

이중원뿔 투영을 이용한 거리의 추정

Depth Estimation by Using a Double Conic Projection

°김 완 수*, 조 형 석**, 김 성 권***

*한국 과학기술원 자동화및 설계공학과(Tel: 02-958-3461; Fax: 02- 968-1638)

**한국 과학기술원 기계공학과 (Tel: 042-968-3213; Fax: 042-968-3210; E-mail: hscho@lca.kaist.ac.kr)

***삼성전자 자동화 연구소 (Tel: 0331-200-2400; Fax: 0331-200-2420)

Abstract It is essential to obtain a distance information in order to completely execute assembly tasks such as a grasping and an insertion. In this paper, we propose a method estimating a measurement distance from a sensor to an object through using the omni-directional image sensing system for assembly(OISSA) and show its features and feasibility by a computer simulation. The method, utilizing a forwarded motion stereo technique, is simple to search the corresponding points and possible to immediately obtain a three-dimensional 2π -shape information.

Keywords measurement distance, omni-directional image, image sensor, depth estimation, assembly

1. 서론

3 차원 물체의 재구성 분야와 물체의 파지 및 삽입 등의 기능이 요구되는 조립분야 등에서 거리의 정보는 매우 중요하다. 거리 정보를 얻기 위해서는 많은 연구들이 진행되어 오고 있다. 즉, 레이저나 구조화된 광과 CCD 카메라를 이용하여 발사광과 반사된 광의 검출 각을 이용하여 거리를 추정하는 삼각측량법[1], 레이저 또는 초음파등을 발사한 후 돌아오는 시간이나 변화된 위상차를 이용하여 거리를 추정하는 방법[2], 두대의 카메라[3] 또는 한대의 카메라와 거울을 이용하여 에필폴라 구속조건을 이용하여 대응점을 찾아 삼각측량법에 의해 거리를 추정하는 방법[4][5] 그리고 특정거리에서 정확하게 상이 맺히는 현상을 이용하여 거리를 추정하는 방법(depth from focusing and defocusing)[6] 등이 그것이다. 하지만 이들은 자기폐색을 갖는 국부적인 영상으로부터 형상정보를 복원하는 방법들이다. 따라서 물체의 전체의 형상을 알기 위해서는 보는 각도를 달리하면서 물체주위를 이동하는 등의 부가적인 운동을 하여야 한다. 이러한 단점은 전방향 센서를 이용하면 극복되어 질 수 있다. 다시말하면, 어떤 물체에 대한 전방향 영상을 얻은 다음 이 영상으로부터 거리정보를 얻어낼 수 있다면, 물체를 단 한번의 활상으로도 물체의 형상을 즉시 알 수 있게 되어 인식속도를 높일 수 있는 장점을 지닌다.

따라서 본논문에서는 조립물체사이의 조립오차 및 형상을 측정하기 위한 전방향 시각센서(OISSA)[7]에 대해서 전진운동 스테레오방법을 이용하여 센서와 물체사이의 거리를 추정하는 방법을 제시하고자 한다. 이 방법은 대응점을 찾는 것이 용이하고, 계산이 간단하여 물체까지의 거리를 신속하게 알 수 있다. 또한, 전방향 영상이 얻어지므로 물체의 형상을 즉시 알아내는 것이 용이하다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저, 2 장에서는 원뿔거울쌍과 카메라로 구성된 전방향 시각센서의 구조 및 감지원리 등을 기술하고, 3 장에서는 원뿔거울쌍을 통해서 물체가 카메라의 영상면에 투영되는 과정을 기술하기 위한 이중원뿔거울 투영모델을 유도하고자 한다. 4 장에서는 전진운동에 의해서 얻어진 두장의 영상에 대해서 이 이중원뿔거울 투영모델을 이용하여 센서와 물체사이의 측정거리를 알아내는 방법을 기술하고자 한다. 마지막으로 5 장에서는 컴퓨터 모의 실험을 통해서 이 알고리즘의 특성과 효용성을 보이고자 한다.

