

자율 주행 UGV를 위한 정지선과 횡단보도 인식 알고리즘 설계 및 구현

Design and Implementation of the Stop line and Crosswalk Recognition Algorithm for Autonomous UGV

이재환 · 윤희병[†]

Lee-Jae Hwan, and Heebyung Yoon[†]

*국방대학교 컴퓨터공학과

[†] School of Computer Engineering, National Defense University

요약

정지선과 횡단보도는 자율 주행에서 가장 기본적으로 인식해야 하는 인식대상임에도 불구하고 추출할 수 있는 특징이 매우 제한적이고 영상기반의 인식기술을 제외한 레이저나 RF, GPS/INS 인식기술로는 인식이 어려운 분야다. 이러한 이유로 이 분야에 대한 연구는 매우 제한적으로 수행되어왔다. 본 논문에서는 비전센서를 통해 입력된 정지선과 횡단보도 영상을 영상기반으로 인식할 수 있는 알고리즘을 설계하고 구현한다. 제안한 알고리즘은 3개 부분으로 구성된다. 즉 특징추출에 필요한 영역을 사전에 선정하여 처리속도를 향상시키는 관심영역 설정 부분, 일정비율 이상의 백색이 검출된 영상만 인식되도록 하여 불필요한 연산을 제거하는 색상패턴 검사 부분, 에지특징을 추출하고 추출된 에지특징을 사전에 모델링한 특징모델과 비교하여 정지선과 횡단보도 여부를 식별하는 특징 추출과 인식 부분이다. 특징추출과 인식 부분에는 유형별 특징비교 알고리즘을 적용하여 정지선과 횡단보도가 병행하여 존재하거나 각각 존재하는 경우에 대해 모두 식별되도록 한다. 또한 제안한 알고리즘은 기존연구를 발전시키기 위해 카메라의 차량내부 설치의 효과, 역광 및 그림자와 같은 다양한 제약조건에 대한 인식을 변화와 거리에 따른 적정 인식률 평가를 비교·분석하였다.

키워드 : 정지선과 횡단보도, 자율 주행, 영상 인식, 관심영역, 특징 추출

Abstract

In spite of that stop line and crosswalk should be aware of the most basic objects in transportation system, its features extracted are very limited. In addition to image-based recognition technology, laser and RF, GPS/INS recognition technology, it is difficult to recognize. For this reason, the limited research in this area has been done. In this paper, the algorithm to recognize the stop line and crosswalk is designed and implemented using image-based recognition technology with the images input through a vision sensor. This algorithm consists of three functions.; One is to select the area, in advance, needed for feature extraction in order to speed up the data processing, 'Region of Interest', another is to process the images only that white color is detected more than a certain proportion in order to remove the unnecessary operation, 'Color Pattern Inspection', the other is 'Feature Extraction and Recognition', which is to extract the edge features and compare this to the previously-modeled one to identify the stop line and crosswalk. For this, especially by using case based feature comparison algorithm, it can identify either both stop line and crosswalk exist or just one exists. Also the proposed algorithm is to develop existing researches by comparing and analysing effect of in-vehicle camera installation and changes in recognition rate of distance estimation and various constraints such as backlight and shadow.

Key words: Stop Line, Crosswalk, Edge Pattern Recognition, Image-based Recognition Technology, Interest Area

1. 서론

접수일자: 2014년 1월 15일

심사(수정)일자: 2014년 3월 12일

게재확정일자: 2014년 3월 27일

[†] Corresponding author

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

UGV가 보행자의 안전이 보장된 상태에서 무인 자율 주행을 하기 위해서는 도로상의 정지선과 횡단보도를 반드시 인식해야 한다. 정지선과 횡단보도는 도로표면에 얇게 도포되어 있고, 다양한 잡음에 노출되어 있어 RF 기반 인식기술, 레이저 기반 인식기술로는 인식이 어려운 것이 사실이다[1]. 그리고 도심지역에서는 GPS/INS 기반 인식기술도 오차 발생가능성이 높다. 이 때문에 최

근 이슈가 되고 있는 분야가 영상기반 인식기술이다[2]. 영상기반 인식기술은 과거에 비해 비전센서의 가격이 낮아지고 영상처리 컴퓨터의 고사양화로 인한 실시간 제어가 가능해짐에 따라 기술적 활용도가 점차 높아지고 있는 기술이다[3]. 이와 같은 이유로 본 연구에서는 영상 기반 인식 기술을 활용하여 정지선과 횡단보도를 인식하는 알고리즘을 설계하고 구현한다.

본 연구에서는 매우 광범위한 환경조건 중에서 맑은 날씨와 주간 환경을 기준으로 하며, 직선 및 평면 도로에 위치한 정지선과 횡단보도로 연구범위를 한정한다. 기존 연구와는 다음과 같은 2가지 점에서 차이가 있다. 첫째, 기존 연구[4][5][6][7]는 차량 상단에 별도의 기구물을 제작하여 비전센서를 설치했는데, 이는 양호한 입사각을 얻을 수 있고 차량 앞유리 반사광에 대한 영향 없이 알고리즘을 테스트 할 수 있는 이점이 있다. 그러나 기구물에 부착한 카메라는 바람에 의한 진동이나 먼지, 기상변화에 취약하고, 별도의 기구물 제작비용이 요구되는 단점도 있다. 둘째, 기존 연구는 평가요소로 인식률만 평가했고 적정 인식거리에 대한 연구가 없었다. 따라서 본 연구에서는 이를 개선하여 운전석 백미러 뒤에 카메라를 설치하고 거리에 따른 인식률과 인식속도 변화를 측정한다.

