

논문 2010-47IE-4-8

3차원 색채 공간 기반의 가시광 통신 변조기법 성능개선 연구

(Study on the Performance Improvement of VLC Modulation Scheme Based on 3-Dimensional Color Space)

이 경 근*, 윤 기 방**, 박 영 일***, 김 기 두***

(Kyung-Keun Lee, Ki-Bang Yun, Youngil Park, and Ki-Doo Kim)

요 약

본 논문에서는 색채 공간의 불균일도를 반영한 3차원 색채공간에서의 심벌판정 기법을 제안하고, 2차원 색채 공간에서의 심벌 판정 기법과의 BER 성능을 비교 분석한다. 제안한 방법은 색채 공간에서의 심벌 영역을 3차원 RGB 공간에서 색채공간으로 변환하여 구하기 때문에 불균일도를 반영하고 있으면서 Y값에 해당하는 한 개의 차원이 증가함으로써 생기는 이득으로 인하여 2차원 색채 공간 기반 판정기법에 비하여 BER 측면에서 우수한 성능을 보여준다. 본 논문에서는 AWGN 및 common mode noise의 채널 환경에서 2차원 색채 공간 기반 심벌판정 기법과 비교하여 제안한 3차원 색채 공간 기반 심벌판정 기법의 BER 성능 개선 가능성을 수치적 시뮬레이션을 통해 입증한다.

Abstract

In this paper we propose symbol decision method reflecting the color non-uniformity in 3-dimensional color space. By comparing with 2-dimensional color space decision method, we show the superiority of BER performance of the proposed method. Proposed method may reflect the non-uniformity since the symbol decision boundary in color space is transformed from 3D RGB space, and one dimension corresponding to Y value is added. Therefore, we can obtain the better BER performance by using the symbol decision method in 3D color space. In this paper, through numerical simulation, show the superior BER performance of 3D color space symbol decision method compared with 2D color space symbol decision method under AWGN and common mode noise channel.

Keywords : VLC, CCM, WDM, Modulation, CIE 1931

I. 서 론

가시광 통신은 가시광을 이용한 통신방식으로 기존의 전파를 이용한 무선통신과는 통신 채널과 신호원에 큰 차이를 갖고 있다^[1]. 신호 자체가 기존 전파와는 특이한 특성을 갖고 있으므로 가시광 통신에서는 이를

잘 활용할 필요가 있다^[2]. 이전 연구에서 색채 공간의 특성을 반영한 수신 심벌 판정 기법을 제안하였다^[3]. 본 논문에서는 색채 공간 기반의 가시광 통신의 성능 개선 기법으로 3차원 색채 공간을 이용한 심벌판정 기법을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 동일한 채널잡음 조건하에서 이전 연구에서 제안한 기법의 BER 성능과 비교하여 제안한 기법의 성능 개선 효과를 입증하고자 한다.

* 학생회원, *** 평생회원, 국민대학교 전자공학부
(School of Electronics Eng., Kookmin University)

** 평생회원, 인천대학교 전자공학과
(Electronic Engineering Dept., University of Incheon)

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(No. 20090083890)

접수일자: 2010년11월12일, 수정완료일: 2010년12월7일

1. CIE 1931

CIE 1931 XYZ 색채 공간(혹은 CIE 1931 색채 공간)^[4]은 인간의 색채 인지에 대한 연구를 바탕으로 수학적으로 정의된 최초의 색채 공간 가운데 하나이다. 인간의 눈에는 단파장(S), 중파장(M), 장파장(L)의 세 가

지 빛을 받아들이는 수용기인 원추세포가 존재한다. 따라서 원칙적으로, 세 개의 변수로 인간의 색 감각을 표현할 수 있다. 삼색 자극값은 식 (1)과 같이 가산 혼합 모델에서 삼원색을 조합하여 원하는 색을 만들 수 있는 조합을 가리킨다. CIE 1931 색채 공간은 Y 값이 밝기 또는 조도의 값이 되도록 설계되어 있다. 따라서 색은 식 (2)와 같이 X, Y, Z로부터 계산된 두 개의 값 x, y로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} X &= 2.7689R + 1.7517G + 1.1302B \\ Y &= R + 4.5907G + 0.0601B \\ Z &= 0.0565G + 5.5943B \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\ y &= \frac{Y}{X+Y+Z} \end{aligned} \quad (2)$$

