

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2023.23.6.81>

JIIBC 2023-6-13

수소충전소와 수소전기차간의 안전통신을 위한 WiFi 프로토콜 비교

Comparison of WiFi Protocols for Safety Communication Between Hydrogen Refueling Station and Fuel Cell Electric Vehicle

황하진^{**}, 소동건^{**}, 차도호^{**}, 채혜진^{**}, 정서희^{**}, 황성호^{*}

Ha-Jin Hwang^{**}, Dong-Geon So^{**}, Do-Ho Cha^{**},
Hye-Jin Chae^{**}, Seo-Hee Jung^{**}, Sung-Ho Hwang^{*}

요약 수소충전소와 수소전기차 간의 통신 프로토콜인 SAE J2601과 SAE J2799는 수소 충전에 관련된 내용만을 다루고 있다. 본 논문에서는 수소전기차의 수소검출, 전류, 전압을 측정하여, 수소충전소로 WiFi 프로토콜을 변화시켜 가면서 센서 데이터를 전송한다. 수소전기차의 센싱, 제어 및 센서 데이터 전송을 위해, 라즈베리파이를 이용하여 소규모 실험실 모델을 만들었다. 센서 데이터를 수소충전소의 데이터베이스에 저장하였고, 저장된 데이터 분석을 위해 그래파나를 이용하여 대쉬보드를 구성하였다. 수소가 검출되면 수소충전소의 디스펜서 밸브를 잠근다. 그리고 WiFi 프로토콜에 따른 평균 전송 지연을 측정하였다. 전송 지연 측정 결과, 수소충전소와 수소전기차간의 센서 데이터 전송을 위한 WiFi 프로토콜은 IEEE 802.11a가 가장 적합하였다.

Abstract SAE J2601 and SAE J2799, the communication protocols between a hydrogen refueling station and a fuel cell electric vehicle, only cover hydrogen charging. In this paper, we measure the hydrogen detection, current, and voltage of a fuel cell electric vehicle and transmit the sensor data to the hydrogen refueling station by changing the WiFi protocol. A small-scale laboratory model was built using Raspberry Pi for sensing, controlling, and transmitting sensor data of a fuel cell electric vehicle. The sensor data was stored in the database of the hydrogen refueling station, and a dashboard was configured using Grafana to analyze the stored data. When hydrogen is detected, the dispenser valve of the hydrogen refueling station is locked. Then, we measured the average transmission delay according to the WiFi protocol. The results showed that IEEE 802.11a is the most suitable WiFi protocol for transmitting sensor data between the hydrogen refueling station and the fuel cell electric vehicle.

Key Words : Fuel Cell Electric Vehicle, Hydrogen Refueling Station, Safety Communication, WiFi

^{*}정희원, 강원대학교 전자정보통신공학과(교신저자)

^{**}준희원, 강원대학교 전자정보통신공학과

접수일자 2023년 10월 3일, 수정완료 2023년 11월 3일

계재확정일자 2023년 12월 8일

Received: 3 October, 2023 / Revised: 3 November, 2023 /

Accepted: 8 December, 2023

^{*}Corresponding Author: shhwang@kangwon.ac.kr

Dept. of Electronics, Information and Communication Engineering, Kangwon National University, Korea

I. 서 론

수소충전소는 수소전기차와 각종 수소 모빌리티에 수소를 재보충하는 곳이다. 세계적으로 수소전기차 증가에 대비하여 수소충전소 기술 표준화가 진행 중이다. 그러나 현재 수소 프로토콜은 충전에 관련된 프로토콜만 다루고 있다.

본 논문에서는 수소 충전에 관련된 정보가 아니라, 수소충전소와 수소전기차 간의 수소 검출, 전류, 전압 등의 센서 데이터를 WiFi로 전송한다. 라즈베리파이에 센서들을 연결하여 WiFi 프로토콜을 변화시켜 센서 데이터를 전송한다. 이를 위해 수소충전소와 수소전기차의 소규모 실험실 모델을 만들었다. 센서 데이터는 수소충전소의 데이터베이스(InfluxDB)에 저장한다. 그라파나(Grafana)를 이용하여, 데이터베이스의 센서 데이터를 읽어와서 모니터링과 분석을 위한 대쉬보드(Dashboard)를 만들었다. 그리고 수소가 검출이 되면, 수소충전소의 디스펜서(Dispenser)의 밸브를 잠근다.