2. 전방향 시각측정장치

2.1. 전방향 장치의 구조 및 원리

그림 1(a)는 전방향센서의 기본구조로서 원뿔거울쌍과 평면거울쌍, 카메라 그리고 부품취급용 그리퍼(gripper)등의 4 가지 요소로 이루어져 있다.

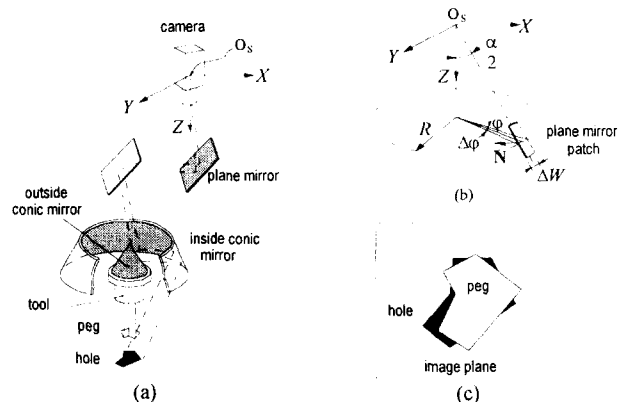


그림 1. 제안된 측정장치의 개념도: (a) 측정장치의 구성, (b) 원뿔거울의 등가구조, (c) 조립물체사이의 예상 이미지
Fig. 1. The schematic diagram of the proposed sensing system: (a) The configuration (b) an equivalent configuration of the conic mirror (c) an expected image for a pair of a peg and a hole

여기서 안쪽이 거울면으로 되어있는 내면원뿔거울(inside conic mirror)은 측정대상물체의 둘레에 대한 전방향의 형상을 원주방향을 따라서 연속적으로 펼쳐져 있는 그 거울면에 모두 투영시키기 위해서 사용되어진다. 이것을 이용하여 사각영역없이 물체 둘레로의 전방향 영상을 얻을 수 있게 된다. 다시말해서, 그림 1(b)에서처럼 만일 원주상에 배치된 유한개의 평면거울들의 중앙부에 어떤 물체를 놓았다고 할 때, 이 물체 둘레의 2π 영상이 원주상에 설치된 유한개의 평면거울에 각각 투영되게 된다. 하지만 유한개의 거울 배치인 경우, 거울과 거울사이에서 거울면이 존재하지 않는 불연속 영역이 출현하게 되어 영상정보의 손실이 발생하게 된다. 따라서 이러한 정보손실을 보전하기 위해서 무한히 작은 거울폭을 갖는 거울조각을 원주상에 무한개로 연속해서 배치한다고 할 때, 결국 이 거울의 배치형상은 꼭지각(vertex angle)이 α 인 내면원뿔거울(inside conic mirror)이 된다. 따라서 어떤 물체의 전방향의 형상이 내면원뿔거울의 2π 의 거울면 전체에 투영되게 된다. 한편, 이 2π 로 펼쳐져 있는 영상정보를 획득하기 위해서 카메라를 사용하며, 로봇 선단동에 이장치를 장착할 경우, 이 카메라는 동축상에 설치하는 것이 어려우므로 편위시킨다. 이때, 이 카메라의 영상평면으로 내면원뿔거울면에 모여진 2π 영상을 다시 투영시키기 위해서 그 내면원뿔거울의 내부중심에 외면원뿔거울(outside conic mirror)을 동축상에 배치하고 이 거울의 상부에 평면거울쌍을 설치한다. 이로써, 내면원뿔거울면에 투영된 2π 영상이 외면원뿔거울의 2π 거울면위로 모여지고, 다시 이 영상은 두개의 평면거울쌍 즉, 외면원뿔거울 바로위에 설치된 평면거울과 카메라 바로 밑에 설치된 평면거울을 통해서 광로가 꺾이여 편위된 카메라에 투영되어진다. 이 같은 원리에 의해서 결국 그림 1(c)와 같은

어떤 한 물체의 둘레에 대한 동축의 2π 영상을 얻을 수 있게 된다[7].

