

감성조명 기반 컬러 가시광통신 시스템

준회원 여 은 모*, 이 대 천*, 종신회원 김 기 두*, 박 영 일*

A Color Visible Light Communication Based on Emotional Lighting

Eunmo Yeo*, Daechun Lee* *Associate Members*

Ki-Doo Kim*, Youngil Park* *Lifelong Members*

요 약

반도체 LED가 조명 인프라를 바꾸게 되면서 동시에 이를 통신에 이용하고자 하는 많은 연구들이 진행 중에 있다. 지금까지는 주로 한 가지 색상의 LED가 가시광통신에 이용되었다. 그러나 감성조명이 점차 중요해지면서 컬러 LED를 이용한 가시광통신의 필요성이 커지고 있다. 본 논문에서는 R,G,B 3색상의 LED를 이용하여 연속적으로 원하는 색상을 구현하면서 데이터를 전송하는 컬러 가시광통신 시스템을 위한 전송방식을 제안하고 실험 결과를 제시하였다.

Key Words : VLC (Visible Light Communication), LED, R,G,B Color

ABSTRACT

As LED becomes more important in lighting system, LED-based communication draws much attention. Only a single color has been used for this purpose thus far. However, as emotional lighting becomes more important, the need for color visible light communication is growing. In this paper, a transmission scheme for RGB color based communication is proposed that can transmit data while changing color constantly.

I. 서 론

LED는 전류를 가할 때 전자의 에너지 레벨이 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하면서 특정한 파장의 빛을 내는 반도체 소자이다. 1993년 450 nm 이하의 파장을 가진 고휘도 청색 LED가 개발되면서 기존의 적색 및 녹색 LED와 함께 빛의 3원색을 모두 낼 수 있게 되어 완전 컬러의 표현이 가능해지기 시작했다. 이후로 LED를 이용한 완전 컬러 전광판, 교통신호등, 간판, 백라이트유닛 등 다양한 응용제품이 생겨나기 시작했다. 최근에는 LED가 정보기술과 녹색기술 산업으로 각광받으면서 관련 시장이 급속히 확산되고 있다. 더불어 조명기기에서 나오는 색의 온도와 밝기를

사람의 심리상태와 생체리듬에 알맞게 적용시키면서 공간을 변화시킬 수 있는 감성조명기술이 대두되고 있다^[1]. 감성조명기술이 폭 넓은 조명의 색상과 온도를 표현하기 위해서는 R(Red), G(Green), B(Blue) 3가지 색상의 LED가 요구된다.

가시광통신은 LED를 이용하여 조명과 동시에 통신을 할 수 있는 융합 기술이다. 조명용 LED는 통신용 LED와 마찬가지로 전기적인 디지털 신호를 인가함에 따라 데이터 변조가 가능한 소자이다. LED를 50 Hz 이상으로 점멸할 경우 사람 눈에는 인지되지 않기 때문에 통신과 동시에 조명으로도 사용할 수 있다. 또한 가시광통신은 빛을 이용하기 때문에 인체에 무해하며, 주파수 허가를 받을 필요가 없고, ISM (Industrial

※ 본 연구는 대학IT연구센터 육성지원사업(NIPA-2011-C1090-1121-0005) 및 국민대학교 교내연구비(2010) 지원으로 수행되었음.

* 국민대학교 대학원 전자공학과 (ypark@kookmin.ac.kr)

논문번호 : KICS2011-01-067, 접수일자 : 2011년 1월 29일, 최종논문접수일자 : 2011년 7월 7일

Scientific Medical band)대역과의 간섭도 없으며, 물리적으로 높은 보안 수준을 제공한다^{2,3)}.

지금까지의 가시광통신은 주로 한 가지 색상만을 이용해왔다⁴⁾. 그러나 감성조명의 이용에 따라 컬러 조명의 환경에서도 가시광통신을 할 필요성이 생기게 되었다. 본 논문에서는 R,G,B 3색상의 LED를 이용하는 컬러 조명기기에서 원하는 색상을 표현하면서 동시에 연속적으로 데이터를 전송하는 방법을 제안하고, 테스트베드 시험결과를 제시하였다.

II. 제안된 컬러 가시광통신 시스템

R,G,B 3색상의 LED를 이용한 디스플레이 장치에서 색상을 표현하기 위한 일반적인 방법은 PWM변조를 이용하는 것이다. PWM 기반 R,G,B LED 제어는 그림 1과 같이 각 색상의 ON/OFF 시간을 조절함으로써 LED의 색상과 밝기를 조절하는 방법이다.

