



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년08월13일
 (11) 등록번호 10-2010640
 (24) 등록일자 2019년08월07일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 H04B 10/116 (2013.01) H04B 10/114 (2013.01)
 H04B 10/50 (2013.01) H04B 10/516 (2013.01)
- (52) CPC특허분류
 H04B 10/116 (2013.01)
 H04B 10/1149 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2017-0017518
- (22) 출원일자 2017년02월08일
 심사청구일자 2017년02월08일
- (65) 공개번호 10-2018-0092132
- (43) 공개일자 2018년08월17일
- (56) 선행기술조사문헌

- (73) 특허권자
 세종대학교산학협력단
 서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
- (72) 발명자
 김형석
 서울특별시 광진구
 무하마드 타비쉬 니하즈
 서울특별시 광진구 능동로 209 세종대학교
- (74) 대리인
 김현승, 홍석철

Jing Huang, et.al., "10 Gb/s WDM-PON Using Downstream OFDM and Upstream OOK", Computer and Information Science, Vol.4, No.2, pp.34-38(2011.03.) 1부.*

Sarangi Devasmitha Dissanayake, et.al., "Comparison of ACO-OFDM, DCO-OFDM and ADO-OFDM in IM/DD Systems", Journal of Lightwave Technology, Vol.31, No.7, pp.1063-1072(2013.01.21.) 1부.*

Yuanquan Wang, et.al., "875-Mb/s Asynchronous Bi-directional 64QAM-OFDM SCM-WDM Transmission over RGB-LED-based Visible Light Communication System", 2013 Optical Fiber Communication Conference and Exp*

Zhong Zheng, et.al., "Experimental Demonstration of Femtocell Visible Light Communication System Employing Code Division Multiple Access", 2015 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

전체 청구항 수 : 총 6 항

심사관 : 장진환

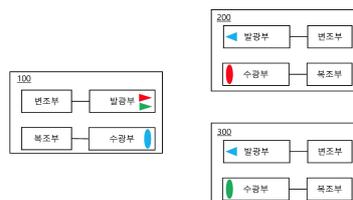
(54) 발명의 명칭 **다중 사용자 전이중 가시광 통신 장치**

(57) 요약

복수의 사용자장치와 복수의 스마트장치가 접근 가능한 실내 환경의 스마트홈 네트워크에 적용될 수 있는 다중 사용자 전이중 방식의 가시광 통신 시스템을 제공한다. 본 발명의 실시예에 따른 가시광 통신 시스템의 가시광 통신 장치는 가시광을 발광하도록 구성된 발광부 및 전송될 신호를 변조하도록 구성된 변조부를 포함하되, 상기

(뒷면에 계속)

대표도



발광부는 적색광 대역의 가시광을 발광하는 적색 LED 및 녹색광 대역의 가시광을 발광하는 녹색 LED를 포함하고, 상기 변조부는 스마트장치로 전송될 스마트장치 신호 및 사용자장치로 전송될 사용자장치 신호를 각각 변조하여 변조된 스마트장치 신호 및 변조된 사용자장치 신호 각각을 상기 적색 LED에 의해 방사되는 적색광 및 상기 녹색 LED에 의해 방사되는 녹색광 각각을 통해 전송되도록 상기 적색 LED 및 상기 녹색 LED로 전달한다.

(52) CPC특허분류

H04B 10/502 (2013.01)

H04B 10/516 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NRF-2016R1A2B4008457

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 중견연구지원사업

연구과제명 압축센싱과 자원할당기술 기반의 저전력 고효율 가시광통신시스템 연구개발

기 여 율 1/1

주관기관 세종대학교 산학협력단

연구기간 2016.06.01 ~ 2017.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

복수의 사용자장치와 복수의 스마트장치가 접근 가능한 실내 환경의 스마트홈 네트워크에서 동작하는 가시광 통신 장치에 있어서,

가시광을 발광하도록 구성된 발광부; 및

전송될 신호를 변조하도록 구성된 변조부;를 포함하되,

상기 발광부는 적색광 대역의 가시광을 발광하는 적색 LED 및 녹색광 대역의 가시광을 발광하는 녹색 LED를 포함하고,

상기 전송될 신호는 녹색 광 필터 없이 적색 광 필터가 장착된 사용자장치로 전송될 사용자장치 신호와, 적색 광 필터 없이 녹색 광 필터가 장착되고 사람의 개입 없이 데이터를 주고 받을 수 있는 스마트장치로 전송될 스마트장치 신호로 구분되어, 상기 사용자장치는 상기 사용자장치에 장착된 상기 적색 광 필터를 통과한 적색광 대역의 가시광으로부터 상기 사용자장치 신호를 검출하고 상기 스마트장치는 상기 스마트장치에 장착된 상기 녹색 광 필터를 통과한 녹색광 대역의 가시광으로부터 상기 스마트장치 신호를 검출하도록, 상기 변조부는 상기 사용자장치 신호를 변조하고 상기 변조된 사용자장치 신호를 상기 적색 LED에 의해 방사되는 적색광을 통해 전송되도록 상기 적색 LED로 전달하며, 상기 스마트장치 신호를 변조하고 상기 변조된 스마트장치 신호를 상기 녹색 LED에 의해 방사되는 녹색광을 통해 전송되도록 상기 녹색 LED로 전달하는 가시광 통신 장치.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 스마트장치 신호는 상기 복수의 스마트장치 각각에 전송되어야 할 데이터를 고유 직교 왈시 코드(unique orthogonal Walsh codes)를 이용하여 확산(spreading)시켜 얻어진 코딩된 데이터 스트림들을 결합하여 생성되고,

상기 사용자장치 신호는 상기 복수의 사용자장치 각각에 전송되어야 할 데이터를 고유 직교 왈시 코드를 이용하여 확산시켜 얻어진 코딩된 데이터 스트림들을 결합하여 생성된 것인 가시광 통신 장치.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 스마트장치 신호 및 상기 사용자장치 신호는 ACO-OFDM(Asymmetrically clipped optical orthogonal frequency division multiplexing) 기법에 의해 변조되는 가시광 통신 장치.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 복수의 스마트장치 및 상기 복수의 사용자장치로부터 광신호를 수광하는 수광부; 및

상기 수광부로부터 전달된 수신 신호를 복조하는 복조부;를 더 포함하는 가시광 통신 장치.

청구항 5

제4 항에 있어서,

상기 수광부는 청색광 대역의 가시광을 통과 대역으로 하는 청색 광 필터;

상기 청색 광 필터를 통과한 청색광 대역의 가시광으로부터 상기 수신 신호를 검출하는 포토디텍터(Photodetector)를 포함하는 가시광 통신 장치.

청구항 6

제5 항에 있어서,

상기 수신 신호는 OOK(On Off Keying) 기법으로 변조된 것인 가시광 통신 장치.

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 가시광 통신에 관한 것으로, 보다 상세하게는 다중 사용자 전이중 방식이 적용된 가시광 통신 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 무선 기술이 수요에 대처하기 위해 노력하는 동안 네트워크 연결 장치의 수가 급속하게 증가하고 있다. 다양한 네트워크 연결 장치를 통해 고화질 비디오를 시청하고 클라우드 기반 서비스에 액세스하는 것은 데이터 용량의 소비를 동반한다. 데이터 용량의 소비중 많은 부분은 가정, 쇼핑몰, 항공기 및 기타 차량의 스마트장치와 같은 실내 환경에서 발생한다. 데이터 사용에 대한 이러한 높은 수요는 앞으로도 지속적으로 커질 것으로 예상된다. 네트워크의 데이터 전송 속도와 용량의 한계를 극복하기 위한 노력이 지속적으로 이루어지고 있다. 무선 주파수(Radio Frequency, RF) 대역의 경우 기존에 다양한 통신, 네트워크 시스템에 의해 사용되어 매우 혼잡한 상태인 까닭에 가시광 통신(Visible Light Communication, VLC)은 사용자 수요와 용량 간의 격차를 줄이기 위해 사용될 수 있는 주요 기술로 주목 받고 있다.

