

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.3.33>

IIBC 2014-3-5

VLC 기반 전송시스템 및 응용기술 분석

Analysis of VLC-based Transmit Systems and Application Technology

안병구*

Beongku An*

요약 본 논문에서는 최근 VLC 기반 전송 시스템 및 응용 기술들에 대하여 주요한 이슈들 측면에서 성능평가 파라미터들을 사용하여 분석을 한다. 첫째, VLC의 특징 및 다른 기술들과의 비교를 기술한다. 둘째, VLC 기술의 최근 이슈를 설명한다. 셋째, 지금까지 연구개발 발표된 VLC 기반 전송 시스템들 중에서 대표적인 것들을 통신 및 전송 측면에서 분류하고 각각의 전송 시스템들을 특징 및 장단점들을 중심으로 설명한다. 넷째, 분류 설명된 VLC 기반 전송 시스템들을 정성적으로 그 성능을 평가 한다. 그리고 마지막으로 VLC의 주요한 응용 기술들에 대하여 설명을 한다.

Abstract In this paper, we summarize and analyze recent VLC based transmission systems and application technologies by identifying the main issues and challenges and by using several performance parameters. First, we explain the main characteristics of VLC as well as the comparisons of VLC with other technologies. Second, we describe the current issues for VLC technology. Third, we classify and explain the several technologies among VLC based transmission systems in the state of arts in the view points of features, advantages and disadvantages. Fourth, we make a quantitative comparison table for the selected current VLC based transmission systems. Finally, we explain the main application technologies of VLC. This paper.

Key Words: VLC, LED Communication, VLC Transmission System

1. 서론

최근 인터넷 서비스와 함께 유무선 통신 서비스가 보편화되면서 각종 부가서비스를 제공하기 시작했고, 보다 향상된 정보통신의 필요성이 커지고 있다. 이에 따라 근거리 무선통신 기술이 다양하게 개발되고 있다. 그 중 가시광 무선통신(VLC: visible light communication)^[1-7]은 국제표준화가 진행되고 있으며, 송신을 위한 발광소자로 LED가 주목 받고 있다. LED는 휴대폰용 키패드 광원이나 LCD 창의 백라이트 광원으로 쓰이는 등 용도

가 다양화 되고 있으며, 특히 일반 조명용의 사용이 늘고 있는 추세이다. LED가 기존의 조명용 광원인 백열등이나 형광등 보다 우수한 점은 백열등에 비해 1/10 정도의 낮은 소비 전력을 사용하면서 100배 정도의 긴 수명을 갖는다는 점이다. 또한 진동이나 충격에 강하고 내구성이 뛰어나다는 장점이 있다. 뿐만 아니라 LED는 수은을 함유하지 않고 폐기물 처리가 상대적으로 자유롭기 때문에 환경 규제가 대두되고 있는 현재 상황에 적합한 친환경 광원이라 할 수 있다.

가시광 무선통신^[1-7]은 차세대 조명용 광원의 유력한

*종신회원, 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과
접수일자 2014년 4월 4일, 수정완료 2014년 5월 25일
게재확정일자 2014년 6월 13일

Received: 4 April, 2014 / Revised: 25 May, 2014

Accepted: 13 June, 2014

*Corresponding Author: beongku@hongik.ac.kr

Dept. of Computer & Information Communications Engineering,
Hongik University, Korea

후보로 부상하고 있는 LED를 이용함으로써 조명 인프라를 통신용 광원으로 사용할 수 있고, 시스템 구축비용을 절감하는 효과를 거둘 수 있다. 우리가 주목할 만한 한 점으로 LED는 전기를 빛으로 바꾸는 속도가 약 30ns에서 250ns에 달하는데, 이렇게 빠른 스위칭 특성을 이용한 변조로 통신에 활용할 수 있다. 사람은 초당 100회 이상 깜박이면 이를 인식하지 못하고 계속적으로 켜져 있는 것으로 인식한다. 통신에 의한 깜박임이 있지만 그 깜박임을 인식하지 못하기 때문에 조명의 기능도 유지된다.

LED조명 인프라를 이용하여 통신환경을 조성한다면, 조명 인프라를 공유하는 경제적 이득효과가 발생할 뿐만 아니라 생활 조명과 함께하는 융합 멀티미디어 통신 서비스를 제공하게 될 것이다. 본 논문의 II장에서는 VLC 기본원리, 특징 및 최근이슈들을 설명하고, III장에서는 기존에 개발 발표된 VLC 기반 전송시스템들을 분류하고, 특징점과 장단점들을 가지고 설명하며, 정성적으로 그 성능을 비교 평가한다. IV장에서는 VLC 기반 응용 기술들을 설명하고, V장에서 결론을 맺도록 한다.

