

논문 2013-50-2-19

새로운 VO, HO 지도를 이용한 차량 주행환경의 수직 장애물 추출

(Novel VO and HO Map for Vertical Obstacle Detection in Driving Environment)

백 승 해*, 박 순 용**

(Seung-Hae Baek and Soon-Yong Park)

요 약

본 논문에서는 스테레오 카메라를 이용하여 차량 주행 중에 만날 수 있는 도로상의 수직형 돌발 장애물과 고정 장애물을 자동으로 추출하는 기술을 제안한다. 연속된 스테레오 영상 프레임들과 각 프레임의 좌, 우 영상 사이의 차영상들을 이용하여 도로 영상의 관심영역에 대한 시차를 획득하고, 기존 수직(V) 및 수평(H) 시차지도(disparity map)와는 달리 물체의 실제 크기에 비례하는 VO(Vertical Object) 및 HO(Horizontal Object)라는 새로운 지도를 생성한다. VO 및 HO 지도를 이용하여 추출할 물체의 후보를 선정하고 선정된 후보영역간의 병합, 정제를 통하여 최종적으로 도로 상의 수직 물체들을 추출하였다.

Abstract

We present a new computer vision technique which can detect unexpected or static vertical objects in road driving environment. We first obtain temporal and spatial difference images in each frame of a stereo video sequence. Using the difference images, we then generate VO and HO maps by improving the conventional V and H disparity maps. From the VO and HO maps, candidate areas of vertical obstacles on the road are detected. Finally, the candidate areas are merged and refined to detect vertical obstacles.

Keywords : stereo camera, disparity map, obstacle detection, VO map, HO map

I. 서 론

자동차의 안전 주행과 관련하여 도로 환경의 유용한 정보를 획득하고 인식하는 다양한 센싱(sensing) 기술

이 개발되고 있다. 특히 최근에는 차량에 카메라 등의 비전(vision) 센서를 장착하고 획득된 영상정보를 처리하여 주행 안전성을 높이고자하는 기술 개발에 관심이 높아지고 있다. 이는 운전자가 자동차 주행에 필요한 대부분의 정보를 눈을 통해서 얻기 때문이다. 자동차 주행 중 안전과 관련 있는 정보는 보행자, 차선, 장애물, 신호등, 표지판 등이 있다. 특히 자동차 주행 중 전방에 존재하는 장애물은 운전자와 동승자의 안전에 직접적인 영향을 끼치기 때문에 장애물을 미리 발견하여 운전자에게 주의를 제공하는 기술은 보다 중요하다. 이런 이유로 기존에도 주행 중 전방 장애물 추출을 위한 많은 연구들이 진행되고 있다.

* 학생회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(School of Electrical and Electronic Engineering,
Kyungpook National University)

** 정회원, 경북대학교 IT대학 컴퓨터학부
(School of Computer Science and Engineering,
Kyungpook National University)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT 융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2013-H0401-13-1006)

접수일자: 2012년9월6일, 수정완료일: 2013년1월18일



그림 1. 도로 주변의 수직 고정 물체의 예
Fig. 1. Examples of vertical objects.

기존의 스테레오 비전을 이용한 자동차 비전 연구들은 주로 전방 차량 및 보행자 정보를 추출 위한 목적이 대부분이었다. 하지만 본 논문에서는 차량이 주행하는 도로에 존재하는 예측하지 못한 장애물과 표지판, 가로등 등의 안전 주행 정보 획득을 위한 수직 형태의 고정 물체를 추출하는 방법을 제안한다. 도로 및 그 주변의 공사현장의 경우 최신의 도로 정보를 가지고 있지 않다면 그 상황을 알 수 없다. 특히 갑작스러운 긴급공사의 경우에는 도로의 주행 정보에도 그 위치가 나타나지 않을 수 있다. 이런 이유로 고갈, 드림과 같은 공사표지 장애물은 안전주행을 위해서 중요한 정보이다. 또한 도로변의 방음벽기둥, 가로등, 표지판기둥과 같은 수직 형태의 고정물들도 중요한 도로 정보들이다. 이들 정보들을 표지판 추출을 통한 도로주행정보 획득, 도로 경계 및 차량의 현재 위치 등을 예측하게 하는 중요한 정보가 된다. 그림 1에서는 차량의 주행 환경에서 쉽게 접할 수 있는 수직형 고정 물체의 예를 보여준다. 붉은색 사각형 안의 물체들을 본 논문에서 추출하고자 하는 물체의 예이다. 그림에서와 같이 공사구간을 나타내는 고갈, 드림 등은 돌발적으로 나타나는 수직형 장애물이다. 도로 변에서는 주로 교통 표지판과 가로등과 같은 기둥 형태의 물체들이 나타남을 알 수 있다.

본 논문의 II장에서는 기존의 장애물 추출 방법들에 대해서 설명하겠다. III장에서는 제안하는 수직 물체 추출 기술에 대하여 설명한다. 우선 관심영역 설정 방법과 관심영역에 대한 시차영상 생성방법에 대해서 설명한 후 시차영상을 이용하여 VO, HO 지도를 생성하는 방법에 대해서 설명한다. 그리고 생성된 VO, HO 영상을 이용하여 수직 물체를 추출하는 방법에 대해서 언급

한다. IV장에서 다양한 영상을 이용하여 실험을 진행하여 그 결과를 분석하고, V장에서 결론을 내리겠다.

II. 기존의 방법들

영상 정보를 이용하여 차량 전방의 장애물을 추출하는 방법에는 카메라의 개수를 기준으로 모노카메라를 사용한 방법과 스테레오 카메라를 사용한 방법으로 나눈다. 모노카메라를 사용하는 경우에는 물체까지의 거리를 직접적으로 측정할 수 없고 몇 가지 가정을 이용해야만 대략적으로 거리 측정이 가능하다. 카메라와 자동차의 좌표변환 관계는 최초에 고정시킨 후에는 바뀌지 않기 때문에 이 점을 고려하면 카메라에서 도로면까지의 거리를 측정할 수 있다. 또한 자동차 주행은 주로 차선이 있는 도로상에서 이루어진다. 도로정보들 중에 차로의 폭, 차선의 폭, 간격 등이 정해져 있기 때문에 이런 정보들을 이용하여 차량에서 물체까지의 거리등을 예상할 수도 있다^[3]. 모노카메라를 사용하는 경우에는 카메라와 차량사이의 보정된 정보를 활용하여 지면을 추정하고 지면을 제외한 물체를 장애물로 판정하는 방법을 사용한다^[10, 15]. 이런 방법 외에도 카메라의 보정정보와 지면의 차선정보를 활용하여 획득된 영상에서 차량전방의 정사영상을 생성한 후 전방의 장애물들을 예측하는 방법도 있다^[13]. 이는 도로면이 평면이라고 가정하면 호모그래피변환(homography transform)을 사용할 수 있기 때문이다. 흔히 사용되는 스테레오 카메라 형태가 아닌 두 대의 모노카메라를 차량의 내외부에 설치하여 영상간의 오류를 보정하여 전방의 장애물을 추출하는 방법이 있다^[14].

