

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2015.15.3.155>

JIIBC 2015-3-23

무선센서네트워크에서의 에너지 효율적인 재클러스터링 알고리즘

An Energy Efficient Re-clustering Algorithm in Wireless Sensor Networks

박혜빈*, 정진우**

Hye-bin Park*, Jinoo Jung**

요약 무선 센서 네트워크에서 효율적인 에너지 소비는 매우 중요한 이슈이다. 해당 이슈에 대해서 최근 연구들에서는 클러스터 기반 라우팅 프로토콜들을 해법으로 제시하고 있다. 이러한 프로토콜에서는 클러스터 헤드의 에너지 고갈을 방지하기 위해 재클러스터링이 필요한데, 재클러스터링 과정에서 발생하는 오버헤드도 적지 않다. 지나치게 빈번한 재클러스터링으로 인한 오버헤드를 줄이기 위해서 본 연구에서는 클러스터 헤드와 에너지 임계값의 비교를 통해 재클러스터링의 빈도를 조절하는 알고리즘을 제안하였다. 클러스터 헤드가 에너지 임계값보다 높은 에너지 수준을 가지고 있을 경우 클러스터를 유지하여 재클러스터링으로 인한 오버헤드를 줄였고, 낮은 경우 재클러스터링을 하여, 클러스터 헤드의 수명을 최대한 연장하였다. 제안한 알고리즘을 시뮬레이션을 통해 평가하여 기존 알고리즘 대비 우수한 에너지 효율을 가지는 것을 확인하였다.

Abstract Efficient energy consumption is a one of the key issues in wireless sensor networks. Clustering-based routing algorithms have been popular solutions for such an issue. Re-clustering is necessary for avoiding early energy drain of cluster head nodes in such routing strategies. The re-clustering process itself, however, is another source of energy consumption. It is suggested in this work to adaptively set the frequency of re-clustering by comparing the energy levels of cluster heads and a threshold value. The algorithm keeps the clusters if all the cluster heads' energy levels are greater than the threshold value. We confirm through simulations that the suggested algorithm shows better energy efficiency than the existing solutions.

Key Words : Wireless Sensor Network, Cluster-based routing, Re-clustering, Energy efficiency

1. 서론

무선 센서 네트워크에서 센서 노드들은 제한된 에너지만을 사용할 수 있으며 따라서 이러한 네트워크에서는 효율적인 에너지 소비가 중요한 요소이다. LEACH^[6]는 이와 같은 요소를 염두에 두고 설계된 계층적 클러스터

링 알고리즘이다. 클러스터링을 통해 클러스터 헤드만이 Base Station(BS)과 직접 통신할 수 있도록 함으로써, 모든 노드들이 BS와 직접 통신하면서 야기되는 에너지 낭비를 줄일 수 있기 때문이다. 하지만, 클러스터 헤드가 다른 노드에 비해 많은 에너지를 소비하기 때문에 일찍 고갈된다. 이를 막기 위해 재클러스터링을 통해 클러스터

*준회원, 상명대학교 컴퓨터학과

**정회원, 상명대학교 컴퓨터학과(교신저자)

접수일자 2015년 4월 28일, 수정완료 2015년 5월 28일

게재확정일자 2015년 6월 12일

Received: 28 April, 2015 / Revised: 28 May, 2015 /

Accepted: 12 June, 2015

**Corresponding Author: jjoung@smu.ac.kr

Dept. of Computer Science, Sangmyung University, Korea

헤드를 교체하여 클러스터 헤드의 수명을 연장시키고 있다. 그러나 재클러스터링으로 인한 에너지 오버헤드가 적지 않기 때문에, 이를 줄이기 위한 다양한 연구들이 제시되었다^{[5][13]}. 최적화된 값을 구하거나^{[7][10][11]}, 클러스터 헤드 선출 알고리즘을 개선하거나^{[4][14][15]} 재클러스터링의 빈도^[8]를 조절함으로써 효율적인 에너지 소비를 통한 네트워크 수명 연장을 달성하려고 시도했다.

