

OOK변조된 가시광 데이터전송에서 바이트반전을 이용한 플리커 방지

Flicker Prevention Using Byte-Inversion in OOK Modulated Visible Light Data Transmission

이 준 호*★

Junho Lee*★

Abstract

In this study, we used byte-inversion transmission method to prevent the flicker of lighting source in a visible light data communication link. In the transmitter, the non-return-to-zero (NRZ) signal with 9.6 kbps was on-off keying (OOK) modulated with a 100 kHz square wave carrier and byte-inversion signal was added after each byte to make the average optical power of the light-emitting diode (LED) constant. In the receiver, we used a band-pass filter to eliminate the interference of the 120 Hz noise which was induced from the adjacent light lamps, and an OOK demodulator to recover the original NRZ signal. This scheme is useful in constructing wireless data networks using the illumination of visible light lamps.

요 약

본 논문에서는 가시광을 사용하는 데이터 통신에서 광원의 플리커를 방지하기 위하여 On-off keying(OOK) 변조와 바이트반전 전송방식을 사용하였다. 송신부에서는 100 kHz의 구형파 전압을 부반송파로 사용하여 9.6 kbps의 기저대역 non-return-to-zero (NRZ) 입력데이터를 OOK 변조하고, 데이터의 비트열 형태에 관계없이 LED의 평균 광전력이 항상 일정하게 유지되도록 바이트반전 신호를 부가하여 전송하였다. 수신부에서는 대역통과 필터를 사용하여 주변의 120 Hz 잡음광의 간섭을 소거하고 OOK복조기를 사용하여 NRZ 형태의 원 신호를 복구하였다. 이러한 구조는 가시광 램프의 조명을 이용하여 근거리의 무선데이터 네트워크를 구축하는 데에 유용하다.

Key words : LED, visible light, data communication, on-off keying, byte-inversion, flicker, noise

* Dept. of Electronics and IT Media Engineering, Seoul National University of Science and Technology

★ Corresponding author

E-mail : ljh@seoultech.ac.kr, Tel : +82-2-970-6418

※ Acknowledgment

This study was supported by the Research Program funded by the SeoulTech(Seoul National University of Science and Technology).

Manuscript received Jun. 5, 2020; revised Jun. 11, 2020; accepted Jun. 12, 2020.

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.

1. 서론

최근에 들어 다양한 센서와 제어기능이 복합된 홈 네트워크 기술이 발전하면서, 실내에서 기존의 무선주파수와 간섭이 없는 안정된 전송방식이 필요해짐에 따라, 실내의 조명광을 근거리 무선통신에 활용할 수 있는 가시광 데이터통신이 꾸준히 발전하고 있다. 가시광 데이터통신은 실내 혹은 실외에서 조명램프로 사용하고 있는 광원의 출력광을 육안으로 인지할 수 없는 고속으로 변조하여 빛이 도달하는 구간에서 무선으로 데이터를 전송하는 기술이다[1]-[6].

이러한 가시광 데이터통신에서 사용되는 광원으로는 주입전류의 고속변조가 가능한 LED가 많이 이용되고 있다. 이와 같이 LED를 조명과 통신을 겸한 광원으로 사용하는 경우에는 조명과 통신이 서로 영향을 주지 않도록 가시광 전송시스템을 잘 설계할 필요가 있다. 특히 데이터의 전송과정에서 불규칙하게 변화하는 비트열(bit stream)의 영향으로 LED의 평균 광전력이 변동하여 LED의 조명에 깜박거림이 반복되는 플리커(flicker)가 발생하고 사용자의 시야가 불편하게 할 수 있다[1].

이러한 플리커를 방지하기 위해서는 광원으로 사용되는 LED의 평균 광전력이 항상 일정하게 유지 되도록 가시광 시스템을 구성해야 한다. 이와 같이 LED의 평균 광전력이 일정하게 유지하기 위한 방법으로 기저대역(base-band)에서는 맨체스터코드가 많이 사용되고 있다. 그러나 수십 kbps의 낮은 데이터율에서 맨체스터코드를 사용하는 경우에는 주변의 잡음광에 의한 간섭에 취약할 수 있다. On-off keying(OOK) 변조, amplitude-shift keying(ASK) 변조, 또는 frequency-shift keying(FSK) 변조와 같이 별도의 높은 주파수를 반송파로 사용하는 시스템에서는 이러한 잡음광의 유입을 쉽게 차단할 수 있으며, 송신부에서 플리커를 방지하는 효과도 높은 장점이 있다.

