

가시광통신에서 3-레벨 바이트반전 전송을 이용한 플리커 방지

Flicker Prevention in Visible Light Communication Using Three-Level Byte-Inversion Transmission

이 성 호*[★]

Seong-Ho Lee*[★]

Abstract

In this paper, we newly introduce the three-level byte-inversion transmission method for preventing LED flicker in visible light communication (VLC). The VLC transmitter sequentially sends the original signal and the inverted signal in byte units using a three-level LED modulator. The average optical power of the LED is kept constant during data transmission, thus flicker-free. In the VLC receiver, the original data is easily recovered using a simple comparator. This structure is very simple because additional clock or carrier is not required for flicker prevention. The developed flicker prevention scheme could be very useful for constructing the flicker-free indoor VLC system in low cost.

요 약

본 논문에서는 가시광통신에서 플리커를 방지하기 위한 3-레벨 바이트반전 전송방식을 새로이 소개한다. 가시광 송신부에서는 3-레벨 LED 변조기를 사용하여 원신호와 반전신호를 차례로 전송하며, 데이터 전송과정에서 LED의 평균광출력이 일정하게 유지되어 플리커가 발생하지 않는다. 가시광 수신부에서는 간단한 비교기를 사용하여 원신호가 쉽게 복구된다. 이 방식에서는 플리커 방지를 위하여 별도의 클럭이나 캐리어가 필요하지 않아 구조가 매우 간단하며, 저렴한 비용으로 플리커가 없는 실내의 가시광 시스템을 구축하는 데에 유용할 것으로 판단된다.

Key words : Visible light communication, LED, Flicker, Three-level modulator, Byte-inversion

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

★ Corresponding author

E-mail: shlee@seoultech.ac.kr, Tel: +82-2-970-6457

※ Acknowledgment

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

Manuscript received Jun. 11, 2018; revised Jun. 25, 2018;

Accepted Jun. 27, 2018

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 반도체 기술이 급속히 발전하면서 반도체의 PN접합을 이용한 고출력의 가시광 발광다이오드 (light emitting diode; LED)가 다량으로 개발 및 보급되면서 실내조명, 도로 및 건물 주변의 가로등 및 보안등, 자동차 조명, 교통 신호등과 같이 거의 모든 조명시설에서 LED의 활용이 증가하고 있는 추세이다. LED는 기존의 백열등이나 형광등에 비하여 높은 전력 변환효율을 가지며, 기계적 충격에 강하고, 발광 단면의

크기가 작아 다양한 구조로 배열이 가능하여 사용자가 원하는 형태의 조명장치를 쉽게 개발 및 제작할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 LED는 주입 전류를 제어함으로써 조명의 밝기를 비교적 쉽게 조절할 수 있으며, 출력광의 변조속도가 빨라 고속 스위칭이 가능하다. 이러한 LED의 고속 변조 특성을 이용하여 조명과 통신을 동시에 수행할 수 있는 가시광통신기술이 꾸준히 발전하고 있다[1]-[3].

가시광통신(visible light communication; VLC)은 자유공간을 전송매체로 사용하여 광원으로부터 방사된 신호광을 광검출기로 직접 수신하는 근거리 무선 통신방식의 일종이다. 가시광통신은 RF 무선 주파수와 상호 간섭을 일으키지 않으며, 신호광의 빔이 존재하는 영역에서만 수신이 가능하므로, 전자파장애에 민감한 병원의 정밀 계측기간 데이터 전송[2], 또는 외부에서 전파에 의한 도청을 방지해야 하는 보안구역에서 안전한 무선통신 방식으로 활용될 수 있다.

