



비 계층적 클러스터링 알고리즘 기반 저조도 상태 가시광 통신 시스템

황호연*, 이원창**, 강근택***

Visible Light Communication System under Low Light Condition Based on Non-hierarchical Clustering Algorithm

Hoyeon Hwang*, Won Chang Lee**, and Geuntaek Kang***

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2017년)에 의하여 연구되었음.

요 약

본 논문에서는 비 계층적 클러스터링 알고리즘을 기반으로 한 저조도 상태의 가시광 통신 변복조 기법을 제안한다. 변조 기법으로는 PAM(Pulse Amplitude Modulation)과 PPM(Pulse Position Modulation)이 결합된 PAM&PPM 기법을 사용하였으며, 이에 따라 하나의 신호에 n개의 비트를 전송할 수 있게 된다. 수신부는 비 계층적 알고리즘 중 하나인 k-means clustering 알고리즘을 이용하여 수신된 신호를 복조한다. 시스템은 Cortex-M4를 기반으로 단일입출력을 가정하여 구현되었으며, 송신기는 제안된 변조 방식을 통해 하나의 신호에 2 비트를 보낼 수 있다. 변조된 신호는 송신기의 LED를 통해 가시광 통신으로 전달된다. 수신부의 포토다이오드에 수신된 신호는 마이크로프로세서에서 복조된다. 실험을 통해서 송신기를 통해 보낸 신호와 복조된 신호를 비교하여 분석한 결과 디밍률이 1%인 상태에서 0.016%의 비트 오차율을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we propose a modulation/demodulation scheme of visible light communication(VLC) based on a non-hierarchical clustering algorithm under a low light condition. The modulation scheme is PAM&PPM scheme which combines pulse amplitude modulation(PAM) with pulse positions modulation(PPM), so we can transmit n-bits in a single signal. The receiver demodulates the received signal based on a k-means clustering algorithm which is one of the non-hierarchical clustering algorithms. The system is implemented assuming single-input single-output and the transmitter can transmit 2 bits of data in one signal using the proposed scheme, The modulated signal is transmitted through the LED of the transmitter. The signal received by the receiver's photodiode is demodulated by the microprocessor. In the experiment, the data of the demodulated signal were compared with the data of the transmission signal to confirm the bit error rate of about 0.016%. under the dimming rate of 1%.

Keywords

visible light communication, PAM, PPM, machine learning, k-means clustering

* 부경대학교 전자공학과
 - ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1130-1100>
 ** 부경대학교 전자공학과 교수
 - ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1927-360X>
 *** 부경대학교 전자공학과 교수(교신저자)
 - ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7767-1214>

· Received: May 28, 2018, Revised: Jun. 20, 2018, Accepted: Jun. 23, 2018
 · Corresponding Author: Geuntaek Kang
 Dept. of Electronic Engineering, Pukyong National University,
 45 Yongso-ro, Namgu, Busan, 48513, Korea
 Tel.: +82-51-629-6219, Email: gkang@pknu.ac.kr

I. 서 론

가시광 통신은 LED 조명을 사람의 눈으로 인지할 수 없을 정도의 빠르기로 점등시켜 발생하는 신호를 이용하여 송신기와 수신기 사이에서 통신이 가능하게 한다[1]. 가시광 통신은 380nm~780nm의 가시광영역의 파장을 이용한 단거리 무선 통신이므로, 조명이 갖추어진 환경에서 통신을 위한 추가적인 망구축이 필요 없으며, 빛이 조사되는 영역에서만 통신이 가능하다는 특징으로 인해 높은 보안성을 가진다. 또한 높은 주파수 영역을 사용하는 통신이기 때문에 망간섭이 없으며, 이러한 특징으로 비행기 내부, 병원 등 전자파에 민감한 환경에서의 통신망으로 사용하고자 하는 관심이 집중되고 있다.

