

# 레이저를 이용한 Bin-Picking 방법

주 기 세,\* 한 민 홍\*

## Bin-Picking Method Using Laser

Kisee Joo,\* Min-Hong Han\*

### ABSTRACT

This paper presents a bin picking method using a slit beam laser in which a robot recognizes all of the unoccluded objects from the top of jumbled objects, and picks them up one by one. Once those unoccluded objects are removed, newly developed unoccluded objects underneath are recognized and the same process is continued until the bin gets empty.

To recognize unoccluded objects, a new algorithm to link edges on slices which are generated by the orthogonally mounted laser on the xy table is proposed. The edges on slices are partitioned and classified using convex and concave function with a distance parameter. The edge types on the neighborhood slices are compared, then the hamming distances among identical kinds of edges are extracted as the features of fuzzy membership function. The sugeno fuzzy integration about features is used to determine linked edges. Finally, the pick-up sequence based on MaxMin theory is determined to cause minimal disturbance to the pile.

This proposed method may provide a solution to the automation of part handling in manufacturing environments such as in punch press operation or part assembly.

**Key Words :** Unoccluded Objects(가려지지 않은 물체), Convex and Concave Function(볼록 및 오목형 함수), Hamming Distance(해밍 거리), Feature(특징값), Fuzzy Membership Function(퍼지 소속 함수), Sugeno Fuzzy Integration(Sugeno 퍼지 적분), Pick-Up Sequence(로봇트 작업 순서), MaxMin(최소값 중 최대값)

### 1. 서 론

지금까지는 프레스 공정 및 조립 공정 등에서 일정한 위치 및 방향을 갖는 부품을 로봇트에 제공하기 위하여

무작위로 쌓여 있는 부품 더미로부터 작업자가 수작업으로 하나씩 제공하여 왔다. 이와 같은 작업은 대부분 열악한 작업환경 및 위험성 때문에 산업 재해가 빈발하고 이직률이 높은 작업 중의 하나였다. 이와 같은 문제

\* 고려대학교 산업공학과

점을 해결하기 위하여 부품 공급 장치를 부품 외형에 적합하게 제작하여 사용하고 있으나 부품 외형의 손상, 크기에 따른 한계성 때문에 실제 적용하는데는 많은 제약이 따른다. 따라서 다른 대안이 필요하게 되었는데, 이것이 Bin Picking 방법이다.

Bin Picking이란 상자나 컨테이너 등에 무작위로 쌓여 있는 물체들 중에서 가려지지 않은 물체들을 인식한 후 로봇트가 하나씩 집어서 원하는 곳에 위치시키는 것을 의미한다. Bin Picking 방법은 영상 인식 장치에 따라 세 종류로 구분된다.

첫번째 방법은 카메라 한 대를 이용하는 방법으로 카메라를 xy평면에 수직으로 설치하여 쌓여 있는 물체들의 2차원 좌표를 구한 후 높이 정보는 로봇트 집게 (Gripper)에 부착된 센서에 의해서 보상하는 방법을 사용하고 있다. 이 방법은 쌓여 있는 물체들 중에서 가려지지 않은 물체를 인식하는 것이 힘들고 높이 정보를 단지 로봇트 팔에 부착된 센서에 의존하기 때문에 시간이 많이 소요되는 단점이 있다.<sup>1), 2), 3), 4)</sup>

두번째 방법은 스테레오 비전을 이용한 방법으로 두대의 카메라에 잡힌 각각의 영상들에 대해서 이미지 전처리 및 분할, 특징 추출, 물체 인식의 동일한 과정을 반복해야 하기 때문에 많은 시간이 소요되는 단점이 있다. 또한 높이 정보를 구하기 위해서는 두 카메라에 잡힌 영상들의 특징점들 간의 대응문제 (Corresponding Problem)를 해결해야 하는 어려움이 있다.<sup>5), 6), 7), 8)</sup>

세번째 방법으로 레이저를 이용하여 획득된 2차원 거리 데이터 (Range Data)로부터 직접 3차원 정보를 추출하기 위한 방법이 최근 들어 활발히 연구되고 있다.

여러 가지 레이저 중에서 슬릿 빔 레이저 (Slit Beam Laser)를 이용한 경우 주사 (Scan)된 물체들의 에지는 슬라이스 (Slice)라 불리는 단일 사영면 (Projected Plane)에 직선, 곡선 등의 형태로서 나타난다. 따라서 영역 정보가 없기 때문에 레이저를 이동시키면서 일정 영역을 주사하기 위한 제어 장치가 필요하다. 그리고 3차원 정보를 추출하기 위한 알고리즘 및 주사된 슬라이스들에 나타난 에지들의 연결 알고리즘을 통해서 물체 인식 및 자세 판단을 하게 된다.

레이저를 사용한 물체 인식 및 자세 판단에는 슬라이스 간 국소 제약 (Local Constraint) 및 평활면 곡률 (Smoothing Surface Curvature)<sup>(9), 10), 11)</sup>에 의한 방법과 모델 기반 매칭법 (Model Based Matching)<sup>(12), 13), 14)</sup>이 많이 사용되고 있다.

그러나 동일한 원통형 물체일지라도 물체의 놓여 있는 자세에 따라 슬라이스 간 사영된 에지들의 국소 제약 및 평활면 곡률을 위한 좌표값들의 변화량이 다르기 때문에 단순히 슬라이스 간 에지의 인접성 (Adjacency)에 의한 연결 방법은 원통형 물체가 무작위로 쌓여 있는 경우에는 단점을 가지고 있다. 더욱이 이 방법은 노이즈 및 애러에 민감하다. 또한 CAD 데이터를 기본으로 한 모델 기반 매칭 방법은 동일한 물체가 무작위로 쌓여 있기 때문에 특징점 추출이 힘들뿐만 아니라 많은 메모리를 필요로 하기 때문에 비효율적이다.

이와 같은 문제점들 때문에 본 논문에서는 무작위로 쌓여 있는 원통형 물체를 대상으로 가려지지 않은 물체 인식을 위하여 새로운 알고리즘을 개발하였다.

먼저 슬라이스 상에 나타난 화면상의 에지들에 대해서 거리를 파라미터 (Parameter)로한 볼록 (Convex) 및 오목 (Concave)형 함수의 성질을 이용하여 에지 종류 (직선, 볼록형, 오목형 곡선 등)를 분류한 후 물체가 서로 붙어 있는 경우에는 에지를 분리시켰다.

