

논문 2005-42SP-1-5

# 칼라 코드의 영역 분할을 위한 성분 영상들의 최적 조합

## (Optimal Combination of Component Images for Segmentation of Color Codes)

권 병 훈<sup>\*</sup>, 유 현 중<sup>\*\*</sup>, 김 태 우<sup>\*\*\*</sup>, 김 기 두<sup>\*\*\*\*</sup>

(B. H. Kwon, H.-J. Yoo, T. W. Kim, and K. D. Kim)

### 요 약

칼라 화소 성분들은 인쇄에서부터 획득하기까지의 전 과정에 거쳐 심하게 왜곡되기 때문에, 획득된 영상에서 정확한 칼라 정보를 필요로 하는 칼라 코드 식별 작업은 매우 어렵다. 정확한 칼라 식별을 달성하기 위해서는 서로 다른 칼라 영역들을 정확하게 분리해냄으로써 어떤 칼라 영역의 부분이 아닌 전체 화소들에 대한 통계적 처리를 가능하게 하는 영역 분할 기술이 필요하다. 칼라 영역 분할은 성분 영상(들)에 대한 경계선 검출을 수행하여 달성할 수 있다. 이 논문에서는 RGB, HSI, YIQ의 세 칼라 모델로부터의 성분 영상들에 대해 독립적으로 경계선을 검출하고, 결합에 의해 가장 완전한 경계선 영상을 제공하는 한 쌍의 성분을 찾아내기 위한 수학적 분석과 실험을 수행하였다. 실험 결과, Y-와 R-성분 경계선 영상들을 결합했을 때 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

### Abstract

Identifying color codes needs precise color information of their constituents, and is far from trivial because colors usually suffer severe distortions throughout the entire procedures from printing to acquiring image data. To accomplish accurate identification of colors, we need a reliable segmentation method to separate different color regions from each other, which would enable us to process the whole pixels in the region of a color statistically, instead of a subset of pixels in the region. Color image segmentation can be accomplished by performing edge detection on component image(s). In this paper, we separately detected edges on component images from RGB, HSI, and YIQ color models, and performed mathematical analyses and experiments to find out a pair of component images that provided the best edge image when combined. The best result was obtained by combining Y- and R-component edge images.

**Keywords :** segmentation, edge detection, HSI, YIQ, color code

## I. 서 론

오늘날 칼라 영상은 적은 비용으로도 획득할 수 있고, 흑백 영상보다 더 보편적으로 사용되고 있다. 일상의 거의 모든 영상이 칼라로 바뀌고 있으나, 칼라 영상으로부터 정확한 칼라 정보를 식별하여 이용하는 응용

은 극히 드물다. 또한, 유비쿼터스 컴퓨팅과 더불어 RFID(Radio Frequency Identification)<sup>[1]</sup>에 많은 관심이 집중되고 있으나, 그에 대해 보완 또는 독립적 역할을 할 칼라 코드<sup>[2]</sup>는 아직 부각되지 못하고 있다. 이들의 이유 중 하나는, 실제 영상의 칼라 왜곡이 화소 값의 성분별 오차가 전체 스케일의 50%가 넘는 경우가 흔히 발생할 정도<sup>[3]</sup>로 매우 심하여 정확한 칼라 식별이 매우 어렵기 때문이다.

대략적인 칼라 정보를 분석하여 이동체를 추적하거나<sup>[4,5,6]</sup>, 객체를 찾아내거나<sup>[7]</sup>, 분할하는<sup>[8,9,10,11,12,13]</sup> 등에 관한 논문은 많이 찾을 수 있다. 그러나, 칼라 코드 인식 등을 위한 정확한 칼라 식별에 관한 연구 논문은 찾

<sup>\*</sup> 학생회원, <sup>\*\*</sup> 정회원, 상명대학교  
(Sangmyung University)

<sup>\*\*\*</sup> 정회원, 한양사이버대학교  
(Hanyang Cyber University)

<sup>\*\*\*\*</sup> 정회원, 국민대학교  
(Kookmin University)

※ 이 논문은 상명대학교 교내연구비에 의해 지원됨.  
접수일자: 2004년10월22일, 수정완료일: 2004년12월7일

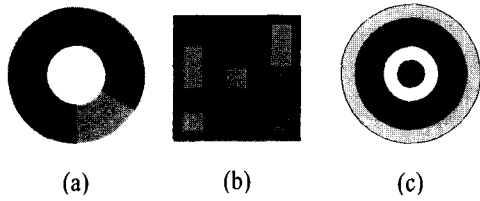


그림 1 칼라 코드 형태의 예  
Fig. 1 The examples of structure of color codes.

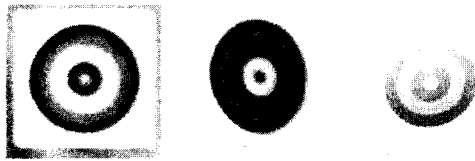


그림 2 칼라 코드 영상의 왜곡  
Fig. 2 The distortion of color code images.

을 수 없었으며, 발견할 수 있었던 논문은 비현실적일 정도로 지극히 제한적인 환경에서만 적용되었다<sup>[14]</sup>. 이러한 현상이 칼라 식별 또는 인식에 관한 실질적 어려움을 의미한다. 그림 1과 2는 각각 현재 사용되고 있는 칼라 코드 형태의 예와 그림 1(c) 형태의 칼라 코드를 실제 부착하고 촬영한 영상에서 추출한 칼라 코드의 영역 간 색 간섭, 변형, 반사 등의 왜곡을 보여준다.

