

실내 환경의 공간 색온도 검출을 위한 이미지센서 모듈

문성재* · 김영우* · 임영석**

Image Sensor Module for Detecting Spatial Color Temperature in Indoor Environment

Seong-Jae Moon* · Young-Woo Kim* · Yeong-Seog Lim**

요약

본 논문에서는 실내 환경에서 색온도 검출이 가능한 이미지센서 모듈을 구현하였다. 이미지센서로 획득한 영상정보 내 색온도 정보는 색차조도계와 정합하여 LUT(Look Up Table)로 제작하였으며, 수광된 RGB값에 따른 색온도 정보가 자동 산출이 가능하도록 알고리즘을 개발하여 MCU(Micro Control Unit)에 반영하였다. 실내에서 이미지센서로 색온도를 측정된 결과 기준값 대비 5.91% 이하의 정확한 결과를 얻을 수 있었으며, 컬러센서를 이용한 색온도 측정 결과 대비 23.5% 이상의 균일도가 우수함을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we implemented an image sensor module possible of detecting color temperature in an indoor environment. The color temperature information in the video information acquired by the image sensor was matched with a color difference illuminometer to produce an LUT. An algorithm was developed so that color temperature information according to the received RGB values can be automatically calculated. As a result of measuring the color temperature with an image sensor indoors, an accurate result of less than 5.91% was obtained compared to the reference value. It was confirmed that the uniformity of 23.5% or more was excellent compared to the color temperature measurement result using a color sensor.

키워드

CMOS Image Sensor, Color Sensor, Spatial Color Temperature, Image Signal Processing, Auto White Balance
CIS, 컬러센서, 공간색온도, ISP, 자동 색온도 보정장치

1. 서론

빛과 색을 응용한 감성조명의 적용과 활용은 빛 환경에서 생활하는 인간의 정서와 행위에 여러 가지 영향을 미치게 된다[1]. 사람의 심리에 따라 조명에 대한 밝기, 색온도, 색채 등의 선호도가 다르며 피로도, 작업효율, 집중력 등에 영향을 미친다. 따라서 사용자

가 어떤 환경에 있는지를 확인하기 위해서는 인공조명으로 인해 만들어진 색온도 검출이 매우 중요하게 부각되고 있다[2-7].

기존 공간 색온도 검출방법은 사용 공간에 다수의 컬러센서를 배치하고, 센서로부터 검출된 색온도의 평균을 구하는 방식이 적용되고 있다. 컬러센서를 이용하여 데이터를 측정할 때는 센서의 특성상 주변 빛에

* 한국광기술원 연구원(sjmoon@kopti.re.kr)

** 교신저자 : 전남대학교 전자공학과

• 접수일 : 2021. 01. 22

• 수정완료일 : 2021. 02. 04

• 게재확정일 : 2021. 02. 17

• Received : Jan. 22, 2021, Revised : Feb. 04, 2021, Accepted : Feb. 17, 2021

• Corresponding Author : Yeong-Seog Lim

Dept. Electronic Engineering, Chonnam National University,

Email : limys@jnu.ac.kr

의한 조도와 물체와의 거리 등에 영향을 받기 때문에 컬러센서의 위치 선정이 매우 중요해진다[8-9]. 또한 검출 정확도를 증가시키기 위해서는 많은 수의 컬러센서가 필요하며, 데이터를 통합하는 복잡한 과정을 거쳐야 한다. 독립적으로 설치된 컬러센서를 운용하기 위해서는 별도의 전원을 공급해야 하며, 유선 형태로 데이터 수집 시 복잡한 배선 설치가 요구되거나, 무선의 경우에는 주파수 간섭 등의 문제가 발생 가능성이 높다.

본 논문에서는 이미지센서를 이용해 이러한 문제점을 보완한 검출방법과 이미지센서 모듈을 구현하였다. 제작된 이미지센서 모듈과 컬러센서와의 비교를 위해 색차조도계 (CL-200A) 측정값을 기준으로 설정하고, 컬러센서와 이미지센서 모듈을 통해 얻은 공간 색온도로 성능을 검증하였다.

