



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

가시광 통신의 CSK 변조기법에서
플리커 완화 연구

Flicker Mitigation Techniques for
Visible Light Communication using CSK
Modulation

2015 년 8 월

서울대학교 대학원

전기 · 정보공학부

이서현

가시광 통신의 CSK 변조기법에서 플리커 완화 연구

지도 교수 이 정 우

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함
2015 년 8 월

서울대학교 대학원
전기·정보공학부
이서현

이서현의 공학석사 학위논문을 인준함
2014 년 12 월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

초 록

가시광 통신의 CSK 변조기법에서 플리커 완화 연구

서울대학교 대학원
전기·정보공학부
이서현

최근 IoT (Internet of Things) 기술의 발달로 가시광 통신이 주목을 받고 있다. 가시광 통신은 radio frequency 영역인 3kHz에서 300GHz의 주파수 대역을 사용하는 기존의 통신 방식과 달리 가시광선영역(380nm~ 780nm)을 데이터 전송에 사용한다. 가시광선을 사용함으로써 통신의 기능은 물론 조명의 기능을 수행할 수 있다. 따라서 조명의 기능과 관련된 기술이 많이 연구되어 왔다. 예를 들면 데이터 전송을 하면서 조명의 밝기를 조절을 하는 기술이나 조명의 품질을 좋게 하는 기술이 그것이다. 특히 데이터를 전송함에 있어서 사람의 눈이 인지할 수 있는 조명의 밝기변화를 플리커라고 하는데 이를 완화하기 위한 기술이 연구되어 왔다. 기존에 연구된 플리커 완화 기술은 OOK (On-Off Keying) 변조기법을 사용할 때 플리커를 완화하는 기술이다.

본 논문에서는 CSK (Color-Shift Keying) 변조기법에서 플리커 완화 기법을 제안하였다. CSK 변조기법은 조명의 밝기는 일정하지만, color variation이 나타날 수 있다. 이러한 color variation도 플리커의 일종으로 고려할 수 있다. 기존에 OOK 변조기법을 사용할 때 플리커를 완화하는 기술인 line code 기법에서 아이디어를 얻어 red, green, blue의 LED를 사용하는 CSK 변조기법에서 red, green, blue의 조합으로 color balance를 맞출 수 있는 codebook을 제안하였다. red, green, blue의 수가 균일한 codeword를 만들고 그 중 전송에 사용할

codebook을 선택하였다. Codebook 선택 시 고려되어야 할 점은 codebook의 MD (Minimum Distance)이다. MD가 클수록 디코딩시 에러 발생확률이 줄어들게 된다. 따라서 MD를 최대화 하는 codebook을 선택하였다. Matlab simulation을 통해 기존의 CSK방식과 제안하는 기법을 이용한 CSK방식의 플리커의 정도를 비교하였다. 플리커의 정도를 나타내는 척도로 red, green, blue의 밝기를 나타내는 벡터에 대해 moving average를 구해서 백색광을 나타내는 벡터와의 거리를 측정하였다. 또한 두 방식에서 SNR에 따른 BER을 비교하고 분석하였다.

주요어: IoT, 가시광 통신, Color-Shift Keying, 플리커
학 번: 2013-20847

목 차

제 1 장 서 론	6
1.1 연구의 배경	6
1.2 연구의 내용	7
제 2 장 가시광 통신	8
2.1 송신기와 수신기	8
2.2 System Model	9
제 3 장 플리커 현상	11
3.1 플리커 발생요인	11
3.2 플리커 완화기법	11
3.2.1 프레임 내부에서의 플리커	11
제 4 장 CSK 변조기법	16
4.1 CSK Constellation Design	16
4.1.1 Chromaticity gamut	16
4.1.2 CSK Constellation Design	18
제 5 장 CSK 변조방식에서 플리커 완화 알고리즘	19
5.1 제안되는 코딩 기법	19
5.1.1 4 Symbol Mapping	19
5.1.2 16 Symbol Mapping	20
제 6 장 시뮬레이션	26
제 7 장 결론	30
참고 문헌	31
Abstract	33

표 목차

Table 1. M-4B5B.....	13
Table 2. 4B6B.....	14
Table 3. 4bit Code	20
Table 4. Code	24

그림 목차

Figure 1. Visible Light Spectrum	8
Figure 2. Visible Light Communication Implementation.....	9
Figure 3. Manchester Code	12
Figure 4. CIE Color Space Chromaticity Diagram	16
Figure 5. 정규화된 파장에 따른 원추세포의 민감도.....	17
Figure 6. Flicker Mitigation RGB Code	21
Figure 7. MD가 2인 Codebook.....	22
Figure 8. Finding Codebook	23
Figure 9. Proposed Scheme System Model.....	25
Figure 10. 플리커 성능 측정 (T=50)	27
Figure 11. 플리커 성능 측정 (T=30)	27
Figure 12. 제안하는 알고리즘과 4-CSK 기법의 BER 성능 분석	28

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경

InGaN을 사용한 blue LED가 개발되면서 기존에 존재하던 red, green LED와 함께 백색광을 만들 수 있게 되었다. 백열등과 비교하여 LED가 가진 장점은 긴 수명, 습도에 대한 높은 내구성, 적은 전력 소비, 그리고 빛 방출 시 적은 열 발생이 있다. [1] 따라서 백색 LED는 미래의 조명 기술의 중요한 후보가 될 수 있다. LED의 장점은 일초에 백 만 번 켜지고 꺼질 수 있는 빠른 스위칭이다. 이러한 특성을 이용해서 LED를 데이터 전송에 이용할 수 있다. 우리는 이것을 Li-Fi 또는 가시광 통신이라고 부른다.

