

# 명도와 채도 기반의 점등영역 검출 및 모델 검증에 의한 교통신호등 판별

김민기<sup>†</sup>

## Detection of a Light Region Based on Intensity and Saturation and Traffic Light Discrimination by Model Verification

Min-Ki Kim<sup>†</sup>

### ABSTRACT

This paper describes a vision-based method that effectively recognize a traffic light. The method consists of two steps of traffic light detection and discrimination. Many related studies have used color information to detect traffic light, but color information is not robust to the varying illumination environment. This paper proposes a new method of traffic light detection based on intensity and saturation. When a traffic light is turned on, the light region usually shows values with high saturation and high intensity. However, when the light region is oversaturated, the region shows values of low saturation and high intensity. So this study proposes a method to be able to detect a traffic light under these conditions. After detecting a traffic light, it estimates the size of the body region including the traffic light and extracts the body region. The body region is compared with five models which represent specific traffic signals, then the region is discriminated as one of the five models or rejected as none of them. Experimental results show the performance of traffic light detection reporting the precision of 97.2%, the recall of 95.8%, and correct recognition rate of 94.3%. These results shows that the proposed method is effective.

**Key words:** Light Region, Traffic Light Detection, Model Verification

### 1. 서론

기존의 자동차 플랫폼에 인공지능, 통신, 센서 기술이 결합된 자율주행 자동차에 대한 관심이 고조되고 있다. 운전자가 필요 없는 완전한 자율주행 자동차가 언제 상용화될 수 있을지는 알 수 없으나, 운전자의 운전을 보조하는 첨단운전자보조시스템(ADAS, Advanced Driver Assistance System)은 이미 상용화된 제품이 출시되고 있다. ADAS는 운전자에게 자동차 운행 중에 지속적으로 탐지해야 할 주요 정보들을 제공할 뿐만 아니라 위험한 상황이 예측되거나

발생되었을 때 그 상황에 효과적으로 대처할 수 있도록 운전자를 지원함으로써 사고를 예방하는데 그 목적이 있다. 차선 검출 및 추적 기술은 자동차의 주행 차선 이탈 방지는 물론 종방향의 자동운행을 지원하는 요소기술이며, 이외에도 교통신호등(traffic light), 전방 차량의 미등(tail light)에 대한 검출 및 인식 기술들도 ADAS 개발에 필요한 기술들이다.

본 논문은 컴퓨터비전 기술을 토대로 교통신호등을 효과적으로 인식할 수 있는 방법에 대하여 기술한다. 신호등의 인식은 크게 신호등의 검출과 판별의 두 부분으로 나누어 볼 수 있다. 신호등의 검출이란

※ Corresponding Author : Min-Ki Kim, Address: (660-701) Jinju-daero 501, Jinju, Gyeongnam, Korea, TEL : +82-55-772-1393, FAX : +82-55-772-1389, E-mail : mkkim@gnu.ac.kr

Receipt date : Sep. 14, 2017, Revision date : Oct. 23, 2017  
Approval date : Nov. 3, 2017

<sup>†</sup> Dept. of Computer Science, Gyeongsang National Univ.  
Engineering Research Institute

입력 영상으로부터 신호등이 위치한 영역을 찾아내는 작업으로 신호등이라는 관심영역을 추출하는 단계이다. 신호등의 판별은 검출된 관심영역에 나타난 색상, 형태, 크기 정보를 이용하여 해당 영역이 신호등에 해당하는지의 여부는 물론 신호등이라고 판단되었을 때 정지, 진행, 좌회전 등의 신호의 의미를 파악하는 것이다. 색상 정보는 신호등의 위치 검출은 물론 신호등 판별을 위한 필수적인 정보로, RGB 컬러영상으로부터 신호등이 나타내는 색상 정보를 안정적으로 검출하기 위한 다양한 연구가 이루어져 왔다. RGB 컬러모델은 날씨 및 시간대에 따른 조도변화에 따라 색을 표현하는 값이 민감하게 변하기 때문에 RGB 컬러영상을 다른 컬러공간으로 변환하여 사용하는 것이 일반적이다.

국내 기존 연구들은 대부분 HSV 컬러모델을 이용하고 있으며, 색상(hue), 채도(saturation), 명도(value) 채널별로 임계값을 설정한 후 영상을 구성하는 임의 화소를 설정된 범위와 비교하여 특정 영역이 신호등의 일부인지 그리고 어떤 색상인지를 판단한다[1-4]. Kim 외[1]는 신호등 합체 영역에 나타나는 적색, 녹색, 황색, 흑색의 범위를 정의하여 신호등 점등영역을 검출한 후 사각형 근사화와 중횡비에 의하여 합체를 탐지하고, 점등영역에 대한 원형 근사화와 색깔 위치에 따라 신호를 판정하였다. Jeong 외[2]의 연구에서도 적색, 녹색, 황색, 흑색의 범위를 정의하고 있으며 청색과 흑색의 경우에는 채도와 명도의 차이 값에 대한 범위를 추가적으로 지정하였다. 신호등의 색상별 위치는 고정되어 있으므로 신호등 점등영역의 색상을 인식한 후 점등영역 좌우의 흑색을 검출하여 신호등 합체를 검출하고 신호를 인식하였다. Jo 외[3]는 황색을 제외한 적색, 녹색, 흑색의 3가지 색상에 대한 범위를 정의하여 신호등 점등영역을 탐색하고, 소벨 연산자(Sobel operator)를 적용하여 밝기 값의 차이가 큰 곳의 위치를 신호등 합체 외곽 위치로 정하였다. 그리고 신호등 합체 영역을 이진화한 후 밝기 분포를 통해 점등영역의 위치를 확인하는 방식을 사용하였다. Park 외[4]는 에이다부스트(adaboost) 알고리즘을 적용하여 51개의 약 분류기로 신호등 여부를 판정하고, 신호등으로 분류된 영역을 이진화한 후 이진원형(binary template)과의 상관 계수를 통해 신호등을 판별하였다. 그러나 색 구분을 위하여 정의한 범위가 연구들 마다 상당한 차이를

보이고 있기 때문에 이들 연구에서 정의한 색 범위를 이용하는데 어려움이 있다.

