

## 계층적 라우팅 경로를 제공하는 에너지 균등분포 클러스터 센서 네트워크

우매리

영남신학대학교 컴퓨터교양

### Energy Balancing Distribution Cluster With Hierarchical Routing In Sensor Networks

Mary Wu

Dept. Of Computer Culture, Yongnam Theological University and Seminary

**요약** 효율적인 에너지 관리는 제한된 자원을 가지는 센서 네트워크에서 매우 중요한 요소이며, 클러스터 기법은 그러한 관점에서 많은 연구가 이루어지고 있다. 그러나, 클러스터 헤더의 에너지 사용이 집중되는 문제가 발생할 수 있으며, 클러스터 헤더가 전 영역에 골고루 분포되지 않고 특정 영역에 집중되는 경우, 클러스터 멤버의 전송 거리가 크거나 매우 불균등한 상태가 될 수 있다. 전송거리는 에너지 소모의 문제와 직결될 수 있다. 특정 노드의 에너지가 빨리 고갈되는 것은 센서 네트워크 생존 기간을 줄이고, 전체 센서 네트워크의 효율이 저하되므로 센서 노드들의 균등한 에너지 소모는 매우 중요한 연구과제이다. 본 연구에서는 센서 클러스터 기법에서 클러스터 헤더와 센서 노드가 에너지를 균등하게 사용하기 위한 요소들을 분석하고, 클러스터 헤더가 센서 네트워크 전역에 골고루 분포하는 균등분포 클러스터링을 제안한다. 제안하는 클러스터 기법은 멀티홉 라우팅을 사용하여 원거리 전송으로 인한 센서 노드의 에너지 소모를 줄인다. 기존 연구에서 멀티홉 클러스터 기법은 클러스터 구성과 라우팅 경로 설정의 2단계 과정을 통해서 멀티홉 클러스터 경로를 설정하는 반면, 제안하는 방식은 클러스터 헤더를 선출하는 과정에서 클러스터 라우팅 경로를 설정하여 제어 메시지 과정을 최소화한다.

• 주제어 : 에너지 균등 분포, 생존기간, 클러스터 센서 네트워크, 거리분산, 에너지 효율적 라우팅

**Abstract** Efficient energy management is a very important factor in sensor networks with limited resources, and cluster techniques have been studied a lot in this respect. However, a problem may occur in which energy use of the cluster header is concentrated, and when the cluster header is not evenly distributed over the entire area but concentrated in a specific area, the transmission distance of the cluster members may be large or very uneven. The transmission distance can be directly related to the problem of energy consumption. Since the energy of a specific node is quickly exhausted, the lifetime of the sensor network is shortened, and the efficiency of the entire sensor network is reduced. Thus, balanced energy consumption of sensor nodes is a very important research task. In this study, factors for balanced energy consumption by cluster headers and sensor nodes are analyzed, and a balancing distribution clustering method in which cluster headers are balanced distributed throughout the sensor network is proposed. The proposed cluster method uses multi-hop routing to reduce energy consumption of sensor nodes due to long-distance transmission. Existing multi-hop cluster studies sets up a multi-hop cluster path through a two-step process of cluster setup and routing path setup, whereas the proposed method establishes a hierarchical cluster routing path in the process of selecting cluster headers to minimize the overhead of control messages.

• Key Words : Energy blancing distribution, Life time, Cluster sensor network, Distance variance, Energy-efficient routing

Received 05 June 2023, Revised 14 August 2023, Accepted 30 August 2023

\*Corresponding Author Mary Wu, Dept. Of Computer Culture, Yongnam Theological University and Seminary, 26, Bonghoe 1-gil, Jillyang-eup, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do, Republic of Korea. E-mail: mary-wu@hanmail.net

