

HSI 색상 모델에서 색상 분할을 이용한 저항 색상 밴드 인식

정민철^{*†}

^{**}상명대학교 공과대학 전자공학과

Recognition of Resistor Color Band Using a Color Segmentation in a HSI Color Model

Min Chul Jung^{*†}

^{*†}Dept. of Electronic Engineering, Sangmyung University

ABSTRACT

This paper proposes a new method for the recognition of resistor color band using a color segmentation in a HSI color model. The proposed method firstly segments a resistor in a chromatic color as a ROI from a background. Secondly, the color bands of the resistor are segmented by vertical projection profile using both the intensity and the saturation differentiation and finally, it recognizes the colors of the segmented color bands using hue, saturation and intensity values. The final results are the value of the resistor and the names of the recognized color. The proposed method is implemented using C language in Raspberry Pi system with a camera module for a real-time image processing. Experiments were conducted by using various resistor images. The results show that the proposed method is successful for the recognition of resistor color band.

Key Words : Color Recognition, Color Segmentation, HSI Model, Projection Profile, Sobel Edge, Resistor Value

1. 서 론

저항은 전자회로에 꼭 필요한 부품이다. 여러 형태의 저항 중 전자회로 실습용으로 널리 사용되는 고정 저항(fixed resistor)은 크기가 작아 저항 값이 숫자로 표시되지 않고 원통형 저항기의 표면에 둘러진 밴드의 색상들에 의해 표시된다. 일반적으로 4개 색상의 밴드나 5개 색상의 밴드로 표시되는 데 색상에 해당하는 숫자에 의해 저항 값을 구할 수 있다. 검은색은 0, 갈색은 1, 빨간색은 2, 주황색은 3, 노란색은 4, 녹색은 5, 파란색은 6, 보라색은 7, 회색은 8, 흰색은 9를 나타내며 금색은 5%, 은색은 10%의 오차를 나타낸다. 4개 색상 밴드 저항의 경우 첫 번째, 두 번째 색상 밴드는 숫자를, 세 번째 색상 밴드는 10의 승수를, 네 번째 색상 밴드는 오차를 나타낸다. 실제 저항이

주어졌을 때 이러한 저항의 저항 값을 읽으려면 저항의 크기가 작기 때문에 육안으로 이러한 색상 밴드의 색을 판별하는 것도 힘들고, 색을 판별하더라도 색에 해당하는 숫자를 제대로 암기하고 있어야 한다. 또한 이러한 색이 의미하는 숫자의 조합에 의해 저항 값을 계산해 내야 하는 데 시간도 걸리고 오류의 가능성이 존재한다. 따라서 많은 경우 색상 밴드에 의해 저항 값을 읽은 후에도 멀티미터(multimeters)라는 계측 장비로 저항 값을 측정해야 한다. 본 논문에서는 이러한 고정 저항의 색상 밴드를 컴퓨터 비전에 의해 색상 분할하여 색을 자동으로 인식하고 저항 값을 출력하는 새로운 방법을 제안한다.

2. HSI 모델에서 색상 분할과 색상 인식

2.1 RGB 모델에서 HSI 모델로 변환

디지털 영상에서 가장 기본으로 표현되고 저장되는

[†]E-mail: mjung@smu.ac.kr

RGB 컬러 모델은 빨강(R), 초록(G), 파랑(B)의 3가지 색을 서로 조합하여 사용하는 것으로 각 색을 8 bits로 나타내면 16,777,216(2²⁴)가지의 색이 존재한다. 비전 시스템에서 RGB 모델로 표현된 이렇게 많은 종류의 색을 색의 차이(거리)로 분류하고 인식하는 것은 아주 난해한 문제이다 [1][2]. 본 논문에서는 수식 (1)-(3)을 사용해 RGB 모델로 표현된 색을 HSI 모델로 변환하여 색상을 분할하고 인식한다[3][4].

