

논문 2011-48CI-4-6

# 클러스터 기반 센서 네트워크 수명 극대화를 위한 효율적인 에너지 공급 기법

( An Effective Energy Supply Scheme for Network Lifetime  
Maximization in Cluster based Sensor Networks )

최 윤 범\*, 김 용 호\*, 조 명 주\*, 김 훈\*\*

( Yunbum Choi, Yongho Kim, Myungju Jo, and Hoon Kim )

## 요 약

센서 네트워크는 향후 유비쿼터스 환경 서비스 구현을 위한 기본 인프라와 서비스 영역 정보수집 및 기기제어 등에 중요한 역할을 담당할 것으로 예상되며, 최근 센서 네트워크 기반 시스템에서의 에너지의 효율적 공급 방안에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 논문에서는 계층적 구조 클러스터 기반 센서 네트워크에서 네트워크 생명주기를 최대화 유지하면서 클러스터 헤드에 공급되는 에너지를 최소화하는 센서 네트워크 에너지 공급 문제를 구성한다. 이 문제에 대한 해를 수학적으로 구하고 이를 기반으로 각 클러스터 헤드에 공급하는 에너지양을 결정하는 기법을 제안한다. 또한 모의실험을 통해 제안된 방식이 단순히 클러스터 헤드마다 최대 공급가능 에너지를 제공하는 것에 비해 주어진 실험 조건에서 최소 33% 이상의 에너지 절감 효과가 있음을 보였다.

## Abstract

Sensor networks are expected to play key roles in establishment of fundamental infrastructures, information collection, and devices control to provide services for ubiquitous society in the near future, where recent issues include energy efficient energy supply scheme in the sensor network based systems has been getting more attention. This paper formulates an energy supply problem that minimizes the total energy supplied to clustered sensor networks while maintaining the network lifetime. An energy supply scheme is suggested that determines the the amount of energy supply to each cluster head based on the solution of the problem. Simulation results show that the proposed scheme achieves better energy efficiency compared with a simple scheme of maximum possible energy supply to each cluster head.

**Keywords :** Sensor network, Cluster, Hierarchical structure, Energy, Lifetime

## I. 서 론

최근 통신 및 컴퓨팅 기술들의 눈부신 발전으로 인해 언제 어디서나 자유롭게 네트워크에 접속할 수 있는 유

비쿼터스 환경의 구축과 이를 기반으로 하는 다양한 미래형 서비스 분야의 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이를 지원하기 위한 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network, WSN) 기술 또한 매우 활성화되고 있다. 미래 유비쿼터스 환경 도래에 따라 무선 센서 네트워크는 안전 감시 및 방범, 국방 등의 분야에서 활발하게 활용될 전망이다.

무선 센서 네트워크는 컴퓨팅 능력과 무선통신 능력을 갖춘 무선 센서가 네트워크를 형성하고, 서로 간에 획득한 센싱 정보를 송수신하여 원격지에서 감시, 제어 용도로 활용할 수 있는 기술을 말한다. 이러한 센서 네

\* 학생회원, \*\* 정회원-교신저자, 인천대학교 전자공학과 (Department of Electronic Engineering, University of Incheon)

※ 본 연구는 한국 산업기술 평가관리원의 산업원천기술 개발사업연구비[과제번호:10033822] 지원에 의하여 연구되었음

접수일자: 2011년4월12일, 수정완료일: 2011년7월4일

트위크는 일반적으로 센서에 제공될 수 있는 에너지에 제한이 있기 때문에 센서 노드 기능을 원활히 수행하고 네트워크 수명을 최대화하는 효과적인 센서의 에너지 운용방안이 요구된다. 이에 관한 연구로 센서 연결 경로 선택 기법, 스케줄링 기법, 센서배치 기법 등이 있다 [1~8].

한편으로, 최근 센서 네트워크는 활용 범위가 다양해지면서 점차 대규모 영역으로 확대되고 있다. 이러한 대규모 센서 네트워크의 효율적인 관리를 위해서 물리적으로 근접한 위치에 있는 센서들을 묶어 여러 개의 클러스터를 구성하여 계층적인 구조로 전체 영역을 관리하는 클러스터 기반 센서 네트워크 구조가 제안되었다 [9~11]. 이와 같은 클러스터 기반 센서 네트워크는 클러스터 헤드 간의 정보 전달을 위한 네트워크 연결성 확보가 중요하며, 이를 위해 효과적인 클러스터 헤드별 에너지 공급 기법이 요구된다.

