유비쿼터스 환경에서 LED를 이용한 근거리 무선전송 기술에 관한 연구

이양선*

A Study on the Short-Range Wireless Transmission Technology using the LED in Ubiquitous Environment

Yang Sun Lee*

Division of Computer Engineering, Mokwon University, Daejeon 302-729, Korea

요 약

본 논문에서는 LED 기반 VLC 통신시스템의 기술동향 및 국제표준인 IEEE 802.15.7의 PHY 기술을 분석하였다. 또한, PHY I mode의 세부기술을 분석하고 RS 부호 및 블록 인터리버를 설계함으로써 시스템의 복잡도 분석 및 가시광 무선채널 환경에서의 수신 성능을 분석하였다. 결과에 의하면, Single mode로 운영되는 PHY I의 경우, 짧은 메시지 전송이라는 환경에 비해 시스템 설계의 복잡도가 크다는 것을 확인할 수 있었고, 다중경로 가시광 채널환경에서는 1.5dB의 수신 SNR이 추가적으로 요구됨을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

This paper analyzed the PHY technology of IEEE 802.15.7 which is a technology trend and international standard of the LED-based VLC communication system. Also, the study analyzed the complexity of the system as well as the reception performance in a visible light wireless channel environment by analyzing detailed technology of PHY I mode and designing the RS code and block interleaver. According to the result, concerning PHY I which is operated in a single mode, it was confirmed that the complexity in designing the system was higher compared with an environment of the transmission of a short message. Also it was confirmed that in a multi-path visible light channel environment, the reception SNR=1.5dB was required additionally.

키워드 : LED, 가시광통신, 근거리 통신시스템, IEEE 802.15.7 표준

Key word : LED, Visible Light Communication, Short-Range Communication System, IEEE 802.15.7 Standardization

접수일자 : 2013. 02. 07 심사완료일자 : 2013. 03. 28 게재확정일자 : 2013. 04. 12

* **Corresponding Author** Yang Sun Lee(E-mail:yslee48@gmail.com, Tel:+82-42-829-7638)

Division of Computer Engineering, Mokwon University, Daejeon 302-729, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.9.2174>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

여러 디지털 서비스 사업 중 서비스 정보 매체 산업은 여러 온/오프라인을 활용 하며, 디지털 서비스 정보 매체 산업이 박물관, 관공서 그리고 관광지 등 사람들이 접할 수 있는 어느 곳에서도 활용되는 것이 가장 이상적이다. 하지만 IT가 발달된 정보화 시대에 살고 있음에도 불구하고 모르거나 어려워, 혹은 비용이 많이 소요 되서 디지털 서비스 정보 매체를 활용 못하는 경우가 많다. 예를 들어 박물관, 관공서에서 정보 획득을 위해 홈페이지와 같은 웹을 사용하여 미리 정보를 획득할 수 있고, 오프라인 서비스 정보 매체로 사진 및 홍보물을 통하여 볼 수 있으나 홍보 및 설명을 위하여 외부 홈페이지, 전단지등 지속적인 관리와 비용이 소모되고 있다. 이러한 이유로 보다 관리가 편하고 비용에 대한 부담을 줄일 수 있는 방법으로 박물관, 관공서 그리고 관광지등과 같은 다양한 정보를 제공하는 곳에 'LED 조명을 이용한 디지털 서비스 정보 매체 시스템'을 적용하고자 하는 연구가 진행되고 있다[1~3].

이에 본 논문에서는 LED 조명을 이용한 디지털 통신 서비스를 위한 연구방안으로 최근 IEEE에서 표준화가 제정된 IEEE 802.15.7의 LED를 이용한 VLC 통신 시스템 규격을 분석하고 실내 조명광 환경에서 구현 가능성을 검증하기 위해 시뮬레이터를 설계하여 LED를 이용한 VLC 통신 시스템의 성능을 분석하였다.

II. LED를 이용한 가시광 무선통신

2.1. 가시광 무선통신 개요

가시광 무선통신 기술은 백열 전구와 형광등과 같은 조명이 디지털 반도체에 의한 LED(Light Emitting Diode) 조명으로 교체되는 인프라를 이용하여 통신을 가능하게 하는 기술로써 가시광 무선통신 PHY 기술, 가시광 무선통신 L2MAC 기술, 가시광 무선통신 응용 프로토콜 기술 등을 대상으로 하고 있다.