제안 알고리즘은 영상 기반 인식 기술을 활용하여 설계하며, C++와 Open-CV 라이브러리를 통해 구현한다. 실험에 사용할 정지선과 횡단보도 영상을 획득하기 위해 Dasler(독일) acA1600-20gc 모델 비전센서를 아반떼 MD 차량에 부착하고, 영상 수집은 일산 신도시 주변과 국방대 주변에서 각각 수집하며, 수집된 영상은 이더넷 케이블을 통해 실시간으로 노트북에 저장하여, 이중 필요한 프레임만 추출하여 실험 영상을 획득한다.

알고리즘은 3개 부분으로 구성한다. 즉 특징추출에 필요한 영역을 사전에 선정하여 처리속도를 향상시키는 『관심영역 설정 부분』, 일정비율 이상의 백색이 검출된 영상만 인식하여 불필요한 연산을 제거하는 『색상패턴 검사 부분』, 에지특징을 추출하고 추출된 에지특징을 사전에 모델링한 특징모델과 비교하여 정지선과 횡단보도 여부를 식별하는 『특징 추출과 인식 부분』이다. 특징추출과 인식 부분에는 유형별 특징비교 알고리즘을 적용하여 정지선과 횡단보도가 병행하여 존재하거나 각각 존재하는 경우 모두 식별하도록 설계한다.

2. 관련연구

2.1 정지선과 횡단보도

입력영상에서 정지선과 횡단보도를 인식하기 위해서는 다른 객체와 구별할 수 있는 특징정보가 필요하다. 정지선과 횡단보도는 도로교통법 시행규칙[8]에서 규정한 규격에 따라 도색되어 있으므로, 이에 대한 사전정보를 통해 특징정보를 획득할 수 있다.

먼저 정지선은 신호기 설치 유·무와 관계없이 자동차가 정지해야 되는 지점에 도색돼있다. 정지선은 정지가 필요한 지점(횡단보도, 철길건널목, 일시정지 지점 등)에서 2~5m 전방에 백색 실선으로 도색돼있고, 폭원(w)은 30~60cm로 규정돼있다[9].

횡단보도는 보행자의 안전한 횡단을 확보하기 위한

것으로 보행자의 통행이 빈번한 장소에 백색으로 도색하며, 일시정지, 횡단보도예고, 정지선 등 교통안전표지와 노면표지가 함께 도색돼있다. 횡단보도의 폭원은 횡단보행자 수, 보행속도, 신호주기, 도로 폭원 등을 기준으로 최소 4m 이상, 4m를 초과할 경우에는 2m 단위로 확폭하며, 횡단보도의 폭원이 6m 이상인 경우에는 도로 폭원을 2등분으로 표시해 마주보고 횡단하는 보행자를 분리하여 소통의 효율을 높이고 있다[9].

2.2 패턴 인식

사람은 입력영상에서 원하는 객체를 쉽게 분별해 낼 수 있지만, 컴퓨터에게는 매우 어려운 작업이다. 패턴 인식[10]이란 사전에 모델링한 특징정보를 이용해 추출된 특징값을 원하는 방향으로 정확하게 분류해 궁극적으로 원하는 객체를 정확하게 인식하는 과정이다. 특징[11]을 어떻게 모델링할 것인지 선택하기 위해서는 인식하고자 하는 객체의 특성을 정확히 분석해야 한다. 이를 위해 사전지식(기하학적 위치, 색상, 대칭성, 모양)[12][13]을 활용할 수도 있고, 또는 미리 확보한 데이터를 통해 추출된 통계적 결과값을 이용할 수도 있다. 만약 동영상과 같은 연속프레임상에서 특정객체를 인식하는 경우에는 이전 프레임에서 획득한 정보도 활용할 수 있다.

3. 제안 알고리즘

제안 알고리즘의 전체적인 구성은 그림 1과 같다. 관심영역 설정은 수평소실선과 가상차선을 이용해 불필요한 영역을 제거하며 최초 1회 연산을 통해 고정된다. 색상패턴검사는 관심영역 내에서 이루어지고 관심영역 내 백색의 비율이 특정 임계치를 초과하는 경우에만 다음 작업을 허가하고, 그렇지 않을 경우에는 정지선과 횡단보도가 존재할 가능성이 없다고 간주하여 연산을 종료한다. 특징 추출과 인식에서는 색상패턴 검사를 통과한 영상, 즉 정지선과 횡단보도 존재가능성이 높다고 선별된 영상이 입력되면, 소벨(Soble) 마스크를 이용하여 추출한 에지 특징과 사전에 모델링한 특징 모델을 비교해 정지선과 횡단보도를 인식한다.

