

논문 2010-2-5

무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적 클러스터 헤드 선정 기법

Energy-Efficient Cluster Head Selection Method in Wireless Sensor Networks

남춘성*, 장경수**, 신호진***, 신동렬*

Choon-Sung Nam*, Kyung-Soo Jang**, Ho-Jin Shin*** and Dong-Ryeol Shin*

요 약 무선 센서 네트워크는 제한된 자원을 가지고 특정한 지역에 임의로 뿌려진 센서 노드가 자가 구성적으로 형성하는 네트워크를 말한다. 센서 네트워크의 확장성(scalability), 로드 밸런싱(load balancing) 그리고 네트워크 라이프 타임(network lifetime)을 보장하기 위해서 네트워크를 지역적으로 관리하는 클러스터링 알고리즘이 필요하다. 이전의 클러스터링 알고리즘에서 클러스터 헤드를 선정할 때 노드의 위치 및 에너지를 알아내기 위해 추가적인 통신비용이 발생하고, 클러스터 간 불균형이 클러스터 헤드에게 과부하를 유발한다. 따라서 본 논문은 이러한 문제점들을 해결하기 위해 추가적인 통신비용과 클러스터 불균형을 고려하는 새로운 클러스터 헤드 선정 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 실험결과를 통해 기존의 방법보다 에너지 측면에서 효율적임을 보여준다.

Abstract Wireless sensor networks is composed of many similar sensor nodes with limited resources. They are randomly scattered over a specific area and self-organize the network. For guarantee of network life time, load balancing and scalability in sensor networks, sensor networks needs the clustering algorithm which distribute the networks to a local cluster. In existing clustering algorithms, the cluster head selection method has two problems. One is additional communication cost for finding location and energy of nodes. Another is unequal clustering. To solve them, this paper proposes a novel cluster head selection algorithm revised previous clustering algorithm, LEACH. The simulation results show that the energy compared with the previous clustering method is reduced.

Key Words : Sensor networks, Clustering, Threshold, Cluster head selection.

I. 서 론

무선 센서 네트워크는 한정된 에너지 자원을 가지고 주위 환경을 모니터링하기 위한 센서, 이웃 노드와 통신하기 위한 무선 모듈 그리고 센싱된 데이터를 처리하기 위한 프로세서로 구성된 센서 노드로 이루어진 네트워크

를 말한다^[1]. 이러한 센서 노드들은 임의로 특정한 지역에 뿌러지기 때문에, 자가 구성적인 네트워크를 형성해야만 한다. 때문에 센서 노드의 통신은 기본적으로 애드혹(ad-hoc) 통신을 기반으로 한다^[2]. 애드혹 네트워크가 노드의 이동성에 따른 네트워크 형성에 초점이 맞추어 있는 반면, 센서 네트워크는 노드의 이동성 보다는 네트워크 라이프 타임(network lifetime)의 증가와 네트워크 확장성(scalability) 그리고 로드 밸런싱(load balancing)에 초점이 맞추어져 있다. 대부분의 경우에 센서 노드가 접근이 쉽지 않는 곳에 위치해 있어 센서의 배터리 교체

