

나노미터파 무선통신 기술

Nanometer Wave Wireless Communication Technology

이석진 (S.J. Lee) 방송통신융합혁신기술연구팀 책임연구원
 임종수 (J.S. Lim) 방송통신융합혁신기술연구팀 팀장
 권오형 (O.H. Kwon) 방송통신융합미래기술연구부 부장

국내외 에너지 정책에 힘입어 LED 조명 보급이 늘어나면서 관련된 광 무선 기술이 주목받고 있다. 적외선 무선통신 포트를 장착한 상용 제품들이 수 년 전부터 공급되었다. 이들이 시장을 주도하지는 못했지만 LED 조명을 이용한 가시광 무선통신은 조명의 커버리지 안에서 안정된 출력과 채널 환경이 매력적이다. 하지만 조명 기능을 우선적으로 유지시켜야 하는 상황에서 광 신호를 다루는 해결책이 충분하지 않아 고속 통신에 제약이 따른다. LED 조명 융합 기술을 무선통신 기술 관점으로 접근하는 새로운 연구가 다양하게 이루어지고 있다. 무선통신은 RF 기반의 시스템이 대부분이지만, 무선 패킷 수요 증가를 고려하여 새로운 주파수 자원에 의한 근거리 무선 보조 수단으로 광 무선통신이 제안되고 있다. 이에 관하여 LED 조명과 연계한 광 무선통신 기술의 현황과 전망을 기술하였다.

2012
 Electronics and
 Telecommunications
 Trends

정보통신 미래원천기술 특집

- I. 머리말
- II. 광 무선통신 개요
- III. 실내 LED 조명을 이용한 무선통신
- IV. 가시광 무선통신 시스템
- V. 맺음말

I. 머리말

백열전구는 에너지 효율이 매우 낮고, 수명도 짧기 때문에, 국제사회에서 LED(Light Emitting Diode) 조명의 보급 확대와 함께 백열전구 퇴출 정책이 추진 중이다. 한국도 2012년부터 단계적으로 생산을 중단할 계획이다. 형광등에는 환경규제 물질인 수은이 포함되어 있어, 대체로 세계 각국이 2020년까지 형광등의 퇴출 완료를 목표로 LED 조명의 저가격화를 서두르고 있다[1].

조명으로 사용되기 위해서는 백색광이 되어야 하기 때문에 white-LED라 표현되기도 한다. 백색 발광 단일 LED는 없으므로 삼원색의 빛 3개를 합하거나, 청색과 그 보색 관계에 있는 2개의 빛을 합하는 방법이 있다. 꼭 필요한 요소는 청색-LED이다. 초기에 빨간색이나 노란색, 주황색 등 낮은 주파수 대역의 빛만을 제작하였으나 1993년에 높은 주파수를 지닌 고휘도 청색-LED가 개발되면서 LED 조명 시대를 열었다.

지난 2006년에 LED 조명 보급 활성화 방안으로 2015년까지 조명의 30%를 LED 조명으로 바꾼다는 'LED 조명 1530' 정책을 지식경제부가 발표했다. 2011년 6월에는 2020년까지 국가 전체 LED 조명 보급률을 60%까지 끌어올리려는 'LED 조명 2060' 정책을 새롭게 내놓았다. 이처럼 LED가 조명 인프라를 바꾸는 신성장 기술로 주목받고 있다.

유명한 LED 산업체들의 참여 상황은 <표 1>과 같다. 아직도 상용 제품의 발열량, 입력전력 대비 밝기를 나타내는 발광효율(lm/W) 등을 개선하기 위해 많은 기술혁신이 필요하다. 최근 몇 년간 LED 발광효율이 급격히 향상되어, 형광등에 견줄만한 100lm/W에 이르렀다. 이로 인해 LED 시장이 급성장하고 있으며, 새로운 응용 분야의 개척이 활기차게 이루어지고 있다. LED 시장은 2006년까지 휴대폰을 중심으로 성장하였으나, 2007년부터 디스플레이용 LED BLU(Back Light Unit)로 애플리케이션이 다변화되었고, 2009년부터 사무실 조명의

<표 1> 세계 LED 시장 상위 5개 업체 시장참여 현황[1]

업체	점유율 (2008)	주요 상황
Nichia (일본)	25.3%	- 2008년 매출: 14억 3,900만 달러(13.5% 증가) - 분야: LED 완제품 생산 및 LED 칩 파운드리 서비스
Osram (독일)	13.4%	- 주력 시장: 자동차 및 산업용/의료용 LED 시장 - 2008년 매출: 7억 6,200만 달러(2.8% 증가) - High-brightness white LED 제품에 강점 보유
Stanley Electronic (일본)	7.7%	- 주력 시장: 자동차 및 가전용 LED - 2008년 매출: 4억 3,700만 달러(17% 감소) - 일반조명용 LED array 모듈 개발 중점 추진
Lumileds Lighting (미국)	7.3%	- Philips 자회사이며, Lumileds의 본사는 미국 - 2008년 매출: 4억 1,500만 달러(7.8% 감소) - 주력 시장: 자동차와 가전용 LED
Everlight Electronics (대만)	4.9%	- 2008년 매출: 2억 7,800만 달러(9.9% 증가) - 2008년 무선통신 시장에서만 전년 대비 11.2% 증가한 1억 2,900만 달러의 매출을 기록하는 등 휴대폰용 LED 시장에서 호조

<자료>: Gartner, "LED Lamp/Display Market Set for a Strong Rebound in 2010," Aug. 2009.

