

논문 2022-59-1-4

산업환경에 강인한 초고밀도 경량 디바이스 네트워크 개발

(Highly Densed Lightweight Network for Industry Robustness)

김 선 태*, 신 익 수**, 김 영 진***

(Seon-Tae Kim[Ⓒ], Iksoo Shin, and Youngjin Kim)

요 약

스마트 그리드와 환경 시설 관리 등의 산업현장에서는 넓은 지역에 분포되어 있는 디바이스들에서 발생하는 정보를 수집하고자 광범위한 거리를 커버할 수 있는 저전력 무선 통신 네트워크를 개발하였다. 하지만, 반도체나 디스플레이 공장의 클린룸에서는 제품 수율을 높이고 정밀한 공기 청정 제어를 위해 수많은 IoT 디바이스가 초고밀도로 분포되는 환경이다. 이런 환경에서 무선 데이터의 전달 성공율이나 지연시간에 대한 신뢰성을 확보하고 장시간 안정적인 동작이 유지되어야 한다. 이를 위해서 본 논문에서는 초고밀도 디바이스의 무선 환경에서 고신뢰 데이터 전송을 위해 네트워크를 2계층으로 설계하는 Dual MAC 기반 고밀도 네트워크 통신 알고리즘 제안하며, 네트워크의 안정성을 위한 이중화 통신 기법, 대규모 디바이스의 설치 편의성을 위한 NFC 기반 디바이스의 ID 설정 및 모니터링 시스템을 구현하였다. 500대의 디바이스가 밀집된 환경에서 시험한 결과, 산업 환경에서 요구하는 99% 이상의 데이터 패킷 전달 성공율과 40msec 이내의 전송 지연시간을 달성하였다.

Abstract

In industrial fields such as smart grid and environmental facility management, a low-power wireless communication network that can cover a wide range was developed to collect information generated from devices distributed in a wide area. However, in a clean room of a semiconductor or display factory, numerous IoT devices are distributed in an ultra-high density to increase product yield and to control precise air quality. In such an environment, it is necessary to secure the reliability of the wireless data transmission success rate or delay time, and to maintain stable operation for a long time. To this end, in this paper, we propose a Dual MAC-based high-density network communication algorithm that designs the network in two-layered high-reliability data transmission in a wireless environment of ultra-high-density devices. An NFC-based device ID setting and monitoring system was implemented. As a result of testing in a dense environment with 500 devices, it achieved a data packet delivery success rate of more than 99% and a transmission delay time of less than 40msec, required in an industrial environment.

Keywords : 초고밀도, 경량 디바이스 네트워크, 고신뢰 무선통신, 네트워크 이중화, 모니터링 시스템

I. 서 론

현재 일반 사용자들은 수많은 IoT 디바이스에서 전송되는 데이터의 가치있는 정보를 받으며 편리한 삶을 살아가고 있으며, 미래는 더 많이 의존할 것이다. 또한, 고신뢰성을 요구하는 스마트 공장과 환경 시설 등의 산

업현장에서도 수많은 유무선 디바이스의 정보를 수집하여 업무의 효율화를 달성하고 있으며 인공지능의 도움으로 더 많은 가치를 얻어내고 있다.

한편 반도체 공장과 디스플레이 공장의 클린룸 및 의약품 관리 시설 등에서는 공기 청정관리가 제품의 품질에 중요한 요인으로 약 1m²의 좁은 공간에 4개의 공

*평생회원, 한국전자통신연구원 인공지능연구소 (Artificial Intelligence Research Lab., ETRI)

**비회원, 과학기술연합대학원대학교 ETRI 스쿨(ETRI school, UST)

***비회원, (주)블루코드 기술연구소(Technology Lab., Bulecord Corp.)

Ⓒ Corresponding Author(E-mail : stkim10@etri.re.kr)

※ 이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020-0-01020, 대규모 산업현장의 상태변화에 스스로 적응하는 고신뢰 무선 IoT 네트워크 기술 개발)

