

스마트 팜 무선 네트워크의 설계 및 구현: LoRa 및 IEEE 802.11 무선 백홀망

조 흥 규*, 최 학 희*, 김 동 성*, 이 재 민^o

Design and Implementation of Smart Farm Wireless Network: LoRa and IEEE 802.11 Wireless Backhaul Network

Hong-Keu Jo*, Hak Hui Choi*, Dong-Seong Kim*, Jae-Min Lee^o

요 약

본 논문은 온실 내에서 식물의 성장을 돕는 스마트 팜을 원격으로 운용하기 위하여 IEEE 802.11 무선 백홀망과 LPWA(Low Power Wide Area) 기술 중 하나인 LoRa(Long Range)를 이용하는 스마트 팜 네트워크 시스템을 설계 및 구현하고자 한다. 제안된 시스템은 멀티 홉으로 구성된 IEEE 802.11 무선 백홀망으로 온실의 상황을 인지하기 위한 비디오 스트리밍을 지원한다. 중장거리 무선통신을 위하여 지향성 안테나를 이용하기 때문에 외부 환경에 의하여 무선통신 네트워크 성능이 영향을 받게 된다. 이에 온실 내 식물의 성장에 직접적인 영향을 미치는 온실 환경 정보들을 LoRa Point to Point 네트워크로 우회하여 사용자에게 알려준다. 추후에 IEEE 802.11 무선 백홀망의 무선 채널 환경에 문제가 생길 시, 문제의 원인이 되는 노드를 찾아 LoRa Point to Point 네트워크를 통하여 사용자에게 알려주는 Fault Tolerant Network 알고리즘을 제안하였다.

Key Words : IoT(Internet of Things), IEEE 802.11 Wireless Backhaul network, LoRa, LOS(Line Of Sight)

ABSTRACT

In this paper, A smart farm network system using IEEE 802.11 Wireless Backhaul network and LoRa(Long Range) is proposed. LoRa is one of LPWA(Low Power Wide Area) technology, to remotely operate smart farm to help plants grow in the greenhouse. The proposed system supports video streaming to recognize the overall greenhouse situation with multi-hop IEEE 802.11 Wireless Backhaul network. Since a directional antenna is used to ensure a wireless communication, wireless communication performance is influenced by external factors Thus, the smart farm user is informed by the LoRa point-to-point network of the greenhouse environment values which directly affect the growth of plants in the greenhouse. Additionally a Fault Tolerant Network algorithm is proposed. the Fault Tolerant Network algorithm notifies the user through the LoRa Point to Point network when a problem occurs in the wireless channel environment of the IEEE 802.11 Wireless Backhaul network.

* 이 논문은 2015년 정부(미래창조과학부)의 재원으로 국가과학기술연구회 융합연구단 사업(No. CRC-15-01-KIST)의 지원을 받아 수행된 연구임.

** 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성 지원사업으로 수행된 연구결과임(IITP-2018-H8601-16-1011).

• First Author :Kumoh National Institute of Technology, vjowwv@naver.com, 학생회원

o Corresponding Author : Kumoh National Institute of Technology, ljmpaul@kumoh.ac.kr, 정회원

* YURA cooperation, Chh8058@yura.co.kr, Kumoh National Institute of Technology, dskim@kumoh.ac.kr

논문번호 : KICS2017-12-401, Received December 22, 2017; Revised April 23, 2018; Accepted April 24, 2018

I. 서 론

최근 IoT 기술은 농업과 산업 분야에서 널리 보급되어 왔으며, 차기 산업 혁명의 한 요인으로 부상해왔다. FAO(Food and Agriculture Organization of the United Nations) 보고서에 따르면 세계 인구의 증가로 인하여 필요한 식량의 수요량을 충족시키기 위하여 2050년까지 약 70%의 식량 생산량 증가가 요구된다. 또 하나의 중요한 측면은 미래 지속 가능성을 위해 물과 토지 등과 같은 농업에 사용되는 천연 자원을 효율적으로 사용하는 것이다. 이를 위하여 IoT 기술을 농업 부문과 결합, 생산 능력의 향상뿐만 아니라 천연 자원 이용의 효율성을 증가시킬 수 있다.

스마트 팜 네트워크 시스템이 적용되는 환경에서 일반적으로 스마트 팜 네트워크 시스템은 넓은 지역에 배치되며, 사용자와 온실의 간격이 증장거리로 분리되어 있다. 따라서, 데이터를 전송하는 동안 스마트 팜 네트워크 시스템의 증장거리 통신은 물리적인 장애물과 주변 환경에 매우 민감하다. 그 외에도 감시용 카메라를 사용하는 스마트 팜 네트워크 시스템은 지속적인 연산으로 인한 높은 에너지 소비로 어려움을 겪을 수 있으며, 많은 양의 데이터 패킷을 전송해야 하기 때문에 지연이 발생할 수도 있다.

지금까지 IoT 기반의 스마트 팜 시스템에 대한 많은 연구가 수행되었지만¹⁻³⁾, 시스템을 설계 및 구현하고 데이터를 분석하는 유형의 연구로 그쳐왔다⁴⁻⁶⁾. 이에 본 논문은 실시간 응용 프로그램 성능의 지표인 데이터의 처리에 소요되는 대기 및 지연시간, 처리량과 같은 네트워크 성능 매개 변수들을 이용하여 제안된 시스템의 네트워크 성능을 평가한다.

앞서 언급한 성능 매개 변수 외에도, 감시용 카메라를 사용해 실시간 모니터링을 지원하는 IoT 어플리케이션에서, 데이터 안정된 전송 속도 및 지연 손실은 엄격한 요구 사항들이다⁷⁾.

이러한 요구사항을 만족시킬 수 있는 네트워크 시스템은 LTE 등 상용 브로드밴드 통신망을 사용하거나 IEEE 802.11 무선 백홀망과 같은 높은 속도의 ISM밴드를 사용하는 프로토콜이 있을 수 있다. LTE를 사용할 경우 안정적인 속도와 원거리까지 지원되는 통신망이지만 지속적인 유지보수비가 필요한 통신망으로 스마트팜 사용자에게 부담이 될 수 있다. Wi-Fi는 근거리에서 높은 통신 속도로 안정적인 비디오 스트리밍 및 데이터 전송을 지원하고 무선 백홀망 기술을 사용하여 원거리 전송이 가능하지만 외부 요인으로 인해 영향을 받기 쉽다. IEEE 802.11 무선 백

홀망에 장애가 발생할 경우 비디오 스트리밍과 센서 및 액추에이터 데이터 전송이 불가능하므로 스마트팜 네트워크에 치명적인 영향을 미친다.

이 경우, 다중 프로토콜 시스템이 솔루션이 될 수 있다⁸⁾. 다중 프로토콜 시스템은 한 시스템이 서로의 문제를 극복 할 수 있는 두 가지 이상의 네트워크 프로토콜을 사용하는 것을 의미하며, 제안된 시스템에서는 LoRa와 IEEE 802.11 무선 백홀망이 사용된다. 다중 프로토콜을 사용함으로써 제안된 시스템은 네트워크 성능 및 신뢰성을 달성하기 위한 환경조건에 맞춰 적합한 무선 프로토콜을 선택 및 적용한다.