*정회원, 성균관대학교 전자전기컴퓨터학과

**정회원, 경인여자대학 정보미디어학부

***정회원, 한신대학교 정보통신학과 (교신저자)

접수일자 2010.4.6, 수정일자 2010.4.23

는 어렵기 때문에 네트워크 라이프 타임을 늘리는 것을 고려해야 한다. 센서 네트워크는 작게는 수 십개 많게는 수 천 개 이상의 노드로 구성될 수 있기 때문에, 대규모의 센서 네트워크를 위해서 네트워크 확장성을 고려해야 한다. 또한, 임의로 뿌려진 센서 노드가 서로 밀접하게 닿을 수 있기 때문에, 네트워크의 로드 밸런싱 또한 고려해야 하는 항목이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 센서 네트워크에서는 다양한 프로토콜들이 제시되어 왔다^[3]. 이러한 프로토콜 중에서 네트워크 라이프 타임, 네트워크 확장성 그리고 로드 밸런싱을 위한 프로토콜 방법으로 클러스터링 기법이 제안되었다^[4]. 클러스터링 기법은 네트워크를 작은 부분으로 분할하여 관리하는 프로토콜 기법이다. 클러스터링은 역할에 따라 클러스터 헤드와 멤버 노드로 나뉠 수 있다. 멤버 노드는 이벤트를 탐지하여 이를 클러스터 헤드로 전송하는 역할을 하고, 클러스터 헤드는 멤버 노드로부터 데이터를 수집하고 취합하여 베이스 스테이션 혹은 싱크 노드로 전송하는 역할을 한다. 클러스터 헤드의 이러한 추가적인 작업들(수집, 압축, 전송)은 지역 클러스터 내 멤버 노드들에 비해 과중한 에너지 소모를 발생시키는 요인이다. 따라서 클러스터링 프로토콜을 설계할 때 클러스터 헤드의 에너지 효율적인 문제를 고려해야 한다. 대표적인 클러스터링 알고리즘인 LEACH^[5]는 클러스터 헤드가 한번 선정되면 다른 노드들이 모두 클러스터 헤드가 선정되기 전까지는 다시 클러스터 헤드가 선정할 수 없다. 이러한 방식(hard threshold)은 임의적으로 클러스터 헤드를 선정함에 있어 노드 간 에너지 소비가 큰 클러스터 헤드 선정의 중복을 피하고, 모든 노드가 균등한 클러스터 헤드 선정을 하기 위한 방법이다. hard threshold 방법으로 클러스터 헤드 선정하는 방식은 다양한 클러스터 기법에서 많이 사용되어 왔다^[4]. 하지만, LEACH와 같은 이러한 클러스터 헤드 선정 방식은 클러스터의 균등한 분할, 멤버 노드의 불균형, 을 가정하였을 때만, 가능한 방법이다. 만약 클러스터가 균등하게 분할되어 있지 않다면, 클러스터 간 에너지 불균형을 초래할 수 있다. 즉, 클러스터의 에너지 불균형은 클러스터 헤드의 과도한 에너지 소비를 유발하고, 네트워크 라이프 타임을 줄이는 결과를 초래한다^[6]. 따라서 본 논문은 클러스터 불균형 문제를 고려하여 노드의 에너지 소비율을 기반으로 에너지 효율적인 클러스터 헤드 선정 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 나머지는 다음과 같이 구성되어 있다. 2장

에서는 기존 클러스터 방식의 소개와 문제점을 보여준다. 3장에서는 현재의 알고리즘을 보완하는 새로운 클러스터 헤드 선정 알고리즘을 보여준다. 4장에서는 제안된 방법과 이전의 방법에 대해서 비교 평가한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 관련연구

이전의 연구에서 클러스터 헤드 선정 알고리즘을 위한 새로운 프로토콜과 알고리즘들이 제안되었다. 이러한 알고리즘들은 LEACH의 클러스터 헤드 선정 알고리즘을 기초로 하고 있다. LEACH-C(Centralized)^[7]는 LEACH와 같이 임의로 선정된 클러스터 헤드를 기반으로 클러스터가 구성되면 에너지 효율성 및 로드 밸런싱을 위해서 클러스터 헤드 위치를 중앙으로 옮기는 방법이다. 하지만 이를 수행하기 위해 노드들은 서로의 위치를 알아내기 위한 부과적인 작업을 수행해야만 한다. deterministic cluster-head selection^[8]에서는 클러스터 헤드가 되기 위한 임계값(threshold)을 결정하기 위해서 남은 에너지 레벨을 이용하여 클러스터 헤드를 선정하는 방법이다. 이 또한, 센서 노드들의 에너지 레벨을 알기 위해서 부과적인 통신을 해야 하는 단점을 가지고 있다. 이와 같이 다른 대부분의 클러스터링 알고리즘들은 센서들 간의 정보 교환에 의존하기 때문에 부과적인 에너지 소모를 유발할 수 있다^[9,10,11]. 따라서 LEACH와 같이 노드 간의 부과적인 작업 없이 클러스터 헤드 선정을 위해 임계값만을 이용하여 클러스터 헤드 선정 방식이 필요하다.

