

논문 2006-43SC-3-2

# 기하학적 해석을 이용한 비전 기반의 장애물 검출

## (Vision-based Obstacle Detection using Geometric Analysis)

이종실\*, 이응혁\*\*, 김인영\*, 김선일\*

(Jong Shill Lee, Eung Hyuk Lee, In Young Kim, and Sun I. Kim)

### 요약

이동 로봇의 많은 응용분야에서 장애물을 검출하는 것은 중요한 요소이다. 스테레오 비전과 광류를 이용하여 장애물을 검출하는 방법은 복잡한 연산을 요구하므로 본 논문에서는 단지 두 장면의 영상만을 이용하여 비전 기반 장애물 검출 방법을 제시하고 단일 카메라와 주행거리계를 사용하여 실시간 처리가 가능하도록 하였다. 제안한 방법은 두 장면으로부터 3차원 복원을 수행함으로써 장애물을 검출하는 방법으로 먼저 두 장면의 입력영상 각각에 대하여 Lowe의 SIFT를 사용하여 특징점을 추출하고 이들 간의 대응점을 구한다. 그리고 주행거리계로부터 주어지는 회전과 병진행렬 값들과 삼각법을 이용하여 대응점들에 대한 3차원 위치를 구한다. 이렇게 삼각법에 의해 얻어진 결과는 장애물들에 대한 부분적인 3차원 복원을 의미한다. 제안한 방법은 실내에서 주행하는 이동 로봇에 적용하였을 때 좋은 결과를 얻을 수 있었으며, 75msec의 속도로 장애물을 검출할 수 있었다.

### Abstract

Obstacle detection is an important task for many mobile robot applications. The methods using stereo vision and optical flow are computationally expensive. Therefore, this paper presents a vision-based obstacle detection method using only two view images. The method uses a single passive camera and odometry, performs in real-time. The proposed method is an obstacle detection method using 3D reconstruction from two views. Processing begins with feature extraction for each input image using Dr. Lowe's SIFT(Scale Invariant Feature Transform) and establish the correspondence of features across input images. Using extrinsic camera rotation and translation matrix which is provided by odometry, we could calculate the 3D position of these corresponding points by triangulation. The results of triangulation are partial 3D reconstruction for obstacles. The proposed method has been tested successfully on an indoor mobile robot and is able to detect obstacles at 75msec.

**Keywords :** obstacle detection, triangulation, SIFT, robot, 3D reconstruction

### I. 서론

장애물 검출은 로봇의 자율 주행에 있어 지도 작성, 위치 추정과 더불어 중요한 요소이다. 대부분의 이동로봇은 장애물 검출을 위해 센서로부터의 거리 데이터에

의존한다. 이러한 거리 기반 장애물 검출 시스템에 사용되는 센서로는 초음파 센서<sup>[1][2]</sup>, 회귀 신호 강도 센서(return signal intensity sensors)<sup>[2]</sup>, 레이저 레인지파인더<sup>[3][4]</sup> 그리고 비전센서가 있다<sup>[5]-[11]</sup>.

초음파 센서는 간단하면서도 가격이 낮으므로 많이 사용되고 있다. 그러나 초음파는 흡수(absorption) 특성으로 인하여 물체를 검출하지 못할 수 있으며, 방향성이 좋지 않으며, 혼선, 반사 또는 주위 잡음 등으로 인하여 잘못된 거리 정보를 제공한다. 또한 작은 높이의 장애물은 검출할 수 없는 단점을 가지고 있다. 회귀 신호 강도 센서는 물체의 표면으로부터 반사되는 신호의 에너지의 크기를 이용하는 것이다. 이 또한 초음파와

\* 정희원, 한양대학교 의공학교실  
(Dept. of Biomedical Engineering, Hanyang University)

\*\* 정희원, 한국산업기술대학교 전자공학과  
(Dept. of Electronic Engineering, Korea Polytechnic University)

※ 본 연구는 산업자원부 산하 "핵심기술개발사업"의 지원을 받아 수행되었음.

접수일자: 2005년12월20일, 수정완료일: 2006년5월4일

같이 간단하며, 저가격이나 저해상도, 큰 오차 그리고 제한된 조건에서의 사용으로 인하여 많이 이용되고 있지 않다. 레이저 레인지파인더는 직접적으로 3차원 정보를 제공한다. 그러나 비전 센서와 비교하여 가격, 소비전력, 복잡도 면에서 단점을 가지고 있다.

비전 센서를 이용한 컴퓨터 비전 기술은 3차원 정보를 제공할 수 있지만 레인지파인더와 다르게 얻어진 영상 정보를 가공하여야 하는 단점을 가지고 있다. 장애물을 검출하는데 있어 비전 센서의 장점은 정교하면서 조밀한 범위의 정보를 얻을 수 있으며 수동 센서이므로 저전력이며 측정되는 범위가 넓다. 또한 경로 검출, 경로 추종, 그리고 로봇의 위치 추정 등과 같은 로봇의 주행 기술에 응용이 가능하다. 이 특성이 장애물을 검출하는 데 비전 센서를 이용하는 주요 이유이다.

