

# 유비쿼터스 그린하우스를 위한 무선 메쉬 네트워크를 이용한 에너지 효율적인 센서 네트워크

임혁진\* · 주휘동\*\* · 이명훈\*\*\* · 여현†

Energy efficient Sensor Network for ubiquitous greenhouse  
by using Wireless Mesh Networks

Hyuk-Jin Im\* · Hui-Dong Ju\*\* · Meong-Hun Lee\*\*\* · Hyun Yoe†

---

이 논문은 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.  
(IITA-2008-(C1090-0801-0047))

---

## 요 약

유비쿼터스 센서 네트워크는 현재 다양한 분야로 활용되고 있는 추세이다. 이러한 유비쿼터스 센서 네트워크를 그린 하우스에 적용하여 작물성장정보 및 환경데이터 수집 등 유용한 정보를 모니터링 할 수 있다. 하지만 센서노드의 한정된 에너지 자원으로 네트워크 확장을 통한 대규모 네트워크를 구성하여 운영하기에는 부적절하다. 본 논문에서는 상기 문제점을 해결하기 위해 유비쿼터스 센서 네트워크에 무선 메쉬 네트워크 기술을 적용하여 시뮬레이션을 구현하였다. 도출된 결론을 통해 유비쿼터스 센서 네트워크에 무선 메쉬 네트워크 기술을 적용했을 때 에너지 측면에서 효율성이 높아진 것을 확인할 수 있었다.

## ABSTRACT

The study that automates the variety of equipment using the USN(Ubiquitous Sensor Networks) has been executed, and the research field is ranged to almost all fields including a road, harbors, building, military affairs, agriculture and home. By deploying these sensors into the greenhouse environment, we can monitor the environmental change and the growth of plants 24 hours a day. However, the limited resources of a sensor node like limited energy, short transmission range etc, make it difficult to expand the size of the sensor networks. In this paper, we studied to expand the size of sensor networks by using WMN(Wireless Mesh Networks) with simulation. With this simulation, we could validate that using the Wireless Mesh Networks technology for expanding sensor networks is more efficient in the energy aspect than the normal sensor network.

## 키워드

Ubiquitous Sensor Network, Green House, Wireless Mesh Network, Energy efficient Routing Protocol

---

\* 순천대학교 정보통신공학과 석사과정  
\*\* 순천대학교 정보통신공학과 박사과정  
\*\*\* 순천대학교 정보통신공학과 박사과정  
† 순천대학교 정보통신공학부 교수(교신저자)

## I. 서론

유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Networks)는 인간의 생활공간, 생활기기, 기계 등 모든 사물에 컴퓨팅 기능과 네트워크 기능을 부여하여, 환경과 상황의 자동인지를 통해 인간에게 최적의 기능을 제공함으로써 인간 생활의 편리성과 안전성을 고도화하고 있다. 센서 노드(Sensor Node)는 유비쿼터스 센서 네트워크를 구성하는 가장 기본적인 요소로 주위 환경을 모니터링하면서 최적의 네트워크를 구성 및 기존의 유무선 통신 기술을 이용하여 사용자가 원하는 네트워크 구성이 가능하다. 하지만 센서 노드는 한정된 에너지 자원으로 대규모 네트워크를 구축하는 것은 부적절하다[1].

본 논문에서는 통신 기반시설이 부족한 농업의 그린 하우스(Greenhouse)에 네트워크 확장과 에너지 효율을 높이기 위해 유비쿼터스 그린하우스를 위한 무선 메시 네트워크를 이용한 에너지 효율적인 센서 네트워크를 제안하고, 시뮬레이션 한다.

유비쿼터스 그린 하우스란 센서 네트워크를 구축하여 작물의 생장에 필요한 환경데이터를 모니터링하고, 이를 기반으로 그린 하우스의 환경을 조절 한다. 환경 데이터로는 온도, 습도, 조도, CO<sub>2</sub>, 풍속, 풍향 등 그린 하우스내의 작물 생장에 필요한 데이터를 수집한다. 수집된 데이터를 원거리로 전송하기 위해 무선 메시 네트워크 기술을 사용하여 전송거리를 확장하고, 센서 노드들의 동작 수명을 연장한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 유비쿼터스 센서 네트워크와 무선 메시 네트워크에 관련된 연구에 대해 기술하고 3장에서는 유비쿼터스 그린 하우스를 위한 무선 메시 네트워크 기술을 제안한다. 4장에서는 제안모델에 대한 시뮬레이션 및 결과분석을 보여주고, 5장에서는 결론을 맺는다.

