

---

# RF-Coverage를 고려한 에너지 효율적인 클러스터 헤드 선출 알고리즘

이두완\* · 한연희\*\* · 장경식\*\*\*

Energy Efficient Cluster Head Election Algorithm Considering RF-Coverage

Doo-Wan Lee\* · Youn-Hee Han\*\* · Kyung-Sik Jang\*\*\*

---

이 논문은 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략기술인력양성사업으로 수행된 결과임.  
이 논문은 한국기술교육대학교 교육연구진흥비지원 프로그램의 지원에 의하여 수행되었음.

---

## 요 약

무선 센서노드들은 초기에 대량으로 랜덤하게 배치되어 스스로 클러스터를 구성하고, 각 클러스터 헤드 노드를 선출하여 정상적인 통신이 이루어져야 한다. 이러한 일련의 작업을 무선 센서노드 설치시 관리자가 직접적으로 관여할 수 없기 때문에 자가 구성 라우팅 기능이 가능하여야 한다. 논문에서 제안하는 통신영역을 고려한 클러스터 헤드 노드 선출 알고리즘은 계층구조를 형성하는 무선센서 네트워크 환경에서 적용되며, 베이스 스테이션의 통신영역을 계산하여 클러스터 헤드 노드를 선정하고 클러스터를 구성한다.

## ABSTRACT

In WSN, at the initial stage, sensor nodes are randomly deployed over the region of interest, and self-configure the clustered networks by grouping a bunch of sensor nodes and selecting a cluster header among them. Specially, in WSN environment, in which the administrator's intervention is restricted, the self-configuration capability is essential to establish a power-conservative WSN which provides broad sensing coverage and communication coverage. In this paper, we propose a communication coverage-aware cluster head election algorithm for Hierarchical WSNs which consists of communication coverage-aware of the Base station is the cluster head node is elected and a clustering.

## 키워드

센서네트워크, 계층구조형, 통신영역, 자가구성, 클러스터 헤드

## Key word

Sensor Network, Hierarchical, RF-Coverage, Self-configuration, Cluster head

---

\* 정회원 : 한국기술교육대학교  
\*\* 정회원 : 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 교수  
\*\*\* 종신회원 : 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 교수  
(교신저자, ksjang@kut.ac.kr)

접수일자 : 2011. 02. 01  
심사완료일자 : 2011. 02. 24

## I. 서 론

최근 들어 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks)는 다양한 분야에 응용되고 있으며 주변 환경의 유용한 정보를 수집하여 처리하는 작업을 수행하고 있다. 각각의 노드들은 에너지 소비를 최소화하여 네트워크 전체의 수명을 향상시키기 위한 많은 방법들이 제안되고 있다[1][3]. 본 논문에서는 네트워크 전체 수명을 최대한 연장시키고 노드의 추가와 삭제의 기능이 가능한 자가구성 클러스터 헤드 노드 선출 알고리즘을 제안한다. 본 논문의 구성은 2장에서 관련 연구를 통해 본 논문에서 제안한 네트워크 모델의 기초적 내용을 알아보고 3장에서는 본 논문에서 제안한 클러스터 헤드 노드 선출 알고리즘에 대하여 확인해 본다. 4장에서 실험 및 결과 분석을 통하여 결론과 향후 연구과제를 확인해 본다.

## II. 관련 연구

### 2.1. 자가구성

무선 센서 네트워크는 공중에서 흩뿌려 망을 구성할 수 있는 특징을 가지고 있고, 오염지역이나 사용자가 접근하기 어려운 곳에 망을 구성하기에 매우 유용하다. 하지만 이러한 위험지역에서 임의적으로 흩뿌려진 센서들은 장애물로 인해 센서의 네트워크 구성이 어려울 경우가 많다[2]. 이러한 문제를 해결하기 위해 센서 노드들은 자율적인 조직화를 통해서 다양한 주변 환경 변화에 적합한 능동적인 연결 구조를 형성할 수 있어야 한다[4][5][6].