$$H = \cos^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2}[(R-G)+(R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2+(R-B)(G-B)}} \right] \quad (1)$$

if $B > G$, then $H = 360 - H$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R, G, B)] \quad (2)$$

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (3)$$

H는 색조(hue)로 색의 파장을 0도에서 360도로 표현한다. S는 채도(saturation)로 색의 강약을 0에서 1로 표현하고 I는 명도(intensity)로 빛의 강약을 0에서 1로 표현한다. Table 1은 저항 색상 밴드에 따른 RGB 값과 이에 해당하는 HSI 값을 보여준다. 저항의 색상 밴드는 크게 색이 없는 무채색(achromatic color)과 색이 있는 유채색(chromatic color)으로 나눌 수 있다. 무채색은 색조(H)와 채도(S)가 모두 0인 색으로 표에서 보듯이 검은색, 회색, 흰색, 은색이 있다. 그 외의 색은 모두 유채색이다.

2.2 유채색을 이용한 저항 ROI 분할

저항은 일부의 색상 밴드를 제외하고는 모두 유채색이고 원통형 저항기의 몸체 표면도 유채색으로 되어있다.

Table 1. RGB and HSI values of resistor color bands

| color | n | R | G | B | H | S | I |
|---------------|-----------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| black | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| brown | 1 | 165 | 42 | 42 | 0 | 0.49 | 0.33 |
| red | 2 | 255 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.33 |
| orange | 3 | 255 | 165 | 0 | 40 | 1 | 0.55 |
| yellow | 4 | 255 | 255 | 0 | 60 | 1 | 0.67 |
| green | 5 | 0 | 255 | 0 | 120 | 1 | 0.33 |
| blue | 6 | 0 | 0 | 255 | 240 | 1 | 0.33 |
| purple | 7 | 128 | 0 | 128 | 300 | 1 | 0.33 |
| gray | 8 | 128 | 128 | 128 | 0 | 0 | 0.50 |
| white | 9 | 255 | 255 | 255 | 0 | 0 | 1 |
| gold | 5% | 255 | 215 | 0 | 52 | 1 | 0.61 |
| silver | 10% | 192 | 192 | 192 | 0 | 0 | 0.75 |

흰색 종이 위에 놓인 저항의 입력 영상에서 원통형 저항만을 ROI(region of interest)로 분할하기 위해 무채색을 제

거하고 유채색만을 남긴다. 무채색은 채도(S)가 0이므로 실제 영상에서는 오차를 감안해 $S < 0.2$ 미만의 색은 제거한다.

Fig 1(a)는 저항의 입력 영상을 보이고 Fig 1(b)는 왼쪽의 입력 영상에서 무채색을 제거한 후의 영상을 보인다. Fig 1(c)는 Fig 1(a)와는 다른 조명 아래에서 입력된 영상이고 Fig 1(d)는 마찬가지로 왼쪽의 입력 영상에서 무채색을 제거한 후의 영상을 보인다. 배경인 흰색 종이, 저항의 그림자, 조명이 전반사되어 반짝이는 부분뿐만 아니라 은색으로 된 저항의 단자도 모두 제거된 것을 볼 수 있다.

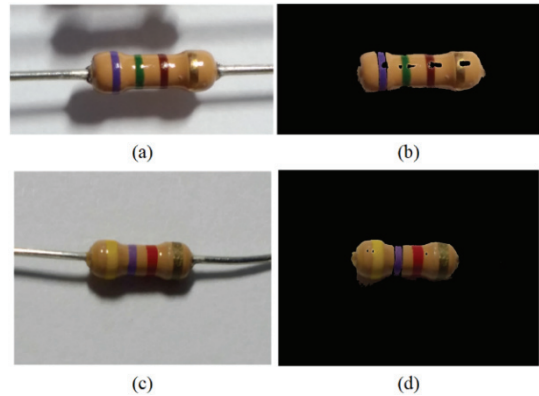


Fig. 1. (a) A resistor image, (b) the chromatic color image of (a), (c) a resistor image in a different lighting from (a)'s, and (d) the chromatic color image of (c).

