DBpia

논문 13-38C-08-08

한국통신학회논문지 '13-08 Vol.38C No.08
http://dx.doi.org/10.7840/kics.2013.38C.8.713

SSB-OFDM 가시광 통신 기반 부가정보 전송기법

이 정 훈*

Additional Data Transmission Technique Based on SSB-OFDM Visible Light Communication System

Jung-hoon Lee*

요 약

본 논문에서는 특정 주파수 대역을 이용하는 통신 방식에서 기저 대역의 주파수 보다 2배의 주파수 대역을 점유하여 발생하는 주파수 자원의 낭비 해결하기 위한 SSB(Single Side Band) 방식의 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템에 부가적인 데이터를 동시에 전송하는 방식을 제안하였다. 골드 코드(Gold code)를 이용하여 부가 데이터를 대역 확산하여 전송하며, SSB-OFDM 신호에 영향을 주지 않도록 아주 작은 신호의 크기를 갖도록 하였다. 모의실험을 통하여 SSB-OFDM 시스템과 부가전송 데이터 시스템이 동시에 동작할 수 있음을 확인하여, 제안한 방식이 유효함을 입증하였다.

Key Words : SSB, OFDM, LED, VLC, Addtional data, Gold sequence

ABSTRACT

In this paper, additional data transmission scheme was proposed based on SSB-OFDM Communication system which was know as efficient technique for bandwidth, because it used only single side band instead of double side band. When sending additional data which should be well spreaded for low power characteristics and error robustness. Gold code was selected for spreading code because it has excellent low-cross correlation characteristics. Through computer simulation, the validity was proved that proposed system is well worked with SSB-OFDM system.

Ⅰ. 서 론

최근 LED(Light Emitting Diode)는 기존 조명에 비하여 친환경, 저전력을 특징으로 각광받고 있으며, 반도체이기 때문에 디지털 제어가 가능해 다양하게 응용할 수 있는 다양한 장점이 있다[1,2]. 이에 발맞추어 여러 분야에서 LED를 이용하기 위한 활발한 연구가 진행되고 있다[2]. 가시광 통신 기술(VLC : Visible Light Communication)은 LED의 반도체 특성을 이용하여 구형파 또는 정현파 형태의 빛을 전달하여 데이터를 전달하는 차세대 무선 통신 기술이다[3].

가시광 통신은 기존 여러 통신 분야와 마찬가지로 한정된 자원에서 최대의 통신 속도를 얻을 수 있도록 OFDM을 적용하여 주파수 대역 이용 효율을 높이고 있다. 가시광 OFDM은 직교 주파수를 이용하여 인접 채널 간 간섭을 최소화하는 다중화 방식이다[4,5]. 직교성이 우수한 OFDM을 이용하는 가시광 통신은 특정 주파수 대역을 이용하기 때문에 기저 대역의 주파수 보다 2배의 주파수 대역을 점유함으로써 자원의 낭비를 초래하게 된다. 이와 같은 양측파대(DSB : Double Side Band)의 비효율성을 개선하기 위하여 본 논문에서는 중복된 데이터 주파수 대역을 제거하는 단측파

* 서울과학기술대학교, dwarfxx@gmail.com, 정회원
논문번호 : KICS2013-06-246, 접수일자 : 2013년 6월 14일, 최종논문접수일자 : 2013년 8월 8일

www.dbpia.co.kr

대(SSB:Single Side Band) 방식을 사용하여 불필요한 대역폭 낭비를 막고, 신뢰성 있는 데이터를 전송하고자 한다.

또한 최근 대중적으로 널리 보급된 스마트 디바이스로 인하여 위치기반 서비스, 광고 서비스 등 부가적인 정보를 전송함으로 인해서 사용자에게 다양한 UX(User Experience)를 제공할 수 있다. 본 논문에서는 이런 위치 정보나 광고 등의 부가적인 데이터를 기존 OFDM 신호와 동시에 전송하는 방안을 제안하고자 한다. 이 방식은 대역확산 방식을 이용하여 신호 크기가 작은 데이터를 OFDM 신호와 동시에 전송하는 것으로서, 원본 OFDM 신호와 부가 데이터가 모두 신뢰성을 확보해야 하는 고도의 기술이다.