이웃하는 슬라이스 간 에지 연결을 위하여 먼저 현 슬라이스 상에 있는 에지의 좌표값을 이용하여 다음 슬라이스 상에서 에지가 나타날 탐색 영역을 구하고 탐색 영역 내에 있는 에지를 연결 후보로 선정하였다. 현 슬라이스 상의 에지와 이웃하는 슬라이스 상의 연결 후보 에지들의 종류 (Type)를 비교한 후에 에지 종류가 다르면 후보 에지 리스트에서 삭제하고 에지가 같은 종류이면 두 에지 좌표값들 사이의 해밍 거리 (Hamming Distance)를 에지 연결을 위한 특징값들로 추출하였다. 그리고 추출된 특징값들에 대해 에지 연결 정도를 나타내는 퍼지 소속 함수 및 퍼지척도<sup>(15)</sup>를 이용한 Sugeno 퍼지 적분 (Fuzzy Integration)에 의해서 에지 연결을 결정하기 때문에 애러 및 노이즈에 강하다. 그리고 연결된 에지들의 길이 및 면적 비교에 의해서 가려지지 않은 물체를 인식하게 된다.

마지막으로 로봇트가 쌓여 있는 물체들을 홀트리지 않고 작업하기 위해서 인식된 물체들중 서로 이웃하는 물체들보다 높은 위치에 있는 물체들을 먼저 작업한 후 높이가 비슷한 물체들에 대해서는 양 꼭지점들 사이의 거리를 파라미터로한 MaxMin 계산에 의해서 작업 순서를 결정하게 된다.

## 2. 좌표계 정의 및 3차원 좌표 계산

기존에는 레이저 켈리브레이션을 위해서 레이저를 일정한 지점에 위치시킨 후 알고 있는 지점에서 물체의 높이를 변경시키면서 사영된 화면 좌표와 실제 공간상에서의 좌표를 최소자승법에 의해서 적합(Fitting)시키는 방법을 사용하고 있다.<sup>(16)</sup> 그러나 이 방법은 슬라이스마다 많은 점들을 추출해서 켈리브레이션시켜야 되기 때문에 많은 시간이 걸리는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 카메라 위치의 기하학적 특성 및 슬릿 빔 레이저의 특성을 이용해서 슬라이스마다 단지 하나의 y평면 형태로 레이저를 켈리브레이션시키는 방법을 제시하였다.

### 2.1 좌표계 시스템

로봇트가 정해진 위치 및 방향에 있는 물체를 들어올리기 위해서는 화면상에 사영된 이미지로부터 좌표 변환이 필요하기 때문에 Fig. 1과 같이 카메라 좌표계, 화면 좌표계, 월드 좌표계에 의해서 로봇트 좌표계를 포함한 4개의 좌표계 시스템을 정의하여 사용하였다.

첫 번째 좌표계인 카메라 좌표계( $x_c, y_c, z_c$ )는 카메라의 시축을  $z_c$ 축으로 하고  $x_c$ 축과  $y_c$ 축은  $z_c$ 축에 따라 왼손 법칙에 의해서 결정된다. 두 번째 좌표계인 화면 좌표계( $u, v$ )는 카메라로 잡은 실제세계상의 영상을 비전 시스템으로 처리하기 위하여 설정되는 좌표계이며, 화면상의 중앙점(Image Center)을 원점( $O_c$ )으로 하고, 화면에 수평한 축을  $u$ 축,  $u$ 축에 수직인 축을  $v$ 축으로 정의한다.

세 번째 좌표계인 월드 좌표계( $x_w, y_w, z_w$ )는 실제계상에서 원점( $O_w$ )을 중심으로 오른손 법칙에 의해서 정의되는 좌표계이며, 네 번째 좌표계인 로봇트 좌표계

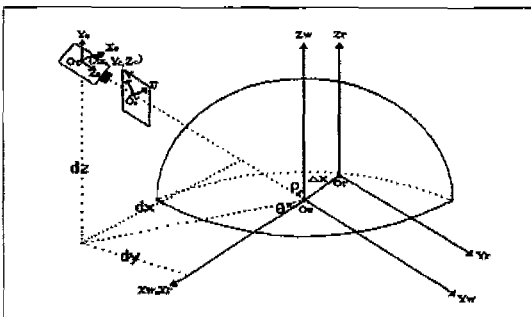


Fig. 1 The configuration of coordinate system

( $x_r, y_r, z_r$ )는 모든 좌표축을 월드 좌표계 축과 동일하게 정의하고 월드 좌표계의 원점( $O_w$ )으로부터  $x_w$ 축상의 음의 방향으로 일정거리( $\Delta_x$ ) 만큼 평행 이동 시킨 점을 로봇트 좌표계의 원점( $O_r$ )으로 정의한다.

### 2.2 카메라 및 레이저 켈리브레이션

월드좌표상의 3차원 좌표계산을 위하여 Fig. 1과 같이 카메라를 월드 좌표상의 ( $x_c, y_c, z_c$ )에 놓고 카메라 시축이 월드 좌표의 원점을 향하도록 설치한 후 켈리브레이션 시켰다.<sup>(17)</sup>

레이저 켈리브레이션을 위하여 Fig. 2와 같이 xy테이블의  $x, y, z$ 축을 월드 좌표계의  $x_w, y_w, z_w$ 축과 일치시킨다. 레이저를 xy테이블의  $y$ 축인 볼 스크루(Ball Screw)상에  $x_w y_w$ 평면에 수직하게(Orthogonally) 설치한 후 물체가 놓여 있지 않은 평면( $z_w=0$ )을 향해서 사영 시킬때 사영된 직선은 월드좌표상에서는  $x_w$ 축에 평행하다. 따라서 먼저 사영된 직선의 시작점(P)과 끝점(Q)을 추출한 후 카메라 켈리브레이션 파라미터를 이용하여 추출된 점들의  $x_w, y_w$ 값을 구한다.

그리고 추출된 두 점(P, Q)의  $y_w$  평균값을 월드좌표상에서의 레이저 켈리브레이션 데이터로 저장하는데, Fig. 2와 같이 레이저에 의해서 사영된 평면(Projected Plane)상에서 모든 점들의  $y_w$  좌표값은 같기 때문에 레이저 켈리브레이션 데이터는 식(1)과 같은  $x_w z_w$  평면에 평행한  $y_w$ 평면의 형태로서 표현된다.

$$S_i = k \tag{1}$$

여기서  $S_i$ : i번째 슬라이스,  $k$ : 켈리브레이션된  $y_w$  평면

이와 같은 과정을 레이저를 xy테이블의  $y$ 축인 볼 스크루상을 일정 거리 만큼 이동시키면서 주사된 모든 슬라이스들에 대해서  $y_w$ 평면을 구하여 레이저의 켈리브레이션 데이터로 저장한다.