## I. 서론

무선 센서 네트워크는 센싱 기능, 계산 기능, 무선 통신 기능 등을 가지는 무선 센서 노드들로 구성되고, 센서 노드는 주위 환경을 감지하여 센싱한 데이터를 무선 통신을 통해서 싱크 노드로 전송한다. 싱크 노드에서 수집한 데이터는 보안 지역에서 침입 탐지, 온도와 습도 등의 환경 모니터링, 군사 지역에서 적군 탐지 등 다양한 용도로 사용된다. 센서 노드는 배터리에 의존하여 에너지 공급이 제한되므로 센서 노드의 에너지 자원이 고갈될 때, 해당 지역에 대한 데이터 수집이 중단되고, 전송경로도 손실되어 센서 데이터 QoS에 나쁜 영향을 가져온다. 따라서, 센서 노드의 한정된 자원을 효율적으로 사용하는 것은 센서 네트워크에서 매우 중요한 이슈로 연구되고 있다[1-5].

인접한 센서 노드는 유사한 센싱 데이터를 수집하여 모든 센서 노드가 데이터를 전송할 때, 불필요한 중복 데이터가 전송될 수 있다. 이러한 관점에서 에너지의 효율적 사용을 위한 클러스터 기법이 많이 연구되고 있다. 클러스터 기법은 클러스터 헤더가 일정한 영역에 속한 멤버 노드들의 데이터를 수집하고 집약한 데이터를 대표해서 싱크로 전송하는 기법이다. 클러스터 멤버 노드들은 싱크로 데이터를 전송하지 않고, 클러스터 헤더에게만 전송하여 클러스터 멤버의 에너지 사용을 줄이고, 유사 정보의 중복 전송으로 인한 에너지 소모를 최소화한다[3-5].

센서 네트워크의 전체 관점에서 에너지 사용을 최소화하는 것이 중요하지만, 그러한 방법을 사용할 때 특정 센서 노드의 에너지가 과중하게 사용되면 해당 센서 노드의 에너지가 빨리 고갈된다. 따라서, 센서 네트워크의 생존기간을 늘리고 성능향상을 위해서 센서 네트워크에서 노드의 에너지를 효율적으로 사용하는 것뿐만 아니라 센서 노드의 에너지 사용을 균등하게 하는 것이 매우 중요하다. 특정 센서 노드의 배터리가 소진되는 것을 미리 방지하고, 센서 노드들의 에너지 소모를 비슷하게 유지하는 것을 로드 밸런싱(Load Balancing)이라고 하는데, 로드 밸런싱을 고려한 에너지 균등적인 라우팅 프로토콜이 많이 연구되고 있다[6-7].

## II. 연구배경 및 분석

클러스터 기법에서 특정 센서 노드의 에너지가 빨리 소진되는 경우는 다음과 같은 경우에 발생한다.

### 2.1 클러스터 멤버의 개수가 많은 경우

클러스터 헤더가 많은 수의 클러스터 멤버를 관리하면, 멤버로부터 데이터를 수신하고, 받은 데이터를 전송하는데 많은 에너지가 사용되고, 이로 인해서 클러스터 헤더의 에너지가 빨리 소진될 수 있다.

### 2.2 클러스터 멤버와 헤더 간의 거리가 큰 경우

클러스터 헤더로부터 거리가 먼 클러스터 멤버 노드가 클러스터 헤더로 센서 데이터를 전송할 때 많은 에너지를 소모한다. 클러스터에 헤더로부터 거리의 편차가 크지 않은 클러스터 멤버들로 구성될 때, 특정 센서 노드의 에너지가 빨리 고갈되지 않고, 클러스터 멤버 노드들의 생존시간을 최대화할 수 있다.

### 2.3 클러스터 헤더의 원거리 데이터 전송

클러스터 헤더가 싱크로 데이터를 전송할 때, 대표적인 클러스터 기법인 LEACH의 경우 원홉 전송을 하는데, 싱크로부터 먼 거리에 위치한 클러스터 헤더는 데이터를 전송하는데 많은 에너지를 소모하게 된다. 전송하는 거리가 클수록 데이터를 전송하는데 에너지 소모는 급격하게 증가하므로, 에너지 사용을 줄이기 위해서 멀티 홉 전송 라우팅이 요구된다.