식 (3)은 x, y 좌표 값으로부터 X, Z 두 개의 자극값을 구하는 식이다. 식 (4)는 X, Y, Z로부터 R, G, B 값을 구하는 식이다.

$$\begin{aligned} X &= \frac{Y}{y}x \\ Z &= \frac{Y}{y}(1-x-y) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} R &= 0.4184657X - 0.15866Y - 0.08283Z \\ G &= -0.091169X + 0.252431 + 0.015708Z \\ B &= 0.0009209X - 0.00255 + 0.178599Z \end{aligned} \quad (4)$$

2. 2차원 색채 공간 기반 Boundary Decision

삼원색을 X, Y, Z 값으로 변환하는 과정은 비선형적이다. 따라서 색채 공간상의 거리는 두 색의 차이와 일치하지 않는다. 이러한 색채 공간의 특징은 심벌판정 시 에러확률을 증가시키는 요인으로 작용된다. 따라서 이전 연구에서는 이를 고려한 새로운 수신 심벌 판정 기법을 제안하였다^[3]. 이전 연구에서 제안한 수신 심벌 판정 과정은 네 단계로 나누어 설명할 수 있다.

첫째, 심벌을 색채 공간의 x, y 좌표로 매핑한다. 이때 x, y 좌표는 색채 공간 내에서 인접 심벌간 거리가 최대가 되도록 한다. 그림 1은 색채 공간상에서 인접심벌간 거리가 최대가 될 때의 심벌 위치를 보여준다^[4-5].

둘째, 각 심벌의 3차원 R, G, B 좌표를 중심으로 하고 서로 겹치지 않는 범위에서 최대크기를 갖는 구 (sphere)를 형성한다. 이 구는 채널을 통과하면서 노이

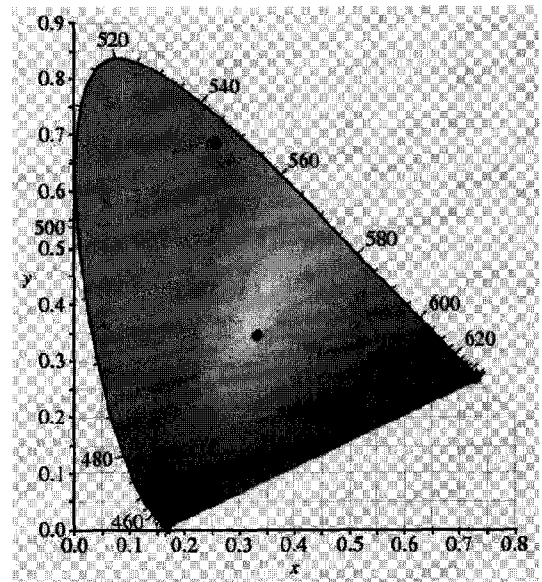


그림 1. 색채 공간에서의 심벌 위치
Fig. 1. Symbol position in color space.

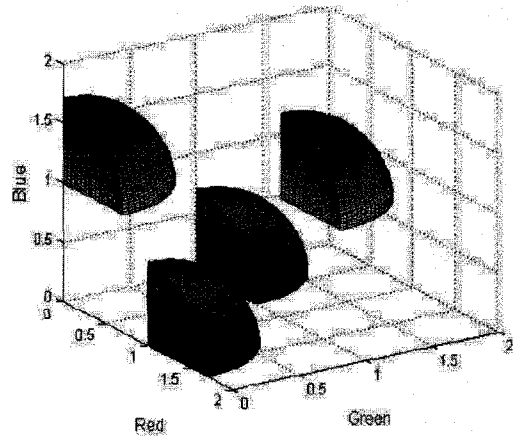


그림 2. Symbol intensity가 noise의 영향을 받은 것으로 가정한 구의 최종 모습
Fig. 2. The final sphere shape assuming that symbol intensity was affected by noise.

