

DCT 계수를 이용한 속도 제한 표지판 인식 실시간 알고리즘의 설계

준회원 강병휘*, 정회원 조한민*, 김재영**, 황선영*, 김광수***

Design of a Real-time Algorithm for the Recognition of Speed Limit Signs Using DCT Coefficients

Byoung-Hwi Kang* *Associate Member*, Han-Min Cho*, Jae-Young Kim***,
Sun-Young Hwang*, Kwang-Soo Kim** *Regular Members*

요약

본 논문은 지능형 자동차를 위한 속도 제한 표지판 실시간 인식 방법을 제안한다. 기존에는 전처리 과정을 거친 관심 영역에 대해 영역 전체의 픽셀 값을 특징으로 하여 연산량이 크나 제안된 방법은 연산량을 줄이기 위해 적은 개수의 DCT 계수를 이용하는 방법을 사용한다. 제안된 알고리즘은 인식의 판단 기준이 되는 DCT 계수를 선택하고 이를 선형판별법과 Mahalanobis Distance를 이용하여 단일 프레임의 속도 제한 표지판을 인식한다. 단일 프레임의 분류 결과를 연속된 프레임동안 누적하여 가장 높은 확률을 갖는 속도 제한 표지판을 선택한다. 실험 결과 테스트로 사용된 연속된 프레임에 대해서 100% 인식을 보이며 기존 대비, 곱셈 연산량은 58.6% 감소, 덧셈 연산량은 38.3% 감소하는 결과를 얻었다.

Key Words : Intelligent Vehicle, TSR, Speed Limit Signs, DCT, LDA

ABSTRACT

This paper proposes a real-time algorithm of recognizing speed limit signs for intelligent vehicles. Contrary to previous works which use all the pixel values in the ROI (Region Of Interest) after preprocessing image at ROI and need a lot of operations, the proposed algorithm uses fewer DCT coefficients in the ROI as features of each image to reduce the number of operations. Choosing a portion of DCT coefficients which satisfy discriminant criteria for recognition, the proposed algorithm recognizes the speed limit signs using the information obtained in the selected features through LDA and MD. It selects one having the highest probability among the recognition results calculated by accumulating the classification results of consecutive individual frames. Experimental results show that the recognition rate for consecutive frames reaches to 100% with test images. When compared with the previous algorithm, the numbers of multiply and add operations are reduced by 58.6% and 38.3%, respectively.

1. 서론

지능형 자동차에서의 컴퓨터 비전 시스템은 사람

의 반응체계를 고려할 때 그 중요성과 전망이 높은 분야 중에 하나이다. 사람의 반응체계는 시각을 통하여 외부로부터 여러 정보를 얻은 후 반응하며 그

* 서강대학교 전자공학과 CAD & ES 연구실(hwang@sogang.ac.kr)

** 한국전자통신연구원, *** 서강대학교 서강미래기술연구원

논문번호 : KICS2010-10-477, 접수일자 : 2010년 10월 8일, 최종논문접수일자 : 2010년 11월 26일

비율이 약 80% 이상일 정도로 높은 비중을 차지하고 있다. 따라서 대부분 정보의 전달 형태가 시각적이며 이를 이용한 컴퓨터 비전 시스템이 기존 자동차 분야에 접목이 되어 그 중요성이 커지고 있다.^{[1],[2]} 컴퓨터 비전 시스템이 지능형 자동차에 응용된 기술은 카메라를 통한 자동차 주변 정보를 종합, 처리, 응용하는 목적이 있으며 그 결과 차선이탈 경보, 차간거리유지 시스템, 보행자 인식 시스템, 주차보조시스템, 교통 표지판 인식 등의 많은 어플리케이션이 있다.^[2] 이 중에서 교통 표지판 인식은 안전을 생각했을 때 간과될 수 없는 중요한 기술 중에 하나이나 다른 기술에 비해 발전이 많이 이뤄지지 않았다. 교통 표지판 인식은 여러 종류의 표지판을 대상으로 할 수 있으나 그 중에서 속도 제한 표지판 인식에 대한 연구가 그 중요성에 비해 상대적으로 적고, 기존 연구 결과, 교통 표지판 형태에 따라 삼각형, 원형(속도 제한 표지판 제외) 표지판의 경우 인식률이 상당히 높는데 반하여 속도 제한 표지판의 경우 상대적으로 낮은 90% 초반대의 인식률을 보인다.^[3] 이는 속도 제한 표지판의 내용이 다른 종류의 교통 표지판에 비해 그 크기가 작고 비슷한 부류의 내용을 포함하고 있어 발생하는 문제이다.