로까지 확산되고 있다[2].

LED 조명은 낮은 소비 전력으로 조명이 가능하며 반도체 기술의 발달로 단가가 매우 저렴해지면서 대체 조명으로 급부상하고 있다. 또한 형광등보다 더 친환경적이며 수명이 길어 5만 시간에 이른다. 아울러 다양한 색 구현이 가능할 뿐만 아니라 점멸 반응속도가 빨라서 디지털 통신이 가능하고 디지털 제어가 가능하다는 장점을 갖고 있다. LED 빛을 이용한 통신은 다양한 응용 분야가 있고 적용 사례가 많으며 통신 속도를 높이기 위한 연구가 전개되고 있다.

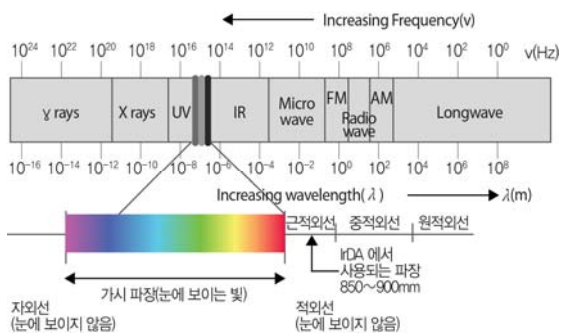
II. 광 무선통신 개요

1. 광 무선통신 기술의 개요

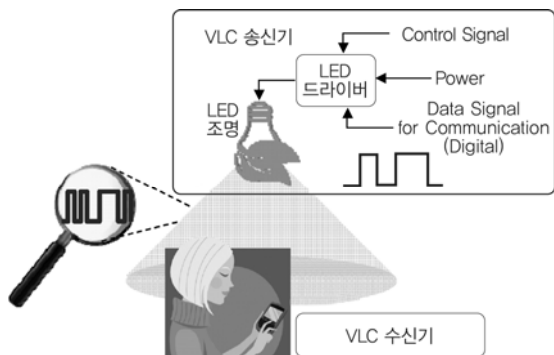
LED는 전기에서 빛으로 바뀌는 속도가 약 30nm에서

250nm에 달하는데, 이렇게 빠른 스위칭(on-off)을 제어하여 통신할 수 있는 방법이 있다. 초당 100회 이상 깜박이면 사람은 깜박임을 인식하지 못하고 계속적으로 켜진 것으로 인식한다. 통신에 의한 깜박임이 있지만, 계속적으로 켜진 것으로 인식되기 때문에 조명의 기능도 유지된다[1].

광 무선(Optical Wireless: OW)통신은 공간에서 정보 전달을 위해서 빛의 발산을 이용한다. 이때 사용되는 빛은 적외선(infrared)과 자외선(ultraviolet) 사이의 여러 파장의 빛이다(그림 1) 참조). 광 무선통신에서 빛을 발생하는 광 소스는 LED와 레이저 다이오드(Laser Diode: LD)이다. 송신기는 전기 신호를 빛으로 변화시킨다. 현재의 실내 단거리 광 무선 변조 기술 대부분이 빛의 세기(intensity modulation) 변화에 통신 신호를 반영하는 기술을 사용한다. (그림 2)에 나타난 구성으로 디지털



(그림 1) 가시광 무선통신 파장 대역[2],[3]



(그림 2) LED 조명을 이용한 가시광 무선통신의 일반적 구성도[4]

신호를 변조한 값이 LED 조명의 밝기에 합쳐져서 빛의 형태로 공중에 발산된다.

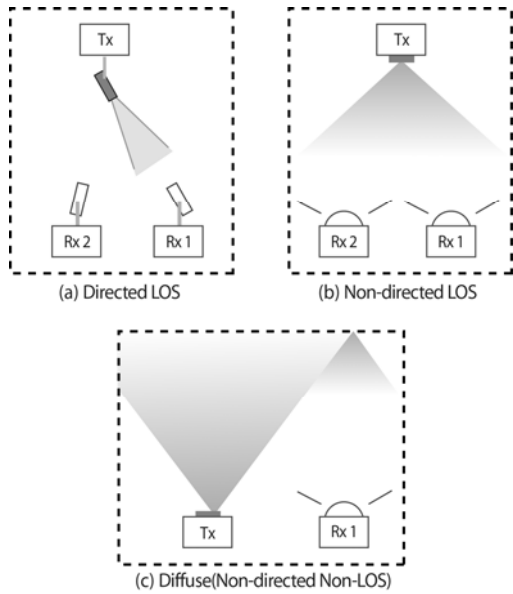
수신기는 빛을 전기 신호로 바꾼다. 공중의 빛은 수신기 내부의 렌즈나 광 필터를 통과해서 PD(Photo diode)에 도달하여 전류로 인식된다. 이렇게 빛의 세기 변화로부터 정보 신호를 인식(direct detection)하기 때문에 주파수나 위상 정보는 갖지 못한다. IM-DD(Intensity Modulation-Direct Detection)는 변복조 구성이 간단하지만 ‘coherent detection’ 방식보다 잡음에 약하다[5]. 얻어진 정보 신호에서 디지털 데이터를 복구할 때는 RF 수신기 구조와 유사하다.