Omachi 외[5,6]는 정규화된 RGB 컬러모델을 이용하여 영상을 변환하고, 정규화된 RGB 컬러공간에서 색 구분을 위한 범위를 정의하였다. 적색, 황색, 녹색, 흑색의 범위를 정의하고 있으며 여기에 속하지 않는 영역은 백색으로 취급한다. 소벨 연산자로 에지를 검출하고 여기에 허프 변환(Hough transform)을 이용한 원형 검출을 통해 신호등을 판별한다. Diaz-Cabrera 외[7]의 연구에서도 정규화된 RGB 컬러모델을 이용하고 있는데, 각 채널별 임계값으로 색 구분을 위한 범위를 지정하는 기존 연구와는 달리 채널별 차이 값을 이용한다는 점에서 차이가 있다. Moiumi 외[8]는 밝기와 색상 정보를 분리하기 위하여  $L^*a^*b^*$  컬러모델을 이용하였다.  $L^*$ 채널은 과포화된(over-saturated) 신호등 영역을 검출하기 위하여 사용하고,  $a^*$ 채널과  $b^*$ 채널은 전형적인 신호등 영역을 검출하는데 사용함으로써 신호등의 적색이나 녹색 영역이 과포화에 의해 색의 변화가 발생하는 문제에 대처할 수 있는 장점이 있다. Cai 외[9]는 어둡고 채도가 낮은 영역을 신호등 합체 영역으로 추출하기 위하여 RGB 컬러모델을 사용하고, 신호등 검출은 YCbCr 컬러모델을 사용하였다. 가버 필터(Gabor filter)를 사용하여 에지의 방향과 크기를 추출한 후 독립성분 분석을 적용하여 최소근접이웃 분류기로 신호등을 판별하였다. Shi 외[10]는 신호등을 포함하지 않는 배경영역을 제거한 후  $60 \times 30$  화소 크기의 윈도우를 이용하여 색상과 텍스처 기반의 SVM (support vector machine) 분류기로 신호등을 판별하였다. 이 방식은 RGB 히스토그램과 HOG (histogram of gradient) 기술자를 합쳐 총 4,410차원에 이르고, 윈도우의 크기를 고정시킨 상태에서 영상의 스케일을 바꾸어 가며 적용하기 때문에 고해상도 영상은 실시간 처리에 어려움이 발생할 수 있다. 이 외에 시각적 주의 영역을 이용하는 방법[11,12], 딥 러닝(deep learning)을 이용하는 방법[13] 등이 제안되고 있다.

차량에 부착된 카메라로부터 입력되는 전방 영상에서 신호등을 실시간으로 인식하기 위하여 대부분의 기존 연구들은 신호등 후보영역을 검출하고 이 영역에 대한 신호등 판별 작업을 수행하고 있다. 본 연구는 신호등 점등영역이 조도에 따른 명도 변화보다는 색상 변화가 더 크게 나타난다는 점에 착안하여

신호등 점등영역 검출 단계에서 색상 정보를 사용하지 않고 명도와 채도만을 이용하는 방식을 제안한다. 신호등 점등영역을 중심으로 확장된 신호등 후보영역을 추출하고, 점등영역의 색상에 따라 신호등 합체영역을 추정하여 신호등을 판별한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 색상 정보를 이용하여 신호등의 점등영역을 검출할 때 나타나는 문제점을 제시하고, 점등영역 및 신호등 합체 후보영역을 추출하는 방법에 대하여 설명한다. 3장에서는 신호등 합체영역과 신호등 모델을 비교하여 신호등의 신호를 판별하는 방법을 제시한다. 그리고 4장에서는 블랙박스 동영상에 이용한 실험을 통해 제안된 신호등 검출 및 판별 방법의 타당성을 제시한다. 마지막으로 5장에서 결론과 향후 과제를 제시한다.

## 2. 신호등 합체 영역 추출

### 2.1 점등 후보영역 추출

신호등을 검출하기 위해서는 신호등에 나타나는 영상내의 다른 요소들과 구별되는 특징을 파악해야 한다. 특별한 경우를 제외하고는 국내의 교통신호등은 대개 흑색 합체에 점등등이 가로 방향으로 배치되어 있다. 점등된 신호등 영역이 영상 내 다른 영역에 비하여 밝고 제한된 색상을 갖는다는 특징을 이용하여 먼저 점등영역을 추출하고, 신호등 합체가 흑색이고 직사각형의 형태를 갖는다는 정보에 기초하여 신호등 합체 영역을 추정한다[1-4,8,12,14]. 그런데 점등된 신호등 영역의 색상이 일조량이나 촬영 각도에 따라 다르게 나타날 수 있다. 따라서 기존 연구들에서는 점등영역의 검출 실패를 줄이기 위하여 색 구분 임계값의 범위를 여유 있게 설정하고 있다. 그러나 색 구분을 위하여 정의한 범위가 연구들 마다 상당한 차이를 보이고 있고, 점등영역이 너무 밝게 나타나는 경우 색 구분에 어려움이 발생한다.

본 연구에서는 신호등 점등영역이 조도에 따라 색상의 변화가 크게 나타나지만 명도는 높게 나타나는 점에 착안하여 신호등 점등영역 검출 단계에서 색상별 범위를 정의하지 않고 명도와 채도를 이용하는 방식을 제안한다. 신호등에서 점등된 영역은 다른 영역에 비하여 밝게 나타나므로 특정 임계값 이상의 화소를 추출하면 점등영역을 탐색하기 위한 후보영역을 찾아낼 수 있다. 이때 임계값을 너무 높게 설정

하면 점등영역이 누락되고, 너무 낮게 설정하면 후보영역이 광범위하게 분포될 뿐만 아니라 점등영역이 이웃한 영역과 접촉되어 윤곽선 특징에 의하여 점등영역인지를 판별하는 후속 단계의 성능을 저하시킨다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 점등영역이 충분히 밝게 나타나는 경우와 그렇지 않은 경우의 2가지로 나누어 접근한다. 그러나 미리 어떤 경우인지 알 수 없으므로 두 가지에 대하여 후보영역을 생성한 후 두 후보영역을 결합하여 후보영역 영상을 생성한다.

점등영역이 충분히 밝게 나타나는 영상이라도 단순히 화소의 평균적인 밝기 값을 이용하지 않고, 신호등 점등영역의 채널별 명도 특성을 이용하여 식 (1)에 의해 후보영역  $B_1$ 을 생성한다. 식 (1)에서  $I_R$ ,  $I_G$ ,  $I_B$ 는 RGB 컬러영상을 R, G, B 채널별로 분리한 영상이며, 임계값  $th_1$ 은 200으로 설정하였다.

$$B_1(i, j) = \begin{cases} 1, & I_G(i, j) \geq th_1 \wedge (I_R(i, j) \geq th_1 \vee I_B(i, j) \geq th_1) \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

점등영역이 충분히 밝게 나타나지 않는 경우에는 명도뿐만 아니라 채도를 이용하여 아래 제시된 ①~③의 절차에 의해 명도 영상  $I_N$ 을 생성한 후 식 (2)에 의해 후보영역  $B_2$ 을 생성한다. 임계값  $th_2$ 은 120으로 설정하였다. 일반적인 경우 신호등 점등영역은 채도가 높게 나타나므로 명도영상에 채도영상을 곱하면 해당 영역의 명도가 다소 낮더라도 채도에 의하여 상쇄되는 효과를 갖는다.

