

무인 자율주행을 위한 신호등의 검출과 인식

김 장 원*

Detection and Recognition of Traffic Lights for Unmanned Autonomous Driving

Jang-Won Kim*

요 약 본 연구는 입력 영상에서 교통 신호등을 검출하고, 신호등의 색상을 인식하며, 신호를 판별하여 무인 자율주행 차량이나 ITS(Intelligent Transportation System)에 적용할 수 있는 신호등 색상 인식 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 교통신호등을 검출하기 위해 CEA(Canny Edge Algorithm)를 이용하여 외곽선을 추출하였고, 신호등의 색상을 인식하고 정확도를 높이기 위하여 HCT(Hough Circle Transform)를 적용하였다. 제안된 방법으로 주행도로상에서 획득한 스트림 영상에 적용한 결과, 우수한 신호등 색상 인식률을 확인할 수 있었다. 특히 입력영상에서 신호등이 존재할만한 ROI(Region Of Interest)로 구분하여 연산시간을 줄일 수 있었고, 신호등과 유사한 영역이라도 원이 검출되지 않거나 HSV 공간에서 V값이 낮아 후보영역에서 탈락시킴으로써 인식률의 정확도를 높일 수 있었다.

Abstract This research extracted traffic light from input video, recognized colors of traffic light, and suggested traffic light color recognizing algorithm applicable to manless autonomous vehicle or ITS by distinguishing signs. To extract traffic light, suggested algorithm extracted the outline with CEA(Canny Edge Algorithm), and applied HCT(Hough Circle Transform) to recognize colors of traffic light and improve the accuracy. The suggested method was applied to the video of stream acquired on the road. As a result, excellent rate of traffic light recognition was confirmed. Especially, ROI including traffic light in input video was distinguished and computing time could be reduced. In even area similar to traffic light, circle was not extracted or V value is low in HSV space, so it's failed in candidate area. So, accuracy of recognition rate could be improved.

Key Words : CEA, HCT, ROI, Unmanned Autonomous Driving, Traffic Light Recognition

1. 서 론

2018년도 국제전자제품 박람회(CED 2018)에서는 자동차 및 자동차 부품업체의 대거 참여와 함께 자율주행 자동차가 박람회의 주요 테마로 각인되었다. 또한 ICT 대표 기업들도 자율주행 기술 개발과 제품 소개에 열을 올렸다. 이는 그동안 이동수단의 대표인 자동차가 자가운전시대를 넘어서 무인 자율주행 자동차의 시대로 접어들었다는 것을 의미한다[1].

그러나 자동차가 자율주행을 하기 위해서는 다양한 측면에서 기술개발이 이루어져야 하고 신뢰

성을 확보해야 한다. 대표적인 기술을 구분한다면 차선 인식 문제[2], 신호등 인식 문제[3], 돌발사태 대응 문제, ITS[4]를 적용한 도로 이용 문제, 속도 제어 문제 등이 있다. 실제 LIDAR 시스템[5]으로 다양한 센서 기능을 추가하여 복합기술로 자율주행 문제를 해결하고자 하지만, 아직까지는 신뢰성을 확보하는데 더 많은 시간을 투입하고 있는 실정이다.

자율주행에서 신호등 인식은 교차로에서 정지 신호 지킴과 같은 신뢰성을 확보하여 운전자나 탑승자 또는 보행자에게 위험상황으로부터 안전

*Department of Electronic Engineering, Gachon University(jwkimm@gachon.ac.kr)

Received November 21, 2018

Revised November 30, 2018

Accepted December 10, 2018

하게 지킬 수가 있다. 그러나 다양한 이유로 완전한 자율주행을 위한 신호등 인식은 이루어지지 않고 있으며 신뢰도를 높이기 위한 다양한 방법으로 연구가 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 자율주행에서 핵심 기술로 평가받고 있는 신호등 인식 문제에 대하여 신뢰성을 높이기 위하여 입력 영상에서 신호등을 검출하여 신호등의 Light 색상을 인식하고 신호를 판별하여 자율주행 차량에 적용할 수 있는 알고리즘을 제안하고 이를 실현하고자 한다.