지나치게 빈번한 재클러스터링으로 인한 오버헤드를 줄이기 위해서 본 연구에서는 클러스터 헤드와 에너지 임계값의 비교를 통해 재클러스터링 여부를 결정하는 알고리즘을 설계하였다. 클러스터 헤드가 에너지 임계값보다 높은 에너지 수준을 가지고 있을 경우 클러스터를 유지하여 재클러스터링으로 인한 오버헤드를 줄였고, 낮은 경우 재클러스터링을 하여, 클러스터 헤드가 일찍 죽지 않도록 하였다.

다음 장에서는 무선 센서 네트워크에서 LEACH를 기반으로 하는 다양한 클러스터링 알고리즘을 소개하고, 3장에서는 새로운 알고리즘을 제안하고, 4장에서는 제안 알고리즘에 대한 성능평가를, 5장에서는 결론과 향후 연구방향을 제시한다.

II. 관련연구

1. LEACH

LEACH는 계층적 클러스터링 알고리즘을 사용하며 모든 센서 노드가 BS와 직접 통신하는 직접 통신 프로토콜보다 7배 이상 효율적이라고 한다. 하나의 클러스터는 하나의 클러스터 헤드와 다수의 일반 노드로 구성된다. 클러스터 헤드는 클러스터 내 모든 노드에게 데이터를 전송 받아 집약하여 BS에게 전달한다. LEACH는 라운드 단위로 동작하는데, 하나의 라운드는 클러스터링이 일어나는 셋업 단계와 데이터의 송수신이 발생하는 스테디 단계로 이뤄져 있다. 셋업 단계에서 각 노드는 스스로 클러스터 헤드가 될지를 결정하는 데, 이는 아래의 식으로 구한 임계값과 노드가 생성한 0~1 사이의 무작위 값의 비교를 통해 결정된다.

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P \times (r \bmod \frac{1}{P})} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

이때, P는 전체 노드 중에서 몇 퍼센트를 클러스터 헤드로 선출할 지를 r은 현재 라운드를 G는 지난 1/P 라운드 동안 클러스터 헤드가 되지 않은 노드의 집합을 나타낸다.

그러나 LEACH는 랜덤 확률을 기반으로 하기 때문에 한 라운드에서 선출될 클러스터의 수나 위치를 예측할 수 없다. LEACH의 한계를 개선하기 위해서 많은 클러스터링 알고리즘이 제시되었다^[5]. 이들은 LEACH처럼 랜덤 확률을 기반으로 노드의 다른 특성(잔여 에너지, 이웃 노드의 수 등)을 고려하여 네트워크의 수명을 연장하려고 하였다. 다양한 방법으로 최적화된 P를 구하거나 클러스터 헤드가 일찍 죽어서 해당 클러스터가 네트워크 내에서 고립되지 않도록 하는 방향으로 연구되었다.

2. 최적화된 P를 구하는 알고리즘

LEACH-B^[10]는 최적화된 클러스터 헤드의 수를 구하여 LEACH를 향상시키려 한 알고리즘으로 임계값과 각 노드가 생성한 0~1 사이의 무작위 값의 비교를 통해 선출이 진행되는 점은 동일하다. 하지만, 여기서 선택된 노드는 바로 클러스터 헤드가 되는 것이 아니라 잔여 에너지에 따라 내림차순으로 정렬된 후 상위 (전체 센서 노드의 수)*P개 만이 클러스터 헤드로 선출된다. 최적화된 클러스터 헤드 수를 유지하여 네트워크의 수명은 연장시켰지만, 클러스터 헤드 선출과정에서 추가적인 오버헤드를 피할 수 없다. LEACH-GA^[7]는 유전 알고리즘을 기반으로 한 클러스터링 알고리즘으로 클러스터 헤드의 최적화된 퍼센트를 구하여 클러스터 헤드 선출과정에 적용하려고 했다. 그러나 이 알고리즘은 BS가 잔여 에너지를 기반으로 클러스터 헤드를 선출하기 때문에 BS가 많은 오버헤드를 부담한다. FL-LEACH^[11]는 LEACH 프로토콜에 퍼지 논리를 적용한 알고리즘으로 적당한 P를 구하여 네트워크의 수명을 연장시키려 했다. 그러나 퍼지화와 역퍼지화 과정이 복잡하며, 정확한 계산이 필요하다.