따라서, 칼라 코드 인식 시 칼라 왜곡의 랜덤성과 큰 편차를 고려할 때, 구성 요소들의 위치를 대략적으로 계산하여 일부 화소들을 샘플링하고 그들을 처리하여 칼라 정보를 추출하는 방법 보다는, 가능한 한 많은 수의 화소를 통계적으로 처리할 필요가 있다. 이를 위해 요구되는 정확한 칼라 영역 분할을 위해서 이 논문에서는 경계선 검출 시 가장 보편적 특성이 강한 한 쌍의 성분들을 찾아내고자 한다.

제 II장에서는 성분 영상들과 관련하여 세 가지 주요 칼라 모델을 간략히 설명하고, 제 III장에서는 성분 경계 영상들의 결합 실험을 설명하고, 제 IV장에서는 실험 결과와 분석, 제 V장에서는 결론을 기술한다.

## II. 칼라 모델

그림 3과 4는 각각 RGB 칼라 큐브와 그로부터 만든 HSI 칼라 모델을 보여준다<sup>[15]</sup>.

그림 4에서 원형단면은 I(intensity, 밝기) 축에 수직이다. 이 그림에서 보듯이 S(saturation, 채도) 값은 원점으로부터의 거리에 비례하며, H(hue, 색상) 값은 적색으로부터의 각도를 측정한다. I 값은 R, G, B의

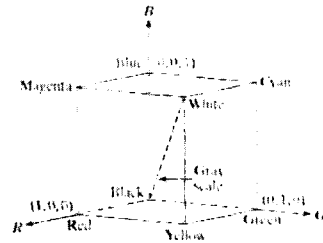


그림 3 RGB 칼라 큐브  
Fig. 3 RGB color cube.

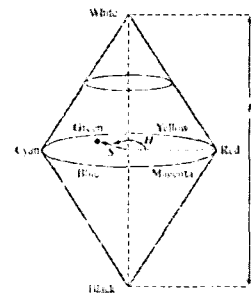


그림 4 HSI 칼라 모델  
Fig. 4 HSI color model.

평균으로 계산되며, S 값과 H 값은 다음의 식 (1)과 (2)에 의해 계산된다.

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

$$H = \begin{cases} \theta & \text{if } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{if } B > G \end{cases} \tag{2}$$

여기서,

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

위 공식들로부터 Saturation 값의 범위는 [0.0, 1.0]이며, Hue 값의 범위는 [0.0, 360.0]임을 알 수 있다. Hue와 Saturation 성분은 사람이 색을 인지하는 방법과 같은 관계를 갖고 있기 때문에 매우 유용한데, 이러한 특성은 HSI 모델이 인간 시각 시스템의 색채 감지 특성에 기초한 영상처리 알고리즘 개발을 위한 이상적인 도구가 되게 한다<sup>[15]</sup>.

YIQ 칼라 모델은 TV 방송의 NTSC 방식에 채용된 칼라 체계로서 Luminance-Inphase-Quadrature를 의미하며, RGB 칼라 모델을 다음 식에 의해 변환한 것이다:

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} .299 & .587 & .114 \\ .596 & -.275 & -.321 \\ .212 & -.523 & .311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \tag{3}$$

Y는 사람이 눈으로 인지하는 휘도(luminance)와 유사하며, I 와 Q는 주로 칼라 정보와 관련된다. 이 포맷의 장점 중 하나는 그레이 스케일 정보가 칼라 데이터로부터 분리 가능하여, 같은 신호를 칼라 TV와 흑백 TV 모두에 사용할 수 있다는 점이다. 이 모델은 사람의 시각 시스템이 색상과 채도의 변화보다 휘도의 변화에 더 민감하다는 점을 이용하기 위해 고안되었다[15]. 이 공식의 첫 행의 합이 1인 반면, 나머지 두 행은 합이 각각 0이다.

### III. 성분 영상에 대한 경계선 검출 및 결합

#### 1. 시험 패턴

실험에 사용되는 시험 패턴들의 모양은 표 1과 같은 동심원 모양이며, 각 패턴은 bust shot, waist shot, knee shot 중 하나로 찍은 4백만 화소 해상도의 필드 영상에서 추출한 것이다. 그림 5는 한 예로서 knee shot 영상에서 추출한 부영상을 보여준다. 표 1의 첫 열은 패턴 인덱스이며, 나머지 열의 머리글들인 Large, Medium, Small은 위의 세 가지 shot에 해당한다. 네 자리 숫자는 필드 영상의 인덱스이다: 표의 18개의 패턴들은 185개 중에서 선정되었다. 바탕색은 흰색이고, 그 안에 최대 채도(1.0)의 여섯 RGB 안전색(웹 안전색으로도 불림)<sup>[15]</sup>, 즉, Red(R), Green(G), Blue(B), Cyan(C), Magenta(M), 또는 Yellow(Y)를 사용하는 다섯 개 칼라 영역으로 구성된다. 표 1에서 세 개의 패턴씩 같은 칼라 배열을 갖고 있으나, shot 종류가 다른 영상들에서 추출되었다. 보는 편의상 패턴의 크기를 같게 맞추어 표시하였다. 크기 또는 해상도가 감소할수록 밝기, 채도 등이 저하되고 있으며, 잡음이 증가하고 있음을 관찰할 수 있다. 표 2와 3은 각각 shot 종류별 패턴의 평균 크기와 중앙 원을 제외한 각 칼라 영역(링)의 평균 폭을 화소 수 단위로 보여준다. 중앙 원의 직경은 1.5배이다.