3.1 관심영역 설정

입력영상에서 정지선과 횡단보도는 도로영역에 위치해 있기 때문에 알고리즘 연산에 필요한 영역만 관심영역으로 설정한다.

3.1.1 좌표변환과 수평소실선 하단영역 산출

먼저 영상좌표계 P(u, v)를 지상좌표계 G(x, y)로 변환하면, 영상에서 특정 지점의 실제 위치를 추정할 수 있다. 입력영상에서 정지선과 횡단보도는 도로영역에 위치하고, 도로영역은 수평소실선을 기준으로 아래 방향에 놓여 있기 때문에 수평소실선 하단영역을 입력영상에서 관심영역으로 설정할 수 있다[14].

3.1.2 가상차선 영역 산출

일반적으로 도로영역은 도로 규격에 맞게 설계·시공돼 있으며[15], 차량에 설치된 비전센서 또한 설치높이,

설치각도, 초점거리, 화각이 고정돼 있기 때문에 이러한 정보를 활용하여 도로영역을 산출할 수 있다. 차량은 항상 차로의 중앙에 위치한다고 가정할 때, 영상평면에 투사되는 영상은 그림 2와 같이 좌·우측에 1개 이상의 차선을 포함한다. 영상 하단부에서 1개 차로의 폭은 최대 3.5m이므로 차량을 중심으로 차선은 좌·우측으로 1.75m 이격된 곳에 위치한다. 정지선과 횡단보도는 차선 사이에 일부 또는 전부 위치하므로 차량을 중심으로 1개 차로만 관심영역으로 설정할 수 있다. 이 때 차량이 차로의 중심에서 벗어나는 최대오차 1.75m를 고려해 좌·우측 3.5m로 형성되는 가상차선을 관심영역으로 설정한다. 이렇게 계산한 가상차선 기울기 γ 는 식(1)과 같이 산출할 수 있다.

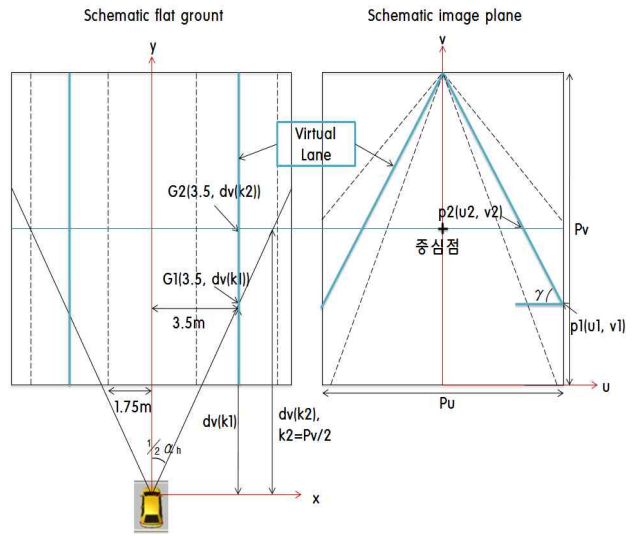


그림 2. 지상평면과 영상평면에서의 가상차선 도식
Fig. 2. Diagram for Virtual Lane on Ground Surface and Image Surface

이와 같은 과정을 거쳐 입력영상으로부터 관심영역을 설정한 결과가 그림 3에 나타나 있다.



그림 3. 관심영역 설정 결과
Fig. 3. Operation Result of Inverse Perspective and Region of Interest

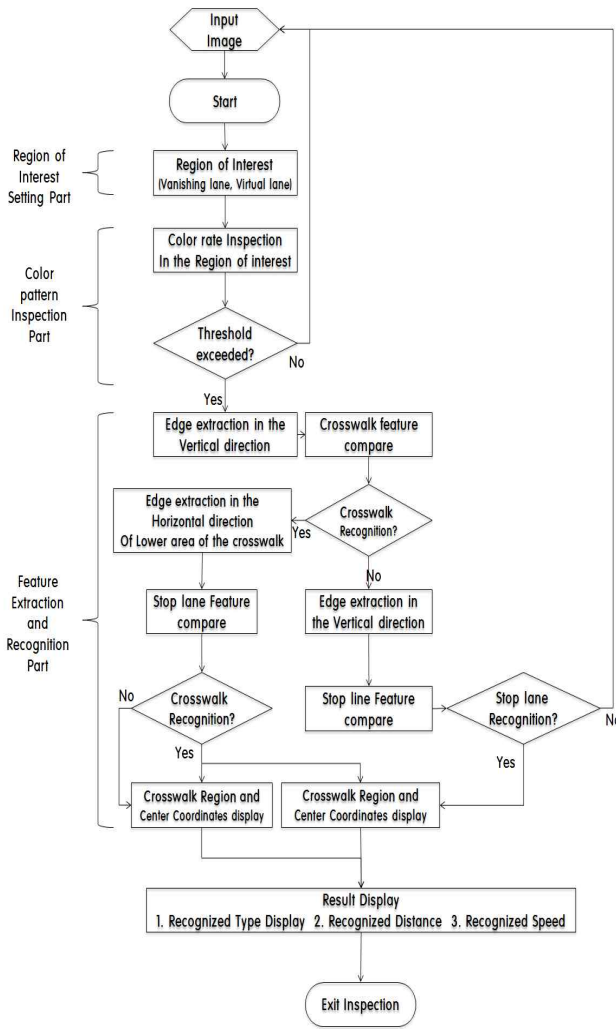


그림 1. 정지선과 횡단보도 인식 알고리즘
Fig. 1. Improved Stop Line and Recognition Algorithm for Crosswalk

