

# 최소자승법을 이용한 가려지지 않은 원통형 물체의 자세측정

주 기 세\*

## Unoccluded Cylindrical Object Pose Measurement Using Least Square Method

KISEE JOO\*

### ABSTRACT

This paper presents an unoccluded cylindrical object pose measurement 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.

The elliptical equation parameters of a projected curve edge on a slice are calculated using LSM. The coefficients of standard elliptical equation are compared with these parameters to estimate the object pose. The hamming distances between the estimated coordinates and the calculated ones are extracted as measures to evaluate a local constraint and a smoothing surface curvature. The edges between slices are linked using error function based on the edge types and the hamming distances. The linked edges on slices are compared with the model object's length to recognize the unoccluded object.

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

**Key Words** : Elliptical Equation(타원방정식), Least Square Method(최소 자승법), Local Constraint(국소 제약 조건), Smoothing Surface Curvature(평활면 곡률), Hamming Distance(해밍거리), Adjacency(인접성), Error Function(에러함수)

### 1. 서 론

컴퓨터 비전중에서 3차원 물체 인식 및 자세 측정은 물류자동화, 조립자동화, 부품 검사, 유연 생산시스템등의 분야에 응용된다. 3차원 물체 인식 및 자세 측정을 위해서는 레이저(laser)와 스테레오 비전(stereo vision)이

주로 이용된다. 스테레오 비전을 이용할 때의 가장 어려운 점은 양 카메라의 위치 및 자세에 따라 물체의 모습이 다르게 보이기 때문에 3차원 좌표를 구하기 위해서는 양 카메라에 잡힌 영상들 간의 대응 문제(corresponding problem)를 해결해야 하는 어려움이 있다. 대응 문제를 해결하기 위한 여러 가지 방법 중에서 특정점 기반 매칭

\* 목포해양대학교 해상운송시스템학부

(feature based matching), 영역 기반 매칭(area based matching)방법 등이 많이 사용되고 있다.

그러나 특정점 기반 매칭 방법은 동일 물체가 무작위로 쌓여 있는 경우에 특정점들이 모두 같기 때문에 영상들간의 대응점 찾기가 힘들고 영역 기반 매칭 방법은 윈도우의 크기에 따라 정확도가 민감하게 변하고, 특히 시간이 오래 걸리는 단점이 있다.

위와 같은 문제점들 때문에 본 논문에서는 슬릿 빔 레이저(slit beam laser)와 카메라 1대를 사용하여 무작위로 쌓여있는 물체들중 가려지지 않은 물체의 위치 및 자세를 측정하는 방법을 사용하였다. 슬릿 빔 레이저를 사용한 물체 인식 및 자세 측정에는 국소 제약 및 평활면 곡률(1,2,3,4), 모델 기반 매칭(model based matching)(5,6,7,8), 일반화된 호그(hough) 변환(9)등이 많이 사용되고 있다.

그러나 동일한 원통형 물체일지라도 물체의 놓여 있는 자세에 따라 슬라이스간 사영된 에지들의 국소제약 및 평활면 곡률이 변하기 때문에 단순히 국소제약 및 평활면 곡률에 근거한 인접성만을 기준으로한 슬라이스간 에지 연결 방법은 원통형 물체가 무작위로 쌓여 있는 경우에 적용하기 어렵다. 더욱이 이 방법은 노이즈 및 에러에 민감하다. 또한 실물 데이터를 기본으로한 모델 기반 매칭 방법은 동일한 물체가 무작위로 쌓여 있기 때문에 특정점 추출이 힘들뿐만 아니라 많은 메모리를 필요로 하기 때문에 비효율적이다. 그리고 일반화된 호그 변환을 이용한 방법은 일종의 템플릿 매칭(template matching)으로 모델 물체의 정보를 자세에 따라 테이블에 저장한 후 테스트 영상에서 이 테이블을 이용하여 찾고자 하는 물체를 인식하는 방법이다. 이 방법은 노이즈 및 에러에 강한 장점이 있는 반면에 물체의 정보를 놓여 있는 자세에 따라 테이블에 저장해야 하기 때문에 많은 메모리 및 처리 시간이 소요되는 단점이 있다.

이와 같은 문제점들 때문에 본 논문에서는 무작위로 쌓여 있는 원통형 물체를 대상으로 가려지지 않은 물체 인식을 위하여 새로운 알고리즘을 제시하였다. 먼저 슬라이스 상에 나타난 화면상의 에지들에 대해서 거리를 파라미터로 볼록(convex) 및 오목(concave)형 함수의 성질을 이용하여 에지 종류(직선, 볼록 및 오목형 곡선 등)를 분류한 후 물체가 서로 붙어 있는 경우에는 에지 종류의 정보를 이용하여 에지를 분리시켰다.

