

이동 로봇에 있어서 스테레오 시각에 의한 바닥상의 장애물 감지방법에 관한 연구

조용철 이천우 조형석

한국과학기술원 생산공학과

A study on the method of obstacle detection on the floor using stereo vision for mobile robot

Yong C. Cho Cheon U. Lee Hyung S. Cho
Dept. of Production Engineering
KAIST

ABSTRACT

In order to navigate, mobile robot needs to avoid obstacles on his way. We describe a stereo vision method for detecting obstacles on the floor ground. With the knowledge of floor geometry, stereo images are transformed so that the relative views of obstacle to the floor are seen. After comparing the transformed images, obstacles information such as location and size are extracted and determined from the local disparities. Some experimental results are shown.

1. 서 론

공장 자동화(Factory Automation)에 있어서 물류 흐름의 제어를 위한 반송 시스템으로서 이동로봇에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이동 로봇은 고정궤도를 따라 움직이는 AGV(Automatically Guided Vehicle)와 자율 주행방식의 AGV 등으로 구분되며, 후자는 공장내 뿐만아니라 병원, 사무실, 더 나아가 길을 따라 움직이는 로보트(Road following Vehicle)등으로 확장 될 수 있다.

자율 주행 로봇은 작업장에 대한 Map을 지니고 주어진 목적지 까지 이동되며, 주행중 Map에 나와 있지 않는 장애물 즉, 사람이나 단순한 물체 또는 다른 이동 로봇등을 회피 할 수 있는 기능이나, 경로 이탈시 이의 위치보정을 위한 절대 위치인식 기능이 요구된다[1]. 본 연구에서는 이 중에서 장애물 감지에 주안점을 둔다. 로봇이 장애물을 회피하기 위해서는 먼저 경로상에 놓일 수 있는 3 차원적 장애물의 위치, 크기등을 파악하여 그 정보가 충돌회피 알고리즘에 이용되어야한다[2]. 이를 위해서는 장애물을 감지 할 수 있는 3 차원 측정시스템이 요구되는 바 초음파 시스템[3], Range finder[4][5], Stereo system[6][7]등이 사용되고 있다.

초음파 시스템은 그 구조가 간단하나 물체의 크기를 측정하기 위해서는 어려움이 따르며 또한 물체의 표면각에 따라 그 반사 특성이 달라 지게되는 단점이 있다. 한편, Range finder는 실시간으로 세밀한 Map 정보를 얻을 수 있으나 고가이며, Laser 광에 의한 사람의 시각장애등이 문제시 된다. 그러나, Stereo 기법은 그 구성이 간단하면서 물체에서 반사되

는 산란광을 토대로하며 세밀한 물체정보를 획득 할수 있다. 이러한 점에서 Stereo 기법에 의한 장애물 감지 방법은 많은 연구가 진행되고 있으며 향후 자율 주행 로봇에 있어서 가장 강력한 센싱 시스템으로 주목되고 있다. 그러나, Stereo로부터 삼각법(Principle of Triangulation)의해 거리 정보를 구하기 위해서는 두 영상간의 대응관계(Matching)를 해결 해야하는 난점이 있다.

장애물 감지에 요구되는 Stereo 기법은 일반적인 미지의 Scene Modeling에 쓰이는 Stereo 기법과는 달리 취급되어진다. 이는 로봇이 Map 정보를 이용한다는 측면과, 장애물은 일반적으로 바닥상에 수직으로 놓여있는 기하학적 제한조건 때문이다[8][9][10]. 그러므로 Stereo 기법도 바닥의 지형에 맞추어 수행되어짐으로써 그 감지 성능을 향상 시킬 수 있을 뿐아니라 Map 정보의 이용이나 충돌회피 알고리즘의 측면에서 효과적이다.

본 연구의 목적은 자율 주행 로봇에 있어서 바닥상의 장애물 감지를 위한 효과적인 Stereo 기법의 개발에 있으며, 연구 내용으로는 Stereo 영상의 기하학적인 고찰로부터 바닥의 지형정보를 이용한 영상들의 기하학적 변환 기법과, 변환된 영상으로부터 영상간의 Matching을 위한 알고리즘의 구현 및 실험에 있다.

2. 스테레오 시각 시스템

2.1 전체 시스템의 개요

본 실험실에서 제작한 이동 로봇은 사진 1.에서 보여진 바와 같다. 4 개의 Wheel을 지니고 그중 좌우 Wheel은 Servo motor에 의해 구동되고 전후 wheel은 종동륜이다. 현재 단계에서는 로봇의 주행을위한 위치, 속도 제어기능이 있으며, 향후 초음파 시스템과 Stereo 시각 정보로부터 장애물 감지 및 Land mark의 설정에 의한 절대위치 기능이 추가 될 것이다. 이중에서 Stereo 의한 장애물 감지는 크게 두 경우로 사료 될 수 있다. 그림 1.에서 보여 지는 바와 같이 원 거리 작업 환경인식시 주행방향에 따른 전방의 Scene 인식과, 비교적 근거리에 놓이는 바닥상의 장애물 감지등이다. 주행시 장애물 회피측면에서 본다면 바닥상의 장애물의 감지는 필수적이다.