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{v_2 - v_1}{u_1 - u_2} \right) \quad (1)$$

3.2 색상패턴 검사

도로 영역에서 정지선과 횡단보도가 포함된 영역은 다른 영역보다 더 많은 백색을 포함한다는 사실에 착안해 백색 비율이 임계치 이상인 영역만 필터링하고 불필요한 연산은 제거하여 색상패턴을 검사한다.

먼저 관심영역이 설정되면 모든 연산은 관심영역 내에서만 이루어지므로, 색상패턴 검사는 관심영역에 존재하는 백색 비율을 검사한다. 만약 정지선과 횡단보도가 존재한다면 정지선과 횡단보도가 없는 일반적인 경우보다 백색 비율이 더 높을 수 있다는 사실에 착안하여 사전에 설정한 임계치(15%) 이상의 백색이 존재하는 경우에 특징 추출과 인식 단계를 수행한다.

RGB 컬러는 조도에 따른 영상 센서 파라미터의 변화, 센서의 반사 특성 등에 매우 민감하게 반응하므로 도로 및 차선의 다양한 환경 변화에 효율적인 대응이 제한된다[16]. 반면 HSI 컬러는 색상뿐만 아니라 명도와 채도 값을 포함하고 있어 환경변화에 강인한 특성이 있다. 따라서 RGB 컬러공간을 HSI 컬러공간으로 먼저 변환하고 이어 영상에서 백색을 추출한다. 여기서 컬러공간의 변환은 일반적인 변환공식을 이용한다[17].

3.2.1 백색에 대한 명도(I)값 조사

영상에서 정지선과 횡단보도가 존재하는 영역의 백색을 추출하기 위해서는 명도 정보가 중요한데, HSI 분포에서 백색은 그래프의 최상단 부분에 분포한다. 즉 백색은 명도(I)값이 큰 일정 범위에 분포해 있는데, 이 영역을 나타내는 I 임계값을 검출하기 위해 실제 주행환경에서 획득한 영상 100장의 백색 경계값을 분석하여 <표 1>과 같은 백색에 대한 평균 및 분산값을 획득한다.

표 1. 백색에 대한 평균 및 분산값
Table 1. Average and Dispersion of White Color

	Average	Decentralization	Deviation
I	202	258	17

3.2.2 I값 활용 백색 추출 및 백색 비율 계산

입력영상에서 백색 영역만 추출하기 위해서는 I값이 높은 값, 즉 I 평균값(202)부터 255 범위에 있는 픽셀만 추출하면 강한 백색영역을 추출할 수 있다. 그림 4는 백색 영역 추출 연산에 대한 수행결과를 나타낸다.

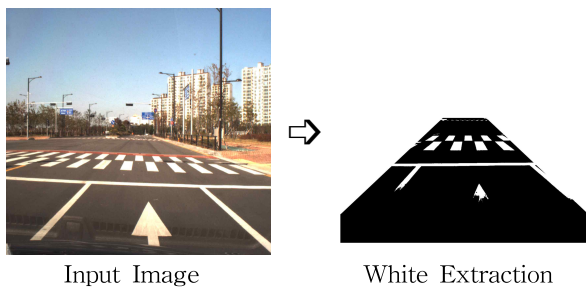


그림 4. 임계값 영상(밝기, 명도)

Fig. 4. Thresholding Image(Brightness, Intensity)

3.2.3 임계값 초과여부 확인

백색 비율을 검사한 결과, 사전에 설정한 임계값인 15%를 초과하는 경우에 한해 특징 추출 및 인식 단계로 넘어가고 그렇지 않으면 연산을 종료한다.

3.3 특징추출 및 인식

이 단계에서는 임계치 이상의 백색 비율을 만족한 영상에 한해 에지를 활용하여 특징을 추출하고 사전에 모델링한 특징모델과 비교하여 정지선과 횡단보도를 인식한다.

이를 위한 세부 알고리즘 흐름도는 그림 5와 같으며, 특징 추출을 위해 에지를 활용한다. 에지는 소벨마스크를 이용하여 수직·수평방향의 에지를 추출하고[18], 추출한 에지 특징은 사전에 모델링한 특징모델을 통해 정지선과 횡단보도를 인식한다. 알고리즘 수행 결과, 정지선과 횡단보도 유형(3가지)을 알 수 있도록 설계한다. 특히 최초 수평방향에 대한 에지를 추출한 결과, 횡단보도가 검출되면 횡단보도 하단영역에 정지선이 존재할 확률이 매우 높으므로 정지선 검출능력을 향상시키기 위해 횡단보도 하단 100픽셀 영역에 대해 수평방향 에지 추출연산을 수행한다.