분류된 에지가 곡선인 경우는 최소사승법을 이용한 타원 방정식의 파라미터 추출에 의해서 영역 정보 없이 단지 단일 슬라이스 상에 있는 에지 정보만으로 물체의 놓

여 있는 자세를 측정할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 따라서 물체가 놓여 있는 자세에 따라 슬라이스간 에지의 국소제약 및 평활면 곡률을 위한 좌표값들을 예측할 수 있기 때문에 기존에 제시된 단순히 슬라이스간 유클리디언 거리를 근거로 인접성만을 기준으로한 에지 연결 방법의 단점을 극복하였다. 마지막으로 연결된 에지들의 길이 및 면적 비교에 의해서 가려지지 않은 물체를 인식하게 된다.

## 2. 단일 슬라이스 상에서의 물체의 자세측정

먼저 실세계 좌표계인  $x_w, y_w, z_w$ 축과  $xy$ 테이블 좌표계인  $x_p, y_p, z_p$ 축을 서로 일치하게 정의하여 시스템을 구축하였다. 그리고  $xy$ 테이블의  $y_p$ 축인 볼 스크루(ball screw)상에 레이저를  $x_w, y_w$ 평면에 수직으로 설치한 후  $y_p$ 축 방향으로 일정 거리만큼 이동시키면서 슬라이스들 상에 사영된 에지들에 대하여 Fig. 1과 같은 절차를 통해서 가려지지 않은 물체 인식 및 자세 측정을 하게 된다.

### 2.1 에지 추출, 분류 및 분할

화면상에서 에지 추출, 분류 및 분할을 위한 화면 좌표계(u,v)는 카메라로 잡은 실세계의 영상을 비전 시스템으로 처리하기 위한 좌표계이며, 화면상의 중앙점을 원점

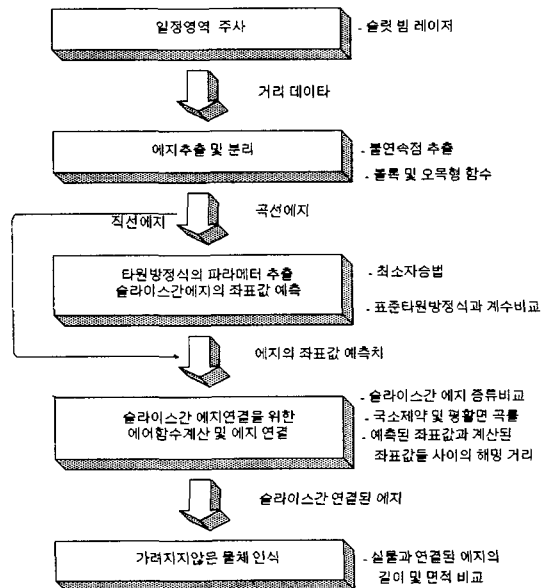


Fig. 1 The recognition process of unoccluded objects

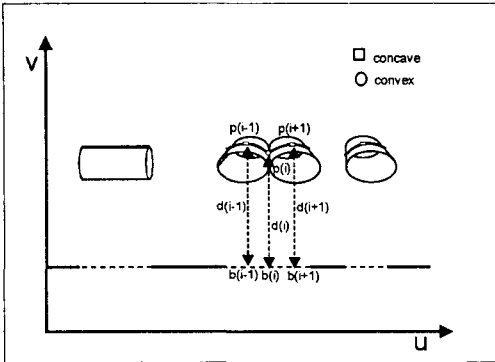


Fig. 2 An edge classification and partition

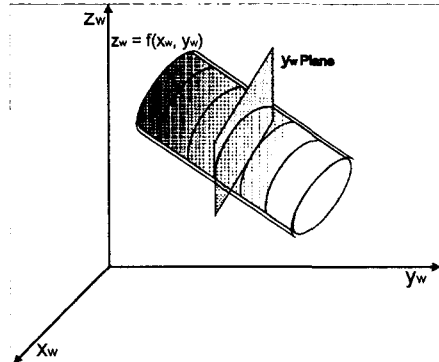


Fig. 3 A projected plane in the space

으로 하고, 화면에 수평한 축을  $u$ 축,  $u$ 축에 수직한 축을  $v$ 축으로 정의하였다.

무작위로 쌓여진 원통형 물체 위에 레이저를 사영시킬 때 나타나는 에지는 슬라이스 면에 사영된 거리 데이터로부터 불연속 점의 추출에 의해서 물체가 놓여 있는 자세에 따라 직선, 곡선 등의 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 점들 간의 기울기에 의한 에지 분류 및 분할 방법<sup>(10,11)</sup>은 노이즈 및 에러에 민감하기 때문에 본 논문에서는 거리를 기준으로 에지를 분류 및 분할하였다.