2. Traffic Light Detection

신호등의 형태는 직사각형과 원으로 구성되어 있고 기능면에서 다른 물체와 달리 명확한 특징이 있다. 신호등 검출은 이 형태의 검출과 색상의 조건에 따른 밝기와 카메라의 특성을 규정해야 가능하다. 이런 제한조건 때문에 밝기에 따라 검출된 RGB의 수치는 변하며 적절한 인식의 어려움이 있다. 따라서 수치 변화를 예상하기 힘든 RGB 공간보다는 색상, 채도, 명도의 요소로 구성되어있는 HSV 공간이 명도 변화에 강인성을 보여주고 있으므로 이를 사용하여 Image Signal Processing(ISP)을 수행하는 편이 유리하다. 만약 같은 위치 조건에서 신호등을 검출할 때, 어두운 경우 RGB 각각의 값이 변하므로 색상 및 색상 밝기 정도에 대해 알기 힘들다. 그러나 HSV 공간에서는 외부 밝기가 변해도 예상 가능한 범위에서 HSV 값이 변하므로 색상 및 색상 밝기 인식에 크게 어려움을 주지 않는다.

2.1 신호등의 후보영역 지정

입력 영상에서 신호등 검출을 위한 후보영역의 지정이 필요하다. 신호등이 있는 위치는 입력영상에서 예상 가능하며, 검출 속도를 높이고 오인식을 낮추기 위해 1차적으로 관심영역을 지정한다. 다음 그 안에서 보다 상세하고 정확한 후보영역을 지정한 후 이를 검증하는 단계로 진행한다.

2.1.1 최초 관심영역 지정

입력영상은 도로 및 주변까지 촬영이 되지만 필요한 부분은 실제 신호등이 위치한 중앙과 상단 부분이다. 이를 이용해 입력영상에서 중앙과 상단 부분만을 관심영역 Region Of Interest(ROI)로 지정한다. 앞으로 진행되는 모든 연산은 ROI 영역에서만 수행된다.



그림 1. 최초 관심영역

Fig. 1. Region of first interest

2.1.2 Mean Shift Filtering(MSF)

MSF는 영상 필터링 알고리즘 중 하나로 노이즈 제거를 위해 이용되며, 가우시안 필터에 비해 탁월하다. MSF는 무게중심을 연속해서 찾아가는 방법이며, 확률밀도함수에서 데이터 분포가 가장 많이 모여 있는 위치를 찾는 알고리즘이다. 이는 필터링뿐만 아니라 객체 추적에도 사용된다. MSF는 식 1과 같다.

$$(x,y) : \begin{cases} X-sp \leq x \leq X+sp, \\ Y-sp \leq y \leq Y+sp, \\ \|(R,G,B) - (r,g,b)\| \leq sr \end{cases} \quad (1)$$

입력영상의 모든 픽셀 (X, Y) 에 대해 윈도우 중심에 있는 픽셀과 윈도우에 포함된 모든 픽셀의 값 차이를 각각 알아내고 그 값의 차이가 샘플링 픽셀의 2차원 (x,y) 공간상 이웃 영역인 spatial window의 크기 sr 보다 작아야 관심대상 픽셀이 될 수 있다. (x,y) 위치는 관심대상 픽셀들의 위치 평균값이다. 이 과정을 입력영상의 전체에서 반복한다면 입력영상의 색상이 균일해지고 그로인해 경계선도 명확해진다. 여기서 sr 은 color window의 크기이며 샘플링 픽셀의 3차원 (r,g,b) 공간상의 이웃한 경계이다.

2.1.3 외곽선 추출

MSF으로 배경이 단순화 된 영상에서 물체 외곽선을 추출한다. 영상에서 꼭선을 나타내는 점들의 리스트로 정의되는 외곽선은 Canny Edge Algorithm(CEA)으로 검출한다[6].

이 알고리즘은 다음과 같이 동작한다. 우선 노이즈가 포함되어 있는 영상에서 노이즈 제거를 위한 스무딩을 진행한다. 대부분 에지 추출 마스크는 노이즈에 민감하므로 추출 실패를 막기 위해 이를 제거해 주어야 한다. CEA는 노이즈 제거를 위해 가우시안 필터를 이용한다. 수식 2와 같이 8×8 크기의 가우시안 matrix를 만든 뒤 목표 영상과 가우시안 필터의 convolution을 수행하여 노이즈를 제거한다.

$$B = \frac{1}{159} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

스무딩 된 영상에서 Sobel 연산을 이용해 외곽선을 추출한다. Sobel 연산은 영상의 각 픽셀별 명암도의 gradation 차이를 계산해 경계를 찾아내는 방법으로 각 픽셀이 급격하게 바뀌 상관관계를 값으로 나타내게 된다. Sobel 연산은 식 3과 같이 Sobel 마스크를 이용하여 영상과 convolution한다.