가시광통신에서는 조명과 통신이 동일한 광원을 사용하여 이루어지므로, 조명과 통신 상호간에 서로 영향을 주지 않도록 시스템의 설계과정에 많은 주의를 기울여야 한다. 기저대역(base-band)에서 가시광통신을 하는 경우에는 시스템의 구성이 간단하여 구현이 용이한 반면, 데이터 전송과정에서 LED의 평균 광전력이 불규칙하게 변화함으로써 인하여 플리커(flicker)가 발생할 가능성이 높다. 플리커는 LED의 평균 광출력이 변화하여 조명의 밝기가 일정하지 않고 깜박거림이 발생하는 상태로써 사용자의 시야를 불편하게 만드는 현상이다. 가시광통신에서 이러한 플리커를 방지하기 위해서는 광원의 전력변화가 나타나는 최대 주기(maximum flickering time period; MFTP)가 일반적으로 5 ms (200Hz)보다 짧아야 한다[4].

기저대역의 가시광통신에서는 일반적으로 맨체스터(Manchester code)코드, 펄스폭변조(pulse width modulation; PWM), 펄스위치변조(pulse position modulation; PPM) 과 같이 평균 광전력을 일정하게 유지하는 방식을 사용하여 플리커를 방지할 수 있다. 이와 같은 변조방식을 사용하는 경우에는 송신부와 수신부 사이에 동기상태를 유지해야하므로, 이를 위해서 데이터 이외에 별도의 클럭을 제공하기 위한 동기회로가 구비되어야 하는 부담이 있다.

반송파(carrier)를 사용하는 가시광통신에서는 기저대역의 데이터율에 비하여 훨씬 높은 반송주파수를 사용하여 ASK(amplitude shift keying) 또는 FSK(frequency shift keying) 변조함으로써 LED의 평균 광전력을 일정하게 유지하여 플리커를 방지할 수 있다[5]. 이 경우에는 데이터의 전송율에 비하여 현저히 높은 캐리어 주파수에 해당하는 발진회로, 변조회로, 복조회로가 추가되어야 하므로 기저대역에 비하여 시스템이 상대적으로 복잡해진다.

본 논문에서는 가시광통신에서의 플리커를 방지하기 위하여 별도의 클럭전송이나 캐리어를 사용하지 않고 좀 더 간단히 수행할 수 있는 3-레벨 바이트반전 전송방식을 새로이 개발하여 제안한다. 이 방식에서는 송신부에서 1 바이트의 데이터를 전송할 때마다 원신호(original signal)와 반전신호(inverted signal)를 순차적으로 보냄으로써 LED의 평균 광전력을 일정하게 유지하여 플리커를 방지하는 구조이다. 송신부에서는 (0, 1, 2)의 3-레벨의 광출력을 가지는 LED 구동회로를 사용하며, 원신호는 레벨(1, 2)에, 반전신호는 레벨(0, 1)에 존재한다. 원신호와 반전신호는 레벨1을 기준하여 서로 반전된 상태이므로 데이터의 유무에 관계없이 LED의 평균 광출력이 항상 일정하게 유지되어 플리커가 나타나지 않는다.

이와 같이 3-레벨의 신호광이 전송된 상태에서 수신부의 광검출기를 통하여 AC 신호를 수신하면, 평균 전압에 해당하는 레벨 1이 자동으로 접지전압이 되며, 3-레벨 신호중 원신호는 (+) 전압, 반전신호는 (-) 전압을 가진다. 이 신호가 비교기를 통과하면서 원신호는 검출되는 반면 반전신호는 차단되어 송신부에서 보낸 원신호가 수신된다. 이 방식에서는 플리커의 방지를 위하여 송신부와 수신부 사이에 동기신호가 필요하지 않으며, 또한 반송파가 없는 기저대역에서 데이터 전송이 이루어지므로 시스템의 구성이 매우 간단해지는 이점이 있다. 이러한 구조는 LED 조명을 이용하여 실내의 근거리 무선 네트워크를 구축하는데 넓게 활용될 수 있다.

II. 본론

1. 3-레벨 바이트반전 전송방식

광원의 플리커를 방지하기 위해서는 광원의 평균 광전력을 일정하게 유지하여야 한다. 이러한 목적으로 기저대역에서는 맨체스터코드와 같이 비트 단위로 데이터를 반전하는 방법이 많이 사용되고 있다. 그러나 본 논문의 바이트 반전 전송방식에서는 바이트 단위로 여러 개의 비트를 한꺼번에 반전시켜 광원의 평균 광전력을 일정하게 유지하는 방식을 사용한다. 3-레벨 바이트 반전 전송방식을 도식적으로 표현하면 그림1과 같다.