① RGB 컬러영상을 HSV 컬러모델에 의해 채도 영상( $I_S$ )과 명도 영상( $I_I$ )을 생성한다.

② 두 영상을 곱하여 실수 영상  $I_{S \times I}$ 을 생성한다.

③ 실수 영상  $I_{S \times I}$ 의 화소 값을 0부터 255사이의 값이 되도록 정규화한 명도 영상( $I_N$ )을 생성한다.

$$B_2(i, j) = \begin{cases} 1, & I_N(x, y) \geq th_2 \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

Fig. 1은 점등 후보영역을 추출하는 과정을 예시한 것으로, (a)는 블랙박스 카메라를 통해 촬영된 입력 영상이며, 적색 직사각형은 신호등 탐지를 위해 설정한 관심 영역(ROI, region of interest)이다. (b)는 관심 영역을 추출한 영상이다. (c)는 식 (1)에 의해 생성된 후보영역  $B_1$ 이고, (d)~(g)는 명도와 채도를 이용하여 후보영역을 생성하는 과정을 제시한 것이

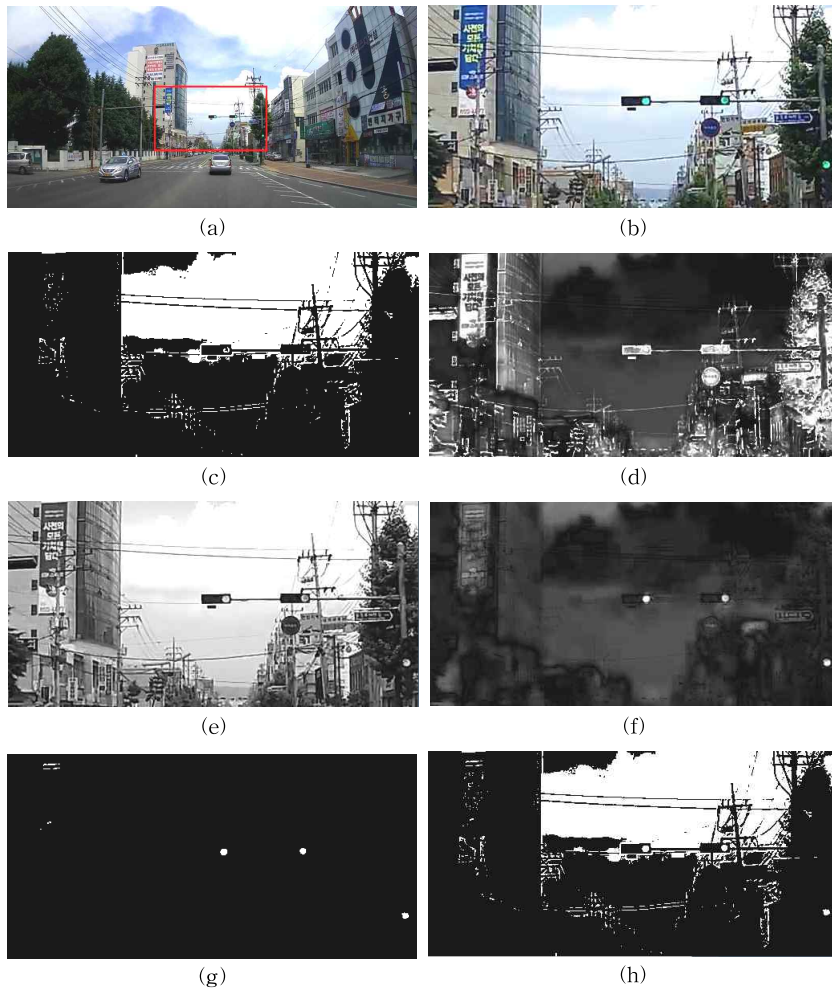


Fig. 1. (a) input image, (b) ROI image, (c) candidate region  $B_1$ , (d) saturation image  $I_s$ , (e) intensity image  $I_i$ , (f) normalized image  $I_N$ , (g) candidate region  $B_2$ , (h) candidate image  $I_C$

다. (d)와 (e)는 ROI 영상에 대한 채도 영상과 명도 영상이며, (f)는 채도 영상과 명도 영상을 곱한 후 정규화한 영상이다. (g)는 식 (2)에 생성된 후보영역  $B_2$ 이다. (h)는 두 후보영역  $B_1$ 과  $B_2$ 를 결합한 후보영역 영상이다.

## 2.2 비점등 영역 제거

후보영역 영상  $I_C$ 가 생성되면 신호등 점등영역이 잡음에 의하여 이웃한 다른 영역과 접촉되지 않도록 형태학 열림 연산(opening)을 수행한다. 또한 Fig. 1-(h)에 나타난 바와 같이 추출된 후보영역 영상  $I_C$ 에는 점등영역과 무관한 영역들을 포함하고 있으며

로, 이러한 비점등 영역들을 제거하는 것이 필요하다. 점등영역은 일정한 크기와 형태를 가지므로 이러한 사전 지식을 활용하여 비점등 영역을 제거할 수 있다.

점등영역은 대체로 원형에 가까운 형태를 나타내기 때문에 후보영역 영상  $I_C$ 로부터 윤곽선을 추출한 후 윤곽선의 길이가 일정한 범위 내에 있는 윤곽선들을 대상으로 식 (3)을 적용하면 원형과는 거리가 먼 윤곽선들을 제거할 수 있다. 식 (3)은 윤곽선의 등근 정도를 계산하는 식으로  $\rho$ 가 클수록 윤곽선이 원형에 가깝다는 것을 의미한다[15].  $a$ 는 면적을 의미하고,  $d$ 는 직경을 나타낸다. 본 연구에서는  $\rho$ 가 5.0 보다

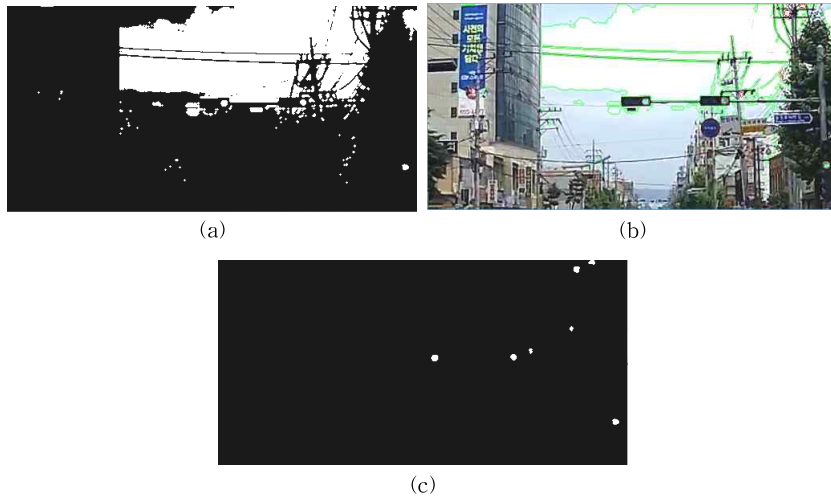


Fig. 2. (a) result of opening operation, (b) extracted contours, (c) final candidates.

