

색상 및 형태 특징을 고려한 교통신호 고속 인식 알고리즘

김진산 권태호 김재은 정경훈

국민대학교

{grl21c, kmjkh, eun9477, khjung}@kookmin.ac.kr

Fast Recognition Algorithm of Traffic Light Sign by Color and Shape Feature

Kim, Jin-San Kwon, Tae-Ho Kim, Jai-Eun Jung, Kyeong-Hoon

Department of Electronics Engineering, Kookmin University

요약

최근 자율주행자동차에 대한 관심이 증가함에 따라 교통 상황을 인식하는 방법에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 특히 교통신호등의 인식은 치명적인 결과를 야기하는 교통사고와 밀접하게 연관된다는 점에서 중요성이 더욱 부각되고 있다. 본 논문에서는 컴퓨터 비전 시스템을 기반으로 한 교통신호등 인식 방법을 제안한다. 차선, 표지판 등과는 다르게 교통신호등은 빛을 발하는 특징이 있으며 그 모양과 형태 또한 규격화 되어 있다. 이러한 특징 중 색상과 형태 특징을 이용하여 두 단계의 추출과정을 거쳐 교통신호등을 인식한다. 먼저 HSV 색 공간에서 적색, 녹색, 주황색의 빛을 발하는 영역을 찾아낸 뒤, 신호의 원형 특징을 이용해 가로, 세로 사이즈와 크기로 신호의 후보를 추출한다. 다음, 신호등의 검은 박스 영역을 찾기 위해 추출한 신호 후보군의 주변부가 검정색인지를 확인한다. 최종적으로 신호등의 박스 부분을 검출하여 신호를 발하는 위치를 기반으로 신호를 인식한다. 실험결과 많은 계산량을 요구하는 기계학습을 사용하지 않고도 실시간 처리와 높은 인식률로 교통 신호를 인식할 수 있음을 확인하였다.

1. 서론

최근 지능형 자동차는 많은 사람들의 관심아래 빠르게 발전하고 있다. 컴퓨터 비전 기반의 자율주행 관련 시스템 가운데 교통신호등 인식 기술의 역할은 매우 중요하다. 차량에 설치한 카메라 영상에서의 교통신호등은 그 크기가 매우 작으며 차량이 흔들림에 따라 영상속의 교통신호등도 흔들리며, 복잡한 배경 환경에서는 간섭에 취약하다[1]. 이러한 문제를 해결해야만 인식 오류에 의해 생길 수 있는 사고를 줄일 수 있다.

교통신호등을 검출하고 신호를 인식하는 대부분의 연구에서는 교통신호등의 색상 또는 형태에 기반을 두고 SVM (Support Vector Machine) 이나 Adaboost와 같은 기계학습 알고리즘을 사용하는 것이 일반적이다 [2-3]. 하지만 복잡한 기계학습 알고리즘을 사용하기 위해서는 다양한 환경에서 수집한 학습 샘플이 필요하며 분류 과정에서도 상당한 계산량이 필요하기 때문에 처리시간 측면에서는 불리하게 작용한다. 본 논문에서는 복잡한 기계학습 알고리즘을 이용하지 않으면서도 빠른 속도로 높은 수준의 인식 성능을 보이는 교통신호등 인식 알고리즘을 제안한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 교통신호등의 신호를 구성하는 녹색, 적색, 그리고 주황색의 색상 특징을 추출하고 3절에서는 색상 및 형태특징을 결합하여 신호등 영역을 추출하는 방법을 제안한다. 4절에서는 내부 신호부의 상대적 위치를 이용한 교통신호를 판별하는 과정을 설명한다. 5절은 실험으로 본 논문에서 제안한 방법의 결과를

나타내며 6절에서 결론을 맺는다.

2. 교통신호등의 색상 특징 추출

교통신호등의 가장 큰 특징은 검은색 박스 안에서 빛을 발하는 원형의 신호부를 포함하고 있으며 박스 및 내부 신호부의 위치와 모양이 일정하다는 것이다. 국내의 교통신호등은 주로 3구형과 4구형이 있는데 그림 1에서는 4구형 국내 신호등을 나타내었다.

