

전력선 및 LED 조명을 이용한 홈네트워킹 시스템

단승록*, 노진영*, 이승우*, 최경목**, 주민철*, 박영일*

Home Networking System Employing Power Line and LED Lighting

Seungrok Dan*, Jinyoung Noh*, Seungwoo Lee*, Kyungmook Choi**, MinChul Ju*, Youngil Park*

요 약

LED 조명을 홈네트워킹에 적용하기 위해서는 홈게이트웨이와 LED 조명 사이에서 신호를 전송하는 전력선통신이 필요하며, 양방향 전송을 위한 적절한 통신방식이 요구된다. 또한 한 개의 LED 조명을 이용해서 여러 가입자를 서비스하기 위해서는 LED의 특성에 맞는 적절한 다중화방식이 요구된다. 본 논문에서는 전력선통신과 가시광통신을 결합함으로써 빌딩 내부 넓은 범위를 서비스할 수 있는 홈네트워킹 시스템을 제안하고 테스트베드를 이용하여 성능을 시험하였다. 이때 가시광통신의 다중화에는 LED 비선형성을 극복하기에 적절한 Binary CDMA 방식을 이용하였으며, 역방향 전송에는 적외선을 이용하였다.

Key Words : VLC, LED Lighting, PLC, Home Networking, Binary CDMA, Bi-directional

ABSTRACT

If LED lighting is to be used in home networking, a home gateway and power line communication are needed in delivering data. In addition, an appropriate multiple access scheme reflecting LED's property is required. In this paper, a home networking system that can serve wide in-building area by integrating PLC and VLC, is proposed and implemented, then its performance is measured. A binary CDMA is used in the multiple access since this scheme is good for nonlinear device like LED, while infrared is used in the upstream transmission.

I. 서 론

가시광통신(VLC, Visible Light Communication)은 빠른 ON/OFF 속도를 갖는 LED를 고속의 무선 데이터 전송 수단으로 사용하는 통신방식으로서, 동일한 장치를 사용하여 조명과 통신을 함께 제공할 수 있다는 장점을 가지고 있다. LED 조명 인프라를 활용한 가시광통신은 LED가 설치된 지역 어디에서나 통신

환경을 구축할 수 있으며 빌딩 등 실내에서 TV나 스마트폰 같은 전자기기들과 통신이 가능하다. 한편, 가시광통신을 홈이나 빌딩의 넓은 영역에 적용하기 위해서는 게이트웨이로부터 LED 조명까지를 연결하여 각종 데이터나 제어신호를 전달해주는 인프라 네트워크가 필요하다.

빌딩에서 조명을 제어하기 위해 많이 사용하고 있는 DALI 시스템은 유럽 지역에서 사용하는 조명제어

※ 본 연구는 한국연구재단 기본연구지원사업(2011-0007107) 및 미래부 2013년 정보통신·방송(ICT)연구개발사업 지원으로 수행되었음.

• 주저자 : 국민대학교 전자공학과 광대역통신 연구실, thdusc1020@hanmail.net, 학생회원

◦ 교신저자 : 국민대학교 전자공학과 광대역통신 연구실, ypark@kookmin.ac.kr, 종신회원

* 국민대학교

** 콘티넨탈 오토모티브 코퍼레이션 코리아(주)

논문번호 : KICS2013-06-243, 접수일자 : 2013년 6월 14일, 최종논문접수일자 : 2013년 7월 23일

프로토콜이며 라우터에서 빛의 밝기를 제어하는 홈네트워킹 시스템이다. 이 기술은 각각의 유닛에 대해 개별적으로 주소를 할당하는 것이 가능하여 현재 빌딩 조명제어 시스템으로 유용하다^{1,2)}. 하지만 전력선 이외의 별도 제어선로가 필요하며 조명제어 신호 이외의 다른 신호를 함께 전송할 수 없다. 그러나 기존의 전력선을 통신채널로 이용하여 통신하는 전력선통신(PLC, Power Line Communication)은 별도의 제어선로 없이 조명제어가 가능할 뿐 아니라 동시에 고속 데이터 전송도 가능하여 VLC의 기반 네트워크로 매우 유용하다.