위의 문제들을 해결하기 위한 동영상 기반의 속도 제한 표지판 인식 방법이 제안되었다.^{[4],[5]} 동영상을 기반으로 할 경우 단일 프레임의 인식률이 비교적 낮더라도 이를 바탕으로 연속된 프레임의 결과를 종합하여 인식하기 때문에 좋은 인식률을 보인다. 다만 동영상을 기반으로 할 경우 전처리 및 분류 단계에 소요되는 시간을 최소화하는 것이 중요하다. 기존의 경우 관심 영역의 전체 픽셀 값을 특징으로 하기 때문에 속도 제한 표지판 고유의 정보를 그대로 나타내는 장점은 있으나, 특징의 개수가 많기 때문에 선형판별법(Linear Discriminant Analysis)을 이용한 기존의 방법^{[4],[5]}은 연산량이 큰 단점이 있다. 특히, 임베디드 환경 하에서 적용하기 위해서 인식률은 유지하면서 연산량은 줄일 수 있는 연구가 필요하다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 동영상 기반의 속도 제한 표지판 인식을 위하여 단일 프레임에서 검출된 관심 영역에 대한 전처리과정을 거친다. DCT(Discrete Cosine Transform) 계수를 이용하여 특징의 수가 줄어드는 성질을 이용하며, 이를 바탕으로 속도 제한 표지판을 분류하는 방법을 제안한다. 비교적 적은 숫자의 특징을 선택하면서 인식률

이 유지되기 위해 DCT 계수 선택을 위한 판별 요소를 도입하며 연산량을 줄여 해당 계수를 구하는 방법을 제안한다. 이렇게 단일 프레임에서 분류된 결과를 바탕으로 연속적인 프레임에 적용하여 확률을 기반으로 속도 제한 표지판을 인식하도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 표지판 인식에 대한 배경을 기술하고 3절에서는 제안하는 속도 제한 표지판 인식 방법을 보인다. 4절에서는 제안된 방법의 효율성에 대한 실험 결과를 제시하고, 마지막으로 5절에서는 결론을 맺는다.

II. 배경

교통 표지판 인식은 크게 검출(detection), 분류(classification) 2가지 기술로 나뉜다. 검출 기술은 카메라를 통해 입력으로 들어온 영상으로부터 교통 표지판으로 추정되는 영역을 검출하는 기술이며, 다른 하나는 검출된 표지판을 분류하는 기술로서 표지판 내용에 대해 다중 분류를 하는 기술이다. 여기에 검출된 교통 표지판을 추적(tracking)하는 기술이 추가적으로 포함이 되기도 한다. 표지판 검출 기술은 표지판 고유의 색상, 형태를 이용한 방법이 기본적이며 다양한 검출 기술들이 연구되고 있다. 분류 기술은 표지판 내용에 대한 특징 선택 및 추출과 분류기에 적용되는 분류 알고리즘에 따라 다양한 성능을 보이나, 검출 기술에 비해 상대적으로 처리 속도와 분류 성능이 떨어져 표지판 인식의 전체 성능을 저하시키므로 분류 기술에 대한 연구가 필요하다.

2.1 검출 기술

교통 표지판의 색상은 빨강, 노랑, 파랑 등의 고유의 색상으로 구성되어 있어 검출에 용이하다. 일반적으로 입력 영상의 색상 공간은 RGB 모델이지만 이를 밝기(illumination)에 영향을 받지 않는 다른 색상 공간(HSV, HSI, YIQ 등)으로 변환하여 교통 표지판을 검출하는 연구가 제안되었다.^[6] 이 방법은 변환을 위한 식이 복잡하나 변환되는 값을 미리 계산하여 LUT(look-up table)에 저장을 함으로써 해결할 수 있다. 교통 표지판의 형태는 검출을 위한 또 다른 특징 중에 하나이다. 형태를 이용할 경우 밝기나 표지판 색상의 퇴색 등에 강건한 장점이 있다. 형태에 기반한 검출의 대표적인 방법인 허프 변형(Hough transform)을 이용하여 원형과 사각

형 교통 표지판을 검출하는 연구가 발표되었다.^[7,8] 허프 변형은 이를 위한 하드웨어가 있음에도 불구하고 영상의 크기가 크면 실시간 처리가 어려운 단점이 있다. 이 밖에도 영상의 그래디언트를 이용하여 여러 형태의 교통 표지판을 검출하는 연구가 제안되었다.^[9] 색상과 형태를 이용한 방법 이외에 거리 변형(distance transform)을 이용한 방법^[10], 실시간 얼굴 검출에서 사용된 Viola-Jones 검출기^[11]를 적용한 방법^[3,4] 등이 제안되었다.