스테레오 카메라를 사용하면 물체까지의 거리를 모노 카메라 보다 정확하게 측정할 수 있는 장점이 있다. 이는 보정된 좌우 카메라로 획득된 영상으로 부터 물체의 시차를 계산한 후 물체까지의 거리를 계산할 수 있기 때문이다. 하지만 시차영상(disparity image)를 생성하는 과정에 추가적인 연산이 필요하다. 스테레오 카메라를 이용하여 생성한 시차영상을 이용하면 추가적으로 V, H 시차지도(vertical, horizontal disparity map)를 생성할 수 있다. V, H 시차지도는 전방 장애물의 존재 여부를 결정하는데 좋은 정보가 된다. V시차지도에서 전역적 최적화를 이용하면 도로면 추정이 가능하다^[18]. 도로면이 수평방향으로 평면이 아닌 경우에 대해서 V

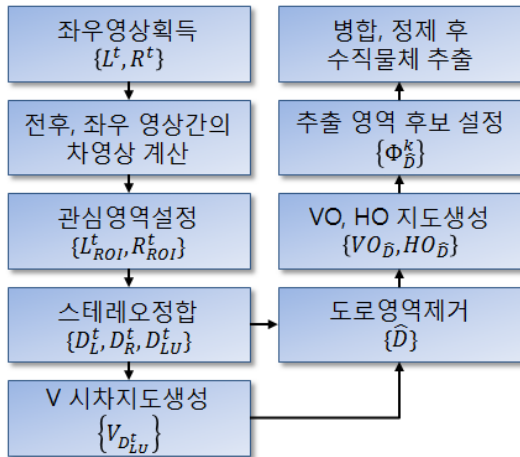


그림 2. 제안하는 수직장애물 추출 방법 순서
Fig. 2. Procedure of vertical object detection.

시차지도를 이용하여 지면을 추정한 후 지면을 제거하여 장애물 및 보행자를 추출하는 방법도 있다^[7, 11]. V, H 시차지도를 동시에 사용하여 3차원적으로 환경을 인식하는 방법도 있다^[6]. 이 방법에서는 V시차지도만을 이용하는 경우 발생할 수 있는 오류를 H시차지도로 보완한다. V, H 시차지도에서는 시차영상을 가로, 세로방향에 따라 누적시킨 값들을 나타내기 때문에 멀리 있는 작은 물체에서는 누적된 값이 미세하게 나타나는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해서 제한된 영역내의 문턱값(threshold)으로 물체를 추출하는 방법이 있다^[4].

스테레오 카메라를 이용하는 경우 카메라의 보정정보가 있다면 환경을 3차원으로 복원이 가능하다. 복원된 3차원 환경을 이용하여 물체를 추출하는 방법도 있다^{[11][8]}. 스테레오 정합의 연산량을 줄이기 위해서 영상의 에지에 대해서 3차원 모델을 생성하여 물체를 추출하는 방법이 연구되었다^[2]. 시차영상을 생성한 후 지면과 광축이 평행하도록 가상 카메라를 생성하여 전방의 물체를 추출하는 방법도 있다^[16].

III. 제안하는 수직 장애물 추출 기술

수직 형태의 고정 장애물을 추출하기 위해서 본 논문에서는 새로운 스테레오 비전 기술을 제안하고자 한다. 그림 2는 제안하는 방법의 순서를 나타낸 것이다. 최초 차량의 전면에 장착된 한 대의 스테레오 카메라로부터 획득된 영상들에서 시차영상을 계산한다. 이 때 스테레오 영상의 계산량을 줄이기 위해서 프레임간, 좌, 우영

상간의 차영상을 계산한 다음 그 차이가 일정값 이상 되는 부분을 관심영역으로 정한 후 시차영상을 계산한다. 관심영역에 대한 시차영상에 대하여 V시차지도를 생성하여 지면을 추정한 후 시차지도에서 지면을 제거하고, 지면이 제거된 시차영상에서 VO, HO 지도를 다시 계산한다. 본 논문에서는 VO, HO 지도와 비교하기 위해서 지금부터 V, H 시차지도를 VD, HD 지도라고 하겠다. VO, HO 지도는 실제 물체의 크기를 고려하기 위해서 기존의 VD, HD 지도를 개선한 것이다. VO, HO 지도를 이용하여 추출하고자 하는 수직형 물체의 후보들을 먼저 추출하고, 이들을 병합 및 정제하여 수직형태의 안전장애물 및 고정물들을 추출한다.

1. 프레임간 좌우 영상간의 차이를 이용한 관심영역 설정

차량의 정면방향과 카메라의 축방향이 일치할 하는 조건에서는 차량이 전진할 때 획득된 영상의 중심에 가까울수록 카메라에서 멀고 중심에서 멀수록 카메라에서 가깝다. 이는 소실점(vanishing point)의 원리^[5]를 이용하여 설명이 가능하다. 소실점 원리에서는 일정한 거리가 이상이 되는 부분은 좌우 영상에서 시차가 없고 연속된 영상의 경우 프레임간에서도 시차가 발생하지 않는다. 이와 같은 점들을 고려하면 영상에서 프레임간, 좌우영상간의 차이가 있는 부분에서만 시차영역을 계산해도 물체를 추출할 수 있다. 관심 영역 밖에 있는 부분에 대해서는 이후 과정에서 연산을 시행하지 않기 때문에 연산량을 줄일 수가 있다. 연속된 영상에서 각 프레임마다 좌우영상 각각에 대해서 관심영역을 획득한다. 그림

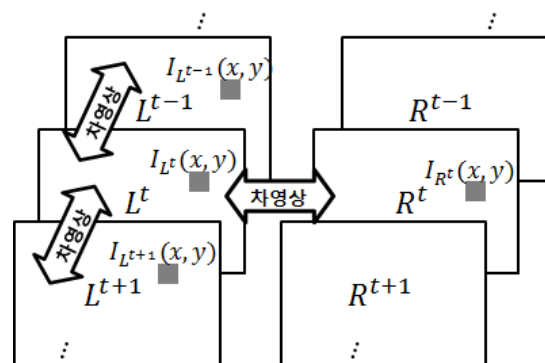


그림 3. 전후 프레임간 좌우 영상간의 차영상
Fig. 3. Temporal and spatial difference images.