한편, 홈 네트워킹을 위해서는 한 개의 조명을 이용하여 여러 사용자가 동시에 접속이 가능하도록 하는 기법이 추가되어야 할 것이다. 기존 무선통신의 채널 다중화에는 CDMA 혹은 OFDMA 방식이 많이 이용되지만, 이들은 여러 채널의 데이터를 다중 레벨로 전송하기 때문에 PAPR (Peak to Average Power Ratio)이 크며, 비선형 특성이 큰 조명용 LED 소자의 변조에 위 방식들을 적용할 경우 무선통신에 비해 성능이 많이 저하된다³⁾. 따라서 본 논문에서는 이진 레벨로 다중화를 구현할 수 있는 Binary CDMA (BCDMA) 방식을 이용하였다. BCDMA는 직교 코드인 Walsh-Hadamard (WH) 코드를 각 채널의 데이터 변조에 이용하되, 전송 채널의 데이터 합은 항상 이진 레벨을 갖도록 패리티 비트를 더해서 전송하는 다중화 방식이다. 또한 홈네트워킹을 위해서는 양방향 전송이 필수적이며, 본 논문에서는 이동 단말로부터 LED 조명을 향하는 역방향 전송에 적외선 LED를 이용함으로써 가시광과의 간섭을 최소화하였다. LED 조명부에는 적외선 필터와 PD를 이용한 수신부를 구성하고, 수신 신호는 전력선을 이용하여 게이트웨이로 전송함으로써 양방향 통신을 가능하게 한다.

본 논문에서는 가시광통신에 전력선통신을 접목하고 BCDMA를 추가하여 LED를 통해 다중 가입자에게 서비스를 제공할 수 있는 홈네트워킹 시스템을 구현하고 성능을 측정하였다. 순방향으로는 음성과 텍스트를 다중화 하여 전송하고, 역방향으로는 조도 센서 출력을 전송하여 시험하였다.

II. 홈 네트워킹 시스템의 구성

2.1. 전력선통신을 이용한 데이터 전송

본 논문에서는 음성, 문자, 센서데이터 등 여러 형태의 정보를 그림 1과 같이 전력선과 LED를 이용하여 전송하였다.

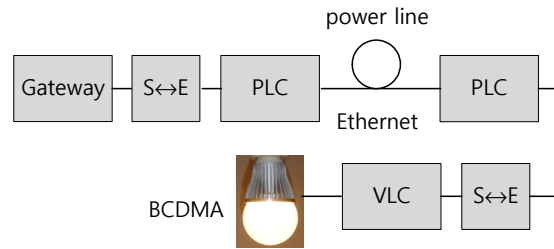


Fig. 1. Interface of PLC and VLC

그림에서 홈게이트웨이는 FPGA 보드를 이용하였고, 전력선통신을 위해서는 상용 PLC 모뎀을 이용하였으며, LED 통신을 위해서는 FPGA 보드 및 LED 구동회로를 이용하여 백색 LED 배열을 구동하였다. 그런데 현재 상용 PLC 모뎀은 대부분 이더넷 프로토콜에 의해 동작하고 있으므로 FPGA에서 출력되는 신호를 PLC와 인터페이스 하기 위해서 Serial-to-Ethernet (S-t-E) 변환기를 이용하였다. S-t-E 변환기는 비동기식 직렬통신 포맷 데이터를 이더넷 포맷으로 변환시켜주는 장치이며, 이를 이용하기 위해 FPGA 보드에서는 음성이나 텍스트를 직렬통신 포맷으로 출력하였다. 또한 S-t-E 변환기에는 그림 2와 같이 IP주소와 포트번호를 입력해야 한다.