가시광 통신에서 널리 쓰이는 두 가지 변조기법이 있는데 OOK와 CSK방식이 그것이다. OOK와 CSK는 각각 On-off keying과 Color-shift Keying의 약자를 나타낸다. OOK방식에서는 데이터 0은 off로 데이터 1은 on으로 변조된다. 또한 CSK 방식은 red, green, blue LED를 이용하여 만들 수 있는 다양한 color를 이용하여 변조하는 방식이다.

가시광 통신은 조명의 역할도 수행하기 때문에 빛의 품질은 중요한 고려 요소이다. 사람의 눈이 인지할 수 있는 빛의 밝기변화를 플리커라고 부르는데, 가시광통신에서는 플리커가 발생할 수 있다. 따라서 플리커를 해결하기 위한 다양한 기법이 연구되었다. OOK 방식을 쓰는 경우에 플리커가 생기는 요인은 데이터의 0과 1의 불균형에 있다. 따라서 0과 1의 불균형을 해결하는 것이 플리커를 완화할 수 있는 방법이다. Manchester Code, M-4B5B 또는 4B6B코드와 같은 Line Code를 사용하는 방식이 있다. [2]

CSK 변조방식은 Color에 따라 심볼을 구분하는 방식이다. 이 때 심볼의 분포가 고르지 않게 될 경우 color balance가 맞지 않아서 빛의

색깔이 흰색이 나타나지 않을 수도 있다. 이러한 현상도 플리커라고 할 수 있다. CSK 변조방식에서 나타나는 플리커를 해결할 수 있는 기법은 아직 연구된 바가 없다.

1.2 연구의 내용

본 논문에서는 CSK 변조방식에서 플리커를 완화하는 기법을 제안하였다. 기존의 CSK방식과 달리 red, green, blue의 컬러비율이 고르게 나오도록 하기 위해서 red, green, blue이 고르게 분포한 codebook을 만들고 심볼을 여기에 대응시켰다. 기존의 CSK방식과 제안하는 기법의 플리커 성능을 비교하고 BER을 비교하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어있다. 2장에서는 가시광통신의 개념과 가시광 통신의 시스템 모델에 대해 설명하고, 3장에서는 플리커 현상에 대해서 알아본다. 4장에서는 CSK 변조기법에 대하여 알아보고 5장에서는 제안하는 알고리즘에 대해서 설명한다. 6장에서는 시뮬레이션을 한 결과를 서술하였다. 마지막으로 7장에서 결론을 맺도록 하겠다.

제 2 장 가시광 통신

가시광통신은 380nm에서 780nm의 파장을 가지는 가시광선 영역을 이용한 데이터 전송 방식이다. 따라서 가시광 통신은 조명의 기능을 수행할 수 있다. 가시광통신은 wireless LAN, wireless PAN, underwater network, vehicular network, M2M(Machine to Machine)에 사용될 수 있다. [3]

기존의 통신방식은 3kHz에서 300GHz사이의 영역인 radio frequency 영역을 사용한다. [3] 가시광 통신을 통하여, radio frequency영역의 주파수 고갈 문제를 해결할 수 있다.

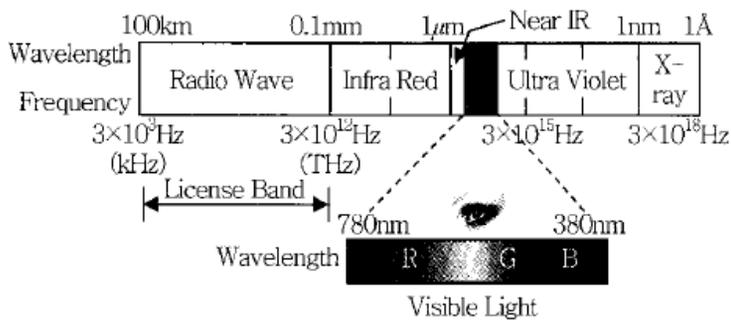


Figure 1. Visible Light Spectrum

2.1 송신기와 수신기

가시광통신에서 LED를 송신기로 사용한다. LED는 1초에 백 만 번 켜졌다 꺼질 수 있는 빠른 스위칭이 가능하며 이러한 장점을 이용하여 데이터를 전송할 수 있다. LED는 PN접합으로 만들어 지는데 P type과 N type의 물질에 따라 발광되는 빛의 색깔이 결정된다.

LED를 이용했을 때 백색광을 얻는 방법은 세가지가 있다. 첫 번째 방법은 red, green, blue를 섞는 방법이다. 두 번째 방법은 UV 또는 UV에 가까운 빛을 내는 LED에 red, green, blue의 황(phosphor)을

칠하는 방법이다. 청색 빛 보다 짧은 파장을 가지는 빛은 red, green, blue의 황의 전자를 들뜨게 한다. 들뜬 전자가 떨어지면서 red, green, blue의 빛을 방출한다. 세 번째 방법은 blue LED에 yellow 황(phosphor)을 칠하는 방법이다. 청색 빛은 yellow 황의 전자를 들뜨게 해서 들뜬 전자가 떨어지면서 노란색 빛을 방출하게 된다. blue LED의 빛과 방출된 노란색 빛이 섞여서 백색광이 만들어 진다. [4]

가시광 통신의 수신기로는 photodiode가 사용된다. Photodiode는 PN 접합 또는 PIN 접합으로 이루어져 있다. Photodiode의 PN접합을 이루는 물질에 따라 bandgap이 결정되고 bandgap보다 높은 에너지가 들어왔을 때 전류가 흐른다. 따라서 bandgap보다 더 높은 빛 에너지를 흡수하면, electron-hole pair가 생기고 전류가 흐르게 된다. 이 때 생기는 전류의 흐름을 인식하여 신호를 인식하게 된다.