II. VLC: 가시광 통신

1. VLC 기본 원리

가시광 통신 (VLC: Visible Light Communication) 이란 가시광을 이용하는 통신 방식이다^[1-7]. LED 조명 기구와 디스플레이 장치들에 통신 기능을 부가하여 LED 광원의 고유 목적과 통신 수단으로서의 목적을 동시에 달성하고자 하는 가시광 무선통신 기술이 활발히 연구되고 있다. LED는 p형 반도체와 n형 반도체를 접합한 다이오드에 순방향전압을 걸때 p-n 접합부분에서 정공과 전자가 결합하면서 페르미 레벨의 차이만큼의 에너지가 빛 에너지로 변환되어서 발광하게 되는 발광소자이다. LED를 조명 및 통신수단으로 활용하기 위한 연구 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 주파수 할당 규제가 있는 무선 통신에 비해 국제적 규제가 없는 조명 통신 기술인 가시광통신은 보안성 또한 보장되어 미래 첨단기술로 주목을 받고 있다. 최근에 LED는 조명에서부터 다양한 디스플레이영역까지 넓은 영역에서 각광을 받게 되었다. 빛의 색상, 명도 및 채도의 조절이 용이해지고 주파수 보다 빠른 속도의 제어가 가능해지면서 조명의 역할뿐만 아니라 고속의 통신에서도 이용할 수 있게 되었다.

가시광은 그림 1과 같이 780nm에서 380nm의 파장에 해당된다. 가시광 무선통신에서 사용하는 파장을 주파수로 바꾼다면, 385THz에서 789THz에 해당하게 된다.

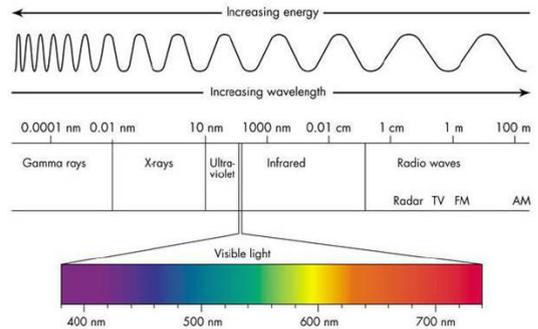


그림 1. 가시광 무선통신 파장대역

Fig. 1. Bandwidth of visible light wireless communication

가청(오디오) 주파수대역은 20Hz에서 20,000Hz에 해당되고, 적외선파장을 사용하는 IrDA, 2.4GHz 주파수대역을 사용하는 IEEE 802.11n, 802.15.1 Bluetooth, 802.15.4 Zigbee UWB 등이 있다. 가시광 무선통신은 근적외선 영역인 870nm~900nm를 사용하는 IrDA와 가장 유사한 파장을 사용하지만, 조명과 동시에 통신을 할 수 있다는 것이 특징이며 장점이다.

LED 조명통신의 원리는 그림 2와 같이 설명이 가능하다. LED가 조명기능을 유지하면서 데이터에 의해 빠르게 깜박이는 것으로 데이터통신이 가능해진다. LED에서 전기적 신호를 빛의 신호로 바꾸는 데에 걸리는 속도가 약 30ns에서 250ns 인데, 이렇게 빠른 on-off 스위칭을 통한 변조에 의해 데이터통신이 가능해진다.

사람은 초당 100 회 이상 깜박이면, 깜박임을 인식하지 못하고 계속적으로 켜진 것으로 인식하게 된다. 데이터통신에 의한 깜박임이 있지만, 사람은 그 빛이 계속적으로 켜진 것으로 인식되기 때문에 조명의 기능도 유지하게 된다.

즉, 변조에 의해 전달되어야 할 데이터가 LED 가시광선에 포함되게 되어서 깜박이는 가시광선이 되며, 이 깜박임은 사람이 인식할 수 없는 빠른 속도이기 때문에 사람은 변조된 가시광선의 빛도 일반 조명으로서 인식하게 된다. 데이터가 포함된 변조 가시광선은 광다이오드(PD: Photodiode)를 거치면서 전기적신호로 변화되어 데이터를 다시 나타내게 된다.

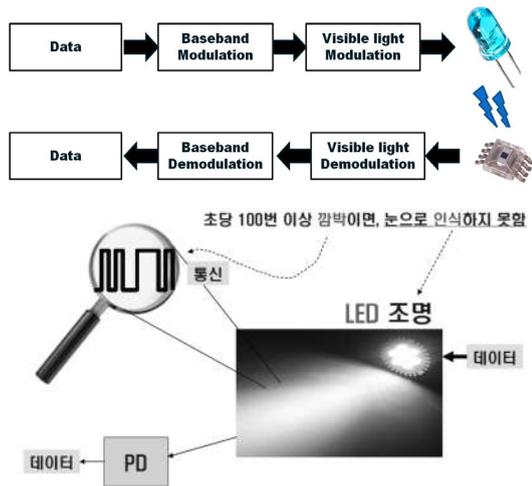


그림 2. 가시광 무선통신의 기본 개념
 Fig. 2. Basic concepts of VLC

2. VLC의 특징 및 다른 기술들과의 비교

표 1에서^[8] 설명하고 있는 것처럼, LED를 사용한 조명은 다른 조명과 비교하여 상대적으로 광원효율, 수명 및 소비전력이 우수함을 알 수 있다. 표 2은 VLC의 특징 및 다른 기술들과의 비교를 설명한다.^[9]

표 2에서 설명하고 있는 것처럼 VLC 기술은 사용하고자 하는 응용에 따라서 많은 장점을 가지고 있음을 알 수 있다. 표 2에서 언급된 내용 이 외에 VLC 기술의 주요한 장점으로는 EM의 영향력으로부터 강력하고, 인간의 시력에 대해서 안전하며, 원하지 않는 네트워크 접근으로부터 보안성이 매우 좋다. 하지만 VLC 기술에서 해결해야할 주요한 문제 중에 하나는 신뢰성 있는 통신 제한된 범위이다. 이와 같은 문제는 주로 광통신이 가지고 있는 non-coherent 특성과 LED의 제한된 출력 전력에 기인한다.^[9]

표 1. 조명별 비교

Table 1. Comparisons of lighting equipments

	백열등	형광등	LED
광원효율 (lm/W)	20	100	100
수명 (시간)	1,000	20,000	100,000
소비전력 (W)	60	15	6.4
Safety	Very hot	Contain Hg	Very hot
Noise	No	Yes	No

3. VLC 기술의 최근 이슈

VLC 기술의 최근 이슈들^[3] 중에서 중요한 내용들을 중심으로 설명하면 다음과 같다.