2.2 이중원뿔 투영모델

이 전방향 장치는 그림 1(a)에서 보인 평면거울쌍을 펼쳐서 동축상에 카메라를 배치한 것과 같은 모양으로 바꿀 수가 있다. 한편 이 센서는 대칭구조를 이루고 있으므로, 수평 X축에 대해서 정의된 어떤 방위각 φ 를 갖는 단면으로 그림 2와 같이 표현할 수 있다. 이 그림 2에서 원뿔거울은 특정방위각 φ 에 대해서 방위각 보존 특성에 따라서 평면거울로 다시 모델링하는 것이 가능하다. 그러므로 먼저 물체가 측정거리 Z의 위치에 놓여 있고 물체상의 한 점 $P_0(R, \varphi)$ 에서 출발한 광선이 원뿔거울을 거쳐서 카메라의 영상면상의 한 점 $p^c(R, \varphi)$ 에 투영된다고 가정하자. 이때, 이 시스템의 각 구성인자 사이의 관계는 다음과 같이 식(1)부터 (5)까지의 관계식으로 표현이 가능하다.

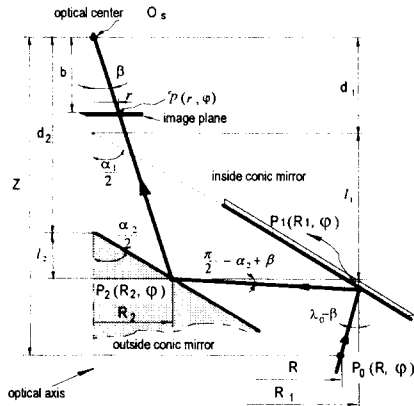


그림 2. 전방향 장치의 단면도
Fig.2 A schematic diagram of the OISSA

$$l_2 = \frac{d_2 \tan \beta}{\tan \frac{\alpha_2}{2} - \tan \beta}, \quad \tan \beta = \frac{r}{b} \quad (1)$$

$$R_2 = l_2 \tan \frac{\alpha_2}{2} \quad (2)$$

$$R_1 - R = [Z - (d_1 + l_1)] \tan(\lambda_0 - \beta) \quad (3)$$

$$R_1 = l_1 \tan \frac{\alpha_1}{2} \quad (4)$$

$$(R_1 - R_2) \tan\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_2 + \beta\right) = (d_1 + l_1) - (d_2 + l_2) \quad (5)$$

여기서 $\lambda_0 = \alpha_2 - \alpha_1$ 는 두 원뿔거울의 꼭지각의 차이이다.

(1)에서 (5)로 표현된 이같은 관계식으로 부터 이들 두점 $P_0(R, \varphi)$ 와 $p^c(R, \varphi)$ 사이의 관계는 다음과 같이 유도된다.

$$R = - \frac{B_0(Z) + \frac{1}{b} B_1(Z)r + \frac{1}{b^2} B_2(Z)r^2 + \frac{1}{b^3} B_3(Z)r^3}{A_0 + \frac{1}{b} A_1 r + \frac{1}{b^2} A_2 r^2 + \frac{1}{b^3} A_3 r^3} \quad (6)$$

여기서, 분자의 계수는 다음처럼 측정거리 Z에 관계된다.

$$B_0 = B_{00} + B_{01}Z, \quad B_1 = B_{10} + B_{11}Z \quad (7)$$

$$B_2 = B_{20} + B_{21}Z, \quad B_3 = B_{30} + B_{31}Z$$

따라서 측정거리 Z에 대해서 정리를 하면 (6)은 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$R = - \frac{(B_{00} + \frac{1}{b} B_{10}r + \frac{1}{b^2} B_{20}r^2 + \frac{1}{b^3} B_{30}r^3) + Z(B_{01} + \frac{1}{b} B_{11}r + \frac{1}{b^2} B_{21}r^2 + \frac{1}{b^3} B_{31}r^3)}{A_0 + \frac{1}{b} A_1 r + \frac{1}{b^2} A_2 r^2 + \frac{1}{b^3} A_3 r^3} \quad (8)$$