2.2 System Model

이진 데이터는 심볼로 매핑되어 DAC 컨버터로 전달된다. 전기 신호는 LED를 통해 빛으로 변환된다. 빛의 신호는 free space로 전달되어 photodetector에서 인식된다. [5] photodetector는 광전류를 생성하고 ADC 컨버터를 통과하여 이산신호로 변환된다. 변환된 이산신호가 Demodulation된 후에 디코딩과정을 거쳐서 데이터가 복원된다.

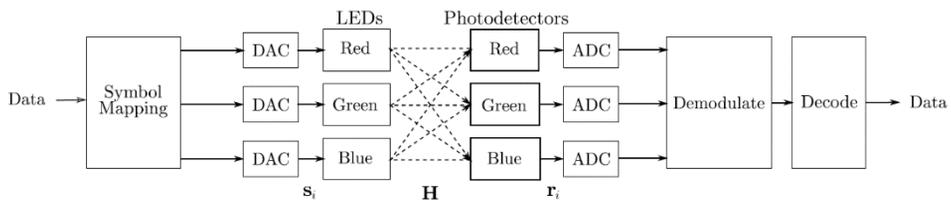


Figure 2. Visible Light Communication Implementation

채널은 red, green, blue 각각의 LED에 대하여 송신단과 수신단의 Gain으로 나타난다. 채널 행렬은 다음과 같다.

$$H = \begin{bmatrix} h_{r,r} & h_{r,g} & h_{r,b} \\ h_{g,r} & h_{g,g} & h_{g,b} \\ h_{b,r} & h_{b,g} & h_{b,b} \end{bmatrix}$$

$h_{j,k}$ 는 k번째 송신단과 j번째 수신단의 입력 전류와 출력 전류간의 채널 gain을 나타낸다.

제 3 장 플리커 현상

가시광통신에서 데이터를 전송할 때 사람의 눈이 인식할 수 있는 빛의 밝기 변화를 플리커(flicker)라고 한다. 플리커가 발생했을 경우에 눈에 치명적일 수 있고, 정신적인 손상을 일으킬 수도 있다.[2]

3.1 플리커 발생요인

Intensity modulation을 사용하는 경우에 플리커가 발생하는 요인은 On과 Off의 불균형에 있다. Intensity modulation에서 0의 비율이 많을 경우 밝기가 어두워 지고, 1의 비율이 많을 경우 밝기가 밝아진다.

데이터 프레임 내에서 0과 1의 불균형에 의해 야기되는 플리커를 프레임 내부에서의 플리커(intra-frame flicker)라고 하고, 데이터가 전송되는 구간과 데이터가 전송되지 않는 아이들 구간(idle time)의 조명 밝기 차이를 프레임 상호간 플리커(inter-frame flicker)라고 부른다. [2]

3.2 플리커 완화기법

3.2.1 프레임 내부에서의 플리커

Intensity modulation기법에서 0과 1의 비율을 균일하게 해서 플리커를 완화할 수 있다. 0과 1의 비율을 균일하게 만드는 방법 중 하나가 line code를 이용하는 방식이다. 예를 들어, manchester code를 이용하거나 M-4B5B, 또는 4B6B를 이용할 수 있다.

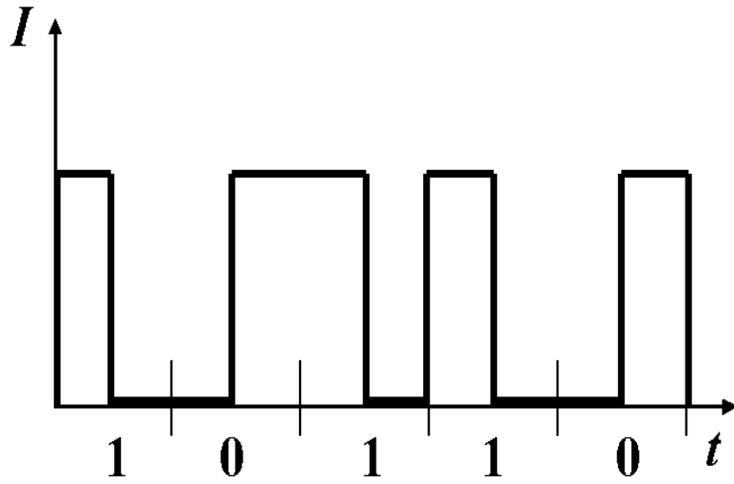


Figure 3. Manchester Code

Manchester code 방식은 위의 그림과 같이 각 데이터 비트에 대해서 비트 타임의 중앙에서 값의 변이가 발생한다. 따라서 어떤 구간이라도 동일한 평균 밝기를 가진다.

	4B	5B	M-4B5B
1	0000	11110	00101
2	0001	01001	10011
3	0010	10100	00110
4	0011	10101	01001
5	0101	01010	10110
6	0110	01011	01010
7	0111	01110	11001
8	1000	01111	01100
9	1001	10010	11010
A	1010	10110	10001
B	1011	10111	01011
C	1100	11010	10010
D	1101	11011	01101
E	1110	11100	10100
F	1111	11101	01110

Table 1. M-4B5B

M-4B5B 방식은 4bit을 5bit으로 변환하고 이 중 0과 1의 비율이 2:3또는 3:2인 codeword를 골라서 변환 시킨다.

	4B	6B
0	0000	001110
1	0001	001101
2	0010	010011
3	0011	010110
4	0100	010101
5	0101	100011
6	0110	100110
7	0111	100101
8	1000	011001
9	1001	011010
A	1010	011100
B	1011	110001
C	1100	110010
D	1101	101001
E	1110	101010
F	1111	101100

Table 2. 4B6B

4B6B방식은 4bit으로 표현되는 16개의 심볼들을 6bit으로 표현되는 64개의 심볼 중 0과 1의 비율이 3:3인 codeword로 변환시킨다

제 4 장 CSK 변조기법

CSK 변조기법은 Color Shift Keying의 줄임말이다. CSK 변조방식은 symbol을 red, green, blue LED의 power 비율에 따라 구분하는 방식이다. N개의 서로 다른 symbol이 존재한다면,

$$A = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_N\} \quad \text{where } S_j = [i_{r,j} \ i_{g,j} \ i_{b,j}]$$

로 나타낼 수 있다. 각각은 red, green, blue LED의 평균 전류를 나타낸다.

