

스테레오 영상을 이용한 효율적 전방 장애물 검출

정희원 김정우*, 손창훈*, 이준호*, 전병우*, 이근영*

An Efficient Object Detection Algorithm Using Stereo Images

Jeongwoo Kim*, Changhoon Son*, Juneho Yi*, Byeungwoo Jeon*, Keunyoung Lee*

Regular Members

요약

무인자율 주행시스템의 개발에는 인접 차량 유무 및 상대 속도의 정확한 검출이 매우 중요하다. 본 연구에서는 전방차량의 위치를 검출할 수 있는 효율적 방법을 제시한다. 종래 방법의 문제가 되었던 도로 면상의 표식이나 그림자가 전방 물체로 잘못 판단되는 것을 막기 위해 Helmholtz shear 기법^[1]을 이용해 주어진 영상으로부터 residual disparity map을 얻은 후, 이의 히스토그램 분석을 통하여 전방차량의 위치를 효율적으로 검출하는 방법을 제안하였으며, 스테레오 카메라를 이용한 실제 영상으로 제안한 방법을 평가하였다.

ABSTRACT

This research features efficient detection of obstacles, especially vehicles, in the forward direction of navigation for the development of unmanned autonomous vehicle. We separate image regions into ground and non-ground planes using the Helmholtz shearing technique in order to reliably exclude regions that do not contain obstacles. We propose a computationally simple and efficient method for the detection of vehicles in the forward direction by analysis of horizontally and vertically projected histograms of residual disparity map obtained from Helmholtz shearing. We have experimented the proposed method on real outdoor stereo data. Experimental results show that our method gives accurate detection of forward vehicles and is computationally very efficient.

I. 서론

주행중인 자동차의 근접거리에 존재하는 차량의 유무 및 존재하는 차량까지의 거리 계산은 무인 자율 자동차 관련 핵심 기술로서, 차량 밀도가 높은 우리나라의 도로 상황을 고려할 때 안전 운전에 필수적이다. 특히, 진행 방향에 위치한 일단의 장애물들은 차량의 운행과 안전에 직접적인 영향을 미치므로 이를 미리 검출하고 운전자에게 충분한 주의를 주는 것이 중요하다.

장애물 검출을 위한 시스템은 지금까지 여러 알

고리즘으로 구현되어 왔는데, 이 중에서도 특히 카메라를 이용하여 영상을 입력받은 후 스테레오 비전 방법으로 이를 해석하고 장애물의 유무를 판단하는 방법이 많이 개발되고 있다^[2-5]. 전방 근거리 존재하는 차량까지의 거리를 계산하고자 할 때 우선, 차량으로 생각되는 물체의 효율적인 검출이 선행되어야 하며 이는 정확한 거리 계산을 위해서 필수적이다. 또한, 이들 방법은 장애물의 검출뿐만 아니라 차선과 같은 도로의 상황을 충분히 이해하고 분석하여 무인 자율 운행 등이 가능하다는 점에서 레인지 센서^[6]를 이용한 방법보다 우월하지만 처리량이 방대하여 실시간 처리에는 상당한 어려움이

* 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부(myimage@chollian.net)

논문번호: 99042-0201, 접수일자: 1999년 2월 1일

* 본 연구는 현대자동차(주)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

있다.

Carnegie Mellon 대학의 무인 자동차 프로그램은 Navlab^[7] 차량이 물체의 충돌을 피하고 주행하게 하는 연구에 스테레오 비전을 이용하였으며 일반 포장도로가 아닌 자연지형에서 1km를 3m/s의 속도로 주행하는 차량을 구현하였다. 장애물과의 충돌을 피하기 위하여 고가의 컴퓨터 하드웨어에 의존하여 카메라에 입력되는 지형의 3차원 모델링을 이용하였다. 하지만, 이 또한 기존의 단순한 알고리즘을 고가의 컴퓨터 하드웨어에 의존하여 적용한 연구이다. Fujitsu^[8]는 1~15m내에 있는 전방차량까지의 장애물 검출을 위하여 수직으로 배열된 스테레오 카메라를 사용하여, 약 20%의 오차정도로 전방차량까지의 거리 검출을 할 수 있는 하드웨어를 구현하였다. 전방의 장애물 즉, 자동차의 검출을 위해서 자동차가 갖는 여러 개의 긴 수평 에지들을 이용하였는데 실제 적용 시에 여러 개의 온전한 긴 수평 에지를 찾기가 수월하지 않을뿐더러 차량의 후방에 생기는 그림자의 수평 에지를 차량의 수평 에지로 혼동할 가능성이 많다.

