

Eye-in-Hand 로봇트 비전을 이용한 3次元 位置情報의 推定

(3 Dimensional Position Estimation for Eye-in-Hand Robot Vision)

張 源*, 金 京 振*, 鄭 明 振*, 卞 增 男*

(Won Jang, Kyung Jin Kim, Myung Jin Chung, and Zeung Nam Bien)

要 約

本 論文에서는 作業로봇트의 팔 끝에 카메라를 附着하여, 로봇트가 作業遂行을 위한 運動을 하고 있는 中에도, 目標物의 3次元의 位置情報를 推定해내는 方法을 提案한다.

提案하는 方法에서는 移動중에 撮影된 여러 장의 映像들을 이용하여 目標物의 3次元 位置와 관련되는 非線形最小自乘函數를 構成하고 심플렉스 探索알고리듬을 사용하여 가장 近似한 3次元 位置값을 찾아낸다.

實驗을 통하여, 로봇트가 作業遂行을 위한 運動중에도 提案된 方法으로 매우 精確한 位置情報를 推定해낼 수 있음을 보였다.

Abstract

This paper describes a 3 dimensional position estimation method for a eye-in-hand robot vision system. The camera is mounted on the tip of a robot manipulator, and moves without restriction.

Sequences of images are considered simultaneously for nonlinear least-square formation, and the best estimation of the 3 dimensional position is searched by the Simplex search algorithm.

The experiments show that the proposed method can provide fairly accurate position information, while the robot is executing a given task.

I. 序 論

工場自動化에 대한 관심이 높아지면서 로봇트가 갖는 重要性·効用價値 등이 주목을 받고있다. 아울러 各各의 로봇트가 좀더 복잡한, 高度의 知能을 필요

로 하는 作業까지도 수행할 수 있기를 要求하고 있다. 이런 능력에 우선되어야 하는 것이 環境을 認識·感知하는 機能이고, 認識器官중 가장 많은 情報量을 취급하는 것이 視覺器官이라고 할 수 있다.

TV camera등을 이용하여 撮影된 映像에서 필요한 情報, 특히 3차원 의 位置情報를 抽出해내는 것은 computer vision 등의 분야에서도 활발한 연구가 進行되고있다. 그러나 로봇트와 연계시켜 工場自動化

*正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科
(Dept. of Electrical Eng., KAIST)
接受日字: 1988年 9月 14日

에 적용시키고자 하면 다음과 같은 몇가지 사항이 고려되어야 한다.¹⁾

- 費用이 적게 들것 (low cost)
- 信賴度가 높을것 (reliable operation)
- 원리상으로 簡單할것 (fundamental simplicity)
- 映像處理가 신속할것 (fast image processing)
- 照明條件이 까다롭지 않을것 (ease of scene illumination)

본 논문에서는 로봇트에 視覺裝置를 부착함으로써 作業環境의 변화(조립공정에서 부품이 일정치 않은 위치로 공급된단든지, 작업대상이 올바르게 놓이지 않은 위치에 놓여진 경우등)를 극복할 수 있도록하고자하는 연구의 일환으로, 로봇트 팔끝에 CCD camera를 부착하고, 撮影되는 映像을 통해 목표대상이 팔끝으로부터(정확하게는 camera로부터) 어디에 위치하고 있는가를 구하는 방법에 대해 논한다.

로봇트 팔끝에 camera를 부착하는 방법은, 작업중에 視野가 가리워지는 경우를 배제할 수 있고, 목표에 접근할수록 有効分解能이 좋아진다는 장점이 있으나, 종래의 크고 무거운 撮影器具를 사용하는 경우, 로봇트 팔에 추가의 부하를 주게 된다는 단점을 갖고있었다²⁾ 그러나 최근의 반도체소자기술의 급격한 발전에 힘입어 초소형·초경량·고분해능의 성능을 갖는 CCD camera가 속속 개발·시판되고 있고 로봇트 팔의 제조기술도 진보되고 있어서 로봇트 팔에 지우는 추가부하의 문제는 점차 해결되어가고 있다.

撮影된 映像에 근거하여 距離등의 3次元 位置情報를 계산하는 데는 stereo disparity를 이용하는 방법과 여러 장의 monocular 映像을 이용하는 방법이 있다.³⁾

로봇트 팔끝에 카메라를 부착하는 경우에 stereo disparity를 이용하려면, 두 대의 카메라를 팔끝에 부착하거나, 한 대의 카메라로 stereo disparity를 결정지을 수 있도록 제한된 수평운동 하에서 2장씩을 撮影하고 나서 그 다음 位置로 이동하여야 한다는 불편함이 있다. 반면에 여러 장의 monocular 映像을 사용한다면, 로봇트 팔의 운동에 제한을 둘 필요가 없으므로 작업상의 융통성이 증가되고, 視覺機能을 위한 추가의 동작계획을 수립하지 않아도 된다는 利點을 갖는다.