이 논문은 다음과 같이 구성된다. 2 장은 관련 연구 및 문제점을 설명하며, 3 장은 제안된 시스템을 설명하고, 4 장은 결과 및 분석을 보여준다. 마지막으로 5 장에서 결론 및 향후 연구를 언급한다.

II. 관련 연구 및 문제점 분석

2.1 관련 연구 분석

근래 들어 ICT(Information and Communication Technology)기술을 농업 분야에 접목하여 편의성을 증대하고자 하는 연구가 진행되어왔다. 프로토타입을 이용하여 스마트 팜을 위한 어플리케이션을 제작하는 연구부터 실제 온실에서 스마트 팜 시스템을 제작하는 연구까지 활발하게 진행되고 있다. 특정 어플리케이션에서는 IoT를 접목한 농업용수 어플리케이션과 농업 전력 어플리케이션에 대한 연구와 UAV(Unmanned Aerial Vehicle System)를 이용하여 작물과 잡초를 구분하는 영상처리 알고리즘을 적용한 연구도 진행되었다.

스마트 팜은 일반적으로 UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)를 이용한 온실 외부 유선 네트워크 시스템 구성이 많으며, Zigbee를 통한 무선 네트워크 시스템 또한 연구되었다. 광활한 지역에서 스마트 팜 모니터링 시스템을 구현하기 위해 WSN(Wireless Sensor Network)을 적용하는 것은 어려움이 따른다. 스마트 팜을 위한 WSN 시스템은 센서가 고정된 위치에 놓이는 구조를 사용한다. 또한 이를 멀티 홉 링크를 거쳐 센서가 취득한 데이터를 전송한다⁹⁻¹²⁾. 이 연구들은 배치된 시스템의 네트워크 성능에 대해서는 고려하지 않았다. 이와 비교하여 스마트 팜 모니터링 시스템을 위해 QoS(Quality of Service)을 고려한 네트워크 모델을 제안되었으나, 컴퓨터 시뮬레이션에 의해서만 평가되어 그 실효성을 입증하기에 부족함이 있었다¹³⁾. 또한 NETPIE

(Network Platform for Internet of Everything)과 같은 상용화된 IoT 플랫폼을 이용하여 스마트 폰과 연동된 시스템을 구축하거나 3G 및 LTE(Long Term Evolution)와 같은 상용화 통신 네트워크를 이용하는 방법이 있으나, 정기적인 요금을 서비스 및 네트워크 소유 업체에 지불해야 한다.

기존의 온실 내부 노드들은 직접 클라우드에 정보를 업데이트하며 Star형 토폴로지가 일반적으로 나타났다. 때론 농작물의 열에 맞추어 Tree형 구조 또한 나타나기도 하였다. 때론 같은 온실에서 환경 데이터를 취합하기 위하여 Cluster Head의 역할을 하는 Coordinator가 온실의 외부와 온실 내부의 노드들을 연결한다.

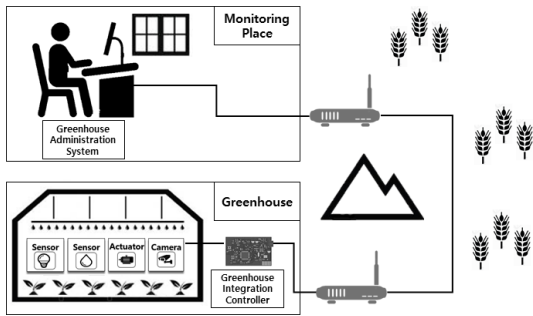


그림 1. 기존의 스마트 팜 네트워크 시스템
Fig. 1. Previous Network System of SmartFarm

2.2 문제점 분석 및 무선 인터페이스 제안

그림 1은 기존의 스마트 팜 네트워크 시스템 구조를 보여준다. 온실의 내부에 배치된 스마트 팜 노드는 센서와 액추에이터에 연동된다. 센서에서 취득된 센서 값은 온실통합제어기에 취합되며, 온실운영시스템으로 전송되어 사용자의 연동되어 사용자에게 전달된다. 온실운영시스템에서 사용자는 센서 값을 바탕으로 온실의 상황을 인지하여 스마트 팜 노드의 액추에이터를 통해 작물에 적합한 환경을 조성한다. 그러나 기존의 스마트 팜 네트워크 시스템은 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.

- 온실 내부에서 스마트 팜 노드와 Wi-Fi AP(Access Point) 간의 거리와 물리적 장애물에 따른 무선 네트워크의 불안정성
- 온실 외부에서 온실통합제어기와 온실운영시스템 간의 유선 네트워크 확장성 및 유연성의 제한

위와 같은 문제점들을 보완하고자, 온실 외부에서

유연하고 확장성 있는 중장거리용 이중화 네트워크를 구성함과 동시에 불안정한 무선 네트워크 시스템의 오류를 검출하기 위한 Fault Tolerant Network 알고리즘을 추후에 적용하고자 한다.

본 스마트 팜 네트워크 시스템은 온실에 배치된 여섯 개의 노드에 카메라 모듈과 습도, 광도 및 이산화탄소 농도를 측정하는 세 가지 센서를 부착하였다. 각 노드는 두 개의 서로 다른 프로토콜, LoRa과 IEEE 802.11 무선 백홀망을 사용하여 시스템 사용자가 있는 온실운영시스템과 통신한다. 두 가지 프로토콜을 사용함으로써, 네트워크의 성능은 물론, 불안정한 환경에서 데이터 통신의 안정성을 향상시킬 수 있는 적응형 시스템을 구현할 수 있다. 표 1은 LoRa과 다른 무선 프로토콜들 간의 지원 성능을 비교 및 요약한 것이다.

LoRa Alliance에 의하여 발전되어 온 LoRa 기술은 무선 변조 기술인 CSS(Chirp Spread Spectrum)을 사용하는 물리적 계층과 LPWA(Low Power Wide Area)을 사용하는 MAC 계층으로 나누어진다. 다른 확산 스펙트럼 방법과 마찬가지로, CSS는 레이더용 어플리케이션을 위하여 개발되어, 많은 군사 및 보안 통신 응용 분야에서 전통적으로 사용되었다. 데이터를 전송하기 위해 할당된 전체 대역폭을 사용하므로 채널 잡음에 강하다. 그림 2는 LoRa 베이스 스테이션에서 떨어진 거리에 따른 지원 데이터 전송 속도를 나타낸다^[14-16].