II. 본 론

2.1 기존 공간 색온도 검출 알고리즘

기존의 컬러센서를 이용한 공간 색온도 검출 알고리즘은 컬러센서를 통해 RGB 값을 검출한 다음 식 (1)을 이용하여 X, Y, Z 값을 추출한다. 추출된 X, Y, Z 값을 기준으로 식 (2)에 의해 색도좌표 x, y 값을 추출한다. 색도좌표 x, y는 색 공간상에서의 좌표축을 의미한다. 색온도는 가장 일반적으로 CIE (International Commission on Illumination) 색 공간을 이용하여 검출한다[10-11].

$$\begin{aligned} X &= 0.412 \times R + 0.358 \times G + 0.180 \times B \\ Y &= 0.213 \times R + 0.715 \times G + 0.072 \times B \\ Z &= 0.019 \times R + 0.119 \times G + 0.950 \times B \end{aligned} \quad (1)$$

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

센서의 특성상 위치 선정이 매우 중요한 만큼 여러 개의 컬러센서를 통해 얻은 색온도 값의 평균을 구하여 정확도를 높인다. 그림 1은 기존 공간 색온도 검출 알고리즘을 나타낸 그림이다.

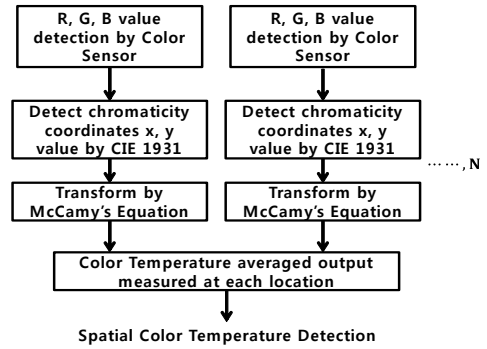


그림 1. 기존 공간 색온도 검출 알고리즘
Fig. 1 Traditional spatial color temperature detection algorithm

2.2 제안한 공간 색온도 검출 알고리즘

제안한 공간 색온도 검출 알고리즘은 이미지센서 모듈의 ISP (Image Signal Processing) 내 AWB (Auto White Balance) 동작 시 얻어지는 RGB값과 다수의 색차조도계에서 얻어진 공간 색온도의 평균값과의 관계를 LUT 형태로 생성한다. 그림 2는 제안한 공간 색온도 검출 알고리즘을 나타내는 그림이다.

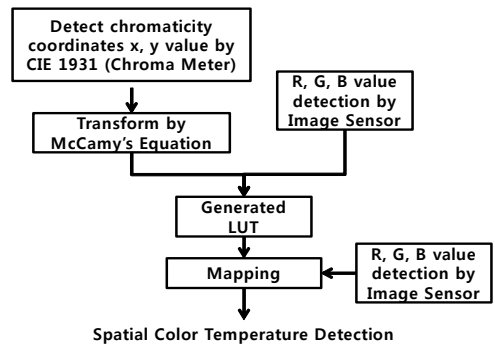


그림 2. 제안한 공간 색온도 검출 알고리즘
Fig. 2 Proposed spatial color temperature detection algorithm

Auto White Balance는 이미지센서의 특성상 광원의 색이 물체에 반사되어 들어오기 때문에 물체의 고유한 색이 아닌 왜곡된 색을 받아들리게 된다. 이에 따라 들어온 영상의 색차신호를 가지고 색차 평균을 산출하고, 이것을 원점으로 수렴시키기 위해 RGB 값을 조절하여 보정하는 것이다. 그림 3은 이미지센서를 통해 검출된 흰색이 실제의 흰색과 차이가 있어 RGB

값을 조절하여 실제의 흰색으로 이동시키는 것을 보여주는 그림이다.

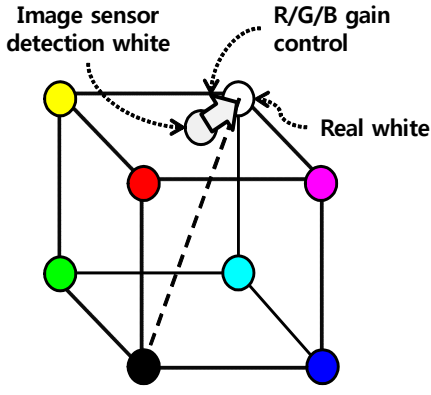


그림 3. AWB 동작
Fig. 3 Operation of auto white balance

LUT 생성 방법은 색온도 가변이 가능한 광원박스에 광원박스의 바닥면을 이미지센서 모듈이 촬영할 수 있도록 설치하고, 색온도를 가변시킨다. 이미지센서 모듈 동작 시 얻을 수 있는 RGB값과 색차조도계로 다수의 포인트에서 측정된 결과값을 기반으로 1차 관계를 생성한다. 추가적으로 실증 환경에서 동일한 방식으로 이미지센서 모듈을 설치하고, RGB값과 색차조도계로 다수의 포인트에서 측정된 결과값을 통해 관계를 생성하여 2차 보정작업을 거친다. 그림 4는 LUT (Look Up Table) 생성 모습이다.