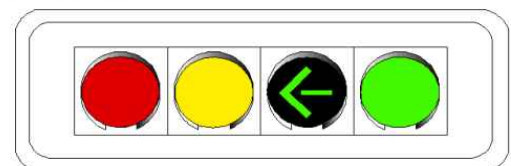


그림 1. 4구 교통신호등 표준지침

본 논문에서는 먼저 색상 정보를 기반으로 교통신호등의 내부 원형 신호부를 추출한다. 그림 1에서 보듯이 추출해야 할 색상은 녹색, 적색, 주황색의 세 가지 종류이다. 영상에서 가장 기본적으로 사용하는 색 공간은 RGB (Red, Green, Blue)[4] 공간이지만 빛을 발하는 영역을 찾기에는 부적합하다. 이에 반해 HSV (Hue, Saturation, Value)[5] 공간은 색상, 채도, 명도로 색을 나타내는 공간이기에 빛을 발하는 영역을 보다 쉽게 찾을 수 있다. 따라서 빛을 발하는 신호를 추출하기 위해

서 RGB 공간에서 HSV 공간으로 변환한다. 변환 공식은 아래와 같다.

$$\theta = \begin{cases} \theta & \text{if } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{if } B \geq G \end{cases} \quad (1)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \begin{cases} \frac{1}{2} [(R-G) + (R-B)] \\ \frac{1}{\sqrt{3}} [(R-G)^2 + (R-B)(G-B)]^{1/2} \end{cases} \right\} \quad (2)$$

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

$$V = \frac{1}{3}(R+G+B) \quad (4)$$

제안방법에서는 H,S,V 값을 사용하여 적색, 녹색, 주황색 등 신호부에 해당하는 색상을 추출한다. 이 과정은 S 및 V 값이 일정 크기 이상인 경우에 대해 H 값이 각 색상마다 미리 정해진 범위 내에 있는지 판단하여 수행된다. 컬러 필터링만을 수행한 결과 영상에는 일반적으로 잡음이 포함되어 있기 때문에 온전한 형태를 나타내지 않는다. 따라서 필터링된 영상에서 불필요한 잡음을 제거하고 추출된 신호부 영역에 존재하는 작은 구멍들을 채우기 위해 모폴로지 [6] 연산을 수행한다. 그림 2에서 영상의 일부분을 확대하여 교통신호등이 존재하는 영역에서 색상 특징을 추출하고 모폴로지를 수행한 결과를 나타내었다. 그림 2 (a)는 원본 영상이며, (b) G 성분을 추출한 결과 이진 영상, 그리고 (c) 모폴로지를 거친 최종적인 이진 영상이다.



(a) 원본 영상



(b) 녹색 필터링 처리한 이진 영상



(c) 모폴로지 열기 연산 처리한 이진 영상

그림 2. 교통신호등 색상 특징의 추출

제안 방법에서는 보다 정확하게 교통신호등 후보군을 검출하기 위해서 교통신호등의 규격을 함께 고려한다. 영상내에서 검출된 내부 신호부의 크기는 거리에 따라서 가변적이다. 따라서 절대적인 크기가 아닌 상대적인 비율 즉, 가로대세로비를 형태 특징으로서 사용한다. 앞서의 과정에서 추출된 교통신호등 후보군 가운데 가로 길이와 세로 길이를 구하고 그 비율이 다음의 범위 내에 존재하는 것을 최종적인 후보로 선택한다.

$$0.7 < Width/Height < 1.3 \quad (5)$$

$$0.7 < Height/Width < 1.3 \quad (6)$$

3. 색상 및 형태 특징을 결합한 교통신호등 영역 검출

다음 단계로 교통신호등에서 원형 신호부의 외부에는 검은색의 사각형 박스가 존재한다는 형태적 특징을 사용한다. 교통신호등 박스를 찾기 위해서 일단 검은색을 추출한다. 이 단계에서 명도 즉, V 성분만을 사용하면 실제로 색상이 존재하면서도 명도값이 낮은 영역이 포함될 수 있으므로 채도 즉, S 성분도 함께 사용하여 실제 색상이 어두운 영역을 찾아낸다. 검은색 필터링 과정을 통해 얻은 영상은 원형의 내부 신호부가 비워져 있기 때문에 이를 채우기 위해 모폴로지 닫기 연산을 수행한다. 그림 3는 교통신호등 박스 영역의 검출 과정을 보여준다. 그림 3 (a)는 그림 2 (a)에서 주어진 원본 영상에 대해 검은색 필터를 통과한 이진 영상, 그리고 그림 3 (b)는 모폴로지를 거쳐 원형의 내부 신호부영역을 채운 이진 영상이다.



(a) 검은색 필터링을 처리한 이진 영상



(b) 모폴로지 닫기 연산 처리한 이진 영상

그림 3. 교통신호등 박스 영역의 추출

이상의 두 과정을 거쳐 추출한 내부 신호부 영역과 신호등 박스 영역을 결합하여 교통신호등 후보군이 되는 영역을 생성한다. 즉, 신호등 박스 영역이 내부 신호등 영역을 포함하면 교통신호등이라고 판단한다.