본 연구에서 다루는 Stereo는 그림에서와 같이 비교적 근거리(1.5m~5m) 전방의 바닥상에서 일정 높이를 지니고, 바닥과는 구별되는 물체들로 구성되어, 바닥은 평면으로 표현될 수 있고 Camera 위치에 대해 사전에 그 위치 및 자세 정보를 지닌다.

2.2 Stereo Triangulation

Stereo camera의 배치는 그림 2.에서 보여 지는 바와 같이 Vergence angle을 지니는 형태이며 단거리에서 넓은 가시 영역을 지니는 장점이 있다 (이하 이러한 Stereo를 광선 축이 나란한 Parallel stereo와는 달리 Angular stereo system이라 칭한다.). Angular stereo에서는 Epipolar line이 기울어져 나타나게 되며 이러한 선상에 놓이는 점들은 실공간에서는 Epipolar plane과 교차되는 물체의 선분 정보에 해당되는 것이다[11]. 물체에 대한 거리 정보는 좌우 영상에서 실 공간에 대응 되는 영상점의 위치를 정한 다음 간단한 삼각형 법칙에 의해 구한다. 그러나, 바닥상에 놓이는 장애물을 구하기 위해 Epipolar line상의 물체정보를 순차적으로 구한다면 바닥에 대한 Map을 작성하는 Stereo 기법은 대단히 복잡하며 Matching문제가 명료하지 않는 점이 있다. 이는 바닥 평면에 대한 정보와 장애물의 정보가 복합적으로 원근 투영(Perspective Projection)되어 나타나기 때문이다. 즉, 생성된 영상정보에서 바닥상의 페인트와 이에 직각으로 놓여 있는 장애물과의 구별이 어려운 것이다. 그러므로 일반적으로 평면에 놓이는 물체는 그 평면의 연직방향에 대한 물체의 정보를 직접적으로 구하는 것이 효과적이다. 본 연구에서는 Epipolar 평면에 대한 Stereo matching기법보다 바닥 평면에 해당되는 물체의 정보를 얻기 위한 Stereo 기법을 다룬다. 이는 영상기하 변환법을 통해 원 Stereo 영상을 바닥에 대한 상대적인 영상으로 변환하고, 변환된 영상들간의 극부적인 Disparity정보가 장애물 감지를 위해 사용된다.

3. 스테레오 영상의 기하학적 변환

본 절에서는 Stereo영상의 기하학적 변환의 일환으로 바닥의 평면 정보를 이용하여 Stereo영상을 재구성함으로써, 원 영상의 기하학적 복잡도를 줄이고 또한 다음의 Matching 문제를 단순화 함에 있다.

기하학적 변환기법은 Stereo 영상을 바닥평면에 투사하고 다시 이들을 Camera의 중앙좌표(Center View)에서 원근 투영하는 것이다. 이를 위해서 영상의 변환 과정을 Camera rotation과 바닥정보에 의한 영상의 평행이동의 두 단계로 나누어 고찰하고자 한다.

3.1 Camera Rotation

일반적으로 원근 투영된 영상은 그림 3.(a)에서 보인 바와 같이 3 차원 공간에 대한 사전 정보에 상관없이 Camera를 회전하여 새로운 영상을 구성 할 수 있다. 이는 단지 기하학적 관계에 대한 변환이지 명암 정보의 변환은 아니다. 좌우 Camera를 Φ_1, Φ_r 만큼 회전하여 그림 3.(b)의 평행 Camera system으로 변환하면 다음과 같다.

$$(X_{1i}, Y_{1i})^T = L1((\cos\Phi_1 X_{o1} + f \sin\Phi_1), Y_{o1})^T$$

(1)

$$(X_{ri}, Y_{ri})^T = L2((\cos\Phi_r X_{or} - f \sin\Phi_r), Y_{or})^T$$

여기서 $L1=f/(-\sin\Phi_1 X_{o1} + f \cos\Phi_1)$, $L2=f/(\sin\Phi_r X_{or} + f \cos\Phi_r)$ 이며 (X_{1i}, Y_{1i}) , (X_{ri}, Y_{ri}) 는 변환된 각각의 영상 좌표를 나타내고, (X_{1o}, Y_{1o}) , (X_{ro}, Y_{ro}) 는 원 영상의 좌표계를 나타내며, T는 transpose 기호이다.

다음은 평행 Camera좌표계에 대해서 공간점에 대한 영상의 기하적 관계를 고찰하면 다음과 같다.

$$X_{1i} = f(X + D/2)/Z, X_{ri} = f(X - D/2)/Z,$$

$$X_{ci} = fX/Z = (X_{1i} + X_{ri})/2, \quad (2)$$

$$Y_{1i} = Y_{ri} = Y_{ci}.$$

여기서 (X_{ci}, Y_{ci}) 는 Center view의 영상좌표값을 나타내며 일명 Cyclopean 좌표계라 부른다. 여기서 Stereo 영상간의 Disparity는 다음과 같이 정의 된다.

$$d(X_{ci}, Y_{ci}) = X_{1i} - X_{ri} = fD/Z \quad (3)$$

여기서 $(X_{ci}, Y_{ci}, d(X_{ci}, Y_{ci}))^T$ 를 Disparity 공간이라 칭하며 Disparity(d)는 영상의 Gray level과 유사하게 Disparity 영상이라 부른다. 식(3)을 공간 좌표로 재정리 하면 공간상의 한 점 $P(X, Y, Z)$ 와 Cyclopean 영상 점과의 관계는 다음과 같이 표현 되어진다.

