

논문 2017-54-1-8

C-ITS 환경에서 차량의 고속도로 주행 시 주변 환경 인지를 위한 실시간 교통정보 및 안내 표지판 인식

(Real-Time Traffic Information and Road Sign Recognitions of Circumstance on Expressway for Vehicles in C-ITS Environments)

임 창 재*, 김 대 원**

(Changjae Im and Daewon Kim[©])

요 약

최근 지능화된 사물들이 연결되는 네트워크를 통해 사람과 사물, 사물과 사물 간에 상호 소통하는 응용프로그램 및 하드웨어가 잇달아 소개되고 있다. 이런 추세에 더불어, 상황인식 기반의 지식이 결합되어 인공지능 서비스를 제공하는 사물인터넷(IoT: Internet of Things) 환경이 급속도로 발전하고 있다. 사물인터넷을 활용한 산업 중 하나로 자동차 산업을 들 수 있다. 최근에는 연료 효율과 원활한 교통 환경뿐만 아니라 운전자와 승객의 안전을 최우선으로 하는 자율 주행 자동차가 화두가 되고 있다. 이전부터 센서, 라이다, 카메라, 레이더 기술 등을 이용하여 자율 주행 자동차를 위한 주위 환경 인식에 대한 연구가 활발히 진행돼 왔다. 현대에는 차세대 무선통신 기술인 WAVE를 기반으로 차량과 차량, 차량과 주변의 교통 인프라와의 통신을 통한 네트워크를 형성하고 주변 환경에 대한 정보를 공유하는 등 사물인터넷을 활용한 자율 주행 자동차 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 자율 주행 자동차의 주위 환경 인식 기술의 일환으로 고속도로 교통 표지판 및 전방 잔여거리 인식에 관한 연구를 진행하였다. 본 연구는, 도로 교통 표지판이 설치 규정에 의하여 정해진 규격과 지정된 설치 위치를 갖고 있다는 특성을 이용하였다. 궁극적으로, 고속도로 주행 중 촬영한 영상을 이용하여 해당 비디오 영상 내에서 도로 교통 표지판을 인식한 뒤 추가적으로 표지판에 씌어 있는 문자 정보를 인식하고 이를 운전자 및 승객이 인지하도록 하는 이론 학습과 해당 실험 결과를 제시하였다.

Abstract

Recently, the IoT (Internet of Things) environment is being developed rapidly through network which is linked to intellectual objects. Through the IoT, it is possible for human to intercommunicate with objects and objects to objects. Also, the IoT provides artificial intelligent service mixed with knowledge of situational awareness. One of the industries based on the IoT is a car industry. Nowadays, a self-driving vehicle which is not only fuel-efficient, smooth for traffic, but also puts top priority on eventual safety for humans became the most important conversation topic. Since several years ago, a research on the recognition of the surrounding environment for self-driving vehicles using sensors, lidar, camera, and radar techniques has been progressed actively. Currently, based on the WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment), the research is being boosted by forming networking between vehicles, vehicle and infrastructures. In this paper, a research on the recognition of a traffic signs on highway was processed as a part of the awareness of the surrounding environment for self-driving vehicles. Through the traffic signs which have features of fixed standard and installation location, we provided a learning theory and a corresponding results of experiment about the way that a vehicle is aware of traffic signs and additional informations on it.

Keywords : IoT, WAVE, C-ITS, 자율 주행 자동차, 표지판 정보 인식

* 학생회원, 단국대학교 대학원 컴퓨터학과 (Department of Computer Science, Graduate School of Dankook University)

** 정회원, 단국대학교 응용컴퓨터공학과 (Department of Applied Computer Engineering, Dankook University)

© Corresponding Author (E-mail : drdwmkim@dku.edu)

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 방송통신정책연구센터(CPRC)지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2016-H8201-16-1005)

Received ; August 20, 2016 Revised ; October 31, 2016 Accepted ; December 21, 2016

I. 서 론

무선 또는 유선을 통해 전자 장치 간 통신을 지원하는 모든 기술을 의미하는 사물 간 지능 통신 M2M (Machine to Machine)과^[1~3] 모든 사물이 인터넷과 같은 거대한 네트워크에 연결되어 하나의 틀로 묶어져 제공되는 서비스인 IoT (Internet of Things)로 대변되는 사물인터넷의 세상이 우리 옆에 성큼 다가와 있다.^[3~5] 이전에는 단순히 이동수단으로만 취급되던 자동차 산업 또한 이제는 사무와 생활을 위한 웰빙 공간화가 강조되고 있으며, 협력 지능형 교통체계인 C-ITS (Cooperative Intelligent Transport System)를 기반으로 하여 운전자와 차량 그리고 도로 사이의 연관성을 높임으로써 교통 안전성과 편의성의 향상 및 주행 효율성의 증가를 목표로 하고 있다.^[6~7] 최근의 자동차 산업은 주행 중 안전성을 위한 차선 이탈 방지, 주행 중 충돌 경고 및 회피 시스템, 기동 시 속도 보조시스템 등의 능동적인 안전 기술과 충돌 시 운전자 및 보행자를 보호하기 위한 수동 안전 기술로 구성된 자율적이고도 지능적인 자동차에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔으며^[8~9] 사물인터넷의 발전과 더불어 통신 및 인터넷 등 ICT (Information & Communication Technology) 기술과의 접목으로 자율 주행 자동차의 시대를 서막을 열고 있다. 자율 주행 자동차란 차량이 스스로 시내 또는 고속도로에서 주행 환경을 인식하고 상황에 따른 판단과 주행 경로를 계획하는 등 운전자의 조작을 최소화 하며 스스로 안전주행이 가능하도록 만들어진 자동차를 지칭한다.^[9~11] 이처럼 미래형 자동차에 대한 연구로서 Sensing 기술 및 영상처리를 통해 주변 상황을 정확히 판단하는 방법이나 WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment)와 같은 차량 전용 통신기술 표준을 기반으로 하여 차량과 차량, 차량과 도로 주변 인프라 등과의 통신을 통해 다양한 정보를 교환하고 공유가 가능하게 하는 연구가 활발히 진행 중 이다.^[11] 도로 상에 있는 교통 표지판은 통상, 교통 안전 표지라 부르며 운전자와 보행자에게 주의, 규제, 지시 등의 일관성 있고 통일된 방법으로 교통안전과 원활한 교통 소통을 유도한다. 고속도로 주행 시 차량의 주변 환경 인식을 위한 연구의 한 예로 교통 표지판을 인식하고 이해 또는 분석하는 연구가 활발히 진행 되고 있다.^[12] 일반적으로 도로에 설치되는 교통 표지판은 도로 상황에 따라 표지판의 종류와 설치 개수가 다르다. 이러한 도로 상황에서 운전자가 주행 중인 차량 내부에서 표지판을 인식해야 하는데, 매우

많고 다양한 교통 정보 관련 표지판의 설치 때문이거나 운전자의 부주의, 운전 환경, 운전 미숙 등의 이유로 필요한 교통 표지판을 적재적소에서 제 때 인지하지 못하는 경우가 있다. 현재 도로 사정은, 이렇게 다양한 교통 표지판 정보를 각자의 차량 내부에 설치된 Navigation System을 통하여 제공 받기는 하지만 도로 상황에 따라 시시각각 변하는 표지판이나 도로에 신설되거나 철거된, 최근의 데이터베이스에 포함되지 않은 교통 정보 또는 GPS (Global Positioning System) 값의 오차로 인한 문제점들이 존재하며 최초 한번으로 고정된 교통정보 제공 시스템으로는 현 시점에서의 교통 정보 및 상황의 변화에 따른 적절한 대응이 어렵다. 본 논문에서는 미래에 사용될 자율 주행 자동차 관련 기술 중 C-ITS 환경 상에서 영상처리 기술을 이용하여 고속도로 주행 중 보이는 다양한 교통 정보를 담은 표지판 (제한속도, 갓길차로, 휴게소, 졸음쉼터 등)들을 인식하여 운전자에게 실시간으로 필요한 정보를 적절히 전달해주는 연구를 진행하였다. 본 연구를 통하여 고속도로 상의 주행 차량 내부에 설치된 Navigation System이 다양한 교통정보를 자동으로 인식하여 운전자에게 적시에 정확하게 전달함으로써 운전의 안전성과 효율성을 높이는 방법을 제안한다.

II. 관련 연구

시내 또는 고속도로 교통 표지판은 운전자가 쉽게 인지할 수 있도록 미리 지정된 색상과 규격, 그리고 모양에 따라 제작되고 설치되기 때문에 영상처리 분야에서 객체인식을 위해서는 유리한 점이 있다. 하지만 차량 내부에 설치된 블랙박스 등의 영상 획득 장치를 이용하여 도로 교통 표지판 이미지를 입력 받는 과정에서 날씨변화, 빛의 밝기, 그림자 등과 같은 자연적인 요인들로 인해 원래와 다른 색상으로 인식되는가 하면 표지판의 위치, 촬영 각도, 영상의 흔들림, 배경의 복잡도와 같은 촬영 시의 주변 환경적 요인들로 인한 어려움 때문에 교통 표지판을 차량 네비게이션 등의 내부 장치가 자동으로 인식하는 과정은 간단치가 않다. 이러한 문제점들을 고려하여 이전부터 자동 시스템을 이용한 도로 교통 표지판 인식을 위한 연구가 활발히 진행되어왔다. 도로 교통 표지판 인식은 크게 도로 나뉘어 색상 정보를 이용한 방법과 모양 정보를 이용한 방법이 있다. 색상 정보를 이용한 표지판 검출 방법은 교통 표지판의 후보 영역을 추출하기 위하여 RGB (Red Green Blue)

