

삼각법을 이용한 슬릿 빔 레이저 캘리브레이션

주 기 세 *

*목포해양대학교

The Slit Beam Laser Calibration Method Based On Triangulation

KISEE JOO *

*Mokpo Maritime University

E-mail : jksjoo@mail.mmu.ac.kr

요 약

3차원 정보를 얻기 위해서는 레이저나 카메라와 같은 많은 센서들이 이용된다. 그러나 대부분의 레이저 캘리브레이션 방법은 많은 량의 메모리와 실험 데이터가 필요하기 때문에 비효율적인 방법이다.

실 세계상에 놓여있는 물체의 3차원 정보를 얻기 위해서는 레이저 캘리브레이션이 필요한데 본 논문에서는 삼각법을 이용한 슬릿 빔 레이저 캘리브레이션 방법을 소개하고자 한다. xy테이블에 수직으로 설치된 레이저 빔이 아랫 방향으로 사영되고 CCD 카메라는 물체와 사영면이 교차하는 교차면 데이터를 저장한 후 저장된 관측 데이터와 캘리브레이션 데이터를 이용하여 3차원 정보를 얻게된다.

본 논문에서 제시하는 방법은 레이저 캘리브레이션 데이터를 단순히 삼각법을 이용하여 구하기 때문에 컴퓨터의 메모리와 실험 데이터의 량을 줄일 수 있는 장점이 있다.

ABSTRACT

Many sensors such as a laser, CCD camera to obtain 3D information have been used, but most of calibration algorithms are inefficient since a huge memory and an experiment data for laser calibration are required.

In this paper, the calibration algorithm of a slit beam laser based on triangulation method is introduced to calculate 3D information in the real world. The laser beam orthogonally mounted on the XY table is projected on the floor. A CCD camera observes the intersection plane of a light and an object plane. The 3D information is calculated using observed and calibration data.

This method saves a memory and an experimental data since the 3D information are obtained simply triangulation method.

1. 서 론

많은 산업용 로봇이 다양한 분야에서 사용되고 있지만 대부분은 센서나 지능이 없이 응용되고 있다. 유연생산시스템(FMS(flexible manufacturing system))의 구현을 위해서는 주어진 새로운 상황에 적용할 수 있는 더욱더 진보된 로봇이 필요하다. 유연생산시스템을 구현하기 위해서 가장 필요한 기술중의 하나는 CCD 카메라를 통하여 획득된 이미지 정보를 이용하여 로봇 주변 환경을 인식하는 것이 중요하다.

또한 유연생산시스템 구현을 위해서는 3차원 물체들의 위치 및 자세정보가 필요하다. 획득된 물체들의 위치 및 자세정보는 로봇에 제공되며

원하는 작업을 수행하게 된다. 위와같이 물체의 3차원 정보를 얻기 위해서는 수동센서를 이용하는 방법으로는 스테레오 비전이 이용된다. 그리고 능동형 센서 중에서는 한 대의 레이저 및 CCD카메라가 이용된다.

3차원 물체로부터 사영된 2차원 이미지의 해석 방법은 다음과 같은 두 가지 때문에 힘들다. 첫 번째로 3차원 정보가 이미지 평면에 2차원으로 사영되기 때문에 3차원 정보를 손실하게 된다. 두 번째로 사영된 물체의 명암정도가 물체가 놓여있는 위치와 자세, 면의 반사를 정도, 광원의 위치 및 자세 등에 따라 영향을 받은 복잡한 함수이다.

본 논문에서는 3차원 정보를 얻기 위해서 슬릿 빔 레이저와 CCD카메라를 이용한 방법에 대하여 설명한다. 사영된 이미지의 점 정보로부터 $x, y,$

z정보를 얻기 위하여 삼각법을 사용하는데 이는 이미지의 점 정보로부터 곧바로 x, y, z정보를 얻기 어렵기 때문이다. 이미지에 나타난 점 정보는 카메라의 위치 및 자세에 따라 다르게 보이기 때문에 카메라의 위치 및 자세에 대한 정보를 필요하게 되는데 이를 카메라의 캘리브레이션이라 한다.