즈의 영향을 받아 심벌의 intensity가 변하는 모습을 가정한 것이다. 가시광 통신에서 노이즈는 태양광, 형광등과 같은 주변 광원에 기인한다. 거리에 따른 감쇄를 고려하지 않았을 경우에 수신단에 들어오는 광세기는 노이즈의 영향으로 인해 원래 세기보다 더 커지게 된다. 따라서 구의 모양도 3차원 축에서의 심벌위치를 기준으로 R, G, B 값이 커지는 방향만을 고려한다. 그림 2는 최종적으로 심벌의 intensity가 변하는 모습을 가정한 그림이다.

셋째, x, y 좌표에서의 심벌경계를 구하기 위해 두 번째 단계에서 구한 구의 표면좌표를 색채 공간으로 변

환한다. 심벌영역을 색채 공간에서 바로 구하는 것이 아니고 R, G, B 값에서부터 구하고 이를 식 (1), (2)을 이용하여 x, y 좌표로 변환하기 때문에 색채 공간이 가지고 있는 불균일도를 반영하고 있다.

넷째, 심벌을 판정하는 기법은 수신된 심벌이 각 경계영역 내부에 위치하였을 경우에 그 영역에 해당하는 심벌로 판정한다. 영역 외부에 위치하였을 경우에는 수신 심벌로부터 가장 가까운 거리에 위치한 경계선을 찾은 후, 그 경계선에 해당하는 심벌을 송신심벌로 판정한다.

II. 본 론

RGB 삼원색이 섞여서 표현되는 색은 채도와 명도로 구분지어 나타낼 수 있다. CIE1931 색채공간은 채도를 나타내는 2차원 색 좌표계이므로 명도를 표현할 수 없다. RGB 삼원색을 이용한 가시광 통신 심벌의 위치는 3차원 공간으로 표현하지만 실제 심벌판정 과정은 2차원 색 좌표계에서 이뤄진다. 실제 색이 표현되는 3차원 RGB 공간에서 심벌 판정 공간인 2차원 색채 공간으로 RGB 값이 변환되는 과정에서 차원의 감소에 따른 손실을 피할 수 없게 된다. 본 논문에서는 채도를 표현하는 2차원 색 좌표계에 명도를 나타내는 Y값으로 한 개의 차원을 추가해 3차원 공간에서 심벌을 판정하는 기법을 제안한다. 따라서 3차원으로 심벌 영역을 확장하였을 경우에 차원 증가 이득으로 에러 확률을 낮출 수 있다. 제안한 수신 심벌 판정 과정은 다음과 같다.

첫째, 심벌을 3차원 색채 공간의 x, y, Y 좌표로 매핑한다. 이때 x, y, Y 좌표는 색채 공간 내에서 인접 심벌 간 거리가 최대가 되도록 한다. x, y, Y 좌표로 매핑된 각 심벌의 좌표값을 식 (3)과 식 (4)를 통해 R, G, B 값으로 변환한다.

둘째, 각 심벌의 3차원 R, G, B 좌표를 중심으로 서로 겹치지 않는 범위에서 최대 크기를 갖는 구(sphere)를 형성한다. 이 구는 채널을 통과하면서 노이즈의 영향을 받아 심벌의 intensity가 변하는 모습을 가정한 것이다. 서로 겹치지 않으면서 최대 크기를 갖는 구를 구하기 위해서 각 심벌의 R, G, B 좌표에서 가장 가까운 심벌과의 거리를 지름으로 한다.