2.2 분류 기술

교통 표지판 분류 기술은 크게 2가지 부분으로 나뉜다. 하나는 특징 선택이며 다른 하나는 추출된 특징을 이용한 분류 방법이며, 각각에 대한 선택에 따라 연구 결과가 달라진다. 검출된 관심 영역에 대해서 특징 선택에 따라 히스토그램을 이용하거나^[12], 웨이블릿 값을 이용한다.^{[13],[14]} 이외에도 관심 영역 자체의 픽셀 값을 이용하는 방법이 있으며 변환되는 크기에 따라 여러 방법이 제안되었다.^{[15],[16]} 이는 영상에 대한 별도의 처리 없이 바로 특징으로 삼을 수 있는 장점이 있으나 일반적으로 특징의 개수가 많고 연산량이 큰 단점이 있다. 추출된 특징을 바탕으로 교통 표지판을 분류하며 일반적으로 분류는 기존 패턴 인식 기술에서 쓰이는 분류 방법이 적용된다. Correlation 기반 템플릿 매칭을 이용한 방법^[17], 신경망을 이용한 방법^[12-15], Support Vector Machine을 이용한 방법^[16], 선형판별법을 이용한 방법^[4,5]이 있으며 이외에도 오류정정 출력코드(Error Correcting Output Code)를 이용한 방법^[3], 추출된 특징을 기반으로 결정 트리(decision tree)를 구성하여 분류하는 방법^[18] 등이 제안되었다.

III. 제안한 속도 제한 표지판 인식 방법

본 절에서는 검출된 관심 영역에 대한 전처리 과정과 제안된 속도 제한 표지판 분류 방법을 제시한다.

그림 1은 제안된 방법의 전체 과정을 나타낸다. 제안된 속도 제한 표지판 인식 방법은 검출된 관심 영역에 대해 속도 제한 표지판 내용이 선명해지도록 전처리 과정을 거치며, DCT 계수를 선택하여 적은 개수의 특징을 추출한다. 이를 단일 프레임에 대해 분류하고 연속된 프레임에 대해 종합하여 속도 제한 표지판을 인식한다.

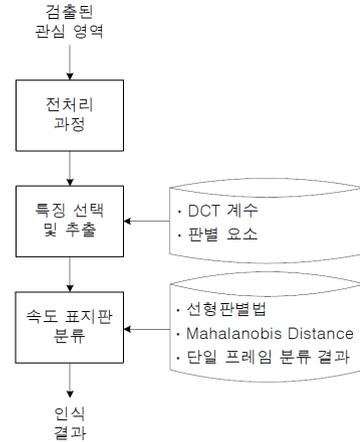


그림 1. 제안된 속도 제한 표지판 인식 방법의 전체 과정

3.1 관심 영역(Region Of Interest)에 대한 전처리 과정

검출된 관심 영역은 검출되는 크기와 환경적인 상황 등으로 인해 검출된 관심 영역 그대로를 특징 추출에 사용하기는 힘들다. 이를 위해 일반적으로 전처리 과정을 통한 정규화를 시켜 특징 추출이 잘 되도록 한다. 그림 2는 관심 영역에 대한 전처리 과정을 보인다.

검출되는 관심 영역은 자동차와 표지판의 상대적인 거리에 따라 그 크기가 다양하므로 resizing 과정을 통하여 특정 크기로 변형되며, 본 논문에서는 bicubic 보간법을 이용한다. Resizing된 영상은 획득

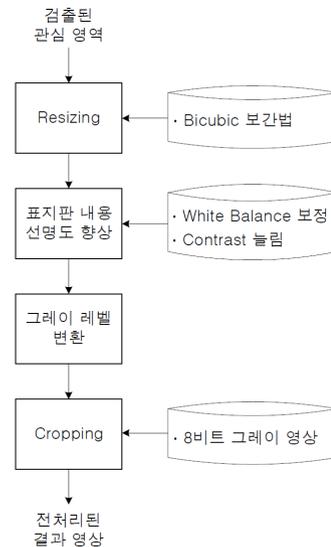


그림 2. 관심 영역에 대한 전처리 과정

될 때의 빛, 어둠 등의 영향으로 인해 표지판 본래의 특징을 표현하지 못하므로 선명도 향상을 통해 영상의 배경과 전경을 분리하고 보정한다. 선명도 향상은 표지판 내부의 배경이 흰색임을 이용하여 white balance 보정과 contrast를 늘리는 방법으로 수행된다. 그레이 레벨 변환을 통해 컬러 영상을 8비트 그레이 영상으로 변환하며, 마지막으로 cropping 과정을 통해 숫자에 해당하는 영역만을 잘라내어 전처리 과정을 마친다. cropping 과정은 분류에 불필요한 부분을 제거할 뿐만 아니라 특징의 개수를 줄여 분류 과정에서 연산량을 줄인다.

