전력선 주파수를 이용한 가시광 채널의 시분할 전송

이성호⁺

Time Division Transmission of Visible Light Channels Using Power Line Frequency

Seong-Ho Lee⁺

Abstract

In this paper, we developed a new method to transmit multiple visible light channels in time division mode using the AC power line frequency in order to prevent the crosstalk between adjacent optical signals. Synchronizing pulses are generated from the 220 V power line, and one pulse period is subdivided into several time slots for visible light channels. Each channel transmits data in a predefined time slot without interfering adjacent channels. In experiments, synchronizing pulses with a repetition rate of 240 Hz were generated from the 60 Hz power line, and three VLC channels with a bit rate of 9.6 kbps transmitted data independently using the time slots between synchronizing pulses. This configuration is very useful in constructing time division VLC networks for multiple sensors.

Keywords: Visible light communication, Crosstalk, Time division transmission, Power line, Synchronizing pulse

1. 서 론

가시광통신(visible light communication; VLC)은 가시광 대역의 광원을 사용한 무선통신 방식으로서, 한 개의 광원으로 조명과 통신을 겸할 수 있으며 기존의 RF 무선주파수와 간섭이 없고, 송·수신시스템의 구현이 매우 간편하여 근거리에서 무선 네트워크를 쉽게 구축할 수 있는 장점을 가지고 있다[1-6]. 가시광통신은 광원과 광검출기 사이에 광섬유를 사용하지 않고 자유공간을 통하여 직접 신호를 전송하는 무선광통신의 일종이며, 전송매체로 가시광 대역의 전자기파를 사용한다.

가시광통신에서 사용되는 대표적인 광원으로는 최근에 많은 개발이 이루어진 조명용 LED(Light Emitting Diode)가 있다. 표면방출 집합구조를 가진 조명용 LED의 경우에 일반적으로 Lambertian 방사패턴을 가지며[7], 반전력빔폭(half power beam width)이 120도 정도로 넓게 분포하기 때문에, 여러 개의 송수신 시스템이 근접된 경우에는 인접된 다른 채널의 신호광이 수

신부에 유입되어 시스템 상호 간에 혼신을 유발할 수 있다. 이러한 경우에는 파장분할방식, 반송파(carrier)주파수 분할방식, 또는 시분할 방식 등으로 채널간의 간섭을 방지할 수 있다.

파장분할 방식은 채널 별로 신호광의 파장을 다르게 정하고 수신부에서 광필터를 사용하여 채널을 분리하는 방식이다. 실내에서 가시광통신을 구축하는 경우에 광원의 역할이 조명의 기능도 겸하게 되므로 약 400~900 nm의 넓은 파장대역을 가지는 백색 출력광의 LED를 공통적으로 많이 사용하고 있다. 이와 같이 백색 조명을 위주로 사용하는 실내 환경에서는 채널마다 특정 대역의 파장을 따로따로 지정하는 파장분할 방식이 적절하지 않은 경우가 많다.

반송파 주파수 분할방식은 채널마다 서로 다른 반송파 주파수를 사용하여 광원을 변조하고 수신부에서 필터를 사용하여 해당채널의 주파성분만 검출하여 데이터를 복구하는 방식이다. 가시광통신에서 많이 사용되는 조명용LED의 변조 대역폭은 제품에 따라 다소 차이가 있으나 대부분 수kHz~수MHz정도로 낮은 편이어서, 여러 개의 서로 다른 반송파 주파수를 사용하여 채널을 분리하는 경우에 채널간 주파수 간격이 매우 좁아지므로, 수신부에서 해당 채널의 통과대역을 분리하기 위한 필터의 설계사양이 까다로워지는 경우가 많다.

시분할 방식은 별도의 동기펄스를 사용하여 한 주기를 여러 개의 시구간(time slot)으로 나누고 이들을 채널 별로 할당하여 전송하는 방식이다. 이 방식을 사용하기 위해서는 별도로 동기펄스를 생성하고, 이를 VLC신호광 이외의 다른 가시광 대역이나 적외선, RF주파수 등 별도의 전송매체를 통하여 전송함으로써 각 송·수신부에서 동기펄스를 공유할 수 있도록 시스템을 구성해

서울과학기술대학교 전자 IT 미디어공학과 (Department of Electronics and IT Media Engineering, Seoul National University of Science and Technology)

232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 139-743, Korea

⁺Corresponding author: shlee@seoultech.ac.kr

(Received : Sep. 9, 2014, Accepted : Sep. 25, 2014)

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.