교통신호등은 3구 및 4구의 표준화된 규격을 가진다. 해당 규격을 바탕으로 추출된 신호후보군에서 박스를 가져올 수 있다. 4구 기준의 신호로 신호의 가로 길이의 5배, 높이의 2배 만큼을 신호의 위치에 따라 관심영역을 설정한다. 예를 들어 빨간색 신호는 4구 신호등 기준 가장 왼쪽에 위치하여 있으므로 추출된 후보군의 오른쪽으로 관심영역을 설정하고 녹색 신호등은 가장 오른쪽에 위치함으로 왼쪽으로 설정한다. 그림 4의 (a), (b)는 각각 녹색과 빨간색 신호일 때의 관심영역을 설정한 영상이다.



(a) 녹색신호의 경우 검출된 신호등 관심영역



(b) 빨간색신호의 경우 검출된 신호등 관심영역

그림 4. 교통신호등 관심영역 설정

4. 내부 신호부의 상대적 위치를 이용한 교통신호 판별

마지막 단계는 검출된 교통신호등 영역에서 내부의 신호부들 간의 상대적인 위치를 조합하여 실제 교통신호를 구분하여 판정하는 것이다. 제안 방법에서는 검출 대상으로서 3구 신호등 및 4구 신호등 모두를 고려한다. 교통신호등 표준 지침에 따르면 3구의 경우는 내부 신호부의 위치가 왼쪽부터 적색(원형), 주황색(원형), 녹색(원형)의 순서이다. 그리고 4구의 경우는 좌회전을 나타내는 녹색 신호가 하나 더 추가되어 왼쪽부터 적색(원형), 주황색(원형) 녹색(화살표), 녹색(원형)의 순서를 가진다. 4구 신호등의 경우에 국내의 교통신호 체계에 따라 조합이 가능한 교통신호 종류를 다음의 그림 5에 정리하여 나타내었다.

정지	
정지 및 준비	
정지 및 좌회전	
준비	
직진 및 준비	
직진	
직진 및 좌회전	
좌회전 및 준비	

그림 5. 4구 신호등의 신호 종류

그림 5에서 보인 총 8 종류의 신호 가운데 ‘정지’, ‘정지 및 직진’, ‘정지 및 좌회전’, 그리고 ‘준비’ 신호의 4가지 종류는 단순히 컬러 필터링을 통해 추출된 색상의 조합을 통해 판단 가능하다. 그러나 ‘직진 및 준비’와 ‘좌회전 및 직진’ 신호의 경우는 녹색과 주황색을 동시에 가지고 있다. 또한 ‘직진’, 과 ‘직진 및 좌회전’ 신호의 경우는 녹색만 존재하기는 하지만 검출된 녹색 영역의 개수에서 차이가 있다. 제안 방법에서는 녹색 신호가 다른 색상의 신호와 함께 검출되는 경우에 신호등 박스 내부에서 각 신호부의 상대적 위치에 따른 거리 차이를 계산하여 신호 종류를 판별한다.

5. 실험 결과

제안 방법의 성능을 평가하기 위해 차량에 설치한 블랙박스를 통해 실제 주행 중에 촬영한 일반 도로 영상을 실험 영상으로 사용하였다. 실험 영상의 해상도는 1280×672 이며 전체 프레임수는 9,246개이다. 그림 6에서 실험 영상의 예를 나타내었다. 그리고 컴퓨팅 환경은 Quad Core 3.50GHz, 8GB RAM에서 Visual Studio 2013와 OpenCV 라이브러리를 사용하였다.

그리고 제안 방법에서는 컬러 필터링을 위해 $0.55 V > 0.6$ 인 경우를 대상으로 하였으며 빨간색, 녹색, 주황색 추출을 위해 사용한 H 의 범위는 각각 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 0^\circ < H_d < 25^\circ \text{ or } 325^\circ < H_{Red} < 360^\circ \\
 105^\circ < H_{Green} < 175^\circ \\
 40^\circ < H_{Orange} < 80^\circ
 \end{aligned}
 \tag{7}$$



그림 6. 실험 영상의 예

다음의 표 1에서 전체 실험영상에 대한 교통신호의 판별 결과의 정확도를 신호별로 정리하여 나타내었다. 실험영상에서는 ‘정지 및 준비’ 그리고 ‘좌회전 및 준비’ 신호는 발견되지 않아 나머지 6개 신호에 대해 판별 결과를 정리하였다.