반송파변조 방식을 사용하는 경우에는 별도의 고주파 신호를 발생하는 발진기와 변조회로 및 복조회로가 구비되어야 한다. 또한 반송파에 해당하는 고주파 신호가 LED의 평균 광전력을 중심으로 (+)와 (-)가 균등하게 변화하는 양극성(bipolar) 고주파 신호를 사용해야 LED의 평균 광전력이 항상 일정하게 유지되어 플리커가 발생하지 않는다. 수십 kbps 정도의 데이터 전송율에서는 별도의 고주파 발진기를 사용하지 않고 데이터 전송용 마이크로프로세서 자체의 출력을 수백 kHz의 구형파발진이 가능한 OOK 또는 FSK 변조기로 활용할 수 있다. 이러한 구조에서는 가시광 전송시스템의 구성이 매우 간편해지는 이점이 있으나 발진전압이 0과 5V 사이의 단극성(unipolar)의 구형파 신호에 해당하므로, 이 신호를 반송파로 이용하여 OOK 전송하는 경우에는 LED의 평균 광전력이 일정하게 유지되지 않고, 전송데이터의 비트열에 따라 계속 변화하게 된다.

본 논문에서는 이와 같이 단극성의 구형파 신호

를 반송파로 사용하는 경우에 플리커를 방지할 수 있는 바이트반전 전송방법을 새로이 개발하여 실험하였다. 바이트반전 전송에서는 1바이트의 데이터가 전송될 때마다 데이터의 비트열과 반대의 극성을 가진 NRZ 비트열을 추가로 전송하여 평균 광전력을 항상 일정하게 만들어주는 방식이다. OOK 변조된 신호의 광전력 변화를 보상하기 위하여 바이트반전 신호에서는 1비트 시간을 원 신호의 1/2배로 감소시켜서 전송해야 한다. 본문에서는 이러한 바이트 반전 신호의 구성방법과 송수신부의 구성 및 플리커 방지 효과에 대하여 차례로 서술한다.

II. 본론

1. OOK 변조 및 바이트반전 전송방식

단극성(unipolar)의 OOK 변조에서 평균 광전력을 일정하게 유지하기 위하여 바이트반전 신호를 부가하여 전송하는 방법을 도식적으로 나타내면 그림 1과 같다.

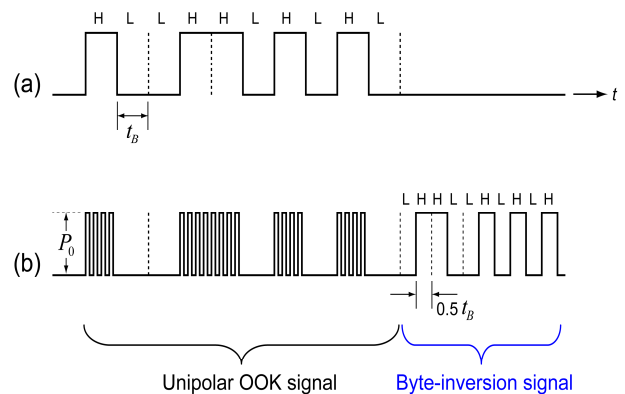


Fig. 1. Unipolar OOK and byte-invert signal.

그림 1. 단극성 OOK 변조 및 바이트반전신호

그림 1(a)는 가시광 송신부에서 전송하고자 하는 데이터의 예로서 1개의 문자 “S”에 대한 Universal asynchronous receiver/transmitter(UART) 형식의 NRZ 전압 파형을 나타낸다. 이 신호를 전송하기 위하여 각 데이터 비트 중에서 “high(H)”비트는 단극성(Unipolar)의 on-off keying(OOK) 신호로 변환하여 전송한다.

양극성(Bipolar) OOK 파형으로 변조하는 경우에는 평균 광전력이 항상 일정한 상태를 유지하지만, 그림 1(b)와 같이 단극성의 OOK 신호로 변조하는 경우에는 비트열에 따라 평균전력이 불규칙하게

변화한다. 따라서 이와 같이 단극성의 반송파를 사용하여 OOK 변조를 하는 경우에는 LED의 평균 광전력이 일정한 상태를 유지하도록 1 바이트의 데이터가 전송될 때마다 데이터와 반전된 비트로 이루어진 바이트 반전신호를 부가하여 전송한다. 바이트 반전신호를 생성할 때에 “High(H)” 상태의 1 비트시간(t_B)에 속한 OOK 파형의 광전력과 일치하도록, 바이트 반전신호의 비트시간을 NRZ 비트시간의 절반($1/2 t_B$)에 해당하는 시간으로 정하여 전송한다.