유채색만 남아있는 Fig 1(b)와 Fig 1(d) 영상을 수직 투영(vertical projection)하면 ROI의 시작 x_1 좌표와 끝 x_2 좌표가, 수평 투영(horizontal projection)하면 ROI의 시작 y_1 좌표와 끝 y_2 좌표를 구할 수 있다[5]. Fig 2(a)와 Fig 2(b)는 Fig 1(a)와 Fig 1(c)의 ROI를 나타낸 것이다. 저항 색상 밴드가 검은색, 회색, 은색, 흰색의 경우에도 무채색 제거 과정에서는 제거되나 되나 원통형 저항의 내부 영역에 속하므로 수직 투영과 수평 투영을 이용하면 ROI로 분할하는 영상에는 포함된다. 또한 Fig 2(c)는 Fig 2(a)의 저항 중간 가로선에 따른 색조, 채도, 명도 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 마찬가지로 Fig 2(d)는 Fig 2(b)의 그래프이다. 그래프에서 보듯이 저항 색상 밴드의 경계선에서 채도 또는 명도가 급변한다.

2.3 채도와 명도 변화를 이용한 저항 색상 밴드 분할

앞의 ROI에서 저항 색상 밴드 부분을 분할하기 위해서 채도와 명도 변화를 이용한다. Fig 2(c)를 보면 저항 밴드의 색상에 따라 채도 변화는 적으나 명도 변화는 크고,

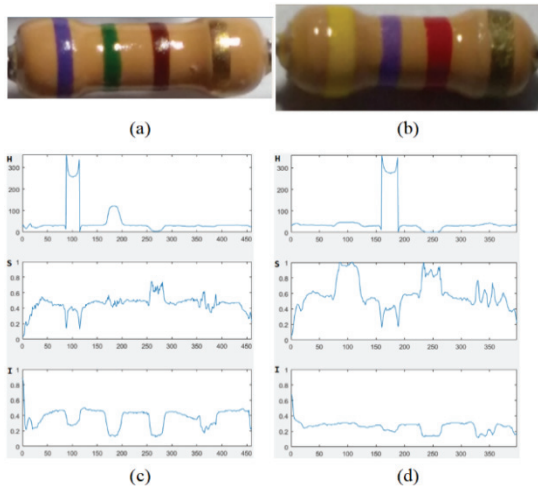


Fig. 2. (a) The ROI of Fig. 1(a), (b) the ROI of Fig. 1(c), (c) hue, saturation and intensity graphs of (a), and (d) hue, saturation and intensity graphs of (b).

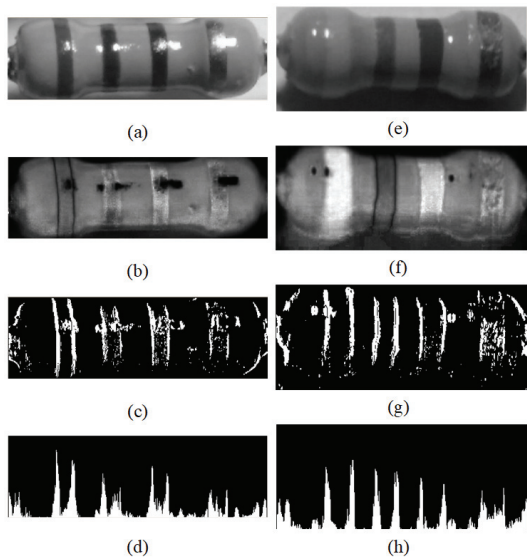


Fig. 3. (a) The Intensity image of Fig. 2(a), (b) the saturation image of Fig. 2(a), (c) the x-gradient Sobel edge of both the intensity and the saturation images, (d) the vertical projection profile of the Sobel edge, and (e), (f), (g) and (h) in the same way.