본 논문에서는 가시광 통신 시스템에서 주파수의 효율적 사용을 위하여 스펙트럼 효율이 좋은 SSB 변조를 사용한 부가 정보 전송의 유용성을 입증하기 위하여 다음과 같이 구성하였다. Ⅱ장에서는 SSB-OFDM 기반 가시광 통신 시스템에 대해 소개하고, Ⅲ장에서는 부가 정보 전송 기법을 제안한다. Ⅳ장에서는 모의시험을 통하여 SSB-OFDM과 부가 정보의 성능을 분석하며, 마지막으로 Ⅴ장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

Ⅱ. SSB-OFDM 가시광 통신 시스템

고속의 데이터를 전송하기 위해서 가시광 통신에서도 기존 통신과 마찬가지로 OFDM 방식의 통신을 도입하였다. OFDM은 보내고자하는 데이터를 부반송파 개수에 보낼 수 있는 데이터 비트수로 나누어 병렬로 정렬하고, QPSK 등의 변조를 거친 후에 IFFT 과정을 거치게 된다. 이렇게 함으로써, 주파수 도메인의 신호가 시간 도메인으로 변화되며, 이것은 식 1과 같이 여러 개의 정현파의 합으로 표현된다. N은 부반송파의 개수, X_k는 부반송파에 전송되는 데이터, k는 전체 N개 중의 부반송파 인덱스를 나타낸다. 그림 1에서 OFDM 신호의 주파수 영역에서의 파형을 나타내었다.

$$x_n = \frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{-j2\pi nk/N} \qquad (1)$$

$$= \frac{1}{N}(X_0 + X_1 e^{-j2\pi n/N} + \cdots + X_{n-1} e^{-j2\pi n(N-1)/N})$$

이들 부반송파들은 주파수 영역에서 1/2씩 겹치는 형태를 띤다. 그러나 하나의 부반송파의 주파수 영역에서는 주변의 부반송파가 zero cross하는 sinc 함수의 형태를 갖기 때문에, 겹치는 주파수의 영향을 받지 않고 복호할 수 있는 아주 효율적인 방식이다.

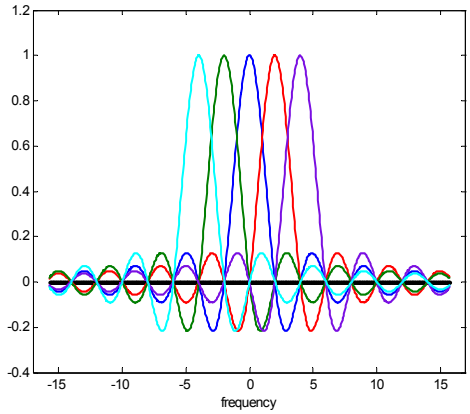

그림 1. OFDM 신호의 주파수 특성
Fig. 1. Frequence domain signal of OFDM

OFDM의 경우에도 기저대역에서 통과대역으로 주파수 이동을 하게 되면, 점유 대역폭이 두 배로 늘어나는 DSB(Double Side Band)의 특성을 갖고 있다. 따라서 주파수의 비효율성을 초래하며, 송신 전력이 늘어나는 단점을 갖게 된다. 이를 개선하기 위해서 본 논문에서는 SSB(Single Side Band) 신호를 사용하는 방식을 적용하고자 하며, 이는 주파수 대역폭을 1/2만 사용하더라고 데이터의 손실 없이 복호할 수 있는 효율적인 방식이다. 그런데 Upper band와 Lower band의 주파수에 맞춰서 필터링하는 하는 것이 현실적으로 불가능하기 때문에, 식 2와 같이 OFDM 신호의 I 채널에 $\cos 2\pi f_c t$를 곱해주고, Q채널에 $-\sin 2\pi f_c t$ 를 곱하는 방식으로 처리하여 SSB 신호를 생성한다.

$$SSB = OFDMI * \cos 2\pi f_c t - OFDMQ * \sin 2\pi f_c t \qquad (2)$$

수신부에서는 반대의 과정을 거쳐서 신호를 복원하게 되며, 전체 시스템에 대한 블록도는 그림 2와 같다.