이와 같이 구동하는 LED로 데이터를 전송하는 경우 다음과 같은 두 가지 문제가 발생할 수 있다. 첫째, LED ON 지속시간이 짧아질 경우 데이터 전송 시간도 짧아진다는 점이다. 이 경우 R,G,B 각 동작 시간에 의해 패킷 길이가 제한되며, 새롭게 패킷을 보낼 때마다 오버헤드가 추가되어야 하므로 전송 효율이 매우 낮아진다. 둘째, 전송 데이터의 '0'과 '1'의 비율이 같지 않을 경우 그림 2에서 보는 것과 같이 각 색상 LED의 ON 지속 시간이 데이터에 따라 달라지므로 조명의 색상이 달라질 수 있다는 점이다.

본 논문에서는 원하는 조명의 색상을 유지하면서 연속적으로 통신을 하기 위해 다음 방법을 제시하였다. 그림 3과 같이 조명 색상을 제어할 때 한 주기 내

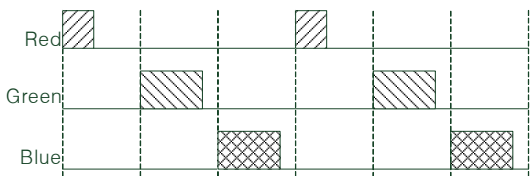


그림 1. PWM 기반 컬러 조명 제어

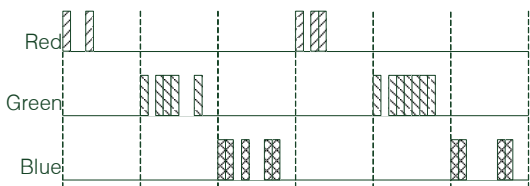


그림 2. PWM 기반 컬러 조명을 이용한 OOK 데이터 전송

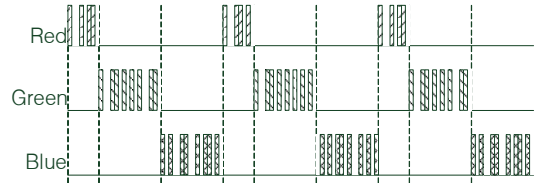


그림 3. 컬러 조명에서 맨체스터 코딩을 이용한 데이터 전송

의 R,G,B 비율을 이용하여 주기 전체를 채움으로써 통신 신호의 연속 전송이 가능하도록 한다. 또한 데이터 값에 의해 색상이 변하는 문제점은 데이터에 따라 ON/OFF 비율이 달라지는 OOK 변조 대신 하나의 심벌 안에서 ON/OFF 비율이 동일한 맨체스터 코딩을 이용함으로써 해결한다. 맨체스터 코딩을 할 경우 데이터 값과 무관하게 모든 구간에서 '0'과 '1'의 비율이 같기 때문에 데이터에 의한 컬러 변화가 생기지 않는다. 또한 매 심벌의 중앙에서 값이 변하는 맨체스터 코드의 특징을 이용하면 쉽게 클럭을 추출할 수 있다는 것도 장점이다.

그림 4에서는 제안한 컬러 가시광통신을 위한 송신부 블록도를 보이고 있다. 색상 정보는 PWM 블록을 통해 변조가 된 후 각 색상의 넓이를 결정한다. 또한 데이터 정보는 블록 코드, 바이트 인터리버를 거친 후 맨체스터 코딩된다. LED를 이용하여 데이터를 전송하는 과정에서 각 LED 및 PD의 특성에 차이가 있기 때문에 이로 인한 오류가 발생할 수 있으며, 이를 줄이기 위해 8B/10B 블록코딩과 바이트 인터리빙을 이용한다⁵⁾.

그림 5는 수신부 블록도를 보이고 있다. LED를 통해 송신된 광신호는 PD에서 전기신호로 변환되고 증

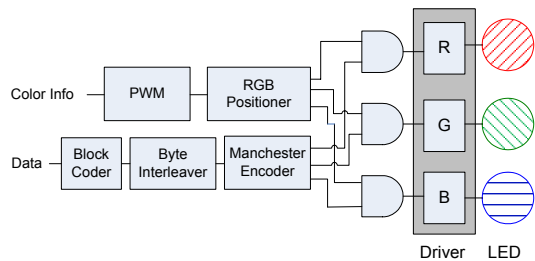


그림 4. 송신부 블록도

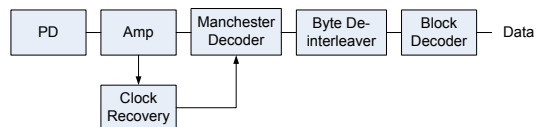


그림 5. 수신부 블록도

폭된다. 수신된 신호를 이용하여 클럭을 복구하고, 복구된 클럭은 수신된 신호와 함께 맨체스터 디코더로 입력된다. 이로부터 NRZ 펄스 데이터가 복구되며, 다시 바이트 디인터리버 및 블록 디코더를 거쳐 원 데이터를 복구할 수 있다.