IEEE 802.11은 900MHz와 2.4, 3.6, 5 및 60GHz

표 1. 무선 프로토콜 지원 성능 비교
Table 1. Wireless Protocol Performance Comparison

Feature	LoRa	Sigfox	IEEE802.11ac
Modulation	SS Chirp	GFSK/DBP SK	OFDM
Data Rate	290bps - 50kbps	100bps - 128bytes/sec	6.5Mbps - 6.933Mbps
Power Efficiency	Very High	Very High	Medium
Security / Efficiency	Yes (32bit)	Yes (32bit)	Yes (32bit)
Range	2-5km urban 15km suburban 45km rural	2-5km urban - 30-50km rural	<1.5km
Interface Immunity	Very High	Low	Low
Scalability	Yes	Yes	Yes

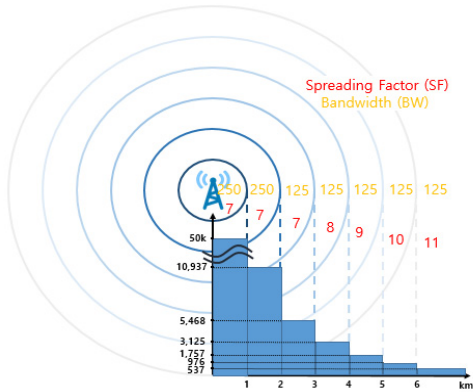


그림 2. 지원 LoRa 데이터 전송 속도
Fig. 2. LoRa Data Transfer Rate

주파수 대역에서 Wi-Fi (Wireless Fidelity)라고 불리는 브랜드 이름으로, WLAN(Wireless Local Area Network) 구역 내에서의 무선 통신을 구현하기 위한 MAC(Media Access Control) 및 PHY(Physical layer) 규격이다. 유선에서 무선으로 통신방법이 옮겨지는 과정에서 가장 대중적으로 알려진 무선 프로토콜이다. LAN 설치비용을 줄임과 동시에 배선이 불가능한 곳에서 무선 네트워크를 제공함으로써, 사용자들에게 이동성을 보장한다. 이 규격은 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)의 IEEE LAN/MAN 표준위원회에서 1997년에 발표되었으며 이후 지속적으로 개정 및 발전되어왔다. 그림 3은 ISP(Internet Service Provider)에서 제공하는 네트워크 시스템과 AP 및 스마트 단말기로 구성된 IEEE 802.11의 네트워크 구성도이다¹⁷⁾.

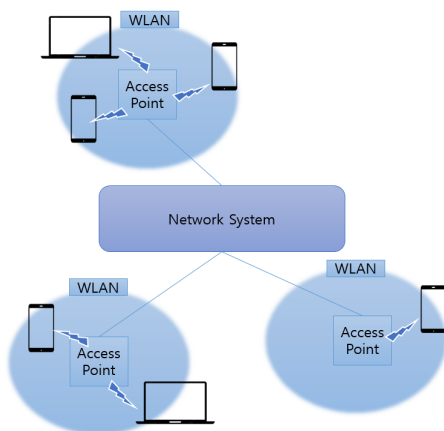


그림 3. ISP에서 지원하는 네트워크 시스템 구성도
Fig. 3. Network System Supported by ISP

IEEE 802.11 패밀리 중에서 IEEE 802.11ac은 1 Gbit/s 이상의 멀티 채널 처리량과 500 Mbit/s 이상의 단일 채널 처리량을 제공한다고 소개되고 있으며, GHz 대역의 주파수를 기반으로 높은 처리량의 무선 근거리 통신망을 제공한다. 이론상으로 5GHz 주파수 대역에서 세 개의 채널들을 이용하여 최대 1.3Gbit/s의 무선 통신 데이터 속도를 지원한다.

제안된 시스템은 시스템 사용자와 온실 간에 비디오 이미지 및 센서 판독 값 전송을 지원하기 위하여, 5GHz 대역을 사용하는 IEEE 802.11 무선 백홀망로 구성된다. 실제환경에서 산과 인공적인 구조물 같은 장애물들을 극복하고, LOS(Line Of Sight)를 확보하기 위해 통신망은 두 홉으로 구성한다. 반면에 LoRa은 온실에서 채집된 센서 데이터 및 IEEE 802.11 무선 백홀망에 대한 오류 감지 메시지를 전달한다.

시스템 사용자와 멀리 떨어진 온실의 상황을 감지하기 위한 농업 모니터링 네트워크 시스템에서 데이터 전송 실패는 치명적인 결과로 이어진다. 특히 IEEE 802.11 무선 백홀망은 물리적인 외부 충격으로 인하여 노드의 지향성 안테나 방향이 틀어져 성능에 영향을 주게 된다. 이에 IEEE 802.11 무선 백홀망을 통한 비디오 이미지 및 센서 측정 값을 서버에 전송할 수 없는 상황이 일어나면, 농산물 품질에 필수적인 실시간 농장 모니터링을 지원 할 수 없게 된다. 따라서 장애 발생 시 장애를 극복할 수 있는(Fault Tolerant) 신뢰성이 요구 된다. 제안하는 시스템은 평소 IEEE 802.11 무선 백홀망을 이용한 시스템을 통해 스마트 팜 관리 중 장애가 발생한다면 LoRa을 통해 중요 데이터를 전송하여 최소한의 스마트 팜 관리 기능을 지원할 수 있도록 한다.

본 논문에서 IEEE 802.11 무선 백홀망은 3x3 지향성 안테나로 구성되고, 전체 시스템은 상황에 따라 적용될 수 있는 세 가지 네트워크 시스템 모드를 갖는다. 이에 대한 내용은 다음 장에서 상세히 다룬다.

III. 스마트 팜 네트워크 시스템

본 장에서는 제안된 스마트 팜 네트워크 시스템의 전반적인 구성을 살펴본다. 온실과 사용자 사이의 온실 외부 네트워크 구성과 사용된 장비 및 작동 모드별 사용자에게 제공하는 서비스를 설명한 후, 제안한 Fault Tolerant Network 알고리즘을 제안한다. 마지막으로 스마트 팜 네트워크 시스템에서 제공하는 서비스를 설명한다. 제안된 스마트 팜을 위한 이중화 무선 인터페이스의 아키텍처는 그림 4와 같이 표현되며, 제

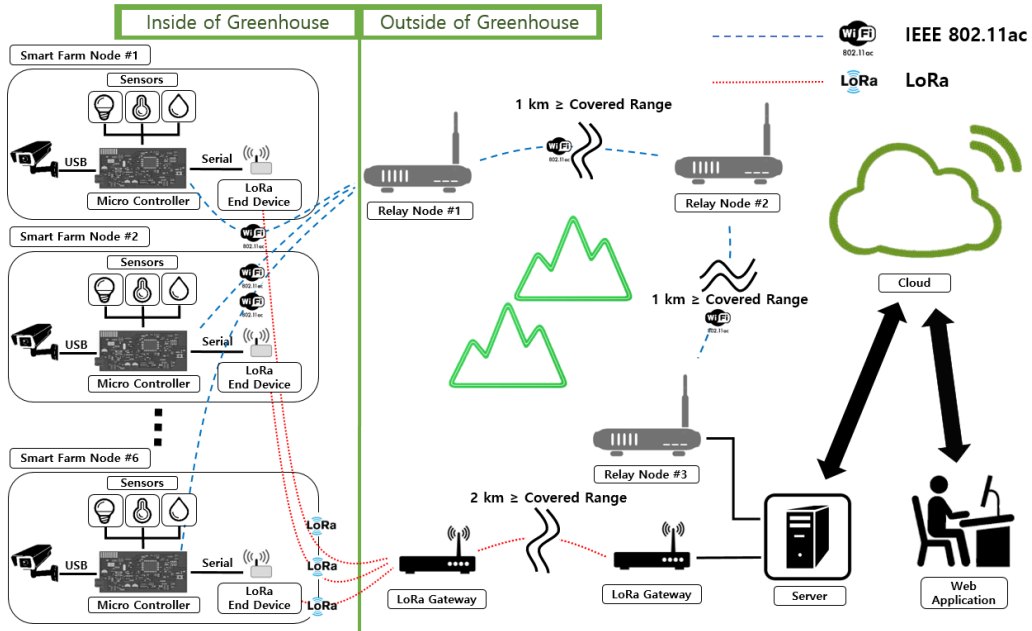


그림 4. 제안된 스마트 팜 네트워크 시스템 구성도
Fig. 4. Proposed Network System of SmartFarm

안된 시스템에서 사용된 통신 장비 및 센서들의 목록은 표 2와 같다.