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * A \text{ and } G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} * A \quad (3)$$

여기서 G_x 는 가로 필터이고, G_y 는 세로 필터이며, convolution된 결과는 식 4와 같은 벡터를 갖는다. 식 4를 통해 가장 빠르게 증가한 방향과 값을 알 수 있다.

$$\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right] \quad (4)$$

경사 강도는 식 5와 같이 피타고라스의 정리를 통해 알 수 있다. 일반적으로는 이 방법을 이용하여 많이 쓰나 대각선을 고려하지 않는 Manhattan Distance를 이용하여 강도를 구할 수도 있다. 방향은 식 6을 이용하여 각도 θ 를 얻을 수 있다. 각각의 방향성에 있어서는 각도를 그룹화 시켜서 구분하게 된다.

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad |G| = |G_x| + |G_y| \quad (5)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{|G_y|}{|G_x|}\right) \quad (6)$$

그룹화는 0, 45, 90, 135, 180으로 45도 간격으로 나뉘어 총 5개의 구역으로 구분된다. 이 그룹화에 의한 외곽선 방향은 식 3에서 모든 3x3 이웃픽셀에 대해서 경계의 위치를 고려해 탐색 방향을 결정하고 이웃픽셀 중 최대 강도만을 갖는 외곽선으로 얻어지며 방향은 아래 그림 5와 같이 4가지로 나뉜다.

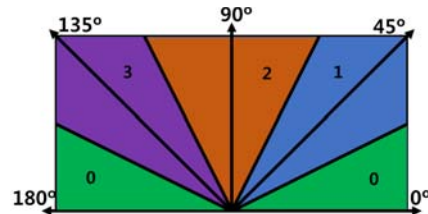


그림 2. 그룹화된 5개의 외곽선 방향
Fig. 2. Five grouped edge detections

그림 2에서 방향이 0이면 좌우와 비교하여 판단하고, 1이면 현재 위치에서 offset이 (-1,-1), (+1,+1)인 점과 비교한다. 방향이 2라면 위, 아래와 비교하고 3이면 offset이 (-1,+1), (+1,-1)인 점과 비교하게 된다. 이 과정을 거쳐 너무 두껍거나 불필요한 부분들을 제거하여 강도가 강한 경계와 연관성을 가지고 있는 외곽선만이 최종 Canny 외곽선 추출의 결과물이 된다.

2.1.4 신호등 후보영역 검출

ROI 영역에서 추출된 외곽선으로부터 후보 영역을 지정하기 위해 인접한 화소에 같은 번호를 붙여 그룹을 만들고 labeling을 한다. 이는 외곽선들의 포함 관계를 구분하며, 그림 3과 같이 수평, 수직으로 구성된 사각형만 검출한다. 그러나 신호등 이외의 사각형도 검출되는 문제가 있으나, 이는 가로세로비가 큰 차이를 이루는 신호등의 특징을 기준으로 후보영역을 감소시킬 수가 있다. 그림 3(a)는 제거되기 전이고 (b)는 신호등 이외의 사각형이 제거된 영상이다.

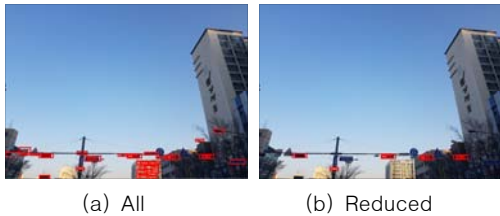


그림 3. 사각형 검출
Fig. 3. Rectangular region detection

2.2 Traffic Light Recognition

2.2.1 원 검출

Hough Circle Transform(HCT) 알고리즘을 이용해 후보영역에서 원을 검출한다[7].

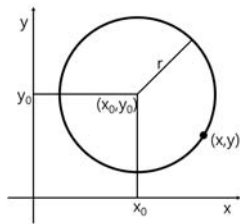


그림 4. HCT를 이용한 원 검출
Fig. 4. Circle detection using HCT

그림 4에서 HCT는 직선과는 달리 2차원이 아닌 3차원의 파라미터 공간을 필요로 한다. 원의 중심인 (x_0, y_0) 와 반지름 r 로 구성되어 있다. 찾으려는 중심을 (x_0, y_0) 라 하고 반지름을 r 이라

할 때 영상의 가로, 세로를 x, y 라 하면 모든 경계점 (x, y) 에 대하여, 중심이 될 수 있는 모든 점 (x_0, y_0) 을 대상으로 식 7로 반지름 r 을 구하여 Hough 3차원 좌표를 얻는다.