4.1 CSK Constellation Design

4.1.1 Chromaticity gamut

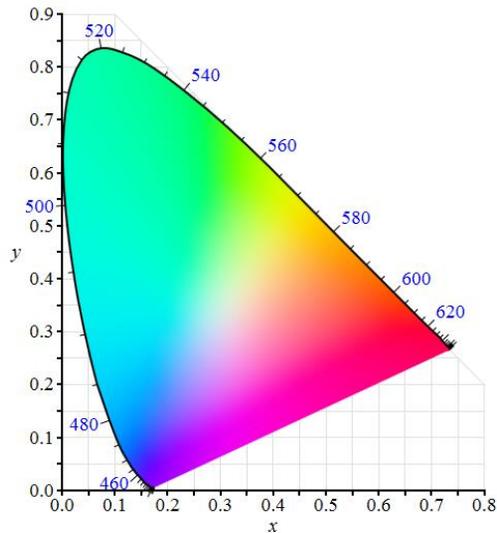


Figure 4. CIE Color Space Chromaticity Diagram

사람의 눈에는 red, green, blue을 인지할 수 있는 세 종류의 원추세포가 존재한다.

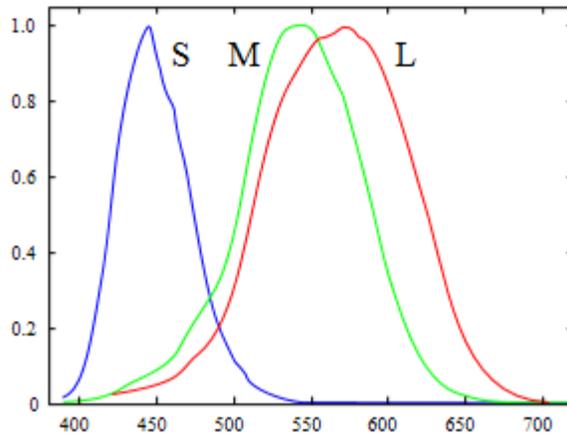


Figure 5. 정규화된 파장에 따른 원추세포의 민감도

각각의 원추세포는 red, green, blue의 자극량을 인지하고, 이 자극량의 선형결합으로 색깔을 인지하게 된다. 이때 눈이 인지하는 red, green, blue의 자극 값을 삼자극값이라고 하고 이를 X, Y, Z로 나타낼 수 있다.

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z} = 1 - x - y$$

x, y, z는 각각 X, Y, Z의 노멀라이즈 된 비율을 의미한다. 따라서 이 중 x, y, Y를 알고 있으면 역으로 X, Y, Z를 구할 수 있다. 위 그림에서 x, y축이 노멀라이즈 된 값을 나타낸다. 위 그림은 사람 눈이 인지 할 수 있는 색깔에 대해 원추세포에 자극되는 정도를 나타낸 것이다.

4.1.2 CSK Constellation Design

CSK 변조기법에서 각 심볼에 해당하는 color를 결정하기 위해 constellation design을 해야 한다. Constellation design을 하기 위해서는 최적화 문제를 풀어야 한다. Constellation design을 하는 방법이 연구되어왔는데 기존에 연구된 방법은 interior point method와 billiards algorithm이 있다. [7][8]

제 5 장 CSK 변조방식에서 플리커 완화 알고리즘

CSK 변조방식에서 전송되는 심볼이 고르게 분포하지 않는 경우 원래 목표했던 흰색에 대해서 색깔 변화가 나타날 수 있다. 이러한 색깔 변화를 OOK 변조방식에서와 마찬가지로 플리커라고 부를 수 있다. CSK 변조방식에서 플리커가 나타날 경우에 이를 해결할 수 있는 기법은 연구된 바가 없다. 본 논문에서는 OOK 변조방식에서 플리커를 완화하는 방식인 line coding 방식을 응용하여 CSK 변조방식에서 플리커 완화 알고리즘을 연구하였다.

5.1 제안되는 코딩 기법

Intensity modulation 방식에서 나타나는 플리커 완화 기법은 0과 1의 분포가 균일하게 나타나도록 line code를 적용한다. 이때 사용되는 line code는 binary code이다. CSK 변조방식에서 플리커를 완화하기 위해 binary line code를 ternary 방식으로 확장해보았다. 제안하는 기법은 red, green, blue의 조합으로 ternary code를 만들고 각 codeword에서 red, green, blue의 개수가 균일하게 분포하는 codeword를 선택하여 통신에 이용하는 방식이다.

5.1.1 4 Symbol Mapping

4 symbol mapping의 경우에 4개의 심볼을 코드에 대응시켜야 하므로 4개의 codeword를 만들어야 한다. 3개의 조합으로 만들 수 있는 코드는 RGB, RBG, BGR, BRG, GRB, GBR이 있다. 이 중 4개를 선택하여 2 bit의 심볼을 대응 시킬 codeword를 정하게 된다. 6개의 코드 중 어떤 4개의 codeword를 선택하더라도 대칭성에 의하여 같은 결과를 얻게 된다.