가시광 무선통신은 반도체가 메모리 및 프로세서에 이어 조명으로도 사용하기 시작하면서 조명 빛을 통신 광원으로 사용할 수 있는 기술로 등장하였다. 즉, 가시광 무선통신은 조명과 통신을 융합한 실체라고 할 수 있다. 가시광 무선통신은 78nm에서 380nm의 파장

(wavelength)을 갖는다. 이 파장을 주파수로 바꾸면 385THz에서 789THz에 해당하며 가청(오디오) 주파수 대역은 20Hz에서 20,000Hz에 해당되고, 적외선 파장을 사용하는 IrDA, 2.4GHz의 IEEE 802.11n, UWB, 802.15.4 Zigbee, Bluetooth, 60GHz의 IEEE 802.15-3c 등이 있다. 가시광 무선통신은 800-900nm를 사용하는 IrDA와 가장 유사한 파장을 사용하지만, 조명과 동시에 통신을 할 수 있다는 것이 특징이며 장점이다. 그림 1은 가시광 무선통신 파장대역을 보여주고 있다[2~5].

그림 1. 가시광 무선통신 파장대역

Fig. 1 Wavelength band of visible light communication

2.2. 가시광 무선통신 기술개발 동향

국내에서는 2007년 TTA 가시광 통신 서비스 실무반을 PG402 멀티미디어응용 산하에 신설하였다. TTA 표준화 로드맵 작업을 2007년부터 시작하여 2008년, 2009년에도 지속적으로 추진하고 있다. 이러한 TTA 가시광 무선통신 표준 로드맵은 국내 기술개발의 방향 설정에 도움을 주고 있다. TTA 가시광통신서비스 실무반(WG 4021)에서는 2008년 5건을 국내 고유국문표준을 제정하였으며, 2010년에는 제정 5건을 국가표준으로 추진하고, 16건의 신규 국내고유국문표준을 제안하여 TTA 단체표준으로 추진하였다. TTA 가시광통신서비스 실무반에서 개발한 국문 고유표준을 국가표준으로 2011년 6월 5건 제정하였고, 2010년에 TTA와 IEEE 802.15.7은 상호 표준협력을 위하여 MOU를 체결하였다[6~7].

국제 표준화의 경우, TU-T SG 16에서 가시광 무선통신 응용 서비스 측면에서 기고서를 2007년과 2008년에 발표한 바가 있다. IEEE 802.15 WPAN에서의 가시광 무선통신 표준 작업을 위하여 IG(Interesting Group)을 2007년 11월에 신설하였고, 2008년 5월에 SG(Study Group)를, 2009년 1월에 TF(Task Group)로 구성하였다. 2010년 첫 번째 초안인 D1을 완성하여 Letter Ballot

를 거쳐 1,403개의 코멘트를 받았으며, 코멘트를 해결한 D2를 완성하고 두 번째 Letter Ballot를 거쳐 약 800개의 코멘트를 받아 해결하기 위한 작업을 추진하였다. 그 결과 IEEE 802.15.7 가시광 무선통신 국제표준이 2011년 7월 20일에 제정되었다[7~9].

본 논문에서는 LED를 이용한 근거리 무선전송기술로써 국제표준으로 제정된 IEEE 802.15.7의 VLC 통신 기술 규격을 분석하고, 세부 기술중 PHY I 모드에 대해 가시광 통신 채널에서의 PHY Layer의 수신 성능을 분석하였다.

III. IEEE 802.15.7 VLC 통신 규격

3.1. IEEE 802.15.7 PHY 개요

IEEE 802.15.7의 PHY 계층은 여러 타입으로 제공을 한다. 첫 번째, PHY I은 저속의 data rate를 가지며 실외 사용한다. 또한, 10kb/s~수 백 kb/s data rate으로 OOK(on-off keying)와 VPPM(variable pulse position modulation)을 사용한다. PHY II는 적당한 data rate를 가지며 실내 사용을 위해 고안된다. 수 십 Mb/s data rate 이내에서 OOK과 VPPM를 이용한다. 마지막으로 PHY III는 다중 광원과 검출기를 갖는 CSK(color-shift keying)를 이용하며, 수 십 Mb/s data rate 내에서 CSK를 사용한다[8~10].

