

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2015.15.5.133>

JIIBC 2015-5-16

SEP에서 전송 거리 분배를 이용한 무선 센서 네트워크 수명 개선

Lifetime Improvement of Wireless Sensor Network using the Distribution of a Transmission Distance in the SEP

이창희*, 이종용**

Chang-Hee Lee*, Jong-Yong Lee**

요약 본 논문에서는 무선 센서 네트워크 공간을 둘로 나누어 멀리 있는 층의 클러스터 헤드의 전송 거리를 줄여 SEP 센서 네트워크의 수명을 개선하는 방법을 제안하고자 한다. 기지국은 노드의 위치 정보를 참고하여, 기지국으로부터 가장 가까운 노드 거리와 가장 먼 노드 거리의 중간 지점을 기준으로 층을 나눈 후, 기지국으로부터 먼 바깥쪽 층의 클러스터 헤드는 안쪽 층의 클러스터 헤드를 경유하여 기지국으로 데이터를 전송한다. 즉, 바깥쪽 층의 클러스터 헤드의 전송 거리를 줄임으로써 에너지 소비를 최소화하는 Layered SEP를 제안하였다. 제안된 알고리즘을 기존의 SEP와 비교하여 검증하였다.

Abstract In this paper, we propose a method for improving the lifetime of the sensor network SEP through the wireless sensor network divided into two spaces by reducing the transmission distance of the cluster head in the layer in the distance. With reference to the position information of the node, the base station divides the layer based on the midpoint of the nearest node and the furthest distance away from the base station node. And the cluster head in the outer layer far from the base station is transmitted the data to the base station via the cluster head in the inner layer base station to transmit data. That is, we are proposed the layered SEP by reducing the transmission distance of the cluster head in the outer layer for the energy consumption to a minimum. The proposed algorithm is verified by comparison with the existing SEP.

Key Words : WAN, SEP, Network Lifetime, Energy consumption, Transmission Distance

1. 서론

무선센서 네트워크(Wireless Sensor Network; WSN)는 무선으로 동작하는 센서노드들로 이루어진 네트워크이다.^[1] 예를들어, 오지 또는 광범위한 영역의 기후 변화 - 온도, 습도, 일조량, 강우량, 풍량 등을 측정하기 위하여 무선 센서를 사용하며, 설치된 센서들을 관리하기 위한

무선센서 네트워크가 연구되어 오고 있다. 이러한 센서 노드는 무선이기 때문에 설치의 쉽지만, 유선 방식과 달리 센서노드는 건전지와 같은 제한된 전원으로 동작한다. 건전지 전원이 모두 소모 되면, 센서노드가 동작하지 못하므로 담당했던 지역의 데이터 수집을 계속할 수 없게 된다. 이는 센서노드의 교체를 의미하며, 센서노드를 설치하기 위한 추가 비용이 요구된다. 즉, 무선센서네트워

*정회원, 서일대학교 전자공학과

**정회원, 광운대학교(교신저자)

접수일자 : 2015년 9월 8일, 수정완료 2015년 10월 7일

게재확정일자 : 2015년 10월 9일

Received: 8 September, 2015 / Revised: 7 October, 2015 /

Accepted: 9 October, 2015

**Corresponding Author: jyonglee@kw.ac.kr

Dept. of Culture, Kwangwoon University, Korea

크에서는 센서노드의 수명을 연장하는 것이 중요한 문제점이며, 이를 개선하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다.^[2-6]

특히, 네트워크 수명 개선을 위한 다양한 무선센서 네트워크 프로토콜들이 논의되었으며, LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 프로토콜이 대표적인 예이다.^[2] LEACH 프로토콜은 무작위 확률적인 방법을 이용하여 주기적으로 순환시켜 클러스터 헤드(Cluster Head; CH)를 선정하는 계층 기반 라우팅 프로토콜이다. 또한, 균등(Homogeneous) 무선센서 네트워크 모델 기반이기 때문에, 모든 센서노드는 항상 동일한 초기 에너지를 갖는다. 그리고 SEP(A Stable Election Protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks)는 비균등(Heterogeneous) 무선센서 네트워크 모델을 기반으로 하는 계층형 무선센서 네트워크이며, 노드 타입이 두 가지로 나뉜다.^[3] 하나는 일반 노드이고, 다른 하나는 일반 노드에 비해 에너지 양이 많은 선발(Advanced) 노드이다. LEACH 프로토콜에 비해 SEP는 Advanced 노드 때문에 네트워크 수명이 더 길다. 그러나 LEACH 프로토콜과 SEP 모두 기지국(Base Station; BS)과의 전송 거리를 고려하지 않았다. 즉, 기지국과 거리가 먼 노드가 클러스터 헤드가 될 경우, 데이터를 전송할 때 전송 거리가 멀어 노드의 에너지 소모가 심하게 된다. 그래서 본 논문에서는 센서 공간을 나눠 기지국과 거리가 먼 노드의 전송 거리를 줄이는 방법을 제안하려고 한다.