그리고 수소충전소와 수소전기차간의 센서 데이터를 주고 받기 위해, 라즈베리파이에 내장된 WiFi를 이용하였다. WiFi 프로토콜 종류별로 전송되는 최대 거리와 전송시간을 측정하였다. 측정 결과 IEEE 802.11a 가 가장 적합함을 확인하였다.

II. 관련 연구

1. 수소충전소와 수소전기차 간의 충전 프로토콜 SAE J2601과 SAE J2799

수소충전을 위한 프로토콜은 충전과 관련된 전반적인 규정을 제시하는 SAE J2601, 수소전기차와 수소충전소 간의 통신의 통한 연료공급의 하드웨어와 소프트웨어를 정의하는 SAE J2799를 따르고 있다. 현재 대부분의 수소충전소는 충전압력 700bar, 충전온도 $-0^{\circ}\text{C} \sim -3^{\circ}\text{C}$ 충전 조건에서 차량 1대당 연료 공급시간을 3분 내에 만족하는 것을 기준으로 하고 있다. 그러나 수소전기차 자체에 관한 데이터는 다루고 있지 않다. 그림 1은 수소 충전 프로토콜의 개념도를 보여준다.^{[1][2]}

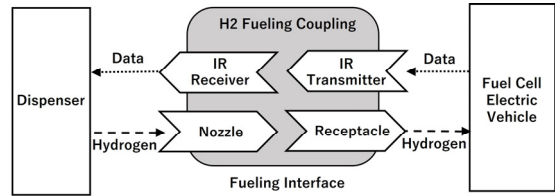


그림 1. 수소 충전프로토콜 개략도 (SAE J2601, J2799)
Fig. 1. Hydrogen Charging Protocol Schematic (SAE J2601, J2799)

2. 데이터베이스 및 모니터링

시계열 데이터베이스는 시간과 값의 연관된 쌍을 통해 시계열을 저장하고 제공하는 데 최적화된 소프트웨어 시스템이다. 시계열 데이터는 특별한 데이터 유형이며, 특히 시간 스탬프가 찍힌 매트릭, 이벤트 또는 측정치를 처리하기 위해 설계된다. 이러한 데이터베이스는 시간에 따른 변화에 따른 데이터를 추적하기 위해 사용된다. 본 논문에서는 시계열 데이터베이스로서 InfluxDB를 사용한다.^[3]

시계열 시각화는 센서 데이터의 시계열 형태의 관찰 및 운영에 대한 경고와 함께 디스플레이를 제공해야 한다. 본 논문에서는 센서 데이터를 수집된 센서 데이터를 그라파나(Grafana) 기반 시각화를 제공한다. 그라파나 대시보드는 센서 데이터의 해석과 상호 작용을 용이하게 해준다.^[4]

3. RaspAP

AP(Access Point)와 무선랜을 위해 라즈베리파이의 빌트인(built-in) WiFi를 사용한다. RaspAP는 라즈베리파이를 포함한 데비안 기반 디바이스(Debian-based devices)들을 위해 간단하게 AP를 설정할 수 있고, WiFi를 관리할 수 있다.^[5] RaspAP는 DHCP 설정, OpenVPN, SSL, 보안 감사 등과 같은 네트워크 서비스들을 제공한다. RaspAP는 제공된 하드웨어를 위해 IEEE 802.11 무선 모드 선택을 제공한다. RaspAP에서 국가코드를 대한민국으로 설정하였을 때, 제공하는 무선 모드 선택은 크게 5GHz와 2.4GHz로 나뉜다. 5GHz에서는 IEEE 802.11a를 사용하고, 2.4 GHz에서는 IEEE 802.11n, IEEE 802.11b와 IEEE 802.11g이다. 그림 2는 무선 모드 선택의 설정 예를 보여준다.^{[5][6]}

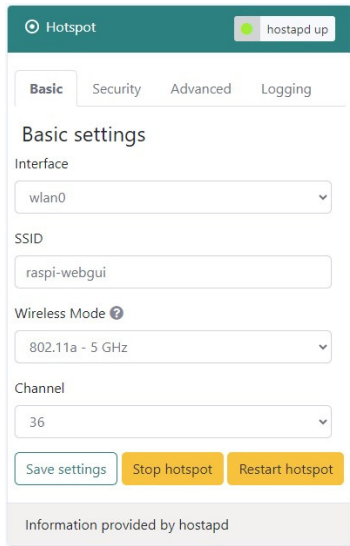


그림 2. 무선 모드 옵션 설정의 예
 Fig. 2. Example of Setting Up Wireless Mode Option

본 논문에서 라즈베리파이에 RaspAP를 설치하여, WiFi AP를 제공한다. RaspAP에서 제공하는 WiFi 프로토콜 비교는 표 1과 같다.^{[7][8][9]}