Received : November 15, 2021

Revised : December 11, 2021

Accepted : December 14, 2021

조기 설치하여 밀도가 높은 상황에서 관리하고 있다. 이 환경에서는 RS-485 등 유선 통신을 사용하여 온도, 습도, 및 공기 청정도에 따라 팬의 동작 여부를 제어하였다. 하지만 유선은 설치하는데 많은 인력이 요구되어 비용이 증가하고 유지보수하는데도 문제가 많다. 따라서, 효율성을 높이기 위한 대안으로 무선통신이 떠오르고 있으며, 무선 통신은 예전과는 달리 전력 소모 문제도 많이 해결되었고^[1, 2], 통신 품질 및 안정성도 많이 향상되었다.

스마트 공장 등 산업현장에서 무선통신은 대역폭이 상대적으로 높은 비면허대역 WiFi를 많이 사용하였는데, 기존 디바이스와의 간섭과 고사양 디바이스에 대한 고비용 및 많은 전력 소모량 문제점으로 산업현장에 적용이 어려웠다. 이를 해결하기 위해 경량 디바이스에서도 작동 가능한 WPAN(Wireless Personal Area Network)^[3] 방식의 무선 기술이 국제적으로 표준화되었으며, 이 표준기술은 대체로 스마트 그리드의 AMI(Advanced Metering Infrastructure) 서비스처럼 디바이스간 거리가 있는 통신방식으로, 멀티홉 기반의 대규모 디바이스 연동으로 사업화되었다^[4].

하지만, 앞서 언급한 반도체 및 디스플레이의 클린룸 제어 등의 산업환경에서는 100m x 50m 공간에 7천대 이상의 디바이스를 제어 및 관리해야 하는 초고밀도 환경이다. 이런 환경에서는 기존의 Sparsed 환경에서는 고려하지 않았던 WPAN 무선통신의 전송 대역폭 효율성과 수많은 고밀도 디바이스 간의 전파 간섭을 고려하여 네트워크를 설계하여야 한다. 이를 위해서 대규모 디바이스가 연동되는 환경에서는 무선 디바이스의 동작을 그대로 가상환경에서 구동시키고 문제점을 파악할 수 있는 에뮬레이터 기반 시뮬레이터가 사용된다^[5]. 뿐만 아니라, 산업현장에서는 데이터 전송에 고신뢰 네트워크를 제공해야 하는데, 예측하지 못하는 디바이스의 오동작 및 전원 공급 차단 등으로 네트워크가 어려운 환경이 발생할 수 있다. 이런 환경에서도 데이터 신뢰도를 확보하기 위해서 데이터 전송 이중화 기술이 필수 요소이다. 또한 디바이스 개발자와 설치자가 다른 환경에서, 대규모 디바이스를 설치하고 관리하기 위해서는 디바이스 랜덤 설치 후 디바이스 식별하고 모니터에 위치를 매칭하는 기술은 현장에서 매우 유용하게 사용된다.

본 논문에서는 그림 1과 같은 산업환경에서 요구하는 초고밀도 기반 네트워크 핵심기술을 개발하고 기술의 서비스 적용을 위한 시스템 기술을 제안하였다. 논문의 구성은 II장에서 디바이스의 초밀도 환경에서 강

인하고 데이터 전송 효율을 높이는 방법 및 산업환경 적용을 위한 시스템관련 추가 기술을 설명하고, III장에서는 시험환경과 결과를 서술하고 IV장에서는 결론을 맺는다.