본 논문에서는 레이저 켈리브레이션에 의해서 구해진 평면과  $z_w=0$  평면의 교선을 기준선(Base Line)이라 칭한다.

### 2.3 3차원 좌표값 계산

월드 좌표상에 놓여 있는 물체 위에 레이저를 사영시킨후 사영된 직선이나 곡선을 카메라 켈리브레이션 데이터를 이용하여  $y_w$ 값을 계산할 때 Fig. 3과 같이 레이저 켈리브레이션때 구한 기준선( $y_b$ )에 비해서 높이

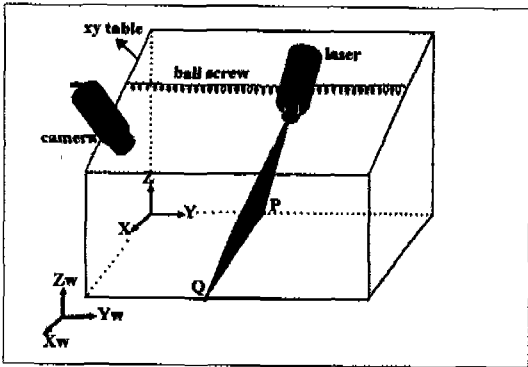


Fig. 2 The configuration of laser calibration

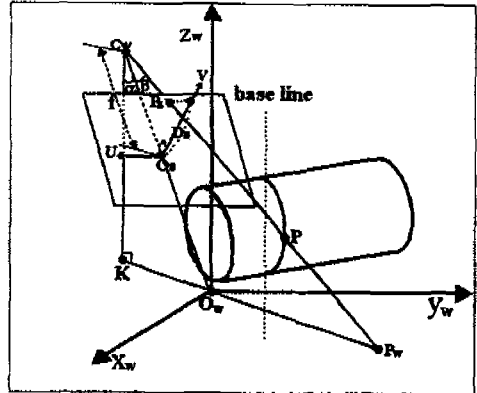


Fig. 4 An example of  $\beta$  angle calculation

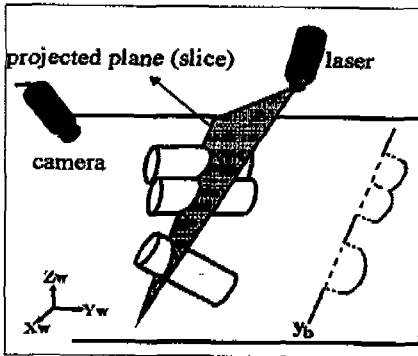


Fig. 3 The configuration of range finder system

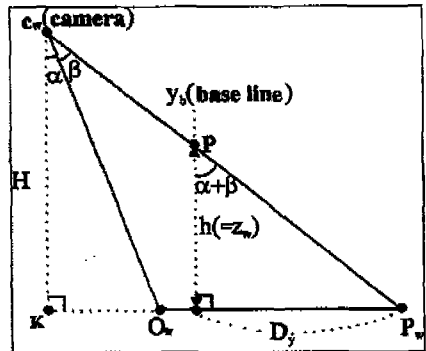


Fig. 5 An example of height calculation

에 비례해서  $y_w$  값이 크게 계산된다. 따라서 3차원 물체 위에 사영된 에지들의 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.

Fig. 4는 원통형 물체위의 임의의 점 P를 레이저를 이용해서 사영 시킬때 화면좌표상의 점  $P_s$  및 월드좌표상에서의 점  $P_w$ 의 기하학적 관계를 나타낸 것이다. Fig. 4에서  $\alpha$ 는 카메라 경사각(Tilt),  $\beta$ 는 카메라 축점 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(2)에 의해서 구해진다. Fig. 5는 Fig. 4의  $\triangle C_w K P_w$ 를 이용하여 원통형 물체 위의 점 P의 월드 좌표상에서의 3차원 좌표를 구하는 예로써  $D_y$ 는 월드좌표상의 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(3)을 통해서 계산 가능하다.

$$\beta = \tan^{-1} \left( \frac{|D_s|}{f} \right) \quad (2)$$

$$z_w (= h) = \frac{|D_y|}{\tan(\alpha + \beta)}, \quad \mu = \frac{z_w}{H} \quad (3)$$

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

여기서  $x_c$ : 카메라 위치중  $x, z$  좌표값,  
 $y_b$ : 레이저 사영 평면과  $Z_w = 0$  평면의 교선  
 $P_{wx}$ : 점  $P_w$ 의  $x$  좌표값

### 3. 가려지지 않은 물체의 인식

레이저를  $xy$ 테이블상의  $y$ 축 방향으로 일정한 거리만큼 이동시키면서, 슬라이스상에 나타난 에지들에 대하여 다음 Fig. 6과 같은 절차를 통해서 가려지지 않은 물체를 인식하게 된다.