비전센서를 이용하여 3차원 정보를 얻는 기술로는 광류(optical flow), 스테레오 비전, SFM(structure from motion)으로 나누어진다. 광류를 이용하는 방법은 과도한 계산과정이 요구된다. 스테레오 비전의 가장 어려운 점은 다른 영상들에서 3차원 상에서의 동일한 점의 사영된 화소의 대응을 구하는 것이다. 이러한 문제점을 해결하고 정확한 결과를 얻기 위해 SFM이 이용되나 많은 연산량이 요구되는 단점을 가지고 있다. 스테레오 비전을 이용하는 방법은 3차원 정보를 얻기 위해 단지 영상 두 개를 분석한다. 이 방법은 두 개의 영상의 겹친 영역에 대해서만 거리 정보를 얻을 수 있으며 정확한 결과를 얻기 위해서는 정교한 카메라 캘리브레이션이 요구된다<sup>[8]</sup>. 두 개의 스테레오 카메라 사이의 최적의 거리는 측정 범위에 따라 달라진다. 로봇의 자율 주행에 필요한 넓은 측정 범위를 고려할 때, 모든 측정영역에서 좋은 결과를 얻을 수 있는 고정된 카메라 배치를 구한다는 것은 불가능하다. 두 카메라로부터 획득된 영상에서 대칭하는 일치점들을 결정하는데 있어서의 오차는 3차원에서의 실제 거리를 계산하는데 큰 오차를 발생시킨다.

이러한 이유로 SFM이 스테레오 비전보다 더 좋은 결과를 얻을 수 있으나, SFM은 이러한 오차를 줄이기 위해서는 연속적으로 얻어진 영상에서 검출된 많은 대응점들을 가지고 복잡한 연산을 수행해야만 한다.

3차원 비전 기술을 기반으로 한 다양한 장애물 검출 방법들이 제안되어 왔다. 비전에 기반한 장애물 검출 방법들을 두 가지로 분류하면, 하나는 모션 변위(motion parallax)<sup>[12]-[16]</sup>, 사영 불변(projective invariant)<sup>[17][18]</sup>, 깊이 정보<sup>[19]-[21]</sup>와 같은 기하학적 특성의 차이에 기반하여

지면으로부터 장애물을 검출하는 방법이 제안되었으며, 또 다른 방법으로는 미리 학습된 2차원의 영상 패턴에 기반하여 알려진 장애물을 검출하는 방법<sup>[22, 23]</sup>이 있다. 실세계에서 작업을 수행하는 이동 로봇에 있어서 깊이나 2차원 영상 패턴과 같은 시각적 정보는 응용분야에 맞게 적절하게 선택되어야 한다. 본 논문에서는 로봇이 주행하는데 있어 장애물의 형태가 다양하기 때문에 영상패턴에 기반한 학습 방법을 사용하지 않고 두 영상간의 움직임 정보를 이용하였다.

본 논문에서는 단일 카메라에 의해 얻어진 두 개의 영상을 이용하여 기하학적 해석을 통하여 거리 정보를 얻어 장애물을 검출하는 방법을 제안하였다. SFM과 같이 연속적으로 얻어진 영상 전체를 대상으로 하지 않고 일상생활에서 로봇의 주행 형태는 대부분 앞으로 전진하는 형태이므로 직선 주행을 하는 동안 얻어진 두 개의 영상만을 이용하여 장애물을 검출하였다. 먼저 두 영상에 대해 대응점들을 구하고 이 대응점들과 미리 알고 있는 카메라의 내부 파라미터, 주행 거리계(odometry)로부터 받은 이동 거리 정보를 이용하여, 기하학적 해석을 통하여 거리 정보를 얻어냄으로서 장애물을 검출하였다.

## II. 기하학적 해석을 통한 거리 정보

제안한 방법은 그림 1에 도시한 것과 같이 장애물을 검출하기 위해서 먼저 회전이 포함되지 않고 직선이동을 하는 동안 획득된 영상  $I_i, I_{i+1}$ 에 대하여 특징점들을 추출하고 두 영상간의 대응하는 특징점들  $u_i, u_{i+1}$ 을 구한다. 이러한 대응점들과  $R, t, K$ 에 대해 삼각법

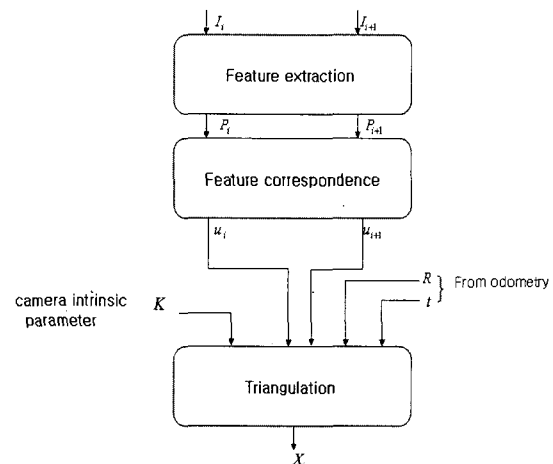


그림 1. 제안한 방법의 다이어그램  
Fig. 1. The diagram of proposed method.

