스터의 구성 및 라우팅이 몇 가지 계층으로 이루어져 수행된다.

##### Step 1: 레벨 구성

제일 처음에 클러스터를 구분하기 위해 모든 노드는 일단 BS에게 정보를 발송한다. BS는 각 노드들로부터 온 정보와 전파의 세기를 이용하여 에너지 레벨을 구분한다. 그림 4에서는 4개의 에너지 레벨이 있는 것을 볼 수 있으며 이 에너지 레벨은 BS와의 거리에 의해 결정된다.

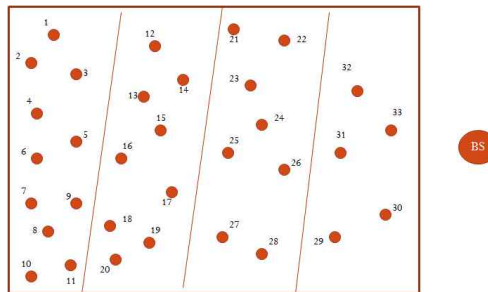


그림 4. 전파세기/거리에 따른 레벨 구분  
Fig.4. Leveling according to Radio Frequency Strength/Distance

##### Step 2: 삼각 그룹핑

각 레벨에 있는 노드들은 3개의 노드가 하나의 작은 그룹을 형성한다. 그리고 3개의 노드 중 에너지 잔량과 BS와의 거리를 고려하여 그림 5에서와 같이 루트 노드를 결정하게 된다. 사실 같은 에너지 레벨에 속한 노드들은 BS와의 거리가 거의 유사할 것이므로 각 노드가 가지고 있는 에너지의 잔량이 삼각 트리의 루트가 될 가능성이 매우 높다. 루트 노드는 자식 노드들로부터 전송된 정보를 취합하여 다른 루트 노드로 전송한다.

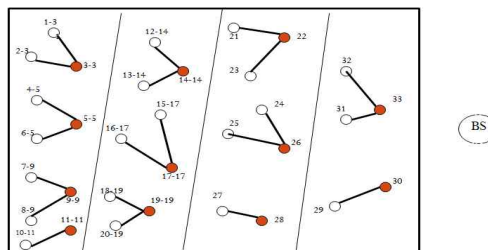


그림 5. 삼각 트리의 구성  
Fig.5. Construction of Triangular Tree

Step 3: 게이트웨이 노드의 선정 및 라우팅 경로 설정

일차적으로 한 레벨에 있는 루트 노드는 다른 레벨에 있는 루트 노드에 비해 가까이 위치할 가능성이 높으므로 그림 6에서와 같이 한 레벨에 존재하는 루트 노드끼리의 링크를 만들어 데이터를 증계하는 경로를 형성한다. 같은 레벨에 존재하는 루트 노드 중 에너지 잔량이 가장 많은 노드가 그 레벨의 데이터를 취합하여 다음 레벨로 전송하며 이러한 노드를 게이트웨이 노드라고 한다.

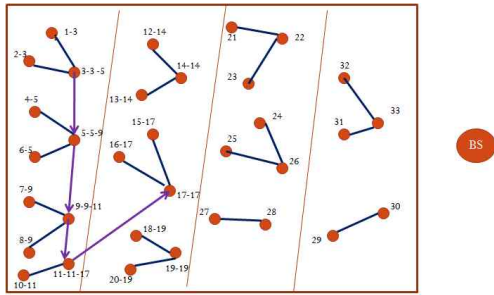


그림 6. 레벨 안에서의 경로 설정  
Fig.6. Making Routing Paths in a Level

일단 한 레벨의 게이트웨이 노드가 선정되면 그림 7에서 보는 바와 같이 그 레벨에 속한 모든 루트 노드는 그 게이트웨이 노드로 데이터를 보내게 되고 이 게이트웨이 노드는 다른 레벨에 존재하는 게이트웨이 노드에 데이터를 증계하게 된다.