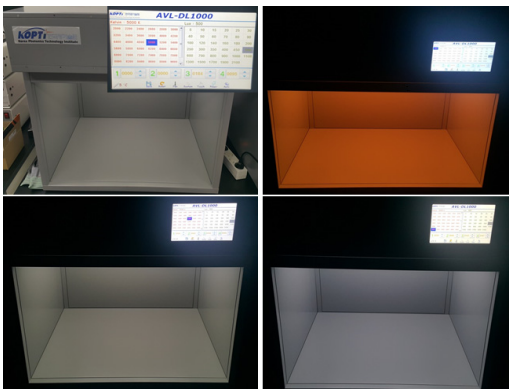


그림 4. LUT 생성모습
Fig. 4 Creation of LUT

III. 설계 및 구현

그림 5는 이미지센서 모듈의 블록도로 이미지센서, ISP, USB 컨버터, Micro Controller로 구성되어 있으며, 이미지센서는 빛에너지를 전기에너지로 변환시키는 역할을 하며, ISP는 영상의 화질 개선 등 사람이 보기 좋도록 개선시키는 역할을 한다. USB 컨버터는 영상을 USB Interface로 출력시키기 위함이다. Micro Controller는 동작 시 발생된 RGB값을 I2C Interface를 통해 수신하는 역할을 하며, 수신된 RGB값에 따라 제안한 공간 색온도 검출 알고리즘을 동작시킨다.

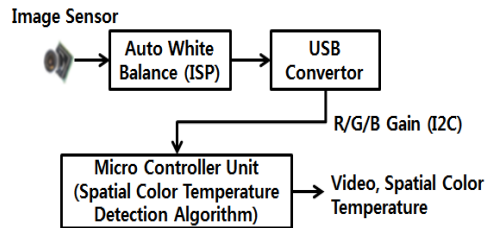


그림 5. 이미지센서 모듈의 블록도
Fig. 5 Block diagram of image sensor module

Image Sensor Module H/W는 소니사의 IMX225 이미지센서와 텍스트칩사의 NVP2430 ISP를 기반으로 제작하였다.

F/W는 데이터 송수신 및 영상 전송을 위한 I/O 등과 AWB 기능 동작 등이 구현되어 있다. 사용한 S/W는 IAR embedded workbench 8051를 이용하였으며, 코드 내에 외부와의 데이터 통신을 위한 I2C interface를 구현하여 적용하였다.

Micro Controller의 H/W는 임베디드 리눅스 기반 뉴로메카사의 BBAir를 구매하여 이용하였으며, F/W는 node.js 기반 공간 색온도 검출 알고리즘을 적용하였다. 또한 영상도 함께 출력되도록 구현하였다. 그림 6는 Micro Controller의 F/W 상 데이터 입출력 I/O 및 공간 색온도 검출 LUT를 생성한 모습이다.

```

var serialport = require('serialport');
var SerialPort = serialport.SerialPort;
var io = require('socket.io')(8383);
var dict = require('collections/dict');

Wire.writeBytes([0x10, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x69, 0x00, 0x00], function (err) { // tx packet
Wire.writeBytes([0x00, 0x00], function (err) { // interrupt packet
Wire.writeBytes([0x10, 0x00], function (err) { // tx packet
Wire.read(6, function (err, res) { // tx packet - read
//console.log('res: '+res);
if(res[0] == 0x66 res[1] == 0x24) {
red = res[2];
blue = res[3];
}});
var red_cal = 20.0;
var blue_cal = 85.2;
var reference_val=168.6;
var reference_red=114;
var reference_blue=130;
if (red != 'xxx' )
color = Math.floor(reference value-(red_cal*(reference_red-red))+blue_cal*(reference_blue-blue));
    
```

Data Input/Output path

R/B Gain
Address Access

Color Temperature
Detection LUT

그림 6. 생성된 공간 색온도 검출 LUT
Fig. 6 Generated spatial color temperature detection LUT

IV. 성능평가

제한한 공간 색온도 검출방법의 성능을 판단하기 위해 실내 환경에서 색차조도계를 기준값으로 설정하고, 컬러센서와 이미지센서를 통해 얻은 데이터를 기준값과 비교하여 차이를 분석하였다.