여러장의 monocular 映像을 사용하는 방법에 대해서는 Nevatia가 'motion stereo'라는 용어를 정의하면서 binocular stereo에 비해 correspondance 문제의 해결이 손쉬워지고, 그 결과로 계산량을 상당히 줄일 수 있다는 연구결과를 발표한 바 있다.⁴⁾ Bharwani는 '여러 장의' 映像을 써서 depth 情報를 esti-

mate 한다면 단 두장만을 사용하는 때보다 훨씬 높은 정밀도를 구현할 수 있다는 내용의 연구를 보고한 바 있고,⁵⁾ Amat는 그 정밀도 提高의 한 방법으로, 매번 계산된 depth를 평균하는 방법을 제안하고 그 실험결과를 보인 바 있다.⁶⁾ 그러나 평균법의 경우, 평균을 구하는 과정동안은 카메라와 목표사이의 距離가 일정하게 유지되어야 하는 등, 로봇트 팔의 운동이 제한을 받는다. 또한 距離가 변하는 경우로의 확장이 어렵다는 약점을 갖는다.

本 論文에서는 n장의 映像에서 얻어지는, 3次元 位置計算과 관련된 측정치들을 동시에 고려하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 n장의 映像에서 얻은 측정치들을 포함하는 函数 J를 정의하고, 정의된 函数 J에 근거하여 最終撮影位置를 기준으로 한, 목표의 3次元 位置를 抽出하는 과정으로 구성된다. 이 방법은 '여러 장의 monocular 映像을 이용'하는 방법의 장점^{5,6)}을 유지하면서, 카메라에게 임의의 3次元의 並進運動까지 허용한다는 장점을 갖는다.

本 論文은 2章에서 일반적인 映像形成過程에 대해 略述한다. 3章에서는 제안하는 방법을 說明하고, 4章에서는 실험결과를 보이고, 5章에서는 結論을 맺는다.

II. 映像形成過程

그림 1에 본 논문에서 고려하고자 하는 상황을 나타내었다. 좌표계 {C}를 갖는 camera가 움직이면서

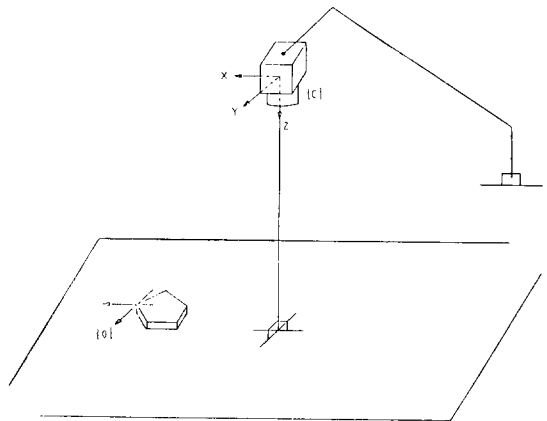


그림 1. 팔끝에 카메라가 부착된 로봇트 비전 시스템의 개략도

Fig. 1. Diagram of eye-in-hand robot vision system.

撮影한 映像에 근거하여 最終撮影位置에 대한, 작업의 목표가 되는 어떤 점 또는 어떤 좌표계의 位置를 抽出하고자 한다. 팔끝에 camera를 달고있는 로봇트 매니플레이터는 Cartesian control이 가능하고 또한 매 撮影時期사이에 운동한 양을 判讀할 수 있음을 가정하였다. (Puma 560과 VAL controller의 경우 world mode, tool mode로 동작하는 실제상황에 해당한다.) 또한 camera의 光軸은 항상 수직아래를 향한다. 목표로 하는 점이 화면상에서 어떤 점인가를 최초로 선택하는 것은 실험자가 graphic cursor 등으로 지정하도록 하였다. 한번 지정되고나면 motion stereo 방법의 특성상 此後의 映像에서 그 점을 추적하는 문제는 상당히 간략화된다.^{3,4)}

映像形成過程의 모델링을 위해서 pin-hole camera model을 채용하였고 편의상 映像平面을 焦点의 앞쪽

으로 반전시켜 사용하였다.

목표로 하는 점이 camera {C}로부터 (x, y, z) 의 位置에 있는, 그림2a와 같은 상황에서의 映像形成過程을 그림2b에 보였다. 물론 같은 내용의 그림을 Y-Z 평면에 대해서도 보일 수 있다. 그림에서 f 는 camera의 焦点距離이다.

그림 2의 상황은 3次元空間상의 한 점 (x, y, z) 가 映像平面상의 한 점 (u, v) 로 투영되는 것으로, 그림 2b의 두 닦은 삼각형에 의해 다음이 성립한다.

$$\frac{u}{f} = \frac{x}{z}, u = f \cdot \frac{x}{z} \tag{1}$$

Y-Z에 대해서도

$$\frac{v}{f} = \frac{y}{z}, v = f \cdot \frac{y}{z} \tag{2}$$

가 성립한다.