네트워크			
IPv4		TCP/IP 통신 설정	
제품 IP 주소	192 168 0 3	통신모드	U2S - UDP
서브넷 마스크	255 255 255 0	통신할 주소	192.168.0.2
게이트웨이 IP 주소	0 0 0 0	통신할 포트	제품 로컬포트
DNS 서버 IP 주소	0 0 0 0		2000 <input type="checkbox"/>

Fig. 2. Parameter setup of S-t-E converter for PLC Networking

이더넷 프로토콜을 이용하여 데이터를 전송하는 경우 데이터는 버스트 패킷 구조를 갖게 된다. 따라서 음성이나 데이터를 직렬통신 수신 후 이더넷으로 보내는 경우 프레임 동기가 중요하게 되며 이를 위해 별도의 프레임 신호를 추가한 전송 프레임을 사용하였다. 그림 3은 본 논문에서 이용한 데이터 전송용 프레임 구조이다. 음성이나 텍스트 전송블록의 기본 단위를 1 바이트(byte)로 하고 매 100개 바이트의 최하위 비트 (LSB)를 프레임 비트(F)로 지정하여 미리 정한 데이터 패턴을 전송한다. PLC 모뎀의 수신부에서는 연속되는 10개의 F 비트를 확인하여 프레임 동기를 찾고, 이를 기준으로 자신의 채널을 찾아갈 수 있다. 전송 도중 동기를 잃으면 프레임 비트 재탐색 과정을

거친다. 프레임 비트가 포함된 바이트 블록은 조명을 제어하는 7 비트의 제어 채널을 전송하는 데 이용할 수 있으며, 8 비트 음성 채널만을 전송하게 되는 경우 100 바이트마다 발생하는 1개의 LSB 손실이므로 음질에는 거의 영향을 주지 않는다.

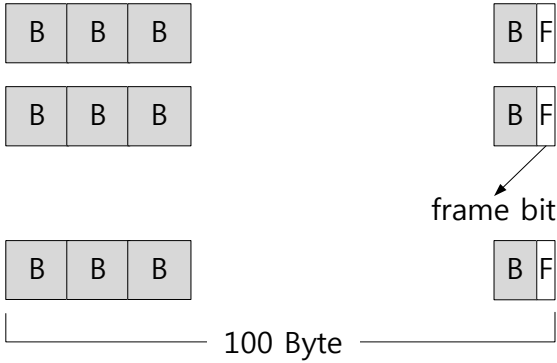


Fig. 3. Frame structure of transmission data

2.2. BCDMA를 이용한 가시광통신 다중화

BCDMA는 근거리 WPAN을 위해 국내에서 개발된 기술로 ISO 국제표준으로 등록되어 있다⁴⁾. 이 방식은 WH 코드에 의해 데이터를 확산하며 코드에 의해 사용자를 구별함으로써 다중화가 용이하며, FEC (Forward Error Correction)기능에 의해 전송 성능을 개선할 수 있다. 특히 다중화 된 다수 개 채널의 합이 항상 이진 레벨을 가지므로 아날로그 변환이 필요 없어 디지털 소자만을 이용해서 구현이 가능하며, 비선형성이 큰 조명용 LED를 이용한 다중화에서도 OFDMA 혹은 multilevel DS-CDMA에 비해 구현이 용이하다. BCDMA 변조과정은 그림 4와 같이 나타낼 수 있다⁵⁾. 순차적으로 입력되는 사용자 데이터를 Serial-to-Parallel 컨버터를 통해 9개의 채널 $\{i_*, j_*, k_*, l_*\}$ 로 나눈다. 그리고 다중화 된 전송 신호가 바이너리의 특징을 갖도록 하기 위하여 패리티 비트 $\{l_*, l_1, l_0\}$ 를 식 (1)과 같이 추가로 생성한다. 여기에서 $\{i_*, j_*, k_*, l_*\}$ 는 Orthogonal Modulator에 입력되어 각각 WH 코드를 선택하는데 이용되며 i_*, j_*, k_*, l_* 는 선택된 코드의 부호를 결정하는데 이용된다. 이와 같이 선택된 4개의 코드 벡터를 최종적으로 모두 더하여 출력하면 식 (2)와 같이 이진 값을 갖는다.