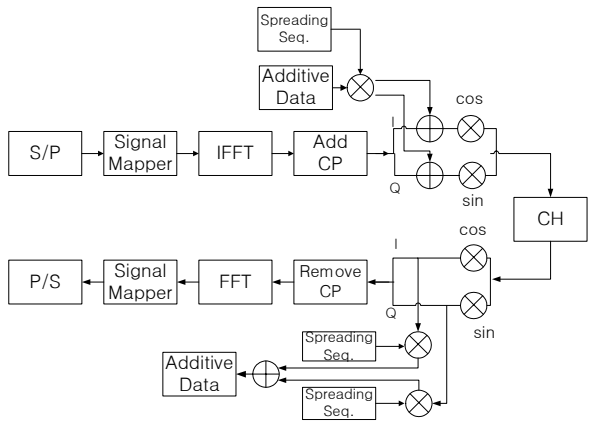

그림 2. SSB-OFDM 기반 부가 정보 전송시스템
Fig. 2. Additional data transmission system for SSB-OFDM

www.dbpia.co.kr

그림 2는 3절에서 설명할 부가데이터까지 포함된 것으로서, OFDM 변조 과정을 거친 후의 신호가 I/Q로 나뉜 후 대역 확산 된 부가 데이터가 I/Q 데이터에 추가되고, I채널에 $\cos 2\pi f_c t$가 곱해지고 Q채널에 $-\sin 2\pi f_c t$가 곱해져서 통과대역으로 전송된다.

Ⅲ. 부가 정보 전송 기법

SSB-OFDM 신호에 작은 에너지를 갖는 신호를 함께 추가해서 보내고 수신부에서 SSB-OFDM 신호와 추가된 신호를 구분하여 복호하는 방식이 부가 정보 전송 기법이다. SSB-OFDM 신호에 영향을 주지 않기 위해서는 에너지 레벨을 최소한으로 해야 하므로, 확산 이득(Spreading Gain)이 있는 직접 대역 확산 방식으로 전송한다. 수신부에서는 OFDM 신호를 복호하기 전에 역확산(Despreading) 과정을 거침으로써 데이터를 복조한다.

확산 코드로는 다중 사용자 환경에서 상호 상관(cross correlation) 특성이 우수하고 코드 셋을 많이 확보할 수 있는 골드 코드(Gold code)가 장점이 있으며, 그림 3과 같이 m-시퀀스를 EXOR 연산하여 생성한다.

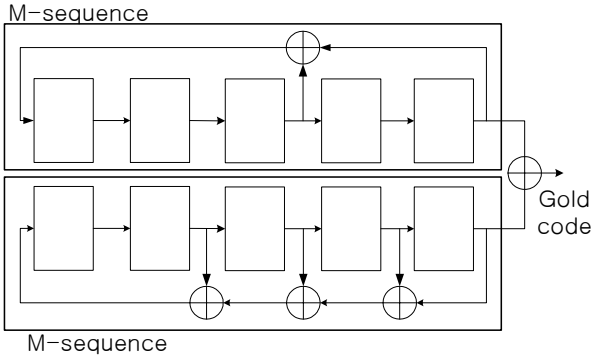

그림 3. 골드 코드의 생성
Fig. 3. Generation of Gold code

QPSK-OFDM은 I, Q 채널로 구성되며, 각 채널에 $\cos 2\pi f_c t$와 $-\sin 2\pi f_c t$를 곱해서 기저대역에서 통과대역으로 주파수 대역 이동을 하면서 SSB처리를 하게 되는데, 워터마킹 신호는 동일한 시퀀스를 I와 Q 채널에 기저대역에서 추가하여 수신부에서 복호 확률을 높이도록 한다. 그림 4는 I, Q 채널에 부가 전송 데이터를 추가하는 기법을 나타낸다.

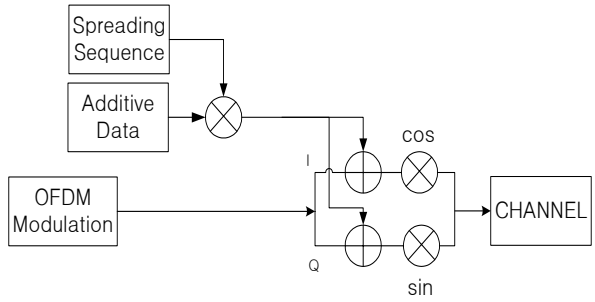

그림 4. I, Q 채널 기반 부가 데이터 전송 기법
Fig. 4. Additional data transmission technique based on I, Q channel