셋째, x, y, Y 좌표에서의 심벌경계를 구하기 위해 두 번째 단계에서 구한 구의 표면좌표를 색채 공간으로 변환한다. 두 번째 단계에서 서로 겹치지 않는 범위에서

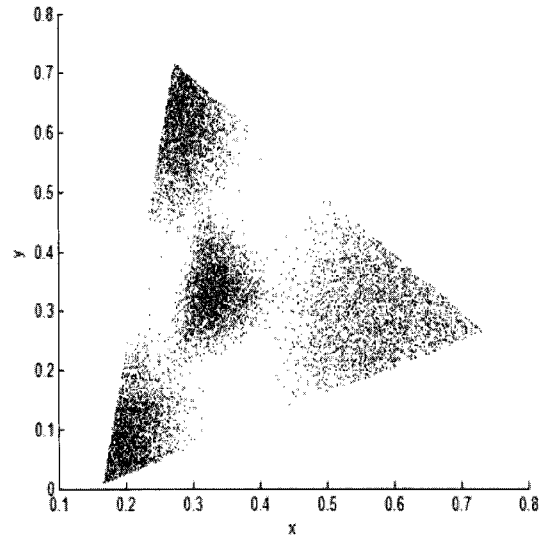


그림 3. 2차원 색채 공간에서 표현된 AWGN 채널 환경에서 수신된 수신심벌의 분포

Fig. 3. Distribution of received symbols under AWGN channel represented in the 2-dimensional color space.

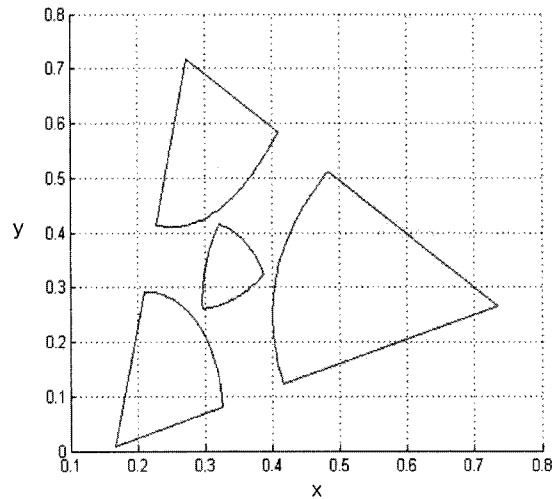


그림 4. 2차원 색채 공간에서의 심벌 경계

Fig. 4. Symbol boundary in the 2D color space.

서 최대 크기를 갖는 구를 구하였으므로 변환된 표면좌표는 에러 없이 판정 가능한 최대크기의 심벌영역을 유지하면서 심벌 판정을 할 수 있는 축이 한 개가 증가하게 된다. 이렇게 만들어진 영역은 심벌 경계 영역이 되고 심벌을 판정하는 기준이 된다. 그림 3은 2차원 색채 공간에서 표현된 AWGN 채널 환경에서 수신된 심벌이고 그림 4는 이전 연구에서 제안한 2차원 색채 공간 심벌 경계이다. 그림 5는 3차원 색채 공간에서 표현된 AWGN 채널 환경에서 수신된 수신심벌이고 그림 6은

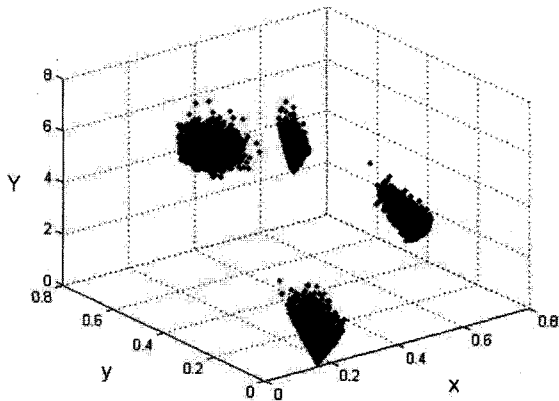


그림 5. 3차원 색채 공간에서 표현된 AWGN 채널 환경에서 수신된 수신심벌 분포

Fig. 5. Distribution of received symbols under AWGN channel represented in the 3D color space.