을 적용하여 3차원 상의 장애물을 검출하고 장애물과의 거리를 구한다.

### 1. 특징점 추출 및 대응

두 영상간의 대응점들을 정확하게 구하기 위해서는 영상 각각에 대해 스케일, 회전, 어파인 변환 등에 불변하는 영상 특징을 선택하여야 하며 실시간 구현이 가능해야 한다.

따라서 본 논문에서는 이러한 특성을 갖는 Lowe의 SIFT 키포인트를 특징점으로 이용하였다<sup>[28]</sup>. SIFT 알고리즘은 다음의 4단계로 요약될 수 있다.

(1) 스케일-스페이스 피크 선택 : 가우시안 차분을 이용하여 모든 스케일과 영상 위치에 대해 수행하고 스케일과 방향에 대해 불변할 가능성이 있는 후보점(candidate points)들을 구한다.

(2) 키포인트 위치 추정 : 단계 1에서 구한 점들을 위치와 스케일, 명암에 대해 안정도를 판단하여 키포인트들을 구한다.

(3) 방위 지정(orientation assignment) : 각 키포인트 위치에 국부 영상 특성에 준하여 방위를 구한다.

(4) 키포인트 서술자(descriptor) : 각 키포인트 주위의 국부 영역에서 국부 영상 변화를 구한다.

먼저 스케일 공간(scale space)에서 가우시안 차분을 계산한 후, 이웃한 8개의 픽셀들과 이웃한 두 스케일에서 극대와 극소가 되는 픽셀을 찾는다. 이러한 극대 또는 극소가 되는 픽셀들이 바로 스케일 불변 특징점이 된다. 가우시안 차분을 이용하여 모든 스케일과 영상 위치에 대해 수행하여 스케일과 방향에 대해 불변할 가능성이 있는 관심 점들을 구하는 과정이다.

한 영상의 스케일 스페이스  $L_s(x, y, \sigma)$ 는 식 1과 같이 표시된다. 즉 입력 영상  $I(x, y)$ 와 가우시안 함수  $G(x, y, \sigma)$ 의 컨볼루션으로 표시 된다.

$$L_s(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y) \quad (1)$$

가우시안 차분 방법은 영상과 컨볼루션된 가우시안 함수들의 차분에서의 극점들을 이용하여 특징점들의 안정적인 위치를 효율적으로 검출하는 방법이다. 가우시안 차분은 식 2을 이용하여 구한다.

$$D(x, y, \sigma) = (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)) * I(x, y) \quad (2) \\ = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma)$$

여기에서 상수  $k$ 는 보통  $\sqrt{2}$ 의 승수를 사용한다.

구해진 각 키포인트 위치에 국부 영상 특성에 준하여 방위를 지정한다. 각 키포인트 위치 주변의 국부 영상  $(L_{x,y})$ 에 대해 식 3과 식 4을 이용하여 크기( $m$ )와 방위( $\theta$ )를 구한다.

$$m = \sqrt{(L_{x+1,y} - L_{x-1,y})^2 + (L_{x,y+1} - L_{x,y-1})^2} \quad (3)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{L_{x,y+1} - L_{x,y-1}}{L_{x+1,y} - L_{x-1,y}} \right) \quad (4)$$

스케일 불변 특징점 검출 방법에 의해 검출된 특징점들은 서로 구분되어야 한다. 이와 같이 특징점들을 구분 짓는 벡터를 기술자 벡터라고 한다. 검출된 특징점의 주변 영역에서 각각의 픽셀들의 영상 기울기 방위를 계산하고, 이들 방위에 대해 36개의 각도로 양자화하여 가장 빈도수가 높은 각도를 특징점의 기준 방위로 한다. 주변 영역 픽셀들의 방위에서 기준 방위를 뺀 새로운 방위는 영상의 회전 변환에 불변인 기준 방위(canonical orientation)가 된다. 얻어진 기준 방위를 8개의 각도로 양자화하여  $2 \times 2$  영상 영역에 대해 총  $2 \times 2$ 의 방위 히스토그램을 만들어 특징점에 대한 기술자(descriptor)를 생성하게 된다.  $2 \times 2$  영역에서 8개의 방향에 대해 방위 히스토그램을 만든다. 결과적으로 얻어지는 8개의 각도에 대한 히스토그램은 특징점의 특징벡터가 된다.