가시광 통신에 대한 연구가 진행되면서 조명의 기능을 충족하기 위한 변조 기법으로 VPPM (Variable Pulse Position Modulation) 알고리즘이 제안되었다[2]. VPPM 신호는 2-PPM(2-Pulse Position Modulation)과 PWM(Pulse Width Modulation)이 복합된 형태로 송신 데이터의 값에 상관없이 신호의 폭을 가변할 수 있다[3]. 그러나 VPPM 변조 기법은 하나의 신호에 1개의 비트만 담을 수 있다는 단점이 있다. 조명이 사용되지 않는 환경에서는 사람이 인지할 수 없을 만큼 짧은 펄스폭의 캐리어를 사용해야 하는데, 전력 소모를 줄이면서 효율적으로 통신하기 위해서는 하나의 캐리어에 다수의 비트를 담아서 보낼 수 있어야 한다.

본 논문에서는 PAM(Pulse Amplitude Modulation)과 PPM(Pulse Position Modulation)을 결합한 변조방식을 사용하여 하나의 캐리어에 다수의 비트를 담아 전송할 수 있도록 하였다. 이 때, 수신되는 신호는 조명의 환경과 송수신기의 특성에 따라 노이즈가 존재한다[4]. 변조를 할 때, 노이즈에 대한 한계를 극복하기 위해 비 계층적 머신러닝 알고리즘 중 하나인 k-means 클러스터링 알고리즘을 이용하여 신호를 복조한다. 머신러닝 알고리즘은 인공지능 연구 분야 중 하나로 영상 인식에서 주로 사용되었지만, 최근 자동 음성 인식, 자연어 처리, 의료 등의 다양한 분야에서 적용되고 있는 기술이다[5]-[8].

본 논문에서 제안하는 가시광 통신 시스템은

32bit 마이크로프로세서를 이용하여 구현하였으며, 실험을 통해 시스템의 성능을 확인하였다.

II. 저조도 가시광 통신 시스템

2.1 시스템 구성

그림 1은 본 논문에서 제안하는 가시광 통신 시스템이다. 단일입출력을 가정하여 하나의 송신 모듈과 수신 모듈로 구성되어 있으며, 송신 모듈과 수신 모듈의 실제 모습은 그림 2에서 확인할 수 있다.

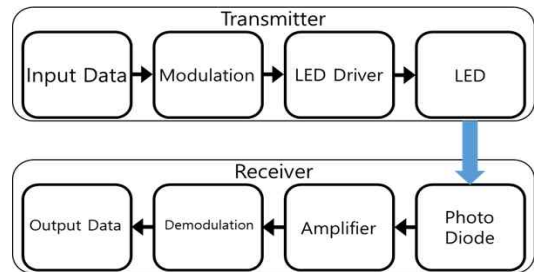


그림 1. 시스템 구성도
Fig. 1. System diagram

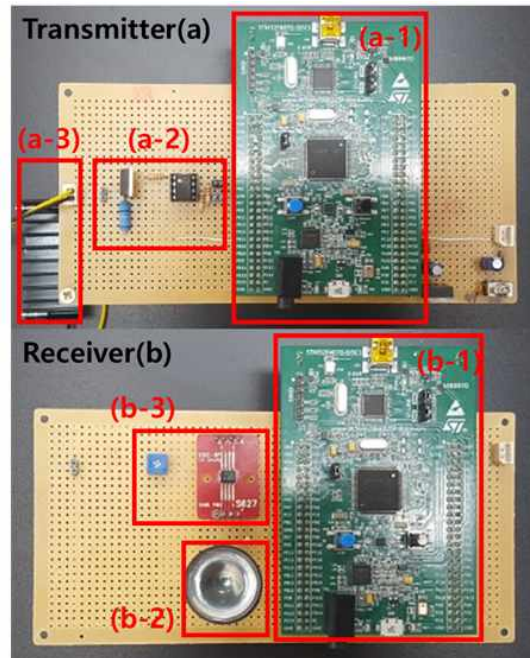


그림 2. 송신기(상)와 수신기(하)
Fig. 2. Transmitter(up) and receiver(down)