먼저 I 채널에 추가하는 경우는 식(3)과 같다. OFDM I채널 신호는 $x_I[n]$이고, 부가 정보가 M이고 골드 확산 코드를 $y[n]$, 신호의 크기 계수를 ρ이라 하면, 최종적으로 송신되는 I채널은 신호는 $x_I'[n]$와 같다. I채널 수신신호 $r_I[n]$는 채널 h_I의 영향을 받아 식(4)와 같이 표현된다. Q 채널을 통해 전송 및 수신되는 신호의 표현은 I채널과 같은 방식으로 전개하면 식(5)~(6)과 같다. $x_Q[n]$은 OFDM Q채널 신호, $x_Q'[n]$은 $x_Q[n]$에 확산된 부가 데이터가 합쳐져서 전송되는 신호를 의미하며, $r_Q[n]$은 채널 h_Q을 거쳐 수신된 신호를 나타낸다.

$$x_I'[n] = x_I[n] + \rho My[n] \quad (3)$$

$$r_I[n] = x_I'[n] \otimes h_I + w[n] \quad (4)$$

$$x_Q'[n] = x_Q[n] + \rho My[n] \quad (5)$$

$$r_Q[n] = x_Q'[n] \otimes h_Q + w[n] \quad (6)$$

수신된 I채널 수신 신호 $r_I[n]$과 $y[n]$의 상관(correlation)인 $R_{r_I y}$를 통하여 전송된 부가 정보를 복호하게 되며, 이는 식 (7)과 같이 표현된다. 송신된 확산 부가 데이터는 수신부에서 자기 상관(auto correlation)을 통하여 A_I 크기를 갖는 값으로 변환되지만, OFDM I채널 신호 및 백색 잡음 $w[n]$은 $y[n]$과의 상호 상관(cross correlation)을 통해서 노이즈와 같은 값을 갖게 되어, 결국 식(8)과 같이 정리된다.

$$R_{r_I y}[k] = \sum_{n=0}^{N-1} r_I[n] My[n-k] \quad (7)$$

$$= \sum_{n=0}^{N-1} \{x_I[n] \otimes h_I + \rho My[n] \otimes h_I + w[n]\} y[n-k]$$

www.dbpia.co.kr

$$= \rho\sum_{n=0}^{N-1}\{My[n]y[n-k]\otimes h_I\}+\sum_{n=0}^{N-1}\{x_I[n]\otimes h_I\}y[n-k]+w[n]$$
$$= \alpha MA_I + noise \quad (8)$$

Q채널에 대해서 I 채널과 같은 방식(식(7)~(8))으로 수식을 전개해보면 식(9)와 같은 결과를 얻으며, $R_{r_Q y}$은 Q채널 수신 신호 $r_Q[n]$와 $y[n]$의 상관 값이다.

$$R_{r_Q y}[k] = \sum_{n=0}^{N-1} r_Q[n]y[n-k]$$
$$= \beta MA_Q + noise \quad (9)$$

I, Q채널에 동일한 부가데이터 M과 골드 코드 $y[n]$을 전송하였기 때문에, 식 (8)과 (9)를 더해주면 (10)과 같이 이득(Gain)에서 이점을 얻을 수 있다.

$$Final\ Value = \alpha MA_I + noise + \beta MA_Q + noise$$
$$= M(\alpha A_I + \beta A_Q) + noise \quad (10)$$

Ⅳ. 모의실험 및 성능분석

4.1. 실험 환경

본 논문에서는 표1과 같은 파라미터를 이용하여 모의실험을 진행하였다. 심벌 구간은 128us으로 설정하였으며, CP구간은 32us, 부반송파 개수는 128, 전체 신호 대역폭은 1MHz로 설정되었다. 확산 코드는 127칩의 길이를 갖는 골드 코드로 정하였으며, 부가 데이터 1비트를 127칩 길이의 골드 코드가 확산하여 결국 확산 계수(SF : Spreading factor)는 127의 값을 갖는다.