빛을 이용한 광케이블은 유선 통신이며, 상용 제품으로 시장에 공급되고 있는 적외선 통신(IrDA) 포트는 광 무선통신의 일종이다. 적외선을 이용한 무선통신의 경우 1Gbit/sec급 표준화가 진행 중이며 많은 연구도 이루어지고 있다. 광 무선통신은 초기에 적외선을 중심으로 발달했으며, 조명 LED를 이용한 가시광 무선통신(Visible Light Communication: VLC)으로 연구 영역이 확장되고 있다. LED 조명을 이용한 무선통신은 가시광 무선통신이다.

2. 실내에서 광 무선 링크

적외선 LED에 비해서 white-LED는 조명 기능과 통신 기능을 병행하기 때문에 유리한 조건을 갖추고 있다. 실내 천장에 조명이 분포된 경우에 각각 연결된 전력선 통신(power line communication)과 연계, 천장으로부터의 LOS(Line of Sight) 확보, 각 전등에 최대 80MHz 까지 확보된 대역폭이 유리한 점이다. 보통의 실내 조명을 통신에 이용할 때 신호대비 잡음(SNR) 값이 60dB를 넘어 통신채널 환경도 좋다[6].

실내의 광 무선통신에서도 공간에서의 전달 손실, 주변 빛에 의한 잡음, 다중 경로 간 신호 간섭 등의 영향을 받아 신호가 감쇠되어 성능에 영향을 끼친다. 단말기의 위치 이동에 대한 지원이나 통신 링크 단절 우려가 높



(그림 3) Types of OW links

은 점은 큰 약점이다. 공간에서 송신 수신 간 빔 정렬 (alignment)과 LOS 조건에 따라 (그림 3)에 나타난 3가지로 분류된다[7]. 빛의 폭이 좁고 시선이 확보된 빔의 경우에는 송신기와 수신기 간에 정렬(alignment)되어야 하며 ‘directed LOS’로 분류된다. 적외선 통신의 경우가 여기에 해당된다. 직접 조명 형태는 ‘non-directed LOS’로 분류되며 천장 조명이 여기에 해당된다. 반사된 빛을 이용하는 간접 조명 형태는 ‘diffuse’로 분류된다. 현재 VLC 연구는 천장 직접 조명 연구 결과가 많이 발표되고 있다.

3. 적외선 무선통신

적외선 무선통신은 시장에 상용 제품이 많다. 고속 데이터 전송을 위해 큰 대역폭이 필요한 경우에는 레이저 다이오드를 사용한다. 좁은 빔을 강하게 출력해서 수 km 거리에 Gbit/s급 전송이 가능하다. 실내 근거리 저속 통신의 경우 적외선 LED가 사용되며 통신 규격 표준 (fast IrDA)은 1m 이내에서 16Mbps까지 규정된 상태이다[3]. 적외선은 눈의 위험을 방지하기 위한 출력제한

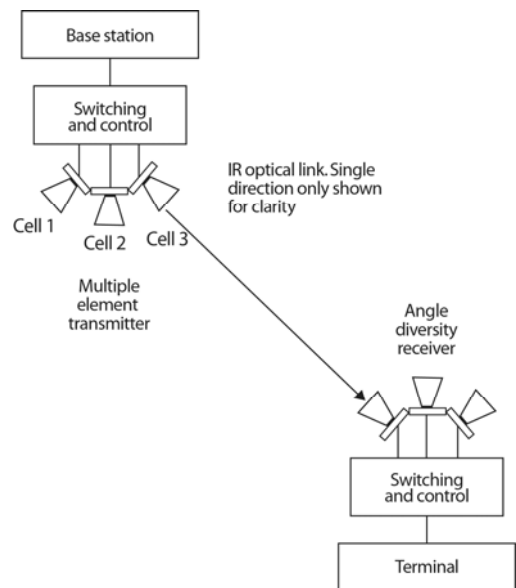
규정이 있으며, 약한 출력이 통신 영역(coverage)을 약하게 한다. 적외선을 수 Gbit/s 무선 전송 기술로 향상시키려는 노력이 계속되고 있다.

가. Cellular Scheme

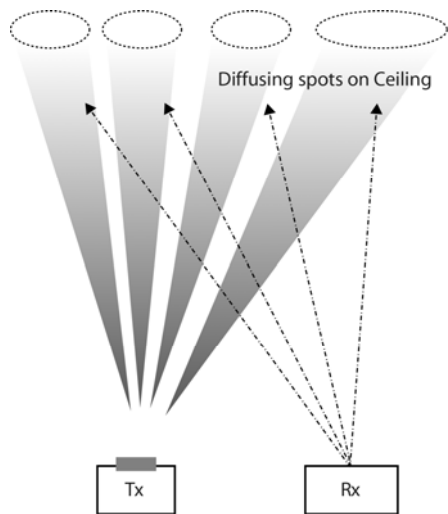
(그림 3a)와 같이 LOS에서 좁은 빔을 사용한 경우 통신환경에 좋다. 그러나 송신 수신기 간에 정렬(alignment)이 필요하고 이동성 지원과 장애물에도 약하다. 좁은 커버리지 한계를 극복하기 위해 빔 발생 장치를 다수 결합한 복잡한 구조의 (그림 4) 형태를 유럽의 연구 [8] 프로젝트에서 제안했다. 송신 측은 7개의 셀을 지원하는 ‘multi-beam forming transmitter’이고, 수신 측은 3개의 셀을 지원하는 ‘angle diversity(or self-orienting) receiver’이다. 빔의 폭으로 인한 커버리지 한계를 개선하고, 적외선 LED의 출력제한도 극복할 수 있다. 또한 단말기가 이동할 때에 셀 간 핸드오버가 이루어질 수 있어서 셀룰러 개념의 지원이 가능하다.