효율적인 자가망 구성은 무선센서노드들의 추가, 제거, 작업수행 및 고장 진단을 자율적으로 실행하는 것이 가능하며, 주변환경 변화에 따른 네트워크의 연결구조의 동적 변경을 가능케함으로써, 전체 네트워크의 주어진 임무에 대한 수행 만족도를 향상하며, 네트워크 망 동작시간을 크게 연장시킬 수 있다. 또한 전체 네트워크의 라이프타임에 가장 큰 영향을 미치는 부분이 네트워크 전력 소모량이다. 네트워크의 전력 소모에 대한 정확한 측정과 에너지 효율적인 전력 설계가 자가구성으로 이루어 질 경우 전체 네트워크의 라이프타임은 에너지 효

율적인 측면에서 매우 우수하다.

### 2.2. 클러스터 구조

클러스터 형성은 계층구조가 없는 상태에서 새로운 클러스터를 형성하여 계층구조를 구성한다. 계층구조를 형성하는 무선 센서네트워크에서는 다수의 센서 노드들을 관장하는 CH(cluster header)가 선출되며, 선출된 CH는 자신이 관리하는 무선 센서노드를 제어하는 역할을 담당한다. CH를 포함한 일반 센서 노드들의 집합을 클러스터(cluster)라고 정의하며, 클러스터 내의 모든 노드들 가운데 CH를 선출하고 클러스터를 구성하는 일련의 과정을 클러스터링(clustering)이라고 한다[7].

일반적으로 클러스터를 구성하게 되면, 각 센서 노드는 하나의 클러스터의 멤버에 소속되고, 전체 네트워크는 클러스터 단위로 분할한다[4][5]. 각 클러스터의 CH는 클러스터에 속한 센서 노드들로부터 데이터를 수집하여 처리하고, 처리 완료된 데이터를 베이스 스테이션으로 전송하는 역할을 수행한다[8].

## III. 클러스터 헤드 선출 알고리즘

### 3.1. 클러스터링의 목적

일반적으로 무선 센서 네트워크에서 클러스터링을 하는 이유는 베이스 스테이션에 접속한 센서노드들의 과도한 접속으로 인해 데이터 통신량이 증가하거나, 센서노드와의 거리가 멀어져 통신시 많은 에너지가 소모될 경우, 새로운 AOI(area of interest)의 확대에 의해 센싱 영역을 추가할 경우에 클러스터링을 수행한다.

### 3.2. 제안 모델의 가정

- 베이스 스테이션(Base Station)은 외부망과의 인터페이스를 지원하는 게이트웨이 역할을 수행하며 네트워크의 구성에 따라, 센서노드가 직접 접속되거나, CH를 통해서 접속할 수 있다. 베이스 스테이션의 통신 영역은 가변적이고, 자신의 통신 영역을 조절함으로써 에너지 효율적으로 동작이 가능하다.

- 베이스 스테이션과 모든 센서 노드들의 통신 영역은 같다.

- 모든 노드는 자신의 위치정보를 확인할 수 있는 GPS를 내장하고 있다.
- 모든 노드는 상위노드 및 하위노드의 정보를 저장한 노드정보테이블(NRT:Node Registration Table)을 가지고 있다.

**3.3. 클러스터 헤드 선출**

네트워크 시간 주기표에 맞추어 베이스 스테이션이 클러스터를 구성할 필요성을 만족하게 되면 전체 네트워크에 네트워크 구성 명령을 브로드 캐스팅한다. 모든 네트워크의 NRT가 업데이트되어 베이스 스테이션이 네트워크 전체의 정보를 새롭게 업데이트하게 되면 네트워크의 재구성 판단을 결정하게 된다. CH를 선출하기 위한 순서는 그림 1과 같다.