클러스터 기반 센서 네트워크에서 클러스터 헤드에 효율적인 에너지 공급 기법에 대한 연구로 전체 클러스터 헤드에 공급 가능한 에너지의 총합이 제한된 조건에서 클러스터 헤드간 통신을 통해 싱크노드에 전달 가능한 최대 이벤트 횟수를 네트워크 수명으로 정의하고, 이를 최대화하기 위한 클러스터 헤드별 공급 에너지를 구하였다 [9]. 보다 일반적인 상황이라 할 수 있는 클러스터 헤드별로 에너지 용량이 제한되어 있는 상황을 감안한다면 전체 클러스터 헤드에 공급 가능한 에너지 총합의 제한이라는 제약을 적절하게 대체할 필요가 있다. 즉, 클러스터 헤드간 에너지 용량이 제한될 수 있는 상황을 고려하면, 클러스터 헤드별 공급받을 수 있는 에너지양이 제한되는 조건하에서 효과적인 에너지 공급 방안의 연구가 요구된다.

본 논문에서는 클러스터 기반 네트워크에서 각 클러스터 헤드별 공급받을 수 있는 에너지가 제한되는 조건에서 네트워크 수명을 최대로 유지하면서 각 클러스터 헤드에 공급 에너지의 총합이 최소화되는 문제를 고려한다. 우선적으로 주어진 클러스터 헤드별 공급 가능한 최대 에너지에 대해 클러스터 헤드별 수명을 구하고, 이로부터 네트워크의 수명을 도출한다. 이어 도출된 네트워크 수명을 유지하기 위한 각 클러스터 헤드의 최소 에너지 공급량을 결정한다. 또한 모의실험에서 제안 기법을 통해 공급되는 에너지가 감소되는 효과가 있음을 보인다.

본 논문은 II장에서 시스템 모델을 소개하고, III장에

서 네트워크 수명을 유지하면서 네트워크에 소모되는 에너지를 줄이는 문제를 수식화하고, 구성된 문제를 통해 해를 구하고자 한다. IV장에서는 제안 기법의 성능을 모의실험을 통해 분석하며, V장에 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

본 논문은 그림 1과 같이 대규모 영역에서 다수의 센서로부터 수집된 정보를 효과적으로 전달하는 데 유용한 클러스터 기반 계층 구조를 고려한다.

그림 1의 아래층과 같이 인접한 다수의 센서들의 집합인 여러 개의 클러스터로 구성된다. 각 클러스터에 포함된 센서들 중에서 특정한 센서를 클러스터 헤드로 선출한다. 임의적 혹은 계획적으로 배치된 센서들은 임의적으로 발생하는 이벤트를 감지하고 감지된 정보를 클러스터 헤드로 전송하고, 클러스터 헤드에 모아진 정보는 다시 인근 클러스터 헤드를 통해 최종 목적지인 싱크노드로 전달된다. 그림 1의 위층은 이와 같은 정보 전송을 위해 각 클러스터 헤드와 싱크노드 간 연결 상태를 나타낸다. 이벤트가 발생했을 때 클러스터 헤드  $v$ 가 싱크노드로 정보를 전송하는 경로는  $P(v)$ 이다. 예를 들어 그림 1의 클러스터 E에서 이벤트가 발생했을 때의 경로는  $P(E) = E - B - S$ 로 나타낼 수 있다. 즉, 이벤트 발생 정보는 E에서 B로, B에서 싱크노드 S로 전달된다. 본 논문에서 고려하는 센서 네트워크 시스템은 클러스터 헤드에 공급 가능한 최대 에너지가 제한되어 있고, 클러스터 헤드 간 정보 전달량이 많아 네트워크 수명이 클러스터 헤드의 수명에 의해 결정되는 경우를 가정한다. 이와같은 시스템에서 네트워크 수명을 최대로 유지시키면서 각 클러스터에서 수집된 정보를 싱크