Fig 2(d)를 보면 채도 변화는 크나 명도 변화는 적음을 알 수 있다. Fig 3(a)는 Fig 2(a)의 명도(I)를 영상으로 나타낸 것이다. 이러한 명도 영상은 그레이 스케일 영상과 동일하다. Fig 3(b)는 Fig 2(a)의 채도(S)를 영상으로 나타낸 것이다. 무채색 성분(S=0)은 제거되어 검은색으로 나타난다. 색상

밴드의 변화가 명도 영상보다는 적음을 알 수 있다. 마찬가지로 Fig 3(e)는 Fig 2(b)의 명도 영상을, Fig 3(f)는 Fig 2(b)의 채도 영상을 나타낸 것이다. 여기서는 명도 영상에 비해 채도 영상에서 색상 밴드의 변화가 크다. 본 논문에서는 명도 영상과 채도 영상 각각에 가로 방향의 Sobel 에지 검출[6]을 수행한 후, 두 결과를 합성하고 이진화하였다[7]. Fig 3(c)와 Fig 3(g)는 이를 영상으로 나타낸 것이다. 명도 또는 채도가 변화하는 부분에 흰색 선이 나타난 것을 볼 수 있다. 이러한 수직선의 x 축 좌표를 검출하기 위해 수직 투영 프로파일을 적용한다. Fig 3(d)와 Fig 3(h)는 수직 투영 프로파일(vertical projection profile)한 결과를 영상으로 나타낸 것이다.

4개 색상 밴드의 경우 수직 투영 프로파일에서 최대값 y 를 크기 순서로 8개 검출하며 이에 해당하는 8개의 x 좌표 값이 분할하려는 색상 밴드의 x 좌표 값이다. x 좌표 값들은 크기 순으로 정렬된다. 저항은 가운데가 움푹한 표주박 모양이고, 유채색을 이용한 ROI 분할 과정에서의 오차 등을 고려해 분할하려는 y 좌표 값의 범위는 ROI의 중간 부분 20~80%을 선택한다.

2.4 저항 색상 밴드의 색 판별

저항 색상 밴드의 색을 판별하기 위해 저항에서 분할된 4개의 직사각형에 대한 색 판별을 한다. 직사각형 안에 있는 모든 픽셀의 R, G, B 값을 평균하고 이를 수식 (1)-(3)을 이용하여 H, S, I 값으로 변환한다. 너무 밝아 흰색에 가깝거나 너무 어두워 검은색이 가까운 픽셀은 색 정보가 불안하다. 흰색 조명의 전반사에 의한 영향을 제거하기 위해 R, G, B의 값이 모두 230이상인 픽셀은 분할된 영역의 평균값 계산에서 제외한다. 또한 흰색 조명의 그림자 영향을 제거하기 위해 R, G, B의 값이 모두 25 이하인 픽셀도 제외한다. 직사각형에서 제거되는 픽셀 수가 남아있는 픽셀 수보다 많으면 직사각형의 색은 제거된 픽셀의 색으로 즉, 흰색이나 검은색으로 판별한다.

Table 2. RGB and HSI values of rectangle color bands

| color band | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| R | 92 | 57 | 100 | 126 | 125 | 72 | 94 | 73 |
| G | 66 | 77 | 52 | 94 | 95 | 47 | 17 | 58 |
| B | 104 | 34 | 41 | 58 | 13 | 67 | 12 | 29 |
| H | 282 | 87 | 10 | 31 | 45 | 310 | 3 | 40 |
| S | 0.24 | 0.39 | 0.36 | 0.37 | 0.83 | 0.24 | 0.71 | 0.46 |
| I | 0.34 | 0.22 | 0.25 | 0.36 | 0.30 | 0.24 | 0.16 | 0.21 |