또는 HSV (Hue Saturation Value)와 같은 컬러 모델을 이용하여 표지판과 유사한 색상 분포를 가지고 있는 영역을 분할한다.^[13-14] 하지만 앞에서 언급했듯이 날씨 변화, 빛의 밝기, 그림자 등과 같은 자연적인 요인으로 색상 변화가 급격한 영상에서는 적절한 대응을 하기 어렵다는 문제가 있다. 또한 교통 표지판이 운전자가 쉽게 지각할 수 있도록 확연히 구별되는 색상으로 제작되어 있다고는 하나, 주행 중인 차량이나 주변 건물 등과 같이 유사한 색상의 물체들이 다수 존재하기 때문에 단순히 색상 정보만을 이용하여 표지판을 인식하기에는 어려운 부분이 있다. 모양 정보를 이용한 교통 표지판 인식 역시 복잡한 배경을 갖는 영상일 경우 표지판과 비슷한 모양의 물체가 존재할 수 있기 때문에 이러한 방식 또한 표지판의 인식에 어려운 부분이 있다. 상기 언급된 문제들을 해결 하고자 기하학적인 색상 모델에 기초한 표지판 인식 방법^[15], 표지판이 지표면으로부터 수직으로 세워진다는 특징을 이용한 방법^[16], 웨이블릿 변환을 통해 표지판을 인식하는 방법^[17], 색상 인식을 통해 교통 표지판의 후보 영역을 추출 한 뒤 SIFT (Scale Invariant Feature Transform)나 SURF (Speeded Up Robust Features)와 같은 매칭 알고리즘 및 기계학습을 통해 사전에 학습된 테이블 정보를 이용하여 후보 영역과 매칭 시킴으로서 표지판을 인식하는 방법^[18-20] 등 다양한 방법의 표지판 인식 기법들이 연구되고 있다. 도로교통법 시행규칙에 따라 도로 교통 표지판은 정해진 규격과 모양에 의거해 설계되고 제작되며, 설치 장소는 표지의 종류, 설치 가능 위치, 설치 간격 등을 고려하여 정해진다. 본 논문에서는 이와 같이 시내 또는 고속도로 교통 표지판이 미리 지정된 색상과 규칙적인 모양 및 크기를 갖고 있다는 특징을 이용하여 표지판을 자동 인식 및 안내를 연구하였다. 이를 위해, 도로를 주행하는 도중 촬영된 영상에서 각각의 표지판이 화면상에 표시되는 위치가 크게 다르지 않다는 점을 이용하여 전체 영상에서 표지판이 등장하는 위치에 관심 영역인 ROI (Region of Interest)를 지정한 후에 해당 영역에서 정보를 검출하는 알고리즘을 실행하는 방법으로 교통 표지판 및 그에 해당하는 안내정보를 자동으로 인식하는 방법에 관한 연구를 진행하였다. 또한 향후 C-ITS 환경에서 자동 주행 또는 자율 주행으로 도로를 달리는 자동차 시대가 본격화 되면 도로 주변의 교통 표지판 정보를 자동으로 인식하고 차 내 운전자 및 승객에게 적절한 장소와 시점에서 적절한 정보를 제공함으로써 운전 효율성과 안전성을 동시에 높일 수 있도록 하는데

주안점을 두고 본 연구를 진행하였다.

III. 표지판 인식

1. 도로 교통 표지판 검출

본 연구에서는 고속도로에 설치되어 있는 여러 종류의 도로 교통 표지판들 중 규제용 표지인 속도제한 표지판과 갓길차로 표지판, 그리고 안내용 표지인 줄음선평 및 휴게소 표지판을 차량 내부 전자장치를 이용하여 자동으로 인식하고자 하였다. 그림 1은 표지판 인식 알고리즘의 수행 순서도를 나타내고 있다.

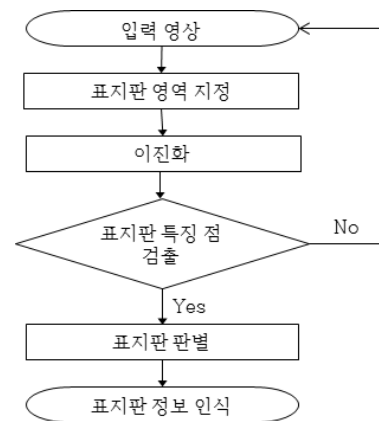


그림 1. 교통 표지판 인식 알고리즘 순서도
Fig. 1. Flowchart of recognition for traffic signs.

(1) 교통 표지판 검출 영역 지정

차량 내 블랙박스의 위치는 대부분 차량의 중앙에 위치하고 고속도로에 설치되어 있는 교통 표지판은 도로교통법 시행규칙에 따라 정해진 규격과 모양에 의거해 설계되고 제작되며 표지의 종류, 설치 가능 위치, 설치 간격 등을 고려하여 주로 도로 오른쪽 가장자리 상단부에 설치가 된다. 따라서 차량 내부의 블랙박스에 촬영된 교통 표지판은 특정의 규칙적인 모양과 화면의 우측 상단부인 고유의 위치에 나타나게 된다. 그림 2와 같이 고속도로 주행 중 촬영된 영상에서 속도제한 표지판과 갓길차로 표지판은 우측 상단부에 위치하는 것을 볼 수 있다. 이러한 특징을 이용하여, 표지판 인식 알고리즘은 도로 교통 표지판을 찾기 위해 입력된 영상의 전체 영역을 활용하지 않고 표지판이 나타나는 특정 위치에 관심 영역을 지정하여 이 영역 내에서만 교통 표지판의 유무와 성격을 판단하게 된다. 특정 영역에서 가로와 세로의 길이를 측정 한 뒤 원하는 또 다른 특정 영역의 위치와 문자를 인식하는 것이 좋은 예가 될 수 있다.



그림 2. 블랙박스 입력 영상에서의 교통 표지판 위치
Fig. 2. Location of traffic signs from the input image.

(2) 이진화 알고리즘

영상 이진화란 RGB 값으로 다양하게 분포되어 있는 색상 값을 0 또는 255와 같이 둘 중 하나의 값으로 분류하는 것이다. 다시 말해서 이진화 기법은 주어진 임계값보다 밝은 픽셀은 모두 흰색으로, 어두운 픽셀들은 검은색으로 바꾸는 작업이다. 본 연구에서 인식하고자 하는 교통 표지판의 입력 영상은 주행 중인 차량으로부터 촬영되었기 때문에 영상 내 표지판의 위치, 촬영 각도, 시간대 별 명암도, 해당 배경의 복잡도 등 다양한 환경 요인들을 고려하여 영상 이진화 작업을 수행해야 한다. 따라서 각각의 교통 표지판의 특징을 부각시킬 수 있도록 컬러 색상 인식을 통한 이진화, 적응형 이진화, 히스토그램 평활화, 또는 Canny Edge 알고리즘 등을 이용하여 영상을 이진화 작업을 진행하였다.

가. RGB 색상 인식을 통한 이진화

RGB 시스템은 빛의 삼원색인 Red, Green, Blue의 세 가지 색상의 이니셜로 각각의 색상 값을 0부터 255 사이의 숫자로 표현하는 것이다. 인식하고자 하는 색상 값 $(r1, g1, b1)$ 과 입력 영상에서 추출된 색상 값 $(r2, g2, b2)$ 을 수식 (1)을 이용하여 두 색상 값 간의 차이를 나타내는 거리를 구하여 얼마나 비슷한 색인지를 판단할 수 있다. 이렇게 입력 영상에서 추출된 RGB 색상 값을 원하는 색상 범위 값은 흰색으로, 아니면 검은색으로 바꾸어 영상을 이진화하는 작업을 수행한다. RGB 색상 인식은 빛의 밝기에 민감하여 명암도가 색상 추출에 영향을 끼치는데 배경과 색상 값의 차이가 확연히 두드러지는 영상에서는 높은 색상 추출률을 보인다.

$$d = \sqrt{(r1-r2)^2 + (g1-g2)^2 + (b1-b2)^2} \quad (1)$$

나. Adaptive Thresholding Binarization Algorithm

적응형 이진화 기법은 입력 영상의 전역 임계값을 구하는 방법이 아니라 영상 일부분에 대한 히스토그램을

가지고 해당 픽셀 주변영역의 가중치 평균값을 구한 후 이진영상으로 변환하는 방법으로서^[21] 수식 (2)에 나타난 바와 같이 적응형 임계값 $T(x, y)$ 를 정할 때 원래의 영상인 I 를 이용하여 해당 픽셀을 중심으로 $n \times n$ 크기 주변 영역의 평균값을 구한 후 일정한 상수를 빼서 결정한다. 적응형 임계값을 이용한 이진화 방법은 빛이나 반사광 또는 그림자에 의한 밝기 변화가 심한 영상에 효과적이다.

$$T(x, y) = \frac{1}{n^2} \sum_{x_i} \sum_{y_j} I(X+X_i, Y+Y_j) - C \quad (2)$$

다. Histogram Equalization

히스토그램 평활화는 입력 영상의 픽셀 값이 특정 값을 중심으로 특정 대역에 분포되어 있는 것을 조금 더 넓은 대역으로 분포시키는 방법으로 영상의 밝기 분포를 재분배하여 명암대비를 최대화 하는 방법이다.^[22] 히스토그램 평활화는 수식 (3)을 이용하여 균일화 되어야 할 영상의 누적 히스토그램을 추출한 후 수식 (4)와 같이 영상의 전체 픽셀수인 N_t 로 누적 히스토그램값을 나누고 최대 명도 값을 곱하여 정규화 된 값 $k[i]$ 로 변환하여 결과 영상을 생성한다. 본 연구를 통하여 인식하고자 하는 고속도로 교통 표지판 영상은 주행 중인 차량의 내부에서 고성능 카메라가 아닌 일반 성능의 블랙박스 카메라를 통하여 촬영되었기 때문에 영상의 명암 대비가 고르지 못한 이유로 히스토그램 평활화를 진행하여 입력 영상 개선작업을 수행하였다.

$$H[i] = \sum_{j=0}^i hist[j] \quad (3)$$

$$K[i] = \frac{H[i]}{N_t} \times 255 \quad (4)$$

(3) Labeling을 이용한 표지판 검출

도로 교통 표지판 인식은 앞서 소개된 색상 이진화 방법을 통하여 1차 작업을 수행하고 다음 단계로서 각 표지판의 특징을 Labeling을 통해 검출하고 작업을 수행한다. Labeling은 0 또는 255의 픽셀 값을 가지고 있는 이진 영상에 동일한 화소 값들이 연결되는 영역끼리 그룹을 짓는 방법으로서 본 연구에서는 픽셀 값이 255로 연속된 영역끼리 그룹을 만들어 추출하는 작업을 수행 하였다. 앞서 언급된 Labeling 알고리즘은 다음과 같은 순서로 이루어진다.