송신 모듈의 하드웨어는 마이크로컨트롤러 (STM32 F407VGT, ST 社), LED 드라이버(V-I converter circuit), LED(P4 STAR U2 White, Seoul Semiconductor 社)로 구성된다. 마이크로컨트롤러는 32bit 프로세서로 최대 168MHz의 클럭 속도로 동작하며 다양한 페리페럴을 지원한다. LED는 백색 광원으로 최대 3W의 전력을 소비한다. 송신 모듈로 전송할 데이터는 마이크로컨트롤러의 변조부를 거쳐 LED 드라이버로 출력된다. LED 드라이버의 기본 구조는 V-I converter로, 입력된 전압을 전류로 바꾸어 LED에 인가한다. 송신 모듈의 구성은 그림 2 상단에서 확인할 수 있으며, 마이크로컨트롤러, LED 드라이버, LED는 각각 (a-1), (a-2), (a-3)로 확인할 수 있다.

수신 모듈의 구성은 그림 2 하단에서 확인할 수 있으며, 마이크로컨트롤러(b-1), 포토다이오드(b-2), 증폭기(b-3)로 이루어져 있다. 마이크로컨트롤러는 송신 모듈과 동일하며, 포토다이오드는 centronic 社의 OSD15-E를 사용하였다. 사용된 포토다이오드는 상승시간 12ns, 응답도 22nA/Lux의 성능을 가진다. 포토다이오드로 수신된 신호는 증폭기의 V-I 컨버터를 거쳐 TTL 레벨로 변환된다. 변환된 신호는 마이크로컨트롤러에서 복조를 거쳐 유효한 데이터로 변환된다.

2.2 변조 기법

본 논문에서 제안하는 변조 기법은 그림 3에서 확인할 수 있다. 펄스의 진폭으로 데이터를 변조하는 PAM(Pulse Amplitude Modulation) 기법과 펄스의 위치로 변조하는 PPM(Pulse Position Modulation) 기법이 결합된 PAM&PPM 기법을 사용하여 하나의 신호에 여러 개의 비트를 보낼 수 있도록 한다. 신호가 M 개의 진폭과 N 개의 펄스 위치를 가질 경우 하나의 신호로 보낼 수 있는 비트의 수는 $\log_2(MN)$ 개가 된다. 본 논문에서는 2개의 진폭과 2개의 펄스 위치를 사용하여 하나의 신호에 2bit를 전송할 수 있도록 구현하였다.

변조된 신호는 그림 4와 같은 구조로 구성되어 전송된다. 전송되는 신호는 스타트 신호와 스톱 신호

호로 구성된 오버헤드 비트(Overhead Bit)가 있어 수신 모듈에서 수신 신호의 동기를 쉽게 맞출 수 있도록 한다. 오버헤드 비트는 데이터 신호와 구분할 수 있게 정의하며, 그림 4 하단의 사진과 동일한 펄스 신호를 생성한다. 오버헤드 비트로 동기를 맞추는 수신 모듈은 데이터 신호의 진폭과 펄스의 위치에 따라 데이터를 판별하게 된다.

2.3 복조 기법

복조에 사용된 알고리즘은 k-means 클러스터링 알고리즘이다. k-means 클러스터링 알고리즘은 입력된 데이터를 사용자가 사전에 정의한 중심점의 개수를 토대로 분류하는 알고리즘으로, 비 감독학습 머신러닝 알고리즘 중 비 계층적 방법의 대표적인 알고리즘이다[9]. k 개의 중심점은 각 중심점으로 분류된 데이터의 평균값을 기반으로 갱신된다. 알고리즘은 최적의 상태가 될 때까지 반복하게 된다.