이러한 LEACH를 살펴보면 다음과 같다. LEACH의 특징은 네트워크에 있는 모든 센서 노드들에게 에너지 소비를 분산하기 위해 클러스터 헤드를 무작위로 순환시키고 클러스터 헤드에 의해 형성된 클러스터를 지역적으로 관리하는 기법이다. LEACH는 클러스터를 구성하기 위해서 ‘설정(set-up)’단계와 여러 개의 TDMA 프레임으로 구성하는 ‘정상상태(steady-state)’단계로 이루어진다. 수식 (1)과 같이 ‘설정’단계에서는 모든 센서 노드들이 임계값($T(i)$)에 따라 클러스터 헤드로 선출 될 수 있다. 노드가 0과 1사이의 임의의 숫자를 선택하여 생성된 수가 임계값보다 작은 값을 가진 노드가 현재 라운드에서 클러스터 헤드로 선출된다.

$$T(i) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p^*(r \bmod \frac{1}{p})} & , i \in G \\ 0 & , otherwise \end{cases} \quad (1)$$

수식(1)에서, 'i'는 노드의 아이디(id)이고, 'p'는 클러스터 헤드의 비율, 'r'은 현재의 라운드, 그리고 'G'는 마지막 r 라운드에서 클러스터 헤드로 선출되지 않은 노드들의 집합이다. 따라서 각 노드들은 1/p라운드 중에서 한번은 클러스터 헤드로 선출될 것이다. 즉, 라운드 수가 증가할수록 남아있는 노드가 클러스터 헤드가 될 확률이 증가되며, 1/p라운드 후에 노드들은 다시 한 번 모두 임계값이 '0'으로 설정됨으로써 클러스터 헤드가 될 수 있다. 하지만, LEACH는 형성된 클러스터의 균형을 보장하지 않는 문제점을 가진다. 이는 클러스터 간의 멤버 불균형을 초래할 수 있다^[6]. 그림 1은 이를 잘 보여주고 있다.

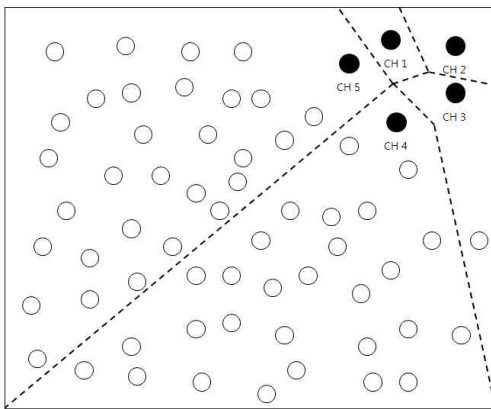


그림 1. 클러스터 간 불균형
Fig. 1. Imbalance between clusters

그림 1에서와 같이, 클러스터 헤드가 모두 인접한 곳에 모여 있는 경우, 클러스터 헤드 1,2,3은 멤버 노드를 가지지 않거나 혹은 평균멤버 노드의 개수, ((N*p)-1), 보다 적은 멤버 노드를 소유하고, 반면에 클러스터 헤드 4와 5는 평균멤버 노드 개수 보다 많은 노드를 소유하게 된다. 이때, 발생할 수 있는 문제점은 클러스터 간의 에너지 불균형을 초래할 수 있다. 클러스터 헤드는 멤버 노드 개수에 비례하여 에너지를 소비하기 때문에 에너지 과부하가 초래할 수 있다. 따라서 LEACH에서 클러스터 불균형을 고려하지 않고 단순히 균등한 클러스터 헤드를 선정할 경우에는 네트워크의 에너지 균형을 이루기 힘들 것이다. 즉, N개의 노드가 k, (=N*p), 개의 클러스터 헤드를 형성한다고 한다면, 클러스터 내 노드의 개수는 N/k