나. Multi Spot Diffuse

‘Quasi-diffuse’에 기반한 다점확산(multi-spot di-



(그림 4) LOS Cellular IR Communication System[8]



(그림 5) Multi-spot Diffusing Links(Quasi-diffuse, Non-directed Non-LOS)

ffusing link) 연결을 (그림 5)에서 보여주고 있다. 확산 방식의 효율이 낮은 문제를 극복하기 위해 좁은 빔 여러 개를 천장 또는 벽에 비추는 방식이다. 이 시스템은 송수신기 구조가 복잡하다. 송신기가 여러 방향으로 빔을 병렬 송출하고, 수신기에서는 좁은 빔 수신 장치 여러 개로 인식(angle diversity receiver)한다[9]. 이 연구를 통해 수 Gbit/s의 무선 전송이 가능하다[10].

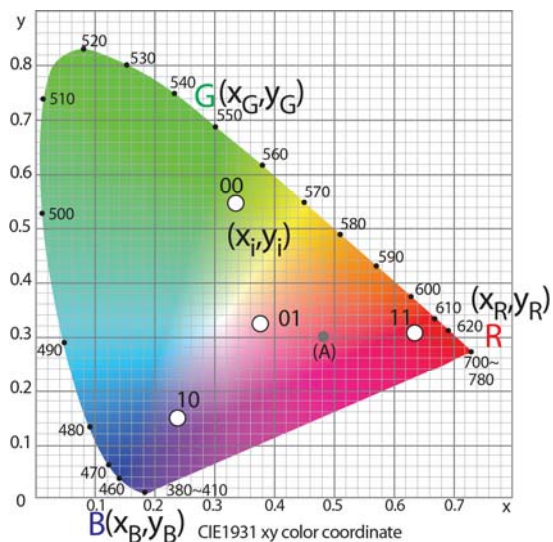
III. 실내 LED 조명을 이용한 무선통신

최근에 가시광 무선통신에 대한 학계와 산업계의 관심이 커지고 있다. 반도체 기술 발전으로 white-LED를 조명과 동시에 무선 전송 목적으로도 적용 가능함에 힘입은 것이다. 초기에는 LED의 on-off에 기반을 둔 통신이 다수였다. 최근에 LED를 이용한 가시광 무선통신(VLC)은 백색 조명을 구성하는 청색-LED 요소에 다중 반송파 변조(multiple subcarrier modulation) 기술을 적용하여 최대 전송속도 500Mbit/s 수준에 와 있다[11]. 또한 광 MIMO(Multiple-Input Multiple-Output) 기술의 적용 가능성도 연구되고 있다.

1. 광 무선통신 규격과 동향

초기에 VLC 기술은 일본의 VLCC(Visible Light Communication Consortium)가 기술 발전과 표준화를 선도하였다. 2008년부터 적외선 무선통신 표준화 단체인 IrDA(Infrared Data Association) 및 ICSA(Infrared Communication Systems Association)와 협력하여 적외선 물리계층을 포괄하는 VLCC 규격을 2009년에 발표했다. ICSA는 적외선과 가시광이 협력한 양방향(full-duplex) 시스템 기반의 광 무선랜 표준 규격을 발표하였다[5].

IEEE 802.15.7 TG(Task Group)에서 VLC 표준화 작업을 2009년에 시작하였으며, LED 조명에 통신 변복조를 융합하여 무선통신이 가능한 국제표준을 2011년 7월에 제정하였다. 이 규격에서 통신 도달 거리 및 클럭 속도에 따라서 실외에서 300kbps 이하의 저속을 'PHY I'로 분류하고, 실내에서의 96Mbps 이하를 'PHY II'로 분류하고 있다. (그림 6)과 같이 RGB-LED를 이용한 CSK(Color-Shift Keying)로 96Mbps 이하 지원 규격을 'PHY III'로 분류하고 있다.



(그림 6) CSK Constellation Made by Color Band Combinations[12]

〈표 2〉 Definition of Data Mapping for VPPM Mode[13]

Logic value	Physical value <i>d</i> is the VPPM duty cycle ($0.1 \leq d \leq 0.9$)	
	0	High
Low		$dT \leq t \leq T$
1	Low	$0 \leq t \leq (1-d)T$
	High	$(1-d)T \leq t < T$

위의 규격에서 백색광의 변조 방식은 OOK(On-Off Keying)와 PPM(Pulse Position Modulation)이 주로 사용된다. 또한 조명의 밝기 제어(dimming)를 혼합한 변조 방식인 VPPM(Variable Pulse Positioning Modulation) 방식을 포함한다. 〈표 2〉에서 정의된 바와 같이 on의 폭(pulse width)을 조절하여 밝기 제어를 하면서, 타임 슬롯의 초기에 on-펄스가 오면 '0', 후기 on-펄스는 '1'로 디지털 신호를 정의한다. VPPM 방식은 5Mbps 이하에서의 변조 방식이며, OOK 방식은 96Mbps까지 정의하고 있다[4],[13].