Fig. 2와 같이 화면 좌표 상에서 기준선(화면상에서 구한 레이저 캘리브레이션 평면과  $z_w$ 평면의 교선)상에서의 임의의 점  $i$ 에 대하여 사영된 곡선 상에서의 점  $p_{(i)}(u_{p(i)}, v_{p(i)})$ 와 동일점에 대한 점  $b_{(i)}(u_{b(i)}, v_{b(i)})$ 의 거리를 식(1)을 이용하여 구한 후 식(2)를 사용하여 볼록 및 오목점을 분류하였다. 그리고 볼록 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 분리시켰다.

$$d(i) = \sqrt{(u_{p(i)} - u_{b(i)})^2 + (v_{p(i)} - v_{b(i)})^2} \quad \text{기준선상의 임의의 점 } i \text{에 대하여} \quad (1)$$

$$T_1 = d(i) - d(i-1), \quad T_2 = d(i) - d(i+1) \quad (2)$$

만약  $T_1, T_2 \geq \delta$  오목점,  $T_1, T_2 \leq -\delta$  볼록점  
여기서  $\delta$ : 임계치(threshold)

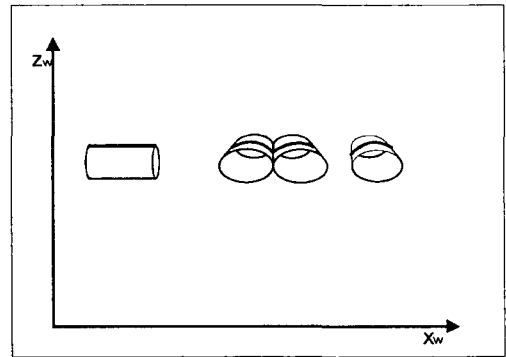


Fig. 4 A projected plane in the  $x_w, z_w$  plane

## 2.2 단일 슬라이스 상에서의 물체의 자세 측정

Fig. 3은  $xy$ 테이블의  $y_p$ 축상에서 레이저를 3차원 공간 상에 놓여 있는 원통형 물체 위에 사영시킬 때 슬라이스 상에 사영된 에지의 모습으로써 단일 슬라이스는  $x_w, z_w$ 평면에 평행한  $y_w$ 평면이기 때문에 에지들은 Fig. 4와 같은  $x_w, z_w$ 평면상의 2차원 좌표계로 표시될 수 있다.

또한  $x_w, z_w$ 평면상에 사영된 원통형 물체의 에지는 물체의 놓여 있는 자세에 따라 Fig. 4와 같이 직선, 또는 파라미터가 다른 타원의 일부분으로 나타난다. 따라서 에지가 곡선인 경우 최소 자승법을 이용한 타원 방정식 파라미터 추출에 의해서 단일 슬라이스 상의 에지 정보만으로 물체의 자세를 측정할 수 있는 알고리즘을 제시하였다.

### 2.2.1 원통형 물체 사영단면의 표준 타원 방정식

$y_w$ 축,  $x_w, y_w$ 평면과 이루는 방향각(pan)  $\theta$  및 경사각(tilt)  $\rho$ 가 없이 놓여 있는 반경  $r$ 을 가진 원통형 물체 위에  $xy$ 테이블의  $y_p$ 축상에서 레이저를 사영시킬 때 사영 단

면은 식(3)과 같은 원의 형태로  $x_w z_w$  평면에 나타난다. 그리고 물체를  $x_w z_w$  축을 중심으로  $\rho, \theta$ 만큼 각각 회전시키면 좌표 변환은 식(4)와 같다. 따라서 공간상에서 경사각이  $\rho$ 이고 방향각이  $\theta$ 인 원통형 물체 위에 레이저를 사영시킬 때 사영 단면의 타원 방정식은 식(5)와 같은 형태로 표시된다.

$$(x-a)^2 + (z-c)^2 = r^2 \text{ 여기서 } a, c: \text{ 원의 중심, } r: \text{ 원의 반경 (3)}$$

$$\begin{pmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta, & -\sin\theta, & 0 \\ \sin\theta, & \cos\theta, & 0 \\ 0, & 0, & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1, & 0 & 0 \\ 0, & \cos\rho, & -\sin\rho \\ 0 & \sin\rho, & \cos\rho \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$x_w^2 + \frac{\cos^2 \rho}{\cos^2 \theta + \sin^2 \rho \sin^2 \theta} z_w^2 + \frac{2\sin\rho\sin\theta\cos\rho}{\cos^2 \theta + \sin^2 \rho \sin^2 \theta} x_w z_w - \frac{2(a\cos\theta + c\sin\rho\sin\theta)}{\cos^2 \theta + \sin^2 \rho \sin^2 \theta} x_w - \frac{2c\cos\rho}{\cos^2 \theta + \sin^2 \rho \sin^2 \theta} z_w + \frac{c^2 + a^2 - r^2}{\cos^2 \theta + \sin^2 \rho \sin^2 \theta} = 0 \quad (5)$$