3. 잔여 에너지 기반 클러스터 헤드 선출

LEACH-C^[14]는 클러스터 헤드 선출과정에서 클러스터 헤드를 노드가 아닌 BS가 선출하는 알고리즘이다. BS는 모든 노드의 잔여 에너지와 위치를 알고 있어서 이를 바탕으로 적절한 노드를 클러스터 헤드로 선출한다. 이 알고리즘은 LEACH에 비해 네트워크의 수명을 연장시켰지만, BS가 추가적인 오버헤드를 가지며, 네트워크

규모가 크면 적용할 수 없다. EWC^[4]는 LEACH를 기반으로 하지만, 잔여 에너지, 위치, 이웃의 수 등 다양한 특성을 기반으로 클러스터 헤드를 선출한다. 네트워크의 수명은 연장시키지만, 클러스터 헤드를 선출하기 위해서 훨씬 더 많은 에너지가 소비된다. NECHS^[15]는 클러스터 헤드 선출 과정에 퍼지 이론을 사용한 알고리즘으로 입력적으로는 노드의 잔여 에너지와 이웃의 수를 주었다. 클러스터 헤드 선출과정에서 에너지의 효율성을 달성했지만, 모든 노드들이 클러스터에 속한다는 보장을 주지는 못한다.

4. 클러스터 헤드 선출 회피

EECED^[12]는 LEACH와 비슷하게 라운드를 기반으로 동작하는 알고리즘으로 클러스터링 단계와 데이터 전송 단계로 이뤄진다. 클러스터링 단계는 LEACH와 달리 한번만 이뤄지며, 데이터 전송 단계도 이벤트가 발생하여 전송할 데이터가 존재할 경우에만 이뤄진다. LEACH와 비교하여 훨씬 덜 에너지를 소비하지만, 처음 클러스터링 단계에서 모든 노드들이 균등하게 에너지를 소비하도록 클러스터를 구성하는데 많은 오버헤드가 발생한다.

ECHSSDA^[9]는 LEACH와 기본적인 골격은 동일한 알고리즘으로 처음 클러스터링은 LEACH와 동일하게 진행한다. 데이터 송수신으로 센서 노드의 에너지 수준이 달라지면, BS는 모든 클러스터 헤드의 에너지 수준을 검사한다. 이때 어떤 클러스터 헤드가 그것이 속한 클러스터의 전체 노드의 평균 에너지 수준보다 낮은 에너지 수준을 가지고 있다면, 재클러스터링은 하지 않고, 클러스터 내에서 가장 높은 에너지 수준을 가진 노드를 부 클러스터 헤드로 임명하여 클러스터 헤드가 해왔던 역할을 맡게 된다. 이 알고리즘은 재클러스터링을 회피하여 클러스터링으로 발생하는 오버헤드를 감소시켰지만, 초기에 제대로 네트워크가 클러스터링 되지 않는다면, 오히려 LEACH보다 낮은 성능을 낼 수 있다.

DERC^[8]는 노드마다 다른 에너지 수준을 가지고 있다고 가정된 알고리즘으로 재클러스터링을 R을 구하여, 매 R DCR마다 재클러스터링을 수행하여 빈번한 재클러스터링을 하여 발생하는 오버헤드를 줄이려 했다. 이때 DCR은 노드들이 데이터를 송수신하는 단계로 LEACH의 스테디 단계와 유사하다.

III. 에너지 효율적인 재클러스터링 알고리즘

본 연구에서는 LEACH를 기반으로 하여, 클러스터 헤드의 잔여 에너지 수준에 대한 에너지 임계값을 구해 재클러스터링 빈도를 조절함으로써 네트워크의 수명을 증진시키고자 한다. 제안하는 알고리즘은 LEACH를 기반으로 하기 때문에, 많은 부분 LEACH의 구조를 따른다.

셋업단계에서는 랜덤확률로 클러스터를 선출하고 선출된 클러스터헤드를 기준으로 클러스터가 생성된다. 이때, 각 클러스터 헤드는 BS에게 자신의 잔여 에너지 수준을 전송하고, BS는 이를 바탕으로 각 클러스터 헤드의 에너지 임계값 T를 계산한다.

$$T_{CH} = \text{change rate} \times E_{CH} \quad (2)$$

여기서 change rate는 0과1사이의 값으로 1에 가까울수록 재클러스터링을 빈번하게 하는 것을, 0에 가까울수록 재클러스터링을 거의 하지 않는 것을 의미한다.