Fig. 1. The VLC systems using the pulses generated from AC 220 V power line.

야 한다. 이러한 구조의 시분할 전송방식에서는 동기펄스를 생성하여 전송하기 위한 장치를 추가로 설치해야 하는 부담이 있다.

본 논문에서는 인접된 VLC채널간의 혼신을 방지하기 위하여 시분할 전송하는 경우에 동기펄스를 공유하기 위하여 별도의 전송장치를 사용하지 않고, 대부분의 시스템에서 전원으로 사용하는 AC 220 V 전력선의 주파수를 이용하여 동기펄스를 생성하고 이를 시분할 전송에 활용하는 방법을 새로이 고안하여 실험하였다. 이 구조에서는 각 채널의 송신부와 수신부에서 AC 220 V 전력선의 60 Hz주파수를 이용하여 각자 동기펄스를 생성하여 사용하므로, 동기펄스를 따로 송신하거나 수신하기 위한 통신설비가 필요하지 않다.

기존의 VLC 송·수신시스템에서 전력을 공급하기 위하여 사용하는 AC어답터 또는 전원회로에 간단한 구조의 동기펄스 발생회로만 부가하여 사용하면 220 V전원을 사용하는 모든 시스템에서 동기펄스를 공유할 수 있기 때문에 이 구조를 사용하면 시분할 전송을 위한 동기펄스 공급 문제가 간단히 해결되는 이점이 있다. 이 구조는 실내에서 서로 인접하여 설치된 다수의 LED조명 광원을 사용하여 여러 개의 센서 데이터를 독립적으로 전송하기 위한 다중 채널의 가시광 무선 데이터 네트워크를 구축하는 데에 많이 활용될 수 있다.

2. 전력선 동기펄스를 이용한 시분할 VLC 구조

전력선으로부터 동기신호를 생성하여 여러 개의 VLC 채널을 시분할 전송하기 위한 실험구조는 Fig. 1 과 같다.

각각의 VLC 송신부와 수신부에서는 모두 동일한 구조의 펄스 발생기(pulse generator; PG)를 부착하여 사용하며, 이 펄스발생기는 220 V의 전력선과 연결된다. 펄스발생기는 동기펄스를 생성하는 회로와 DC전압을 생성하는 회로로 이루어져 있다. 동기펄스 발생회로에서는 220 V의 AC 전압을 전파정류(full wave rectification)한 후 구형파를 생성하고, 이 구형파 전압의 하강에지(falling edge)를 사용하여 동기펄스를 생성한다. DC전압 발생회로는 기존의 AC어답터와 같이 정류회로를 통하여 DC전압을 생성한다.

각각의 송신부와 수신부에서는 펄스발생기에서 생성된 동기펄스를 기준으로 하여 각 채널에 고유하게 할당된 time slot 동안 데

Fig. 2. A synchronizing pulse generator.

Fig. 3. Waveforms observed in a pulse generator; (a) Full wave rectified AC voltage, (b) square waveform (120 Hz), and (c) synchronizing pulses (240 Hz).

이터를 송신하고 수신한다. 이와 같은 시분할 전송 구조에서는 각 채널의 LED 신호광이 공간에서 중첩되어도 서로 간에 혼신을 일으키지 않고 각각 독립적으로 안정된 통신이 이루어진다.