#### 2. 실험 방법

세 가지 칼라 모델들의 모든 성분들로부터, 칼라 영상의 경계선 검출에 최상의 보완 관계를 갖는 한 쌍의 성분 영상들을 찾기 위한 실험을 수행한다. 칼라 영상을 그레이 영상으로 변환할 때의 대표적인 성분 영상으로는 HSI 칼라 모델의 I-성분 영상과 YIQ 칼라 모델의 Y-성분 영상이 있다. 이들 중, 이 실험에서 찾고자 하는 두 성분 중 하나로서 사람이 눈으로 인지하는 휘도와 유사한 Y 성분을 선택하기로 한다. I 성분은 이 실험

표 1. 시험 패턴들  
Table 1. Test patterns.

| 패턴    | Large | Medium | Small |
|-------|-------|--------|-------|
| 1~3   | 4536  | 4537   | 4538  |
|       |       |        |       |
| 4~6   | 4551  | 4552   | 4553  |
|       |       |        |       |
| 7~9   | 4576  | 4577   | 4578  |
|       |       |        |       |
| 10~12 | 4611  | 4612   | 4613  |
|       |       |        |       |
| 13~15 | 4661  | 4662   | 4663  |
|       |       |        |       |
| 16~18 | 4713  | 4714   | 4715  |
|       |       |        |       |

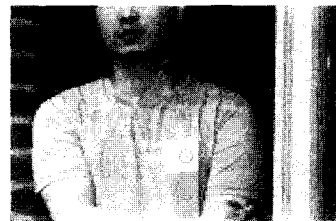


그림 5 시험 패턴을 포함하는 필드 영상의 부영상  
Fig. 5 The subimage of a field image containing a test pattern.

표 2. 시험 패턴의 평균 크기(단위: 화소 수)  
Table 2. The average sizes of test patterns.

| 크기분류 | Large(L)  | Medium(M) | Small(S) |
|------|-----------|-----------|----------|
| 평균크기 | 125 x 125 | 89 x 90   | 62 x 61  |

험에 사용하는 여섯 안전색을 85 또는 170의 두 값으로만 매핑하기 때문에 상대적으로 경계선 검출에 불리할 것이므로 일단 나머지 비교 대상 그룹에 남겨둔다.

경계선 검출에서 Y 성분을 가장 잘 보완하는 성분을 찾는 과정은 크게 두 단계로 나뉜다: (1) 수학적 분석에 의해 후보 성분들의 수를 축소하고 (2) 그 성분 영상들에 대해 경계선을 검출하고 Y-성분 경계선 영상과 결합한 결과를 비교한다. 단계 (1)에서는, 여섯 안전색들 간의 거리를 RGB, YIQ, HSI 칼라 공간의 각 도메인에서 측정하고, 이들의 평균 거리들을 비교하여, 평균 거리가 큰 성분들을 Y 성분과 함께 사용할 1차 후보로서 선정한다. 표 4 (a) ~ (c)는 세 칼라 공간의 각 도메인에서의 주요 안전색들의 값을 보여준다.

단계 (2)에서는 단계 (1)에서 선정된 1차 후보 성분들로 시험 패턴 영상들을 변환하고, Y-성분 영상과 독립적으로 Canny 경계선 검출 알고리즘<sup>[16,17]</sup>에 의해 경계선을 검출하고, 식 (4)에 의해 두 경계선 영상의 해당 좌표들에서 값을 비교하여 큰 값을 사용해서 하나의 영상으로 합치고, 그 결과에 대해 채움 연산<sup>[15]</sup>을 한 후,

표 3. 시험 패턴 칼라 영역의 평균 폭(단위: 화소 수)  
Table 3. The average widths of color regions of test patterns.

| 크기 분류      | L    | M   | S   |
|------------|------|-----|-----|
| 평균두께(화소 수) | 13.2 | 9.4 | 6.4 |

표 4. 세 칼라 공간의 도메인별 주요 안전색들의 값  
Table 4. The values of six safe colors in each domain of color spaces.

| (a) RGB 칼라 공간 |     |     |     | (b) HSI 칼라 공간 |     |     |     |
|---------------|-----|-----|-----|---------------|-----|-----|-----|
|               | R   | G   | B   |               | H   | S   | I   |
| R             | 255 | 0   | 0   | R             | 0   | 1.0 | 85  |
| Y             | 255 | 255 | 0   | Y             | 60  | 1.0 | 170 |
| G             | 0   | 255 | 0   | G             | 120 | 1.0 | 85  |
| C             | 0   | 255 | 255 | C             | 180 | 1.0 | 170 |
| B             | 0   | 0   | 255 | B             | 240 | 1.0 | 85  |
| M             | 255 | 0   | 255 | M             | 300 | 1.0 | 170 |

| (c) YIQ 칼라 공간 |       |        |        |
|---------------|-------|--------|--------|
|               | Y     | I      | Q      |
| R             | 76.2  | 152.0  | 54.1   |
| Y             | 225.9 | 81.9   | -79.3  |
| G             | 149.7 | -70.1  | -133.4 |
| C             | 178.8 | -152.0 | -54.1  |
| B             | 29.1  | -81.9  | 79.3   |
| M             | 105.3 | 70.1   | 133.4  |

Zhang-Suen 알고리즘<sup>[18]</sup>을 적용하여 잔가지 성분들을 제거하면서 세선화시킨다. 여기서, Canny와 Zhang-Suen 알고리즘을 채택한 이유는 전자는 경계선 검출에서, 후자는 우리의 시험 패턴들과 특성이 비슷한 지문의 세선화에 표준적으로 사용되는 방식이므로 실험의 일반성이 유지되기 때문이다.

$$g(x, y) = \max\{f_y(x, y), f_i(x, y)\} \tag{4}$$

여기서,  $f$ 와  $g$ 는 각각 특정 성분 영상에 대한 경계선 영상과, 두 경계선 영상이 결합된 영상을 나타내며 아래 첨자  $Y$ 는 YIQ 칼라 모델의 Y 성분을 나타내고 아래 첨자  $i$ 는 RGB, HSI, YIQ칼라 모델의 성분들 중 하나를 나타낸다(Y 성분 제외).  $x$ 와  $y$ 는 화소의 좌표들을 나타낸다.