III. 位置情報의 抽出

n 장의 monocular 映像을 이용하여 3次元 位置情報을 抽出하려는 상황의 간단한 예를 그림 3에 보였다. 사용하려는 映像은 3 장이고, 各 撮影時期사이에 카메라는 光軸方向으로 dz_1, dz_2 만큼 이동하였음을 가정하였다. 뒤에서는 이동한 방향이 임의의 방향인 경우와, 일반적으로 $n(\geq 3)$ 장의 映像을 사용하는 경우를 논한다.

그림3a에서 앞에서 가정된 간단한 상황을 입체적으로 圖示하였다. 撮影된 映像 1, 2, 3에서, 목표점의 투영위치 $(u_1, v_1), (u_2, v_2), (u_3, v_3)$ 를 추적하는 procedure 들기에 대한 詳述은 피한다.

그림3a의 상황에서 X-Z 평면을 고려하면 그림3b를 얻는다. II章에서 보인 式(1), (2)는 映像 1, 2, 3 각각에 대해 성립한다.

$$\left. \begin{aligned} \frac{u_1}{f} &= \frac{x_1}{z_1}, u_1 = f \cdot \frac{x_1}{z_1} \\ \frac{u_2}{f} &= \frac{x_2}{z_2}, u_2 = f \cdot \frac{y_2}{z_2} \\ \frac{u_3}{f} &= \frac{x_3}{z_3}, u_3 = f \cdot \frac{y_3}{z_3} \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

各 撮影時期사이에의 카메라移動量を 알고 있으므로 $z_1, z_2, z_3, x_1, x_2, x_3$ 를 다음과 같이 관련지을 수 있다.

$$x_1 = x_2 = x_3 \tag{4}$$

$$\left. \begin{aligned} z_2 &= z_1 - dz_1 \\ z_3 &= z_2 - dz_2 \end{aligned} \right\} \tag{5}$$

最終撮影位置와 관련되는 z_3 에 관심을 둔다면,

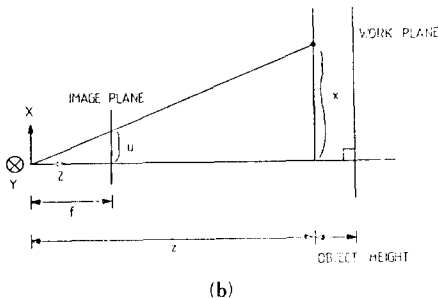
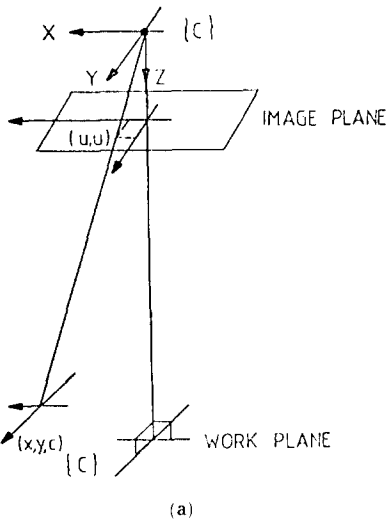


그림 2. (a) 영상 형성과정
(b) X-Z 평면

Fig. 2. (a) Image formation process.
(b) X-Z plane.

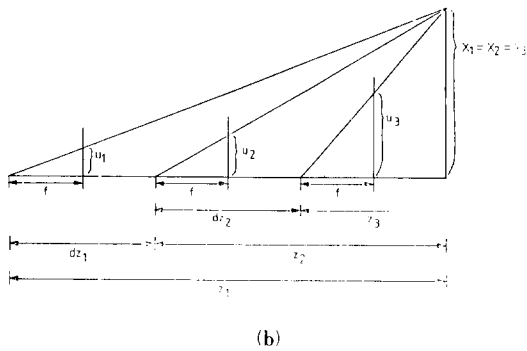
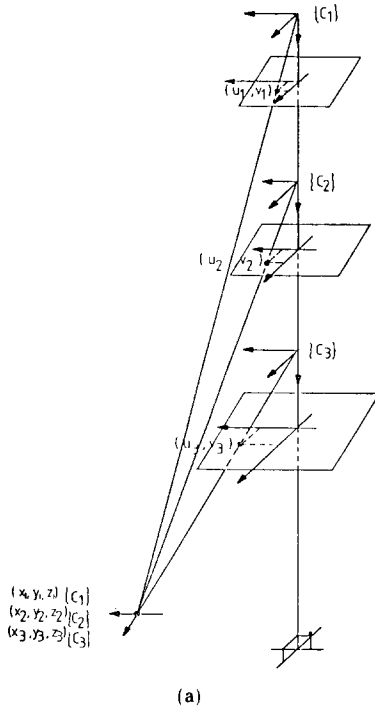


그림 3. (a) 여러 장의 monocular 영상
(b) X-Z 평면

Fig. 3. (a) Multiple monocular images.
(b) X-Z plane.

$$\left. \begin{aligned} z_2 &= z_3 + dz_2 \\ z_1 &= z_2 + dz_1 = z_3 + (dz_1 + dz_2) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

을 얻을 수 있다. 단 (4)가 성립하는 것은 그림 3에서 $dx_1 = dx_2 = dy_1 = dy_2 = 0$ 인, 光軸方向의 운동을 가정했기 때문이고, 그렇지 않은 경우에는 $x_1, x_2, x_3,$

y_1, y_2, y_3 에 대해서도 (6)과 같은 형태의 식을 얻을 수 있다.