본 논문에서는  $4 \times 4$  영역에 대해 8개의 각도로 양자화 된 히스토그램을 사용하였으며, 각각의 특징점마다 128차원의 특징 벡터로 구성하였다.

그림 2는 SIFT를 이용한 특징점 추출과 128 차원의 기술자를 이용한 두 영상간의 대응점들을 보여주고 있다.

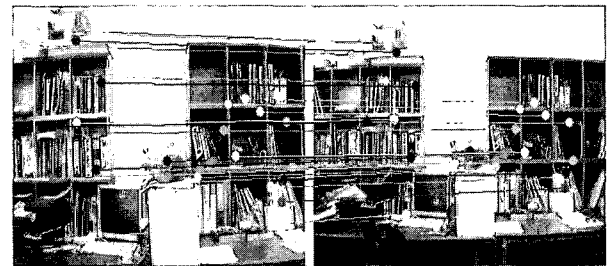


그림 2. 두 장면의 특징점 추출과 점 대응  
Fig. 2. Features extraction and point correspondences in the two views.

2. 움직임 정보를 이용한 기하학적 해석

3차원 상의 점( $X$ )의 카메라 영상으로의 사영 변환된 점들( $u_1, u_2$ ) 각각은 식 5와 같이 주어진다<sup>[24][25]</sup>.

$$u_1 \simeq P_1 X, \quad u_2 \simeq P_2 X \tag{5}$$

식에서 등식( $\simeq$ )은 비례함을 의미하며,  $X$ 는 3차원 상의 점,  $u_1, u_2$ 는 2차원 평면에 사영된 점을 의미한다. 그리고  $P_1, P_2$ 는 사영행렬(projective matrix)이라고 한다.

그림 3에서와 같이 카메라의 외부변수(extrinsic parameters)  $R, t$ 를 적용하여 식 5를 다시 쓰면 식 6과 같다.

$$\begin{aligned} u_1 &\simeq P_1 X = [K_1 | 0] X \\ u_2 &\simeq P_2 X = [K_2 R \mid -K_2 R t] X \end{aligned} \tag{6}$$

$K_1, K_2$ 는 카메라의 내부 파라미터에 대한 행렬이며,  $R, t$ 는 카메라의 외부 변수이며 유클리드 변환 행렬로  $R$ 은 회전형렬(rotation matrix),  $t$ 는 병진 행렬(translation matrix)이다.

회전 행렬은 임의의 회전을 Z축 중심의 회전(roll)  $\phi$ , Y축 중심의 회전(pitch)  $\theta$ , X축 중심의 회전(yaw)  $\psi$ 로 식 7과 같이 표시할 수 있다<sup>[29]</sup>.

$$\begin{aligned} R &= R(Z, \phi) R(Y, \theta) R(X, \psi) \\ &= \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi & 0 \\ \sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi & -\sin \psi \\ 0 & \sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{7}$$

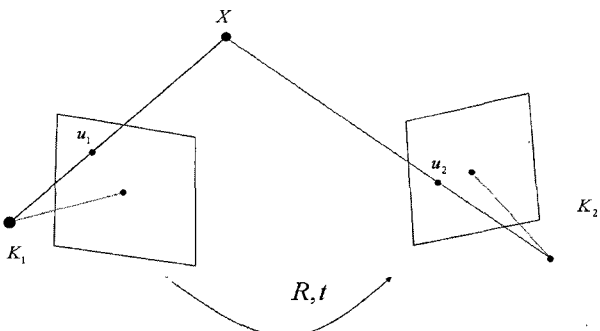


그림 3. 두 카메라 간의 유클리드 변환  $R, t$ 가 주어질 때 3차원 상의 점  $X$ 의 2차원 평면 상의로의 사영  $u_1, u_2$

Fig. 3. Two projections  $u_1, u_2$  of a 3-D point  $X$  as the euclidean transformation between the two cameras is given by  $R, t$ .

카메라가 부착된 로봇이 편평한 바닥을 직선 주행하는 경우  $\phi$ 와  $\psi$ 가 0이므로  $R = R(Y, \theta)$ 로 하였으며 병진 행렬은  $t = [t_x, t_y, t_z]^T$ 이며 편평한 바닥을 주행한다고 가정하면  $t = [t_x, 0, t_z]^T$ 가 된다.