기존의 연구는 카메라의 캘리브레이션 없이 이미 알고있는 물체를 정해진 위치에 놓고 슬릿 빔 레이저를 이동시키면서 연속적으로 반복하여 데이터를 수집하여 대응 지도(map)를 이용하여 3차원 정보를 구하였다. 이 방법은 많은 량의 데이터 뿐만 아니라 모든 높이 및 물체 위치에 대하여 Look Up 테이블을 만들어야 되기 때문에 많은 시간이 소요되는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 카메라의 캘리브레이션 데이터를 이용하여 레이저의 캘리브레이션 데이터를 이용함으로써 메모리 및 실험시간을 줄이면서 정확하게 3차원 데이터를 추출하는 알고리즘을 제시하고자 한다.

II. 좌표계 시스템 및 시스템의 구성

1. 좌표계 시스템

실세계상에 위치한 물체의 3차원 정보를 추출하기 위해서는 그림 1에 표시된바와 같이 카메라 좌표계, 화면 좌표계, 그리고 월드 좌표계의 3개의 직각(Cartesian) 좌표 시스템을 정의하여 사용한다.

첫 번째 좌표계인 카메라 좌표계는(x_e, y_e, z_e)는 카메라의 초점에 정의되는 좌표계로써 카메라의 시축을 z_e 축으로 하고 x_e 와 y_e 축은 z_e 축에 따라 왼손법칙에 따라 결정된다. 이 좌표계에서 x_e, y_e 축은 아래에서 정의한 화면 좌표계의 u, v 축과 평행하며 같은 방향으로 정의된다.

두 번째 좌표계인 화면 좌표계(u, v)는 카메라로 잡은 영상을 비전 시스템으로 처리하기 위하여 설정되는 좌표계이며, 화면상의 중앙점에 해당하는 이미지 센터(image center)를 원점으로하고 화면에 수평하게 u 축을 잡고 이에 수직한 축을 v 축으로 정의한다.

세 번째 좌표계인 월드 좌표계(x_w, y_w, z_w)는 실공간상에 위치한 물체를 위하여 정의된 좌표계로써 x_w, y_w, z_w 축이 오른손 법칙에 의해서 정해진다. 물체의 3차원 위치 및 자세를 측정하기 위해서는 영상내의 임의의 한 점이 월드좌표계 상의 어느 점에 해당하는가를 알아내는 역투영(back projection)방법을 알아야 한다. 위에서 정의한 화면 좌표계, 카메라 좌표계, 그리고 월드 좌표계 사이의 관계에 의해서 화면 좌표계 내의 임의의 한 점에 해당하는 월드 좌표계 상의 위치를 결정하게 된다.

2. 실세계 좌표계 상에서의 좌표계산

화면 좌표계의 한점에 대응하는 월드 좌표계의

위치는 화면 좌표계, 카메라 좌표계, 그리고 월드 좌표계 사이의 관계를 나타내는 아래의 두식 (1), (2)에 의해서 결정된다. 식 (1)은 화면 좌표계와 카메라 좌표계 사이의 관계를 나타낸다. 그러므로 두 식 (1), (2)를 이용하여 화면 좌표계에서 추출된 특징점의 화면 좌표를 월드 좌표계 상의 좌표값으로 변환하여 3차원 공간상에 놓여 있는 물체의 위치 및 자세를 측정하게 된다.

$$\begin{aligned} x_e &= u \cdot z_e / d \\ y_e &= v \cdot z_e / d \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 d : 초점 거리(focal length)

$$\begin{pmatrix} x_e \\ y_e \\ z_e \\ 1 \end{pmatrix} = (x_w, y_w, z_w) \cdot \begin{pmatrix} -\sin(\theta) & -\cos(\theta)\cos(\phi) & -\cos(\theta)\sin(\phi) & 0 \\ \cos(\theta) & -\sin(\theta)\cos(\phi) & -\sin(\theta)\sin(\phi) & 0 \\ 0 & \sin(\phi) & -\cos(\phi) & 0 \\ 0 & 0 & D & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