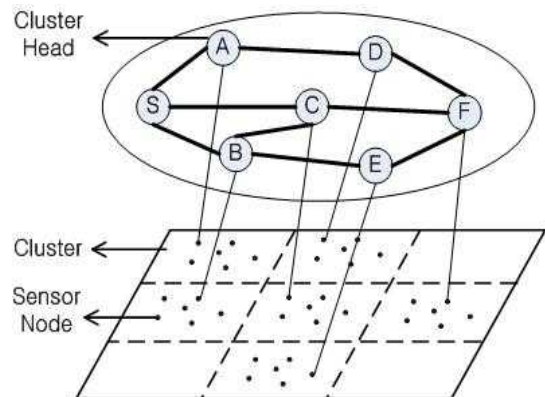


그림 1. 클러스터 기반의 무선 센서 네트워크  
Fig. 1. An example for WSNs based cluster.

노드로 전달하기 위한 클러스터 헤드별 에너지 공급 기법을 제안한다.

본 논문에서는 이와 같은 클러스터 헤드별 에너지 공급 기법을 제안하기 위해 클러스터 헤드와 네트워크 수명을 수식으로 정의하고, 문제를 해결한다. 각각에 대한 정의는 다음과 같다.

### 1. 클러스터 헤드 수명 계산

클러스터 헤드의 수명은 클러스터 내 이벤트가 발생했을 때 이벤트 발생 정보를 성공적으로 전송하는 횟수를 의미하며, 단위는 전송횟수가 된다. 그리고 클러스터 헤드 수명은 총 공급되는 에너지 대비 정보 전송을 위해 소모되는 에너지의 평균으로 나타낼 수 있다. 다음 수식은 클러스터 헤드 수명을 나타낸 식이다<sup>[9]</sup>.

$$\frac{r(v)}{\sum_u p(u) \cdot e(u,v)} \quad (1)$$

수식 (1)에서  $r(v)$ 는 실제 클러스터 헤드  $v$ 에 공급되는 공급에너지이며, 1m간격의 이벤트 정보 전달에 소모되는 에너지로 에너지  $E$ 를 단위로 사용한다.  $p(u)$ 는 클러스터  $u$ 에서 이벤트가 발생할 확률이고  $e(u,v)$ 는 클러스터  $u$ 에서 이벤트가 발생했을 때 클러스터  $v$ 의 클러스터 헤드가 소모되는 에너지이다. 또한  $\sum_u p(u) \cdot e(u,v)$ 는 임의의 클러스터  $u$ 에서 이벤트가 발생했을 때, 정보 전송을 위해 소모되는 에너지의 평균이다.

### 2. 클러스터 헤드 수명 계산

다수의 클러스터 헤드 중에 하나라도 동작되지 않는다면, 네트워크의 동작 또한 멈추게 된다. 이에 따라 센서 네트워크의 전체 수명은 각 클러스터 헤드의 개별 수명의 최소값으로 결정된다. (2)는 네트워크 수명을 나타낸 것이다<sup>[9]</sup>.

$$\min \frac{r(v)}{\sum_u p(u) \cdot e(u,v)} \quad (2)$$

## III. 센서 배치 문제 구성 및 제안 기법

본 논문은 클러스터 기반의 센서 네트워크 환경에서 각 클러스터 헤드의 전원에 최대 공급용량이 각각 제한

되었을 때 네트워크 수명을 최대로 유지하고, 소모되는 에너지를 최소화하고자 한다.

### 1. 센서 배치 문제 구성

클러스터 기반 네트워크에서 각각의 클러스터 헤드마다 공급 가능한 에너지가 제한되어 있는 상황에서 각각의 클러스터 헤드별 공급에너지를 살펴보면  $r(v)$ 는 실제 클러스터 헤드  $v$ 에 공급되는 에너지이고,  $k(v)$ 는 각 클러스터 헤드에 공급 가능한 최대 에너지로 정의된다. 만약에 모든 클러스터 헤드에 동일한 에너지를 공급하게 되면, 네트워크가 수명을 다했을 시 클러스터 헤드의 잔량 에너지가 생겨서 에너지 낭비가 발생된다. 그러므로 클러스터 헤드별 공급에너지  $r(v)$ 와 각 클러스터 헤드에 공급 가능한 최대 에너지  $k(v)$ 와의 관계는  $r(v) \leq k(v)$ 이 되며, 이 조건에서 최소가 되는  $r(v)$ 를 구하는 문제가 된다. 이와 같은 문제를 다음과 같이 수식적으로 나타낼 수 있다.