그림 7는 성능평가 구조 모습으로 오후 3시부터 저녁 8시까지 30분 간격으로 측정하였다.

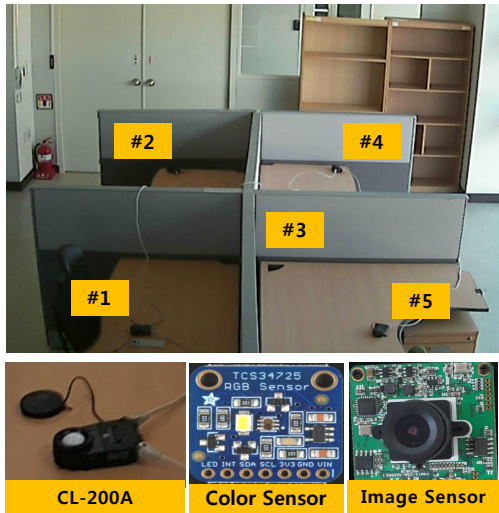


그림 7. 성능평가
Fig. 7 Performance evaluation

컬러센서의 H/W는 컬러센서와 아두이노 우노를 연결하였으며, F/W는 아두이노에서 제공되는 S/W를 이용하여 시리얼 통신이 가능하도록 하였으며, 컬러센

서에서 제공되는 알고리즘을 통해 색온도가 출력되도록 하였다. 그림 8은 컬러센서 펌웨어의 구현으로 시리얼 통신과 색온도 검출 S/W 모습이다.

```

void setup() {
Serial.begin(9600);
if (tsc.begin()){
Serial.println("Found Sensor");
} else{
Serial.println("No TCS34725 found... check your connections");
while(1);
}
pinMode(redpin, OUTPUT);
pinMode(greenpin, OUTPUT);
pinMode(bluepin, OUTPUT);
}

void loop() {
uint16_t clear, red, green, blue;
delay(100);
tsc.getRawData(&red, &green, &blue, &clear);
int r = map(red, 0, 21504, 0, 1025);
int g = map(green, 0, 21504, 0, 1025);
int b = map(blue, 0, 21504, 0, 1025);
analogWrite(redpin, r);
analogWrite(greenpin, g);
analogWrite(bluepin, b);
Serial.print("/tR:/t"); Serial.print(r);
Serial.print("/tG:/t"); Serial.print(g);
Serial.print("/tB:/t"); Serial.print(b);
}
    
```

Serial Port
Open

Get R/G/B
Data

그림 8. 컬러센서 펌웨어의 구현
Fig. 8 Implementation of color sensor F/W

컬러센서 1개 (1 point), 컬러센서 5개 (5 point), 이미지센서 3가지 형태를 비교하였다. 컬러센서 1개의 색온도는 그림 7의 #3 지점에서 측정된 값을 나타낸다. 컬러센서 5개의 공간 색온도는 식 (3)과 같이 5개 지점에서 측정된 값의 평균으로 구한다. 이미지센서 모듈의 공간 색온도는 그림 7의 영역에서 검출된 값을 나타낸다.

$$Mean(X) = \frac{\sum_{i=1}^N(x_i)}{N} (i = 1, 2, \dots, 5) \quad (3)$$

성능비교 결과 컬러센서 1개의 최소차이는 4.82%, 최대차이 43.64%, 최대차이와 최소차이 차 38.82%이며, 컬러센서 5개는 최소차이는 2.34%, 최대차이 26.49%, 최대차이와 최소차이 차 24.15%이며, 이미지센서는 최소차이는 0.24%, 최대차이 5.91%, 최대차이와 최소차이 차 5.67%의 차이가 있는 것을 확인하였다. 그림 9은 센서별 차이를 표시한 그림이다.