여기에서 θ : pan각, ϕ : tilt각

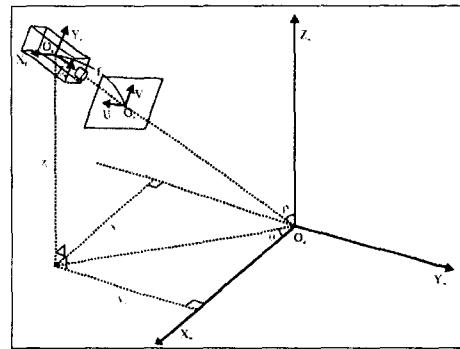


그림 1. 좌표계 시스템

3. 시스템 구성

본 연구에 사용된 시스템은 다음 그림 2에 나타난 바와같이 xy테이블 좌표(x_p, y_p, z_p)계는 실세계상의 좌표(x_w, y_w, z_w)계와 동일하게 정의된다. 그리고 슬릿 빔 레이저는 볼 스크류(ball crew)에 xy테이블의 y_p 축과 수직으로 설치된다. 그리고 일정한 영역을 주사하기 위하여 레이저를 xy테이블을 따라 일정간격으로 이동시킨다. 일반적으로 카메라를 이용하여 정보를 얻는 경우에는 영역정보를 얻을 수 있지만 레이저를 이용하는 경우에는 영역정보를 얻을 수 없고 점 정보만을 얻을 수 있다. 따라서 3차원 물체에 대한 물체 모양 및 자세에 대한 정보를 얻기 위해서는 영역정보가 필요하고 이를 위하여 레이저를 일정영역을 이동시키면서 주사시켜야 한다.

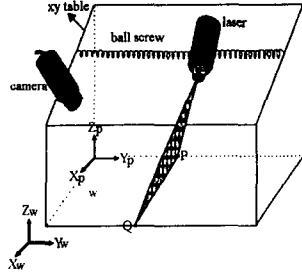


그림 2. 거리정보 추출 시스템 구성도

III. 레이저 캘리브레이션

먼저 카메라 캘리브레이션(calibration)이란 카메라 내부의 기하적, 광학적 특성 즉 내부적인 파라미터들(internal parameters) 및 3차원 공간 상의 월드좌표계상에서의 상대적 카메라의 위치 및 자세 즉 외부(external) 파라미터들을 구하는 과정이다. 카메라 캘리브레이션 데이터는 공간상에 놓여 있는 3차원 물체의 자세 및 위치 측정에 사용되기 때문에 물체 인식 및 좌표 계산 과정에서 중요한 단계중의 하나이다. 그러나 스테레오 비전에 있어서 기존의 방법을 사용한 카메라 캘리브레이션은 양 이미지간의 대응 문제를 해결해야 되기 때문에 매우 어렵다. 카메라 캘리브레이션의 내부 파라미터 및 외부 파라미터를 구하는 과정은 다음과 같다.

내부적 파라미터들을 구하는 과정이란 다음을 구하는 과정을 의미한다.

1. 이미지 평면(image plane)에서 카메라 중심 즉 사영 중심점까지의 거리인 초점 거리
2. 렌즈 왜곡에 해당하는 가로 및 세로 비

외부적 파라미터를 구하는 과정이란 월드좌표와 카메라좌표 사이의 변환을 정의하기 위하여 3x3 회전 매트릭스(rotation matrix)와 이동 벡터(translation vector)를 계산하는 것이다.

월드 좌표상의 3차원 좌표 계산을 위하여 먼저 그림 1과 같이 카메라를 월드 좌표상의 (x_w, y_w, z_w) 에 놓고 카메라 시축이 월드 좌표계의 원점을 향하도록 설치한 후 캘리브레이션 시켰다.

에지 분리, 분할 및 3차원 좌표 계산을 위한 레이저 캘리브레이션 데이터는 화면 좌표 및 월드 좌표상에서 구해진다. 먼저 레이저 캘리브레이션을 위하여 그림 2와 같이 xy테이블의 x_p, y_p, z_p 축을 월드 좌표계의 x_w, y_w, z_w 축과 일치시킨다. 그리고 레이저를 xy테이블의 y_p 축인 볼 스크루(ball screw)상에 $x_w y_w$ 평면에 수직하게 설치한 후 물체가 놓여 있지 않은 평면($z_w=0$)을 향해서 사영시킬 때 사영된 직선은 월드 좌표상에서는 x_w 축에 평행하다. 그러나 화면 좌표상에서는 카메라의

팬(pan)각 및 스윙(swing)각 때문에 u 축과 일정한 각도를 이루는 사선(oblique line)으로 나타난다.