### 2.4 에너지 균등성을 고려하지 않은 멀티홉 라우팅 경로

클러스터 헤더는 일반적으로 많은 에너지를 소모하므로 주기적으로 또는 어떤 기준에 의해서 재선출되어 새로운 클러스터 헤더가 선출되어 계속적으로 센서 네트워크가 동작된다. 에너지가 충분하지 않은 클러스터 헤더가 멀티홉 라우팅을 수행할 때, 많은 에너지 소모로 빠른 에너지 고갈을 가져올 수 있고, 이런 경우 라우팅 경로의 손실이 일어날 수 있다.

따라서, 본 연구는 클러스터 환경에서 에너지 균등 소모로 생존기간을 늘리기 위해서 클러스터 헤더가 센서 네트워크 전역에 골고루 분포하도록 선출하는 균등 분포 클러스터를 제안한다. 또한, 멀티홉 라우팅 경로를 결정할 때, 클러스터 헤더의 잔여 에너지를 메트릭으로 하여 상위 계층 클러스터 헤더를 선택함으로써 에너지 균등성을 보장하는 라우팅 경로 지정 방법을 사용한다.

### III. 제안연구

본 연구는 균등한 에너지 사용을 위한 클러스터 헤더 선출과 에너지의 기반 라우팅 경로선출 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 클러스터 환경에서 헤더 선출을 임의의 확률적 방식에만 의존하지 않고, 이전에 선출된 클러스터 헤더를 기준으로 일정 거리를 두고 점진적으로 선출하여 클러스터 헤더가 센서 네트워크 전역에 골고루 분포되도록 하여, 클러스터 헤더가 일정 영역에 밀집되거나 클러스터 헤더가 커버하지 않는 영역이 발생하지 않도록 한다.

클러스터 헤더가 전체 센서 네트워크에 골고루 분포될 때, 클러스터 헤더가 담당해야 할 클러스터 멤버 수의 분산이 작아지게 되고, 이로 인해 클러스터 헤더의 에너지 소모가 균등해지게 된다. 또한, 클러스터 내의 클러스터 멤버와 클러스터 헤더 간의 거리의 분산이 작아지게 되므로 클러스터 멤버의 에너지 소모도 균등해지게 된다.

제안하는 기법은 클러스터 헤더 선출 과정에서 클러스터 헤더 간 계층적 연결이 생성되고, 계층적 연결을 통해서 라우팅 경로가 설정된다. 따라서, 균등분포 클러스터링은 싱크로 데이터를 전송하기 위한 멀티홉 경로를 결정하기 위해서 클러스터 헤더가 복잡한 라우팅 경로 설정 과정을 수행하지 않고, 점진적 클러스터링 과정에서 거리벡터 방식의 라우팅을 수행하여 싱크로의 라우팅 경로를 설정한다. 클러스터 헤더는 상위 계층 클러스터 헤더로부터 받은 여러 개의 경로 중에 상위 계층 클러스터 헤더의 잔여 에너지 정보를 기반으로 최종 라우팅 경로를 결정한다.

제안하는 균등분포 클러스터링과 에너지 기반 계층적 라우팅 경로 기법은 싱크에서 1계층 클러스터를 선출, 클러스터 멤버 선출, 다음 계층 클러스터 선출 과정, 라우팅 경로 설정의 4단계로 이루어진다.

#### 3.1 싱크에서 1계층 클러스터를 선출

싱크와 가까운 클러스터 헤더일수록 더 많은 데이터를 전송하므로 많은 에너지를 소모한다. 따라서 1계층 클러스터 헤더는 에너지가 가장 많은 노드를 선택한다. 다음은 1계층 클러스터 헤더 선출 과정이다.