UART 방식에서 1 바이트의 신호는 8개의 데이터 비트와 1개의 시작비트(start bit), 1개의 종료비트(stop bit)를 포함하여 총 10개의 비트가 된다. 이 중에서 n 개의 비트가 “high”상태이고 나머지 $(10-n)$ 개의 비트가 “low”상태를 가진다고 할 때, 단극성의 구형파 반송파를 사용하여 OOK 변조된 신호광의 n 개의 “high”비트에 포함된 빛 에너지를 계산하면,

$$P_{ook} = \frac{1}{2} n P_0 \times t_B \tag{1}$$

이다. 여기에서 P_0 는 구형파로 변조된 신호광의 진폭이고, t_B 는 1 비트시간(bit time)을 나타낸다. OOK 변조신호 다음에 추가로 전송되는 바이트반전 신호의 비트시간은 OOK 변조파형의 비트시간의 $1/2$ 배인 $t_B/2$ 이며, $(10-n)$ 개의 반전된 “high”비트에 포함된 빛 에너지는

$$P_{inv} = (10-n) P_0 \times \frac{t_B}{2} \tag{2}$$

이다. 따라서 1 바이트의 신호에 포함된 평균 광전력을 계산하면

$$\begin{aligned} P_{avg} &= \frac{1}{T} (P_{ook} + P_{inv}) \\ &= \frac{1}{T} \times \frac{P_0}{2} (n + 10 - n) t_B \\ &= \frac{1}{T} \times \frac{P_0}{2} (10) t_B = \frac{5 P_0 t_B}{T} \end{aligned} \tag{3}$$

이다. 여기에서 T 는 1 바이트 데이터를 전송하는 데에 소요되는 시간을 나타내며, 여기에는 10 비트의 OOK 변조 파형이 차지하는 시간($10t_B$), 10비트의 바이트반전 신호가 차지하는 시간 ($5t_B$), 그리고,

각 바이트 간에 휴지시간(t_s)을 포함한다. 따라서 시간 T 를 수식으로 나타내면,

$$T = 10t_B + 5t_B + t_s = 15t_B + t_s \tag{4}$$

이다. 식(4)를 식(3)에 대입하여 평균 광전력을 계산하면,

$$P_{avg} = \frac{5 P_0 t_B}{15 t_B + t_s} \tag{5}$$

이 된다. 편의상 휴지시간을 1 비트시간과 같게 정하면, 즉, $t_s = t_B$ 인 경우에는 $P_{avg} = \frac{5 t_B}{16}$ 이 된다. 이와 같이 LED의 평균 광전력은 비트열에 포함된 “high”비트의 개수 n 에 의존하지 않고 일정하게 유지된다. 그 결과, 가시광 데이터통신을 위한 광원의 조도에 플리커가 발생하지 않고 데이터의 전송 유무 혹은 비트열의 형태에 관계없이 항상 안정된 조명상태를 유지할 수 있다. 이와 같은 바이트반전 전송을 수행하기 위한 가시광 송신부와 수신부의 구조 및 관측파형에 대하여 차례로 소개한다.

2. 송신부 구성 및 관측파형

OOK 변조와 바이트반전 전송방식을 사용하여 가시광 데이터를 전송하기 위한 송신부의 구성은 그림 2와 같다.

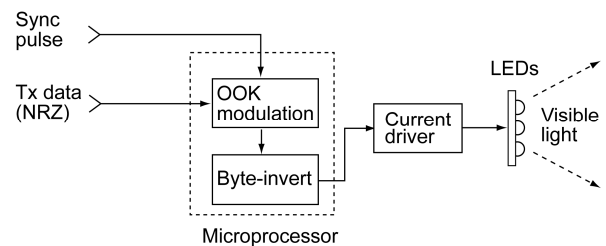


Fig. 2. Configuration of the visible light transmitter.