- **변조(Modulation)**^[4]: 현재 VLC에서 사용되고 있는 변조기술들에는 다음과 같은 기술들이 있다. VLC OOK, OOK-CDMA VLC-CDMA, OFDM, QAM-DMT, PCM, SC-BPSK, PDSM, VPPM, CSK, CAP. 그 외 현재 VLC 기술의 다양한 응용에 따라서 활발한 변조 기술들에 대한 연구가 진행되고 있다.
- **가시광 무선통신을 위한 채널 연구**: 적외선 무선통신의 경우 950nm의 적외선을 이용하는 반면, 가시광 무선통신은 가시광 대역(380nm~780nm)의 전자기파를 이용하여 통신을 한다. 그러므로 기존의 RF 대역을 사용하는 통신 방식과는 많은 차이점이 있을 것으로 예상된다. 하지만 아직까지 가시광 무선통신을 위한 채널 특성에 대한 연구가 미비하며, 공식적인 채널 모델이 없어 이에 대한 연구가 필요하다.
- **가시광 무선통신 PHY 기술**: 가시광 무선통신 PHY 기술은 물리계층의 송수신 PHY와 LED 조명과 통신과의 인터페이스를 효과적으로 지원하기 위해서 필요한 기술이다^[10]. 효과적인 VLC 지원을 위해서는 이에 대한 진일보된 연구가 필요하며, 가장 활발하게 연구진행이 이루어지고 있는 기술 분야이다.
- **가시광 무선통신 MAC 기술**: 데이터 계층의 데이터 무결성 보장을 하는 것으로써 단대단 통신에 사용할 Peer-to-Peer MAC과 LAN 통신에 사용할 MAC에 대한 연구가 필요하다.
- **가시광 무선통신 응용프로토콜**: 자동차 안전, M-to-M 프로토콜, 초고속 센서프로토콜, 조명식 별번호, 위치기반 추적서비스, 저속광 태그 서비스, 국부적 제한 방송 등 가시광 무선통신 응용프로토콜에 대한 연구가 필요하며, 활발하게 연구진행이 이루어지고 있다.
- **가시광 무선통신 송수신 모듈**: 가시광통신의 송수신 모듈 기본 동작은 다음과 같다. 입력된 데이터 전송을 위해서 송신부에서는 Channel Encoder, Interleaving 과정과 LED를 거쳐서 펄스 신호를 수신부로 전송하게 된다. VLC channel을 거쳐서

전송된 신호를 수신부에서는 먼저 PD(Photodiode)가 검출하고, Channel Decoder, Deinterleaving 과정을 거쳐서 수신된 신호를 데이터로 출력하게 된다. 여기서 광원의 세기 변조(Optical Intensity Modulation: OIM) 방식과 PD를 이용한 광세기 직접검출(Direct Detection : DD) 방식으로 신호를 변복조 하는 방법이 사용되어 질 수 있다. 현재 VLC를 효과적으로 지원하기 위한 다양한 방법의 송수신 모듈에 대한 연구도 지속적으로 진행되고 있다^[11,12].

- **이동성(Mobility)**^[5]: VLC에서 이동성 기술(handover (HO))은 모바일 디바이스들이 이동을 할 때 끊어짐이 없이 통신연결을 지원하는 기술을 말한다. 이동성 기술은 주로 두 개의 다른 시나리오, Overlapping(uniform lighting)과 Non-overlapping (spot lighting), 에서 끊어짐이 없는 통신 서비스를 제공하기 위한 기술로서 VLC 디바이스들 사이에 조정과 협력을 제공한다. 앞으로는 이동 디바이스들에 대한 VLC 응용 서비스가 크게 증가할 것으로 예상되므로 이에 대한 연구가 필요하다.
- **유비쿼터스 서비스 지원 기술**: 유비쿼터스 서비스를 지원하기 위한 VLC 기술의 응용 및 적용분야는 다음과 같다. 자동차 안전 서비스 기술, 조명 식별번호 서비스 기술, 위치인식 서비스 기술, M-to-M 서비스 기술, 초고속 센서 서비스 기술, 저속 광 태그 서비스 기술, 국부 방송 서비스 기술. 그 외 현재 VLC 기술의 다양한 유비쿼터스 서비스 지원에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다.
- **가시광 무선랜 기술**: 기존 RF 통신 시스템과는 달리 무선 가시광 통신이 제공할 수 있는 정보의 가시성은 단말이 기지국에 초기 접속하는 경우나 통신 장애에 의해서 사용자가 단말의 전송 신호의 방향을 재설정해야 하는 경우에 신호의 변화를 통해 사용자에게 가시광 링크의 상태 정보를 제공할 수 있다. 그러나 가시광 무선랜 시스템에서 서비스 받는 사용자의 수가 증가함에 따라 확보할 수 있는 무선 자원이 부족하여 정보의 가시성을 제공하기 어려워지는 문제점이 있다. 따라서 이에 대한 연구가 필요하다^[6,7].

