

도로의 높낮이 변화와 초목이 존재하는 환경에서의 비전 센서 기반 주행 가능 영역 검출 기술

이상재 · 현종길 · 권연수 · 심재훈 · 문병인⁺

Vision-sensor-based Drivable Area Detection Technique for Environments with Changes in Road Elevation and Vegetation

Sangjae Lee, Jongkil Hyun, Yeon Soo Kwon, Jae Hoon Shim, and Byungin Moon⁺

Abstract

Drivable area detection is a major task in advanced driver assistance systems. For drivable area detection, several studies have proposed vision-sensor-based approaches. However, conventional drivable area detection methods that use vision sensors are not suitable for environments with changes in road elevation. In addition, if the boundary between the road and vegetation is not clear, judging a vegetation area as a drivable area becomes a problem. Therefore, this study proposes an accurate method of detecting drivable areas in environments in which road elevations change and vegetation exists. Experimental results show that when compared to the conventional method, the proposed method improves the average accuracy and recall of drivable area detection on the KITTI vision benchmark suite by 3.42%p and 8.37%p, respectively. In addition, when the proposed vegetation area removal method is applied, the average accuracy and recall are further improved by 6.43%p and 9.68%p, respectively.

Keywords: Vision sensor, Stereo vision, Advanced driver assistance system, Drivable area detection

1. 서 론

최근 출시되고 있는 차량들의 상당수는 센서를 활용한 ADAS(advanced driver assistance systems)를 탑재하고 있으며, 이에 관한 다양한 연구들이 활발히 진행되고 있다[1-3]. ADAS 관련 연구 중 특히 차량 전방의 3차원 거리 정보를 획득하는 센서에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 대표적인 3차원 거리 정보 센서에는 레이더(radar), 라이다(lidar), 스테레오 비전(stereo vision)이 있다. 레이더와 라이다를 사용하는 시스템은 높은 정확도의 거리 정보를 얻을 수 있으나, 고비용이며 고해상도의 3차원 거리 정보를 얻기 어렵다는 문제점이 있다. 이에 반해 스테레오 비전을 사용하는 시스템은 저비용으로 고해상도의 3차원 거리 정보를 획득할 수 있다는 장점과 더불어 비전 센서

의 화상 정보로부터 색상과 질감 등의 정보를 얻을 수 있다는 장점도 있어, 차량 전방의 3차원 거리 정보 및 주변 상황 인지를 위한 시스템에 많이 활용되고 있다.

ADAS의 상황인지에서 주행 가능 영역(drivable area)을 검출하는 것은 차량의 주행을 보조할 뿐 아니라 차선, 도로, 물체 검출의 단서 및 연산량을 줄이는 관심 영역을 제공할 수 있기 때문에 필수적이다[4-9]. 이러한 스테레오 비전의 여러 장점에 주행 가능 영역을 검출하는 방법에서 스테레오 비전을 이용하는 방법이 다수 연구되고 있고, 이의 대다수는 v -시차(v -disparity)를 기반으로 한다. V -시차 기반의 주행 가능 영역 검출 방법은 수학적 모델을 기반으로 v -시차 영상에서 전방 도로 영역에 해당하는 대각선을 구하고, 이를 기반으로 도로 영역을 검출한다[6-8]. 그러나 허프 변환(Hough transform)과 같은 수학적 모델에 기반한 v -시차 방법[10]은 고속도로와 같이 평지인 도로에 적합하며, 높낮이 변화가 많은 실제 도로에서는 정확도가 낮다는 문제가 있다. 또한 시골길과 같이 초목(vegetation)과 도로의 경계가 모호한 환경에서는 초목 역시 도로와 비슷한 평지이기 때문에 초목을 주행 가능 영역으로 잘못 검출하는 문제가 있다.

본 논문에서는 도로의 높낮이 변화가 존재하는 실제 도로에서 주행 가능 영역을 검출하기 위해, v -시차 영상에서 나타나는 실제 도로의 특성을 이용하여 도로의 높낮이 변화에 강건하게

경북대학교 전자공학부(School of Electronics Engineering, Kyungpook National University)
80 Daehakro, Bukgu, Daegu 41566, Korea
⁺Corresponding author: bihmoon@knu.ac.kr
(Received : Mar. 11, 2019, Accepted : Mar. 17, 2019)

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.