식 5를 조합하여  $AX = 0$ 의 형태로 만들 수 있다<sup>[25]</sup>.  $(p_j^i)^T$ 는 사영행렬  $P_j$ 의  $i$ 번째 행(row)이라 하면 식 8과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} u_1 &= \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} \simeq P_1 X = \begin{bmatrix} (p_1^1)^T \\ (p_1^2)^T \\ (p_1^3)^T \end{bmatrix} X \\ u_2 &= \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{bmatrix} \simeq P_2 X = \begin{bmatrix} (p_2^1)^T \\ (p_2^2)^T \\ (p_2^3)^T \end{bmatrix} X \end{aligned} \tag{8}$$

$X$ 도  $u_1, u_2$ 와 같이 마지막에 1인 행렬로 표시하면  $X = [X \ Y \ Z \ 1]^T$ 이다.

비례식을 이용하여  $AX = 0$ 의 형태로 정리하면 식 9를 얻을 수 있다.

$$AX = \begin{bmatrix} x_1(p_1^3)^T - (p_1^1)^T \\ y_1(p_1^3)^T - (p_1^2)^T \\ x_2(p_2^3)^T - (p_2^1)^T \\ y_2(p_2^3)^T - (p_2^2)^T \end{bmatrix} X = 0 \tag{9}$$

SVD를 이용하여  $A$ 를 표시하면  $A = UDV^T$ 가 된다.  $X$  스칼라 스케일링된 해는 가장 적은 고유치(eigenvalue)를 갖는  $A^T A$ 의 고유벡터(eigenvector)로  $V$ 의 마지막 열의 값이 된다<sup>[26]</sup>.  $X$ 의 마지막 값이 1이므로 고유벡터의 마지막 값으로 나눔으로써 3차원 거리 정보를 구할 수 있다<sup>[26, 27]</sup>.

III. 실험

실험환경은 Evolution Robotics사의 ER1에 펜티엄 1.5GHz 노트북을 탑재하여 실내를 대상으로 실험을 수행하였으며, 일반적인 USB카메라를 ER1에 부착하여 사용하였다. USB 카메라의 내부 파라미터( $K$ )는 Intel사의 OpenCV 라이브러리를 활용하여 구하였으며, 실험에 사용한 영상은 320×240 그레이 레벨 영상을 이용하

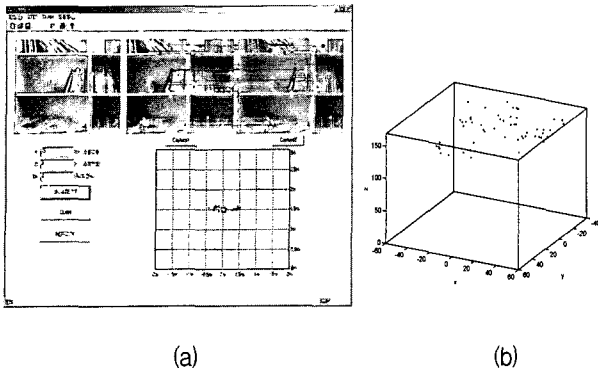


그림 4. 벽면으로부터 일정한 거리(150cm)를 유지하면서 좌에서 우로 이동 한 경우의 실험 결과, (a) 두 개의 입력 영상과 거리 정보, (b) 대응점들의 3차원 구조  
 Fig. 4. Experimental result in case of moving from left to right with constant distance(150cm) against the wall, (a) two-view images and depth information, (b) 3D structure of corresponding points.

였다.

장애물을 검출하고자 하는 임의의 한 위치에서와 일정한 직선 주행 후의 위치에서의 영상을 이용하였으며 로봇이 이동하는 바닥면은 편평하다는 가정하에 실험을 수행하였으므로 Z축 중심의 회전(roll)  $\phi$ , Y축 중심의 회전(pitch)  $\theta$ , X축 중심의 회전(yaw)  $\psi$ 에 대해  $\phi$ 와  $\psi$ 를 0으로 고정하였으며 주행거리계(odometry)로부터 0도에 가까운 Y축 중심의 회전각  $\theta$ 와 직선 주행거리 값( $t_x$ , 또는  $t_z$ )을 받아 삼각법을 이용하여 획득된 영상의 거리 정보를 구하였다.

그림 4는 실내에서 가장 많이 존재하는 벽면을 장애물로 인식하는 실험을 보여주고 있다. 특히 벽면을 기준으로 특징점을 검출하고 이를 이용하여 장애물과의 거리를 판단함으로써 추후에 이 결과들을 연속적인 스티칭(모자이크) 과정을 거쳐 실내의 전체에 대한 지도 작성과 이를 이용하여 로봇의 위치 추정에 사용될 수 있음을 알 수 있다. 그림 4의 실험은 로봇에 부착된 카메라를 벽면을 향하고 벽면과의 거리는 150cm으로 하였다.