3. 시분할 VLC 시스템의 구성

3.1 동기펄스 발생회로

VLC 시분할 전송에 사용하기 위한 동기펄스 발생기의 구조는 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에서 위쪽 점선부분은 동기펄스를 생성하는 부분이고, 그 아래쪽 부분은 DC전력을 생성하는 부분이다. 펄스 생성회로에서는 60 Hz 220 V의 전력선으로부터 트랜스와 다이오드 브리지를 이용하여 약 8 Vpp 120 Hz의 크기를 가지는 전파정류 전압으로 변환한 후, 비교기(comparator)를 통과함으로써 120 Hz의 반복주파수를 가지는 구형파 신호를 발생시킨다. 마이크로프로세서에서는 이 구형파 신호의 하강에지를 기준으로 하여 구형파와 반복주파수의 2배인 240 Hz의 동기펄스를 생성한다. 오실로스코프를 사용하여 관측한 전압파형은 Fig. 3과 같다.

Fig. 3(a)는 펄스발생회로 내부에 있는 다이오드브리지의 출력 전압으로서 전력선의 AC전압을 전파 정류한 상태이며, Fig. 2의 측정점1(TP1)에서 관측한 파형이다. 이 신호는 AC전원주파

Fig. 4. A Visible light transmitter.

수 60 Hz의 2배에 해당하는 120 Hz의 반복주파수를 가진다. Fig. 3(b)는 비교기를 통과한 후에 발생한 구형파 전압으로서 Fig. 2의 측정점2(TP2)에서 관측한 파형이며, 120 Hz의 반복주파수를 가진다.

Fig. 3(c)는 마이크로프로세서를 사용하여 구형파 신호의 하강에지를 기준하여 한 주기당 2개의 펄스가 동일 간격으로 발생한 상태로서 Fig. 2의 측정점3(TP3)에서 관측한 파형이다. 이 펄스의 반복주파수는 240 Hz, 주기는 4.16 ms, 펄스폭은 20 μ s가 되도록 하였다. VLC 시스템의 각 송신부와 수신부에서는 이 펄스를 기준하여 정해진 시간에 데이터를 송신하고 수신한다. 펄스발생기의 제작에 사용한 다이오드는 1N4004, Comparator는 연산증폭기 LM2904, 마이크로프로세서는 Atmel사의 Atmega8을 사용하였다.

3.2 VLC 송신회로

전력주파수로부터 생성된 동기펄스를 이용하여 시분할 전송하기 위한 VLC 송신부의 구조는 Fig. 4와 같다.

송신부에 설치된 마이크로프로세서의 인터럽트 단자에 동기펄스가 들어오면 마이크로프로세서에서는 9.6 kbps의 비트율(bit rate)을 가진 송신 데이터를 읽어 들여 이를 3배의 비트율인 28.8 kbps의 데이터로 변환한다. 여기에서 9.6 kbps는 컴퓨터의 UART 단자의 기본(default)비트율이며, 전송과정에서 이와 같이 전송비트율을 높이는 이유는 여러 채널의 데이터를 시분할 전송할 때 채널당 점유시간을 가능한 한 줄여서 동기펄스의 1주기 내에 전송과 복구를 완료하기 위함이다. 실험에서는 전송비트율을 높이기 위하여 마이크로프로세서에서 데이터의 read 속도를 write 속도의 3배로 높여서 구현하였다.

마이크로프로세서에서 출력된 ASCII 부호형태의 전압에 따라 analog switch에서는 120 kHz 발진기의 출력전압을 on/off 하여 ASK(amplitude shift keying)변조하였다. ASK변조된 신호를 FET의 gate에 인가하여 FET source에 연결된 LED의 전류를 변화시킴으로써 신호광을 변조하였다. 이와 같이 LED를 ASK변조하면 조명과 통신을 겸하는 VLC 광원에서 데이터의 전송과 정 중 흔히 발생하는 깜박거림(flickering)현상을 방지한다.

Fig. 5. Waveforms observed in a VLC transmitter; (a) Synchronizing pulses, (b) transmitted data (9.6 kbps), (c) transmitted data (28.8 kbps), and (d) ASK waveform.

VLC 송신부의 동작을 확인하기 위하여 오실로스코프를 사용하여 전압파형을 관측하였다. Fig. 5는 VLC 송신부의 관측파형이다.