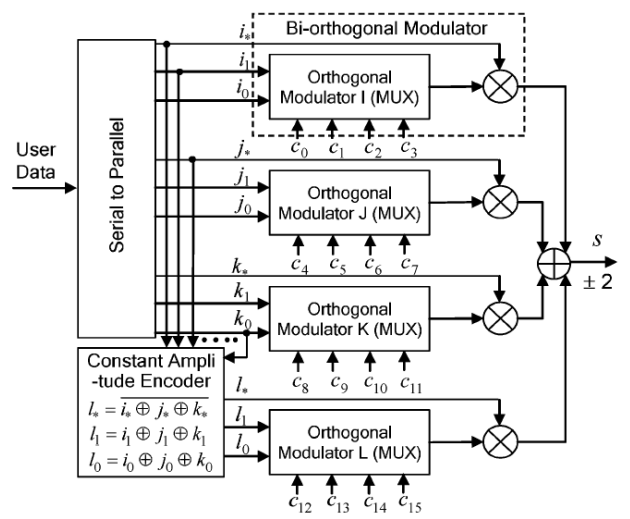


Fig. 4. Structure of binary CDMA transmitter [5]

$$\begin{aligned}
 l_* &= i_* \oplus j_* \oplus k_* \\
 l_1 &= i_1 \oplus j_1 \oplus k_1 \\
 l_0 &= i_0 \oplus j_0 \oplus k_0
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$s(t) = i_* \cdot c_i + j_* \cdot c_j + k_* \cdot c_k + l_* \cdot c_l = \pm 2 \tag{2}$$

그림 5는 BCDMA 복조과정을 나타내고 있다. 수신된 데이터는 3개의 Correlator Bank에 입력되어 각각 4개의 WH 코드와 비교를 하여 Maximum Selection으로부터 가장 상관도가 높은 코드를 결정한다. 이후 3개의 Bits Decision으로부터 9개의 채널을 분리할 수 있으며, 따라서 원래의 직렬 입력된 데이터를 복구할 수 있게 된다.

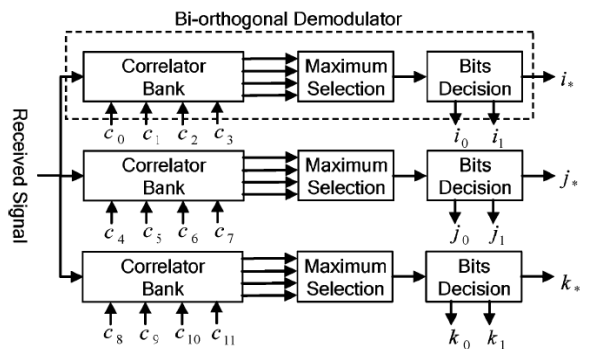


Fig. 5. Structure of Binary CDMA receiver [5]

본 논문은 BCDMA를 이용하여 다중채널 가시광통신을 전송에 활용하는 것을 목적으로 하였다. 그림 4에 의하면 BCDMA 방법을 이용하여 최대 9개 채널의 음성, 텍스트 정보를 전송할 수 있는데, 채널의 개수에 따라 전송 성능이 달라진다. 그림 6은 채널 개수

에 따른 비트오율을 보여준다. 1개 채널만을 전송할 경우 다른 채널의 간섭이 없으므로 채널 개수가 많을 때보다 전송 성능이 훨씬 좋은 것을 볼 수 있으며, NRZ 신호와 비교했을 때 10 dB 이상의 성능 향상을 확인할 수 있다. 따라서 가시광통신에 BCDMA를 적용할 때 사용 가입자 수가 적은 경우 그림 4의 Orthogonal Modulator 사용 개수를 줄임으로써 전송 성능을 개선할 수 있다. 사용자의 수에 따라 송신부 구성이 다르지만, 전송 신호는 항상 이진 데이터이고 동일한 칩(chip) 속도와 동일한 LED 드라이버 회로를 이용한다⁶⁾.