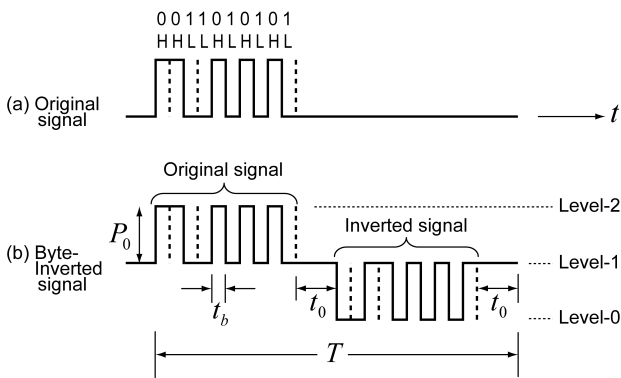


Fig. 1. Original and Byte-inverted signal.
그림 1. 원신호와 바이트 반전신호.

그림1(a)는 원신호의 NRZ 데이터의 예로서 UART형식으로 LED를 변조하여 데이터를 전송하는 경우에 1개의 문자 “V”에 대한 비트열을 나타낸다. UART 전송방식에서는 데이터에 해당하는 8비트와 start bit, stop bit를 포함하여 10비트가 1개의 바이트를 구성한다.

그림1(b)는 3-레벨 바이트반전 전송방식으로 데이터를 전송하는 상태를 나타낸다. 여기에서는 원신호(original signal)의 데이터를 전송한 후에 곧바로 원신호와 반대극성을 가지는 반전신호(inverted signal)을 보낸다. 빛의 세기는 (+) 값만 가지며 (-) 값이 없으므로, 원신호와 반전신호는 3-레벨의 디지털 신호가 되도록 LED를 변조한다. 원신호에서는 데이터 비트가 high 상태에서는 레벨2의 값을 가지며, low 상태에서는 레벨1의 값을 가진다. 반면에 반전신호에서는 데이터 비트가 high 상태일 때는 레벨1이 되며, low상태에서는 레벨0가 된다. 이와 같이 원신호와 반전신호를

연속적으로 전송하면 원신호의 데이터가 불규칙하게 변화하더라도 평균값은 항상 레벨1을 유지하여 LED의 광전력이 일정한 상태를 유지하게 된다.

이와 같은 관계를 수식적으로 확인하면 다음과 같다. 그림1(b)에서와 같이 바이트반전 전송방식으로 데이터를 전송하는 경우에, 문자 1개에 대한 원신호의 빛에너지(W_1)은

$$W_1 = P_0 \sum_{i=1}^{10} (1 + D_i)t_b \tag{1}$$

로 나타낼 수 있다. 여기에서 D_i 는 원신호에서 데이터 비트의 디지털 부호 값을 나타내며, t_b 는 비트시간(bit time), P_0 는 high 상태의 광전력을 나타낸다. 원신호에서 high 상태의 비트는 레벨2, low 상태의 비트는 레벨1이 되므로 각 데이터 비트의 레벨이 $(1 + D_i)$ 로 표현된 것이다. 같은 방법으로 문자1개에 대한 반전신호의 빛에너지는

$$W_2 = P_0 \sum_{i=1}^{10} (1 - D_i)t_b \tag{2}$$

이 된다. 반전신호에서 high 상태는 레벨1 이며, low 상태는 레벨0 이므로 각 데이터 비트의 레벨은 $(1 - D_i)$ 로 표현된 것이다. 바이트 반전 전송과정에서 원신호와 반전신호 사이에 공백시간이 존재하며, 한 주기 내에 공백 시간이 2번 나타난다. 따라서 1개의 공백시간을 t_0 라고 할 때, 한 주기 내에서 공백 시간의 빛에너지는

