

## 특징점을 이용한 매니플레이터 자세 시각 제어

박성태\*(부산대 대학원 지능기계공학과), 이민철(부산대 대학원 지능기계공학과)

### Visual Servoing of Manipulator using feature points

S. T. Park (Mech. Eng. Dept., PNU), M. C. Lee(Mech. Eng. Dept., PNU)

#### ABSTRACT

stereo vision system is applied to a mobile manipulator for effective tasks. The robot can recognize a target and compute the position of the target using a stereo vision system. In this paper we present a visual approach to the problem of object grasping. First we propose object recognition method which can find the object position and pose using feature points. A robot recognizes the feature point to Object. So a number of feature point is the more, the better. but if it is overly many, the robot have to process many data. it makes real-time image processing ability weakly. In other to avoid this problem, the robot selects only two point and recognize the object by line made by two points. Second we propose trajectory planing of the robot manipulator. Using geometry of between object and gripper, robot can find a goal point to translate the robot manipulator. and then it can grip the object successfully.

**Key Words** : Stereo Vision, Manipulator Control, Landmark, Feature Point, Object Position

#### 1. 서론

산업 현장에 국한되어 사용되던 로봇의 영역이 최근 의료, 서비스, 오락, 실버 산업 전반에 걸쳐 확대됨에 따라 다양한 분야에서 필요한 작업을 수행할 수 있는 지능형 로봇에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존의 산업용 로봇이 수행했던 단순 반복 작업뿐만 아니라, 복잡한 환경에서 다양한 작업을 능동적으로 수행하기 위해, 여러 가지 센서와 다양한 알고리즘에 대한 연구가 이루어지고 있다.

본 논문에서는 두 개의 영상 센서를 통해 2개의 특징점을 이용하여 특정 물체를 인식하고, 매니플레이터를 이용하여 물체를 잡고자 한다. 특히 인간의 시각 체계와 비슷한 원리로 작동하는 스테레오 비전 (stereo Vision) 알고리즘은 물체의 3차원 거리 정보를 획득하기 위해 많이 사용되어진다. 물체를 인식하는 과정에서, 물체의 거리와 자세 정보를 정확히 획득하기 위해서는 물체를 대표하는 여러 개의 특징점을 사용하게 되는데, 물체를 한 점으로 인식할 수도 있고, 여러 개의 점으로 이루어진 선

또는 면으로 인식하여, 원하는 정보를 획득할 수도 있다. 이때 많은 점을 획득하여 영상 처리를 하게 되면 연산량이 많아져, 매니플레이터 제어의 실시간성을 해치게 되는 문제점도 발생한다. 본 실험에서는 물체를 선으로 인식하여 물체의 위치 및 자세 정보를 획득하였다. 물체에 부착된 랜드마크(Landmark)에서 두 점을 획득하고, 이를 연결한 선을 물체로 인식하여, 물체의 3차원 거리 정보 뿐만 아니라, 자세(기울어진 각도)까지 인식하여 좀더 정확하게 물체를 잡고자 한다.

#### 2. 시스템 구성

시스템은 크게 두 가지로 나누어져 있다. 이동 로봇의 제어 및 모니터링을 담당하는 서버 시스템과 스테레오 비전 (stereo vision)과 5자유도 매니플레이터가 부착된 로봇으로 구성되어 있다. 이동 로봇은 ActivMedia사의 Pioneer II(DX)모델로 구동부, 센서부, 제어부로 나누어져 있다. 먼저 구동부는 2개의 서보 모터로 구성되어 있으며, 구동전압은 12V, 최대 허용전류는 2.5A이다. 센서부는 16조의 초음파 센서와 2개의 엔코더(encoder)로 구성되어 있다. 엔

물체를 어떤 모양으로 인식하는가에 따라 대상 물체의 정확한 위치 및 자세 정보를 알 수가 있다.

Fig. 3 과 같이 사각형을 인식함에 있어서 점, 또는 선 또는 면으로 인식할 수가 있다.

Fig. 4 와 같이 다양한 자세의 책을 한 점으로 인식하게 되면, 물체의 위치는 알 수 있으나 자세 정보를 소실하게 된다. 따라서 좀더 정확한 정보를 알아내기 위해서는 좀더 많은 특징점을 이용하여, 선이나 면으로 물체를 인식하는 것이 바람직하다.

그러나 특징점의 수가 많아질수록 연산량은 증가하게 되고, 이는 로봇 제어에 있어 실시간성을 저해하는 원인이 되는데, 본 논문에서는 두 개의 특징점을 추출하고, 이를 연결한 선을 대상 물체로 인식하였다. 그리고 물체의 위치 및 자세 정보는 두 특징점의 3차원 좌표값을 획득하여, 이를 이용해 물체의 위치 및 자세를 계산하였다.