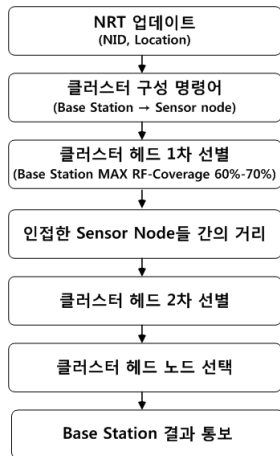


그림 1. CH 선출순서  
Fig. 1 CH Election

베이스 스테이션은 네트워크의 초기 구성 단계에서 최대 통신 영역안에 전체 네트워크의 80%이상의 센서 노드가 연결되었을 경우이거나, 베이스 스테이션의 최대 통신영역의 80%이상의 영역에 센서노드들이 존재할 경우 데이터 전송에 많은 에너지가 소모되기 때문에 베이스 스테이션은 클러스터 구성 명령어를 네트워크 전체에 브로드 캐스팅할 수 있다.

베이스 스테이션은 최대 통신영역의 60%~70% 범위에 위치한 센서노드들을 1차 후보 CH로 선발하고, 그림 2에서와 같이 1차 선발된 후보 CH들은 NID(Node ID)가

우선순위인 노드가 기준이 되어 인접한 후보 CH와의 거리를 계산하게 된다.

그림 2에서 1차 선발된 후보 CH중에서 NID:16이 우선순위가 제일 높기 때문에 기준이 되어 NID:24와 거리를 계산하게 된다. 거리를 계산하여 인접한 노드의 거리가 지정된 임계값보다 작게 나오면 거리가 가깝다는 결과이기 때문에 후보 CH에서 제외 되게 된다.

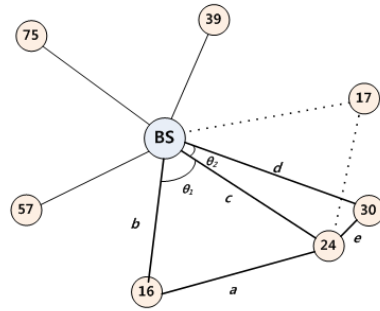


그림 2. 인접한 노드들간의 거리 계산  
Fig. 2 Node distance computation

NID:16과 NID:24는 임계값을 초과하기 때문에 후보 CH에 포함 된다. NID:24와 NID:30은 임계값 보다 작기 때문에 NID:30은 후보 CH에서 제외되고, NID:24는 다시 NID:17과 거리 계산을 시도하여 후보 CH를 선정하게 된다.

임계값을 계산하는 식은 식 (1)과 같다[9].

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos\theta$$

$$\cos\theta = -\frac{(a^2 - b^2 - c^2)}{2bc} \tag{1}$$

$\theta$  값은 rad 값으로 표기하여 임계값을 정의한다. 임계값 미만의 값은 두 노드 사이의 거리가 가깝다는 것을 의미하기 때문에 결과적으로 2차 후보 중에서 선별된 두 노드 사이의 거리가 임계값 이상인 노드가 마지막 최종 CH로 선택되어 진다.

**3.4. 클러스터 멤버 등록**

최종적으로 CH가 선출되면 베이스 스테이션은 NRT를 업데이트 하고, CH는 클러스터 멤버노드를 구성하기

위해 **Listening** 상태로 전환한다. 베이스 스테이션은 최대 통신영역에 있는 모든 노드들에게 **CH**의 위치 정보를 브로드 캐스팅하고 정보를 수신한 노드는 자신의 현재 위치와 거리가 가까운 **CH**와 클러스터 조인 명령을 수행하게 된다. 기존에 베이스 스테이션과 통신을 하던 노드는 베이스 스테이션과 새로 선출된 **CH**와의 거리를 계산하여 **CH**와의 거리가 가까우면 클러스터 멤버노드로 포함되고, 베이스 스테이션과의 거리가 가까우면 직접적인 통신을 하게 된다.