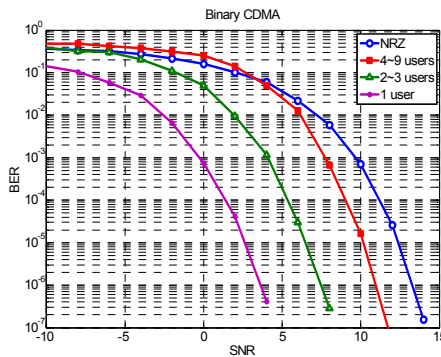


Fig. 6. Performance of BCDMA with different number of channels

2.3. 적외선 LED를 이용한 역방향 전송

인터넷 접속이나 빌딩 감시 등의 목적으로 홈게이트웨이를 이용할 경우 단말에서 조명으로의 역방향 전송이 반드시 필요하다. 본 논문에서는 참고문헌⁷⁾을 참조하여 적외선 LED를 이용한 역방향 전송을 구현하였다. 수신 단말에는 조도 센서 출력을 FPGA에 입력하고 이를 역방향으로 전송하고 이 값을 조명부에

위치한 컴퓨터에서 Labview®를 사용하여 조도 센서의 정보를 그래프로 보인다. 만약 상향 전송에 가시광을 사용하게 되면 하향 전송하는 가시광에 간섭을 일으켜 오류를 만들 수 있다.

III. 전송 시험 및 성능 분석

본 논문에서 제안한 여러 전송 기술들을 결합한 홈네트워킹 시스템의 테스트베드를 구성하고 성능을 시험하였다. 전체 시스템의 구성은 그림 7과 같다. 음성과 데이터를 서비스하는 홈게이트웨이에 자일링스의 Spartan-3E FPGA 보드를 이용하였다. LED로는 백색 LED (60mW)를 6×5 배열 (총 1.8Watt)로 사용하였으며 LED 전송 속도로는 560 kbps를 이용하였다. 홈게이트웨이와 PLC 사이에는 S-t-E 컨버터를 이용하였으며, PLC 출력은 건물에 기 설치된 전선로를 따라 수 미터~수 십 미터씩 전송되었다. LED 조명 근처의 FPGA에서는 신호를 받아 LED 구동에 적합한 신호로 다시 변조를 한다. 이때 다중화를 위한 BCDMA 기법이 이용되었다. 이후 빛으로 변환된 신호는 공간상에서 4~6 미터를 전송하다가 PD에 수신된다. 이후 다시 가입자용 단말 위치의 FPGA는 BCDMA 역다중화 및 코덱을 거쳐 음성 신호는 스피커로 보내고 문자 신호는 PC로 보낸다. 한편 적외선 역방향 신호는 센서 데이터를 홈게이트웨이로 보내는데 이용하였으며, 홈게이트웨이에 연결된 PC 화면에 센서 값을 실시간으로 나타내도록 했다. 실제 실험 환경을 그림 8에서 보이고 있다.