영상 내에서 차선을 찾고 검출영역을 차선으로 이루어지는 다각형 내로 제한함으로써 계산량을 줄일 수 있었으나 여전히 방대한 계산량을 해결하기 위하여 범용 DSP들의 배열(array processor)로 구성하였다. Italy의 Bertozzi 등^[9-12]은 입력된 영상의 원근감을 제거함으로써 차선 및 장애물이 쉽게 검출될 수 있음을 보였다. 원근감의 제거시 장애물에 의해 가려진 뒷부분은 2차원적으로 변환될 수 없으므로 좌·우 영상에서 공통적으로 발생하는 이들 영역의 시점을 장애물의 좌·우 에지로 생각하고 여기까지의 거리를 계산하였다. 형태에 무관한 검출이 가능하므로 차량뿐만 아니라 도로상에서의 운행에 방해가 되는 다른 물체들도 구분할 수 있다. 하지만, 2차원 변환과 극 좌표, radial 좌표로의 변환에 의한 연산 시간의 증가는 실제 적용을 위하여 고가의 복잡한 하드웨어를 필요로 한다.

본 연구에서는 기존의 스테레오 비전 방식을 이용하되 과도한 계산시간을 단축하기 위하여, 전방 물체로 판단되는 일부 관심 부분만에 대한 스테레오 분석을 행하는 간단하고 효율적인 방법을 제안한다. 최근 스테레오 비전을 이용한 자율주행 시스템의 구현에 널리 사용되고 있는 Helmholtz shear 기법을 이용하여 도로면과 도로면이 아닌 부분으로 분리하고, 도로면이 아닌 부분에 대하여 간단한 영역제한 방법과 함께 히스토그램 분석을 통하여 전

방 차량을 검출하였다. 제안한 방법의 가장 큰 장점은 복잡한 전방차량 검출 알고리즘의 성능을 보이며서 그 계산이 매우 단순하고 신속하다는 점에 있다. 제안한 방법의 적용으로 50MHz 정도의 속도를 가지는 하드웨어에서 초당 33프레임의 처리가 가능하며, 21m 거리에서 약 7.14% 정도의 오차를 가지는 거리 계산 시스템의 구현이 가능하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 본 연구에서 제안된 방법이 적용된 전체 시스템의 개요와 함께 Helmholtz shear에 관한 기본적인 개념을 기술하고, 3절에서는 본 논문에서 제안한 전방 장애물 검출 방법과 관심영역의 제한에 관하여 설명하였다. 4절에서는 실제적인 시스템의 구성과 실험을 통하여 제안한 방법의 효율성에 관하여 고찰하였다.

II. 전체 시스템 개요

1. 전체 알고리즘

본 연구는 자율 주행 차량의 구현을 위해 스테레오 비전을 이용한 거리 계산 시스템^[13] 개발을 위한 전방차량 검출에 관한 연구로서 전체 시스템의 개요는 다음과 같다(그림 1).

전체 시스템은 크게 Helmholtz shear를 이용한 residual disparity map을 구하는 부분, 전방의 장애물을 검출하는 부분, 그리고 검출된 장애물까지의 거리를 구하고 표시하는 세 모듈로 나누어진다. 첫 번째 모듈에서는 두 대의 카메라를 통하여 획득한 스테레오 영상 중 왼쪽 영상에 관하여 Helmholtz shear를 취함으로써 오른쪽 시각의 영상으로 변환한다. 이렇게 변환된 영상 L'과 오른쪽 원 영상 R은 도로면이 아닌 부분에서만 차이를 보이게 된다. L'과 R 각각에 Sobel 연산자를 적용하여 에지 정보를 추출하고, 문턱치를 이용하여 의미있는 점(Point Of Interest, POI)들을 구성한 후 이들에 대하여 residual disparity map을 구한다. 이렇게 구해진 residual disparity map에서 장애물에 해당되는 영역은 non-zero disparity(residual disparity)를 갖게 된다. 두 번째 모듈에서는 첫 번째 모듈에서 얻어진 residual disparity map의 의미 없는 영역을 제외한 부분에 대하여 수평과 수직 방향으로 히스토그램을 구하게 되며, 각 히스토그램 중 두 개의 최대치가 이루는 사각형을 전방 장애물로 인식한다. 세 번째 모듈에서는 검출된 장애물까지의 거리를 계산하고 운전자에게 계산된 거리를 차량 내부의 모니터에 표시해 준다.