## II. 관련연구

### 2.1 IEEE 802.15.4 기반의 유비쿼터스 센서네트워크

유비쿼터스 센서 네트워크는 각종 센서에서 수집한 정보를 무선으로 전송할 수 있도록 구성된 네트워크이다. 설치된 센서는 온도, 가속도, 위치 정보, 압력,

지문, 가스 등을 센싱하여 무선 네트워크를 통한 실시간으로 전송한다[2]. 유비쿼터스 센서 네트워크는 IEEE 802.15.4 기반으로 저전력과 저가격을 목표로 하는 저속 근거리 무선통신이다. IEEE 802.15.4의 물리적인 표준 특성과 2.4GHz(전세계), 915MHz(미국), 868MHz(유럽)의 무허가 영역의 표준 물리계층을 사용하는 장점이 있다. 데이터의 전송은 2.4GHz에서 16채널, 915MHz에서 10채널 그리고 868MHz에서 한채널로 모두 27개 중 한채널을 선택할 수 있고, 전송률은 최대 2.4GHz 대역에서 250Kbps까지 가능하다[3]. 다음 그림 1은 유비쿼터스 센서 네트워크 구조를 나타내고 있다.

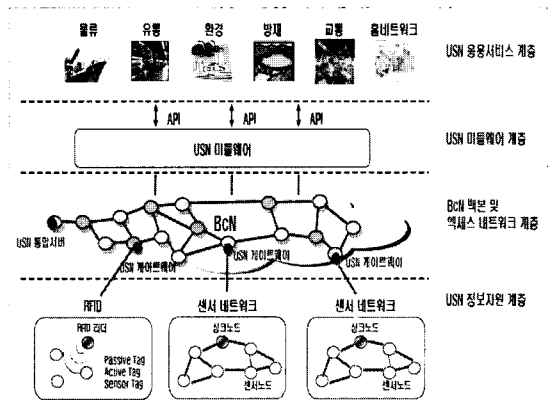


그림 1. 유비쿼터스 센서 네트워크 구조  
Fig. 1 Ubiquitous Sensor Networks structure

### 2.2 무선 메시 네트워크

무선 메시 네트워크(Wireless Mesh Networks)는 고정되어있는 유선 네트워크에 의존하지 않고 무선 회선만으로 광대역 네트워크를 구축할 수 있는 기술이다. 이러한 무선 메시 네트워크는 유선 기반의 네트워크를 구축하기 힘든 환경에서 안정적인 네트워크 인프라를 구축할 수 있는 장점을 가진다[4]. 다음 그림 2는 무선 메시 네트워크 구조를 나타내고 있다.

무선 메시 네트워크는 하위 노드들에게 인터넷에 접속할 수 있는 인프라스트럭처(Infrastructure)를 제공하는 네트워크의 형태이다. 즉 유무선 망의 백본을 무선 메시 네트워크로 사용함으로써 전송속도와 링크의 신뢰성을 높이는데 목적을 두고 있다[5].

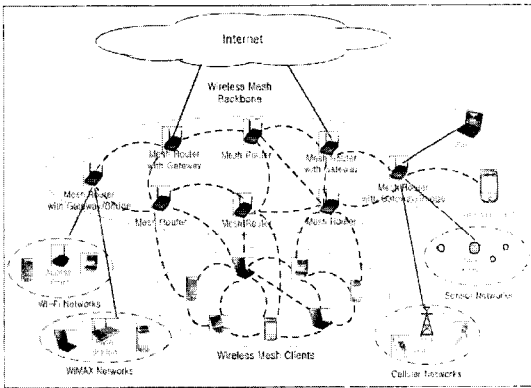


그림 2. 무선 메쉬 네트워크 구조  
Fig. 2 Wireless Mesh Networks structure

무선 메쉬 네트워크의 하위 구조는 기존의 무선기술 IEEE 802.11a/b/g 또는 유비쿼터스 센서 네트워크, 유선 랜 구조가 될 수 있다. 그리고 네트워크 성능을 향상시키기 위하여 여러 개의 게이트웨이(Gateway)를 통해 인터넷에 연결된 형태를 가질 수 있다.