3.2 제안된 속도 제한 표지판 분류 방법

전처리 과정을 거친 관심 영역을 분류하기 위해 적당한 특징 선택과 추출이 필요하다. 일반적으로 특징을 선택함에 있어서 특징의 개수를 간과할 수 없으며 이는 특징의 개수가 커질수록 학습에 필요한 데이터가 증가해야하는 차원의 저주(curse of dimensionality) 때문이다.^[19] 이러한 문제를 해결하기 위해 주성분 분석(Principal Component Analysis)이나 선형판별법을 이용하여 특징의 개수를 줄일 수 있으나, 입력 특징의 개수가 많거나 클래스의 개수가 많으면 연산량이 큰 단점이 있다.^[20] 본 논문에서는 전처리 과정을 거친 입력 영상의 DCT 계수 중 인식의 판단 기준이 되는 계수를 특징으로 선택한다. 이를 Mahalanobis Distance를 이용하여 단일 프레임에 대해 분류하고 연속된 프레임을 종합하여 속도 제한 표지판을 인식한다.

3.2.1 특징 선택 및 추출

기준에 제안된 방법^{[4],[5]}은 영상 전체 영역의 픽셀 값을 특징으로 하여 선형판별법을 통해 특징의 개수를 줄이나 입력 특징의 개수가 많으므로 연산량이 큰 단점이 있다. 본 논문에서는 DCT 계수 중 일부를 입력 특징으로 하여 선형판별법에서 연산량을 줄이며 선택된 DCT 계수 변환에 필요한 연산량을 포함한 전체 연산량이 기존 방법에 비해 대폭 적은 방법을 제안한다.

속도 제한 표지판 분류를 위해 앞서 전처리 과정을 거친 영상에 대한 DCT 계수 중 일부를 특징으로 이용한다. DCT 계수는 기저 벡터(basis vector)가 고정되어 있으면서 비교적 적은 수의 DCT 계수로 영상을 잘 표현할 수 있으므로 DCT 계수 중 일부를 특징으로 하여 분류할 수 있다. 계수 선택에 있어서 일반적인 특징 추출 방법은 입력이 되는 영

상 전체에 대해 DCT를 수행하여 모든 계수에 대한 변환 연산을 통한 특징 추출이 이루어지므로 학습 과정뿐만 아니라 분류 과정에서 연산량이 큰 단점이 있다. 본 논문에서는 분류를 위한 계수 선택 방법을 제안하고 필요한 계수만을 추출하기 위한 연산만을 수행하여 분류 과정에서의 연산량을 줄인다. 특징으로 할 계수는 분류에 가장 영향을 미치는 계수이어야 하므로 본 논문에서는 각 계수 중 클래스 내부의 분산은 작고 클래스 간 분산은 큰 계수를 선택한다. 이는 선형판별법과 유사한 개념이지만 선형판별법의 경우 변환 행렬을 구해 새로운 차원으로 투영하므로 계수를 선택할 수 없는 단점이 있다. 그러나 특징을 선택할 수 있도록 기준을 정한다면 이를 바탕으로 전체 계수 중 일부를 특징으로 삼아 특징의 개수를 줄일 수 있다. 이를 위해 그림 3의 판별 요소를 정의하며 학습 과정에서 DC 영역을 제외한 모든 계수에 대하여 각각 구하며 DC 영역은 영상의 밝기를 나타내므로 반드시 필요하지 않다. 여기에서 c 는 클래스의 수, (i,j) 는 샘플의 행/열, $x_k^{c(i,j)}$ 는 클래스 c 의 k 번째 샘플의 (i,j) 행/열의 계수, n 은 샘플의 수이다. 정의된 판별 요소의 크기가 클수록 분류에 영향을 주는 계수로 판단할 수 있으며 이를 기준으로 우선순위를 부여한다.

① 계수별 각 클래스의 평균

$$\mu_c^{(i,j)} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k^{c(i,j)}$$

② 계수별 전체 평균

$$\mu^{(i,j)} = \frac{1}{c} \sum_{k=1}^c \mu_k^{(i,j)}$$

③ 계수별 클래스 간 분산

$$var_{between}^{(i,j)} = \frac{1}{c} \sum_{k=1}^c (\mu_k^{(i,j)} - \mu^{(i,j)})^2$$

④ 계수별 각 클래스의 분산

$$var_c^{(i,j)} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x_k^{c(i,j)} - \mu_c^{(i,j)})^2$$

⑤ 계수별 각 클래스의 분산의 합

$$var_{within}^{(i,j)} = \sum_{k=1}^c var_c^{(i,j)}$$

⑥ 판별 요소

$$Discriminant\ Factor^{(i,j)} = \frac{var_{between}^{(i,j)}}{var_{within}^{(i,j)}}$$

그림 3. 판별 요소를 구하는 과정

제안된 판별 요소를 기준으로 계수를 선택하며, 만약 특징으로 하고자 하는 계수가 다른 계수와 떨어져 행이나 열을 공유하지 못하는 경우 이 계수가 높은 판별 요소 값을 갖는다 하더라도 분류에 영향을 미치는 정도에 비해 연산에 따르는 오버헤드가 커진다. 또한 고주파 성분은 일반적으로 영상의 노이즈 성분을 포함하므로 선택된 계수가 고주파 성분이면 계수 선택에서 제외하더라도 분류에는 크게 영향을 미치지 못한다. 이를 위해 판별 요소에 대해 각 행과 열의 평균값을 구하고, 이를 기준으로 특징으로 선택할 계수의 개수에 맞게 실험적으로 상위의 행과 열을 선택하여 구하고자 하는 계수의 범위를 정한다. 이렇게 정해진 행과 열의 범위에서 최종적으로 판별 요소를 기준으로 상위 몇 개의 계수를 선택한다.