### 2.2.2 최소자승법을 이용한 타원방정식 파라미터 추출

타원방정식의 일반적인 형태는 식(6)과 같고, 각항을  $a_i$ 로 나누고  $x_w^2$  항을 우변으로 옮기면 식(7)과 같이 유도된다.

$$a_1 x_w^2 + a_2 x_w z_w + a_3 z_w^2 + a_4 x_w + a_5 z_w + a_6 = 0 \quad (6)$$

$$b_1 z_w x_w + b_2 z_w^2 + b_3 x_w + b_4 z_w + b_5 = -x_w^2 \quad (7)$$

만약 주어진 점이  $m$ 점이라면 각 점들은 식(7)에서 하나의 제약식을 만들어 내기 때문에 식(8)과 같은 매트릭스 형태로 표현 가능하고 식(8)은 식(9)와 같은 단순한 형태로 표현 가능하다.

$$\begin{pmatrix} z_{w1}x_{w1}, & z_{w1}^2, & x_{w1}, & z_{w1}, & 1 \\ z_{w2}x_{w2}, & z_{w2}^2, & x_{w2}, & z_{w2}, & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ z_{wm}x_{wm}, & z_{wm}^2, & x_{wm}, & z_{wm}, & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -x_{w1}^2 \\ -x_{w2}^2 \\ \vdots \\ -x_{wm}^2 \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$MB = e \quad (9)$$

여기서  $M: m \times 5, B: 5 \times 1, e: m \times 1$

추출된 점이 정확히 5점이라면 매트릭스  $M$ 이 정방형이기 때문에 5점이 서로 동일 직선상(collinear)에 놓여 있지 않다는 조건하에서 정확한 해는 식(10)에 의해서 구해진다. 그러나 추출된 점들중 일부가 동일 직선 상에 놓여 있더라도 근사한 곡선에 접합시키기 위해서는 5점 이상을 추출해야만 가능하다. 이 경우에는  $M$  매트릭스가 비정방형이기 때문에 역행렬을 구할 수가 없다. 따라서 곡선과의 적합도 척도는 추출된 점들과 곡선 사이의 거리의 합으로 나타나기 때문에 식(11)과 같은 최소자승법에 의해서 근사한 해를 구할 수 있다.

$$B = M^{-1}e \quad (10)$$

$$B = (M^T M)^{-1} M^T e \quad (11)$$

### 2.2.3 계수 비교법에 의한 물체의 자세 측정

사영된 예지를  $n(n)5$  등분하여 동일 직선상에 놓여 있지 않은  $m$ 점( $5(m)n$ )을 추출한 후 식(11)을 이용해서 매트릭스  $B$ 를 구하였다. 그리고 구해진 매트릭스  $B$ 를 이용한 물체의 자세 측정을 위하여 식(5)와 식(7)의 계수 비교법을 사용하는데 식(5)에서의  $x_w$  및  $z_w$  항계수, 상수항은 레이저의 주사 위치에 따라 값이 변하기 때문에 자세 측정을 위한 유용한 정보가 될 수 없다. 따라서  $x_w z_w, z_w^2$  항을 이용한 계수 비교법에 의해서 식(12)가 유도된다.

그리고 식(12)의 해를 구하기 위하여  $b_1$ 을  $b_2$ 로 나누어 정리하면 식(13)과 같고, 식(12)의  $b_1$ 식에 대입하면 식(14)와 같다. 식(14)에서  $\sin^2 \rho = t$ 라 치환하면 식(15)가 유도된다. 식(15)에 의해서 구해진 해중  $\sin^2 \rho (=t)$ 는 항상 양의 값을 갖기 때문에 식(14)에서 구한 해중 양의 값을 식(15)에 대한 해로한다. 그리고 마지막으로 경사각( $=\rho$ ) 및 방향각( $=\theta$ )는 식(16)에 의해서 구해진다.

$$b_1 = \frac{2\sin\rho\sin\theta\cos\rho}{\cos^2\theta + \sin^2\rho\sin^2\theta} \quad b_2 = \frac{\cos^2\rho}{\cos^2\theta + \sin^2\rho\sin^2\theta} \quad (12)$$

$$\frac{b_1}{b_2} = \frac{2\sin\rho\sin\theta}{\cos\rho} = 2\tan\rho\sin\theta, \quad \sin\theta = \frac{b_1}{2\tan\rho b_2} \quad (13)$$

$$\sin^4 \rho b_1^2 - 4\sin^4 \rho b_2 + 4\sin^2 \rho b_2 - 4\sin^2 \rho b_2^2 - 2\sin^2 \rho b_1^2 + b_1^2 = 0 \quad (14)$$

$$(b_1^2 - 4b_2)t^2 + 2(2b_2 - 2b_2^2 - b_1^2)t + b_1^2 = 0 \quad (15)$$

$$\rho = \sin^{-1} \sqrt{t}, \quad \theta = \sin^{-1} \left( \frac{b_1}{2\tan\rho b_2} \right) \quad (16)$$

2.3 에지의 좌표값 예측

공간상에 무작위로 쌓여있는 물체중 다른 물체에 의해서 가려지지 않은 물체를 인식하기 위해서 레이저를 xy테이블의  $y_p$  축상으로 일정 거리만큼 이동하면서 주사하기 때문에 슬라이스간  $y_w$  좌표값의 변화량은 모두 같다.