특징점의 3차원 좌표값을 알아내기 위해서, 기존의 스테레오 정합 알고리즘을 사용하였다. 실시간으로 로봇을 제어하기 위해서는 연산량이 작아야 하는데, 이를 위해 형상 기반 (feature-based) 스테레오 정합법을 사용하였다. Fig 5와 같이 카메라와 물체사이의 기하학적 정보를 이용하여 아래의 식으로 물체의 위치를 계산한다.[4]

$$f+y : B+x_1-x_2 = y : B \quad (3)$$

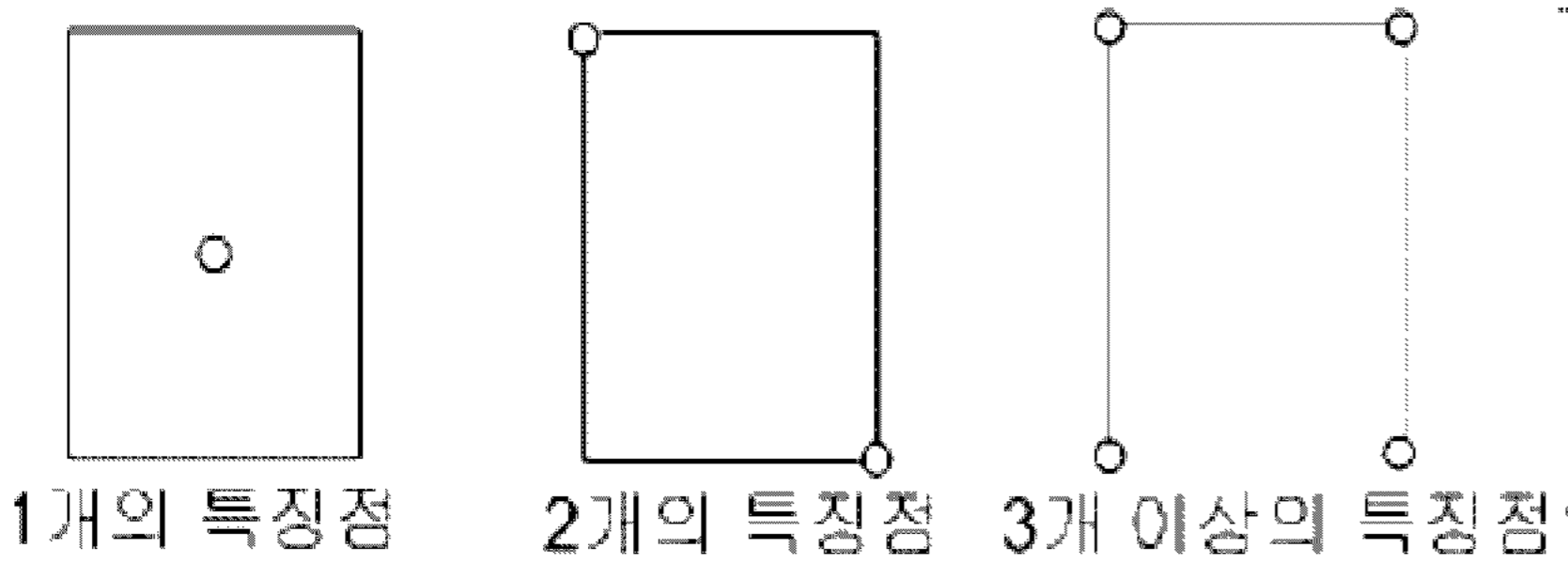


Fig. 3 Feature Point Number

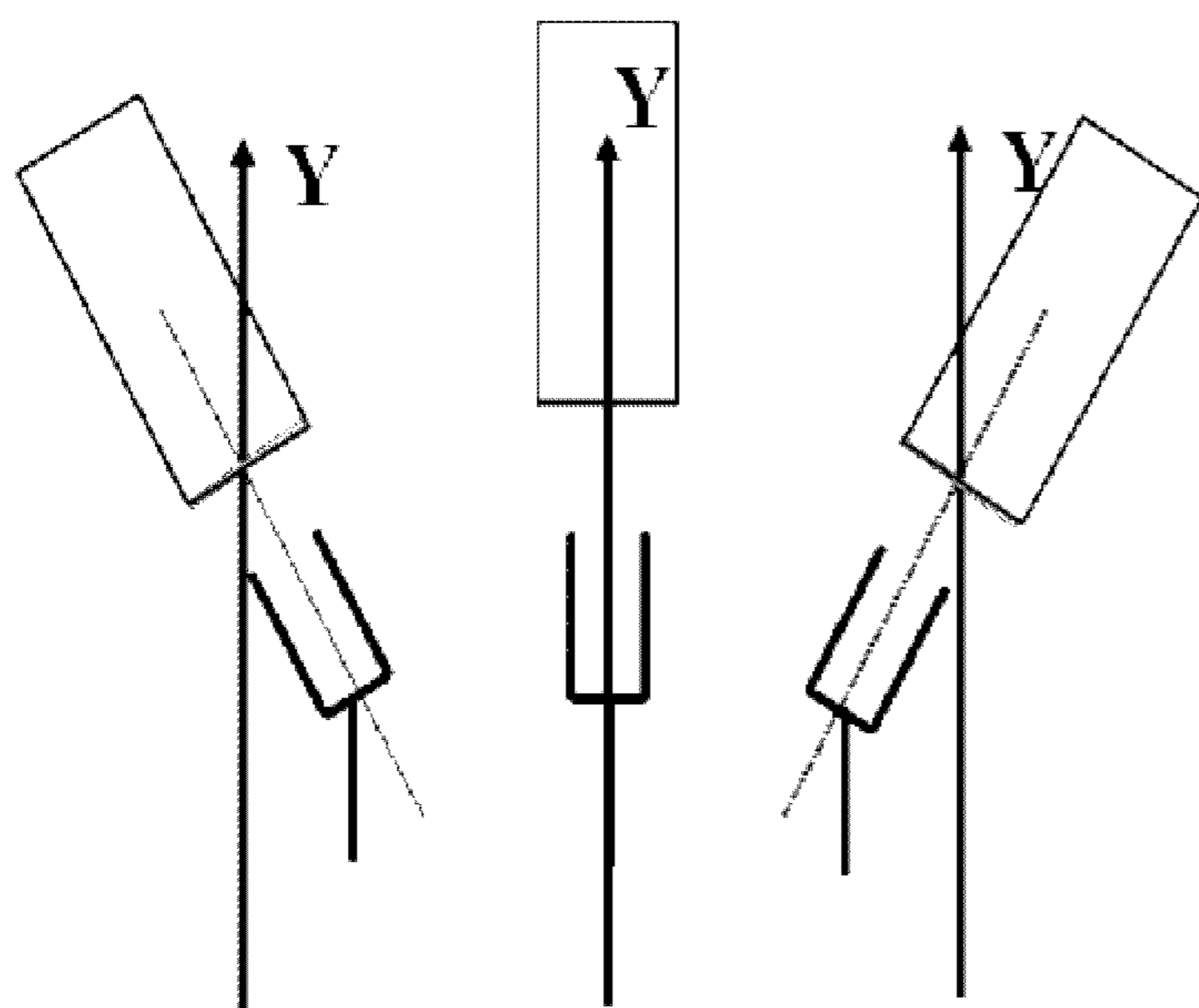


Fig. 4 Various Pose of Object

$$\text{물체의 } x \text{ 좌표} \quad x = \frac{y \cdot x_1}{f} \quad (4)$$

$$\text{물체의 } y \text{ 좌표} \quad y = \frac{f \cdot B}{x_1 - x_2} \quad (5)$$

$$\text{물체의 } z \text{ 좌표} \quad z = \frac{y \cdot z_1}{f} \quad (6)$$

물체에 부착된 랜드마크에서 두 개의 특징점을 추출해 내어, 이를 연결한 선의 중점을 스테레오 정합법을 이용하여 3차원 좌표를 계산하고, 이를 물체의 위치로 인식한다. 물체에 자세, 즉 기울어진 각도 ( $\theta$ )는 Fig. 6과 같이 두 특징점 사이에 거리 차이를 이용하여 아래의 식으로 계산한다.

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\Delta y}{\Delta x} \right) \quad (7)$$