선택된 계수를 구하기 위해서 2-D DCT 연산은 행렬 분해형(row-column decomposition) 방법을 바탕으로 하며 이 방법은 연산과정에서 행 또는 열의 순서에 상관없이 1-D DCT를 수행하며 1-D DCT 연산의 특징 상 연산량을 줄일 수 있는 장점이 있다. 그림 4는 선택된 DCT 계수를 구하는 예를 보인다. 그림 4(a)는 선택된 계수를 나타내며 이를 구하기 위해서 먼저 행에 대해 1-D DCT 계수를 행한다. 이 때 행에 대한 모든 1-D DCT 계수를 구하지 않고, 그림 4(a)에서 선택된 계수가 포함된 열의 1-D DCT 계수만을 모든 행에 대하여 그림 4(b)와 같이 구한다. 이를 가지고 마지막으로 열에 대한 1-D DCT를 수행한다. 이렇게 함으로써 선택된 계수를 구하기 위한 연산량을 줄이며, 여기에 각각의 행과 열을 구하는 연산량을 고려하여 적은 쪽의 행 또는 열의 1-D DCT를 먼저 수행하여 추가적으로 연산량을 줄인다. 제안된 방법을 통해 분류과정에서는 모든 DCT 계수를 구하지 않고 선택된 계수만을 구하여 특징의 개수는 줄어든다 인식률은 보장되고 특징 추출에 필요한 연산량은 줄어든다.

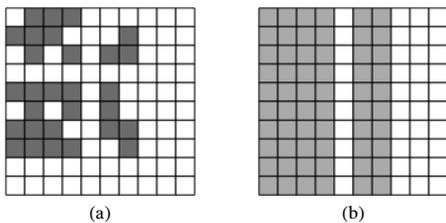


그림 4. 선택된 DCT 계수를 구하는 예. (a) 최종 선택된 DCT 계수, (b) 첫 번째 1-D DCT 수행 후 계수

3.2.2 속도 제한 표지판 분류 방법

전처리 과정을 거쳐 추출된 속도 제한 표지판의 특징을 기반으로 단일 프레임에 대한 분류를 한 다음, 이를 연속된 프레임에 대한 결과로 종합하여 최종적으로 인식한다. 이 때 단일 프레임에서 인식률이 비교적 낮더라도 연속된 프레임에 대한 적당한 기준을 세움으로써 최종적인 인식률을 보장한다. 먼저 단일 프레임에 대한 분류를 위해 추출된 특징에 대하여 추가적으로 선형판별법을 이용하여 개수를 줄이고 분류에 유리하도록 한다. 선형판별법을 거쳐 변환된 결과를 학습 과정에서 각 클래스에 대한 단일 가우시안 모델로 가정을 하며, 이는 충분한 숫자의 샘플이 학습이 되어 분포를 형성하면 가능하다. 이를 바탕으로 분류하고자 하는 샘플을 각 클래스의 분포에 대해 식 (1)의 Mahalanobis Distance로 계산하여 단일 프레임에 대한 분류를 한다.

$$MD_k = \sqrt{(x - \mu_k) \Sigma_k^{-1} (x - \mu_k)^t} \quad (1)$$

여기서 x 와 μ_k 는 선형판별법을 통해 추출된 $(c-1)$ 차원의 벡터로서 x 는 분류하려는 샘플, μ_k 는 학습된 k 클래스의 평균, Σ_k 는 학습된 k 클래스의 공분산행렬이다.

각 프레임에 대해 분류된 결과를 연속된 프레임에 대해 종합하여 최종적으로 속도 제한 표지판을 인식한다. 본 논문에서는 식 (2)와 식 (3)을 이용하여 특정 프레임 개수에 대해 확률이 가장 높은 클래스로 분류한다. 식 (2)는 n 개의 프레임에 대해 k 클래스로 분류된 확률을 말하며 여기서 y_i 는 각 프레임에서 분류된 결과를 나타낸다. 이 때 몇 개의 프레임을 가지고 분류 기준을 정할지는 실험적으로 결정한다.