[0003] VLC는 발광 다이오드(Light Emitting Diode, LED)를 사용하여 조명 기능을 제공함과 동시에 데이터 통신을 수행할 수 있다. VLC는 다가오는 5G 네트워크의 필수적인 부분이 될 수 있는 잠재력을 보여주고 있다. 5G 네트워크의 경우 데이터 트래픽이 1000 배 증가 할 것으로 추정되고, 이러한 요구를 충족시키기 위해 5G 네트워크는 보다 효율적인 기술에 의존하여야 한다. 가령, 더 작은 셀 (atto-cell), 추가 스펙트럼, 에너지 효율적인 통신 및 이기종 네트워크 (Het-Net) 통합 관련 기술이 적용될 가능성이 높다.

[0004] VLC는 전통적인 무선 주파수(RF) 무선 통신과 비교할 때 많은 장점을 가지고 있다. 가시 광선 스펙트럼은 무료이고, 가시광은 고체 물체를 통과 할 수 없으므로 제한된 실내에서 사용될 경우 보안상 이점을 가지고 있다. 또한 LED가 설치된 곳이면 어디에나 배치 할 수 있으며, 높은 조도 요구 때문에 일반적으로 신호 대 잡음비 (SNR)가 높다.

[0005] VLC가 높은 대역폭 밀도를 제공 할 수 있다는 점은 다가오는 RF 기반 네트워크가 직면하는 고 대역폭 문제에 대한 해결책을 제시할 수 있다. 앞서 기술한 VLC의 긍정적인 특성을 고려하면 VLC는 5G 네트워크에서 Het-Nets를 지원하는 보완 기술로 적합할 수 있다.

[0006] 다중 사용자 전이중(full duplex) VLC 시스템에 관한 한, 문헌에 보고 된 연구는 거의 없다. 'D. O'Brien. Optical wireless communications and potential applications in space. In Proceedings of the International Conference on Space Optical Systems and Applications (ICSOS), 2012.' 및 'K. Bandara, Y.H. Chung. Novel color-clustered multiuser visible light communication. Trans. Emerg. Telecommunication Technol. 2014, 25, 6, 579-590.'의 저자는 CSK 기반의 하향링크 다중 사용자 방식을 제안했으나 제안된 방식은 양방향성이 아닌 단방향 통신방식이다. 'A. Jovicic, J. Li, T. Richardson. Multiuser CSK scheme for indoor visible light communications. Opt. Express 2014, 22, 20, 24256-24267.'의 저자는 TDD(time division duplexing)를 제안함으로써 단일 방향 사용자 환경에서의 양방향 통신방식을 제안하였다. 최근 VLC 네트워크를 위한 양방향 다중 사용자 접속을 위한 새로운 사용자 할당 기법이 'Y.F. Liu, C.H. Yeh, C.W. Chow, Y. Liu, Y.L. Liu, H.K. Tsang. Demonstration of bidirectional LED visible light communication using TDD traffic with mitigation of reflection interference. Opt. Express 2012, 20, 21, 23019-23024.', 'A. Sewaiwar, S.V. Tiwari, Y.H. Chung. Novel user allocation scheme for full duplex multiuser bidirectional Li-Fi network. Opt. Commun. 2015, 339, 153-156.'와 같은 문헌을 통해 제안되었다. 그러나, 해당 방식은 사용자를 특정 색상 클러스터에서 작동하도록 제한하므로 사용자의 변경/갱신이 매우 어렵다는 문제점을 갖는다. 따라서 스마트 홈 어플리케이션과 쉽게 통합 될 수 있는 견고한 다중 사용자 전이중 VLC 시스템에 대한 고려가 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 실내 환경의 스마트홈 네트워크에 적용 가능한 광통신 시스템을 제공하는 것이다.

[0008] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 스마트 홈 네트워크에 연결 가능한 다수의 사용자장치와 다수의 스마트장치에 대하여 전이중 방식의 가시광통신이 가능하도록 하는 가시광통신장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 일 양태에 있어서, 본 발명의 실시예에 따른 복수의 사용자장치와 복수의 스마트장치가 접근 가능한 실내 환경의 스마트홈 네트워크에서 동작하는 가시광 통신 장치는 가시광을 발광하도록 구성된 발광부 및 전송될 신호를 변조하도록 구성된 변조부를 포함하되, 상기 발광부는 적색광 대역의 가시광을 발광하는 적색 LED 및 녹색광 대역의 가시광을 발광하는 녹색 LED를 포함하고, 상기 변조부는 스마트장치로 전송될 스마트장치 신호 및 사용자장치로 전송될 사용자장치 신호를 각각 변조하여 변조된 스마트장치 신호 및 변조된 사용자장치 신호 각각을 상기 적색 LED에 의해 방사되는 적색광 및 상기 녹색 LED에 의해 방사되는 녹색광 각각을 통해 전송되도록 상기 적색 LED 및 상기 녹색 LED로 전달한다.

[0010] 상기 스마트장치 신호는 상기 복수의 스마트장치 각각에 전송되어야 할 데이터를 고유 직교 왈시 코드(unique orthogonal Walsh codes)를 이용하여 확산(spreading)시켜 얻어진 코딩된 데이터 스트림들을 결합하여 생성될 수 있고, 상기 사용자장치 신호는 상기 복수의 사용자장치 각각에 전송되어야 할 데이터를 고유 직교 왈시 코드를 이용하여 확산시켜 얻어진 코딩된 데이터 스트림들을 결합하여 생성될 수 있다.

[0011] 상기 스마트장치 신호 및 상기 사용자장치 신호는 ACO-OFDM(Asymmetrically clipped optical orthogonal frequency division multiplexing) 기법에 의해 변조될 수 있다.

[0012] 상기 복수의 스마트장치 및 상기 복수의 사용자장치로부터 광신호를 수광하는 수광부 및 상기 수광부로부터 전달된 수신 신호를 복조하는 복조부를 더 포함할 수 있다.

[0013] 상기 수광부는 청색광 대역의 가시광을 통과 대역으로 하는 청색 광 필터, 상기 청색 광 필터를 통과한 청색광 대역의 가시광으로부터 상기 수신 신호를 검출하는 포토디텍터(Photo-detector)를 포함할 수 있다.

[0014] 상기 수신 신호는 OOK(On Off Keying) 기법으로 변조될 수 있다.

[0015] 본 발명의 다른 양태에 있어서, 복수의 사용자장치와 복수의 스마트장치가 접근 가능한 실내 환경의 스마트홈 네트워크에서 동작하는 가시광 통신 사용자장치는 적색광 대역의 가시광을 통과 대역으로 하는 적색 광 필터, 상기 적색 광 필터를 통과한 적색광 대역의 가시광으로부터 수신 신호를 검출하는 포토디텍터(Photo-detector)

및 상기 수신 신호를 복조하는 복조부를 포함한다.

[0016] 가시광 통신 사용자장치는 청색광 대역의 가시광을 방사하는 청색 LED 및 전송할 신호를 변조하여 상기 청색 LED에 의해 방사되는 청색광을 통해 전송되도록 상기 청색 LED로 전달하는 변조부를 더 포함할 수 있다.

[0017] 상기 수신 신호는 ACO-OFDM(Asymmetrically clipped optical orthogonal frequency division multiplexing) 기법에 의해 변조될 수 있고, 상기 전송할 신호는 상기 변조부에 의하여 OOK(On Off Keying) 기법으로 변조될 수 있다.