개이다. 이렇게 클러스터가 N/k개의 노드를 가지는 경우가 'P'라고 가정한다면, 1/p라운드 처음부터 끝까지 이를 유지하기 위해서는 $P^{1/p}$ 의 가능성을 유지해야만 한다. 하지만 이는 매우 희박한 확률이다. 따라서 클러스터 간 불균형을 고려하지 않고 클러스터 헤드를 선정하는 것은 결국 클러스터 헤드의 빠른 에너지 소비를 유발 할 수 있다. 이를 극복하기 위해서 클러스터 헤 선정을 위한 임계값 T(i)를 이용하여, 균형적인 클러스터 헤드 에너지 소모를 위한 방법이 필요하다.

III. 새로운 클러스터 헤드 선정 방법

앞선 문장에서 언급했듯이 클러스터 헤드와 멤버 노드가 클러스터를 구성하면서 발생하는 에너지는 확연한 차이를 보인다. 멤버 노드는 자신의 영역에서 이벤트를 감지하여 전송 하면 되지만, 클러스터 헤드는 멤버 노드의 수에 따라 수신된 데이터가 증가하고, 수집된 데이터를 취합하여야 하며 취합된 데이터를 베이스 노드 혹은 싱크로 전송해야할 책임이 있다. 클러스터 헤드는 멤버 노드 개수에 따라 에너지 소모가 발생한다. 이는 노드 간의 에너지 불균형을 이루고, 나아가 클러스터 형성 시 클러스터 간 불균형을 초래하므로 반드시 고려해야할 사항이다. 따라서 클러스터 헤드의 소모 에너지와 멤버 노드의 에너지 소비를 고려하여 클러스터 헤드 선정을 위한 임계값을 조정하는 방식이 요구된다.

LEACH를 기반으로 수식 (2)을 살펴보면, r=0 일 경우 초기의 클러스터 헤드가 될 수 있는 임계값은 모든 노드들이 클러스터 헤드가 선정된 적이 없기 때문에 모든 노드들은 'p'의 임계값을 가진다.

$$T_{r=0}(i) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p^*(r \bmod \frac{1}{p})} = p, & i \in G \end{cases} \quad (2)$$

클러스터 헤드가 선정되었던 경우 즉, r>0 일 경우, 이는 클러스터 헤드의 에너지 소모가 크기 때문에 이전의 방법에서는 클러스터 헤드 선정을 막기 위해 T(i)값을 '0'으로 설정하였으나, 그림 1과 같이 클러스터 간 불균형이 발생하면 클러스터 헤드는 멤버 노드의 수에 비례하여 에너지 소모를 한다. 클러스터 당 최적화된 멤버 노드가 (N/k-1)개이므로 이 이하의 멤버 노드를 가진 클러스터

헤드는 에너지 소모측면에서 보았을 때는 클러스터 헤드 재선정 할 수 있는 에너지를 보유하게 된다. 따라서 클러스터 헤드 선정을 위한 임계값 $T(i)$ 를 '0'으로 선정하지 않고, 소모된 에너지의 비율만큼 값을 증가시킨다면 모든 노드가 클러스터 헤드가 선정되기 전에 노드의 남은 에너지 값에 의하여 클러스터 헤드가 재선정 될 수 있다. 따라서 보다 에너지 효율적이고 유동적인 클러스터링을 구성할 수 있다. 이는 수식 (3)에서와 같이 나타낼 수 있다. 클러스터 헤드의 임계값은 클러스터 헤드의 소모된 에너지 값, E_{ch} , 을 더하고, 멤버 노드의 임계값은 멤버 노드의 소모된 에너지 값, E_{mem} , 를 감함으로써, 클러스터 헤드가 될 수 있는 가능성을 조절한다. 이때 $E_{initial}$ 은 노드에게 부여된 초기 에너지 값이다.