(4), (6)을 (3)에 대입하면 다음을 얻는다.

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= f \cdot \frac{x_3}{z_3 + (dz_1 + dz_2)} \\ u_2 &= f \cdot \frac{x_3}{z_3 + dz_2} \\ u_3 &= f \cdot \frac{x_3}{z_3} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

만일 u_1, u_2, u_3 가 무한대의 分解能을 갖고 측정되었고, 最終攝影位置에 대한 목표점의 위치 (x_3, y_3, z_3) 를 정확히 알아서 (7)에 대입한다면,

$$\left. \begin{aligned} u_1 - f \cdot \frac{x_3}{z_3 + (dz_1 + dz_2)} &= 0 \\ u_2 - f \cdot \frac{x_3}{z_3 + dz_2} &= 0 \\ u_3 - f \cdot \frac{x_3}{z_3} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

가 성립한다.

동일한 상황을 가정한다면, Y-Z 평면에 대해서 같은 논리전개가 가능하여서 다음이 성립한다.

$$\left. \begin{aligned} v_1 - f \cdot \frac{y_3}{z_3 + (dz_1 + dz_2)} &= 0 \\ v_2 - f \cdot \frac{y_3}{z_3 + dz_2} &= 0 \\ v_3 - f \cdot \frac{y_3}{z_3} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

(8), (9)식의 성질을 한번에 이용하기 위해 다음과 같은 函数 J를 설정하였다.

$$\begin{aligned} J(x_3, y_3, z_3) &= \left[\left\{ u_1 - f \cdot \frac{x_3}{z_3 + (dz_1 + dz_2)} \right\}^2 + \right. \\ &\quad \left. \left\{ v_1 - f \cdot \frac{y_3}{z_3 + (dz_2 + dz_1)} \right\}^2 + \right. \\ &\quad \left. \left\{ u_2 - f \cdot \frac{x_3}{z_3 + dz_2} \right\}^2 + \right. \\ &\quad \left. \left\{ v_2 - f \cdot \frac{y_3}{z_3 + dz_2} \right\}^2 + \right. \\ &\quad \left. \left\{ u_3 - f \cdot \frac{x_3}{z_3} \right\}^2 + \right. \\ &\quad \left. \left\{ v_3 - f \cdot \frac{y_3}{z_3} \right\}^2 \right] \quad (10) \end{aligned}$$

(x_3, y_3, z_3) 에 정확한 位置값을 대입한다면 $J(x_3, y_3, z_3) = 0$ 이 성립한다. 그외의 경우에 J는 항상 陽의 값을 갖는다.

Camera가 各 撮影時期사이에 3次元空間 상에서 임의의 並進運動을 행한 경우라면 函數J는 다음과 같이 구할 수 있다. 우선 各 撮影時期사이에 있었던 운동을 $(dx_1, dy_1, dz_1), (dx_2, dy_2, dz_2)$ 로 표기하면 다음을 얻을 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= x_1 - dx_1, & x_3 &= x_2 - dx_2 \\ y_2 &= y_1 - dy_1, & y_3 &= y_2 - dy_2 \\ z_2 &= z_1 - dz_1, & z_3 &= z_2 - dz_2 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= x_3 + dx_2 \\ y_2 &= y_3 + dy_2 \\ z_2 &= z_3 + dz_2 \\ x_1 &= x_3 + (dx_1 + dx_2) \\ y_1 &= y_3 + (dy_1 + dy_2) \\ z_1 &= z_3 + (dz_1 + dz_2) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

결국 이 경우의 函數J는 다음과 같아진다.

$$\begin{aligned} J(x_3, y_3, z_3) &= \left[u_1 - f \cdot \frac{x_3 + (dx_1 + dx_2)}{z_3 + (dz_1 + dz_2)} \right]^2 + \\ &\quad \left[v_1 - f \cdot \frac{y_3 + (dy_1 + dy_2)}{z_3 + (dz_1 + dz_2)} \right]^2 + \\ &\quad \left[u_2 - f \cdot \frac{x_3 + dx_2}{z_3 + dz_2} \right]^2 + \\ &\quad \left[v_2 - f \cdot \frac{y_3 + dy_2}{z_3 + dz_2} \right]^2 + \left[u_3 - f \cdot \frac{x_3}{z_3} \right]^2 + \\ &\quad \left[v_3 - f \cdot \frac{y_3}{z_3} \right]^2 \end{aligned} \quad (13)$$

이 때도 역시 最終撮影位置에 대한 목표점의 정확한 位置를 (x_3, y_3, z_3) 에 대입한다면 函數J는 零의 값을 갖고 그외에는 陽의 값을 갖는다.

