

가시광 및 광무선통신에 대한 국제 표준화 동향

장영민 TTA 가시광융합통신 프로젝트그룹(PG 425) 부의장, 국민대학교 전자공학부 교수

1. 머리말

최근 몇 년 동안 무선 통신 기술이 엄청나게 발전했고, 차세대 무선 통신기술은 많은 무선 주파수 대역폭을 필요로 한다. RF 스펙트럼에 대한 요구도 계속 증가하고 또한 무선 주파수를 통한 연결의 부담을 줄이기 위해서는 광 파장과 같은 비면허 영역에서 동작하고 사용 가능한 통신 솔루션이 필요하다. 광 주파수 대역은 RF 스펙트럼보다 훨씬 넓고 또한 환상적인 시선 분리 특성을 제공하며 AR(Augment Reality) 사용자 경험을 지원하는 장점으로 인해 가까운 미래에 광무선통신(OWC, Optical Wireless Communication) 기술이 유망한 무선 기술로 부상하고 있다.

VLC(Visible Light Communication)는 가시광 스펙트럼(400~790 THz)을 사용하며 저렴한 비용으로 에너지 효율적인 무선 솔루션을 제공하여 높은 데이터 속도를 제공한다. VLC는 사람의 눈 안전에 큰 영향을 주지 않으면서 디지털 정보를 전달하기 위해 LED(Light Emitting

Diode) 및 레이저 다이오드의 변조된 광학적 신호를 사용한다. VLC의 물리 계층(PHY)에서 강도 변조(Intensity Modulation) 및 직접 검출(IM(Intensity Modulation)/DD(Direct Detection))이 전형적으로 사용된다. 따라서 초기 표준 작업은 OOK(On-Off Keying) 및 PPM(Pulse Position Modulation)과 같은 간단한 변조 기술을 사용했다[1]. 그래서 2011년에 제정된 IEEE 802.15.7-2011 표준에서 OOK 및 PPM이 변조 방식으로 선택되었다[2]. 또한 CSK(Color Shift Keying)는 세 번째 변조 방식으로 지정되어 있다.

LED 조명을 이용한 통신뿐만 아니라 디지털 사인지를 통한 AR서비스를 제공하고 있다. 그리고 ITS(Intelligent Transportation System)의 다양한 차량 통신 구조는 자율 주행에 필요한 다양한 센서 기반 통신 기법을 제공하면서 차량 교통사고를 줄이기 위해 적절한 교통 및 도로 상태 정보를 적시에 신뢰할 수 있는 방식으로 제공해야 한다. DSRC(Dedicated Short Range

Communication) 및 LTE/5G와 같은 RF 기반 통신 방식은 NLoS(Non-Line-of-Sight) 통신 환경에서도 차량간 통신에 중요한 역할을 하고 있다. 최근에는 DSRC 및 5G 외에도 차량용 OCC(Optical Camera Communication)가 ISO TC 204 WP16에서 제안되어 현재 DIS Ballot단계에 있다. LED는 에너지 효율이 높은 조명을 제공하며, 작은 크기로 인해 차량 조명의 모양을 쉽게 디자인할 수 있다. 많은 자동차 회사들이 차량용 LED 조명을 사용하기 시작했고, 가까운 시일 내에 모든 차량에 LED 조명이 장착될 것으로 예상된다. OWC 기반 차량 통신은 의도적 재밍(Jamming) 및 스푸핑(Spoofing)에 강하므로 RF 기반 무선 통신에 비해 안전한 대안 및 보완 솔루션으로 생각된다.