<Process of Labeling Algorithm>

-
- Input : Labeling a particular pixel (x, y)
- 1 : if the pixel (x, y) has '255' then,
 - 2 : Do nothing and proceed to next pixel (x+1, y)
 - 3 : else if the pixel (x-1, y-1) has a label then,
 - 4 : Assign the label to the pixel (x, y)
 - 5 : else if neither pixels (x-1, y) or (x, y-1) is labelled then,
 - 6 : Increment label numbering and assign the latest label to pixel (x, y)
 - 7 : else if pixels (x-1, y) XOR (x, y-1) is labelled then,
 - 8 : Assign the label to the pixel (x, y)
 - 9 : else if both pixels (x-1, y) and (x, y-1) are labelled then,
 - 10 : Assign the label of pixel (x-1, y) to the pixel (x, y)
 - 11 : Record the equivalence if labels of pixels (x-1, y) and (x, y-1) are not identical
 - 12 : end if
-

그림 3은 각각의 도로 교통 표지판의 특징과 이진화된 이미지를 나타낸 것이다. 그림 3의 (a)는 고속도로 갓길 차로 표지판의 특징 영역으로 사용된 초록색 화살표와 적색의 X표 모양을, 그림 3 (b)는 줄음선퍼 표지판의 P 모양을, 그림 3 (c)는 휴게소 표지판의 숟가락과 젓가락 모양을, 그리고 마지막으로 그림 3 (d)는 속도제한 표지판의 제한속도가 쓰여 있는 원 모양을 중심으로 각각 이진화가 수행된 영상을 나타낸 것이다. 이와 같이 각 표지판의 특징 영역을 흰색으로 이진화시키고 Labeling을 수행하여 인식 알고리즘에서 특징 영역을 파악하도록 한다. 하지만 지정된 표지판 검출영역의 이진화 영상에서 표지판 특징 영역 이외에도 화소 값이 255인 그룹이 있기 때문에 찾고자 하는 표지판 특징 영역의 레이블 외에도 여러 레이블들이 찾아질 가능성이 있다. 이러한 오류를 사전에 방지하고자 영상 내 인식하려는 표지판들의 특징 영역의 가로, 세로 크기의 평균 비율을 구한 뒤 이를 만족하지 않는 크기의 레이블은 제외시키는 방법으로 필터링을 수행하여 표지판 특징 영역 검출 작업을 수행하였다. 그리하여 갓길은 화살표와 X모양을 검출하고, 줄음선퍼는 주차를 뜻하는 P를, 휴게소는 수저 그림을, 속도제한 표지판은 숫자를

감싸고 있는 원을 인식하여 해당 표지판이 어떤 의미를 담고 있는지를 알아낸다.



그림 3. 다양한 교통 표지판의 특징과 이진화된 영상
Fig. 3. Various features & binarized images of traffic signs.

(4) 도로 교통 표지판 판별

Labeling을 이용하여 표지판 영역을 검출한 다음 단계로는 템플릿 매칭을 이용하여 전 단계에서 검출된 레이블이 해당 표지판의 특징 영역과 일치 하는지에 대한 판별 작업을 수행한다. 템플릿 매칭은 판단하고자 하는 사물과 미리 준비한 사물의 표준 모델을 정규화 과정을 통해 상호 상관관계나 판단의 거리와 같은 유사도를 통해 사물의 정오 여부를 판단하는 패턴 인식 기법중의 하나이다. 템플릿 매칭은 알고리즘이 간단하여 계산 속도가 빠르고 복잡한 배경에서도 객체 검출이 가능하다는 장점이 있다. 하지만 모든 모델에 대해서 템플릿을 미리 생성해 두어야 하고 복잡한 모델일수록 표준 템플릿 모델을 정의하기 어렵다는 단점이 있다. 본 논문에서는 Pearson Correlation 매칭 알고리즘을 사용하여 표지판 판별작업을 진행하였다. 매칭 계수인 r 은 X 와 Y 가 함께 변하는 정도 분의 X 와 Y 가 따로 변하는 정도로 수식 (6)과 같이 나타낼 수 있으며 \bar{X} 와 \bar{Y} 는 각각 X 와 Y 의 평균값으로서 수식 (5)와 같이 표현이 가능하다.

$$X = x_1, x_2, \dots, x_n \text{ 일 때 } \bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n \quad (5)$$

$$r = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2 \sum (Y - \bar{Y})^2}} \quad (6)$$

이렇게 인식하고자 하는 교통 표지판의 템플릿을 미리 생성해 놓은 뒤 표지판 검출을 통해 검출된 영역과 매칭 알고리즘으로 유사도를 측정하여 최종적으로 인식하고

자 하는 표지판이 맞는지 확인 작업을 수행하여 궁극적으로 표지판을 인식하는 작업을 진행 하였다. 이 결과에 따라 운전자는 후속 조치를 취할 수 있게 된다.

2. 표지판의 전방 거리정보 인식

도로 교통 표지판에는 여러 가지의 교통 안내정보가 담겨 있다. 그림 4는 고속도로의 교통 표지판 중 본 연구를 통해 인식에 사용된 표지판들이다. 그림 4의 (a)는 속도제한 표지판으로서 제한속도와 전방에 설치된 단속 카메라까지의 거리정보가 써어 있고 그림 4의 (b)와 (d)는 각각 고속도로 상의 휴게소와 졸음쉼터 표지판으로서 해당 휴게소 또는 졸음쉼터의 명칭, 해당 장소까지의 전방 거리, 부대시설 등의 정보가 담겨 있으며 그림 4 (c)의 갓길차로 표지판은 화살표 또는 X모양으로 갓길차로 이용가능 여부에 대한 정보를 나타내고 있다. 본 연구에서는 이러한 여러 정보 중에 고속도로 상의 휴게소와 졸음쉼터의 현재 위치에서 그곳까지의 전방 거리정보, 전방에 설치된 단속카메라까지의 거리정보, 갓길차로의 이용 가능 여부에 대한 인식 작업을 진행하였다. 도로 교통 표지판의 종류와 제작 방식은 도로표지 규칙에 의거하기 때문에 각각의 교통 표지판에 담겨 있는 안내정보 역시 그림 4와 같이 표지판 내부의 특정한 위치에 있다. 이러한 교통 표지판의 특징을 이용하여 이전에 표지판 검출과 판별 단계를 통해 검출된 표지판 특징 영역의 위치를 기준으로 특징 영역의 가로와 세로의 길이를 이용하여 해당 표지판의 안내정보가 위치해 있을 위치를 계산한 뒤 영역을 지정한다. 이렇게 지정된 영역에서 이진화화 Labeling 기법을 통해 문자 영역을 추출한 뒤 문자인식을 이용하여 얻고자 하는 표지판의 안내정보를 인식한다.



그림 4. 인식작업에 사용된 고속도로 교통 표지판
Fig. 4. Expressway traffic signs used for recognition.

IV. 실험 및 결과

표 1에 본 연구를 진행하기 위해 활용한 실험 환경이 나타나 있다. 고속도로 주행 중 동영상 촬영은 스마트폰 SHV-E300S의 1300만 화소 후면 카메라를 이용하였고 1280×720 또는 1920×1080의 해상도를 유지하며 촬영 하였다. 고속도로 촬영은 4차선을 기준으로 하여 갓길 차로와 3차선 그리고 4차선에서 진행 하였다. 이렇게 촬영된 고속도로 상에서의 동영상을 Visual Studio 2010 작업환경과 OpenCV 2.4.8 버전을 이용하여 이미지 처리를 함으로써 갓길차로, 속도제한, 휴게소, 졸음쉼터 등의 도로 교통 표지판 인식과 전방에 남은 거리정보 인식 작업을 수행하였다.

표 1. 실험에 사용된 장비 및 환경
Table 1. Experimental equipments and environments.

| | |
|---------|--|
| Camera | SHV-E300S 후면 카메라 |
| Program | OpenCV 2.4.8 |
| Tool | Visual Studio 2010 |
| CPU | Intel(R) Core(TM) i7-3770 CPU @ 3.40GHz |
| OS | Windows7 Enterprise K 32bit |

1. 표지판 검출 및 인식

그림 5는 3장에 소개된 표지판 인식 방법을 이용하여, 입력 영상에서 인식하고자 하는 표지판을 검출하기 위해, 기록된 동영상의 특정 위치에서 표지판 검출 영역을 지정한 후 해당 영역을 이진화하는 과정을 나타내고 있다.



그림 5. 특정 위치에 지정된 표지판 검출영역과 이진 영상
Fig. 5. Detection of traffic signs and binarized image at specified location on expressway.

그림 5 (a)는 고성능 카메라가 아닌 일반 성능의 스마트폰 카메라를 이용하여 고속도로를 주행하며 촬영한 동영상상을 입력 영상으로 하여 표지판 검출 영역으로 지정된 위치를 사각형으로 표시한 것이다. 그림 5 (b)는 특정하게 지정된 위치에서 검출된 도로정보 표지판 영역을 나타낸 것으로서 이 영역에서 이진화 알고리즘을 수행하여 그림 5의 (c)와 같이 영상을 이진화 한 뒤 표지판 검출 작업을 진행한다. 그림 5의 (b)와 같이 지정된 표지판 영역에서 각각 정보를 담은 표지판의 특징이 명확하게 부각될 수 있도록 영상을 이진화 하기 위해서는 표지판의 색상, 위치, 그리고 배경과 복잡도 등을 다양하고 면밀하게 고려하여 각각의 표지판의 특징에 맞는 이진화 알고리즘을 사용하여 영상을 이진화해야 한다. 다음 단계에서는 각각의 교통 표지판의 경우에 맞는 이진화 작업을 수행하여 표지판 내부의 정보를 인식하는 과정에 대해 설명한다.