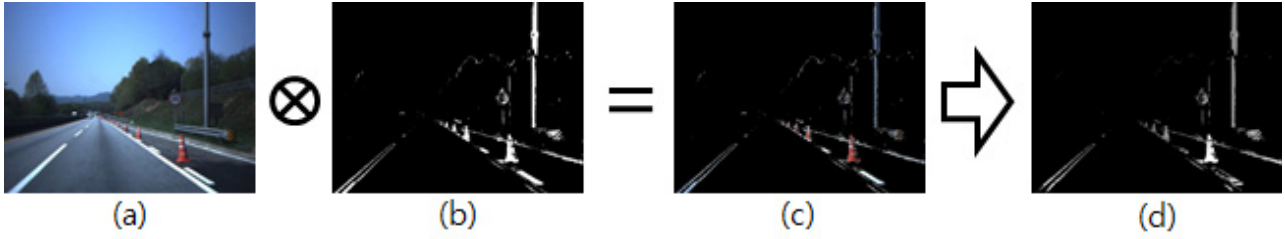


그림 4. 관심영역에 대한 스테레오 정합 (a) 좌영상 (b)관심영역 (c)정합시행영역 (d) 정합 결과

Fig. 4. Stereo matching on ROI(region of interest) (a) left image (b) ROI (c) stereo matching region (d) matching result.

3은 현재 t 프레임 좌영상을 기준으로 할 때에 전후 프레임 영상과 우영상의 차를 이용하여 관심영역을 획득하는 과정이다. L^t 영상의 t 번째 프레임의 좌영상인데 이 영상의 (x,y) 좌표의 밝기 값은 $I_L^t(x,y)$ 이다.

다음 식 1은 좌영상의 관심영역을 나타내는 식이다. $I_{ROI}^t(x,y)$ 은 좌영상의 t 번째 프레임의 관심영역인 L_{ROI}^t 의 (x,y) 좌표의 밝기를 나타내는 이진영상인데 좌표 (x,y) 가 관심영역이면 1, 아니면 0으로 설정된다. $S_L^{t,t-1}$ 과 $S_L^{t,t+1}$, $S_{L,R}^t$ 좌영상 $t, t-1$ 프레임 간, 좌영상 $t, t+1$ 프레임 간, 좌, 우 t 프레임 간의 차영상을 나타내는데 이는 식 2, 3, 4에서 표현한다. $T()$ 는 참 거짓 여부를 판단하는데 참이면 1 거짓이면 0이다. 식 1에서 이진 영상을 생성하기 위해 문턱값 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 을 사용하는데 본 논문에서는 Otsu 방법[12]을 사용하여 문턱값을 결정하였다. Otsu 방법은 문턱값을 두 구간으로 나누고 두 구간의 분산을 구한 후 그 차이가 최대가 되도록 한다. 이는 다양한 차영상에서 능동적인 문턱값으로 물체와 배경을 구분하는데 적합하다. 각 차영상의 (x,y) 좌표에서 밝기값들이 모두 문턱값을 넘는지 확인하여 3개의 차영상 모두가 만족하면 (x,y) 좌표를 관심영역으로 결정한다.

$$I_{ROI}^t(x,y) = T(S_L^{t,t-1}(x,y) > \lambda_1) \times T(S_L^{t,t+1}(x,y) > \lambda_2) \times T(S_{L,R}^t(x,y) > \lambda_3) \quad (1)$$

식 2,3,4는 $S_L^{t,t-1}$, $S_L^{t,t+1}$, $S_{L,R}^t$ 을 나타낸 것이다. $I_L^t(x,y)$ 는 좌영상의 t 번째 프레임의 (x,y) 좌표의 밝기 값이다. 따라서 $S_L^{t,t-1}$ 는 t 번째 프레임과 $t-1$ 번째 프레임간의 좌표 (x,y) 에서 밝기 값 차이의 절대값을 구하는 것이다. $S_L^{t,t+1}$ 는 t 번째 프레임과 $t+1$ 번째 프레임간에 차이를 구하는 것이고, $S_{L,R}^t$ 은 t 번째 프레임에

서 좌우 영상간의 차이를 구하는 것이다.

$$S_L^{t,t-1}(x,y) = |I_L^t(x,y) - I_L^{t-1}(x,y)| \quad (2)$$

$$S_L^{t,t+1}(x,y) = |I_L^t(x,y) - I_L^{t+1}(x,y)| \quad (3)$$

$$S_{L,R}^t(x,y) = |I_L^t(x,y) - I_R^t(x,y)| \quad (4)$$

2. 스테레오 정합 및 VD 지도 생성

획득된 관심영역을 이용하여 스테레오 정합을 시행한다. 스테레오 정합은 관심영역이 영상 전체가 아니기 때문에 지역기반 정합 방법을 사용한다. 본 논문에서는 가우시안(Gaussian) 가중치를 사용하여 SAD정합[17]을 시행한다. 가우시안 가중치를 사용하면 중심에 가까울수록 높은 가중치를 가지고 멀수록 작은 가중치를 가지게 된다. 그림 4는 관심영역에 대한 정합창을 이용한 정합과정을 나타낸 것이다. (a) 좌원영상이고, (b)는 관심영역이다. (c)원영상의 관심영역이다. (d)는 좌영상을 기준으로 할 때의 관심영역에 대한 정합결과이다.

스테레오 정합을 시행하여 좌영상을 기준으로 할 때와 우영상을 기준으로 할 때, 각각의 결과를 획득할 수 있다. 좌영상을 기준으로 할 경우의 시차영상과 우영상을 기준으로 할 경우의 시차영상에서 동일한 물체의 시차는 이상적인 경우라면 일치한다. 이를 유일성제약(Uniqueness constraint)^[17]이라고 하는데 이를 사용하여 시차영상을 정확도를 높인다.

유일성제약을 만족하는 시차영상을 획득한 후 시차영상에 대한 VD지도^[18]를 생성한다. VD지도는 y 값에 따른 x 축방향의 시차의 분포를 나타낸 것이다. 예를 들어 가로, 세로의 길이가 S_W, S_H 인 영상의 시차값의 범위가 $[0,D-1]$ 이라면 VD지도는 가로, 세로의 크기가 D, S_H 가 된다.

