

스테레오 비전 기술을 이용한 도로 표지판의 3차원 추적

Three Dimensional Tracking of Road Signs based on Stereo Vision Technique

최창원, 최성인, 박순용*

(Chang-Won Choi¹, Sung-In Choi¹, and Soon-Yong Park^{1,*})

¹School of Computer Science and Engineering, Kyungpook National University

Abstract: Road signs provide important safety information about road and traffic conditions to drivers. Road signs include not only common traffic signs but also warning information regarding unexpected obstacles and road constructions. Therefore, accurate detection and identification of road signs is one of the most important research topics related to safe driving. In this paper, we propose a 3-D vision technique to automatically detect and track road signs in a video sequence which is acquired from a stereo vision camera mounted on a vehicle. First, color information is used to initially detect the sign candidates. Second, the SVM (Support Vector Machine) is employed to determine true signs from the candidates. Once a road sign is detected in a video frame, it is continuously tracked from the next frame until it is disappeared. The 2-D position of a detected sign in the next frame is predicted by the 3-D motion of the vehicle. Here, the 3-D vehicle motion is acquired by using the 3-D pose information of the detected sign. Finally, the predicted 2-D position is corrected by template-matching of the scaled template of the detected sign within a window area around the predicted position. Experimental results show that the proposed method can detect and track many types of road signs successfully. Tracking comparisons with two different methods are shown.

Keywords: traffic sign, road sign, detection, tracking, stereo

I. 서론

자동차 기술의 발전에도 불구하고, 여전히 운전자의 과실은 도로에서 많은 사고를 유발한다. 도로 표지판은 매우 단순하지만 사고를 피하기 위해 운전자와 보행자에게 위험한 상황과 도로 환경에 대한 중요한 정보를 알려준다. 만약 어떤 기술이 자동적으로 도로 표지판을 검출하고 인식하는데 사용될 수 있다면 우리는 운전자의 부주의로 인해 유발되는 대부분의 사고들을 피할 수 있다.

본 논문에서 우리는 차량 운전자에게 안전한 정보를 제공하는 자동 도로 표지판 검출 및 추적 기술에 대해 소개한다. 많은 연구자들은 다양한 도로와 환경 상황에 대한 도로 표지판 검출 및 인식에 대해 연구해 오고 있다. 일부의 연구자들은 색상 정보를 이용하여 도로 표지판을 검출하고 기계학습을 사용해 인식한다[1-3]. 그러나 어떤 장애물이 도로 표지판을 가리거나 날씨의 변화로 색상 정보가 뚜렷하지 않을 때, 검출 성능이 떨어진다. 다른 방법으로는 뉴럴 네트워크(Neural Network)를 기반으로 모서리와 색상 특

들을 사용하여 도로 표지판을 검출한다[4]. 도로 표지판을 추적하기 위하여 연구자들은 알려져 있는 도로 표지판의 실제 크기와 차량의 속도를 가정했다. 이를 바탕으로 다음 프레임에서 이전에 검출된 도로 표지판 정보를 이용하여 검출할 수 있다. 다른 연구자들은 도로 표지판을 검출하기 위해 2D-3D 대응점을 찾아 카메라 좌표계와 객체 좌표계 사이의 변환 행렬을 사용하는 방법을 소개한다[5]. 또 다른 방법으로 도로 표지판이 3차원으로 공간에서 평면이라는 특징을 이용한다[6]. Marinas [7,8]는 평면 정보를 바탕으로 칼만 필터를 사용하여 도로 표지판을 추적한다. 최근 연구들에서 다양한 방법들이 도로 표지판 검출과 인식을 보다 정확하고 강건하게 연구되고 있다[9,10]. Uchida 및 Hanaizumi [9]는 색상 정보와 상호 상관 함수(Cross Correlation Function), PCA (Principal Component Analysis)를 도로 표지판 검출에 사용하고 이진화 트리로 인식한다. 에너지 함수를 사용하는 [10]에서는 원형과 삼각형의 모양을 수학적으로 계산하여 인식하고 PWP (Pixel-Wise Posteriors) 에너지 함수를 사용하여 인식과정을 보다 정확하게 수행한다. 또한 도로 표지판 객체의 배경과 전경을 분리하고 3차원 자세를 계산함으로써 알고 있는 차량의 속도로 추적한다.

국내/외 기술의 성능적인 면을 보았을 때 먼저 국외의 Mobileye [10]의 2009년도에 발표된 표지판 및 장애물의 인식은 10 ~ 15fps의 검출속도와 95%의 속도 표지판 인식을 나타낸다. 또한 국내의 연세대학교[11]의 색상과 모양 특징을 이용한 속도 제한 표지판 인식을 보면 86%의 인식 결과를 보여준다.

* Corresponding Author

Manuscript received May 23, 2014 / revised November 6, 2014 / accepted November 14, 2014

최창원, 최성인, 박순용: 경북대학교 IT대학 컴퓨터학부
(bnbn408@naver.com/ellim5th@naver.com/sypark@knu.ac.kr)

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 ICT융합 고급인력과정 지원사업(NIPA-2014-H0401-14-1004) 및 산업통상자원부 산업원천기술개발사업(10040927, 운전 안전성 및 편의성 향상을 위한 운전자 시야 중심 차량용 증강현실 정보제공 시스템 기술 개발)의 연구결과로 수행되었음.