대응할 수 있으면서 수학적 모델을 사용하지 않는 주행 가능 영역 검출 방법을 제안한다. 또한 비전 센서의 색상 정보를 기반으로 초목 영역을 주행 가능 영역에서 구별하여 제거하는 간단한 방법을 제안한다. 본 논문은 학술대회 논문[11]에서 간략하게 제시된 연구 내용을 확장하였으며, 주행 가능 영역 검출에서 물체 제거 과정과 v-시차 영상 생성 및 잡음 제거에 대한 과정을 수식으로 제시함으로써 그 내용을 구체화하였다. 또한 제안하는 주행 가능 영역 검출 방법의 성능 평가를 위해 기존의 방법과 결과를 비교하였고, 초목 영역 제거에 대한 실험을 수행하여 결과를 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 주행 가능 영역 검출 방법을 설명하고, 3장에서는 제안하는 방법과 기존 방법의 성능 평가를 수행하여 결과 비교 및 분석을 진행한다. 마지막으로 4장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 제안하는 방법

제안하는 방법은 연산이 간단하면서, 도로가 평평하지 않거나 도로와 초목의 경계가 모호한 환경에서도 높은 정확도로 주행 가능 영역을 검출할 수 있다. 제안하는 방법은 Fig. 1과 같고, 크게 자유 공간 검출(free space detection)과 초목 검출(vegetation detection)로 이루어진다.

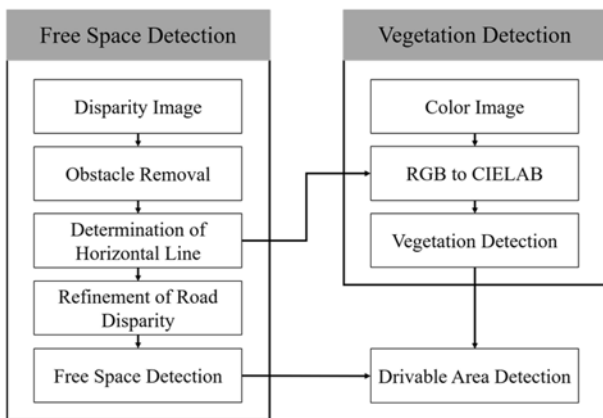


Fig. 1. Flowchart of the proposed method.

2.1 자유 공간 검출

제안하는 방법에서 자유 공간 검출은 스테레오 비전으로 얻어지는 3차원 거리 정보인 시차 영상에서 수행된다. 제안되는 자유 공간 검출은 시차 영상에서 나타나는 도로 및 물체의 특성을 이용하기 때문에 삼각함수, 곱셈, 나눗셈이 필요한 허프 변환 기반의 방법과 달리 픽셀 단위의 비교, 시프트(shift) 및 덧셈 연산만으로 수행되므로 간단하다.

자유 공간 검출의 첫 번째 단계는 소벨 수직 마스크(Sobel vertical mask)[12]를 이용한 물체 제거이다. 시차 영상에서 하나의 물체는 Fig. 2(a)와 같이 동일한 시차 값을 가지므로 소벨 수직 마스크를 이용해 컨볼루션(convolution) 연산을 할 경우, 물체 영역에서의 결과는 거의 0에 가깝다. 이는 물체 영역에서 수직 방향으로 시차 값의 차이가 존재하지 않기 때문이다. 이와 달리 도로 영역은 차량 전방에서부터 거리가 점진적으로 멀어지기 때문에 Fig. 2(b)와 같이 수직 방향으로 시차 값의 차이가 존재하고, 소벨 수직 마스크의 컨볼루션 연산 결과는 0보다 크다. 이러한 도로의 특성으로, 소벨 수직 마스크 연산의 결과가 0에 가까우면 해당 영역을 물체로 간주하여 시차 값을 제거함으로써 물체를 제거할 수 있다. 물체 제거 결과를 보여주는 Fig. 3에서 차량 및 가로수 영역에 해당하는 시차가 제거된 것을 확인할 수 있다. 소벨 수직 마스크로 물체를 제거하는 과정은 식 (1) 및 (2)를 사용하여 다음과 같이 이루어진다.

$$G(x, y) = -I(x-1, y-1) - 2I(x, y-1) - I(x+1, y-1) + I(x+1, y+1) + 2I(x, y+1) + I(x-1, y+1) \quad (1)$$

$$I_r(x, y) = \begin{cases} I(x, y), & \text{if } G(x, y) > 0, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2)$$

식 (1)에서 $I(x, y)$ 는 시차 영상 (x, y) 좌표에서의 시차 값이고, $G(x, y)$ 는 (x, y) 좌표에서 소벨 수직 마스크의 컨볼루션 연산 결과이다. 식 (2)에서, 식 (1)의 결과인 $G(x, y)$ 가 0보다 큰 경우에는 원본 시차 영상을 유지하고, 0보다 작거나 같은 경우에는 해당 위치의 시차를 제거하여 물체가 제거된 시차 영상 I_r 을 생성한다.