PHY 계층은 다음과 같은 작업을 담당한다.

- VLC 송수신기의 활성화와 비활성화
- 송신된 프레임의 WQI
- 채널 선택
- 데이터 전송과 리셉션
- 에러 정정
- 동기화

IEEE 802.15.7 PHY는 표 1과 표 2에 나타난 PHY I 또는 PHY II의 필수 모드들 중 하나로 구현되어야 한다. 표 3의 PHY III 모드로 구현되어지는 디바이스들은 공존을 위하여 PHY II 모드로 구현되어야 한다. PHY 변조 모드는 dimming이 존재할 때 동작할 수 있다. Dimming의 OOK 변조는 보상 시간을 삽입함으로써 일정한 범위 및 가변 data rate를 제공하고, dimming의

VPPM 변조는 펄스의 폭을 조정하여 특정 data rate와 가변 범위를 제공한다.

표 1~표 3에 나타난 바와 같이, 표준에서는 오류 정정을 위한 채널 코딩을 지원한다. PHY I은 짧은 프레임 길이를 가지는 실외 환경을 위하여 디자인되었기 때문에 RS(Reed-Solomon)와 CC(Convolution Coding)를 지원한다. 반면에 PHY II와 PHY III는 RS만 지원된다. PHY I과 PHY II는 DC balance, clock recovery 및 flicker mitigation을 제공하기 위하여 RLL(Run Length Limited) 코드를 지원한다. 본 논문에서는 상기 세부 PHY 규격 중 PHY I 모드의 필수 옵션 규격을 이용하여 시스템을 설계하고 가시광 채널을 가정하여 수신 성능을 분석하였다.

표 1. PHY I 동작 모드

Table. 1 PHY I Operation Modes

Modulation	RLL code	Optical clock rate	FEC		Data rate
			Outer code (RS)	Inner code (CC)	
OOK	Manchester	200 kHz	(15,7)	1/4	11.67 kb/s
			(15,11)	1/3	24.44 kb/s
			(15,11)	2/3	48.89 kb/s
			(15,11)	none	73.3 kb/s
			none	none	100 kb/s
VPPM	4B6B	400 kHz	(15,2)	none	35.56 kb/s
			(15,4)	none	71.11 kb/s
			(15,7)	none	124.4 kb/s
			none	none	266.6 kb/s

표 2. PHY II 동작 모드

Table. 2 PHY II Operation Modes

Modulation	RLL code	Optical clock rate	FEC	Data rate
VPPM	4B6B	3.75 MHz	RS(64,32)	1.25 Mb/s
			RS(160,128)	2 Mb/s
		7.5 MHz	RS(64,32)	2.5 Mb/s
			RS(160,128)	4 Mb/s
			none	5 Mb/s
OOK	8B10B	15 MHz	RS(64,32)	6 Mb/s
			RS(160,128)	9.6 Mb/s
		30 MHz	RS(64,32)	12 Mb/s
			RS(160,128)	19.2 Mb/s
		60 MHz	RS(64,32)	24 Mb/s
			RS(160,128)	38.4 Mb/s
		120 MHz	RS(64,32)	48 Mb/s
			RS(160,128)	76.8 Mb/s
			none	96 Mb/s

표 3. PHY III 동작 모드

Table. 3 PHY III Operation Modes

Modulation	Optical clock rate	FEC	Data rate
4-CSK	12 MHz	RS(64,32)	12 Mb/s
8-CSK		RS(64,32)	18 Mb/s
4-CSK	24 MHz	RS(64,32)	24 Mb/s
8-CSK		RS(64,32)	36 Mb/s
16-CSK		RS(64,32)	48 Mb/s
8-CSK		none	72 Mb/s
16-CSK		none	96 Mb/s

3.2. IEEE 802.15.7 PHY I 세부 기술

본 논문에서는 PHY 세부 규격 중 PHY I 모드의 규격에 대해서만 분석하였다. PHY I 모드의 기본 시스템 블록 다이어그램은 그림 2와 같다[10].