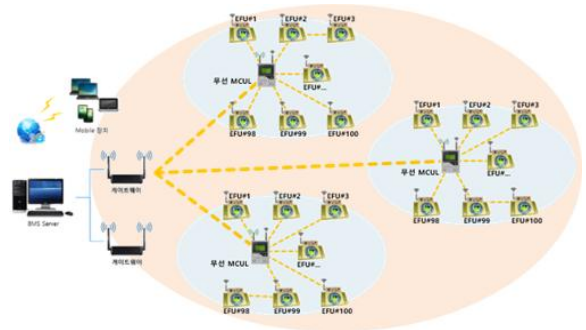


그림 1. 무선 IoT 단말기 기반 모니터링 서비스
Fig. 1. Monitoring Service with wireless IoT Devices.

II. 초고밀도 대규모 디바이스 무선 네트워크

현재 반도체 클린룸의 경우 한 건물(100m x 50m)에서 7천대 이상의 제어 및 모니터링 디바이스를 통해 공기 정청을 유지하고 있다. 현재는 유선 환경이며, 초밀도의 환경에서 무선 네트워크를 고려하고 있지만, 전파의 간섭 및 망 안정성과 설치와 관리 편리성에 대한 확실한 해결책이 필요한 상황이다. 본 장에서는 듀얼 MAC기반으로 전파의 간섭과 데이터 전송 대역폭 문제를 해결하려고 하며, 네트워크 이중화를 통해 네트워크 강인성을 보장하고, NFC(Near Field Communication) 기능을 이용한 설치 편리성을 지원하는 기술을 제안한다. 기존에도 IoT 디바이스에 Dual-Mac 기반 데이터 통신을 시도하였지만, 에너지 절감을 위한 방법이었으며, 디바이스 수가 한정된 시뮬레이터 기반으로^[6] 검증이 되어, 실제 산업현장에서는 안정적인 네트워크를 구성하지 못했다.

1. 듀얼 MAC기반 초고밀도 네트워크

초고밀도 환경에서 대규모 디바이스를 연동하여 데이터를 전송하기 위해서는 전파를 효율적으로 이용해야 한다. 본 논문에서는 500대 이상의 디바이스를 연동할 수 있는 방안을 제시하되, 상호 디바이스에 송출되는 전파의 간섭을 최소화하려고 하였다. 이를 위해서는 단일의 PAN기반 RF만을 가지고는 대역폭이 부족하여, 두 가지 비면허대역 RF를 사용하도록 하였다. 즉, 그림 1과 같이 100대의 디바이스를 하나의 클러스터로 묶어

통신하는 계층과 다른 하나는 클러스터간 통신으로 서버의 GW까지 통신하는 계층으로 설계하였다. 500개의 디바이스에서 100개 단위 클러스터를 생성하게 되면 초고밀도 환경에서 상호 클러스터간 전파의 간섭이 영향을 미치므로, 그림 2에서처럼 말단 디바이스의 클러스터 내 통신에서는 TSCH(Time Slotted Channel Hopping) 프로토콜을 이용하여 클러스터별로 다른 채널을 사용하게 알고리즘화하였다^[2, 6]. 그리고 그림 2와 같이 클러스터간 AP 디바이스 통신에서는 데이터 전송의 안정적인 전송을 위해 데이터 경로를 다양화할 수 있는 CSMA(Carrier Sense Multiple Access) 방식을 이용하여 상호 간섭을 최소화하였다. AP 디바이스와 단말 디바이스는 매우 근거리에 위치하므로, 대부분 단일 홉 통신으로 송수신이 가능하지만, 장애물이 있는 지역에 단말 디바이스가 위치할 수도 있으므로 2홉내 멀티 홉 전송이 되도록 프로토콜을 설계하였다^[7]. 대체로 기존에 자체 보유한 기술^[1, 2]에 듀얼 RF기반으로 그림 2와 같이 2계층의 통신 방식을 융합하였으며, 통신시 충돌이 발생하지 않도록 설계하였으며, 두 통신 방식간 데이터 전달을 위해 LLC(Logical Link Control) 모듈을 수정하였다.