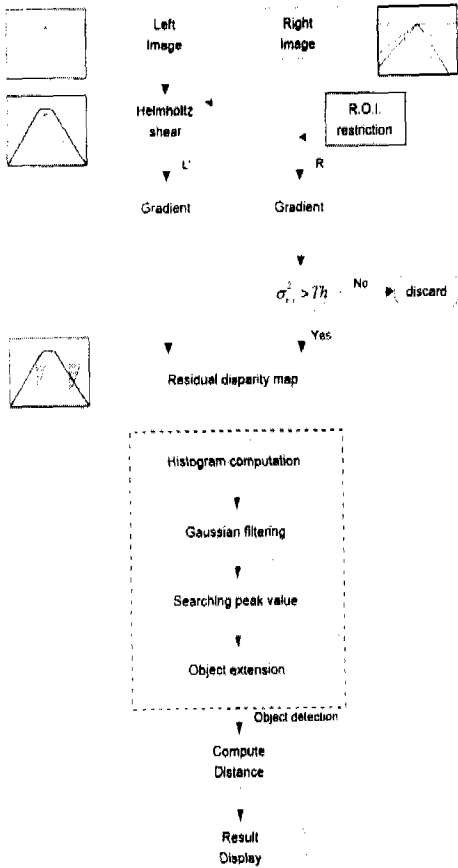


그림 1. 전체 시스템

2. Helmholtz shear

도로면 위의 차선 표식(lane marker) 또는 그림자 등은 영상을 이용한 전방차량 검출에 있어 그 지점에 잠재적인 장애물로 나타나기 때문에 실제의 장애물(자동차)을 검출하는 문제에 심각한 영향을 준다. 보다 정확한 장애물의 검출을 위해서 도로면과 도로면이 아닌 부분으로 분리하는 방법이 널리 사용되고 있는데 이를 위해 Helmholtz shear 기법이 이용되고 있다^[14,15]. Helmholtz shear 기법은 3차원 공간상의 동일한 평면을 두 개의 다른 카메라의 영상으로 얻을 때, 두 영상 사이에는 간단한 선형 변환이 존재한다는 사실을 이용하여 도로면(zero disparity)과 도로면이 아닌 부분(non-zero disparity)으로 구분하여 준다. 도로 표면이 국부적으로 평면이며, 카메라는 핀홀 카메라라고 가정하고 그림 2의 기하학적 모델을 사용할 때 Helmholtz shear 기법은 개략적으로 다음과 같다^[14,15].

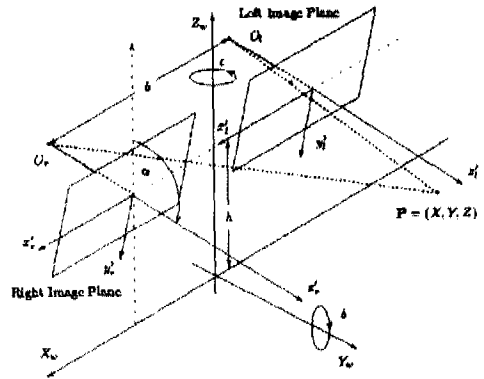


그림 2. 스테레오 카메라(pinhole camera)의 일반적인 모델

입력된 영상평면(R_1 이라 칭함)의 한 점의 위치를 나타내는 벡터를 m_1 이라고 하고, 실제 평면(Π 라 칭함)에서의 동일한 점의 벡터를 M_{Π} 라고 하면 다음의 식 (1)이 성립한다.

$$m_1 = H_{\Pi 1} M_{\Pi} \quad (1)$$

$H_{\Pi 1}$ 은 실제 평면(Π)에서 R_1 평면으로의 변환 행렬이다. 두 개의 카메라에서 얻어진 영상 사이에는 식 (2)가 성립한다.

$$m_2 = H_{12} m_1 \quad (2)$$

여기서,

$$H_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} [0 \ b/h \sin \alpha \ b/h \cos \alpha] \quad (3)$$

이다(자세한 식의 유도는 참고문헌 [14,15]를 참조). 단, b 는 카메라 사이의 거리(baseline distance), h 는 카메라의 높이, α 는 연직선에 대한 카메라의 기울어진 정도를 나타낸다.

전방 차량까지의 거리를 계산하기 위해 disparity를 계산하기 위한 방법으로는 식 (4)에서처럼 수평 방향으로 쉬프트 τ 의 normalized correlation 값을 이용한다.

$$\rho_x(\tau) = \frac{\sigma_{l,r}^2(x+\tau, x)}{\sigma_{l,l}(x+\tau, x+\tau) \sigma_{r,r}(x, x)} \quad (4)$$

여기에서,

$$\sigma_{i,j}^2(x,y) = \sum_{u=-W/2}^{+W/2} g_i(x+u)g_j(y+u)$$

이고, 식 (4)의 값을 가장 크게 하는 τ 의 값이 우리가 원하는 disparity이다. 위 식을 적용하여 구해진 disparity 값 중 0이 아닌 값은 도로면이 아닌 부분(즉, 장애물이 있는 부분)에서만 나타나므로 이 값들만을 추출하여 residual disparity(Δx) map을 구성하게 된다.