Fig. 5(a)는 전력선으로부터 생성된 동기펄스로서 Fig. 4의 측정점1(TP1)에서 관측한 파형이다. 이 펄스의 주기는 4.16 ms이고, 펄스폭이 20 μ s이며, 앞의 Fig. 3(c)와 동일한 파형이다. 이 동기펄스가 마이크로프로세서의 인터럽트 단자에 가해질 때 펄스의 Falling edge 지점에서 입력포트를 통하여 송신데이터를 읽어 들인다.

Fig. 5(b)는 송신할 데이터로서 Fig. 4의 측정점2 (TP2)에서 관측한 파형이다. 실험에서는 편의상 한 개의 문자 “F”를 동기펄스마다 반복하여 전송하였으며, 전송 비트율은 컴퓨터 UART 단자의 기본속도인 9.6 kbps를 사용하였다. 문자 “F”의 ASCII code는 01000110이며, 이것을 UART 방식으로 전송할 때는 LSB로부터 MSB 순서로 전송되고, “0”은 “H(high)”, “1”은 “L(low)” 상태의 전압을 가진다. 이와 같이 디지털전압을 배열하면 HLLHHHLH가 되며, 맨 앞에 문자의 시작을 알리는 start bit “0” (High)를 1개를 추가하면 Fig. 5(b)와 같이 HHLLHHHLH 순서로 전송된다. 이것은 UART에서 1byte데이터를 9bit단위로 전송할 때의 규칙에 해당한다.

Fig. 5(c)는 입력된 데이터를 9.6 kbps의 3배의 속도인 28.8 kbps의 비트율로 변환된 후의 전압파형으로서 Fig. 4의 측정점3(TP3)에서 관측한 파형이다. Fig. 5(b)와 (c)를 비교할 때, 파형 (b)의 9.6 kbps에서는 9개의 비트 (1byte+1bit)가 차지하는 시간이 $1/(9.6 \times 10^3) \times 9 = 937.5$ (us)인 반면, 파형(c)에서는 $1/(28.8 \times 10^3) \times 9 = 312.5$ (us)로 감소하였다.

Fig. 5(d)는 Fig. 5(c)의 디지털 전압을 사용하여 120 kHz 발진기의 출력을 ASK변조한 후의 상태이며, Fig. 4의 측정점4(TP4)에서 관측한 파형이다. 데이터의 “High” 상태에서는 120 kHz의 정현파 신호가 존재하며, “Low” 상태에서는 전압이 없는 상태를 유지하였다. 이 신호가 FET의 gate에 인가되어 FET의 source에 연결된 LED-array에 전류를 공급함으로써 ASK신호광을 생성하여 자유공간으로 방사하였다.

VLC 송신부에 사용한 마이크로프로세서는 Atmel사의 Atmega8,

Fig. 6. A Visible light receiver.

Fig. 7. Waveforms observed in a VLC receiver; (a) Synchronizing pulses, (b) ASK waveforms detected in a photodiode, (c) Recovered data (28.8 kbps), and (d) recovered data (9.6 kbps).

Analog switch는 Analog devices 사의 ADG417, FET는 International rectifier 사의 IRF540을 사용하였다. 광원으로는 1 W의 백색광(400~800 nm)을 출력하는 HELIO Opto-electronics 사의 HMHP-E1LW LED 6개를 PCB 상에 2×3배열로 만들어 LED-array를 구성하였으며, 이를 각 VLC 송신부의 광원으로 사용하였다.

3.3 VLC 수신회로

전력선주파수의 동기펄스를 이용하여 ASK 신호광을 복조하기 위한 수신부의 구조는 Fig. 6과 같다.

수신부의 포토다이오드(PD)에서는 ASK변조된 신호광을 검출하고, 마이크로프로세서와 ASK 복조기에서는 원신호를 복구한다. 전력선 펄스발생기로부터 동기펄스가 인터럽트 단자에 들어오면 마이크로프로세서에서는 analog switch에 enable 신호를 인가하여 정해진 time slot 기간 동안 포토다이오드의 전압을 읽어 들인다. Fig. 6에서 점선부분은 ASK복조기를 나타내며 필터와 envelope detector, 그리고 comparator로 구성되어 있다. 포토다이오드의 전압이 ASK 복조기를 통과하면서 28.8 kbps의 비트율을 가진 디지털 부호가 되며, 이 데이터는 마이크로프로세서의 입력단자에 전달된다. 마이크로프로세서에서는 28.8 kbps의 데이터를 9.6 kbps의 데이터로 다시 변환하여 송신부에서 보

낸 원신호를 복구한다. 오실로스코프를 사용하여 VLC 수신부에서 관측한 전압파형은 Fig. 7과 같다.