국제표준 규격이 완성됨에 따라 VLC 산업이 본격적으로 개척될 전망이다. 최근의 통신 기술의 연구 성과를 반영한 추가적인 통신규격 표준화 활동이 예상된다.

2. 조명 LED 부품 특성과 통신

조명에 필요한 백색광을 만들기 위해서 형광물질에 의한 보색 빛을 합하는 phosphor LED는 제작비용이 저렴하지만, 형광물질 특성으로 점멸(on-off) 반응속도가 타 LED에 비해서 상대적으로 느리다. 형광물질은 에너지가 높은 빛을 받아 짧은 시간 저장시켜 두었다가 에너지가 빛을 여기시키는 구조이기 때문이다.

VLC 성능은 LED의 가용 대역폭에 의해 좌우된다. 상용화된 다수의 조명 LED는 반응속도가 5MHz에 못 미치는 것으로 알려져 있다. 백색 조명을 만들기 위해서 청색-LED에 첨가한 보색 형광물질의 반응 지연에 기인한다. 수신단에 광 필터(optical filter)를 사용하여 청색

빛만 사용하면 20MHz에 이르기도 한다[6].

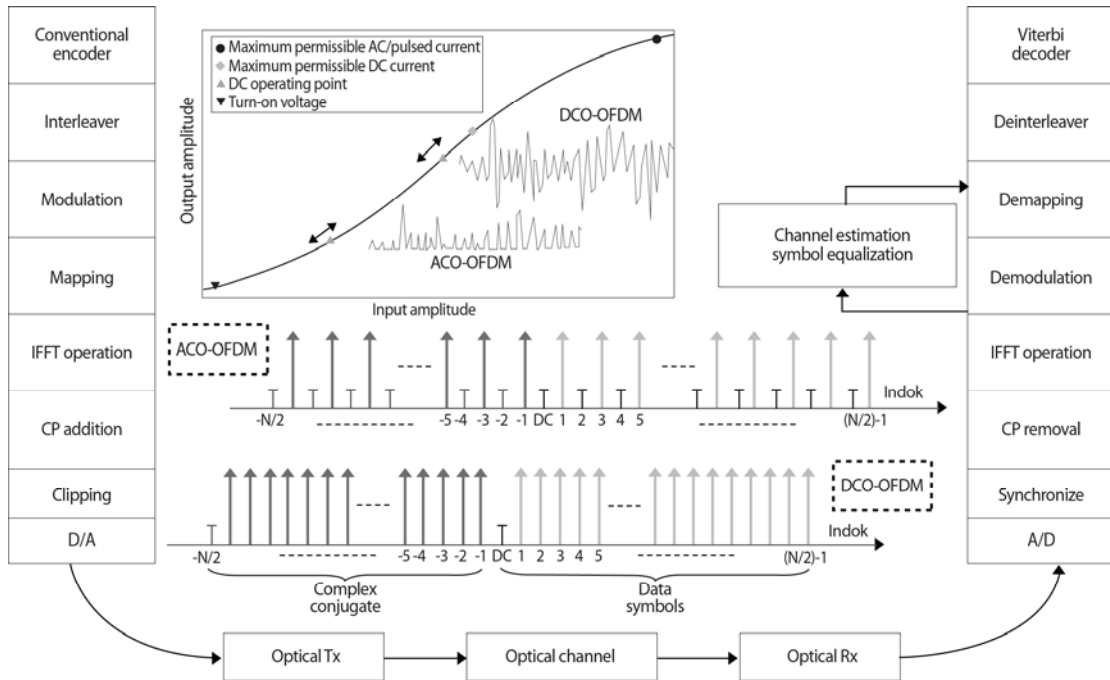
LED 조명등은 여러 개의 LED 부품 배열(array)로 구성되는데, 각 LED 부품의 주파수 특성을 구동회로에 반영한 공진형 등화기(equalizer)로 주파수 응답을 개선할 수 있다. 참고문헌 [14]의 연구에서 2.5MHz 가용 대역폭을 가진 LED가 광 필터 및 등화기 사용으로 20MHz에 이르렀다. 위의 방법과 비슷하게 수신기에 광 필터를 사용하고, PD 인터페이스 부분에 등화기를 부가해서 2.5MHz 시스템 대역폭이 50MHz로 개선되었다.

PD는 상용품의 대역폭이 100MHz를 넘기 때문에 LED보다 넉넉하다. LED의 비선형(non-linearity) 특성과 반응속도(bandwidth)를 보완하여 높은 통신성능을 얻기 위한 기술이 연구되고 있다.