그림 2. 가시광 송신부의 구성도

가시광 송신부는 1개의 마이크로프로세서와 전류구동장치(current driver), 그리고 가시광을 발생하는 LED 램프로 구성된다. 실험에서 사용한 마이크로프로세서는 Atmega8이며, LED를 구동하는 전류원으로는 DW8501 IC를 사용하였다. 송신부의 광원으로는 1W의 백색광 LED 9개를 3×3 평면배열 구조로 제작하여 사용하였다.

송신부에서 전송하고자 하는 NRZ 데이터가 마이

크로프로세서의 입력단자에 가해지면, 마이크로프로세서의 서브루틴에서 “high” 전압에 해당하는 비트에서는 100 kHz의 구형파를 발생하여 OOK 변조하고, “low” 전압에 해당하는 비트에서는 0V를 유지한다. 이와 같이 단극성의 구형파를 반송파로 사용하면 별도의 발진기 회로가 필요하지 않아 시스템의 구성이 간편한 이점이 있지만, 전송 데이터에서 “1”와 “0”이 불규칙하게 전송되므로, LED의 평균 광전력이 지속적으로 바뀌게 되며, 그 결과 LED에 의한 조명의 밝기가 불규칙하게 계속 변동하는 플리커가 발생하게 된다.

본 논문에서는 이와 같은 플리커를 방지하기 위하여 1바이트를 전송할 때마다 OOK 변조된 데이터에 포함된 빛에너지의 변화를 상쇄하기 위하여 데이터 비트열과 반대의 부호를 가지며, 1/2 비트 (0.5t_B) 시간동안 비트가 지속되는 NRZ 신호를 추가함으로써 LED의 평균 광전력이 항상 일정하게 유지하도록 만들어준다. 이와 같이 전송데이터가 OOK 변조된 후 바이트반전 신호가 부가된 상태로 마이크로프로세서의 출력전압이 발생하면 전류원에서는 이 신호에 비례하는 전류를 LED에 공급하여 신호광을 발생한다. 송신부에서 이와 같은 OOK 변조파형과 바이트반전 신호가 정상적으로 생성되는가를 확인하기 위하여, 1개의 문자 “S”를 1ms 간격으로 반복적으로 전송하면서, 송신부에서의 전압을 관측하였다. 그림 3은 송신부에서 오실로스코프를 사용하여 관측한 전압파형을 나타낸다.

그림 3(a)는 문자 “S”에 대한 9.6kbps 데이터율로 전송되는 NRZ 파형을 나타낸다. 문자 “S”의 ASCII 코드는 “01010011”이며, UART 전송방식에서는 최

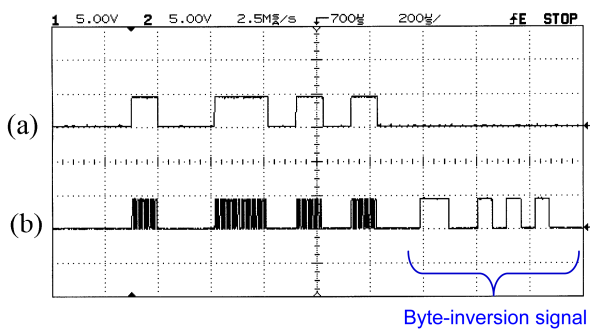


Fig. 3. Observed waveforms in the VLC transmitter. (a) NRZ data, (b) OOK modulated waveform and byte-inversion signal.

그림 3. 가시광 송신부의 관측파형 (a) NRZ 데이터, (b) OOK 변조파형 및 바이트반전신호

하위비트(LSB)가 우선 전송되므로 좌우가 바뀌게 되고, 1바이트가 전송될 때 마다 “0”의 시작비트 (start bit)와 “1”의 종료비트(stop bit)가 각각 비트 열의 앞과 뒤에 추가된다. 그 결과 1개의 문자 “S”에 대한 NRZ 파형은 총 10비트로 이루어진 “0110010101” 비트열이 된다. UART 전송방식에서 “1”에는 “low” 전압이 지정되고, “0”에는 “high” 전압이 지정되므로 문자 “S”에 대한 전압파형은 그림 3(a)과 같이 “HLLHHLHLHL” 형태의 전압파형이 된다. 그림 3(b)는 문자 “S”에서 “high”에 해당하는 비트에서는 5V, 100 kHz의 구형파가 발생하고, “low” 비트에서는 0V의 전압을 유지하는 OOK 변조파형을 보이고 있다. 이와 같이 단극성의 구형파로 변조된 상태에서는 데이터의 비트에 따라 평균 광전력이 변화하므로, 1 바이트의 데이터마다 일정한 평균전력을 유지하도록 데이터의 “high”와 “low”를 반전하여 부가하여 전송한다. 바이트 반전신호에 포함된 광전력이 OOK 변조된 데이터 신호의 광전력과 같도록 만들어주기 위하여 바이트반전신호의 1비트 시간은 OOK 변조된 비트시간의 1/2 배가 되도록 정하였다. 송신부의 전류원을 통하여 그림 3(b)의 신호에 비례한 전류가 LED에 공급되고 LED에서는 일정한 상태의 평균 광전력을 유지하였으며, LED의 출력광에는 플리커가 발생하지 않았다. LED의 출력광은 자유공간으로 방사되고, 송신부로부터 약 2m의 거리에 수신부를 설치하여 신호광을 수신하였다.