III. 맨체스터 코더 및 디코더 구현

이번 절에서는 본 논문에서 제안한 맨체스터 코딩을 사용하기 위한 맨체스터 코더와 디코더의 구현 방식에 대해서 설명한다. 맨체스터 코드는 하나의 데이터 심볼 안에서 '0'과 '1'의 비율이 같으므로 컬러 가시광통신에서 조명을 원하는 색상으로 유지하면서 통신을 가능하게 하는 변조방식이다. 이 방식은 OOK로 데이터를 전송하는 방식에 비해 대역폭을 많이 이용하는 단점이 있지만 하나의 심볼 내에서 신호의 변화가 항상 존재하는 것을 이용하여 별도의 클럭 복구회로 없이 디지털 회로만으로도 클럭을 복구하고 데이터를 복조할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

3.1 맨체스터 코더

그림 6은 맨체스터 코더의 상태도를 보여주고 있다. 맨체스터 코딩에서 한 개의 입력 데이터는 심볼 주기 내에서 두 개의 상태로 나뉘므로, 그림에서 입력 데이터는 두 번 반복되는 것으로 나타난다. 즉, 입력 0은 00으로 입력 1은 11로 나타난다. 초기 상태 S0에서 입력 데이터가 0인 경우 상태 흐름은 S0 → S1 → S2로 변화하며 이 때 0 → 1을 연속적으로 출력한다. S2 상태에서는 다음 데이터에 따라 S1 또는 S3 상태로 천이한다.

State	X=0	X=1	Q
S0	S1	S3	0
S1	S2	S3	0
S2	S1	S3	1
S3	S1	S0	1

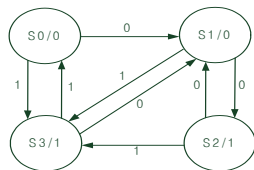


그림 6. 맨체스터 코더 상태도

3.2 맨체스터 디코더

맨체스터 코딩된 신호를 복구하는 여러 가지 방식의 디지털회로들이 이용되어 왔다. 이들의 기본적인 원리는 맨체스터 코딩된 신호는 매 심볼의 중심에 상승 혹은 하강 에지가 존재하기 때문에 이 중심에지를 찾아서 이 직후의 값을 읽음으로써 데이터 값을 알아내는 것이다. 그런데 이 때 주의할 사항으로는 심볼의

중심 에지와 심볼 시작점 위치에서의 에지를 구분해야 한다는 것이다. 이를 위해 데이터 전송 전에 프리앰블을 전송함으로써 중심 에지를 정확히 알아내는 등의 방법을 이용하고 있다. 그러나 본 연구에서는 판별 위치를 적절하게 선택함으로써 프리앰블의 필요성을 없앴다. 그림 7에 제시된 알고리즘을 보면 수신부는 먼저 현재 입력 신호의 값을 읽는다. 이 값이 '0'인 경우 상승에지를 기다리고, '1'인 경우 하강에지를 기다린다. 그리고 에지를 만나면 심볼 주기 T의 0.75배만큼의 시간 후에 데이터를 판별한다. 이 경우 그림 8과 같이 안정적으로 데이터를 판별할 수 있다. 만일 수신 초기에 심볼 시작점 에지를 기준으로 0.75T 이후에 잘못 판별한 경우 해당 심볼의 데이터 값과 다른 데이터가 다음 심볼에 들어오기만 하면 즉시 판별 위치가 정정되므로 별도의 프리앰블을 보낼 필요가 없으며 따라서 FPGA 게이트를 매우 적게 이용해서도 디코더를 구현할 수 있다.