이 식 (8)은 전방향장치의 투영특성을 나타내는 투영 모델로서 이하 이중원뿔투영 모델이라 칭한다. 이 식 (8)에서 분모 및 분자의 계수 A_i, B_{ij} ($i, j = 0, 1, 2, 3$)는 전방향 측정장치의 기구정수들에 의해서 결정되는 값이다(자세한 내용은 [8]를 참조). 식 (8)로 표현되는 이중원뿔거울투영 모델의 정확성을 알아 보기 위해서 다음과 같이 실험을 하였다. 먼저, 측정거리 $Z=283\text{mm}$ 되는 위치에 직각 사각형을 놓고, 구현된 이 전방향 장치로 촬상하여 그림 3(a)의 영상을 얻었다. 이것을 다시 모델을 이용하여 물체 공간으로 역투영 시켜서 이미 알고 있는 물체와 비교하여 그림 3(b)와 같은 결과를 얻었다. 이때, 그림 3(c)는 그 오차를 표현한 것이다. 한편, 역투영시 물체의 측정거리 Z는 알고 있다고 가정하였다. 그리고 역 투영 모델은 반사행렬(reflection matrix)을 이용한 축차 반사모델[7]과 이중원뿔거울투영 모델을 각각 사용하였다. 그림 3(b)에서 보듯이 물체가 직각으로 급격히 변하는 위치인 $\pm 45^\circ, \pm 135^\circ$ 부분에서 오차가 커짐을 알 수 있다. 이것은 직각으로 꺾이는 부분에서 잡음에 의해서 영상처리시 정확히 에지를 찾지 못하는 데서 기인된다. 그리고 이 모델은 반사행렬을 이용한 축차반사 투영모델과 그 정확도가 비슷하게 얻어졌다. 이로써 이 이중원뿔 투영 모델은 본 시스템의 투영 특성을 잘 반영한다고 볼 수 있다.

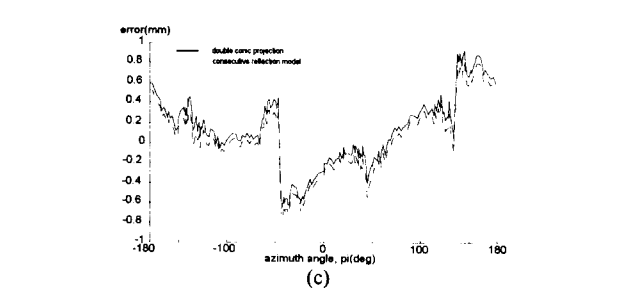
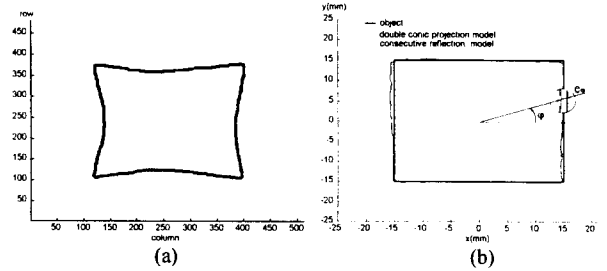


그림 3. 역투영에 의한 모델의 오류검증: (a) 측정된 영상, (b) 축차반사모델과 이중원뿔거울 투영모델을 이용하여 역투영시킨 물체의 비교, (c) 추정오차

Fig. 3 Confirmation of the double conic projection model by using an inverse mapping: (a) a processed image, (b) a comparison between inversely projected objects by using the consecutive reflection model and the double conic projection model, respectively, (c) estimation errors

3. 거리추정 알고리즘

식 (8)로 표현된 OISSA의 이중 원뿔거울 투영모델은 측정거리 Z와 영상면의 중심으로부터의 투영된 점까지의 거리 r을 제외한 계수들은 전방향 장치들의 기구정수들에 의해서 결정되어 지는 상수들이다. 한편, 영상면에서의 r은 영상데이터로부터 알아낼 수 있으므로 전방향 센서를 이용하여 임의의 물체를 촬상할 때, 물체와 영상면 사이의 투영관계는 측정거리 Z에 의해서 지배됨을 알 수 있다. 따라서 이 관계를 이용하여 다음과 같이 역으로 측정거리 Z를 구할 수 있다.