본 논문에서는 차량에 탑재된 스테레오 영상 카메라를 통하여 도로 표지판의 2차원 및 3차원 정보를 검출하고 이를 바탕으로 차량의 모션을 추정하여 효과적으로 표지판을 추적하는 기술을 제안한다. 우선 표지판 검출을 위하여 색상 정보와 일반적인 학습방법인 SVM (Support Vector Machine)을 사용한다[12]. 본 논문에서는 검출된 표지판의 3차원 좌표를 스테레오 정합을 이용하여 계산된 깊이지도에 의해 구하는 방법을 제시한다. 또한 효과적이고 빠른 추적을 위하여 표지판이 3차원 위치 정보를 다음 프레임의 영상 공간에 투영한다. 따라서 이전 프레임에서 계산된 3차원 정보를 이용하여 표지판 추적에 적용함으로써 추적 성능을 향상하는 기술을 제안한다.

제안된 표지판 검출 및 추적 기술에 대하여 더 상세히 설명하자면 첫 번째 단계로 영상의 HSI 색상 공간에서 룩업(Look-up) 테이블을 사용해 객체를 색상으로 구분한다. 그리고 표지판 객체의 후보군을 선별하기 위해 라벨링을 수행한다. 후보군을 결정한 후 삼각형, 원, 역삼각형 등의 표지판 템플릿과 정합하고 미리 학습한 SVM 데이터를 바탕으로 후보군에서 올바른 표지판을 검출한다. 도로 표지판이 한번 검출된다면, 스테레오 정합으로 획득한 거리정보를 이용하여 현재 프레임에서 검출된 표지판의 3차원 위치를 계산한다. 이후 다음 프레임에서 표지판의 영상 위치를 예측하기 위해 프레임 간의 외부 파라미터, 즉 회전(Rotation) 및 이동(Translation) 정보를 바탕으로 현재 표지판 3차원 위치를 다음 프레임의 2차원 영상 좌표계로 투영한다. 예측된 도로 표지판 위치는 표지판의 템플릿 정합을 통해 정밀하게 보정된다. 템플릿 정합을 수행할 때 표지판의 실제 3차원 크기에 따라서 이전 프레임의 템플릿 크기를 보정한다. 보정한 템플릿의 크기는 추적 성능을 향상시킨다. 추적 알고리즘은 표지판이 연속된 영상에서 영상 밖으로 사라지기 전까지 반복적으로 수행한다.

II. 도로 표지판 검출 및 추적

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 크게 2단계로 도로 표지판의 검출과 추적으로 나뉜다. 연속된 영상에서 도로 표지판 검출은 제안된 기술의 첫 번째 단계이다. 주행하는 차량에 장착된 스테레오 카메라는 연속된 영상을 획득한다. 그림 1은 제안된 추적 기술의 전체적인 과정을 나타낸다. 검출 단계에서는 HSI 색상 공간에서 붉은 성분의 특징과 채도 특성을 이용하여 표지판의 후보영역을 결정하고, 삼각형, 원형, 역삼각형등의 표지판 형태를 템플릿 정합으로 후보군을 일차적으로 선별한 후 SVM 기계 학습 데이터로 표지판 객체를 찾아낸다. 추적 과정은 스테레오 정합을 사용하여 계산된 3차원 좌표와 전 후 프레임 사이의 자세 정보인 카메라 모션 정보를 바탕으로 도로 표지판을 추적한다.

1. 색상 정보를 사용한 영상 이진화

영상에서 도로 표지판을 검출하기 위하여 도로 표지판의 색상 정보를 이용한다. 일반적으로 도로 표지판의 색상은 빨강, 파랑, 노랑, 흰색으로 구성되어 있다. 표지판의 후보군을 찾기 위하여 RGB 컬러 공간의 영상을 HSI 컬러 공간으로 전환한다. 일반 표지판과 임시 공사 표지판과 같은 객

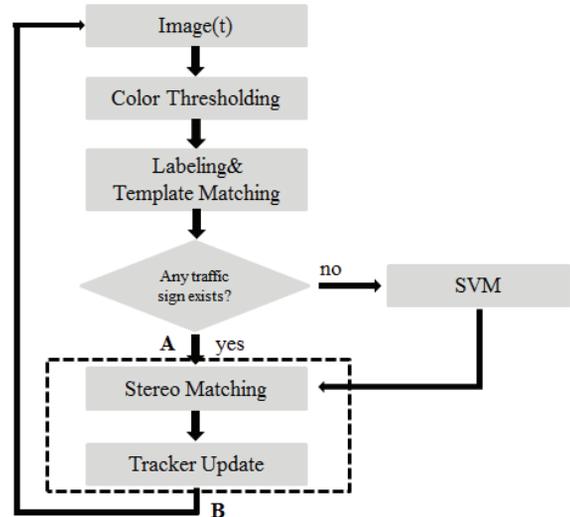


그림 1. 제안된 표지판 검출 및 추적 알고리즘.

Fig. 1. The proposed road sign detection and tracking algorithm.

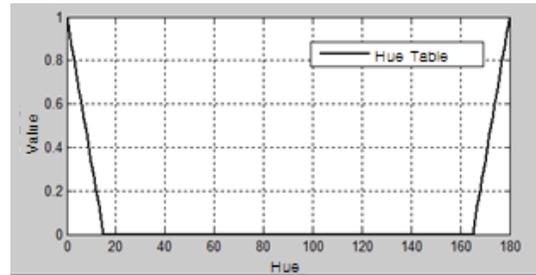


그림 2. 색상 이진화를 위한 색조 테이블.

Fig. 2. Hue table for color binarization.

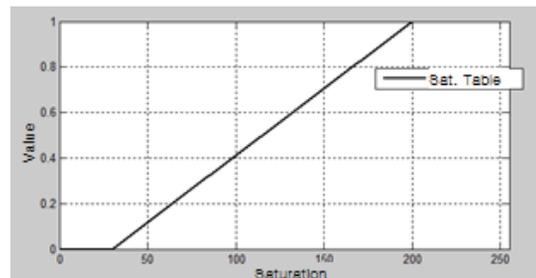


그림 3. 색상 이진화를 위한 채도 테이블.

Fig. 3. Saturation table for color binarization.