제안된 방법에서는 모든 노드가 노드의 현재 위치를 기지국에 전송한다. 그리고 이 위치 정보를 기준으로 기지국에서 가장 가까운 노드의 거리와 가장 먼 노드의 거리의 중간 지점을 기준으로 센서 공간(field) 나눈다. 기지국으로부터 가까운 센서 공간을 안쪽 층(inner layer), 기지국으로부터 멀리 있는 센서 공간을 바깥쪽 층(outer layer)이라고 명명한다. 안쪽 층과 바깥쪽 층은 각각 SEP와 같은 방법으로 클러스터링이 된다. 그 후, 바깥쪽 층의 클러스터 헤드는 클러스터 멤버의 데이터를 취합 후 안쪽 층의 가장 가까운 클러스터 헤드로 전송한다. 안쪽 층의 클러스터 헤드는 클러스터 멤버의 데이터와 바깥쪽 클러스터 헤드의 데이터를 취합 후 기지국으로 전송하는 방식이다.

본 논문의 제 2장에서는 SEP에 대한 내용과 제안된 방법에 대해 기술하였고, 제 3장에서는 모의 실험을 통하

여 제안된 방법의 타당성을 살펴본다. 그리고 제 4장에서는 결론을 제시하였다.

II. 본문

이 장에서는 본 연구의 기본이 되는 SEP 프로토콜에 대하여 간략히 기술하고, 광역 센서 필드에서 센서노드의 에너지 효율을 개선하기 위한 알고리즘을 제안한다.

1. SEP 프로토콜

SEP는 계층형 무선 센서 네트워크에서 Heterogeneous WSN Model을 기반으로 한다. Heterogeneous WSN Model에서는 일반 노드와 Advanced 노드가 있다. Advanced 노드는 일반 노드에 비해 에너지 양이 많은 노드이다. 은 총 노드의 수이고, 은 일반 노드보다 에너지 양이 배 더 많은 Advanced 노드의 비율이다. SEP는 Heterogeneous WSN Model을 사용하며, 노드의 종류에 따라서 클러스터 헤드가 되는 노드의 가중치 선정 확률을 기반으로 한다.

초기에는 모든 노드들이 클러스터 선정 확률 P_{opt} 에 의해 클러스터 헤드가 될 수 있다. 평균적으로, 한 Epoch내 라운드마다 $n \times P_{opt}$ 개 노드는 반드시 클러스터 헤드가 된다. 여기서, Epoch는 모든 노드가 클러스터 헤드가 되는 주기를 말한다. 같은 Epoch내 현재 라운드에서 집합 G가 비어 더 이상 클러스터 헤드가 될 수 있는 노드가 없을 경우, 에너지가 남아 있는 노드들 모두 클러스터 헤드가 될 수 있도록 집합 G에 넣는다. 집합 G는 클러스터 헤드로 선출되지 않은 노드들이 속한 집합을 말한다. 그리고 라운드마다 클러스터 헤드가 일정 개수로 유지되도록, 동일 Epoch내 매 라운드마다 노드가 집합 G에 속해야 해당 노드가 클러스터 헤드가 될 기회를 갖는다. 각 라운드의 시작이 결정되면 0과 1 사이의 임의의 난수를 이용하여, 각 노드 s가 G에 속하는지 확인한다. 만약 임의의 난수가 임계치 T(s) 보다 작다면 노드는 현재 라운드에서 클러스터 헤드가 된다.

$$T(s) = \begin{cases} \frac{P_{opt}}{1 - P_{opt} \left(r \bmod \frac{1}{P_{opt}} \right)}, & \text{if } s \in G \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

식(1)에서 r 은 현재 라운드를 나타낸다. 다음으로 식 (1)을 기초로하여, 일반 노드와 Advanced 노드 선출 확률 가중치 P_{nrm} 와 P_{adv} 를 결정하자.