표 1. 제안 방법의 성능

신호 종류	정인식	미인식	오인식	recall (%)	precision (%)
정지	561	31	12	94.8	97.9
직진	628	44	37	93.5	94.4
준비	198	14	3	93.4	98.5
정지 및 준비	-	-	-	-	-
직진 및 준비	81	3	0	96.4	100.0
좌회전 및 정지	158	3	0	98.1	100.0
좌회전 및 준비	-	-	-	-	-
좌회전 및 직진	341	23	0	93.7	100.0
총계	1,967	118	52	94.3	97.4

실험 결과의 재현율(recall)은 평균 94.3%로 계산되었다. 구체적으로 살펴보면, ‘직진’, ‘준비’, 그리고 ‘좌회전 및 직진’ 신호 경우의 성능이 낮았으며, 빨간색 신호가 포함되는 경우의 성능이 상대적으로 높게 나오는 것을 볼 수 있다. 이는 교통신호등의 빨간색은 HSV 공간에서 비교적 일정한 범위 내에 존재했지만 녹색은 컬러 필터링을 위한 임계값 범위를 벗어나는 사례가 발생했기 때문이다.

다음으로 정밀도(precision)은 평균 97.4%로 계산되었다. 특히 ‘직진 및 준비’, ‘좌회전 및 준비’, 그리고 ‘좌회전 및 직진’ 등 단일 신호가 아닌 조합 신호의 경우에는 오인식 사례가 발생하지 않은 우수한 결과를 보였다. 다음의 그림 7에서는 오인식의 예를 나타내었다. 녹색을 띄고 있는 빌딩 창문의 일부를 직진 신호를 나타내는 신호등으로 오인식한 경우에 해당한다.



그림 7. 빌딩 창문을 직진 신호로 오인식한 예

한편 제안 방법의 처리 속도는 평균적으로 90.9 frames/sec로 측정되어 실시간 처리가 충분히 가능한 것으로 확인되었다.

6. 결론

본 논문에서는 자율주행 자동차를 위한 핵심기술 가운데 하나인 교통신호의 인식 방법을 제안하였다. 먼저 교통신호등 영역을 검출하기 위해서 빨간색, 녹색, 주황색의 컬러 필터링을 통해 색상 특징을 추출하였으며 이와 함께 검은색 필터링을 통해 교통신호등의 박스 영역을 추출하였다. 그리고 두 특징과 표준규격을 결합하여 교통신호등의 관심영역을 검출하였다. 다음으로 검출된 관심영역 내에서 실제 교통신호를 인식하기 위해서 내부의 신호부들 간의 상대적인 위치를 조합하여 총 8가지 종류의 신호를 구분하여 판별한다.

제안 방법의 평균적인 인식 성능은 복잡한 기계학습 알고리즘을 사용하지 않았음에도 불구하고 94.3%의 재현율과 97.4%의 정밀도로서 상당히 양호한 결과를 나타내었다. 또한 평균적인 처리속도는 90.9 frames/sec로서 실시간 처리가 충분히 가능한 수준이다.

앞으로 컬러 필터링을 수행함에 있어서 영상의 밝기 등 다양한 환경 변화에 따라 적응적으로 변하는 파라미터를 설정하는 방법을 개발하고 교통신호등의 위치를 추적하는 기법과 결합하는 방향으로 연구를 진행할 예정이며 이를 통해 보다 정확하면서도 안정적인 교통 신호등 검출 및 인식 알고리즘으로 개선될 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Zhou, Xuanru, Jiazhen Yuan, and Hongzhe Liu. "A traffic light recognition algorithm based on compressive tracking," *International Journal of Hybrid Information Technology*, vol. 8 no. 6, pp.323-332, 2015.
- [2] Hyun-Koo Kim, Young-Nam Shin, Sa-gong Kuk, Ju H. Park, and Ho-Youl Jung, "Night-time traffic light detection based on SVM with geometric moment features," 76th World Academy of Science, Engineering and Technology, pp. 571-574, 2013.
- [3] Schapire, Robert E. "Explaining adaboost," *Empirical inference*, pp.37-52, 2013.
- [4] C. Yu, C. Huang, and Y. Lang, "Traffic light detection during day and night conditions by a camera," *Proc. of International Conference on Signal Processing*, pp. 821-824, Oct. 2010.
- [5] Jongwon Choi, Byung Tae Ahn, and In So Kweon, "Crosswalk

and traffic light detection via integral framework," *Proc. of Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision*, pp. 309-312, 2013.

- [6] G. Agam and I. Dinstein, "Regulated morphological operations," *Pattern Recognition*, vol. 32, no. 6, pp. 947-971, 1999.