### Ⅲ. 유비쿼터스 그린 하우스를 위한 무선 메쉬 네트워크

멀티 홉 무선 네트워크는 노드가 통신을 할 때 두 노드 사이의 정보를 중계해주는 중계 노드가 존재하며, 중계 노드를 통해서 두 노드 사이의 통신이 이루어진다. 무선 메쉬 네트워크에서 중계 노드는 메쉬 코디네이터(Mesh Coordinator)이다. 메쉬 코디네이터를 이용한 무선 메쉬 네트워크 구성은 다중 경로를 통한 데이터 전송의 안정성을 높이고, 데이터 통신에서 발생하는 부하를 코디네이터에 집중시킨다. 환경 센서가 포함된 센서 디바이스(Sensor Device)는 메쉬 코디네이터 노드보다 동작 기능이 적다. 동작 기능이 적은 센서 디바이스는 에너지 소모를 줄여 전체 네트워크 수명을 연장시킬 수 있다.

다음 그림 3은 유비쿼터스 그린하우스를 위한 무선 메쉬 네트워크를 이용한 에너지 효율적인 센서 네트워크 구조를 보여주고 있다. 시물레이션을 시작하면 각각의 메쉬 코디네이터는 게이트웨이를 중심으로 무선 메쉬 네트워크를 구성한다. 메쉬 코디네이터는 메쉬 네트

워크 설정이 완료되면 주위의 센서 디바이스를 탐색하여 연결을 맺고 point-to-point 통신을 통해 센서 디바이스로부터 환경 데이터를 수신한다. 메쉬 코디네이터는 센서 디바이스로부터 수신된 데이터를 다중 경로를 통해 게이트웨이로 전송되고 외부로 전달한다.

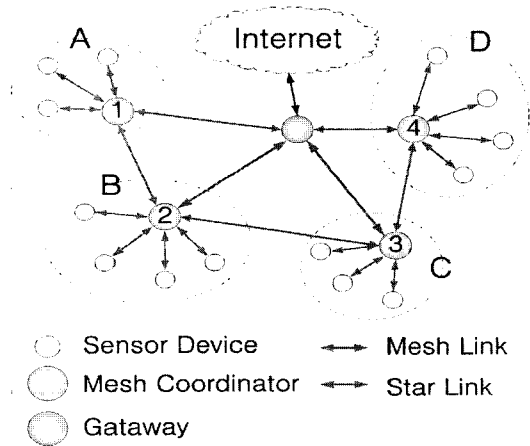


그림 3. 유비쿼터스 그린하우스를 위한 무선 메쉬 네트워크를 이용한 에너지 효율적인 센서네트워크 구조  
Fig. 3 Energy efficient Sensor Network structure for ubiquitous greenhouse by using Wireless Mesh Networks

무선 메쉬 네트워크를 이용한 센서 네트워크 구성은 전송거리의 확장과 중계 노드와 센서 디바이스의 에너지 소모를 줄일 수 있다.



그림 4. 전라남도 순천시 순천만 실제 그린 하우스 모습  
Fig. 4 Real Greenhouses example in Suncheon Bay, Suncheon-si Jeollanamdo

앞의 그림 4는 실제 그린하우스의 모습으로 제안하는 무선 메쉬 네트워크를 이용한 센서 네트워크를 시뮬레이션 하기 위해 모델링 하였다.

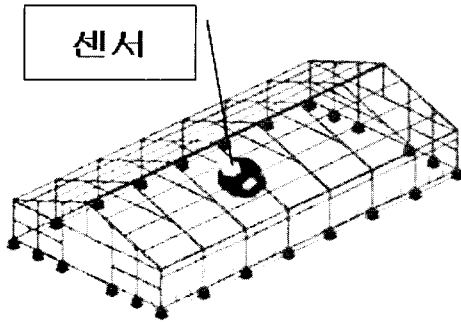


그림 5. 유비쿼터스 그린 하우스 내부 센서 배치  
Fig. 5 Deployment of Sensor node inside ubiquitous greenhouse

위 그림 5는 유비쿼터스 그린하우스 내부에 설치될 센서 노드의 위치를 나타낸다.