III. VLC 기반 전송시스템

1. VLC 기반 전송시스템의 분류

그림 3은 VLC 기반 전송시스템들의 분류를 보여주고 있다. 본 논문에서는 통신전송방법에 따라서 Simplex 전송방법 및 Duplex 전송방법으로 먼저 분류하고, 전송범위에 따라서 Single-hop (without relays) 전송 및 Multi-hop(with relays) 전송 방법으로 분류 하였다.

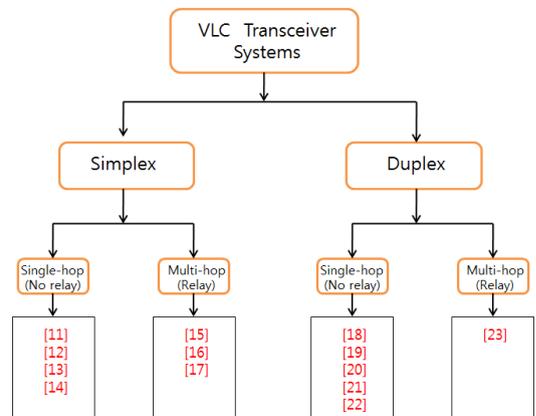


그림 3. VLC 기반 전송시스템의 분류

Fig. 3. Classification of VLC based transmission systems

2. VLC 기반 Simplex 전송시스템

가. Single-hop(without relay)

- **Fully integrated audio, video, and data VLC transceiver system**^[13]: 논문^[13]은 VLC 기반 비디오, 오디오 및 데이터를 함께 전송할 수 있는 VLC 기반의 Single-hop 단방향 전송 시스템을 제안 하였다. 특히 본 연구는 휴대용 통신 디바이스들(예:Android smart phones)과 VLC를 결합할 수 있음을 제시하고 있다.
- **1.1-Gb/s White-LED-Based Visible Light Communication**^[14]: 논문^[14]은 1.1Gb/s 전송률을 지원할 수 있는 VLC 기반 Single-hop 단방향 전송시스템을 제안 개발 하였다. 특히 제안된 시스템은 CAP 변조방법이 사용되고, VLC 시스템의 용량을 최대화하기 위한 여러 가지 방법들을 제시하고 있다.
- **LED 통신기반 PC-PC 전송시스템**^[15]: 본 논문^[15]에서는 LED 통신을 이용한 PC-PC Single-hop

텍스트 데이터 단방향 전송시스템을 구현하였다(그림 4). 구현된 시스템의 성능평가를 위해서 송수신부 양 끝에 컴퓨터를 연결한 다음, 텍스트 전송프로그램을 이용하여 텍스트를 전송하였다. 이때 보드 레이트(baud rate), LED 색깔, 전송거리 등 다양한 변화를 주면서 실험을 진행하였다.



그림 4. LED 통신기반 PC-PC 전송시스템
 Fig. 4. LED communication-based PC-PC Transmission System

- **OFDM Visible Light Communication**^[16]: 연구^[16]에서는 OFDM 기반의 Single-hop 단방향 VLC 시스템을 소개하고 있다. FEC 코딩이 사용되고, QPSK를 가지는 COFDM(coded OFDM) 변조 방법을 사용한다. 송수신 측 사이의 거리가 90cm 일 때, 측정 실험 결과 2×10^{-5} BER을 얻을 수 있음을 보였다.

나. Multi-hop(Relay)

- **LED 통신기반 멀티 홉 무선 전송네트워크시스템**^[17]: 논문^[17]에서는 LED 통신 기반 Multi-hop 무선 텍스트 단방향 전송네트워크시스템을 설계 구현하였다(그림 5). 설계된 시스템의 특징은 장거리 멀티 홉 전송지원을 위해서 PD, OP-Amp 및 LED로 구성된 릴레이로 시스템이 구성되었다는 데 있다. 설계된 시스템의 성능평가를 위해서 보드 레이트, 전송거리 등 다양한 변화를 주면서 실험을 진행하였다.

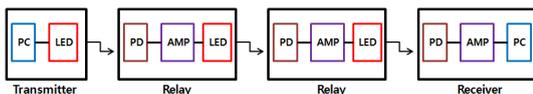


그림 5. LED 통신기반 멀티홉 무선 텍스트 데이터 전송 시스템^[10]
 Fig. 5. LED communication-based multi-hop wireless text data transmission System

- **LED 통신 기반 멀티 홉 오디오 데이터 전송네트워크 시스템**^[18]: 논문^[18]에서는 LED 통신기반

Multi-hop 오디오 단 방향 데이터전송 네트워크시스템을 제안 개발한다(그림 6). 본 시스템의 특징은 LED 통신기반으로 Multi-hop을 경유하여 오디오 데이터를 장거리 전송이 가능한 전송네트워크 시스템을 개발하는 것이다. 전송부에서 오디오 데이터는S/PDIF 포맷으로 인코딩 되어 보통의 LED로 통해 전송된다. 릴레이에서는 디지털 오디오 신호를 포토다이오드로 데이터를 수신 받아 에어체크 및 증폭을 하여 수신부로 전송한다. 수신부에서는 포토다이오드로부터 받은 인코딩된 오디오 데이터를 디코딩 및 증폭을 하여 아날로그 오디오 신호로 컨버팅을 한다.