작은 윤곽선 영역을 제거하였다. Fig. 2-(a)는 후보영역 영상에 열림 연산을 적용한 결과이고, (b)는 추출된 윤곽선을 컬러영상에 겹쳐서 나타낸 것이다. 녹색 윤곽선은 비점등 영역에 해당하는 윤곽선을 나타낸 것이고, 적색 윤곽선은 점등영역 후보에 해당하는 윤곽선을 나타낸 것이다. (c)는 비점등 영역을 제거한 신호등 점등영역에 대한 최종 후보영역을 나타내고 있다.

$$\rho = \frac{4\pi a}{d^2} \quad (3)$$

### 2.3 이웃 영역 병합에 의한 신호등 합체영역 추출

본 연구는 신호등 합체에 등이 3개 또는 4개가 가로 방향으로 배치되어 있는 3색등과 4색등을 인식 대상으로 한다. Fig. 3에 제시된 바와 같이 점등되는 색상에 따라 합체내의 등의 위치가 고정되어 있으므로, 2.2절에서 추출한 점등 후보영역의 색상을 알고 있다면 후보영역에 이웃한 영역을 병합하여 신호등 합체 영역을 추정할 수 있다.

점등 후보영역이 적색이면 후보영역을 우측으로 확장하여 신호등 합체 영역을 추정할 수 있고, 녹색



Fig. 3. Standard traffic lights with (a) 3-color, (b) 4-color.

이면 좌측으로 확장하여 신호등 합체 영역을 추정할 수 있다. 후보영역이 황색이면 좌측과 우측으로 영역을 확장해야 한다. 그러나 적색등이나 녹색등이 조도 변화와 촬영 각도에 따라 연한 황색이나 백색으로 나타나는 경우가 발생하기 때문에 추출된 점등 후보영역을 중심으로 좌우로 확장하여 가상의 신호등 합체를 추출하였다. Fig. 4는 점등영역의 가로 길이를  $w$ 라고 할 때 좌우로  $3w+\alpha$ 만큼 확장한 결과이다.  $\alpha$ 는 신호등 간의 간격을 고려한 수치이다. 청색 수직선은 각 등의 위치를 구분하기 위한 가상선으로 신호등 합체는 7개의 세부영역( $r1 \sim r7$ )으로 나누어진다.



Fig. 4. Virtual traffic light body segmented with seven subregions.

## 3. 신호등 판별

### 3.1 신호등 색상 마스크 생성

신호등 판별을 위해서는 점등된 영역의 색상을 구별할 수 있어야 한다. 그런데 RGB 컬러 모델로 표현된 영상은 조도에 따라 RGB 채널별 명도 값이 변하므로, 이러한 가변성을 극복하기 위하여 정규화된 RGB 컬러모델을 도입하였다. 정규화된 RGB 컬러모델은 식(4)와 같이 R, G, B 성분을 전체 성분의 합으

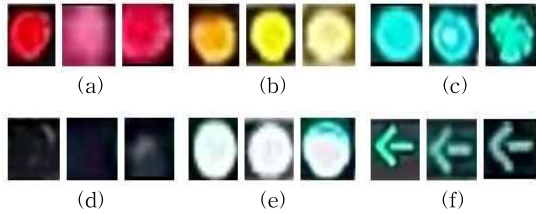


Fig. 5. Samples used for color modeling of (a) red lights, (b) yellow lights, (c) green lights, (d) lights-out, (e) over-saturated lights, (f) left-arrow lights

로 나누어 정규화한 것으로, 조도의 강도 변화에 불변하는 특징을 갖는다[16, 17].  $r+g+b=1$  이므로  $b$ 는 중복된 정보가 된다. 따라서 정규화된 컬러 공간은  $r$ 과  $g$ 의 두 성분으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R/(R+G+B) \\ G/(R+G+B) \\ B/(R+G+B) \end{pmatrix} \quad (4)$$

적색등, 황색등, 녹색등의 3가지 색상과 소등되었을 때의 흑색, 그리고 과포화에 의하여 등이 백색으로 나타나는 경우를 포함하여 총 5가지 신호등을  $r$ 과  $g$ 의 두 성분으로 모델링하였다. 그리고 화살표로 나타나는 좌회전 등은 녹색이지만 실제 영상에서는 녹색등과 다른 특성을 나타내기 때문에 추가적으로 모델링 하였다. 점등영역에 나타나는 화소의  $r$ 과  $g$

성분 값을 각각 8단계로 양자화한 후 누적 분포를 조사하였다. Fig. 5는 색상 별 누적 분포 조사에 사용된 영상의 일부를 나타낸 것이고, Fig. 6은 조사 자료를 토대로 6가지 신호등에 대한  $r \times g$  성분의 분포를 단순화하여 나타낸 마스크(mask)이다.

### 3.2 세부 영역별 우세 색상

가상의 신호등 합체영역은 7개의 세부영역으로 구분되고, 각 세부영역을 크기 정규화한 후 8단계로 양자화 한다. 세부영역별로  $r$ 과  $g$ 성분의 누적 빈도를 Fig. 6에 정의된 색상 마스크와 회선 연산(convolution operation)을 수행하면 어떤 색상이 해당 영역에서 우세한지 판단할 수 있다. 회선 연산에 의한 유사도 점수의 계산은 식 (5)로 표현된다.  $F_k(r, g)$ 는  $k$ 번째 세부영역에서 추출한  $r$ 과  $g$ 성분의 누적 빈도를 의미하고,  $M_c(r, g)$ 는 색상  $c$ 에 대한 마스크이고,  $\{R, Y, G, B, W, L\}$ 는 Fig. 6에 제시된 적색, 황색, 녹색, 흑색, 백색, 좌회전 신호등색을 나타낸다.  $s(r_k, c)$ 는  $k$ 번째 세부영역과 색상  $c$ 간의 유사도를 나타낸다. 따라서  $k$ 번째 세부영역의 우세 색상  $C_k$ 은 식 (6)과 같이 정의된다.

$$s(r_k, c) = \sum_{g=0}^7 \sum_{r=0}^7 F_k(r, g) \times M_c(r, g); k \quad (5)$$