$$(X, Y, Z)^T = D/d(X_{ci}, Y_{ci}, f)^T \quad (4)$$

3.2 영상의 평행이동

영상의 평행이동은 바닥의 평면 정보를 사전지식으로 하여 좌우 영상을 Cyclopean 영상좌표계로 변환하는 것이다. 평면의 방정식이 $Z = aX + bY + c$ 로 표현될 때 이를 Disparity 공간에서 재정리하면 Stereo system의 기하학적 변수들과 평면방정식의 매개변수들로 표현되며 다음과 같다.

$$d_o(X_{ci}, Y_{ci}) = (-D/c*a)X_{ci} + (-D/c*b)Y_{ci} + D*f/c \quad (5)$$

$d_o(X_{ci}, Y_{ci})$ 는 Cyclopean 영상 좌표계에서 또 다른 하나의 평면으로 변환 됨을 보이며, 이를 Disparity 평면이라 부른다. 이러한 Disparity 함수는 평면이외에도 공간이 해석적인 함수로 표현될 때 이를 Disparity 공간에서 일반적인 Disparity surface로 표현될 수 있다. 중앙점에서의 이동변환은 좌우 영상을 마주 보는 방향으로 Disparity의 절반 만큼 평행이동하는 것이다. 이동된 각각의 영상을 Cyclopean left, right 영상이라 명하고 이동된 영상 좌표점을 (X'_{ci}, Y'_{ci}) (X''_{ci}, Y''_{ci}) 로 나타내면 다음과 같다.

$$X'_{ci} = X_{ci} - d/2, X''_{ci} = X_{ci} + d/2, Y'_{ci} = Y_{ci} = Y_{ci}. \quad (6)$$

또한, 변환된 영상에서의 상대적인 극부적인 Disparity는 $\Delta d = X''_{ci} - X'_{ci}$ 로 주어진다.

변환된 영상에서 $\Delta d = \text{Const} \equiv K$ 는 Disparity가 같은 점 (Isodisparity plane)을 나타내고, 이는 바닥면과 평행한 일정 높이를 지닌 단면을 나타내게 되며 그 관계는 새로운 평면의 식을 $Z = a_1X + b_1Y + c_1$ 이라 하면 바닥면과는 다음과 같은 관계가 있다.

$$(a_1, b_1, c_1)^T = 1/(1+K/d_0)(0, 0)^T * (a_0, b_0, c_0)^T \quad (7)$$

여기서 (a_0, b_0, c_0) 는 바닥 평면의 매개변수를 나타내게 된다. 이러한 Isodisparity에 대응되는 평면의 정보는 바닥에서 일정 높이에 장애물의 존재여부를 판정하는데 이용된다.

4. 매칭 알고리즘

변환된 Gray level 영상에서 좌우 영상간의 유사성에 근거한 Matching으로 부터 전술한 Disparity를 결정하게 된다. 영상간의 Matching 문제는 원리적으로 크게 국부적인 명암의 패턴의 비교법과, 명암의 밝기 보다는 Edge와 같은 명암의 변화가 심한 특징점에 근거한 방식이 있다. 본 연구에서는 원 Stereo 영상이 바닥을 통해 재구성 되었기 때문에 바닥과 일치하는 영상은 Disparity가 존재하지 않으며 바닥의 직각 방향에 따라 그 Disparity가 형성되므로 Matching 기법도 바닥의 높이에 맞추어 영상에서 Isodisparity 평면을 점차적으로 결정하게 된다.

4.1 명암 차이에 의한 방법

명암차이에 의한 방법은 투사된 빛이 물체의 표면에서 난 반사에 가까울 때 좌우 Camera에 형성되는 명암의 밝기는 유사하다는 점에 근거한 것이다. 그러므로 Matching되는 점은 그 차이가 작기 때문에 단순히 영상의 차분에 의해 수행되어지며 다음의 차분 영상 (Difference image)으로 표현된다.

$$D(X_{ci}, Y_{ci}) = |L(X'_{ci}, Y'_{ci}) - R(X''_{ci}, Y''_{ci})| \quad (8)$$

Matching되는 영상점들은 차분영상의 크기를 Thresholding 함에 의해 결정되어지며 Thresholding 값보다 적은 영역이 Zero-isodisparity 평면을 결정하게 된다. 바닥상의 장애물의 경우는 바닥과의 대비에 의해 나타나며 Thresholding 값으로 구분이 가능하다. 이로 부터 이진영상을 얻고 이를 별도처리함으로써 바닥에 대한 장애물의 근사적인 Disparity를 결정한다.