$$T_{r>1}(i) = \begin{cases} T(i)_{r-1} - \frac{E_{mem}}{E_{initial}}, & i \in G_{r-1} \\ T(i)_{r-1} + \frac{E_{ch}}{E_{initial}}, & otherwise \end{cases} \quad (3)$$

E_{ch} 와 E_{mem} 가 같은 경우, 그림 1에서와 같이 클러스터 헤드 1과 2의 경우 자신이 곧 멤버 노드의 역할을 하는 경우, 를 제외하고 처음 1/p 라운드 동안은 모든 노드가 한 번씩 클러스터 헤드로 선정된다. 하지만, 1/p라운드 후에 노드의 에너지 차이는 클러스터 형성에 따라 차이가 발생 할 것이다. 따라서 이 후의 클러스터 헤드는 소모한 에너지에 따라 임계값이 정해짐으로 해서 많은 에너지를 소모한 노드가 높은 임계값을 가지고, 반면에 낮은 에너지를 소모한 노드는 낮은 임계값을 가지게 됨으로써, 클러스터 헤드 선정은 매번 남아있는 에너지의 양에 따라 재선정 될 수 있는 가능성을 가질 수 있다. 이는 재선정된 클러스터 헤드는 자신이 가장 적게 에너지를 소비한 노드이기 때문에 에너지 분배라는 측면에서 당연한 선택이다. 이와 같은 클러스터 헤드 분배 방식을 통해 센서 네트워크의 라이프 타임을 늘릴 수 있는 결과 또한 초래할 수 있다.

노드의 에너지 소모는 각 역할에 따라 다음과 같은 수식들로 설명 할 수 있다.

$$E_{mem} = E_{Trans} \times D_{mem} \quad (4)$$

수식 (4) 에서 E_{trans} 는 노드의 전송에너지이고, D_{mem} 는 노드의 센싱 데이터를 뜻 한다. 멤버 노드는 오직 자신이

측정한 데이터만을 전송하기 때문에 데이터를 전송하는데 소모되는 에너지만을 소비한다.

$$E_{ch} = E_{rec} \times C_i(m) \times D_{mem} + E_{agg} \times D_{mem} + E_{trans} \times D_{agg} \quad (5)$$

수식 (5)에서, E_{rec} 는 수신 에너지이고, $C_i(m)$ 은 클러스터 헤드 i 의 멤버 노드의 수이고, E_{agg} 는 취합 에너지, D_{agg} 는 취합된 데이터이다. 클러스터 헤드의 에너지 소모는 멤버 노드로부터 수신할 때 소모되는 에너지, 수신한 데이터를 취합할 때 소모되는 에너지 그리고 싱크 혹은 베이스 스테이션으로 보내기 위한 에너지의 합이다. 위와 같은 수식을 기반으로 클러스터 헤드 선정을 위한 임계값을 구할 수 있다.

IV. 실험 및 결과

1. 네트워크 실험 환경 설정

네트워크의 크기는 200m x 200m 로 구성한다. 노드의 개수는 300개로 분포하고, 클러스터 헤드의 개수는 LEACH에서 보여준 5%의 노드만을 설정한다. 즉, p 는 5%이다. 따라서 한 라운드 당 선출 될 수 있는 클러스터 헤드 개수는 15개이다. 데이터 패킷의 크기는 525byte로 헤더가 25byte 데이터가 500byte로 설정한다. 싱크 노드의 위치는 네트워크의 (0,0) 좌표에 위치한다. 노드는 $k(\text{bit})$ 메시지의 길이를 $d(\text{meter})$ 거리만큼 전송한다고 가정한다. 센서 노드의 송신기 에너지 E_{elec} J/bit는 50nJ/bit로 설정하고, 신호 대 잡음비에 도달하는 송신기 증폭기(transmitter amplifier)의 에너지 E_{amp} J/bit는 10pJ/bit/m²로 설정한다. 또한, 패킷 당 취합 에너지 E_{agg} , 는 5nJ/bit로 설정한다. 위 가정을 통해 송신(E_{Tx})과 수신(E_{Rx})시의 에너지 값은 수식(6),(7)으로 표현 할 수 있다 [5].