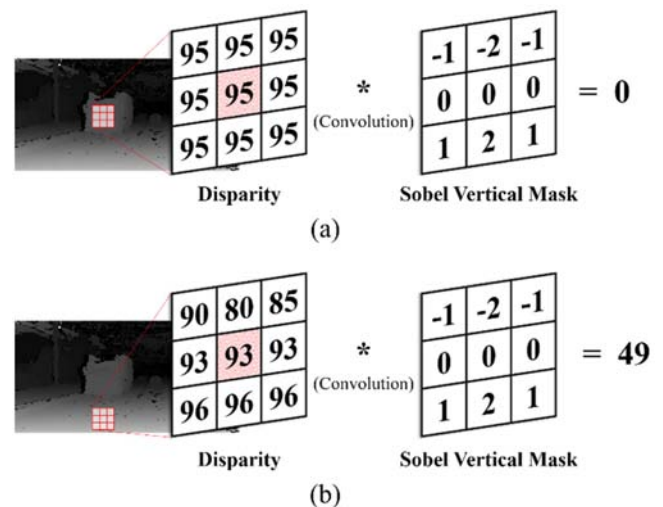


Fig. 2. Operation of the Sobel vertical mask in a disparity image; (a) Obstacle area, (b) Road area.

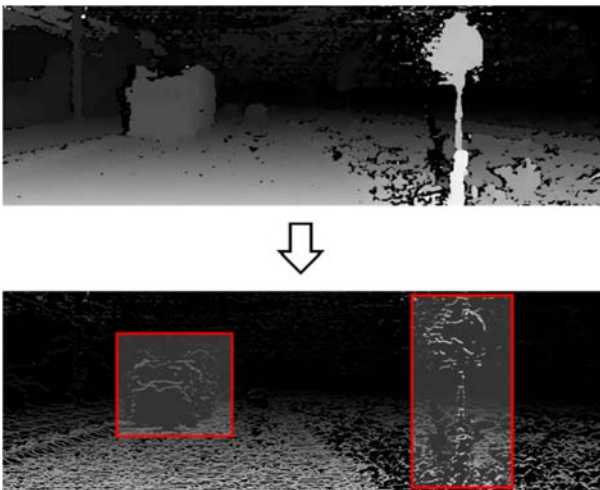


Fig. 3. Removing obstacles in a disparity image.

자유 공간 검출에서 물체 제거 다음 단계는 v-시차 영상에서의 수평선 검출이다. 이를 위하여 식 (2)의 결과로부터 다음과 같이 v-시차를 구한다.

$$V(d, y) = \sum_{x=0}^{w-1} \delta(I_r(x, y), d). \tag{3}$$

여기서 d 는 시차, w 는 영상의 너비를 나타내고, $\delta(a, b)$ 는 Kronecker delta 함수로 a 와 b 가 같은 경우에만 1이고 그 외에는 0인 함수이다. 식 (3)으로 계산된 v-시차 $V(d, y)$ 값들은 Fig. 4(a)의 v-시차 영상으로 표현되는데, $V(d, y)$ 값이 클수록 밝게 나타나고 작을수록 어둡게 나타난다.

Fig. 4(a)의 v-시차 영상에서 사각형으로 표시된 부분은 주로 물체의 가장자리에 의한 것으로, 물체 제거 단계에서 제거되지 않은 잡음 때문이다. 이러한 잡음은 수평선 검출과 도로 영역에

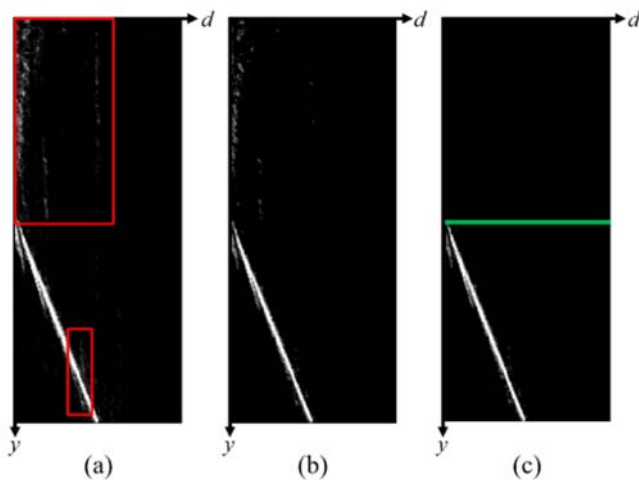


Fig. 4. Horizontal line determination process; (a) Initial v-disparity image, (b) V-disparity image after removing noises, (c) Horizontal line in the v-disparity image.