5.1.2 16 Symbol Mapping

16 Symbol Mapping의 경우 16개의 심볼을 codeword에 대응시켜야 하므로 16개의 codeword를 만들어야 한다.

4개의 조합으로 codeword를 만들게 된다면 하나의 색깔을 두 번 사용하고, 나머지 색깔을 한 번씩 사용하여 codeword를 만들면 된다. 다음과 같은 36개의 codeword를 생성할 수 있다.

$$3 \times 4! \div 2 = 36$$

RRBG	RRGB	RGRB	RBRG
RGBR	RBGR	GRRB	BRRG
GRBR	BRGR	BGRR	GBRR
GGRB	GGBR	GBGR	GRGB
BGGR	RGGB	GBRG	GRBG
BGRG	RGBG	BRGG	RBGG
BBGR	BBRG	BGBR	BRBG
RBBG	GBBR	BRGB	BGRB
RBGB	GBRB	RGBB	GRBB

Table 3. 4bit Code

36개의 codeword 중 어떤 codeword를 선택하더라도, 플리커 성능은 완화할 수 있지만, codeword에 선택에 따라 에러 성능은 크게 달라질 수 있다. [9]에 따르면, codeword 사이에 MD (Minimum Distance)가 에러 성능에 영향을 미친다. 각 codeword의 bit을 비교하여 같으면 0, 다르면 1을 대응시켜 코드 간의 MD를 계산 할 수

있다. 36개의 codeword 중 통신에 사용할 codebook을 선택할 때, MD를 최대화할 수 있도록 codebook을 선택한다. 36개의 codeword 중 MD가 2가 되도록 codebook을 선택하려면 최대 12개의 codeword를 선택할 수 있다.

36개의 codeword 중 MD가 2가 되도록 codebook을 선택하는 방법은 다음과 같다.

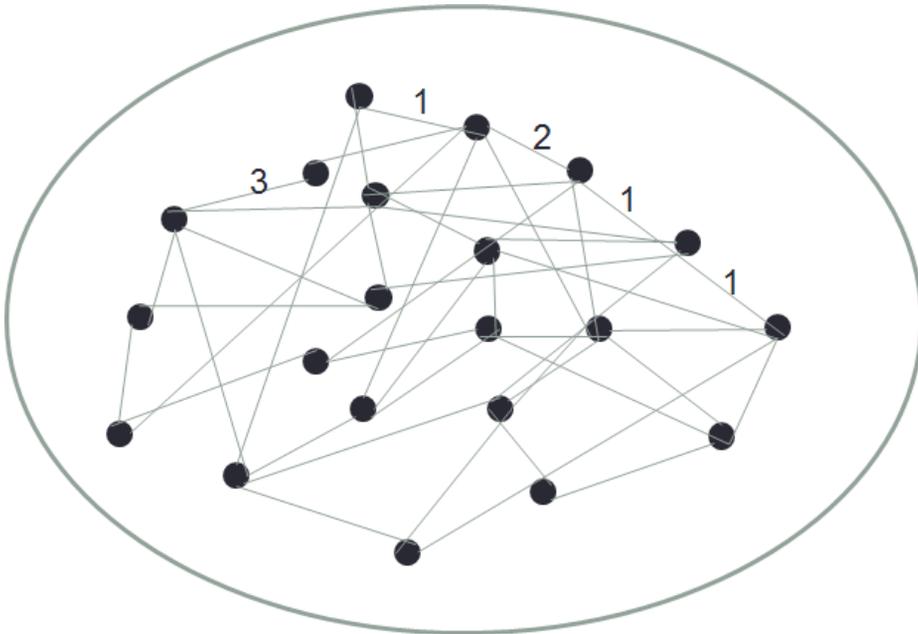


Figure 6. Flicker Mitigation RGB Code

위 그림에서 동그라미가 각각의 codeword이고, 모든 codeword에 대해서 codeword간의 distance를 생각 할 수 있다. 그렇다면 서로간의 distance가 2이상인 codeword로만 모인 모임을 생각 할 수 있다. 이 모임은 여러 개 존재 할 수 있다.

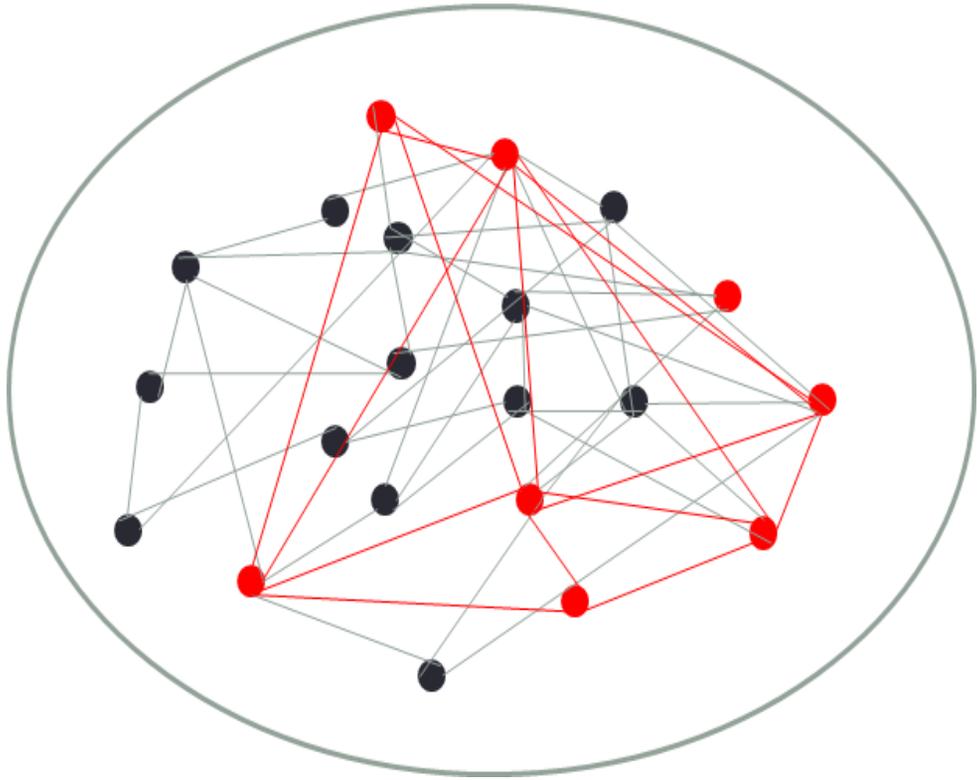


Figure 7. MD가 2인 Codebook

이러한 codebook을 찾는 방법은 다음과 같다.