$$c(k) = \frac{\sum_{i=1}^n [y_i = k]}{n} \quad (2)$$

$$\bar{k} = \underset{k}{\operatorname{argmax}} c(k) \quad (3)$$

IV. 실험 결과

제안된 시스템은 Visual C++와 Matlab으로 구현하였으며 OpenCV 라이브러리를 이용하였다.^[21] 학

습 및 분류를 위한 데이터는 속도 제한 표지판 검출이 비교적 용이한 일반 국도, 고속도로, 시가지 등에서 비교적 맑은 날씨와 약간 흐린 날씨의 환경에서 촬영하였으며, 30fps 속도와 640×480 크기의 동영상에서 각 프레임 영상을 획득하였다. 본 논문은 분류를 위해 획득된 영상에서 속도 제한 표지판 영역을 잘라내어 관심 영역으로 사용하였다. 잘라낸 관심 영역은 최소 11×11부터 최대 30×30 크기로서 학습을 위한 영상은 15×15부터 30×30 크기로 사용하였으며, 분류 영상은 11×11부터 30×30 크기를 사용하였다. 인식을 위한 속도 제한 표지판은 10km/h부터 10의 단위로 110km/h 까지 총 11가지의 클래스에 대해 실험을 수행하며 각 클래스의 학습을 위한 샘플 수는 클래스 당 200개씩 총 2200개로 분류를 위한 샘플 수는 클래스 당 100개씩 총 1100개로 하였다.

학습 및 분류를 위한 샘플은 전처리 과정을 거치며 전처리 과정의 순서에 따라 30×30 크기로 resizing 후 표지판 내용 선명도 향상, 그레이 레벨 변환 과정을 거친다. 마지막 cropping 과정은 표지판 내용에 해당하는 영역을 실험적으로 분석하여 평균적인 범위에 대하여 20×20 크기로 수행된다. 그림 5는 전처리 과정의 예를 보인다.

전처리 과정을 거친 영상에 대하여 제안된 방법과 참고문헌^{4,5)}에서 제안된 기존 방법을 통해 분류한다. 본 논문에서는 관심 영역을 15×15 크기를 기준으로 저해상도와 고해상도로 구분하여 실험 대상을 나누었으며, 이는 실험적으로 인식률의 비교적 큰 차이를 보이는 크기이다. 표 1은 제안된 방법과 기존에 제안된 방법의 인식횟수와 인식률의 차이를 보인다. 제안된 방법으로 실험한 결과 단일 프레임의 경우, 기존 방법을 이용한 결과에 비하여 저해상도에서는 평균 4.2% 인식률 감소, 고해상도에서는 평균 4.6% 인식률 감소를 보인다. 여러 클래스 중 몇몇의 인식률은 상대적으로 낮는데 이는 다른 클래스와 비슷한 특징을 가지고 있어 생기는 문제이다. 제안된 방법은 DCT 계수 중 일부를 선택하여 특징의 개수를 줄여 분류를 행하기 때문에 전체 영

표 1. 속도 제한 표지별 기준 및 제안된 방법의 인식횟수 비교

속도 제한 표지 (km/h)	저해상도 (15×15 미만)			고해상도 (15×15 이상)		
	기존 방법	제안된 방법	비고 (%)	기존 방법	제안된 방법	비고 (%)
10	43 / 50	40 / 50	-6	49 / 50	46 / 50	-6
20	38 / 50	35 / 50	-6	44 / 50	39 / 50	-10
30	44 / 50	48 / 50	+8	48 / 50	48 / 50	0
40	43 / 50	38 / 50	-10	47 / 50	44 / 50	-6
50	39 / 50	33 / 50	-12	45 / 50	39 / 50	-12
60	35 / 50	32 / 50	-6	44 / 50	37 / 50	-14
70	45 / 50	40 / 50	-10	50 / 50	50 / 50	0
80	41 / 50	39 / 50	-4	40 / 50	46 / 50	+12
90	46 / 50	47 / 50	+2	49 / 50	48 / 50	-2
100	44 / 50	45 / 50	+2	50 / 50	48 / 50	-4
110	43 / 50	41 / 50	-4	47 / 50	43 / 50	-8
합계	461 / 550	438 / 550	-4.2	513 / 550	488 / 550	-4.6

상에 대한 정보가 줄어들어 인식률이 떨어지나 단일 프레임의 인식 결과를 중첩하여 연속된 프레임에 대한 인식을 하므로 기존 방법의 인식률은 98%, 제안된 방법의 인식률은 100%로 큰 차이가 없다. 연속된 프레임의 개수는 저해상도는 30개, 고해상도는 20개를 기준으로 하였고 이는 15×15 크기 이하에서 인식함을 의미한다.