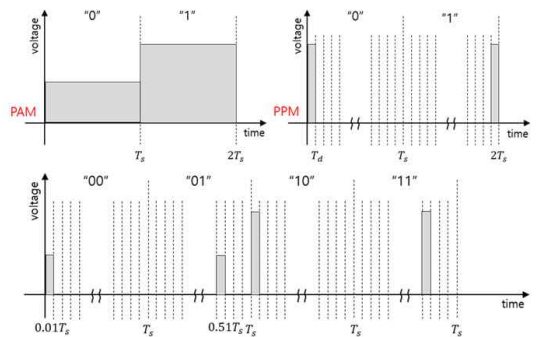


그림 3. PAM&PPM 기법
Fig. 3. PAM&PPM scheme

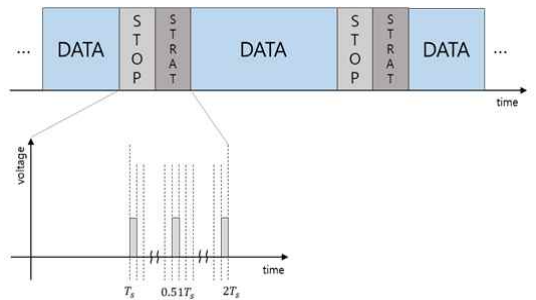


그림 4. 송신 신호의 구조
Fig. 4. Structure of transmission signal

반복 횟수는 목적 함수에 의해 결정되며, 이 때 사용되는 목적함수는 아래의 식 (1)과 동일하다. N 은 데이터의 개수, M 은 클러스터 중심점의 개수를 의미하고, x_n 은 n 번째 데이터, μ_k 는 k 번째 클러스터 중심점을 나타낸다. r_{nk} 의 값은 식 (2)에서 확인할 수 있으며, n 번째 데이터와의 거리가 최소가 되는 중심점이 μ_k 일 경우에 1, 그렇지 않은 경우 0 이 된다.

$$J = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M r_{nk} \|x_n - \mu_k\|^2 \quad (1)$$

$$r_{nk} = \begin{cases} 1 & \text{if } k = \operatorname{argmin}_j \|x_n - \mu_j\|^2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

k-means 클러스터링 알고리즘은 기본적으로 목적 함수가 최소가 되는 시점까지 반복 수행하여 중심점을 갱신하며, 이 때 목적함수의 최솟값을 찾기 위해 목적함수의 미분값이 0이 되는 지점을 찾는다. 식 (3)은 목적함수의 미분값을 나타낸다. 마지막으로 식 (4)는 클러스터 중심점인 μ_k 는 k 번째 클러스터에 속하는 데이터 집합의 평균값을 나타낸다.

$$2 \sum_{n=1}^N r_{nk} (x_n - \mu_k) = 0 \quad (3)$$

$$\mu_k = \frac{\sum_n r_{nk} x_n}{\sum_n r_{nk}} \quad (4)$$

k-means 클러스터링 알고리즘의 순서도는 그림 5에서 확인할 수 있다. 알고리즘은 클러스터의 개수를 입력받은 뒤, 중심점을 찾는 과정을 진행한다. 초기에 입력된 중심점을 토대로 분류할 데이터와 각 중심점 사이의 거리를 측정한다. 가장 가까운 클러스터 중심점으로 데이터를 분류하고, 데이터가 다른 그룹으로 이동되었는지 판별한다. 만약 다른 그룹으로 이동된 데이터가 존재할 경우 알고리즘을 다시 반복하며, 이동이 없을 때 클러스터링 알고리즘을 종료한다.

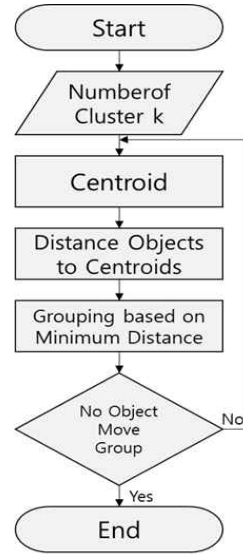


그림 5. k-means 클러스터링 알고리즘
Fig. 5. k-means clustering algorithm



그림 6. 실험환경
Fig. 6. Experiment environment

III. 실험 및 결과

구현된 시스템의 송수신 성능을 확인하기 위해 그림 6과 동일한 테스트 환경을 구성하여 실험을 진행하였다. 테스트 환경은 가로, 세로, 높이가 510mm×510mm×450mm인 직육면체로 상단과 하단에 각각 송신 모듈과 수신 모듈에 배치되어 있다. 송신 모듈은 입력 받은 데이터를 토대로 신호를 변조한 후 LED 드라이버를 통해 LED를 점등하여 신호를 보낸다. 수신 모듈은 송신 모듈에서 조사된 빛