4.2 Edge 특징에 의한 방법

명암의 차이에 의해서는 물체의 세밀한 부분까지를 결정하는데 어려움이 따르게 된다. 여기서는 변환된 영상에서 Edge 부위를 검출한다면 그 Edge의 중첩에 의해 Isodisparity 평면이 결정되어진다. 먼저 Sobel edge operator 등에 의해 Edge의 위치를 결정하고 다음은 영상간의 중첩을 용이하게 하기 위하여 Edge 방향에 따라 Encoder를 설정한 후, 그 방향에 따라 2진수로 나타내게 된다. Encoder f_i 는 Edge 방향을 8 등분하여 다음과 같이 표현된다.

$$f_i = (d_7 \dots d_1 \dots d_0)_2 \quad (9)$$

그리고 Edge 방향에 따라 Encoding된 영상 $\Theta(x, y)$ 는 다음과 같다.

$$\Theta(x, y) = \left(\sum_{i=1}^7 (2^i \cdot f_i) \right) m(x, y) \quad (10)$$

여기서 (\cdot) 는 Boolean AND 연산자이며 $m(x, y)$ 는 Edge인 경우는 1이고 Edge가 아닌 부위에 대해서는 0으로 된다. 그러나 실제 Stereo 영상에서는 Encoder f_i 를 Edge가 놓여 있는 방향에 대하여 좌우로 한 Bit씩 넓게 택한다. 그리고 Edge 영상의 중첩은 좌우로 이동하면서 Boolean operation을 수행하게 된다.

$$\Theta^k_c(x, y) = \Theta_l(x - d_k/2, y) \cdot \Theta_r(x + d_k/2, y) \quad (11)$$

여기서 k 는 각 Isodisparity 평면에 대한 순차를 나타내며 d_k 는 이동된 국부적 Disparity를 나타내게 된다. 만약 $\Theta^k_c(x, y)$ 가 영 보다 크면 Isodisparity 평면의 후보 점을 나타내며 이러한 후보점들은 추가의 정보로서 식(8)의 차분 값을 중첩된 Edge점 주위로 얻는다. 다음 일정 Threshold 이하를 택한다.

5. 실험 및 결과

5.1 실험 장치

본 실험에서는 바닥상의 장애물 감지를 위하여 Stereo camera를 바닥에서 높이(H)가 756.5mm 이고 Slant angle(β)은 24° 로 장치하였으며 두 Camera사이의 Base line(D)는 288.2mm 이고 Vergence angle은 $\Phi_l = 5.5^\circ$, $\Phi_r = 5.5^\circ$ 이다. 그리고, 본 실험에 사용한 Vision system은 그림 5에 나타난 바와 같다. 여기서 Camera는 일본 SONY 사의 XC-77이고, 렌즈의 초점거리는 $f = 16\text{mm}$ 를 일차적으로 사용하였다. 가시영역의 확대를 위해서는 초점거리가 짧은 렌즈로 대체하면 된다. 영상 정보를 저장하는 Frame grabber는 Canada Matrox사의 MVP-AT이다. 이는 영상정보를 최대 4 frame까지 저장할 수 있다. 영상처리를 위한 Computer system은 IBM-AT(80386, 25Mhz)이고, 영상처리 알고리즘은 Matriox사에서 제공되는 IMAGER Library와 C-Language로 구성되어 있다.

장애물 감지를 위해 초록색 페인트로 칠해진 실험실 바닥에 긴 육면체의 블럭과 바닥에 깔리는 종이를 사용하였다. 사진 2.는 오른쪽 Camera에서 본 영상을 나타내고 중앙의 십자선은 영상의 중심, 즉 렌즈 중심을 나타내고 있다. 사진에서 알 수 있듯이 바닥은 페인트등의 조직, 물체의 그림자, 빛 반사등이 관련된 복잡한 관계를 지니고 있다. 그리고, 본 실험에서는 가시영역의 제한으로 인하여 이들 물체중에서 몇개를 선별하여 사용하였다.

5.2 결과 및 토의

전술한 바와같이 바닥상의 장애물 감지를 위한 알고리즘은 명암의 차이에 의한 방법과 Edge 특징에 의한 방법을 제안하였

다. 본 실험에서는 이들 두 방법에 대한 영상처리 단계에 대해서 기술하고자한다.

먼저 명암의 차이에 의한 방법으로는 사진 3.에 전체의 좌우 영상을 보여 주고 있다. 물체는 종이의 한개의 육면체 볼록으로 구성되어 있다. Cyclopean 좌표계에서 바닥의 평면방정식은 $Z = -2.246Y + 1860$ 이고 차원은 mm이다. 다음은 전체 영상중 중앙부위의 280*280 Window에 대해서 좌우 영상을 Cyclopean 영상 좌표로 변환한 결과가 사진 4.에 나타나 있다. 사진에서 정사각형이 수직방향으로 늘어난 것은 Camera rotation에 기인된 것이고, 각 모서리 방향으로 Skew된 것은 Disparity 평면에 의한 영상의 평행이동에 기인된 것이다. 또한 바닥과 다른 육면체의 물체가 Skew되어 나타난 것은 바닥의 높이에 따라 Disparity가 다르기 때문이다. 다음은 변환된 Cyclopean stereo 영상에서 차분에 의한 Difference image($D(X_{ci}, Y_{ci})$)을 구한다. 사진 5.에서 (a)는 차분 영상을 보여주고 있고, (b)는 Thresholding에 의한 결과를 보여주고 있다. 여기서 thresholding값 60이하는 Zero의 값으로 표현하였다. 밝게 나타난 부위가 좌우 영상의 차이가 큰 부분이며 바닥과 다른 장애물의 존재를 나타내고 있다. 사진에서 종이 부위에 해당되는 극부적인 띠는 종이의 Edge부위에서 반사광의 차이로 인한 것이며 Shrinking과정의해 제거된다. 장애물의 정보는 이러한 Blob영상을 처리하여 얻어지는데, 각 Blob들의 중심선과 그 중심에 대한 Run의 길이로 나타내며 Run의 길이가 극부적인 Disparity가 된다.