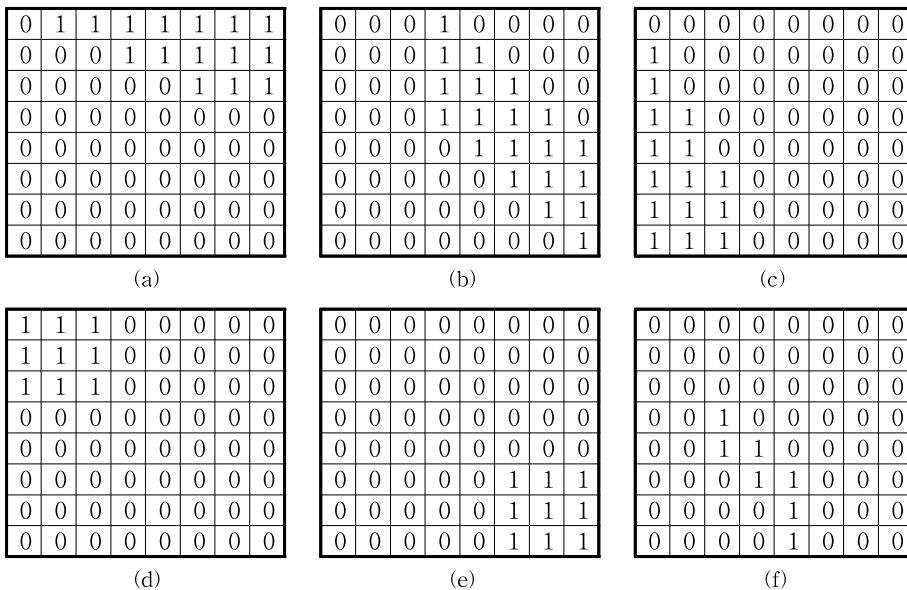


Fig. 6. Color masks based on normalized-rg (a) red mask, (b) yellow mask, (c) green mask, (d) black mask, (e) white mask, (f) left-arrow mask.

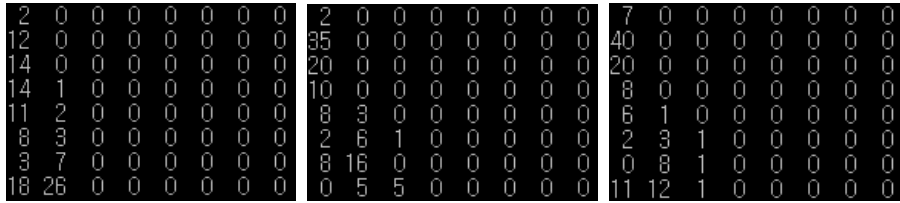


Fig. 7. Examples of accumulated  $r \times g$  frequency on green light.

$$= 1..7, c \in \{R, Y, G, B, W, L\}$$

$$C_k = \arg \max_c s(k, c), c \in \{R, Y, G, B, W, L\} \quad (6)$$

예를 들어 Fig. 5에 제시된 3개의 녹색등 영역에서  $r$ 과  $g$ 성분의 누적 빈도는 구하면 좌측부터 순서대로 Fig. 7과 같이 나타난다. Fig. 7의 가장 왼쪽에 나타난 누적 빈도 값을 식 (5)에 적용하면 적색(R)=0, 황색(Y)=0, 녹색(G)=121, 흑색(B)=0, 백색(W)=28, 화살표(L)=0의 유사도를 얻게 되어 녹색이 우세 색상이 된다.

### 3.3 모델 검증에 의한 신호등 판별

3색 교통신호등은 정지(적색등), 천천히 통과(황색등), 직진(녹색등)의 신호를 생성하고, 4색등은 여기에 좌회전(화살표) 신호가 추가된다. 일상적으로 자주 접하는 신호를 살펴보면 3색등은 정지, 통과, 진행의 3가지 신호를 생성하고, 4색등은 추가적으로 직진 또는 정지 신호와 함께 좌회전 신호가 점등된다. 그밖에 좌회전 신호만 점등되거나 적색등 또는 황색등이 깜빡이는 신호도 존재하며, 교차로의 형태에 따라 우회전 신호도 존재한다. 그러나 일상적으로 자주 접하는 신호는 정지, 천천히 통과, 직진, 정지+좌회전, 직진+좌회전 신호이므로 [4]의 연구에서와 같이 이들 5가지를 인식 대상으로 하였다. 적색등, 황색등, 녹색등, 좌회전 표시등이 점등된 상태를 각각 R, Y, G, L로 나타내고 소등된 상태를 B로 나타내면, Table 1과 같이 신호등의 신호를 구분할 수 있다.

가상의 신호등 합체 중앙에 위치한 4번째 세부영역  $r_4$ (Fig. 4 참조)를 중심으로 좌측 또는 우측에 이웃한 영역들을 병합하여 해당신호의 의미를 식별한다. 그런데 *RBB*와 *RBBB*, *BYB*와 *BYBB*, *BBG*와 *BBBG*는 동일한 신호이므로, 이들은 서로 구분할 필요가 없다. 본 연구에서는 Table 2에 제시된 바와 같이 *RBB*, *BYB*, *BBG*, *RBLB*, *BBLG*의 총 5가지로

Table 1. Classification of traffic signals

| Type                  | Classification | Signal      |
|-----------------------|----------------|-------------|
| 3-color traffic light | RBB            | Stop        |
|                       | BYB            | Go slowly   |
|                       | BBG            | Go          |
| 4-color traffic light | RBBB           | Stop        |
|                       | BYBB           | Go slowly   |
|                       | BBBG           | Go          |
|                       | RBLG           | Stop & left |
|                       | BBLG           | Go & left   |

신호등 모델을 정의하였고 이에 대응되는 5개의 병합영역( $m_1 \sim m_5$ )을 구성하였다.