먼저, 랜덤하게 한 codeword를 선택한다. 그리고 다음 codeword를 랜덤하게 선택하고 두 codeword의 distance를 비교한다. 만약 distance가 1이면 다시 첫 번째 과정으로 돌아간다. 만약, distance가 2 이상이면 다음 codeword를 랜덤하게 고르고 지금 가지고 있는 codeword 2개랑 비교한다. 만약 distance가 1인 쌍이 나타날 경우에는 첫 번째 과정으로 돌아간다. 위와 같은 시행을 여러 번 반복하여 원소의 수가 최대가 되는 codebook을 찾는다.

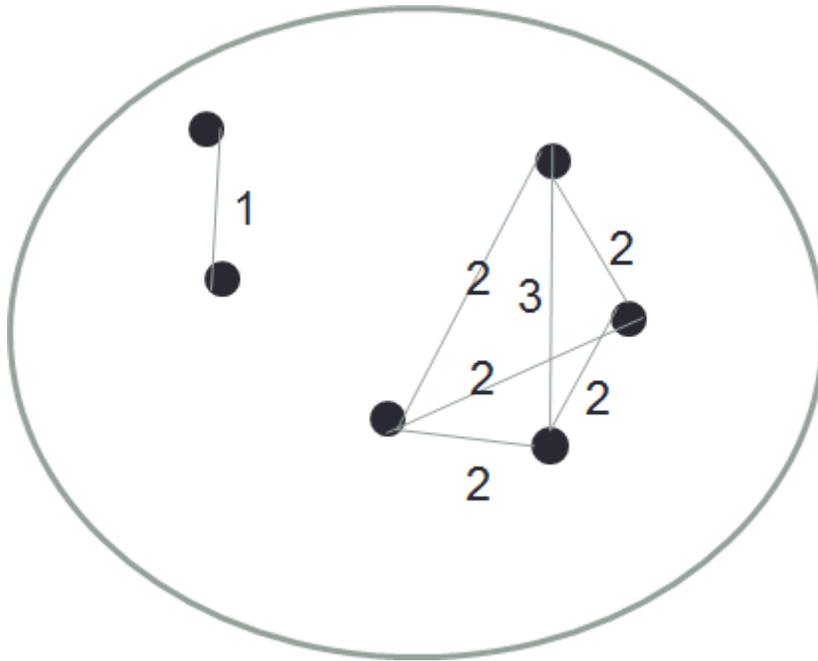


Figure 8. Finding Codebook

나머지 코드 중 4개를 추가시켜 16개의 codebook을 생성하였다. 이 때 추가되는 4개의 codeword는 codeword가 추가되었을 때 16개 codeword의 각각의 거리의 합이 최소가 되는 codeword들로 선택하였다.

Binary Data	RGB Code	Binary Data	RGB Code
0000	RRGB	1000	GBRB
0001	RRBG	1001	GBBR
0010	RGGB	1010	BRRG
0011	RGBB	1011	BRGG
0100	RBGG	1100	BGRB
0101	GRBB	1101	BGBR
0110	GGBR	1110	BBRG
0111	GBRR	1111	BBGR

Table 4. Code

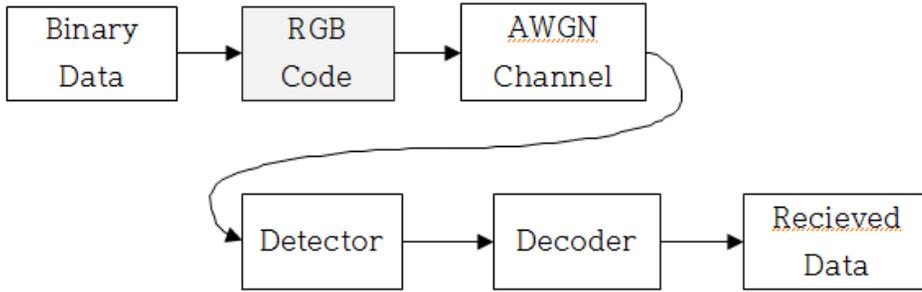


Figure 9. Proposed Scheme System Model

제안하는 CSK 시스템은 Figure 9와 같이 나타낼 수 있다. binary data를 생성한 후, 이를 위의 표와 같이 RGB의 codeword로 매핑한다. 이 때 red, green, blue는 각각 $[1\ 0\ 0]$, $[0\ 1\ 0]$, $[0\ 0\ 1]$ 세 벡터로 나타낸다. 그리고 수신기에서는 디텍션을 한 후 다시 위의 매핑을 이용하여 RGB codeword를 binary 데이터로 역변환시킨다.

제 6 장 시플레이션

기존의 4-CSK 기법과 비교하여 제안하는 기법에서의 BER 성능을 분석하였고, 플리커의 크기를 나타낼 수 있는 척도를 계산하여 플리커의 정도를 비교해보았다.

플리커의 정도를 나타내기 위해 신호의 각 red, green, blue 성분들의 평균전력의 비율이 우리가 의도한 색(보통 흰색)과 어느 정도 차이가 나는지를 비교하였다.

$$M[t] = \frac{1}{T} \sum_{t_1=t}^{t_1=t+T-1} y[t_1]$$

위의 식의 $M[t]$ 는 신호벡터를 T 개만큼 모아 moving average를 취한 것이다. $y[t]$ 는 송신되는 신호의 red, green, blue의 세기를 나타내는 벡터이다. 송신 시 신호의 평균 power는 1이다. T 의 구간에서의 평균 벡터의 크기를 구하여 시간에 따른 평균 벡터를 구한다.