따라서 먼저 사영된 사선의 시작점(P)과 끝점(Q)을 추출한 후 에지 추출 및 분할을 위하여 시작점과 끝점의 화면 좌표값(u, v)을 이용하여 식 (3)과 같은 사선의 형태로써 화면 좌표상에서의 레이저 캘리브레이션 데이터로 저장한다. 그리고 카메라 캘리브레이션 파라미터를 이용하여 추출된 두 점(P, Q)의 월드 좌표상에서의 x_w, y_w 값을 구한다. 마지막으로 두 점(P, Q)의 y_w 평균값을 월드 좌표상에서의 레이저 캘리브레이션 데이터로 저장하는데 그림 3과 같이 레이저에 의해서 사영된 평면(projected plane)상에서 모든 점들의 y_w 좌표값은 같기 때문에 레이저 캘리브레이션 데이터는 식 (4)와 같은 $x_w z_w$ 평면에 평행한 y_w 평면의 형태로써 표현된다.

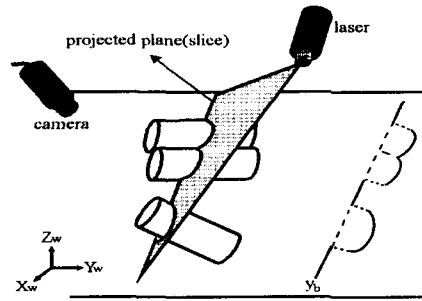


그림 3. 레이저 캘리브레이션 모습

$$S_{iw} = au + b \quad (3)$$

여기서 S_{iw} : 화면좌표상에서 i 번째 슬라이스
 a : 기울기, b : 절편
 u : 화면 좌표계 상의 u 값

$$S_{iw} = k \quad (4)$$

여기서 S_{iw} : 월드 좌표상에서의 i 번째 슬라이스
 k : 캘리브레이션된 y_w 평면

이와 같은 과정을 레이저를 xy테이블의 y_p 축인 볼 스크루상을 일정 거리 만큼 이동시키면서 주사된 모든 슬라이스들에 대해서 y_w 평면을 구하여 레이저 캘리브레이션 데이터로 저장한다. 본 논문에서는 레이저 캘리브레이션에 의해서 구해진 평면과 $z_w=0$ 평면의 교선을 기준선(base line)이라 칭한다. 그림 3은 레이저 캘리브레이션 모습을 나타내고 있다.

IV. 레이저 캘리브레이션 데이터를 이용한 3차원 좌표값 계산

월드 좌표상에 놓여 있는 물체 위에 레이저를 사영시킨 후 사영된 직선이나 곡선을 카메라 캘리브레이션 데이터를 이용하여 y_w 값을 계산할 때 그림 3과 같이 레이저 캘리브레이션때 구한 기준선(y_b)에 비해서 높이에 비례해서 y_w 값이 크게 계산된다. 따라서 3차원 물체 위에 사영된 예지들의 왜곡된 y_w 좌표값과 기준선(y_b)의 차이에 의해서 높이($=z_w$)를 구하게 되고 이 정보에 의해서 점 P_w 의 왜곡된 x_w 좌표를 보정함으로써 월드 좌표상의 실제 x_w 좌표를 구하게 된다.

그림 4는 원통형 물체 위의 임의의 점 P를 레이저를 이용해서 사영 시킬 때 화면 좌표상의 점 P_s 및 월드 좌표상에서의 점 P_w 의 기하학적 관계를 나타낸 것이다. 그림 4에서 α 는 카메라 경사각(tilt), β 는 카메라 초점 거리를 f 라 하고, 점 P의 화면 좌표상에서의 점 P_s 와 화면 중앙점 O_s 의 v 축상에서의 거리를 D_s 라 할 때 식 (5)에 의해서 구해진다.