신호등의 식별은 5개의 병합영역을 대응되는 신호등 모델과 비교하여 가장 유사한 모델을 찾는 작업이다. 병합영역과 신호등 모델과의 유사도는 각 영역에 대응되는 모델의 색상과의 유사도를 결합하여 나타낼 수 있다. Table 2에 제시된 병합영역  $m_i$ 와 대응되는 모델  $M_i$ 간의 유사도 점수  $\sigma_i$ 는 식(7)~식(11)에 의해 산출된다. 여기서  $s(r_k, c)$ 는 식 (5)에 제시된 영역  $r_k$ 와 색상  $c$ 간의 유사도를 나타내고,  $s'(r_4, C_4, M_i)$ 는 모델  $M_i$ 에서 4번째 영역  $r_4$ 와 4번째 영역의 우세 색상  $C_4$ 간의 유사도를 나타낸다. 예를 들어 모델  $M_1$ 에서  $r_4$ 의 우세 색상은 적색(R)으로 나타나는 모델인데, 실제 도로 환경에서 적색등이 황색(Y)이나 백색(W)으로 나타나는 경우가 발생하기 때문에 이러한

Table 2. Five models of traffic signal and their corresponding merged regions

| Models                 | Merged Regions                |
|------------------------|-------------------------------|
| $M_1$ ( <i>RBB</i> )   | $m_1 = r_4 + r_5 + r_6$       |
| $M_2$ ( <i>BYB</i> )   | $m_2 = r_3 + r_4 + r_5$       |
| $M_3$ ( <i>BBG</i> )   | $m_3 = r_2 + r_3 + r_4$       |
| $M_4$ ( <i>RBLB</i> )  | $m_4 = r_4 + r_5 + r_6 + r_7$ |
| $pM_5$ ( <i>BBLG</i> ) | $m_5 = r_1 + r_2 + r_3 + r_4$ |

색상 변화에 대처하기 위한 것이다. 그런데 모델  $M_1$ 에서  $C_4 = R$ 인 것이 일반적이고,  $C_4 = Y$ 이거나  $C_4 = W$ 인 것은 예외적인 것이므로 유사도 점수에 차등을 두기 위하여 식 (12)와 같이 모델별로 우세 색상에 따른 가중치  $w_i$ 를 곱하여 유사도 점수를 조정하였다. 그리고 모델  $M_1$ 에서  $r_4$ 의 우세 색상이 R, Y, W가 아닌 다른 색상이 나타나는 경우는 RBB 신호가 아니므로 유사도 점수는 0이 된다.  $k$ 번째 세부 영역  $r_k$ 와 좌회전(L)과의 유사도는 식(13)과 같이 좌회전 색상과 녹색에 가중치를 곱한 후 합산하여 산출한다. 이렇게 각 모델별 유사도 점수  $\sigma_i$ 가 산출되면 모델별 유사도 점수가 최대인 모델로 신호를 판정한다. 이때 유사도 점수가 임계값 미만이면 모델 검증이 실패한 것으로 판정하여 신호등이 아닌 것으로 판정한다. 본 연구에서는 신호등 여부를 판정하기 위한 임계값, 즉 모델 검증을 위한 임계값을 75로 설정하였다.

#### 4. 실험 결과 및 분석

##### 4.1 교통신호등 영역 검출

$$\sigma_1 = \begin{cases} (s'(r_4, C_4, M_1) + s(r_5, B) + s(r_6, B))/3, & \text{if } C_4 \in \{R, Y, W\} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$\sigma_2 = \begin{cases} (s(r_3, B) + s'(r_4, C_4, M_2) + s(r_5, B))/3, & \text{if } C_4 \in \{Y, W\} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

$$\sigma_3 = \begin{cases} (s(r_2, B) + s(r_3, B) + s'(r_4, C_4, M_3))/3, & \text{if } C_4 \in \{G, W\} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

$$\sigma_4 = \begin{cases} (s'(r_4, C_4, M_4) + s(r_5, B) + s(r_6, L) + s(r_7, B))/4, & \text{if } C_4 \in \{R, Y, W\} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

$$\sigma_5 = \begin{cases} (s(r_1, B) + s(r_2, B) + s'(r_3, L) + s'(r_4, C_4, M_5))/4, & \text{if } C_4 \in \{G, W\} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

$$s'(r_4, C_4, M_i) = s(r_4, C_4) \times w_i, C_4 \in \{R, Y, G, B, W\} \quad (12)$$

$$s'(r_k, L) = (s(r_k, L) \times w_L) + (s(r_k, G) \times w_G) \quad (13)$$

제안된 방법의 타당성을 확인하기 위하여 주간에 도심 지역에서 촬영한 영상을 이용하여 실험을 수행하였다. 시중에 판매되고 있는 블랙박스를 장착하여 영상을 획득하였으며, 입력 영상의 해상도는 1920×1080의 HD급 컬러 영상이다. 블랙박스는 차량에 고정되어 있기 때문에 인식 대상이 되는 전방의 신호등은 일정 영역 내에 나타난다. 따라서 본 실험에서는 Fig. 1-(a)에 나타난 바와 같이 중앙부의 적색 사각형으로 표시한 관심영역을 탐색하여 신호등을 검출한다.

본 연구에서 제안하는 명도와 채도 기반의 신호등 검출 방식의 성능을 국내의 기존 연구들과 비교하기 위하여 [1]~[4]의 연구에서 제시한 색 구분 임계값을 각각 적용하여 신호등 검출을 수행하였다. Fig. 8은 입력 영상 중 관심영역 부분만을 나타낸 것이고, Fig. 9와 Fig. 10은 각 연구에서 제시한 방식에 의하여 Fig. 8의 (a)와 (b) 영상으로부터 신호등 후보영역을 검출한 결과이다. 상단부터 순서대로 [1], [2], [3], [4]의 신호등 검출 방식에 의한 결과이고, 최하단의 결과는 제안하는 방식에 의한 결과이다. 첫 열은 초



(a)



(b)

Fig. 8. Sample ROI images of (a) red traffic lights, (b) green traffic lights.



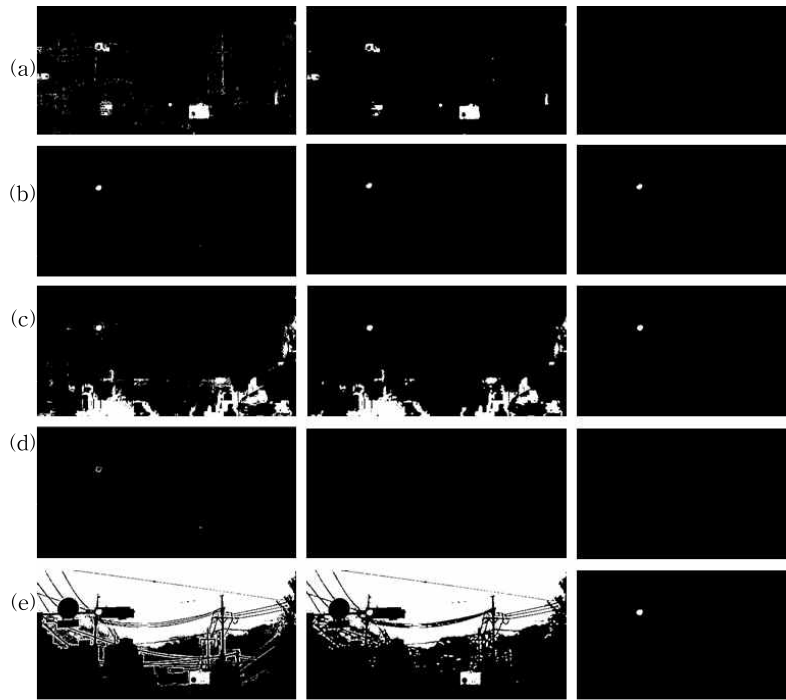


Fig. 9. Detected candidates of red traffic lights by the method of (a) Kim et al.[1], (b) Jeong et al.[2], (c) Jo et al.[3], (d) Park et al.[4], (e) proposed