$$W_0 = P_0 \times 2t_0 \tag{3}$$

가 된다. 원신호와 반전신호가 전송되는 주기를 T 라고 할 때, LED의 평균 광전력을 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 P_{avg} &= \frac{1}{T}(W_1 + W_2 + W_3) \quad (4) \\
 &= \frac{P_0}{T} \left\{ \sum_{i=1}^{10} (1 + D_i)t_b + \sum_{i=1}^{10} (1 - D_i)t_b + 2t_0 \right\} \\
 &= \frac{P_0}{T} \left\{ \sum_{i=1}^{10} 2t_b + 2t_0 \right\} \\
 &= \frac{P_0}{T} (20t_b + 2t_0)
 \end{aligned}$$

여기에서 $(20t_b + 2t_0)$ 는 원신호와 반전신호가 전송되는 주기 T 와 같으므로, 식(4)를 다시 정리하면,

$$\begin{aligned}
 P_{avg} &= \frac{P_0}{T} (20t_b + 2t_0) = \frac{P_0}{T} \times T \quad (5) \\
 &= P_0
 \end{aligned}$$

가 된다. 따라서 LED의 평균 광전력은 데이터 비트 D_i 에 관계없이 항상 레벨1의 전력에 해당하는 P_0 로 일정하게 유지된다. 그 결과 3-레벨 바이트 반전 전송방식을 사용하는 경우, 원신호 및 반전신호의 전송주기 T 가 플리커 방지를 위한 최대 주기(MFTP) 인 5 ms (200Hz) 보다 짧게 유지되도록 구성하면, 데이터의 전송과정에서 LED 출력광에 플리커가 나타나지 않아 항상 안정된 조명상태를 유지하게 된다.

2. VLC 송신부 및 관측과형

바이트반전 전송을 위한 3-레벨 가시광 송신부의 구성은 그림2와 같다.

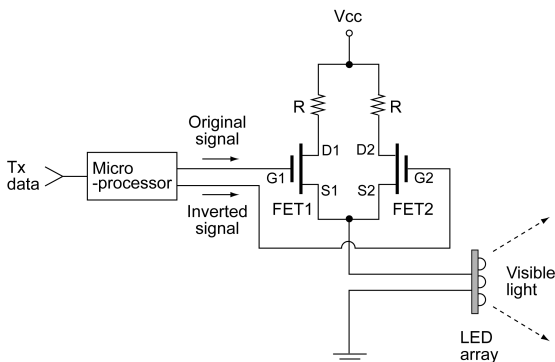


Fig. 2. Configuration of the 3-level VLC transmitter.

그림 2. 3-레벨 가시광 송신부 구성.

3-레벨 가시광 송신부는 1개의 마이크로프로세서와 2개의 FET, 그리고 가시광을 생성하는 LED array 로 이루어진다. 송신하고자하는 데이터가 마이크로프로세서의 입력단에 가해지면 마이크로프로세서는 원신호를 출력한 후 다시 반전된 신호를 부가하여 출력한다. 원신호와 반전신호는 별도의 포트에서 출력되어 FET1과 FET2의 게이트 G1과 G2에 각각 인가된다. FET1의 소스(S1)에 흐르는 전류는 게이트 G1에 인가된 원신호에 비례하며, FET2의 소스(S2) 전류는 게이트 G2에 인가된 반전신호에 비례한다. FET1과 FET2의 소스가 병렬로 연결되어 있으므로 LED array에 흐르는 전류는 원신호와 반전신호의 합에 비례한 전류가 된다.

FET1과 FET2가 모두 차단 (OFF) 상태에 있을 때는 LED array 에 흐르는 전류가 0 이 되어 LED array 의 출력광이 레벨0 의 기저상태가 된다. FET1과 FET2 중에서 한 개의 FET만 도통 (ON) 상태에 있을 때는 LED array 의 출력광이 레벨1 의 중간 상태가 되며, FET1과 FET2가 모두 도통 (ON) 상태에 있을 때는 LED array 출력광이 제일 높은 레벨2 의 상태가 된다. 이와 같이 3단계의 레벨을 가지는 LED array의 출력광이 자유공간으로 방사되어 수신부에 도달하게 된다. 송신부의 제작에 사용한 마이크로프로세서는 Atmega8이며, FET 2개는 모두 IRF540을 사용하였다. LED array는 1W의 백색광 LED 6개를 사용하여 2×3 배열의 형태로 제작하여 사용하였다.