AP는 두 개의 NIC(Network Interface Card)를 내장하고 있다. 하나는 Wi-Fi 서비스를 제공하기 위한

표 2. 제안된 시스템에서 사용된 장비 및 센서
Table 2. Device and Sensor List

Module	Quantity	Usage
LoRa mDot	6	Low-power & long-range IEEE 802.15.4g communication
MultiConnect Conduit	1	LoRa Gateway
Wireless Access Point	3	Relay node
Intel Edison Developer Board	6	Processing unit to develop embedded system around the nodes and camera
PC Server	1	Server
Camera	6	Capture video image
Temperature and Humidity Sensor	6	Measure temperature and humidity
CO2 sensor module	6	Measure CO2
Light Sensor	6	Measure light level

랜카드이며, 또 다른 랜카드는 AP간 백홀망을 구성한다. 그림 5는 AP 내부의 구성도이다. 백홀망에서는 5GHz 주파수 대역의 직선적인 방식을 위하여 3x3 지향성 안테나를 사용하며, 이는 LOS 환경에서 하나의 홉 당 최대 1km의 유효 통신거리를 가진다.

또한 Wi-Fi 서비스를 제공하기 위한 안테나는 Monopole 안테나로 10m 반경에서 스마트 디바이스로 네트워크에 접속이 가능하다. 표 3은 스마트 팜에 사용된 AP들의 설정 내용이다.

그림 4와 같이 서버는 사실 IEEE 802.11 무선 백홀망을 통하여 무선으로 2km 떨어진 노드에서 캡처한 비디오 이미지와 센서 데이터를 수신할 수 있다. 3개의 장거리 무선 액세스 포인트는 IEEE 802.11 기반의 지향성 고주파 안테나와 높은 RF 출력으로 이

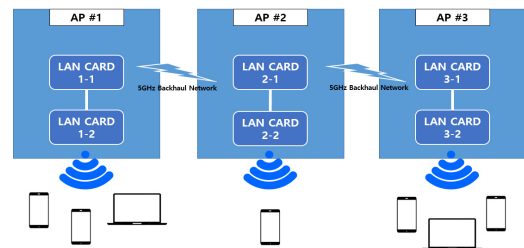


그림 5. IEEE 802.11 무선 백홀망 구성도
Fig. 5. IEEE 802.11 Wireless Backhaul network

장거리 무선 통신을 가능하게 한다. 그림 6은 제안된 스마트 팜 시스템의 이중화 네트워크를 구성하는 네트워크 중 IEEE 802.11ac 프로토콜이 적용된 네트워크 시스템의 AP 및 안테나이다.

제안된 시스템에서는 IEEE 802.11 무선 백홀망과 더불어 LoRa 통신망을 구성한다. 그림 7은 LoRa mDot, MultiConnect Conduit으로 구성된 네트워크 시스템이다.

LoRa 네트워크를 사용한 데이터 전송의 경우, 송신기 및 수신기 모듈 모두 4.5dBi 이득의 무 지향성 안테나와 915MHz의 작동 주파수를 사용하며, 14dBm의 송신 전력을 사용한다.

위의 스마트 팜 네트워크 시스템을 이용하여 온실 내에서 취득한 정보를 사용자에게 전달하는 동시에, 사용자가 온실 내부의 환경을 제어하기 위한 명령을 액추에이터에 반영하게 된다. 다음은 제안된 스마트

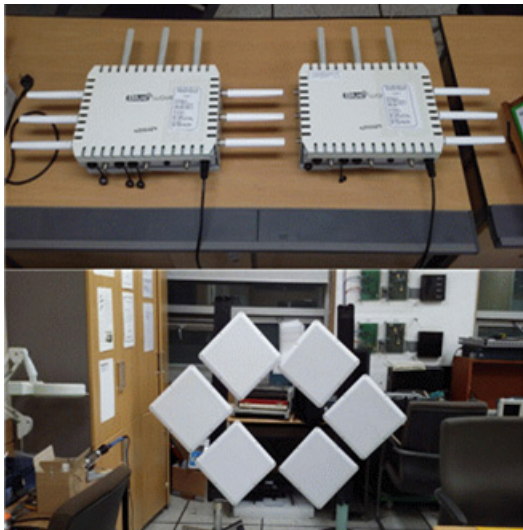


그림 6. IEEE 802.11ac AP 및 지향성 안테나
Fig. 6. IEEE 802.11ac AP and Directional Antenna



그림 7. LoRa 게이트웨이 및 단말기
Fig. 7. LoRa Gateway and Transmitter

표 3. 제안된 IEEE 802.11 무선 백홀망 AP 설정 파라미터
Table 3. AP Parameter of IEEE 802.11 Wireless Backhaul network

Service	Value	AP					
		AP #1		AP #2		AP #3	
MESH Network	SSID	MESH_1	MESH_2	MESH_1	MESH_2	MESH_1	MESH_2
		_1_2	_1_2	_2_3	_2_3		
	IP	192.168.1.1	192.168.1.2	192.168.1.3			
	MAC	18:D0:71:B8:EF:EC	18:D0:71:B8:EF:E2	18:D0:71:B8:EE:66			
Wi-Fi	IP	192.168.1.4	192.168.1.5	192.168.1.6			
Wi-Fi (2.4GHz)	SSID	WiFi_Node1_2.4GHz	WiFi_Node2_2.4GHz	WiFi_Node3_2.4GHz			
	MAC	18:D0:71:B9:6E:60	18:D0:71:B9:6D:C0	18:D0:71:B9:56:00			
Wi-Fi (5GHz)	SSID	WiFi_Node1_5GHz	WiFi_Node2_5GHz	WiFi_Node3_5GHz			
	MAC	18:D0:71:B9:6E:70	18:D0:71:B9:6D:D0	18:D0:71:B9:56:1C			

팜 네트워크 시스템에서 전달하는 정보는 다음과 같다.

- Sensor Message: 온실 내부의 스마트 팜 노드에서 취득한 온도, 습도 및 CO2의 값
- Command Message: 온실 내부의 환경을 작물이 잘 자랄 수 있는 환경으로 조성하기 위해 사용자가 액추에이터에 전달하는 값
- Video Streaming Message: 카메라에서 취득한 온실 내부 환경의 연속된 이미지 스트리밍 메시지
- Invader Alarm Message: 온실 내부에 외부인의 침입을 감지하는 메시지

위의 메시지들은 제안된 스마트 팜 네트워크 시스템에서 다음과 같은 3 가지 모드를 통해 사용자에게 제공된다.

- Wi-Fi 모드
- LoRa 모드
- Hybrid 모드

Wi-Fi 모드는 IEEE 802.11ac 통신 프로토콜을 사용하여 스마트 팜 내부의 모든 노드에서 서버로 센서 값 및 액추에이터 메시지, 그리고 비디오 이미지를 전송한다. 따라서 사용자는 처리된 센서값을 모니터링하고 카메라를 통해 촬영한 비디오 이미지를 스트리밍으로 볼 수 있다.