먼저 어떤 측정거리 Z_i 에서 한장의 영상을 얻은 다음, 수

직의 측정방향으로 1 자유도의 구속조건을 갖고 ΔZ_i 만큼 전진 운동을 시키면 $Z_{i+1} = Z_i + \Delta Z_i$ 가 얻어지고 이 위치에서 다시 한장의 영상을 얻는다. 이때, 두 지점 $Z = Z_i$, $Z = Z_{i+1}$ 에서 (8)의 투영관계로 부터 물체상의 임의의 한점에 대한 거리를 얻을 수 있다.

1) $Z = Z_i$ 에서의 투영관계

$$R_i = - \frac{(B_{00} + \frac{1}{b} B_{10} r_i + \frac{1}{b^2} B_{20} r_i^2 + \frac{1}{b^3} B_{30} r_i^3)}{A_0 + \frac{1}{b} A_{1i} r_i + \frac{1}{b^2} A_{2i} r_i^2 + \frac{1}{b^3} A_{3i} r_i^3} + \frac{Z_i (B_{01} + \frac{1}{b} B_{11} r_i + \frac{1}{b^2} B_{21} r_i^2 + \frac{1}{b^3} B_{31} r_i^3)}{A_0 + \frac{1}{b} A_{1i} r_i + \frac{1}{b^2} A_{2i} r_i^2 + \frac{1}{b^3} A_{3i} r_i^3} \quad (9)$$

$$= - \frac{K_{00} + Z_i K_{10}}{K_{30}}$$

2) $Z = Z_i + \Delta Z$ 에서의 투영관계

$$R_{i+1} = - \frac{(B_{00} + \frac{1}{b} B_{10} r_{i+1} + \frac{1}{b^2} B_{20} r_{i+1}^2 + \frac{1}{b^3} B_{30} r_{i+1}^3)}{A_0 + \frac{1}{b} A_{1i+1} r_{i+1} + \frac{1}{b^2} A_{2i+1} r_{i+1}^2 + \frac{1}{b^3} A_{3i+1} r_{i+1}^3} + \frac{(Z_i + \Delta Z)(B_{01} + \frac{1}{b} B_{11} r_{i+1} + \frac{1}{b^2} B_{21} r_{i+1}^2 + \frac{1}{b^3} B_{31} r_{i+1}^3)}{A_0 + \frac{1}{b} A_{1i+1} r_{i+1} + \frac{1}{b^2} A_{2i+1} r_{i+1}^2 + \frac{1}{b^3} A_{3i+1} r_{i+1}^3} \quad (10)$$

$$= - \frac{K_{01} + (Z_i + \Delta Z) K_{11}}{K_{31}}$$

이 두 경우에 있어서 다행히도 전진운동을 할때 어떤 물체상의 임의의 한점에 대해서 두 위치에서의 각각의 수직이동축으로부터의 그 점까지의 반경방향의 거리는 변하지 않으므로 $R_i = R_{i+1}$ 의 관계가 성립한다. 따라서 (9)과 (10)는 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\frac{K_{00}}{K_{30i}} + Z_i \frac{K_{10}}{K_{30}} = \frac{K_{01} + \Delta Z_i K_{11}}{K_{31}} + Z_i \frac{K_{11}}{K_{31}} \quad (11)$$

이 (11)을 정리하면 (12)처럼 된다.

$$Z_i \left(\frac{K_{10}}{K_{30}} - \frac{K_{11}}{K_{31}} \right) = \left(\frac{K_{01} + \Delta Z_i K_{11}}{K_{31}} - \frac{K_{00}}{K_{30}} \right) \quad (12)$$

식 (12)로 부터 거리를 구하면 다음과 같다.

$$Z_i = \frac{\frac{K_{01} + \Delta Z_i K_{11}}{K_{31}} - \frac{K_{00}}{K_{30}}}{\frac{K_{10}}{K_{30}} - \frac{K_{11}}{K_{31}}} \quad (13)$$

여기서 각 파라메타는 다음과 같이 정의 된다.