[0018] 본 발명의 또 다른 양태에 있어서, 복수의 사용자장치와 복수의 스마트장치가 접근 가능한 실내 환경의 스마트 홈 네트워크에서 동작하는 가시광 통신 스마트장치는 녹색광 대역의 가시광을 통과 대역으로 하는 녹색 광 필터, 상기 녹색 광 필터를 통과한 녹색광 대역의 가시광으로부터 수신 신호를 검출하는 포토디텍터(Photo-detector) 및 상기 수신 신호를 복조하는 복조부를 포함한다.

[0019] 스마트장치는 청색광 대역의 가시광을 방사하는 청색 LED 및 전송할 신호를 변조하여 상기 청색 LED에 의해 방사되는 청색광을 통해 전송되도록 상기 청색 LED로 전달하는 변조부를 더 포함할 수 있다.

[0020] 상기 수신 신호는 ACO-OFDM(Asymmetrically clipped optical orthogonal frequency division multiplexing) 기법에 의해 변조될 수 있고, 상기 전송할 신호는 상기 변조부에 의하여 OOK(On Off Keying) 기법으로 변조될 수 있다.

발명의 효과

[0021] 다수의 사용자/장치에 대한 전이중 방식의 가시광 통신 시스템을 제공하여 가시광 통신 시스템만으로 상향링크와 하향링크 데이터 전송이 가능하여 신뢰성 높은 데이터의 전송/수신이 가능하고 상대적으로 낮은 네트워크 유지/보수 비용의 이점을 얻을 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 VLC 시스템이 적용될 수 있는 환경을 예시한 것이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 VLC 네트워크를 간략히 나타낸 블록도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 VLC 시스템의 하향링크 전송을 간략히 설명하는 블록도이다.
- 도 4는 OOK 송신기의 블록 다이어그램이다.
- 도 5a와 도 5b는 각각 Wi-Fi 시스템과 하이브리드 VLC-Wi-Fi 시스템을 개략적으로 나타낸 것이다.
- 도 6a 및 도 6b는 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 가시광 통신 시스템의 하향링크 및 상향링크 비트 에러율(bit error rate, BER) 시뮬레이션 결과와 데이터 속도를 보여준다.
- 도 7은 서로 다른 신호 처리 장치의 데이터 처리량 대비 시뮬레이션 된 평균 장치 비용 및 전력 소비 비용을 보여주는 그래프이다.
- 도 8은 비교 대상 시스템과 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 가시광 통신 시스템의 데이터 처리량 대비 장치 비용을 보여준다.
- 도 9는 데이터 처리량에 대한 전력 비용을 계산 한 결과이다.
- 도 10은 데이터 처리량에 대한 총 비용을 보여준다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다.
- [0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자(multi-user) 전이중(full duplex) VLC 시스템이 적용될 수 있는 환경을 예시한 것이다. 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 VLC 시스템은 예시된 스마트 홈 환경은 물론 사무실, 카페, 도서관 등 다양한 실내 환경에 적용될 수 있다.
- [0025] 도 1에서 예시된 바와 같이, 스마트 홈에 적용된 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 VLC 시스템에서

고려되어야 할 트래픽은 사용자 데이터와 스마트장치의 데이터로 유형화 할 수 있다. 다시 말해서 하향링크의 트래픽은 사용자 단말(가령, 스마트폰, PDA, 태블릿 등)로 전송되는 사용자 데이터와 네트워크에 연결되어 사람의 개입 없이 자동적으로 실시간 데이터를 주고 받을 수 있는 스마트장치에게 전송되는 스마트장치 데이터로 구분할 수 있다. 또한 사용자 단말과 스마트장치로부터 전송되는 상향링크 트래픽을 고려할 수 있다. 설명의 편의를 위하여 이하에서는 본 발명의 실시예에 따른 VLC 시스템에서의 통신 방법을 상향링크와 하향링크 측면에서 각각 나누어 설명한다.

- [0026] 일 실시예에서, 다중 사용자 전이중 VLC 시스템은 RGB LED가 적용되어 적색광, 녹색광, 청색광을 주요 채널로 이용할 수 있다. 청색광은 적색광과 녹색광에 비하여 더 쉽게 산란되므로, 상대적으로 동일한 여건에서 덜 산란되어 보다 멀리 전달될 수 있는 적색광과 녹색광을 하향링크의 채널로 선택/이용할 수 있다. 즉, 사용자 데이터와 스마트장치의 데이터는 적색광과 녹색광을 통해 사용자 단말과 스마트장치로 전달될 수 있다. 일례에서 적색광은 사용자 데이터의 전송에 이용하고 녹색광은 스마트장치 데이터의 전송에 이용할 수 있다. 이때 하향링크에서 사용되지 않는 청색광은 변조되지 않은 상태로 조사된다. 적색광, 녹색광, 청색광의 조명 강도는 출력광이 백색광이 되도록 조정/제어되어 사람의 눈이 쉽게 적응하고 일상 업무 수행이 가능한 조명으로서의 기능을 함께 할 수 있도록 한다.
- [0027] 하향링크의 수신기에는 적색 또는 녹색 광학 필터가 장착되어 사용자 데이터와 장치 데이터를 분리할 수 있다. 일 실시예에서, 하향링크 채널상의 신호를 변조하는데 ACO-OFDM(Asymmetrically Clipped Optical Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식이 사용될 수 있다. ACO-OFDM에 대한 설명은 이후 수신기에 의한 수신 과정을 설명하면서 함께 설명한다.
- [0028] 일 실시예에서, 상향링크의 채널로 청색광을 사용할 수 있다. 청색광의 생성에는 인(phosphorus) LED가 사용될 수 있다. 인 LED는 기본적으로 백색광을 방출하는 인 층으로 코팅 된 청색 LED이다. 적색광 또는 녹색광을 상향링크에 사용하면 하향링크 데이터에 간섭으로 작용할 있다. 따라서 하향링크 전송에 사용되지 않는 청색광을 상향링크 전송에 사용할 수 있다.
- [0029] 상향링크용 수신기는 데이터를 수신하는 청색 광학 필터를 포함한다. 시스템의 복잡성을 줄이고 전송의 신뢰성을 높이기 위해, 상향링크 채널을 통한 데이터 전송에 온-오프키잉(ON-OFF keying, OOK) 방식이 적용될 수 있다. 사용자 단말(가령, 스마트폰) 및 스마트장치와 같은 상향링크를 통해 데이터를 전송하는 장치의 경우 가용 전력이 제한적일 수 있다. 이들 장치의 배터리 수명을 연장하고 연산 능력을 효율적으로 활용하기 위해 OOK 방식을 상향링크 변조 방식으로 선택할 수 있다.
- [0030] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 VLC 네트워크를 간략히 나타낸 블록도이다.
- [0031] 도 2에서 예시된 본 발명의 실시예에 따른 VLC 네트워크는 VLC 통신장치(100)와 적어도 하나 이상의 사용자장치(200), 적어도 하나 이상의 스마트장치(300)로 구성될 수 있다. 도 2는 통신장치(100), 사용자장치(200), 스마트장치(300)의 대략적인 구성을 나타낸 것으로 설명의 편의와 본 발명의 특징적 부분을 명확히 하기 위하여 본 발명의 특징에 해당하지 아니하는 부분은 생략하여 도시한 것이다.
- [0032] 본 발명의 실시예에 따른 복수의 사용자장치와 복수의 스마트장치가 접근 가능한 실내 환경의 스마트홈 네트워크에서 동작하는 가시광 통신 장치(100)는 가시광을 발광하도록 구성된 발광부 및 전송될 신호를 변조하도록 구성된 변조부를 포함하되, 상기 발광부는 적색광 대역의 가시광을 발광하는 적색 LED 및 녹색광 대역의 가시광을 발광하는 녹색 LED를 포함하고, 상기 변조부는 스마트장치(300)로 전송될 스마트장치 신호 및 사용자장치(200)로 전송될 사용자장치 신호를 각각 변조하여 변조된 스마트장치 신호 및 변조된 사용자장치 신호 각각을 상기 적색 LED에 의해 방사되는 적색광 및 상기 녹색 LED에 의해 방사되는 녹색광 각각을 통해 전송되도록 상기 적색 LED 및 상기 녹색 LED로 전달한다.
- [0033] 상기 스마트장치 신호는 상기 복수의 스마트장치 각각에 전송되어야 할 데이터를 고유 직교 왈시 코드(unique orthogonal Walsh codes)를 이용하여 확산(spreading)시켜 얻어진 코딩된 데이터 스트림들을 결합하여 생성될 수 있고, 상기 사용자장치 신호는 상기 복수의 사용자장치 각각에 전송되어야 할 데이터를 고유 직교 왈시 코드를 이용하여 확산시켜 얻어진 코딩된 데이터 스트림들을 결합하여 생성될 수 있다. 상기 스마트장치 신호 및 상기 사용자장치 신호는 ACO-OFDM(Asymmetrically clipped optical orthogonal frequency division multiplexing) 기법에 의해 변조될 수 있다. 상기 복수의 스마트장치 및 상기 복수의 사용자장치로부터 광신호를 수광하는 수광부 및 상기 수광부로부터 전달된 수신 신호를 복조하는 복조부를 더 포함할 수 있다. 상기 수광부는 청색광 대역의 가시광을 통과 대역으로 하는 청색 광 필터, 상기 청색 광 필터를 통과한 청색광 대역의 가시광으로부터