체를 인식하기 위해 색조(Hue)와 채도(Saturation) 특징을 이용하여 영상을 이진화 한다. 먼저 색조와 채도에 대해 룩업 테이블을 생성한다. 그림 2와 3은 색조와 채도의 테이블 및 값에 대한 그래프이다. 테이블에서 색조 값의 전체범위는 0 ~ 180이고, 채도 값의 전체범위는 0 ~ 255이다. 식 (1)은 영상 이진화를 위한 방법을 나타낸다. $I_{x,y}$ 는 (x, y) 좌표의 이진화한 영상 값이고 H와 S는 색조, 채도 룩업 테이블이다. $h_{x,y}$ 와 $s_{x,y}$ 는 원본 이미지 (x, y) 좌표의 색조와 채도 값이다. 만들어진 테이블에서 영상의 각 부분의 색조와 채도 값이 테이블에 의해 0.0 ~ 1.0 사이의 값을 가지고 두

값의 곱 연산을 통해 0.4 이상인 경우와 이하 경우로 이진화 한다. 임계값은 실험적으로 계산된 값이다. 이진화한 영상의 잡음을 제거하기 위해 3×3 크기의 미디언 필터를 적용한다.

$$I_{x,y} = \begin{cases} 255, & \text{if } (H[h_{x,y}] \times S[s_{x,y}]) \geq 0.4 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

2. 라벨링 및 템플릿 정합

앞의 2.1절의 과정에서 이진화된 영상에서 라벨링을 통하여 후보군을 설정한다. 이는 이진화 영상을 0과 1로 두었을 때 1로 인접한 화소에 모두 같은 라벨(label)을 붙이고 연결되지 않은 다른 성분에는 다른 번호를 붙이는 과정이다. 같은 번호로 설정된 부분들을 객체로 설정한다. 그러므로 객체들의 다른 그룹들은 서로 다른 번호를 가진다. 이 객체들과 표지판 형태인 원형, 삼각형, 역삼각형 등의 템플릿 영상을 정합하여 객체가 교통 표지판인지를 기초 단계 처리한다. 템플릿 정합 방법으로는 이진화된 영상의 객체 크기를 템플릿 영상 크기와 맞춘 뒤 밝기 값 차이를 통해 결정된다. 표 1과 그림 4는 템플릿 형태와 그 수를 나타낸다. 각 템플릿에 따라 수가 다른 이유는 예를 들어, 같은 삼각형이라 할지라도 카메라로부터 표지판이 정면이 아니라 틀어진 경우 영상에 맺힌 표시 단위 형태에 변형이 올 수 있으므로 변형된 형태의 템플릿이 추가 된다.

3. 학습기를 사용한 표지판 인식

이번 단계에서는 SVM에서 사전에 학습된 데이터를 통하여 객체가 표지판인지 다른 장애물인지를 인식할 수 있다. SVM이란 기본적으로 두 범주를 갖는 관측값들을 분류하는 방법으로 객체가 필요한 정보인지 아닌지를 구분하기 위한 함수로 객체를 긍정(positive)과 부정(negative)으로 인식할 수 있다. 본 논문에서는 실제 촬영한 표지판들과 환경 이미지를 학습 데이터로 두어 표지판들은 긍정으로, 환

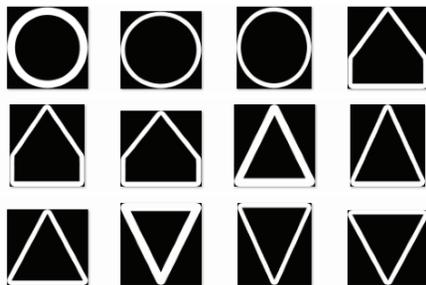


그림 4. 표지판 템플릿의 형태.

Fig. 4. Templates of road signs.

표 1. 표지판 템플릿의 형태와 수.

Table 1. Number of road sign templates.

Shape of templates	Number of templates
Triangle	12
Inverted triangle	12
Circle	6
Rectangle	6
Rhombus	4

경요소들은 부정으로 설정한다. 학습을 할 때 특징 요소로는 이미지의 밝기값으로 설정하고 학습 데이터 사이즈는 40×40, 긍정 이미지 수는 200개, 부정 이미지 수는 200개로 학습한다.

학습된 데이터는 표지판의 경우를 클래스 1, 공사 고갈의 경우 클래스 2, 다른 기타 장애물을 클래스 3으로 두어 검출된 객체들을 학습된 데이터를 통해 예측하였을 때 결과 값이 1, 2인 경우를 긍정 결과로 인식한다. 그림 5는 학습된 표지판의 예시를 나타낸다. 공사 고갈의 경우 다른 종류도 존재하지만 특정 고갈은 도로 상에서 좁은 간격으로 매우 많이 존재하여 겹쳐 보임으로 본 논문에서는 두 가지 경우를 포함한다.

4. 스테레오 정합

스테레오 정합은 차량의 3차원 움직임(motion)과 도로 표지판의 3차원 좌표(X,Y,Z)를 계산하기 위해 수행한다. Zhang's 보정 방법에 의해 스테레오 카메라를 사전에 체스 보드판을 사용하여 스테레오 카메라 보정을 수행하여 PPM을 계산한다[13]. 여기에 좌, 우 영상에서 대응하는 객체의 2차원 좌표값 (x,y)를 입력값으로 함으로써 객체의 3차원 좌표를 계산할 수 있다. 본 논문에서는 좌영상을 중심으로 표지판 객체 (x_L, y_L)를 추출하고 이 표지판 정보를 바탕으로 우영상에서 ROI(Region of Interest)를 설정한다. 그리고 정합 방법 중 하나인 SGBM방법으로 정합된 좌표 (x_R, y_R)를 구하여 이를 PPM에 적용하여 3차원 좌표를 계산한다[14]. 식 (2)-(4)는 각 3차원 좌표 (X, Y, Z)를 구하는 식이다. b는 스테레오 카메라의 베이스라인 거리이고 f는 카메라의 초점 거리이다.

