

이기종 통신 기반 스마트 조명을 위한 최적 통신 방식 선택 알고리즘

홍승관*, 이선의*, 황유민*, 김진영*

An Algorithm for Optimal Selection of Communications for Smart Lighting in Heterogeneous Networks

Seung Gwan Hong*, Sun Yui Lee*, Yu Min Hwang* and Jin Young Kim*

요 약

본 논문에서는 이기종 통신 기반의 스마트 조명의 선택적 알고리즘을 제안한다. 스마트 조명은 조명의 역할뿐만 아니라 통신의 역할을 동시에 수행한다. 이기종 통신을 이용한 스마트 조명의 BER 성능을 높이기 위해, Line-of-Sight(LOS)/Non-LOS 채널에서 스마트 조명과 센서와의 거리, 조명사용시간, 사용자 요구를 위한 낮은 전력소모량에 따라 Optical Camera Communication(OCC), Wi-Fi, BLE 중 적합한 통신방식을 선택하도록 하였다. 그리하여 LOS/NLOS 채널에서 제안된 알고리즘의 성능과 기존의 방식과의 시뮬레이션 결과 비교를 통해 성능 향상을 확인하였다.

Key Words : Wi-Fi, BLE, OCC, LOS, NLOS

ABSTRACT

In this paper, we propose an algorithm for optimal selection of communications for smart lighting in heterogeneous networks. The smart lighting can be used for information communications and lighting simultaneously. To improve BER performance of smart lighting in heterogeneous networks, it adaptively selects a communication method among OCC, Wi-Fi, BLE based on distance between sensors and smart lightings, low power consumption for user requirements, operating time of smart lighting in Line-of-Sight(LOS)/Non-LOS channels. Thus, simulation results demonstrate effectiveness of the proposed algorithm contrary to baseline methods in LOS/NLOS channels.

I. 서 론

최근 세계 전력소비에서 조명은 19%이며 약 2조 1000kWh를 소모하고 있으며, 이에 경제적으로 에너지 절감 효과가 큰 동시에 환경 친화적인 장점이 있는 스마트 조명 보급에 관심이 높아지고 있다 [1]. 또한 IoT와 센서 네트워크의 발달로 인해 스마트 조명과 IoT를 융합한 기술의 연구가 진행되어지고 있다. 이에 따른 원격제어가 가능한 효율적인 친환경 스마트 조명 제어 기술과 센서의 통신으로 사용자 또는 환경에 맞춘 효율적인 친환경 조명제어 기술의 필요성이 대두되어 지고 있다. 하지만 LOS/NLOS 채널, 통신 환경에 따른 통신방식을 고려하여야 하며, 이에 대한 대책이 필요

하다. 따라서 본 논문에서는 이기종 통신(OCC, Wi-Fi, BLE)을 이용하여 LOS 채널에서는 OCC를 이용하여, 고속의 데이터 전송속도로 통신을 하고, 또한 방해물에 의한 빛의 차단에 대비하여 Soft Hand-Off를 이용하고, OCC를 최대한 사용할 수 있도록 한다. NLOS 채널에서는 센서와의 거리 및 전력사용량, 데이터 전송 속도를 고려하여 Wi-Fi와 BLE 통신방식을 선택하여 사용하는 센서와 스마트 조명과의 통신 방식에 대한 선택적 알고리즘의 관한 내용을 다룬다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II 장에서는 스마트 조명 시스템 구성을, 제 III 장에서는 이기종 통신 기반 스마트 조명을 위한 최적 통신 방식 선택 알고리즘을, 제 IV 장에서는 시스템 성능 분석을 대해 알아본다. 마지막으로 본 논문

* 본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2015년 중소기업 이전기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [S2336045, 이기종 통신시스템 기반 친환경 스마트 조명 제어 기술 개발]

* 광운대학교 전자공학과 소속 유비쿼터스 통신 연구실 (mygwan112@kw.ac.kr), (suniuil22@naver.com), (yumin@kw.ac.kr), (jinyoung@kw.ac.kr)

접수일자 : 2016년 02월 18일, 수정완료일자 : 2016년 03월 30일, 최종게재확정일자 : 2016년 03월 31일

의 결론을 제 V 장에서 맺도록 하겠다.