3. 다중 반송파를 이용한 전송 기술 고도화

조명 LED는 LD에 비해 운용이 쉽고 저렴하다. VLC 수신기에 사용될 PIN PD 또한 저렴하고 안정적인 모델이 공급되고 있어서 유리한 환경이다. VLC 무선 전송을 위해 사용하는 간단한 형태의 대다수 변복조 방식은 IM-DD이다. 전송할 신호는 발산(radiation)하는 빛의 세기에 반영되고, 수신 감지기는 수신한 빛에 비례하는 전류를 만들어서 통신 데이터를 복구한다. 그래서 VLC 수신 신호는 위상 정보가 없다[5],[15].

데이터 전송 속도를 올리기 위해 다중 반송파(multiple subcarrier modulation) 기술을 이용한다. 대표적 변조 기술이 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)이다. 많이 사용되는 OFDM IM-DD 방식의 무선 광 변조에는 위상 정보가 없는데 비해서 RF 신호에서의 OFDM 변조 방식에서는 복소수 값이 출력된다. 그래서 광 변조 방식은 수정이 필요하다. 광 변조기의 IFFT(Inverse-Fast Fourier Transform) 연산 입력 값이 'Hermitian symmetry'를 갖도록 처리하여 실수-OFDM 신호가 발생되게 한다. 이때 부 반송파(subcarrier) 일부가 '0' 처리되거나 대칭 값으로 처리되



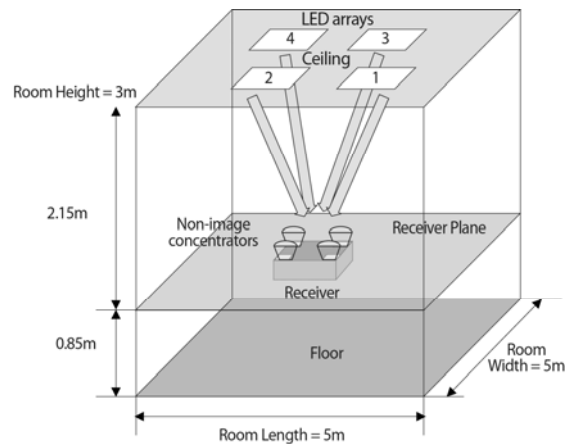
(그림 7) DC Biased Optical OFDM과 Asymmetrically Clipped Optical OFDM 변복조기 구성 블록도 및 LED 입출력[5]

는 연산 방식 때문에 주파수 이용률이 반감되는 약점이 있다. 대표적인 변조 방법으로 (그림 7)의 ‘DC biased optical OFDM’과 ‘asymmetrically clipped optical OFDM’을 들 수 있다[5]. 실내의 광 무선통신에서 데이터 속도를 올리기 위한 주요 수단으로 광-OFDM 기술이 많은 주목을 받고 있으며 이에 따른 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio) 문제도 고려해야 한다.

4. MIMO 기술을 통한 전송 기술 고도화

실내 조명을 이용한 통신에서 데이터 전송 속도를 높이기 위해서 광 MIMO 기술이 연구되고 있다. LED 조명 등은 여러 개의 LED 소자 배열로 구성되므로 이를 병렬 송신기로 활용하는 기술에 적합해 보인다. 송신기 배열과 수신기 배열 간에 정밀한 직선 정렬(alignment)이 이루어진다면 각각의 병렬 경로 운용으로 성능이 높아진다.

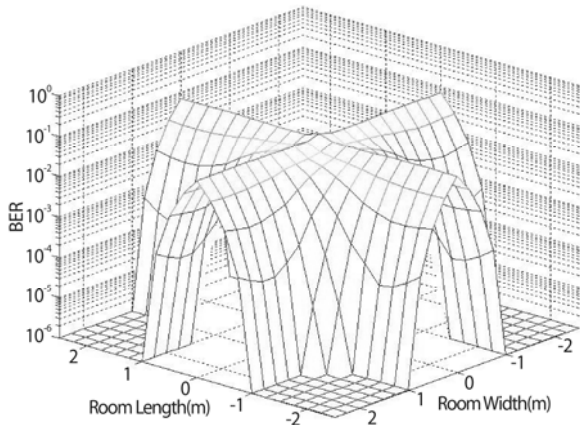
직선 정렬 없는 공간 다중화 광 MIMO 기술은 실내의 수신기 위치에 따른 성능 약화를 발생시키는 문제가



(그림 8) Non-imaging Optical MIMO System[16]

있다. (그림 8)은 LED 배열에 의한 광 MIMO 시스템 구성이며, 실험실 방 안의 위치에 따른 성능 차이를 (그림 9)에서 나타내고 있다. 송수신기 간의 상관관계(correlation)가 주요 원인이다. 이를 개선시키기 위한 기술이 연구되고 있다. 수신단에 렌즈를 활용하여 영상이 맺히도록 보조하는 방법이 소개되어 있다[16].

직선 정렬 없는 광-MIMO 시스템을 위한 다른 방법



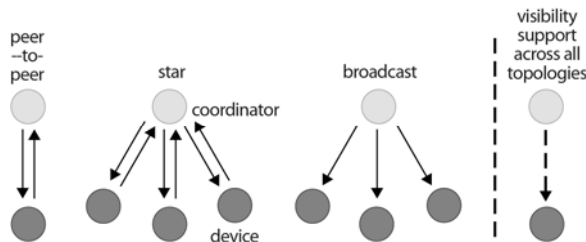
(그림 9) BER Room Distribution for Communications in a Room Using Non-imaging Optical MIMO Model[16]

은 공간 변조 방법이다. 여러 개의 송신 LED 가운데 하나만이 정해진 시간에 짧은 펄스를 송출하고, 수신기에서는 펄스 인덱스를 바탕으로 정보를 해석한다[1].