그림 5는 좌영상 기준의 시차영상과 시차영상에 대한 VD지도이다. 시차영상은 최초에 결정된 관심영역에 대해서만 시차값을 가지고 있다. 주로 도로의 차선과 경계석, 기둥, 표지판, 안전장애물 등이 시차값을 가지고 있다. 우선 두 영상에서 물체 1은 주로 차선 또는 도로의 경계인데 이와 같이 차영상에서 지표면의 관심영역은 주로 차선과 도로의 경계를 포함한다. 차선의 경계는 지표면과 동일한 시차를 가지기 때문에 지표면을 추정하는데 중요한 정보가 된다. 물체 2는 세로형태의 긴 기둥인데 VD지도 영상에서는 시차의 영역이 2~3정도이기 때문에 가늘고 세로로 긴 형태로 나타난다. 물체 3은 도로면에 설치된 안전장애물이고 물체 4는 가는 기둥인데 하나의 시차값을 가지기 때문에 가는 선으로 나타난다. 영상 전체에서 시차영상을 획득하지 않고 일부 관심 영역에 대해서만 시차영상을 계산하였기 때문에 VD지도에서도 물체의 추출이 가능하다. 물론 동일 시차를 가지는 물체가 비슷한 위치에 여러 개 존재하는 경우도 있다. 이런 경우는 HD지도 영상을 추가적으로 사용하여 추출할 수 있다.

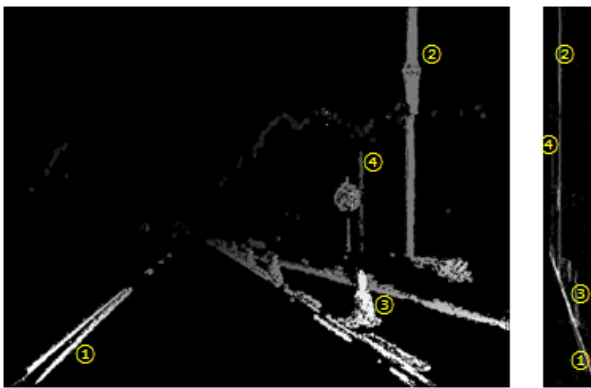


그림 5. 시차영상 D와 VD지도
Fig. 5. Disparity image and VD map (from left).

3. VD지도를 이용한 지면 추정 및 제거

시차영상에서 도로 부분을 제거하면 필요한 물체를 좀 더 쉽고 정확하게 추출 할 수 있다. 일반적으로 도로는 차량 주변에서 차량과 평행하다고 할 수 있다. 카메라의 초점거리와 좌우 카메라의 간격에 따라 다르겠지만 최대 시차가 되는 지점의 위치는 카메라에서 5m 이내로 설정한다. 이 상황에서는 일반적인 도로의 경우 도로면과 차량이 시차가 최대가 되는 시점까지는 평행하다고 가정할 수 있다. 본 논문에서는 도로가 전체적

으로 완만하고 일정한 경사를 이루고 있다고 가정한다. 아래의 그림 6은 VD지도를 이용한 차선 추정과 그 결과이다. 왼쪽 그림은 VD지도이고 중간그림의 붉은색의 지면 후보 범위와 노란색의 예측된 지면이다. 오른쪽 영상에서 노란색은 예측된 지면과 시차가 동일한 부분을 영상에 표시한 것이다.

VD지도에서 도로로 예상되는 직선의 방정식을 추출하기 위해서 Hough 변환^[9]를 이용한다. Hough 변환을 이용하여 여러 개의 직선 후보를 추정한 후 모든 점에 대한 간격이 최소가 되는 점을 찾아서 도로를 추출한다. 이 때 추출한 VD지도의 가로축을 d , 세로축을 y 라고 할 때 지면을 나타내는 직선 방정식은 l 은 $d = py + q$ 이다.

VD지도에서 계산된 직선 l 을 이용하여 추정된 지면에 해당하는 부분을 시차영상 D에서 제거할 수 있다. 시차정보의 오차를 고려하여 해당 예상 도로면 보다 낮거나 약간 위쪽에 있는 구간은 지면으로 보고 제거한다. 그림 7에서 좌측 영상은 원래의 시차영상 D이고,



그림 6. VD지도 와 지면 추정, 원영상에서의 지면추정 (좌로부터)
Fig. 6. VD map and ground estimation, ground estimation in the original image (from left).

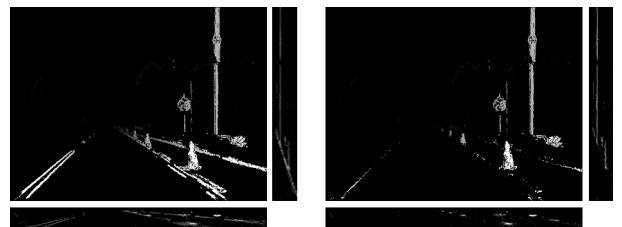


그림 7. 시차영상D(좌) 와 지면제거 시차영상 \hat{D} (우), VD 영상(각 영상의 우), HD영상(각 영상의 아래)
Fig. 7. Disparity image D(left), ground removed disparity image \hat{D} (right), VDmap(both right), HDmap(both bottom).

우측 영상은 도로면을 제거한 시차영상 \hat{D} 이다. 각 시차영상에 대해서 VD지도와 HD지도를 각각 우측과 아래에 위치시켰다. 시차영상을 보면 지면을 제거하기 전에 비해서 도로부분의 차선 및 도로경계가 거의 없어진 것을 확인할 수 있다. 각각의 결과에 대한 VD, HD지도를 보면 도로를 제거한 결과에서 보다는 주변에 비해 선명한 부분이 나타나는 것을 알 수 있다. 특히 HD지도의 경우 주변에 비해서 밝은 부분들이 있다. 이 부분은 세로축 방향으로 시차영상에서 시차가 동일한 부분이 많다. 이 점을 이용하여 세로 형태의 물체를 효율적으로 추출이 가능하다.

4. VO, HO 지도 생성

HD지도나 VD지도를 이용하여 사물의 존재여부를 판단할 때에는 각각의 시차지도에서 동일한 시차를 가지는 부분이 일정한 값 이상으로 누적된 상태에서 일정 수준 이상의 길이를 가져야 한다. 하지만 카메라로부터 멀수록 물체의 크기가 작아지기 때문에 VD, HD 지도에서 물체에 해당하는 시차의 누적된 값도 작아진다.

본 논문에서는 VD, HD 지도를 개선하여 VO, HO 지도를 생성하는데 이 지도들에서는 거리에 관계없이 물체의 크기를 예측할 수 있다. 일반적인 VD, HD 지도에서 $I_{VD_d}(d, y)$, $I_{HD_d}(x, d)$ 의 값들은 시차영상 \hat{D} 에서 각각 x축 y축 방향으로 시차가 d인 점들의 개수를 나타낸 것이다. 이 때 이 값들을 시차인 d로 나누면 동일 물체에 대해서 누적된 값의 크기는 일정하게 된다.