표 1. WiFi 프로토콜 비교
 Table 1. WiFi Protocol Comparison

IEEE Standard	First Approved	Maximum Link Rate (Mbit/s)	Radio Frequency	
			2.4	5
802.11n	2003-09-11	72 to 600	2.4	5
802.11g	2000-09-21	6 to 54	2.4	
802.11a	1997-09-16	6 to 54		5
802.11b	1997-12-09	1 to 11	2.4	

III. 시나리오

본 논문에서는 수소전기차를 라즈베리파이와 각종 센서를 이용하여 구성한다. 수소센서(MQ-8), 전류센서(ACS712), 전압센서(ZMPT101B)로부터 센서 데이터를 측정한다. 라즈베라파이는 3개를 사용하고, 하나의 노트북을 사용한다. 첫 번째 라즈베리파이는 수소전기차를 구성하고, 두 번째 라즈베리파이는 WiFi AP로서 RaspAP를 설치하여 사용한다. 세 번째 라즈베리파이는 수소충전소의 밸브를 제어한다. 수소충전소의 데이터베이스와 모니터링은 노트북을 사용한다. 수소충전소의 데

이터베이스(InfluxDB)에는 실시간으로 데이터를 저장하며, 그라파나(Grafana)는 데이터베이스(InfluxDB)에서 가져온 데이터를 데이터 시각화하는 대시보드로 표현한다. 그림 3은 본 논문에서의 전체적인 구성도이다.

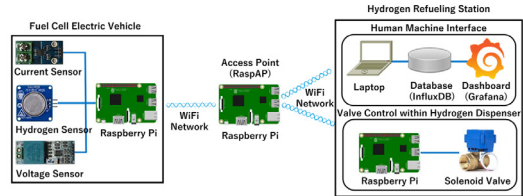


그림 3. 전체 구성도
 Fig. 3. Overall Configuration Diagram

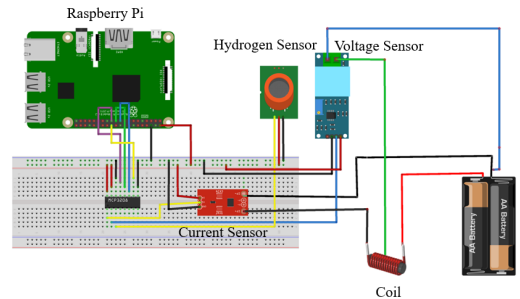


그림 4. 수소전기차 구성도
 Fig. 4. Hydrogen Electric Vehicle Composition Diagram

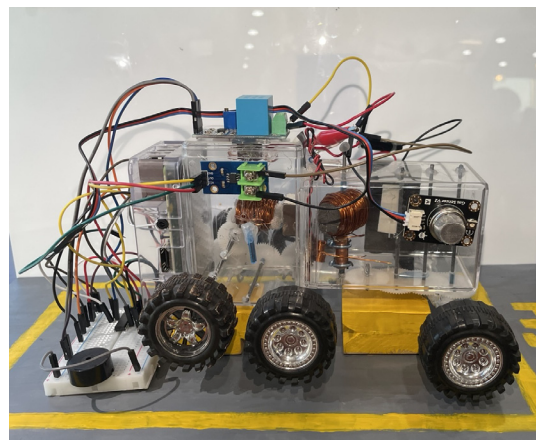


그림 5. 수소전기차 모델
 Fig. 5. Fuel Cell Electric Vehicle Model

1. 수소전기차(Fuel Cell Electric Vehicle)

수소전기차에는 MQ-8 수소센서, ACS712 전류 센서, ZMPT101B AC 전압센서를 부착하여 사용한다. MQ-8은 수소 가스를 감지하여 그 농도를 측정하고 수소 누출

이나 이상 상황을 감지하는 데 사용된다. ACS712 전류 센서와 ZMPT101B AC 전압센서 수소전기차의 전류와 전압을 측정하여 모니터링한다. 그림 4는 수소기차의 구성도이고, 그림 5는 수소전기차의 모델이다.