기준점(임의 위치)에서의 영상과 우에서 좌로 15cm 직선 이동 후의 영상간의 대응점들을 구하고 대응점들을 이용하여 3차원 상의 좌표를 구할 수 있으며 이를 Matlab을 이용하여 도시하면 그림 4의 (b)와 같다. 그림 4의 (b)에서 x, y좌표가 (0,0)인 점이 현재 카메라의 위치이며 z 축은 카메라의 CCD 소자를 포함하는 연장의 평면으로부터 점과의 거리를 의미한다. 즉 z축의 값

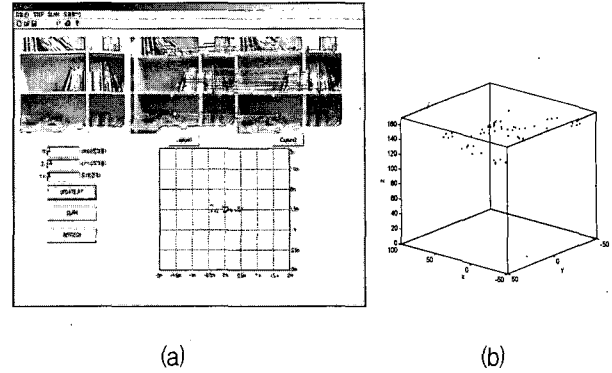


그림 5. 벽면으로부터 일정한 거리(150cm)를 유지하면서 벽면을 향해 전진하는 경우 실험 결과, (a) 두 개의 입력 영상과 거리 정보, (b) 대응점들의 3차원 구조  
 Fig. 5. Experimental result in case of moving forward to the wall with constant distance(150cm), (a) two-view images and depth information, (b) 3D structure of corresponding points.

이 장애물의 거리 정보를 의미한다. 그림 4의 (a)는 왼쪽 상단의 첫 번째 그림은 USB카메라를 통해 연속하여 입력되는 영상이며 옆의 두 영상은 15cm이동 전과 후의 영상을 보여주고 있으며 또한 서로 간의 대응점을 보여주고 있다. 그리고 결과 그림으로서 가로축은 x 축을 의미하며 세로축은 거리를 의미하는 z축을 의미한다.

실험 결과 벽과의 평균거리는 151.5cm이며 표준편차는  $\pm 4.42\text{cm}$ 를 얻을 수 있었다.

그림 5는 벽면을 향해 전진하는 경우를 보여주고 있다. 기준점(임의 위치)에서의 영상과 벽면과 수직으로 15cm 진행한 후의 영상간의 대응점들을 구하고 대응점들을 이용하여 3차원 상의 구조와 거리 정보를 보여주고 있다. 실험 결과 벽과의 평균거리는 151cm이며 표준편차는  $\pm 6\text{cm}$ 를 얻을 수 있었다.

일반적으로 실내에서 로봇이 직선 주행을 할 경우 벽면에 대해 일정한 각도를 가지고 이동한다고 할 수 있다. 이러한 경우를 실험을 통해 알아보면 그림 6과 같다. 그림 6은 로봇에 장착된 카메라가 벽면과 30도 각도로 기울어져 전진하는 경우를 보여주고 있다. 실험 결과 기울어진 각도에 대해 잘 반영을 하고 있으며 도시된 거리 정보 데이터에 대하여 MATLAB의 polyfit 함수<sup>[30]</sup>를 이용하여 회귀식의 기울기를 구하면 0.62를 얻을 수 있었으며 각도로 변환하면 32도의 결과를 얻었다. 전반적으로 각도 오차에 대해서는  $\pm 3$ 도 범위를 얻을 수 있었다.

그림 7은 실내에서 의자와 같은 장애물이 존재하는

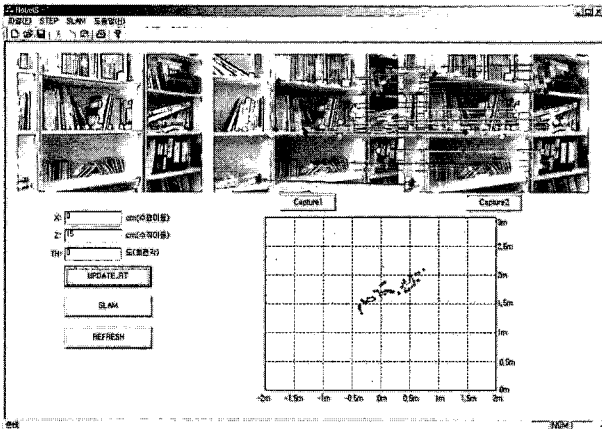


그림 6. 벽면과 일정한 각(30도)을 유지하면서 전진하는 경우 실험 결과

Fig. 6. Experimental result in case of moving forward with constant angle(30 degrees) against the wall plane.