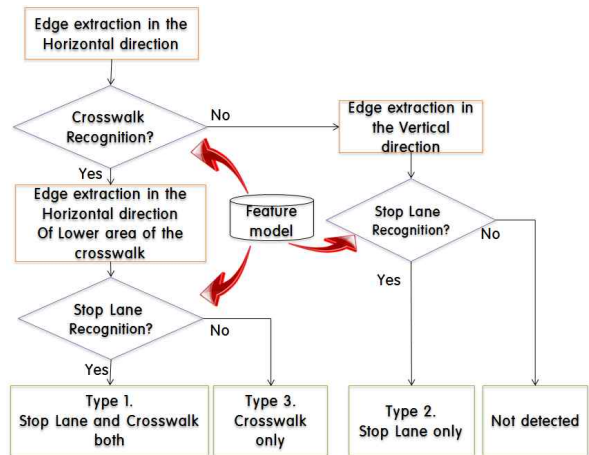


그림 5. 특징 추출 및 인식 알고리즘

Fig. 5. Feature Comparison Algorithm for type

3.3.1 에지 추출

에지 추출[19]이란 입력영상에서 밝기 변화율, 즉 기울기를 검출하는 과정이다. 기울기가 크다는 것은 밝기값의 변화가 크게 일어난다는 의미로, 영역의 분명한 경계면이 존재한다는 것을 의미한다. 소벨마스크를 이용하면 이러한 경계면 추출이 가능하다. 소벨마스크를 이용해 추출한 수직·수평방향 에지는 그림 6과 같다.

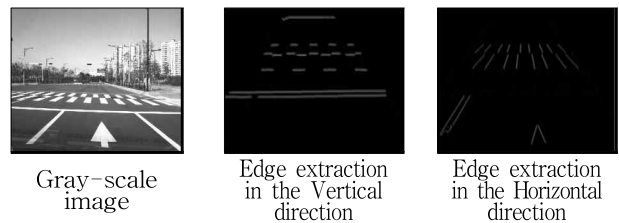


그림 6. 에지 추출 연산 결과

Fig. 6. Operation Result of Edge Extraction

3.3.2 에지 특징 비교

소벨 마스크로 추출한 수직·수평 방향 에지는 다양한 잡음이 포함돼 있으므로 표 2와 같이 사전에 정의한 특징모델과 비교하는 과정을 통해 원하는 객체인 정지선과 횡단보도만 검출할 수 있다.

3.3.3 최종 인식 결과

에지 특징 추출연산을 통해 인식된 정지선과 횡단보도 영역은 적색 박스로 표시하고 각 영역의 중심점은 '+'로 표시한다. 적색 박스와 중심점을 표시하기 위해서는 다음과 같은 4단계 과정을 거치며, 이에 대한 최종 인식 결과는 그림 7과 같다.

- 1단계: 추출된 영역 중 횡단보도 영역의 최외곽 픽셀(좌하, 우상단)을 기준으로 적색 박스로 표시
- 2단계: 1단계 적색 박스의 가로, 세로 픽셀길이를 계산하여 무게중심을 계산 후 적색 '+'로 표시
- 3단계: 추출된 영역 중 정지선 영역 최외곽 픽셀(좌하, 우상단)을 기준으로 적색 박스로 표시

- 4단계: 3단계 적색 박스의 가로, 세로 픽셀길이를 계산하여 무게중심을 계산 후 적색 '+'로 표시

표 2. 정지선과 횡단보도 에지 특징모델
Table 2. Edge Feature Model for Stop Line and Crosswalk

	Edge Features
Stop line	①gathering all grade α , which is a direction factor between $-70 \sim -110$ and $70 \sim 110$ ②in case of the thickness of vertical edge pair between 30 and 60cm (expected region: $10 \sim 50$ pixel)
Cross walk	①gathering all grade α , which is a direction factor between $-20 \sim 20$ or $160 \sim 200$ ②in case of the thickness of vertical edge pair between 45 and 50cm (expected region: $30 \sim 100$ pixel) ③four more vertical edge pair



그림 7. 최종 인식 결과
Fig. 7. Final Recognition Result

4. 실험 결과

4.1 실험환경 구성

제안 알고리즘을 실험하기 위한 소프트웨어 개발환경은 표 3과 같다. 실험에 사용된 영상 촬영에는 CCD 이미지센서가 장착된 Basler사의 acA1600-20gc 모델 비전센서와 SV-F0814 렌즈를 사용한다. 영상수집용 비전센서는 실내장착을 위해 운전석 백밀러 측면에 부착했고, 높낮이와 각도 조절이 가능하도록 했다. 비전센서로부터 입력영상이 획득되면, 이더넷 케이블을 통해 노트북으로 영상이 전송되고, 전송된 입력영상은 노트북에 설치된 정지선과 횡단보도 인식 애플리케이션을 통해 인식 결과값을 보여준다.