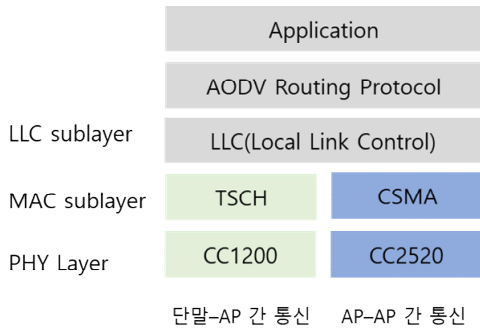


그림 2. 듀얼 MAC지원 네트워크
Fig. 2. Structure of Dual-MAC Networking.

(1) 글로벌 절대 주소 체계

앞서 언급한 바와 같이, 클러스터 내의 네트워크에 참여하는 디바이스는 제한된 Time-Slot 개수로 256개 이내로 제한하였으며, 클러스터 간의 통신도 100개로 제한하였다. 산업현장 내 여러 개의 PAN ID가 혼재하는 상황에서 네트워크에 포함되는 디바이스를 확정하기 위해 네트워크 전체에서 통용 가능한 32비트 절대 주소를 사용하였다. 그림 3와 같이 PAN ID 2바이트와 ShortAddr 2바이트로 구성된 글로벌 주소체계를 4바이트로 설정하였다.

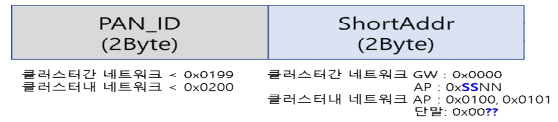


그림 3. 글로벌 주소 체계
Fig. 3. Global address configuration.

응용에서 특정 디바이스에 데이터를 보내려면 해당 글로벌 주소로 데이터를 보내면 되는데, 이는 GW가 해당 글로벌 주소가 어느 클러스터의 AP에 속해 있는지 정보를 가지고 있어서 해당 AP로 데이터가 전송된다. 이 데이터는 다시 최종 디바이스에 전송된다. 이 과정에서 GW는 글로벌 주소에 대한 테이블을 유지하고 해당 변환 작업을 수행해야 하는데, 빠른 처리를 위해서 클러스터간과 클러스터 내의 주소 체계를 그림 3처럼 식별하도록 하였다.

(2) 클러스터내 TSCH의 Slot 및 데이터 패킷

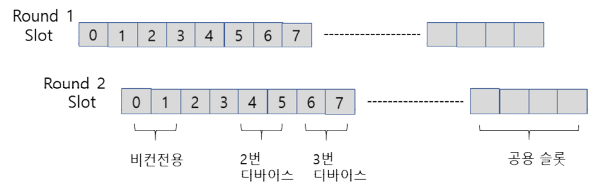


그림 4. 클러스터 내 슬롯 할당 방법 및 전송
Fig. 4. Slot Allocation and data Transmission within Cluster.

그림 4는 하나의 클러스터 내에 존재하는 AP 디바이스와 단말 디바이스 간의 데이터 송수신을 위한 슬롯 할당 방법 및 주기를 나타낸다. AP 디바이스에서 스케줄에 맞게 비컨을 해당 클러스터의 단말 디바이스들에게 전송하면 각 단말 디바이스는 해당 라운드의 어느 슬롯에서 송수신할지에 대한 정보를 알게 되고, 약속된 슬롯에서 송수신을 함으로써 WiFi나 ZigBee와 같이 랜덤하게 전송하는 무선통신 기술에서 발생하게 되는 신호 간 충돌을 최소화할 수 있게 된다. 최대 노드수는 클러스터 내 디바이스 수로 정해지며, 슬롯 수는 채널 호핑 시 채널이 겹치지 않도록 Prime number로 조정된다. 비컨 전용이 2개의 슬롯을 사용하는데, 각각 주 AP와 보조 AP의 비컨이며, 각 디바이스별 2개의 슬롯은 각각 전송과 수신 슬롯이다.