이런 관계를 설명하기 위해서는 우선 물체와 카메라 사이의 거리에 따른 영상에서의 크기관계를 우선 이해해야 한다. 다음 그림 8은 물체의 거리와 영상의 크기

관계를 나타낸다. 동일한 물체가 카메라부터의 거리에 따라 영상에 나타나는 크기의 변화를 보여준다. 실제 높이가 H로 똑같은 물체 α, β 가 카메라로부터 거리가 Z_1, Z_2 일 때 시차 영상 D에서는 그 크기가 h_1, h_2 픽셀로 나타난다. 실제로는 초점 거리 f만큼 떨어진 CCD평면에 h_1s, h_2s 의 크기로 상이 맺힌다. 시차 영상 D에서 물체 α 의 시차는 d_1 이고 β 의 시차는 d_2 이다. 이때 s는 한 픽셀에 해당하는 실제 CCD의 소자의 크기이다.

다음 식들은 이들 관계를 나타낸 것이다. 식 5은 실제 높이가 H인 물체가 거리에 따라 CCD 평면에 다른 크기로 상이 맺히는 관계를 비례식으로 표현한 것이다. 5번식을 정리하면 6번과 같은 관계식으로 정리 할 수 있다.

$$H : Z_1 = h_1s : f, H : Z_2 = h_2s : f \tag{5}$$

$$h_1 = \frac{H}{Z_1s}f, h_2 = \frac{H}{Z_2s}f \tag{6}$$

식 7은 초점거리가 f이고 베이스라인 거리가 B인 스테레오 카메라에서 물체 α, β 에 대하여 시차가 d_1, d_2 와 거리 Z_1, Z_2 사이의 관계식이다. 식 7를 초점 f에 관하여 정리하면 식 8이 된다.

$$Z_1 = \frac{Bf}{d_1}, Z_2 = \frac{Bf}{d_2} \tag{7}$$

$$f = \frac{Z_1d_1}{B}, f = \frac{Z_2d_2}{B} \tag{8}$$

식 8번을 6번식의 f에 대입하면 9번식이 나온다. 식 9번을 분석하면 영상의 물체의 높이 h_1, h_2 는 H, s, B,

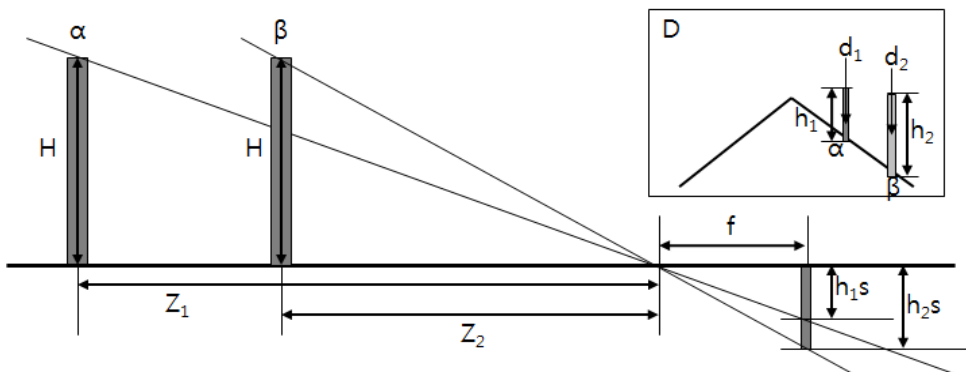


그림 8. 동일 물체의 거리에 따른 영상에서의 크기 비교
Fig. 8. Comparison of object size in an image.

d_1, d_2 의 영향을 받는데 H, s, B 는 상수이기 때문에 d_1, d_2 에 비례한다.

$$h_1 = \frac{H}{Z_1 s} \frac{Z_1 d_1}{B} = \frac{H d_1}{s B}, h_2 = \frac{H}{Z_2 s} \frac{Z_2 d_2}{B} = \frac{H d_2}{s B} \quad (9)$$

$$\frac{h_1}{d_1} = \frac{h_2}{d_2} = \frac{H}{s B} \quad (10)$$

h_1, h_2 를 d_1, d_2 로 나누면 식 10번을 획득할 수 있다. 식 10번은 영상 내에서 물체의 높이를 시차로 나눈 값은 일정하다는 것을 보여준다. 또한 물체의 폭을 시차로 나눈 경우에도 동일한 성질을 지닌다는 것을 같은 방법으로 설명이 가능하다.

$$I_{VO_{\hat{D}}}(d, y) = \frac{1}{d} \sum_x T(-\mu \leq \hat{D}(x, y) - d < \mu) \quad (11)$$

$$I_{HO_{\hat{D}}}(x, d) = \frac{1}{d} \sum_y T(-\mu \leq \hat{D}(x, y) - d < \mu) \quad (12)$$

식 10번의 성질을 이용하여 기존의 VD, HD 지도 영상의 시차누적값을 시차로 나누어 새로운 VO, HO 지도를 생성하였다. 식 11과 12는 VO, HO 지도를 생성하는 관계식이다. 2절에서 설명한 것과 유사하게 $VO_{\hat{D}}$ 와 $HO_{\hat{D}}$ 를 생성한다. VD, HD 지도와 차이점은 누적된 값을 해당 시차인 d 로 나누는 것이다.

그림 9는 시차영상 (b)에 대한 HD지도와 HO지도를 비교한 결과이다. (c)는 HD지도이고 (d)는 HO지도이다. (a)는 원영상이고 아래 (e)는 각 구간의 밝기 값들이다. HD지도에서 다른 물체의 영역에 비해서 희미한

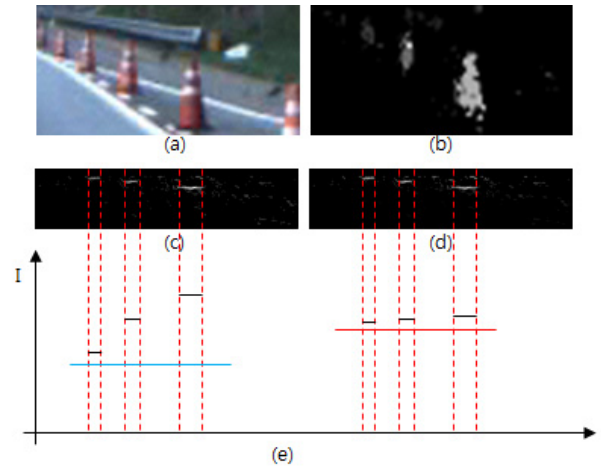


그림 9. 원 영상(a), 시차영상(b) HD지도(c)와 HO지도(d)의 밝기 비교(e)

Fig. 9. Original image(a) disparity image(b) comparison of brightness between HDmap(c) and HOmap(d).