그림 6. LED 통신 기반 오디오 데이터 전송 시스템
 Fig. 6. LED communication based audio data transmission system

- **Cooperative Multi-hop Visible Light Communication**^[19]: 본 연구^[19]에서는 VLC 시스템의 연결성을 향상시키기 위해서 릴레이들을 사용하는 협력 Multi-hop VLC 단 방향 전송 시스템을 소개한다. 본 연구의 특징은 LED 통신의 짧은 전송범위, 협소한 가시범위, 물체들에 의한 방해 등이 VLC에서 연결성을 가로막는 요소들임을 인식하고, VLC 전송 시스템에서 장거리 전송을 위한 협력통신의 연결성 성능은 LOS 채널 모델, 릴레이 선택 알고리즘, 사용자 속도, LED의 전력 및 PD의 가시범위 등에 의해서 특징지어진다는 것을 보였다는데 그 의미가 있다.

3. VLC 기반 Duplex 전송시스템

가. Single-hop(No relay)

- **LED Lighting for Ubiquitous Indoor Wireless Networking**^[20]: 논문^[20]에서는 유비쿼터스 실내 무선 네트워크를 지원하기 위한 VLC 기반의 Single-hop 양방향 전송 시스템을 제안개발 한다. 제안된 시스템에서는 유비쿼터스 실내 네트워크를 효과적으로 지원하기 위한 변복조 및 멀티플 액세스 방법이 소개 되고 있다.
- **High-Speed Visible Light Communication**

System^[21]: 논문^[21]은 최근 고속 실내 VLC 연구에 대한 연구결과들을 소개하고 있다. 그림 7에서^[21] 보여주고 있는 것처럼 본 논문은 실시간 전송, 특히 500 Mb/s 성능을 가지는 양방향 실시간 VLC 시스템을 제안 개발하였다.

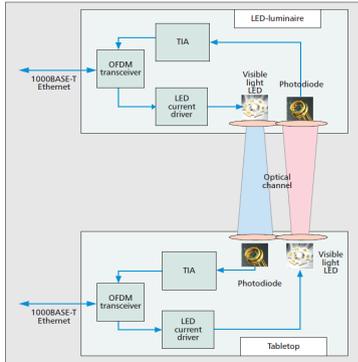


그림 7. 고속 양방향 VLC 시스템
Fig. 7. High-Speed Bi-directional VLC

• **Indoor Optical Wireless Communication**

System^[22]: 연구^[22]에서는 실내 광 무선 Single-hop 양방향 VLC 통신 시스템이 소개된다. 그림 8에서^[22] 설명하고 있는 것처럼, 제안된 시스템의 주요한 특징은 다음과 같다. 하향링크에서 흰색 LED 램프를 사용하고, 상향링크에서 Infrared LED를 사용한다. 조명과 광 전력분포가 분석되고, 펄스 응답에 영향을 주는 3가지 요소들, “LED emitting property, multiple positions of light sources, path differences in the diffuse channel”, 에 대한 분석이 이루어진다. 본 시스템은 64 Kbps 전송 성능을 보여준다.

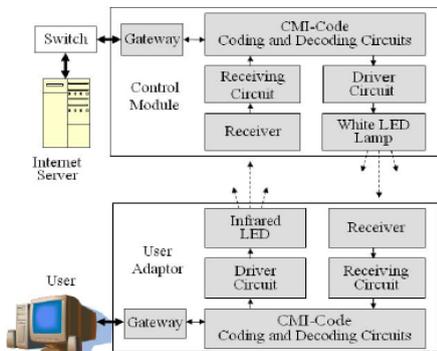


그림 8. 실내 양방향 VLC 시스템
Fig. 8. Indoor bi-directional VLC system

• **Modulations and protocols suitable for visible light communications channels^[23]:**

연구^[23]에서는 VLC 기반의 비디오 브로드캐스트 및 홈 자동화와 같은 실내 서비스를 지원하기 위한 VLC Single-hop 양방향 전송시스템을 제안된다. 그림 9에서^[23] 설명하고 있는 것처럼, 제안된 시스템은 2Mbps 하향링크(와 125 kbps Infrared 상향링크가 사용된다. 특히 본 연구에서는 VLC의 실내 서비스를 위한 Ethernet 인터페이스, VLC 변조 기술, VLC를 적용하기 위한 센서네트워크 기술들을 제안 개발하여 소개하고 있다.