3-레벨 가시광 송신부가 정상적으로 작동하는지 확인해보기 위하여 UART 형식으로 문자 “V”를 반복하여 전송하면서 송신부에서의 전압과형을 관측하였다. 그림3은 오실로스코프를 사용하여 관측한 송신부의 전압과형을 나타낸다.

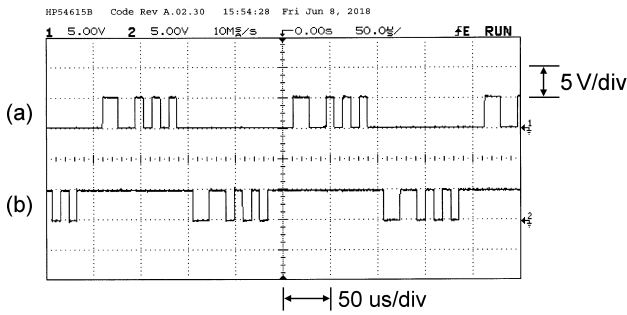


Fig. 3. Voltage waveforms in the VLC transmitter.

(a) Original signal, (b) Inverted signal.

그림 3. 가시광 송신부에서의 전압파형.

(a) 원신호, (b) 반전신호.

그림3에서 파형(a)는 FET1의 게이트 G1에 인가되는 전압파형이다. 이것은 115.2kbps의 UART 데이터 전송율로 한 개의 문자 “V”를 200us 간격으로 반복하여 전송하는 상태에서 관측한 NRZ 데이터 파형이다.

문자 “V”에 대한 8 bit의 ASCII 코드는 “01010110”이며, UART형식에 따라 전송하는 경우에 LSB (least significant bit) 로부터 MSB(most significant bit) 순서로 전송되므로 비트열의 순서는 역으로 “01101010”가 된다. 1 바이트가 전송될 때마다 비트열 앞에 start bit “0” , 비트열 뒤에 stop bit “1” 가 한 개씩 추가된다. 따라서 1 바이트의 전송에 10 비트가 소요되며, 그 순서는 “0011010101” 이 된다. UART 전송방식에서는 비트 “0”에 high(H) 전압, 비트 “1”에 low(L) 전압이 할당된다. 따라서 문자 “V”가 전송되는 경우에 NRZ 전압파형은 “HHLLHLHLHL” 의 형태가 되어 앞의 그림1(a) 및 관측파형인 그림3(a) 와 같은 파형이 된다.

그림3에서 파형(b)는 문자“V”에 대한 반전신호로서 FET2의 게이트 G2에 인가되는 전압파형이며, 원신호가 전송 완료된 후 보내진다. 이 반전신호는 데이터가 없을 때에는 high 전압을 유지하며, 각 비트의 전압은 원신호와 반대의 상태를 가진다. 이 두 가지 신호가 앞의 그림2에서 보인 바와 같이 FET1과 FET2의 게이트에 인가되어 LED의 광출력은 3-레벨의 신호광을 생성하게 된다.

3. VLC 수신부 및 관측파형

3-레벨 바이트반전 신호광을 검출하기 위한 가시광 수신부는 그림4와 같다.

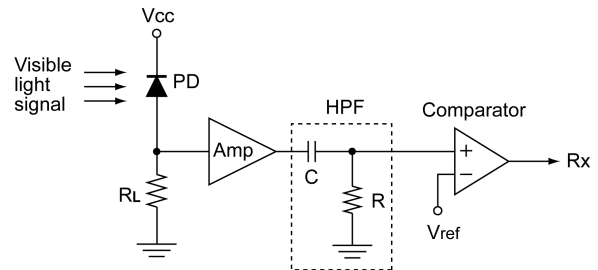


Fig. 4. VLC receiver for detecting the byte-inverted signal.