IEEE 802.15.4의 최대 데이터 전송 길이는 127바이트인데, 보안, PHY, MAC 헤더를 제외하면 102바이트가 되며, 네트워크 헤더 12바이트를 감안하여, 각 최종 디

바이스에서 최대 90바이트 데이터 전송이 가능하도록 하였다.

2. 산업현장 강인성지원 이중화 통신

산업현장에서는 그동안 유선통신을 기반으로 데이터 수집이 이루어졌다. 해결하고자 하는 초고밀도의 반도체 공정의 청정 제어에서도 현재 유선 통신이 적용되고 있으며, RS-485 시리얼 통신으로 네트워크 참여 단말 중 중간의 단말에서 오류가 나면 해당 클러스터내 통신이 중단되는 현상이 발생하게 된다. 무선환경에서는 장애가 발생하는 하나의 디바이스 데이터만 송수신을 못 하지만, 유선의 경우처럼 클러스터 네트워크를 관리하는 AP 디바이스의 오류는 참여하는 클러스터 전체 디바이스 데이터 전송을 방해하므로, 중단없는 데이터 전송의 안정성을 제공하기 위해서 이중화 시스템이 도입된다. 본 논문에서는 효과적인 AP 이중화 통신 방식을 위해 그림 5에서 보듯이, 각 클러스터에 주 AP 디바이스와 보조 AP 디바이스를 두어 이중화 네트워크를 구현하였다.

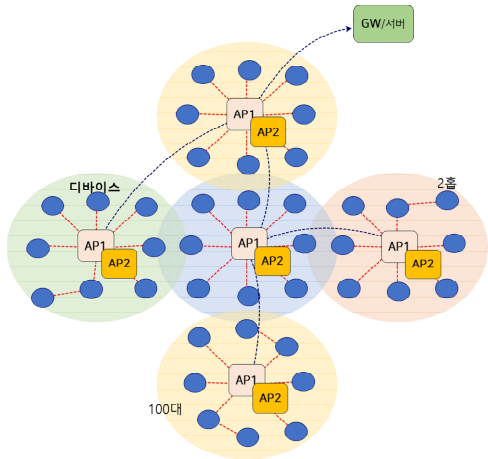


그림 5. 듀얼 MAC기반 네트워크 구성도
Fig. 5. Dual-Mac based Networking Structure.

시스템 이중화의 경우, GW의 중앙관리를 통해서 주 AP 디바이스의 오류를 찾아내고 보조 디바이스로의 스위칭하는 방식과 두 개의 AP 디바이스가 동시에 동작을 하고 있지만 실제 데이터 전달은 하나의 AP 디바이스가 전달하는 방식이 있다. 빠른 네트워크의 복구를 위해서 후자의 방식을 택하였다. 즉, 기본적으로 주 AP 디바이스나 보조 AP 디바이스 모두 양방향으로 데이터를 전송할 수 있으며, 상황에 맞게 가장 적합한 경로로 데이터를 전달할 수 있는 디바이스를 선택하게 된다.

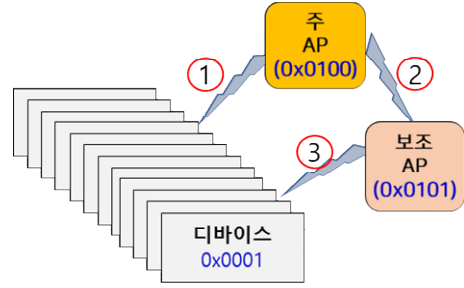


그림 6. 클러스터 내 이중화 AP간 시간동기화
Fig. 6. AP time synchronization within Cluster.

두 개의 AP 디바이스가 동시에 작동되므로, 클러스터 내 비컨 관리와 디바이스 교체 및 초기화할 경우, AP 디바이스간 시간 동기화가 중요하다. 클러스터 내 비컨 관리는 타임 슬롯에서 비컨을 보낼 때, 주 AP와 보조 AP 디바이스의 비컨을 번갈아 가면서 동시에 보내 최종 디바이스에서 모두 수신될 수 있도록 하였다. 그리고, AP 디바이스간 시간 동기화는 같은 클러스터 내에서 TSCH 알고리즘을 적용하기 위해서는 필수 요소인데, 그림 6와 같이 동작하고 있는 주 AP를 통해 보조 AP 및 참여 디바이스 사이의 시간 동기화를 순차적으로 한다.