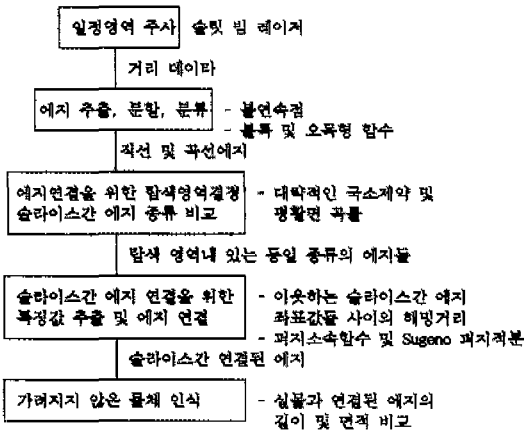


Fig. 6 The recognition process of unoccluded objects

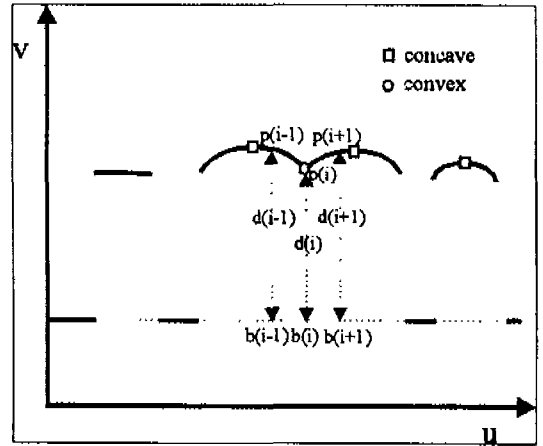


Fig. 7 An edge classification and partition

### 3.1 에지 추출, 분류 및 분할

무작위로 쌓여 있는 원통형 물체위에 사영된 에지 형태는 사영된 거리 데이터로부터 불연속점의 추출에 의해서 물체가 놓여 있는 자세에 따라 직선, 곡선등의 형태로 추출된다. 그리고 곡선의 형태는 단일 물체인 경우는 오목형, 두 물체가 붙어 있는 경우에는 오목 및 볼록형의 조합형으로 에지가 추출되기 때문에 두 물체에 관한 에지로 분할하여야 한다. 이웃하는 점들간의 기울기 (Gradient)에 의한 에지 분류 및 분할 방법<sup>(18,19)</sup>은 노이즈 및 에러에 아주 민감하기 때문에 본 논문에서는 레이저 켈리브레이션때 구한 기준선과 물체 위에 사영된 에지와의 거리를 기준으로 에지를 분류 및 분할하였다.

Fig. 7과 같이 화면상에서  $u$ 축상의 임의의 점  $i$ 에 대하여 사영된 곡선상에서의  $v$ 좌표값  $p(i)$ 와 동일점에 대한 기준선상에서의  $v$ 좌표값  $b(i)$ 의 해밍 거리를 식(4)를 이용해서 구한 후 식(5)를 이용해서 볼록점 및 오목점을 분류하였다. 그리고 볼록점 및 오목점이 없는 에지는 직선 에지로, 단지 오목점만 있는 에지는 단일 물체에 대한 에지로 분류하고, 볼록점 및 오목점을 둘다 가지고 있는 에지는 볼록점이 두 물체가 붙어 있는 경계점이기 때문에 이 점을 기준으로 에지를 분할시켰다.

$$d(i) = |p(i) - b(i)| \quad (4)$$

$u$ 축상의 점  $i$ 에 대하여

$$T_1 = d(i) - d(i-1), \quad T_2 = d(i) - d(i+1) \quad (5)$$

만약  $T_1, T_2 \geq \delta$  오목점,  $T_1, T_2 \leq -\delta$  볼록점

여기서  $\delta$ : 임계치 (Threshold)

### 3.2 퍼지 이론을 이용한 에지 연결

#### 3.2.1 탐색 영역 결정

슬라이스 ( $i$ ) ( $=S_{(i)}$ ) 상에 있는 에지를 슬라이스 ( $i+1$ ) ( $=S_{(i+1)}$ ) 상에 있는 에지와 연결시키기 위하여 먼저  $S_{(i)}$  상에 있는 에지의 화면 좌표를 이용하여  $S_{(i+1)}$  상에서의 탐색 영역을 구하고 탐색 영역내에 있는 에지들을 연결 후보로 선정하였다. Fig. 8과 같이 화면상에서  $S_{(i)}$  상에 있는 에지 ( $E$ ) 양 끝점의 화면 좌표를 이용하여 에지의 중심점 ( $u_c, v_c$ )을 구하였다. 그리고 에지의 중심점에서 에지의 양 끝점 ( $(u_1, v_1), (u_2, v_2)$ )까지의 방향 벡터  $\vec{d}_1, \vec{d}_2$ 를 식(6)에 의해서 구하고 식(7)에 의해서 결정된 탐색 영역 ( $u_s, v_s$ )<sup>T</sup>은 Fig. 8과 같다.

$$\vec{d}_1 = (u_1 - u_c, v_1 - v_c)^T \quad (6)$$

$$\vec{d}_2 = (u_2 - u_c, v_2 - v_c)^T$$

$$(u_s, v_s)^T = (u_c, v_c)^T + \lambda \vec{D} \quad (7)$$

여기서  $\vec{D} = (\vec{d}_1, \vec{d}_2)^T$ ,  $\lambda$ : 임의의 상수

#### 3.2.2 슬라이스간 에지 종류 비교

슬라이스상에 나타난 에지 형태중 직선인 경우는  $y$ 축과의 방향각이  $90^\circ$ 로 놓여 있는 원통형 물체위에 사영된 에지이고 곡선인 경우는  $y$ 축과의 방향각이 임의의  $\theta$  ( $\neq 90^\circ$ )로 놓여있는 원통형 물체위에 사영된 에지이기 때문에  $S_{(i)}$ 와  $S_{(i+1)}$  상에 있는 에지들이 동일 물체에 대

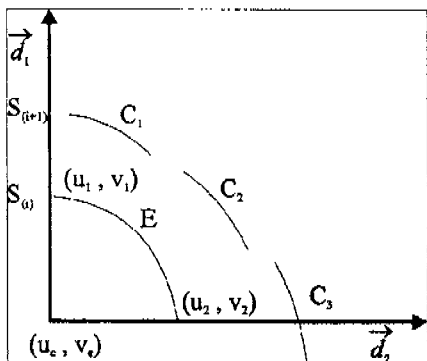


Fig. 8 An example of searching space

한 에지라면 에지 종류가 같아야 한다. 따라서 3.2.1에서 구한  $S_{(i+1)}$  상에 있는 에지 연결 후보들중  $S_{(i)}$  상에 있는 에지와 종류 비교를 통해서 서로 다른 종류의 에지 후보는 에지 연결 후보 리스트(List)에서 삭제 되고 같은 종류의 에지 후보 만이 리스트에 남게 된다.

3.2.3 퍼지 적분에 의한 슬라이스들간 에지 연결

슬라이스간 에지 연결을 위하여 에지 연결 정도를 나타내는 특징값에 대하여 확률 밀도함수를 사용하여 슬라이스들간 에지 연결 여부를 결정할 수 있다. 그러나 실제로 확률 밀도함수를 구하는 것이 어렵기 때문에 경험적 방법으로 접근하는 퍼지 이론의 퍼지 소속함수 및 퍼지척도를 이용하여 다음 4단계를 통해서 슬라이스간 에지 연결 여부를 결정하였다.