그러나  $x_w, z_w$  좌표값의 변화량은 물체의 놓여 있는 자세에 따라 다르기 때문에 앞에서 구해진 방향각 ( $\theta$ ), 경사각 ( $\rho$ )의 정보를 이용해서 슬라이스간  $x_w, z_w$  좌표값의 변화량을 계산하였다. 그리고 단일 슬라이스 상에 나타난 에지 정보만으로는 슬라이스간 에지 좌표값의 변화량을 알 수 있지만 증감 방향은 알 수 없기 때문에 연속하는 두 슬라이스 상에 나타난 에지 정보에 의해서 다음 슬라이스 상에 나타날 에지의  $x_w, z_w$  좌표값의 증감 방향을 예측한 후 에지 좌표값을 계산하였다.

2.3.1 슬라이스간 국소제약 및 평활면 곡률을 위한 좌표값들의 변화량 계산

Fig. 5와 같이 물체의 자세 측정에 의해서 구해진  $\theta$  및  $\rho$  를 사용하여 현 슬라이스(= $S_{(i)}$ )에 있는 특정 에지의 다음 슬라이스(= $S_{(i+1)}$ )상에서의  $x_w, z_w$  좌표값의 변화량(=

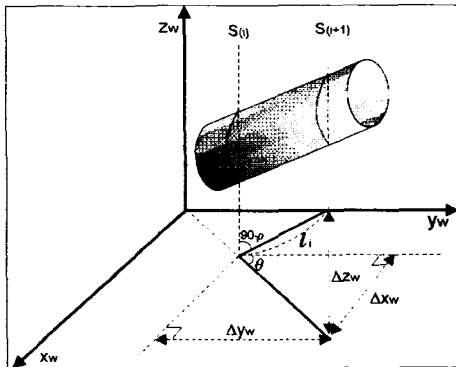


Fig. 5 The estimation of coordinate variation

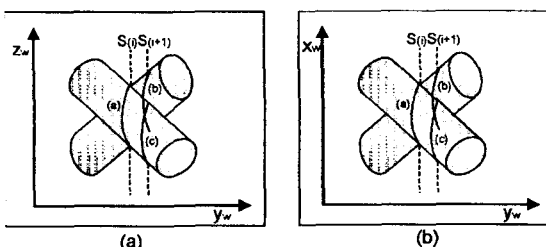


Fig. 6 Trends in  $x_w, z_w$  coordinates on two slices

$\Delta x_w, \Delta z_w$ )은 다음식(17)을 이용하여 구해진다.

$$\Delta x_w = \tan(\theta)\Delta y_w, \Delta z_w = \sec(\theta)\tan(\rho)\Delta y_w \quad (17)$$

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

여기서  $l_i$ : 슬라이스간 에지의 거리,  $\Delta y_w$ : 주사 간격

2.3.2 슬라이스간 에지의 좌표값 예측

$S_{(i+1)}$  상에 나타날 특정 에지의 좌표값을 예측하기 위해서는 먼저  $S_{(i)}$  상에서 구한 국소 제약 및 평활면 곡률을 위한  $x_w, z_w$  좌표값들의 변화량( $\Delta x_w, \Delta z_w$ )을  $S_{(i)}$  상에 있는 특정 에지의 좌표값에 가감시킴으로서 가능하다.

그러나 영역 정보없이 단일 슬라이스 상에서의 물체의 자세 정보만으로는 Fig. 6.a, 6.b에 나타난 바와 같이  $S_{(i)}$  상에 있는 에지(a)의  $S_{(i+1)}$  상에서의 좌표값 변화량( $\Delta x_w, \Delta z_w$ )은 예측할 수 있지만 증가(b), 감소(c)방향은 예측 불가능하다. 따라서 먼저 에지가  $S_{(i)}$  상에 있는 에지와 이미 연결된 경우는 두 슬라이스( $S_{(i)}, S_{(i+1)}$ )상에서의 에지 좌표값의 증가 및 감소 경향을 이용하였다.