이상을, n장의 映像을 撮影하고, 最終撮影位置에 대해 (x_n, y_n, z_n) 을 구하고자 하는 일반적인 경우로 확장하면 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} x_1 - dx_1 &= x_2, & y_1 - dy_1 &= y_2, & z_1 - dz_1 &= z_2 \\ x_2 - dx_2 &= x_3, & y_2 - dy_2 &= y_3, & z_2 - dz_2 &= z_3 \\ &\vdots & & & & \\ x_{n-1} - dx_{n-1} &= x_n, & y_{n-1} - dy_{n-1} &= y_n, & z_{n-1} - dz_{n-1} &= z_n \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= x_n + (dx_1 + dx_2 + \dots + dx_{n-1}) \\ y_1 &= y_n + (dy_1 + dy_2 + \dots + dy_{n-1}) \\ z_1 &= z_n + (dz_1 + dz_2 + \dots + dz_{n-1}) \\ &\vdots \\ x_{n-1} &= x_n + dx_{n-1} \\ y_{n-1} &= y_n + dy_{n-1} \\ z_{n-1} &= z_n + dz_{n-1} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} J(x_n, y_n, z_n) &= \sum_{j=1}^{n-1} \left[\left(u_j - f \cdot \frac{x_n + \sum_{j=l}^{n-1} dx_j}{z_n + \sum_{j=l}^{n-1} dz_j} \right)^2 + \right. \\ &\quad \left. \left(v_j - f \cdot \frac{y_n + \sum_{j=l}^{n-1} dy_j}{z_n + \sum_{j=l}^{n-1} dz_j} \right)^2 \right] + \left(u_n - f \cdot \frac{x_n}{z_n} \right)^2 \\ &\quad + \left(v_n - f \cdot \frac{y_n}{z_n} \right)^2 \end{aligned} \quad (16)$$

이제 $J(x_n, y_n, z_n)$ 의 값을 최소화 시키는 (x_n, y_n, z_n) 을 구하면, 最終最影位置에 대한 목표점의 위치에 해당하게 된다.

전형적인 경우에 극점주위에서 函數J가 갖는 형태를 그림 4와 5에 보였다. X-Y-Z-값, 총 4次元

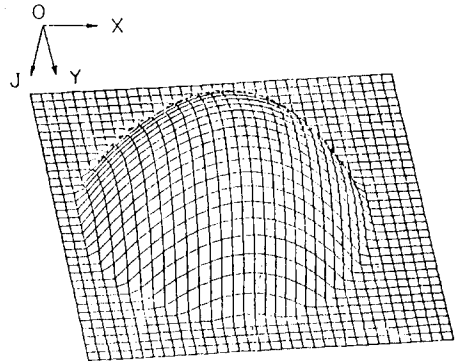


그림 4. 극점 주위에서 函數J의 형태
Fig. 4. Shape of the function J around the extremum.

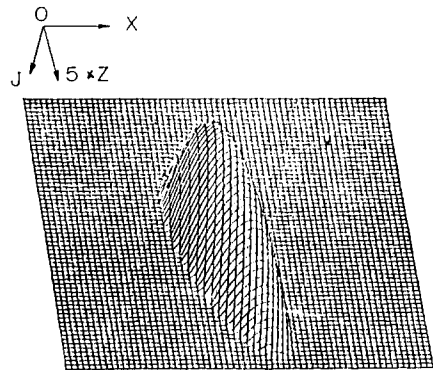


그림 5. 극점 주위에서 函數J의 형태(2)
Fig. 5. Shape of the function J around the extremum(2).