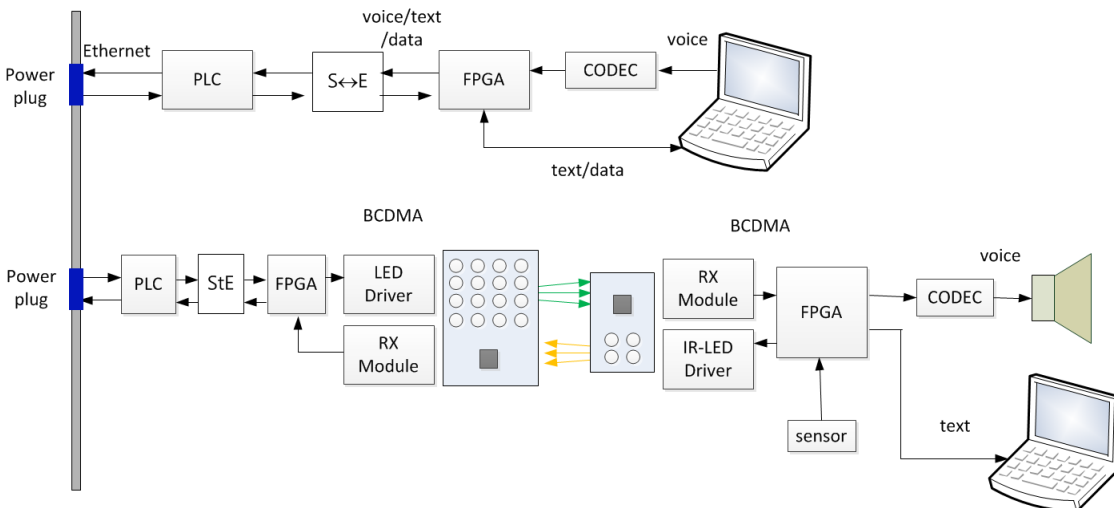


Fig. 7. Structure of the test-bed integrating PLC and VLC



Fig. 8. Experimental setup

LED 조명을 구동하는 신호 및 최종 수신 신호를 그림 9와 같이 오실로스코프를 이용하여 살펴보았다. 가장 위의 ‘PLC Data’는 PLC에서 수신하여 FPGA 블록으로 넘겨지는 데이터로서 버스트 특성을 볼 수 있다. 이 신호로부터 ‘Text ch’와 ‘Voice ch’이 분리되어 그 아래에 표현되어 있다. 이 두 채널은 각각 BCDMA의 별개 채널로 입력되어 다중화 후 VLC 전송되며, 이후 PD에 수신되는 파형을 볼 수 있다. 이 신호는 다시 FPGA에서 BCDMA 역다중화 되어 음성 데이터(Rec Voice)는 코덱으로 보내어 스피커로 입력되고, 텍스트 (Rec Text)는 PC로 보내어 출력된다.

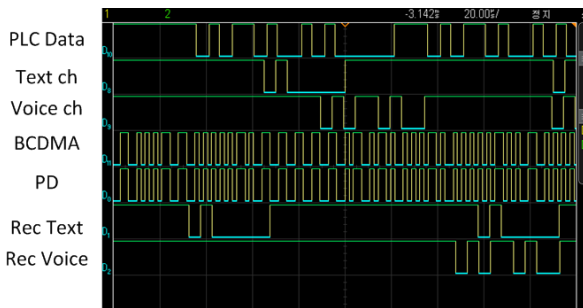


Fig. 9. Data from power line and PD

전체 시스템을 구현 후 성능 측정을 위해 다음 세 경우의 환경에서 전송시험을 시행하고, 측정 결과를 그림 10에 보였다. 전력선을 경유하지 않고 가시광만 이용하는 경우에는 비트오율 10^{-4} 를 기준으로 할 때 전송거리 5 미터 이상을 확보할 수 있었다. 그러나 10 미터 정도의 전력선(Short PL)을 경유하는 경우 이 거리는 4.8 미터로 줄어들며, 전력선이 실험실을 벗어나 20 미터 이상(Long PL)으로 길어지는 경우 전송 거리는 다시 4.5 미터로 줄어들었다. 전력선을 경유하는 경우 전력선 고유의 채널 잡음뿐 아니라 각종 가전 기기에서 발생하는 잡음들의 영향으로 성능이 저하되는데, 본 실험의 원거리 전력선의 경우 전력선이 분전반으로 연결되었다가 LED 조명으로 가는 과정에서 실

외에 있는 수많은 전기 기기 잡음이 더해지면서 성능 저하 현상이 더욱 심해지는 영향이 발생하였다.

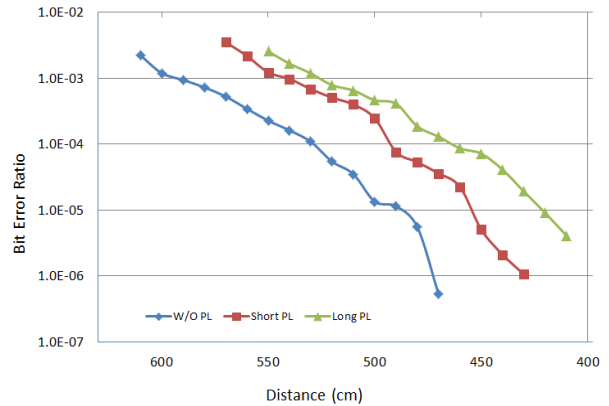


Fig. 10. Performance measurement of the proposed system with different length of power lines

IV. 결 론

본 논문을 통해 가시광통신을 전력선통신과 결합함으로써 홈네트워크 활용 가능성을 살펴보았다. 전력선을 경유한 여러 종류의 신호를 BCDMA 다중화를 통해 가시광으로 전송하고 이를 수신하여 전송 성능을 측정하였다. 시험 결과 전력선이 원거리가 될수록 더욱 많은 기기 잡음으로 인해 성능이 저하되지만, 비트 오율 10^{-4} 를 기준으로 4.5 미터 이상의 전송거리를 확보할 수 있었다. 본 실험에서 이용한 LED 조명의 전력소모가 1.8 Watt에 불과했다는 점을 고려하면 사용 전력을 20~30 Watt로 증가하는 경우 전송거리는 훨씬 더 늘어나게 될 것이다.