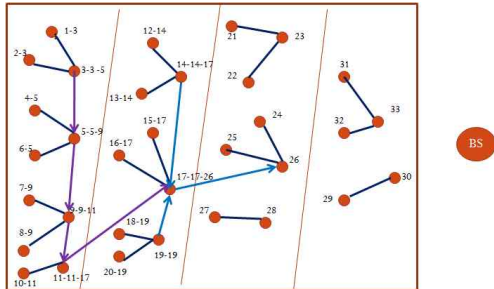


그림 7. 다음 레벨로의 경로 설정  
Fig.7. Making Routing Paths to the next Levels

Step 4: 리더 노드의 선정과 라우팅 경로의 확정

게이트웨이 노드 중에 에너지 잔량과 BS와의 거리를 고려하여 가장 적합한 노드를 리더 노드로 선정하게 되며 이 리더 노드는 모든 센서들의 데이터를 취합하여 BS로 데이터를 전송하게 된다. UCR[12]과 같은 기법에서는 BS에서 가장 가까운 레벨에 존재하는 게이트웨이 노드가 항상 데이터를 취합하여 멀리 있는 BS로 데이터를 전송하게 된다. 하지만 이 경우 BS에 가까이 있는 노드가 빨리 수명을 다할 가능성이 높아지

게 된다. 가장 에너지 잔량이 많은 노드나 BS에서 가장 가까운 노드를 리더노드로 선정하는 대신 다음의 간단한 수식을 이용하여 이 둘 모두를 고려할 수 있다.

$$\text{가중치} = \text{잔존 에너지 양} / \text{소속된 레벨} \dots\dots\dots (4)$$

여기서 소속된 레벨은 BS에 가장 가까운 레벨이 1이 되고 그 다음 레벨이 2가 된다. 이렇게 해서 계산된 가중치가 가장 높은 게이트웨이 노드가 리더 노드가 되는 것이다.

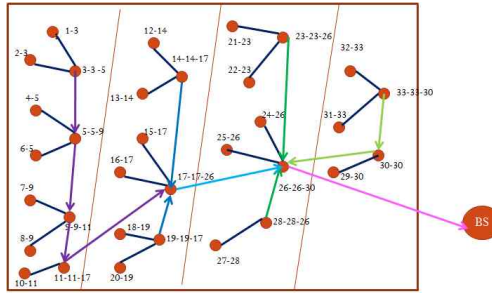


그림 8. 리더 노드의 선정과 데이터 전송  
Fig.8. Selecting a Leader node and data transmission

Step 5: 데이터의 전송

그림 8에서 보는 바와 같이 멤버 노드는 데이터를 감지하여 자신의 루트노드에게 전송하게 되고 루트 노드는 자신이 속한 레벨에 존재하는 게이트웨이 노드에게 데이터를 전송하며 게이트웨이 노드들은 구축된 경로를 따라 리더 노드에게 데이터를 전송하게 된다. 최종적으로 리더 노드는 멀리 떨어져 있는 BS에게 데이터를 전송하게 되는 것이다.

Step 6: 경로의 유지보수

일반 노드보다는 루트 노드가 에너지 소모가 더 많을 것이며 또 일반 루트 노드보다는 게이트웨이 노드의 에너지 소모가 더 많고 게이트웨이 노드 중에서도 리더 노드의 에너지 소모가 더 많게 된다. 루트 노드, 게이트웨이 노드, 리더 노드 모두 정해진 임계값보다 에너지 보유량이 적어지게 되면 노드들의 역할을 변경해야 한다.

- 루트 노드의 변경

루트 노드의 경우 삼각형 모양의 세 노드 중 다음으로 에너지가 많은 노드가 루트가 되게 된다. 이 경우 경로의 큰 변화는 없으나 레벨 안에서의 경로는 재설정해야 한다.

- 게이트웨이 노드의 변경

게이트웨이 노드를 변경하여야 하는 경우 현 레벨에 있으면서 현재 에너지 잔량이 가장 많은 노드가 게이트웨이 노드의 역할을 개시하게 되며 다른 레벨에 있는 노드들과 교신을

해야 하므로 변경된 사실을 통보하여 다른 레벨로 송수신하는 경로를 조정한다.