해당하는 시차 값 검출을 위해서 제거되어야 하며, 잡음 제거는 다음과 같이 수행된다.

$$D_v(d, y) = \begin{cases} V(d, y), & \text{if } V(d, y) > \tau, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \tag{4}$$

여기서 τ 는 잡음을 제거하기 위한 임계값이고, $D_v(d, y)$ 는 잡음을 제거한 v-시차이다. 식 (4)로 잡음을 제거한 v-시차 영상은 Fig. 4(b)와 같다.

앞선 과정으로 v-시차 영상에서 물체와 잡음을 제거했기 때문에, 식 (4)에 의한 v-시차 영상에서 연속된 선으로 나타나는 것은 아직은 부정확하지만 비전 센서 전방에서부터 점진적으로 멀어지는 도로 영역에 해당하는 시차일 가능성이 높다. 비전 센서 영상에서 도로와 연석의 경계 및 도로 위의 차선은 원근법에 의해 소실점으로 모이기 때문에 도로 영역은 소실점을 포함하는 어떠한 수평선 아래부터 존재한다. 따라서 식 (4)에 의한 v-시차 영상에서 도로 영역에 해당하는 시차일 가능성이 높은 연속된 선을 찾으면 도로 영역을 한정할 수 있는 수평선을 결정할 수 있다. 구체적으로, CCL(connected component labeling)[13]을 수행하여 연속된 군집을 찾고, 가장 긴 군집에서 y 축 좌표 값이 가장 작은 점을 찾아 이 점을 포함하는 행을 수평선으로 결정한다. 이후의 단계부터는 수평선 아래 영역에 대해서만 처리한다. Fig. 4(c)는 v-시차 영상에 수평선을 나타낸 것이다.

자유 공간 검출에서 수평선 결정 다음 단계는 도로 영역에 해당하는 대표 시차 값을 찾는 것이다. 도로 환경에서 비전 센서로 화상 정보를 얻는 경우에, 도로는 너비가 상당히 크게 나타나기 때문에 도로 영역에 해당하는 v-시차는 큰 값을 가진다. 특히, 앞선 과정들로 물체와 잡음을 제거하였기 때문에 도로와 다른 영역 사이의 v-시차 값 차이가 더욱 커지고, 따라서 v-시차 영상의 각 행에서 가장 큰 값을 가지는 시차를 도로 영역의 시차 대표점이라고 판단할 수 있다. 그러나 Fig. 5와 같이 수평선에 가까워질수록 이상점(outlier)이 발생하는데, 이러한 이상점은 도로가 아닌 다른 영역에 해당하는 시차를 나타낸다. 이러한 이상점 발생은 원근법에 의해 거리가 멀어질수록 도로의 너비가 작아져 도로 영역에 해당하는 v-시차 값이 다른 영역에 해당하는 v-시차 값보다 작아질 수 있기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 각 행에서의 도로 영역 시차 대표점과 바로 위에 이웃하는 행의 대표점을 비교하여 특정 시차 값 이상 차이

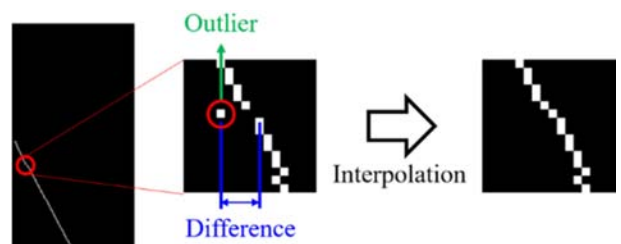


Fig. 5. Refinement of disparities corresponding to road area.

가 나는 경우에는 해당 대표점을 이상점으로 판별하고, 이상점 상하의 이웃 대표점들로 선형 보간하여 이상점을 제거하고 시차 대표점을 개선한다. 이러한 방법으로 Fig. 5와 같이 이상점이 제거된 연속적인 대표점들을 얻을 수 있다.

자유 공간 검출의 마지막 단계는 v-시차 영상에서의 대표점 시차 값을 원본 시차 영상으로 맵핑(mapping)하여 자유 공간을 검출하는 과정이다. 이 과정은 수평선 아래부터 각 행 별로 시차 영상의 시차 값과 v-시차 영상의 대표점 시차 값을 비교함으로써 수행된다. 도로 위에 물체가 존재하는 경우에 물체 영역의 시차는 도로 영역보다 큰 값이므로, 시차 영상의 각 행에서 대표점보다 작거나 같은 시차 값을 가지는 영역을 자유 공간으로 판단하며, 이 결과는 Fig. 6과 같다.