II. 스마트 조명 시스템 구성

이기종 기반의 스마트 조명의 구성은 그림 1과 같다. 조도, 화재 감지, CCTV, 적외선, 온도 습도 센서 등 여러 센서들과 스마트 조명과의 연동을 통해 실내에서 다양한 기능을 하는 스마트 디바이스로서의 역할을 수행한다. 또한 스마트폰과의 통신을 통해 사용자가 쉽게 센서 정보를 파악하는 것이 가능하다. 스마트 조명과 센서들과의 통신은 LOS 채널에서 전송속도가 가장 빠른 OCC와 NLOS 채널에서 저전력 기능이 사용될 때는 BLE, 거리와 전송속도가 요구되어 질 때 Wi-Fi를 사용함으로써, 다양한 채널에서 전송속도와 전력제어를 통해 효율적인 스마트 조명으로써의 역할을 수행할 수 있도록 한다.

OCC는 조명의 켜져 있을 때 사용하여 조명의 기능과 통신의 기능을 함께 사용할 수 있다. 화재 감지, 조도 조절, CCTV의 동작 등 다양한 정보를 주고받을 수 있으며, RF 주파수 대역과는 달리 경제적인 면에서도 효율적이다. 주파수 영역 또한 380THz~750THz로 무선통신 전체 주파수보다도 무려 1만 배 이상 넓다. 전송속도는 LOS 채널에서 LED의 가시광선을 이용해 무려 10Gbps의 속도로 데이터를 주고받는 것이 가능해졌다[2]. 이는 Wi-Fi의 100Mbps의 100배이므로 매우 빠른 전송속도로 정보전달이 가능하다. 따라서 지하상가나 대형백화점, 주차장, 공장 등 조명이 항상 켜져 있는 곳에서는 아주 적합한 동작을 수행할 수 있다. 하지만 NLOS 채널 즉, 빛이 닿는 곳에서만 통신이 가능하고, 태양에서 오는 가시광선이 간섭을 일으키는 단점이 있다. 따라서 OCC의 단점을 보완하기 위해 Soft Hand-Off를 사용하는데, 이를 통하여 성능이 좋은 OCC 방식을 유지하여 줄 수 있도록 한다. Soft Hand-Off는 그림 2와 같이 한 조명과 센서와의 OCC 통신 채널을 유지하면서, 빛이 차단되거나 간섭에 따른 통신 두절을 대비하기 위해 기존의 조명과의 통신 채널을 유지하고, 다른 조명의 통신 채널로 통신이 교체 되는 것을 의미한다. 따라서 OCC의 이음매 없는 통신 환경을 구축할 수 있다. 하지만 빛이 완전히 차단되거나, 방해물 또는 NLOS 채널에서 사용될 수 없기 때문에, Wi-Fi나 BLE를 사용하여 단점을 보완한다. NLOS 채널에서 실내 곳곳의 정보를 빠르게 받기 위해 Wi-Fi를 사용하며, 카메라, 실내환경에 관한 센서들의 정보들을 Wi-Fi로 스마트 조명에서 스마트폰으로 바로 받아 볼 수 있도록 한다. 전송속도는 약 100Mbps이며, LOS/NLOS 채널에서 사용가능하다는 장점이 있다. BLE는 저전력 블루투스로 기존의 블루투스보다 저전력을 동작하며 디바이스 간 연결 절차가 간소화되어 센서의 연결성이 증가되었으며, 최대 전력 전송량이 26.5mW이며, Wi-Fi 보다 약 10배 더 적게 사용된다. 따라서 전력사용

량이 많을 시 사용되어 에너지 효율성에서의 이점이 있다. 하지만 전송 속도가 1Mbps로 낮기 때문에 사용자가 없을 시나 센서의 사용의 빈도가 낮을 때 사용하여 에너지 절약 면에서 사용한다.

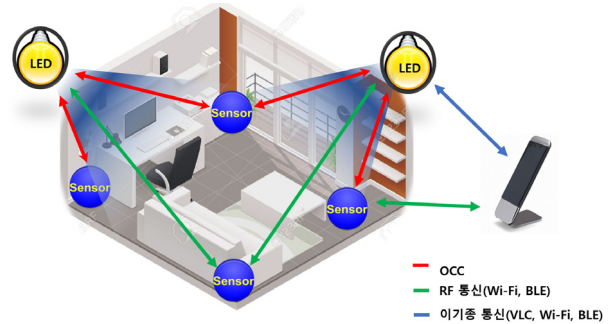


그림 1. 이기종 통신 기반의 스마트 조명 구성도.