3. 수신부 구성 및 관측파형

OOK 변조된 신호광을 검출하여 전송 데이터를 복구하기 위한 가시광 수신부의 구조는 그림 4와 같다.

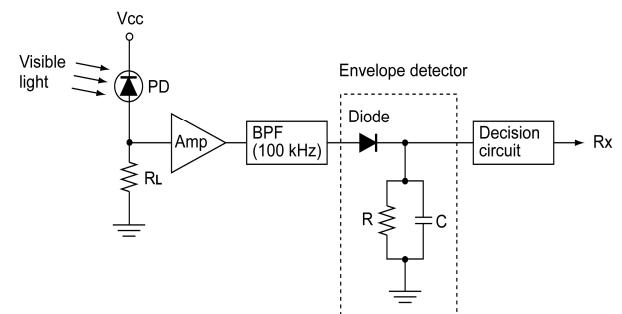


Fig. 4. Configuration of the VLC receiver.

그림 4. 가시광 수신부의 구성도

송신부로부터 보내온 신호광이 포토다이오드에 입사하면 부하저항에 신호전압이 발생한다. 검출된 신호가 증폭된 후 중심주파수가 100 kHz인 대역통과필터(BPF)를 통과하면서 송신부에서 보내온 OOK 변조신호가 검출된다. 여기에서 사용되는 대역통과필터의 역할은 가시광 송신부나 수신부에 근접한 다른 조명램프로부터 유입되는 120 Hz의 잡음광의 전압을 차단함과 동시에, 송신부에서 플리커를 방지하기 위하여 OOK변조파형에 부가하여 전송된 바이트반전신호를 소거하고 100 kHz의 반송파로 변조된 OOK 신호만 검출하기 위하여 사용한 것이다. OOK 변조신호가 다이오드와 RC병렬회로로 이루어진 진폭검출기(envelope detector)를 통과한 후 판별회로(decision circuit)를 통과하면서 원 신호에 해당하는 NRZ 데이터가 복구된다[7].

실험에서 사용한 포토다이오드는 S6968 PIN 포토다이오드이고, 증폭기는 OPA228 op-amp를 사용하였으며, 대역통과필터는 5차 Chebyshev 필터를 제작하여 사용하였으며, 중심주파수가 100 kHz이고 대역폭이 약 20 kHz 이었다. 진폭검출기에서 사용한 다이오드는 1N4148, 저항 R=100Ω, 캐패시터 C=0.1 μF 을 사용하였다. 판별기회로는 74LS00 NAND gate 2개를 직렬로 연결하여 사용하였다.

수신부에서 NRZ 데이터가 복구되는 과정을 실험적으로 확인하기 위하여 주요 부분에서 전압파형을 관찰하였다. 그림 5는 오실로스코프를 사용하여 수신부의 전압을 관측한 파형을 나타낸다.

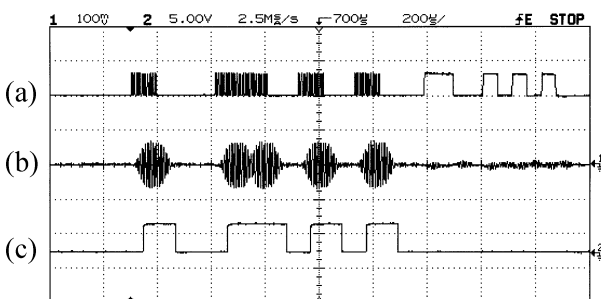


Fig. 5. Observed waveforms in the VLC receiver.
그림 5. 가시광 수신부의 관측파형

그림 5(a)는 포토다이오드(PD)의 전압을 나타내며, 여기에는 송신부에서 보낸 OOK 변조파형과 바이트반전 신호가 검출된 상태를 나타낸다. 그림 5(b)는 대역통과필터의 출력전압으로서 100 kHz의