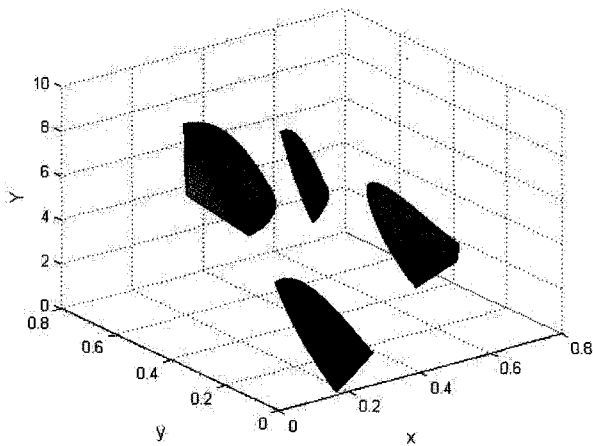


그림 6. 3차원으로 확장한 색채 공간에서의 심벌경계

Fig. 6. Symbol boundary fin the 3D color space.

본 논문에서 제안한 3차원 색채 공간 심벌경계이다.

넷째, 심벌을 판정하는 기법은 수신된 심벌이 각 경계 영역 내부에 위치하였을 경우에 그 영역에 해당하는 심벌로 판정한다. 영역 외부에 위치하였을 경우에는 수신심벌로부터 가장 가까운 거리에 위치한 경계면을 찾은 후, 그 경계선에 해당하는 심벌을 송신심벌로 판정한다.

제안한 기법은 심벌 영역을 R, G, B 값으로부터 x, y, Y 좌표로 변환하기 때문에 색채 공간이 가지고 있는 불균일도를 반영하고 있으면서 심벌 공간도 3차원으로 확장되었다. 제안한 기법은 x, y 좌표로 심벌을 판정하는 이전 연구에 비해 Y값을 이용해 추가적인 심벌 판정이 가능하므로 에러 확률을 줄일 수 있다. 확장된 차원인 Y값은 R, G, B 값을 색채공간으로 변환하는 과정

에서 얻어지는 값이므로 차원 확장에 따르는 추가적인 과정 없이 얻을 수 있다. 본 논문에서는 편의상 이전 연구에서 제안한 수신심벌 판정기법을 2D-boundary decision, 본 논문에서 제안한 수신심벌 판정기법을 3D-boundary decision이라고 명한다.

III. 시뮬레이션

본 연구에서는 채널 노이즈로 AWGN만 고려한 경우와 AWGN과 common mode noise를 함께 고려한 경우, 두 가지 경우에 대해서 2D-boundary decision, 3D-boundary decision 방식을 통한 BER 성능을 비교하고자 시뮬레이션을 수행하였다. 가시광 통신에서 R, G, B가 받는 노이즈의 영향은 채널환경에 따라 색상별로 서로 다를 수 있다. 예를 들어, 주변 노이즈 광원에 붉은 색이 많을 경우 Green, Blue에 비해 Red의 노이즈 신호가 더 많이 수신될 것이다^[3]. 이와 같은 이유로 본 시뮬레이션에서는 R, G, B 각각에 대해 서로 다른 AWGN을 고려한다. Common mode noise는 AWGN과 별개로 노이즈에 white광이 섞여 있어서 광원의 intensity에 동일한 크기의 노이즈가 섞였을 때를 가정한 것이다. 따라서 common mode noise는 R, G, B에 동일한 값의 노이즈가 더해진다. AWGN은 MATLAB 7.6.0 awgn() 함수를 이용하여 구현하였고, common mode noise의 세기는 평균 심벌 intensity의 -10dB로 가정하였다. 본 시뮬레이션에서는 4개의 심벌을 사용하여 데이터를 전송하고, 4개의 심벌을 사용하는 CCM(Color Code Modulation)^[6]을 4CCM이라고 명한다. 표 1은 시뮬레이

표 1. 2차원 xy 좌표와 3차원 xy 좌표, Y값
Table 1. 2-dimensional x, y values and 3-dimensional x, y, Y values.

symbol	2차원		3차원		
	x	y	x	y	Y
00	0.688	0.248	0.671	0.251	2.3
01	0.27	0.692	0.274	0.684	4.5
10	0.1666	0.0089	0.1664	0.0087	0.06
11	0.3333	0.3333	0.3333	0.3333	5.6

선에 사용된 4CCM에서의 x, y 좌표값과 Y값을 나타낸다. 본 논문에서 신호의 파워는 심벌의 intensity로 가정하였고, 동일한 실험조건을 2D-boundary decision과 3D-boundary decision의 평균 intensity를 같게 하였다.