$$\vec{p} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ r \end{bmatrix} \quad r^2 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \quad (7)$$

식 7에서 가장 빈도수가 높은 곳의 좌표 (x_0, y_0, r) 들을 탐색한 후, 최대값이 지정해 놓은 값보다 높으면 중심 (x_0, y_0) 을 갖고 반지름이 r 인 원을 검출한 것으로 확정한다. 그러나 HCT는 속도는 빠르지만 그림 5(a)처럼 원의 중심과 가까운 곳에서 새로운 원의 중심이 발견되면 이를 무시하기 때문에 원이 여러 개 있을 경우 가장 작은 원을 선택 하려는 경향이 있는데, 그림 5(b)와 같이 최소 및 최대거리의 지정을 검출하고자 하는 원의 크기에 맞게 지정해주면 된다.

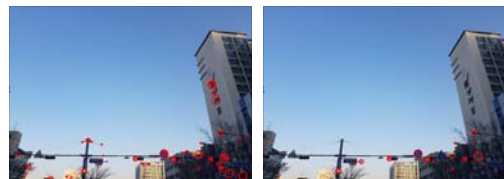


그림 5. 원의 최대 최소 크기
Fig. 5. Maximum and minimum size of circle

2.2.2 Light 색 신호 인식

후보 영역에서 검출된 원 영역으로부터 중심 좌표 값과 반지름을 받아 그 좌표에 대해 빨강(R), 노랑(Y), 녹색(G)에 대한 색 정보를 확인한다. 원의 중심 좌표에 있는 색의 RGB 공간으로부터 HSV 공간 값을 계산한 후 이를 가지고 H 값 픽셀 데이터의 평균을 추출하고 이를 이용해 원의 중심 좌표가 어떤 색인지 판별한다. H 값의 평균값이 신호등 Light의 R, Y, G에 해당 된다면 해당 원의 중심 좌표가 Light 부분인지 아

니면 그냥 색만 같은 다른 영역의 좌표인지 확인 하여야 한다. 이와 마찬가지로 원 중심 좌표 부분의 채도 값인 S가 같은 값을 가지더라도 명도 값인 V 값이 커진 신호등의 밝기를 가지지 못한 다면 신호등 불빛이 아닌 것으로 판단하여 정확한 인식을 할 수 있다.

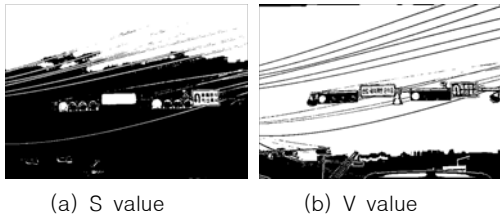


그림 6. S, V값 추출
Fig. 6. S and V value extraction

위의 그림 6은 Light 부분에서 명확한 S값과 V 값 특성을 보여주고 있으며, 이 특성은 더욱 정확한 신호등의 Light 검출 및 색 인식을 수행할 수 있게 해준다.

3. 실험 및 고찰

본 실험에서는 CachOn사의 모델 FHD401인 블랙박스(Full HD, 1920×1080)에서 촬영된 영상과 무선카메라 모듈(DRC-WI-FI V1.0)로 촬영하여 OpenCV 3.2.0 라이브러리와 Visual Studio 2017을 사용하여 실험하였다.

그림 7은 제안한 방법에 의해 주행 중 신호 대기 시 신호등의 Light 색 검출과 인식된 결과를 나타낸 것이다. 그림 7(a)~그림 7(c)는 앞장의 이론에서 설명한 바와 같이 후보영역에서 신호등을 검출하고 Light의 인식된 색인 R, Y, G 을 나타내었다. 그림 7(d)는 신호등의 Light와 유사한 색이 주변 및 차량에 존재할 때의 경우이다. 비록 유사한 색은 보이지만 조건에 맞는 원과 사각형이 검출되지 않았으므로 (d)에서는 신호등이 검출되지 않는 것을 확인 할 수 있다.

그림 8(a)는 신호등의 후보영역 조건에 만족하는 사각형은 찾았지만 그 안에 원이 검출되지 않

아 신호등 후보영역에서 탈락하였으며, 그림 8(b)는 차량의 정지등이 신호등 색과 유사하고 원도 검출되고 빨간색까지 찾았지만 꺼진 신호등 이라면 V값이 낮아야하지만 영상에서는 V값이 높게 나왔으므로 신호등 후보영역에서 탈락했다.