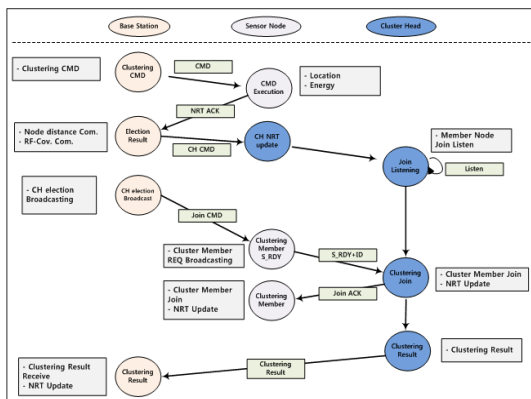


그림 3. 클러스터 구성  
Fig. 3 Clustering

클러스터링이 완료되게 되면 **CH**는 업데이트된 클러스터 멤버 노드의 **NRT**와 자신의 **NRT**를 베이스 스테이션에 최종 결과를 보고 하게 된다. 베이스 스테이션은 **NRT**에 등록된 **CH**와 자신과 직접 연결된 센서노드와의 통신만 유지하면 되기 때문에 통신영역을 자신의 최대 통신 영역에서 70% 까지 조절하게 된다. 또한 센서노드 자체도 **CH**와 통신을 하게 되기 때문에 베이스 스테이션과 통신하던 초기 네트워크 상태보다 통신 에너지 효율이 훨씬 좋아져 전체 네트워크의 수명이 향상된다.

#### IV. 실험 및 분석

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 자체 개발한 무선센서 네트워크 시뮬레이터 엔진

인 **WiSE-SIM**을 사용하였다[10].

논문에서 제안한 알고리즘을 성능평가하기 위해서 설계한 노드 전력 모델은 표 1과 같다.

표 1. 노드 전력모델  
Table. 1 Node power consumption

노드 개수	100개	
MAX RF-Cov.	5m	
시뮬레이션 시간	360s	
단위시간	1s	
센싱주기	2s	
배터리 용량	BS	10000mAH
	CH	1000mAH
	S	1000mAH
전력 사용량	대기	2 mW/s
	휴지	1 mW/s
	데이터 처리	4 mW/S
	데이터 센싱	5 mW/S
	송신	$0.525 * d + 16.5$ mW/S
	수신	56 mW/S

노드의 상태별로 전력모델을 설계하였고, 데이터 센싱작업시, 데이터의 수신 전력모델은 **RF**모듈 **CC2420**의 전송 거리에 언급된 전력 소모량에 대한 실측 값을 기준으로 모델링하였다. 송신 전력 소모량의 수식에서 **0.525**의 상수를 곱해주는 이유는 송신 거리에 따른 소모 전력 변화량을 의미하며 **16.5**는 보정 값으로 정확도를 높이기 위해 사용되었다[11].

**mWiSE-Net** 프로토콜을 **WiSE-SIM**에서 시뮬레이션 하여 설정한 시뮬레이션 시간이 지난 후 노드가 보유하고 있는 에너지를 비교였다. 시뮬레이션을 하기위해 노드 정보를 설정하고 총 시뮬레이션 시간을 6분으로 셋팅 하였고, 시뮬레이션 단위 시간을 1000ms로 설정하여 시뮬레이션 하였다. 센싱 주기는 2s로 설정하고 클러스터 명령어는 시뮬레이션 시작 후 100s 뒤에 베이스 스테이션이 자동으로 클러스터 명령을 전체 네트워크에 송신 하도록 설정하였다.

시뮬레이션 완료후 결과 화면은 그림 4와 같이 출력 되었다. 결과화면에서 **Time**은 시뮬레이션 단위 시간을 나타내고, 베이스 스테이션의 노드ID는 0번이고, -1은