IV. 가시광 무선통신 시스템

1. Up Link Channel

IEEE 802.15.7을 참조하면 VLC 장치의 등급은 3가지(infrastructure/mobile/vehicle)로 볼 수 있으며, 서비스 시스템 구성은 star/broadcast/peer-to-peer가 있다. (그림 10)에서 방송 서비스는 단방향 통신(half duplex)으로 가능한 경우이지만, 대부분의 통신 시스템은 양방향 통신이 요구된다. 조명을 이용한 하향 링크(down link)는 통신 신호의 파워가 넉넉하지만, 단말기



(그림 10) Supported MAC Topologies at IEEE 802.15.7[13]

에서 송출하는 상향 링크(up link) 신호 파워는 그렇지 못하다는 제약이 따른다.

상향 링크(up link) 문제 해결을 위한 여러 방안이 제안되었다. 가시광과 다른 매질인 적외선 빔을 사용하는 방안이 많은 관심을 받고 있다. 이 상향 링크는 송수신 간의 직렬 정렬(alignment)과 추적(tracking) 문제가 있다. 다른 방안으로 송신 조명을 수신기에서 반사하는 방법도 제안되었다. 이미 상용화 솔루션이 많은 RF 기술을 상향 링크에 사용하는 방안도 있다.

2. MAC 계층 및 다중화 기술

VLC 무선 접속 시스템을 위해서 광-AP(Access Point) 중심의 셀 개념을 고려한다. 하나의 방 내부의 모든 사용자가 동일 광-AP를 이용하는 경우가 있고, 방 내부에 몇 개의 광-AP를 설치하여 여러 셀로 나누어 운영하며 무선랜(wireless LAN)과 비슷한 구성을 갖는 경우가 있다. 그런데, 독서 전등(reading lamp)처럼 광-AP의 범위가 좁아 사용자가 1명인 경우도 있다.

하나의 네트워크에 여러 단말 주소가 채널에 접근하는 규칙을 MAC(Media Access Control) 프로토콜에서 제공한다. RF 시스템의 MAC 프로토콜을 참조해 왔지만 빛의 특성상 통신경로의 차단이 빈번하게 발생할 수 있다는 특성을 OW MAC에서 고려해야 한다.

여러 사용자가 동시에 네트워크에 접속하기 위한 다중접속(multiple access) 기술은 물리계층의 지원이 필요하다. 이를 위해서 TDMA(Time-Division Multiple Access), CDMA(Code-Division Multiple Access)를 포함하는 전기적 다중화가 있고, 다른 파장의 빛을 사용하는 WDMA(Wave-Division Multiple Access)와 좁은 빔을 송신하는 SDMA(Spatial-Division Multiple Access) 등과 같은 광 기술을 이용한 다중화 기술이 있다.

3. 시스템 개발

대표적으로 일본의 나카가와 랩에서 CSMA/CD(Ca-

rier Sense Multiple Access with Collision Detection)에 기반을 둔 양방향 VLC 시스템을 개발했다. 랜과 호환성을 고려하여 CSMA/CD 방식을 선택했으며, 상향 링크는 850nm 적외선을 사용했다. 유럽에서의 'Home giga access project'에서도 적외선 통신과 VLC를 사용한 시스템을 개발했으며, 실내 조명에 통신 공급(back-bone)은 PLC를 사용했다[13].

V. 맺음말

LED 조명을 사용하는 곳은 가시광 무선통신(VLC)이 적용 가능하다. 전자파 금지 구역에서 좋은 대체 수단이 된다. ISM(Industrial Science Medical) 대역 RF의 경우 여러 종류의 상용 서비스 등장으로 전파 환경이 나빠져 있지만, VLC가 그 무선 패킷의 일부를 분담하여 RF 부하를 덜어줄 수 있다.

실내에서의 VLC는 LED 조명 전등의 배치 간격(1.6m)을 기반으로 이내로 셀 플랜이 가능하여 주파수 재사용에 유리한 환경이다. 그래서 핫스팟 지역에서도 여러 사용자에게 대용량 데이터 무선 전송을 지원할 수

있는 잠재성을 갖고 있다.

차세대 이동통신 시스템에서 목표하고 있는 1Gbit/s 급 고속전송을 위해서 여러 무선접속 보조 수단이 포함 될 것이다. 특히 실내에서 광 무선(OW)이 근거리 무선 통신을 보조하는 주요 수단이 될 거라는 견해가 많다. 조명 업계에서는 통신에 관심을, 통신 업계에서는 조명에 관심을 가진다면 LED 조명을 이용한 VLC 기술 발전에 유리할 것이다. 이 기술은 초기 단계가 진행되고 있어서 향후 많은 발전이 예상된다.