LoRa 모드는 LoRa 통신 프로토콜을 사용하여 저 전력 저대역폭으로 센서값 및 액추에이터 메시지를 서버로 전송한다. 이 모드에서 제공하는 데이터 전송 속도는 다른 모드와 비교하여 비디오 스트리밍을 지원하기에 낮으므로, 비디오 이미지를 대신하여 온실 내부에 침입자의 여부를 알려주는 Invader Alarm Message를 제공한다.

Hybrid 모드는 IEEE 802.11 무선 백홀망과 LoRa 통신 프로토콜을 상황에 맞게 조합하여 사용하게 된다. Hybrid 모드에서는 Wi-Fi 모드와 같이 IEEE 802.11 무선 백홀망을 통하여 스마트 팜 내부의 모든 노드에서 센서값 및 액추에이터 메시지, 비디오 이미지를 전송하게 된다. 차이점은 외부 환경에 취약한 IEEE 802.11 무선 백홀망의 무선 채널에 장애 발생시 LoRa 모드로 넘어가 스마트 팜이 운용된다. 이 때 오류 노드를 찾는 장애조치가 동시에 수행된다.

표 4는 이중화 네트워크 운용모드를 나타낸 것이다.

IEEE 802.11 무선 백홀망 노드에 오류가 생길 시에 이를 감지하고, LoRa 통신 프로토콜을 통하여 스마트 팜 네트워크 시스템 사용자에게 오류의 사실을 알리는 Fault Tolerant Network 알고리즘을 Hybrid Mode에 적용할 예정이다. Algorithm 1은 Fault Tolerant Network 알고리즘을 표현한 Pseudo Code이다.

Algorithm 2는 Fault Tolerant Network 알고리즘 내부에서 Ping Request를 이용해 결함이 있는 노드를 찾아내는 과정이다. 하나의 노드를 발견하고 이에 대

한 조치가 이루어지면 다음 노드로 넘어가게 된다.

이를 구현된 스마트 팜 네트워크 시스템에 적용하여 스마트 팜 네트워크 시스템의 안정성을 확보하고자 한다.

Algorithm 1: Fault Tolerant Network Algorithm

```

1  Fail counter ← 0;
2  Select Frequency Channel;
3  Set Receiver & Transmitter Address;
4  Set Counter Threshold;
5  while Power = On do
6      if Fail Counter ≤ Counter Threshold then
7          Collect Data(Video images, Sensor data,
8              Actuator Message);
9          Transmit Video Images & Sensors' Data to
              Server via IEEE 802.11ac;
10         if Server Receive Sensors' Data & Video
              Images
11             then
12                 Fail Counter ← 0;
13             else
14                 Fail Counter ← Fail Counter + 1;
15             end
16         else
17             if Fault is Fixed then
18                 Fail Counter ← 0;
19             else
20                 Stop Collecting Video Images;
21                 Run Faulty Node Detection Function;
22                 Prepare Message to Send Data(Sensor
                    Data, Actuator Message) and Faulty Node
                    Information
23                 Transmit Message to Server via LoRa;
24             end
25         end
26     end
    
```

표 4. 이중화 네트워크 운용모드
Table 4. Operation mode of Hybrid Network

	LoRa 모드	Wi-Fi 모드	Hybrid 모드
운용 프로토콜	IEEE 802.15.4g	IEEE 802.11ac Backhaul	IEEE 802.15.4g, IEEE 802.11ac Backhaul
평상 시	Command, Invader Alarm and Sensor Message	Command, Sensor and Video Streaming Message	Command, Sensor and Video Streaming Message
IEEE 802.11ac Backhaul 네트워크 노드 오류 시	Command, Invader Alarm and Sensor Message	-	Command, Invader Alarm and Sensor Message

Algorithm 2: Faulty Node Detection Function

```

1  Set i = 1;
2  N ← Number of Nodes;
3  while i < N+1
4      Ping Relay Node i;
5      if Respond of Relay Node i is Request Timed
              Out(RTO) then
6          Report to Server that Relay Node i is Faulty
              Node;
7          i ← N+2;
8      else
9          i ← i+1;
10         if i = N+1 then
11             There is no Faulty Node;
12         end
13     end
14 end
    
```

IV. 결과 및 실험 분석

제안된 스마트 팜 관리 시스템의 유용성을 증명하기 위하여, 스마트 팜 내부의 온도, 습도, CO2의 농도 및 조도의 양을 측정하는 센서를 설치하여 시스템을 테스트 한 후 실제 토마토 온실에 시스템을 구축하였다. 그림 8은 스마트 팜 시스템의 구조이다. 온실 내부에 설치된 카메라와 센서들은 이미지 및 데이터를 수집한다. 액추에이터는 온실 통합제어기의 명령을 수신하여 천장이나 벽면 등을 개폐하여 작물이 생육하는데 적합한 환경을 구현한다.

스마트 팜 관리 서버는 데이터베이스, 웹 서버, 센서 관리자 및 이미지 정보 관리자로 구성되어 이 온실 데이터 및 이미지들을 관리하게 된다. 사용자는 스마트 팜 내부의 AP에 접속하여 스마트 팜의 내부 상황을 모니터링 할 수 있다.

스마트 팜 시스템의 효율성을 확인하기 위한 노력의 일환으로, 그림 8에서 볼 수 있듯이 실제 팜에서의 사용을 검증하기 위해 실증 온실을 구축하였다. 또한 실증 온실의 환경은 표 5와 같다.

이 절에서는 두 가지 성능 평가가 있다. 하나는 멀티 홉 장거리 무선을 통한 비디오 스트리밍의 성능 평가이며, 또 다른 하나는 센서의 데이터를 전송하는 LoRa에 대한 성능 평가이다. 실험은 강릉에 있는 토마토 실증 온실에서 수행되었다. 실험에서 내부 또는 외부 간섭 효과는 고려하지 않았다. 지향성 안테나는 모든 릴레이 노드에 설치되며, 간섭 현상을 피하기 위하여 충분히 높은 위치에 설치되었다. 그러므로 해당 지향성 안테나가 형성하는 무선 채널에 LOS 환경이 확보되었다고 충분히 말할 수 있다. LoRa 네트워크 장비의 경우 송신기 및 수신기 모듈 모두에서 4.5dB이의 안테나 이득과 14 dBm의 송신 전력, 915MHz의 작동 주파수를 사용한다. 모든 경우에 대해 이론적인 분석 및 측정 결과가 입증되며, 측정된 결과는 이론적인 분석으로부터의 기대 값과 비교된다.



그림 8. 구축된 실증 온실
Fig. 8. Built SmartFarm

표 5. 실증 온실 주요 파라미터
Table 5. Parameter of SmartFarm

Parameter	Value
Greenhouse Size	12m x 16m x 6m
Location	Gangneung, South Korea
Height of Crop	85cm
Number of Crop	120
Kind of Crop	Tomato
Number of Smart Farm Node	6
Average Temperature	27°C
Average Humidity	65%

4.1 비디오 스트리밍 성능평가 방법

이 절에서는 이론적인 분석을 통해 비디오 스트리밍 성능 평가 방법을 소개한다. 그리고 스마트 팜 시스템에서 멀티 홉 무선 네트워크를 통한 비디오 스트리밍 결과를 보여준다. 비디오 품질은 처리량 모델에 의해 밀접하게 나타났으며 스마트 팜 시스템에서 관찰 한 것과 매우 유사하게 나타났다. 이 하위 절에서는 이론적 분석을 통한 비디오 스트리밍 평가 방법을 소개한 후, 스마트 팜 시스템에서 멀티 홉 무선 네트워크를 통한 비디오 스트리밍 결과를 보여준다. 비디오 품질 또한 처리량 모델에 의해 밀접하게 표시되며 스마트 팜 시스템에서 관찰 한 것과 유사하게 나타난다.