명암의 차분에 의한 방법과는 달리 4.2절에서 언급한 바와 같이 Edge에 의한 특징정보의 추출로도 가능하다. 사진 7.은 그 원 영상을 보여 주고 있으며 사진 7.은 그 추출된 Edge에 대한 영상을 보여 주고 있다. 사진에서 알 수 있듯이 Edge 영상은 미소한 표면 조직에 민감하나 수직으로 서 있는 물체의 형상을 표현 할 수 있는 장점이 있다. 여기서 Edge영상은 식 (10)에서 언급한 바와 같이 8 방향에 대한 8 bit의 MSB와 LSB인 다가 영상으로 표현된 것이다. 사진 8.은 두 Edge 영상을 OR 논리 연산한 결과를 보여 주고 있다. 여기서 두 영상의 Edge가 충첩되는 부위는 바닥상의 Edge을 나타내게 된다. 이러한 중첩 부위는 AND 논리 연산에 의해 용이하게 추출이 가능하며 좌우 영상을 이동하면서 AND 연산에 의해 Isodisparity 상에 놓이는 물체의 정보를 구할 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 이동로봇에 있어서 바닥상의 장애물 인식을 위한 Stereo 기법을 제안하였다. 바닥의 평면정보를 이용하여 원 Stereo영상을 바닥에 대한 상대적인 영상으로 재구성함으로써 Matching과정의 단순화, 장애물 감지의 효율성을 도모하였다. Matching 방법은 두 영상간의 간단한 연산 작용에 의해서 수행되어지며 복잡한 탐색과정을 요구하지 않는 장점이 있다. 또한 실제 실험을 통해서 그 타당성을 검증하였다. 전체 영상처리의 시간은 대부분 영상의 변환과정에 소요되나, 이는 단순한 산술연산이므로 보조 Processor(D.S.P.)등의 의해 실시간화 될 수 있다. 앞으로는 감지된 장애물의 정보로부터 충돌회피를 위한 경로계획법에 대한 연구가 진행될 것이다.

참고 문헌

- [1] K. Onoguchi, M. Watanabe, Y. Okamoto, Y. Kuno, and H. Asada, " Visual Navigation system using a multi-information local map", IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation pp 767-774, 1990.
- [2] S. Hachiyama, J. Takeno, " A Fundamental Studies on a Visual Collision Avoidance Problem for Obstacle Dection", JIRA, 1988.
- [3] J. Borenstein, Y. Koren, " Obstacle avoidance with Ultrasonic sensors", IEEE J. of Robotics and Automation, Vol.4, NO. 2, pp213-218, April, 1988.
- [4] M. Hebert, " Outdoor Scene Analysis Using Range Data", Proc. Int. Conf. on Robotice and Automation, 1986.
- [5] R.T. Dunlay, " Obstacle avoidance perception processing for the autonomous land vehicle", Proc. Int. Conf. on Robotics and Automation pp 912-917, 1988.
- [6] H.P. Moravec, "The Stanford Cart and the CMU Rover", Proc. IEEE, Vol.71, No.7, pp872-884, 1983.
- [7] J. Takeno, S. Hachiyama, "New technology on stereo vision for mobile robot", IEEE Int. Conf. on Advanced Robotics, pp1383-1391, 1991.
- [8] F. Ferrari, E. Grosso, G. Sandini, M. Magrassi, " A stereo vision system for real time obstacle avoidance in unknown environment", IEEE Int. Workshop on Intelligent Robotics and system, pp 703-708, 1990.
- [9] K. Storjohann, Th. Zielke, H.A. Mallot and W. Von Beelean, " Visual obstacle dection for Automatically Guided Vehicles", IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp761-766, 1990.
- [10] H. Fujimoto, Y. Funahashi, and K. Umeda, "Stereo vision system by regional matching method with intensity level division", Japan-U.S.A. Symp. on Flexible Automation, pp1347-1354, 1990.
- [11] O.D. Faugers, Robotics Science, Edited by Michael Brady, The MIT press, Cambridge, 1989.