2. Access Point(RaspAP)

수소전기차내의 수소, 전류, 전압 센서 측정이 이루어지고, 수소충전소에서 모니터링하기 위해서는 센서 데이터를 전송해야 한다. 이를 위해 IoT(Internet of Thing) 장비인 라즈베리파이를 사용하고, 무선 통신은 라즈베리파이에 빌트인된 WiFi를 사용한다. WiFi 통신을 위해, 데비안 기반 디바이스에서 무선 WiFi AP를 지원하는 RaspAP 소프트웨어를 사용한다.

3. Human Machine Interface

데이터에 시간 속성을 부여하기 간편하고 데이터를 실시간으로 저장하기 용이한 시계열 데이터베이스인 InfluxDB를 사용한다. WiFi를 통해 수소충전소에 전송된 센서 데이터를 수집하여, 데이터를 InfluxDB로 전송한다. InfluxDB에서는 전송받은 센서 데이터를 정의된 형식에 맞게 실시간으로 저장한다. InfluxDB에 저장된 데이터는 이후 다양한 분석 및 시각화 작업에 활용한다. 그라파나(Grafana)는 쿼리 기능을 이용하여 InfluxDB에서 필요한 정보를 추출하고, 그래프나 차트 등을 생성하여 데이터를 대쉬보드 형태로 표현한다. 그림 6은 InfluxDB와 그라파나를 사용하여 대쉬보드 형태로 보여주는 HMI(Human Machine Interface) 구성도이다.

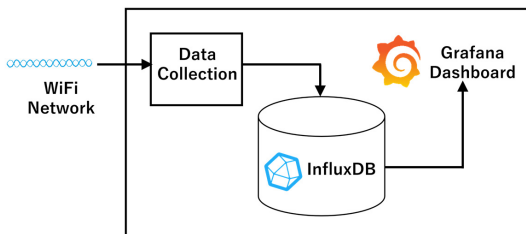


그림 6. HMI
Fig. 6. HMI(Human Machine Interface)

4. 수소 디스펜서 내의 밸브 제어(Valve Control within Hydrogen Dispenser)

수소전기차에서 MQ-8 수소 센서를 사용하여 수소 가스 농도를 측정한다. 수소 누출이 감지되면, 수소 디스펜서 내의 밸브 제어(Valve Control within Hydrogen

Dispenser)의 DN15 솔레노이드 밸브를 닫는다. 그림 7과 같이 라즈베라파이에서 릴레이를 사용하여 솔레노이드 밸브를 닫거나 오픈한다.

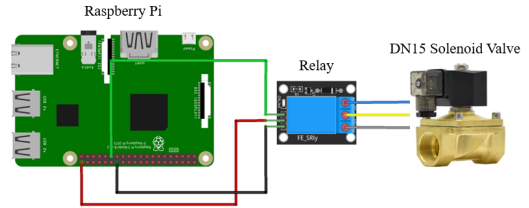


그림 7. 수소 디스펜서 내의 밸브 제어
Fig. 7. Valve Control within Hydrogen Dispenser

그림 8과 같이 전체 하드웨어 시스템을 구성하였다. 수소전기차(Fuel Cell Electric Vehicle)에서는 라즈베라파이 1대와 수소센서, 전류센서와 전압센서로서 구성하였고, 센서 데이터를 AP를 통하여 수소충전소로 전달한다. AP에서는 라즈베리파이 1대에 RaspAP를 설치하였고, WiFi 프로토콜을 변화시킨다. Human Machine Interface에서는 노트북 1대에 InfluxDB와 Grafana를 설치하여 모니터링과 분석을 수행한다. 수소 디스펜서 내의 밸브 제어에서는 라즈베라파이 1대와 릴레이와 솔레노이드밸브를 사용한다.