차량을 Platoons로 그룹화하여 운전하면 연료 소비를 줄이면서 차량측면에서 도로 사용 효율을 높일 수 있다. 밀집한 차량 주행 환경에서 Platooning 정보와 경고 메시지를 교환하기 위해 안전하고 간섭이 적은 통신 기술이 필요하다. 간섭이 적은 특성을 가진 LoS(Line-of-Sight) 기반으로 작동하는 OWC는 Platoon기반 응용에도 적용 가능한 강력한 후보 중의 하나다. 본고에서는 IEEE 802.15.7-2011 및 IEEE 802.15.7-2018규격[3]을 간단히 살펴보고 현재 표준화가 진행 중인 IEEE 802.15.13 MG OWC TG[4] 및 IEEE 802.11bb LC TG의 국제 표준화 진행 상황을 소개하고자 한다. 그리고 2020년 3월부터 신설 예정인 IEEE 802.15.7a High Rate OCC TG에 대해서도 소개하고자 한다.

2. VLC 및 OWC 표준 규격

2.1 VLC 규격

IEEE 802.15.7 TG에서 2011 년 VLC 표준을

발표한 이후 광 스펙트럼이 더 많은 관심을 끌고 있다. 광파는 인체 건강에 부정적인 영향을 미치지 않고, 가시광선의 대역폭이 RF대역폭의 1000배 이상이며, 기존의 조명 인프라를 사용 가능하므로 RF 구현에 비해 VLC 시스템 구현 비용이 줄어든다. 현재 VLC의 빠른 확산에도 불구하고 VLC용 킬러 앱이 없었기에 상용화가 지체되고 있다. VLC는 주로 실내 통신용으로 사용되고 있고 실외에는 거의 사용되고 있지 않다. 데이터 전송을 위한 가시광선 사용에 VLC를 포함한 새로운 기술 후보들이 널리 보급되고 있으며, 이들 각각은 무선 주파수 통신을 대체할 것이다. VLC는 RF 기반 무선 통신과 비교할 때 신뢰할 수 있고 안전한 통신 솔루션으로 제공될 것으로 예상된다. VLC의 동작 모드는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- PHY I 모드: OOK, VPPM
- PHY II: VPPM, OOK
- PHY III: CSK

2.2 IEEE 802.15.7-2018 OWC 규격

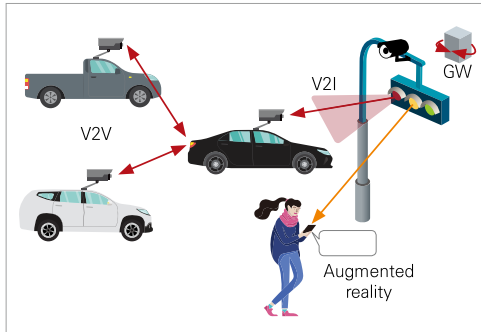
광범위한 시장 잠재력 및 광무선 통신의 타당성이 다시 중요한 과제로 부상하고 있다. 국민대를 포함한 인텔(미국)과 파나소닉(일본)은 이미지센서기반의 OWC 기술을 제안했고, 인텔은 자동차 산업에서 OCC용 킬러 앱을 개발했다. 파나소닉은 온라인-오프라인 마케팅으로 알려진 OCC 기술을 서비스하고 있다. 그리고 2020년 하계올림픽을 위해 다양한 서비스를 준비 중이다. 한국, 미국, 일본, 대만, 터키 및 중국을 포함한 여러 국가의 연구자들과 협력하여 802.15.7-2011 표준을 개정하기 위한 컨소시엄을 2015년 1월에 구성하였고, 2015년 9월에 TCD(Technical Consideration Document)를 작성 완료했다. 기존 VLC 규격인 PHY I, PHY II 및 PHY III에 신규로 OCC관련 PHY IV, PHY V 및PHY VI를 추가한 IEEE

802.15.7-2018규격을 2018년 12월에 제정 완료했다. 적절한 변조 및 코딩 방식은 OWC 시스템에서 고 성능을 달성하는 데 중추적인 역할을 하기에 IEEE 802.15.7-2018은 PHY 계층에 큰 관심을 기울였다. IEEE 802.15.7-2018 규격(IEEE 802.15.7m OWC TG)은 2016년 3월 제출된 기술 제안과 2017년 1월까지 IEEE 802.15.7m 회의에서 논의된 내용을 바탕으로 3개의 새로운 OCC PHY 작동 모드(PHY IV, PHY V, PHY VI)를 승인했다.