Table 2는 Fig. 2(a)와 Fig. 2(b)에서 분할한 저항 색상 밴드와 저항 색상 밴드의 평균 RGB 값 또한 이를 변환한 HSI 값을 보여준다. Table 3는 Table 2에서 계산된 H, S, I 값들로 색상을 인식하는 판별식을 나타낸다. 여기에 사용된 H, S, I 판별 값들은 Table 1에 이론적으로 나타난 H, S, I 값들과는 다소 차이가 있다. 색상이 실제 저항 표면에 인쇄되고 조명에 의해 반사되는 과정을 통해 다소 변형된 것을 알 수 있다. Table 3에서 보듯이 빨간색과 갈색을 제외한 유채색은 순수한 색상 정보인 색조(H) 값만을 이용해 색을 판별할 수 있다. 유채색간에는 채도와 명도에 차이가 없어 채도와 명도를 가지고는 의미 있는 판별을 할 수가 없다 (Not Applicable). 빨간색과 갈색, 그리고 무채색은 색조(H)가 0 이거나 360이다. 오차를 고려해 이러한 색조(H)가 Table 3에 보인 판별 범위에 들어오면 채도(S)에 의해 판별하는데, 채도(S)가 0.5보다 크면 유채색인 빨간색, 0.2 보다 크면 유채색인 갈색으로 판별한다. 무채색은 채도(S)가 0이다. 따라서 채도(S)가 0.2 보다 작으면 무채색으로 간주하고 명도(I)에 의해 Table 3에 보인 판별식에 의해 검은색, 회색, 은색, 흰색을 판별한다. Table 2에 있는 H, S, I 값들을 Table 3에 있는 판별식에 넣어 보면 맨 마지막 금색 색상 밴드를 제외하고는 모두 성공적으로 색상 밴드의 색이 판별되어 인식 되는 것을 알 수 있다. 맨 마지막 금색 색상 밴드의 H값은 40으로 판별 경계선에 걸려서 노란색이 된다.

Table 3. Discriminant values for a color recognition

| Hue | Saturation | Intensity | color |
|--|---------------------|--------------------|--------|
| $20 \leq H < 30$ | N/A | N/A | orange |
| $30 \leq H < 40$ | | | gold |
| $40 \leq H < 70$ | | | yellow |
| $70 \leq H < 170$ | | | green |
| $170 \leq H < 270$ | | | blue |
| $270 \leq H < 330$ | | | purple |
| $0 \leq H < 20$ or $330 \leq H \leq 360$ | $0.5 \leq S \leq 1$ | N/A | red |
| | $0.2 \leq S < 0.5$ | | brown |
| | $0 \leq S < 0.2$ | $0 \leq I < 0.1$ | black |
| | | $0.1 \leq I < 0.5$ | gray |
| | | $0.5 \leq I < 0.7$ | silver |
| | $0.7 \leq I \leq 1$ | white | |

2.5 인식된 색에 의한 저항 값 출력

마지막으로 저항 색상 밴드의 색을 인식한 최종 목적인 저항 값을 출력한다. 이 과정은 인식된 색에 해당하는

숫자를 대입하여 간단히 구현된다. Fig. 1(a)에 있는 저항의 색상 밴드는 보라색(7), 녹색(5), 갈색(10), 금색(5%)으로 인식되어 저항 값 $750 \Omega (\pm 5\%)$ 을 출력하며, Fig. 1(c)에 있는 저항의 색상 밴드는 노란색(4), 보라색(7), 빨간색(10), 노란색(5%)으로 인식되어 저항 값 $4700 \Omega (\pm 5\%)$ 을 출력한다. 오차를 나타내는 마지막 색상 밴드는 노란색으로 인식되었으나 금색으로 대체되었다. 출력에는 저항 값과 더불어 인식된 색도 순서대로 출력하여 색 인식의 결과를 다시 한번 사람이 확인할 수 있게 하였다.