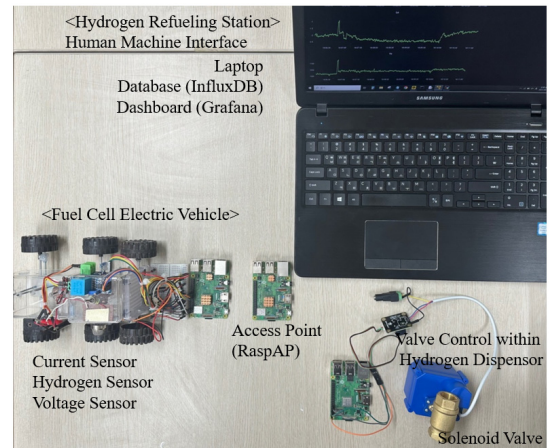


그림 8. 전체 하드웨어 시스템
Fig. 8. Total Hardware System

IV. 실험 및 결과

수소충전소의 데이터베이스에 저장된 센서 데이터를 그라파나(Grafana)의 대시보드에 실시간으로 수소, 전

류, 전압 측정 변수 데이터를 디스플레이하였다. 데이터 베이스는 시계열 데이터를 사용하는 InfluxDB를 사용하였고, 그래프의 X 축에는 데이터 수집 시간이 표시된다. 그리고 그래프의 Y 축에는 전류, 전압, 수소량의 값이 표시된다. 그림 9는 사용자가 모니터링할 수 있는 화면과 수소 출력량에 이상이 생겼을 경우의 화면이다.



그림 9. 그라파나 대쉬보드
 Fig. 9. Dashboard of Grafana

WiFi 프로토콜에 따른 평균 전송 지연 시간을 측정하였다. 테스트한 WiFi 프로토콜은 IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n이다. 라즈베리 파이와 RaspAP를 이용한 WiFi 프로토콜의 전송 거리를 10m 단위로 증가시키면서 측정하였다. 전송 거리를

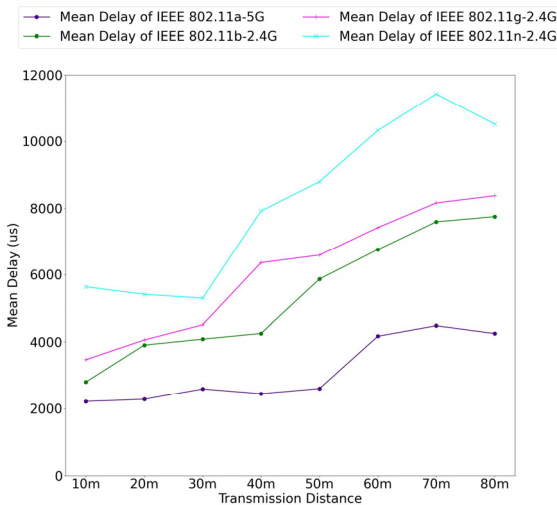


그림 10. WiFi 프로토콜에 따른 평균 지연
 Fig. 10. Mean Delay according to WiFi Protocol

90m 이상 부터는 데이터 전송이 이루어지지 않으므로, 최대 전송거리는 80m로 하였다. 지연시간은 수소전기차에서 수소충전소로 센서 데이터를 전달하고, 수소전기차에서 수소충전소의 확인 응답을 수신한 시간 (Round-Trip Time)을 반으로 나누어 사용하였다. 그림 10은 WiFi 프로토콜에 따른 평균 전송 지연 시간을 나타낸다. IEEE 802.11n의 평균 전송 지연 시간이 가장 많이 나타난다. IEEE 802.11a의 평균 전송 지연 시간이 가장 적게 나타난다. 전체적으로 보면, IEEE 802.11a가 가장 지연시간이 적은 것으로 판단된다.

그림 11은 수소자동차에서 수소 검출한 후, 수소충전소로 검출 데이터를 전달하고, 디스펜서에서는 솔레노이드 밸브 잠금 후 밸브 잠금 확인 메시지를 수소자동차로 전송하며, 수소자동차에서 솔레노이드 밸브 잠금 확인 메시지 수신까지 걸린 시간을 나타낸다. 솔레노이드 밸브를 잠그는데 5초 정도 소요된다. 솔레노이드 밸브 잠그는 시간에 비해, WiFi 프로토콜의 전송시간이 상대적으로 적다. WiFi 프로토콜 변화에 따른 솔레노이드 밸브 잠그는 시간이 상대적으로 차이가 거의 없는 것으로 보인다.

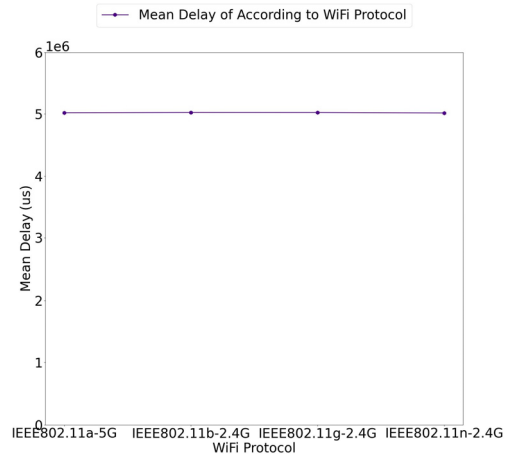


그림 11. WiFi 프로토콜에 따른 솔레노이드 잠그는 평균 지연
 Fig. 11. Mean Delay due to Solenoid Closing according to WiFi Protocol