영역도 HO지도에서는 고르게 밝게 나타난다. 이것은 물체가 원거리에 있기 때문에 시차지도에서 크기가 작게 나타나서 HD지도에서는 어둡게 표현 되었지만 HO지도에서는 물체의 절대적인 크기에 비례하여 일정한 값들을 가지기 때문에 동일크기의 물체의 밝기가 비슷하다. 이 때 특정 물체를 추출하기 위한 문턱값은 붉은 실선과 같이 물체의 실제 크기에 비례한 값으로 설정할 수 있다. HD지도의 경우는 모든 물체를 추출하기 위해서 문턱값을 푸른 실선과 같이 낮게 설정해야 되는데 이 때는 잡음도 함께 추출되는 문제가 발생할 수 있다.

5. 후보영역 결정 및 수직 물체 추출

앞서 획득한 VO, HO 지도를 이용하여 물체영역을 추출할 수 있다. HO지도에서 (x_0, d_0) 좌표가 일정 값



그림 11. 후보영역, 병합결과, 수직물체 추출 (좌로부터)

Fig. 11. Candidate areas, merged result, vertical object detection after refinement (from left).

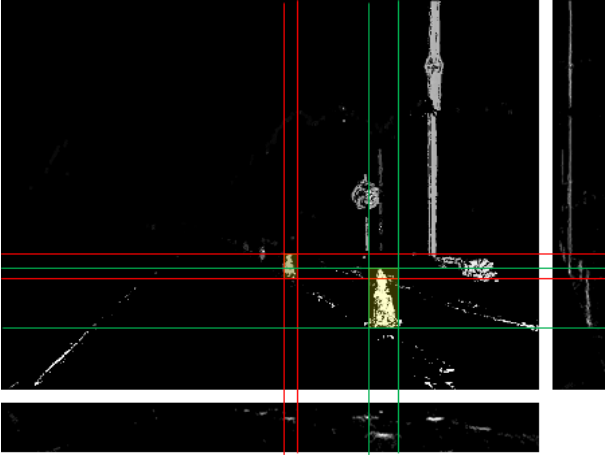


그림 10. HO지도와 VO지도를 이용한 물체 영역 추정
Fig. 10. Object region detection using HO and VO map

이상을 가지면 시차영상 \hat{D} 에서 x좌표가 x_0 이고 시차가 d_0 인 점이 일정 수준 있다. 동시에 VO 지도에서 (d_0, y_0) 좌표가 일정 값 이상을 가지면 시차영상 \hat{D} 에서 y좌표가 y_0 이고 시차가 d_0 인 점이 일정 수준 있다. 이 두 가지 조건을 동시에 만족하는 (x_0, y_0) 점은 시차가 d_0 일 확률이 높다. 그림 10는 VO, HO 지도를 이용하여 특정 시차값을 가진 물체위치를 예상하는 방법을 나타낸다. 세로로 그은 붉은 선분 사이의 영역은 HO지도에서 시차가 d_0 인 부분이 일정 개수 이상인 부분이고 가로로 그은 붉은 선분 사이의 영역은 VO지도에서 시차가 d_0 인 부분이 일정 값 이상인 영역이다. 이 두 부분이 겹치는 부분은 시차가 d_0 인 물체가 존재할 확률이 높다. 같은 식으로 시차가 d_1 인 물체는 VO, HO 영상에서 녹색 선분 사이에 존재하는 것으로 예상되고 두 구간이 교차하는 부분에 물체가 존재할 확률이 높다.

이와 같은 방법으로 후보영역들을 추출한 후, 인접하는 후보영역들을 병합하고 마지막으로 오류를 제거하는 과정을 통해서 수직 물체들을 추출한다. 우선 다음 식 13, 14는 후보영역이 만족해야 하는 조건들이다. Φ_D^k 는 시차영상 \hat{D} 의 수직 물체의 k번째 후보영역이다 ($k=1, \dots, N$). 이 후보영역은 직사각형 형태이다. 따라서 후보영역의 위치는 좌우 x경계값과, 상하의 y경계값으로 나타낼 수 있다. 조건 13에서 \min_x, \max_x 는 이들 영역의 좌, 우 경계의 x좌표를 나타낸다. \min_y, \max_y 는 후보영역의 상하 경계의 y값을 나타낸다. 영역 내의 구간에서는 HO영상의 값들이 문턱값 ν_1 보다 커야하고 VO

영상의 값들을 문턱값 ν_2 보다 커야한다. 본 논문에서는 ν_1, ν_2 를 0.5, 0.1로 설정하였다.

$$\min_{x \in [\min_x(\Phi_D^k), \max_x(\Phi_D^k)]} \{HO_{\hat{D}}(x, d)\} > \nu_1 \quad (13)$$

$$\min_{y \in [\min_y(\Phi_D^k), \max_y(\Phi_D^k)]} \{VO_{\hat{D}}(d, y)\} > \nu_2 \quad (14)$$

위와 같이 13, 14 조건을 만족하는 영역을 각 시차값 d에 대해서 조사하여 N개의 후보영역을 추출한다. 이렇게 획득된 후보영역들에 대해서 다음 조건을 만족하는 영역 간에 대해서 병합을 시행한다. 수직 장애물들은 공중에 떠있지 않고 지면위에 서있다는 점을 병합과정의 가정으로 정하였다. 따라서 후보영역의 x구간이 인접하거나 겹치면서 상하로 존재하는 경우에 후보영역내의 시차가 일치하거나 유사하다면 동일 물체로 간주하여 하나의 영역으로 병합한다.

병합과정을 거친 후 영역의 개수가 줄어든다. 이 때 크기가 작은 영역이 병합과정 후에도 남아 있을 수 있다. 이 경우는 오류로 간주 하여 제거한다. 또한 지면으로부터 일정 수준 이상 떨어져 있는 물체는 공중에 떠있는 것이기 때문에 오류로 간주하여 제거한다. 이런 정제 과정 후 최종적으로 남은 영역 중에서 가로 비율에 비해서 세로의 비율이 1.2가 넘는 영역을 수직 장애물로 결정한다. 그림 11에서 왼쪽은 후보영역을 추출한 결과이다. 무수히 많은 직사각형형태의 후보영역이 추출된다. 중간은 병합과정결과이다. 주변의 유사 시차를 가지는 영역들끼리 병합되는 것을 볼 수 있다. 마지막 최종결과에서는 남아 있는 작은 영역들을 제거하고 수직조건을 만족하는 부분만을 나타낸다.