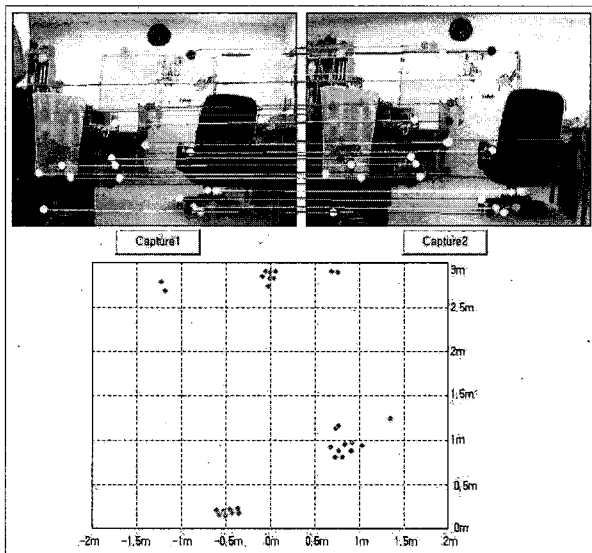


그림 7. 장애물 검출 결과

Fig. 7. Result of obstacle detection.

경우에 대한 실험으로 본 논문에서 제안한 방법이 장애물에 대한 정보를 제공함을 알 수 있다. 그러나 결과에서 볼 수 있듯이 의자의 윗부분과 같이 특징점으로 사용할 특징이 존재하지 않는 경우에는 장애물로 인식하기 어렵기 때문에 이런 경우에는 다른 센서와의 퓨전이 필요함을 알 수 있다.

끝으로 실행하는데 소요된 시간을 알아보면 표 1과 같다. 가우시안 차분을 이용하여 특징점을 추출하는데 40msec, 두 영상간의 대응점을 구하는 데는 특징점의 개수에 따라 다르나 한 영상에서 100개에서 500개 정도로 검출되도록 하였을 경우 30msec가 소요되었으며 삼각법을 이용하여 깊이 정보를 얻는 데는 5msec가 소

표 1. 각 부분별 계산상 복잡도(시간)

Table 1. Computational complexity(time) for each task.

task	time
feature extraction	40msec
feature correspondence	30msec
triangulation	5msec

요되었다.

#### IV. 결 론

비전센서 기반의 장애물 검출을 위해 단일 카메라를 사용하였으며 계산상의 복잡도를 줄이기 위해 SFM을 사용하지 않고 직선 주행을 수행하는 동안 얻어진 두 개의 영상만을 이용하였다. 두 개의 영상만을 이용하여 스케일 불변 특징을 갖는 대응점을 구하고 이 대응점들을 이용하여 거리정보를 얻을 수 있었다.

본 논문에서 제안한 장애물 검출 방법은 특징점이 존재하는 한 고정/이동 장애물에 대해 동일하게 검출이 가능하며 로봇의 주행 기술인 경로 검출, 경로 추종, 로봇의 위치 추정에 사용될 수 있는 장점을 가지고 있다. 즉, 장애물을 검출하고 이때 얻어진 거리 정보를 이용하여 지도를 작성하고 이를 활용하여 위치를 추정할 수 있다. 단점으로는 장애물 검출 과정이 특징점을 기반으로 하기 때문에 장애물의 특징이 존재하지 않거나 적게 존재하는 경우 검출이 안 될 수가 있다. 따라서 초음파 등의 보조적인 센서를 이용한 센서 퓨전이 필요하다.

추후 연구 과제로는 바닥면의 미끄러짐 등으로 인한 오도메트리의 부정확성 때문에 발생하는 오류를 없애기 위하여 두 장면의 영상만을 가지고  $R, t$  값을 유추하여 거리 정보를 얻는 실험을 수행할 것이다. 또한 이렇게 하여 얻어진 3차원 정보를 이용하여 지도를 작성하고 위치를 추정하는 연구를 수행할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Crowley JL., "World Modelling and Position Estimation for a Mobile Robot using Ultrasonic Ranging," Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 1989, pp.674-680.
- [2] Everett H.R., *Sensors for Mobile Robots : Theory and Applications*, Wellesley MA, A.K. Peters, 1995.
- [3] Araki K. et al., "High speed and Continuous