3. 디바이스 모니터링 시스템

산업현장에서 무선통신 디바이스를 설치하고 시험하려면 그림 7과 같이 디바이스 설치업체가 개발된 디바이스와 FFU(Fan Filter Unit)의 통합된 제품을 받아 공장에 설비를 구축하게 된다. 즉, 디바이스 제작업체와 설치업체가 동일하지 않은 다른 상황에서, 설치업체가 무작위로 디바이스를 설치하게 되는데, 설치 후에 무선 개발자가 환경을 꾸미고 모니터링을 하게 된다. 따라서, 설치된 후에 쉽게 디바이스 물리적 위치를 확인하고 모니터링 시스템의 가상위치와 연동하고 정보를 표시하기 위

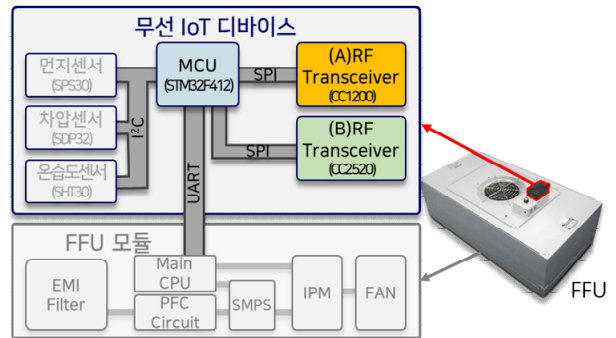


그림 7. 듀얼 MAC지원 AP 디바이스 및 FFU 제어기단말
Fig. 7. Dual-MAC based AP Device and FFU Controller.

해서는 디바이스에 쉽게 ID를 부여할 수 있는 기술이 요구된다^[8]. 즉, 디바이스의 물리적 위치와 모니터링 시스템에서의 논리적 주소를 일치시키는 작업이 필수적이다.

이를 위해서 그림 8에서와 같이 개발 디바이스에 NFC 태그 장치를 부착하고, Read / Write 기능을 수행하는 안드로이드 스마트폰용 SW를 개발하였다. 개발된 NFC Read/Write SW를 활용하여 현장에 단말 디바이스를 설치하기 전에 실험실에서 다수의 단말 디바이스와 AP 디바이스의 클러스터링 정보를 정적으로 설정할 수 있어, 산업현장의 대규모 디바이스 설치에 편의성을 제공할 뿐만 아니라, 디바이스의 오류 검증을 빠르고 손쉽게 진행할 수 있다.

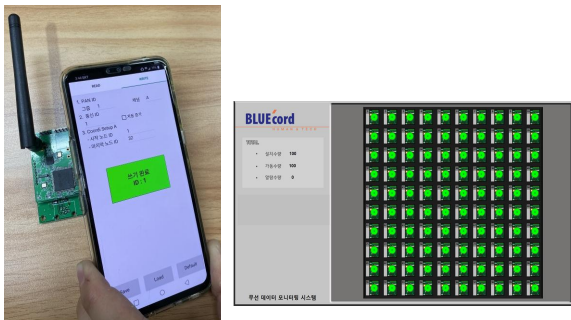


그림 8. NFC 이용한 디바이스 ID 설정 및 데이터 전송 모니터링
Fig. 8. Device ID setting with NFC and Monitoring of data transmission status.