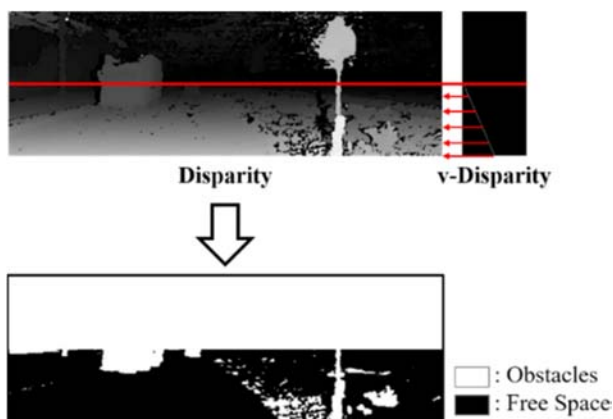


Fig. 6. Free space detection.

2.2 초목 검출

2.1절의 자유 공간 검출은 v-시차에서 도로 영역을 검출하기 때문에 시골길과 같이 초목과 도로의 경계가 모호한 환경에서 초목 역시 도로로 판단하는 문제가 있다. 따라서 시골길에서도 주행 가능 영역을 검출하기 위해서는 도로와 초목을 구분할 필요가 있고, 본 논문에서는 비전 센서의 색상 정보를 이용하여 초목을 검출하는 간단한 방법을 제안한다.

초목 검출은 비전 센서로부터 얻은 컬러 영상에서 수행되고, 자유 공간 검출에서 찾은 수평선 아래를 관심 영역으로 한다. 먼저 초목 검출을 위해 수평선 아래 관심 영역에 대해서 RGB 컬러를 CIELAB 컬러 공간으로 변환한다. CIELAB 컬러 공간은 인간의 시각에 대한 연구를 바탕으로 정의되었으며 L채널은 밝기 정도, a채널은 빨강과 초록 중 어디에 가까운지, b채널은 노랑과 파랑 중 어디에 가까운지를 나타낸다[14].

CIELAB 컬러 공간의 a채널이 음수일 경우 초록에 가까운 색을 나타내므로 a채널을 이용하여 초목 영역을 간단하게 검출할 수 있다. 또한, a채널을 RGB, HSV, YCbCr의 각 채널과 비교했을 때, a채널이 초목 영역에 존재하는 그림자의 영향을 가장

적게 받는다는 것과 a채널의 값을 통해 효과적으로 초목을 검출할 수 있다는 것을 실험적으로 확인하였다. Fig. 7(b)는 a채널이 음수인 픽셀은 검은색으로 표시하고 음수가 아닌 픽셀은 흰색으로 표시한 이진 영상(binairized image)이다.

Fig. 7(b)를 보면, 초목 영역에 흰색 잡음이 존재하고, 초목이 아닌 영역에 검은색 잡음이 존재하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 잡음을 제거하기 위해 모폴로지(morphology) 연산[15]을 적용한다. 우선 Fig. 7(b)의 영상에 팽창(dilation) 연산을 적용하여 초목이 아닌 영역에 존재하는 검은색 잡음을 제거한 후, 침식(erosion) 연산을 적용하여 초목 영역에 존재하는 흰색 잡음을 제거함으로써, 잡음이 감소된 최종 초목 영역을 검출한다. Fig. 7(c)에서 수평선 아래의 흰색 영역은 검출된 초목을 나타낸다.

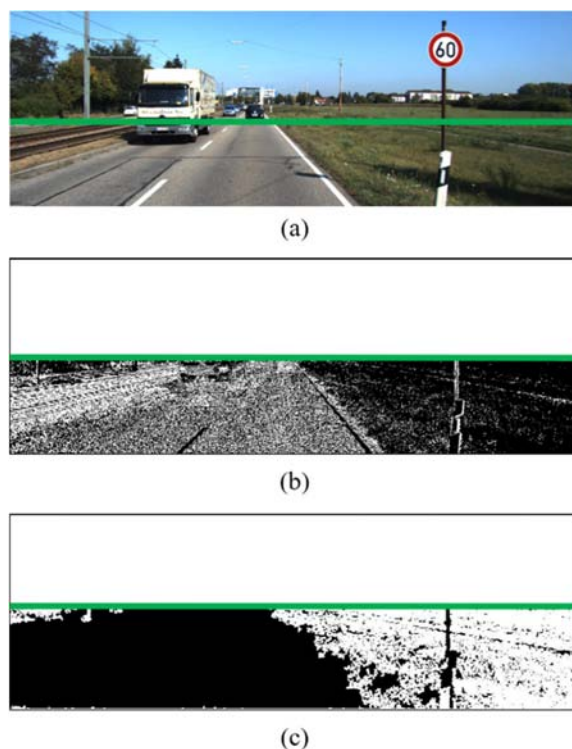


Fig. 7. Process of vegetation detection; (a) Color image, (b) Image binarized by a channel of CIELAB color space, (c) Result of vegetation detection.

