

---

# 무선센서네트워크용 동작레벨 시뮬레이터 설계

이두완\* · 김민제\*\* · 이강환\*\*\* · 장경식\*\*\*\*

Design of Operation-Level Simulator for Wireless Sensor Network

Doo-Wan Lee\* · Min-Je Kim\*\* · Kang-Whan Lee\*\*\* · Kyung-Sik Jang\*\*\*\*

---

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

---

## 요 약

최근 무선센서 네트워크의 연구 활동은 매우 활발히 이루어 지고 있지만, 네트워크 시뮬레이터는 NS2 나 Matlab 과 같이 기존에 개발된 시뮬레이터를 이용하여 결과를 분석하게 된다. 그러나 기존의 시뮬레이터는 분석할 수 있는 결과가 한정되어 있어 무선 센서 네트워크를 분석하기에는 미흡한 실정이다. 각 노드들의 데이터 송수신, 전력 소모량등 필요한 분석결과를 도출하기가 어렵다.

논문에서는 네트워크의 동작레벨에서 각 노드의 전력소모량, 성능, 이동성, 지리적 정보를 시뮬레이션 할 수 있는 무선센서 네트워크 전용 시뮬레이터 플랫폼을 제안한다. 제안한 시뮬레이터는 기존에 개발된 네트워크 라우팅 알고리즘 분석이 가능하기 때문에 새로운 네트워크 라우팅 알고리즘 개발에 활용할 수 있다.

## ABSTRACT

Recently, a lots of research proposals and results on mobile sensor network are actively announced. The most of such works are based on general-purposed network simulators such as ns-2, matlab, etc. But, It is not easy to model and simulate the detail activities of each sensor node, data deliveries between them, and its cost such as power consumption and resource utilization, so that the simulation results of those simulators show the limited aspects of overall networks features or performance metrics.

In this paper proposed, power consumption of each node, performance, mobility, and location information in operation-level of the network that can simulate a wireless sensor network simulator platform. Because the network routing algorithm analysis of being developed in an existing becomes available, the proposed simulator can usability in the new network routing algorithm development.

## 키워드

무선센서네트워크, 동작레벨, 라우팅알고리즘, 자가구성

## Key word

Wireless Sensor Network, Operation-level, Routing Algorithm, Self-configuration

---

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

접수일자 : 2011. 02. 08  
심사완료일자 : 2011. 02. 12

## I. 서 론

기존에 활용되었던 네트워크 시뮬레이터는 NS2를 활용하거나 MATLAB을 사용하여 결과값을 도출하였다. 하지만 기존의 시뮬레이터는 분석할 수 있는 요소가 한정되어 있고, 네트워크 구조의 변화 또는 관심영역의 변화에 대한 대응이 느리기 때문에 무선 센서네트워크를 시뮬레이션하기에는 부족한 부분이 많다. 또한 무선 센서 네트워크에서 필요한 전력소모량, 센서노드의 성능, 지리적정보, 이동성등의 요소를 측정하기가 어렵다.

WiSE-SIM(Wireless SEnsor network SIMulator)은 실제 환경과 동일한 AOI (Area of Interest)에 무선 센서노드들을 가상으로 배치하여 무선 센서노드들의 네트워크 토폴로지 형성 및 클러스터링 구성을 통하여 실제환경에서 작동하는 것과 유사하게 작동하기 때문에 센서노드의 정보를 확인할 수 있는 시뮬레이터이다. 또한 각노드의 동작레벨에서 속성을 정의 할 수 있기 때문에 전력량, 성능, 이동성 위치등의 속성을 정의하거나 속성값을 입력하여 시뮬레이션 할 수 있으며, 기존에 제안된 네트워크 토폴로지 및 프로토콜 알고리즘을 테스트하고 새로운 알고리즘을 제안하여 비교 분석할 수 있고, 무선센서 네트워크 뿐 아니라 범용적인 네트워크에도 적용할 수 있는 시뮬레이터 엔진이다. 본 논문의 구성은 2장에서 관련 연구를 통해 무선 센서네트워크의 기술 동향과 사용되고 있는 시뮬레이터의 기초적 내용을 알아보고 3장에서는 본 논문에서 제안한 WiSE-SIM의 기본 구성과 동작원리를 확인해 본다. 4장에서 실험 및 분석을 통해 설계한 시뮬레이터의 활용도 및 우수성을 확인해 보고, 마지막으로 결론과 향후 연구과제를 통해 추가 및 보완되어야 할 부분을 알아본다.