Time	노드 ID	데이터 프로세스	데이터 센싱	송신	수신	대기	해당 노드 토탈	노드 누적 데이터 프로세스	센싱	송신	수신	대기	누적 토탈
1	-1	800	-	3,528	11,200	201,402	216,930	2,824	-	4,328	11,200	402,392	420,744
2	-1	800	-	3,528	11,200	201,402	216,930	3,624	-	7,856	22,400	603,794	637,674
102	-1	560	-	2,316	7,840	201,642	212,358	5,852	-	12,135	47,376	20,822,178	20,887,541
120	-1	252	310	1,862	5,488	201,826	209,738	6,684	310	14,900	60,984	24,460,858	24,543,736
100	-1	404	-	1,783	5,656	201,798	209,641	4,828	-	9,639	33,656	20,418,786	20,466,909
1	0	400	-	1,764	5,600	1,602	9,366	424	-	1,764	5,600	3,592	11,380
2	0	400	-	1,764	5,600	1,602	9,366	824	-	3,528	11,200	5,194	20,746
120	0	4	-	1,007	2,968	1,998	5,977	2,292	-	5,497	28,448	240,374	276,611
103	-1	580	-	903	8,120	201,622	211,225	6,432	-	13,038	55,496	21,023,800	21,098,766
130	-1	432	280	903	2,912	201,658	206,185	8,848	2,755	15,803	63,896	26,479,736	26,571,038
140	-1	428	280	887	2,856	201,662	206,113	11,156	5,180	17,387	69,048	28,498,478	28,601,249
150	-1	428	280	887	2,856	201,662	206,113	13,464	7,605	18,971	74,200	30,517,220	30,631,460
160	-1	428	280	887	2,856	201,662	206,113	15,772	10,030	20,555	79,352	32,535,962	32,661,671
170	-1	428	280	887	2,856	201,662	206,113	18,080	12,455	22,139	84,504	34,554,704	34,691,882
180	-1	428	280	887	2,856	201,662	206,113	20,388	14,880	23,723	89,656	36,573,446	36,722,093

그림 4. 시뮬레이션 결과  
Fig. 4 Simulation result

시뮬레이션 단위시간에서 전체노드의 각 항목별 합계를 나타낸다. 각 항목별 에너지량의 단위는  $\mu W$ 로 나타내었다.

시뮬레이션 결과 베이스 스테이션의 에너지 변화를 확인해 보면 초기 네트워크를 형성한 후 베이스 스테이션과 통신을 하는 센서 노드들에 의해 에너지 소모량이 매우 많아짐을 확인할 수 있다.

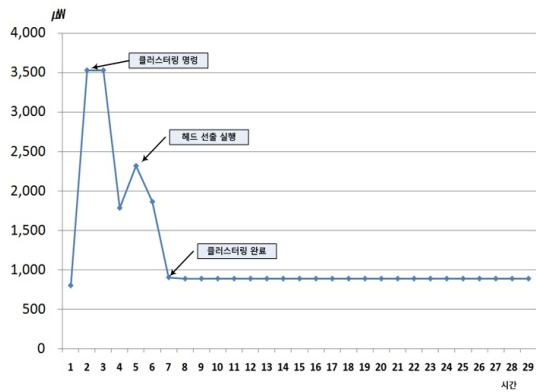


그림 5. 베이스 스테이션의 에너지 변화  
Fig. 5 Base Station power consumption

에너지 소모량이 증가하여 베이스 스테이션에서 클러스터 구성 명령을 전체 네트워크에 브로드 캐스팅하고, CH 선출이 완료되어 클러스터링이 완료 되면 베이

스 스테이션은 자신의 통신 영역을 축소하여 네트워크 전체에게 송수신 하기 때문에 에너지 소모량이 줄어드는 것을 그림 5에서와 같이 확인할 수 있다.

그림 6은 베이스 스테이션에 의해 클러스터 명령이 실행되고, CH가 선출 된 후에 각 클러스터 멤버 노드가 결정된 후의 전체 네트워크의 모든 센서노드들의 에너지 변화를 확인해 보았다. CH가 선출된 후 클러스터 멤버노드가 되면 송수신에 필요한 전력소모량이 베이스 스테이션과 직접적으로 통신할 경우보다 효율적임을 확인할 수 있다.

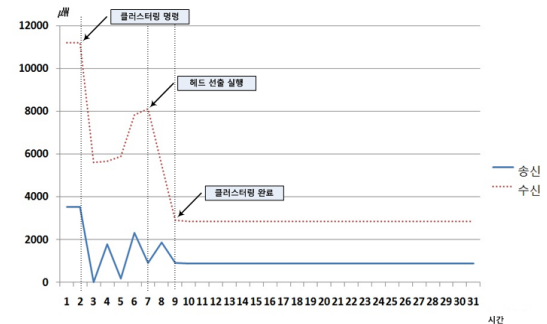


그림 6. 센서노드의 에너지 변화  
Fig. 6 Sensor node power consumption

그림 7은 시뮬레이션 전체 시간 중에서 베이스 스테이션을 포함한 전체 노드의 상태별 에너지 변화를 나타

낸 것이다. 클러스터링 명령이 완료된 후에 네트워크의 모든 노드들은 에너지 소모율이 많이 향상된 것을 확인할 수 있었다.