상기 수신 신호를 검출하는 포토디텍터(Photo-detector)를 포함할 수 있다. 상기 수신 신호는 OOK(On Off Keying) 기법으로 변조될 수 있다.

[0034] 복수의 사용자장치와 복수의 스마트장치가 접근 가능한 실내 환경의 스마트홈 네트워크에서 동작하는 가시광 통신 사용자장치(200)는 적색광 대역의 가시광을 통과 대역으로 하는 적색 광 필터, 상기 적색 광 필터를 통과한 적색광 대역의 가시광으로부터 수신 신호를 검출하는 포토디텍터(Photo-detector) 및 상기 수신 신호를 복조하는 복조부를 포함한다. 가시광 통신 사용자장치(200)는 청색광 대역의 가시광을 방사하는 청색 LED 및 전송할 신호를 변조하여 상기 청색 LED에 의해 방사되는 청색광을 통해 전송되도록 상기 청색 LED로 전달하는 변조부를 더 포함할 수 있다. 상기 수신 신호는 ACO-OFDM(Asymmetrically clipped optical orthogonal frequency division multiplexing) 기법에 의해 변조될 수 있고, 상기 전송할 신호는 상기 변조부에 의하여 OOK(On Off Keying) 기법으로 변조될 수 있다.

[0035] 복수의 사용자장치와 복수의 스마트장치가 접근 가능한 실내 환경의 스마트홈 네트워크에서 동작하는 가시광 통신 스마트장치(300)는 녹색광 대역의 가시광을 통과 대역으로 하는 녹색 광 필터, 상기 녹색 광 필터를 통과한 녹색광 대역의 가시광으로부터 수신 신호를 검출하는 포토디텍터(Photo-detector) 및 상기 수신 신호를 복조하는 복조부를 포함한다. 스마트장치(300)는 청색광 대역의 가시광을 방사하는 청색 LED 및 전송할 신호를 변조하여 상기 청색 LED에 의해 방사되는 청색광을 통해 전송되도록 상기 청색 LED로 전달하는 변조부를 더 포함할 수 있다. 상기 수신 신호는 ACO-OFDM(Asymmetrically clipped optical orthogonal frequency division multiplexing) 기법에 의해 변조될 수 있고, 상기 전송할 신호는 상기 변조부에 의하여 OOK(On Off Keying) 기법으로 변조될 수 있다.

[0036] 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 VLC 시스템은 스마트 홈에 위치한 사용자가 하향링크 및 상향링크 채널에서 VLC의 장점을 최대한 활용할 수 있도록 하기 위하여, 하향링크 부분과 상향링크 부분으로 분할 구성될 수 있다. 앞서 간략하게 설명한 바와 같이 하향링크에는 적색 및 녹색 LED가 사용될 수 있다. 적색광 및 녹색광은 각각 사용자 및 장치 데이터를 전달하는 데 사용될 수 있다. 상향링크에는 인 LED가 사용될 수 있다. 이하에서 하향링크와 상향링크를 나누어 각각 설명한다.

[0037] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 VLC 시스템의 하향링크 전송을 간략히 설명하는 블록도이다.

[0038] 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 VLC 시스템의 하향링크 부분은 송신기와 수신기로 구성된다. 송신기는 다음과 같은 방식으로 작동한다. 데이터 스트림(사용자 데이터 및 스마트장치 데이터)은 데이터 확산 블록으로 전달된다. 블록은 고유한 직교 월시 코드(Walsh Code)를 이용하여 사용자/스마트장치 데이터를 확산시킨다. 다음 단계로 모든 코딩된 데이터 스트림을 결합하여 변조 블록으로 전달된다. DC 바이어싱(biasing)을 피하고 전력 효율을 높이기 위하여 앞서 설명한 바와 같이 ACO-OFDM 방식이 변조에 적용될 수 있다. 변조된 신호는 DC 바이어스를 통과하여 LED의 전체 출력이 밝은 백색광이 되도록 한다. 이후 신호는 광 무선 채널을 통해 전파되고 사용자 또는 스마트장치에 의해 수신된다.

[0039] 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 VLC 시스템에서 사용자 데이터는 적색광 영역을 통해 전송되기 때문에, 사용자 수신기는 수신한 광신호를 적색 광학 필터를 통해 필터링한다. 스마트장치 경우 자신에게 전송되는 데이터는 녹색광 영역을 통해 전송되므로 수신한 광신호를 녹색 광학 필터를 통해 필터링한다.

[0040] 광신호를 필터링 한 후, 송신기에서 설명한 과정을 역으로 수행되어 원본 데이터가 복원된다. 모든 사용자는 보안성 강화를 위한 자체의 직교 월시 코드를 가질 수 있으며 데이터 전송 단계에서 간섭 및 데이터 손상을 피하기 위해 데이터가 확산 단계를 거칠 수 있다.

[0041] 작동하는 VLC 시스템의 주요 요구 사항은 광 변조기로부터 양의 실수 값을 갖는 것이며 일반적으로 IM/DD(Intensity Modulation/Direct Detection) 기법이 적용된다. ACO-OFDM은 IM/DD 기법에서도 작동하므로 구현이 비교적 간단하다. 주된 문제는 OFDM 신호에 있다. OFDM 신호는 복소값(complex)과 양극(bipolar)이라는 특징을 가지므로, 간단한 OFDM 시스템은 VLC 시스템과 함께 사용될 수 없다. 따라서 OFDM 신호를 단극(unipolar)과 실수값(real)을 갖도록 하는 것이 필요하고 이는 ACO-OFDM 변조기에 의해 수행될 수 있다.