$n \times (1 + \alpha \cdot m)$ 개 노드의 에너지는 사실상 일반 노드의 초기 에너지와 같다. Epoch 내 각 라운드마다 최소 에너지 소비를 유지하기 위해서, Epoch당 라운드의 클러스터 헤드 평균 개수는 반드시 일정하게 $n \times P_{opt}$ 개와 같아야 한다. Heterogeneous 시나리오에서 Epoch 내 라운드마다 클러스터 헤드의 평균 개수는 $n \times (1 + \alpha \cdot m) \times P_{nrm}$ 이다. 즉, 일반 노드의 가중치 확률 식과 Advanced 노드의 가중치 확률 식은 (2)와 같다.

$$P_{nrm} = \frac{P_{opt}}{1 + \alpha \times m}, P_{adv} = \frac{P_{opt}}{1 + \alpha \times m} \times (1 + \alpha) \quad (2)$$

식(1)에서 라운드마다 클러스터 헤드 선출을 위한 가중치 확률 P_{opt} 를 각각의 노드의 가중치 확률로 치환하여 노드 종류에 따른 임계치를 표현한다. $T(s_{nrm})$ 와 $T(s_{adv})$ 를 일반 노드와 Advanced 노드의 임계치라 정의한다.

$$T(s_{nrm}) = \begin{cases} \frac{P_{nrm}}{1 - P_{nrm} (r \bmod \frac{1}{P_{nrm}})}, & \text{if } s \in G' \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

식(3)에서 r 은 현재 라운드이며, G' 은 Epoch의 지난 $\frac{1}{P_{nrm}}$ 라운드 이내 클러스터 헤드가 되지 않은 노드의 집합이다. 그리고 $T(s_{nrm})$ 는 $n \times (1 - m)$ 개의 일반 노드에 적용되는 임계치이다. 이것은 일반 노드가 Epoch의 매 $\frac{1}{P_{opt}} \times (1 + \alpha \times m)$ 라운드마다 정확하게 한번씩 클러스터 헤드가 되도록 보장한다. Epoch의 평균 클러스터 헤드의 수는 $n \times (1 - m) \times P_{nrm}$ 이다.

$$T(s_{adv}) = \begin{cases} \frac{P_{adv}}{1 - P_{adv} (r \bmod \frac{1}{P_{adv}})}, & \text{if } s \in G'' \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

식(4)에서 G'' 는 Epoch의 지난 $\frac{1}{P_{adv}}$ 라운드 이내 클러스터 헤드가 되지 않은 노드의 집합이고, $T(s_{adv})$ 는 $n \times m$ 개의 Advanced 노드에 적용되는 임계치이다. 이것은 Advanced 노드들이 매 $\frac{1}{P_{opt}} \times \frac{1 + \alpha \times m}{1 + \alpha}$ 라운드마다

정확하게 한번씩 클러스터 헤드가 되도록 보장한다. 이 기간을 Sub-epoch라고 정의한다.

각각의 Epoch는 $1 + \alpha$ 의 Sub-epoch를 가지고 있다. 그 결과로, Heterogeneous epoch 내 Advanced 노드들은 정확히 $1 + \alpha$ 회 클러스터 헤드가 된다. Heterogeneous epoch당 라운드 별 평균 클러스터 헤드의 수는 $n \times m \times P_{adv}$ 이다.

$$n \times (1 - m) \times P_{nrm} + n \times m \times P_{adv} = n \times P_{opt} \quad (5)$$

식(5)와 같이 Heterogeneous epoch당 라운드 별 일반 노드의 평균 클러스터 헤드 수와 Sub-epoch당 라운드 별 Advanced 노드의 평균 클러스터 헤드 수의 합은 Epoch당 라운드 별 평균 클러스터 헤드의 수와 같다.

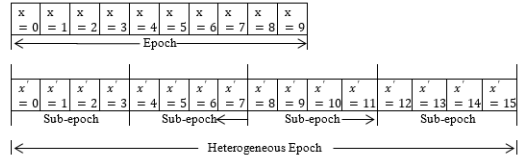


그림 1. Heterogeneous 네트워크의 수치 예제
 Fig. 1. The Numerical Example of the Heterogeneous Network

그림 1은 매개 변수 $m = 0.2, \alpha = 3, P_{opt} = 0.1$ 이고, r 이 현재 라운드 일 때 $x = r \bmod \frac{1}{P_{opt}}, x' = r \bmod \frac{1}{P_{nrm}}$ 라고 정의되었을 때, Heterogeneous 네트워크에서의 수치 예제이다. 다음으로 광역 센서 필드내에서 센서의 에너지 효율을 높이기 위한 개선된 SEP를 제안한다.