$$X = \frac{b(x_L + x_R)}{2(x_L - x_R)} \quad (2)$$

$$Y = \frac{b(y_L + y_R)}{2(y_L - y_R)} \quad (3)$$

$$Z = \frac{bf}{(x_L - x_R)} \quad (4)$$

5. 도로 표지판 추적

먼저 표지판 추적이 필요한 이유는 크게 두 가지가 있다. 첫 번째는 이전 프레임에서 찾았던 표지판을 현재 프레임에서 표지판이 장애물에 의해 가려진다거나 빛의 영향으로 영상의 색이 바뀌어 찾지 못하는 경우 추적을 통해 찾



그림 5. 학습에 사용한 교통 표지판.

Fig. 5. Road signs used in training.

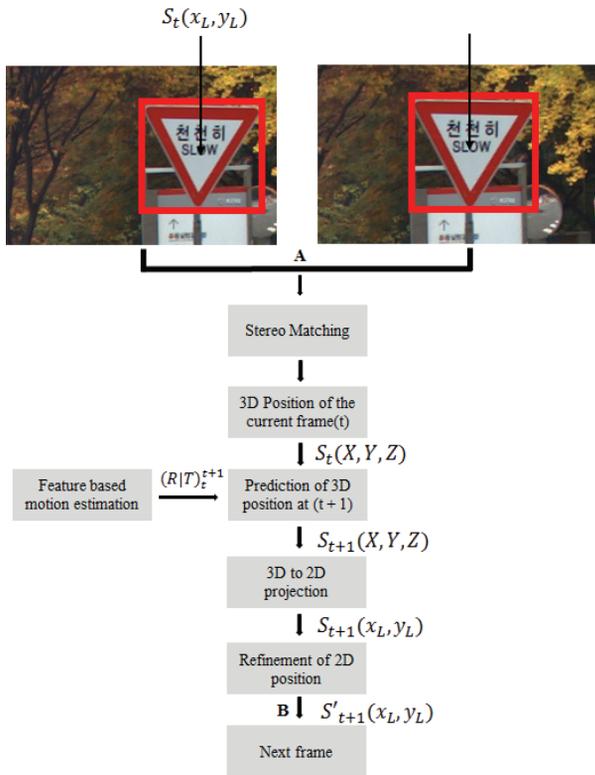


그림 6. 차량 모션과 스테레오 기반의 추적 알고리즘.

Fig. 6. Sign tracking algorithm based on vehicle motion and stereo vision.

을 수 있다. 두 번째로는 현재 찾은 표지판이 이전 프레임에서도 찾은 표지판이라면 추적을 통해 많은 시간이 소요되는 SVM 연산을 생략함으로써 시스템의 수행속도를 향상시키기 위함이다.

전체적인 추적을 수행하는 과정은 그림 6에서 볼 수 있다. 그림 6에서 S_t 와 S_{t+1} 은 각각 t와 t+1프레임에서 표지판 중심 좌표이다. 현재 프레임을 t라 하고 다음 프레임을 t+1이라 가정하였을 때 t와 t+1 사이의 카메라 자세 정보 변환 행렬을 계산한다[15]. 식 (5)는 그림 6의 특징점 기반의 모션 추정에 관한 식으로 최소 3개 이상의 3D-3D 정합 결과를 획득하였다고 가정하였을 때 최소자승법(least square fitting) 알고리즘을 사용하여 e가 최소가 되는 변환행렬 $T = [R|T]$ 를 계산한다. k는 정합된 점의 인덱스이고 p_k 는 t 프레임의 특징점, q_k 는 t+1 프레임의 특징점, R과 t는 각각 회전행렬과 이동행렬이다. 표지판의 특징점 추출과 정합은 SIFT 특징벡터를 사용하였다.

다음으로 모션 벡터를 비선형 모델인 Levenberd-Marquardt 알고리즘을 사용함으로써 비선형 최적화를 수행

$$e = \sum_{k=0}^n \| p_k - (Rq_k + t) \|^2 \tag{5}$$

한다. 자세한 내용은 [15]를 참조한다. t 프레임에서 표지판의 3차원 좌표를 모션 정보 변환 행렬과의 연산을 통해 t+1 프레임에서의 3차원 좌표를 계산한다. 변환 행렬 연산으로