반송파가 데이터로 진폭변조된 상태를 보여주고 있다. 이 신호가 진폭검출기와 판별회로를 통과하면서 그림 5(c)에서 보인 바와 같이 NRZ파형이 정상적으로 복구되고, OOK 변조파형 뒤에 부가하여 수신된 바이트반전 신호는 대역통과필터에서 차단되어 소거된 상태를 보여주고 있다. 이와 같이 송신부에서 OOK 변조되어 전송된 데이터가 수신부에도달하여 원신호가 정상적으로 복구되는 과정을 실험적으로 확인하였다.

4. 문자열 데이터 전송실험

가시광 송신부와 수신부 사이에서 임의의 문자열 데이터를 무선 전송하기 위한 시스템 구성도는 그림 6과 같다.

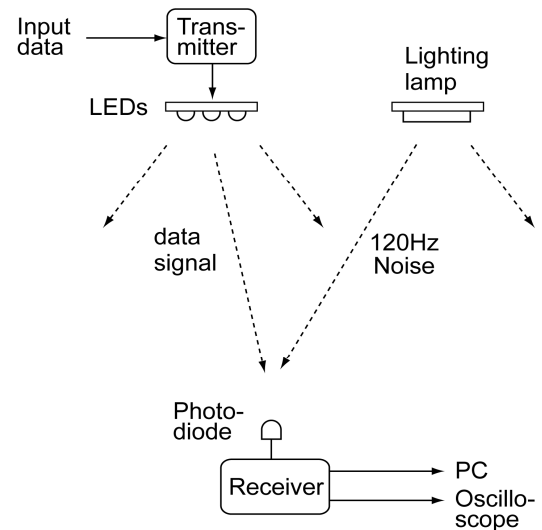


Fig. 6. Experimental setup for visible light data communication.
그림 6. 가시광 데이터전송을 위한 실험구성도

송신부에서 LED 출력광을 통하여 임의의 문자열을 연속하여 전송하고, 송신부로부터 약 2m의 거리에 수신부를 설치하였다. 송신부 주변에는 가시광 데이터 전송과 무관한 조명램프가 설치되어 있어서 수신부의 포토다이오드에는 송신부에서 보낸 신호광 이외에도 인접된 다른 조명램프로부터 방사된 빛에 포함된 120 Hz의 잡음광이 유입되는 환경을 유지하였다. 송신부에서는 OOK 변조와 바이트반전 전송방식을 사용하여 임의의 문자열 “\t VLC-Net \r\n”을 반복하여 전송하면서 송신부와 수신부에서의 파형을 관찰하였다. 가시광 송신부에서 관찰한 파형은 그림 7과 같다.

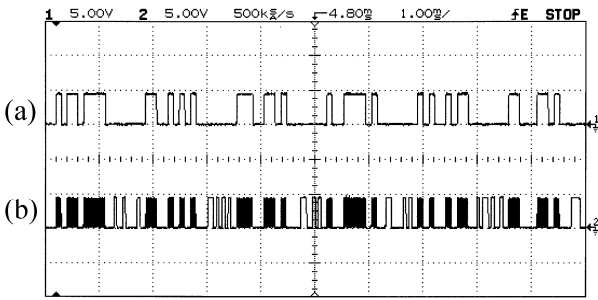


Fig. 7. Observed waveforms in the VLC transmitter.
그림 7. 가시광 송신부의 관측파형

그림 7(a)는 전송된 문자열 중에서 앞의 6개의 문자에 대한 NRZ파형을 보이고 있다. 그림 7(b)는 각 문자가 OOK변조 전송될 때마다 비트반전 신호가 추가되어 전송되고 있는 상태를 보여주고 있다. 이와 같이 비트반전 신호가 각 문자마다 수반되어 전송되기 때문에 전송 문자열의 구성에 관계없이 LED는 항상 일정한 광전력을 유지하였다. LED로부터 약 2m의 거리에서 신호광의 평균 광전력밀도는 약 $25\text{mW}/\text{m}^2$ 이고, 주변의 조명램프로부터 유입된 광전력밀도는 약 $200\text{mW}/\text{m}^2$ 이었다. 광전력의 측정에 사용된 장비는 OMM-6810B Optical multimeter 이었다. 이 상태에서 수신부에서 검출된 전압을 오실로스코프로 관찰하였다. 그림 8은 수신부에서 관측한 전압파형을 나타낸다.