표 3. 소프트웨어 개발환경
Table 3. Software Specifications

	Development Environment
Processor	Intel Core i3 CPU 2.4GHz
OS	Window 7, 32it
Development language	C++
Development Tool	Visual Studio 2008
Memory	8GB RAM
Image Processing Library	OpenCV

정지선과 횡단보도 인식 애플리케이션을 위한 사용자 인터페이스(UI)는 그림 8과 같다. 영상을 입력한 후 인식버튼을 선택하면 인식결과값, 인식속도, 인식거리 등과 같은 결과값을 보여준다. 이때 인식결과값은 인식이 성공하면 결과란에 인식유형이 표시되고 해당 영역이 적색 박스로 표시된다. 인식객체가 없을 경우는 'NG'로 표시된다. 인식된 결과의 오 인식여부는 30픽셀 범위를 기준으로 판단했다.



그림 8. 정지선과 횡단보도 인식 애플리케이션 UI
Fig. 8. Recognition Application UI for Stop Line and Crosswalk

4.2 실험영상 DB 수집

실험은 크게 안정적 조건과 제약조건에서 촬영한 2가지 영상으로 구분해 수행했다. 안정적 조건에서 촬영한 영상은 3가지 유형으로 다시 구분했고, 각 유형별로 5단계의 거리별 테스트를 실시해 거리에 따른 인식률 변화를 평가했다. 제약조건에서 촬영한 영상은 역광, 그림자, 페인트훼손, 차량 가려짐, 유사표식, 교각연결부와 같은 6가지 제약조건을 테스트했다.

4.3 실험결과 및 분석

제안 알고리즘을 평가하기 위해 인식률과 인식속도의 2가지 항목을 사용했다. 먼저 인식률은 전체 입력영상 대비 인식 성공영상의 개수를 계산했고, 인식률은 조건별, 유형별로 구분해 분석했다. 인식속도는 1개 영상에서 정지선과 횡단보도를 인식하는데 소요되는 시간을 평가했는데 이 또한 조건별, 유형별로 구분해 분석했다. 본 논문에서는 안정적 조건에서 90%, 제약조건에서 80% 이상의 인식률과 50ms 이내의 인식속도를 달성하는 것을 목표로 했다. 그림 9의 a부터 c까지는 안정적 조건에서 유형별과 거리별 인식결과를 나타낸 그림이다.



그림 9-a. 안정적 조건(유형 1, 정지선과 횡단보도 병행)
Fig. 9-a. Stable Condition [Type 1.-Both]



그림 9-b. 안정적 조건(유형 2, 정지선 단독)
Fig. 9-b. Stable Condition [Type 2.-Single Stop Line]



그림 9-c. 안정적 조건(유형 3, 횡단보도 단독)
Fig. 9-c. Stable Condition [Type 3.-Single Crosswalk]

표 4는 유형 1부터 3까지의 거리별 인식률을 0m부터 20m 이상까지 5단계로 구분하여 나타낸 표다. 그림 10은 표4의 거리별 인식률을 분석해 나타낸 그림이다. 분

석 결과, 15m 이내 거리에서는 인식률이 높게 유지됐지만, 거리가 15m 이상에서는 인식률이 급격히 떨어졌다. 유형 2의 경우, 15m 이상에서 인식률이 급격히 떨어졌는데, 이는 15m 이상부터 정지선의 경우 최소인식 요건인 5픽셀을 만족하지 못했기 때문이다. 유형 1의 경우, 횡단보도를 인식한 이후 정지선으로 추정되는 영역만 검사하는 알고리즘의 효과로 인해 유형 2에 비해 인식률 저하가 크지 않았다. 20m 이상부터는 횡단보도의 최소 인식 요건인 10픽셀이 검출되지 않아 전 유형에 걸쳐 인식률이 급격히 떨어짐을 알 수 있었다. 이는 비전센서의 초점거리(8mm), 설치높이(1.4m), 설치각도(3.5°)와 연관된 것으로 테스트 차량(아반떼 MD)에서 안정적인 인식률을 유지할 수 있는 인식가능 거리는 15m가 됨을 알 수 있었다. 만약 트럭과 같이 설치 높이 2.8m에 설치각도가 7°까지 설정 가능하다면, 인식 가능거리는 40m까지 확장될 수 있을 것이다.

표 4. 거리별 인식률
Table 4. Recognition Rate by distance 단위: %

	Type 1	Type 2	Type 3	Average	Remark
0~5m	98	95	99	97.33	93.33
5~10m	93	90	95	92.67	
10~15m	90	88	92	90.00	
15~20m	50	39	70	53.00	34.00
20m ~	10	5	30	15.00	