III. 제안한 전방 장애물 검출 방법

다음에서는 계산량 감소를 위해서 residual disparity map의 영역을 제한(3.1절)하고, 제한된 영역의 히스토그램 분석을 통하여 전방 차량을 검출하는 방법(3.2절)에 관하여 기술한다.

1. 영역 제한

스테레오 시스템을 이용하여 얻어진 입력영상에는 검출하고자 하는 도로면 상의 물체뿐만 아니라 가로수, 표지판 등 우리의 관심 외적인 요소들이 함께 존재한다. 이들에 관한 예외적인 요소들은 알고리즘을 복잡하게 만들며 장애물의 검출 시에 오류를 발생시킬 뿐만 아니라 불필요한 영역에서의 계산을 초래한다. 그러므로, 영상처리 관심 영역을 전체 영상에서 차량이 위치한 도로면 영역만으로 한정한다면 보다 신속한 장애물의 검출이 가능하다.

카메라의 특성 중 연직선으로부터 광학축이 기울어진 각도를 알면, 입력 영상 상에서의 대략적인 지평선의 위치를 알 수 있다. 또한, 차선의 폭을 알고 있다면 그림 3의 (a)와 같이 영상 내에서 지평선의 한 점과 현재 두 차선의 위치로 이루어진 삼각형 영역을 구할 수 있으며, 이 부분 내에서만 관심의 대상을 추적하게 되어 계산량을 대폭 줄일 수 있다. 실제로는 그림 3의 (a)에 나타난 삼각형 영역을 기반으로 그 주변을 확장한 영역(b)을 관심 영역으로 정하게 되는데, 그 이유는 차선에 근접한 차량의 경우 영역 제한에 의해 중요한 에지 정보가 손실되기 때문이다. 또한, 지평선과 만나는 영역은 한 점(P_1)으로 나타나며, 그 결과 이 부분에서의 차량은 영역 제한에 의해 한 점으로만 표시되기 때문이다.

그림 3의 (a)에서 파라미터 y_{div} 와 x_{div} 을 정하는 방법은 단순한 가정에 의하여 비교적 쉽게 결정할 수 있다.

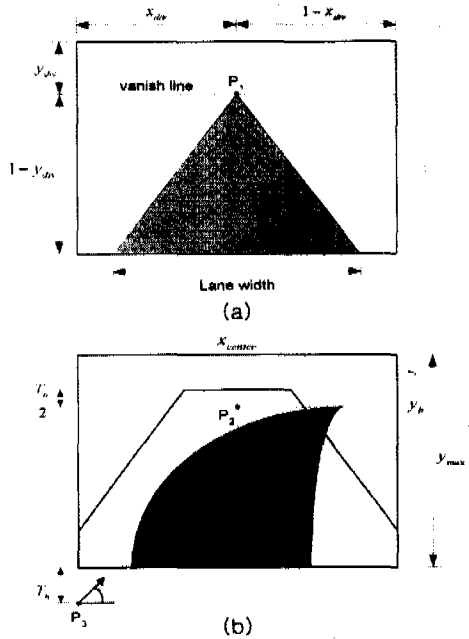


그림 3. 영역 제한 방법

파라미터 x_{div} 에 대해서는 차량이 정면으로 진행하고 있는 경우 관심의 초점이 되는 곳은 차량의 중심을 기점으로 하므로 x_{div} 은 0.5의 값으로 고정할 수 있다. 차량이 우측으로 진행하고자 한다면 오른쪽에 위치한 물체에 가중치가 주어지야 하므로 x_{div} 의 값은 0.5 이상의 값을 가져야 하며, 좌측 방향 진행의 경우에는 0.5 미만의 값을 갖는 것이 타당하다. 파라미터 y_{div} 는 영상에서의 지평선과 밀접한 관계를 가지고 있다. 지평선에서의 한 점 즉, P_1 은 도로면 상의 점이므로 residual disparity는 0이 되어,

$$\Delta x = \frac{bf \cos \alpha}{h} - \frac{bs \sin \alpha}{h} y = 0 \quad \text{으로부터}$$

다음과 같이 y_h 를 표현할 수 있다.

$$y_h = \frac{f}{\tan \alpha} \quad (5)$$

y_h 는 영상에서 수직축의 중심을 기준으로 아래 쪽은 (+)의 화소값, 위쪽은 (-)의 화소값을 갖는다. 예를 들면, 카메라의 기울어진 각도, α 가 90° 인 경우, y_h 값은 0이 되어 영상에서 수직 크기의 중앙에 위치하게 되므로, y_{div} 값은 0.5에 해당한다.