2. Layered SEP

먼저 모든 노드는 자신의 현재 위치를 측정할 수 있는 GPS를 장착하고, 모든 노드는 자신의 위치 정보를 기지국으로 전송한다. 기지국은 노드의 위치 정보를 가지고, 기지국으로부터 가까운 노드의 위치와 멀리 있는 노드의 위치의 중간 지점을 기준으로 층(layer)을 나눈다. 즉, 센서 필드를 두 개의 층으로 구분한다. 기지국과 가까운 층을 안쪽 층, 먼 층을 바깥쪽 층이라고 하자. 그림 2는 층을 나누는 과정이다. 그림 2에서 열린 회색 부분이 바깥쪽 층, 진한 회색 부분이 안쪽 층이다.

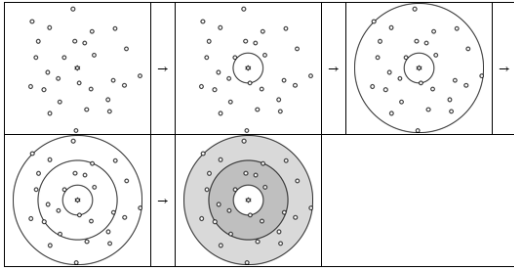


그림 2. 층을 나누는 과정
Fig. 2. Process of divide the layer

다음으로 각 층에서 SEP로 클러스터링이 이루어진다. 클러스터링이 된 후 바깥쪽 층부터 클러스터 멤버들이 클러스터 헤드로 데이터를 전송한다. 바깥쪽 층 클러스터 헤드는 클러스터 멤버의 데이터를 취합한 후 안쪽 층의 가장 가까운 클러스터 헤드로 데이터를 전송한다.

이 과정이 끝나면 안쪽 층에서도 클러스터 멤버들이 클러스터 헤드로 데이터를 전송한다. 바깥쪽 층의 데이터는 이미 안쪽 층의 클러스터 헤드로 전송되어 있기 때문에 안쪽 층의 클러스터 헤드는 바깥쪽 층의 데이터도 가지고 있게 된다. 안쪽 층의 클러스터 헤드는 받은 데이터들을 모두 취합한 후 기지국으로 전송한다.

기존 SEP에서 층을 나누었기 때문에 제안된 SEP 개선 방법의 이름을 Layered SEP라고 정했다.

III. 모의실험

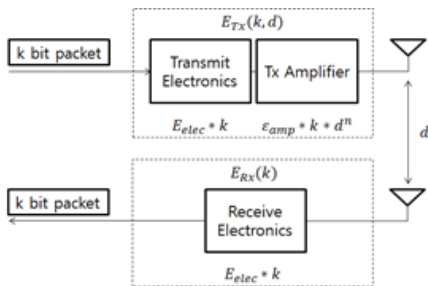


그림 3. 에너지 소비 모델
Fig. 3. Energy Consumption model

일반적으로 RF(Radio Frequency)를 이용해 데이터를 전송할 때 소비되는 에너지는 위 그림 3과 아래 표 1과 같다.

표 1. 에너지 소비 모델 변수

Table 1. Parameters of Energy Consumption model

| 동작 | 에너지 소모 |
|--|--------------------------|
| 전송 장치($E_{Tx-elec}$) 수신 장치($E_{Rx-elec}$) ($E_{Tx-elec} = E_{Rx-elec} = E_{elec}$) | 50nJ/bit |
| 전송 증폭(ϵ_{amp}) | 100pJ/bit/m ² |

k비트의 패킷을 전송할 때 해당 패킷 사이즈만큼의 전기 에너지와 데이터를 수신할 노드까지 거리의 제곱만큼 전송 신호 증폭 에너지를 소모한다. 전송 에너지 수식은 식(6)과 같다.