표 1. BER 시뮬레이션 파라미터
Table 1. BER simulation parameters

Parameters	Values
FFT size	128
Cyclic prefix(CP) ratio	32
Symbol period(Ts)	128us
Cyclic prefix duration	32us
Bandwidth	1MHz
Spreading code	Gold 127 chips
부가데이터 Spreading Factor	127

4.2. 수신부에서의 골드 코드의 역확산 성능

수신부에서 기저대역으로 신호를 주파수 내림한 이후에 골드 코드 127칩을 이용하여 자기 상관을 수행하여 부가 데이터를 복호하게 된다. 그림 5에 수신된 신호를 기반으로 자기 상관한 결과를 보인다. 분홍색 네모로 표시한 바와 같이 127의 배수마다 상호상관의 피크 값이 도출됨을 볼 수 있다. 이는 부가 데이터가 OFDM 신호와 동시에 전송되었을 때에도, 잘 복호됨을 의미한다. 확산코드의 길이와 부가데이터의 크기는 상호 보완적인 특성이 있다. 확산 코드가 길면 확산 이득이 크기 때문에, 부가 데이터 자체의 신호 크기가 작더라도 보완될 수 있다. 본 논문에서는 127칩 크기의 시퀀스가 제안한 변조 변수로서 동작하는 SSB-OFDM에서 최적의 값임을 확인하였다.

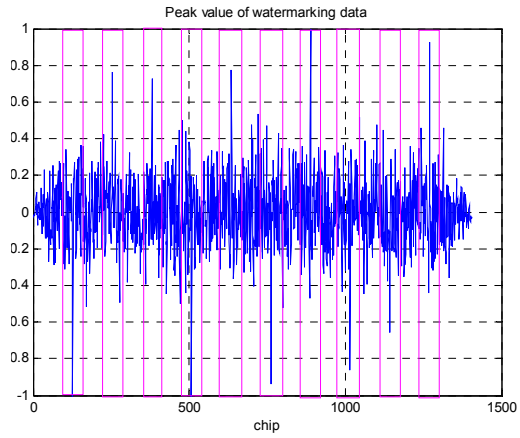

그림 5. 127칩 길이 골드 코드의 자기상관 특성
Fig. 5. Auto correlation characteristics for Gold 127 code

4.3. 부가 데이터 신호 크기에 따른 OFDM, 부가 데이터 통신 성능 분석

그림 6은 골드 코드를 이용한 부가 데이터의 크기를 OFDM 신호의 -7dB, -10dB, -11dB, -12dB, -13dB, -14dB, -15dB, -16dB, -17dB 크기로 설정할 경우에, 수신부에서 복호한 OFDM 데이터의 비트오율(BER)을 나타낸다. 부가 데이터의 크기가 -10dB 보다 크게 전송한 경우에는 OFDM의 데이터가 제대로 복호되지 않고 오류가 발생하는 에러 플로(error flow)가 발생했다.

www.dbpia.co.kr

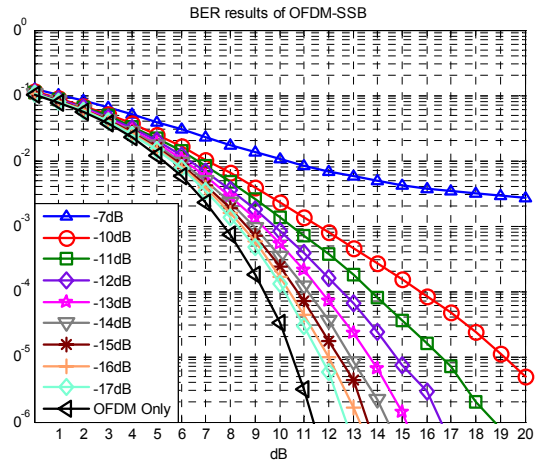

그림 6. 부가데이터 크기에 따른 SSB-OFDM의 BER 특성
Fig. 6. BER performance of SSB-OFDM according to additional data amplitude

반면 -11dB 이하일 경우에는 10^{-6} BER 성능을 만족하는 양호한 복호 성능을 보였다. 10^{-6} BER 만족하기위한 SNR은 부가데이터 크기가 -11dB일 경우 18.8dB, -12dB일 경우 16.5dB, -13dB일 경우 15dB, -14dB일 경우 14.5dB, -15dB일 경우 13.5dB , -16dB일 경우 13.2dB, -17dB일 경우 12.8dB였다. 즉 부가데이터 크기가 작아질수록 부가 데이터 없이 OFDM만 보냈을 때의 SNR 크기인 11.5dB에 근접했다.

그림 7은 부가데이터의 데이터 비트오율을 나타내며, 이것은 DER(Detection Error Rate)로 정의하기로 한다.