그림 2. IEEE 802.15.7 PHY I 기본 블록 다이어그램

Fig. 2 Reference Block Diagram for PHY I

VLC 통신 시스템에서 PHY 계층은 일반적인 데이터 전송으로 Single mode, Packed mode, Burst mode를 지원한다. 본 논문에서는 Single mode를 지원하는 시스템을 고려한다. single mode는 프레임 당 하나의 PPDU를 전송하고 주로 통보, 군집, 비콘 또는 국부방송과 같은 매우 짧은 데이터 전송시에 사용된다.

3.2.1. PPDU 포맷

PPDU 프레임 구조는 그림 4.3에서 가장 먼저 전송되거나 수신되는 부분은 가장 왼쪽 영역인 프리엠블 영역이다.

그림 3. PPDU 프레임 포맷

Fig. 3 PPDU frame format

프리엠블 영역은 들어오는 메시지와 함께 optical clock 동기를 얻기 위하여 송수신기에서 사용된다. 세부구조는 PHY의 다른 네가지의 토폴로지를 제공하기 위해 4개의 TDP(topology dependent patterns)와 한 개의 FLP(fast locking pattern)로 정의된다. 프리엠블의 첫 번째는 최소 64개의 0과 1이 교차로 나열되는 FLP로 시작된다. FLP는 0으로 끝나는 “101010...”의 고정된 패턴으로 시작한다. FLP의 길이는 그림 4와 같이 최대를 초과하지 않는다. FLP 다음에는 네가지의 TDP 중 하나의 mode가 네 번 반복되어진다. 각 TDP는 15bit의 길이로 구성되고 DC balance를 제공하기 위해 역으로 반복하는 구조를 갖는다.

그림 4. 프리엠블 전송 구조

Fig. 4 Preamble format

프리엠블은 OOK 변조를 통하여 전송되고, single data mode와 packed data mode에 대한 프리엠블은 그림 4와 같이 구성된다.

3.2.2. PSDU 포맷

PSDU 영역은 가변적인 길이를 가지고 있고, PHY 프레임의 정보 데이터를 포함하고 있다. FCS는 PSDU가 non-zero byte payload 이면 삽입된다. “0”의 값을 갖는 6bit의 tail bit는 PHY I이 11.67 kb/s, 24.44 kb/s 또는 48.89 kb/s의 data rate을 사용하면 PSDU의 끝에 붙여진다. PSDU 영역의 구조는 아래의 그림 5와 같다.

그림 5. PSDU 영역 구조

Fig. 5 PSDU format

3.2.3. RS 부호기

PHY I에서는 연접 부호화 방식을 사용하고 있으며 RS Inner Code와 Convolutional Outer Code를 채용하고 있다. RS 부호는 q 개의 원소를 갖는 $GF(q)$ 상의 블

력계열이다. 본 논문에서 설계한 RS 코드는 $q=2^4$ 인 경우의 코드이다. 먼저 $RS(n, k)$ 코드의 특성을 알 필요가 있다.

인코더는 입력되는 k 개의 데이터에 이 데이터를 보호하기 위해서 $2t$ 개의 패리티를 덧붙여서 n 개의 부호어를 출력하는 기능을 한다.

일반적으로 RS 코드는 순환코드에 속하기 때문에 인코딩 방법은 일반적인 순환코드와 같다. 다만 입력되는 데이터의 단위가 비트가 아닌 4개의 비트가 하나의 심볼로 입력된다는 것이 다르다. 따라서 일반적인 순환코드의 인코더에 비해서 곱셈기, 덧셈기의 계산이 다소 복잡하다.

본 논문에서 RS 인코더에 입력되는 데이터는 모두 4비트로 이루어진 심볼 단위의 오류를 수정하며 이 심볼은 모두 $GF(2^4)$ 상의 원소이다. 또한 형성된 부호어 사이의 최소거리가 $n-k+1$ 로서 singleton-bound의 최대값을 갖는 maximum distance 코드이다.