IV. 실험

본 논문에서는 5가지 환경의 도로에서 총 500장의 영상을 이용하여 실험을 진행하였다. 영상획득을 위해서 차량 내부에 스테레오 카메라를 설치하였다. 실험에 사용된 스테레오 카메라는 PointGrey사의 Bumblebee XB3이고 초점거리는 8mm 베이스라인은 250mm이다. 800x600해상도로 초당 10프레임으로 영상을 획득하였다. 5가지 영상은 모두 고속도로 주행 중에 획득된 영상들이다. 그림 12는 실험에 사용된 카메라와 차량에 장착된 사진이다. 차량 내부 전면유리에 고정장치를 이

용하여 카메라를 이용하여 고정하였다.

그림 13은 VD, HD 지도를 사용한 결과와 VO, HO 지도를 사용한 결과를 비교한 것이다. 각 행의 좌영상은 VD, HD 지도를 사용하여 사물을 추출한 결과이고,



그림 12. 실험에 사용된 카메라와 차량에 장착된 모습
Fig. 12. Experimental stereo camera set up.

표 1. VD, HD 지도와 VO, HO 지도를 사용할 경우의 고갈형태 장애물 추출 개수 비교 (개)

Table 1. Comparison of detected cone shape obstacle number using VD, HD map and VO, HO map.

프레임번호		1	5	11	25	총합
TP	VD, HD 지도	2	1	2	1	6
	VO, HO 지도	4	4	4	3	15
FN	VD, HD 지도	2	3	2	3	10
	VO, HO 지도	0	0	0	1	1

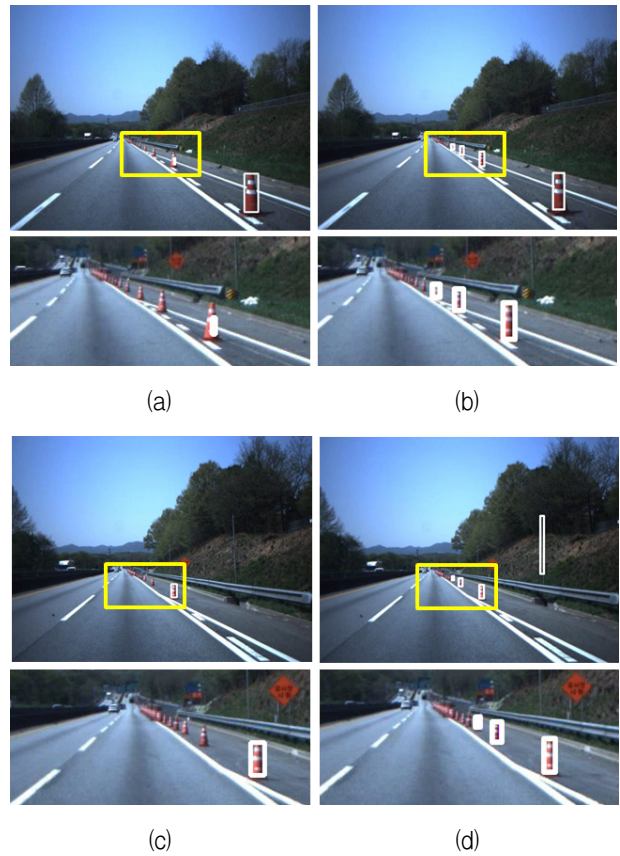


그림 13. VD, HD 지도를 사용한 결과(a),(c) 와 VO, HO 지도를 사용한 결과(b),(d) 비교

Fig. 13. Comparison of obstacle detection using VD, HD map(a),(c) and VO, HO map(b),(d).

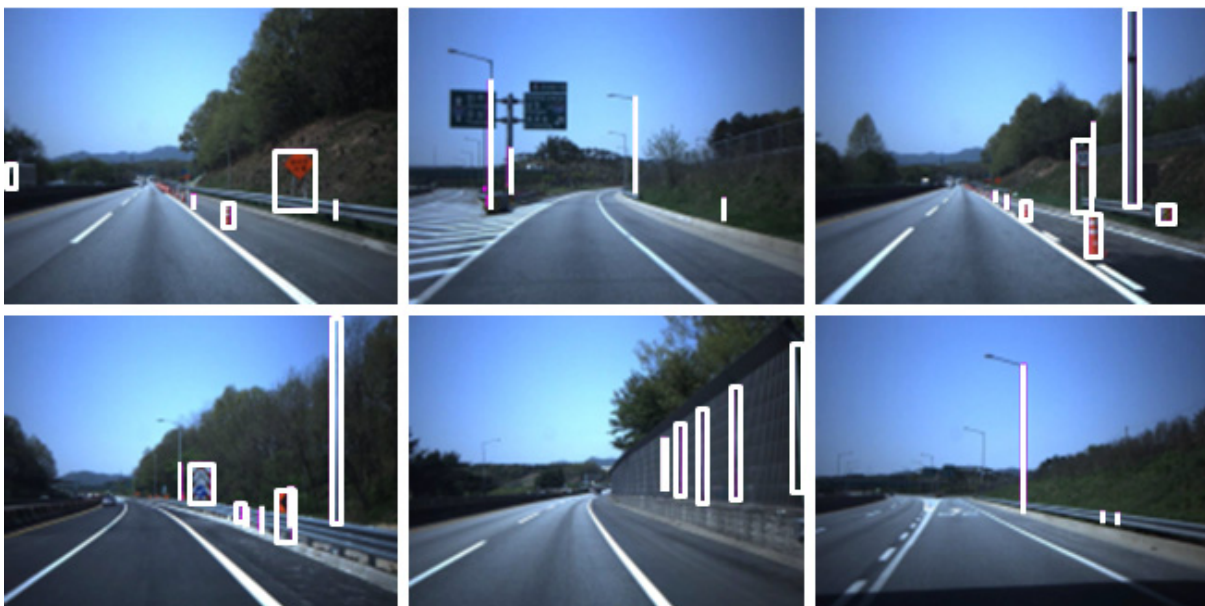


그림 14. 다양한 도로 환경에서의 수직 물체 추출 실험 결과
Fig. 14. Vertical obstacle detection in various road environment.

우영상은 VO, HO 영상을 사용하여 사물을 추출한 결과이다. 1, 3행 영상의 노란 사각형 영역을 확대한 영상이 2, 4 행이다. VD, HD 지도의 경우는 픽셀의 누적개수를 문턱값으로 사용하기 때문에 물체의 실제 크기를 반영하지 못한다. 따라서 적당한 문턱값은 설정하지 못하면 왼쪽 영상과 같이 물체를 추출하지 못한다.