2.3 주행 가능 영역 검출

제안하는 주행 가능 영역 검출은 2.1 절의 방법으로 검출된 자유 공간으로부터 2.2절의 방법으로 검출된 초목 영역을 제거함으로써 이루어진다. 자유 공간의 수평선 아래에서 초목 영역 제거(vegetation area removal)를 수행하고, 추가적으로 메디안 필터(median filter)[15]를 적용하여 잡음을 제거함으로써 최종 주행 가능 영역을 검출한다. 최종 주행 가능 영역 검출 결과는 Fig. 8과 같다.



Fig. 8. Result of the proposed drivable area detection method with vegetation area removal.

3. 결과 및 고찰

3.1 데이터 셋 및 실험 환경

제안하는 방법의 성능 평가에서 사용한 영상은 KITTI vision benchmark suite[16]에서 제공하는 289장의 영상이다. 그리고 초목 제거의 성능을 평가하기 위해서 시골길과 같이 도로 옆에 초목이 존재하는 95장의 영상을 전체 289장의 영상 중에서 선별하였다. 자유 공간 검출을 위한 시차 영상은 MATLAB에서 제공되는 라이브러리를 사용하여 KITTI vision benchmark suite 영상에서 추출하였고, 시차 탐색 범위는 128로 설정하였다.

성능을 평가하기 위하여 기존 방법[10]과 제안 방법을 MATLAB으로 모델링하였고, 모델링에서 사용되는 변수들은 실험적으로 결정하였다. 자유 공간 검출에서 물체 제거 이후 잡음 제거를 위한 임계값 τ 는 15, 이상점을 판별하기 위한 시차 차이 값은 2로 설정하였다. 초목 검출에서 팽창과 침식 연산의 마스크 크기는 3×3, 주행 가능 영역 검출에서 잡음 제거를 위한 메디안 필터의 마스크 크기는 3×3을 사용하였다.

3.2 실험 결과

우선, 제안하는 자유 공간 검출 방법과 기존의 방법[10]을 비교하고 분석하였다. 기존의 방법은 허프 변환 기반의 방법으로, 시차 영상에서 v-시차를 생성한 후 캐니 엣지(Canny edge)[17]를 검출하고, 캐니 엣지에서 허프 변환으로 도로 영역에 해당하는 대표 시차를 찾음으로써 주행 가능 영역을 검출한다. Table 1은 KITTI vision benchmark suite의 전체 영상에서 제안하는 자유 공간 검출 방법 및 기존의 방법으로 주행 가능 영역을 검출했을 때의 평균 정확도(accuracy) 및 검출률(recall) 결과를 보여준다. Table 1의 결과에서 알 수 있듯이, 제안하는 자유 공간 검출

Table 1. Comparison of results of drivable area detection.

Method	Accuracy (%)	Recall (%)
Conventional method[10]	82.24	89.82
Proposed free space detection method	85.66	98.19

방법으로 주행 가능 영역을 검출했을 때 정확도 및 검출률이 기존의 방법에 비해 각각 3.42%p 및 8.37%p 향상되었다. 이러한 성능 향상은 제안하는 자유 공간 검출 방법이 높낮이 변화가 많은 실제 도로 환경에 잘 대응하기 때문이다.

Fig. 9(c) 및 Fig. 10(c)의 v-시차 영상에서 도로 영역에 해당하는 시차를 찾는 결과를 보면, 기존의 방법은 일정한 기울기를 갖는 직선으로 시차를 찾는 반면에, 제안하는 자유 공간 검출 방법은 도로의 높낮이 변화를 반영하여 직선이 아닌 형태의 시차를 찾는 것을 볼 수 있다. 이것은 물체 제거 및 잡음 제거를 통해 각 행에 대응하는 최적의 도로 영역 시차를 구할 수 있기 때문이다. 이와 같은 이유로 제안하는 자유 공간 검출 방법은 기존의 방법에 비해 실제 도로 환경에서 더욱 적합하다. 기존의 방법과 제안하는 자유 공간 검출 방법으로 주행 가능 영역을 검출한 결과는 각각 Fig. 9(a) 및 Fig. 10(a)와 Fig. 9(b) 및 Fig. 10(b)에서 확인할 수 있다.

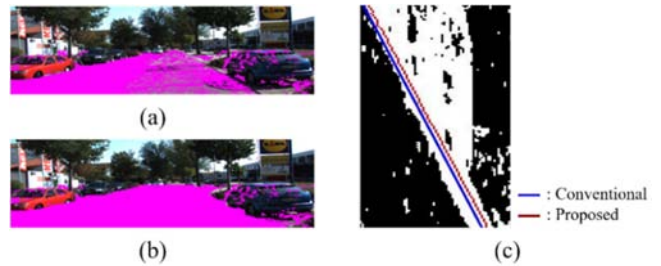


Fig. 9. Results of drivable area detection; (a) Result of [10], (b) Result of the proposed free space detection method, (c) V-disparity image.