#### IV. 시뮬레이션 및 결과 분석

본 논문에서 제안하는 유비쿼터스 그린하우스를 위한 무선 메쉬 네트워크를 이용한 센서 네트워크와 IEEE 802.15.4 기반의 센서 네트워크를 동일한 조건으로 NS-2를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

각 센서 디바이스에서 발생되는 데이터가 최종 게이트웨이로 전송되는 과정에서 무선 메쉬 네트워크를 이용한 센서 네트워크 중계 노드인 메쉬 코디네이터와 IEEE 802.15.4 기반의 센서 네트워크의 중계노드인 싱크 노드(Sink node)의 패킷 처리량과 드롭 패킷량, 잔류 에너지를 측정하여 비교한다.

##### 4.1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 3000 × 3000(m)의 지역을 설정하고 그린하우스의 센서 디바이스와 중계 노드를 분포 시켰다. 센서 디바이스와 메쉬 코디네이터의 통신 거리는 실제 센서 네트워크에서 통신반경을 측정한 실험 결과를 반영하여 송신 전력은 17.4mA, 수신 전력은 19.7mA로 PER(Packet Error Rate)가 1% 되는 지점인 70m로 설정하

였다[6]. 다음 표 1은 본 논문의 시뮬레이션을 위해 설정한 환경이다.

표 1. 시뮬레이션 설정 값  
Table. 1 Simulation parameter setting

구성 옵션	구성 값
채널 타입	WirelessChannel
무선 전파 모델	TwoRayGround
네트워크 인터페이스	IEEE 802.15.4
맥 타입	IEEE 802.15.4
주파수	2.4GHz
노드 통신거리	70m
대역폭	1Mbps
라우팅 프로토콜	AODV
초기 노드 에너지	3J
송신전력	17.4mA
수신전력	19.7mA
시뮬레이션 시간	100초
패킷 타입	CBR
패킷 사이즈	25byte
센싱 주기	5초
게이트웨이 노드 수	1개
메쉬 코디네이터 노드 수	18개
센서 노드 수	28개

다음 그림 6은 토폴로지 구조와 시뮬레이션 진행 과정을 나타낸다.

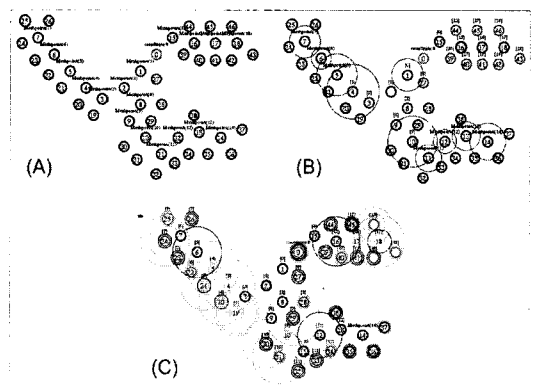
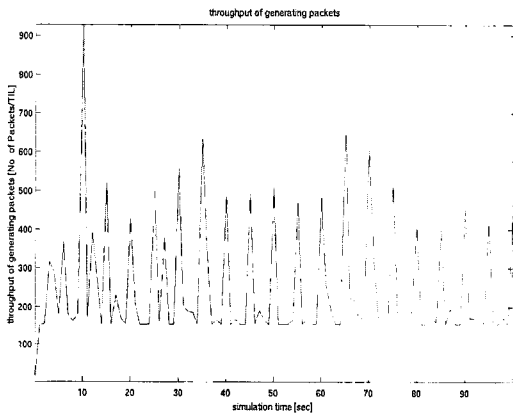