가. 갓길차로 표지판 인식

갓길차로 표지판의 경우, 검은색 배경의 전광판에 주행 가능을 뜻하는 초록색 화살표 혹은 주행 불가를 뜻하는 빨간색 X 모양으로 표시된다. 이런 경우에는 RGB 색상 인식을 통해 두 모양이 명확하게 다르게 부각되도록 이진화를 진행하였다. 하지만 주행이 가능한 상태를 나타내는 초록색 화살표 모양의 경우 입력 영상의 명암도가 낮을 때 RGB 색상 값 중 녹색 부분을 나타내는 G 값의 변화폭 차이가 심해 인식률이 떨어진다는 문제점이 있다.

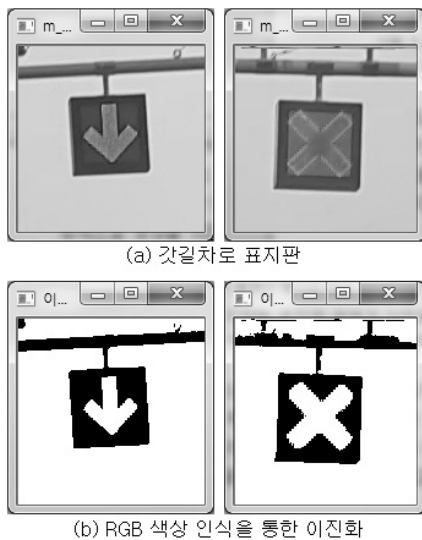


그림 6. 갓길차로 (가변차선구간) 표지판의 이진화 결과
Fig. 6. Results of binarization of shoulder's traffic sign.

이를 고려하여 그림 6 (a)와 같이 갓길차로 표지판은 검은색 배경의 전광판에 표시되어 주변의 색상과 확연히 차이가 나는 상태에서의 영역을 검출하여 RGB 색상 인식을 진행한다. 입력된 영상의 특정 부분이, 색상을 통한 이진화 작업을 수행할 시 검은색으로 나타나 인식하려는 RGB 색상 범위 값을 만족할 경우에는 해당 값을 모두 0으로 대체하고 그렇지 않을 경우 RGB 값을 모두 255로 대체하여 영상 이진화 작업을 진행한다. 이렇게 진행된 결과가 그림 6의 (b)에 나타나 있는데 여기서 갓길차로 표지판의 특징 영역이며 주행 가능을 뜻하는 초록색 화살표와 주행 불가를 뜻하는 빨간색 X 모양이 부각될 수 있게 영상이 이진화된 것을 볼 수 있다.

나. 속도제한 표지판 인식

고속도로 상의 주행 중 속도제한 표지판은 상단에 제한속도를 나타내는 둥근 원을 특징 영역으로 사용한다. 속도제한 표지판의 경우 RGB 색상 인식을 이용하여 영상을 이진화 하였을 때 인식하려는 특정 영역 부분의 RGB 값이 크기 때문에, 밝은 영상과 어두운 영상에서 나타나는 RGB 색상 값의 범위 차이가 커서 인식률이 좋지 않았다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 특징의 경우에는 영상의 밝기에 영향을 많이 받지 않는 적응형 이진화 알고리즘을 이용하여 영상을 이진화할 수 있다. 속도제한 표지판은 그림 7의 왼쪽 이미지에서 볼 수 있듯이 원 모양으로 되어 있고 흰색 바탕에 검은색으로 제한속도가 써어 있으며 붉은색의 둥근 테두리가 있다. 이를 적응형 이진화 알고리즘을 이용하여 이진화 작업을 진행하였을 때 그림 7의 오른쪽의 영상과 같이 특징 영역 부분이 두드러지는 결과를 볼 수 있다.



그림 7. 고속도로 상의 속도제한 표지판의 이진화 결과
Fig. 7. Results of binarization of speed limit traffic sign.

다. 휴게소 표지판 인식

고속도로 주행 중 자주 만나게 되는 휴게소 표지판에는 그림 8 (a)의 왼쪽 이미지와 같이 일반적으로 파란색 바탕에 흰색으로 부대시설, 이름, 전방 잔여거리 등의 정보가 나타나 있다. 휴게소 표지판 역시 적응형 이진화 알고리즘을 사용하여 이진화를 진행하면 그림 8 (b)의 왼쪽 이미지와 같이 파란색 배경은 검은색으로, 흰색과 노란색 등으로 쓰여 있는 글자 정보들은 흰색으로 영상이 이진화된다. 이진화된 후 다양한 정보를 나타내고 있는 이 이미지가 고속도로 휴게소임을 뜻하고 올바르게 인식될 수 있도록 특정한 소수의 특징 캐릭터가 필요한데 이 경우에는 이진화된 영상에서 특징 영역인 순가락 또는 젓가락 모양을 검출하여 표지판을 인식하도록 진행하였다. 그런데 이럴 경우 입력 영상의 명암도가 높을 때에는 원하는 양질의 이진 영상을 얻을 수 있지만 그림 8 (a)의 오른쪽 이미지와 같이 해질녘 저녁의 명암도가 낮은 상태에서 얻은 어두운 영상에서는 그림 8 (b)의 오른쪽 이미지와 같이 표지판 바탕 배경과 해당 정보가 모두 명확하지 않게 나타나고 주로 검은색으로 이진화되는 것을 볼 수 있다. 이는 표지판 검출 영역의 배경이 하늘이기 때문에 어두운 영상이라 해도 명도 차가 크게 발생하지 않는 이유에 기인하기 때문이다.



그림 8. 고속도로 휴게소 표지판의 이진화 결과
Fig. 8. Results of binarization of service area traffic sign.

그로 인해 적응형 이진화 알고리즘을 수행할 때

$n \times n$ 크기의 주변 영역 평균값을 구하여 임계값으로 사용할 시, 영상 내 하늘 부분이 속해 있는 영역의 평균값이 높게 계산되고 임계값 또한 높게 적용되어 그림 8 (b)의 오른쪽 이미지와 같은 결과를 보인 것이다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 히스토그램 평활화를 이용한 전처리 과정을 통해 입력 영상의 명암대비를 고르게 만들어 너무 밝은 영상은 적당히 어둡게, 명암도가 어두운 영상은 적당히 밝게 만들어 주면서 입력 영상 전체가 일정한 명암도의 픽셀 분포도를 갖도록 변환한다. 이렇게 히스토그램 평활화의 전처리 과정을 거친 후 적응형 알고리즘을 이용하여 계속해서 이진화하면 그림 8 (c)와 같이 휴게소 표지판의 특징 영역이 두드러지게 나타나면서 이진화된 결과를 볼 수 있다.

라. 졸음쉼터 표지판 인식

고속도로 졸음쉼터 표지판은 휴게소 표지판과 마찬가지로 전체적으로 파란색 바탕에 흰색으로 해당 정보를 표시하고 있다. 따라서 휴게소 표지판의 경우와 같이 입력 영상을 히스토그램 평활화를 이용하여 적절히 명암도를 조절하는 전처리 과정을 거친 후 적응형 이진화를 이용하여 영상을 이진화하는 작업을 수행 하였다. 그런데 여기서 특이한 점은, 졸음쉼터 표지판은 주행 중인 차 안에서의 운전자가 쉽게 인지할 수 있도록 지면으로부터 얼마 떨어지지 않은 낮은 높이에 설치되기 때문에 검출된 표지판의 영역에 졸음쉼터 표지판 외에 주변의 지형지물이 동시에 포함되어 영상 속에 나타나게 되면서 배경이 복잡하게 되는 경우가 다반사다. 이러한 영상 속의 다양한 뒷 배경들이 이진화 과정에 영향을 주기 때문에 그림 9 (b)의 오른쪽 영상에서 나타나듯이 원하는 이진화 결과를 얻지 못한다. 이렇게 복잡한 배경에서 기록된 영상으로 입력되는 경우의 교통 표지판 인식을 위해서는 Canny Edge 알고리즘을 고려할 수 있다. Canny Edge 기법은 특징 추출 방법 중의 하나로 영상 속에서의 물체의 경계 또는 모서리 선을 찾기 위한 알고리즘이다. 그림 9의 (c)는 Canny Edge 알고리즘을 이용하여 이진화 한 영상으로서 이를 보면 영상의 배경 복잡도와 밝기에 상관없이 물체의 윤곽선이 적절히 검출되는 것을 볼 수 있다. 그림 10은 표지판 검출 영역에서 경우에 따라 적절히 이진화 작업이 이루어진 후 갓길차로, 속도제한, 휴게소, 졸음쉼터 표지판 영상 등을 이용하고 Labeling을 통해 특징 영역을 검출하는 과정에 대하여 졸음쉼터 표지판을 대표로 이용해서 나타내고 있다.

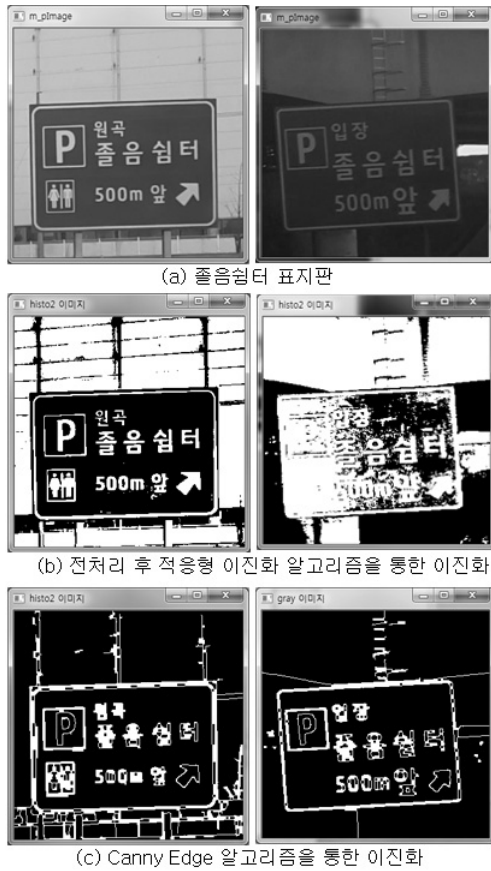


그림 9. 고속도로 졸음쉼터 표지판의 이진화 결과
Fig. 9. Results of binarization of rest area traffic sign.