그림 4. 바이트반전 신호 검출을 위한 가시광 수신부.

수신부는 포토다이오드(photodiode: PD)와 부하저항, 증폭기, RC-고역통과필터(high-pass filter: HPF), 그리고 비교기(comparator)로 이루어진다. 포토다이오드에서는 입사광의 세기에 비례하여 전류를 생성하고 부하저항 RL 양단에 전압이 발생한다. 이 전압이 증폭기를 통과한 후 저항과 캐피시터로 이루어진 고역통과필터(HPF)를 통과하면, 3-레벨 신호의 AC 전압이 검출된다. 이와 같이 포토다이오드 전압을 AC검출하면 평균전압이 0V의 접지가 되며, 원신호는 (+)전압, 반전신호는 (-)전압을 가진다. 이 신호가 비교기(comparator)에 입력되면 기준전압 (Vref) 보다 높은 전압인 원신호는 검출되고, 기준전압보다 낮은 반전신호는 차단된다.

가시광 수신부의 제작에 사용한 포토다이오드는 S6968 PIN 이고, 증폭기와 비교기는 모두 연산증폭기 OPA228을 사용하였다. 고역통과필터에서는 저항 R=1kΩ, 캐피시터 C=1uF을 사용하여 차단주파수가 약 160 Hz가 되도록 하여 주변의 다른 조명으로부터의 유입되는 120 Hz의 잡음광을 차단하였다.

가시광 수신부에서 3-레벨 신호광이 검출되는 과정을 확인해보기 위하여, 앞의 그림3과 같이 송신부에서 바이트 반전방식으로 문자 “V”를 연속적으로 전송하는 상태에서 수신전압을 관측하였다. 수신전압은 송신부로부터의 거리가 증가함에 따라 감소하며, 수신파형을 관측하기 위하여 송신부로부터 약 2m의 거리에 수신부를 설치하였다.

그림5는 오실로스코프를 사용하여 수신부에서 관측한 전압파형을 나타낸다.

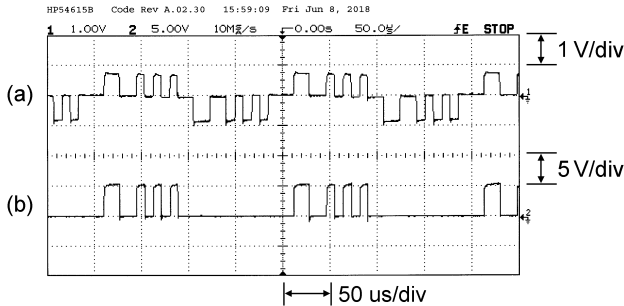


Fig. 5. Voltage waveforms in the VLC receiver.
(a) The photodiode voltage, (b) The comparator output.
그림 5. 가시광 수신부에서의 전압파형.
(a) 포토다이오드 전압, (b) 비교기 출력.

그림5(a)는 포토다이오드 전압이 증폭기와 고역통과필터를 통과한 후 검출된 AC 전압파형을 나타낸다. 송신부에서 보낸 원신호와 반전신호로 이루어진 3-레벨 신호광이 정상적으로 검출되고 있음을 볼 수 있다. 이 AC 전압에서는 중간에 해당하는 레벨1이 0V의 접지전압이 되고, (+) 부분은 문자“V”에 대한 원신호이며, (-) 부분은 반전된 신호를 나타낸다. 그림5(b)는 수신부에서 비교기를 통과한 후의 전압파형을 나타내며, (+) 전압에 해당하는 원신호만 검출되며, (-) 전압에 해당하는 반전신호는 차단되고 있음을 볼 수 있다. 송신부에서 사용한 반전신호는 LED 출력광에서 플리커 방지를 목적으로 부가하여 전송한 것이므로 이와 같이 비교기에서 차단된다. 수신부에서 복구된 신호인 그림5(b)는 앞의 그림3(a)에서 보인 송신부의 원신호와 동일함을 볼 수 있다. 이와 같이 3-레벨 전송방식이 LED의 플리커를 방지하는 상태에서 별도의 동기신호를 사용하지 않고 데이터 전송이 가능함을 실험적으로 확인하였다.