그림 6. 시뮬레이션 진행 과정  
Fig. 6 Simulation process

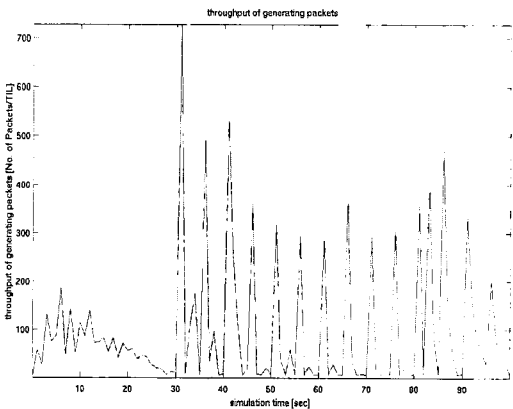
#### 4.2 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문의 시뮬레이션 결과 및 분석을 위한 항목으로 는 시간에 따른 패킷 처리량, 드롭 패킷량, 잔류 에너지를 측정하였다.

다음 그림 7은 각각의 네트워크에서 발생한 데이터 패킷의 처리량을 보여준다. 전체적으로 IEEE 802.15.4 기반의 센서 네트워크의 패킷 처리량이 무선 메쉬 네트워크보다 높은 것을 확인할 수 있다.



(a) IEEE 802.15.4 기반의 센서 네트워크 패킷 처리량



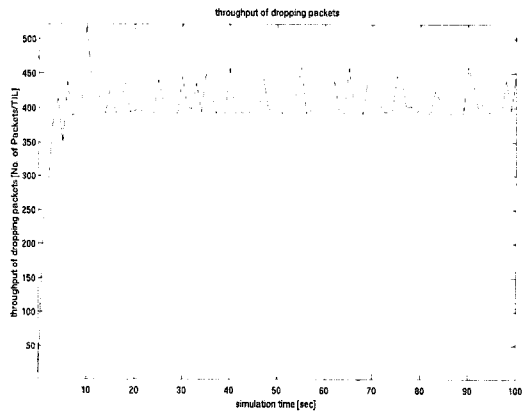
(b) 무선 메쉬 네트워크 패킷 처리량

그림 7. 패킷 처리량  
Fig. 7 Throughput of generating packets

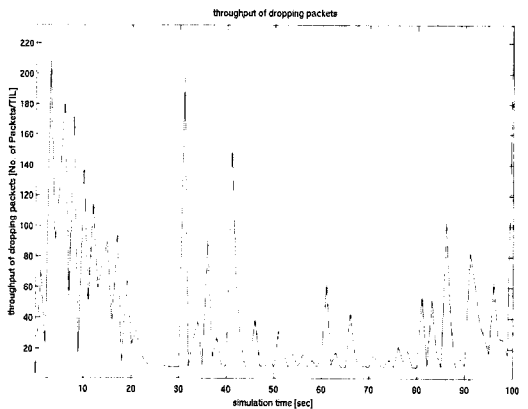
다음 그림 8은 각각의 네트워크에서 시간에 따른 드롭 패킷량을 나타낸다. IEEE 802.15.4 기반의 센서 네트워크는 초기 시뮬레이션 시작부터 드롭 되는 패킷량이

높고, 지속적으로 많은 패킷이 드롭 되는 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 IEEE 802.15.4 기반의 센서 네트워크에서 중계 노드인 싱크 노드와 센서 디바이스가 브로드캐스트 통신을 이용하기 때문에 패킷 충돌이 많아 드롭 되는 패킷이 증가하게 된다.

반면 무선 메쉬 네트워크는 초기 메쉬 코디네이터 사이의 메쉬 네트워크 연결하는 과정에서 드롭 패킷량이 높고, 이후 센서 디바이스가 환경 데이터를 전송하는 시점에서 드롭 패킷량이 낮은 것을 확인할 수 있다. 중계 노드가 환경데이터를 전송할 때 노드별 평균 드롭 패킷량은 싱크 노드가 19개이고, 메쉬 코디네이터는 14개이다.