스테디 단계에서는 TDMA 스케줄에 따라 노드 간 데이터의 송수신이 일어난다. 스케줄을 마친 클러스터의 클러스터 헤드는 BS로 자신의 잔여 에너지 수준을 전송하고 대기한다. BS는 도착한 데이터를 해당 클러스터 헤드의 에너지 임계값 T와 비교하여, T보다 낮은 에너지 수준을 가진 클러스터 헤드를 기록한다. 모든 클러스터 헤드에 대해 검사를 한 후 에너지 미달로 기록된 클러스터 헤드가 1개 이상이면, 네트워크에 재클러스터링을 하라는 신호를 보낸다. 0개이면, 모든 클러스터 헤드에 활성화 신호를 보내서 TDMA 스케줄에 맞춰 스테디 단계를 진행하게 한다. 본 연구에서 제안하는 알고리즘을 정리하면 다음과 같다.

```

Input : a x b 크기의 네트워크에 대한 정보
        n개의 센서 노드에 대한 정보,
        라운드에 대한 정보
Output : 네트워크의 수명이 끝났을 때
        라운드에 대한 정보
void start(network, node, round)
{
    while(number of live node > network lifetime)
    {
        clusterModel =
            clusterHeadSelection(network,node, round);
        clusterModel =
            clusterJoinRequest(clusterModel, node);
        while(all cluster head's energy level is
            higher than their energy threshold)
        {
            clusterModel =
                steadyStage(clusterModel, round);
        }
        node = clusterModel.node;
    }
}
    
```

IV. 실험 및 결과

성능 평가를 위해 MATLAB을 사용하였고, 100m x 100m의 공간에 100개의 센서 노드가 무작위적으로 분포한 네트워크를 사용하였다. 네트워크에서 센서 노드는 아래의 그림 1과 같이 분포해 있다. 각 노드는 처음에 0.5J 정도의 에너지를 가지고 있다고 가정하고, 에너지 수준이 0에 도달하면 죽은 것으로 여긴다. 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 성능평가의 결과는 LEACH와 ECHSSDA 프로토콜과 비교되었다.

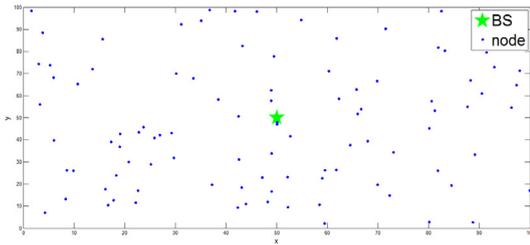


그림 1. 무선센서네트워크
Fig. 1. wireless sensor network

1. 실험을 위한 설정^[1]

성능평가를 위해 다음과 같이 가정한다.

- 1) 모든 센서노드는 동질적이며 제한된 에너지를 가진다.
- 2) 노드는 100m x 100m 공간에 무작위로 배치되었고, 움직이지 않는다.
- 3) BS는 네트워크의 중앙에 위치한다^[3].
- 4) 노드는 클러스터 헤드와 싱글홉으로 통신한다.
- 5) 파라미터는 아래의 표1과 같다.

표 1. 실험 파라미터^{[1][6][8]}

Table 1. Simulation Parameters

Parameter	Value
네트워크 크기	100m X 100m
전체 노드의 수	100
비트당 송수신 에너지	50nJ/bit
비트당 증폭 에너지	100pJ/bit/m ²
비트당 데이터 처리 에너지	5nJ/bit
패킷 길이	2000bits
제어 패킷 길이	200bits
데이터 압축율	60%

2. 에너지 모델

성능평가를 위한 에너지 모델은 1차 무선 전차 모델이

다^[6]. 센서 노드는 데이터를 송수신하기 위해 $E_{elec}=50nJ/bit$ 을 사용하고 증폭을 위해 $E_{amp}=100pJ/bit$ 을 사용한다. 그러므로 한 노드가 k비트 메시지를 송수신하기 위해 소비되는 에너지는 다음의 식을 통해 구해진다.