그러므로 이 (13)의 관계로 부터 물체상의 한점에 대한 거리정보를 알아낼 수 있다. 한편, 이 식(13)에 의해서 얻어진 측정거리 Z_i 는 그림 2에서 평면거울을 펼친 구조에 대해서 유도한

$$\begin{bmatrix} K_{00} & K_{01} \\ K_{10} & K_{11} \\ K_{30} & K_{31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{00} & \frac{B_{10}}{b} & \frac{B_{20}}{b^2} & \frac{B_{30}}{b^3} \\ B_{01} & \frac{B_{11}}{b} & \frac{B_{21}}{b^2} & \frac{B_{31}}{b^3} \\ A_0 & \frac{A_1}{b} & \frac{A_2}{b^2} & \frac{A_3}{b^3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ r_i & r_{i+1} \\ r_i^2 & r_{i+1}^2 \\ r_i^3 & r_{i+1}^3 \end{bmatrix} \quad (14)$$

것이므로 이를 보정하여 주어야 한다. 따라서 측정거리의 계측시 (13)에 의해서 얻어진 결과에 두 평면거울 사이의 수평거리를 빼 주어야 그 값이 좌표계와 합치하게 된다.

4. 컴퓨터 모의실험

이 알고리즘의 효율성을 보이기 위해서 모의 실험을 하였다. 모의 실험 대상은 먼저 직선 선분과 원으로 구성되어 있으며 90°로 모서리 각을 갖는 평면물체에 대해서 그 특성을 고찰하였다. 이 모의 실험에 사용한 측정장치의 기구정수는 [7]에서 설계된 설계값을 이용하였다. 먼저, 물체까지의 거리추정을 통한 복원과정은 다음과 같다.

Step 1. 미지의 측정거리 Z_i 에서 활상을 하여 한장의 영상을 얻는다.

Step 2. 높이를 ΔZ_i 만큼 전진운동을 하여 $Z_{i+1} = Z_i + \Delta Z_i$ 로 이동한 후, 활상을 하여 다시 한장의 영상을 획득한다.

Step 3. 다음으로 두 영상에서 동일방위각을 갖는 반경직선상에서 대응점을 찾는다.

Step 4. 두 대응점 사이의 영상면 중심으로의 반경 r_i 와 r_{i+1} 를 계산하고 그 결과를 식(13)에 넣어서 $p^C(R_i, \varphi_i)$ 에 대응하는 점 $P_0(R_i, \varphi_i)$ 의 까지의 거리 Z_i 를 구한다.

Step 5. 그리고 전진운동축으로부터 물체상의 한점까지의 수평거리 R_i 는 식 (9)에 r_i 와 Z_i 를 대입하여 구한다.

Step 6. 거리추정 후보 데이터가 더 이상 없으면 멈추고, 그렇지 않으면 $i=i+1$ 을 한후, Step 2로 다시 간다.

이 같은 과정에 의해서 거리를 추정하게 된다. 그림 4(a)은 평면물체를 왜곡의 특성이 거의 나타나지 않는 $Z = Z_0$ (238mm)의 위치에 놓고 5mm 전진 운동을 할 때 영상면에서 투영된 결과를 보인 것이다. 이 때, 투영모델은 3장에서 고찰한 것과 같이 축차 반사모델 [7]을 이용하였다. 그림 4(b)는 물체를 구성하는 각각의 점들에 대해서 그림 4(a)의 A와 B 사이의 변형을 계산하여 수직거리 Z_i 및 수평거리 R_i 를 추정하여 복원한 후 원래 물체와 비교한 것이다. 수평거리 추정오차의 크기는 0.1mm 이내이며 수직거리는 1 μ m 이내에서 변화되고 있음을 알 수 있다.