그리고  $S_{(i)}$  에서 시작하는(seed) 에지인 경우는  $S_{(i)}$  상에 있는 연결하기 원하는 특정 에지 양끝점의 좌표값( $S_{(i)j}, S_{(i)j}, S_{(i)j}, j=1,2$ ) 과  $S_{(i+1)}$  상의 에지들의 좌표값들을 비교하였다. 비교된 에지들의 좌표값의 증가, 감소 추세에 따라 각각 식(18), 식(19)를 이용하여  $S_{(i+1)}$  상에서의 좌표값들을 예측하였다.

$$E_{xj} = S_{(i)xj} + \Delta x_w, E_{zj} = S_{(i)zj} + \Delta z_w, E_{yj} = S_{(i)yj} + \Delta y_w \text{ for } j = 1, 2 \quad (18)$$

$$E_{xj} = S_{(i)xj} - \Delta x_w, E_{zj} = S_{(i)zj} - \Delta z_w, E_{yj} = S_{(i)yj} + \Delta y_w \text{ for } j = 1, 2 \quad (19)$$

2.4 에러 함수를 이용한 슬라이스들간 에지 연결

만약  $S_{(i)}$  상에 사영된 에지가 직선인 경우는  $y_w$  축과 방향각이  $90^\circ$  를 이루면서,  $x_w, z_w$  평면과 일정한 경사각을 갖고 놓여 있는 물체이기 때문에 슬라이스간  $x_w, y_w$  좌표값의 차이는 없고 단지  $z_w$  좌표값이 증가 또는 감소한다. 또한 동일물체에 대한 에지라면 에지가 모두 직선으로 사영되기 때문에 단순히 슬라이스간 에지들의 종류(곡선 또는 직선) 비교 및 인접성 만으로도 에지 연결이 가능하기 때문에  $S_{(i+1)}$  상에서의 좌표값 예측 알고리즘없이 두 슬라이스 상에 있는 에지들의 양 끝점간의 해밍거리를 이용하였다.

그리고 슬라이스간 에지 연결의 에러 정도를 나타내는 식(20)에 의해서 슬라이스간 에지 연결을 결정하는데 동일 물체에 대한 에지라면 에지의 종류가 서로 같아야 하기 때문에 식(20)에서 상수  $C_m$ 은  $S_{i_0}$ 상에 있는 에지와  $S_{(i+1)}$ 상에 있는 후보 에지가 같은 종류이면 작은 벌칙 (Small Penalty)을 부여하고, 에지 종류가 다르면 큰 벌칙을 부여하였다.

또한 식(20)에서 국소제약 및 평활면 곡률의 에러 정도의 척도인  $\hat{e}_{xj}$ ,  $\hat{e}_{yj}$ ,  $\hat{e}_{zj}$ 는  $S_{(i+1)}$ 상에 있는 특정 에지의 예측된 좌표값 ( $E_{xj}$ ,  $E_{yj}$ ,  $E_{zj}$ )과 연결 후보 에지들의 실제 좌표값( $S_{(i+1)x}$ ,  $S_{(i+1)y}$ ,  $S_{(i+1)z}$ )과의 차이를 나타낸다. 식(20)에서  $w_1, w_2, w_3$ 는 슬라이스간 에지 연결 평가에 있어서 기여하는 정도가 다르기 때문에 주어진 값으로  $\hat{e}_{xj}$ ,  $\hat{e}_{zj}$ 는 기여하는 정도가 크고  $\hat{e}_{yj}$  ( $j=1,2$ )는 주사 간격으로 일정하기 때문에 기여하는 정도가 작다. 따라서 식(20)에서  $w_1, w_3$ 는  $w_2$ 에 비해서 상대적으로 큰 값을 부여하였다. 그리고 식(20)을 사용하여 모든 후보 에지들에 대하여  $\xi$ 를 계산한 후 가장 작은 값을 갖는 후보 에지( $k=1, 2, 3, 4 \dots n$ )를 연결 에지로 결정하였다.

$$\xi = C_m \sum_{j=1}^2 [w_1 \hat{e}_{xj} + w_2 \hat{e}_{yj} + w_3 \hat{e}_{zj}]$$

for  $k=1,2,\dots,n, m=1,2, j=1,2$  (20)

여기서  $C_m, w_1, w_2, w_3$  임의의 상수

### 2.5 가려지지 않은 물체들의 인식

식(17)에서 구한  $l_i$ 는  $S_{i_0}$ 와  $S_{(i+1)}$ 사이의 연결 에지의 길이

이고,  $a_i$ 는 연결 에지의 면적이기 때문에 식(21)을 이용하여 실물의 길이 및 면적과 연결된 에지로 부터 계산된 길이 및 면적 비교에 의해서 다른 물체에 의해서 가려지지 않은 물체를 인식하게 된다.

$$L - \sum_{i=0}^{i=n} (l_i) <= \delta_l, \quad A - \sum_{i=0}^{i=n} (a_i) <= \delta_a \quad (21)$$

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

## 3. 실험 결과

### 3.1 실험 환경

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

### 3.2 영상 분할 및 에지 추출의 결과

물체가 무작위로 쌓여 있는 모습은 Fig. 7과 같으며 레이저를 xy테이블의  $y_p$ 축상으로 일정 거리 만큼 이동시키면서 일정 영역을 주사한 후 각 슬라이스 상에 나타난 에지들에 관하여 에지 추출 및 분할에 의한 결과는 Fig. 8과 같다. 실제로 본 연구에서는 슬라이스간 이동 거리를 0.5Cm로 하여 일정 영역을 주사하였다.