## II. 관련 연구

### 2-1. 무선 센서 네트워크의 기술 동향

무선 센서 네트워크의 핵심소자 중의 하나인 무선센서 노드는 물리 또는 환경계의 현상을 정량적으로 측정하여 사용자에게 전달해 주는 역할을 해 준다. 이러한 일련의 작업 과정은 사용자가 접근하기 어려운 환경에

서도 동작이 가능하며, 산업체 전반적인 분야 및 군사 설비용을 활용될 수 있고, 최근에서는 유비쿼터스 환경과 접목하여 많은 분야에 응용되어 활용될 것으로 전망된다[1][2]. 또한 무선 센서 네트워크 시스템은 수질, 토양 또는 기후 측정을 수집하기 위해 장기간 배포 솔루션이 요구되는 환경 모니터링과 같은 어플리케이션에 이상적이며, 전력망, 가로등, 도시 상수와 같은 공익설비를 위해 무선 센서는 에너지 사용을 줄이고 리소스를 더욱 잘 활용하기 위해 시스템 상태 데이터를 수집하는 저가형 방식을 제공할 수 있다[3][4][5]. 구조 상태 모니터링 시스템에서 고속도로, 다리 및 터널을 효율적으로 모니터링하기 위해 무선센서를 사용할 수도 있고, 건물, 병원, 공항, 공장, 발전소 또는 제조 시설을 지속적으로 모니터링하기 위해 무선 센서 네트워크를 활용할 수 있다.

## III. WiSE-SIM

### 3-1. WiSE-SIM의 특징

WiSE-SIM은 무선 센서 네트워크에서 각 센서노드의 동작 레벨에 맞추어 특성 요소를 분석하기가 용이하도록 시뮬레이션 엔진을 설계하였기 때문에 무선 센서네트워크에서 사용자가 필요로 하는 네트워크 라우팅 알고리즘 뿐 아니라, 노드의 전력 소모량, 노드의 성능적인 측면, 노드의 이동성과 위치에 의한 관심영역 센싱 등 기타 환경 변수 등 여러 가지 요소에 따라서 분석하여 결과를 도출해 내기 쉽도록 시뮬레이터 엔진을 설계하였다. 따라서 일반적인 네트워크에 적용되는 기존의 네트워크 시뮬레이터보다 경쟁력에서 우수하다. 또한 무선 센서 네트워크에서 사용되는 네트워크 토폴로지와 네트워크 프로토콜 알고리즘을 제안할 수 있다.

### 3-2. WiSE-SIM 구성도

#### - NDL(Network Description Language)

네트워크 토폴로지 기술언어로 센서 네트워크의 구성요소의 배치 및 연결 상태를 정의한다. NDL은 NDL Parser에 의해 NCG(Network Connection Graph)로 변환되어 시뮬레이션 엔진에 입력된다.

- 시뮬레이션 엔진

시뮬레이션 엔진은 시뮬레이션을 수행하는 핵심 코어로 **Sim-Tick(Simulation Tick)**을 사용자가 직접 설정하여 네트워크 시간이 진행되는 이벤트-구동 방식으로 작동한다.



그림 1. 이벤트-구동 시뮬레이션  
Fig. 1 Event-driven simulation

- SCO(Simulation Constraints)

네트워크의 재구성 주기나 센싱 주기등의 정보를 포함하는 Text 파일로 시뮬레이션의 입력값 불러오거나 시뮬레이터에서 자체 편집이 가능하다.

- SOP(Simulation Output)

시뮬레이션 결과 네트워크 프로토콜에 따른 노드 연결 상태, 각 노드의 전력 상태 등 노드에 관한 전체적인 정보를 포함하고 있다.

- SDA(Statistical Data)

결과에 대한 통계 데이터로 현재는 전력 소모량만 포함되어 있다.