본 논문에서는 특징 선택을 위해 상위 18개의 행/열의 범위 안에서 상위 60개의 DCT 계수를 선택하였다. 표 2는 제안된 방법과 기존에 제안된 방법의 곱셈/덧셈의 연산 수행횟수와 차이를 보인다. 제안된 방법의 곱셈/덧셈 연산 수행횟수를 구한 결과 기존의 방법에 비하여 곱셈은 58.6% 감소, 덧셈은 38.3% 감소를 보인다. 이는 기존의 방법인 선형판별법을 이용할 경우 입력으로 들어오는 특징을 변환하는 연산이 입력 특징의 개수와 분류하는 클래스의 개수에 의해 결정되므로, 전체 영역의 픽셀 개수를 특징으로 하는 기존의 방법의 경우 연산량이 크다. 하지만 제안된 방법은 정해진 DCT 계수만을



그림 5. 전처리 과정 예. (a) 검출된 관심영역, (b) Resizing 결과, (c) 표지판 내용 선명도 향상 결과, (d) 그레이 레벨 변환 결과, (e) Cropping 결과

표 2. 연산별 기준 및 제안된 방법의 연산량 비교

연산	기준 방법 (번)	제안된 방법 (번)	비고
덧셈	3990	2463	-38.3 %
곱셈	4000	1656	-58.6 %

구하여 연산량을 줄이는 방법을 제안하였으며 특징의 개수가 줄어들에 따라 선형판별법에서의 연산량도 줄임으로써 실시간 처리가 가능하도록 하였다.

V. 결론

본 논문에서는 DCT 계수를 이용한 속도 제한 표지판 실시간 인식 방법을 제안하였다. 카메라로 들어오는 입력에 대해 단일 프레임을 기준으로 검출된 관심 영역에 전처리 과정을 거쳐 특징을 추출한다. 특징의 개수를 줄이기 위해 DCT 계수 중 일부분만 선택하기 위한 판별 요소를 정의하고, 이를 기준으로 선택된 계수를 구하는 데 필요한 연산량을 줄이기 위한 방법을 제안하였다. 판별 요소는 DCT 계수 중에 클래스 간 분산은 크고 클래스 내 분산은 작은 것을 선택하며, 행과 열의 범위를 정하고 연산량을 고려하여 계수를 선택하는 방법을 사용하였다. 추출된 특징을 이용하여 단일 프레임의 분류를 하며 이 결과를 바탕으로 연속된 프레임에 대해 적용하여 최종적으로 속도 제한 표지판을 인식하도록 하였다. 제안된 방법은 DCT 계수를 이용하여 기존 연구 대비 연산량은 줄어들고, 연속된 프레임을 이용하므로 저해상도에서 인식이 가능하다. 이것은 더 멀리 있는 표지판을 실시간으로 인식할 수 있음을 의미하며 운전자에게 더 빨리 경고할 수 있는 환경을 제공한다.

참고 문헌

[1] 오준택, 박현욱, 김옥현, “웨이블릿 변환과 형태 정보를 이용한 교통 표지판 인식”, *대한전자공학회 논문지*, 41권 5호, pp.125-134, 2004년 9월.
 [2] 김상환, 김진화, 김창수, “지능형 자동차를 위한 컴퓨터 비전 기술 동향”, *대한전자공학회지*, 37권 5호, pp.59-71, 2010년 5월.
 [3] X. Baro, S. Escalera, J. Vitria, O. Pujol, and P. Radeva, “Traffic Sign Recognition Using Evolutionary Adaboost Detection and Forest-ECOC Classification”, *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, Vol.10,

No.1, pp.113-126, Mar., 2009.
 [4] C. Bahlmann, Y. Zhu, R. Visvanathan, M. Pellkofer, and T. Koehler, “A System for Traffic Sign Detection, Tracking, and Recognition Using Color, Shape, and Motion Information”, in *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Las Vegas, NV, pp.255- 260, June, 2005.
 [5] C. Keller, C. Sprunk, C. Bahlmann, J. Giebel, and G. Baratoff, “Real-time Recognition of U.S. Speed Signs”, in *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Eindhoven, Netherland, pp.518-523, June, 2008.
 [6] X. Gao, L. Podladchikova, D. Shaposhnikov, K. Hong, and N. Shevtsova, “Recognition of Traffic Signs Based on their Colour and Shape Features Extracted Using Human Vision Models”, *Journal of Visual communication and Image Representation*, Vol.17, No.4, pp.675-685, Aug., 2006.
 [7] Y. Damavandi and K. Mohammadi, “Speed Limit Traffic Sign Detection and Recognition”, in *Proc. IEEE Cybernetics and Intelligent Systems*, Singapore, Vol.2, pp.213-218, Dec., 2004.
 [8] H. Shen and X. Tang, “Generic Sign Board Detection in Images”, in *Proc. ACM SIGMM international workshop on Multimedia information retrieval*, Berkeley, CA, pp.144-149, Nov., 2003.
 [9] B. Alefs, G. Eschemann, H. Ramoser, and C. Beleznai, “Road Sign Detection from Edge Orientation Histograms”, in *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Istanbul, Turkey, pp.993-998, June, 2007.
 [10] D. Gavrilu, “Traffic Sign Recognition Revisited”, in *Proc. DAGM-Symposium*, Bonn, Germany, pp.86-93, Sep., 1999.
 [11] P. Viola and M. Jones, “Robust Real-time Face Detection”, *International Journal of Computer Vision*, Vol.57, No.2, pp.137-154, May, 2004.
 [12] R. Vicen-Bueno, R. Gil-Pita, M. Rosa-Zurera, M. Utrilla-Manso, and F. Lopez-Ferreras, “Multilayer Perceptrons Applied to Traffic Sign Recognition Tasks”, in *Proc. International*

Work-Conference on Artificial Neural Networks, Barcelona, Spain, pp.865-872, June, 2005.