[0042] 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 가시광 통신 시스템에서 ACO-OFDM의 출력이 실수 및 단극임을 보장할 수 있도록 다음 절차를 따를 수 있다. N 개의 부반송파 중 하나만이 데이터를 전송하는데 사용된다. 송신기에서, 소스 비트는 먼저 그레이 코드된 M-ary 직교 진폭 변조(QAM) 매핑 블록(mapping block)을 사용하여 변조되어 복소 비트 스트림(complex bit stream)을 생성한다. 그런 다음 시간 영역에서 실제 OFDM 심볼을 유지하

기 위해 인코딩된 데이터는 허미시안 대칭 블록(Hermitian symmetry block)을 거친다. 이후 데이터는 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) 블록 및 클리핑 블록(clipping block)으로 전달되어 데이터가 홀수 부반송파(odd subcarrier) 및 양(positive)의 값을 갖도록 한다. CP(Cyclic Prefix)는 나중에 심볼간 간섭(Inter Symbol Interference, ISI)를 피하기 위해 추가된다. CP의 추가는 VLC 시스템의 신호대 잡음비(SNR) 및 스펙트럼 효율에 미미한 영향을 미친다. PAPR(Peak-to-Average Power Ratio)을 줄이기 위해 두 가지 유형의 왜곡, 즉 필터링을 적용하여 대역 외 왜곡을 줄이고 두 번째로 CP를 추가하여 대역 내 왜곡을 줄이기 위해 클리핑(clipping)이 수행될 수 있다. ACO-OFDM 신호에서 홀수 부반송파만 전송된다는 점에 주의해야 한다. 신호는 아날로그-디지털 변환기(ADC)를 사용하여 아날로그에서 디지털로 변환되고 이후에 광 강도 변조(intensity modulation, IM) 데이터를 사용하여 광 무선 채널을 통해 전송된다.

[0043] 수신단에서 직접 탐지(Direct Detection, DD)를 사용하면 신호가 포토 다이오드 (Photo Diode, PD)에 수신된다. 포토 다이오드에서 수신된 신호는 광 영역(domain)에서 전기적 영역으로 변환된다. 추정된 신호는 ACO-OFDM 복조기 블록으로 전달되어 복조(demodulation)되고, 신호는 디맵핑(demapping) 블록을 통과하여 원래의 데이터 스트림(data stream)이 복구된다.

[0044] 수신기에서 시간 영역에서 수신된 신호는 수학식 1과 같이 표현된다.

수학식 1

[0045]
$$y(t) = h(t)x_{aco}(t) + n(t)$$

[0046] VLC에서 채널 h는 LOS(line-of-sight) 및 NLOS(non-line-of-sight)가 될 수 있다. 채널 h의 주된 속성은 그것이 항상 양의 실수값(real)을 갖는다는 것이다. 주파수 영역에서 수신된 신호는 수학식 2와 같이 표현될 수 있다.

수학식 2

[0047]
$$Y = HX_{aco} + N$$

[0048] 여기서, X_{aco} 는 ACO-OFDM 신호, H는 OWC 채널 응답이고 N은 평균이 0이고 분산 σ^2 인 간단한 가산 백색 가우스 잡음 (additive white Gaussian noise, AWGN)을 가정한다. 또한 송신기와 수신기는 완벽하게 동기화 되어있음을 가정한다.

[0049] 두 종류의 광 채널을 고려할 때; i) LOS 및 ii) NLOS에서 두 유형의 채널은 수학식 3과 수학식 4와 같이 표현될 수 있으며 전체 확산 된 채널 응답은 수학식 6에 의해 얻어질 수 있다.

수학식 3

[0050]
$$H_{los}(0) = \begin{cases} \frac{A_r(m_1 + 1)}{2\pi d^2} \cos^{m_1}(\phi) T_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi), & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0, & elsewhere \end{cases}$$

수학식 4

$$H_{nlos}(t) = \frac{(m_1 + 1)}{2\pi} \sum_{j=1}^K \rho_j \cos^{m_1}(\phi_j) \frac{\cos(\psi)}{d_j^2} \text{rect}\left(\frac{2\psi}{\pi}\right) \times H_{nlos}^{(k-1)}\left(t - \frac{d_j}{c}\right) \Delta A$$

[0051]

수학식 5

$$H_{nlos}(t) = \sum_i^K \sum_{k=0}^{\infty} H_{nlos}^k(t)$$

[0052]

수학식 6

$$H_{total}(0) = H_{los}(0) + \sum_{refl} H_{nlos}(0)$$

[0053]

[0054] 여기서 A_r 는 광 검출기 영역, m_1 는 소스 빔의 지향성을 나타내는 램버트 모드 번호(lambert's mode number), $T_s(\psi)$ 는 광 대역 통과 필터를 구비한 수신기, $g(\psi)$ 는 집광기 이득, ψ 는 방사 입사각, ϕ 는 송신기에 대한 각도, d 는 송신기로부터의 거리, ΔA 는 반사체의 면적, k 는 실내의 반사체 총 수, ρ_j 는 j 의 반사 계수, $H_{nlos}^{(k-1)}$ 는 반사체와 수신기 사이의 $k-1$ 차 임펄스 응답이다.

[0055] 상향링크의 경우, 상향링크 신호를 송신하는 장치는 일반적으로 제한된 자원(가령, 사용전력을 배터리에 의존)을 가지기 때문에, 상향링크 구간에 대해 간단하지만 강건한 변조/전송 기법이 적용되어야 한다. 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 가시광 통신 시스템에서는 간단한 OOK 기법이 사용자 또는 스마트장치에서 수신기로 데이터를 전송하는데 사용될 수 있다. 상향링크 데이터 전송에는 앞서 설명한 바와 같이 인 LED가 사용될 수 있다. 인 LED는 백색광을 방출하는 인으로 코팅된 청색 LED이다. 청색광을 제외한 다른 두 가지 기본 색상(적색광, 녹색광)이 하향링크에 사용되므로 청색광을 사용하여 상향링크 데이터를 전송 및 수신한다.

[0056] 도 4는 OOK 송신기의 블록 다이어그램이다.

[0057] 사용자 또는 스마트장치의 데이터는 먼저 프리 엠퍼시스(pre-emphasis) 회로를 거친다. 이는 VLC 링크의 3dB 대역폭을 향상시키기 위해 수행된다. 프리 엠퍼시스 회로는 NPN 트랜지스터를 기반으로 하므로 수신기 감도가 증가한다. 그런 다음 신호는 증폭기를 통과하여 변조 깊이를 증가시키고 Bias-T 블록을 통해 LED 바이어스 전류에 중첩된다. Bias-T 블록의 출력은 상업적으로 이용 가능한 인광 LED에 직접 적용된다. 그런 다음 신호는 광 무선 채널을 통해 전파되고 청색 광학 필터를 구비한 수신기에서 수신된다. 지향성 렌즈는 방출된 빛이 수신기에 집중되어 최대 광이 포토 다이오드에 노출되도록 사용된다.

[0058] 수신기측에서 청색 광 필터에 의해 필터링된 광신호를 포토 다이오드를 통해 수신한 후, 트랜스 임피던스 증폭기에 의해 전기 신호를 증폭되고, 증폭된 전기 신호는 포스트 이퀄라이제이션 블록을 통과하여 신호 레벨이 증폭되어 원래의 데이터가 수신된다.

[0059] 이하에서는 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 가시광 통신 시스템과 현재 상용화된 유사한 기능의 다른 시스템과 비교를 통해 구현 비용 및 에너지 소모 측면에서의 이점과 성능에 관하여 설명한다.

[0060] 다중 사용자 전이중 VLC 시스템이 실제 사용되기 위해서는 낮은 구현 비용 및 높은 전력 효율성을 필요로 한다.

비교 대상 통신 시스템은 현재 전 세계적으로 가장 많이 사용되는 무선 시스템 중 하나인 Wi-Fi 시스템과 하이브리드 VLC-Wi-Fi 시스템이다. 하이브리드 VLC-Wi-Fi 시스템은 기본적으로 VLC의 상향링크 문제를 해결하기 위해 제안된 것으로, 하향링크 전송은 VLC 또는 Wi-Fi 일 수 있지만 상향링크는 Wi-Fi 기술을 기반으로 한다.