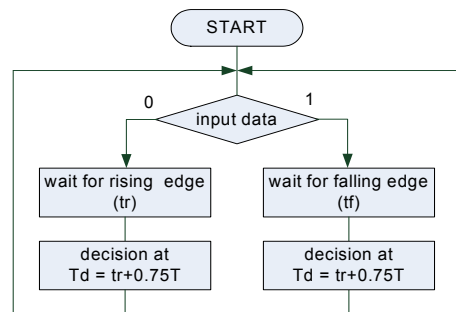


그림 7. 맨체스터 디코더 알고리즘

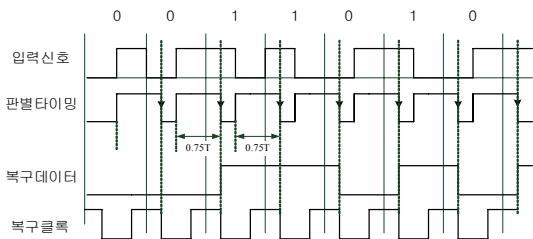


그림 8. 맨체스터 신호의 데이터 및 클럭 복구

IV. 테스트베드 구성 및 시험 결과

제안한 컬러 가시광통신 시스템을 시험하기 위해 두 개의 FPGA 칩과 4×4 R,G,B LED모듈 어레이, PD 등을 이용하여 테스트베드를 구성하였다. 실험에 이용한 LED모듈에는 R,G,B LED 칩들이 함께 패키

정 되어 있다. 구성된 모듈 1개는 소비전력 1.5 Watt, 평균 광속 105 루멘의 특성을 가지고 있으며, 광수신 소자로는 동작영역 0.8mm×0.8mm인 PIN 타입 PD를 이용하였다. 또한 두 개의 FPGA 보드를 이용하여 송신부와 수신부 디지털 회로를 분리하였다.

그림 9는 송신부 블록도를 보이고 있다. 송신부는 크게 두 부분으로 나누어져 있다. 그림의 ㉠ 부분은 랜덤 데이터를 생성하기 위한 data generation 블록, 맨체스터 코딩 블록, 또한 색상 제어를 위한 R,G,B LED 동작 블록을 보이고 있다. 그림의 ㉡ 부분은 수신부에서 디코딩된 데이터를 송신 데이터와 비교함으로써 비트오율을 측정하는 블록에 해당한다.

그림 10은 수신부 블록도를 보이고 있다. PD에 수신된 신호는 전치증폭기와 비교기를 이용해서 디지털 신호로 변환된 후 FPGA에 입력된다. 맨체스터 디코더 알고리즘을 이용하여 입력 신호로부터 클럭을 추출하고, 이를 이용하여 데이터를 복구하였다. 그림 11은 전송속도 1.56 Mbps 데이터를 맨체스터 코딩하여 50cm 떨어진 거리에 전송한 결과를 오실로스코프에 보이고 있다. 송신부에서는 데이터를 변조한 후 4×4 LED 모듈을 통해 전송하였으며, 수신부 전면에는 PD

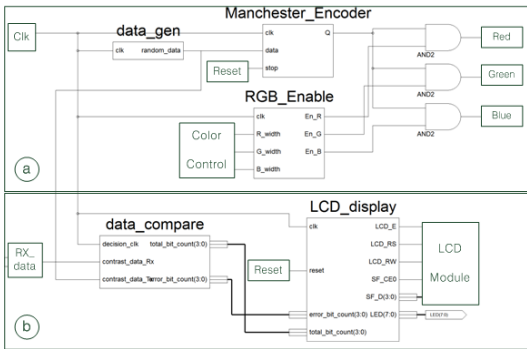


그림 9. 송신부 블록도

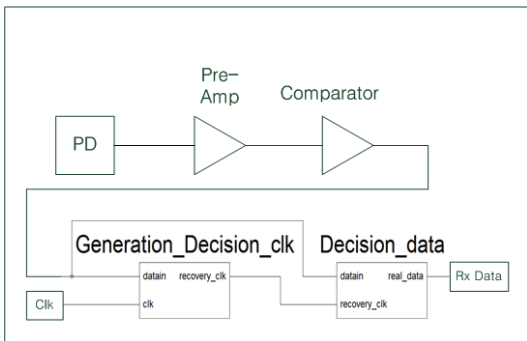


그림 10. 수신부 블록도

에 수신되는 빛의 세기를 증가하기 위해 렌즈를 두었다. 그림 12는 컬러를 변화하면서 1.56 Mbps 데이터를 전송할 때 거리에 따른 비트오율을 보여준다. 40cm 거리에서는 10^{-7} 이하의 비트오율이 측정되고 있으며, 60 cm 거리에서 약 10^{-4} 의 비트오율을 보이고 있다. 본 실험은 제안한 변조방식에 의한 컬러 가시광 전송 가능성을 검증하기 위한 것이었으며, LED의 광세기 및 개수를 증가한다면 전송거리를 수 미터 이상으로 늘릴 수 있을 것이다.