비디오 스트리밍의 경우 시뮬레이션에서 비디오 평가 도구인 Evalvid를 사용한다. Evalvid는 비디오 추적 과일을 분석하고 패킷 손실 비율, 프레임 지연 및 지터 및 프레임 PSNR(Peak Signal-to-noise ratio)를

표 6. 비디오 스트리밍 주요 파라미터
Table 6. Parameter of Vedio Streaming

Parameter	Value
Picture resolution	1,280 x 720 pixels
Frame refresh rate	24 frame/sec
Total frames	3,016
Number of I-frames	2
Number of P-frames	754
Number of B-frames	2,010
Avg. I-frame size	31,992 bytes
Avg. P-frame size	23,463 bytes
Avg. B-frame size	2,623 bytes
GOP size	12 frames
GOP structure	IB BPB BPB BPB B
Total packets	22,848

포함한 비디오 성능 메트릭을 계산하는 프로그램이다. 표 6은 이 비디오 스트림의 중요한 특성을 나타낸다.

4.2 성능평가 및 시뮬레이션

제안된 시스템의 성능평가를 위하여, 본 논문에서는 그림 9와 같은 IEEE 802.11 무선 백홀망 시스템을 구성하였다. 이 무선 백홀망은 AP를 릴레이 노드로 사용하여 장거리 무선 통신을 구현하며, 스마트 디바이스와 연동되는 무선 네트워크 플랫폼을 구현한다. 모든 노드들은 서버 어플리케이션을 설치하여 AP에 연동을 한다. 사용자는 AP에 연동된 모든 노드들의 IP주소에 접속하여 해당 노드의 정보를 취득하게 된다.

또한 LoRa 네트워크는 그림 10과 같이 LoRa 게이트웨이 두 개와 데이터 채집을 위한 LoRa 단말기로 이루어졌다. LoRa 게이트웨이와 LoRa 단말기의 통신이 아닌 LoRa 게이트웨이 간의 통신 네트워크를 구축함으로써, 장거리 통신이 이루어질 LoRa 게이트웨이 간의 무선채널을 하나로 통합하였다. 또한 IEEE 802.11 무선 백홀망과 같이 LoRa 네트워크 시스템을 검증하기 위해 그림 11의 장소에서 성능평가를 실시하였다.

첫 번째 검사할 성능으로는 거리에 따른 스마트 콤팩트 네트워크 시스템의 최대 Throughput이다. IEEE 802.11 AP 간의 거리를 100m 마다 실험하여, 최대

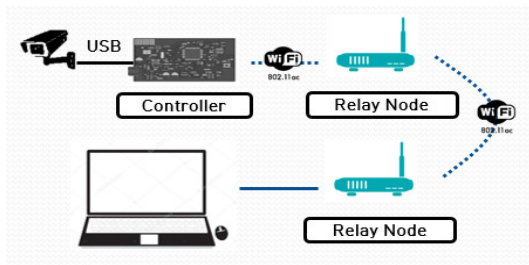


그림 9. IEEE 802.11 무선 백홀망 시스템 구성도
Fig. 9. IEEE 802.11 Wireless Backhaul network System

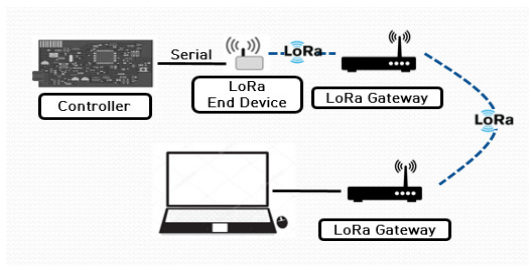


그림 10. LoRa 네트워크 시스템 구성도
Fig. 10. LoRa network System



그림 11. IEEE 802.11 무선 백홀망 및 LoRa 성능분석 실험 환경
Fig. 11. Experiment Environment of IEEE 802.11 Wireless Backhaul network System and LoRa

Throughput를 측정한다. 두 개의 IEEE 802.11 AP가 서로 통신하는 상황에서, IEEE 802.11 AP 하나는 한 곳에 고정되고 다른 IEEE 802.11 AP는 실험을 위하여 고정된 IEEE 802.11 AP와의 거리를 점차 100m씩 늘려나갔다.

그림 12에서 나타난 것과 같이, 한 홉에서 데이터 이미지 전송을 처리하기 위한 Throughput을 지원하는 거리는 0m부터 최대 1400m까지다. 1400에서 2000m 사이의 거리에서는 비디오 데이터를 보낼 수 있지만 Throughput이 낮아질수록 IEEE 802.11ac 네트워크 시스템이 지원하는 비디오 스트리밍의 QoS도 손상된다. 2 홉의 경우에도, 첫 번째 AP는 한 곳에서 머무르고 두 번째 AP와 세 번째 AP는 100m마다 이동을 하게 된다. 비록 2개의 홉을 가지고 있지만 첫 번째 AP와 세 번째 AP사이에는 릴레이 AP가 있으므로 700m 이하의 거리에서는 한 홉의 경우보다 낮은

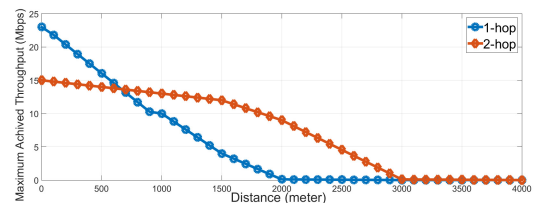


그림 12. IEEE 802.11 무선 백홀망 네트워크 거리 별 최대 Throughput
Fig. 12. IEEE 802.11 Wireless Backhaul network Throughput

Throughput을 보이지만, 700m 이상의 거리에서는 멀티 홉의 확장성이 장점으로써 나타나기 시작한다. 이미지 전송처리가 가능한 Throughput을 0에서 약 2300m까지 지원한다.

그림 13은 스트리밍 된 비디오의 I-프레임 패킷 손실 비율(PLRi)을 보여준다. I-프레임은 비디오 스트리밍에서 가장 중요한 유형의 프레임이다. 디코더는 I-프레임을 검사하여 동일한 GOP(Group of Pictures)에서 P-프레임과 B-프레임을 디코딩하게 된다. 따라서 P-프레임 또는 B-프레임에서 패킷 손실이 발생하면 이는 단지 이웃한 이미지와 현재의 이미지에 영향을 준다. 이 문제는 H.264 오류 은폐 알고리즘에 의해 쉽게 해결될 수 있다. 즉, I-프레임의 오류는 다른 모든 프레임에 영향을 주므로, 비디오 품질을 판단하는 중요한 척도라고 말할 수 있다.