그림 3의 (b)에 나타난 확장된 검색 영역은 문턱치 T_h 를 이용하여 결정하게 되는데, 사다리꼴 영역의 좌변과 우변의 기울기는 각각 $(0, y_{max} + T_h)$ 의 점 P_3 와 (x_{center}, y_h) 의 점 P_2 가 이루는 기울기로 한다. 여기에서, y_{max} 는 영상의 y 방향의 크기를, x_{center} 는 x축 화소수의 중앙값을 의미한다. 이러한 설정은 영상에서 나타나는 도로 폭이 x축으로는 카메라의 시야각에 의존하고, y축으로는 카메라의 기울기에 의존함에 있다. 즉, 주행 중에 영상 내에서 도로면의 변화는 x축 보다 y축에 민감하게 작용한다. 따라서, 검색영역을 x축 보다 카메라의 기울기에 의존하는 지평선에 의하여 결정하였다.

알고리즘의 목적이 정확한 차선의 정보를 찾고 이를 기준으로 차량의 움직임을 제어하고자 한다면 보다 복잡하고 정확한 차선 검출 방법이 제시되어야 한다. 하지만, 본 연구에서는 차량이 진행하는 전방에서의 장애물 검출이 목적이므로 도로면상에 그려진 차선의 정보는 크게 고려하지 않고 차량의 진행시 위험을 발생시키지 않는 부분을 제거함으로써 계산량을 크게 줄일 수 있다.

2. 전방 장애물 검출 방법

Residual disparity map을 사용하면 도로면상의 차선 표시와 도로면 위의 장애물을 구분할 수 있다. 즉, residual disparity가 0이 아닌 점들은 도로면 위쪽의 장애물을 나타낸다. 실제로는 이 점들이 Sobel 연산자에 의해 물체의 외곽 부분만을 나타내므로 residual disparity의 각 점들에 대하여 각각 x축, y축으로 projection을 수행하여 이때 얻어진 히스토그램의 결과에 의해 차량으로 생각되는 장애물을 쉽게 결정할 수 있다. 이는 수직 연산자에 의해서는 차량의 좌·우 에지, 수평 연산자에 의해서는 차량의 전장과 범퍼 부분에서 많은 에지 성분이 발생된다는 점에 기인한다. 기본 아이디어는 그림 4에서처럼 x축에 나타난 히스토그램의 최대값, max_{x_1} 를 갖는 위치 x_1 과 이 위치에서 최소 15화소 이상 떨어진 나머지 영역에서 발생하는 히스토그램의 최대값, max_{x_2} 를 가지는 위치 x_2 를 이용하여 장애

물의 수직 방향에서의 양쪽 에지를 결정한다. y축에 대해서도 같은 방법을 적용하여 히스토그램의 최대값을 갖는 위치, y_1 과 y_2 를 결정할 수 있다. 따라서, x_1 과 x_2 , y_1 과 y_2 로 형성되어지는 사각형이 검출된 차량을 표현하며, 따라서 검출된 차량은 사각형의 형태로 정의하게 된다.

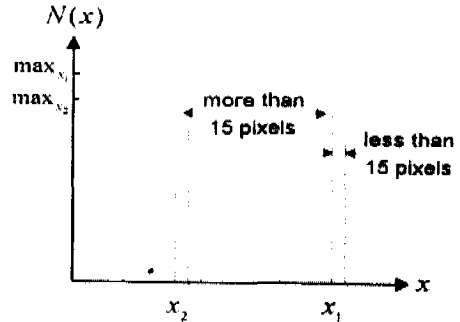
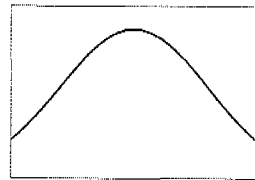
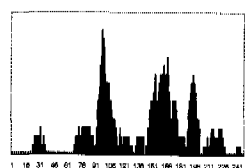
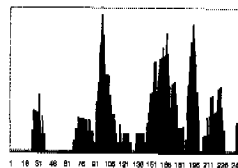


그림 4. 최대값 설정

그림 3의 (b)에서처럼 확장된 영역을 사용할 경우 전방 차선의 장애물뿐만 아니라 이웃하는 차선의 차량, 혹은 도로면의 표지판 등이 포함될 수 있다. 이러한 점을 개선하기 위하여, x_1 , x_2 결정시 히스토그램 분포에 가우시안 함수(Gaussian function)를 적용하여 전방의 중심에 기중치를 주었다. 그림 5는 가우시안 함수 적용 전(b)과 적용 후(c)의 히스토그램 분포를 나타낸다.