#### IV. 실험 결과 및 분석

##### 1. 수학적 비교

표 5~7은 각각 RGB, HSI, YIQ 칼라 공간의 각 도메인에서의 여섯 안전색들 간의 거리를 보여준다. 이들은 표 4로부터 작성되었다.

표 8~10은 각각 Y 도메인(표7(a))과 표 5~7의 나머지 각 도메인에서 여섯 안전색들 간 거리의 최대값을 취했을 때의 거리를 보여준다.

표 5. RGB 공간의 도메인별 여섯 색들 간 거리(각 표는 대각선 대칭)  
Table 5. The distances between six safe colors in each domain of RGB color space.

| (a) R 도메인 |     |     |     |     |     |   | (b) G 도메인 |     |     |     |     |   |   |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----------|-----|-----|-----|-----|---|---|
|           | R   | Y   | G   | C   | B   | M |           | R   | Y   | G   | C   | B | M |
| R         | 0   |     |     |     |     |   | R         | 0   |     |     |     |   |   |
| Y         | 0   | 0   |     |     |     |   | Y         | 255 | 0   |     |     |   |   |
| G         | 255 | 255 | 0   |     |     |   | G         | 255 | 0   | 0   |     |   |   |
| C         | 255 | 255 | 0   | 0   |     |   | C         | 255 | 0   | 0   | 0   |   |   |
| B         | 255 | 255 | 0   | 0   | 0   |   | B         | 0   | 255 | 255 | 255 | 0 |   |
| M         | 0   | 0   | 255 | 255 | 255 | 0 | M         | 0   | 255 | 255 | 255 | 0 | 0 |

| (c) B 도메인 |     |     |     |   |   |   |
|-----------|-----|-----|-----|---|---|---|
|           | R   | Y   | G   | C | B | M |
| R         | 0   |     |     |   |   |   |
| Y         | 0   | 0   |     |   |   |   |
| G         | 0   | 0   | 0   |   |   |   |
| C         | 255 | 255 | 255 | 0 |   |   |
| B         | 255 | 255 | 255 | 0 | 0 |   |
| M         | 255 | 255 | 255 | 0 | 0 | 0 |

표 6. HSI 공간의 H, I 도메인별 여섯 색들 간 거리(각 표는 대각선 대칭)

Table 6. The distances between six safe colors in H and I domains of HSI color space.

(a) H 도메인

|   | R   | Y   | G   | C  | B  | M |
|---|-----|-----|-----|----|----|---|
| R | 0   |     |     |    |    |   |
| Y | 43  | 0   |     |    |    |   |
| G | 85  | 43  | 0   |    |    |   |
| C | 128 | 85  | 43  | 0  |    |   |
| B | 170 | 128 | 85  | 43 | 0  |   |
| M | 213 | 170 | 128 | 85 | 43 | 0 |

(b) I 도메인

|   | R  | Y  | G  | C  | B  | M |
|---|----|----|----|----|----|---|
| R | 0  |    |    |    |    |   |
| Y | 85 | 0  |    |    |    |   |
| G | 0  | 85 | 0  |    |    |   |
| C | 85 | 0  | 85 | 0  |    |   |
| B | 0  | 85 | 0  | 85 | 0  |   |
| M | 85 | 0  | 85 | 0  | 85 | 0 |

(H 도메인은 255/360으로 스케일링 거침)

표 7. YIQ 공간의 도메인별 여섯 색들 간 거리

Table 7. The distances between six safe colors in each domain of YIQ color space.(각 표는 대각선 대칭)

(a) Y 도메인

|   | R   | Y   | G   | C   | B  | M |
|---|-----|-----|-----|-----|----|---|
| R | 0   |     |     |     |    |   |
| Y | 150 | 0   |     |     |    |   |
| G | 73  | 76  | 0   |     |    |   |
| C | 103 | 47  | 29  | 0   |    |   |
| B | 47  | 197 | 121 | 150 | 0  |   |
| M | 29  | 121 | 44  | 73  | 76 | 0 |

(b) I 도메인

|   | R   | Y   | G   | C   | B   | M |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| R | 0   |     |     |     |     |   |
| Y | 59  | 0   |     |     |     |   |
| G | 186 | 127 | 0   |     |     |   |
| C | 255 | 196 | 69  | 0   |     |   |
| B | 196 | 137 | 10  | 59  | 0   |   |
| M | 69  | 10  | 118 | 186 | 127 | 0 |

(c) Q 도메인

|   | R   | Y   | G   | C   | B  | M |
|---|-----|-----|-----|-----|----|---|
| R | 0   |     |     |     |    |   |
| Y | 127 | 0   |     |     |    |   |
| G | 179 | 52  | 0   |     |    |   |
| C | 103 | 24  | 76  | 0   |    |   |
| B | 24  | 152 | 203 | 127 | 0  |   |
| M | 76  | 203 | 255 | 179 | 52 | 0 |

(I 도메인은 255/304로 스케일링 거침)

(255/266.8로 스케일링 거침)

표 8. Y 도메인과 RGB 공간의 각 도메인(표 5)에서의 안전색들 간의 거리의 최대값을 취했을 때의 거리

Table 8. The distances between six safe colors when combined by choosing the maximum in Y domain and each domain of RGB color space.