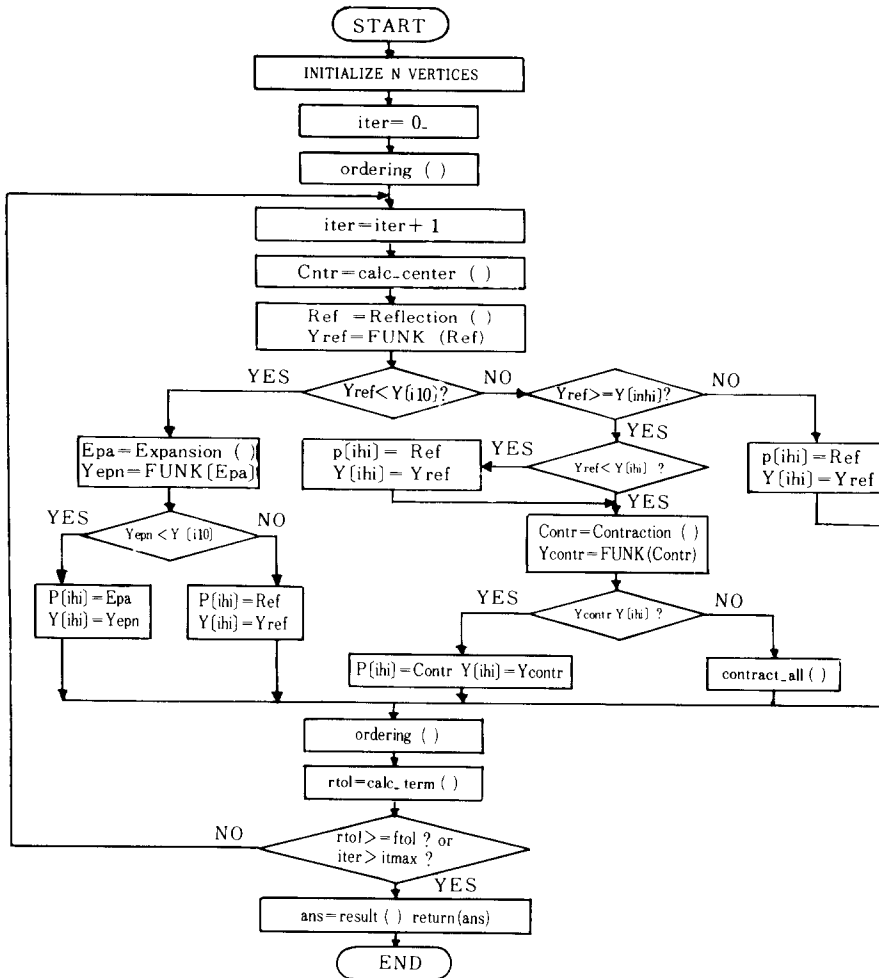


그림 6. SIMPLEX 탐색 알고리즘

Fig. 6. SIMPLEX search algorithm.

의 圖解를 위해 그림 4 에는 Y-Z-J值, 그림 5 에는 X-Z-J值에 해당하는 그림을 보였다.

函数 J를 최소화시키는 (x, y, z) 를 찾는 일반적인 “최소화 문제”에 대해서는 수치해석분야에서 많은 연구를 이루어 놓았다.¹⁾ 본 논문에서는 “SIMPLEX를 이용한 최소화 방법”(이하 “SIMPLEX 探索方法”이라 칭한다.)을 사용하였다. “SIMPLEX 探索方法”은 기존의 방법중 최고속의 알고리즘은 아니지만 최소치로의 探索·接近過程이 매우 信賴性이 있어 모든 경우에 최소치를 확실히 찾을 수 있고, 微分을 계산하지 않아도 된다는 장점을 갖는다.

그림 6, 7, 8에 본 논문에서 C언어로 구현한 “SI-

MLEX 探索方法”과 관련된 흐름도를 보였다. 그림 9 에는 “SIMPLEX 探索方法”을 써서 (x, y, z) 를 구해낸 전형적인 동작과정을 보였다. 세계의 독립변수 x, y, z 가 조절되고 있지만 편의상 X-Z변수의 변화만을 圖示하였다. ‘0’으로 표기된 곳에서 探索을 시작하여 139번의 반복시행끝에 최종값을 구하였다.

IV. 實 驗

實驗用시스템의 구성은 다음과 같다.

- FD-5000 512×512 gray level video-rate frame grabber
- 焦點距離 16mm의 소형 CCD camera.

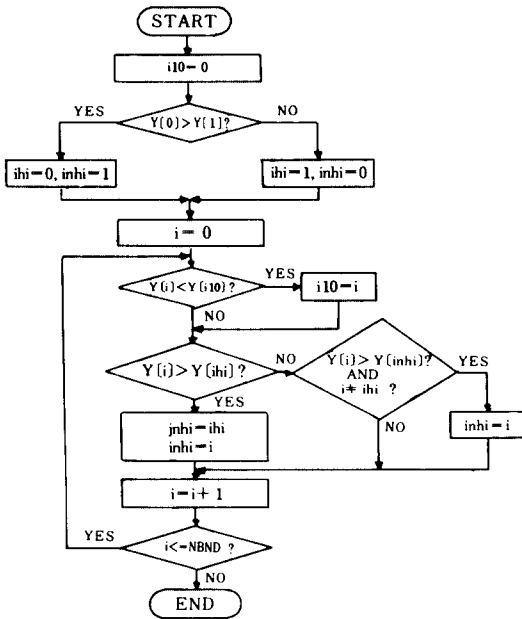


그림 7. 순서 배열 프로시듀어
Fig. 7. Ordering procedure.

- PUMA 560 manipulator와 VAL controller.
- PDP-11/34 minicomputer.
- micro-VAX-II.