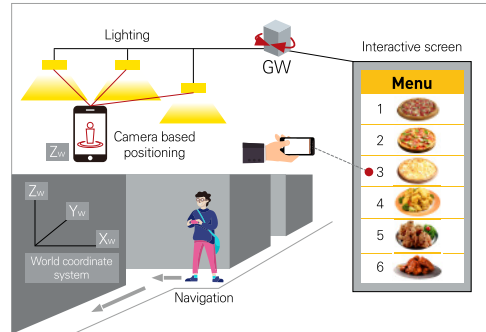
현재 OCC 관련한 다양한 잠재적 응용 분야와 서비스 시나리오는 다음과 같다. 실내 조명 기반 통신 및 위치 추적, V2X용 통신 및 위치 추적, 디지털 사이니지용 통신 및 스마트 폰을 통한 AR 경험 등 다양한 응용 서비스들이 존재한다[5].

IEEE 802.15.7-2018 규격에서 사용하는 광학 스펙트럼은 적외선(700-1000nm 파장), 자외선(100-400nm 파장) 및 가시광(400-700nm 파장)을 포함한다. IEEE 802.15.7-2018은 다양한 OWC 솔루션을 통해 몇 가지 측면에서 기술적인 기여를 했다.

- **광 카메라 통신(OCC):** 카메라의 이미지 센서, 즉 이미지 센서 통신(ISC, Image Sensor Communication)을 지원하는 베이스 밴드 변조 기술을 이용한 광무선통신 기술[6][7]
- **LED 식별(LED-ID):** 물리 계층 서비스 액세스 포인트(PHY SAP)에서 데이터 속도가 1Mbps 미만인 저속 PD(photodiode) 통신 기술을 이용하는 광무선통신 기술
- **Light Fidelity(LiFi):** PHY SAP에서 데이터 속도가 1Mb/s를 초과하는 PD를 이용하는 광무선 통신 기술. 제안한 LiFi 기술은 직교 주파수 분할 다중화(광 OFDM) 변조를 사용



a) 차량용 OCC 응용



b) 실내 OCC 응용

[그림 1] IEEE 802.15.7-2018 OCC 서비스 예시[8]

〈표 1〉 IEEE 802.15.7-2018 동작 모드

PHY	설명	변조 방식
I	기존 IEEE 802.15.7-2011 규격 그대로	OOK, VPPM
II	기존 IEEE 802.15.7-2011 규격 그대로	VPPM, OOK
III	기존 IEEE 802.15.7-2011 규격 그대로	CSK
IV	802.15.7-2018에 OCC 규격 추가	UFSSOOK, Twinkle VPPM, S2-PSK, HS-PSK, Offset-VPWM
V	802.15.7-2018에 OCC 규격 추가	RS-FSK, C-OOK, CM-FSK, MPM
VI	802.15.7-2018에 OCC 규격 추가	A-QL, HA-QL, VTASC, SS2DC, IDE-MPSK Blend, IDE Watermark

IEEE 802.15.7-2011 표준은 3가지 변조 방식(OOK, VPPM 및 CSK)에 의존하는 반면, 현재 IEEE 802.15.7-2018 규격에는 광범위한 OCC 응용과 서비스 및 캐리어 변조를 대상으로 하는 다중 변조 방식이 도입되었다. 새로 추가된 OCC 모드에는 <표 1>의 PHY IV, PHY V 및 PHY VI가 포함되어 있다. IEEE 802.15.7-2011 PHY(PHY I, PHY II, PHY III 포함)이 그대로 포함되고 신규로 추가된 OCC 기술(PHY VI, PHY V, PHY VI)과 고속 PD 통신(PHY VII 및 VIII 포함)이 포함되어 있다가, PHY와 MAC이 상대적으로 복잡한 LiFi subcommittee에서 요청으로 IEEE 802.15.13 MGOWCTG로 분리되어 나갔고 2020년 1월 현재 Draft 1.0에 대한 Comment Resolution을 수행하고 있다.