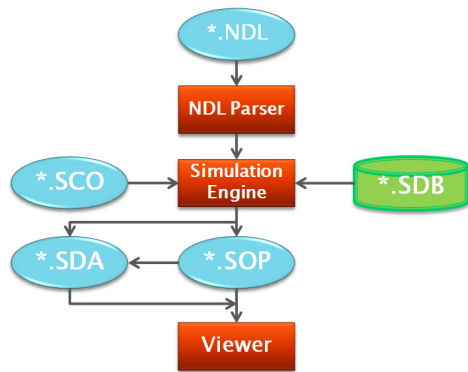


그림 2. WiSE-SIM 구성도  
Fig. 2 WiSW-SIM Component

- SDB(Simulation DB)

시뮬레이터 엔진의 코어 역할을 하는 부분으로 소

스 코드가 포함 되어 있다. SDB는 PDL(Protocol Description Language)를 통해 입력된 프로토콜을 분석하고, 분석된 PDL을 센서노드의 동작 상태를 표현한 STD(State Transaction Diagram)로 변환 한다. 변환된 STD와 노드의 제어 및 데이터의 흐름을 기본 블록 단위로 나누어 구성한 CFG(Control data Flow Graph)를 이용하여 노드들의 동작을 예측하고, 예측 결과를 가지고 시뮬레이션 모델을 생성하게 된다. 시뮬레이션 모델의 결과값 정확도를 향상 시키기 위해 실제 센서노드의 측정값 MCD(Measured Characteristic Data) 값을 사용하여 예측값을 보정한 후 SDB를 생성을 완료하게 된다.

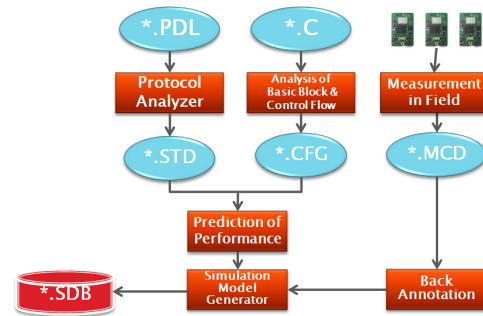


그림 3. SDB 생성과정  
Fig. 3 SDB Generator

3-3. WiSE-SIM 컴포넌트

- **Simulation Setup** : 네트워크 전체에 대한 속성을 정의할 수 있는 메뉴이다. 네트워크 전체 센서노드의 수, 노드 배치방법, 네트워크 프로토콜 설정, 시뮬레이션 시간 설정, 재구성 주기 설정, 센싱 주기 설정, 센서 노드 타입 설정, 센서노드의 이동성 설정등의 정보를 입력 제어할 수 있는 메뉴이다.

- **Node Editor** : 노드의 속성을 정의할 수 있는 메뉴이다. 센서노드의 유형, 통신채널의 수, 배터리 최대 전력량, 배터리 충전률, 노드 최대 통신 거리, 데이터 전송속도, 전력 모델 등의 정보를 주어지거나 수정할 수 있다.

- **Map Editor** : 센서 네트워크가 전개되는 관심영역의 지형과 장애물 등을 편집할 수 있다. 센서 네트워크 지역의 지형 이미지 선택, 센싱대상지역 추가, 관심영역 삭제, 장애물 추가 및 삭제, 맵의 정보등을 저장하거나 수정할 수 있다.

- **Viewer** : 시뮬레이션 결과를 보여 준다. 미리 설정된 맵을 불러와 시뮬레이션 정보와 각 노드들의 정보를 확인할 수 있고, 시뮬레이션을 시작하거나 중단, 또는 일시 정지등을 하여 시뮬레이션 중간과정을 확인할 수 있다. 화면을 확대하여 세밀화 되어 있는 클러스터를 세부적으로 확인이 가능하며, 통신영역과 센싱영역등이 표현 되고, 그리드와 축척을 활용하여 거리를 계산할 수 있다.



그림 4. Viewer  
Fig. 4 Viewer

그림 5는 시뮬레이션의 결과를 볼 수 있는 **Viewer** 메뉴를 실행한 화면이다.

#### IV. 실험 및 분석

기존의 고정형 무선 센서 네트워크에 이동성을 추가한 **mWiSE-Net** 프로토콜은 계층적 클러스터링 구조로 되어있고, 베이스 스테이션의 명령에 의해 네트워크 자가구성, 클러스터 재구성, 센싱영역 확장 등의 네트워크 알고리즘이 적용될 수 있는 네트워크 프로토콜이다.