1. 싱크는 '클러스터 헤더 선출 요청(cluster header selection request)' 메시지 전송
2. 메시지를 받은 센서 노드는 잔여 에너지 정보를 포함하여 '응답(reply)' 메시지 전송
3. 싱크는 응답 메시지를 수신한 후, 잔여 에너지가 높은 노드 하나를 선택하여, '클러스터 헤더 선출(cluster header selection)' 메시지 전송
4. 1계층 클러스터 헤더가 선출됨

#### 3.2 클러스터 멤버 선출

1. 클러스터 헤더는 잔여 에너지량을 포함하여 '클러스터 광고(cluster advertisement)' 메시지 전송
2. 센서 노드가 '클러스터 신호세기 임계치' 이상 신호의 '클러스터 광고' 메시지를 수신하면,
  - '클러스터 조인(cluster join)' 메시지 전송하고, 클러스터 멤버가 됨
  - '클러스터 신호세기 임계치' 이상 신호인 '클러스터 광고' 메시지를 2개 이상 수신하는 경우에 잔여 에너지량이 많은 클러스터 헤더를 선택
3. '클러스터 멤버 신호세기 임계치' 이상의 '클러스터 광고' 메시지를 수신하지 못하면, 가장 신호세기가 큰 클러스터 헤더를 선택하여, '클러스터 조인' 메시지를 전송

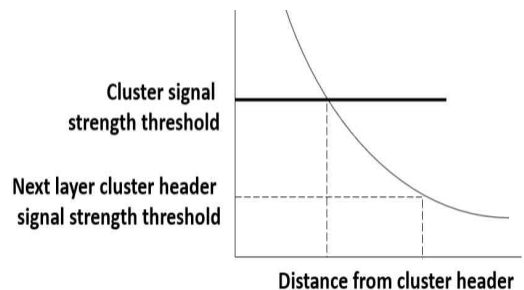


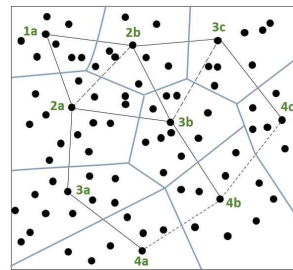
Fig. 1. Cluster signal strength threshold

### 3.3 N계층 클러스터 헤더 선출 (N>1)

1. 센서 노드가 '클러스터 신호세기 임계치' 이하, '다음 계층 클러스터 헤더 최소 신호세기 임계치' 이상 신호를 수신하면, 클러스터 헤더 선출 확률 발생
2. 클러스터 헤더 선출 확률에서 헤더로 선출되면,
  - 1) 노드는 '클러스터 헤더 후보'가 됨
  - 2) 이전 계층의 클러스터 헤더로 라우팅 경로를 설정
  - 3) '클러스터 헤더 후보(cluster header candidate)' 메시지에 자신의 잔여 에너지를 포함하여 전송함
  - 4) '클러스터 헤더 선출 타이머'를 동작
  - 5) 다른 클러스터 헤더 후보로부터 '클러스터 신호세기 임계치' 이상의 '클러스터 헤더 후보' 메시지를 받을 때, 잔여 에너지가 더 큰 메시지를 받으면, '클러스터 헤더 후보'를 포기
  - 6) '클러스터 헤더 선출 타이머'가 만기되면, '클러스터 헤더 후보' 노드는 클러스터 헤더가 됨
3. 클러스터 헤더는 잔여 에너지를 포함하여 '클러스터 광고(cluster advertisement)' 메시지 전송
4. '클러스터 조인' 메시지를 수신한 후, TDMA 스케줄을 만들어 전송

### 3.4 에너지 균등성을 고려한 클러스터 헤더의 멀티홉 라우팅 경로

라우팅 경로는 상위 계층의 클러스터 헤더의 '클러스터 헤더 광고' 메시지에 포함된 잔여 에너지를 비교하여, 잔여 에너지가 큰 것이 라우팅 경로로 설정된다.