을 포토다이오드를 통해 수신하고, 증폭기를 거쳐 그림 2의 (b-1)에서 복조를 한다. 복조된 신호를 통해 사용자는 데이터를 확인할 수 있다.

수신된 신호는 k-means 클러스터링 알고리즘에 의해 그림 7과 동일하게 분류된다. 가로축과 세로축은 각각 펄스의 위치와 진폭을 의미하며, 정규화를 거친 데이터를 그래프로 나타내었다. 하나의 신호는 총 2bits를 담고 있으며, 이에 따라 신호는 "00", "01", "10", "11"로 분류할 수 있다.

그림 8은 실험을 통해 오실로스코프로 확인된 송신 신호와 수신 신호의 파형이다. 그림 상단의 파형은 송신 신호를 나타낸 것이고, 하단의 파형은 수신 신호를 나타낸 것이다. 송신 신호의 파형은 LED로 인가되는 전압을 나타낸 그래프이고, 수신 신호는 포토다이오드와 증폭기를 거친 전압 신호를 나타낸 그래프이다.

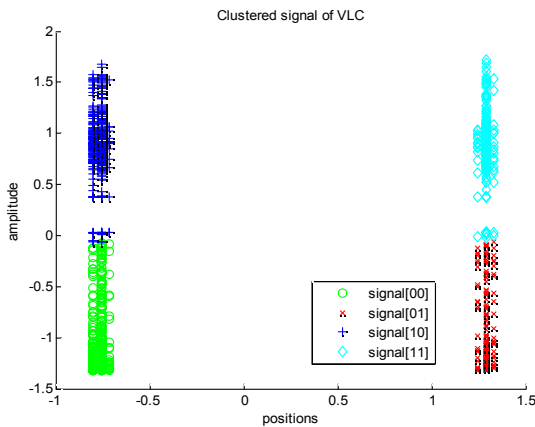


그림 7. k-means 알고리즘으로 분류된 데이터
Fig. 7. Clustered data set using k-means algorithm

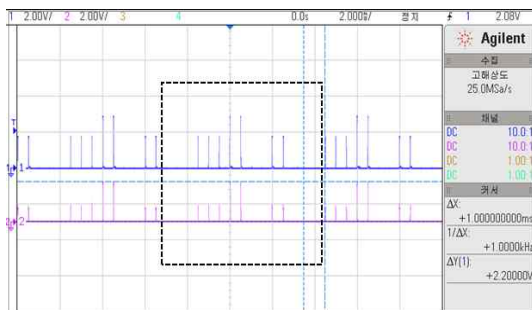


그림 8. 송신 신호와 수신 신호의 파형
Fig. 8. Waveform of transmission signal and receive signal

오실로스코프의 측정 단위는 가로축 2.000ms/div, 세로축 2.00V/div이며, 그림을 통해 오버헤드 비트와 데이터가 함께 전송됨을 확인할 수 있다. 송신 데이터는 11100100₍₂₎이며, 1ms의 신호 주기로 약 2kbps의 전송속도를 확인할 수 있다. 신호 펄스폭은 10us로 약 1%의 디밍률을 가지고 있다.