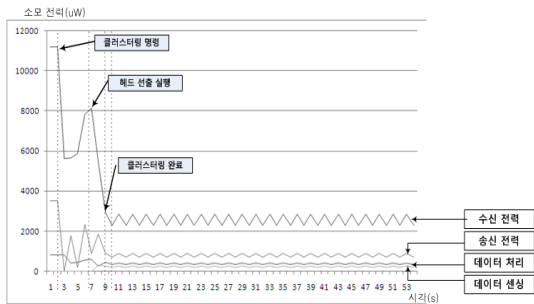


그림 7. 전체 노드의 상태별 전력 소모량  
Fig. 7 Power consumption of the total node

그림 8은 동일한 노드 설정으로 LEACH 프로토콜과 비교한 시뮬레이터 한 결과이다. LEACH 프로토콜의 경우 전체 네트워크에서 에너지 효율성을 높이기 위해 전체 라운드에서 클러스터 멤버 노드가 최소한 1번씩 선출되기 때문에 동일한 에너지 소모율을 가진다는 것이 장점이지만 CH가 선출 될 경우 베이스 스테이션과 또는 클러스터 멤버 노드들과의 통신 거리는 계산하지 않기 때문에 CH 선출 과정시 많은 에너지가 소비됨을 확인할 수 있다. 반면에 클러스터링이 완료된 후에 모든 노드들의 통신 영역이 축소되기 때문에 송수신시 보내는 에너지 소모량이 효율적으로 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

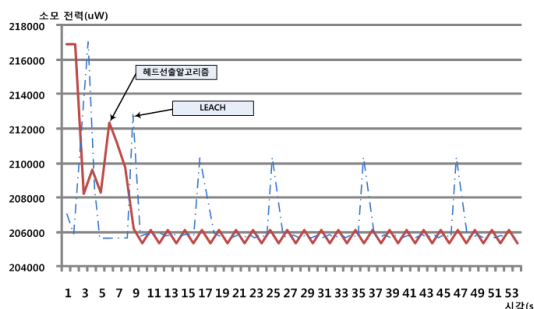


그림 8. 전력 소모 누적량 비교  
Fig. 8 Power consumption cumulant comparison

## V. 결론 및 향후 연구과제

무선 센서 네트워크는 한번 배치되면 수많은 환경 변수에 적응하여 네트워크를 구성하고 주어진 임무를 수행하여야 한다. 하지만 AOI(Area Of Interest)에 사용자가 접근하기 어렵거나 새로운 노드의 추가 및 삭제, 또는 새로운 AOI의 데이터가 필요할 경우 무선 센서 네트워크는 자가구성을 실행하여야 한다. 이러한 무선센서 네트워크에서는 베이스 스테이션에 의해서 전체 네트워크가 통제되기 때문에 베이스 스테이션의 에너지 관리가 매우 중요하다. 초기 네트워크 구성시에 베이스 스테이션에 접속한 센서노드의수가 많아지게 되거나, 베이스 스테이션 통신영역의 최대 영역에 위치한 센서 노드들과 통신을 하고자 한다면 베이스 스테이션과 센서노드 역시 에너지 소모율이 급속도로 떨어지기 때문에 네트워크 구조를 계층적 클러스터 구조로 변경하는 것이 바람직하다. 본 논문에서는 클러스터링을 구성하여 일정시간 동안 네트워크를 시뮬레이션 한 결과 베이스 스테이션과 모든 노드들의 에너지 효율이 초기 네트워크의 에너지 효율보다 32%정도 향상됨을 확인할 수 있었다.

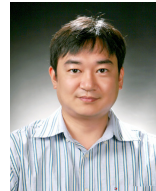
본 논문에서 제안한 알고리즘은 무선센서 네트워크의 초기 구성에서 최초의 클러스터 구성까지의 알고리즘을 구현한 것이다. CH의 데이터 트래픽으로 인한 과도한 에너지 소비가 발생하거나, 새로운 AOI의 추가, 클러스터의 병합 등의 클러스터 재구성은 향후 연구 과제로 남아 있다.