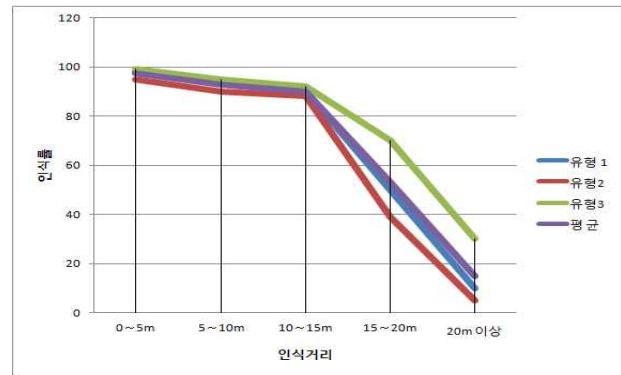


그림 10. 거리별 인식률 분석결과
Fig. 10. Analysis of Recognition Rate for Distance

표 5는 안정적 조건에서의 유형별 인식률을 나타낸 표다. 그림 11은 표 5의 유형별 인식률을 분석해 나타낸 그림이다. 그림에서 유형 1이 유형 2보다 인식률이 높게 나올 수 있는데, 이는 정지선 단독으로 추출할 수 있는 특징보다 함께 있을 경우 참조할 수 있는 특징이 더 많고, 서로의 인식결과를 참조할 수 있도록 설계된 알고리즘의 영향 때문이다. 그러나 유형 1은 유형 3보다 인식률이 낮게 나왔는데, 이는 횡단보도를 인식한 후 정지선 영역을 인식할 때, 정지선을 찾지 못해 유형 3으로 오인식하는 경우가 발생했기 때문이다. 또한 15m 이내 거리로 한정했을 때는 모든 유형에서 90% 이상의 인식률을 만족했다. 유형 2의 경우, 정지선의 두께가 30~60cm로 설계돼 있는데, 30cm 크기의 왕복 2차로에서 수집한 영상의 경우 인식률이 떨어짐을 보였다.

표 5. 안정적 조건 유형별 인식률

Table 5. Recognition Rate for Type in Stable Condition
단위: %

	Type 1	Type 2	Type 3
~ 15m	93.67	91	95.33
15m ~	30.0	22	50.0



그림 11. 유형별 인식률 분석 결과

Fig. 11. Analysis of Recognition Rate for Type

표 6에서 6가지 제약조건 중 역광 및 차량가려짐 조건에 대한 인식률이 크게 떨어짐을 알 수 있다. 일반적인 역광의 경우 전처리 과정을 통해 어느 정도 보정되지만, 심한 역광의 경우에는 ND필터와 같은 하드웨어적인 방법을 동원하거나 실시간으로 조리개 및 게인수치를 조절하는 방법이 필요하다. 그러나 본 논문에서는 이러한 사항을 고려하지 않아 역광을 극복하는데 한계를 보였다. 차량 가려짐의 경우, 관심영역 설정을 통해 제한된 영역만 인식하는 구조이기 때문에 차량과 같은 장애물로 가려질 경우 특징 추출이 제한되어 인식률이 크게 떨어지는 결과를 보였다. 이 2가지를 제외한 나머지 4가지 제약조건에서는 목표 인식률을 달성했다. 특히 그림자와 페인트 훼손과 같은 제약조건에서는 색상과 에지 특징을 통합해 안정적인 인식률을 유지할 수 있었다.

표 6. 제약조건 유형별 인식률

Table 6. Analysis of Recognition Rate for Constraints
단위: %

	Back lighting	Shadow	Paint damage	Similar marker	Obscured Vehicle	Bridge Connection
Recognition Rate	30	80	80	90	20	90
Average	65					

표 7은 유형별 인식속도를 안정적 조건과 제약조건으로 구분해 나타낸 표다. 인식속도 분석 결과, 제안 알고리즘의 인식속도는 평균 47.86ms으로 실시간성을 만족함을 알 수 있었다.

표 7. 유형별 인식속도

Table 7. Recognition Speed for Type

단위: ms

		Recognition speed	평균	
Stable Condition	Type 1	47.8	47.73	47.86
	Type 2	48		
	Type 3	47.4		
Constraint Condition	Backlighting	48		
	Shadow	50		
	Paint damage	49		
	Similar marker	48		
	Obscured Vehicle	46		
	Bridge Connection	48		

전체 실험을 분석한 결과, 제안 알고리즘은 15m 이내 거리의 안정적 조건에서는 93.33%의 인식률을 달성해 목표로 한 90% 인식률을 만족했다. 그러나 15m 이상의 거리에서는 정지선 인식을 위한 최소 5픽셀이 검출되지 않아 인식률이 크게 떨어짐이 확인할 수 있었다. 횡단보도의 경우 20m 이상 거리에서부터 인식을 위한 최소 10픽셀이 검출되지 않아 인식률이 크게 떨어졌다. 제약조건인 경우 역광과 차량가려짐을 제외하고는 85%의 인식률을 달성해 목표로 한 80% 이상의 인식률을 달성했고, 인식속도는 평균 47.86ms의 속도로 실시간성을 만족했다. 또한 실험을 통해 정지선 단독으로 있는 경우보다 횡단보도와 병행하여 특징을 찾을 경우 더 높은 인식률을 달성할 수 있음을 알 수 있었다.

5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 도로 주행환경에서 정지선과 횡단보도를 인식할 수 있는 알고리즘 연구를 수행했다. 실험 결과, 제안 알고리즘은 안정적 조건에서는 15m 이내에서 90% 이상의 안정적인 인식률을 나타냈고, 15m 이상에서는 비전센서의 설치 높이와 설치 각도로 인해 인식률이 급격히 떨어짐을 보였다. 제약조건에서는 역광과 차량가려짐 조건을 제외하고는 80% 이상의 인식률을 보였고 그 외 제약조건에서는 안정적인 성능을 유지했다. 인식속도는 모든 조건 및 유형에서 50ms 이내의 성능을 보여 실시간 처리가 가능함을 증명했다.