본 논문에서 제안한 다중화방식과 역방향 전송방식을 이용한다면 향후 홈네트워크의 구현에 적절히 이용될 수 있을 것으로 기대한다.

References

[1] J Kim, T. Im, G. Song, M. Lee, and I. Eo, "Utilization DALI protocol with implementation the emotional lighting system," in *Proc. KIECS Conference*, vol. 6, no 1, pp. 79-82, Gwangju, Korea, June 2012.

[2] F. Perez, A. Castro, J. Arias, F. Outeirino, and A. Munoz, "Lighting control system based on DALI and wireless sensor networks," in *Proc. IEEE PES ISGT*, pp. 1-6, Washington D.C.,

- U.S.A., Jan. 2012.
- [3] D. Lee, K. Choi, and Y. Park, "A study on the performance enhancement of OFDM-based VLC system by using predistortion," *J. KICS*, vol. 36, no. 6, pp. 587-591, June 2011.
 - [4] ISO, *MAC/PHY standard for ad hoc wireless network to support in an industrial work environment*, ISO/IEC 24771, Apr. 2009.
 - [5] S. Kang, D. Hong, Y. You, M. Kim, and J. Cho, "Constant-amplitude multicode - biorthogonal modulation," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 55, no. 1, pp. 69-75, Jan. 2007.
 - [6] K. Choi, "VPPM-based visible light communication systems and multiple access using binary CDMA," M.S. thesis, Dept. Electron. Eng., Kookmin University, Korea, Feb. 2013.
 - [7] Y. Jang, K. Choi, M. Ju, and Y. Park, "Upstream transmission using focused IR-LED in visible light communications," *J. KICS*, vol. 37C, no. 9, pp. 784-790, Sep. 2012.

단 승 록 (Seungrok Dan)



2012년 국민대학교 공학사
2013년 현재 국민대학교 대학원 전자공학과 석사과정
<관심분야> 가시광통신, 무선 네트워크, 차량 제어, 전력통신

노 진 영 (Jinyoung Noh)



2012년 국민대학교 공학사
2013년 현재 국민대학교 대학원 전자공학과 석사과정
<관심분야> 가시광통신, 이동통신, 차량 웨이브통신

이 승 우 (Seungwoo Lee)



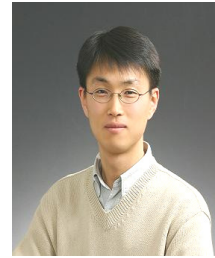
2013년 현재 국민대학교 전자공학부 학사과정
<관심분야> 가시광통신, 이동통신, 무선네트워크, 양방향통신

최 경 목 (Kyungmook Choi)



2011년 국민대학교 공학사
2013년 국민대학교 공학석사
2013년~현재 콘티넨탈 오토모티브 코퍼레이션 코리아(주)
<관심분야> 가시광통신, 광대역 통합망, 무선네트워크

주 민 철 (MinChul Ju)



1997년 포항공과대학교 공학사
1999년 한국과학기술원 공학석사
2010년 Queen's Univ. 공학박사
1999년~2011년 전자부품연구원 선임연구원
2011년~현재 국민대학교 전자공학부 교수
<관심분야> 협동통신, 다중안테나 시스템, 물리계층보안

박 영 일 (Youngil Park)



1987년 서울대학교 공학사
1989년 서울대학교 공학석사
1995년 Texas A&M Univ. 공학박사
1995년~1999년 KT 연구개발본부 선임연구원
1999년~현재 국민대학교 전자공학부 교수
<관심분야> 광통신시스템, 광대역 통합망, 가시광통신