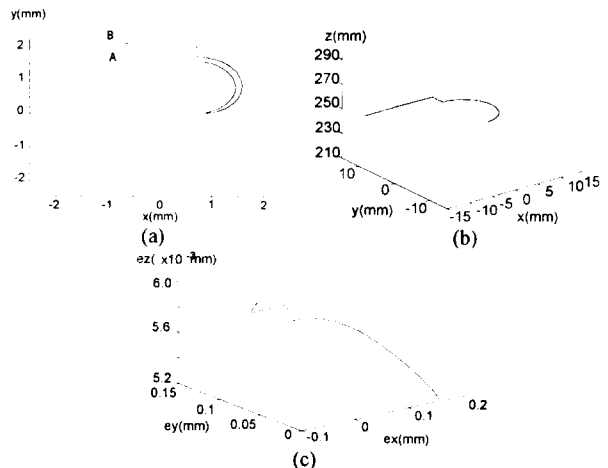


그림 4. 수평면에 놓인 시험물체의 저리의 추정: (a) $\Delta Z = 5mm$ 전진운동에 의해 변형된 영상면에서의 물체의 모양, (b) 추정결과의 비교, (c) 추정오차

Fig. 4 Depth estimation of an test object placed on $Z=238mm$: (a) deformed images by using a forwarded motion $\Delta Z = 5mm$, (b) a comparison between the test object and the estimated object., and (c) estimation error

한편, 이 물체가 측정영역내에서 변화가능하므로 측정거리를 변화시키면서 그 특성을 고찰하는 것이 필요하다. 그림 5(a)는 시험물체가 놓인 센서와 물체사이의 측정거리를 변화시키면서 추정한 결과이며 그림 5(b)는 그 오차를 도시한 것이다. 오차는 무시할 정도이나 왜곡이 없는 거리인 238mm에 대해서 상하방향으로 그 오차 크기의 부호를 달리하면서 절대값이 증가하는 경향을 보인다. 이 것은 왜곡에 의한 영향으로 나타나는 것이다.

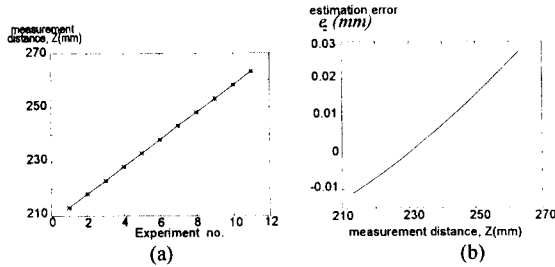


그림 5. 전진운동 $\Delta Z = 5mm$ 에 대해서 측정거리의 변화를 추정한 결과

Fig. 5 Estimation result of the measurement distance variation for a forward motion $\Delta Z = 5mm$.

그림 6(a)는 시험 물체를 y축에 대해서 -30° 기울였을 때의 영상면에 투영된 모양이다. 그림 6(b)는 거리를 추정하여 원래 시험물체와 비교한 그림이고, 그림 6(c)는 그 추정오차이다. 물체가 기울어져 있어도 평면의 경우와 마찬가지로 그 추정오차가 매우 작음을 알 수 있다.

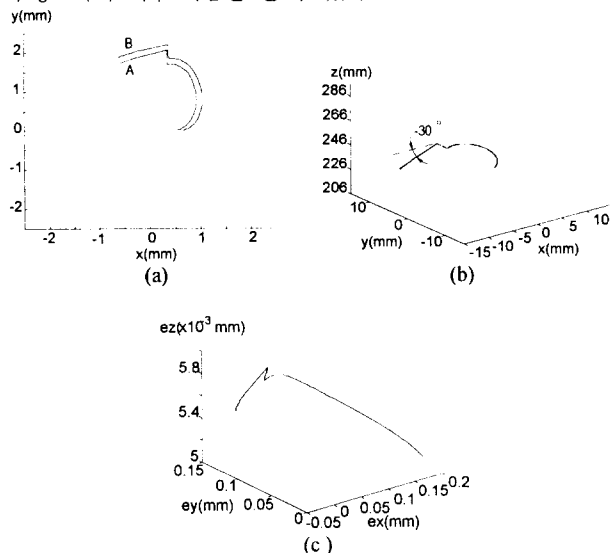


그림 6. y축에 대해서 -30° 기울어진 시험물체의 거리추정: (a) $\Delta Z = 5mm$ 의 전진운동에 의해 영상면에 투영된 시험물체의 변형모양, (b) 추정결과의 비교, (c) 추정오차