4. 문자열의 연속 전송실험

3-레벨 바이트반전 전송방식을 사용하여 여러 개의 문자로 이루어진 데이터를 전송하면서 송수신 상태를 관측하였다. 송신부에서 문자열 “\tVLC-test\r\n”를 전송률 115.2kbps 의 데이터율로 200us 당 1개의 문자씩 순차적으로 전송하였다.

그림6은 송신부와 수신부에서 오실로스코프를 사용하여 관측한 전압파형을 나타낸다.

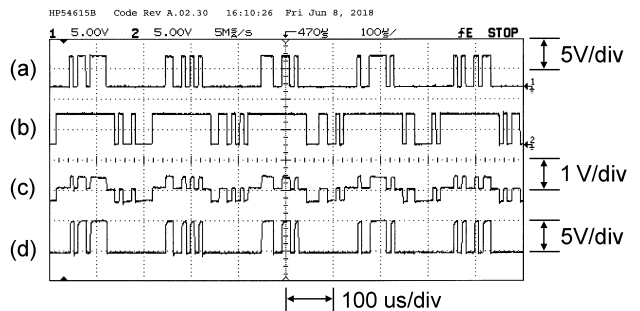


Fig. 6. Waveforms in the transmitter and the receiver.
(a) The original signal in the transmitter, (b) The inverted signal in the transmitter, (c) The photodiode AC voltage, and (d) The received signal.
그림 6. 가시광 송신부와 수신부에서의 전압파형.
(a) 송신부에서의 원신호, (b) 송신부에서의 반전신호, (c) 포토다이오드의 AC전압, (d) 수신된 신호.

그림6에서는 여러 개의 문자를 한꺼번에 관측하기 위하여 시간 축을 100 us/div 눈금으로 변경하여 사용하였다. 그림6(a)는 송신부에서 11개의 문자 “\tVLC-test\r\n”가 순차적으로 전송될 때, 앞의 5개의 문자에 해당하는 원신호의 NRZ 파형이 보이는 상태이며, 송신부의 FET1의 게이트에 인가되는 전압을 나타낸다. 그림6(b)는 문자열에 대한 반전신호를 나타내며, 송신부의 FET2의 게이트에 인가되는 전압이다. 그림6(c)는 수신부의 포토다이오드에서 검출된 후 증폭기와 HPF를 통과한 후 검출된 3-레벨 AC 전압이다. 파형(d)는 수신부에서 비교기를 통과한 후에 최종적으로 복구된 문자열로서 이것은 송신부에서 보낸 원신호의 파형(a)와 동일한 형태임을 볼 수 있다.

이 시스템에서 원신호와 반전신호를 1 바이트씩 교대로 보내는 주기는 $T=200\mu s$ (0.2 ms)이며, 이 시간은 플리커 방지를 위한 최대 주기(MFTP)인 5 ms (200Hz) 보다 훨씬 짧은 상태이므로, 데이터의 변동에 관계없이 항상 플리커가 방지되고 안정된 조명상태를 유지한다.

문자열의 수신 상태를 확인하기 위하여 수신부에서 복구된 신호인 그림6(d)의 전압을 컴퓨터의 직렬포트에 연결하여 관측하였다. 그림7은 컴퓨터의 모니터상에 나타난 문자열을 나타낸다.



Fig. 7. Characters displayed on a monitor.
그림 7. 모니터 상에 나타난 문자.

그림7에서 보면 송신부에서 보낸 문자열 “VLC-TEST” 가 정상적으로 잘 수신되고 있음을 볼 수 있다. 송신부에서 보낸 문자열 중에서 “\t” (horizontal tab), “\r” (carriage return), “\n” (line feed)는 모니터 상에서 문자의 위치를 조정하기 위하여 사용한 특수문자이므로 모니터 상에는 나타나지 않는다. 그림8은 실험에서 사용한 회로의 외관을 나타낸다.