--- Connections between cluster headers in the same layer  
 — Connections between cluster headers at higher layers

Fig. 2. Hierarchical connections in cluster headers

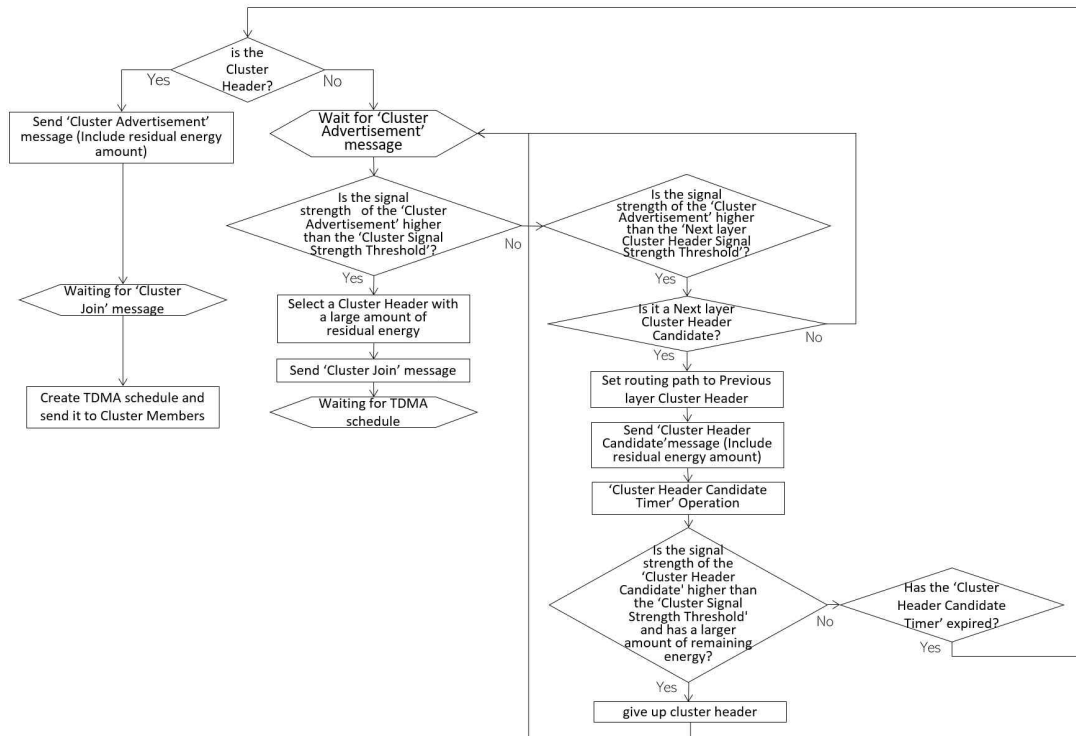


Fig. 3. Process of balancing distribution clustering and energy-based hierarchical routing path establishment

클러스터 헤더가 상위 계층 클러스터 헤더의 ‘클러스터 광고’ 메시지를 수신할 때, 이것을 라우팅 경로로 지정한다. 두 개 이상의 클러스터 헤더로부터 ‘클러스터 광고’ 메시지를 수신하면, 잔여 에너지를 비교하여, 잔여 에너지양이 큰 것을 최종 라우팅 경로로 설정한다. 그림 2에서 클러스터 헤더 3b는 상위 계층 클러스터 헤더 2a, 2b의 두 개의 경로 중에 잔여 에너지양이 큰 클러스터 헤더를 라우팅 경로로 설정한다. 그림 3은 제안하는 균등분포 클러스터 기법의 전체 흐름도를 나타낸다.