PUMA 560매니플레이터의 팔끝에 焦点距離 16mm의 소형 CCD camera를 장착하여 映像을 撮影하고, PDP-11/34와 그에 장착된 FD-5000을 써서 映像處理를 수행한 다음, 필요한 data를 micro-VAX로 전송한다. Micro-VAX에서는 PDP-11/34로부터 받아들인 data를 앞에서 제안한 방법으로 3次元 位置情報を 계산한다. 또한 다음의 撮影位置로 이동하기 위해 필요한 운동 data를 PDP-11/34를 통해 PUMA-560으로 내려보낸다. 그림10에 전체시스템의 구성을 나타내었고 그림11에는 실험준비중의 PUMA 560system의 모습을 보였다.

實驗을 위해서 작업대위에 높이가 서로 다른 세계의 물체를 배치하였다. 사용된 물체들은, 높이 10mm의 三角柱(A), 높이 18mm의 四角柱(B), 높이 30mm의 正四角柱(C)이다.

소개하는 실험은 카메라가 X軸方向으로 1mm씩 이동하며 撮影한 경우이다. 각 물체 A, B, C의 화면에서 측정되는 목표점 위치를 표 1과 같은 형태로 저장하였다. 2장내지 65장의 映像을 이용하여 제안된

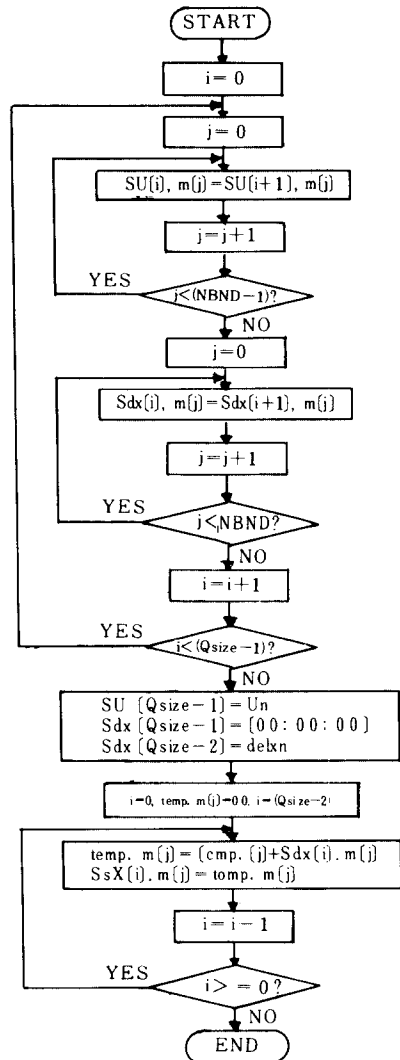


그림 8. 데이터 초기화 프로시듀어
Fig. 8. Data initialization procedure.

방법으로 最終撮影位置에 대한 각 물체의 목표점 위치를 抽出하였다. 그림12, 13에 그 결과를 나타내었다. 그림12는 사용된 映像의 수와 그때 抽出된 물체 A, B, C에 대한 情報중 Z성분을 보인 것이다. 그림13은 한 목표점의 位置情報중 X, Y성분을 사용된 映像의 수와 비교하여 보인 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 16매이상의 映像을 이용한다면 Z성분에 대해서도 信頼할만한 값을 얻을 수 있었고, X, Y성분에 대해서는 그보다 적은 수의 映像으로서도 만족할만한 결과를 얻을 수 있었다.

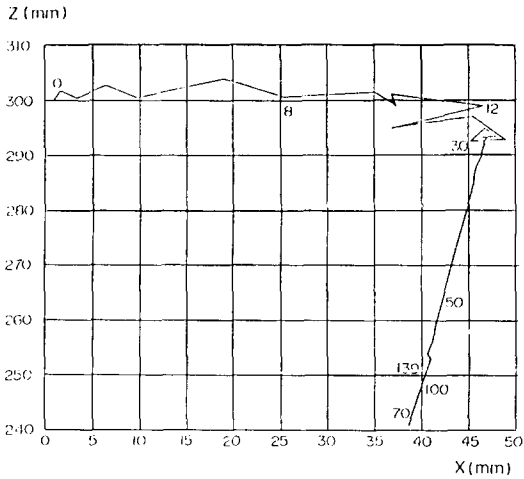


그림 9. SIMPLEX의 움직임
Fig. 9. Motion of the SIMPLEX.

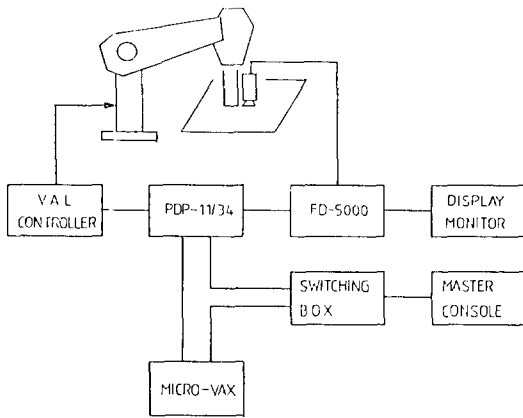


그림10. 시스템의 구성도
Fig. 10. System configuration.