1 단계: 특징값들의 추출

Fig. 8과 같이  $S_{(i)}$  상에 있는 에지(E)와  $S_{(i+1)}$  상에 있는 에지를 연결시키기 위하여 먼저 탐색 영역내에 있는 에지들( $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ )을 연결 후보로 선정하여 이 후보 에지들의 양 끝점에 대한 3차원 좌표를 구하였다. 그리고  $S_{(i)}$  상에 있는 에지(E)의 양 끝점( $e_1, e_2$ )에 대한 좌표값( $E_x, E_y, E_z, j=1,2$ )과 실제 사영에 의해서 얻은  $S_{(i+1)}$  상에 있는 에지들( $C_k, k=1,2, \dots, n$ )의 양 끝점( $C_{k1}, C_{k2}$ ) 각각에 대한 좌표값( $C_{kxj}, C_{kyj}, C_{kzj}, j=1,2, k=1,2, \dots, n$ )사이의 해밍 거리를 식(8)과 같이 구하였다. 그리고 슬라이스간 국소 제약 및 평활면 곡률의 에러 정도를 나타내는  $\hat{e}_x, \hat{e}_y, \hat{e}_z (j=1,2)$ 를 에지 연결을 위한 특징값들로 추출하였다.

$$\hat{e}_x = |E_x - C_{kx}|, \hat{e}_y = |E_y - C_{ky}|, \hat{e}_z = |E_z - C_{kz}| \text{ for } j=1,2 \quad k=1,2, \dots, n \quad (8)$$

2 단계: 특징값들의 소속 함수 정의

퍼지 집합의 소속 함수 형태에는 삼각형, 사다리꼴, 종형 등이 있다. 본 논문에서는 "Zero"라는 개념의 퍼지 집합을 정의하는 소속 함수의 형태로 Fig. 9와 같은 종형을 사용하였다. 각 특징값들에 대해 정의된 소속 함수는 다음 식(9)와 같으며 측정된  $\mu(\hat{e}_x), \mu(\hat{e}_y), \mu(\hat{e}_z)$ 는 각각 측정된 특징값 ( $\hat{e}_x, \hat{e}_y, \hat{e}_z (j=1,2)$ )이 "Zero"인 정도를 나타내게 된다.

$$\begin{aligned} \mu(\hat{e}_x) &= 1/(1 + \hat{e}_x^2) & \text{for } j=1,2 & \quad (9) \\ \mu(\hat{e}_y) &= 1/(1 + \hat{e}_y^2) \\ \mu(\hat{e}_z) &= 1/(1 + \hat{e}_z^2 / 6.0^2) \end{aligned}$$

3 단계: 퍼지 척도(Fuzzy Measure)

1 단계에서 구한 특징값들은 슬라이스들간 에지 연결을 평가하는데 있어서 기여하는 바가 다르다. 특징값들중  $\hat{e}_x, \hat{e}_y (j=1,2)$ 는 슬라이스간 에지 양 끝점의 국소 제약을 나타내지만  $\hat{e}_z (j=1,2)$ 는 주사 간격(Scan Size)이 항상 일정하기 때문에 에지 연결을 평가하는데 있어서 영향이 적다. 그리고  $\hat{e}_z (j=1,2)$ 는 슬라이스들간 양 끝점의 평활면 곡률을 나타내기 때문에 에지 연결을 평가하는데 중요하다. 따라서 각 특징값들에 대한 퍼지 척도의 개념을 도입하였고 퍼지 척도는 경험적으로 아래와 같이 정의하였다.

$$\begin{aligned} g(\hat{e}_{x1}) &= g(\hat{e}_{x2}) = 0.25, & g(\hat{e}_{y1}) &= g(\hat{e}_{y2}) = 0.05, \\ g(\hat{e}_{z1}) &= g(\hat{e}_{z2}) = 0.20 \end{aligned}$$

4 단계: Sugeno퍼지 적분을 이용한 슬라이스간 에지 연결

먼저  $S_{(i)}$  상에 있는 특정 에지와  $S_{(i+1)}$  상에 있는 연결 후보 에지(k)의 양 끝점 사이에 계산된 특징값들( $\hat{e}_x, \hat{e}_y, \hat{e}_z (j=1,2)$ )을 집합 X로 정의한다. 그리고 X의 멱집합(Power Set)의 원소 E에 대해 정의되는 퍼지 척도 g(E)는 평가 항목의 부분집합 E의 중요도로 정의한다. 또한 X를 정의구역으로 하여 정의되는 함수  $\mu(x), x \in X$ 를 특징값 x에 대한 평가치라 하자. 이때 전체 집합 X에서의 평가 함수  $\mu$ 의 중요도 함수 g에 대한 Sugeno의 퍼지 적분은 다음 식(10)에 의해서 계산된다. 그리고  $S_{(i)}$  상에 있는 특정 에지와  $S_{(i+1)}$  상에 있는 모든 후보 에지 ( $k=1,2, \dots, M$ )들에 대해서 식(10)을 이용해서 Sugeno의 퍼지 적분을 구한 후 가장 큰값 (= C(I))을 최종적인 연결 에지로 결정하게 된다.

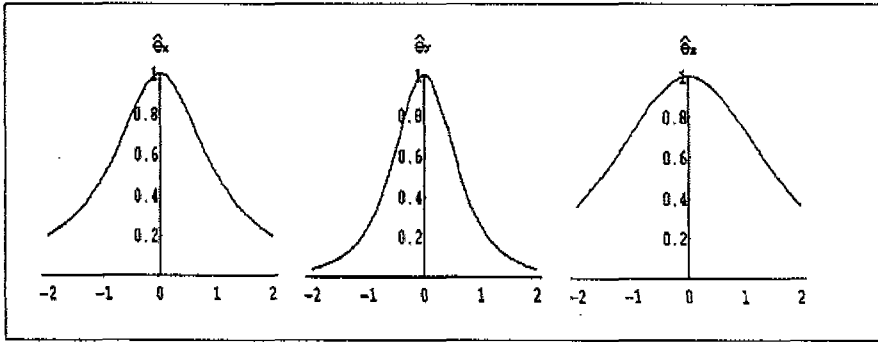


Fig. 9 Fuzzy membership function

$$M(k) = \int_x \mu(x) \cdot g(\cdot) = \text{Max}_{k=1,2,\dots,M} [\text{Min}_{x \in E} [\text{Min}_{x \in E} \mu(x), g(E)]] \quad \text{for } k = 1, 2, \dots, M \quad (10)$$

$$C(l) = \text{Max}(M(k)) \quad \text{for } k = 1, 2, \dots, M$$

### 3.3 가려지지 않은 물체들의 인식

슬라이스간 에지연결에 의해서  $S_{(i)}$ 와  $S_{(i+1)}$  상에 연결된 에지의 길이( $l_i$ ) 및 면적( $a_i$ )을 계산한 후 식 (11)을 이용한 실제 원통형 물체와 길이 및 면적 비교에 의해서 가려지지 않은 물체를 인식하게 된다.