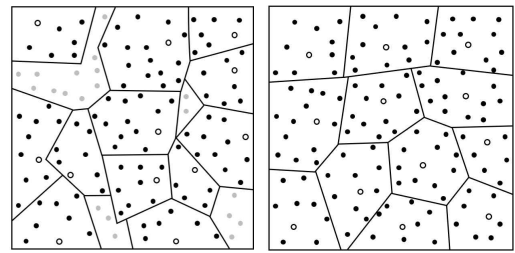
#### IV. 성능평가

제안한 방식의 에너지 균등분포 클러스터 기법의 성능을 검증하기 위해서 C언어를 이용하여 150m x 150m의 영역에서 130개의 노드가 임의로 배치되고, 10%의 확률로 클러스터를 수행하였다. 센서 노드의 전송반경은 50m, 클러스터 크기는 30m로 가정하였다. 제어 메시지 512kbit, 데이터 메시지 2,048kbit, 에너지 모델은 식(1)을 사용하였다.

$$E_{Tx}(k, d) = E_{clic}k + \epsilon_{amp}kd^\lambda \quad (1)$$

$E_{elec} = 50nJ/bit$ 는 1bit 전송 에너지,  $\epsilon_{amp} = 100pJ/bit$ 은 1bit 증폭 에너지,  $\lambda(=2)$ 는 경로 손실 지수이다[8].

그림 4는 임의로 배치된 센서 노드에 대해서 임의의 확률방식 클러스터 헤더 선출 기법과 제안한 균등분포 클러스터를 적용한 결과이다. 그림 4a)의 임의의 확률방식 클러스터 선출에서 클러스터 헤더와 멤버 간의 거리는 22.66이고, 그림 4b)의 균등 클러스터에서 거리는 18.07이다. 균등 클러스터를 사용할 때 거리가 약 20.3% 줄어드는 결과를 보인다. 클러스터 내에서 클러스터 헤더와 멤버 간의 거리 분산은 임의의 확률방식 클러스터 선출에서 66.35이고, 균등 클러스터에서 32.08로 균등 방식을 사용할 때, 거리 분산이 51.6% 줄어드는 것을 보인다. 또한, 임의의 확률방식 클러스터 선출에서는 어떤 클러스터에도 속하지 않는 노드가 13.8%가 존재하는 반면, 균등분포일 때 100%의 클러스터 커버리지가 달성하여 클러스터 커버리지 측면에도 우수한 성능을 보인다.



(a) Random probabilistic cluster (b) Balancing cluster

- cluster header
- cluster member
- Sensor node not part of cluster

Fig. 4. The examples of the random probabilistic cluster and the balancing cluster

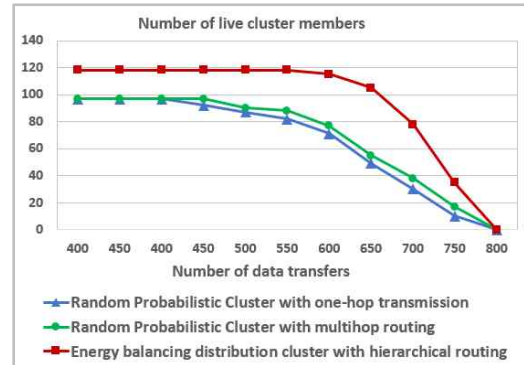


Fig. 5. The number of remaining cluster members

그림 5는 확률방식 클러스터 헤더 선출과 원홉 전송, 확률방식 클러스터 헤더 선출과 멀티홉 전송, 제안하는 에너지 균등분포 클러스터 기법의 데이터를 전송 회수에 따른 생존하는 클러스터 멤버 노드의 수에 따른 실험이다. 균등분포 계층적 라우팅을 사용할 때, 550번 전송까지 100% 생존을 보이다가 650번 전송 이후부터 급격하게 센서 노드들의 에너지가 소진되는 것을 보인다. 임의의 확률방식 클러스터 선출기반 원홉 라우팅과 멀티홉 라우팅 두 가지 경우 모두 400번 전송 이후로 클러스터 멤버 노드들의 에너지가 소진되기 시작함을 보인다. 이것은 균등분포 계층적 라우팅 방법에서 센서 노드가 더욱 안정적으로 오랜 시간 동안 기능을 수행하는 것을 의미한다.