$$\text{Min} \sum_v r(v) \quad (3)$$

$$\text{Subject to} \frac{k(v)}{\sum_u p(u) \cdot e(u,v)} = L, \forall v \quad (4)$$

$$r(v) \leq k_v, \forall v \quad (5)$$

$$r(v) \geq 0, \forall v \quad (6)$$

(3)은 소모되는 에너지의 총 합을 최소화하는 수식을 나타내고, (4)는 에너지가 최대로 공급되었을 때의 네트워크 수명을 나타낸다. (5)는 각 클러스터 헤드의 에너지 공급용량이 각각  $k$ 로 제한되고, (6)은 싱크를 제외한 클러스터 헤드의 공급 에너지는 항상 양수임을 의미한다. 즉, 위의 수식은 본 논문에서 제안하고 있는 문제이며, 클러스터 기반 네트워크에서 각 클러스터 헤드마다 공급 가능한 에너지가 제한되어 있는 상황에서 네트워크 수명을 최대로 유지하면서 각 클러스터 헤드에 공급되는 에너지의 합을 최소화하는 수식이다.

### 2. 제안 기법

본 절에서는 다음의 3단계 절차에 따라 네트워크 수명을 유지하면서 전체 클러스터 헤드에 공급되는 에너지 총합을 최소화하는 클러스터 헤드별 에너지 공급량을 결정하는 방안을 제시한다.



그림 3에 이와 같은 배치 영역과 클러스터 구조를 도시 하였으며, 클러스터의 위치index를 (i,j)로 표시하고 싱크노드 클러스터 위치 index를 (0,0)으로 한다.

임의의 클러스터에서 이벤트가 발생하며, 클러스터의 이벤트 발생 확률이 균일한 경우(균일분포)와 균일하지 않은 경우(비균일분포)를 고려한다.

클러스터 개수가 M개일 경우, 균일분포의 경우 개별 클러스터의 이벤트 발생 확률이 1/M로 동일함을 가정 하며, 비균일분포의 경우 절반의 클러스터(클러스터 위치 index ij 합이 홀수)의 이벤트 발생 확률을 1/(2M), 나머지 클러스터의 이벤트 발생 확률을 3/(2M)으로 상이하게 설정한다.

이벤트가 발생되면 이벤트 정보가 해당 클러스터의 중심에 위치한 클러스터 헤드로부터 인접 클러스터 헤드간 통신을 통해 싱크노드까지 도달된다. 정보가 전달 되는 경로는 이벤트 발생 클러스터 중심으로부터 싱크노드 중심까지의 최단 거리로 결정됨을 가정한다. 그림 3에 클러스터 위치 (4,3)에서 발생한 이벤트가 싱크노드로 전달되는 경로가 도시되었다.

이벤트 정보를 인접 클러스터 헤드로 전달하는데 소요되는 에너지는 거리의 제곱에 비례한다고 가정하고 1m거리의 정보 전송에 소요되는 에너지를 단위에너지 E라 정의한다. 인접한 클러스터 헤드간 간격이 n(m)이므로, 대각선경로 전송 소요에너지가 2n<sup>2</sup>E, 인접 경로 전송에너지 n<sup>2</sup>E로 나타나며, 그림 3의 경로 예에서 대각선 이동과 인접 이동이 각각 3회, 1회 필요하므로 해당 경로에 소요되는 에너지량은 7n<sup>2</sup>E로 계산된다.

표 1에 모의실험 환경에 대한 파라미터 값이 제시되어 있다. 전체 네트워크 한 변의 길이인 a는 100으로 고정되어 있으며, 전체 영역 내에 정방형의 클러스터 개수는 3, 8, 15, 24개이다. 그리고 각 클러스터 헤드별

표 1. 모의실험 파라미터  
Table 1. The parameter values for simulation.