Fig. 7(a)는 전력선을 이용한 동기펄스로서 Fig. 6의 측정점 1(TP1)에서 관측한 파형이며, 송신부에서 사용한 동기펄스와 동일하다. 동기펄스가 마이크로프로세서의 인터럽트 단자에 가해지면 마이크로프로세서는 해당 채널의 time slot에서 analog switch에 enable 신호를 발생하여 데이터를 수신한다. 수신부에서 데이터를 받아들이는 time slot은 채널 별로 정할 수 있으며, 이 수신부의 경우에는 동기펄스의 falling edge로부터 1~1.5 ms 사이의 구간으로 정하였다. Analog switch는 평소에 off 상태를 유지하다가 enable 신호가 존재하는 구간에서 on 상태를 유지하였다.

Fig. 7(b)는 포토다이오드에서 검출된 ASK신호가 analog switch를 통과한 후 나타난 전압으로서 Fig. 6의 측정점 2(TP2)에서 관측된 파형이다. 이 신호는 송신부에서 120 kHz의 캐리어를 사용하여 28.8 kbps의 비트율로 ASK변조된 파형이다. Fig. 7(c)는 수신신호가 ASK 복조 기를 통과한 후의 상태로서 Fig. 6의 측정점 3(TP3)에서 관측된 파형이며, 28.8 kbps의 비트율을 가지는 문자 “F”의 디지털 파형이다.

Fig. 7(d)는 마이크로프로세서를 통과하면서 9.6 kbps의 비트율로 바뀐 상태이며, Fig. 6의 측정점 4(TP4)에서 관측된 파형이다. 이 신호는 송신부에서 보낸 데이터로서 앞의 Fig. 5(b)와 동일한 형태를 가지고 있다. VLC의 각 채널에서는 이와 같은 과정을 통하여 송신부에서 전송된 데이터가 수신부에서 복구된다.

VLC 수신부 제작에 사용한 포토다이오드는 Hamamatsu 사의 PIN 포토다이오드 S6968, analog switch는 Analog devices 사의 ADG417, 마이크로프로세서는 Atmel사의 Atmega8을 사용하였다. 필터는 ASK 캐리어 주파수인 120 kHz를 잘 수신하도록 1 kΩ저항과 1.5 nF 캐피시터를 사용하여 제작한 RC고역통과필터이며, 하한주파수가 약 100 kHz 이었다. Envelope detector는 PN다이오드 1N4148과 0.1 uF의 캐피시터를 사용하여 제작하였으며, 증폭기와 비교기로는 연산증폭기 OPA228을 사용하였다.

4. 시분할 VLC 전송 실험

4.1 시분할 데이터의 구성

전력선 주파수로부터 생성된 동기펄스를 이용하여 3개의 VLC 채널을 시분할 전송하는 경우에 동기펄스와 채널 별 전송데이터와의 관계를 도식적으로 나타내면 Fig. 8과 같다.

Fig. 8(a)는 동기펄스를 나타내며 주기를 T_0 로 표기하였다. Fig. 8(b)는 채널1, 채널2, 채널3의 데이터를 나타내며, 각 채널의 1byte의 데이터가 차지하는 시간은 모두 동일하게 T_1 이다. Fig. 8(c)는 3개의 채널을 시분할 전송하기 위하여 비트율을 높인 상태이며, 채널1, 채널2, 채널3 순서로 시간을 나누어 전송한다. 시분할 상태에서 1개의 채널 데이터가 차지하는 시간은 T_{ch} , 채

Fig. 8. Timing diagram.

널간 간격은 T_g 이며, 3개의 채널을 전송하는 데에 소요되는 시간은 T_m 으로 표기하였다. Fig. 8(d)는 3개의 채널 데이터가 각각 ASK변조된 상태이며, Fig. 8(e)는 각각의 수신부에서 데이터가 복구된 상태를 나타낸다.