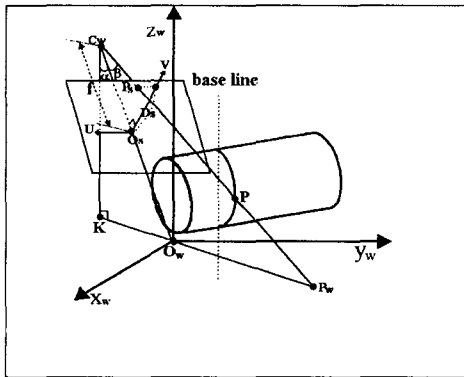


그림 4. 화면 좌표 상에서 β 각을 구하는 예

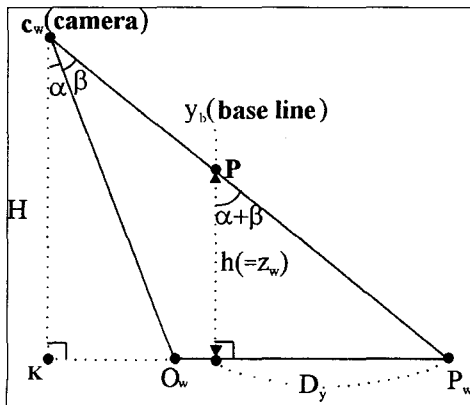


그림 5. 월드좌표계 상에서 높이를 구하는 예

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{|D_s|}{f}\right) \quad (5)$$

여기서 D_s : P_s 와 O_s 의 v 축 상에서의 거리
 f : 초점거리

그림 5는 그림 4의 $\triangle C_w K P_w$ 를 이용하여 원통형 물체 위의 점 P의 월드 좌표상에서의 3차원 좌표를 구하는 예로써 D_y 는 월드 좌표상의 점 P_w 와 기준선 y_b 사이의 y_w 좌표값의 차이이다. 그리고 점 P의 월드 좌표상에서의 실제 좌표값 x_w, y_w, z_w 는 식 (6)을 통해서 계산 가능하다.

$$z_w (=h) = \frac{|D_y|}{\tan(\alpha + \beta)}, \quad \mu = \frac{z_w}{H} \quad (6)$$

$$x_w = \mu x_c + (1 - \mu) p_{ux}, \quad y_w = y_b$$

여기서 x_c, H : 카메라 위치 중 x_w, z_w 좌표값,

y_b : 레이저 사영 평면과 $z_w=0$ 평면의 교선

p_{ux} : 월드 좌표상에 사영된 점 P_w 의 x_w 좌표값

V. 실험 결과

1. 실험 조건 및 제약

본 논문에서 사용한 비전시스템은 PULNIX TM-545 CCD 카메라 1대, 512 x 512의 해상도와 256 화소값을 갖는 ITEX 영상 카드, PRO-ARM 2200 5축 로봇 1대, 486 PC 1대, 레이저 이동을 위한 xy테이블 및 스텝 모터 제어기(step motor controller), TAKENAKA OPTIC회사의 모델 LD3500L 레이저로 구성되어 있다.

본 실험에서 사용된 레이저 빔은 강도가 너무 약해서 자연 조건하에서는 레이저 빔이 물체를 만나면 빛이 분산되어 카메라가 레이저 빔을 인식하는데 어려움이 있다. 따라서 xy 테이블 주위 환경을 어둡게 만들어 카메라가 레이저 빔을 인식할 수 있도록 하였다.

그리고 카메라 캘리브레이션 파라미터중 카메라 위치는 16.04cm, -38.55cm, 68.34cm만큼 원점에서 떨어져있고 카메라의 Pan각은 292.6°, Tilt 각은 31.4°, Swing각 0.0° 인 자세로 놓고 실험하였다.

2. 레이저 캘리브레이션 결과

본 시스템에서의 실험 절차는 먼저 그림 6과 같이 반경이 2.5cm이고 길이가 9cm인 원통형 물체를 상자 안에 무작위로 쌓아 놓는다. 그리고 xy 테이블의 볼 스크루상에 수직으로 설치된 레이저를 이용하여 일정 영역을 주사한 후 그림 7과 같이 사영된 예지들에 대하여 실험하였다.