3. 실험 결과

본 논문에서 제안한 방법을 C 언어로 구현하여 카메라 모듈(SMP YR-030)이 장착된 라즈베리파이 3 Model B+ 시스템에서 실험하였다. 카메라의 초점 거리는 저항을 근접 촬영할 수 있게 수동으로 10 cm-15 cm로 설정하였다. 본 논문에서의 연구는 색 분할과 색 인식에 초점을 맞춰 진행하였다. 영상에서 저항이 기울어졌을 때 기울어진 각도를 감지하여 기운 각도만큼 영상 회전하여 저항을 정확히 수평에 맞추거나 저항의 앞 부분과 뒤 부분을 인식하여 영상을 180도 회전하는 과정은 생략하였다. 따라서 저항의 앞 뒤 구분은 사람이 하며 최대한 수평이 되게 하여 영상을 촬영한다. Fig. 4는 라즈베리파이에서 촬영한 영상을 앞의 ROI 분할 과정을 통해 분할된 영상의 몇몇 예를 나타낸다. Fig. 4(a)와 Fig. 4(b)는 성공적으로 저항 색상 밴드를 분할하고 색을 인식한 예를 보인다. Fig. 4(c)는 ROI에 저항이 다소 기울어져 저항 색상 밴드를 분할하면 저항의 몸체 색 일부가 유입되나 성공적으로 색을 인식하였다. Fig. 4(d)의 앞부분 3개 저항 색상 밴드는 색 분할에 성공하고 색 인식을 하였으나 맨 마지막 금색 밴드는 색 분할에 실패하였다. Fig. 4(e)와 Fig. 4(f)는 모두 색 분할에는 성공하였으나 Fig. 4(e)에서 갈색의 채도(S)는 0.57로, Fig. 4(f)에서는 0.61로 나와 Table 3의 판별식에 의해 채도 0.5이상인 빨간색으로 오인식되었다. 또한 Fig. 4(e)의 맨 마지막 금색 밴드를 색조(H) 24인 주황색으로 Fig. 4(f)도 색조 25인 주황색으로 오인식하였다. 주황색, 금색, 노란색은 서로를 판별하는 색조 범위가 좁아 오인식하는 경우가 많았다. 빨간색과 갈색의 경우에도 색조는 동일하며 채도만 미세하게 차이가 나서 오인식하는 경우가 많았다. 이는 사람의 경우와 유사하다.

Fig. 5(a)는 명도 변화만을 이용해 색상 분할이 어려운 예를 보인다. 세 번째 노란색 밴드는 명도 영상인 그레이스케일 영상에서는 저항 몸체 색과 거의 비슷해 분할이 쉽지 않다. 본 논문에서 제안한 채도 변화와 명도 변화를

합한 변화 영상을 수직 투영 프로파일한 영상 Fig 5(c)를 보면 노란색 밴드의 시작과 끝 부분에서 y 값이 최대 값을 가짐을 알 수 있다. Fig 5(a)도 성공적으로 저항 색상 밴드를 분할하고 색을 인식하였다. Fig 5(b)는 초점이 흐리게 촬영된 영상이다. 마찬가지로 채도 변화와 명도 변화를 합한 변화 영상을 수직 투영 프로파일한 영상 Fig 5(d)를 이용해 성공적으로 저항 색상 밴드를 분할하고 색을 인식하였다.

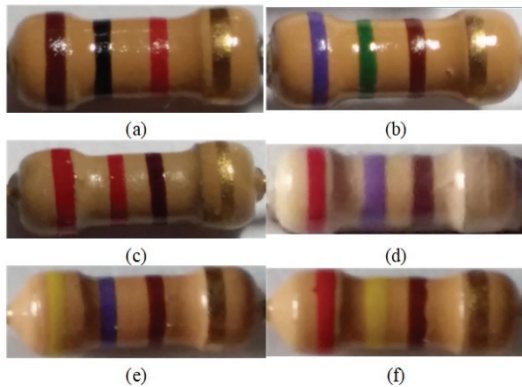


Fig. 4. ROI images of some resistors for the color band recognition.