매 동기펄스마다 3개 채널에서 1 byte씩 전송하는 데에 소요되는 총 시간 T_{total} 은 동기펄스 한 주기 T_0 보다 작아야 하며, 이들의 관계를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{total} = T_1 + T_m + T_2 < T_0 \quad (1)$$

여기에서 T_1 은 각 채널의 송신부에서 9.6 kbps의 1 byte 데이터가 차지하는 시간이며, T_m 은 3개 채널의 데이터가 시분할 전송되는 구간에서 소요되는 시간이다. T_2 는 수신부에서 복구된 데이터 1byte의 데이터가 차지하는 시간이며, T_0 는 동기펄스의 한 주기를 나타낸다. Fig. 8(c)에서와 같이 3개 채널을 시분할하여 전송하는 시간 (T_m)은

$$T_m = 3T_{ch} + 2T_g \quad (2)$$

이다. 여기에서 T_{ch} 는 시분할 전송 채널 1개가 차지하는 시간이며, T_g 는 채널간 간격(guard time)이다. 편의상 $T_g = 1/2T_{ch}$ 로 설정하면,

$$T_m = 3T_{ch} + 2 \times (1/2)T_{ch} = 4T_{ch} \quad (3)$$

가 된다. 송신부와 수신부에서 데이터 비트율이 동일하게 9.6 kbps인 경우, 1 byte의 데이터(8 bit+1 start bit)가 차지하는 시간은

$$T_1 = T_2 = 9 \times \frac{1}{9.6 \times 10^3} = 937.5(\mu s) \quad (4)$$

이다. 전력선으로부터 발생한 동기펄스의 주기(T_0)는

$$T_0 = \frac{1}{2 \times 120} = \frac{1}{240} = 4.16(ms) \quad (5)$$

이다. 식(3), (4), (5)를 식(1)에 대입하여 시분할 전송구간에서 차지하는 시간 (T_m)을 구하면

$$T_m = 4T_{ch} < T_0 - 2T_1 = 4160 - 2 \times 937.5 = 2285(\mu s) \quad (6)$$

이다. 따라서 시분할 전송구간에서 1개의 채널이 1 byte의 데이터를 보내는 데에 차지하는 시간 (T_{ch})는

$$T_{ch} < \frac{2285}{4} = 571.25(\mu s) \quad (7)$$

이다. UART형식으로 전송할 때 1 byte의 데이터는 8개의 데이터 비트와 1개의 start bit로 구성되어 총 9개의 비트가 되므로, 1개의 bit가 차지하는 시간(T_{bit})은

$$T_{bit} = \frac{T_{ch}}{9} < \frac{571.25}{9} = 63.47(\mu s) \quad (8)$$

이다. 따라서 이 시스템에서 3개의 채널을 시분할 전송하기 위하여 필요한 비트율(R)은 1비트 시간의 역수이므로

$$R = \frac{1}{T_{bit}} > \frac{1}{63.74 \times 10^{-6}} \cong 15.8(kbps) \quad (9)$$

이 되어야 한다. UART에서 이 값보다 높은 비트율은 19.2, 28.8, 38.4 kbps ... 등으로 규격화 되어 있으며, 실험에서는 28.8 kbps의 비트율을 사용하여 시분할 전송하였다.

4.2 데이터의 시분할 전송 실험

3개의 VLC 채널을 사용하여 각 채널에서 문자열을 송신할 때, 서로 혼신을 발생하지 않고 전송되는 과정을 확인하였다. 이 때 각 채널의 송신부는 서로 측면방향으로 약 10 cm 정도로 근접하여 공간에서 신호광이 서로 중첩되는 상태를 이루었다. 오실로스코프를 사용하여 각 채널의 송신부에서 관측한 전압파형은 Fig. 9와 같다.