(a) Gaussian function



(b) 함수 적용 전

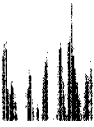
(c) 함수 적용 후

그림 5. 가우시안 함수의 적용

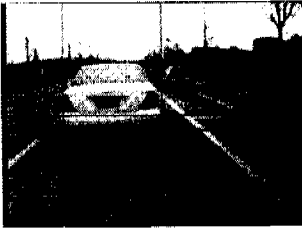
1) 실제 사용된 카메라의 해상도에 따라 달라질 수 있다.

그림 6은 위에 기술한 알고리즘을 적용하여 전방 차량을 검출한 한 예를 나타내고 있다.

(그림 1의 object extension 부분).



(a) 히스토그램 분포



(b) 검출 결과

그림 6. 히스토그램 분포를 이용한 전방 차량 검출

위에 기술한 알고리즘은 장애물의 y 축 방향으로의 길이를 결정할 때 실제 장애물의 크기보다 작게 선택되어진다. 이것은 도로면상의 차선 부분과 장애물을 판별하기 위해서 residual disparity 값이 0인 경우와 그렇지 않은 경우로 구분하지만 실제 적용에서는 오차를 고려하여야 하므로 문턱치를 사용하기 때문이다. 장애물을 검출하는 기준이 residual disparity $\neq 0$ 인 점이 아니라 residual disparity $> Th_{obj}$ 을 사용하므로(본 논문에서도 Th_{obj} 값을 non-zero disparity map인 경우 10 이상, zero disparity map인 경우 2 이하를 적용하였다) 장애물의 하단 부분이 제거될 수 있다. 따라서, 이러한 문제점을 방지하기 위하여 그림 7에서 보여지는 바와 같이 히스토그램 분포에 의하여 검출된 장애물 결과에 관하여 y 축의 (+)방향으로 확장을 시도한다

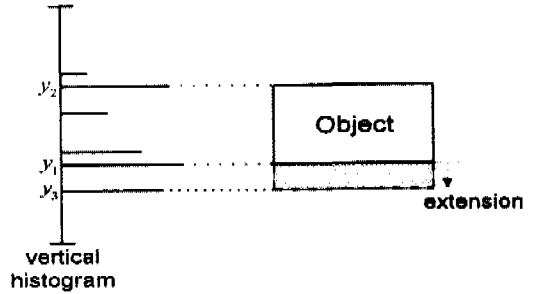


그림 7. 장애물의 확장

검출된 장애물의 하한선(y_1)에서 y 축 (+) 방향으로 10화소 이내에 히스토그램 분포 y_1 의 80%에 해당하는 값(y_3)을 가지고 있으면 장애물의 크기를 확장하였다. 검출된 장애물에서의 하한선은 거리를 계산할 때 중요한 기준이 되므로 이 값에 대해서만 확장을 시도한다. 적용되는 화소수와 크기는 카메라 파라미터에 의해 변화될 수 있으며, 위의 값은 실험에 의하여 결정하였다.

IV. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 한 대의 자동차를 장애물로 하여 각각 3m씩 변화시켜가면서 3~21m의 거리를 측정하였으며, 이때 사용한 시스템의 구성은 그림 8에, 실험에 사용된 기본 파라미터의 값은 표 1에 각각 나타내었다.

표 1. 기본적인 파라미터

| Parameters | value |
|----------------------------|------------|
| image width (x_{max}) | 320 pixels |
| image height (y_{max}) | 240 pixels |
| focal length (f) | 3.6 mm |
| dpy* | 0.012 |
| tilt angle (α) | 97° |
| baseline distance (b) | 50 cm |
| camera height (h) | 128 cm |
| lane width | 160 pixels |