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx-elec}(k) + E_{Tx-amp}(k, d)$$

$$E_{Tx}(k, d) = E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * d^2 \quad (6)$$

k비트의 패킷을 수신할 때 해당 패킷 사이즈만큼의 전기 에너지를 소모한다. 수신 에너지 수식은 식(7)과 같다.

$$E_{Rx}(k) = E_{Rx-elec}(k)$$

$$E_{Rx}(k) = E_{elec} * k \quad (7)$$

표 2. 실험 매개 변수 설정

Table 2. Simulation Variables

| 변수 | 설정 |
|---------------------------------|-----------------------------|
| 노드의 수(n) | 100 개, 200 개 |
| 클러스터 선정 확률(P_{opt}) | 10% (0.1) |
| Advanced 노드의 비율(m) | 20% (0.2) |
| Advanced 노드의 에너지 배수(α) | 3 배 |
| 센서 공간 | 1000 x 1000, 1500 x 1500 |
| 기지국의 위치 | 0 x 0 |
| 초기 에너지 | 0.5 J |
| 전송 데이터의 양 | 1000 bits |
| 데이터 결합 에너지(E_{DA}) | 5 nJ/bit/signal |
| 전송 에너지(E_{elec}) | 50 nJ/bit |
| 증폭 에너지(ϵ_{fs}) | 10 pJ/bit/m ² |

표 2와 같이 매개 변수를 지정한 뒤 센서 공간별로 각각 노드 수가 100개일 때와 200개일 때의 조건으로 실험을 해보았다. 센서 노드 배치는 센서 공간과 노드 개수가 달라질 때마다 무작위로 배치하였다.

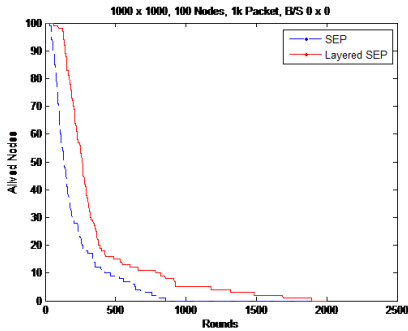


그림 4-a. 1000 x 1000 필드, 노드 100개의 생존률 변화 그래프
 Fig. 4-a. Graph of lifetime in field width 1000x1000 and 100 of nodes.

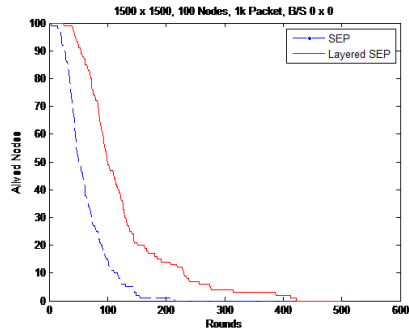


그림 5-a. 1500 x 1500 필드, 노드 100개의 생존률 변화 그래프
 Fig. 5-a. Graph of lifetime in field width 1500x1500 and 100 of nodes.

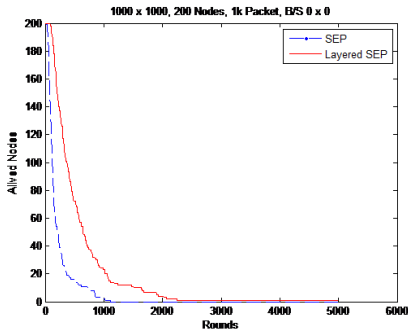


그림 4-b. 1000 x 1000 필드, 노드 200개의 생존률 변화 그래프
 Fig. 4-b. Graph of lifetime in field width 1000x1000 and 200 of nodes.

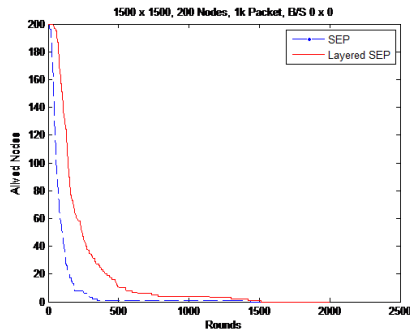


그림 5-b. 1500 x 1500 필드, 노드 200개의 생존률 변화 그래프
 Fig. 5-a. Graph of lifetime in field width 1500x1500 and 200 of nodes.

위의 그림 4는 센서 공간이 1000 x 1000일 때 기준으로 기존의 SEP와 Layered SEP를 사용하여 실험을 해보았을 때의 노드 생존 변화 그래프이다. 노드 수에 따라 노드의 위치는 동일하게 배치되어 있다. 기존 SEP에 비해 더 나은 노드 생존율을 볼 수 있다. 노드들이 80% 살아있는 라운드 기준으로 Layered SEP는 SEP에 비해 각각 2.1배, 2.6배의 네트워크 수명 증가가 있었다.