(a) max{Y dom., R dom.}

|   | R   | Y   | G   | C   | B   | M |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| R | 0   |     |     |     |     |   |
| Y | 150 | 0   |     |     |     |   |
| G | 255 | 255 | 0   |     |     |   |
| C | 255 | 255 | 29  | 0   |     |   |
| B | 255 | 255 | 121 | 150 | 0   |   |
| M | 29  | 121 | 255 | 255 | 255 | 0 |

(b) max{Y dom., G dom.}

|   | R   | Y   | G   | C   | B   | M |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| R | 0   |     |     |     |     |   |
| Y | 255 | 0   |     |     |     |   |
| G | 255 | 127 | 0   |     |     |   |
| C | 255 | 196 | 69  | 0   |     |   |
| B | 196 | 255 | 255 | 255 | 0   |   |
| M | 69  | 255 | 255 | 255 | 127 | 0 |

(c) max{Y dom., B dom.}

|   | R   | Y   | G   | C   | B  | M |
|---|-----|-----|-----|-----|----|---|
| R | 0   |     |     |     |    |   |
| Y | 127 | 0   |     |     |    |   |
| G | 179 | 52  | 0   |     |    |   |
| C | 255 | 255 | 255 | 0   |    |   |
| B | 255 | 255 | 255 | 127 | 0  |   |
| M | 255 | 255 | 255 | 179 | 52 | 0 |

표 11~13은 각각 표 8~10의 표의 15개 최대 거리의 평균값을 보여준다.

표 11은 R-, G-, B-성분 경계선 영상들 중에서 G성분의 경우가 Y-성분 경계선 영상과 결합할 때 이론적으로 가장 완전한 경계선을 제공할 가능성을 시사한다. 표 12와 13의 HSI의 H-, I-와 YIQ의 I-, Q-성분 영상들과 결합했을 때의 평균 거리들은 표 11의 RGB 성분들의 경우에 비해 각각 약 35%와 20% 정도 작음을 볼 수 있다. 그러므로, Y-성분 경계선 영상과 최적의 결합을 보일 성분은 이론적으로는 RGB 칼라 모델의 G-성분 경계선 영상이다. 그러나, 칼라 영상의 성분들의 왜곡이 일반적으로 대단히 큼을 고려할 때, R, G, B 성분

표 9. Y 도메인과 HSI의 H, I 도메인에서의 여섯 안전색들 간의 거리의 최대값을 취했을 때의 거리

Table 9. The distances between six safe colors when combined by choosing the maximum in Y domain and either H- or I-domain of HSI color space.

(a) max{Y, H}

|   | R   | Y   | G   | C   | B  | M |
|---|-----|-----|-----|-----|----|---|
| R | 0   |     |     |     |    |   |
| Y | 150 | 0   |     |     |    |   |
| G | 85  | 76  | 0   |     |    |   |
| C | 128 | 85  | 43  | 0   |    |   |
| B | 170 | 197 | 121 | 150 | 0  |   |
| M | 213 | 170 | 128 | 85  | 76 | 0 |

(b) max{Y, I}

|   | R   | Y   | G   | C   | B  | M |
|---|-----|-----|-----|-----|----|---|
| R | 0   |     |     |     |    |   |
| Y | 127 | 0   |     |     |    |   |
| G | 179 | 85  | 0   |     |    |   |
| C | 103 | 24  | 85  | 0   |    |   |
| B | 24  | 152 | 203 | 127 | 0  |   |
| M | 85  | 203 | 255 | 179 | 85 | 0 |

표 10. Y 도메인과 YIQ의 I, Q 도메인에서의 여섯 안전색들 간의 거리의 최대값을 취했을 때의 거리

Table 10. The distances between six safe colors when combined by choosing the maximum in Y domain and either I- or Q-domain of YIQ color space.

(a) max{Y, I}

|   | R   | Y   | G   | C   | B   | M |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| R | 0   |     |     |     |     |   |
| Y | 150 | 0   |     |     |     |   |
| G | 186 | 127 | 0   |     |     |   |
| C | 255 | 196 | 69  | 0   |     |   |
| B | 196 | 197 | 121 | 150 | 0   |   |
| M | 69  | 121 | 118 | 186 | 127 | 0 |

(b) max{Y, Q}

|   | R   | Y   | G   | C   | B   | M |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| R | 0   |     |     |     |     |   |
| Y | 127 | 0   |     |     |     |   |
| G | 186 | 127 | 0   |     |     |   |
| C | 255 | 196 | 76  | 0   |     |   |
| B | 196 | 152 | 203 | 127 | 0   |   |
| M | 76  | 203 | 255 | 186 | 127 | 0 |

표 11. 표 8의 각 표의 거리의 평균

Table 11. The average distances of 15 distances in each table of Table 8.

|       |           |           |           |
|-------|-----------|-----------|-----------|
|       | max{Y, R} | max{Y, G} | max{Y, B} |
| 평균 거리 | 193       | 205       | 201       |

표 12. 표 9의 각 표의 거리의 평균

Table 12. The average distances of 15 distances in each table of Table 9.

|       |           |           |
|-------|-----------|-----------|
|       | max{Y, H} | max{Y, I} |
| 평균 거리 | 125       | 128       |

표 13. 표 10의 각 표의 거리의 평균

Table 13. The average distances of 15 distances in each table of Table 10.

|       |           |           |
|-------|-----------|-----------|
|       | max{Y, I} | max{Y, Q} |
| 평균 거리 | 151       | 166       |

들 간 별다른 차이가 없다고 볼 수 있으므로, 이들 세 성분들에 관한 비교 분석이 더 필요하다.