그림 6. 무작위로 쌓여 있는 물체들의 모습

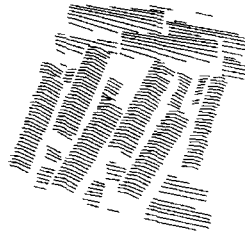


그림 7. 슬라이드상에 주사된 예지들의 이미지 분할 결과

표1. 레이저 캘리브레이션에 의한 오차 측정 결과

Position	<i>True - Calculated</i> <i>in x</i>				<i>True - Calculated</i> <i>in y</i>				<i>True - Calculated</i> <i>in z</i>			
	Max	Min	Avg.	Var.	Max	Min	Avg.	Var.	Max	Min	Avg.	Var.
2.54, 2.54, 2.54	0.13	0.01	0.05	0.04	0.08	0.01	0.03	0.02	0.15	0.02	0.08	0.05
-2.54, 2.54, 2.54	0.11	0.06	0.10	0.04	0.10	0.02	0.05	0.03	0.13	0.07	0.10	0.05
2.54, -2.54, 2.54	0.12	0.03	0.06	0.03	0.09	0.08	0.08	0.01	0.14	0.02	0.07	0.04
-2.54, -2.54, 2.54	0.11	0.06	0.09	0.03	0.10	0.06	0.08	0.03	0.14	0.03	0.08	0.05
5.08, 5.08, 5.08	0.18	0.07	0.12	0.08	0.15	0.08	0.11	0.07	0.16	0.07	0.11	0.07
-5.08, 5.08, 5.08	0.14	0.05	0.11	0.05	0.12	0.07	0.08	0.05	0.13	0.06	0.10	0.05
5.08, -5.08, 5.08	0.15	0.04	0.10	0.06	0.10	0.06	0.09	0.05	0.14	0.06	0.11	0.05
-5.08, -5.08, 5.08	0.16	0.05	0.10	0.07	0.13	0.08	0.07	0.06	0.13	0.07	0.12	0.06

표 1은 레이저 캘리브레이션 결과를 실험하기 위하여 주어진 위치에 물체를 놓고서 50번씩의 실험에 의해서 실측치와 계산치간의 최대, 최소, 평균오차와 표준 편차를 나타낸 것이다.

기존에 사용된 화면상에서의 격자(grid)를 이용한 방법은 한 슬라이드상에서 물체의 높이를 계속 높여가면서 각각의 높이에 해당하는 격자의 위치를 look up 테이블 방식으로 저장하여야 되기 때문에 많은 량의 데이터가 필요하였다. 더군다나 해당 높이가 look up 테이블에 나타나 있지 않으면 높이를 측정하는 방법은 기존의 look up 테이블 데이터를 가지고 추측하여야 되기 때문에 여러 요인이 되기도 하였다.

그러나 본 논문에서 제시한 레이저 캘리브레이션 방법은 한 슬라이드 마다 단지 두 점을 추출하여 레이저를 캘리브레이션 시켰지만 표 1에 나타난 데이터를 살펴보면 3차원 좌표 측정값은 비교적 정확하였다.

VI. 결론 및 향후과제

기존의 캘리브레이션 방법은 한 장소에 일정한 높이의 물체를 놓고서 물체의 위치를 변경시켜가면서 데이터를 취합하여 거리 맵(range map)을 만들었기 때문에 많은 량의 데이터 및 Look Up 테이블이 필요하였다. 아울러 많은 량의 메모리 및 처리 시간을 필요로 하는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서 제안한 레이저 캘리브레이션 방법은 레이저 캘리브레이션을 y_0 평면으로 단순화 함으로써 기존에 문제가 되었던 거리 맵 데이터를 필요로 하지 않기 때문에 메모리 및 처리 시간을 절감하는 효과가 있으면서도 정확하게 레이저를 캘리브레이션 시키는 장점을 지니고 있다.

또한 본 논문에서 제시한 방법은 잡음 및 오차에 강한 장점을 지니고 있다.

그러나 레이저가 일정 영역을 주사하는데 걸리는 시간 및 물체를 인식하는데 걸리는 시간 즉 사이클 시간(cycle time)이 1분 정도 소요 되었는데

데 일정 영역 주사 시간이 55초로서 사이클 시간의 대부분을 차지하고 있다.