Parameters		Value	
센서 영역 면적 (axa)		100 × 100 (m <sup>2</sup> )	
클러스터 수 (싱크 노드 제외)		3, 8, 15, 24	
클러스터 헤드 별 최대 공급 가능 에너지(k)		1(E)	
클러스터 별 이벤트 발생 확률(p)	균일발생확률	1/M	
	비균일 발생확률	위치 index의 합(i+j)이 홀수인 경우	1/2M
		위치 index의 합이 짝수인 경우	3/2M

공급 가능한 최대 에너지 k(v)는 1로 파라미터 값을 설정한다.

최대에너지 공급기법과 제안기법의 성능을 확인하기 위해 클러스터 헤드의 개수에 따른 네트워크 수명과 공급 에너지의 총 합을 비교한다. 네트워크 수명은 각 클러스터 헤드에 공급되어진 에너지를 통해 이벤트 발생 시 싱크노드로의 성공적인 전달횟수로 정의되며, 공급 에너지의 총 합은 최대에너지 공급기법과 제안기법에 공급된 에너지의 총합으로 정의된다. 이에 따라 최대에너지 공급기법은  $\sum_v k(v)$ 이고, 제안 기법은  $\sum_v r^*(v)$ 로 계산된다.

2. 결과

그림 4와 그림 5는 이벤트 발생 확률이 균일한 경우(균일분포)의 성능분석을 보여주는 모의실험 결과이다. 성능분석에 사용된 기법은 각각의 클러스터 헤드에 최대 공급 에너지인 k(v)를 공급해 주는 최대에너지 공급기법과 클러스터 헤드별 네트워크 수명에 따라 최소 공급 에너지인 r\*(v)를 공급해 주는 제안기법이 사용된다.

그림 4는 클러스터 수에 따른 최대에너지 공급기법과 제안 기법의 네트워크 수명을 보여주는 모의실험 결과이다. 이 결과를 통해 최대에너지 공급기법과 제안 기법의 네트워크 수명이 같음을 알 수 있다. 그리고 네트워크 수명이 선형적으로 나옴을 알 수 있다. 정방형 내의 클러스터 수가 Q배로 증가할수록 클러스터 헤드간의 간격이 1/√Q배로 감소하여 클러스터 헤드 간에 정보전달에 소요되는 에너지는 거리의 제곱에 비례하

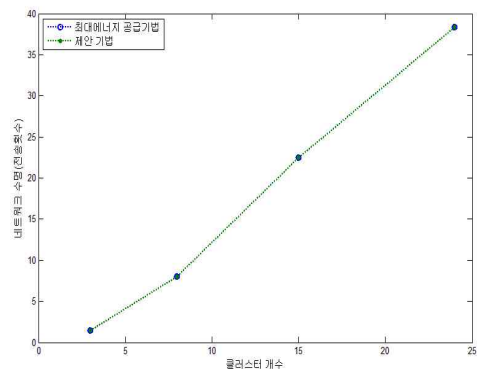


그림 4. 클러스터 수에 따른 네트워크 수명 (균일 이벤트 발생 확률분포 경우)

Fig. 4. Network lifetime with variant number of clusters. (In case of uniform distribution of events)

로  $1/Q$ 이 된다. 따라서 전체 클러스터의 수가  $Q$ 배로 증가하면 클러스터 헤드의 소요 에너지는  $Q$ 배로 감소하게 되어 결국 수명은  $L=r(v)/c(v)=Q \cdot r(v)$ 으로  $Q$ 배만큼 증가하게 된다. 즉, 동일한 지역 내에서 클러스터 개수만을 증가하면 거리에 비례하여 계산되는 클러스터 헤드간의 정보전달 시 소모에너지가 상대적으로 줄어들게 되므로 선형적으로 나타난다.

그림 5는 클러스터 개수에 따른 최대에너지 공급기법과 제안 기법의 각 클러스터 헤드별 공급에너지의 합을 보여주는 모의실험 결과이다. 최대에너지 공급기법과 제안기법의 성능을 평가하기 위해 네트워크의 평균 공급에너지는  $\sum_v r(v)/|v|$  와 같다.  $r(v)$ 는 실제 클러스터 헤드  $v$ 에 공급되는 공급 에너지양으로 정의된다. 네