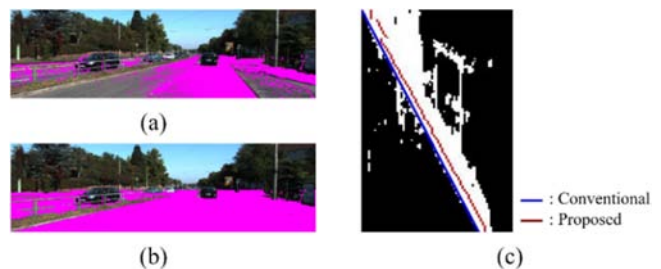


Fig. 10. Results of drivable area detection; (a) Result of [10], (b) Result of the proposed free space detection method, (c) V-disparity image.

Table 2는 제안하는 자유 공간 검출 방법만을 적용한 결과와 추가로 초목 검출을 통해 자유 공간에서 초목 영역을 제거하는 제안 방법의 결과를 비교한 것이다. Table 2의 평균 정확도 및 검출률 결과는 KITTI vision benchmark suite의 전체 영상 중에서 도로 옆에 초목이 존재하는 95장의 영상을 선별하여 측정된 것이다. 자유 공간 검출 방법에 대한 Table 2에서의 평균 정확도 및 검출률은 Table 1에서의 전체 영상에 대한 평균 정확도 및 검출률에 비해 각각 4.19%p 및 9.77%p 하락하였다. 이러한

결과로부터 v-시차만을 사용하여 주행 가능 영역을 검출하는 방법은 시골길과 같이 도로와 초목의 경계가 모호한 환경에서 검출 정확도가 떨어지는 문제점이 있다는 것을 알 수 있다.

Table 2. Comparison of results of the proposed methods with and without vegetation area removal.

Method	Accuracy (%)	Recall (%)
Proposed free space detection method	81.47	88.42
Proposed drivable area detection method with vegetation area removal	87.90	98.10

Table 2에서 볼 수 있듯이, 초목 영역 제거를 적용한 경우에는 자유 공간 검출만을 적용한 경우에 비해 평균 정확도 및 검출률이 각각 6.43%p 및 9.68%p 향상되었다. 이러한 결과는 도로와 초목의 경계가 모호한 환경에서 제안하는 초목 영역 제거 방법이 초목을 효과적으로 제거한다는 것을 보여준다. 이러한 성능 향상은 시골길에서 주행 가능 영역을 검출한 결과인 Fig. 11을 통해 시각적으로 확인할 수 있다.

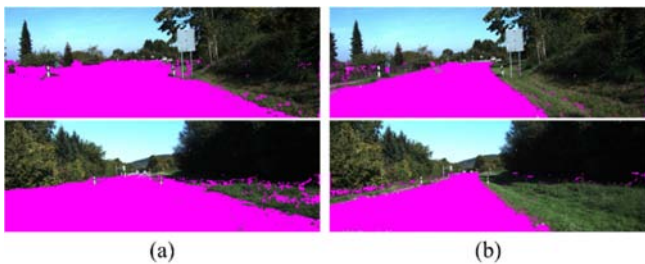


Fig. 11. Results of the proposed methods; (a) Results of free space detection method, (b) Results of drivable area detection method with vegetation area removal.

제안하는 주행 가능 영역 검출 방법은 기존의 허프 변환 기반 방법과 달리 수학적 모델링 없이 픽셀 단위의 연산으로 간단하게 수행 가능하며, 도로의 높낮이 변화와 같은 도로 환경 특성을 고려하기 때문에 보다 정확하게 주행 가능 영역을 검출할 수 있다. 더욱이 초목 영역을 효과적으로 제거할 수 있기 때문에 실제 도로에서 더욱 적합하다. Fig. 12는 KITTI vision benchmark suite의 다양한 영상에서 제안하는 방법으로 최종 주행 가능 영역을 검출한 결과를 나타낸다.

4. 결 론

본 논문에서는 v-시차에서 나타나는 도로 환경의 특성을 이용하여 간단한 픽셀 단위의 연산으로 주행 가능 영역을 검출하는 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 기존의 방법에 비해 연산이 간단하면서 실제 도로 환경에 더욱 적합한 주행 가능 영



Fig. 12. Results of the proposed drivable area detection method.

역을 검출할 수 있고, 비전 센서의 색상 정보를 이용하여 초목을 검출함으로써 도로와 초목의 경계가 모호한 시골길에서도 정확하게 주행 가능 영역을 검출할 수 있다.