$$L - \sum_{i=0}^{n-1} (l_i) \leq \delta_l, \quad A - \sum_{i=0}^{n-1} (a_i) \leq \delta_a \quad (11)$$

여기서  $L, A$ : 실물의 길이 및 면적  
 $n$ : 연결된 슬라이스들의 수  
 $\delta_l, \delta_a$ : 임계치

### 4. 작업 순서 결정

로봇트가 인식된 물체를 들어 올리면서 쌓여 있는 물체들을 홀트리게 되면 인식된 물체들의 자세가 변하게 되어 더이상 작업이 불가능하다. 따라서 로봇트가 가장 쉽게 들어올릴 수 있는 물체부터 작업할 수 있도록 인식된 물체에 대한 작업 순서를 결정하였다.

첫 번째로 물체들의 높이를 고려하여, 서로 이웃하는 물체보다 높은 위치에 있는 물체는 로봇트가 쌓여 있는 물체를 홀트리지 않고 가장 쉽게 들어 올릴 수 있기 때문에 가장 먼저 작업하도록 하였다.

두 번째로 높이가 비슷한 물체들에 대해서 Fig. 10

에서 보는 바와 같이 물체(b)를 꼭지점 1에서 들어 올린다면 쌓여 있는 물체를 홀트리지 않고 가장 쉽게 작업할 수 있을 것이다. 따라서 물체들의 꼭지점들간의 거리를 파라미터로 하는 MaxMin 알고리즘에 의한 작업 순서의 결정으로 이 문제를 해결하였다. MaxMin 알고리즘은 다음 4 단계에 의해서 행해진다.

1 단계: 임의의 물체*i*의 양 꼭지점과 다른 물체들의 양 꼭지점 사이의 거리를 비교해서 물체*i*의 양 꼭지점 각각에 대해서 가장 근거리(Minimum Distance)를 구한다.

2 단계: 1 단계에서 물체*i*의 양 꼭지점 각각에 저장된 값 중 가장 원거리(Max Distance)를 로봇트가 쌓여진 물체를 홀트리지 않고 작업할 수 있는 물체*i*의 척도로 사용하여 가장 원거리 및 해당 꼭지점을 물체*i*에 대한 척도 정보로 저장한다. 인식된 모든 물체에 대해서 1, 2단계를 반복한다.

3 단계: 2단계에서 모든 물체에 저장된 척도중 가장 원거리를 갖는 물체 및 해당 꼭지점을 선택한 후 척도

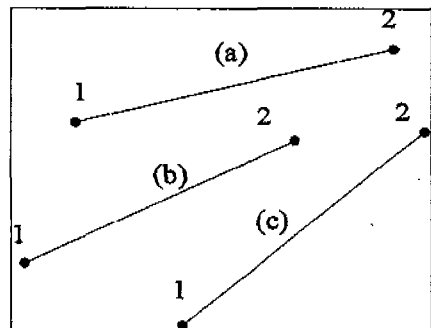


Fig. 10 The example of working order for a robot

Table 1 Summary of measurement errors by laser calibration

(Unit: Cm)

Position	True - Calculated in x				True - Calculated in y				True - Calculated in z			
	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	0.00	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

정보를 이용하여 로봇트의 작업 여부를 판단한다. 작업이 불가능하면 이전에 추출된 작업 가능한 물체들만을 작업하고 끝낸다. 만약 작업이 가능하면 4 단계로 간다.

4 단계: 3 단계에서 작업 가능으로 판단된 물체는 로봇트에 의해서 작업이 이루어졌다고 가정하고 제거시킨 후 나머지 물체들에 대해서 1, 2, 3 단계를 인식된 물체가 모두 제거될 때까지 반복한다.

### 5. 실험 결과

#### 5.1 실험 환경

본 논문에서 사용한 비전 시스템은 PULNIX TM-545 CCD(Coupled Charged Device)카메라 1대, 512×480의 해상도와 256 화소값을 갖는 ITEX 영상카드, PRO-ARM 2200 5축 로봇트 1대, 486 PC 1대, 레이저 이동을 위한 xy테이블 및 스텝 모터 제어기(Step Motor Controller), TAKENAKA OPTIC회사의 모델 LD3500L 레이저로 구성되어 있다.

#### 5.2 캘리브레이션 결과

카메라 캘리브레이션 파라미터중 카메라 위치는 16.04cm, -38.55cm, 68.34cm만큼 원점에서 떨어져 있고 카메라의 Pan각은 292.6°, Tilt각은 31.4°, Swing각 0.0°인 자세로 놓고 실험하였다. Table 1은 카메라와 레이저 캘리브레이션 결과를 테스트하기 위하여 주어진 위치에 물체를 놓고서 50번씩의 실험에 의해서 실측치와 계산치간의 최대, 최소, 평균 에러와

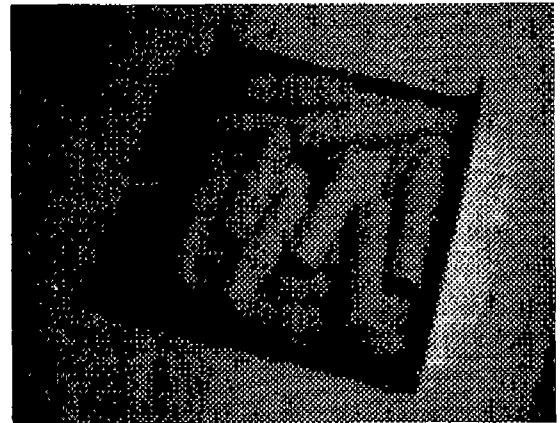


Fig. 11 Randomly jumbled objects

표준편차를 나타낸 것이다.

#### 5.3 에지 추출 및 분할 결과

물체가 무작위로 쌓여 있는 모습은 Fig. 11과 같으며 레이저를 xy테이블의 y축상으로 일정 거리 만큼 이동시키면서 일정 영역을 주사한 후 각 슬라이스상에 나타난 에지들에 관하여 에지 추출 및 분할에 의한 결과는 Fig. 12와 같다. 실제로 본 연구에서는 슬라이스와 슬라이스간 이동 거리를 0.33Cm로 하여 일정 영역을 주사하였다.