본 시뮬레이션에서 적용된 송수신 과정은 그림 7과 같다. 2D-boundary decision의 경우에 입력된 데이터열은 색채 공간내의 x, y 2차원 좌표로 매핑되고 3D-boundary decision의 경우에 x, y, Y 3차원 좌표로 매핑된다. 매핑된 심벌은 좌표에 해당하는 R, G, B 값으로 변환되어 LED를 통해 전송된다. 수신된 R, G, B 값은 각각 2차원 x, y 좌표와 3차원 x, y, Y 좌표값으로 변환된다.

그림 8은 AWGN 채널 환경에서 2D-boundary decision과 3D-boundary decision을 적용하였을 때의 BER 성능을 비교한 그래프이다. 3D-boundary decision을 적용하였을 경우에 2D-boundary decision 보다 BER 성능이 우월한 것을 볼 수 있다. BER이 10^{-3} 일 때

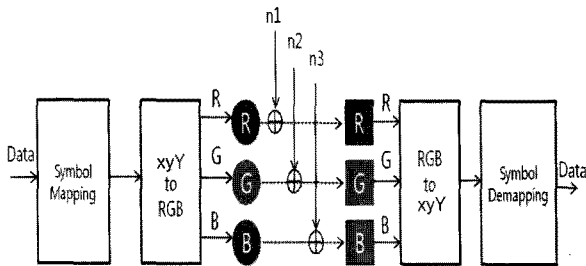


그림 7. CCM 방식에 대한 블록 다이어그램
Fig. 7. Block diagram for CCM method.

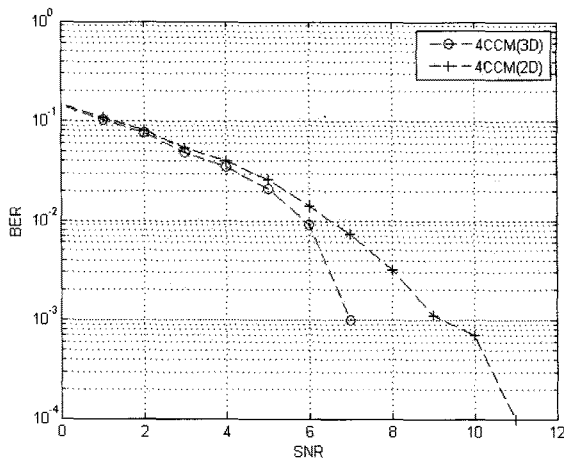


그림 8. AWGN 환경에서 2차원 4CCM과 3차원 4CCM 방식의 BER 성능 비교
Fig. 8. BER performance comparison between 2D-boundary decision and 3D-boundary decision under the AWGN channel noise.

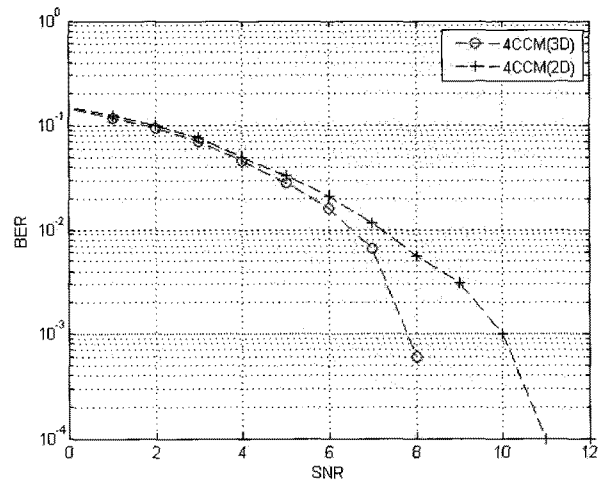


그림 9. AWGN+common mode noise 채널 환경에서 2차원 4CCM과 3차원 4CCM 방식의 BER 성능 비교
Fig. 9. BER performance comparison between 2D-boundary decision and 3D-boundary decision under AWGN+common mode noise.