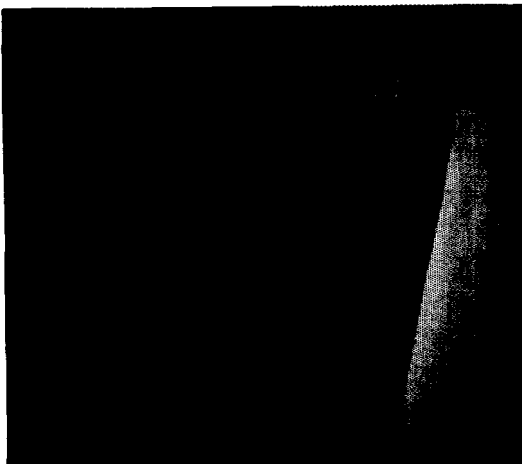


Fig. 7 Randomly filed objects

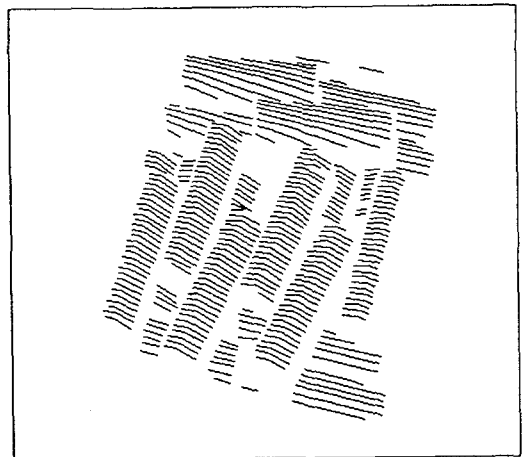


Fig. 8 The scanned edges

### 3.3 에지 연결 및 물체 인식 결과

Table 1은 먼저 상자 안에 무작위로 쌓여진 원통형 물체 위에 특정 물체를 Table 1에 주어진 각각의 자세로 놓은 후에 본 논문에서 제시한 최소자승법을 이용한 슬라이스간 에지의 좌표값 예측 알고리즘에 의한 에지 연결 방법과 기존에 사용된 슬라이스간 좌표값 예측 알고리즘 없이 단순히 슬라이스간 에지들의 유클리디언 거리에 근거한 인접성만을 기준으로한 에지 연결 방법을 비교하기 위하여 50번씩 실험한 결과이다.

비교방법은 연결하기 원하는 에지들의 좌표값들의 해밍 거리가 국소제약 및 평활면 곡률의 여러 정도를 나타내기 때문에 이 해밍거리들을 비교 대상으로 하였다. 비교대상인 해밍거리를 구하는 방법은 먼저 본 논문에서 제시된 방법은 슬라이스간 좌표값 예측치와 실제 사영에 의해서 구해진 좌표값들 사이의 해밍거리를 이용하였다. 그리고 기존의 방법은 슬라이스간 나타날 에지들의 좌표값 예측 알고리즘 없이 단순히 두 슬라이스간 에지의 인접성에 의해서 에지 연결을 결정하기 때문에 연결하기 원하는 에지들의 해밍거리를 이용하였다.

Table 1에서 알 수 있듯이 기존의 방법은 물체의 놓여 있는 자세에 따라 해밍거리들의 변동이 심하지만 본 논문에서 제시된 방법이  $y_z$ 축에 대한 방향각이  $90^\circ$ 인 경우를 제외하고는 훨씬 정확하다. 이는 에지가 직선형인 경우로써 슬라이스간 좌표값을 예측하지 않고 기존에 사용된 단순히 슬라이스간 에지 좌표값들의 해밍거리를 사용하였기 때문이다. Fig. 9는 슬라이스간 에지 연결 후 길이 및 면적 비교에 의한 가려지지 않은 물체 인식 결과를 나타낸 것이다.

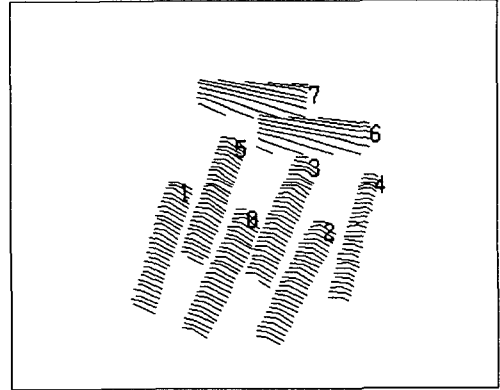


Fig. 9 Recognized unoccluded objects

### 4. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 가려지지 않은 물체 인식을 위하여 거리를 파라미터로한 볼록 및 오목형 함수의 성질을 이용하여 에지 종류를 분류하였다. 그리고 분류된 에지가 곡선인 경우는 최소자승법을 이용한 타원 방정식 파라미터 추출에 의해서 영역 정보 없이 단지 단일 슬라이스 상에 있는 에지 정보만으로 물체의 놓여 있는 자세를 측정할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.