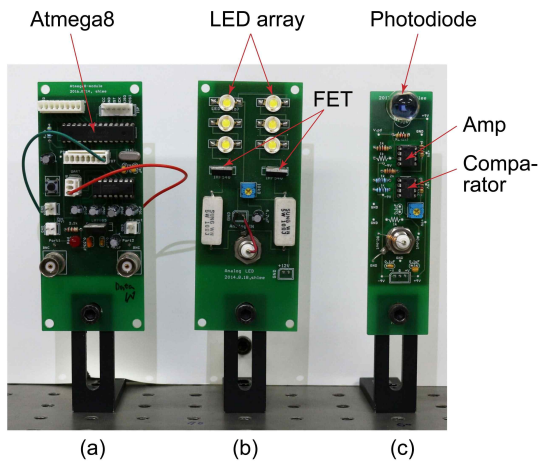


Fig. 8. The circuit boards used in experiments.
그림 8. 실험에서 사용한 회로보드.

그림8(a)는 송신부에서 사용한 마이크로프로세서 Atmega8 회로이며, 그림8(b)는 송신부에서 광원으로 사용한 2×3배열구조의 LED array와 FET 회로를 나타낸다. 그림8(c)는 수신부에서 사용한 포토다이오드 S6968과 OPA228을 사용한 증폭기

및 비교기 회로를 나타낸다.

이와 같이 3-레벨 바이트 반전 전송방식을 사용함으로써 기저대역에서 LED의 광전력을 일정하게 유지함으로써 플리커가 없이 데이터 전송이 가능함을 실험적으로 확인하였다. 이러한 전송방식에서는 LED의 플리커를 방지하기 위하여 ASK 또는 FSK 등에서 필요한 별도의 캐리어를 사용하지 않으며, 맨체스터 코드 또는 펄스위치변조 등에서 필요한 별도의 클럭 전송 또는 클럭 복구회로가 없이 비동기식으로 전송이 이루어지므로 가시광 전송 시스템 구성이 매우 간단해지는 장점이 있다.

III 결론

본 논문에서는 조명과 통신을 겸하는 가시광통신 시스템에서 플리커를 방지하기 위하여 3-레벨 바이트반전 전송방식을 새로이 개발하여 소개하였다. 먼저 3-레벨 바이트반전 전송방식을 서술하였고, 전송과정에서 송신부와 수신부에서의 전압과형을 차례로 관측함으로써 3-레벨 전송방식에서의 동작과정을 실험적으로 확인하였다. 또한 연속적인 문자전송과정을 통하여 이러한 전송방식이 실용적으로 활용될 수 있음을 보였다.

이와 같이 3-레벨 바이트반전 전송방식은 기저대역을 사용하는 가시광통신 시스템에서 데이터 전송과정 중에 발생할 수 있는 LED 조명의 플리커를 방지하여 안정된 조명상태를 제공하므로, LED의 조명을 이용한 근거리 무선네트워크를 구성하는 데에 많이 활용될 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] Y. K. Cheong, X. W. Ng, and W. Y. Chung, “Hazardless biomedical sensing data transmission using VLC,” *IEEE, Sens. J.*, vol.

- 13, no.9, pp. 3347-3348, 2013. DOI: 10.1109/JSEN.2013.2274329
- [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: 10.1109/JSEN.2015.2440754
- [4] S. Rajagopal, R. D. Roberts, and 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
- [5] C. Yao, Z. Guo, G. Long, and H. Zhang, "Performance Comparison among ASK, FSK and DPSK in visible light communication," *Opt. Photon. J.*, vol. 6, no. 8B, pp. 150-154, Aug. 2016. DOI: 10.4236/opj.2016.68B025

BIOGRAPHY

Seong-Ho Lee (Member)

1980 : BS degree in Electronic Engineering, Korea Aerospace University.

1989 : MS degree in Electric and Electronic Engineering, KAIST.

1993 : PhD degree in Electric and Electronic Engineering, KAIST.

1995~2018 : Professor, Seoul National University of Science and Technology