### 2. 실험적 비교

다음의 표 14와 그림 6은 시험 패턴들의 칼라 영역,  $S_{j,k}(j = 1, \dots, 5 = \text{칼라 링 영역의 인덱스}; k = 1, \dots, 18 = \text{패턴 인덱스})$  따라서, 총 90개 영역)별로 계산한 R, G, B 성분들의 최대 값들의 평균값, 최소 값들의 평균값을 보여준다. 이 데이터는 다음과 같은 단계로 구하였다:

- 1) 시험 패턴의 각 칼라 영역에 대해 R, G, B 성분들의 평균을 각각 계산:

$$\overline{C_{j,k}} = \frac{1}{N_{j,k}} \sum_{s,t \in S_{j,k}} C_{j,k}(s,t) \quad (5)$$

여기서, C는 R, G, B 성분을 나타내고,  $S_{j,k}$ 는 표 1의  $k$  번째 시험 패턴의  $j$  번째 칼라 영역이고,  $s$ 와  $t$ 는  $S_{j,k}$  안의 화소 좌표들이고,  $N_{j,k}$ 는  $S_{j,k}$  영역의 화소 수이다.

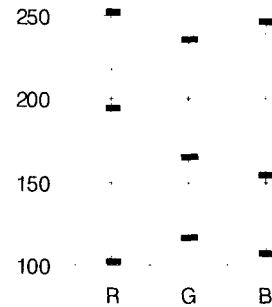
- 2) 위 '1)'항의 영역별 평균 성분값들로부터 전체 R, G, B 성분별 최대값( $\max_{i,k}\{\overline{C_{j,k}}\}$ )과 최소값( $\min_{i,k}\{\overline{C_{j,k}}\}$ )을 계산. 표 14의 끝 행은 이들로부터 계산한 동적 범위(dynamic range)이다.

표 14와 그림 6에 의하면 R 성분의 동적 범위(149)가 가장 넓고, 그 다음은 B 성분(138), 그리고 G 성분은 그

표 14. 성분별 칼라 영역 평균의 최소 및 최대값

Table 14. The minimum and maximum values of averages of color regions for each component.

|                                    |       |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
|                                    | R     | G     | B     |
| $\min_{i,k}\{\overline{C_{j,k}}\}$ | 103.4 | 117.2 | 107.9 |
| $\max_{i,k}\{\overline{C_{j,k}}\}$ | 251.9 | 236.0 | 245.7 |
| dyn. range                         | 148.5 | 118.8 | 137.8 |



(가운데 마커는  $\overline{C_{i,k}}$ 의 평균값)

그림 6 성분별 칼라 영역 평균의 최소 및 최대값

Fig. 6 The minimum and maximum of averages of color regions for each component.

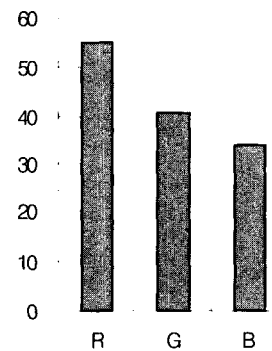


그림 7 시험 패턴들의 칼라 영역별 R, G, B 성분 평균 값들의 표준편차.

Fig. 7 The standard deviations of averages of R, G, and B components of color regions of all test patterns.

동적 범위가 가장 작다(119). 그러므로, G 성분은 계산 상으로는 주요 안전색들 간 가장 큰 평균 거리를 제공 하지만, 실제로는 G-성분 영상의 콘트라스트가 상대적으로 낮아서 경계선 검출에 불리할 수 있다. B와 G 간의 평균 거리 차이는 4(표 11)에 불과하나, 동적 범위는 B가 약 20이 크므로, G-성분 영상 보다는 B-성분 영상이 Y-영상과의 결합에 더 유리할 수 있다. 한편, R과 B를 비교해 보면 R 성분의 동적 범위가 약 11만큼 넓다.

들을 좀 더 정밀히 비교하기 위해 그림 7의 표준 편차를 구하였다.

이 그림의 데이터는 칼라 코드의 인쇄에 사용한 각 성분들의 값이 0인 경우들과 255인 경우들을 동시에 포함하며, 따라서, 이 표준편차가 클수록 채도 또는 콘트라스트가 높을 가능성이 있다. R 성분의 표준편차가 특히 B 보다 약 20 이상 더 크므로(G 보다는 약 14(= 54.9 - 40.7)), R-성분 경계선 영상을 Y-성분 경계선 영상과 결합하는 것이 가장 유리할 가능성이 있다. 즉, 계산상 평균 거리가 최고(205)인 Y와 G 성분이 결합된 경우보다 그 값은 8이 작지만, 동적 범위와 표준편차가 각각 약 30(= 148.5 - 118.8)과 14만큼 더 큰 R-성분 영상이 콘트라스트가 더 좋으므로, 실제 영상에 대한 경계선 검출에 더 기여할 수도 있다.

표 15는 표 1의 시험 패턴들에 대한 R-, B-, I- G-성분 영상들과, 식 (4)에 입력하여(그리고, 채움 연산과 세선화 작업을 거쳐) 생성한 결합된 경계선 영상들을 보여준다. I 와 G 성분에 관한 결과는 추론에 대한 확인을 위해서 표시하였다.