[0061] 도 5a와 도 5b는 각각 Wi-Fi 시스템과 하이브리드 VLC-Wi-Fi 시스템을 개략적으로 나타낸 것이다.

[0062] Wi-Fi 시스템은 무선 액세스 포인트(Access Point, AP)가 있는 라우터로 구성된다. 라우터는 광역 네트워크(WAN)에 연결되어 있으며 무선 주파수 방식을 사용하여 데이터를 송수신한다. 반면, 하이브리드 VLC-Wi-Fi 시스템은 Wi-Fi 기술과 VLC 기술을 모두 사용하여 개선된 시스템 성능을 제공한다. 하향링크 전송은 VLC 또는 Wi-Fi를 기반으로 할 수 있으며 상향링크는 Wi-Fi를 기반으로 한다.

[0063] VLC 시스템을 구현하기 위해서는 신호 처리 장치의 사용이 필수적이다. 이때 제공하여야 할 서비스 영역의 크기와 사용자의 수에 따라 필요한 신호 처리 장치의 유형을 고려해야 한다. 이하에서 서로 다른 처리 능력, 비용 및 전력 소비를 기반으로 하는 다른 유형의 신호 처리 장치를 통해 비교한다.

[0064] VLC는 아직 Wi-Fi 시스템처럼 대중적으로 널리 보급되지 아니한 상황이므로 초기 설치 비용은 시뮬레이션 및 결과에 포함 된 대략적인 값이다. VLC 시스템에서 초기 장비 가격은 출시 시점에 높을 것으로 예상되지만, 기술이 보편화됨에 따라 Wi-Fi 시스템과 마찬가지로 비용이 크게 절감될 것이다.

[0065] 성능 비교에서 있어서 서로 다른 아키텍처를 가진 신호 처리 장치의 사용을 가정하여 비교 하였다. 신호 처리 장치의 아키텍처는 다수의 코어 및 범용 입출력 (GPIO) 레지스터의 매개 변수와 관련하여 다를 수 있다. 이는 전체 시스템의 처리 속도 및 전력 소비에 심각한 영향을 줄 수 있다. 코어 수가 많으면 성능이 향상되지만 제품 비용 및 전력 소비도 증가하는 반면에 코어 수가 적으면 전력 소비는 낮아지지만 성능 또한 낮아진다. 따라서, 성능, 비용 및 전력 소비 사이에 균형이 이루어 지도록 적절한 신호 처리 장치의 선택을 고려하여야 한다.

[0066] 표 1은 비용, 전력 및 처리 전력이 다른 몇 가지 신호 처리 장치 아키텍처 및 그에 따른 소비전력, 비용을 보여 준다.

표 1

Architecture	Specification	Signal Processing Power	Approximated Cost
1	1 Core	100W	\$120
2	2 Core	100W	\$200
3	4 Core	200W	\$300
4	8 Core	400W	\$400

[0067]

[0068] 표 1을 보면 아키텍처 1은 코어 1 개와 4개의 GPIO를 갖는데, 가장 기본적 형태이고 저비용이며 전력 효율적인 처리 장치이다. 본 발명은 주요 실시예의 하나에서 스마트 홈 환경을 가정하므로 이하에서는 아키텍처 1의 신호 처리 장치를 시뮬레이션 대상으로 한다. 서버 채널들의 수는 VLC 표준에서 아직 정의되지 않았기 때문에, 32 개의 서버 채널이 있다고 가정한다. 이러한 가정에 따를 때, 아키텍처 1 처리 장치의 경우 $4 \times 32 = 128$ 개의 사용자 및 장치를 수용 할 수 있다. 이것은 스마트 홈 환경에 적용하기에 충분한 것으로 볼 수 있다.

[0069] 표 2는 평균적인 미국 가정의 소비 전력 및 연간 비용을 보여준다. 표 2의 장치(device)는 VLC 시스템이 적용될 수 있는 장치의 예시이다.

표 2

Device	Consumption in 1 Hour (kWh)	Cost per Year (\$)
LCD TV	0.346	466.65
HDTV BOX	0.021	28.32
Apple iMac	0.108	145.66
Video Player	0.028	37.76
Gaming Console	0.016	21.58
Linksys WLAN	0.011	14.84
D-LINK switch	0.01	13.49
Belkin ADSL2+ Modem	0.005	6.74
Incandescent Lamp [60W Mirabella]	0.053	71.48
Energy saving LED lamp	0.009	12.14

[0070]

[0071]

데이터 처리량에 대한 장치 비용 및 전력 소비의 측면에서 세 가지 시스템의 성능을 평가하였다. 아직 상용 VLC 제품이 아직 없기 때문에 비용과 전력 소비 비교를 위하여 다음과 같은 환경을 가정하였다. 하이브리드 VLC-Wi-Fi 및 본 발명의 실시예에 따른 전이중 VLC 시스템의 경우 상용 통신 시스템 구현에 일반적으로 사용되는 TI(Texas Instrument) DSP 보드 시리즈 C6000을 기반으로 산정하고, 장치 비용 및 전력 소비량 계산에는 장기간 사용 된 유지 보수 비용과 전기 비용이 포함시켰다. 실내 VLC 환경 시뮬레이션 모델은 'M. T. Niaz, F. Imdad, H. S. Kim. Deployment methods of visible light communication lights for energy efficient buildings. Opt. Eng. 2016, 55, 10, 106113.' 문헌의 모델을 적용하였다.

[0072]

상술한 조건/가정 하에서 간단한 Wi-Fi 시스템의 비용 및 소비 전력 계산은 수학적 7 및 수학적 8과 같이 산정 될 수 있다.

수학적 7

[0073]

$$Cost = No_LED_R \times No_LED_N \times LED_{cost} + WiFi_{cost}$$

수학적 8

[0074]

$$Power = No_{LED} \times LED_{power} + WiFi_{power}$$

[0075]

여기에서 No_LED_R 는 시뮬레이션 기간 동안 대체 된 LED 조명의 수, No_LED_N 는 특정 룸에서 사용 된 총 LED 수, LED_{cost} 는 사용 된 LED의 비용, $WiFi_{cost}$ 는 Wi-Fi 장비 비용 및 사용 된 인터넷 연결 비용, LED_{power} 는 LED의 전력 소비량, $WiFi_{power}$ 는 Wi-Fi 액세스 포인트 + 라우터의 전력 소비량이다.

[0076]

하이브리드 VLC-Wi-Fi 시스템의 비용 및 소비 전력 계산은 수학적 9 및 수학적 10과 같이 산정될 수 있다.

수학식 9

$$Cost = No_LED_R \times No_LED_N \times LED_{cost} + SPU_{cost} + WiFi_{cost}$$

수학식 10

$$Power = No_{LED} \times LED_{power} + No_{LED} \times SPU_{power} + WiFi_{power}$$

여기에서 위의 방정식에서 SPU_{cost} 는 신호 처리 장치의 비용이고, SPU_{power} 는 신호 처리 장치를 작동하는 데 소비되는 전력이며, SPU_{power} 는 LED가 신호 처리 장치의 GPIO에 연결되고 연결된 LED의 수에 따라 전력을 끌어 오기 때문에 사용되는 LED 수의 인수와 곱해진다. LED를 연결하는 방식은 다양한 방식이 적용될 수 있다. 예를 들어, 각 GPIO가 각각 하나의 LED를 사용하는 방식으로 연결하거나, LED 조명의 배열을 만들고 한 방을 제공하는 배열을 특정 GPIO에 연결하는 방식이 적용될 수 있다. 이러한 방식으로, 전체 가정은 하나의 신호 처리 유닛을 사용하여 커버 될 수 있다. 앞서 가정한 바와 같이, VLC 부반송파가 32라면 간단한 1 코어 및 4 GPIO 기반 신호 처리 장치를 사용하여 총 128 개의 사용자 또는 스마트장치에게 데이터 전송/수신 서비스를 제공할 수 있다.