## V. 결론

본 연구에서는 클러스터 환경에서 클러스터를 구성할 때, 클러스터 헤더를 센서 네트워크 전역에 골고루 분포시키기 위해서, 클러스터 헤더를 선출할 때, 이미 선출된 클러스터 헤더와 일정 거리 영역을 유지하는 센서 노드를 대상으로 선출하는 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 클러스터를 구성하는 과정에서 클러스터 헤더 간 계층적 경로를 설정하고, 잔여 에너지를 기준으로 싱크로의 라우팅 경로를 설정한다. 기존의 멀티홉 클러스터 센서 네트워크에서는 클러스터를 생성한 이후, 라우팅 경로를 설정하는 과정이 요구되는 반면, 제안하는 기법은 에너지 균등분포 클러스터 구조를 생성하는 과정에서 싱크로의 멀티홉 경로를 설정하여, 라우팅 경로 설정에 필요한 복잡한 메시지 생성과 처리 과정이 간소화되는 장점을 가진다. 실험 결과에서 제안하는 에너지 균등분포 클러스터는 클러스터 헤더와 클러스터 멤버들의 거리 분산이 임의의 확률적 방식에 비교해서 월등히 작고, 이로 인해 클러스터 멤버의 생존 시간이 임의의 확률적 방식에 비교하여 더 좋은 성능을 보인다.

## REFERENCES

[1] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," The Hawaii International Conference on System Science, Jan, 2000, pp. 1-10.

[2] Y. Yu, D. Estrin, R. Govindan, "Geographical and Energy-Aware Routing: A Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks," UCLA Computer Science Department Technical Report, UCLA-CSD TR-01-0023, May 2001.

[3] O. Younis, S. Fahmy, "HEED: A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad-hoc Sensor Networks," IEEE Transaction on Mobile Computing, Oct. 2004.

[4] S. Soro, W. B. Heinzelman, "Cluster Head Election Techniques for Coverage Preservation in Wireless Sensor Networks," Ad Hoc Networks, Volume 7, Issue 5, July 2009, pp. 955-972.

[5] M. Wu, H. Park, C. Kim, "Multihop Routing based on the Topology Matrix in Cluster Sensor Networks," The Korea Institute of Convergence Signal Processing, Volume 14, Issue 1, 2013, pp. 45-50.

[6] T. Ducrocq, N. Mitton and M. Hauspie, "Energy-based clustering for wireless sensor network lifetime optimization," 2013 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Shanghai, China, doi: 10.1109/WCNC.2013.6554695, 2013, pp. 968-973.

[7] B. Shin, J. Kim, "Chain-based Routing Model for Improving the Network Lifetime in WSN," Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange, Vol.6, No.11, November 30 (2020), pp.173-181.

[8] I. K. Shah, T. Maity, Y. S. Dohare, "Algorithm for energy consumption minimisation in wireless sensor network," The Institution of Engineering and Technology, Volume14, Issue8, May 2020, pp. 1302.

## 저자소개

우 매 리 (Mary Wu)



1996년 영남대학교 수학과(이학사)  
 2001년 영남대학교  
 컴퓨터공학과(공학석사)  
 2005년 영남대학교  
 컴퓨터공학과(공학박사)  
 2005년~2012년 영남대학교  
 컴퓨터공학과 강의교수  
 2013년~현재 영남신학대학교  
 컴퓨터교양 조교수

관심분야 : 센서네트워크, 네트워크 보안, 인공지능교육, 인터넷윤리 등