* frame grabber의 해상도

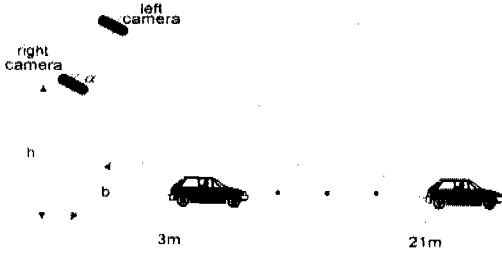


그림 8. 시스템의 구성

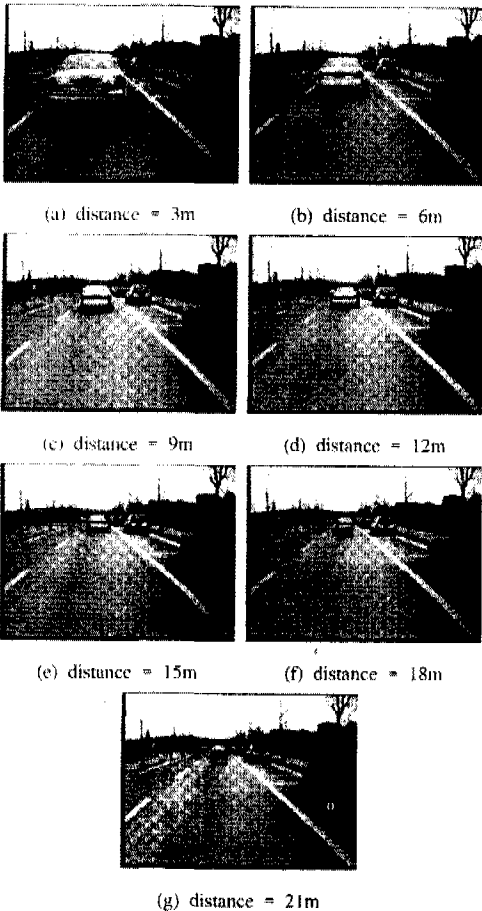


그림 9. 결과 영상

그림 9는 3절에서 제안된 전방 차량 검출 방법을 실제 영상에 적용한 결과를 보여준다. 제안된 방법이 계산적으로 매우 단순하고 신속하면서도 전방 차량의 검출 성능이 우수함을 알 수 있다.

그림 1에 나타난 전체 시스템의 각 구성요소별 계산량 분석을 통하여 제안한 방법이 전체 시스템

에서 차지하는 계산량은 약 1.8%(histogram 연산 + searching peak value)로서 전체 시스템에 별다른 계산부담이 없음을 알 수 있다. 실제 시스템으로 구성하는 경우 전체 시스템이 처리할 수 있는 클럭 스피드에 따른 최대 처리 가능 프레임 수는 30MHz, 100MHz에서 각각 20.23프레임, 67.4프레임이다.

그림 10은 제안된 전방 차량 검출 방법이 적용된 전체 시스템의 결과를 보여준다. 본 실험에서 사용된 카메라는 가정의 비디오폰 등에서 사용되는 화질이 좋지 않은 저가의 카메라로서 화면의 중심에서 멀어질수록 왜곡이 커져서 물체가 휘어 보이게 된다. 이러한 카메라의 왜곡이 가까운 거리에서의 오차의 원인이며 원거리에서 발생하는 오차는 좌·우 영상의 disparity가 측정할만한 충분한 해상도를 갖지 못하기 때문이다. 그림 10으로부터 21m 내에 위치한 전방 장애물에 대해 약 1.5m내의 검출 오차(7.14%)로 거리 검출이 가능함을 알 수 있으며, 이는 기존 방법^[7]에서 발표된 15m내외에서의 20% 오차(3m)를 약 1/3로 크게 줄인 결과이다.

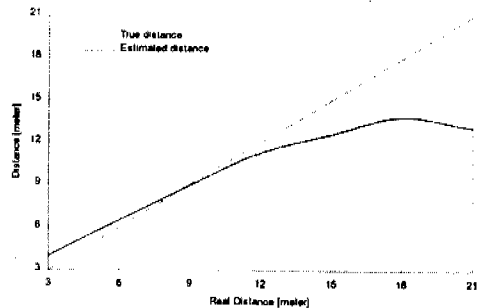


그림 10. 결과 그래프

V. 결론

본 연구에서는 주행중인 차량의 전방에 위치한 차량을 검출하는 효율적인 알고리즘을 제시하였다. Helmholtz shear를 적용하여 도로면의 물체와 지표면 위의 물체를 효과적으로 분리하였고, Helmholtz shear의 결과로 나타나는 residual disparity map에 단순한 영역제한 방법과 함께 히스토그램 분석을 통하여 차량의 형태에 상관없는 검출이 가능함을 보였다. 제안한 방법의 기여도는 정확한 전방차량 검출 성능을 보이면서 계산이 매우 단순하고 신속

하다는 점에 있다.