약어 정리

AP	Access Pointer
BLU	Back Light Unit
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
CDMA	Code-Division Multiple Access
CSK	Color-Shift Keying
DMT	Digital Multi Tone
ISM	Industrial Science Medical
Ir	Infrared
ICSA	Infrared communication Systems Association
IrDA	Infrared Data Association
IM-DD	Intensity Modulation-Direct Detection
IFFT	Inverse-Fast Fourier Transform
LD	Laser Diode
LED	Light Emitting Diode
LOS	Line of Sight
MAC	Media Access Control
MIMO	Multiple Input Multiple Output
OOK	On-Off Keying
OW	Optical Wireless
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PAPR	Peak-to-Average Power Ratio
PD	Photodiode
PPM	Pulse Position Modulation
RF	Radio Frequency
SDMA	Spatial-Division Multiple Access

용어해설

LED 갈륨비소 등의 화합물에 전류를 흘려 빛을 발산하는 반도체 소자. LED는 컴퓨터 본체에서 깜빡이는 작은 불빛, 도심의 빌딩 위에 설치된 대형 전광판, TV 리모컨 버튼을 누를 때 마다 TV 본체에 신호를 보내는 눈에 보이지 않는 적외선 등을 만들 때 필요한 것임. 1968년 미국에서 적색 LED가 개발된 이후 황색, 녹색, 청색, 백색 LED가 우리 생활 곳곳에서 쓰이고 있음. 실내 조명기구에는 백색 LED를 사용.

OFDM 고속의 송신 신호를 다수의 직교(orthogonal)하는 협대역 반송파로 다중화시키는 변조 방식. 장점은 대역확산 기술을 들 수 있음. 그것은 정확한 주파수에서 일정 간격 떨어져 있는 많은 수의 반송파에 데이터를 분산시킴. 바로 이 간격이, 복조기가 자기 자신의 것이 아닌 다른 주파수를 참조하는 것을 방지하는 기술 내에서 "직교성(orthogonal)"을 제공함.

VLC 가시광을 발산하는 LED는 On-Off 제어를 통한 빠른 깜빡임이 가능한 특성이 있으며, 이를 이용한 변조 기술을 이용하여 통신하는 기술을 말함. LED 조명을 VLC 기능과 동시에 사용할 수 있음. 이에 관련된 더 향상된 통신 기술이 연구 중이며 각종 통신 표준화 활동도 있음.

TG	Task Group
TDMA	Time-Division Multiple Access
UV	Ultra Violet
VPPM	Variable Pulse-Positioning Modulation
VLC	Visible Light Communication
VLCC	Visible Light Communication Consortium
WDMA	Wave-Division Multiple Access

참고문헌

- [1] 한국산업기술진흥원, “2011 산업기술로드맵 정보통신 LED/광,” 2012. 3.
- [2] TTA, “ICT Standardization Roadmap 2010,” 이동통신 분야 VLC,” 2010, pp. 341-399.
- [3] “IrDA Physical Layer Specification,” . http://www2.rohm.com/products/opto_device/irda_module/standard.html
- [4] 임상규 외, “LED 조명과 결합된 가시광 무선통신 기술 동향,” 전자통신동향분석, vol. 25, no. 4, 2010. 8, pp. 38-47.
- [5] H. Egala, R. Mesleh, and H. Hass, “Indoor Optical Wireless Communication: Potential and State-of-the-Art,” *IEEE Comm. Mag.*, Sept. 2011, pp. 56-62.
- [6] J. Grubor et al., “Bandwidth Efficient Indoor Optical Wireless Communications with White Light Emitting Diodes,” *6th Int. Symp. Commun. Syst. Netw. Digit. Signal Proc.*, Graz, Austria, vol. 1, June 23th-25th, 2008, pp. 165-169.
- [7] J.M. Kahn and J.R. Barry, “Wireless Infrared Communications,” *Proc. IEEE*, vol. 85, no. 2, Feb. 1997, pp. 265-298.
- [8] D.C. O'Brien, et al., “Gigabit Optical Wireless for a Home Access Network,” *IEEE 20th Int. Symp. Pers., Indoor Mobile Radio Commun.*, Sept. 2009.
- [9] G. Yun and M. Kavehrad, “Spot-diffusing and Fly-eye Receivers for Indoor Infrared Wireless Communications,” *IEEE Int. Conf. Sel. Topics Wireless Commun.*, 1992.
- [10] F.E. Alsaadi and J.M.H. Elmirghani, “High-Speed Spot Diffusing Mobile Optical Wireless System Employing Beam Angle and Power Adaptation and Imaging Receivers,” *J. Lightw. Technol.*, vol. 28, no. 16, Aug. 2010, pp. 2191-2206.
- [11] J. Vučić et al., “513 Mbit/s Visible Light Communications Link Based on DMT-Modulation of a White LED,” *J. Lightw. Technol.*, vol. 28, no. 24, Dec. 2010, pp. 3512-3518.
- [12] Samsung, Intel, ETRI, CSUS Version of Draft, IEEE 802.15.7.
- [13] IEEE Std 802.15.7, 2011.
- [14] H.L. Minh et al., “100-Mb/s NRZ Visible Light Communications Using a Postequalized White LED,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 21, no. 15, Aug. 2009, pp. 1063-1065.
- [15] J. Grubor et al., “High-speed Wireless Indoor Communication via Visible Light,” ITG Fachbericht, 2007, pp. 203-208.
- [16] L. Zeng et al., “High Data Rate Multiple Input Multiple Output (MIMO) Optical Wireless Communications Using white Led Lighting,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 27, no. 9, Dec. 2009.