#### 5.4 에지 연결 및 물체 인식 결과

Table 2는 상자안에 무작위로 쌓여진 물체 위에 특



Table 2 The recognition result comparison according to object pose

(Unit: %)

Recognition Rate	Object Pose( $\rho^\circ, \theta^\circ$ )							
	(0, 0)	(0,30)	(0,45)	(0,90)	(45,0)	(45,30)	(45,45)	(45,90)
Presented Method	98.5	95.5	92.6	96.3	96.1	93.2	90.2	95.0
Conventional Method	99.0	87.5	85.1	90.2	89.2	84.5	82.2	88.4

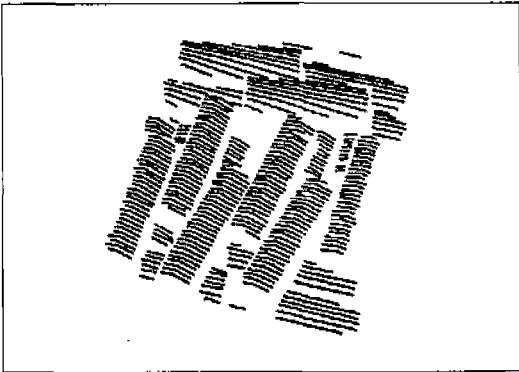


Fig. 12 The scanned edges

정 물체를 테이블 2상에서 주어진 자세로 고정시킨 후 슬라이스간 에지 연결에 의한 물체 인식 결과를 비교하기 위하여 본 논문에서 제시한 퍼지 이론을 이용한 방법과 기존의 슬라이스간 인접성에 의한 방법에 대하여 각각 50번씩 실험한 결과의 평균 인식률을 나타낸 것이다. 비교 대상인 기존의 방법은 국소제약 및 평활

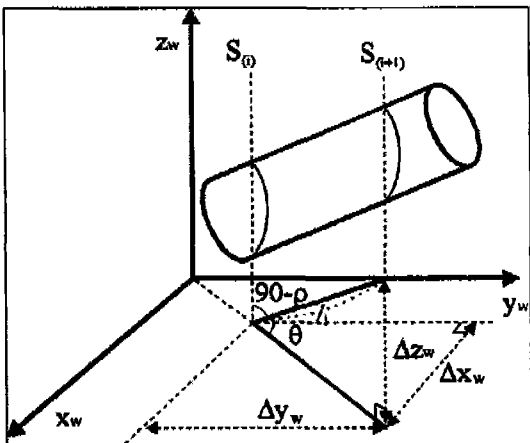


Fig. 13 The coordinates' variation between slices according to object's pose

면 곡률을 기본으로 한 에지 연결 방법중에서 슬라이스간 유클리디언 거리(Euclidean Distance)를 이용한 인접성에 의한 에지연결 방법을 사용하였다. Table 2에서 알수 있듯이 물체가 xy평면과 이루는 경사각( $=\rho$ ) 및 y축과 이루는 방향각( $=\theta$ )이 모두  $0^\circ$ 인 경우를 제외하고는 기존의 방법보다 퍼지 이론을 이용한 방법의 인식률이 높다는 것을 알 수 있다.

이는 Fig. 13 및 식(12)에 나타난 바와 같이  $\rho=0^\circ, \theta=0^\circ$ 인 경우는 슬라이스간 국소제약 및 평활면 곡률 변화량( $\Delta x_w, \Delta z_w$ )이 없기 때문이고 나머지 경우( $\rho \neq 0^\circ, \theta \neq 0^\circ$ )는  $\rho$  및  $\theta$ 값이 증가함에 따라 슬라이스간 국소제약 및 평활면 곡률의 변화량( $\Delta x_w, \Delta z_w$ )이 증가하기 때문이다.

$$\Delta x_w = \tan(\theta)\Delta y_w, \quad \Delta z_w = \sec(\theta)\tan(\rho)\Delta y_w \quad (12)$$

$$l_i = \sec(\rho)\sec(\theta)\Delta y_w$$

여기서  $l_i$ :슬라이스간 에지의 거리,  $\Delta y_w$ :주사 간격  
 $\Delta x_w, \Delta y_w$ :슬라이스간  $x_w$  및  $y_w$ 좌표값 변화량

Fig. 14는 추출된 특징값들에 대한 퍼지 소속 함수 및 퍼지 척도를 이용한 퍼지 적분에 의해서 슬라이스간 에지 연결 후에 길이 및 면적 비교에 의해서 가려지지 않은 물체 인식 결과를 나타낸 것이다.

### 5.5 로봇트 작업 순서 및 작업 가능 영역 실험 결과

인식된 물체들의 높이와 양 꼭지점들 사이의 거리를 기준으로 MaxMin 이론에 의해서 로봇트가 작업할 순서를 결정 한 후에 물체들의 작업 가능영역을 실험한 결

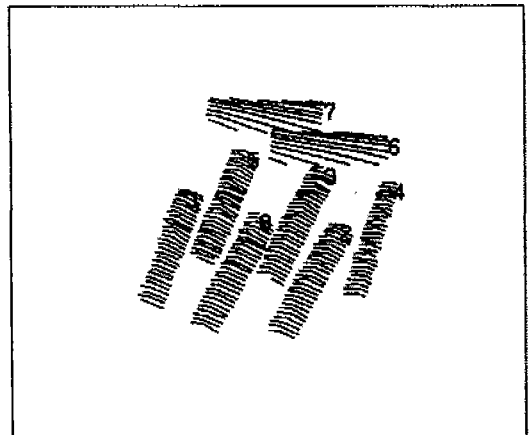


Fig. 14 Recognized unoccluded objects

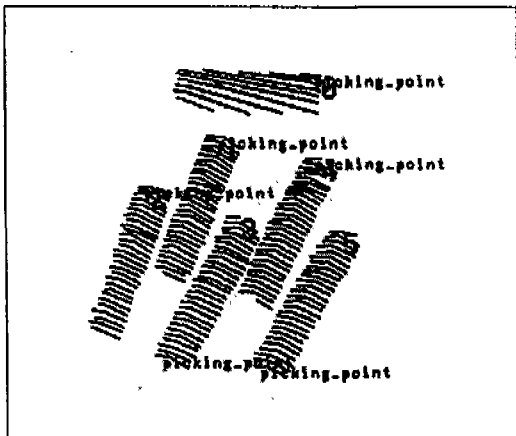


Fig. 15 The result of MaxMin theory

파는 Fig. 15에 나타나 있다. Fig. 14에서 물체 4, 6은 로봇트 작업 가능영역(Work Volume)을 벗어나 작업이 불가능하기 때문에 Fig. 15에 나타나 있지 않다. Fig. 15에 나타난 숫자 및 Picking Point는 로봇트가 인식된 물체들을 홀트리지 않고 가장 쉽게 들어올릴 수 있는 작업 순서 및 로봇트가 집을 꼭지점을 나타낸 것이다.