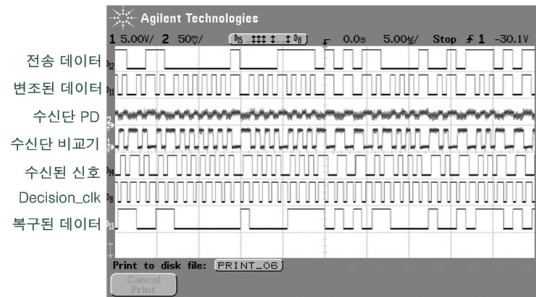


그림 11. 컬러 가시광을 이용한 전송 신호

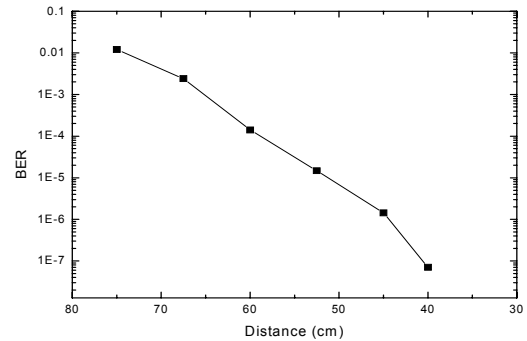


그림 12. 거리에 따른 비트오율 측정

V. 결론

본 논문에서는 R,G,B 색상의 LED를 이용한 감성 조명에서 원하는 색상을 자유롭게 표현하고 또 변화하면서도 통신이 가능한 컬러 가시광통신 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템의 테스트베드를 FPGA를 이용하여 구성하였고, 성능을 측정하였다. 송신부에서는 16개의 R,G,B LED 모듈을 이용하여 데이터를 전송하였으며, 테스트베드 시험 결과 색상을 변화하면서 1.56 Mbps 데이터를 전송할 경우 60cm 거리에서 약 10^{-4} 의 비트오율을 보였다. 이 성능은 LED의 개수를

증가하여 더 큰 광세기를 사용함으로써 개선할 수 있을 것이다.

본 논문에서 제안한 통신 방식을 이용하면 R,G,B 3색상의 LED를 이용한 감성 조명의 색상을 연속적으로 조절하면서 동시에 통신도 가능하므로, 향후 도래할 컬러 조명 시대에서 다양한 응용 분야를 찾을 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 노시청, “감성조명의 이해”, 한국디자인학회 2005 가을 학술발표대회 논문집, pp.86-67, 2005.
- [2] 김아정, “무선 가시광통신 시스템의 기술 및 성능”, 주간기술동향 통권 1391호, pp.1-12, 2009.4.
- [3] 강태규, 김태완, 정명애, 손승원, “LED 조명과 가시광 무선통신의 융합 기술 동향 분석,” 전자통신 동향분석, 23권, 5호, pp.32-39, 2008.
- [4] H. Sugiyama, S. Haruyama, and M. Nakagawa, “Experimental Investigation of Modulation Methods for Visible-Light Communications”, IEICE Trans. Commun., Vol.E89-B, No.12, pp. 3393-3400, Dec. 2006.
- [5] 여은모, 김재성, 김기두, 박영일, “맨체스터 코딩을 이용한 컬러 가시광 통신 시스템”, 광자기술학술회의2010, pp.398-399, 2010.12.2.

여 은 모 (Eunmo Yeo)

준회원



2009년 국민대학교 공학사
2011년 국민대학교 석사
2011.3~현재 (주)마르시스
<관심분야> 가시광 통신, 무선
네트워크, 위성방송

이 대 천 (Daechun Lee)

준회원



2006년 국민대학교 공학사
2006년~2007년 삼성전자 무선
사업부 연구원
2010년~현재 국민대학교 대학
원 전자공학과 석사과정
<관심분야> 광대역 통합망, 무
선네트워크, 네트워크 보안

김 기 두 (Ki-Doo Kim)

종신회원



1980년 서강대학교 전자공학사
1980년~1985년 국방과학연구소
1988년 7월 미국 펜실베이니아주
립 대학교 공학석사
1990년 12월 미국 펜실베이니아
주립대학교 공학박사
1997년~1998년 미국 UCSD,
Visiting Scholar

1991년~현재 국민대학교 전자공학부 교수
<관심분야 > 디지털통신, 디지털신호처리

박 영 일 (Youngil Park)

종신회원



1987년 서울대학교 공학사
1989년 서울대학교 공학석사
1995년 Texas A&M Univ. 공
학박사
1995년~1999년 KT 연구개발
본부
1999년~현재 국민대학교 전자
공학부 교수

<관심분야> 광가입자망, 가시광통신, 광대역 통합망