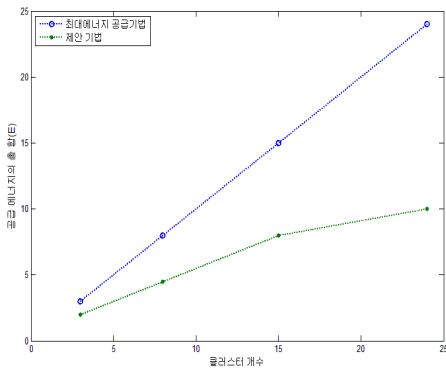


그림 5. 클러스터 수에 따른 클러스터 헤드 총 공급 에너지양 (균일 이벤트 발생 확률분포 경우)  
 Fig. 5. Total amount of supplied energy for clusterhead with variant number of clusters. (In case of uniform distribution of events)

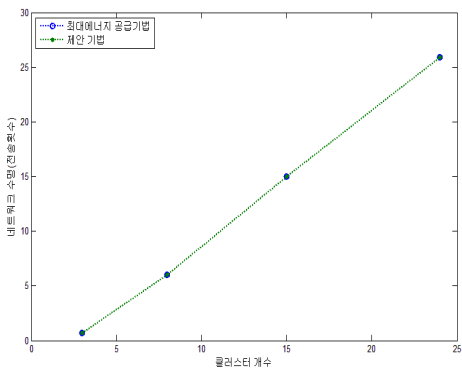


그림 6. 클러스터 수에 따른 네트워크 수명 (비균일 이벤트 발생 확률분포 경우)  
 Fig. 6. Network lifetime with variant number of clusters. (In case of nonuniform distribution of events)

트워크 평균 공급에너지를 이용하여 모의실험 결과 각 클러스터 헤드별 최대 에너지를 공급하는 최대 에너지 공급기법보다 각 클러스터 헤드별 네트워크수명을 유지하면서 최소의 에너지를 공급하는 제안기법의 에너지 사용량이 감소됨을 알 수 있다.

그림 6과 그림 7은 이벤트 발생 확률이 균일하지 않은 경우(비균일분포)의 성능분석을 보여주는 모의실험 결과이다.

그림 6은 클러스터 수에 따른 최대에너지 공급기법과 제안 기법의 네트워크 수명을 보여주는 모의 실험 결과이다. 그 결과 최대에너지 공급과 제안 기법의 네트워크 수명이 같음을 알 수 있다. 그리고 이벤트 발생 확률이 균일한 경우에 비해 네트워크 수명이 더 짧은 결과를 볼 수 있다.

그 이유는 이벤트 발생 확률 차이로 인해 이벤트 발생 시 센서간 소요에너지 또한 증가하여 클러스터 헤드의 수명은 단축이 되고, 이로 인해 최소 클러스터 헤드의 수명으로 결정되는 네트워크의 수명 또한 감소되기 때문이다.

그림 7은 클러스터 개수에 따른 최대에너지 공급 기법과 제안 기법의 각 클러스터 헤드별 공급에너지의 합을 보여주는 모의실험 결과이다. 결과는 이벤트 확률이 균일한 경우보다 공급되는 총 에너지양이 더 작은 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 네트워크 수명이 이벤트 발생 확률이 균일한 경우보다 작기 때문에 그에 따른 각 클러스터 헤드별 공급 에너지 역시 감소하기 때문이다. 우리는 이러한 모의실험 결과를 통해서 최대에너지

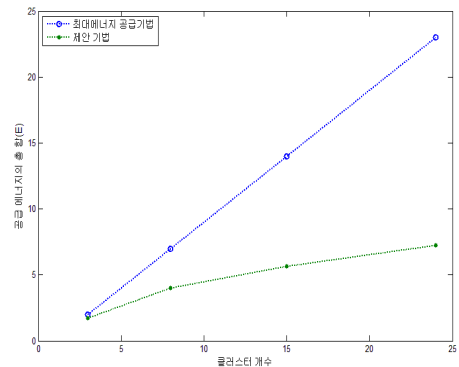


그림 7. 클러스터 수에 따른 클러스터 헤드 총 공급 에너지양(비균일 이벤트 발생 확률분포 경우)  
 Fig. 7. Total amount of supplied energy for clusterhead with variant number of clusters. (In case of nonuniform distribution of events)

공급기법과 동일한 네트워크 수명을 유지하면서 최소 필요의 에너지만을 공급하므로 최소 33% 이상의 공급 에너지 절감 효과를 얻을 수 있음을 보였다.