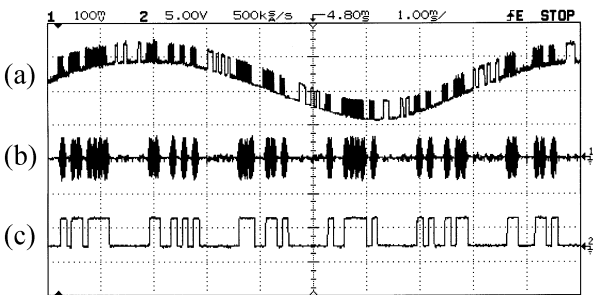


Fig. 8. Observed waveforms in the VLC receiver.
그림 8. 가시광 수신부의 관측파형

그림 8(a)는 포토다이오드 전압으로서 송신부에서 보내온 신호 이외에 인접된 다른 조명램프로부터 발생한 120 Hz의 잡음광이 유입되어 검출되고 있음을 볼 수 있다. 이와 같이 신호광의 진폭에 비하여 잡음광의 세기가 큰 환경에서는 기저대역(base-band)의 가시광 시스템을 사용하면 잡음광의 간섭으로 인하여 정상적으로 데이터가 수신되지 않는다. 이와 같은 환경에서 잡음광의 간섭을 소거하고

신호성분만 검출하기 위하여 송신부에서 데이터를 OOK 변조하고, 수신부에서 대역통과필터를 사용하는 것이다. 그림 8(b)는 포토다이오드 전압이 대역통과필터를 통과한 후에 나타나는 OOK 변조파형이다. 여기에서는 120 Hz의 잡음광과 비트반전 전 신호가 모두 소거되고, 100 kHz의 신호에 해당하는 OOK 변조파형만 출력되고 있음을 볼 수 있다. 이 신호가 수신부의 진폭검출기와 판별회로를 통과하면서 송신부에서 보낸 NRZ 데이터가 복구되어 수신된다. 그림 8(c)는 수신부에서 복구된 NRZ 데이터 신호로서 이 신호는 앞의 그림 7(a)에서 보인 송신부의 NRZ 파형과 동일한 형태임을 알 수 있다. 이 신호를 컴퓨터의 직렬포트에 연결하였을 때, 모니터에 나타난 문자열은 그림 9와 같다.

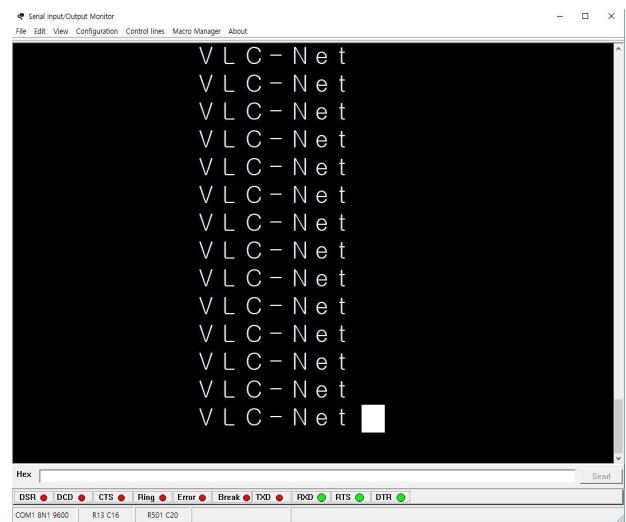


Fig. 9. Characters displayed on a monitor.
그림 9. 모니터에 표시된 문자열

그림 9에서는 보이는 문자열은 송신부에서 보낸 문자열 중에서 화면상의 위치제어를 위한 “\t”, “\r”, “\n”을 제외하고 나머지 문자열인 “VLC-Net”가 순서대로 잘 표시되고 있어 수신상태가 양호함을 알 수 있다. 이와 같이 단일극성의 구형파를 이용하여 OOK 변조하고, 비트 반전신호를 부가 전송함으로써 송신부에서는 플리커가 없는 안정된 조명상태를 이루고, 수신부에서는 인접된 잡음광의 간섭을 차단하는 효과를 실험적으로 확인하였다.