$$E_{trans} = E_{elec} \times k + E_{amp} \times k \times d^2 \quad (3)$$

$$E_{rec} = E_{elec} \times k \quad (4)$$

3. 네트워크 수명^[2]

네트워크 수명은 센서 네트워크를 평가하는 중요한 지표다. 네트워크 수명을 어떻게 정의하느냐에 따라 그 센서 네트워크의 성능에 대한 평가가 달라질 수 있다. 일반적으로 네트워크 수명은 네트워크 설치 후 첫 노드가 죽을 때까지의 기간으로 정의하지만 전체 노드 중 x%의 노드가 죽을 때까지로 정의할 수도 있다^[2]. 본 논문에서는 네트워크 수명을 1)첫 노드가 죽었을 때(L=1), 2)10% 노드가 죽었을 때(L=10), 3)50% 노드가 죽었을 때(L=50)까지로 각각 정의하여 성능을 평가하였다. 다음은 100번의 성능평가 후 평균과 표준편차를 구한 것이다.

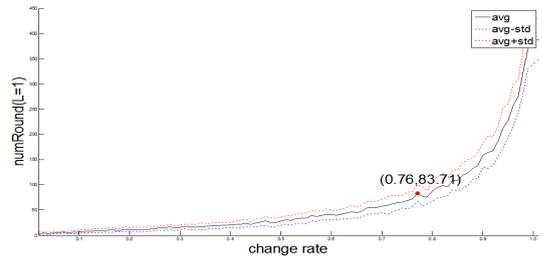


그림 2. 첫 노드가 죽을 때까지 라운드의 수 vs. change rate

Fig. 2. number of rounds until the 1st node dead vs. change rate

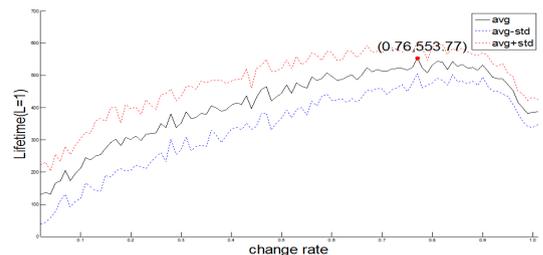


그림 3. 네트워크 수명 vs. change rate

Fig. 3. lifetime(L=1) vs. change rate

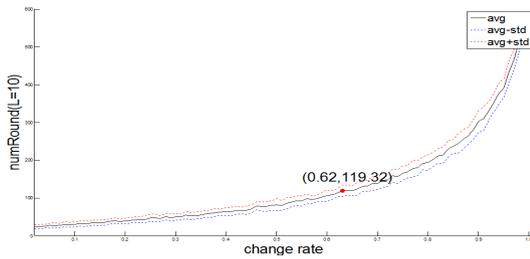


그림 4. 10번째 노드가 죽을 때까지 라운드의 수 vs. change rate
 Fig. 4. number of rounds until the 10th node dead vs. change rate

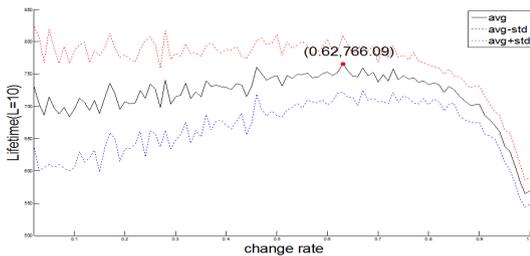


그림 5. 네트워크 수명 vs. change rate
 Fig. 5. lifetime(L=10) vs. change rate

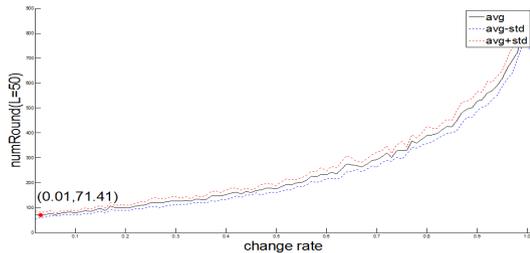


그림 6. 50번째 노드가 죽을 때까지 라운드의 수 vs. change rate
 Fig. 6. number of rounds until the 50th node dead vs. change rate