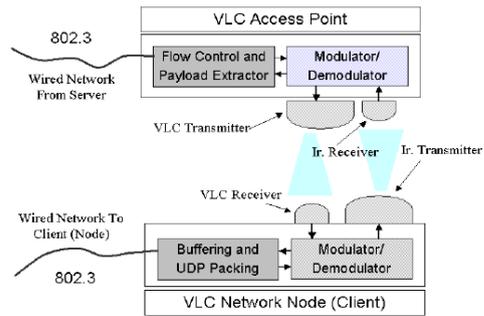


그림 9. VLC 기반의 양방향 실내 서비스
Fig. 9. VLC based bi-directional Indoor service

• **Low-Complexity Visible Light Networks^[24]:**

기존의 VLC에 대한 연구는 주로 광대역 백색 LED를 사용하여 이루어져 온 반면에, 본 연구^[24]에서는 좁은 대역 및 칼라 LED(를 사용한 LED-to-LED Single-hop 양방향 통신의 네트워크 프로토콜과 통신을 제안 개발하였는데 그의 미가 있다.

나. Multi-hop(Relay)

• **Full-duplex relay VLC^[10]:**

현재 VLC 기술에서는 해결해야할 여러가지 문제들이 존재한다. 그 중에서 신뢰성 있는 통신 범위(즉, VLC range) 문제들을 해결하기 위해서 본 연구에서는 완전 양방향 릴레이 VLC 시스템을 제안 개발하였는데(그림 10)^[10], 본 연구의 의미가 있다.

릴레이에서는 Amplify-and-Forward 및 Decode-and-Forward 동작이 이루어진다. 실내 환경에서 릴레이를 사용한 VLC 시스템이 상대적으로 직접 링크를 사용

한 VLC 시스템에 비해서 더 우수한 성능(BER)을 보여 주었다.

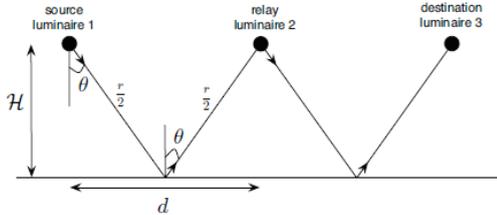


그림 10. VLC 기반 양방향 멀티 홉 전송
 Fig. 10. VLC based Full-duplex multi-hop transmission

4. VLC 기반 전송시스템들의 비교분석

표 3은 최근 논문에 발표된 13개의 VLC 기반 전송시스템들에 대한 정성적인 비교분석을 설명한다. 정성적인 비교 분석에 사용된 파라미터들은 다음과 같다. 전송 데이터(텍스트, 오디오, 비디오), 전송거리(Single-hop [without relay], Multi-hop [with relay] 전송속도, 전송방향 (전송채널: Simplex, Duplex), 응용 및 적용. 표 3에서 설명하고 있는 것처럼, 전송데이터는 텍스트 데이터 전송에 관한 연구가 오디오 데이터 및 비디오 데이터 전송에 비해서 상대적으로 많은 연구가 이루어졌음을 알 수 있다. 전송거리에서는 현재까지 Single-hop에 대한 연구가 Multi-hop에 관한 연구보다 활발하게 진행되었음을 알 수 있다. 하지만 멀티 홉 VLC에 대한 연구도 최근에 활발하게 이루어지고 있음을 알 수 있다. 전송속도에서는 실시간 전송, 고속전송 등 다양한 전송속도를 지원할 수 있는 VLC 시스템들이 활발하게 연구 개발되고 있음을 알 수 있다. 전송방향(전송채널)에서는 단방향(Simplex) 및 양방향(Duplex) 전송에 대한 연구가 모두 활발하게 진행되고 있음을 알 수 있다. 응용 및 적용에서는 휴대용 다비이스들을 지원서비스, 고속전송 서비스, 근거리 및 장거리 전송서비스, 단방향 및 양방향 전송서비스 등 다양한 서비스 분야로의 응용 및 적용이 시도되고 있음을 알 수 있다. 따라서 앞으로 VLC에 대한 연구개발은 빠른 속도로 확산될 것으로 기대된다.

IV. VLC 기반 응용기술들

VLC 기술은 다음처럼 여러 분야에 응용되고 있

며, 그 응용분야와 범위는 점진적으로 증가할 것으로 판단된다.^[5-9,25-30]

- 위치정보제공서비스
- 국방방송서비스
- 항공기내 무선통신 서비스
- 교통정보서비스
- 병원등과 같이 RF 무선통신이 금지된 지역에서의 무선통신 서비스
- LED 전조등과 후미등을 이용한 차량간 무선통신 서비스
- 수중에서의 무선통신 서비스
- 자동차 안전서비스: 가시광통신과 결합한 텔레메틱스
- LED 전조등과 후미등을 이용한 차량간 무선통신 서비스
- 수중에서의 무선통신 서비스
- 조명식별번호 서비스
- M-to-M 서비스
- 초고속 센서 서비스: 유비쿼터스 제어 및 대용량 정보교환
- 저속 광 태그 서비스
- 전력선 통신과의 융합 서비스

등을 포함하여 다양한 서비스가 현재 IEEE 802.15.7 TG VLC에서 활발하게 논의되고 있다.

V. 결론

본 논문에서는 현재까지 연구개발 발표된 VLC 기반 전송기술 및 시스템들을 조사 분석하고, 앞으로의 방향을 설정한다. 첫째, VLC의 특징 및 다른 기술들과의 비교를 기술한다. 둘째, VLC 기술의 최근 이슈를 소개 설명한다. 셋째, 지금까지 연구개발 발표된 VLC 기반 전송시스템들 중에서 대표적인 것들을 통신 및 전송 측면에서 분류하고 각각의 전송 시스템들을 특징 및 장단점들을 중심으로 설명한다. 넷째, 분류 설명된 VLC 기반 전송시스템들을 정성적으로 그 성능을 비교평가 한다. 그리고 마지막으로 VLC의 주요한 응용 기술들에 대하여 설명을 한다. 본 논문에서 기술한 VLC 기반 전송기술 및 시스템들에 대한 조사 분석 내용이 앞으로 VLC에 관한 연구개발에 기초자료 및 방향 설정에 작은 기여를 할 것으로 기대한다.