SNR 관점에서 3차원 4CCM이 2차원 4CCM에 비해 약 2dB 가량 이득이 있다.

그림 9는 채널노이즈로 AWGN과 common mode noise를 함께 고려했을 경우 2D-boundary decision과 3D-boundary decision의 BER 성능을 비교한 그래프이다. BER이 10^{-3} 일 때 AWGN만의 채널 환경에 비해 2D-boundary decision은 약 1dB가, 3D-boundary decision은 약 0.5dB가 더 요구되는 것을 볼 수 있다.

그림 8과 그림 9의 결과를 통해, Y값에 해당하는 한 개의 차원을 추가함으로써 색채공간을 이용한 가시광 통신에서 BER 성능을 향상 시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 이전 연구에서 제안한 색채 공간의 불균일도를 반영한 수신 심벌 판정 기법에 심벌 공간의 차원을 증가시켜 심벌을 판정하는 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 x, y 좌표로 매핑된 심벌에 Y축이 추가된 3차원으로 심벌 공간을 확장하여 심벌 판정을 한다. 본 논문에서 제안한 기법으로 판정한 3차원 boundary decision의 경우 채널 노이즈로 AWGN만 고려하였을 경우와 AWGN+common mode noise를 고려하였을 경우 모두 2차원 boundary decision을 적용한 CCM에 비해 우월한 BER 성능을 보여주었다. 심벌 표현 공간이

한 차원 증가하면서 2차원 공간에서의 예러로 판정된 심벌이 3차원 공간에서 정상 송신심벌로 판정 될 수 있기 때문이다. 향후 제안한 기법이 전송속도에 미치는 영향과 다른 색채 공간에서의 적용 방법에 대한 연구를 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] H. Sugiyama, S. Haruyama, and M. Nakagawa, "Brightness Control Methods for Illumination and Visible Light Communication Systems," IEEE Wireless and Mobile Communications, pp. 78-83, 2007.

[2] 장수영, "가시광 무선 통신의 기술 특징 분석," 한국 통신학회지(정보와 통신), 제 26권, 제 5호, pp. 15-22, 2009년 3월

[3] 이경근, 박영일, 김기두, "색채 공간 기반의 가시광 통신 변조기법 성능개선 연구," 한국인터넷방송통신학회논문지, 제 10권, 제 4호, pp. 49-55, 2010년 8월

[4] T. Smith and J. Guild, "The C.I.E Colorimetric Standards and Their Use," Transaction of the Optical Society, Volume 33, Number 3, pp. 73-134, March 1932.

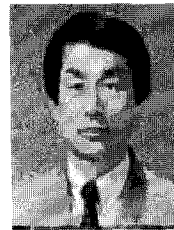
[5] Roy S. Berns, "Principles of Color Technology," 3rd Edition, John Wiley & Sons Inc., 2000.

[6] Project: IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks, "Samsung, Intel, ETRI and CSUS merged proposal text," November. 2009.

저 자 소 개



이 경 근(학생회원)
 2009년 국민대학교 전자공학과
 학사
 2010년~현재 국민대학교 전자
 공학과 석사과정
 <주관심분야 : 디지털 통신, 가시
 광 통신>



윤 기 방(평생회원)
 인천대학교 전자공학과 교수
 대한전자공학회 논문지
 제 39권 TE편 제 4호 참조



박 영 일(정회원)
 1987년 서울대학교 전기공학과
 학사
 1989년 서울대학교 대학원
 전기공학과 석사
 1995년 Texax A&M Univ. EE
 Dept. 박사



김 기 두(평생회원)
 국민대학교 전자공학부 교수
 대한전자공학회 논문지
 제 44권 TC편 제7호 참조

1995년~1999년 KT 가입자망 연구소
 1999년~현재 국민대학교 전자공학부 교수
 <주관심분야 : 광통신시스템, 광인터넷, 가시광통신>