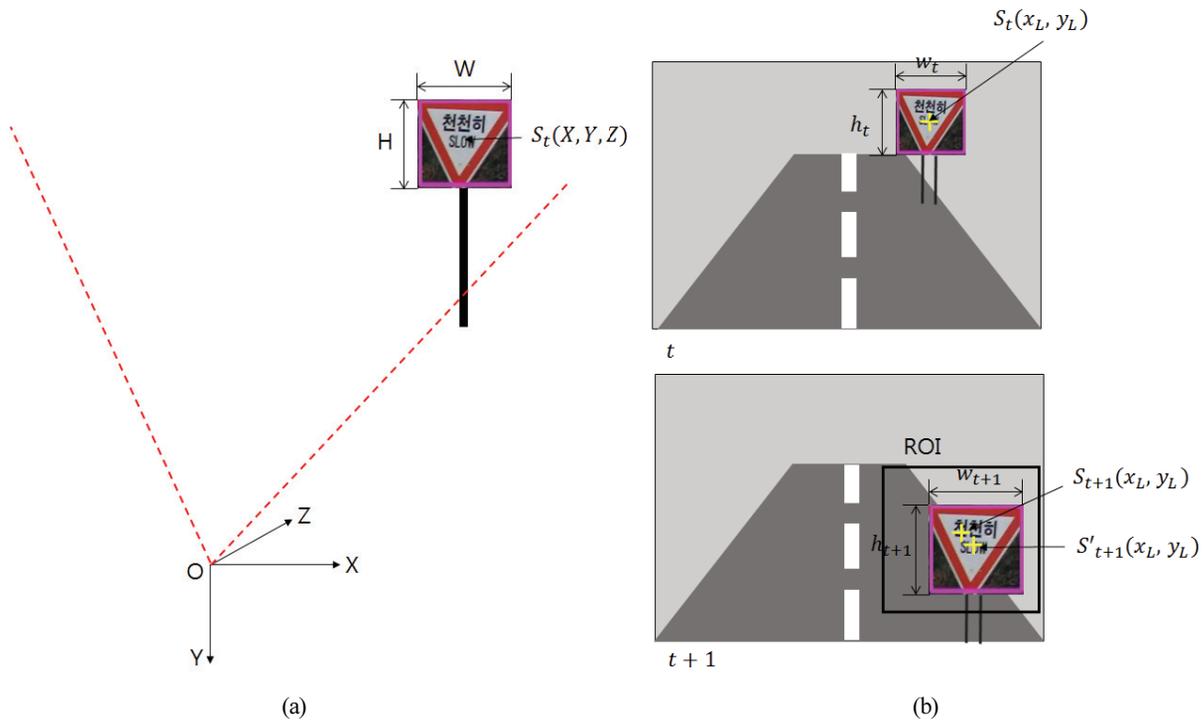


그림 7. 연속된 프레임에서 도로 표지판의 3차원 및 2차원 위치 추적 관계 (a) 카메라좌표계에 대한 표지판의 3차원 중심점 (b) 영상으로 투영된 표지판의 2차원 중심점.

Fig. 7. Relationship between 3-D and 2-D position of a sign in two consecutive frames. (a) The 3D center of a road sign with respect to the camera coordinate system (b) The projected 2D center.

연은 $t+1$ 프레임에서 3차원 좌표를 카메라 정보 PPM과의 연산으로 $t+1$ 에서 2차원 픽셀 좌표를 계산한다.

6. 추적 알고리즘 보정

차량의 모션 정보를 사용하여 계산한 도로 표지판 위치는 자세 측정 오차 때문에 정확하지 않다. 그러므로 $t+1$ 프레임에서 예측된 픽셀 좌표계의 표지판 위치 정보를 기반으로 본 논문에서는 템플릿 정합을 사용하여 정확한 픽셀 좌표계의 표지판 위치를 계산한다. $t+1$ 프레임에서의 관심 영역(ROI)를 설정한 이후에 정규화 상관 계수 맵을 사용하여 템플릿 정합을 수행한다. 올바른 템플릿 정합을 수행하기 위하여, 도로 표지판의 영상에서 정확한 크기가 필요하

다. 만약 도로 표지판의 정확한 크기를 모른다면, 템플릿 정합은 잘못된 결과를 제공한다. 정확한 영상 크기를 알기 위하여 t 와 $t+1$ 프레임 사이의 기하학적 관계를 사용하여 도로 표지판 크기를 계산한다.

그림 7은 도로 표지판의 크기를 계산하는 방법을 나타낸다. 그림 7(a)는 3차원 좌표계에서 표지판에 대한 간략도를 나타낸다. W 와 H 는 실제 표지판의 가로와 세로 크기이며 $S_t(X, Y, Z)$ 는 표지판의 3차원 중심 좌표이다. (b)의 $w_t, h_t, w_{t+1}, h_{t+1}$ 은 t 와 $t+1$ 프레임 영상에서의 표지판 크기이며 $S_{t+1}(x_L, y_L)$ 은 모션정보로 계산된 좌표, $S'_{t+1}(x_L, y_L)$ 은

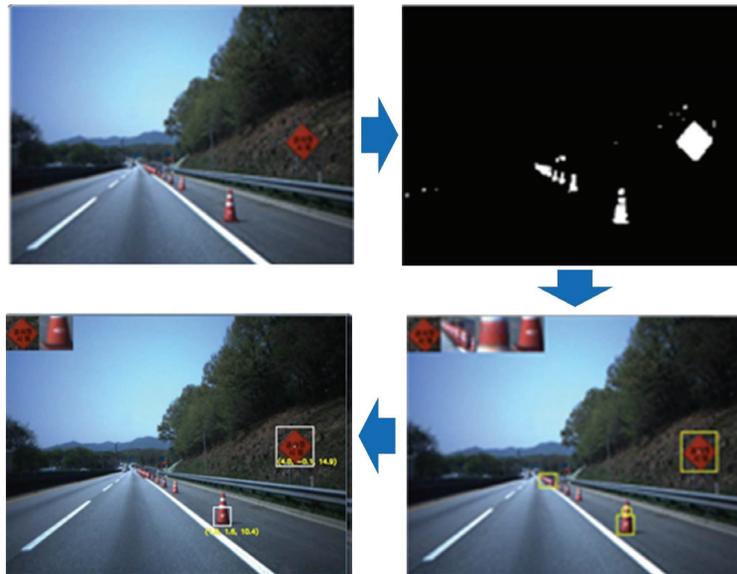


그림 8. 알고리즘 단계별 결과.

Fig. 8. Result of the each step of the tracking algorithm.