시험 패턴 1~3(영상 인덱스 = 4536 ~ 4538)에 대해서는 각각 Y-와 R-성분 경계선 영상을 결합했을 때 가장 좋은 결과를 얻었으며, 칼라 코드 영상이 작아질수록 차이가 컸다. 성능 순서는  $R \gg B > I, G$  이다(이중 부등호는 차이가 큼을 표시). 시험 패턴 4~6에 대해서는 모두 잘 연결된 결과를 만들었으나, R 성분과 결합했을 때 잡다한 경계선들이 나타났다. 시험 패턴 7~9에 대해서는 Large와 Medium 크기에 대해서는 성분들 간 큰 차이가 없었으나, Small 크기에서는 R 성분과 결합한 경우의 성능이 단연 우수하였다. 성능 순서는  $R \gg G > B, I$ 이다. 시험 패턴 10~12에 대해서도 Large와 Medium 영상들에 대해서는 비슷한 결과를 얻었으나, Small 영상에 대해서는 R성분의 경우가 가장 좋은 결과를 보이고 있다. 순서는  $R \gg B > I, G$ 이다. 시험 패턴 13~15에 대해서도 Large와 Medium 때 큰 차이가 없으나, Small 때는  $R \gg I, G > B$ , 즉, R의 경우가 뚜렷하게 좋다. 시험 패턴 16~18의 경우, Large 때는 I가 가장 좋고, Medium 때는 비슷하며, Small 때는  $R \gg I > B, G$ 의 순이다.

그러므로, 이론적으로는 영역 분할을 위해 Y-성분 경계선 영상과 G-성분 경계선 영상이 가장 좋은 조합이나, 실제로는 성분마다 동적 범위와 표준 편차 특성이 크게 달라져서, 표 15에서와 같이 오히려 R성분과 결합했을 때, 예상대로 가장 끊김이 적은 경계선을 검

출할 수 있었다. 전체적으로 약 83%(= 15/18)의 경우에서 R 성분이 가장 좋은 결합 효과를 보여 주었다. G와 B 성분은 비슷하였다. 그 밖에, 인접 영역 간 밝기가 같을 확률이 50%인 I 성분이 B 성분보다 더 좋은 결합 효과를 만든 경우도 약 17%(= 3/18)나 되었다.

요약하면, Y와R 성분의 결합이 경계선 검출에 가장

표 15. Y-성분 경계선 영상과 R-, B-, I-, G-성분 영상을 결합했을 때의 결과

Table 15. The results of combining Y-comp. edge image with either R-, B-, I-, or G-comp. edge image.

(a) 시험 패턴 1~3 경우.(이후, 편의상 성분 영상 생략)

|                  | R 성분 | B 성분 | I 성분 | G 성분 |
|------------------|------|------|------|------|
| 4536<br>(Large)  |      |      |      |      |
| 4537<br>(medium) |      |      |      |      |
| 4538<br>(small)  |      |      |      |      |

(b) 시험 패턴 4~6 경우.

|                  | R 성분 | B 성분 | I 성분 | G 성분 |
|------------------|------|------|------|------|
| 4551<br>(Large)  |      |      |      |      |
| 4552<br>(medium) |      |      |      |      |
| 4553<br>(small)  |      |      |      |      |

(c) 시험 패턴 7~9 경우.

|                  | R 성분 | B 성분 | I 성분 | G 성분 |
|------------------|------|------|------|------|
| 4576<br>(Large)  |      |      |      |      |
| 4577<br>(medium) |      |      |      |      |
| 4578<br>(small)  |      |      |      |      |

(e) 시험 패턴 13~15 경우.

|                  | R 성분 | B 성분 | I 성분 | G 성분 |
|------------------|------|------|------|------|
| 4661<br>(Large)  |      |      |      |      |
| 4662<br>(medium) |      |      |      |      |
| 4663<br>(small)  |      |      |      |      |

(d) 시험 패턴 10~12 경우.

|                  | R 성분 | B 성분 | I 성분 | G 성분 |
|------------------|------|------|------|------|
| 4611<br>(large)  |      |      |      |      |
| 4612<br>(medium) |      |      |      |      |
| 4613<br>(small)  |      |      |      |      |

(f) 시험 패턴 16~18 경우.

|                  | R 성분 | B 성분 | I 성분 | G 성분 |
|------------------|------|------|------|------|
| 4713<br>(Large)  |      |      |      |      |
| 4714<br>(medium) |      |      |      |      |
| 4715<br>(small)  |      |      |      |      |

(주: 각 경계선 영상은 반전시켜 표시되었음.)

유리함을 확인할 수 있었으며, 조건이 나쁠수록, 즉, 영상이 작아져서 칼라 영역간 색간섭이 심해지고 경계가 불분명해질수록 다른 결합의 경우에 비해 차이가 컸다.

부수적결과로서, 위 표에서 보듯이, Y-와 R-성분 경계선 영상들을 결합했을 때 Medium 크기 이상에서는 모두 성공적인 경계선 영상을 얻었으므로, 표 3으로부터 칼라 코드의 촬영 크기는 각 칼라 영역의 폭이 약 9 화소 이상이 바람직함을 알 수 있다.