표 1. 기법에 따른 데이터 전송률 및 디밍률 데이터
Table 1. Data of data rate and dimming rate according to schemes

Modulation	Data rate(bps)	Dimming rate(%)
VPPM	1kbps	1%
PAM&PPM	1.968kbps	0.85%

표 1은 동일한 환경에서 비교한 VPPM과 제안된 PAM&PPM 기법의 전송률을 비교한 값을 나타낸 것이다. 동일한 신호주기 T_s 를 정의하였을 때, VPPM 기법은 약 1%의 디밍률로 1kbps의 전송속도를 가지며, 제안된 PAM&PPM 기법은 VPPM과 비슷한 디밍률을 가지면서 약 2배의 데이터 전송속도를 가진다.

IV. 결 론

본 논문에서 우리는 저조도 조건을 고려한 가시광 통신 시스템인 PAM&PPM 기법을 이용한 변조 방식과 k-means 클러스터링 알고리즘을 기반으로 한 복조방식을 제안하였다. 제안된 방식에 따라 32bit 마이크로프로세서로 시스템을 구현하였으며, 실험을 통해 성능을 확인하였다. 약 1% 디밍률로 하나의 신호에 2비트의 데이터를 2kbps의 전송속도로 송신 신호를 LED를 통해 전송하였으며, 제안된 알고리즘에 따라 복조된 신호의 데이터를 확인하였으며, 수신 데이터는 약 0.016%의 비트 에러율을 보임을 확인하였다. 이를 통해 시스템의 적용 가능성을 확인하였다.

References

[1] Juseong Kim, "Analysis of Recent Trend and Market Forecasting of LED Visible Light

Communications(VLC)", Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, pp. 814-815, Jun. 2012.

[2] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks-Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light, IEEE, NewYork, Sep. 2011.

[3] J. Y. Kim, J. S. Kim, S. H. Park, and W. C. Lee, "Implementation of variable pulse position modulation using a Cortex-M processor for visible light communication", Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean), Vol. 21, No. 1, pp. 76-79, Jan. 2015.

[4] T. Komine, M. Nakagawa, "Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED Lights", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol 50, No. 1, pp. 100-107, Feb. 2004.

[5] K. J. Baik and B. J. Jang, "Hand Gesture Classification Using Multiple Doppler Radar and Machine Learning", Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 28, No. 1, pp. 33-41, Jan. 2017.

[6] J. K. Kim, B. D. Kim, D. W. Yoon, and J. W. Choi, "Deep Neural Network-based Automatic Modulation Classification Technique", Journal of KIIT, Vol. 14, No. 12, pp. 107-115, Dec. 2016.

[7] M. S. An and D. S. Kang, "Development of Image Analysis System Using Object Classifier based on Deep Convolutional Neural Network", Journal of KIIT, Vol. 14, No. 5, pp. 67-73, May 2016.

[8] S. C. Park, M. E. Lee, S. H. Kim, I. S. Na, and Y. J. Chen, "Machine Learning for Medical Image Analysis", Journal of KISS : Software and Applications, Vol. 39, No. 3, pp. 163-174, Mar. 2012.

[9] J. A. Hartigan and M. A. Wong, "A K-Means Clustering Algorithm", Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics), Vol. 28, No. 1, pp. 100-108, 1979.

저자소개

황 호 연 (Hoyeon Hwang)



2017년 : 부경대학교
전자공학과(공학사)
2018년 ~ 현재 : 부경대학교
전자공학과(공학석사)
관심분야 : 제어 시스템, 지능
시스템

이 원 창 (Won Chang Lee)



1983년 : 서울대학교
제어계측공학과(공학사)
1985년 : 한국과학기술원
전기및전자공학과(공학석사)
1992년 : 포항공과대학교
전자전기공학과(공학박사)
1993년 ~ 현재 : 부경대학교

전자공학과 교수
관심분야 : 로보틱스, 임베디드 시스템

강 근 택 (Geuntaek Kang)



1976년 : 서울대학교
응용물리학과(공학사)
1984년 : 일본 동경공업대학
시스템과학(공학석사)
1987년 : 일본 동경공업대학
시스템과학(공학박사)
1987년 ~ 현재 : 부경대학교

전자공학과 교수
관심분야 : 퍼지 및 지능 시스템