- 리더 노드의 변경

리더 노드의 에너지가 정해진 양보다 작아지게 되면 일단 리더 노드가 속한 레벨에서 다음으로 에너지가 많은 노드를 리더 노드가 속한 레벨의 게이트웨이 노드로 선정한다. 이후 모든 레벨의 게이트웨이 노드의 가중치 값을 수식 (4)에 의해서 계산하며 가장 높은 가중치 값을 가지는 게이트웨이 노드가 리더 노드로 선출된다. BS는 선출된 리더 노드를 이용한 라우팅 경로를 재구성하여 모든 노드들에게 전송하며 이후부터는 새롭게 구성된 경로를 통해 데이터들이 전송되게 된다.

모든 클러스터링 기법에서 클러스터 헤드노드나 리더 노드의 변경은 불가피하다. 본 논문에서 제시한 TSCRCP 기법은 국소적으로는 클러스터 헤드 노드에 해당하는 루트 노드를 변경할 경우 최소의 통신으로 이를 변경할 수 있기 때문에 다른 클러스터링 기법에 비하여 경로의 유지보수비용이 적게 든다.

또한 TSCRCP 기법의 경우 단순히 에너지 잔량만으로 리더 노드를 선정하는 것이 아니라 BS와의 거리까지 고려하여 가중치를 둬으로써 BCDCP 기법에 비해 우수한 성능을 보여 주었다. 또한 단순히 BS와 가까운 곳에 있는 노드가 리더 노드의 역할을 수행하게 되는 UCR 기법에 비해 BS와의 거리와 에너지 잔량을 동시에 고려함으로써 UCR보다 TSCRCP의 성능이 좋아지게 된다.

### IV. 실험 결과

본 장에서는 현재 효율적인 클러스터링 알고리즘으로 알려져 있는 BCDCP와 본 논문에서 제안한 TSCRCP와의 성능을 비교하였으며 사용된 주요 인수는 표2와 같다.

표 5. 실험 환경  
Table 2. Simulation Environments

항목	값
네트워크 필드 크기	(0,0) ~ (100, 100)m
BS의 위치	(150, 50) m
노드 수	100
각 노드의 초기 에너지	1J
데이터 패킷 사이즈	400 bit
Eelec	50nJ/bit
$\epsilon_{fs}$	10pJ/bit/m <sup>2</sup>
$\epsilon_{mp}$	0.013pJ/bit/m <sup>4</sup>
do	87m
EDA	5nJ/bit/Signal

그림 9에서는 LEACH, BCDCP, UCR과 TSCRCP의 에너지 소모량을 비교하였다. 수행 횟수가 증가할수록 TSCRCP가 더 적은 에너지를 소모하는 것을 알 수가 있으며 140 라운드 뒤에는 10%에서 25%까지 성능이 좋아지는 것을 알 수 있었다. 이는 TSCRCP가 다른 기법에 비해 헤드 선출에 드는 오버헤드가 적게 들고 노드의 에너지 잔량과 BS까지의 거리를 총체적으로 고려한데 따른 결과라 할 수 있다.

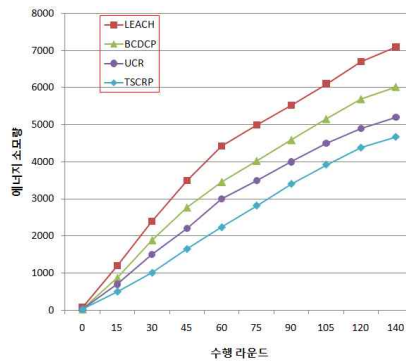


그림 9. 수행 라운드에 따른 에너지 소모량  
Fig.9. Average Energy Dissipation of Schemes

그림 10에서 보는 바와 같이 수행 횟수에 따라 살아있는 노드의 비율이 비교되었다. LEACH의 경우 20라운드, BCDCP는 39라운드, BCDCP의 경우 45 라운드, UCR은 58 라운드에서 최초로 수명을 다하고 사망한 노드가 발생하는데 비해 TSCRCP는 68 라운드에 사망한 노드가 최초로 발생하여 TSCRCP가 다른 기법에 비해 우수한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 이는 리더 노드와 게이트노드 그리고 루트 노드들이 선정될 때 BS와의 거리와 에너지 잔량을 동시에 고려하였기 때문에 이들 노드가 효율적으로 운영된 것에 기인하며 각각의 멤버 노드들도 루트노드나 게이트웨이 노드들이 인접한 위치에 있기 때문에 데이터 전송에 드는 에너지가 적게 필요하였기 때문으로 해석할 수 있다.