**mWiSE-Net** 모델의 기본적인 구성은 그림 5와 같다.

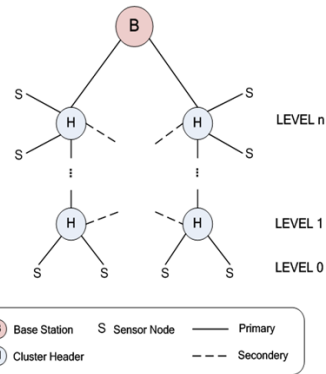


그림 5. mWiSE-Net 모델  
Fig. 5 mWiSE-Net model

**mWiSE-Net**은 베이스 스테이션과 클러스터 헤드 노드간, 클러스터 헤드 노드와 센서노드 사이의 물리적 연결 구조는 스타형 구조로 연결되어 있고 클러스터 헤드 노드간 물리적 연결 구조는 멀티레벨 구조의 메쉬형 구조로 연결되어 있다.

**mWiSE-Net**은 베이스 스테이션을 중심으로 센서노드의 작업 지시명령, 동작명령, 네트워크 설정, 네트워크 구성, 네트워크 변경, 및 전체 네트워크의 상태 감시등이 이루어 진다[6].

네트워크 라우팅 프로토콜을 시뮬레이션 하기 위해서 각 노드를 모델링 하였다. 실험에 사용한 **mWiSE-Net**의 전력 모델은 표 1과 같다.

표 1. 노드 전력모델  
Table. 1 Node power consumption

구분	mWiSE-Net	
노드 개수	100개	
MAX RF-Cov.		5m
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	

대기, 휴지, 데이터 처리, 데이터 센싱, 수신인 경우는 상수의 형태로 전력량을 모델링 하였고, 송신의 경우는 1차식의 형태로 모델링하였다.

송신과 수신인 전력 사용량은 RF모듈 CC2420의 전송 거리에 언급된 따른 전력 소모량에 대한 실측 값을 기준으로 모델링하였다[7]. 송신 전력 소모량의 0.525는 송신 거리에 따른 소모 전력 변화량을 의미하며 16.5는 보정 값이다.

mWiSE-Net 프로토콜을 WiSE-SIM에서 시뮬레이션 하여 설정한 시뮬레이션 시간이 지난 후 노드가 보유하고 있는 에너지를 비교였다. 시뮬레이션을 하기위해 노드 정보를 설정하고 총 시뮬레이션 시간을 6분으로 셋팅하고, 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 송신하도록 설정하였다.

노드에 표시된 영역은 통신영역을 나타내며 시뮬레이터의 옵션에 의해 센싱 영역과 통신영역을 On/Off 할 수 있다.

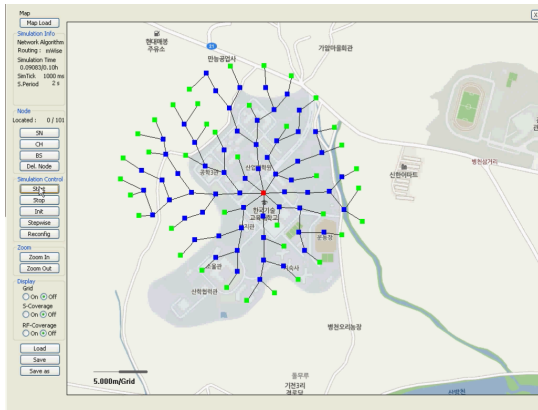


그림 6. 시뮬레이션 과정  
Fig. 6 Simulation process

초기 노드배치가 완료되고 시뮬레이션을 시작하게 되면 기본적으로 내장된 프로토콜 알고리즘인 mWiSE-Net를 적용하여 설정한 시뮬레이션 타임에 의해 시뮬레이션이 진행된다. 관심영역에 베이스 스테이션을 투입하게 되면 베이스 스테이션에 전원이 공

급되고, 베이스 스테이션 자체의 하드웨어 초기화과정이 끝나게 된다. 베이스 스테이션이 하드웨어 초기화 과정을 마치게 되면 무선 센서노드가 보내게 되는 S\_RDY 패킷을 기다리게 되는 수신대기(Listen) 상태로 전환된다.

베이스 스테이션으로부터 ACK패킷을 수신 받으면 무선 센서노드의 NRT를 업데이트하고, 베이스 스테이션에게 등록완료 ACK 패킷을 보냄과 동시에 베이스 스테이션과 연결 완료 상태가 되어 명령어 대기 상태로 진입하게 된다[8][9].