[13] S. Hsu and C. Huang, "Road Sign Detection and Recognition Using Matching Pursuit Method", *Journal of Image and Vision Computing*, Vol.19, No.3, pp.119-129, Feb., 2001.

[14] P. Douville, "Real-Time Classification of Traffic Signs", *Journal of Real-Time Imaging*, Vol.6, No.3, pp.185-193, June, 2000.

[15] Y. Aoyagi and T. Asakura, "A Study on Traffic Sign Recognition in Scene Image Using Genetic Algorithms and Neural Networks", in *Proc. IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation*, Taipei, Vol.3, pp.1838-1843, Aug., 1996.

[16] S. Maldonado-Bascon, S. Lafuente-Arroyo, P. Gil-Jimenez, H. Gomez-Moreno, and F. Lopez-Ferreras, "Road-Sign Detection and Recognition Based on Support Vector Machines", *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, Vol.8, No.2, pp.264-278, June, 2007.

[17] A. de la Escalera, J. Armingol, J. Pastor, and F. Rodriguez, "Visual Sign Information Extraction and Identification by Deformable Models for Intelligent Vehicles", *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, Vol.5, No.2, pp.57-68, June, 2004.

[18] P. Paclik, J. Novovicova, P. Pudil, and P. Somol, "Road Sign Classification Using the Laplace Kernel Classifier", *Pattern Recognition Letter*, Vol.21, No.13/14, pp.1165-1173, Dec., 2000.

[19] G. Hughes, "On the Mean Accuracy of Statistical Pattern Recognizers", *IEEE Trans. on Information Theory*, Vol.14, No.1, pp.55-63, Jan., 1968.

[20] A. Martinez and A. Kak, "PCA versus LDA", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.23, No.2, pp.228-233, Feb., 2001.

[21] Open Computer Vision Library, <http://opencvlibrary.sourceforge.net>.

강 병 휘 (Byoung-Hwi Kang)

준회원



2009년 2월 서강대학교 전자공학과 학사
2009년~현재 서강대학교 전자공학과 CAD & ES 연구실 석사과정
<관심분야> 지능형 자동차, 패턴 인식, 센서 네트워크

조 한 민 (Han-Min Cho)

정회원



2004년 2월 서강대학교 전자공학과 학사
2006년 2월 서강대학교 전자공학과 석사
2006년~2009년 삼성전자(주) 선임연구원
2009년~현재 서강대학교 전자공학과 대학원 CAD & ES 연구실 박사과정
<관심분야> 지능형 자동차, 패턴 인식, 센서 네트워크

김 재 영 (Jae-Young Kim)

정회원



1991년 2월 경북대학교 컴퓨터공학과 학사
1993년 2월 경북대학교 컴퓨터공학과 석사
1993년~1999년 LG정보통신 선임연구원
2000년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원
<관심분야> 차량용 SW 및 통신, 유무선 네트워크

황 선 영 (Sun-Young Hwang)

정회원



1976년 2월 서울대학교 전자공학과 학사
1978년 2월 한국 과학원 전기 및 전자공학과 공학석사
1986년 10월 미국 Stanford대학 전자공학 박사
1976년~1981년 삼성반도체(주)

연구원, 팀장

1986년~1989년 Stanford 대학 Center for Integrated System 연구소 책임연구원 및 Fairchild Semiconductor Palo Alto Research Center 기술 자문

1989년~1992년 삼성전자(주) 반도체 기술 자문

1989년 3월~현재 서강대학교 전자공학과 교수

<관심분야> SoC 설계 및 framework 구성, CAD 시스템, Computer Architecture 및 DSP System Design 등

김 광 수 (Kwang-Soo Kim)

정회원



1981년 2월 서강대학교 전자공학과 학사
1983년 2월 서강대학교 전자공학과 석사
1992년 2월 서강대학교 전자공학과 박사
1983년~1997년 한국전자통신연

구원 책임연구원

1998년~2005년 정보통신연구진흥원 책임연구원

2005년~2008년 대구경북과학기술원 책임연구원

2008년~현재 서강대학교 교수

<관심분야> 지능형센서시스템, 센서 네트워크