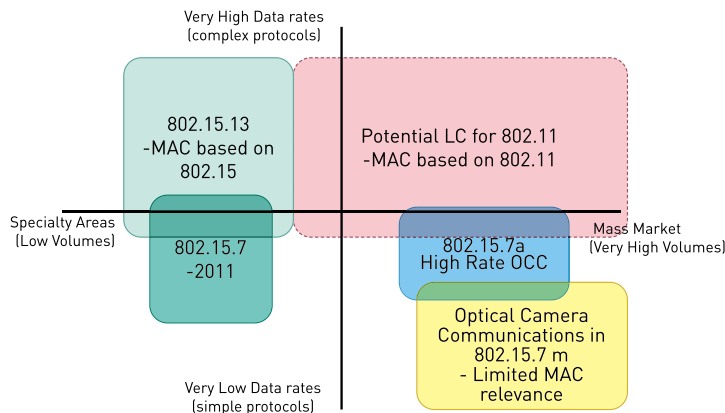
2.3 IEEE 802.15.7-2018, IEEE 802.15.13 및 802.11bb 국제 표준화 비교

Pure LiFi(영국)와 Fraunhofer Heinrich Hertz Institute(독일)는 고속 네트워크 및 소형 셀 이동 무선 통신 개발에 관심을 표명하고 국제 규격을 제안하고 있다. 2017년 5월 회의 이후에 IEEE 802.15.13 표준을 진행했고 현재 IEEE

802.15.13 D1 자료에는 802.15.7-2018에 있는 PHY 모드 중에 PHY II, PHY VII 및 PHY VIII만 유지되어 논의되고 있다.

IEEE 802.11 LC와 기존 IEEE 802.15 광 무선 통신 표준의 차이점은 802.11 MAC의 사용과 무선 근거리 통신망에 중점을 둔 관련 서비스를 재사용하는 것이다. 에너지 효율에 대한 요구 사항이 덜 까다로운 무선 특수 네트워크 기술을 배치하는 데 중점을 둔 기존(IEEE 802.15.7-2018 및 IEEE 802.15.13) 표준과 비교하여 WLAN에 중점을 둔 LC(Light Communication)를 사용한다. 폼 팩터 및 비용, 802.11과의 긴밀한 통합, 다른 802.11 PHY 유형(Fast-Session Transfer)과의 공존 및 핸드 오버 기술이 잠재적인 대량 애플리케이션에서 LC 시장 출시 시간을 좌우할 것이다.

광 무선 기반 솔루션은 수십억 개의 기존 산업 장치로 확장되어 산업 장치 간, 또는 산업 장치와 고정 인프라스트럭처 간 일대일로 안전한 비 RF 기반 통신을 제공한다. 허용 가능한 데이터 속도로 일대다 또는 다대일 기준으로 통신하며, 주요 응용 분야로는 조립 라인에서 모바일 로봇 제어, 자동 유도 차량 시스템, 소형 셀 백홀, 석유 화학 플랜트의 보안 모니



[그림 2] IEEE 802에서 표준화 중인 광무선통신 관련 표준 규격

터링, 원자력 시설 및 병원의 보안 통신 등이 있다.

802.15.13 PHY 모드를 요약하면 다음과 같다.

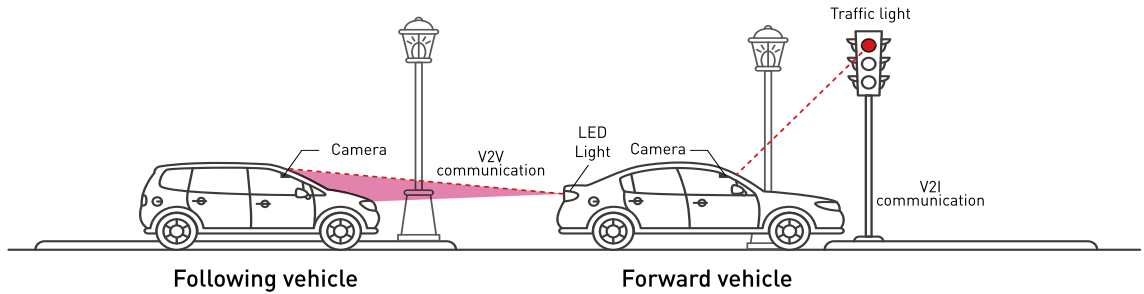
802.15.13의 PHY 계층은 여러가지 PHY 모드를 지원한다.