전체 power를 1로 잡았을 때, red, green, blue의 power가 모두 같을 때, 백색광이 되므로 백색광을 나타내는 벡터는 $[1/3, 1/3, 1/3]$ 로 표현하였다.

$$F = \left\| M(t^*) - \left[\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3} \right] \right\|$$

각 시간에서 moving average와 $[1/3, 1/3, 1/3]$ 가 떨어진 거리를 계산하여 나온 값을 플리커의 크기를 파악하는 척도로 사용하였다. 그래프의 청색(실선) 곡선이 제안하는 방법, 붉은색(점선)이 표준의 4 symbol mapping을 각각 사용했을 때의 플리커의 정도이다. 제안하는 방식을 사용한 경우가 훨씬 0에 가까운 분포를 가져 플리커 성능이 좋음을 알 수 있다.

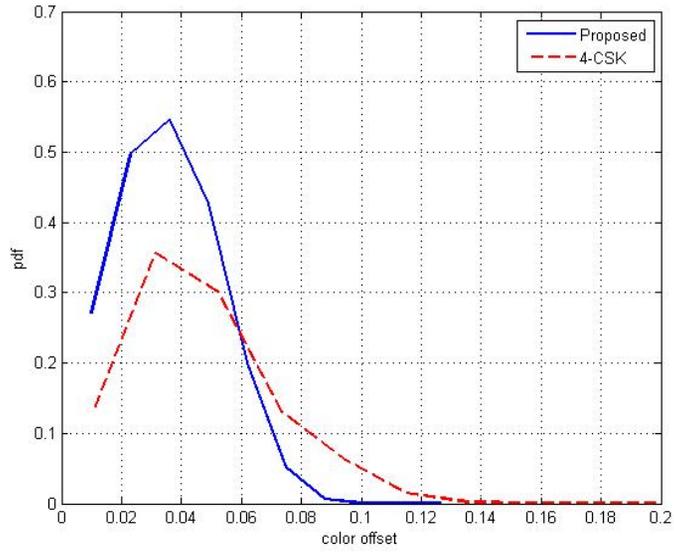


Figure 10. 플리커 성능 측정 (T=50)

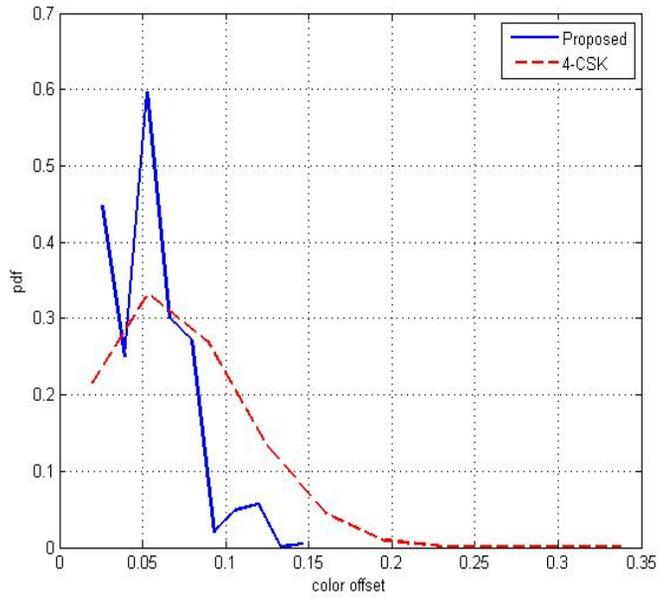


Figure 11. 플리커 성능 측정 (T=30)

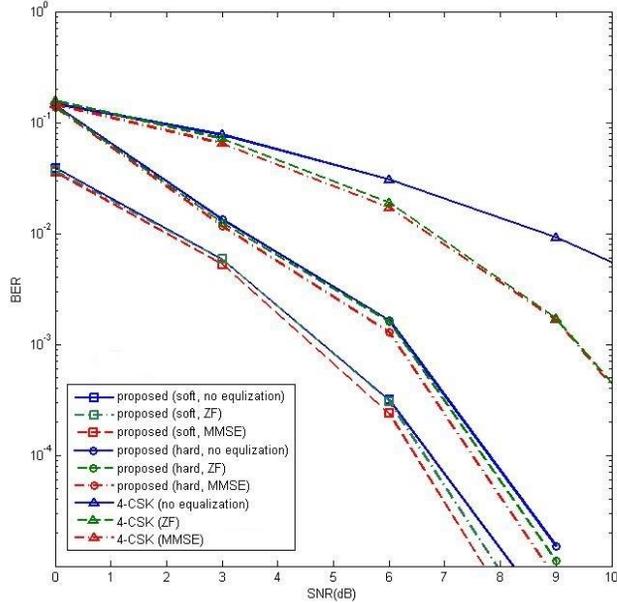


Figure 12. 제안하는 알고리즘과 4-CSK 기법의 BER 성능 분석

위의 Figure 12는 802.15.7 표준의 4-CSK 기법과 제안하는 기법의 BER 성능을 비교한 그래프이다. 일단 실험 환경으로써, RGB 신호를 각각 수신하는 광센서(photodiode)가 완벽하지 않아, red, green, blue 채널 간의 크로스톡(cross talk)이 있는 경우를 가정하였다. 채널간의 크로스톡은 아래와 같은 채널 행렬로 표현할 수 있다[5].

$$H = \begin{bmatrix} 1 - \epsilon & \epsilon & 0 \\ \epsilon & 1 - 2\epsilon & \epsilon \\ 0 & \epsilon & 1 - \epsilon \end{bmatrix}$$

여기서 ϵ 은 채널 간의 크로스톡의 정도를 나타내는 파라미터이며, 실험에서는 $\epsilon = 0.1$ 로 설정하였다. 수신된 신호에 대해서 등화기를 사용하지 않은 것이 파란색, zero forcing 등화기를 사용한 것이 초록색, MMSE 등화기를 사용한 것이 빨간색을 나타낸다. 그래프의 soft와 hard는 각각 제안하는 알고리즘에서 코드의 네 심볼을 모두 받아서 한꺼번에 ML 디코딩을 하였는지 디코딩을 한 심볼마다 수행하였는지를 나타낸다. soft 방식이 복잡도는 훨씬 더 높지만 더 좋은 BER 성능을

내는 것을 확인할 수 있었다.