모니터링 시스템에서는 각 디바이스에서 전송되는 데이터를 AP 디바이스에서 수집하여 GW를 통해 서버의 모니터링 시스템 화면에 표시된다. 모니터링 시스템은 FFU 상태, 알람 감시, FFU 제어, 기록 저장 기능을 위한 서브모듈로 구성된다. 네트워크에 참여한 각 디바이스가 전송하는 FFU 데이터는 현재 풍속, 세팅 풍속, 동작 상태, 제어기 타입 등이며, 수신된 FFU 데이터는 서버의 저장공간에 파일 형태로 저장된다.

III. 실험 및 결과

본 논문에서 시험에 사용되는 HW 단말은 아래 그림 7과 같다. 듀얼 MAC 통신(A-RF:CC1200와 B-RF:CC2520)을 지원하는 AP 디바이스와 FFU 제어를 지원하는 디바이스(A-RF)로 두 종류가 있는데, 모두 MCU는 경량 디바이스를 위한 STM32 계열을 사용하였다. FFU 제어 단말의 경우에는 TSCH 프로토콜을

탑재하여 클러스터당 100개 정도의 단말로 네트워크를 구성하며, AP 디바이스의 경우 FFU 제어기에서 오는 데이터를 서버와 연동되는 GW 단말에 보내기 위해 FFU 제어기와 통신도 해야 하며, 자체 AP 디바이스간 통신을 지원해야 하므로 2개의 RF를 가지게 된다.

실험에서는 반도체 클린룸 제어의 초고밀도 환경을 고려하며, 그림 9처럼 100대의 FFU 제어기를 하나의 거치대에 설치하고 이 거치대 5개 모아서 시험 환경을 구성하였다. 이런 환경에서 각 디바이스에 맞는 네트워크 알고리즘을 탑재하고 구동하였으며, 데이터 패킷 전달율과 데이터 전송지연을 살펴보았다. 기존 유선 환경과 동일하게 맞추기 위해 각 클러스터 내 디바이스에서 유선환경에서 데이터 전송을 하는 주기인 10초 간격으로 데이터 전송하되, 100개 이상의 데이터를 전송하고 서버에서 수집되는 데이터를 확인하였다. 디바이스의 토폴로지는 각 1개의 클러스터당 2개 디바이스 정도는 2홉이 되도록 설정하였다.

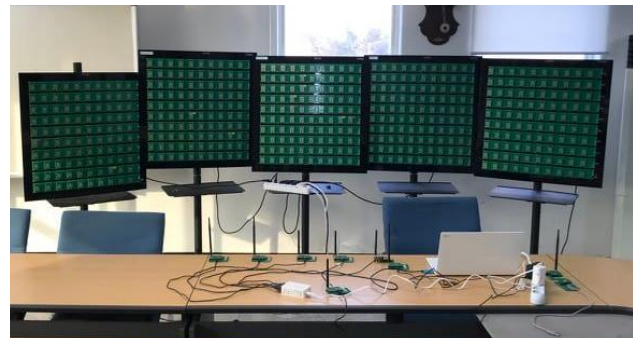


그림 9. 500대 연동 시험
Fig. 9. Test for 500 Devices of Networking.

데이터 패킷 전달성공율을 살펴보면 99.02%으로 기존의 Spare한 환경에서 멀티홉 지원 데이터 전송 전달 성공율보다는 3%이상 향상이 되었으며, 전송 주기에 따른 지연 시간도 40msec 이내였으며, 안정적으로 데이터가 전달되었다.

500대 디바이스의 효율적인 관리를 위한 모니터링 시스템은 네트워크 개발자와 디바이스의 설치자가 달라 애로점이 있었는데, NFC 방식의 ID 할당으로 디바이스의 설치시 하나씩 ID할당의 애로점을 없애주고 많은 디바이스를 관리하는데 효율성을 제공하였다.

표 1. 시험 결과
Table 1. Test Results.