- Rangefinder System," Trans IECE of Japan, Vol.E74, No.10, pp.3400-3406, 1991.
- [4] Ricotti M., Rarili A., Ceresa M., "Obstacle Avoidance using a line laser," Proc. of SPIE, Vol.2058 Mobile Robots VIII, 1993, pp.164-177.
- [5] Fujii Y, Wehe K, Weymouth T.E., "Robust Monocular Depth Perception using Pairs and Approximate Motion," Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 1992, pp.33-39.
- [6] Abdel-Mottaied M., Chellappa R., Rosenfeld A., "Binocular Motion Stereo using MAP," Proc. IEEE Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 1993, pp.321-327.
- [7] Matthies L., Elfes A., "Integration of Sonar and Stereo Range Data using a Grid-Based Representation," Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 1988, pp.727-733.
- [8] Huber J, Graefe V., "Motion Stereo for Mobile Robots," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.41, No.4, 1994, pp.378-383.
- [9] Wang H., Bowman C., Harris C., "A Parallel Implementation of a Structure-from-motion Algorithm," Proc. Second European Conference on Computer Vision, 1992, pp.272-276.
- [10] Tan T.N., Sullivan G.D., Baker K.D., "Structure from Motion using the Ground Plane Constraint," Proc. Second European Conference on Computer Vision, 1992, pp.277-281.
- [11] Ho P.K., Chung R., "Stereo-Motion that Complements Stereo and Motion Analysis," Proc. IEEE Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 1997, pp.213-218.
- [12] S. Carlsson and J.-O. Eklundh, "Object detection using model-based prediction and motion parallax," Proc. of ECCV, pp.297 - 306, 1990.
- [13] W. Enkelmann, "Obstacle detection by evaluation of optical flow fields from image sequences," Proc. of ECCV, pp.134 - 138, 1990.
- [14] P. Fornland, "Direct obstacle detection and motion from spatio-temporal derivatives," Proc. of Int. Conf. on Computer Analysis of Images and Patterns, pp.874 - 879, 1995.
- [15] T. C. H. Heng, Y. Kuno, and Y. Shirai, "Active sensor fusion for collision avoidance," Proc. of IROS, vol.3, pp.1244 - 1249, 1997.
- [16] M. I. A. Lourakis and S. C. Orphanoudakis, "Visual detection of obstacles assuming locally planar ground," Proc. of 3rd ACCV, vol.2, pp.527 - 534, 1998.
- [17] N. Pears and B. Liang, "Ground plane segmentation for mobile robot visual navigation," Proc. of IROS, 2001.
- [18] D. Sinclair and A. Blake, "Quantitative planar region detection," IJCV, vol. 18, No.1, pp.77 - 91, 1996.
- [19] M. Bertozzi and A. Broggi, "Gold: A parallel real-time stereo vision system for generic obstacle and lane detection," IEEE Trans. Image Processing, Vol.7, No.1, pp.62 - 81, 1998.
- [20] K. Hanawa and Y. Sogawa, "Development of stereo image recognition system for ADA," Proc. IEEE Intelligent Vehicle Symposium, pp.177 - 182, 2001.
- [21] H. Hattori and A. Maki, "Stereo without depth search and metric calibration," Proc. CVPR, vol.1, pp.177 - 184, 2000.
- [22] T. Kato and Y. Ninomiya, "An approach to vehicle recognition using supervised learning," Proc. of Machine Vision Applications, pp.77 - 80, 1998.
- [23] H. Takizawa and T. Ito, "Method of preceding vehicles recognition using self organization map," Technical Report of IEICE, pp.23 - 28, 2001.
- [24] O. Faugeras, Q.T. Luong, T. Papadopoulos, *The geometry of multiple images*, MIT press, 2001.
- [25] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press, 2000.
- [26] Trucco and Verri, *Introductory Techniques for 3-D Computer Vision*, Prentice Hall, 1998.
- [27] Zezhi Chen, Nick Pears, et. al, "Epipole Estimation under Pure Camera Translation", Pro. 7th Digital Image Computing, pp.849-858, 2003.
- [28] D. G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," Int. Journal of Computer Vision, 60(2), pp.91-110, 2004.
- [29] 조강현, 유범재 공역, 3차원 비전, 대영사, 2000.
- [30] H. Duane and L. Bruce, *Mastering MATLAB 6 : a comprehensive tutorial and reference*, Prentice Hall, 2001.

저 자 소 개



**이 종 실(정회원)**  
 1995년 인하대학교 전자공학과  
 공학사  
 1997년 인하대학교 전자공학과  
 공학석사  
 2005년 인하대학교 전자공학과  
 공학박사

2001년~2005년 한국산업기술대학교 겸임강사  
 2005년~현재 한양대학교 의공학교실 연구조교수  
 <주관심분야 : 로봇비전, 생체신호처리, 의료영상  
 처리, DSP 응용>

김 인 영(정회원)  
 전자공학회논문지 제 42권 SC편 제3호 참조



**이 응 혁(정회원)**  
 1985년 인하대학교 전자공학과  
 공학사  
 1987년 인하대학교 전자공학과  
 공학석사  
 1997년 인하대학교 전자공학과  
 공학박사

1987년~1992년 대우중공업(주) 주임 연구원  
 1995년~2000년 건양대학교 컴퓨터공학과 조교수  
 2000년~현재 한국산업기술대학교 전자공학과  
 부교수  
 2002년~현재 로보틱스연구조합 기술정보위원  
 <주관심분야 : 서비스로봇 제어 알고리즘, 임베디  
 드 시스템, 재활보조기기>

김 선 일(정회원)  
 전자공학회논문지 제 42권 SC편 제3호 참조