그림 10 (a)는 그림 9 (c)에서 얻어진 이진 영상에 Labeling 작업을 수행한 결과로서 졸음쉼터의 특징 영역인 P 모양 외에도 여러 레이블들이 검출 되는 것을 볼 수 있다.

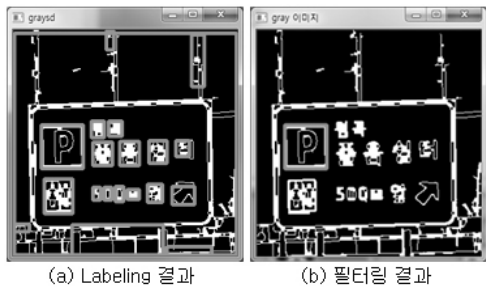


그림 10. Labeling과 필터링을 이용한 표지판 특징점 추출
Fig. 10. Feature extraction of traffic signs using labeling and filtering.

따라서 3장에서 설명한 바와 같이 졸음쉼터 교통 표지판 특징 영역의 가로와 세로의 길이를 측정하여 이를 만족하지 않는 레이블은 제거하는 방법을 통해 그림 10 (b)에 나타난 바와 같이 졸음쉼터 표지판의 특징 영역

을 뜻하는 P 영역을 검출한다. 이렇게 검출된 특징 영역이 찾고자 했던 표지판의 특징 영역과 일치 하는지 검증하기 위해 템플릿 매칭 알고리즘을 이용하고 이를 통해 최종적인 판별 결과를 내어 어떤 종류의 표지판인지 인식할 수 있게 된다.

2. 표지판의 전방 잔여 거리 정보 인식

지금까지 설명된 과정을 통하여 고속도로 상에 설치된 교통 표지판이 어떤 의미를 갖고 있고 어떤 의도로 설치되어 있는지를 자동 인식 시스템을 통하여 인식한 것이라면 다음 단계로 필요한 것은 해당 교통 표지판에 썩어 있는 전방 잔여 거리 정보를 인식하여 현재 위치로부터 얼마나 떨어져 있는지 소요 시간은 얼마인지 대략 추정할 수 있게 하는 과정이라고 할 수 있다. 여기서 도로 교통 표지판은 미리 지정된 규칙적인 모양으로 제작된다는 점에 착안하여 본 논문의 전 단계에서 찾아진 표지판 특징 영역의 가로와 세로의 길이 비율을 계산하여 표지판 내부에서 특징 영역으로부터 전방 잔여 거리 정보가 썩어 있을 위치를 추정한다.

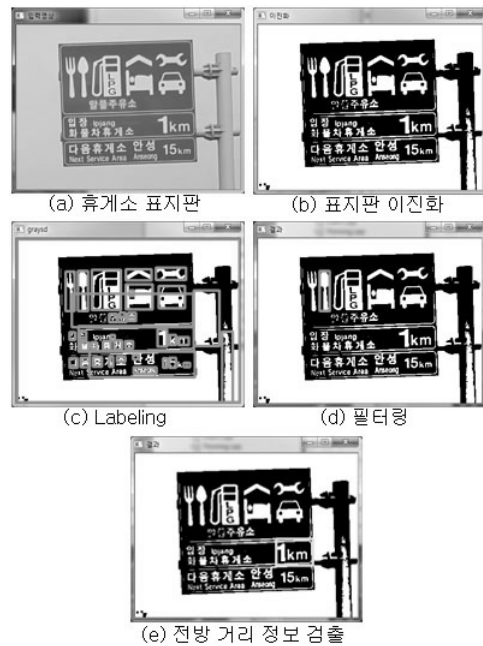


그림 11. 전방 잔여 거리 정보 검출 영역 지정 과정
Fig. 11. Process of specification of forward distance information region detection.

그림 11은 휴게소 표지판의 특징 영역과 전방에 남은 거리 정보를 인식하는 과정으로서 그림 11의 (a)부터 (d)는 앞서 설명된 표지판의 특징 영역을 인식하는 과정이고, (e)의 우측 하단부에 표시된 사각형은 검출된

특정 영역의 가로와 세로의 길이를 이용하여 전방 잔여 거리 정보가 찍어 있을 것으로 판단되는 위치를 추정하여 그 영역을 지정한 결과이다. 이렇게 지정된 영역은 그림 12에 나타나 있는 것과 같이 Labeling 기법을 통해 문자를 검출한 뒤 템플릿 매칭을 이용하여 문자인식을 통해 최종적으로 전방 잔여 거리 정보를 인식한다.



그림 12. Labeling과 필터링을 통한 전방 거리 정보 인식 과정

Fig. 12. Process of recognition of forward remaining distance information using labeling and filtering.

그림 13은 고속도로를 주행 하던 중 촬영된 동영상 내에 등장하는 도로 교통 표지판들의 종류와 전방 잔여 거리 정보를 인식한 결과를 볼 수 있다. 그림 13을 보면 고속도로 주행 중 제한 속도와 단속 구간까지의 남은 거리, 갓길차로 이용 가능 여부, 고속도로 상 휴게소와 졸음쉼터까지 남은 거리 등의 정보가 번갈아 가며 자동 인식된 결과를 알 수 있다.

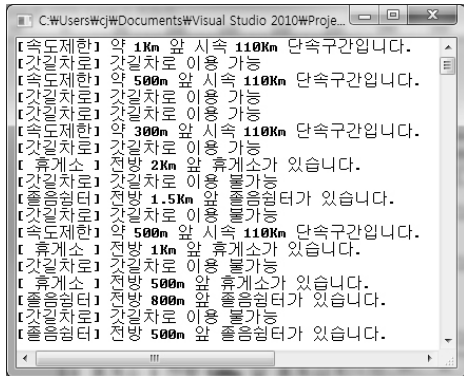


그림 13. 고속도로 상의 다양한 교통 표지판 인식 결과
Fig. 13. Results of recognition of various traffic signs on expressway.

표 2는 맑은 날씨에 오전, 오후 그리고 저녁 시간으로 나누어 고속도로 상에서 찍은 비디오 영상을 입력 영상으로 활용하여 도로 교통 표지판과 전방의 잔여 거리 인식을 실행한 결과이다. 입력된 비디오 영상은 경부고속도로 상의 천안 IC에서 안성 JC까지의 사이를 왕복 주행하면서 촬영한 영상이며 주행한 차로는 편도 4차로를 기준으로 3차로, 4차로, 그리고 갓길 차로를 번

갈아가며 이용 하였다. 실험결과는 입력 영상의 명암도를 기준으로 오전, 오후, 저녁의 조도에 따라 구분되었다. 그리고 표지판의 종류와 정보에 따라 사용된 이진화 알고리즘, 표지판 인식 가능 여부, 전방에 남은 거리 정보 인식 가능 여부 및 인식을 시도한 횟수와 성공한 횟수로 나타내었다.

표 2. 고속도로 교통 표지판 및 전방 잔여 거리 인식 결과 (맑은 날씨, 성공횟수/시도횟수, HE: Histogram Equalization, CE: Canny Edge Detection)

Table2. Results of recognition of traffic signs and forward remaining distance on expressway (Sunny weather, Success/Trials, HE: Histogram Equalization, CE: Canny Edge Detection)

| 날씨 | 시간대 | 표지판 | 이진화 기법 | 이미지 | | 비디오 | |
|-------|-------|------|--------|-------|-----------|-------|-----------|
| | | | | 인식 결과 | 전방거리인식 결과 | 인식결과 | 전방거리인식 결과 |
| SUNNY | 오전 | 갓길↓ | 색상인식 | 20/20 | N/A | 20/20 | N/A |
| | | | 색상인식 | 20/20 | N/A | 19/20 | N/A |
| | | 갓길X | 색상인식 | 20/20 | N/A | 20/20 | N/A |
| | | | 색상인식 | 20/20 | N/A | 18/20 | N/A |
| | | 속도제한 | 적응형 | 5/5 | 5/5 | 4/5 | 5/5 |
| | | | 적응형 | 5/5 | 5/5 | 5/5 | 5/5 |
| | 오후 | 휴게소 | 적응형 | 3/3 | 3/3 | 3/3 | 3/3 |
| | | | HE | 3/3 | 3/3 | 2/3 | 3/3 |
| | | 졸음쉼터 | 적응형 | 3/3 | 3/3 | 2/3 | 3/3 |
| | | | HE | 3/3 | 3/3 | 3/3 | 3/3 |
| | | CE | 3/3 | 3/3 | 3/3 | 2/3 | |
| | | 저녁 | 갓길↓ | 색상인식 | 20/20 | N/A | 20/20 |
| 색상인식 | 20/20 | | | N/A | 20/20 | N/A | |
| 갓길X | 색상인식 | | 20/20 | N/A | 20/20 | N/A | |
| | 색상인식 | | 20/20 | N/A | 20/20 | N/A | |
| 속도제한 | 적응형 | | 6/6 | 6/6 | 5/6 | 6/6 | |
| | 적응형 | | 5/6 | 5/6 | 5/6 | 5/6 | |
| 오전 | 휴게소 | 적응형 | 2/3 | 3/3 | 3/3 | 3/3 | |
| | | HE | 3/3 | 3/3 | 3/3 | 2/3 | |
| | 졸음쉼터 | 적응형 | 3/3 | 3/3 | 3/3 | 3/3 | |
| | | HE | 2/3 | 3/3 | 2/3 | 2/3 | |
| | CE | 3/3 | 3/3 | 3/3 | 3/3 | | |
| | 오후 | 갓길↓ | 색상인식 | 17/18 | N/A | 17/18 | N/A |
| 색상인식 | | | 17/18 | N/A | 17/18 | N/A | |
| 갓길X | | 색상인식 | 14/15 | N/A | 13/15 | N/A | |
| | | 색상인식 | 14/15 | N/A | 13/15 | N/A | |
| 속도제한 | | 적응형 | 5/6 | 5/6 | 5/6 | 5/6 | |
| | | 적응형 | 5/6 | 5/6 | 5/6 | 5/6 | |
| 저녁 | 휴게소 | 적응형 | 3/3 | 3/3 | 2/3 | 3/3 | |
| | | HE | 2/3 | 2/3 | 3/3 | 2/3 | |
| | 졸음쉼터 | 적응형 | 3/4 | 3/4 | 3/4 | 3/4 | |
| | | HE | 3/4 | 3/4 | 3/4 | 4/4 | |
| | CE | 4/4 | 3/4 | 4/4 | 4/4 | | |

또한 촬영된 비디오 영상과 해당 영상의 교통 표지판을 나타내는 특정 위치에서의 한 프레임을 이용한 정지 영상으로 나누어 실험을 진행하였다. 실험결과, 비디오 영상과 정지 영상 모두 거의 동일한 인식 결과를 얻을 수 있었으며, 덧붙여 각각의 표지판의 성격과 종류에 맞는 이진화 알고리즘을 사용하여 영상을 이진화 시켰을 때는 높은 인식률의 결과를 보였다. 표 2의 결과를 보면 맑은 날씨에 오전과 오후의 경우에는 높은 확률로 성공한 경우로 나오는데 이는 높은 조도 (8000 또는 10000 이상)에 기인한 것으로 보인다. 갓길의 경우에는 전방에 남은 거리 인식이 불필요하여 '해당없음 (N/A)'으로 표시 하였다. 표 3과 표 4에도 이어서 표지판 인식 결과가 제시 되었는데 이는 흐린 날씨와 비오는 날씨에 오전, 오후 그리고 저녁 시간에 나누어 실험을 진행한 결과이다.