V. 結 論

로봇에 視覚機能을 부여하기 위한 연구의 일환으로 팔끝에 camera를 장착한 로봇이 작업을 수행하면서, 撮影되는 여러장의 映像을 써서 목표점까지의 3次元 位置情報를 구하는 방법을 제안하고 실험 결과를 보였다.

실험결과 8 장의 映像을 사용하면 3%이내의 오차를, 16장이상의 경우에는 0.3%이내의 오차를 보장한다.



그림11. 카메라가 부착된 로봇 매니플레이터
Fig. 11. A robot manipulator with eye-in-hand.

표 1. 각 물체의 화면상의 위치
Table 1. Each objects' image position.

steps	A	B	C
1	(464, 148)	(496, 299)	(267, 204)
2	(459, 148)	(493, 299)	(264, 204)
3	(456, 148)	(489, 299)	(261, 205)
4	(452, 148)	(485, 299)	(257, 204)
5	(448, 148)	(481, 299)	(252, 204)
⋮	⋮	⋮	⋮
64	(213, 151)	(256, 302)	(33, 208)
65	(209, 151)	(252, 302)	(28, 207)

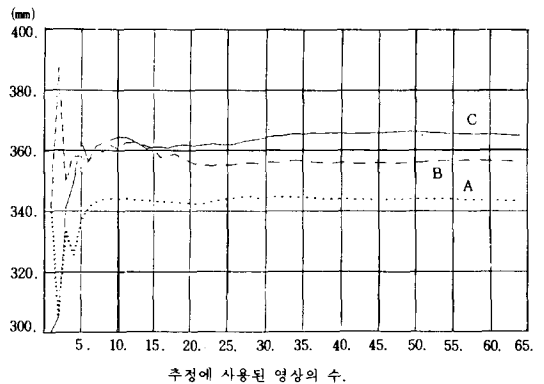


그림12. 추정된 각 물체까지의 거리(Z축 방향)
Fig. 12. Estimated distance for each object (along the Z-axis).

參考文獻

- [1] Alan Pugh, "Robot vision," IFS, 1983.
- [2] Yoram Korean, "Robotics," McGraw-Hill, 1985.
- [3] R.A. Jarvis, "A perspective on range finding techniques for computer vision," *IEEE Trans. on PAMI*, vol. PAMI-5, no. 2, pp. 122-139, Mar. 1983.
- [4] R. Nevatia, "Depth measurement by motion stereo," *CGIP 5*, pp. 203-214, 1976.
- [5] S. Bharwani, etc, "Pefinement of environmental depth maps over multiple frames," *Proc. IEEE Workshop on Motion*: pp. 73-80 May 1987.
- [6] J. Amat etc, "Improving accuracy and resolution of a motion stereo vision system," *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation* pp. 634-638, 1986.
- [7] 한국과학기술원, "동적시각정보를 이용한 시각 구동로봇트의 적응제어," 1988.
- [8] Melvin J. Maron, "Numerical analysis," Macmillan Pub. Co., 1982. *

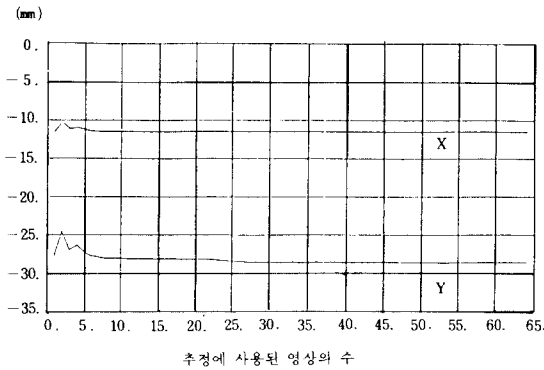


그림13. 추정된 물체A의 위치(X축, Y축 방향)
 Fig. 13. Estimated position for object A.
 (along the X-axis & Y-axis).

추후의 연구과제로 3次元 空間상에서의 並進運動 외에 回轉運動까지 허용할 수 있는 방법을 연구중에 있다.

著 者 紹 介

金 京 振 (正會員)

1985年 8月 21日生. 1981年 2月 서울대학교 자연 과학대학 천문학과 졸업 공학사 학위 취득. 1981年 ~1982年 국립천문대 연구원. 1984年 2月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업 석사학위취득. 1989年 2月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업 박사학위 취득. 현재 광림기계주식회사 기술연구소. 주관심분야는 로봇비전 임.

張 源 (正會員)

1961年 7月 27日生. 1984年 2月 서울대학교 공과 대학 전자공학과 졸업 공학사 학위취득. 1986年 2月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업 석사학위 취득. 1986年 3月 ~현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정. 주관심분야는 로봇 비전 임.

下 増 男 (正會員) 第25卷 第8號 參照

현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 교수.

鄭 明 振 (正會員) 第25卷 第8號 錢照

현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 조교수.