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

$$E_{Rx}(k, d) = kE_{elec} \quad (7)$$

2. 실험 결과 분석

제안하는 방식에서의 에너지 비교는 $r>1$ 경우에 노드

가 소비하는 에너지의 평균을 비교한다. 이는 $r=1$ 인 경우 거의 모든 노드가 각각 한 번씩 클러스터 헤드로 선정되기 때문에 LEACH와 제안한 방법으로 클러스터 헤드 선정하는 것이 차이가 없기 때문이다. 따라서 $r>1$ 인 경우에 소비되는 에너지를 비교하였다.

그림 2는 노드 당 소모되는 에너지의 평균값을 나타낸 그림이다. 제안한 방법이 LEACH와 같은 hard threshold 방법 보다 노드 당 소모되는 에너지가 전체적으로 낮음을 알 수 있다. 이는 제안한 방법이 클러스터 헤드 선정에 있어서 노드의 남은 에너지를 기준으로 하기 때문에 에너지가 많이 남은 노드가 클러스터 헤드로 재선정될 수 있어 에너지 분배가 가능하기 때문이다.

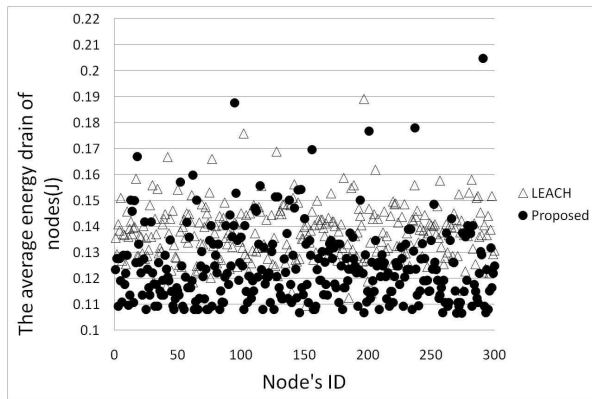


그림 2. 노드 당 평균 소모 에너지 비교
Fig. 2. Energy consumption comparison per a nodes

그림 3은 노드의 생존율 비교를 보여준다. Hard threshold 방법이 제안한 방법에 비해서 빨리 노드가 죽는 것을 볼 수 있다. 이는 클러스터 헤드 선정할 때, 클러스터 헤드가 가지는 과부하를 분산하기 위한 방법을 제시하지 못 하기 때문이다. 반면에 제안된 방법은 클러스터 헤드 선정 시 클러스터 불균형문제를 고려하였기 때문에 좀 더 오랫동안 노드가 살 수 있는 것이다. 라운드가 진행될수록 노드 생존율은 조금씩 제안된 방법이 높다는 것을 알 수 있다. 또한, 노드가 10%이하(0.1) 일 경우에 LEACH와 같은 hard threshold 방법은 노드가 서서히 죽어가는 것을 볼 수 있는데, 이는 클러스터 헤드로 선정되더라도 멤버 노드의 개수가 없거나 혹은 매우 적은 멤버 노드만을 가지기 때문에 클러스터 헤드의 부하가 감소한 결과이다. 이에 반해 제안된 방법은 일정한 비율로 서서히 노드들이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이를

통해 제안된 방법이 좀 더 균형적인 에너지 소모를 보인다는 것이고 네트워크도 보다 안정적으로 유지할 수 있는 것을 보여준다.