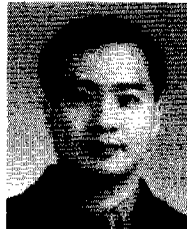
참고문헌

[1] H.v. Helmholtz, *Treatise on Physiological Optics*, volume 1-3, Dover, NY, 1925.
 [2] W. E. L. Grimson, *From Images To Surfaces: A Computational Study of the Human Early Vision System*, MIT Press, Cambridge, 1981.
 [3] S. T. Barnard, W. B. Thompson, "Disparity Analysis of Images," *IEEE Transactions on Pattern Recognition and Machine Intelligence*, vol. 2, no. 4, pp. 333-340, July, 1980
 [4] H. P. Moravec, "Towards Automatic Visual Obstacle Avoidance," *Proceedings of the 5th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, August, 1977.
 [5] N. Ayache, B. Faverjon, "Efficient Registration of Stereo Images By Matching Graph Descriptions of Edge Segments," *International Joint Conference on Computer Vision*, pp 107-131, 1987.
 [6] R. A. Jarvis, "A Perspective on Range Finding Techniques for Computer Vision," *IEEE Transactions on Pattern Recognition and Machine Intelligence*, vol. 5, no. 2, pp. 122-139, March, 1983.
 [7] Charles E. Thorpe (ed.), *Vision and Navigation: The Carnegie Mellon Navlab*, Kluwer Academic Pub. Co.
 [8] M. Shiohara, M. Konoshima, E. Segawa, "Real Time Stereo Vision System for Range Finding Between Vehicles"
 [9] Massimo Bertozzi and Alberto Broggi, "GOLD: a Parallel Real-Time Stereo Vision System for Generic Obstacle and Lane Detection," *IEEE Trans. on Image Processing*, 1997
 [10] Massimo Bertozzi, Alberto Broggi, and Alessandra Fascioli, "A Stereo Vision System for Real-Time Automotive Obstacle Detection," *Proceedings ICIP*, Lausanne, CH, Sep., 1996.
 [11] Massimo Bertozzi, Alberto Broggi, and Alessandra Fascioli, "Real-Time Obstacle

Detection using Stereo Vision," *Proceedings EUSIPCO-96*, Trieste, Italy, Sep., 1996.
 [12] Massimo Bertozzi, Alberto Broggi, Denis Colla, and Alessandra Fascioli, "Sensing of Automotive Environment using Stereo Vision," *Proceedings 30th ISATA*, Florence, Italy, June, 1997.
 [13] "스테레오 비전을 이용한 거리 및 물체 추적 기술 연구", 현대자동차(주), 1998년도 연구보고서
 [14] J. Weber, D. Koller, Q.-T. Luong and J. Malik, "An Integrated stereo-based approach to automatic vehicle guidance," *International Conference On Computer Vision*, Boston, June, 1995.
 [15] J. Weber, D. Koller, Q.-T. Luong and J. Malik, "New Results in stereo-based automatic vehicle guidance," Univ. of California at Berkeley.

김 정 우(Jeongwoo Kim)

정회원



1991년 2월:성균관대학교 전자공학과(공학사)
 1993년 2월:성균관대학교 전자공학과(공학석사)
 1998년 8월:성균관대학교 전자공학과(공학박사)

1996년 3월~현재:성균관대학교 부설 과학기술연구소 연구원
 <주관심 분야> 신호 및 영상 처리, 영상 압축 및 통신

손 창 훈(Changhoon Son)

정회원



1998년 2월:성균관대학교 전자공학과(공학사)
 1998년 3월~현재:성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 석사과정

<주관심 분야> 신호 및 영상 처리, 영상 압축 및 통신

이 준 호(Juneho Yi)

정회원



1985년 2월:서울대학교 전기공학
과(공학사)

1987년 8월:The Pennsylvania
State University,
Department of
Electrical Engineering
(공학석사)

1994년 8월:Purdue University, School of Electrical
Engineering(공학박사)

1989년~1994년:삼성종합기술원 연구원

1994년 9월~1995년 10월:University of California,
Riverside, 연구원

1995년 11월~1997년 2월:한국과학기술연구원 선임
연구원

1997년 3월~현재: 성균관대학교 전기전자컴퓨터 공
학부 조교수

<주관심 분야> 컴퓨터 비전, vision-based
man-machine 인터페이스

전 병 우(Byeungwoo Jeon)

정회원

한국통신학회논문지 제24권 제5호 참조

이 근 영(Keunyoung Lee)

정회원



1973년 2월:전남대학교 전기공
학과(공학사)

1975년 2월:한양대학교 전기공
학과(공학석사)

1978년 8월:한양대학교 전기공
학(공학박사)

1977년 2월~1981년 8월:광운대학교 교수

1979년 3월~1980년 2월:덴마크공대 객원교수

1987년 9월~1988년 8월:영국 러프버러대 객원교수

1995년 8월~1997년 7월:성균관대학교부설 정보통신
기술연구소 소장

1996년 8월~1998년 1월:성균관대학교부설 정보통신
대학원 원장

1998년 3월~1999년 2월:성균관대학교 전기전자컴퓨터
공학부장

1981년 9월~현재:성균관대학교 전기전자컴퓨터공학
부 교수

<주관심 분야> 디지털 방송, 멀티미디어, 영상 및
문서인식, 압축, 마이크로프로세서
응용, 디지털 전력제어 시스템