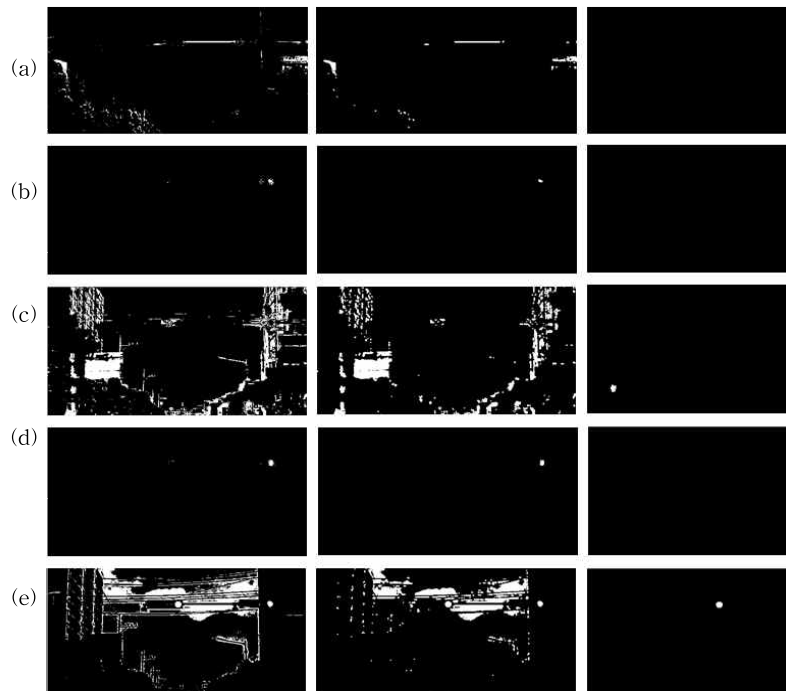


Fig. 10. Detected candidates of green traffic lights by the method of (a) Kim et al.[1], (b) Jeong et al.[2], (c) Jo et al.[3], (d) Park et al.[4], (e) proposed,

기 신호등 후보영역을 검출한 결과이고, 형태학 열림 연산을 통해 잡영을 제거한 것이 가운데 열, 그리고 마지막 열은 윤곽선의 형태와 크기에 의하여 신호등으로 추정되는 영역들을 선별한 결과이다. Fig. 8-(a)에는 총 3개의 적색 신호등이 있는데, 멀리 있는 신호등은 불빛이 약하여 어떤 방식으로든 거의 검출되지 않았으며, 일부 화소가 검출된 경우에도 크기가 매우 작아 신호등 후보영역에서 제외된다. Fig. 9에 제시된 바와 같이 앞쪽에 있는 적색 신호등은 [2], [3], 그리고 제안하는 방식에서 성공적으로 검출되었다. Fig. 8-(b)에는 2개의 녹색 신호등이 있는데 좌측에 있는 신호등은 파포화에 의하여 백색을 띠고 있다. Fig. 10에서와 같이 제안된 방식은 백색과 녹색 신호등 2개 모두를 성공적으로 검출하였다. [4]의 방식은 우측의 녹색 신호등만을 검출하였고, 나머지 방식들은 2개의 신호등 모두 검출에 실패하였다. 이러한 결과는 색상별 범위 임계값에 의한 신호등 검출 방법이 낱씨, 시간대, 그림자 등에 의한 조도의 변화에 적절하게 대응하지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 이것은 색상별 범위 임계값 기반의 신호등 검출 방법이 갖는 한계를 나타내는 것으로 볼 수 있다.

4.2 제안된 방법의 성능 측정

신호등 검출에 대한 성능은 정확도(precision)와 재현율(recall)로 나타낼 수 있다. 정확도는 신호등으로 분류된 것 중 진짜 신호등인 것의 비율을 나타내는 것으로 식 (14)에 의해 계산된다. 재현율은 실제 존재하는 전체 신호등 중 추출된 신호등의 비율로 식 (15)에 의해 계산된다. 참 긍정(TP, true positive)은 신호등이 존재할 때 신호등을 검출한 경우의 개수, 참 부정(TN, true negative)은 신호등이 없을 때 신호등이 없다고 판정한 경우의 개수, 거짓 긍정(FP, false positive)은 신호등이 없을 때 신호등을 검출한 경우의 개수, 참 부정(FN, false negative)은 신호등이 존재하는데 신호등을 검출하지 못한 경우의 개수를 의미한다.

$$Precision(\%) = \frac{TP}{TP+FP} \times 100 \tag{14}$$

$$Recall(\%) = \frac{TP}{TP+FN} \times 100 \tag{15}$$

제안된 방법의 성능을 정량적으로 측정하기 위하여 도심에서 주간에 획득한 12개의 동영상에 대하여 실험을 수행하였다. 신호등 검출은 다섯 프레임 당 1개에 대하여 실시하였다. Table 3은 실험을 통해 얻은 결과로, 제안하는 방법의 신호등 검출의 정확도는 97.2%, 재현율은 95.8% 이다.

신호등 인식에 대한 성능 측정은 정인식률(correct recognition rate)로 나타낼 수 있다. 정인식률은 검출된 신호등에 대하여 신호를 올바르게 식별한 것의 비율로 식 (16)에 의해 계산된다. Table 3에서 C는 신호를 올바르게 식별한 경우의 개수를 나타낸다. 본 실험에서의 정인식률은 94.3%로, 국내의 기존 연구결과들과 비교해 볼 때 제안하는 방법이 효과적임을 확인할 수 있었다.

$$CRR(\%) = \frac{C}{TP+FP} \times 100 \tag{16}$$

신호등 검출 및 식별에서 오류가 발생한 원인을 분석해 본 결과 신호등을 검출하지 못한 부정 오류는 대부분 신호등 점등영역에 해당하는 화소가 충분하게 검출되지 않아 검출 대상이 되는 신호등이 신호등 후보영역에서 누락됨으로 인하여 발생하였다. 신호등이 아닌 영역이 신호등으로 검출된 긍정 오류는 점등영역의 색상을 적색과 녹색뿐만 아니라 백색 또는 황색으로 확장하면서 점등영역이 아닌 영역이 점등영역으로 검출되어 오류가 발생하였다. 그리고 신호등 식별 오류는 BBLG 유형의 신호등에서 좌회전 화살표에 대한 식별에 실패한 경우와 신호등 합체 영역 추출에 오류가 발생한 경우였다.