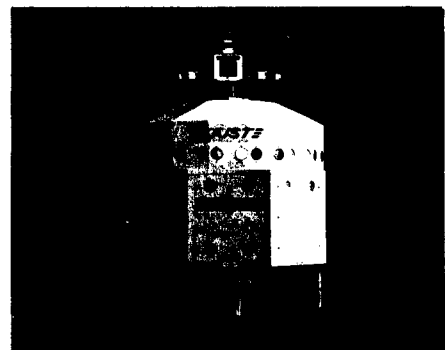


사진 1. Stereo 시각기능을 갖는 자율 주행 로봇

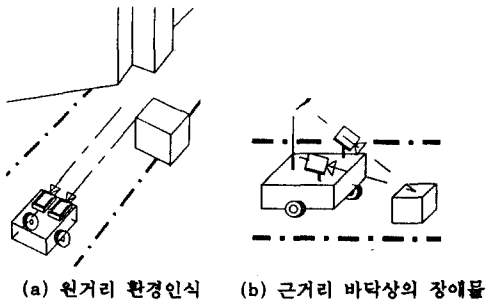


그림 1. Stereo Vision에 의한 작업환경의 감지

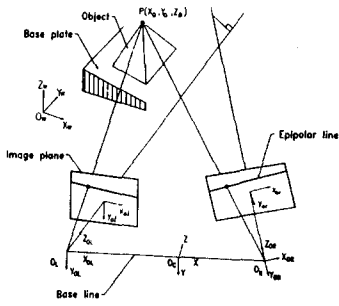


그림 2. Angular Stereo System의 Triangulation

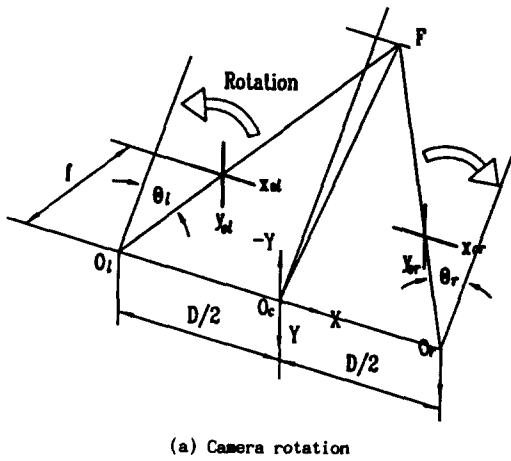


그림 3. 기하학적 변환에 의한 Stereo 영상의 재구성

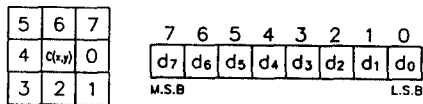
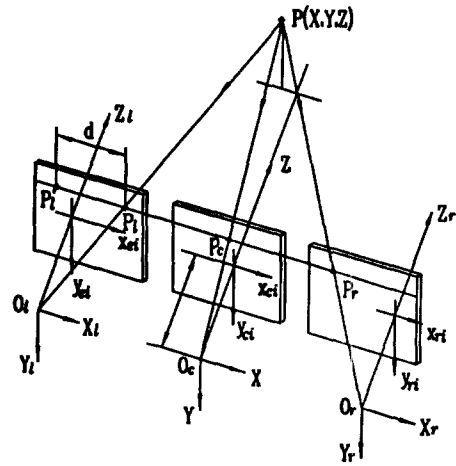


그림 4. Edge 방향의 Encoding 과 그 표현



3. (b) Parallel stereo and Cyclopean Translation

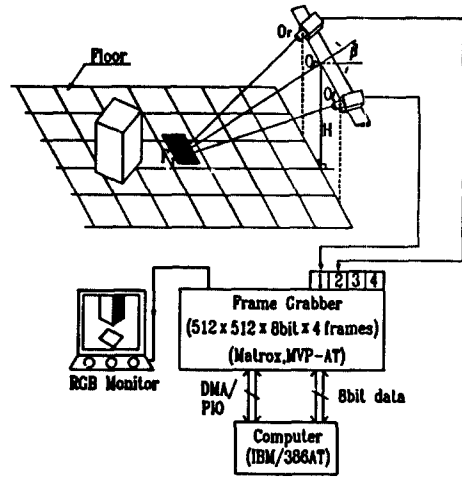


그림 5. 실험 장치의 개요

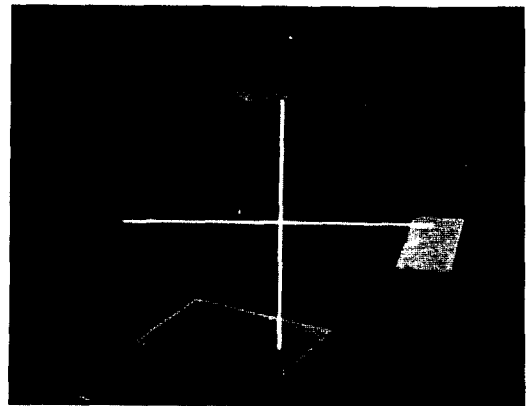


사진 2. 실험실 바닥에 놓인 장애물 영상의 보기

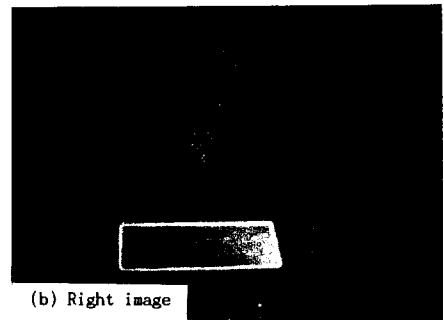
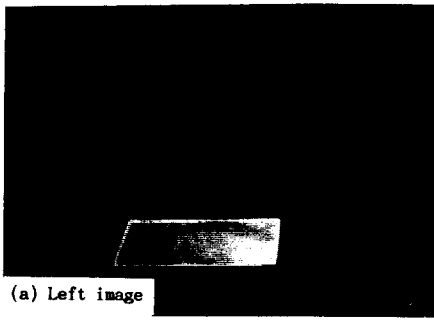