본 논문에서 제시한 방법은 물체가 놓여 있는 자세에 따라 슬라이스간 에지의 국소제약 및 평활면 곡률에 대한 좌표값들을 예측할 수 있기 때문에 기존에 제시된 슬라이스간 국소 제약 및 평활면 곡률만을 근거로한 단순한 인접성에 의한 에지 연결 방법 보다 정확한 슬라이스간 에

Table 1 The comparison of the presented and the conventional method

(Unit : Cm)

Object Pose ( $\rho^\circ, \theta^\circ$ )	Calculated - Estimated   (Presented Method)						$S_{(i,j)} - S_{(i)}$   (Conventional Method)					
	in $xw$		in $yw$		in $zw$		in $xw$		in $yw$		in $zw$	
	Avg.	Var.	Avg.	Var.	Avg.	Var.	Avg.	Var.	Avg.	Var.	Avg.	Var.
( 0, 0 )	0.06	0.02	0.08	0.03	0.06	0.05	0.05	0.03	0.55	0.03	0.11	0.07
( 0, 30 )	0.10	0.06	0.10	0.04	0.11	0.09	0.40	0.15	0.65	0.04	0.15	0.09
( 0, 45 )	0.15	0.06	0.11	0.04	0.13	0.11	0.60	0.20	0.66	0.04	0.20	0.09
( 0, 60 )	0.15	0.06	0.12	0.05	0.12	0.10	1.03	0.30	0.66	0.05	0.22	0.09
( 0, 90 )	0.10	0.07	0.11	0.03	0.15	0.12	0.10	0.08	0.64	0.03	0.15	0.10
( 45, 0 )	0.10	0.07	0.14	0.05	0.14	0.09	0.10	0.09	0.69	0.05	0.50	0.15
( 45, 30 )	0.12	0.07	0.15	0.08	0.21	0.12	0.50	0.10	0.70	0.08	0.70	0.20
( 45, 45 )	0.16	0.09	0.20	0.09	0.24	0.13	0.80	0.15	0.71	0.09	0.91	0.19
( 45, 60 )	0.17	0.10	0.23	0.09	0.26	0.10	1.20	0.25	0.73	0.10	1.10	0.20
( 45, 90 )	0.11	0.05	0.14	0.09	0.20	0.10	0.23	0.10	0.14	0.09	0.90	0.15

지 연결이 가능하고 노이즈 및 에러에 아주 강하다.

그러나 레이저가 일정 영역을 주사하는데 걸리는 시간 및 물체를 인식하는데 걸리는 시간 즉 사이클 시간이 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 바람직하다.

### 참 고 문 헌

1. J. P. Oakley, R. T. Shann, "Curvature sensitive filter and its application in microfossil image characterisation," *Image and Vision Computing*, Vol. 14, No. 1, Feb., pp. 237 - 241, 1996.
2. Jen-Ming Chen, Jose A. Ventura, Chih-Hang Wu, "Segmentation of planar curves into circular arcs and line segments," *Image and Vision Computing*, Vol. 14, No. 1, Feb., pp. 71-83, 1996.
3. 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.
4. Naokazu Yokoya, "Volumetric Shapes of Solids of Revolution from a Single-View Range Image," *CVGIP:Image Understanding* Vol.59, No. 1, January, pp. 43-52, 1994.
5. Axel Busboom, Robert J. Schalkoff, "Direct Surface parameter estimation using structured light: a predictor-corrector based approach," *Image and Vision Computing*, Vol. 14, No. 1, Feb. pp. 311-327, 1996.
6. 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.
7. Wen-Nung Lie, Ching-Wen Yu and Yung-Chang Chen, "Model Based Recognition and Positioning of Polyhedral Using Intensity-Guided Range Sensing and Interpretation in 3-D Space," *Pattern recognition*, Vol. 23, No. 9, pp. 983-997, 1990.
8. Yasser Honsi and Labiche Ferreira, "Laser Based System For Reverse Engineering," *Computers industry Engineering* Vol. 26, No. 2, pp. 387-394, 1994.
9. P. L. Palmer, J. Kittler and M. Petrou, "Using Focus of Attention with the Hough Transform for Accurate Line Parameter Estimation," *Pattern Recognition*, Vol. 27, No. 9, pp. 1127 - 1134, 1994.
10. Mark S. Merry, Johnnie W. Baker, "Constant time algorithm for Computing the Hough Transform on a reconfigurable mesh," *Image and Vision Computing*, Vol. 14, No. 1, Feb., pp. 35-37, 1996.
11. 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.