본 연구를 통해 얻은 성과는 먼저 다양한 제약조건에서도 안정적인 인식률을 보였다는 점과 차량내부에 비전센서를 설치해 반사광이 발생했음에도 인식률이 저하되지 않았다는 점이다. 단 비전센서 설치높이 및 설치각도에 따른 제한사항으로 인식거리에 제한이 있었다. 그리고 정지선 단독, 횡단보도 단독, 정지선과 횡단보도가 병행하는 모든 경우에 안정적인 인식률을 보였으며, 마지막으로 유형별, 거리별 인식률, 인식속도를 평가해 다양한 관점에서 알고리즘의 성능을 평가할 수 있었다.

References

- [1] J. W. Lee and U. K. Yi, "A lane-departure identification based in LBPE, Hough transform, and linear regression," *CVIU*, vol 99, no.3, pp.359-383, 2005
- [2] Jeon HwangSoo, "Unmanned Vehicle Technology and Development Trends," *National IT Industry Promotion Agency*, 2012.
- [3] D. Xu, Y. F. Li, M. Tan, and Y. Shen, "A New Active Visual System for Humanoid Robots," *IEEE Trans. on Sys. Man and Cyber*, vol. 38, no. 2, pp. 320-330, 2008.
- [4] Lee JunWoong, "Coloring-based blob detection crosswalk and stop line," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, 2011.
- [5] Park TaeJun, Cho TaeHoon, "Pedestrian Crossing and Stop Line Recognition System for Unmanned Autonomous Vehicle," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol.22, No. 2, pp. 154-160, 2012.
- [6] Coughlan J, Shen H, "A fast algorithm for finding crosswalks using figure-ground segmentation," *Proc. 2nd Workshop on Applications of Computer Vision, in conjunction with ECCV 2006*.
- [7] H. K Swant, H. D. Magar, "Crosswalk Detection System Using Mobile Phone," *Journal of Information, Knowledge and Research In Computer Engineering*, Vol 01. Issue 02, pp. 38-42. 2008.
- [8] National Police Agency(Transportation Planning), *Enforcement Rules of the Road Traffic Act*, 312 (2012. 9. 12 Revision)
- [9] National Police Agency(Transportation Planning), "Traffic Road Marking Installation Administration Manual", *National Police Agency*, 2005.
- [10] Park HyeYeong, Lee GwanYong, "Pattern Recognition and Maching Learning(From Basis to Application)," *EhanMedia*, 2011
- [11] R. M. Haralick and L. G. Shapiro, "Computer and Robot Vision," *Addison-Wesley Publishing Company*, 1992
- [12] Peter A. Lachenbruch, Cheryl Sneeringer, Lawrence T. Revoc, "Robustness of the linear and quadratic discriminant function to certain types of non-normality," *Communications in Statistics*, vol. 1, issue. 1, pp. 39-56, 1973.
- [13] Kim WonJun, Kim ChangIk, "Interest and Case Detection Technology," *The Institute of Electronics and Information Engineers* Vol.39, February, pp. 20-28, 2012.
- [14] M. J. Magee and J. K. Aggarwal, "Determining vanishing points from perspective images," *Computer Vision Graphics and Image Processing*, vol. 26, pp. 256-267, 1984.
- [15] Rules and Facilities of the road structure, *Ministry of Land, Infrastructure and Transport*(2012.4.15)
- [16] Lee HeungKyu, "Digital Image Processing Theory and Implementation," *SciTech Media*, 2007
- [17] Ha YeongHo, Nam JaeYeol, Lee Eung, Lee CheolHui, "Digital Image Processing 2nd Edition," *Green Press*, 2005
- [18] Mark Nixon & Alberto Aguado, "Feature Extraction & Image Processing Second edition," *AP*, 2012
- [19] Xiaoxiao zhou, "Study of image Edge detection techiques," *Advanced materials Research*, Vol 505, pp. 393-396, April. 2012.

저 자 소개



이재 환(Lee-Jae Hwan)

2005년: 명지대학교 기계공학사
2013년: 국방대학교 국방정보체계 석사
2014년: 광운대학교 방위사업학 박사과정

관심분야: 패턴인식, 영상기반 인식기술, 무인화 무기체계

Phone: +82-010-3575-9405

E-mail: fate1479@hanmail.net



윤희병(Heebyung Yoon)

1983년: 해군사관학교(이학사)
1986년: 연세대학교(공학사)
1991년: 미국 Naval Postgraduate School 전산공학 석사
1998년: 미국 Georgia Institute of Technology 전산공학 박사
2002년 ~ 현 : 국방대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야: 무인화 무기체계, 무인 로봇, 자가적응 소프트웨어, 임베디드 SW, NCW 서비스와 기술

Phone: +82-02-300-2138

E-mail: hbyoon37@gmail.com