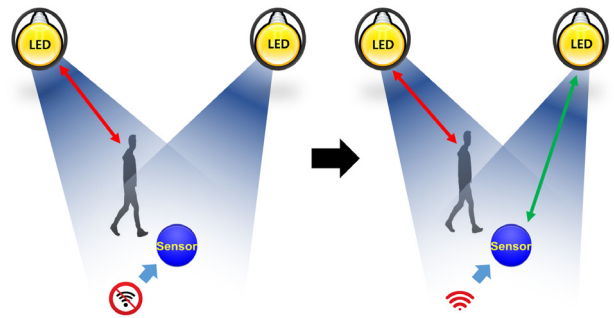


그림 2. Soft Hand-Off를 이용한 스마트 조명의 OCC.

III. 이기종 통신 기반 스마트 조명을 위한 최적 통신 방식 선택 알고리즘

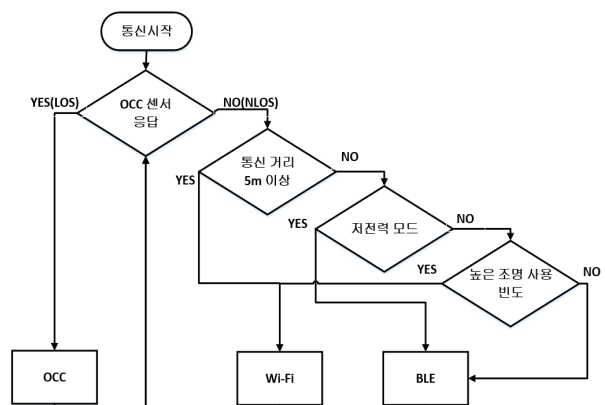


그림 3. 스마트 조명의 통신 방식 선택적 알고리즘.

스마트 조명에서 센서의 정보는 실시간으로 전송되어야 한다. 따라서 어떤 통신채널에서도 효율적인 전송이 이루어

져야 하며 이를 고려하여 그림 3과 같은 알고리즘을 제안한다. 스마트 조명과 센서가 처음 데이터를 주고받아 LOS 채널인지 NLOS 채널인지 파악을 한다. 센서에서 OCC로 정보 송신 요구를 하였을 때 응답이 없으면, NLOS 채널로 파악하고 RF 통신으로 넘어가게 된다. OCC의 응답이 없는 경우는 빛을 막는 장애물이 있거나 태양 등 다른 가시광선에 의한 간섭이 일어났을 확률이 높으며, OCC를 통한 통신이 가능하지 못하게 된다. LOS 채널이라면 OCC를 사용하여 센서와 스마트 조명의 통신을 하고, NLOS 채널이라면, 5m의 거리를 기준으로 삼아 예상 신호세기를 구하고, 실질적으로 센서에서 수신되는 신호세기를 측정하여 측정 RSSI가 예상 RSSI보다 작다면 Wi-Fi를 사용한다[3].

다음식은 Friis 공식이며, 전파감쇠에 따른 수신전력을 수식으로 나타낸 것이다[4].

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{L = (L_p L_s L_F)} \tag{1}$$

송수신 안테나의 이득은 값의 표준이 없기 때문에 $G_r = G_t = 1$ 로 설정한다. L_F 는 Fast Fading으로 도시 내의 빌딩 등에 의한 다중경로에 의해 발생하는 급변한 신호의 변동을 보이는 짧은 주기의 Fading이다. 그러나 스마트 조명은 실내에서 사용하며 값을 1로 설정한다. L_S 는 Slow Fading 또는 Shadow Fading이라고 한다. 이는 신호의 변화를 평균한 레벨이 아주 완만하게 서서히 변화하는 긴 주기적 페이딩이다. 전파를 옥외로 송신하면 멀리 떨어진 산이나 빌딩 등에 의한 여러 개의 반사파 등의 지연시간은 길며, 긴 주기를 가지는 Fading이다. 마찬가지로 실내환경을 고려하므로 값을 1로 설정한다.