V. 결 론

기존의 수소 충전프로토콜은 충전에 관련된 사항만을 다루고 있다. 본 논문에서는 수소충전소 안전을 위해 수소전기차의 수소, 전류, 전압을 센싱하고, WiFi로 전송

하였다. 수소를 검출하면 디스펜서의 밸브를 잠그고, 평균 전송 지연 시간을 측정하는 실험실 모델을 구성하였다.

수소충전소와 수소전기차 간의 센서 데이터를 주고 받기 위해, 무선 WiFi 프로토콜 종류별로 전송되는 최대 거리와 평균 전송 지연 시간을 측정하였다.

WiFi 프로토콜 종류별로 센서 데이터 전송 결과, IEEE 802.11a의 평균 전송 지연시간이 가장 우수함을 확인하였다. 디스펜서 내의 밸브 잠그는 시간이 5초 정도 소요되므로, 상대적으로 지연이 적은 WiFi 프로토콜 변화는 밸브 제어에 영향이 거의 없는 것으로 나타났다.

향후 연구로는 수소충전소와 수소전기차 관련하여, 다양한 통신방식 적용과 테스트 구성요소를 추가할 예정이다. 그리고 수소충전소와 수소전기차에서의 실제 데이터를 수집하여, 사이버물리시스템과 디지털트윈을 구성하여, 테스트베드를 구축할 계획이다.

References

- [1] SAE J2601, Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles, SAE(Society of Automotive Engineers), May, 2020.
- [2] SAE J2799, Hydrogen Surface Vehicle to Station Communications Hardware and Software, SAE(Society of Automotive Engineers), Dec, 2019.
- [3] InfluxDB official site, <https://www.influxdata.com/>
- [4] Grafana official site, <https://grafana.com/>
- [5] RaspAP official site, <https://raspap.com/>
- [6] Sung-Ho Hwang, "Transmission for IEC 61850 Sampled Values Using Current and Voltage Sensors of Raspberry Pi", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 18, No. 6, pp.157-162, Dec 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.6.157>
- [7] IEEE 802.11, https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11
- [8] Hwan-Shin Yu, "5GHz Wi-Fi Design and Analysis for Vehicle Network Utilization", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 21, No. 8 pp. 18-25, 2020.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.8.18>
- [9] Kyu-Nam Jo, Won-Sang Yoon and Sang-Hoon Chai, "Beam Direction Finding and Beamforming System for WiFi5/WiFi6 Communication with 6-Axes Structure", Journal of KIIT. Vol. 21, No. 4, pp. 67-73, Apr. 30, 2023.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2023.21.4.67>

저 자 소 개

황 하 진(준회원)



- 2018년 3월~현재 : 강원대학교 공학대학 전자정보통신공학과 재학
- 관심분야 : 컴퓨터 네트워크, IoT

소 동 건(준회원)



- 2018년 3월~현재 : 강원대학교 공학대학 전자정보통신공학과 재학
- 관심분야 : 컴퓨터 네트워크, IoT

차 도 호(준회원)



- 2018년 3월~현재 : 강원대학교 공학대학 전자정보통신공학과 재학
- 관심분야 : 컴퓨터 네트워크, IoT

채 혜 진(준회원)



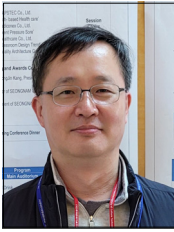
- 2020년 3월~현재 : 강원대학교 공학대학 전자정보통신공학과 재학
- 관심분야 : 컴퓨터 네트워크, IoT

정 서 희(준회원)



- 2020년 3월~현재 : 강원대학교 공학대학 전자정보통신공학과 재학
- 관심분야 : 컴퓨터 네트워크, IoT

황 성 호(정회원)



- 1991년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 공학사
- 1993년 2월 : 성균관대학교 대학원 전자공학과 공학석사
- 1996년 8월 : 성균관대학교 대학원 전자공학과 공학박사
- 1997년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 공학대학 전자정보통신공학과 교수
- 관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 스마트 그리드, IoT

※ 본 과제(결과물)는 2023년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다.(2022RIS-005)