본 발명의 실시예에 따른 전이중 VLC 시스템의 경우 비용과 소비전력은 수학식 11 및 수학식 12와 같이 구해진다.

수학식 11

$$Cost = No_LED_R \times No_LED_N \times LED_{cost} + SPU_{cost}$$

수학식 12

$$Power = No_{LED} \times LED_{power} + No_{LED} \times SPU_{power}$$

하이브리드 VLC-Wi-Fi 시스템과의 주요 차이점은 Wi-Fi 장치가 제거 된 것이다.

본 발명의 실시예에 따른 전이중 VLC 시스템의 성능을 시뮬레이션하기 위해 데이터 속도와 비트 오류율(Bit Error Rate, BER)이라는 두 가지 주요 변수를 조사했다. 실내 크기는 5mX5mX3m이고 LED 조명은 수신 평면에서 최적화 된 ROPD를 보장하기 위해 원형으로 천장에 배치되며 수신 평면은 평균 높이 0.8m로 가정한다. 시스템은 LOS 및 NLOS 신호를 모두 고려하고 결과 데이터는 평균 5개의 사용자장치와 10개의 스마트장치에 대해 총 15 명의 사용자로 시뮬레이션 하였다. 전송 한 바와 같이, 하향링크 ACO-OFDM 방식에 기반하고, 상향링크는 OOK 방식을 적용하였다.

도 6a 및 도 6b는 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 가시광 통신 시스템의 하향링크 및 상향링크 BER 시뮬레이션 결과와 데이터 속도를 보여준다.

도 6a에서와 같이 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 가시광 통신 시스템의 사용자 및 스마트장치에 대한 BER 성능은 거의 같음을 알 수 있다. 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 가시광 통신 시스템의 성능은 하향링크를 위한 동일한 시스템의 간단한 OOK 기반 구현과 비교된다. ACO-OFDM은 단순한 OOK 구현보다 성능이 뛰어나다는 것을 알 수 있다. 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 가시광 통신 시스템이 더 잘 수행된다는 사실은 다중 사용자 간섭을 피하기 위해 사용된 ACO-OFDM 및 추가된 직교 월시 코드의 적용에 의한 이점에 기인한다. 상향 링크의 경우 성능은 일반적인 OOK 시스템과 동일하고, 이는 상향링크에 대해 높은 SNR을 달성함과 동시에 신뢰성 있는 데이터 전송을 보장할 수 있음을 보여준다.

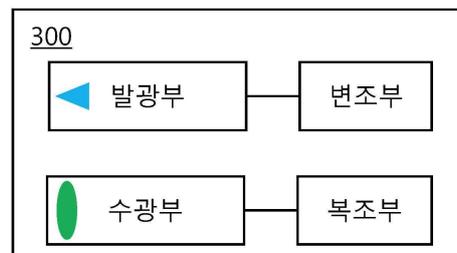
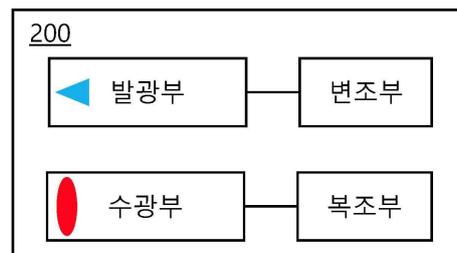
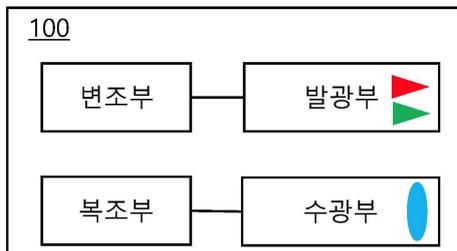
- [0087] 다음으로, 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 가시광 통신 시스템의 데이터 전송률 성능을 살펴본다. 도 6b에서 사용자장치의 데이터 속도는 빨간색으로 표시되고 스마트장치는 초록색으로 상향링크 데이터는 파란색으로 표시된다. 도 6b에서 볼 수 있듯이 사용자 데이터 전송률은 장치의 전송률보다 높다. 이것은 일반적으로 스마트장치에 비해 사용자가 상대적으로 많은 데이터 용량을 소모한다는 측면에서 효율적이다. 상향링크의 속도는 가장 느리지만 가정 환경에서 하향링크에 비해 덜 사용되는 것이 일반적이라는 점을 감안하여야 한다. 또한 사용자 수가 증가하면 데이터 속도가 감소하는 것을 볼 수 있는데, 이는 더 많은 사용자가 동일한 대역폭을 공유하는 것에 따른 결과이다. 종합하면 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 가시광 통신 시스템은 사용자, 스마트장치 데이터를 처리할 수 있으며 평균적인 스마트 홈 환경에 적용 가능한 성능을 제공 할 수 있음을 보여준다.
- [0088] 이하에서는 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 가시광 통신 시스템의 데이터 처리량에 대한 비용 및 소비 전력을 살펴본다. 상술한 환경과 동일한 환경을 가정하고 배교 대상 또한 Wi-Fi 시스템, 하이브리드 VLC-Wi-Fi 시스템으로 동일하다.
- [0089] 도 7은 서로 다른 신호 처리 장치의 데이터 처리량 대비 시뮬레이션 된 평균 장치 비용 및 전력 소비 비용을 보여주는 그래프이다.
- [0090] 도 7에서 DSP의 연산 능력이 증가함에 따라 장치 비용도 증가한다는 것을 알 수 있다. 소비 전력 소비 또한 연산 능력의 증가에 따라 증가한다. DSP 산업이 현재 효율적인 저전력 보드로 옮겨 가고 있기 때문에 여기에 언급된 가격은 근사치이며, 향후 지속적으로 전력 효율이 높은 보드가 출시되면서 장치 및 전력 비용이 감소 할 것으로 예상된다.
- [0091] 상술한 내용을 바탕으로 비교 대상 시스템과 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 가시광 통신 시스템의 데이터 처리량에 대한 장치 비용, 데이터 처리량에 대한 전력 비용 및 데이터 처리량에 대한 총 비용을 살펴 보면 다음과 같다.
- [0092] 도 8은 비교 대상 시스템과 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 가시광 통신 시스템의 데이터 처리량 대비 장치 비용을 보여준다.
- [0093] 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 가시광 통신 시스템의 장치 비용은 높지만 시간이 갈수록 시스템은 낮은 유지 보수 비용으로 인해 더 저렴해짐을 알 수 있다. 도 8에서 유지 관리 비용은 전구 교체 및 Wi-Fi 장치의 하드웨어 업그레이드 일 수 있다. 그러나 VLC의 경우 하드웨어 업그레이드는 최소 5년 동안 평균 스마트 홈에 필요한 데이터 처리량을 처리 할 수 있을 것으로 예상되므로 필요하지 않으며 이 또한 비용 절감으로 이어질 수 있다.
- [0094] 도 9는 데이터 처리량에 대한 전력 비용을 계산 한 결과이다.
- [0095] 도 9에서 볼 수 있듯이 Wi-Fi 시스템과 하이브리드 VLC-Wi-Fi 시스템은 데이터 처리량에 비해 더 많은 전력을 소모하므로 상대적으로 많은 비용이 든다. 고효율의 DSP를 사용할 수 있는 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 가시광 통신 시스템의 경우, 데이터 처리량에 대한 전력 비용은 적다.
- [0096] 도 10은 데이터 처리량에 대한 총 비용을 보여준다.
- [0097] 본 발명의 실시예에 따른 다중 사용자 전이중 가시광 통신 시스템의 초기 비용은 비교 대상 시스템에 비하여 높지만 4년이 지나면 가장 낮은 비용을 갖게 됨을 보여준다.