다음 식은 LOS 채널과 NLOS 채널에 따른 Path Loss이며,

$$L_p = 10\gamma \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + L_0 \tag{2}$$

γ 는 LOS 채널에서는 1.6-1.8이고, NLOS 채널에서는 4-6이다. 자유공간에서의 Path Loss인 L_0 는 다음과 같이 나타내며,

$$L_0 = 10\log\left(\frac{P_t}{P_r}\right) \tag{3}$$

여기서 $P_r = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 P_t$ 이므로, 대입하여 L_0 를 구한다. Friis 공식에 적용하기 위해 Log를 취했는데, dBm 단위를 사용하기 위해서이다. 최종적으로 구하는 식은 아래와 같다.

$$P_r = P_t - L_p \tag{4}$$

Wi-Fi를 사용할 때는 P_t 는 18dBm이고, BLE를 사용할 때는 10dBm을 대입하여 사용한다. 따라서 위의 수신 전력 세기를 구하여 센서와 스마트 조명과의 거리를 파악할 수 있다. 사용자가 저전력 모드를 사용하기 원하거나 조명이 사용되지 않을 때에 센서의 거리를 파악한 후 저전력 통신 여부를 확인하여 BLE로 통신하게 되며, 그 반대이면 Wi-Fi를 사용하여 스마트 조명과 센서에서의 선택적 통신방식을 설정하게 된다. 그 다음으로 조명의 사용 빈도를 파악하여 조명이 많이 사용되고 있다면 Wi-Fi를 사용하고 그 반대의 경우라면 BLE를 사용하여 알고리즘에 따른 선택적 통신을 수행하게 된다.

IV. 시스템 성능 분석

LOS 채널에서 OCC로 최대 10Gbps의 속도로 센서와 데이터를 주고받는다. 그러나 NLOS 채널에 도달하였을 때는 OCC를 사용할 수 없으므로, BLE나 Wi-Fi를 이용하여 데이터 송수신을 한다. 그리고 통신 거리에 맞추어 5m 이상일 경우 원거리 통신에 취약한 BLE 보다 Wi-Fi를 이용하여 통신을 할 수 있도록 한다. 그림 4는 수신 전력을 실내 공간에 맞춰 Path Loss를 설정하여 구한 값이다. 식(2)에서 NLOS 채널로 파라미터를 설정한 후, 거리에 따른 수신 감지를 판별하여 수신 센서에서 수신 전력의 세기가 Wi-Fi 기준으로 -37.5dBm 이하라면 5m를 벗어난 것으로 판단하여 Wi-Fi를 계속 사용하게 된다. 따라서 NLOS 채널에서 센서에서 수신 전력이 -37.5dBm 이하라면 5m 이상의 원거리에 센서가 위치하고 있으므로, BLE로는 원활한 통신을 할 수 없기 때문에 Wi-Fi를 사용한다. 그리고 수신된 전력 세기를 이용해 센서들의 거리를 파악하여 5m 이내에 있는지 그 이상인지를 파악하여 저전력 모드에 사용될 수 있는 센서를 파악한다.

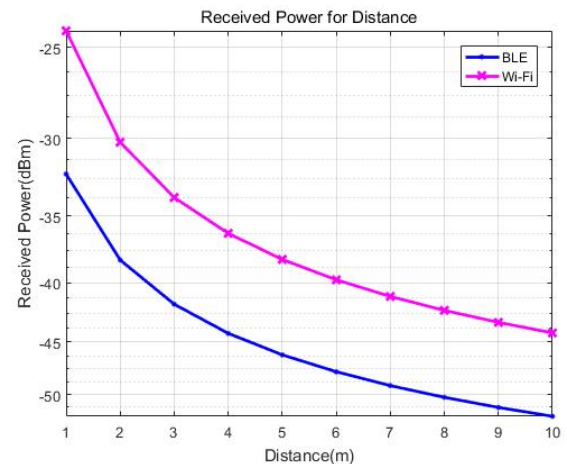


그림 4. 거리에 따른 Wi-Fi와 BLE의 수신 전력 세기.