(a) IEEE 802.15.4 기반의 센서 네트워크 드롭 패킷량



(b) 무선 메쉬 네트워크 드롭 패킷량

그림 8. 드롭 패킷량  
Fig. 8 Throughput of dropping packets

다음 그림 9는 각각의 네트워크에서 싱크 노드와 메쉬 코디네이터의 잔류 에너지양을 보여준다. IEEE 802.15.4 기반의 센서 네트워크는 브로드캐스트 통신을 이용하므로 싱크 노드의 데이터 처리량 및 불필요한 동작이 증가하여 전반적으로 싱크 노드의 에너지 소비량이 많다. 반면 무선 메쉬 네트워크의 메쉬 코디네이터는 point-to-point 통신을 이용하므로 싱크 노드보다 에너지 소비량이 적다. 싱크 노드의 평균 잔류 에너지량은 2.14J 이고, 메쉬 코디네이터의 평균 잔류 에너지량은 2.59J로 메쉬 코디네이터가 싱크 노드보다 에너지 효율이 높은 것을 확인 할 수 있다.

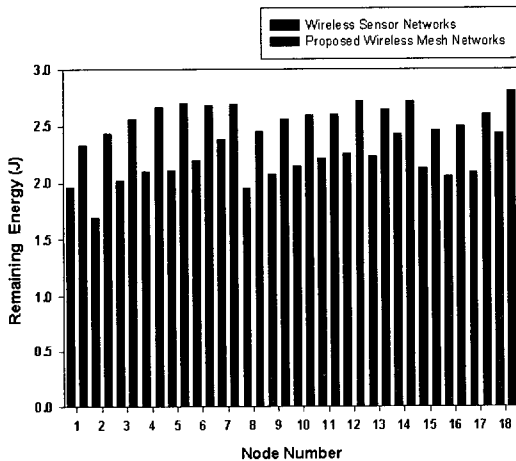


그림 9. 중계노드 평균 잔류 에너지량  
Fig. 9 Average remaining Energy of relay nodes

다음 그림 10은 각각의 네트워크에서 센서 디바이스의 잔류 에너지양을 보여준다. IEEE 802.15.4 기반의 센서 네트워크에서 센서 디바이스의 소비량이 무선 메쉬 네트워크의 센서 디바이스보다 에너지 소비가 높다. 센서 네트워크에서 센서 디바이스의 평균 잔류 에너지량은 2.52J이고, 무선 메쉬 네트워크의 메쉬 코디네이터의 평균 잔류 에너지량은 2.74J로 메쉬 코디네이터가 싱크 노드보다 에너지 효율이 높은 것을 확인 할 수 있다.

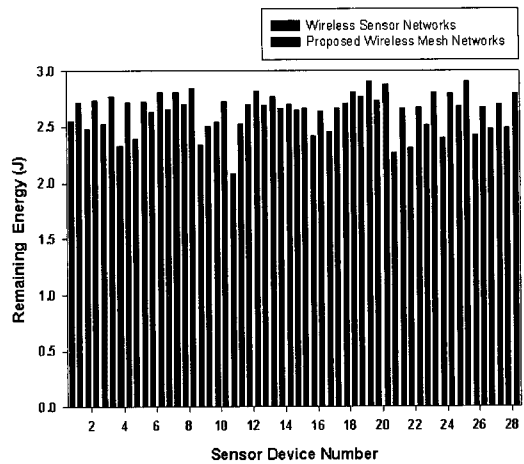


그림 10. 센서 디바이스 평균 잔류 에너지량  
Fig. 10 Average remaining Energy of Sensor Device

## V. 결 론

본 논문에서는 유비쿼터스 그린하우스를 위한 무선 메쉬 네트워크를 이용한 에너지 효율적인 센서 네트워크를 시뮬레이션하고, 동일한 조건으로 IEEE 802.15.4 기반의 센서 네트워크를 시뮬레이션 하여 성능을 비교 분석해 보았다.

유비쿼터스 그린하우스를 위한 무선 메쉬 네트워크를 이용한 센서 네트워크는 시뮬레이션 초기에 메쉬 코디네이터가 무선 메쉬 네트워크를 형성하는 과정에서 IEEE 802.15.4 기반의 센서 네트워크보다 패킷 처리량이 높았다. 하지만 센서 디바이스가 데이터를 전송하는 과정에서는 IEEE 802.15.4 기반의 센서 네트워크보다 패킷 처리량이 낮고, 드롭 되는 패킷이 적은 것으로 나타났다. 또한 무선 메쉬 네트워크를 이용한 센서 네트워크의 노드는 IEEE 802.15.4 기반의 센서 네트워크보다 전력소모가 낮아 에너지 효율이 높은 것을 확인하였다.