표 3. 고속도로 교통 표지판 및 전방 잔여 거리 인식 결과 (흐린 날씨, 성공횟수/시도횟수, HE: Histogram Equalization, CE: Canny Edge Detection)

Table3. Results of recognition of traffic signs and forward remaining distance on expressway (Cloudy weather, Success/Trials, HE: Histogram Equalization, CE: Canny Edge Detection)

| 날씨 | 시간대 | 표지판 | 이진화 기법 | 이미지 | | 비디오 | |
|--------|-----|-----|--------|-------|------------|-------|------------|
| | | | | 인식 결과 | 전방거리 인식 결과 | 인식 결과 | 전방거리 인식 결과 |
| CLOUDY | 오전 | 갓길↓ | 색상인식 | 17/18 | N/A | 18/18 | N/A |
| | | | 색상인식 | 17/18 | N/A | 17/18 | N/A |
| | | 갓길X | 색상인식 | 16/17 | N/A | 16/17 | N/A |
| | | | 색상인식 | 16/17 | N/A | 16/17 | N/A |
| | | 속도 | 적응형 | 5/5 | 4/5 | 4/5 | 5/5 |
| | | 제한 | 적응형 | 5/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| | 오후 | 휴게소 | 적응형 | 3/3 | 2/3 | 3/3 | 3/3 |
| | | | HE | 3/3 | 3/3 | 2/3 | 3/3 |
| | | 줄음 | 적응형 | 2/3 | 2/3 | 2/3 | 3/3 |
| | | | HE | 3/3 | 3/3 | 3/3 | 2/3 |
| | | 썬터 | CE | 3/3 | 3/3 | 3/3 | 3/3 |
| | | | CE | 3/3 | 3/3 | 3/3 | 3/3 |
| 흐린 날씨 | 오전 | 갓길↓ | 색상인식 | 17/17 | N/A | 16/17 | N/A |
| | | | 색상인식 | 16/17 | N/A | 16/17 | N/A |
| | | 갓길X | 색상인식 | 15/17 | N/A | 16/17 | N/A |
| | | | 색상인식 | 16/17 | N/A | 16/17 | N/A |
| | | 속도 | 적응형 | 6/6 | 5/6 | 5/6 | 5/6 |
| | | 제한 | 적응형 | 5/6 | 5/6 | 5/6 | 6/6 |
| | 오후 | 휴게소 | 적응형 | 3/3 | 2/3 | 3/3 | 3/3 |
| | | | HE | 2/3 | 3/3 | 3/3 | 2/3 |
| | | 줄음 | 적응형 | 3/3 | 3/3 | 2/3 | 2/3 |
| | | | HE | 3/3 | 2/3 | 3/3 | 3/3 |
| | | 썬터 | CE | 2/3 | 2/3 | 3/3 | 3/3 |
| | | | CE | 2/3 | 2/3 | 3/3 | 3/3 |

| | | | | | | | |
|---|---|-----|------|-------|-----|-------|-----|
| 림 | 지 | 갓길↓ | 색상인식 | 15/17 | N/A | 16/17 | N/A |
| | | | 색상인식 | 16/17 | N/A | 15/17 | N/A |
| | | 갓길X | 색상인식 | 13/14 | N/A | 12/14 | N/A |
| | | | 색상인식 | 12/14 | N/A | 12/14 | N/A |
| | | 속도 | 적응형 | 4/5 | 5/6 | 4/5 | 5/6 |
| | | 제한 | 적응형 | 5/5 | 5/6 | 4/5 | 5/6 |
| | 역 | 휴게소 | 적응형 | 3/3 | 2/3 | 2/3 | 3/3 |
| | | | HE | 2/3 | 3/3 | 3/3 | 2/3 |
| | | 줄음 | 적응형 | 3/4 | 3/4 | 3/4 | 3/4 |
| | | | HE | 3/4 | 3/4 | 4/4 | 3/4 |
| | | 썬터 | CE | 4/4 | 4/4 | 3/4 | 4/4 |
| | | | CE | 4/4 | 4/4 | 3/4 | 4/4 |

표 3과 표 4의 내용에도 표 2와 마찬가지로 갓길, 속도제한, 휴게소, 줄음썬터 등 각 표지판 별로 인식 알고리즘에 사용한 이진화 기법과 표지판 자체의 인식 결과, 그리고 갓길의 경우를 제외한 속도제한, 휴게소, 줄음썬터의 경우에는 전방에 남은 잔여 거리 인식 결과를 제시하였다. 표 3과 표 4는 각각 흐린 날씨와 비가 오는 날씨에 진행한 실험이어서인지 오후 및 저녁 시간에 특히 인식 결과가 상대적으로 맑은 날씨나 오전의 조도가 높은 경우에 비해 저조한 경우가 많았다.

표 4. 고속도로 교통 표지판 및 전방 잔여 거리 인식 결과 (우천 시, 성공횟수/시도횟수, HE: Histogram Equalization, CE: Canny Edge Detection)

Table4. Results of recognition of traffic signs and forward remaining distance on expressway (Rainy weather, Success/Trials, HE: Histogram Equalization, CE: Canny Edge Detection)

| 날씨 | 시간대 | 표지판 | 이진화 기법 | 이미지 | | 비디오 | |
|-------|-----|-----|--------|-------|------------|-------|------------|
| | | | | 인식 결과 | 전방거리 인식 결과 | 인식 결과 | 전방거리 인식 결과 |
| RAYNY | 오전 | 갓길↓ | 색상인식 | 15/17 | N/A | 16/17 | N/A |
| | | | 색상인식 | 16/17 | N/A | 15/17 | N/A |
| | | 갓길X | 색상인식 | 14/15 | N/A | 13/15 | N/A |
| | | | 색상인식 | 14/15 | N/A | 14/15 | N/A |
| | | 속도 | 적응형 | 4/5 | 3/5 | 4/5 | 5/5 |
| | | 제한 | 적응형 | 5/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| | 오후 | 휴게소 | 적응형 | 2/3 | 2/3 | 2/3 | 2/3 |
| | | | HE | 3/3 | 3/3 | 3/3 | 2/3 |
| | | 줄음 | 적응형 | 2/3 | 2/3 | 3/3 | 2/3 |
| | | | HE | 3/3 | 3/3 | 2/3 | 2/3 |
| | | 썬터 | CE | 2/3 | 2/3 | 3/3 | 2/3 |
| | | | CE | 2/3 | 2/3 | 3/3 | 2/3 |
| 흐린 날씨 | 오전 | 갓길↓ | 색상인식 | 15/16 | N/A | 14/16 | N/A |
| | | | 색상인식 | 14/16 | N/A | 15/16 | N/A |
| | | 갓길X | 색상인식 | 14/17 | N/A | 15/17 | N/A |
| | | | 색상인식 | 15/17 | N/A | 16/17 | N/A |
| | | 속도 | 적응형 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| | | 제한 | 적응형 | 5/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| | 오후 | 휴게소 | 적응형 | 3/3 | 2/3 | 3/3 | 3/3 |
| | | | HE | 2/3 | 3/3 | 3/3 | 2/3 |
| | | 줄음 | 적응형 | 3/3 | 3/3 | 2/3 | 2/3 |
| | | | HE | 3/3 | 2/3 | 3/3 | 3/3 |
| | | 썬터 | CE | 2/3 | 2/3 | 3/3 | 3/3 |
| | | | CE | 2/3 | 2/3 | 3/3 | 3/3 |

| | | | | | | | |
|----|----------|----------|------|-------|-------|-------|-------|
| 우천 | 지 | 휴게소 | 적용형 | 3/3 | 2/3 | 3/3 | 3/3 |
| | | | HE | 2/3 | 2/3 | 2/3 | 2/3 |
| | | 졸음 쉼터 | 적용형 | 2/3 | 2/3 | 2/3 | 2/3 |
| | | | HE | 2/3 | 2/3 | 3/3 | 3/3 |
| | | | CE | 3/3 | 2/3 | 2/3 | 2/3 |
| | | 천 | 갓길 ↓ | 색상인식 | 14/16 | N/A | 14/16 |
| | 색상인식 | | | 15/16 | N/A | 15/16 | N/A |
| | 갓길 X | | 색상인식 | 12/14 | N/A | 12/14 | N/A |
| | | | 색상인식 | 13/14 | N/A | 13/14 | N/A |
| | 속도 제한 | | 적용형 | 3/4 | 3/4 | 3/4 | 3/4 |
| | | | 적용형 | 3/4 | 3/4 | 4/4 | 4/4 |
| | 녁 | 휴게소 | 적용형 | 2/3 | 3/3 | 2/3 | 2/3 |
| | | | HE | 3/3 | 2/3 | 2/3 | 2/3 |
| | | 졸음 쉼터 | 적용형 | 3/4 | 3/4 | 3/4 | 2/4 |
| | | | HE | 3/4 | 3/4 | 3/4 | 3/4 |
| | | | CE | 3/4 | 3/4 | 3/4 | 3/4 |

갓길 주행을 안내하는 표지판의 경우 속도제한이나 휴게소 또는 졸음 쉼터의 경우보다 많은 횡수로 도로상에 설치되어 있어 실험을 행한 횡수 또한 다른 경우보다 상대적으로 많은 것을 볼 수 있다. 다른 세 종류의 표지판의 경우 (속도제한, 휴게소, 졸음쉼터) 인식 시도 횡수가 3-6회 정도로 비슷한 것을 볼 수 있다. 전방 잔여 거리 인식의 경우는 해당 장소가 현재 위치로부터 몇 km 남았는지 인식하는 경우이며 대체적으로 1km 또는 2km 남은 경우에 해당한다. 전체적으로 보면 맑은 날씨보다는 흐리거나 비 오는 날씨 또는 조도가 높은 오전이나 오후 보다는 저녁 시간에 실험 결과가 상대적으로 저조한 것을 볼 수 있다. 표 5는 날씨와 시간대 별 고속도로 교통 표지판과 전방의 잔여거리 인식 실험 결과 성공률을 나타내고 분석한 결과를 제시하고 있다.