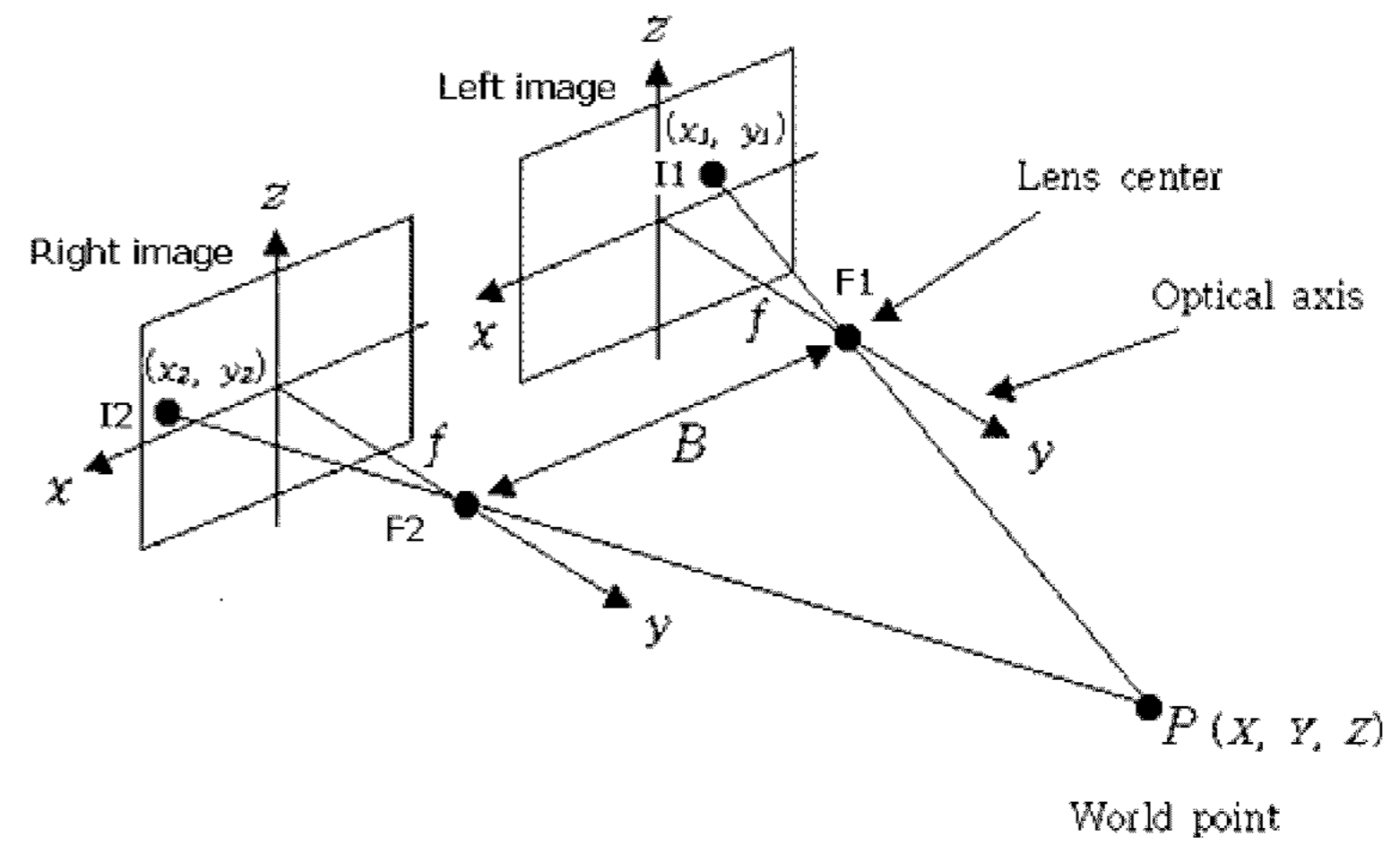


Fig. 5 Stereo Vision Geometry

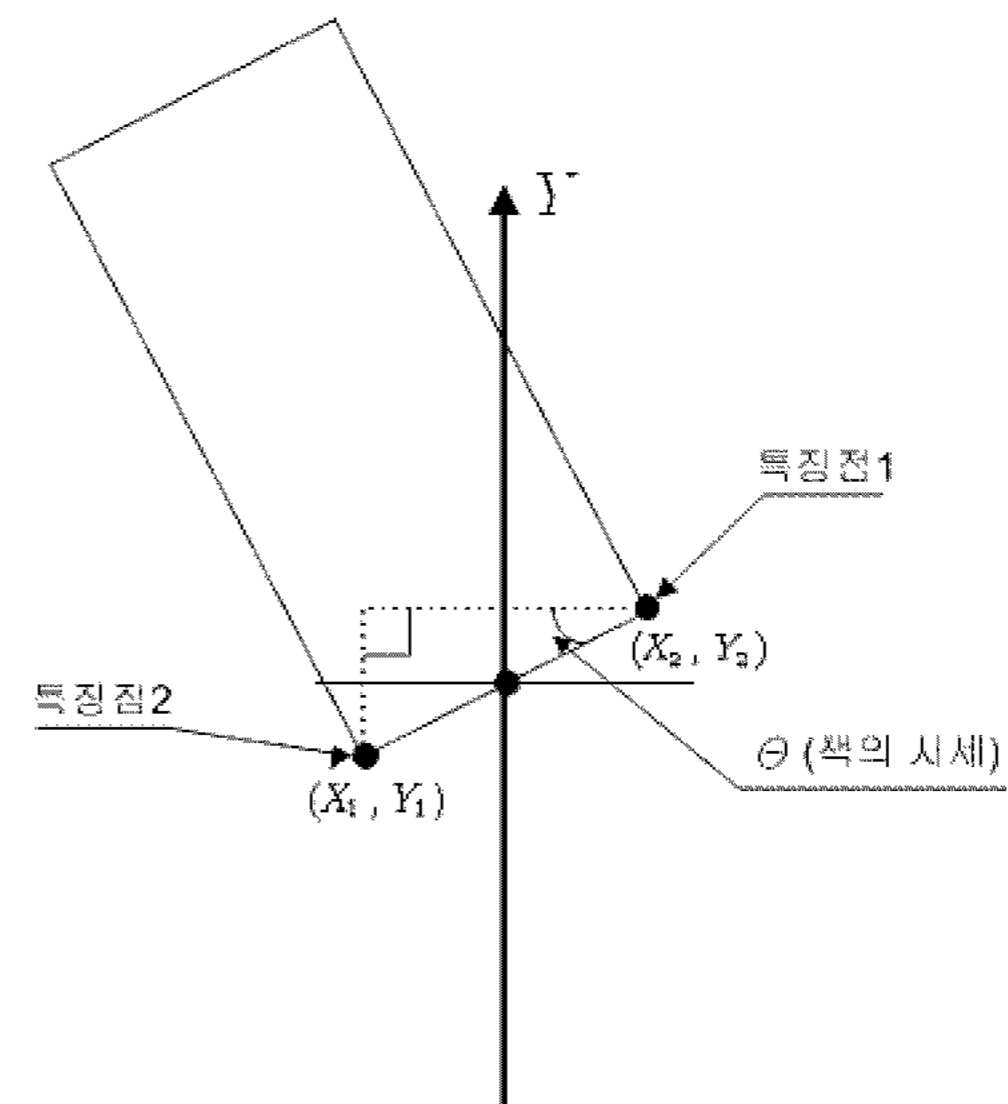


Fig. 6 Object Pose Estimation

#### 4. 매니플레이터 경로 계획 및 실험

매니플레이터의 경로 계획은  $A(X_g, Y_g)$  점으로 매니플레이터를 이동시킨 후, 책의 기울어진 각도만큼 손목관절을 꺾어서 책을 잡고자 한다.