- 펄스 변조 PHY(PM-PHY):** PM-PHY는 1Mbps에서 수백 Mbps 사이 중간 정도의 데이터 속도, 저전력 및 낮은 대기 시간을 위해 고안되었다. 모바일 시나리오에서 시변 채널에 빠르게 적응할 수 있다. PM-PHY의 고유한 접근 방식은 높은 광학 클럭 속도(OCR)를 사용하면서 스펙트럼 효율을 낮게 유지하는 것이다. 이러한 접근 방식은 전력 효율성이 문제가 되는 응용 분야에서 향상된 도달 범위를 제공한다. 8B10B 라인 코딩 및 가변 광학 클럭 속도를 갖는 이진(2 레벨) 펄스 진폭 변조(2-PAM)가 사용되거나 HCM이 있는 다중 레벨 M-ary PAM(Reed-Solomon(RS) 순방향 오류 정정과 결합) 노이즈로 인한 오류를 수정하고 광학 프론트엔드에서 클리핑을 방지한다. 또한 PM-PHY는 여러 LED 조명의 채널 임펄스 응답(CIR)을 동시에 추정할 수 있는 수단을 제공하므로 장치 측과 코디네이터에서 고급 다중 입력 다중 출력(MIMO) 방식의 사용을 지원한다. PM-PHY를 사용하면 여러 개의 LED가 동일한 데이터를 장치(공간 다이버시티)와 공간 다중 전송으로 전송할 수 있다. 또한 PM-PHY는 릴레이 기능을 지원한다.
- 저 대역폭 OFDM PHY(LB-PHY):** LB-PHY는 비트 인터리브된 OFDM 변조를 사용하여 수십 Mbps의 데이터 속도를 갖는 낮은 날짜 속도 응용 프로그램을 위한 것이다. 고전력 LED의 저 대역폭 리소스(최대 32MHz의 단면 대역폭)를 효율적으로 사용할 수 있을 뿐만 아니라, 복잡성이 낮고 에너지 효율이 높으며 안정성이 향상되었다. DC-편광 광학 OFDM(DCO-OFDM)이 기본 파형이다. 또한, 강화된 단극 OFDM(eU-OFDM) 및 역극성 광학 OFDM(RPO-OFDM) 파형이 지원된다. LED의 변조에는 여러 OCR이 사용된다. LB-PHY는 MIMO 뿐만 아니라 적응형 비트 로딩의 적용을 지원한다. 또한 LB-PHY는 릴레이 기능을 지원한다.
- 고 대역폭 OFDM PHY(HB-PHY):** HB-PHY 유형은 10Mbps와 10Gbps 사이의 낮은 대기 시간과 매우 높은 데이터 속도를 위해 고안되었다. 모바일 시나리오에서 시변 채널에 빠르게 적응할 수 있다. HB-PHY의 고유한 접근 방식은 높은 OCR과 높은 스펙트럼 효율을 결합하는 것이다. LED의 변조에는 여러 OCR이 사용된다. DC바이어스된 OFDM(DCO-OFDM)은 적응 비트 로딩과 함께 사용되며, 각 부반송파-서브 캐리어 그룹에서 가변 성상도 순서와 함께 QAM을 적용한다. 가변 코드율과 다양한 블록 크기를 가진 LDPC(Low-density Parity-Check Code)는 FEC(Forward Error Correction) 방식을 지원하여 잡음과 광학 프론트엔드에서 파형 클리핑으로 인한 오류를 수정한다. HB-PHY는 공간 다중화 전송뿐 아니라 동일한 데이터를 장치(공간 다이버시티)에 전송하는 다중 LED를 가능하게 한다. 또한 HB-PHY는 릴레이 기능을 지원한다.