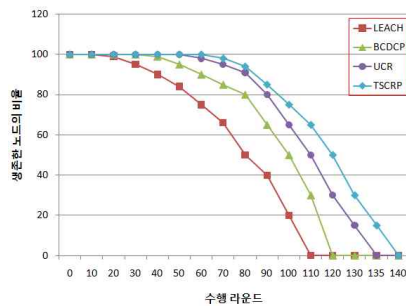


그림 10. 시간 경과에 따른 살아 있는 노드의 비율  
Fig.10. Percent of alive nodes according to the execution rounds

기본적으로 클러스터를 기반으로 한 기법들은 헤드노드 선출을 위한 메시지 교환, 경로 설정, 에너지 잔량 검사 등을 위한 오버헤드가 필요하며 이 점은 TSCRП 역시 마찬가지이다. TSCRП의 경우 헤드노드의 선출 횟수가 다른 노드에 비해 적게 설계되었기 때문에 결과적으로 경로 설정 및 에너지 잔량 검사 횟수가 줄어들게 되고 이로 인해 에너지 소모량이 다른 기법에 비해 적다고 분석할 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 간단하면서도 무선센서네트워크에서 모든 노드들이 오랫동안 살아남아 네트워크의 수명을 늘리기 위한 기법으로 클러스터에 기반한 TSCRП 기법을 제안하였다.

과거에 제안된 기법 중에 클러스터에 기반한 라우팅 기법은 LEACH, BCDCP, UCR 등 다양한 기법이 존재하였다. BCDCP는 효과적인 클러스터링 구성과 클러스터 헤드 CH의 라우팅 경로 설정 방법을 이용하여 센서네트워크의 효율성을 높이기 위한 우수한 기법이다. 하지만 BCDCP는 리더 노드를 선택할 때 BS와의 거리를 고려하지 않았기 때문에 리더 노드의 수명이 빨리 없어지는 문제가 있으며 CH 역시 단순히 잔존에너지가 많은 노드를 선정하여 운영하기 때문에 수명을 빨리 다하는 문제가 있었다. 또한 UCR의 경우 BS와 CH 간의 거리만을 중요한 요소로 고려하여 리더 노드를 선정하기 때문에 BCDCP보다는 효율적이지만 리더 노드와 가까이 있는 CH들이 빨리 수명을 다하는 문제가 있다.

TSCRП의 경우 삼각형 모양으로 클러스터를 간단하게 구성하고 이 중의 에너지 잔량이 가장 많은 노드가 CH의 역할을 수행하다가 CH의 잔존에너지 양이 임계값 이하로 떨어지면 멤버 노드와 역할 수행을 교환하는 방법으로 CH의 수명을 늘릴 수가 있어 노드들의 수명을 더 길게 가져갈 수 있으며 루트 노드의 역할 교환을 위한 오버헤드가 매우 적은 특징이 있다.

또한 센서 노드들이 BS로부터 얼마나 떨어져있는지에 따라 레벨로 구분하고 각 레벨마다 해당 레벨의 데이터를 수집하기 위한 게이트웨이 노드를 두며 게이트웨이 노드 중에 BS와의 거리와 에너지 잔량을 복합적으로 고려하여 리더 노드를 선정하기 때문에 TSCRП는 다른 기법에 비해 우수한 성능을 보여주고 있다.