표 2. 다른 기술들과 VLC의 비교

Table 2. VLC Comparison with other Technologies

Property	VLC	Infrared	WiFi	UWB
Coverage Range	Short and wide	Short and wide	Wide	Short
Line of Sight (LOS)	Yes	Yes	No	No
Wavelength	400-700 nm	800-1600 nm	12.5 cm	2.8-9.6 cm
Services	Communication & Illumination	Communication	Communication	Communication
Frequency Regulation	No	No	Yes	No
EMI	No	No	Yes	Yes
Security	Yes	Yes	No	No

표 3. VLC 기반 전송시스템들의 비교분석

Table 3. Comparison of transmission systems based on VLC

VLC 시스템	전송데이터			전송거리		전송속도	전송방향(전송채널)		응용 및 적용
	Text	Audio	Video	One-hop (without relays)	Multi-hop (with relays)		Simplex	Duplex	
[19]	o	o	o	o		실시간	o		portable cpmn. devices
[20]	o			o		1.1Gb/s	o		high speed VLC
[21]	o			o		실시간	o		short trans.VLC
[22]	o			o		실시간	o		short trans. VLC ((BER: 2×10^{-5})
[23]	o				o	실시간	o		long distance VLC
[24]	o	o			o	실시간	o		long distance VLC
[25]	o				o	실시간	o		long distance VLC
[26]	o			o		1 Mb/s		o	two way VLC
[27]	o			o		500 Mb/s		o	two way VLC
[28]	o			o		64 Kb/s		o	two way VLC
[29]			o	o		2Mb/s		o	two way VLC
[30]	o			o		870 Kb/s		o	two way VLC
[16]	o				o	실시간		o	two long way VLC (BER: 1×10^{-4})

References

- [1] Toshihiko Komine, Masao Nakagawa, "Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED Lights," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 50, No. 1, pp.100-107, February 2004.
- [2] Toshihiko Komine and Masao Nakagawa, "A study of shadowing on indoor visible-light wireless communication utilizing plural white LED lightings," Proc. of ISWCS 2004, pp.36-40, 2004.
- [3] Abdullah Sevincer, Member, Aashish Bhattarai, Mehmet Bilgi, Murat Yuksel, and Nezih Pala, "LIGHTNETs: Smart LIGHTing and Mobile

- Optical Wireless NETWORKS – A Survey,” IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 15, NO. 4, FOURTH QUARTER 2013.
- [4] Anand M, Prasoon Mishra, “A Novel Modulation Scheme for Visible Light Communication,” Proc. of INDICON 2010, December 2010.
- [5] Vegni, A.M. ; Little, T.D.C., “Handover in VLC systems with cooperating mobile devices,” Proc. of ICNC2012, pp.126–130, January 2012.
- [6] Y. Gu, A. Lo, and I. Niemegeers, “A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks,” IEEE Comm. Surveys & Tutorials, vol 11, pp. 13–32, March 2009.
- [7] Ranjee Prasad, Albenia Mihovska, Ernestina Cianca, Sandeep Mukherjee, “Comparative Overview of UWB and VLC for Data- Intensive and Security-Sensitive Applications,” Proc. of ICUWB 2012, September 2012.
- [8] H.Y. Chul, J.I. Lee, B.G. Yoo, “Trends in Technology of OLED Lighting,” ETRI, Electronics and Telecommunications Technology Analysis v.24, no.6, pp.22–31, December 2009.
- [9] Shahid Ayub, Mahsa Honary, Sharadha Kariyawasam, Bahram Honary, “A Practical Approach of VLC Architecture for Smart City,” 2013 Loughborough Antennas & Propagation Conference, November 2013.
- [10] Hongming Yang, Ashish Pandharipande, “Full-duplex relay VLC in LED lighting linear system topology,” IEEE Proc. of IECON 2013, pp.6075–6080, November 2013.
- [11] Seoksu Song, Youngsik Kong, Jinwoo Park, “Investigation of visible light communication transceiver applicable to both of illumination and wireless communication,” J-KICS, v.37, no.4A, pp.219–226, April 2012.
- [12] Tae-Su Jang, Jae-Hyun Kwon, Yong-Kab Kim, Choon-Bae Park, “A LED Light Communication Transceiver Module for Ubiquitous Sensor Networks,” J-KICS, v.7, no.6, pp.1513– 1518, December 2012.
- [13] Lih Chieh Png, “A Fully Integrated Audio, Video, and Data VLC Transceiver System for Smart phones and Tablets,” IEEE Proc. of ISCE2013, pp.249–250, June 2013.
- [14] Fang-Ming Wu, Chun-Ting Lin, Chia-Chien Wei, Cheng-Wei Chen, Hou-Tzu Huang, and Chun-Hung Ho, “1.1-Gb/s White-LED-Based Visible Light Communication Employing Carrier-Less Amplitude and Phase Modulation,” IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 24, NO. 19, pp.1730–1732, OCTOBER 1, 2012.
- [15] Kyusung Shim, Le The Dung, Beongku An, In-jung Park, “LED Communication- based PC-PC Transmission System,” JIWIT, vol.12, no.1, pp.181–187, February 2012.
- [16] H. Elgala, R. Mesleh, H. Haas and B. Pricope, “OFDM Visible Light Wireless Communication Based on White LEDs,” IEEE Proc. of VTC2007–Spring, pp.2185–2189, April 2007.
- [17] Seungwan Jo, Le-The Dung, Beongku An, “LED Communication-based Multi-hop Wireless Transmission Network System,” JIWIT, vol.12, no.4, pp.37–42, August 2012.
- [18] Seung Wan Jo, Le The Dung, and Beongku An, “LED Communication based Multi-hop Audio Data Transmission Network System,” Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea vol. 50, no. 6, June 2013.
- [19] Helal Chowdhury, Marcos Katz, “Cooperative Multihop Connectivity Performance in Visible Light Communication,” IEEE Proc. of IFIP 2013, Wireless Days(WD), pp.1–4, November 2013.
- [20] T.D.C. Little, S P. Dib, K. Shah, N. Barraford, and B. Gallagher, “Using LED Lighting for Ubiquitous Indoor Wireless Networking,” IEEE ICOS2013, pp.231–236, December 2008.
- [21] Liane Grobe, Anagnostis Paraskevopoulos, Jonas Hilt, Dominic Schulz, Friedrich Lassak, Florian Hartlieb, Christoph Kottke, Volker Jungnickel, and Klaus-Dieter Langer, Heinrich Hertz Institut, “High-Speed Visible Light Communication