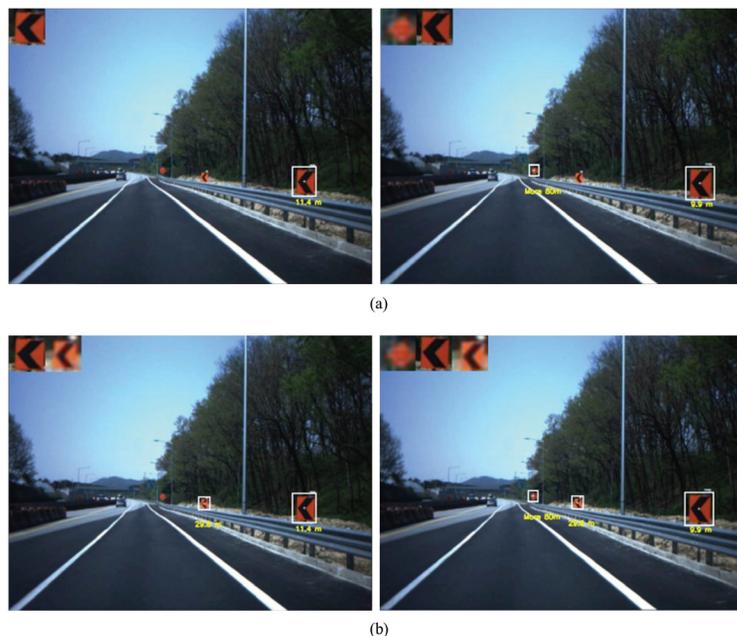


그림 9. 표지판 검출 비교 (a) 추적 알고리즘 미적용 (b) 추적 알고리즘 적용.

Fig. 9. Result of sign detection (a) Without tracking algorithm (b) With tracking algorithm.

ROI 영역에서 템플릿 정합으로 추적된 좌표이다. 첫 단계로 도로 표지판의 실제 크기를 계산해야 한다. 표지판의 실제 크기는 식 (6)과 (7)을 사용하여 계산한다. 식 (6)에서 D는 카메라와 검출된 표지판 사이의 깊이 정보이다. W는 실제 세계 좌표계의 표지판 폭이고, w는 픽셀 좌표계의 표지판 폭이다. 또한 식 (7)에서 H는 실제 세계 좌표계의 표지판 높이이고, h는 픽셀 좌표계의 표지판 높이이다. t 프레임에서 실제 표지판 크기를 계산하면, t+1프레임의 영상에서 표지판 크기를 계산할 수 있다. 크기 계산은 폭과 높이 모두 적용한다. 끝으로 계산된 표지판의 크기로 t+1프레임에서 템플릿 정합을 수행한다.

$$W = \frac{D \times w}{f} \tag{6}$$

$$H = \frac{D \times h}{f} \tag{7}$$

실제 추적 과정은 C++ 프로그래밍 언어의 구조체에 의해 관리한다. 하나의 구조체는 하나의 도로 표지판을 의미한다. 본 논문은 추적 알고리즘이 수행하는 동안 구조체를 관리한다. 추적 알고리즘이 하나의 도로 표지판을 찾았을 때 프레임 번호, 표지판의 영상 크기, 픽셀 좌표, 관심 영역(ROI), 표지판의 유형을 구조체에 저장한다. 그리고 다음 프레임에 추적한 표지판 정보를 업데이트 한다. 구조체의 표지판 정보는 표지판이 영상에서 사라지기 전까지 유지한다.

III. 실험 및 분석

실험 영상을 획득하기 위해 본 논문에서는 차량에 범블비 XB3 스테레오 카메라와 Grasshopper2 스테레오 카메라 및 12mm 렌즈를 장착하여 각각 800×600, 30 프레임의 영상, 1280×960, 7.5프레임 영상으로 실험을 하였다. 그림 8은 하나의 장면에서 알고리즘 흐름을 보여준다. 그림 9에서는 추적 알고리즘을 적용한 것과 적용하지 않은 것에 대한 비교 결과를 보여준다. 그림 9의 왼쪽 사진은 t 프레임이고, 오른쪽 사진은 t+1 프레임이다. 추적 알고리즘을 적용하였을 때 연속적인 프레임에서 표지판을 보다 잘 검출할 수 있다. 그림 10은 각 결과로 사용된 테스트 영상이다. 그림 11에서는 각각의 알고리즘을 수행 시에 영상 프레임이 흘러가면서 표지판을 검출한 횟수를 누적한 그래프이다. 각각의 방법은 색상 이진화 및 SVM 으로 추적 기능이 제외된 단지 검출 알고리즘만 수행 시, 2-D 템플릿 정합으로 추적 시, 제안된 방법으로 수행한 경우이다. 사용된 테스트 영상은 약 500프레임의 자동차 전용도로 테스트 영상을 사용하였다. 검출 알고리즘만 수행한 경우 약 67% 검출율을 나타낸다. 2-D 템플릿 정합 추적 알고리즘의 경우 약 79%의 검출율을 나타내는데, 이는 제안된 방법의 약 90%의 누적 손실율과 비교되는 수치이다. 이는 2-D 템플릿 정합의 경우 객체를 일정 영역에서 일정 값을 만족하는 경우를 찾지 못하면 목표 객체와 다른 것을 추적하게 됨으로 차량 모션 정보를 이용한 추적이 보다 추적에 용이하다. 또한 목표 객체의 가로, 세로 크기가 차량이 움직이므로 변화하게 되지만 알 수 없으므로 상대적으로 제안된 알고리즘과 비교하

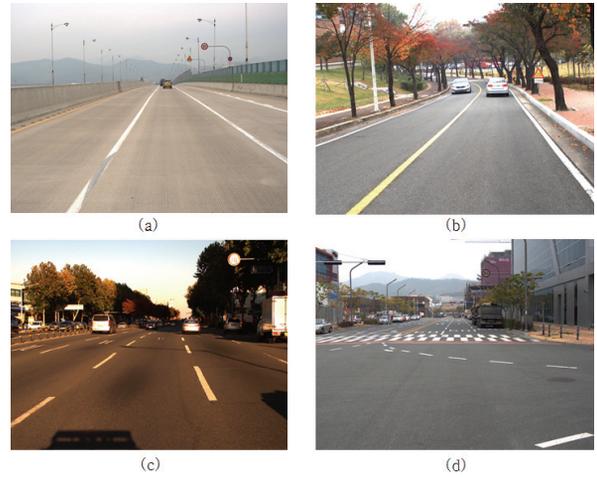


그림 10. 다양한 환경의 테스트 영상 (a) 자동차 전용도로 (b) 대학내도로 (c) 국도(석양) (d) 시내도로.