실제 도로 주행 영상인 KITTI vision benchmark suite에서 실험한 결과, 제안하는 방법의 자유 공간 검출 방법은 기존의 허프 변환 기반 방법[10]에 비해 정확도 및 검출률이 각각 평균 3.42%p 및 8.37%p 향상되었다. 또한 초목이 있는 환경에서 제안하는 방법으로 초목을 검출하여 제거한 결과, 자유 공간만 검출하여 주행 가능 영역을 검출했을 때에 비해 정확도 및 검출률이 각각 평균 6.43%p 및 9.68%p 향상되었다. 이러한 결과는 실제 도로 환경에서 주행 가능 영역을 검출할 때 제안하는 방법이 효과적이라는 것을 보여준다. 향후 주행 가능 영역을 바탕으로 차선 및 차량을 검출하는 방법에 대해 연구를 진행할 것이며, 추가로 제안하는 주행 가능 영역 검출 방법을 하드웨어로 구현하여 하드웨어 리소스 사용량에 관한 연구를 진행할 계획이다.

감사의 글

이 논문은 2018학년도 경북대학교 연구년 교수 연구비에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

- [1] L. Xu, Y. Wang, H. Sun, J. Xin, and N. Zheng, "Design and implementation of driving control system for autonomous vehicle", *Proc. of IEEE Conf. on Intell. Transp. Syst.*, pp. 22-28, Qingdao, China, 2014.
- [2] K. Huh, J. Park, J. Hwang, and D. Hong, "A stereo vision-based obstacle detection system in vehicles", *Opt. Lasers Eng.*, Vol. 46, No. 2, pp. 168-178, 2008.
- [3] A. B. Hillel, R. Lerner, D. Levi, and G. Raz, "Recent progress in road and lane detection: A survey", *Mach. Vis. Appl.*, Vol. 25, No. 3, pp. 727-745, 2014.
- [4] S. Sivaraman and M. M. Trivedi, "Looking at vehicles on the road: A survey of vision-based vehicle detection, tracking, and behavior analysis", *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, Vol. 14, No. 4, pp. 1773-1795, 2013.
- [5] J. M. Alvarez, T. Gevers, Y. LeCun, and A. M. Lopez, "Road scene segmentation from a single image", *Proc. of Eur. Conf. on Comput. Vis.*, pp. 376-389, Florence, Italy, 2012.
- [6] R. Labaytade, D. Aubert, and J. P. Tarel, "Real time obstacle detection in stereovision on non flat road geometry through "v-disparity" representation", *Proc. of IEEE Intell. Veh. Symp.*, pp. 646-651, Versailles, France, 2002.
- [7] D. Thao and C. Hoffmann, "Fast object hypotheses generation using 3D position and 3D motion", *Proc. of IEEE Comput. Soc. Conf. on Comput. Vis. Pattern Recognit.*, p. 56, San Diego, CA, USA, 2005.
- [8] A. D. Sappa, F. Dornaika, D. Ponsa, D. Geronimo, and A. Lopez, "An efficient approach to onboard stereo vision system pose estimation", *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, Vol. 9, No. 3, pp. 476-490, 2008.
- [9] B. Wang, V. Fremont, and S. Rodriguez, "Color-based road detection and its evaluation on the KITTI road benchmark", *Proc. of IEEE Intell. Veh. Symp.*, pp. 31-36, Dearborn, MI, USA, 2014.
- [10] F. Oniga and S. Nedeveschi, "Processing dense stereo data using elevation maps: Road surface, traffic isle, and obstacle detection", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. 59, No. 3, pp. 1172-1182, 2010.
- [11] S. Lee and B. Moon, "Drivable area detection method capable of distinguishing vegetation area on country road", *Proc. of Int. SoC Des. Conf.*, pp. 80-81, Daegu, Korea, 2018.
- [12] R. O. Duda and P. E. Hart, *Pattern Classification and Scene Analysis*, John Wiley and Sons, New York, pp. 271-272, 1973.
- [13] L. G. Shapiro and G. Stockman, *Computer Vision*, Prentice-Hall, New Jersey, pp. 69-73, 2002.
- [14] https://en.wikipedia.org/wiki/CIELAB_color_space (retrieved on Feb. 21, 2019).
- [15] R. C. Gonzales and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice-Hall, New Jersey, 1992.
- [16] J. Fritsch, T. Kuehnl, and A. Geiger, "A new performance measure and evaluation benchmark for road detection algorithms", *Proc. of Int. Conf. on Intell. Transp. Syst.*, pp. 1693-1700, Hague, Netherlands, 2013.
- [17] J. Canny, "A computational approach to edge detection", *IEEE Trans. Pattern Anal. and Mach. Intell.*, Vol. 8, No. 6, pp. 679-698, 1986.