본 논문에서 설계한 RS 인코더는 Fixed-length codeword 모드를 지원하고 모드에서 만약 전송할 데이터 길이가 k 보다 작으면 RS 부호화 모드에 따라 다음과 같이 수행할 수 있다.

• Fixed-length codeword 모드

- (전송할 데이터 길이 $\geq k$)인 경우 : (n, k, T) RS 부호화 수행
- (전송할 데이터 길이 $< k$)인 경우 : $(k - \text{전송할 데이터 길이})$ 만큼 byte stuffing한 후 (n, k, T) RS 부호화를 수행 한다.

여기서, byte stuffing이란, RS 부호화 과정에서 할당된 데이터의 양을 초과하여 초과된 여분의 부분에 dummy의 RS codeword가 추가될 수 있을 때 zero/one fill을 하여 RS 부호화를 추가로 수행한다. 이 때 zero/one fill이 byte 단위로 이루어지므로 byte stuffing이라고 한다. 그림 6은 Fixed-length codeword RS 인코더 설계를 위한 알고리즘 Flow Chart를 보여주고 있다. 그림 7은 설계한 RS 부호화 과정을 Matlab 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 통해 검증한 데이터 출력화면이다.

그림 6. Fixed-length codeword RS 부호화 흐름도
Fig. 6 Flow chart of Fixed-length codeword RS encoder

그림 7. Matlab을 이용한 RS 인코더 출력 (RS (15,7))
Fig. 7 Output data of RS encoder using Matlab (RS(15,7))

3.2.4. 블록 인터리버

블록 인터리버는 그림 8과 같이 Inner RS 부호기와 Outer Convolutional 부호기 사이에서 이용된다. 인터리버는 fixed height n 을 가지고 있지만, frame 크기에 의존한 flexible depth D 를 가지고 있다. 인터리버의 flexible depth와 인터리버 후에 puncturing block은 padding overhead를 최소화 하는데 사용된다.

그림 8. 블록 인터리버 구조
Fig. 8 Structure of Block Interleaver

블록 인터리버는 매 프레임마다 수행되며 다음과 같은 인터리버 동작 파라미터들에 의해 동작을 결정한다.

- Interleaver Height (Fixed) : N_r
- Interleaver Depth : I_r
- Interleaver Block Size : B_r (데이터 길이에 따라 가변)
- Coded Packet Size : N_f

패킷의 RS 부호화된 데이터 바이트들은 먼저 N_r I_r 바이트의 인터리버 블록에 분배된다. (각 RS code words I_r 블록) 마지막 인터리버 블록의 사이즈는 패킷 길이가 $N_r I_r$ 의 정수배가 되지 않을 때 더 작게 된다. 각 인터리버 블록은 단독으로 인터리브되어진다. 각 인터리버 블록은 I_r 행(row)과 N_r 열(column)을 갖는 테이블에 채워진다. 데이터는 행 by 행으로(좌에서 우로) 씌여진다. 그러므로, 각 행은 하나의 RS code word에 대응된다. 씌여진 바이트들은 열 by 열(위에서 아래로) 읽어진다. 따라서, 인터리버 동작은 아래의 그림과 같다.

그림 9. 블록 인터리버 동작
Fig. 9 Operation of Block Interleaver

마지막 인터리버 블록은 I_r 보다 더 적은 행들을 갖게 될지도 모른다. 만약 shortened last codeword mode가 적용된 경우, 마지막 행은 N_r 보다 더 적은 원소를 갖게 된다. 이러한 경우들에서, 인터리버 테이블은 열 by 열로 읽고 테이블의 비어있는 원소들은 zero를 padding한다. 본 논문에서 설계한 블록 인터리빙 동작 시나리오는 그림 10, 그림 11과 같다.

그림 10. RS 부호기 출력에 대한 블록 인터리버 동작
Fig. 10 Block Interleaver operation to RS encoder output

그림 11. 블록 인터리버 동작 시나리오
Fig. 11 Operation scenario of Block Interleaver

3.2.5. 컨벌루션 부호기

컨벌루션 부호는 생성 다항식 $g_0 = 1338$, $g_1 = 1718$, $g_2 = 1658$ 을 가진 구속장 길이 7(K=7)의 Rate-1/3 주 Convolutional 코드를 기반으로 그림 12에 나타난 바와 같다[10].