Fig. 7에서 로봇 매니플레이터와 물체 사이의 기하

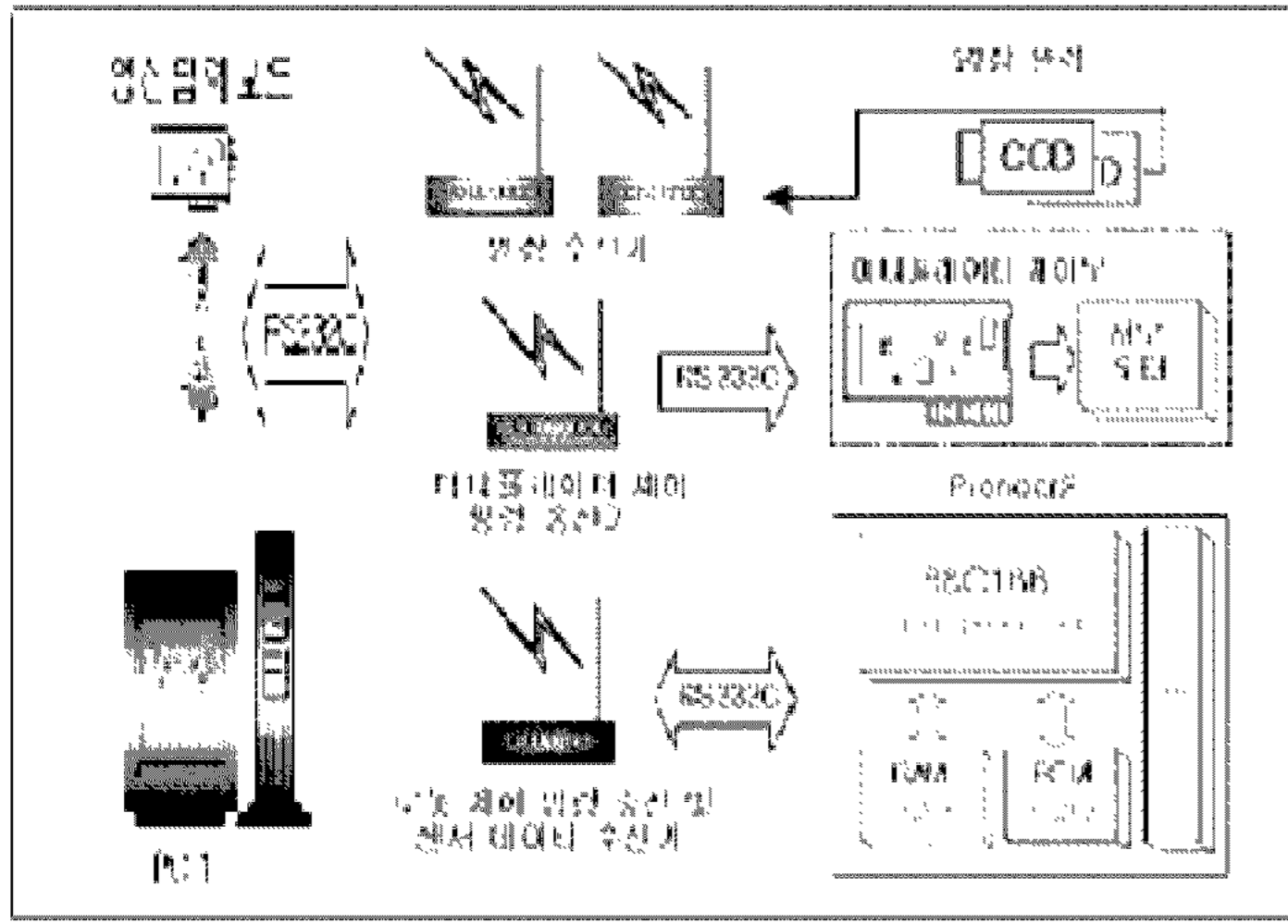


Fig. 1 Mobile Manipulator System and monitoring system

엔코더는 1회전 당 9,850펄스를 제공함으로써 정밀한 위치 및 속도 측정이 가능하다. 제어부는 고속 연산이 가능한 20MHz의 88C166 마이크로 프로세서 및 32KByte의 플래시 롬 (Flash ROM) 과 램 (RAM)으로 구성되어 있다.

이동 로봇 상판에는 높이와 정면 거리 조절이 가능한 5자유도의 매니플레이터와 각 관절을 구동하는 RC모터를 제어하는 모듈 (Servo Motor Controller), 서버 시스템과의 통신을 위한 RF 모듈(RS232C), 그리고 로봇의 눈에 해당하는 두 대의 카메라가 상판으로부터 60cm 높이에 장착되어 있고 영상을 메인 서버에 전달하기 위한 두 개의 무선 송신기가 장착되어 있다. Fig. 1은 이동 로봇과 서버 시스템의 구조와 데이터 송수신 체계를 보여준다. 시스템에서 영상 및 초음파 센서 데이터, 엔코더값 등을 서버 시스템으로 송신하고, 로봇의 이동과 매니플레이터 제어에 대한 명령을 PC로부터 수신 받는다. 특히 로봇에서 서버로 전달된 영상은 MV6400A 비전 보드를 통해 서버 메모리 버퍼로 읽어 들이고, 이를 이용하여 영상 처리를 한다.