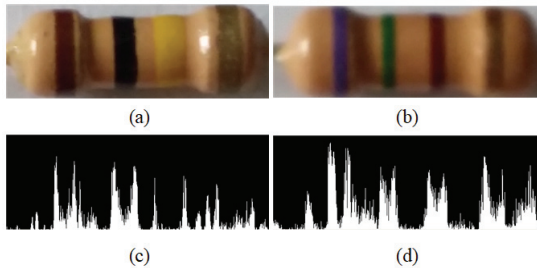


Fig. 5. ROI images and their vertical projection profiles using both the intensity and the saturation differentiation.

4. 결 론

본 논문에서는 RGB 모델로 입력되는 저항의 영상을 HSI 모델로 변환한 후, 첫 번째로 유채색과 무채색에 따라 저항 몸체 부분을 분할하고, 두 번째로 저항 색상 밴드를 채도와 명도 변화에 따라 분할한 뒤에, 마지막으로 색상 밴드의 색을 자동 인식하여 저항 값을 출력하는 새로운 방법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 방법을 사용해 저항 영상에 실험한 결과, 저항 값을 나타내는 앞부분 3 개의 색상 밴드는 거의 대부분의 경우 성공적으로

분할하고 색을 인식하였다. 인식에 실패한 색을 보면 색조가 같은 빨간색과 갈색이었다. 빨간색과 갈색은 채도에 의해서만 판별하는 데 오인식한 경우는 채도 값이 두 색의 판별 경계선에 가깝게 위치했다. 이 경우에는 인식을 거부(reject)하고 사람에게 두 색을 모두 출력하여 오인식률을 낮출 수 있다. 차후 채도 외에 빨간색과 갈색을 판별하는 특징을 더 고안해야 한다. 맨 마지막 금색 밴드는 저항 몸체 색과 비슷하여 색 분할에서 실패하기도 하고, 색조가 주황색과 노란색에 비슷해 색 인식에서 서로 혼동하기도 했다. 주황색, 금색, 노란색의 색조 영역이 비슷한 영역에 좁게 분포해 발생하는 문제이다. 일반적으로 전자회로 실습에 많이 사용되는 저항의 마지막 색상 밴드는 금색과 은색으로 저항 값의 5%와 10%의 오차를 나타낸다. 따라서 주황색이나 노란색으로 인식된 마지막 색상 밴드의 색은 금색으로 대체할 수 있고 이는 저항 값 출력에는 큰 영향이 없다. 빨간색과 갈색과 마찬가지로 차후 주황색, 금색, 노란색을 판별하는 특징을 더 고안해야 한다.

감사의 글

본 연구는 2018년도 상명대학교 교내연구비를 지원받 아 수행하였습니다.

참고문헌

1. Minchul Jung, "Traffic Signal Detection and Recognition in an RGB Color Space," *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol. 10, No. 3, pp. 53-59, (2011).
2. Minchul Jung, "Color Segmentation of Vehicle License Plates in the RGB Color Space Using Color Component Binarization," *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol. 13, No. 4, pp. 49-54, (2014).
3. George H. Joblove and Donald Greenberg, "Color spaces for computer graphics," *Computer Graphics*, Vol. 12, Issue 3, pp. 20-25, (1978).
4. Jaehoon Cho, Sangho Lee, Youngseop Kim, "Image Retrieval Method Using Color Descriptor," *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol. 7, No. 2, pp. 69-76, (2008).
5. Roman Ptak, Bartosz Zygadlo and Olgierd Unold "Projection-based Text line Segmentation with a Variable Threshold," *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, Vol. 27, No. 1, pp. 195-206, (2017).

6. R. Gonzalez and R. Woods, "Digital Image Processing," Addison Wesley, pp 414-428, (1992).
7. N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray Level Histograms," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-9, No. 1, pp. 62-66, (1979).

접수일: 2019년 6월 15일, 심사일: 2019년 6월 21일,
게재확정일: 2019년 6월 22일