그림 12. 구속장 K=7을 갖는 Rate-1/3 주 컨벌루션 부호기
Fig. 12 Rate-1/3 mother convolutional code with constraint length 7

본 논문에서는 IEEE 802.15.7 PHY I의 Mandatory에 해당하는 Rate-1/4 부호만을 고려한다.

3.2.6. Run-length limiting encoder (RLL Encoder)

본 논문에서는 PHY I의 Mandatory에 해당하는 OOK mode에서 맨체스터 코드가 적용되는 RLL Encoder에 대해 설계한다. 모든 OOK PHY I 모드는 Manchester DC balancing encoding을 이용한다. Manchester code는 표 4에 나타난 바와 같이 각각 비트를 인코딩된 2-bit 심볼로 확장시킨다[10].

표 4. 맨체스터 부호

Table. 4 Manchester encoding

bit	Manchester symbol
0	01
1	10

IV. IEEE 802.15.7 PHY I 기반 VLC 통신시스템 성능분석

4.1. IEEE 802.15.7 PHY I을 적용한 OOK 기반 VLC 무선 통신 시스템 구조

본 논문에서는 IEEE 802.15.7 PHY I을 기반으로 한 가시광 무선통신 시스템을 가시광 채널환경에 적용하여 분석하였다. 채널은 AWGN 환경과 가시광 반사파가 존재하는 환경에서 SNR을 기준으로 수신 성능을 분석하였다. 본 논문에서 고려한 PHY I OOK 기반 VLC 무선통신 시스템의 송수신기 구성은 그림 13과 같다.

그림 13. VLC 무선통신 시스템 송수신기 구조
Fig. 13 Block diagram of VLC System TRx

4.2. OOK 기반 VLC 무선통신 시스템의 변조성능 분석

데이터 전송 방식은 Single Mode의 방식으로 전송되는 구조를 갖는다. 시뮬레이션 수행을 위한 데이터 구조는 MAC에서의 각종 제어정보의 처리는 완벽하다는 가정하에 PHY Layer에서 동기검출을 위한 FLP 프리엠블을 PSDU 데이터의 첫 부분에 삽입하였다. 프리엠블이 삽입된 데이터는 Inner Code, Interleaver, Outer Code를 거쳐 RLL Encode와 OOK 매핑을 거쳐 매핑된 후 RRC Filter를 통해 shaping 후 광 채널로 전송하게 된다. RRC Filter의 설계 파라미터는 Oversample 4, Filter Order 24, Roll-Off Factor 0.3으로 설계하였다.

수신단은 Matched Filter를 이용한 동기검파 방식을 고려하였다. 그림 14는 Matched Filter 통과 후의 수신 신호의 스펙트럼을 보여주고 있다.

그림 14. Matched filter 통과 후의 수신신호 스펙트럼
Fig. 14 Rx Spectrum after Matched filter

Matched Filter를 통과한 수신 신호는 프리엠블 신호를 추출한 다음 Correlation을 취하여 de-mapping을 수행한다. 프리엠블 신호의 동기검출 신호는 아래와 같다.

그림 15. 수신신호의 프리엠블 상관검출
Fig. 15 Cross correlation of Rx preamble

그림 16, 그림 17은 AWGN 채널 환경과 다중 반사파가 존재하는 가시광 채널 환경에서 Outer encoding을 제외하였을 때의 수신성능을 나타내고 있다. 본 논문에서 설계한 바이트 인터리버의 파라미터 Depth=25로 설계하였다. 다중경로 채널 환경을 3-ray 다중경로 채널을 고려하였고, 동일한 시스템 시뮬레이션에서 AWGN 환경에 비해 10^{-4} BER을 만족하는데 SNR 1.5dB가 추가로 요구됨을 알 수 있다.