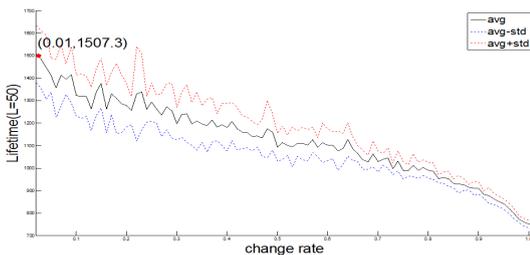


그림 7. 네트워크 수명 vs. change rate
 Fig. 7. lifetime(L=50) vs. change rate

표 2. 실험 결과

Table 2. Simulation Results

	optimal change rate	round	stage
L=1	0.76	83.71	553.77
L=10	0.62	119.32	766.09
L=50	0.01	71.41	1507.33

4. ECHSSDA 알고리즘과 비교

제안하는 알고리즘을 성능 평가하기 위해서 ECHSSDA 알고리즘^[9]과 성능을 비교한다. 성능을 비교하기 위해서 앞서 성능평가를 하기 위해 사용했던 환경을 그대로 ECHSSDA 알고리즘에 적용하였다. 네트워크 수명은 1%, 10%, 50%의 노드가 죽을 때로 정의했으며, change rate은 각 네트워크 수명에 대한 최적화된 값을 적용하였다. 다음은 100번의 성능 평가를 하여 나온 결과의 평균이다.

표 3. ECHSSDA vs. 제안 알고리즘

Table 3. ECHSSDA vs. proposed algorithm

	ECHSSDA	제안 알고리즘 (CR=0.01)	제안 알고리즘 (CR=0.62)	제안 알고리즘 (CR=0.76)
L=1	47.49	130.25	495.29	553.77
L=10	634.90	729.83	766.09	744.33
L=50	1411.66	1507.33	1085.75	1012.70

표 3을 보면 L=1일 때, 제안 알고리즘은 2배에서 11배 정도의 성능을 보인다. L=10일 경우, 1.14~1.17배 정도의 성능을 보인다. 하지만, L=50일 때를 보면, change rate의 선택에 따라 제안 알고리즘이 항상 ECHSSDA보다 우수하지는 않다는 것을 보여준다. 각 네트워크 수명에 대해 최적화된 change rate을 적용한다면, 제안 알고리즘은 ECHSSDA보다 더 좋은 성능을 보인다.

V. 결론

본 연구를 통해 무선 센서 네트워크에서 LEACH를 기반으로 하는 다양한 클러스터링 알고리즘을 살펴보았다. LEACH와 같이 빈번하게 재클러스터링을 하는 알고리즘은 재클러스터링을 위해 많은 오버헤드가 발생한다. 반면 ECHSSDA와 같이 네트워크 설치 후 1번만 클러스

터링을 하는 알고리즘은 재클러스터링에 대한 오버헤드를 줄였지만, 클러스터링이 제대로 되지 않을 경우 LEACH에 비해 낮은 성능을 낼 수도 있다. 따라서 이번 연구에서 우리는 클러스터 헤드의 잔여 에너지 수준에 대한 에너지 임계값을 구하여 재클러스터링의 빈도를 조절하는 알고리즘을 설계하였다. 알고리즘은 MATLAB으로 성능을 평가했고, LEACH와 ECHSSDA보다 더 좋은 성능을 내었다.

제안 알고리즘은 LEACH를 기반으로 했기 때문에, 기존에 LEACH가 가지고 있는 문제들을 그대로 내포하고 있다. LEACH는 모든 노드들이 동질적이라고 가정하지만, 이는 실제 무선 센서 네트워크 환경과는 괴리가 있다고 볼 수 있다. 노드들은 서로 다른 에너지 수준을 가질 수 있고, 서로 다른 기능을 수행할 수도 있다. 따라서 차후의 연구에서는 이질적인 센서 노드들이 분포하고 있는 무선 센서 네트워크에 제안 알고리즘을 도입하는 방안을 고려한다.