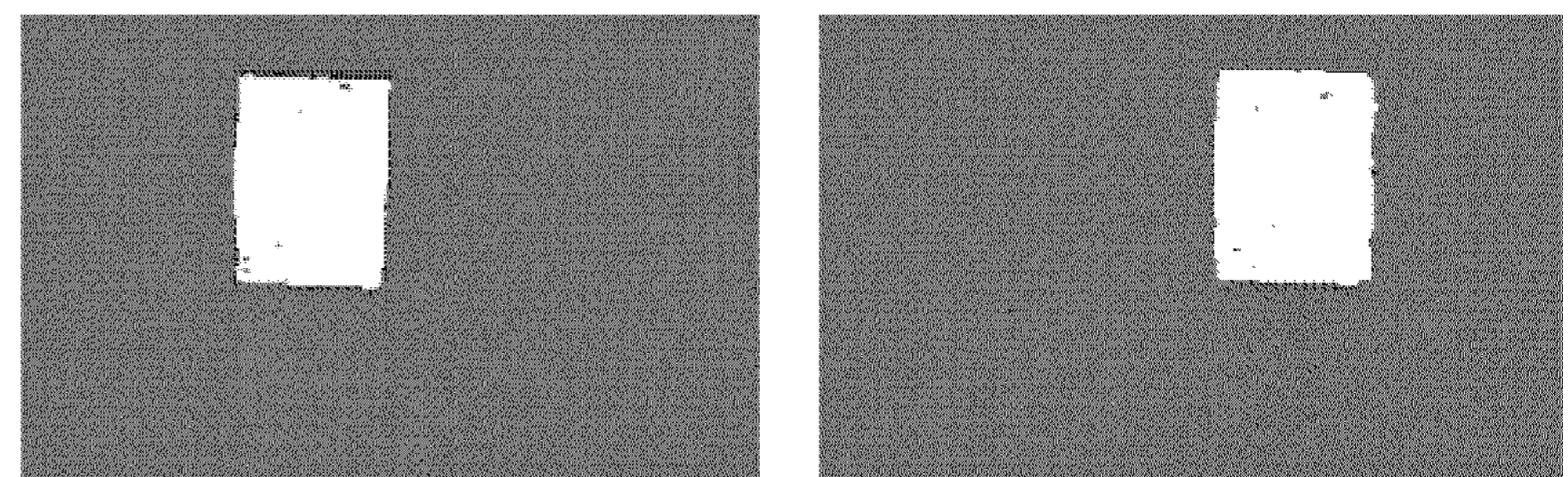
### 3. 물체 인식 및 3D 거리 측정

#### 3.1 물체 인식

이동형 매니플레이터 시스템으로 잡고자 하는 물체는 책 (12cm×22cm×4cm)이며, 이를 인식하기 위해서 간단한 랜드마크 (Landmark)를 사용하였다. 랜드마크 (4cm×5cm)는 특정 칼라(color)의 사각형 모양을 하고 있으며, 책의 측면 상단에 부착되어 있다. [1]

이동 로봇의 시각 제어 시스템은 랜드마크의 색상 정보를 이용하여, 매니플레이터 및 물체를 인식한다. 카메라에서 입력받은 영상으로부터, 배경과 책

을 나타내는 랜드마크를 분리 (segmentation)하기 위해 영상의 픽셀 정보(R, G, B)를 분석한다. 이때 입력받은 영상은 불규칙한 실내 조명과 노이즈로 영상의 질이 저하될 수 있는데, 이를 향상시키기 위한 전처리 과정으로 히스토그램 평활화 기법(histogram equalization)을 적용하였다. [2] 히스토그램 평활화는 전 영역에 걸쳐 명암치에 대한 일정한 분포를 갖는 히스토그램을 재생성 하는 처리 과정으로 명암의 대비를 높여준다. 이는 RGB 값의 치우침을 없애고, 배경으로부터 랜드마크를 정확하게 분리해 낼 수 있게 해준다. Fig. 3는 책에 부착된 랜드마크를 배경으로부터 분리 해낸 화면이다.



(a) left image

(b) right image

Fig. 2 Image of Detected Landmark

#### 3.2 특징점 추출

책의 3차원 위치 및 자세 (기울어진 각)을 알아내기 위해 랜드마크 상의 특징점을 추출한다.

본 실험에서는 랜드마크 상의 모서리 점들을 특징점으로 선정하였고, 모서리 점들을 검출하기 위해 기존의 연산 알고리즘을 적용하였다. Forstner에 의해 제안된 Forstner Interest Operator를 사용하여 모서리 점들을 검출하는데 [3], 이 연산자는 명도에 대한 1차 미분만으로 cornerness를 정의하고, 이웃한 픽셀 중 cornerness값이 국부 최대 (local maximum)인 점을 코너로 결정하기 때문에 잡음에 대해 안정적으로 코너를 추출할 수 있다. 특징점을 찾기 위한 weight 와 cornerness는 아래의 식으로 계산한다.

$$\text{weight} \quad W = \frac{\text{Det}(A)}{\text{Trace}(A)} \quad (1)$$

$$\text{cornerness} \quad C = \frac{4 \text{Det}(A)}{\text{Trace}^2(A)} \quad (2)$$

$W, C$ 값이 큰 점들 중에서 국부 최대 (local maximum)인 점들이 특징점이 된다.