Fig. 10. Test video in various condition (a) Expressway (b) Local road (c) Sunset (d) Downtown.

표 2. 색상 이진화 & SVM 수행 실험 결과.

Table 2. Experimental result using color segment & SVM.

	Express way	local road	Sunset	Downtown
Total signs	231	185	180	64
Detected signs	156	125	101	35
Detection rate	67.5%	67.6%	56.1%	54.7%

표 3. 2-D 템플릿 정합 수행 실험 결과.

Table 3. Experimental result using a template-based tracking.

	Express way	local road	Sunset	Downtown
Total signs	231	185	180	64
Detected signs	185	149	122	43
Detection rate	79.2%	80.5%	67.8%	67.1%

표 4. 제안된 방법 실험 결과.

Table 4. Experimental result using the proposed method.

	Express way	local road	Sunset	Downtown
Total signs	231	185	180	64
Detected signs	209	179	132	49
Detection rate	90.5%	96.8%	73.3%	76.6%

였을 때 높은 누적 손실률을 나타낸다.

표 2, 3, 4의 경우는 그림 11과 같은 3가지의 알고리즘으로 각각 데이터 셋의 전체 표지판들을 성공적으로 검출한 검출율을 수치로 표현한다. 각각의 데이터 셋은 주간의 다른 종류의 표지판과 다른 도로 주행영상이다. 그림 12는 각각의 추적 알고리즘을 수행한 경우 실제 표지판 중심 좌표에 대한 참값(Ground Truth)과 추적된 좌표 사이의 거리를 나타내는 그래프이다. 영상의 참값은 모든 프레임을 수동으로 표지판 수를 카운팅하여 만들었다. 각각의 방법은 제안

표 5. 제안한 표지판 검출 알고리즘의 성능 분석.

Table 5. Performance analysis the proposed road sign detection algorithm.

Evaluation Criteria	Road type	Image Resolution	Detection Speed	Detection Rate		
				Precision	Recall	F1 Measure
Road signs	Express way	1280×960	7.1fps	92.12%	90.52%	91.31%
	Downtown		7.2fps	89.83%	76.83%	82.82%
	Sunset	960	6.3fps	95.45%	73.51%	83.05%
	Local road	7.3fps	92.62%	97.18%	94.84%	

된 방법의 추적 알고리즘과 2-D 템플릿 정합으로 추적한 경우, 차량 모션 정보로만 추적하였을 경우에 대해 수행한다. 제안된 방법으로 수행한 경우 평균 3.126픽셀 오차, 2-D 템플릿 정합의 경우 평균 6.073픽셀 오차, 차량 모션 정보로만 추적하였을 때 평균 4.410픽셀 오차로 제안된 알고리즘을 수행 시 가장 오차가 적다.

표 5는 주행 중 획득된 일반도로 영상 5000프레임의 데이터에 대해 제안된 표지판 검출 및 추적 알고리즘을 수행 시 수행 속도와 인식률을 나타낸다. 목표 객체 인식범위는 차량으로부터 3~45m이며 차량의 주행속도는 40~80km이다. 편도 2~5차로의 자동차 전용도로, 시내도로, 국도(석양), 대학교 교내도로 주행 영상을 이용하여 실험한 결과 오인식 8%, 불검출 19%로 검출률 87%를 확인할 수 있다. 늦은 오후의 석양이 드린 영상을 제외하고 다른 오전 및 낮 시간

의 영상에 대해 평균 처리 속도를 측정 시 7.2fps의 결과를 획득하였다. 식 (8)-(10)은 표 5의 Precision과 Recall, F1 measure 계산방법을 설명한다. tp는 실제 표지판이 있는데 올바르게 검출한 값이고, fp는 실제 표지판이 아니지만 표지판이라고 검출한 값이며, fn은 실제 표지판이지만 검출하지 못한 값이다. Precision은 검출한 모든 표지판 결과 중에 실제 표지판이 나온 비율이고 Recall은 실제 모든 표지판 중에 검출한 표지판 결과의 비율이다.

$$Precision = \frac{tp}{tp + fp} \tag{8}$$

$$Recall = \frac{tp}{tp + fn} \tag{9}$$

$$F1\ measure = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \tag{10}$$

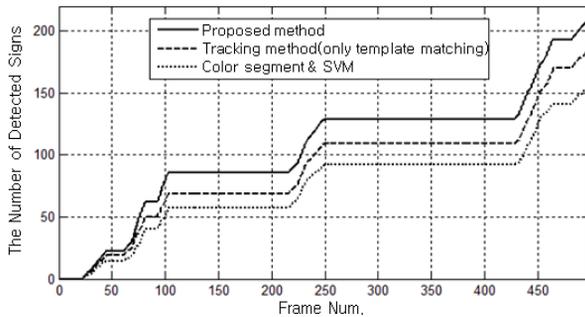


그림 11. 다양한 방법에 대한 표지판 검출수 그래프.

Fig. 11. Graph of the number of detected road signs from different methods.