실제 현장에서 유비쿼터스 그린 하우스를 위한 무선 메쉬 네트워크를 이용한 센서 네트워크를 구축한다면 무선통신의 장애변수를 고려한 네트워크 설계가 이루어져야한다.

본 논문은 통신 기반시설 및 노동력이 부족한 농업환경에서 유비쿼터스 그린하우스를 위한 무선 메쉬 네트워크를 이용한 센서 네트워크를 제안하였다. 이를 통해 그린 하우스내의 센서 디바이스가 수집한 환경 데이터는 네트워크 확장을 통해 원거리로 전송할 수 있고, 노드는 전력소모를 최소화하여 동작 수명을 늘릴 수 있는 등 여러 가지 장점을 기대할 수 있다.

### 감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행된 것으로, 관계부처에 감사 드립니다.  
(IITA-2008-(C1090-0801-0047))

### 참고문헌

- [1] 김지은, 김세한, 정운철, 감내수 “USN 센서노드 기술 동향” 전자통신동향분석 제 22권 제3호, pp.90~103, 2007. 6
- [2] 김기형, 정원도, 박준성, 서현곤, 박승민, 김홍남 “IEEE 802.15.4기반의 유비쿼터스센서네트워크 기술” 대한전자공학회, 전자공학회지 제31권 제12호, pp.74~84, 2004. 12
- [3] 안병도, 안병태 “유비쿼터스 센서 네트워크 기반에서의 Zigbee를 이용한 u-캠퍼스 설계” 한국콘텐츠학회, 한국콘텐츠학회논문지 제7권 제11호, pp.130~139, 2007.11
- [4] 장효철, 송병구, 김종덕, “계층 구조의 이동형 무선 메쉬 네트워크를 위한 지리적 라우팅 기법” 한국통신학회 하계학술발표회, 2007. 07.
- [5] 김영안, 박철현, 홍충선 “무선 메쉬 네트워크 환경에서 효율적인 다중 홉 전달 기법” 한국통신학회, 한국통신학회논문지 제31권 제10B호, pp.872 ~882, 2006. 10

- [6] 김현서. “무선 센서 네트워크에서 통신 환경에 따른 에너지 효율적인 Cross Layer Protocol에 대한 연구”. 광운대학교 대학원 석사 학위 논문. 2008. 2.

### 저자소개

임혁진(Hyuk-JIN IM)



2006년 순천대학교 정보통신공학과 (공학사)

2008년 8월 순천대학교 정보통신공학과(공학석사)

2006년~2008년 순천대학교 u-농업 IT 응용 연구센터 연구원

2008년 9월~현재 극동정보대학 학술정보센터

※관심분야: RFID/USN, Wireless Mesh Networks

주휘동(Hui-Dong Ju)



2006년 순천대학교 정보통신공학과 (공학사)

2008년 순천대학교 정보통신공학과 (공학석사)

2008년~현재 순천대학교 정보통신공학과 박사과정

2005년~현재 순천대학교 u-농업 IT 응용 연구센터 연구원

※관심분야: MAC · Routing 프로토콜, RFID/USN

이명훈(Meong-Hun Lee)



2004년 순천대학교 정보통신공학과 (공학사)

2006년 순천대학교 정보통신공학과 (공학석사)

2006년~현재 순천대학교 정보통신공학과 박사과정

2005년~현재 순천대학교 u-농업 IT 응용 연구센터 연구원

※관심분야: MANET, RFID/USN, BcN



여 현(Hyun Yoe)

1984년 항공대학교 전자공학과  
(공학사)

1987년 숭실대학교 전자공학과  
(공학석사)

1992년 숭실대학교 전자공학 (공학박사)

1987년~1993년 한국통신 통신망 연구소

1993년~현재 순천대학교 정보통신공학과 교수

2005년~현재 순천대학교 u-농업 IT 응용 연구센터  
(ITRC) 센터장

※관심분야: u-농업, RFID/USN