III. 결론

본 논문에서는 가시광을 사용하여 근거리 데이터

통신 링크를 구성하는 경우, 송신부에서 평균 광전력의 변동을 방지하고, 수신부에서 잡음광의 유입에 의한 간섭을 차단하기 위하여 바이트반전 신호를 수반하는 OOK 변조를 실시하였다. 송신부에서 LED출력광을 OOK 변조한 후 바이트반전 신호를 부가하여 전송하면 LED의 평균 광전력이 일정한 상태를 이루게 됨을 수식적으로 증명하고, 실험을 통하여 그 효과를 확인하였다. 실험에서는 UART 전송방식의 기본 데이터율에 해당하는 9.6kbps에서 기저대역의 NRZ 데이터를 100kHz의 Unipolar 구형파로 OOK 변조하여 전송하였다.

송신부에서 단극성의 구형파를 사용하여 OOK 변조하면 별도의 발진기와 변조회로가 필요하지 않아 시스템의 구성이 매우 간편해지는 이점이 있다. 그러나 이와 같은 단극성의 OOK 변조방식에서는 데이터의 비트열에 따라 LED의 평균 광전력이 불규칙하게 변동할 수 있으므로, 이러한 상태를 개선하고자 1 바이트의 OOK 변조신호가 전송될 때마다, 각 비트의 부호가 반전된 바이트 반전 신호를 추가로 전송함으로써, 데이터의 과정에서 LED의 평균 광전력이 항상 일정하게 유지되도록 만든 점이 본 논문에서 요지에 해당한다.

이와 같은 변조방식을 사용함으로써 송신부에서는 데이터의 전송유무 또는 비트열의 형태에 관계없이 항상 일정한 평균 광전력이 방사되어 플리커가 없는 안정된 조명상태를 유지하여 가시광 데이터통신과 조명상태가 서로 영향을 주지 않는 안정된 가시광 시스템을 구현하였다. 또한 수신부에서는 OOK 복조기를 통하여 잡음소거 상태가 양호함을 확인하였다. 이러한 구조는 실내의 근거리에서 별도의 무선통신 장치를 설치하지 않고, 실내의 조명 빛을 이용하여 다양한 센서와 제어장치 간 수십 kbps 정도의 전송 데이터율을 가진 무선 네트워크를 구축할 때 사용하기 편리한 전송방식이라고 할 수 있다.

References

[1] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol.50, no.1, pp.100-107, 2004.
DOI: 10.1109/TCE.2004.1277847

[2] S. Rajagopal, R. D. Roberts, S. K. Lim, "IEEE 802.15.7 visible light communication: modulation schemes and dimming support," *IEEE Comm. Mag.*, vol.50, no.3, pp.72-82, 2012.

DOI: 10.1109/MCOM.2012.6163585

[3] S. H. Lee, "A passive transponder for visible light identification using a solar cell," *IEEE Sens. J.*, vol.15, no.10, pp.5398-5403, 2015.

DOI: 10.5369/JSST.2014.23.4.2384

[4] Z. Ong, W. Y. Chung, "Long Range VLC Temperature monitoring system using CMOS of mobile device camera," *IEEE Sens. J.*, vol.16, pp.1508-1509, 2016. DOI: 10.1109/JSEN.2015.2506907

[5] C. Yao, Z. Guo, G. Long, and H. Zhang, "Performance Comparison among ASK, FSK and DPSK in Visible Light Communication," *Opt. Photonics J.*, Vol. 6, no.8B, pp.150-154, 2016.

DOI: 10.4236/opj.2016.68B025

[6] A. M. Cailean and M. Dimian, "Current Challenges for Visible Light Communications Usage in Vehicle Applications: A Survey," *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, Vol.19, no.4, pp.2681-2703, 2017. DOI: 10.1109/COMST.2017.2706940

[7] F. Yuan, "Design techniques for ASK demodulators of passive wireless microsystems: a state-of-the-art review," *Analog Integr. Circ. Sig. Process.*, vol. 63, no.1, pp.33-45, 2010.

DOI: 10.1007/s10470-009-9379-6

BIOGRAPHY

Junho Lee (Member)



1988 : BS degree in Electronic Engineering, Yonsei University.

1991 : MS degree in Electronic Engineering, Yonsei University.

2005 : PhD degree in Electronic Engineering, Yonsei University.

1998~ : Associate Professor, Seoul National University of Science and Technology.