초기 네트워크가 구성이 완료되고, 베이스 스테이션으로 데이터 수집이 확인되면 베이스 스테이션에 의해 개발되었던 네트워크 프로토콜 알고리즘 실행 명령어들이 수행 될 수 있다. 초기 Simulation Setup에서 정의한 네트워크 프로토콜, 이동성, 네트워크 시간 등의 설정 값에 의해 자동진행하면서 클러스터링 구성 및 재구성, 센서노드의 추가 및 삭제 등의 시뮬레이션 결과를 그림 7과 같은 화면으로 보여주게 된다.

result time	노드 ID	데이터 프로세스	데이터 센싱	송신	수신	대기	해당 노드 토탈
0	0	2,024	0	800	0	200,990	203,814
1	0	800	0	3,528	11,200	201,402	216,930
2	0	800	0	3,528	11,200	201,402	216,930
100	0	404	0	1,783	5,656	201,798	209,641
102	0	560	0	2,316	7,840	201,642	212,358
120	0	252	310	1,862	5,488	201,826	209,738
130	0	432	280	903	2,912	201,658	206,185
140	0	428	280	887	2,856	201,662	206,113
150	0	428	280	887	2,856	201,662	206,113
160	0	428	280	887	2,856	201,662	206,113
170	0	428	280	887	2,856	201,662	206,113
180	0	428	280	887	2,856	201,662	206,113
190	0	428	280	887	2,856	201,662	206,113

그림 7. 시뮬레이션 결과  
Fig. 7 Simulation result

그림 8에서 노드 ID의 값이 0을 나타내는 것은 베이스 스테이션을 의미하며 result time은 시뮬레이터에서 정의된 시뮬레이션 단위 시간을 나타낸다. 결과화면에서 보는 바와 같이 데이터 프로세스는 데이터를 처리할 때 사용된 전력량을 나타내며, 데이터 센싱은 노드가 센싱시 사용되는 전력량을 나타낸다. 송신과 수신은 노드가 데이터 송수신시에 사용한 전력량을 나타낸 것이다.

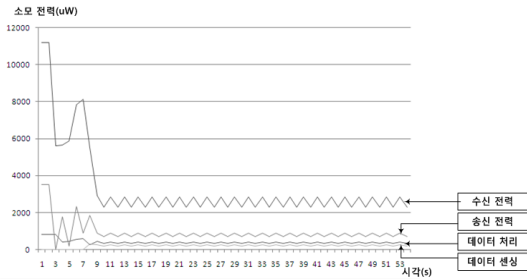


그림 8. 전체 노드의 상태별 전력소모량  
Fig. 8 Power consumption of the total node.

전체 노드의 상태별 전력소모량은 네트워크의 각 노드 상태 변화시 마다 에너지 소모량을 측정할 수 있다. 그림 8에서 확인하면 초기 수신에너지와 송신에너지의 소모량이 큰 이유는 시뮬레이션 시간에 네트워크 클러스터링 명령이 수행되었기 때문이다. 클러스터링이 완료된 후에 센싱 작업과 데이터 처리가 이루어지기 시작한다.

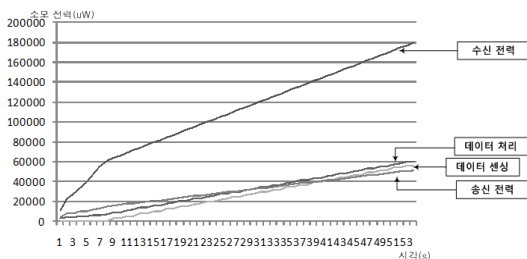


그림 9. 전체노드의 전력소모 누적량  
Fig.. 9 Power consumption cumulation of the total node.

시뮬레이션 결과 각 시뮬레이션 시간에 전체 노드의 상태에 따른 전력소모량을 누적하여 표시된 그래프이다. 네트워크 전체 전력 누적소모량은 전체 네트워크의 노드가 소모하는 전력을 유추할 수 있는 용도로 활용할 수 있다. 데이터를 분석하여 네트워크의 라이프 타임이나 노드의 생존시간을 유추하기 위한 데이터로 활용할 수 있다.