## V. 결 론

본 논문에서는 클러스터 기반의 센서 네트워크의 수명을 최대로 유지하면서 소모되는 에너지를 최소화하는 클러스터 헤드의 에너지 공급 문제를 해결한다. 문제에 대한 최적해를 수학적으로 제시하고 이를 기반으로 에너지 공급 기법을 제안한다. 또한 모의실험을 통해 제안된 방식이 기존 방식에 비해 에너지 사용량이 절감됨을 확인할 수 있다.

향후 개별 센서와 통신에 필요한 에너지를 함께 고려한 클러스터 에너지 저감문제에 대한 연구가 요구된다.

## 참 고 문 헌

- [1] W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocols for wireless microsensor networks", in Proc. IEEE Hawaii Int'l Conf. Sys. Sci., pp. 1-10, 2000.
- [2] X. Hong, M. Gerla, W. Hanbiao and L. Clare, "Load balanced, energy-aware communications for Mars sensor networks", in Proc. of Aerospace Conf., Vol. 3, pp. 1109-1115, 2002.
- [3] S.C. Huang and R.H. Jan, "Energy-aware, load balanced routing schemes for sensor networks", in Proc. of the tenth Int'l Conf. on Parallel and Distributed Systems, pp. 419-425, 2004.
- [4] T. Moscibroda and R. Wattenhofer, "Maximizing the lifetime of dominating sets", in Proc. of the 19th IEEE Int'l parallel and Distributed Processing Symposium, pp. 242b-242b, 2005.
- [5] Y.C. Wang, "Efficient deployment algorithms for ensuring coverage and connectivity of wireless sensor networks", in Proc. WICON, pp. 114-121, 2005.
- [6] G.Wang, G. Cao, and T.L. Porta, "Movement-assisted sensor deployment", in Proc. INFOCOM, pp. 2469-2479, 2004.
- [7] J. Wu and S. Yang, "SMART: A scan-based movement assisted sensor deployment method in wireless sensor networks", in Proc. INFOCOM, pp. 2313-2324, 2005.
- [8] J. Wu and S. Yang, "Optimal movement-assisted sensor deployment and its extensions in wireless sensor networks", in Proc. ICPADS, Vol. 1, pp. 12-15, 2006.
- [9] Chu-Fu Wang, Chun-Chia Lee, and Hui-Sheng Chu, "Optimal Deployment for Wireless Sensor Networks Using Lifetime Expectation Estimation", Proceedings of the Third International Conference on International Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Vol. 1, pp. 15-18, 2007
- [10] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," System Sciences, pp.10-, Vol.2, Jan. 2000.
- [11] 최진철, 이채우 "클러스터 기반 센서 네트워크의 에너지 모델링 기법" 대한전자공학회논문지 제44권 CI편, 제3호, 14-22쪽, 2007년.

## — 저 자 소 개 —



최 윤 범(학생회원)  
2010년 2월 인천대학교  
전자공학과 졸업  
2010년 2월~현재 인천대학교  
전자공학과 석사과정  
<주관심분야 : 차세대 이동통신  
시스템, 센서네트워크>



조 명 주(학생회원)  
2010년 2월 인천대학교  
전자공학과 졸업  
2010년 2월~현재 인천대학교  
전자공학과 석사과정  
<주관심분야 : 차세대 이동통신  
시스템>



김 용 호(학생회원)  
2010년 2월 인천대학교  
전자공학과 졸업  
2010년 2월~현재 인천대학교  
전자공학과 석사과정  
<주관심분야 : 차세대 이동통신  
시스템, 센서네트워크, 그린 IT>



김 훈(정회원)  
1998년 2월 KAIST 전기 및 전자  
공학과 졸업  
1999년 2월 ICU 공학부 석사  
2004년 2월 ICU 공학부 박사  
1998년~20001년 ETRI  
위촉연구원  
2004년~2005년 삼성종합기술원 책임연구원  
2005년~2007년 정보통신부 사무관  
2007년~2008년 Stanford Univ. 박사후연구원  
2008년~현재 인천대학교 조교수  
<주관심분야 : 차세대 이동통신 시스템, 펌토셀  
네트워크, 무선자원관리>