	환경	전달성공율 (%)	지연 시간
Contiki ^[9]	디바이스 수 : 100대 단일계층 주기 : 10초	99.0	-
NanoQplus v3.6 ^[4]	디바이스 수 : 400대 단일계층(Spased) 주기 : 15분	96.0	20msec
제안 기술	디바이스 수 : 500대 2계층(Densed) 주기 : 10초	99.02	40msec
	디바이스 수 : 100대 단일계층 주기 : 10초	99.9	-

IV. 결 론

본 논문에서는 대규모의 디바이스 연동 데이터 전송을 위한 네트워크 핵심기술을 개발하였으며, 기존의 멀티홉기반으로 장거리 데이터 전송을 요구하는 상황과는 반대로 초고밀도의 환경에서 데이터를 안정적으로 전송하는 알고리즘을 제안하였다. 시험 결과에 따르면, 데이터 전송 전달 성공율은 500대 초고밀도 환경에서도 99.02% 이상의 성능을 보였으며, 데이터 전송 지연시간은 산업에서 요구하는 시간에 맞게 40msec 이내였다. 또한, 산업현장에서 안정적으로 오랜 시간동안 작동할 수 있도록 AP 디바이스의 이중화 기술과 디바이스 관리를 위한 모니터링 시스템 기술도 구현하였다. 이로써 산업 환경에서 무선 기술의 유용성을 확인하였으며 데이터 전송의 신뢰성도 산업에 적용될 수준임을 검증하였다.

REFERENCES

- [1] ST. Kim, HJ. Park, DK. Woo, "Core Technology for Ultra Low Power Using Cold Restart in Wearable Devices," IEIE. Vol. 54, no. 4, pp. 44-49, Apr. 2017
- [2] HY. Kim, HU. Park, and ST. Kim, "Light-weight Device Platform Supporting Large-scale Device Network, " Journal of IEIE. Vol. 57, no. 2, pp. 159-164, Feb. 2020
- [3] "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) Amendment 1: MAC sublayer," IEEE 2012.

- [4] ST. Kim and etc. "Integrated Solution for Light-weight Device," IITP, Final Report of Project, July. 2018
- [5] HU. Park,, HY. Kim, and ST. Kim, "High Precision Device Simulator for Large-scale Devices Network," Journal of IEIE. Vol. 57, no. 2, pp. 153-158, Feb. 2020
- [6] KN. Shreenath, KG. Srinivasa, "Energy Efficient Hybrid Dual MAC Protocol for Wireless Sensor Network," International Journal of Sensors, Wireless Communications and Control, vol. 6, no. 1, 2016
- [7] HU, Park, HY. Kim, KT. Kim, ST. Kim, and PS. Mah, "Frame-Type-Aware Static Time Slotted Channel Hopping Scheme for Large-Sale Smart Metering Networks," IEEE Access, Vo. 7, pp. 2200-2209, Jan. 2019.
- [8] JB. Lim, YJ. KIM, "Control Device of Fan Filter Unit for Easy Setting of Unique Identification," Korean Patent, no. 10-1999214, Jul. 2019.
- [9] Contiki Network OS, www.contiki.com

저 자 소 개



김 선 태(평생회원)
1997년 KAIST 전자및전자공학과
학사
2000년 서울대학교 전기공학부
석사
2012년 고려대학교 메카트로닉스
박사

2000~현재 ETRI 고성능디바이스SW연구실
책임연구원

2021~UST ETRI 스쿨 인공지능전공 교수
<주관심분야: 인공지능 프레임워크, AutoML, 경
량 OS, 저전력 IoT 네트워킹, 실시간 처리기술>



신 익 수(비회원)
2012년 경북대학교 천문대기과학과
학사
2016년~현재 UST ICT 전공
석사·박사통합과정

<주관심분야: 인공지능 프레임워크, AutoML, 신
경망 자동탐색>



김 영 진(비회원)
1999년 한밭대학교 전기공학과
학사
2001년 명지대학교 전기공학과
전력전자 석사졸업.
2004년~현재 (주)블루코드
연구소장

<주관심분야: 모터제어, 신호처리, 통신, 공조기,
반도체>