### V. 결 론

정확한 칼라 식별을 달성하기 위해, 칼라 코드의 각 칼라 영역을 통계적으로 처리할 수 있게 하는데 필요한 효율적이고 정확한 경계선 검출 방법을 도출하였다. 구체적으로는, 다양한 성분 영상들 중 Y-성분 영상과 결합하여 가장 좋은 경계선 영상을 제공하는 성분을 찾기 위한 수학적 분석과 실험을 수행하였다. 수학적 계산에 의해 측정된 주요 안전색들 간의 평균 거리는, Y 성분

과 결합했을 때, 다양한 칼라 모델과 그 성분들 중 RGB 칼라 모델의 G 성분, B 성분, R 성분 순으로 유리하였다. 그러나, 실험 결과, 동적 범위 또는 표준 편차가 G 또는 B 성분에 비해 현저히 큰 R 성분과 결합했을 때 가장 완전한 경계선 영상을 얻을 수 있었다. 또한, 후보 성분 수를 축소하기 위해 이론적 거리를 계산하고, 실험 데이터의 동적 범위와 표준편차를 분석하여 시도한 비교 방법들에 대해서도 그 타당성이 실험을 통해 확인되었다. 또한, 부수적인 결론으로서, 칼라 코드의 촬영 크기는 각 칼라 영역의 폭이 약 9 화소 이상이 바람직함을 알게 되었다.

이 논문의 결과는 칼라영상에서 효율적이고 정확한 경계선 검출 및 영역분할을 도움으로써, 칼라 코드뿐만 아니라 칼라영상의 경계선 검출이나 영역분할이 필요한 분야에서 성능 개선에 도움을 줄 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

[1] K. Finkenzerler and R. Waddington, *RFID*



- Handbook - Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*, John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- [2] 한탁돈, "칼라코드", *TTA 저널*, no. 84, pp. 104-110, Dec. 2002.
- [3] B. H. Kwon, H.-J. Yoo, and T. W. Kim, "Detecting boundaries between different color regions in color codes", *ICEIC2004-Hanoi*, 2004.
- [4] V. P. George, G. J. Beach, and J. C. Charles, "A Realtime Object Tracking System Using a Color Camera", *30th Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR '01)*, Washington D.C., pp. 137-142, 2001.
- [5] G.-J. Jang, and I.-S. Kweon, "Robust Object Tracking Using an Adaptive Color Model", *Proc. of the 2001 IEEE Inter. Conf. on Robotics & Automation*, Seoul, pp. 1677-1682, 2001.
- [6] J. Yang and A. Waibel, "A Real-time Face Tracker", *Proc. of WACV*, pp. 142-147, 1996.
- [7] M. J. Jones and J. M. Rehg, "Statistical Color Models with Application to Skin Detection", *Int. J. of Computer Vision*, vol. 46, pp. 81-96, 2002.
- [8] Y. Deng, and B. S. Manjunath, "Color Image Segmentation", *IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR1999)*, vol. 2, pp. 446-451, 1999.
- [9] F. Meyer, "Color image segmentation", *Proc. IEE Int. Conf. Image Processing and its Applications*, The Netherlands, pp. 303-306, 1992.
- [10] D. Comaniciu and P. Meer, "Robust Analysis of Feature Spaces: Color Image Segmentation", *Proceedings of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, San Juan, pp. 750-755, June 1997.
- [11] S. Makrogiannis, G. Economou, and S. Fotopoulos, "A Graph Theory Approach for Automatic Segmentation of Color Images", *Proc. Int. Workshop on Very Low Bitrate Video Coding (VLBV 2001)*, Athens, pp. 162-166, 2001.
- [12] N. Papamarkos, C. Strouthopoulos, and I. Andreadis, "Multithresholding of color and gray-level images through a neural network techniques", *Image and Vision Computing*, vol. 18, pp. 213-222, 2000.
- [13] Q. T. Luong, "Color in computer vision", *Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision*, pp. 311-368. 1993.
- [14] Y. J. Cho, A Study on Resistor Color Code Identification Using Color Image, Master's Thesis, *Korean Technique Education University*, 2000.
- [15] R. Gonzalez, R. Woods, and S. Eddins, *Digital Image Processing Using MATLAB*, Prentice Hall, 2004.
- [16] J. Canny, "A Computational Approach to Edge Detection", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-8, no. 6, pp. 679-698, 1986.
- [17] J. R. Parker, *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*, Wiley, 1997.
- [18] T. Y. Zhang, and C. Y. Suen, "A fast parallel algorithm for thinning digital patterns", *Communications of the ACM*, vol. 27, pp. 236-239, 1984.

## 저자 소개



권 병 훈(학생회원)  
2004년 현재 상명대학교 정보통신  
공학과 4학년 재학  
<주관심분야: 신호처리, 영상처  
리>



유 현 중(정회원)  
1982년 서강대학교 전자공학 학사  
1982년~1989년 국방과학연구소  
연구원  
1991년 미주리대학교 전기 및  
컴퓨터공학 석사  
1993년~1995년 앨러바마대학교  
방문 과학자  
1996년 미주리대학교 전기및컴퓨터공학 박사  
1996년 삼성전자 수석연구원  
1996년~ 상명대학교 정보통신공학과(현 부교수)  
<주관심분야: 영상처리, 패턴인식, 인공신경망응용>



김 태 우(정회원)  
1990 한양대학교 전자통신공학  
학사  
1992 한양대학교 전자통신공학  
석사  
1995 한양대학교 전자통신공학  
박사

1995년~1997년 한양대학교 산업과학연구소 선임  
연구원  
1997년~2003년 삼성종합기술원 U-health팀 수석  
연구원  
2003년~ 한양사이버대학교 정보통신학과 조교수  
<주관심분야: 영상처리, 인공신경망, 생체신호처리>

김 기 두(정회원)  
1980년 서강대학교 전자공학 학사  
1988년 펜실베니아 주립대학교 전자공학 석사  
1990년 펜실베니아 주립대학교 전자공학 박사  
1980년~1985년 국방과학 연구소  
1998년~1999년 UC, San Diego 연구교수  
1991년~ 국민대학교 전자정보통신공학부 교수  
<주관심분야: 디지털신호처리, 디지털통신>