5. 결 론

색상 정보는 신호등 검출 및 식별을 위한 필수적인 정보로 기존의 연구들은 색상 정보를 중심으로 신호등을 검출하는 방법을 제시하고 있으며, HSV 컬러모델을 기반으로 신호등 점등영역에 나타나는 적색, 황색, 녹색을 구별하기 위한 임계값 범위를 설

Table 3. Results of traffic light detection and discrimination

| Traffic Light Exist | Traffic Light Not exist | TP  | FP | TN  | FN | C   |
|---------------------|-------------------------|-----|----|-----|----|-----|
| 215                 | 891                     | 205 | 6  | 886 | 9  | 199 |

정하고 있다. 그러나 점등영역에 나타나는 색상은 날씨 및 시간대에 따른 조도 변화에 따라 화소 값의 변화가 크게 나타나 신호등 검출에 문제가 발생하고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 극복하기 위하여 신호등 검출 단계에서는 채도와 명도 값만을 이용하는 신호등 검출 방법을 제안하였다. 그리고 신호등 식별을 위하여 신호등 점등영역을 확장한 가상의 신호등 합체 영역을 7개의 세부 영역으로 분할하고, 5개의 신호등 모델로 검증하는 방법을 제시하였다. 신호등 모델에 대한 검증은 신호등이 갖고 있는 도메인 지식을 신호등 식별에 반영하기 때문에 빠르고 정확한 식별이 가능하다. 도심에서 주간에 획득한 12개의 동영상에 대하여 실험을 수행한 결과 제안하는 방법의 신호등 검출의 정확도는 97.2%, 재현율은 95.8%였으며, 94.3%의 정인식률을 보여 제안하는 방법이 효과적임을 확인할 수 있었다. 그러나 색상 정보에 의존하여 신호등을 식별하기 때문에 적색이나 녹색 점등영역이 과포화에 의하여 백색이나 황색으로 나타나는 경우 발생하는 문제점을 모두 처리하기에는 한계를 보였다. 따라서 향후 연구에서는 신호등 검출 및 식별 단계에서 에지와 같은 텍스처 정보를 추가적으로 도입하여 성능을 개선할 필요가 있으며, 야간에도 신호등 인식이 가능하도록 연구를 확장해 나갈 계획이다.

## REFERENCE

- [1] J. Kim and J. Kim, "Performance Improvement of Traffic Signal Lights Recognition Based on Adaptive Morphological Analysis," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 19, No. 9, pp. 2129-2137, 2015.
- [2] J. Jeong and D. Rho, "Real Time Detection and Recognition of Traffic Lights Using Component Subtraction and Detection Masks," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 43, No. 2, pp. 65-72, 2006.
- [3] P. Jo and J. Lee, "Traffic Light Detection Using Morphometric Characteristics and Location Information in Consecutive Images," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol. 21, No. 12, pp. 1122-1129, 2015.
- [4] S. Park and J. Lee, "Real Time Traffic Signal Recognition Using HSI and YCbCr Color Models and Adaboost Algorithm," *Transaction of Korea Society of Automotive Engineers*, Vol. 24, No. 2, pp. 214-224, 2016.
- [5] M. Omachi and S. Omachi, "Traffic Light Detection with Color and Edge Information," *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology*, pp. 284-287, 2009.
- [6] M. Omachi and S. Omachi, "Detection of Traffic Light Using Structural Information," *Proceedings of the IEEE International Conference on Signal Processing*, pp. 809-812, 2010.
- [7] M.D. Cabrera, P. Cerri, and J.S. Medina, "Suspended Traffic Lights Detection and Distance Estimation Using Color Features," *Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 1315-1320, 2012.
- [8] H. Moizumi, Y. Sugaya, M. Omachi, and S. Omachi, "Traffic Light Detection Considering Color Saturation Using In-Vehicle Stereo Camera," *Journal of Information Processing*, Vol. 24, No. 2, pp. 349-357, 2016.
- [9] Z. Cai, Y. Li, and M. Gu, "Real-time Recognition System of Traffic Light in Urban Environment," *Proceedings of the 2012 IEEE Symposium on Computational Intelligence for Security and Defense Applications*, pp. 1-6, 2012.
- [10] Z. Shi, Z. Zou, and C. Zhang, "Real-Time Traffic Light Detection with Adaptive Background Suppression Filter," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 17, No. 3, pp. 690-700, 2016.
- [11] J. Kim, "Traffic Lights Detection Based on Visual Attention and Spot-Lights Regions Detection," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 81, No. 6, pp. 1260-1270, 2014.

[12] R. Charette and F. Nashashibi, "Real Time Visual Traffic Lights Recognition Based on Spot Light Detection and Adaptive Traffic Lights Template," *Proceedings of the Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 358-363, 2009.

[13] V. John, K. Yoneda, B. Qi, Z. Liu, and S. Mita, "Traffic Light Recognition in Varying Illumination Using Deep Learning and Saliency Map," *Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 2286-2291, 2014.

[14] G. Siogkas, E. Skodras, and E. Dermatas, "Traffic Lights Detection in Adverse Conditions Using Color, Symmetry and Spatiotemporal Information," *Proceedings of the International Conference on Computer Vision Theory and Applications*, pp. 620-627, 2012.

[15] V. John, K. Yoneda, Z. Liu, and S. Mita, "Saliency Map Generation by the Convolutional Neural Network for Real-Time Traffic Light Detection Using Template Matching," *IEEE Transactions on Computational Imaging*, Vol. 1, No. 3, pp. 159-173, 2015.

[16] C. Nakajima, M. Pontil, B. Heisele, and T. Poggio, "Full-Body Person Recognition System," *Journal of Pattern Recognition*, Vol. 36, No. 9, pp. 1997-2006, 2003.

[17] M. Kim, "Color Space Exploration and Fusion for Person Re-identification," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 19, No. 10, pp. 1782-1791, 2016.



김민기

1989년 2월 중앙대학교 전자계산학과 이학사  
1994년 8월 중앙대학교 전자계산학과 이학석사  
1998년 2월 중앙대학교 컴퓨터공학과 공학박사

1998년~1999년 KRIC 선임연구원  
1999년~2000년 KERIS 책임연구원, 연구위원  
2000년~2010년 경상대학교 컴퓨터교육과 부교수  
2011년~현재 경상대학교 컴퓨터과학과 교수  
2013년~2014년 미국 University of Notre Dame 방문학자  
2014년~현재 경상대학교 공학연구원(ERI) 자동차·컴퓨터연구센터 책임연구원  
관심분야: 생체인식, 패턴인식, 영상처리