## 참고문헌

- [ 1 ] Jaime Lloret, Miguel Garcia, Diana Bri and Juan R. Diaz, "A Cluster-Based Architecture to Structure the Topology of Parallel Wireless Sensor Networks", OPEN ACCESS Sensors, 2009.
- [ 2 ] Mudasser Iqbal, Iqbal Gondal, Laurence S. Dooley, "HUSEC : A heuristic self configuration model for wireless sensor networks", computer communications ScienceDirext 2007.

- [ 3 ] Manish Kochhal, Loren Schwiebert, Sandeep Gupta, "Role-based Hierarchical Self Organization for Wireless Ad hoc Sensor Networks", WSMA'03, September 19, 2003.
- [ 4 ] 여명호, 이미숙, 박종국, 이석재, 유재수, "무선 센서 네트워크에서 네트워크 트래픽 감소를 위한 데이터 중심 클러스터링 알고리즘", 정보과학회논문지 : 정보통신 제35권 제2호, 2008.4.
- [ 5 ] 최경진, 윤명준, 심인보, 이재용, "무선센서 네트워크에서의 에너지 효율적인 클러스터 헤드 선출 알고리즘", 한국통신학회논문지 '07-6 Vol. 32 No.6, 2007.
- [ 6 ] 고성현, 김현태, 김형진, "무선 센서 네트워크 위한 계층형 클러스터링의 역할 기반 자가 구성 프로토콜", 한국해양정보통신학회 2007 추계종합학술대회, 2007.
- [ 7 ] 최지영, 강충구, "주변노드 발견을 통한 무선센서 네트워크에서의 에너지 효율적인 클러스터링 및 전력 균형 분산 기법", 한국 통신학회 논문지 06-11 vol.31 No.11A, 2006.
- [ 8 ] 이두완, 김용, 장경식, "이동 무선센서 네트워크에서의 자가구성 라우팅 기법", 춘계한국해양정보통신학술대회, 2010.
- [ 9 ] 이두완, 김용, 장경식, "계층형 무선센서네트워크에서 통신영역을 고려한 클러스터 헤드 선출 알고리즘", 춘계한국해양정보통신학술대회, 2010.
- [ 10 ] 김용, 장경식, "모바일 무선 센서 네트워크에서 Minimum-Hop Layer를 이용한 클러스터 재구성", 한국기술교육대학교, 2011.
- [ 11 ] 엄홍식, 김건욱, "전송전력 최적화를 통한 센서네트워크의 효율적인 에너지관리에 대한 연구", 전자공학회 논문지 제 44권, pp.225~pp.230. 2007.

저자소개



**이두완 (Doo-Wan Lee)**

2001. 대전대학교 전자물리학 학사  
 2003. 한국교원대학교 컴퓨터  
 교육학 석사  
 2009.3~현재 한국기술교육대학교  
 컴퓨터공학과 박사과정

※ 관심분야: 센서네트워크, 임베디드시스템



**한연희 (Youn-Hee Han)**

1996. 고려대학교 수학과 학사  
 1998. 고려대학교 컴퓨터공학과  
 석사  
 2002. 고려대학교 컴퓨터공학과  
 박사

2002.3~2006.2 삼성종합기술원 전문연구원  
 2005.10~현재 TTA PG210 Multi6 WG 의장  
 2006.2 ~현재 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부  
 교수

※ 관심분야: 센서네트워크, 이동통신, 미래인터넷



**장경식 (Kyung-Sik Jang)**

1987. 고려대학교 전자공학과 학사  
 1989. KAIST 전기및전자공학과  
 석사  
 1998. 동경공업대학교  
 전기전자공학 박사

1987.3~1998.2 KT 연구개발단  
 1998.3~1999.2 삼성전자 시스템 LSI 사업부  
 1999.3~현재 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부  
 교수

※ 관심분야: 임베디드시스템, 센서네트워크