Zero forcing 등화기: Zero forcing 등화기는 채널의 효과를 없애는 등화기이다. 예를 들어 채널 매트릭스가

$$H = \begin{bmatrix} h_{r,r} & h_{r,g} & h_{r,b} \\ h_{g,r} & h_{g,g} & h_{g,b} \\ h_{b,r} & h_{b,g} & h_{b,b} \end{bmatrix}$$

라면, H의 inverse matrix가 zero forcing 등화기가 된다.

MMSE 등화기: Minimum Mean Squared Error 등화기의 줄임말로 mean squared error를 최소화 하는 estimated value를 만들어내는 estimator이다.

제 7 장 결론

본 논문에서는 가시광 통신에서 CSK 변조기법에서 플리커를 완화하는 기법을 제안하였다. CSK 변조기법에서 color variation을 완화하기 위해 적, 녹, 청색이 균일하게 분포한 codebook을 제안하였다.

본 논문은 16 symbol mapping 변조기법에 쓰일 16개의 codebook을 제안하였다. red, green, blue을 이용해 만들 수 있는 4비트의 codeword는 36가지가 있는데 이중 16개의 codeword를 선택하였다. Codebook에서의 MD는 디코딩 에러에 영향을 미치므로 MD가 최대가 되도록 codebook을 만들었다.

시뮬레이션을 통해 기존의 4-CSK 방식과 제안하는 기법의 플리커 성능을 비교하였다. 플리커 성능을 비교하기 위해 플리커 성능을 측정할 수 있는 척도를 제안하였다. 플리커 성능을 비교한 결과 제안한 기법에서 플리커가 더 적게 나타났다. 또한 두 기법간의 BER을 비교해 본 결과 제안한 기법에서 error가 더 적게 나타나는 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1]Toshihiko Komine and Masao Nakagawa, “Fundamental Analysis for Visible–Light Communication System using LED Lights,” IEEE Trans.Consumers Electronics, vol 50, No 1, Feb 2014
- [2]김상규, 김대호, 장일순, 김유진, 강태규, “LED 조명과 결합된 가시광 무선통신 기술 동향,” 전자통신동향분석 제 25권 제 4호 2010 8월
- [3]Murat Uysal and Hatef Nouri, “Optical wireless communications – An Emerging Technology,” ICTON 2014, July 2014
- [4]Makoto Bessho and Keiichi Shimizu, “Latest trend in LED lighting,” Electronics and Communications in Japan, Vol 95, No 1, 2012
- [5]Eric Monteiro and Steve Hranilovic, “Design and Implementation of Color–Shift Keying for Visible Light Communication,” IEEE Journal of Lightwave Technology, Vol 32, No 10, May 2014
- [6]Sridhar Rajagopal, Richard D. Roberts, and Sang–kyu Lim, “IEEE 802.15.7 Visible Light Communication: Modulation Schemes and Dimming Support,” IEEE Communications Magazine, pp72–82, March 2012
- [7]Robert J. Drost and Brian M. Sadler, “Constellation Design for Color–Shift Keying Using Billiards Algorithms” IEEE Globecom 2010 Workshop on Optical Wireless Communications, pp 980–984, 2010

[8]Eirc Monteiro and Steve Hranilovic, “ Constellation Design for Color– Shift Keying Using Interior Point Method,” IEEE Workshop on Optical Wireless Communications, pp 1224–1228, 2012

Abstract

Flicker Mitigation Techniques for Visible Light Communication using CSK Modulation

Seohyun Lee

Department of Electrical and Computer Engineering
The Graduate School
Seoul National University

Recently, Visible light communication have received attention because of the development of IoT (Internet of Things) technology. Visible light communication uses visible light for the data transmission contrary to the legacy communication technique which uses radio wave (3kHz~300GHz). By means of using visible light, visible light communication performs illuminating function as well as data transmission. Therefore, many techniques which are related to illumination function have been researched. For example, there are dimming method and flicker mitigation technique. Legacy flicker mitigation technique is the technique which is used for OOK modulation.

We propose flicker mitigation technique for CSK (Color-Shift Keying) modulation in this paper. When we use CSK modulation, the

intensity of the lighting is constant, however, there is color variation. We can see this phenomenon as flicker. We propose red, green blue combination code which is able to keep the color balance in CSK modulation. We make code which the number of red, green, and blue is uniform and choose the codebook for the data transmission. When we choose the codebook, the factor that we have to consider is MD (Minimum Distance) of the codebook. As the MD becomes larger, the error probability of decoding becomes lessen. Thus, we choose the codebook which maximizes the MD. We simulate the legacy CSK scheme and proposed CSK scheme and compare the flicker degree between two schemes. We calculate the measure of the flicker by calculating the moving average of the vector of intensity of red, green, blue and then measuring distance with the vector which represents white light. Also, we analyze the BER of the two schemes.

Keywords: IoT (Internet of Things), Visible Light Communication, Color-Shift Keying, Flicker

Student Number: 2013-20847