따라서 이와 같은 문제점을 개선하기 위해서는 xy테이블 대신에 레이저를 회전 시킬 수 있는 장치를 사용함으로써 보다 더 빨리 주사할 수 있는 시스템이 요구된다.

참고문헌

- [1]. G. Doemens et. al., "A fast 3-D sensor with high dynamic range for industrial application", Proc. ROVISEC Conf., 1986
- [2]. W. E. L. Grimson, and T. Lozano-Perez, " Model based recognition and localization from sparse range or tactile data", International Journal of Robotics Research Vol. 3, No. 3, p3-35, Fall, 1984
- [3]. W. E. L. Grimson, "The combinatorics of local constraints in model based recognition and localization from sparse data", MIT, AI Memo no. 763, MIT, MA, USA, Apr., 1984
- [4]. Y. Tsuboi, T. Shiraishi, and N. Kosaka, "Positioning and shape detection algorithm for an industrial robot", Syst. Compt. Controls, Vol 4, p8 - 16, 1973
- [5]. W. A. Perkins, "A model based vision system for industrial parts", IEEE Trans. Comput. Vol. C-27 p126 - 143 Feb., 1978
- [6]. C. Rosen et. al., "Exploratory research in advanced automation", Fourth Rep., Stanford Res. Institut., Menlo Park, CA, Jun., 1975
- [7]. R. B. Kelly, and J. R. Birk, H. A. S. Martins, and R. Tecca, "A robot system which acquires cylindrical workpieces from bins", IEEE Trans. on System Man and Cybernetics, Vol. SMC-12, No. 2, Mar., 1982
- [8]. Y. Yakimovsky and R. Chunigham, "A system for extracting three-dimensional measurements from a stereo pair of TV cameras", Comp. Graphics Image Processing, Vol. 7, p195 - 210, 1978
- [9]. H. H. Baker and T. O. Binford, "Depth from edge and intensity based stereo", In Proc. 7th Int. Joint Conf. Artificial Intelligence Vancouver, Canada p631 - 636, Aug., 1981
- [10]. S. T. Barnard and W. B. Thompson, "Disparity analysis of images", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-2, No. 4 p333-340, 1980
- [11]. P. J. Flynn and A. K. Jain, "BONSAI: 3-D object recognition using constraint search", IEEE trans. on Pattern Analy. and Machine Intell., Vol. 13, No. 10. Oct., 1989
- [12]. Xiao-Wei Tu and Benarard Dubuisson, "3-D information derivation from a pair of binocular images", Pattern Recognition Vol. 23 No. 3/4 p223 - 235, 1990
- [13]. J. R. Birk, R. B. Kelley, H. A. S. Martins, "An orienting robot for feeding workpieces stored in bins", IEEE Trans. on System Man and Cybernetics, Vol. SMC-11, No. 2, Feb., 1981
- [14]. Y. Yakimovsky and J. A. Feldman, "A semantics based decision theory region analyzer", Proc. 3rd Int. Joint Conf. On Artificial Intelligence, p580 - 588, 1993
- [15]. R. O. Duda and P. E Hart, Pattern Recog. and Scene Analysis John Wiley, New York, 1973
- [16]. W. A. Perkins, "Area Segmentation of images Using Edge Points", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI- 2, No. 1, Jan., 1980.
- [17]. Yasuo Nakagawa and Azriel Rosenfeld, "A note on polygonal and elliptical approximation of mechanical parts", Pattern Recognition Vol. 11 ,pp133 - 142, 1979
- [18]. Nai-Yung Chen, and J. R. Birk, and R. B. Kelley, "Estimating workpiece pose using the feature points method", IEEE Trans. on Automatic Control, Vol. AC-25, No. 6, Dec., 1980
- [19]. P. J. Besl and R. C. Jain, "Segmentation through variable order surface fitting", IEEE Trans. On Patt. Recog. and Mach. Intelli. Vol. 10, No. 2, Mar., 1988
- [20]. Yoshiaki Shiri, "Recognition of polyhedrons with a range finder", Patt. Recog., Press Vol. 4, pp243-250, 1972