표 1은 VD, HD 지도를 사용한 경우와 VO, HO 지도를 사용할 경우 정확하게 추출(TP:true positives)된 고갈형태의 장애물의 수와 추출하지 못한(FN:false negatives) 수를 비교한 것이다. VD, HD 지도와 VO, HO 지도를 사용할 때에 차이는 고갈형태의 장애물에서 가장 두드러진다. 크기가 일정하면서 근거리에서 원거리에 배치되어 있기 때문이다. 잡음이 발생하지 않도록 VD, HD 지도의 문턱값을 조정하면 멀리 있어서 작게 보이는 고갈은 추출되지 않는다. 전반적으로 VD, HD 지도의 경우 근거리를 찾아내고 VO, HO 지도의 경우는 원거리까지 찾아내기 때문에 개수에 차이가 있다.

그림 14는 최종적인 결과들 중 일부이다. 주로 도로면 위에 존재하는 장애물을 정확하게 추출한다. 그리고 도로주변 배경과 대비되는 수직형태의 고정물체들도 추출한다. 하지만 배경이 복잡한 경우에는 오류도 발생한다. 또한 가드레일에서 색상에 변화가 있는 이음새 부분의 경우는 물체로 간주하여 추출하는 경우도 있다. 방음벽의 경우 기둥이 벽면과 차이를 보이기 때문에 수직 고정물체로 간주하여 추출한다. 차량의 경우는 관심영역이 자동차 좌우의 일부만을 설정하기 때문에 도로 위의 수직형태의 장애물로 간주하는 경우가 발생한다.

V. 결 론

본 논문에서는 스테레오 카메라를 이용하여 도로상의 장애물 및 수직 고정물을 추출하는 방법을 제안하였다. 프레임간 좌우 영상간의 차영상을 이용하여 관심영역을 결정하였다. 관심영역 대해서 스테레오 정합을 진행하여 연산량을 줄였다. 정합의 결과로 관심영역에 대한 시차영상을 획득하였다. 시차영상에서 VD지도 생성하여 지면을 추정하였다. 장애물은 지면위에 존재하기 때문에 지면 이하의 범위는 시차영상에서 제거하여 정확도를 높였다. 지면이 제거된 시차영상을 이용하여 거리에 관계없이 실제 크기를 나타내는 VO, HO 지도를 생성하였다. 이 지도에 누적된 값들은 실제 크기와

비례하기 때문에 거리에 관계없이 동일한 크기의 물체를 추출할 수 있다. VO, HO 지도를 이용하여 추출할 물체의 후보를 선정하고 병합과 정제 과정을 통하여 목표 물체를 추출하였다.

참 고 문 헌

- [1] M. Bajracharya, B. Moghaddam, A. Howard, S. Brennan and L. Matthies, "Results from a Real-time Stereo-based Pedestrian Detection System on a Moving Vehicle", Proc of the IEEE ICRA, May 2009.
- [2] A. Benschrair, M. Bertozzi, A. Broggi, A. Fascioli, S. Mousset and G. Toulminet, "Stereo Vision-based Feature Extraction for Vehicle Detection", Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 465-470, June 2002.
- [3] E. Dagan, O. Mano, G. Stein and A. Shashua, "Forward Collision Warning with a Single Camera", Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.37-42, June 2004.
- [4] M. Gouiffes, A. Patri and M. Vasiliu, "Robust obstacles detection and tracking using disparity for car driving assistance", Proc. of the SPIE, Vol 7539, pp. 75390H-75390H-8, 2010.
- [5] R. Hartley and A. Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision", pp.339, 2006.
- [6] Z. Hu, F. Lamosa and K. Uchimura, "A Complete U-V-Disparity Study for Stereovision Based 3D Driving Environment Analysis", Proc. of the Fifth International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling, pp 204-211, June 2005.
- [7] R. Labayrade, D. Aubert and J. Tarel, "Real Time Obstacle Detection in Stereo vision on Non Flat Road Geometry Through "V-disparity"Representation", Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 646-651, June 2002.
- [8] H. Lategahn, T. Graf, C. Hasberg, B. Kitt and J. Effertz, "Mapping in Dynamic Environments Using Stereo Vision", Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.150-156, June 2011.
- [9] S. Linda and S. George, "Computer Vision", Prentice-Hall, 2001.
- [10] P. Lombardi, M. Zanin and S. Messelodi, "Unified Stereovision for Ground, Road, and Obstacle Detection", Proc. of the IEEE Intelligent

- Vehicles Symposium, pp.783-788, June 2005.
- [11] T. Marita, "Barriers Detection Method for Stereovision-Based ACC Systems", Proc. of the Int'l Conf. Intelligent Computer Communication and Processing, pp. 95-101, Aug. 2009.
- [12] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms", Proc. IEEE Trans. Sys., Man., Cyber Vol.9, No.1, pp.62-66, 1979.
- [13] N. Simond, "Obstacle Detection from IPM and Super-Homography", Proc. of the IEEE IROS, pp. 4283-4288, 2007.
- [14] G. Stein, Y. Gdalyahu and A. Shashua, "Stereo-Assist: Top-down Stereo for Driver Assistance Systems", Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.723-730, June 2010.
- [15] G. Stein, O. Mano and A. Shashua, "Vision-based ACC with a Single Camera: Bounds on Range and Range Rate Accuracy", Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.120-125, June 2003.
- [16] N. Sukanuma and N. Fujiwara, "An Obstacle Extraction Method Using Virtual Disparity Image", Proc. of the 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 456 - 461, June 2007.
- [17] C. Zach, K. Karner, and H. Bischof, "Hierarchical disparity estimation with programmable 3D Hardware". Proc. of International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision pp.275 - 282, 2004.
- [18] J. Zhao, J. Katupitiya and J. Ward, "Global Correlation Based Ground Plane Estimation Using V-Disparity Image", Proc. of the 2007 IEEE Int's Conf. on Robotics and Automation, pp.529-534, April 2007.

— 저 자 소 개 —



백 승 해(학생회원)
2004년 2월 경북대학교 컴퓨터 공학과 학사.
2010년 2월 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 석사.
2010년 3월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 박사과정.

<주관심분야 : 스테레오정합, 광학보정, 3차원 복원>



박 순 용(정회원)-교신저자
1991년 2월 경북대학교 전자공학과 학사.
1993년 2월 경북대학교 전자공학과 석사.
2003년 5월 미국 뉴욕주립대 스토니브룩 박사.

2005년 2월~현재 경북대학교 IT대학 컴퓨터학부 부교수

<주관심분야 : 3차원 컴퓨터비전 및 로봇비전>