그림 16. VLC PHY I 통신시스템 BER 성능(AWGN)
Fig. 16 BER of VLC PHY I system (AWGN)

그림 17. 무선 가시광 다중경로 환경에서 VLC PHY I 통신시스템 BER 성능(3-ray Multipath Channel)
Fig. 17 BER of VLC PHY I system(3-ray Multipath Channel)

V. 결 론

본 논문에서는 최근 그린 IT로써 응용가능성이 높게 예상되는 LED를 이용한 조명광 통신 시스템으로써 LED 기반 VLC 통신 시스템에 관한 기술개발 동향 및 국제 표준으로 제정된 IEEE 802.15.7 VLC 통신 기술 규격을 분석하였다. 또한, 근거리 무선전송 응용을 위하여 표준기술 중 PHY I 모드에 대한 세부 규격 분석과 함께 RS 부호기와 동적으로 운용이 가능한 블록 인터리버를 설계하고 Matlab 프로그램을 이용한 시뮬레이션 분석을 수행하였다. Single mode로 운영되는 PHY I의 경우, 짧은 메시지 전송이라는 환경에 비해 시스템 설계의 복잡도가 크다는 것을 확인할 수 있었고, RS 부호와 컨벌루션 부호를 동시에 채용하는 연접부호 방식보다는 구조의 단순화가 가능한 부호화 기법의 채용이 성능대비 효율성을 증대시킬 수 있을것으로 사료된다. 향후, 가시광 무선채널의 모델링에 관한 연구를 추가하여 보다 실제적인 채널환경에서의 시스템 분석을 수행하고자 한다.

REFERENCES

- [1] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED Lights," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 50, no. 1, pp. 100 - 07, Feb. 2004.
- [2] M. Kavehrad, "Sustainable Energy-Efficient Wireless Applications Using Light," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, no. 12, pp. 66 - 73, Dec. 2010.
- [3] K. Cui et al., "Line-of-Sight Visible Light Communication System Design and Demonstration," *7th IEEE Int'l. Symp. Commun. Sys. Networks and Digital Signal Proc.*, pp. 621 - 25, July 2010.
- [4] D. O'Brien and M. Katz, "Optical wireless communications within fourth-generation wireless systems," *J. Opt. Network*, vol. 4, pp. 312-322, Aug. 2005.
- [5] T. Komine, M. Nakagawa "Fundamental Analysis for Visible Light communication system using LED light," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 50, pp. 100-107, Sept. 2004.
- [6] T. Komine and M. Nakagawa, "Performance evaluation of Visible-Light Wireless Communication System using White

- LED Lighting,” in *Proceedings of the Ninth IEEE Symposium on Computers and Communications*, pp.258-263, Nov. 2004.
- [7] Telecommunications Technology Association(TTA), “*ICT Standardization Strategy Map 2012*”, TTA-11104-SA, Dec. 2012.
- [8] O'Brien-Dc, Zeng, L., Le-Minh, H., and Faulkner, G.: ‘VLC with whitelight LEDs: strategies to increase data-rate’, Presented at IEEE 802.15c meeting Jacksonville, Fl, USA, May, 2008, <https://mentor.ieee.org/802.15/documents>.
- [9] IEEE: IEEE 802.15 WPAN Visual Light Communication Study Group (IGvlc) <http://www.ieee802.org/15/pub/IGvlc.html>, 2008
- [10] IEEE Std. 802.15.7, *Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light*, IEEE Computer Society, New York, Sept. 2011.

이양선(Yang Sun Lee)

2001년 동신대학교 전기전자공학과 졸업(공학사)
2003년 동신대학교 대학원 전기전자공학과 졸업(공학석사)
2007년 목원대학교 대학원 IT공학과 졸업(공학박사)
2012년 Fukuoka Institute of Technology(FIT), Graduated School of Engineering, Japan 졸업(공학박사)
2007년 ~ 2009년 (주)휴메이트 기술연구소 기획팀장
2009년 ~ 2011년 조선대학교 정보통신공학과 연구교수
2012년 ~ 현재 목원대학교 컴퓨터공학부 교수
※관심분야 : 가시광 무선통신, UWB, ITS, 디지털 무선통신, 전파성능분석