또한 PLRi는 전송하는 비디오 스트림의 수에도 영향을 받게 되는데, 비디오 스트림의 수가 증가함에 따라 PLRi는 비디오 트래픽의 증가와 제한된 버퍼 공간을 차지하기 위한 비디오 스트림들의 경쟁에 의하여, 세 가지 시나리오 모두에서 증가한다. 1-홉 시나리오의 경우, 버퍼에서 오버플로우가 발생할 가능성이 높아지며 PLRi가 훨씬 높아진다. 2-홉 시나리오는 링크 경합 사이의 더 나은 절충점을 가지며 1-홉 시나리오에 비해 PLRi가 낮다.

다음은 LoRa 네트워크 시스템 성능에 대한 이론적인 계산방법과 측정 결과를 통해 무선통신 채널의 길이에 따라 경로 손실을 입증하고자 한다. 무선 채널에서 경로 손실은 송신기와 수신기 사이의 경로를 따른 전력 손실을 나타낸다. 서로 다른 매개 변수와 다른 상황에 대해 고려된 서로 다른 전파 모델이 경로 손실을 예측하기 위한 다음 문헌에서 논의되었다¹⁹⁾. 다음 식을 사용하여 송신기와 수신기 사이의 경로 손실을 측정하였다.

$$PL_{measured} = P_t - P_r + G_t + G_r, \quad (1)$$

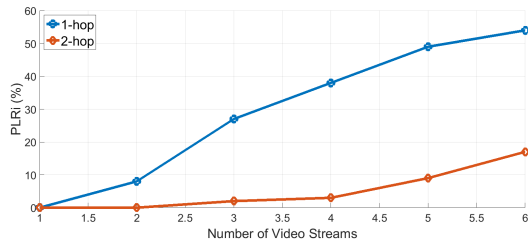


그림 13. IEEE 802.11ac 네트워크 I-프레임 패킷 손실 비율
Fig. 13. IEEE 802.11ac Network I-Frame Packetdrop rate

위의 식에서 P_t 는 송신 전력, P_r 은 수신 전력, G_t 는 송신기 이득, G_r 은 수신기 이득이다. 제안된 시스템에서 사용되는 안테나의 파라미터에 따라 G_t 와 G_r 의 값은 모두 4.5dB이다.

수행된 실험에서 수신 게이트웨이는 교내의 실험실에 설치되었으며, 송신 게이트웨이는 실험실과 약 2km 떨어진 실외 환경에서 데이터를 채집하여 전송한다. 무선 채널 환경에는 교내의 건물들과 우거진 나무들을 포함한다. 이러한 이유 때문에 다음 식을 사용하여 이론적인 경로 손실을 계산해내며, 이를 로그-거리 경로 손실 모델이라고 한다¹⁸⁾.

$$PL_{measured} = PL_0 + 10\gamma \log\left(\frac{r}{r_0}\right) + \sigma_f, \quad (2)$$

여기서 PL_0 는 기준 거리 r_0 에서의 경로 손실, γ 는 경로 손실 지수, r 은 송신기와 수신기 사이의 거리, σ_f 는 쉐도우 페이딩으로 인한 표준 편차이다.

그림 14는 기준거리 r_0 를 기준으로 송수신 LoRa 게이트웨이 사이의 거리에 따라 경로손실을 측정하였다. 경로손실을 측정된 거리 d , Logarithmic Transmitter-Receiver Separation은 기준거리 $r_0 = 5m$ 을 기준으로 다음과 같이 구해졌다.

$$d = \log\left(\frac{r}{r_0}\right), \quad (3)$$

그림 15는 스마트 팜을 위한 네트워크 시스템에서 LoRa Point to Point 네트워크의 성능평가 파라미터를 나타낸다. RSS(Received Signal Strength) 및 SNR(Signal to Noise Ratio)을 측정하는 성능평가는 위 그림 12를 참고하여 IEEE 802.11 무선 백홀망이 비디오 스트리밍을 충분히 지원할 수 있는 것으로 측정된 2km 범위에서 수행된다. 표준 편차와 평균은 10개의 샘플들을 이용하여 다음과 같은 공식에 의해 구해졌다.

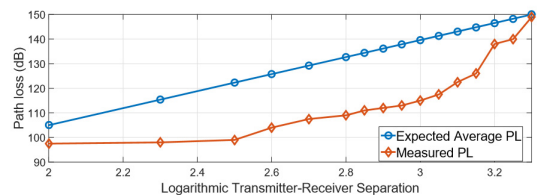


그림 14. LoRa 네트워크 경로 손실
Fig. 14. LoRa Network Pass Loss

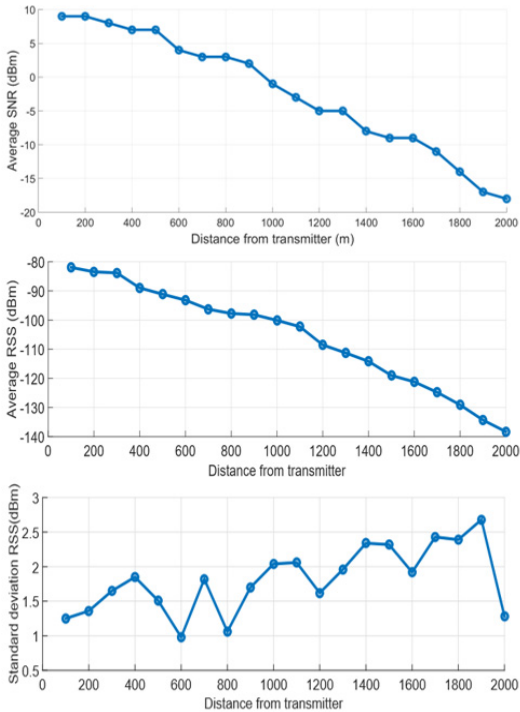


그림 15. LoRa 네트워크 성능평가 파라미터 (a) SNR 평균, (b) RSS 표준편차, (c) RSS 평균
 Fig. 15. LoRa Network Performance Evaluation Parameter (a)Average SNR (b)Average RSS (c)Average RSS

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}, \quad (4)$$

S는 표본 {y1, y2, ..., yn}의 표본표준편차이며, n은 표본의 개수, y는 표본의 평균으로 다음과 같이 구해졌다.

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (5)$$

사용된 LoRa 게이트웨이의 RSS 표본표준편차는 대략 1~2.5 dBm으로 나타나며, RSS 평균은 200m당 5~10dBm씩 감소한다.

제안된 스마트 팜 네트워크 시스템에서 제공하는 세 가지 모드는 사용하는 무선 프로토콜의 특성에 기반하여 제공할 수 있는 정보의 형태가 다르나, 표 4와 같이 여러 가지 형태의 정보를 지속적으로 제공함으로써 온실 내의 상황을 사용자가 인지할 수 있게끔 한다.

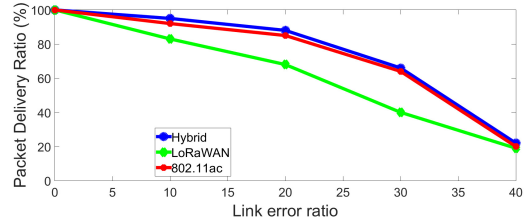


그림 16. 스마트 팜 네트워크 시스템의 운용모드 별 성능평가
 Fig. 16. Performance Evaluation of SmartFarm Network System by each Operation Mode

스마트 팜 네트워크 시스템에 Fault Tolerant Network 알고리즘을 적용할 시, 네트워크 안정성을 향상시킬 수 있다는 것을 증명하고자 시뮬레이션을 진행하였다.