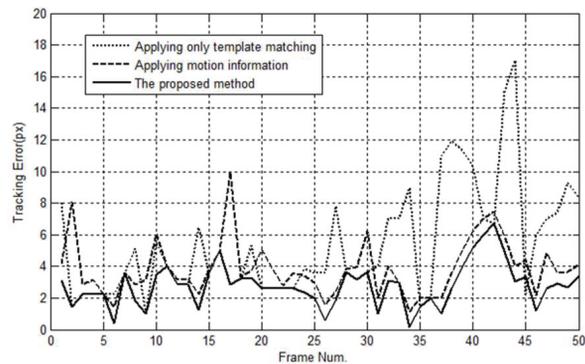


그림 12. 참값(Ground Truth)과 다른 방법의 결과 사이의 표지판 중심 좌표 오차.

Fig. 12. Error of the sign center position between the ground truth and three different methods.

IV. 결론

실험 결과에서처럼 차량 모션 정보를 이용한 제안된 방법은 표지판 검출 및 인식과 수행 속도 측면에서 이점이 있다. 영상에서 한번 검출된 표지판은 스테레오 정합으로 3차원 좌표가 계산되고 스테레오 비전 방법에 의해 연속적으로 다음 프레임의 좌표 추적이 가능하기 때문이다. 또한 실제 표지판의 크기를 계산하여 추적한 표지판 좌표를 보정함으로써 보다 정교한 추적을 할 수 있다. 그러나 새로운 추적 방법을 적용하였지만 검출과 인식 단계에서의 문제점이 있다. 검출을 위한 색상 분류에서 다양한 변화로 인해 여분의 에러가 있고 단순히 표지판과 기타 장애물로만 분류를 하기 때문에 세부적으로 표지판을 인식하는 기능의 구현이 필요하다. 또한 학습 데이터와 비교할 때 검출된 표지판의 방향이 틀어진 경우 인식의 어려움이 있는데 이는 표지판이 평면이라는 특성을 이용해 호모그래피 변환을 계산하여 적용하는 부분이 개선되어야 한다.

REFERENCES

[1] A. Ruta, Y. Li, and X. Liu, "Detection, tracking and recognition of traffic signs from video input," 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp. 55-60, Oct. 2008.

[2] A. de la Escalera, J. M. Armingol, J. M. Pastor, and F. J. Rodriguez, "Visual sign information extraction and identification by deformable models for intelligent vehicles," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 5, no. 2, pp. 57-68, Jun. 2004.

- [3] A. de la Escalera, L. E. Moreno, M. A. Salichs, and J. M. Armingol, "Road traffic sign detection and classification," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 44, no. 6, pp. 848-859, Dec. 1997.
- [4] C.-Y. Fang, S.-W. Chen, and C.-S. Fuh, "Road-sign detection and track-ing," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 52, no. 5, pp. 1329-1341, Sep. 2003.
- [5] Y. A. Ruta, Y. Li, M. Uxbridge, F. Porikli, S. Watanabe, H. Kage, K. Sumi, and J. Amagasaki, "A new approach for in-vehicle camera traffic sign detection and recognition," *Proc. of IAPR Conference on Machine Vision Applications*, Japan, 2009.
- [6] R. Timofte, V. Prisacariu, L. Van Gool, and I. Reid, "Combining traffic sign detection with 3D tracking towards better driver assistance," *Emerging Topics in Computer Vision and its Applications*, 2011.
- [7] J. Marinas, L. Salgado, and J. Arrospe, "Traffic sign detection and tracking using robust 3D analysis," *IEEE Third International Conference on Emerging Security Technologies (EST)*, 2012.
- [8] J. Marinas, L. Salgado, J. Arróspide, and M. Camplani, "Efficient hybrid monocular-stereo approach to on-board, video-based traffic sign detection and tracking," *Proc. SPIE Intelligent Robots and Computer Vision XXIX: Algorithms and Techniques 8301*, 2012.
- [9] T. Uchida and H. Hanaizumi, "An automated method for understanding road traffic signs in a video scene captured by a mobile camera," *IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, pp. 108-111, Mar. 2012.
- [10] Mobileye Forward Collision Warning (FCW) <http://www.mobileye.com/technology/applications/vehicle-detection/forward-collision-warning/>
- [11] S. K. Kim, K. Y. Lim, Y. W. Choi, and H. R. Byun, "Real-time traffic sign detection using color and shape feature," *Proc. Korean Institute of Information Scientists and Engineers (in Korean)*, vol. 39, no. 1(B), pp. 504-506, 2012.
- [12] 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 Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 8, no. 2, pp. 264-278, Jun. 2007.
- [13] Z. Y. Zhang, "Camera calibration with one-dimensional objects," *Proc. of the ECCV'02*, Copenhagen, Denmark, pp. 161-174, 2002.
- [14] Dröppelmann, Sebastian, "Stereo Vision using the OpenCV library," <https://code.google.com/p/tjpsstereovision/>
- [15] S. I. Choi and L. Z. S. Y. Park, "Stereo vision based motion adjustment of 2D laser scan matching," *Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ 2011)*, Nov. 2011.



최창원

2012년 2월 경북대학교 컴퓨터학부 졸업. 2012년 3월~현재 경북대학교 대학원 컴퓨터학부 석사과정. 관심분야는 자동차비전, 로봇비전, 표지판인식, 영상처리.



최성인

2007년 2월 금오공과대학교 컴퓨터공학부 졸업. 2009년 8월 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 졸업(공학석사). 2009년 9월~현재 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부 박사과정. 관심분야는 3차원 정합 및 복원, 로봇비전, 영상처리.



박순용

1991년 경북대학교 전자공학과 졸업. 1993년 동 대학 석사졸업. 2003년 미국 뉴욕주립대학교 스토니브룩 박사졸업. 1993년~1999년 한국원자력연구소 로봇기반연구실 선임연구원. 2004년~2005년 한국전자통신연구원 디지털콘텐츠연구단 선임연구원. 2005년~현재 경북대학교 컴퓨터학부 부교수. 관심분야는 3차원복원, 3차원정합, 로봇비전, 3DTV.