향후 과제로 리더 노드를 선정할 때 사용되는 가중치 함수를 보다 최적화 하여 리더 노드를 보다 최적의 방법으로 적절하게 선택하고 결과적으로 네트워크 수명을 더 오래 유지할 수 있는 방법을 연구해 나갈 것이다. 또한 여러 센서들이 전파

를 발송하여 메시지를 주고받는 경우 이들 간의 간섭효과를 줄이는 기법과 유기적으로 결합하기 위한 방안도 연구되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] Jung-Eun Lee, Kieechon Kim, "Diamond-Shaped Routing Method for Reliable Data Transmission in Wireless Sensor Networks", International Symposium on Parallel Distributed Processing with applications (ISPA), pp. 799-801, 2008.
- [2] Stephanie Lindsey, Cauligi S. Raghavendra, "Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems", IEEE, Volume: 3, pp1125-1130, 2002
- [3] Adeel Akhtar, Abid Ali Minhas, and Sohail Jabba, "Energy Aware Intra Cluster Routing for Wireless Sensor Networks", pp29-47, Vol.3, No.1, January, 2010
- [4] Guo, L., B. Wang, Z. Liu and W. Wang, "An energy equilibrium routing algorithm based on cluster-head prediction for wireless sensor networks", Asian Network for Scientific Information, Vol9(7), pp1403-1408, 2010.
- [5] A. H. Azni, Madihah Mohd Saudi, Azreen Azman, and Ariff Syah Johari, "Performance Analysis of Routing Protocol for WSN Using Data Centric Approach", Engineering and Technology, pp. 199-204, 2009
- [6] Guangyan Huang, Xiawei Li, Jing He, "Dynamic Minimal Spanning Tree Routing Protocol for Large Wireless Sensor Networks", ICIEA, 2006.
- [7] H. Shen, "Finding the k Most Vital Edges with Respect to Minimum Spanning Tree," in Proceedings of IEEE Nat'l. Aerospace and Elect. Conf., vol. 1, pp.255-262, 1997.
- [8] S. D. Muruganathan, D. C. F. Ma, R. I. Bhasin, and A. O. Fapojuwu, "A Centralized Energy-Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks", IEEE Communications Magazine, vol.43, pp. 8-13, 2005.
- [9] W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, An application-specific protocol architecture for wireless micro sensor networks, IEEE Transactions on Wireless Communications 1(4), pp. 660-670, October, 2005
- [10] Guihai Chen, E Chengfa Li, E Mao Ye, E JieWu, "An unequal



cluster-based routing protocol in wireless sensor networks", Vol. 15 No.2, pp193-207, Feb. 2009

[11] Sung-Min Jung, Young-Ju Han, Tai-Myoung Chung, "The Concentric Clustering Scheme for Efficient Energy consumption in the PEGASIS", International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), Vol.1, pp.260-265, Feb. 2007.

[13] Tijs van Dam, Koen Langendoen, "An adaptive Energy-Efficient MAC protocol for wireless Sensor Networks", Sensys'03, pp. 171-180, November 2003

[13] P.Havinga and G. Smit. "Energy-efficient TDMA medium access control protocol scheduling", In Asian International Mobile Computing Conference (AMOC 2000), pp. 1-9, November 2000.

[14] H. Shen, "Finding the k Most Vital Edges with Respect to Minimum Spanning Tree," in Proceedings of IEEE Nat'l. Aerospace and Elect. Conf., vol. 1, pp.255-262, 1997.

### 저자소개



**누 루 하 야 티**  
 1994 : 인도네시아 Gunadarma 대학 정보공학과 학사.  
 2003 : 인도네시아 UIN 정보공학과 공학석사.  
 현 재 : 선문대학교 컴퓨터공학과 박사과정  
 관심분야 : 센서네트워크  
 Email : nurhayatibuslin@gmail.com



**이 경 오**  
 1989 : 서울대학교 계산통계학과 이학사.  
 1994 : 서울대학교 전산과학과 이학석사.  
 1999 : 서울대학교 전산과학과 이학박사.  
 현 재 : 선문대학교 컴퓨터공학과 부교수  
 관심분야 : 센서네트워크, 데이터 베이스, RFID 보안  
 Email : leeko@sunmoon.ac.kr