Fig. 9(a)는 동기펄스로서 반복주파수는 240 Hz, 주기는 4.16 ms이었다. Fig. 9(b),(c),(d)는 채널1, 채널2, 채널3가 9.6 kbps 비트율로 매 펄스마다 1 문자씩 10개의 문자 “tVLC-TESTn”, “t12345678n”, “tABCDEFGHn”를 각각 연속하여 보낼 때 관측된 전압파형이다. 여기에서 “t”은 “tab”, “n”은 “line feed” 기호를 나타낸다. 오실로스코프의 화면에서는 채널 별로 앞부분 5개의 문자가 순서대로 보이는 상태이다. 이 파형은 모두 송신부의 측정점 TP2(Fig. 4)에서 관측한 파형이다. 각 채널에서 1 byte가 차지하는 시간은 모두 동일하게 937.5 us이며, 이들은

Fig. 9. Waveforms observed in VLC transmitters; (a) Synchronizing pulses, (b) CH1 data (9.6 kbps), (c) CH2 data (9.6 kbps), (d) CH3 data (9.6 kbps), and (e) ASK-TDM waveforms (28.8 kbps).

Fig. 10. Waveforms observed in VLC receivers; (a) Sync. Pulses, (b) ASK-TDM waveforms (28.8 kbps), (c) recovered CH1 data (9.6 kbps), (d) recovered CH2 data (9.6 kbps), and (e) recovered CH3 data (9.6 kbps).

모두 동기펄스의 falling edge에서 시작된다.

Fig. 9(e)는 채널1, 채널2, 채널3의 데이터가 모두 28.8 kbps비트율로 변환된 후 ASK 변조되어 시분할 전송되는 상태로서, 송신부 근처에 별도의 포토다이오드를 설치하여 검출한 파형이다. 이 상태에서 각 채널이 차지하는 시간은 $T_{ch} = 312.5 \mu s$, 채널간의 Guard time $T_g = 1/2 T_{ch} = 156 \mu s$, 3개 채널의 시분할 전송시간 $T_m = 1.25 ms$ 이었다.

각 채널의 LED로부터 약 1.5 m 떨어진 지점에 채널1, 채널2, 채널3의 VLC 수신부를 설치하고 데이터 수신 및 복구과정을 확인하였다. 오실로스코프를 사용하여 각 채널의 수신부에서 관측한 전압파형은 Fig. 10과 같다.

Fig. 10(a)는 전력선 주파수로부터 생성된 동기펄스로서 송신부에서 사용한 것과 같다. Fig. 10(b)는 ASK변조 파형을 관측하기 위하여 수신부 옆에 별도로 설치된 포토다이오드를 통하여 검출한 신호로서 앞의 Fig. 9(e)와 동일한 형태이며, 채널1, 채널2, 채널3의 데이터가 28.8 kbps의 비트율로 ASK 변조된 신호광이 순서대로 수신부에 입사하고 있음을 볼 수 있다.

각 수신부에서는 동기펄스의 falling edge로부터 채널 1, 채널2, 채널3 순서로 해당 time slot에서 analog switch가 도통하도록 프로그램 하였으며, 해당채널의 ASK신호가 수신 완료된 시점

Fig. 11. Characters displayed on monitor screens; (a) Channel-1, (b) Channel-2, and (c) Channel-3.

Fig. 12. The circuits used in experiments; (a) Pulse generator, (b) ASK modulator, (c) LED driver, (d) receiver, and (e) microprocessor module.

에서 곧바로 ASK복조과정과 데이터율의 변환과정이 진행되도록 구성하였다.

Fig. 10(c), (d), (e)는 각각 채널1, 채널2, 채널3에서 최종 복구된 데이터 파형으로서 이들은 모두 9.6 kbps의 데이터율을 가지는 신호이다. 3개의 채널 중에서 맨 나중에 수신되는 것은 채널3이며, 다음 차례의 동기펄스가 발생 하기 전에 채널3까지의 데이터가 모두 복구되어, 동기 펄스의 1주기 내에서 각 채널의 데이터가 모두 정상적으로 시분할 전송 완료 되었다. Fig. 11은 각 채널에서 수신된 문자열을 PC모니터를 통하여 관찰한 화면이다.