## 6. 결론 및 추후과제

본 논문에서 제안한 레이저 켈리브레이션 방법은 레이저 켈리브레이션을 y평면으로 단순화 함으로써 3차원 좌표를 간편하게 계산할 수 있었다. 그리고 에지 분류 및 분할을 위하여 거리를 파라미터로한 볼록 및 오목형 함수의 성질을 이용하였다.

또한 슬라이스간 에지 연결을 위하여 먼저 현 슬라이스상에 나타난 에지의 좌표값에 의해서 다음 슬라이스상에 나타날 에지의 탐색 영역을 구한 후에 현 슬라이스상에 있는 에지와 탐색 영역내에 있는 후보에지 좌표값들의 해밍 거리를 에지 연결을 위한 특징값들로 추출하였다.

그리고 추출된 특징값들에 대해 에지 연결 정도를 나타내는 퍼지 소속 함수 및 퍼지 척도를 이용한 Sugeno 퍼지 적분에 의해서 이웃하는 슬라이스간 에지 연결을 결정하였다.

따라서 본 논문에서 제시한 방법은 노이즈 및 에러에 강하고 단순히 슬라이스간 인접성에 의한 에지 연결 방법보다 슬라이스간 정확한 에지 연결이 가능하다. 또한

인식된 물체들의 높이 및 양 꼭지점들 사이의 거리를 파라미터로한 MaxMin 계산에 의해서 작업 순서를 결정함으로써 로봇트가 쌓여 있는 물체들을 홀트리지 않고 작업할 수 있는 장점을 가지고 있다.

그러나 레이저가 일정 영역을 주사하는데 걸리는 시간 및 물체를 인식하는데 걸리는 시간 즉 사이클 시간(Cycle Time)이 1분 정도 소요 되었는데 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 바람직할 것으로 생각된다. 로봇트의 손동작을 위해서 로봇트의 집계에 관한 연구가 필요하고, 또한 로봇트 집계에 센서를 부착함으로써 보다더 정확한 손동작이 요구된다.

## 참고문헌

1. Y.Tsuboi, T.Shiraishi, and N.Kosaka, "Positioning and shape detection algorithm for an industrial robot", Syst. Compt. Controls, Vol.4, pp.8-16 1973.
2. W.Perkins, "A model based vision system for industrial parts", IEEE Trans. Comput. Vol.C-27 pp.126-143 Feb. 1978.
3. C. Rosen et. al., "Exploratory research in advanced automation", Fourth Rep., Stanford Res. Instit., Menlo Park, CA, Jun. 1975.
4. Robert B. Kelly, John R. Birk, Henrique A.S.Martins, and Richard Tecca, "A Robot System which Acquires Cylindrical Workpieces from Bins", IEEE Trans. on System Man and Cybernetics, Vol.SMC-12, No.2, March/April 1982.
5. H.H.Baker and T.O.Binford, "Depth from edge and intensity based stereo", In Proc. 7th Int. Joint Conf. Artificial Intelligence Vancouver, Canada pp.631-636, Aug. 1981
6. S.T.Barnard and W.B.Thompson, "Dispar-

- ity analysis of images", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-2, No.4, pp.333-340, 1980.
7. Patrick, J. Flynn and Anil K. Jain, "BONSAI:3-D Object Recognition using Constraint Search", IEEE trans. on Pattern Analy. and Machine Intell., Vol.13, No.10. oct. 1989.
  8. Xiao-Wei Tu and Benarard Dubuisson, "3-D Information derivation from a pair of binocular images", Pattern Recognition Vol.23 No.3/4 pp223-235, 1990
  9. Paul J. Besl and Ramesh C. Jain, "Segmentation Through Variable-Order Surface Fitting", IEEE Trans. On Patt. Recog. and Mach. Intelli. Vol.10, No.2, March 1988.
  10. Yoshiaki Shiri, "Recognition of Polyhedrons with a Range finder", Patt. Recog., Press Vol.4 pp.243-250, 1972.
  11. Michael K. Brown, "The Extraction of Curved Surface Features with Generic Range Sensors", The International Journal of Robotics Research, Vol.5, No.1, Spring 1986.
  12. Raghu Krishnapuram and David Casasent, "Determinant of Three-Dimensional Object Location and Orientation from Range Images", IEEE Transactions On Patt. analy. and Mach. Intelli., Vol.11, No.11, Nov. 1989.
  13. Robert C. Bolles and Patrice Horaud, "3DPO:A Three Dimensional Part Orientation System", The International Journal of Robotics Research Vol.5, No3, Fall 1986.
  14. W. Eric, L. Grimson, and Tomas Lozano-Perez, "Localizing Overlapping Parts by searching the Interpretation Tree", IEEE Trans. On Patt. Analy. and Mach. Intelli., Vol. PAMI-9, No.4, July 1987.
  15. W. Pedrycz, "Fuzzy sets in Pattern Recognition:Methodology and Methods", Pattern Recognition Vol.23, No.1/2, pp.121-146, 1990.
  16. Robert C. Bolles, Jan H. Kremers, and Ronald A. Cain, "A SIMPLE SENSOR TO GATHER THREE DIMENSIONAL DATA", SRI(Stanford Research Institute) Technical Report 249 Jul. 1981.
  17. Min-Hong Han and Sangyong Rhee, "CAMERA CALIBRATION FOR THREE DIMENSIONAL MEASUREMENT", Pattern Recognition, Vol.25, No.2, pp.155-164, 1992.
  18. Richard Hoffman and Anil K. Jain, "Segmentation and Classification of Range Images", IEEE Trans. Patt. Analy. and Mach. Intelli., Vol. PAMI-9, No.5 Sept. 1987.
  19. Din-Chang Tseng and Zen, "Computing Location and Orientation of Polyhedral Surface using a Laser based Vision System", IEEE Trans. On Robotics and Automation, Vol.7, No.6, Dec. 1991.