3. IEEE 802.15.7a High Rate OCC TG

카메라에 들어있는 이미지센서의 기술이 발전함과 동시에 컴퓨터 비전 및 인공지능 소프트웨어의 발전으로 인해 다양한 OCC기술개발이 가능해졌다. AI 개념을 사용하는 네트워크 시나리오는 일대일 또는 일대다 기반으로 모바일 장치 간, 또는 모바일 장치 및 고정 인프라 간에 안전한 광무선 통신 기능을 제공한다. RF 대신 광 주파수 대역을 사용하면 기존에 장착된 카메라를 그대로 사용하고 간단한 하드웨어와 소프트웨어만 추가하면 된다.

2017년 1월 IEEE 802.15 VAT(Vehicular Assistant Technology) IG(Interest Group)을 만들어 IEEE 802.15.7 표준을 개정할 것을 제안했으며, 기존 IEEE 802.15.7-2018에서 PHY(Physical) 및 MAC(Media Access Control) 계층을 수정하여 중거리 고속 OCC기술을 표준화하고자 했다. 이 표준은 높은 이동성(최대 350km/h)으로 고속 통신을 지원한다. VAT IG(Interest Group) 그룹은 2020년 3월 회의에서 RevCom에 공식 상정되어 통과 되면 2020년 7월부터 공식적인 TG(Task Group)이 된다. 이 표준은 근거리 OWC를 위해 기존 IEEE 802.15.7-2018의 PHY 계층 및 MAC 계층을 수정한다. 현재 IEEE 802.15.7-2018 표준은 이미 PHY IV 모드 내에서 차량 통신 응용을 고려했다. 그러나, 수 백kbps의 데이터 속도를 제공할 수 있는 소수의 변조 방식만이 차량 응용 분야의 후보가 될 수 있다. 고속 OCC에 대한 새로운 표준은 차량 통신 및 특정 차량 애플리케이션의 엄격한 요구 사항을 해결하기 위해 고속 이동성과 고속 전송률을 제공하는 PHY 작업 모드를 추가하는 것이다. 이 개정된 표준은 AI 기반의 고속 광 카메라 통신을 위한 기술 옵션과 함께 10,000nm-190nm의 광 파장(VLC-NIR)을 사용하는 광 카메라 통신 기술을 제공한다. 이 표준은 최대 100Mbps의 데이터 속도



[그림 3] 고속 OCC를 사용하는 V2I 및 V2V

를 제공할 수 있다. 표준에는 다양한 채널 조건에 대한 적응과 높은 이동성(최대 350km/h의 속도), 플리커 완화, RF 공존, 거리 범위(최대 200m) 동안 연결 유지가 포함된다. MIMO 개념(MIMO-OFDM 등)을 이 표준에 제공하여 까다로운 통신 환경에서 높은 수준의 간섭을 처리하며 고속 데이터 전송을 보장할 수 있다. 표준에는 기존 RF 무선 데이터 통신 표준과 이기종 작동을 가능하게 하는 중계 메커니즘이 포함될 수 있다[9][10].

[그림 3]은 광 카메라 통신을 사용한 차량 대 차량 통신의 예를 보여준다. OCC는 차량 백라이트 LED 조명 또는 신호등을 송신기로 사용하고 카메라(웹캠 또는 고속 카메라)를 수신기로 사용한다. 여기서 송신기(신호등 또는 차량 후방 LED)는 차량 상태(속도, 안전 정보, 비상 메시지 등) 또는 교통 상황을 전송한다. 수신기는 송신기로부터 전송된 정보를 수신하는 단일 또는 한 쌍의 이미지 센서일 수 있다. 차량이 움직일 때 V2V/V2I 통신에 매우 중요한 이동성은 OCC 시스템에 영향을 줄 수 있다.