채널1에서는 “VLC-TEST”, 채널2에서는 “12345678”, 채널3에서는 “ABCDEFGH”의 문자열이 송신부에서 보낸 상태로 모니터 화면에 잘 표기되었다. 송신부에서 보낸 문자열 중에서 “t”(tab)과 “n”(line feed)는 모니터 화면상에 문자의 위치를 조절하기 위하여 사용된 특수문자 이므로 화면에는 나타나지 않는다. 이와 같이 전력선 주파수로부터 생성된 동기펄스를 이용하여 시분할 전송한 결과 VLC채널간 혼신을 전혀 일으키지 않고 각각의 데이터가 잘 수신되었다. Fig. 12는 실험에 사용한 회로의 외관을 나타낸다.

Fig. 12(a)는 전력선 주파수를 이용한 펄스발생회로로서 AC 220 V 전력선에 연결되어 각 VLC 시스템의 송신부와 수신부에 동기펄스와 DC 전력을 공급하였다. Fig. 12(b)는 VLC 송신부에 사용한 ASK변조회로이며, Fig. 12(c)는 LED의 구동회로

를 나타낸다. Fig. 12(d)는 VLC 수신부로서 포토다이오드와 ASK복조기로 이루어져있다. Fig. 12(e)는 마이크로프로세서 모듈로서 각 송신부와 수신부 그리고 펄스발생회로에 한 개씩 부착하여 사용하였다. 이들 회로는 모두 5×12 cm의 PCB 기판에 동일한 크기로 제작하여 사용하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 동일한 공간에서 여러 개의 VLC채널을 동시에 전송하는 경우, 신호광의 중첩에 의한 혼신을 방지하기 위하여 전력선의 AC주파수를 이용하여 동기펄스를 생성하고 이를 시분할 전송에 활용하는 방법을 새로이 제시하고 실험하였다. AC 220 V전력선으로부터 동기신호를 얻기 위한 동기펄스 발생 회로, 시분할 전송에 필요한 VLC 송신부와 수신부의 구성에 대하여 차례로 소개하고, 실험을 통하여 시분할 전송과정의 전압 파형을 관측하였다. 실험에서는 3개의 VLC 채널을 ASK변조한 후 시분할 전송하였으며, 동일공간에서 VLC 신호광이 서로 중첩되어도 채널간 혼신을 일으키지 않고 정상적으로 송·수신이 이루어짐을 확인하였다.

일반적으로 VLC 시스템의 전원은 AC어답터 또는 전원모듈을 220 V전력선에 연결하여 사용하는 경우가 많으므로, 기존의 DC 공급전원 회로에 이와 같은 동기펄스 발생회로를 간단히 추가하면 시분할 전송방식으로 여러 채널을 혼신 없이 전송할 수 있다. 여러 종류의 센서로부터 발생한 데이터를 다중 전송하기 위한 VLC 무선 네트워크를 신설하거나 확장하는 경우에 이러한 구조를 사용하면 매우 편리하다.

감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] A. M. Street, P. N. Stavrinou, D. C. O'Brien, and D. J. Edwards, "Indoor optical wireless systems-a review", *Opt. Quantum Electron.*, Vol. 29, pp. 349-378, 1997.
- [2] J. M. Kahn and J. R. Barry, "Wireless infrared communications", *Proc. IEEE*, Vol.85, No.2, pp. 265-298, 1997.
- [3] S. H. Lee, "Reducing the effects of ambient noise light in an indoor optical wireless system using polarizers", *Micro. Opt. Techn. Lett.*, Vol. 40, No. 3, pp. 228-231, 2004.
- [4] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 50, No. 1, pp. 100-107, 2004.
- [5] F. Delgado, I. Quintana, J. Rufo, J. A. Rabadan, C. Quintana, and R. Perez-Jimenez, "Design and implementation of an ethernet-VLC interface for broadcast transmissions", *IEEE Commun. Lett.*, Vol. 14, No. 12, pp. 1089-1091, 2010.
- [6] S. H. Lee, "Synchronous visible light communication systems using 3-level LED modulation", *J. Sensor Sci. & Tech.*, Vol. 22, No. 6, pp. 421-427, 2013.
- [7] J. C. Palais, *Fiber Optic Communications*, Pearson Prentice Hall, New Jersey, p.183, 2005.