그림 16에서는 네트워크 시스템 노드에서 일정한 확률로 에러를 가질 때, 전달하고자 하는 데이터의 전송 성공확률을 나타낸다. 세 가지 운용모드 중, Hybrid 모드에서 안정된 네트워크를 제공할 수 있음을 알 수 있다. 이를 통하여, 스마트 팜 네트워크 시스템의 오류를 극복하고 안정적인 모니터링 서비스를 제공하기 위한 무선 네트워크 상황에 따른 운용모드를 선택 및 운용하고자 한다.

V. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 온실 내에서 식물의 원활한 성장을 돕는 스마트 팜을 원격으로 운용하기 위하여 IEEE 802.11 무선 백홀망과 저전력 장거리 기술 중 하나인 LoRa를 이용하는 스마트 팜 네트워크 시스템을 설계 및 구현하였다. 구현된 온실 외부용 스마트 팜 네트워크 시스템의 객관적인 성능평가를 위하여, 성능평가 프레임 워크로 Evalvid를 사용하였다. 향후의 연구로는 다양한 환경에 제안된 스마트 팜 이중화 네트워크를 적용하여 Fault Tolerant Network 알고리즘의 효용성을 증명하고자 한다.

References

- [1] O. Georgiou and U. Raza "Low power wide area network analysis: Can LoRa scale?," *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 6, no. 2 pp. 162-165, 2017.
- [2] A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, and W. M. Townsley, "A study of LoRa: Long range and low power networks for the internet of

- things,” *Sensors*, vol. 16, no. 9, pp. 1-1, 2016.
- [3] B. N. Silva, M. Khan, and K. Han, “Internet of things: A comprehensive review of enabling technologies, architecture and challenges,” *IETE Technical Rev.*, pp. 1-16, 2017.
- [4] K. R. S. R. Raju and G. H. K. Varma, “Knowledge based real time monitoring system for aquaculture using IoT,” *IEEE 7th IACC*, pp. 318-321, 2017.
- [5] A. Khattab, A. Abdelgawad, and K. Yelmarthi, “Design and implementation of a cloud-based IoT scheme for precision agriculture,” *28th ICM*, pp. 201-204, 2016.
- [6] I. Mat, M. R. Mohd Kassim, A. N. Harun, and I. Mat Yusoff, “IoT in precision agriculture applications using wireless moisture sensor network,” *IEEE Conf. Open Syst. (ICOS)*, pp. 24-29, 2016.
- [7] E. Charfi, L. C. Fourati, and L. Kamoun, “QoS support of voice/video services under IEEE 802.11n WLANs,” *9th Int. Symp. Commun. Syst., Netw. Digital Sign (CSNDSP)*, pp. 600-605, 2014.
- [8] H.-H. Choi, D.-H. Noh, J.-M. Lee, and D.-S. Kim, “Design and implementation of smart farm network system with LoRa and IEEE 802.11ac,” in *Proc. KICS Int. Conf. Commun.*, pp. 136-137, 2017.
- [9] T. Popovi, N. Latinovi, A. Pešić, Ž. Zečević, B. Krstajić, S. Djukanović, “Architecting an IoT-Enabled platform for precision agriculture and ecological monitoring: A case study,” *Comput. and Electron. in Agriculture*, vol. 140, no. 5, pp. 255-265, Aug. 2017.
- [10] V. Bapat, P. Kale, V. Shinde, N. Deshpande, and A. Shaligram, “WSN application for crop protection to divert animal intrusions in the agricultural land,” *Comput. Electron. in Agriculture*, vol. 133, pp. 88-96, 2017.
- [11] K. P. Ferentinos, N. Katsoulas, A. Tzounis, T. Bartzanas, and C. Kittas, “Wireless sensor networks for greenhouse climate and plant condition assessment,” *Biosystems Eng.*, vol. 153, pp. 70-81, 2017.
- [12] N. B. Long and D.-S. Kim, “TDMA-based efficient cooperative relaying selection scheme in multi-hop wireless networks,” *Computer Standards and Interfaces*, vol. 53, pp. 39-47, 2017.
- [13] I. Ahmedy, H. A. Shehadeh, and M. Y. I. Idris, “An estimation of QoS for classified based approach and nonclassified based approach of wireless agriculture monitoring network using a network model,” *Wireless Commun. Mob. Comput.*, vol. 2017, p. 14, 2017.
- [14] G. Zhu, C.-H. Liao, M. Suzuki, Y. Narusue, and H. Morikawa, “Evaluation of LoRa receiver performance under co-technology interference,” *2018 15th IEEE Annu. Consumer Commun. & Netw. Conf.*, 2018.
- [15] J. Lim, J. Lee, D. Kim, and J. Kim, “Performance analysis of LoRa(Long Range) according to the distances in indoor and outdoor spaces,” *J. KIISE*, vol. 44, no. 7, pp. 733-741, 2017.
- [16] Element14, “The LoRaWAN as an IoT network solution(2017),” Retrieved Apr. 30, 2018, from <http://kr.element14.com/lorawan-as-an-iot-network-solution>.
- [17] E. M. Mohamed, K. Sakaguchi, and S. Sampei, “Wi-Fi coordinated WiGig concurrent transmissions in random access scenarios,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 66, no. 11, pp. 10357-10371, 2017.
- [18] T. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, Prentice Hall PTR., 2nd Ed., pp. 38-39, 2002.

조 흥 규 (Hong-Keu Jo)



2018년 2월 : 금오공과대학교
IT융복합공학과 석사 졸업
2018년 3월~현재 : 금오공과대
학교 IT융복합공학과 박사과
정
<관심분야> 가상화, 실시간 통
신망, 합포 시뮬레이터

이 재 민 (Jae-Min Lee)



1997년 : 경북대학교 전자공학과
학부 졸업
1999년 : 경북대학교 전자공학과
석사졸업
2005년 : 서울대학교 전기 및 컴
퓨터공학부 박사졸업
2004년~2016년 : 삼성전자 수석
연구원
2017년~현재 : 금오공과대학교 산학협력단 조교수
<관심분야> 실시간 통신망, 네트워크 기반 임베디
드 시스템 설계 및 성능 분석

최 학 희 (Hak-Hui Choi)



2018년 2월 : 금오공과대학교 IT
융복합공학과 석사 졸업
<관심분야> 실시간 통신망

김 동 성 (Dong-Seong Kim)



1994년 8월~2003년 2월 : 서울
대학교 ERC-ACI 연구원
2003년 : 서울대학교 전자공학
부 박사 졸업
2003년 3월~2005년 2월 : 뉴욕
Cornell University Wireless
Network Laboratory 포스트
닥터 연구원

2007년 12월~2009년 2월 : Department of Computer
Science, University of California, Davis 초빙교수
현재 : 금오공과대학교 ICT Convergence Research
Center(ITRC program) 원장, IEEE&ACM senior
member

<관심분야> 실시간 IoT, 산업용 무선 제어 네트워크,
네트워크 임베디드 시스템, 필드버스