4. 맺음말

Small Cell의 역할은 각 세대마다 증가하고 있다. 광 스펙트럼은 광범위한 주파수(0.3~3,000 THz)를 제공하기 때문에 대역폭 문제에 대한 가능한 솔루션이 될 수 있다. VLC, LiFi, OCC 및 자유 공간 광통신(free space optical communication)과 같은 OWC 기술을 초 고밀도 소형 셀 네트워크 및 대용량 백홀 지원으로 활용할 수 있다. B5G 및 6G 이동통신을 위해 OWC는 높은 데이터 전송률과 중단거리에서 높은 데이터 전송률을 지원할 수 있다. OCC는 카메라 제한으로 인해 고용량 링크 연결을 지원하지 않지만 실내 위치 추적, 모바일 로봇 내비게이션, 작은 식별 정보 및 광고와 같은 수많은 낮은 데이터 전송률을 지원하는 응용에서 사용될 수 있다. 6G의 요구 사항을 만족하기 위해 5G보다 1,000 배 높은 동시 무선 연결성을 특징으로 할 것으로 예상된다. 5G보다 큰 장치 연결 및 3~4 배 더 큰(100bps/Hz) 다운로드 스펙트럼 효율을 지원하는 주파수, 광 무선 통신 기술이 사용될 수 있다. 6G를 위해서 1Tbps를 지원하는 PD기반의 Light Communication 기술, 이미지 센서 기반의 고속 OCC기술, 국내에서 고속OCC 및 고속 PD기반 광무선 통신기술의 표준화 및 핵심기술 개발이 필요하다. TTA

참고문헌

- [1] T. Komine and M. Nakagawa, 'Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights', IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 50, no. 1, pp. 100-107, 2004.
- [2] IEEE, 'Standard for local and metropolitan area networks, part 15.7: Short-range wireless optical communication using visible light', Rev. 802.15.7-2011, 2011.
- [3] IEEE standard for local and metropolitan area networks-part 15.7: Short-range optical Wireless Communications, IEEE Std 802.15.7-2018, 2018.
- [4] https://mentor.ieee.org/802.15/documents?is_group=0013
- [5] M. Z. Chowdhury, M. T. Hossan, A. Islam, and Y. M. Jang, 'A comparative survey of optical wireless technologies: architectures and applications', IEEE Access, vol. 6, Jan. 2018.
- [6] Minh Duc Thieu, Tung Lam Pham, Trang Nguyen, Yeong Min Jang, 'Optical-Rol-Signaling for Vehicular Communications', IEEE Access, Vol. 7, May 2019.
- [7] Huy Nguyen, Minh Duc Thieu, Trang Nguyen, Yeong Min Jang, 'Rolling OFDM for Image Sensor Based Optical Wireless Communication', IEEE Photonics Journal, Vol. 11, Issue 4, Aug. 2019.
- [8] M. Shahjalal, M. T. Hossan, M. K. Hasan, M. Z. Chowdhury, N. T. Le, and Y. M. Jang, 'An Implementation Approach and Performance Analysis of Image Sensor Based Multilateral Indoor Localization and Navigation System', Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 2018, 2018.
- [9] <https://mentor.ieee.org/802.15/dcn/19/15-19-0296-02-0vat-par-for-high-rate-occ-task-group.pdf>
- [10] <https://mentor.ieee.org/802.15/dcn/19/15-19-0297-02-0vat-csd-for-high-rate-occ-task-group.docx>
- [11] K. David and H. Berndt, '6G Vision and Requirements: Is There Any Need for Beyond 5G?', IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 13, no. 3, Sept. 2018.
- [12] M. Z. Chowdhury, M. Shahjalal, M. K. Hasan, and Y. M. Jang, 'The Role of Optical Wireless Communication Technologies in 5G/6G and IoT Solutions: Prospects, Directions, and Challenges', Applied Sciences, vol. 9, no. 20, 2019.