표 5. 날씨와 시간대 별 고속도로 교통 표지판 및 전방 잔여거리 인식 성공률 분석 결과 (단위: %)
Table5 Analysis results of recognition success rate of traffic signs and forward remaining distance on expressway corresponding to weather and time. (unit: %)

| | | | | | |
|----|-------------------------|------|------------|----------|-----------|
| 날씨 | 실험 시간대 | | 오전 | 오후 | 저녁 |
| | 조도 (LUX) | | 8000~10000 | 10000 이상 | 4000~7500 |
| 맑음 | 표지판 인식 성공률 (%) | 갓길 ↓ | 98.7 | 100 | 94.4 |
| | | 갓길 X | 97.5 | 100 | 90.0 |
| | | 속도제한 | 95.0 | 87.5 | 83.3 |
| | | 휴게소 | 91.6 | 91.6 | 83.3 |
| | | 졸음쉼터 | 94.4 | 88.8 | 83.3 |
| | 평균 | 95.4 | 93.5 | 86.8 | |
| | 잔여거리 인식 성공률 | 속도제한 | 100 | 91.6 | 83.3 |

| | | | | | |
|----|-------------------------|------|-----------|---------------|-----------|
| | (%) | 휴게소 | 100 | 91.6 | 83.3 |
| | | 졸음쉼터 | 94.4 | 94.4 | 83.3 |
| | | 평균 | 98.1 | 92.5 | 83.3 |
| 날씨 | 실험 시간대 | | 오전 | 오후 | 저녁 |
| | 조도 (LUX) | | 4000~7500 | 8000~10000 이상 | 2500~6500 |
| 흐림 | 표지판인 식 성공률 (%) | 갓길 ↓ | 95.8 | 95.5 | 91.1 |
| | | 갓길 X | 94.1 | 92.6 | 87.5 |
| | | 속도제한 | 90.6 | 87.5 | 85.0 |
| | | 휴게소 | 91.6 | 91.6 | 83.3 |
| | | 졸음쉼터 | 88.8 | 91.6 | 83.3 |
| | 평균 | 92.1 | 91.7 | 86.0 | |
| | 잔여거리 인식 성공률 (%) | 속도제한 | 85.0 | 87.5 | 83.3 |
| | | 휴게소 | 91.6 | 83.3 | 83.3 |
| | | 졸음쉼터 | 88.8 | 83.3 | 83.3 |
| | | 평균 | 88.4 | 84.7 | 83.3 |
| | | | | | |
| 날씨 | 실험 시간대 | | 오전 | 오후 | 저녁 |
| | 조도 (LUX) | | 1500~5000 | 6500~9500 | 500~2500 |
| 우천 | 표지판인 식 성공률 (%) | 갓길 ↓ | 91.1 | 90.6 | 90.6 |
| | | 갓길 X | 91.6 | 88.2 | 89.2 |
| | | 속도제한 | 85.0 | 85.0 | 81.2 |
| | | 휴게소 | 83.3 | 83.3 | 75.0 |
| | | 졸음쉼터 | 83.3 | 77.7 | 75.0 |
| | 평균 | 86.8 | 84.9 | 82.2 | |
| | 잔여거리 인식 성공률 (%) | 속도제한 | 80.0 | 80.0 | 81.2 |
| | | 휴게소 | 75.0 | 75.0 | 75.0 |
| | | 졸음쉼터 | 72.2 | 72.2 | 70.8 |
| | | 평균 | 75.7 | 75.7 | 75.6 |
| | | | | | |

이를 보면, 맑은 날씨에는 표지판 자체의 인식 결과가 평균 95.4%를 보여 매우 높은 인식 성공률을 보이고 있고, 문자 인식을 통한 전방의 잔여거리 인식률의 평균의 경우에는 98.1%로서 매우 양호한 결과를 나타내었다. 흐린 날씨와 우천 시의 날씨에는 낮은 조도로 인한 인식의 결과가 저조한 경우가 있었으며 이 경우에는 표지판 인식의 결과와 전방 잔여거리 인식의 결과가 표 5에도 나타나 있듯이 70% 중후반에서 80% 중후반까지 다양하게 나왔다. 표지판 구성과 설치 위치의 특성 상 졸음쉼터의 경우는 다른 표지판의 경우와는 달리 지면으로부터 상대적으로 낮은 위치에 설치되어 있는 바, 배경화면이 더 복잡하여 패턴 인식을 하는데 좀 더 어려움이 있었던 것을 추측된다. 그 외 휴게소와 속도제한의 표지판의 경우에는 표지판 인식과 전방 잔여거리 인식의 부분에서 비슷한 결과를 보여 패턴인식과 배경화면의 단조로움에서 좀 더 많은 인식 실험의 이득을 취한 것으로 보인다. 표지판 인식의 경우에는 지정된

특징 영역과 가로, 세로 길의 폭을 계산하여 인식하는 알고리즘을 사용하였으므로 실험 결과가 양호한 데 비해 전방 잔여거리 인식의 결과에서는 문자 인식의 과정이 들어 있어 템플릿 매칭 등의 기법을 통해 최종 결과를 산출해 내느라 다소의 어려움이 있었을 것으로 추정된다. 전체적으로 보면 흐리거나 우천 시의 날씨보다는 맑은 날씨에, 그리고 저녁 시간대에 비해 높은 조도의 오전과 오후 시간대에 상대적으로 높은 교통 표지판과 전방 잔여거리 인식률을 보이고 있음을 알 수 있다.

V. 고찰 및 토론

본 연구에서는 다양한 날씨와 시간대에서 고속도로 상의 표지판 및 전방 잔여 거리의 인식 성공률을 측정하고 비교 평가하였다. 본 연구와 유사한 내용을 다룬 타 자료들을 살펴보면 회전에 강인한 고속 이진패턴을 이용하여 교통 신호 표지판을 인식한 경우가 있다.^[23] 여기서 제안된 알고리즘은 총 12,630개의 GTSRB (German Traffic Sign Recognition Benchmark) 데이터에 적용되어 기존의 방법들보다 약 0.47초가 향상된 인식속도를 보여 주었다. 본 연구와의 평가 지표가 달라 절대 비교는 힘들지만 인식 속도를 측정하였다는 점에서 향후 본 연구의 진행 방향에 영향을 끼칠 것으로 보인다. 랜덤 포레스트 분류기 기반의 컨벌루션 뉴럴 네트워크를 이용한 속도 제한 표지판 인식 연구도^[24] 주목할 만한데 GTSRB 데이터를 이용하여 SVM (Support Vector Machine)이나 MLP (Multi-Layer Perceptron) 분류기를 적용할 때보다 더 우수한 성능을 보였다. 여기서 제안한 알고리즘은 전체적으로 91.2%의 인식 성능을 보였고 본 연구에서 제시한 방법의 90% 상위대의 인식 성공률과 비슷하다고 볼 수 있다. 이 연구에서도 인식 시간을 측정하였는데 1개 영상 당 0.24ms의 시간이 소요되었음을 보여 주었다. 본 연구에서는 인식 시간 측정을 간과했는데 차 후 연구에서는 GTSRB 데이터를 이용하여 표지판 인식 시간을 측정할 예정이다. SVM과 의사결정트리를 이용한 열악한 환경에서의 교통표지판 인식 알고리즘도 있는데^[25] 여기서는 기계학습 기반의 표지판 인식 결과를 제시하였다. 열악한 환경에서의 표지판 검출률은 96.4%, 인식률은 94%였는데 본 연구에서 보인 결과와 비슷하다고 할 수 있다. 이 연구에서는 먼저 검출률 부터 측정하였는데 픽셀의 가장자리 성분을 이용한 특징점과 머신러닝 기법을 활용하였다. 이 연구에서 말한 열악한 환경이란 야간 환경을 말하는데