#### 3.3 물체의 위치 및 자세 정보

각적 정보를 이용하면  $A(X_g, Y_g)$ 를 구할 수 있다. 직선  $AB$ 와  $BC$ 가 수직하고, 직선  $CA$ 와  $CB$ 의 벡터식을 이용하여 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\vec{AB} \cdot \vec{BC} = 0 \quad (8)$$

$$\vec{CA} \cdot \vec{CB} = CA \cdot CB \cdot \cos \Psi \quad (9)$$

$$\Psi = \tan^{-1}\left(\frac{BA}{CB}\right) \quad (10)$$

위의 식을 전개 하면 아래와 같다.

$$(X_g - X_1)(X_o - X_1) + (Y_g - Y_1)(Y_o - Y_1) = (\sqrt{AB^2 + BC^2})(BC)\cos \Psi \quad (11)$$

$$(X_o - X_1)X_g + Y_g(Y_o - Y_1) = X_1(X_o - X_1) + (Y_o - Y_1) + \sqrt{AB^2 + BC^2} \cdot BC \cdot \cos \Psi \quad (12)$$

식(11)과 식(12)를 연립하여  $A(X_g, Y_g)$ 를 구한다.

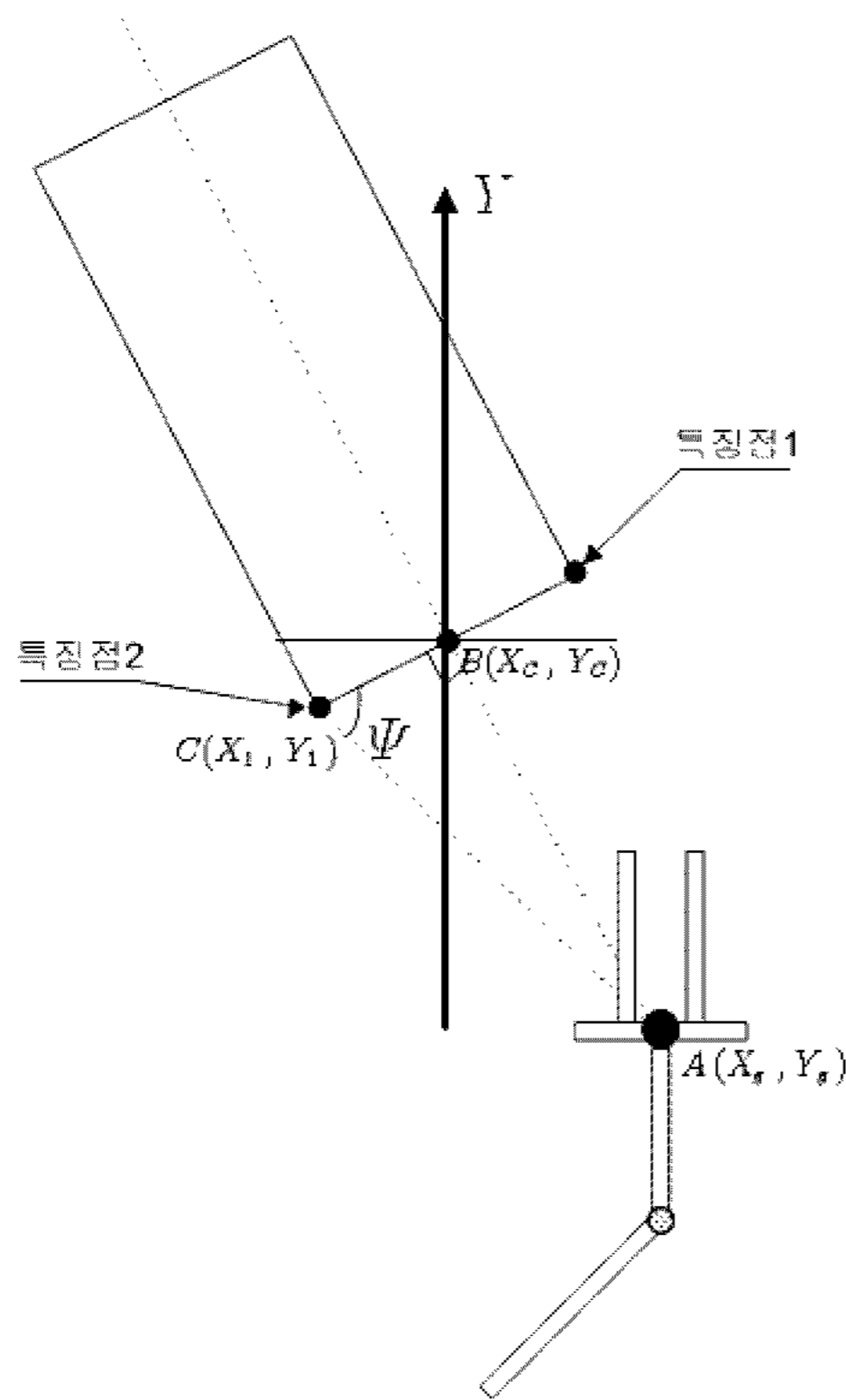


Fig. 7 Trajectory Planing

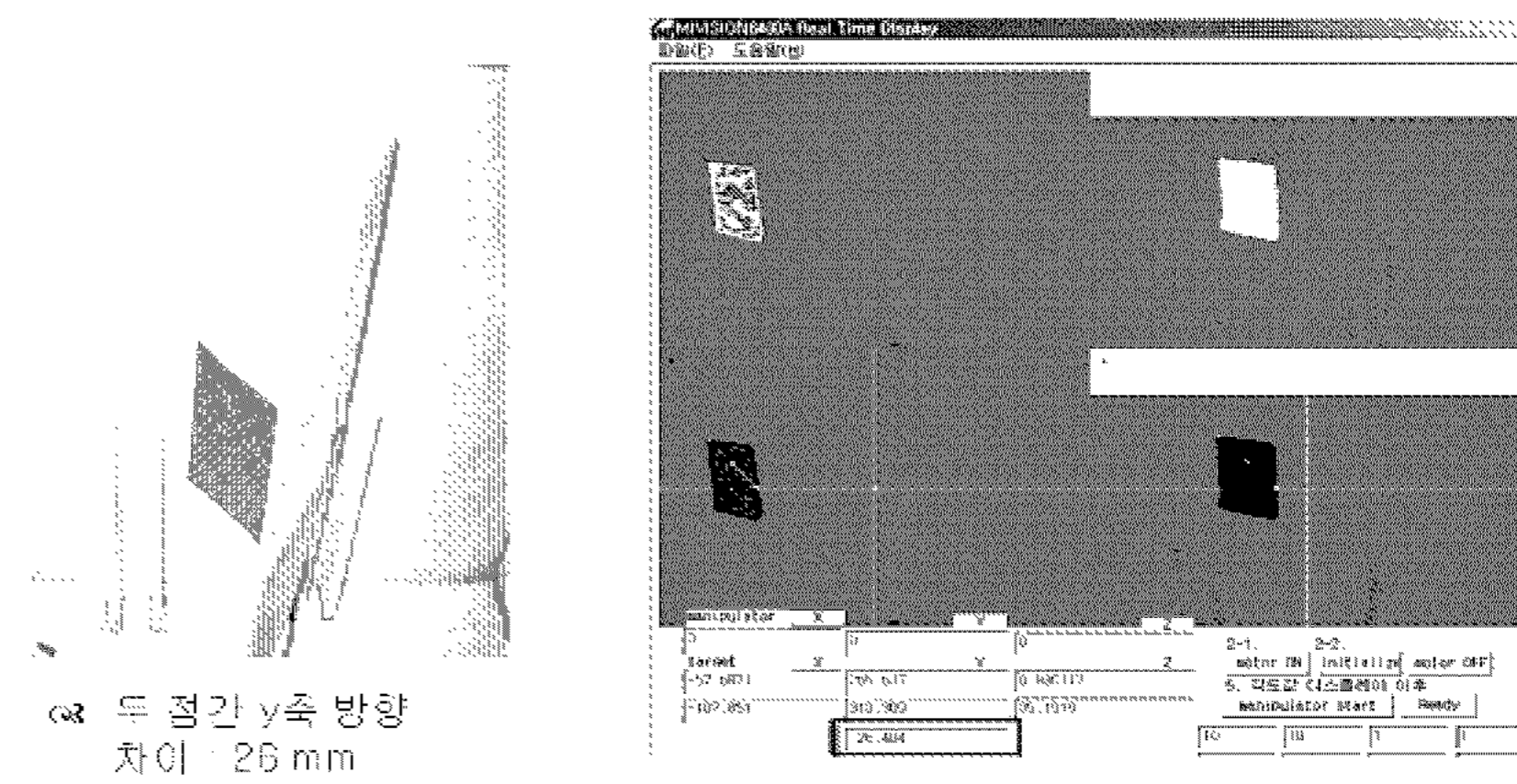


Fig. 8 Experimentation of book's Pposition and Pose

실험은 초록 색상의 사각 랜드마크를 부착한 책을 사용하였고, 책을 40° 기울였을 때(두 특정점 사이의 거리는 26 mm가 된다.) 책의 위치 및 자세를 측정하였다. Fig. 9는 모니터링 프로그램을 보여주고 있다.