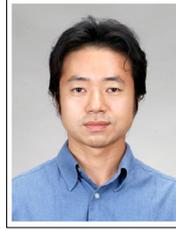
References

- [1] B. Hemappa, Manjaiah D. H, Rabindranath Bera, and Shylaja B. T. "An Energy-Efficient Re-Clustering and Data Reporting Algorithm for Energy Constrained Wireless Sensor Network." *International Journal of Computer Applications* 85 (2014): 38-44.
- [2] Dietrich, Isabel, and Falko Dressler. "On the lifetime of wireless sensor networks." *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)* 5.1 (2009): 5.
- [3] Dongmin Choi, Seongyeol Kim, and Ilyong Chung. "Impact of Sink Node Location in Sensor Networks: Performance Evaluation" *Journal of Korea Multimedia Society*, 8. 8 2014.
- [4] D. Q. Lu Cheng and W. Wu, "An energy efficient weight-clustering algorithm in wireless sensor networks," in *Proc. Japan-China Joint Workshop on Frontier of Computer Science and Technology*, IEEE Computer Society, 2008.
- [5] Hani, Raed M. Bani, and Abdalraheem A. Ijeh. "A survey on leach-based energy aware protocols for wireless sensor networks." *Journal of Communications* 8.3 (2013): 192-206.
- [6] Heinzelman, Wendi Rabiner, Anantha Chandrakasan, and Hari Balakrishnan. "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks." *System sciences*, 2000. *Proceedings of the 33rd annual Hawaii international conference on. IEEE*, 2000.
- [7] J. L. Liu and C. V. Ravishankar, "LEACH-GA: Genetic algorithm-based energy-efficient adaptive clustering protocol for wireless sensor networks," *International Journal of Machine Learning and Computing*, vol. 1, no. 1, 2011.
- [8] Jin, Yichao, et al. "A distributed energy-efficient re-clustering solution for wireless sensor networks." *Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2011)*, 2011 IEEE. IEEE, 2011.
- [9] Maraiya, Kiran, Kamal Kant, and Nitin Gupta. "Efficient cluster head selection scheme for data aggregation in wireless sensor network." *International Journal of Computer Applications* 23.9 (2011): 10-18.
- [10] M. Tong, "LEACH-B: An improved LEACH protocol for wireless sensor network," in *Proc. 6th International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM)*, Shanghai, China, 2010
- [11] O. Banimelhem, E. Taqieddin, F. Awad, M. Mowafi, and F. Al-Ma'aqbeh, "Fuzzy logic based energy efficient adaptive clustering protocol," in *Proc. 3rd International Conference on Information and Communication Systems*, Irbid, Jordan, 2012.
- [12] O. K. Buyanjargal, "An energy efficient clustering algorithm for event-driven wireless sensor networks (EECED)," in *Proc. Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC, NCM '09*, Seoul, South Korea, 2009.
- [13] Ramesh, K., and Dr K. Somasundaram. "A comparative study of clusterhead selection

algorithms in wireless sensor networks." arXiv preprint arXiv:1205.1673 (2012).

- [14] X. H. Wu and S. Wang, "Performance comparison of LEACH and LEACH-C protocols by NS2" in Proc. 9th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering and Science, Hong Kong, China, 2010, pp.254-258.
- [15] X. Shen, Z. Kang, and Yu Hu, "Energy-efficient cluster head selection in clustering routing for wireless sensor networks," in Proc. 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCom, 2009.
- [16] Kwon, Soon-Il, and Il-Soon Roh. "A Head Selection Algorithm with Energy Threshold in Wireless Sensor Networks." Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication vol. 9, no. 6, 2009
- [17] Jang, Beakcheol. "Lifetime-based Clustering Communication Protocol for Wireless Sensor Networks." Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society 15.4 (2014): 2370-375

정진우 (정회원)



- 1997년 : NYU Polytechnic Institute 졸업 (Ph.D in EE)
- 1997 ~ 2005년 : 삼성종합기술원 재직
- 2005 ~ 현재 : 상명대학교 컴퓨터과 학과 부교수

<주관심분야 : 유무선 네트워크, SoC design, Embedded system>

저자 소개

박혜빈 (준회원)



- 2012년 ~ 현재 : 상명대학교 컴퓨터 과학과 재학 중
- <주관심분야 : 유무선 네트워크>

※ 본 연구는 상명대학교 교내연구비를 지원받아 수행하였음.
This research was supported by a Research Grant from Sangmyung University.