사진 3. 육면체 블럭과 종이의 Stereo 영상

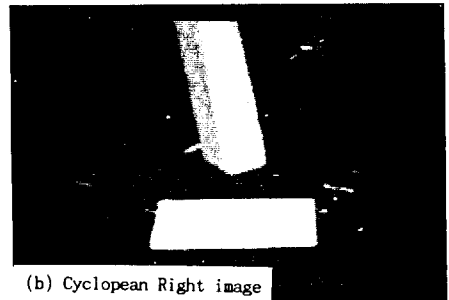
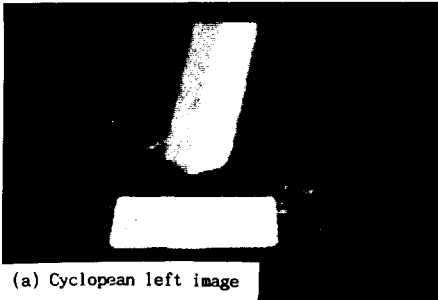


사진 4. Cyclopean 좌표에서 재구성된 영상

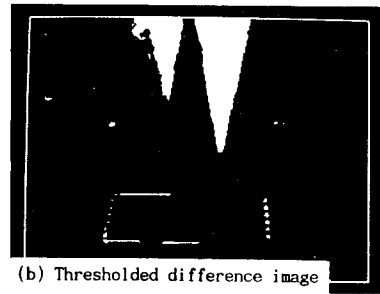
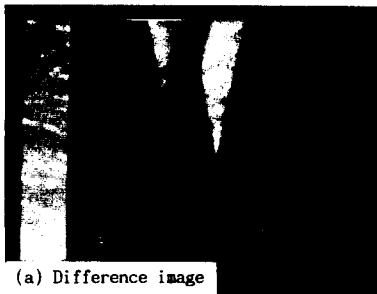


사진 5. Difference image와 Thresholded image

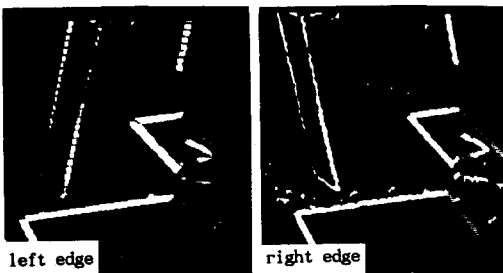


사진 7. Edge의 방향에 따른 다가영상의 보기

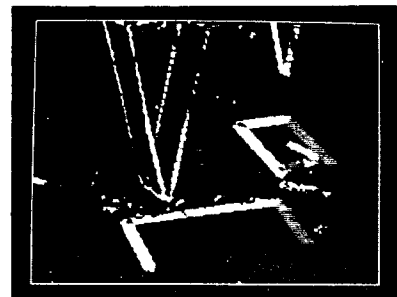


사진 8. 중첩된 Edge영상

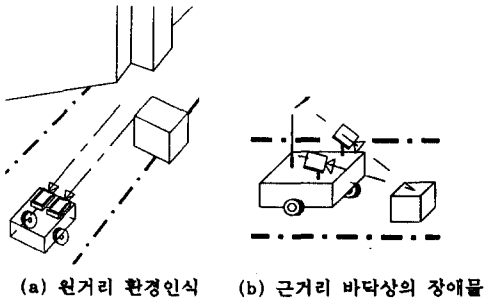


그림 1. Stereo Vision에 의한 작업환경의 감지

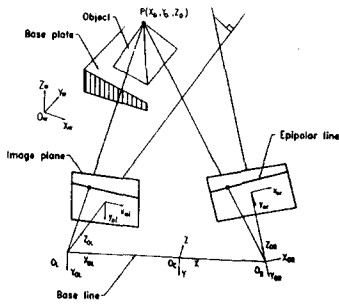
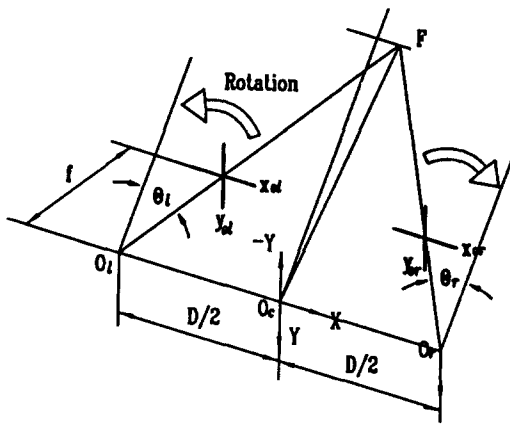