본 연구에서 진행한 다양한 날씨의 시간대별 실험 결과는 비교하기가 힘들었다. 주간과 야간에 측정된 인식률은 각각 99.8%와 94%인 것으로 보아 우수한 결과라 볼 수 있다. 또한 인식에 걸리는 시간이 1ms로 측정되어 실시간 처리의 가능성을 보여주었다. 또한 HOG 특성을 이용하여 95%~99%의 인식률을 보이는 연구 결과와^[26] I2V 통신 시스템 내에서 비전 기반의 교통 표지판 인식 연구 결과를^[27] 접할 수 있었다. I2V 통신 시스템의 지원을 받아 이 연구는 낮과 밤 시간대에 95%의 검출률과 93%의 평균 인식률을 보였다. 또한 평균 런타임은 35ms로서 실시간 적용이 가능한 정도였다. 이는 본 연구에서 보인 90% 상위대의 인식률과 유사한 결과라고 볼 수 있는데 향후 표지판의 검출률과 인식에 걸리는 시간을 각각 측정하여 본 연구 결과와의 절대 비교를 수행해 볼 가치가 있다고 판단된다. 지금까지 가장 최근의 교통 표지판 인식에 관한 연구결과들과 본 연구와의 차이점 및 평가 결과를 분석해 보았는데 결과물의 절대 비교 평가가 힘든 점은 있지만 매우 가치있는 참조 결과물들로 인해 본 연구의 향후 진행 방향을 가늠할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 고속도로 상의 교통 표지판 인식에 대하여 연구하고 그 결과에 대해 서술하였다. 기존의 GPS나 미리 저장된 데이터베이스를 이용하여 교통 표지판의 정보를 알려주는 서비스가 아닌 실시간으로 주행 중인 차 안에 설치되어 있는 블랙박스나 카메라와 같은 저가의 촬영 장비 또는 네비게이션 시스템을 이용하여 즉시적으로 이동하며 노변에 설치된 교통 표지판 정보를 자동으로 인식하는데 최종 목적을 두었다. 이를 위해 교통 표지판 인식 알고리즘과 해당 목표 영역 검출 후 표지판에 쓰여 있는 교통 안내 정보를 패턴인식 알고리즘을 이용하여 자동 인식하는 방법으로 진행하였다. 교통 표지판은 도로교통 규정에 의해 제작 규격과 설치 위치가 특별히 정해져 있다는 점에 착안하여 차량 내부에서 촬영된 비디오 영상에 표지판이 등장하는 부분에 관심영역을 설정하고 해당 영역에서만 표지판 인식 알고리즘을 시행하여 작업 수행시간을 단축하였고, 각기 다른 표지판의 고유한 특징 영역을 이용하여 표지판 인식 작업을 진행하였다. 표지판에 씌어 있는, 전방에 남은 잔여 거리를 뜻하는 숫자와 영문자 정보 인식은 앞서 찾아진 특징 영역의 가로와 세로의 크기 비율을 이용하여 표지판의 크기를 추정

하고, 인식하고자 하는 정보가 쓰여 있을 위치를 추측하여 관심영역을 설정한 후 해당 영역에서만 문자인식을 통해 정보를 인식하고 분석하였다. 인식된 표지판은 고속도로 상에서 운전 중 간간이 만나게 되는 갓길차로, 속도제한, 휴게소, 졸음쉼터 표지판 등으로 갓길차로 표지판에 대해서는 갓길차로의 이용 가능 여부를 인식하였고 다른 세 종류의 표지판은 해당 안내 정보의 종류와 전방에 위치한 거리를 인식하였다. 본 연구를 통해 제안된 고속도로 교통 표지판 인식 방법은 실시간으로 도로 상에서 운전자가 운전을 하면서 자동으로 표지판을 인식하게 하여 유용한 정보를 편하고 빠르게 제공해 줄 수 있을 것으로 예상된다. 추가적으로 연구가 더 필요한 부분이 있다면, 표지판이 도로 노측에 설치되는 특성상 큰 화물차에 가려지거나 편도 4차로 도로와 같은 넓은 도로에서 안쪽 차선에서 주행 할수록 영상에 등장하는 표지판의 크기가 작아져 인식하기 어려운 문제라는 점이 있다. 향후 이러한 문제에 대한 해결 방안을 연구하고, GTSRB 데이터를 활용하여 표지판의 검출률과 인식률, 그리고 인식 시간 등의 평가 지표에 대한 고도화 된 실험을 고려할 예정이다. 또한 더욱 더 다양한 종류의 표지판 인식을 위해 영상내용에 담긴 여러 정보를 이용하여 자동화 된 실시간 도로 교통 표지판 인식 시스템 연구를 지속적으로 진행할 계획이다.

REFERENCES

- [1] Z. Yan, et al. "Cognitive machine-to-machine communications: visions and potentials for the smart grid," *IEEE Networks*, vol. 26, no. 3, pp. 6-13, 2012.
- [2] J. Kim, J. Lee, and J. Yun. "M2M service platforms: survey, issues, and enabling technologies," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, no. 1, pp. 61-76, 2014.
- [3] C. Pyo, H. Kang, N. Kim, and H. Bang, "IoT(M2M) Technical Trend and Future Prospect," *KICS Journal*, vol. 30, no. 8, pp. 3-10, 2013.
- [4] G. Jayavardhana, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Thing (IOT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645-1660, 2013.
- [5] A. Luigi, A. Iera, and G. Morabito, "The internet of things: A survey," *Computer networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787-2805, 2010.
- [6] d. Orey, M. Pedro, and M. Ferreira, "ITS for Sustainable Mobility: A Survey on Applications and Impact Assessment Tools," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 15, no. 2, pp. 477-493, 2014.
- [7] B. Romain et al., "Can C-ITS lead to the Emergence of Traffic Management 2.0," 2014 IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp. 483-488, Qingdao, China, October 2014.
- [8] H. Yoo and K. Son, "Video based intelligent car technology," *IEIE Journal*, vol. 39, no. 2, pp. 76-84, 2012.
- [9] B. Yoon and J. Kim, "Technical trend of R&D for Cutting-edge technology cars," *Robot Control System Journal*, vol. 18, no. 2, pp. 21-29, 2012.
- [10] S. Naoki and T. Uozumi, "Development of an autonomous vehicle-System overview of test ride vehicle in the Tokyo motor show 2011," *SICE Annual Conference (SICE)*, pp. 215-218, 2012.
- [11] B. T. Richard and J. Wagner, "Policy pathways to vehicle automation: Industry perspectives on the role of public policy in autonomous vehicle development," *Connected Vehicles and Expo (ICCVe)*, 2013 International Conference.
- [12] L. Fletcher, N. Apostoloff, L. Petersson, and A. Zelinsky, "Vision in and out of vehicles," *IEEE Intelligent systems*, vol. 18, no. 3, pp.12-17, 2003.
- [13] A. Broggi, P. Cerri, P. Medici and P. Porta, "Real time road signs recognition," *Proc. IEEE International Conference on Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 981-986, 2007.
- [14] W. G. Shadeed, D. I. A, A. Nadi, and M. J. Mismar, "Road traffic sign detection in color images," *IEEE conf. electronics circuits and systems*, vol. 2, pp. 14-17. 2003.
- [15] S. Zhu, L. Liu, and X. Lu, "Color-geometric model for traffic sign recognition," *Computational Engineering in Systems Applications, IMACS Multiconference on*, vol. 2, pp. 2028-2032, 2006.
- [16] C. Yoon, S. Jang, and M. Park, "Real-Time Road Sign Detection Using Vertical Plane and Adaboost," *IEIE-SC Journal*, vol. 46, no. 5, pp. 29-37, 2009.
- [17] J. Oh, H. Kwak, and W. Kim, "Recognition of Traffic Signs using Wavelet Transform and Shape Information," *IEIE-SP Journal*, vol. 41, no. 5, pp.125-134, 2004.
- [18] H. Gomez-Moreno, S. Maldonado-Bascon, P. Gil-Jimenez, and S. Lafuente-Arroyo, "Goal evaluation of segmentation algorithms for traffic sign recognition," *IEEE Transactions on Intelligent*

Transportation Systems, vol. 11, no. 4, pp. 917-930, 2010.

- [19] J. Greenhalgh, and M. Mirmehdi, "Real-time detection and recognition of road traffic signs," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 13, no 4, pp. 1498-1506, 2012.
- [20] S. Maldonado-Bascon, S. Lafuente-Arroyo, P. Gil-Jimenez, and H. Gomez-Moreno, "Road-Sign Detection and Recognition Based on Support Vector Machines," IEEE transaction on Intelligent Transportation System, vol. 8, no. 2, pp. 264-278, 2007.
- [21] B. D. Trier, and A. K. Jain, "Goal-directed evaluation of binarization methods," Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, vol. 17, no. 12, pp. 1191-1201, 1995.
- [22] J. A. Stark, "Adaptive image contrast enhancement using generalizations of histogram equalization," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 9, no. 5, pp. 889-896, 2000.
- [23] M. Hwang, B. Ko, and J. Nam, "Real-time Traffic Sign Recognition using Rotation-invariant Fast Binary Patterns," Journal of Broadcasting Engineering, vol. 21, no. 4, pp. 562-568, 2016.
- [24] E. Lee, J. Nam, and B. Ko, "Speed-limit Sign Recognition Using Conventional Neural Network Based on Random Forest," Journal of Broadcasting Engineering, vol. 20, no. 6, pp. 938-949, 2015.
- [25] Y. Jo, W. Na, S. Eom, and Y. Jeong, "Traffic Sign Recognition using SVM and Decision Tree for Poor Driving Environment," Journal of Institute of Korean Electrical and Electronic Engineering, vol. 18, no. 4, pp. 485-494, 2014.
- [26] M. Mathias, R. Timofte, R. Benenson, and L. V. Gool, "Traffic Sign Recognition - How far are we from the solution?," International Joint Conference on Neural Networks, pp. 1-8, August, 2013.
- [27] M. Garcia-Garrido, M. Ocana, D. Llorca, E. Arroyo, J. Pozuelo, and M. Gavilan, "Complete Vision-Based Traffic Sign Recognition Supported by an I2V Communication System," Sensors, vol. 12, no. 2, pp. 1148-1169, 2012.

저 자 소 개



임 창 재(학생회원)
2014년 단국대학교 멀티미디어공학과 학사 졸업.
2016년 단국대학교 대학원 컴퓨터학과 석사 학위 취득

<주관심분야: Image Processing, Mobile Platform, Mobile Multimedia Processing, M2M(Machine to Machine), IoT(Internet of Things)>



김 대 원(정회원)-교신저자
1993년 중앙대학교 공과대학 전자공학과 학사 졸업.
1996년 University of Southern California, Electrical and Computer Engineering, M.S.

2002년 Iowa State University, Electrical and Computer Engineering, Ph. D.

현재 단국대학교 응용컴퓨터공학과 교수
<주관심분야: Digital Multimedia Data Processing, Mobile Platform, Application S/W, Non-Destructive Evaluation, Ultrasonic Signal Processing, Source Localization>