전력은 LOS 채널과 NLOS 채널을 나누어 분석하였으며, 센서와 조명과의 거리 5m 이내라면 저전력 모드를 사용할 수 있다. LOS 채널에서는 조명의 깜박임을 이용한 OCC만을 사용한다고 하였을 때, LED 하나 당 10W의 전력소모가 있다. Wi-Fi는 200mW의 전력소모가 있으며, BLE는 26.5mW의 전력소모가 있다. NLOS 채널에서는 OCC를 사용할 수 없기 때문에 RF 통신인 Wi-Fi와 BLE를 사용한다. 그림 5는 LOS 채널에서 OCC를 24시간 사용하였다고 가정하였을 때의 전력사용량이며, 그림 6은 NLOS 채널에서 BLE만을 사용하였을 때와 Wi-Fi만 사용하였을 때의 전력사용량을 비교한 결과이다. NLOS에서 조명이 사용되는 경우와 조명이 사용되지 않는 경우가 있기 때문에, 그림 5에서 OCC의 전력사용량만을 다루고, 그림 6에서는 NLOS 채널의 RF 통신 측면에서의 전력사용량을 비교하였다. 그림 6의 결과를 보면 저전력 모드를 사용한다고 하였을 때, Wi-Fi만을 이용하였을 때 보다 BLE만을 사용하였을 때 약 86.8%의 에너지를 절약할 수 있다. 즉, 하루동안 스마트 조명 및 센서 한 대에서 BLE만을 사용한다고 하였을 때 4166.4mW를 절약할 수 있다. 조명의 수와 센서의 수가 커질수록 절약되는 양 더 늘어난다.

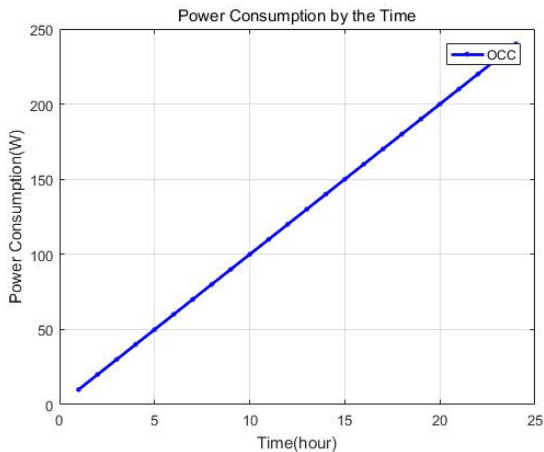


그림 5. LOS 채널에서 OCC만 사용될 때의 전력사용량.

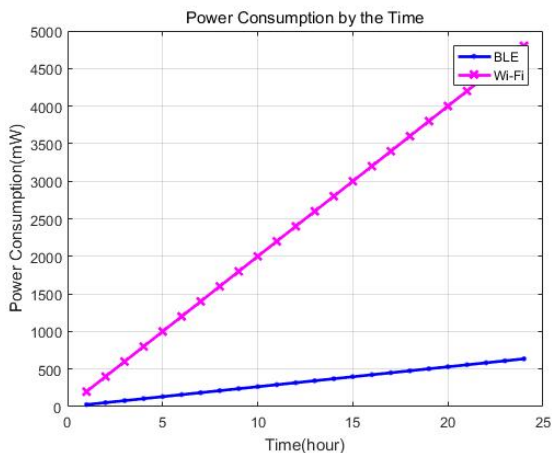


그림 6. NLOS 채널에서 Wi-Fi만 사용될 경우와 BLE만 사용될 때의 전력사용량.

다음으로 그림 7은 제안된 알고리즘을 적용한 통신방식과 Wi-Fi의 BER 비교를 그래프로 나타낸 것이다. 채널을 LOS 채널로 판단 후, OCC는 10Gbps에 소모전력은 10W, Wi-Fi는 100Mbps에 소모전력은 200mW, BLE는 1Mbps에 소모전력은 26.5mW로 설정하고, QPSK를 방식을 이용하여 성능 분석을 실시하였다. NLOS 채널에서는 Wi-Fi를 사용할 경우 BER이 동일하다. 따라서 LOS 채널에서 제안된 알고리즘을 적용한 통신성능이 Wi-Fi만을 사용하였을 때보다 5~6dB 가량 성능이 더 좋은 것을 확인할 수 있었다. 따라서 제안된 알고리즘을 통해 LOS/ NLOS 채널에서도 원활한 통신이 가능하며, 실내에서 어떤 방해 요소가 있더라도 통신이 이루어질 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