### 5. 결론

본 실험에서는 특징점을 이용하여 물체의 위치 뿐만 아니라 자세까지 측정하고, 매니퓰레이터를 통해 물체를 효과적으로 잡기 위한 방법을 제안하였다. 향후 여러 가지 색상의 랜드마크를 가진 책을 구분해 내고, 실시간성을 높이면서도, 물체에 대한 보다 많은 정보를 측정해 내는 연구가 진행되어야 할 것이다.

### 참고문헌

1. Myoungsoo Han, Soongeul Lee "A New Landmark-Based Visual Servoing with Stereo Camera for Door Opening." ICCAS2002, 2002.
2. 천인국, 윤태영, "영상처리 기초편", 기한재, 1998.
3. Forstner, W "Quality assessment of object location and point transfer using digital image correction techniques", Proc. 15th ISPRS Congress, Rio De Janeiro, Brazil pp. 169-191, 1987.
4. H.J. Lee, M. C. Lee "Visual Servoing of a Mobile Manipulator Based on Stereo Vision", ICASE2003, 2003.
5. Radu Horaud, Fadi Dornaika "Visually Guider Object Grasping", IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1996
6. J Alison Noble, "Finding Cornners", Butterworth & Co. (Publishers) Ltd., Vol. 6, No2, pp. 121-128, 1998