도면

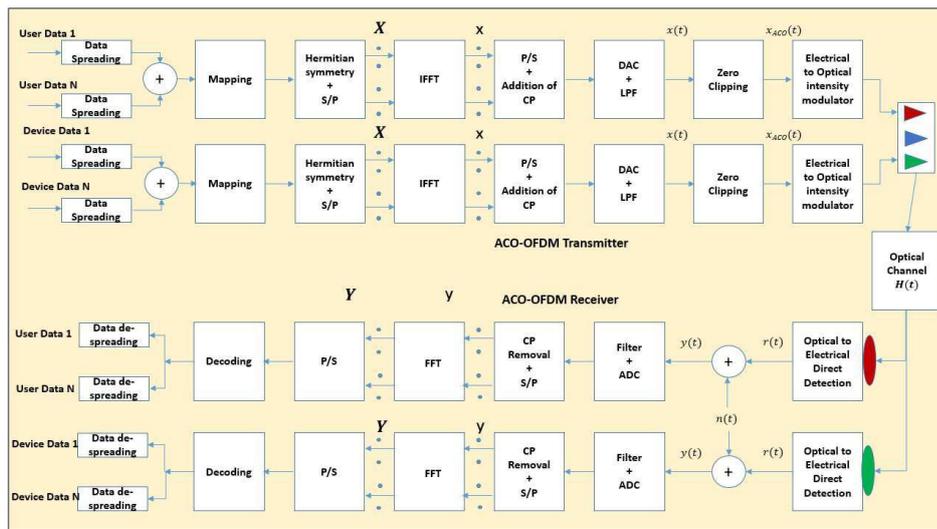
도면1



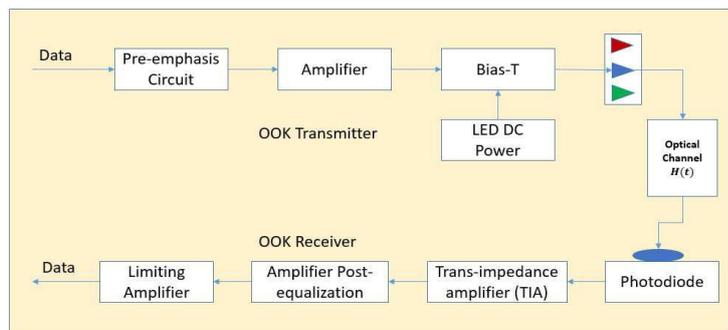
도면2



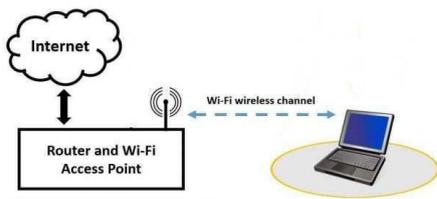
도면3



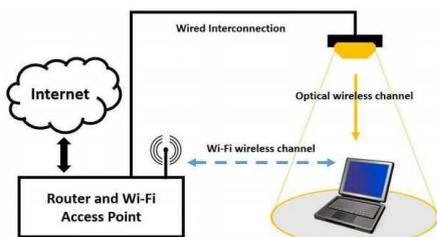
도면4



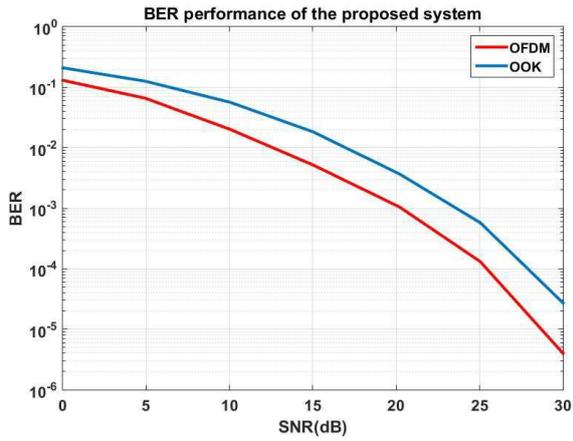
도면5a



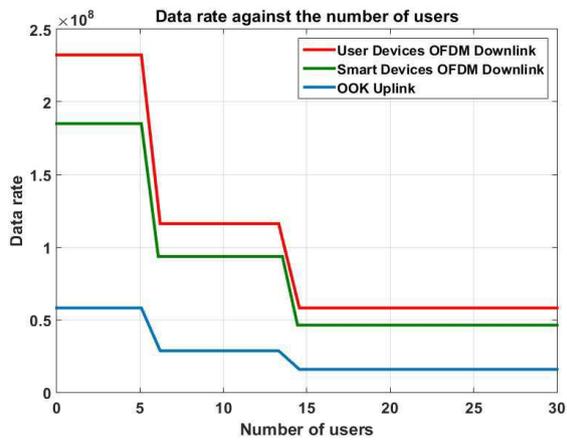
도면5b



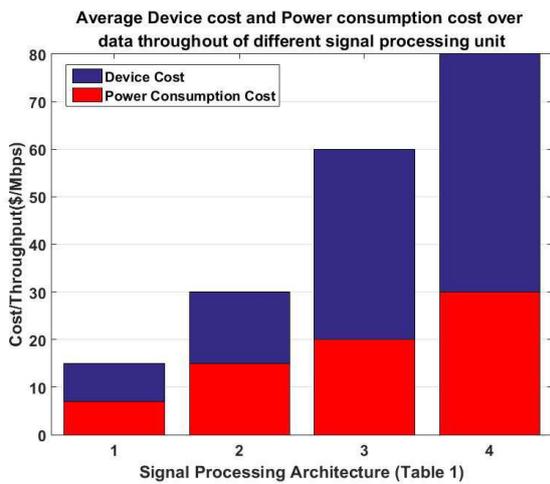
도면6a



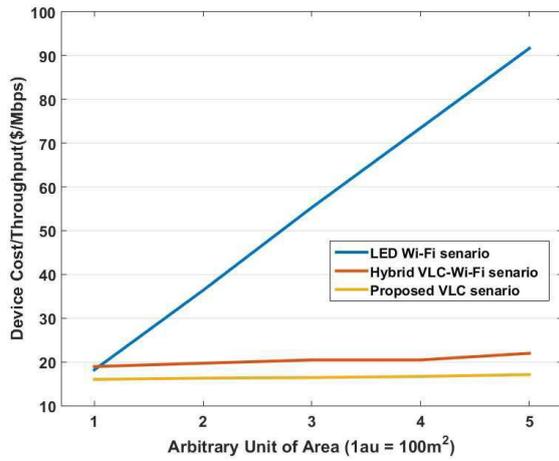
도면6b



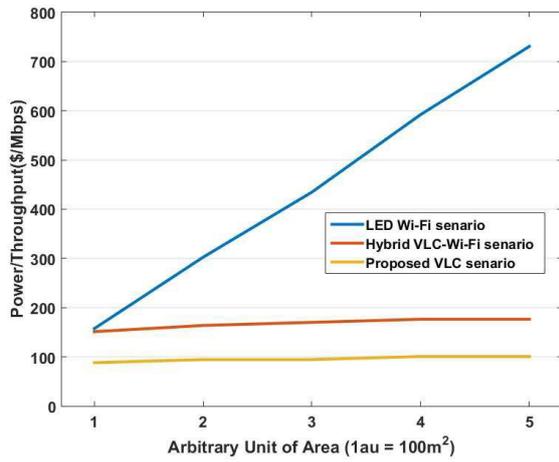
도면7



도면8



도면9



도면10