- System,” IEEE Communications Magazine, vol.51, issue 12, pp.60-66, December 2013.
- [22] Wang Rui, Duan Jing-yuan, Shi An-cun Wang Yong-jie, Liu Yu-liang, “Indoor Optical Wireless Communication System Utilizing White LED Lights,” IEEE Proc. of APCC 2009, pp.617-621, October 2009.
- [23] J. Rufo, C. Quintana, F. Delgado, J. Rabadan, and R. Perez-Jimenez, “Considerations on modulations and protocols suitable for visible light communications (vlc) channels: Low and medium baud rate indoor visible light communications links,” IEEE Proc. of CCNC2011, pp.362-364, January 2011.
- [24] Domenico Giustiniano, Nils Ole Tippenhauer, Stefan Mangold, “Low-Complexity Visible Light Networking with LED-to-LED Communication,” IEEE Proc. of IFIP Wireless Days(WD), November 2012.
- [25] Hoa Le Minh, D. O’Brien, G. Faulkner, Lubin Zeng, Kyungwoo Lee, Daek wang Jung, YunJe Oh, and Eun Tae Won, “100-mb/s nrz visible light communications using a post equalized white led,” IEEE Photonics Technology Letter, vol. 21, no. 15, pp. 1063-1065, August 2009.
- [26] T. Komine, S. Haruyama, and M. Nakagawa, “Bidirectional visible light communication using corner cube modulator,” IEIC Technical Report, vol. 102, no. 546, pp. 41-46, 2003.
- [27] Ke Wang, Nirmalathas, A. Lim, C. Skafidas, E., “Indoor gigabit full-duplex optical wireless communication system with SCM based multiple-user access,” IEEE Proc. of 2011 Asia-Pacific, MWP/APMP, pp.45-48, October 2011.
- [28] Ke Wang, Ampalavanapillai Nirmalathas, Christina Lim, Efstratios Skafidas, “Experimental Demonstration of a Full-Duplex Indoor Optical Wireless Communication System,” IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 24, NO. 3, FEBRUARY 1, 2012.
- [29] Liu, Y.F, Chow, C.W, Yeh, C.H, “Time division duplex for preventing reflection interference in visible light communication,” IEEE Proc. of WOCC 2012, pp.175-177, April 2012.
- [30] Lipeng Fan, Liwei Ding, Fang Liu, Yongjin Wang, “Design of wireless optical access system using LED based android mobile,” IEEE Proc. of WCSP 2013, pp.1-4, October 2013.

저자 소개

안 병 구(중신회원)



- 1988년 : 경북대학교 전자공학과(BS)
- 1996년 : (미)Polytechnic University, Dept. of Computer and Electrical Eng., USA (MS).
- 2002년 : (미)New Jersey Institute of Technology (NJIT), Dept. of Computer and Electrical Eng. USA (Ph.D)
- 1989년~1994년 : 포항산업과학기술연구원(RIST), 선임연구원
- 2012년 : 대한전자공학회 컴퓨터소사이터티 회장
- 2003년~현재 : 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수
- 2005년~2012년 : Marquis Who's Who in Science and Engineering was listed.(세계과학기술인명사전 등재)
- 2006년~2013년 : Marquis Who's Who in the World was listed.(세계인명사전 등재)
- 주관심분야 : Wireless Networks, Ad-hoc & Sensor Networks, Multicast Routing, QoS Routing, VLC, Cognitive Radio Networks, Cross-Layer Technology, Cooperative Communication, Network Coding, Bioinformatics

※ 이 논문은 2013학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음