그림 2. Angular Stereo System의 Triangulation



(a) Camera rotation

그림 3. 기하학적 변환에 의한 Stereo 영상의 재구성

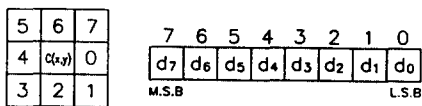
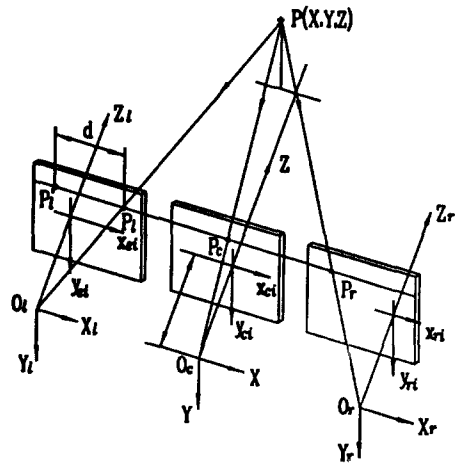


그림 4. Edge 방향의 Encoding 과 그 표현



3. (b) Parallel stereo and Cyclopean Translation

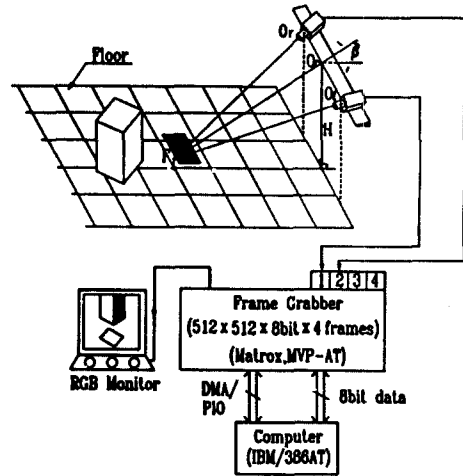


그림 5. 실험 장치의 개요

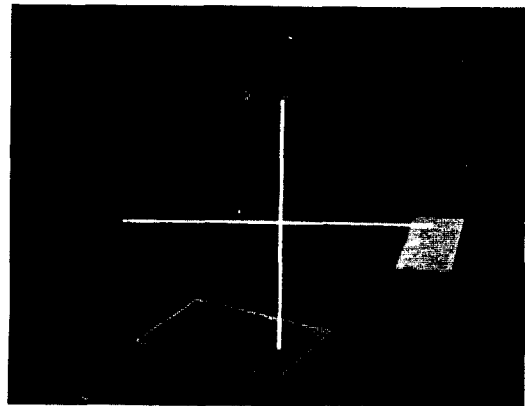


사진 2. 실험실 바닥에 놓인 장애물 영상의 보기

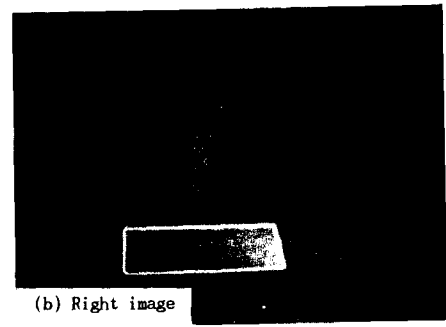


사진 3. 육면체 블럭과 종이의 Stereo 영상

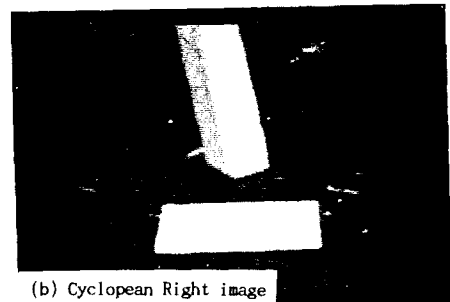
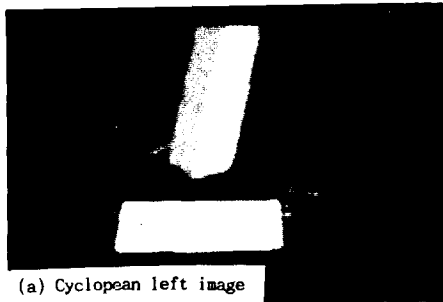


사진 4. Cyclopean 좌표에서 재구성된 영상

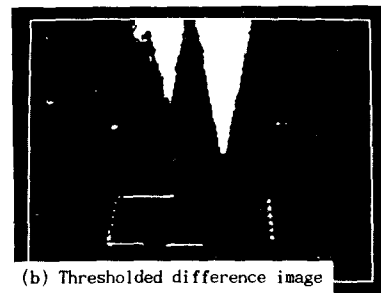


사진 5. Difference image와 Thresholded image

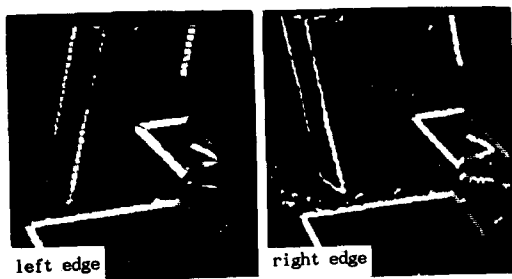


사진 7. Edge의 방향에 따른 다가영상의 보기

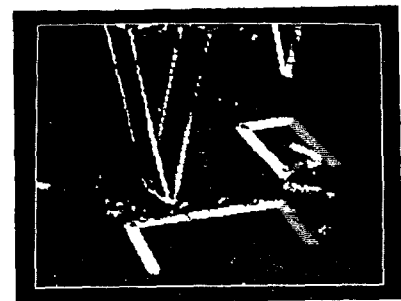


사진 8. 중첩된 Edge영상