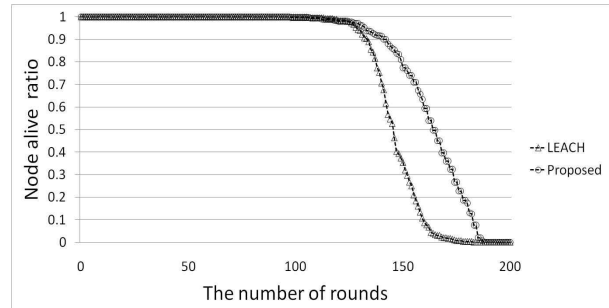


그림 3. 라운드 당 노드 생존율
Fig. 3. Alive ratio of nodes per a round

V. 결론

이 논문은 클러스터 헤드 선정을 위해 노드의 에너지 소모량에 비례한 임계값을 설정함으로써 보다 에너지 효율적인 알고리즘을 제안하였다. 기존의 방식에서 볼 수 있었던 클러스터 불균형 문제와 추가적인 통신비용 문제를 해결하기 위해서 수정된 자가 구성적인 클러스터 헤드 선정하고 클러스터 불균형 문제를 고려함으로써 이러한 문제점을 해결 할 수 있었다.

참고문헌

- [1] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh SanKarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "A survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol.40, No.8, pp.102-114, August, 2002.
- [2] Sohrabi K., Gao J.m Ailawadhi V. and Pottie G.J., "Protocols for self-organization of a wireless sensor network," *Personal Communications IEEE*, Vol. 7 Issue 5 pp. 16-27, October 2000.
- [3] J.N. Al-Karaki and A.E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey," *IEEE Wireless Communications*, Vol.11, No. 6, Dec. 2004, pp. 6-28.

- [4] Abbasi, A.A and Younis, M, "A Survey on Clustering Algorithms for Wireless Sensor Networks", Comput. Netw. 2007, 20, 2826-2841.
- [5] Wendy Rabiner Heinzelman, Anantha Chandrakasan, and Hari Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences, January 2000.
- [6] Choon-Sung Nam, Yong-Ki Ku, Jong-Wan Yoon and Dong-Ryeol Shin, "Cluster Head Selection for Equal Cluster Size in Wireless Sensor Networks", International Conference on New Trends of Information and Service Science, July, 2009.
- [7] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application specific protocol architecture for wireless microsensor networks", IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1(4), pp. 660-670.
- [8] M. J. Handy, M. Hasse, and D. Timmermann, "Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster-head selection", Proceeding of the 4th International Workshop on Mobile and Wireless Communications Network, September 2002, pp. 9-11.
- [9] O. Younis and S. Fahmy, "HEED: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad-hoc sensor networks", IEEE Transactions on Mobile Computing, 2004, 3(4). Pp. 366-379.
- [10] Gupta I. , Riordan D., and Sampalli S. "Clustering-head election using fuzzy logic for wireless sensor networks", Proceeding of the 3rd Annual Communication Networks and Srvices Research Conference, Halifaz, May 2005, pp. 255-260.
- [11] Ibriq, J. and Mahgoud, I., "Clustier-Based Routing in Wireless Sensor Networks : Issues and Challenges", In Proceedings of SPECTS'04, San Jose, CA, USA, July, 2004, pp. 759-766.

저자 소개

남 춘 성(정회원)



- 2007년 : 숭실대학교 컴퓨터학과 석사 졸업
- 2007년 ~ 현재: 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 (박사과정)

<주관심분야 : 센서 네트워크, USN 미들웨어>

장 경 수(정회원)



- 1998년 : 성균관대학교 전기공학과 석사 졸업
- 2005년 : 성균관대학교 전자전기 및 컴퓨터공학과 박사 졸업
- 2001년 ~ 현재 : 경인여자대학 교수

<주관심분야 : 통신 네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅, 센서 네트워크>

신 호 진(정회원)



- 1999년 : 성균관대학교 전기공학과 석사 졸업
- 2006년 : 성균관대학교 전기전자및컴퓨터공학과 박사 졸업
- 2009 ~ 현재 : 한신대학교 정보통신학과 조교수

<주관심분야 : 유비쿼터스 컴퓨팅, 무선 랜, 센서 네트워크>

신 동 렬(정회원)



- 1982년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업
- 1992년 2월 : Georgia Tech. 전기 및 전자공학과 박사 졸업
- 1994년 3월 ~ 현재 : 성균관대학교 정보통신공학 교수

<주관심분야 : 유비쿼터스 컴퓨팅, 무선 네트워크, 센서 네트워크>