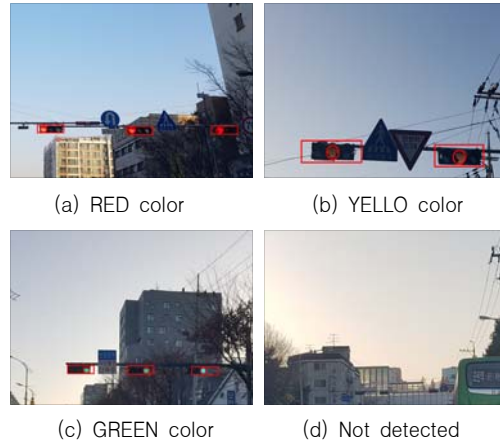


그림 7. 신호등에서 R, Y, G 색상 인식
Fig. 7. Recognition of R, Y, G Colors in Traffic Light



그림 8. 원 미검출 및 유사 색상 인식
Fig. 8. Circle non-detection and similar color recognition

4. 결 론

본 연구에서는 입력 영상에서 신호등을 검출하여 신호등의 Light 색상을 인식하고 신호를 판별하여 자율주행 차량에 적용할 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

제안된 알고리즘은 교통신호등을 검출하기 위해 CEA를 사용하여 외곽선 추출을 수행하였고,

교통 신호등의 Color를 정확하게 인식하기 위해 신호등 고유의 색 파장 범위를 설정하여 색 분할을 수행하였으며, HCT를 적용하여 정확도를 높였다. 인식 단계에서 처리속도를 높이기 위해 관심영역을 지정하여 처리하게 될 데이터 량을 감소시켰고, 보다 정확한 색 인식을 위해 HCT와 원 검출 영역의 픽셀 값을 평균 내어 색 판별을 하였다. 제안된 알고리즘으로 주행도로상에서 획득한 스트림 영상에 적용하여 확인한 결과 우수한 신호등 색상 인식률을 확인할 수 있었다. 이 알고리즘의 적용 범위는 단순한 블랙박스에서부터 무인 자율주행 차량의 안전성을 높이는데 활용 가능하다.

추후 연속적인 연구대상으로는 주간 밝기뿐만 아니라 야간이나 정상적이지 않은 기상조건에서도 정확하게 인식하도록 하는 것이다.

REFERENCES

- [1] S. M. Kim, "Recent Trends and Implications of Autonomous Vehicles", Institute for Information & Communications Technology Promotion, pp.16-25, 2018.
- [2] H. S. Son, S. Y. Lee, K. W. Min, S. J. Seo, "Hardware Architecture Design and Implementation of IPM-based Curved Lane Detector", The Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, vol.10 no.4, pp.304-310, 2017.
- [3] K. H. LEE, M. Y. Bang, K. W. Lee, "Traffic Light and Speed Sign Recognition by using Hierarchical Application of Color Segmentation and Object Feature Information", KIPS Transactions on Software and Sata Engineering, vol.17B no.3, pp.207-214, 2010.
- [4] G. S. Kim, "Morphological Vehicle Classification Algorithm for Intelligent Transportation System", The Journal of Korea Multimedia Society, vol.5 no.1, pp.10-17, 2002.
- [5] J. D. Kim, K. K. Kwon, S. I. Lee, "Trends and Applications on Lidar Sensor Technology", The Journal of ETRI : Electronics and telecommunications trends, vol.27 no.6, pp.134-143, 2012.
- [6] Qin Jiang, Qiang Wang, "Large Space Fire Image Processing of Improving Canny Edge Detector Based on Adaptive Smoothing", Innovative Computing&Communication, 2010 Intl Conf on and Information Technology&Ocean Engineering, 2010 Asia-Pacific Conf on (CICC-ITOE) 2010 Jan., pp.264-267, 2010.
- [7] Su Li, Pang Di, Liu Zhilin, "Panoramic sea-sky line extraction based on improved hough circle transform", Control Conference (CCC), 2015 34th Chinese 2015 July, pp.3690-3694, 2015.
- [8] Mr. Tahidul Islam, Insoo Koo, 'Autonomous Indoor Lighting Device Control System Based on Wireless Sensor Network', The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication VOL. 11 No. 4, 2011

저자약력

김 장 원(Jang-Won Kim)

[중심회원]



<관심분야>

- 1992년 2월 : 명지대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 명지대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1993년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 전자공학과 교수

영상신호처리, 영상이해, 임베디드 시스템, 인터넷 통신, IPTV