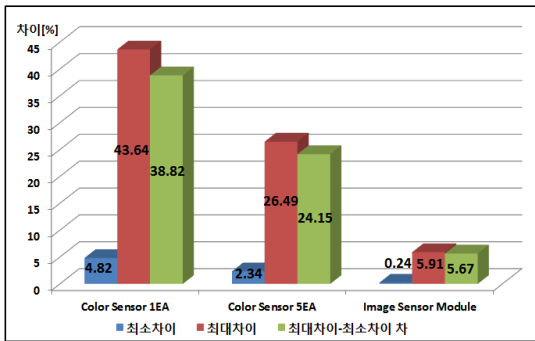


그림 9. 센서별 차이
Fig. 9 Differences by sensor

V. 결 론

기존 공간 색온도 검출 알고리즘에 대한 문제점을 해결하기 위해 공간 색온도를 검출하는 이미지센서 모듈을 설계 및 구현하였다. 성능검증은 실내 환경에서 색차조도계를 기준값으로 설정하고, 컬러센서와 이미지센서 모듈을 통해 얻어진 공간 색온도를 기준값과의 차이를 비교하였다. 이미지센서로 색온도를 측정 한 결과 기준값 대비 5.91% 이하의 정확한 결과를 얻을 수 있었으며, 컬러센서를 이용한 색온도 측정 결과 대비 23.5% 이상의 균일도가 우수함을 확인하였다. 이에 따라 기존 방법보다 우수한 성능을 가지며, 다양한 분야에서 활용도가 높을 것으로 보인다. 하지만 제안한 알고리즘에 대해 전력소모, 주파수 간섭, 네트워크 구성 복잡도, 유지보수 측면에서 유리한 정도와 광원별 센서의 응답 특성, 실내와 야외에 따른 알고리즘 보정화 기술에 대해서도 추가 연구가 필요해 보인다.

감사의 글

이 논문은 2021년 산업기술혁신사업의 지원에 의한 논문임 (No. 20004479)

References

- [1] S. J. Lim, "Design of RBFNN-based Emotional Lighting System Using RGBW LED," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 62, no. 5, pp.696-704, May. 2013.
- [2] S. Y. Chun, "A Development of a Portable Color Scanner Using Photo Sensors for Full-Color LED Illumination Control," *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 25, no. 11, pp.14-25, Nov. 2014.
- [3] S. Park, "A consideration and prospects of psychological research on lighting," *Korean Journal of Psychology:General*, vol. 30, no. 1, pp.139-159, 2011.
- [4] H. Park, "The effect of LED lighting colors on the rating and recognition of Korean affective words," *International Conference on LED and Solid State Lighting*, 2011.
- [5] J. S. Lee, "Research on the influence of Fatigue Evaluation under the Workspace from Correlated Color Temperature and Illuminance of LED Lighting," *Journal of Korea Society of Color Studies*, vol. 26, no. 1, pp.45-53, Feb. 2012.
- [6] H. W. Lee, "The Effect of Color Temperature and Illuminance of LED Lighting on Heart Rate Variability," *Korean Society of Color Studies*, pp.29-32, May. 2017.
- [7] E. J. Seo, "Study on Learning Proper Type of Lighting Environment Derived in Accordance with Attention and Concentration," *Korean Society of Color Studies*, pp.86-92, May. 2016.
- [8] D. Y. Kim, "RSSI-Based Indoor Localization Method Using Virtually Overlapped Visible Light," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 63, no. 12, pp.1697-1703, Nov. 2014.
- [9] S. J. Lee, "A Novel Accurate Light Measurement Sensor Using Reference Color Sensor," *The Institute of Electronics and Information Engineers*, pp.602-605, Jun. 2017.
- [10] J. S. Kim, "Detection of Color Information Using Optical Method," *The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 64, no. 1, pp.159-164, Jan. 2015.

- [11] C. U. An, "Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences," *Korea Institute of Communication Sciences*, pp.1312-1313, Jan. 2019.

저자 소개



문성재(Seong-Jae Moon)

2009년 전북대학교 전기전자공학과 졸업(공학사)
2015년 전남대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

2017년 전남대학교 대학원 전자공학과 수료(공학박사)

2012년 ~ 현재 한국광기술원 광전융합소자연구센터 연구원

※ 관심분야 : 이미지신호처리, IoT시스템



김영우(Young-Woo Kim)

1996년 전북대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)
2005년 한양대학교 대학원 전자통신전파공학과 졸업(공학석사)

2010년 전남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2005년 ~ 현재 한국광기술원 광원연구본부 본부장

※ 관심분야 : 신호처리, 초고주파 회로설계



임영석(Yeong-Seog Lim)

1980년 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1982년 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1989년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1984년 ~ 현재 전남대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 신호처리, 초고주파 회로설계