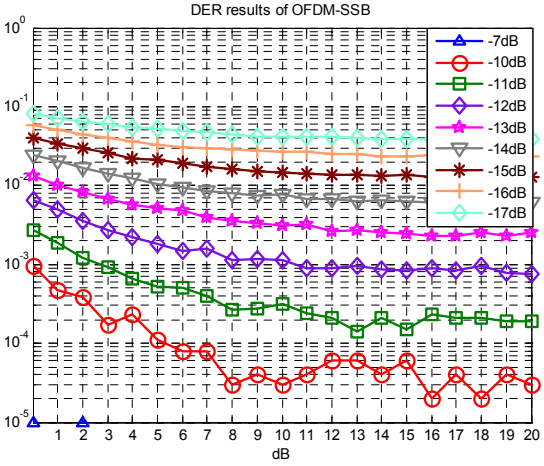

그림 7. 부가데이터 크기에 따른 DER 특성
Fig. 7. DER characteristics according to additional data amplitude

저속의 부가 데이터를 전송하기 위해서 10^{-3} 정도의 성능이 필요하다고 가정했을 때, 부가 데이터의 크기가 OFDM 신호에 비해서 -13dB 이하일 때 10^{-3} 보다 에러가 커지고 복호되지 않는 에러 플로우(Error Flow)가 발생하였다. 반면에 -12dB 경우에는 10^{-3} DER 수준이었으며, -10~-11dB 일 때에도 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ DER이 유지되었으며, -7dB 일 경우에는 DER 수준이 거의 zero에 달했다.

위 모의실험의 결과를 종합하여 볼 때, 128개의 부반송파를 이용하고 128us의 심볼 구간과 32us의 CP 구간을 가지는 시스템에 골드 코드를 이용하여 127 크기의 확산계수(Spreading Factor)를 사용하여 부가데이터를 전송하기 위한 신호의 크기는 OFDM 신호 크기의 -12dB~-11dB 수준이었으며, 이로써 본 논문에 제안한 부가데이터 전송 방안이 유효함을 입증하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 주파수를 효율적으로 사용할 수 있는 단측파대(SSB) 기반의 OFDM 가시광 통신을 기반으로 부가적인 데이터를 추가적으로 전송할 수 있는 대역 확산 시스템을 제안하고 그 유효성을 입증하였다. 대역 확산 코드로는 골드(Gold) 코드를 사용하였으며, 골드 코드의 높은 자기 상관(ACF: Auto Correlation Function) 특성은 수신된 신호를 이용하여 확인하였다. 모의실험을 통하여 SSB-OFDM과 대역 확산 부가 정보를 동시에 전송할 때의 영향을 성능 분석을 통하여 확인하였으며, 대역 확산 데이터를 복호할 수 있는 최소의 에너지 레벨로 전송해야 SSB-OFDM도 정해진 비트오율 이내에서 복호됨을 확인하였다. 본 연구물은 SSB-OFDM과 대역확신 기반 부가 데이터 전송 연구의 중요한 초석이 될 것으로 기대된다.

References

[1] T. Kang, “Development strategy of future technology for LED and Communication industry,” *TTA J.*, no. 123, pp. 12-17, June 2009.

[2] D. Kim, S. Lim, and T. Kang, “Application service model of visible light wireless communication as a LED light and communication convergence,” *J. KICS*, vol.

www.dbpia.co.kr

26, no. 5, May 2009.

[3] Y. Tanaka, K. Komine, S. Haruyama, and M. Nakagawa, "Indoor visible light data transmission system utilizing white LED lights," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E86-B, no. 8, pp. 2440-2454, Aug. 2003.

[4] J. Armstrong, "OFDM for optical communications," *J. Lightw. Technol.*, vol. 27, no. 3, pp. 189-204, Feb. 2009.

[5] H. Elgala, R. Mesleh, H. Haas, and B. Pricope, "OFDM visible light wireless communication based on white LEDs," in *Proc. Int. Conf. Veh. Technol. Conf (VTC2007-Spring)*, pp. 2185-2189, Dublin, Ireland, Apr. 2007.

이 정 훈 (Jung-hoon Lee)

1999년 2월 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 졸업

2001년 2월 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 석사

2012년 2월 서울과학기술대학교 IT 정책대학원 박사

<관심분야> 디지털통신, 무선통신, LED통신.

www.dbpia.co.kr