## V. 결론 및 향후 연구과제

기존에 상용화된 시뮬레이터는 원하는 센서노드들의 정보를 얻기가 어려울 뿐 아니라, 불필요한 정보까지 포함되어 있어 시뮬레이터의 가격과 효율성면에서 상당히 비효율적이기 때문에 무선 센서 네트워크에서 필요한 최적의 정보를 직접적으로 얻을 수 있는 전용 시뮬레이터가 필요하다. 본 논문에서는 이러한 무선센서 네트워크 전용 시뮬레이터를 위한 플랫폼으로 WiSE-SIM을 제안하였다.

WiSE-SIM은 실제환경과 동일한 AOI(Area of Interest)에 무선 센서노드들을 가상으로 배치하여 무선 센서노드들의 네트워크 토폴로지 형성 및 클러스터링 구성을 통하여 실제환경에서 작동하는 것과 유사하게 작동할 수 있도록 제어가 가능 시뮬레이터이다. 시뮬레이션 결과 센서노드의 에너지 소모량, 네트워크 트래픽, 클러스터링, 네트워크 토폴로지 알고리즘, 프로토콜 알고리즘, 등을 시뮬레이션 상에서 비교 분석할 수 있기 때문에 실질적인 필드 테스트의 비용을 절약할 수 있는 장점이 있고, 기존에 개발되었던 네트워크 알고리즘을 분석하거나, 새로운 알고리즘을 제안하여 분석할 수 있기 때문에 비용 경제적 측면에서 우수한 장점을 가지고 있다. 또한 각 센서에 이동성을 추가하여 이동형 자가 구성 네트워크를 가상으로 테스트하여 실제환경에 적용 가능한 무선 센서네트워크 토폴로지 및 프로토콜 알고리즘을 구축할 수 있다.

본 논문에서 제안한 WiSE-SIM의 전력 모델은 현재 추정치로 구성하고 있기 때문에 정확한 전력 소모를 예측할 수 없는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점은 보다 정확한 전력 소모량 측정을 위해 실측을 통하여 파워 모델에 대한 보정을 해야만 한다.

## 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] 여명호, 이미숙, 박종국, 이석재, 유재수, "무선 센서 네트워크에서 네트워크 트래픽 감소를 위한 데이터 중심 클러스터링 알고리즘", 정보과학회논문지: 정보통신 제35권 제2호, 2008. 4.
- [4] 최경진, 윤명준, 심인보, 이재용, "무선센서 네트워크에서의 에너지 효율적인 클러스터 헤드 선출 알고리즘", 한국통신학회논문지 '07-6 Vol. 32 No.6, 2007.
- [5] 고성현, 김현태, 김형진, "무선 센서 네트워크 위한 계층형 클러스터링의 역할 기반 자가 구성 프로토콜", 한국해양정보통신학회 2007 추계종합학술대회, 2007.
- [6] 김용, 장경식, "모바일 무선 센서 네트워크에서 Minimum-Hop Layer를 이용한 클러스터 재구성", 한국기술교육대학교, 2011.
- [7] 엄홍식, 김건욱, "전송전력 최적화를 통한 센서네트워크의 효율적인 에너지관리에 대한 연구", 전자공학회 논문지 제 44권, pp.225~pp.230. 2007.
- [8] 이두완, 김용, 장경식, "이동 무선센서 네트워크에서의 자가구성 라우팅 기법", 춘계한국해양정보통신 학술대회, 2010.
- [9] 이두완, 김용, 장경식, "계층형 무선센서네트워크에서 통신영역을 고려한 클러스터 헤드 선출 알고리즘", 추계한국해양정보통신학술대회, 2010.



**이두완 (Doo-Wan Lee)**

2001. 대전대학교 전자물리학  
학사  
2003. 한국교원대학교  
컴퓨터교육학 석사

2009.3~현재 한국기술교육대학교 컴퓨터공학과  
박사과정

※ 관심분야: 센서네트워크, 임베디드시스템



**김민제 (Min-Je Kim)**

2009. 한국기술교육대학교  
컴퓨터공학 학사  
2009.8~현재 한국기술교육대학교  
컴퓨터공학과 석사과정

※ 관심분야: 임베디드시스템, 센서네트워크



**이강환 (Kang-Whan Lee)**

1983. 한양대학교 전자공학과 학사  
1989. 중앙대학교 전자공학 석사  
2002. 중앙대학교 전자공학 박사  
1989. 한국전자통신연구원  
선임연구원

2004. 특허청 서기관

2005.~현재 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 교수

※ 관심분야: USN, Ad-hoc network, 차세대 이동통신  
기술, Wireless SoC



**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