위의 그림 5는 센서 공간이 1500 x 1500 일 때 기준으로 SEP와 Layered SEP를 사용하여 실험을 해보았을 때의 노드 생존 변화 그래프이다. 센서 노드의 개수는 그대로이지만 센서 공간이 넓어져 전송 거리가 늘어나 전체적으로 네트워크 수명이 1000 x 1000 일 때에 비해 줄었다. 그러나 Layered SEP는 멀리 있는 노드의 경우 전송 거리가 나뉘어지기 때문에 SEP에 비해 더 나은 노드 생존율을 보여준다. 노드들이 80% 살아있는 기준으로 개선된 SEP는 SEP에 비해 각각 2배, 2.4배의 네트워크 수명 증가가 있었다.

센서 공간과 노드의 개수 그리고 사용한 방법에 따른 센서 노드들의 생존율에 대한 정리는 아래 표 3과 같다. 각각의 생존율의 값은 잔여 노드가 처음 노드에 비해 해당 비율의 개수에 도달했을 때의 라운드 수를 나타낸다.

표 3. 센서 필드 및 노드수에 따른 생존 노드 비율
Table 3. Ratio of Alive node by Sensor field width and number of node

| Sensor Field | Node | Method | Node Alive Ratio(Round) | | |
|--------------|------|-------------|-------------------------|-----|-----|
| | | | 80% | 50% | 30% |
| 1000 * 1000 | 100 | SEP | 79 | 133 | 191 |
| | | Layered SEP | 169 | 263 | 321 |
| | 200 | SEP | 71 | 124 | 170 |
| | | Layered SEP | 185 | 370 | 579 |
| 1500 * 1500 | 100 | SEP | 35 | 52 | 72 |
| | | Layered SEP | 71 | 100 | 129 |
| | 200 | SEP | 36 | 57 | 86 |
| | | Layered SEP | 88 | 142 | 202 |

IV. 결 론

본 논문에서 제안한 SEP의 개선 방법인 Layered SEP는 넓은 센서 공간을 센서 노드들의 위치를 기준으로 층을 나눠 기지국으로부터 멀리 떨어져 있는 바깥쪽 층의 클러스터 헤드의 전송 거리를 줄였다. 전송 거리가 줄어들므로써 바깥쪽 층의 클러스터 헤드의 전송 에너지 소모를 줄였다. 그 결과로 전력 소모가 줄어들었고 네트워크 수명이 증가하였다. 특히, 제안된 방법은 센서 공간의 넓어질수록 기존 SEP에 비해 네트워크의 수명이 개선되는 것을 볼 수 있다.

References

[1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", IEEE Communications Magazine, 2002.

[2] W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, 2000.

[3] G. Smaragdakis, I. Matta, A. Bestavros, "SEP: A Stable Election Protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks", Boston University Computer Science Department, 2004.

[4] S. Cho, B. Shrestha, S. Shrestha, J. Y. Lee, and S. J. Hong, Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks, International Journal of Advanced Smart Convergence 3(2), pp. 1-5, 2014

[5] Y.I.Song, J.S.Lee, K.D.Jung And J.Y.Lee, Energy efficiency Hierarchical Multi-hop Routing protocol for Wireless Sensor Network, Advanced and Applied Convergence & Advanced culture Technology, pp. 148, 2014

[6] J.Y. Lee and K.D. Jung and B.Shrestha and J.S. Lee Energy Efficiency Improvement of the of a Cluster Head Selection for Wireless Sensor Networks, International Journal of Smart Home, pp. 9-18, 2014

저자 소개

이 종 용(정회원)



- 1983년 2월 : 한양대학교 원자력공학과 (공학사)
- 1988년 2월 : 광운대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1993년 2월 : 광운대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 교수

<관심분야 : 자동제어, 센서네트워크, 영상인식>

• E-Mail : jyonglee@kw.ac.kr

이 창 희(정회원)



- 1985년 2월 : 광운대학교 전자공학과 (공학사)
- 1987년 8월 : 광운대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 광운대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 서일대학교 교수

<관심분야 : >

• E-Mail : 20120004@seoil.ac.kr