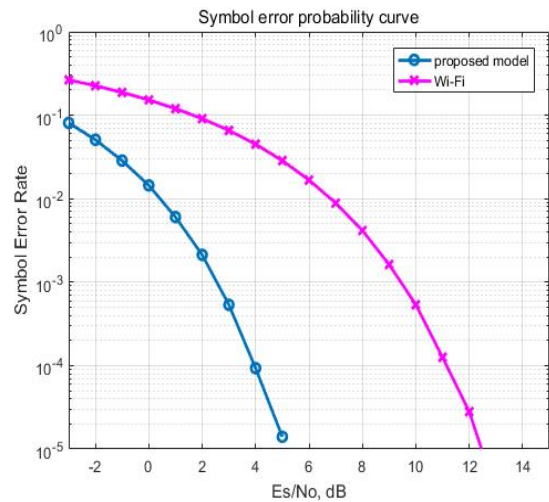


그림 7. 제안된 알고리즘의 통신방식과 Wi-Fi의 성능비교.

V. 결론

본 논문에서는 LOS/NLOS 채널을 고려하고, 이기종 통신 방식을 이용한 최적 통신 방식 선택 알고리즘을 제안하였다. 성능이 가장 좋은 OCC만을 사용하면 데이터 처리율이 높지만, OCC는 빛이 닿는 곳과 장애물이 있지 않은 곳에서만 통신을 할 수 있기 때문에 OCC를 사용할 수 없는 NLOS 채널에서 성능이 좋은 Wi-Fi를 이용하거나, 저전력 모드를 위한 BLE를 사용하여 에너지 효율을 높이는 방식을 선택할 수 있다. 따라서 최적 통신 방식 선택 알고리즘을 통해 LOS 채널과 NLOS 채널에서의 조명과 센서 간의 이음매 없는 통신이 가능하므로, 집, 학교, 도서관 및 마트 등 다양한 실내 환경에서의 이기종 통신 기반의 스마트 조명의 활용이 가능할 것이다. 하지만 스마트 디바이스 및 휴대폰에 OCC 기능을 추가하여야 하며, 외부환경에서도 적용이 가능하도록 여러 방법들을 조합한 기술 및 통신에 관한 연구와 기술의 개발이 요구되어 진다.

참 고 문 헌

- [1] H. D. Moon, S. S. Lee, J. H. Yoo, S. J. Lee and S. Y. Jung, "Technical Trends of Visible Light Communication Systems Based on LED," *Journal of Photonic Science and Technology.*, Vol. 1, no. 1, pp. 10-17, Dec. 2011.
- [2] D. Tsonev, S. Videv, and H. Haas, "Gb/s single-LED OFDM-based VLC using violet and UV Gallium nitride μ LEDs," in Proc. of *summer topicals meeting series.*, pp. 175-176, Nassau, July. 2015.
- [3] M. Hellebrandt and R. Mathar, "Location tracking of mobiles in cellular radio networks," *IEEE Transaction on Vehicular Technology.*, vol.48, no.5, pp.1558-1562, 1999.
- [4] H. T. Friis, "A note on a simple transmission formula," in Proc. of the *Institute of Radio Engineers*, vol. 34, no. 5, pp. 254 - 256, 1946.

김 진 영(Jin Young Kim)

종신회원



- 1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2001년 2월 : SK텔레콤 네트워크 연구소 책임연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

<관심분야> : 디지털통신, 가시광통신, UWB, 부호화, 인지 무선통신, 4G 이동통신

저자

홍 승 관(Seung Gwan Hong)

학생회원



- 2016년 2월 : 광운대학교 전자융합공학 학사 졸업
- 2016년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전과 공학과 석박통합과정

<관심분야> : 무선에너지하비스팅

이 선 의(Sun Yui Lee)

학생회원



- 2013년 2월 : 광운대학교 전과 공학 학사 졸업
- 2013년 2월 ~ 현재 : 광운대학교 전과 공학과 석박통합과정

<관심분야> : 가시광 통신, 협력통신, 인지무선통신, 양자통신

황 유 민(Yu Min Hwang)

학생회원



- 2012년 2월 : 광운대학교 전과공학 학사 졸업
- 2012년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전과 공학과 석박통합과정

<관심분야> : 4G 이동통신, 디지털 통신, 가시광통신, D2D, LBS, 인지무선통신.