Fig. 6 Depth estimation of the test object placed on a -30° tilted plane about y-axis for a forward motion $\Delta Z = 5mm$: (a) deformed images by using a forwarded motion $\Delta Z = 5mm$, (b) a comparison between the test object and the estimated object., and (c) estimation error

그리고 그림 7(a)은 시험물체의 기울기를 0° 에서 180° 까지 기울기를 5도씩 변화시키면서 각 점들의 거리를 추정하여 그 오차의 크기를 보인 것이다. 그림 7(b)는 그 추정오차를 보다 상세하게 보인 것으로 오차가 0.006mm로 정확하게 거리가

추정되고 있음을 알 수 있다.

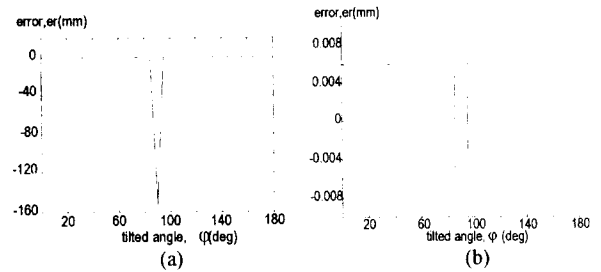


그림 7. 기울기 변화에 따른 거리추정결과: (a) 추정결과, (b) (a)의 확대그림

Fig. 7 Estimated result of the measurement distance Z_i , relative to the tilting angle variation: (a) estimated result, (b) re-scaled graph of (a)

하지만 이 결과에서 보인 것처럼 이 알고리즘은 기울기가 90° 인 경우에는 정확한 결과를 얻지 못한다. 이러한 현상은 물체의 특징점들이 두 영상면상에서 모두 같은 방위각을 갖는 반경직선상에 존재하여 대응점을 정확하게 찾지 못하는 것에서 기인한다.

5. 결론

본 논문에서는 조립용 전방향 장치를 이용하여 조립시 요구되는 센서와 물체까지의 거리정보 및 물체의 형상을 추정하는 방법을 제시하였다. 이 방법은 두 영상사이의 대응점들이 동일 방위각을 갖는 반경직선상에서 찾게됨으로 그 탐색 과정이 매우 빠르고 간단하다. 또한, 이 센서에 의해서 전방향 영상에 얻어지므로 각도를 달리하면서 여러번 촬영하지 않고도 물체의 전체형상에 대한 정보를 쉽게 얻을 수 있는 장점이 있다. 하지만, 90° 의 기울기를 갖는 수직선에 대해서는 그 대응점을 찾기 어려움이 있다. 그러므로 이 문제에 대한 극복방안이 필요하다.

참고문헌

- [1] M. Rioux, "Laser Range Finder Based upon Synchronized Scanners", *Applied Optics* 23, 21, pp.3837-3844, 1984.
- [2] P. J. Besl and R. C. Jain, "Three-Dimensional Object Recognition", *Computing Surveys*, Vol.17, No.1, March 1985
- [3] O. Faugeras, *Three Dimensional Computer Vision*, MIT Press, 1993
- [4] M. Inaba, T. Hara, and H. Inoue, "A Stereo Viewer Based on a Single Camera with View-Control Mechanisms", *Proc. of Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, Vol. , pp.1857-1864, 1993.
- [5] J.Y. Kim, H.S. Cho and S. Kim, "Measurement of Parts Deformation and Misalignments by Using a Visual Sensing System," *IEEE int. Symp. on Computational Intelligence in Robotics and Automation*, pp. 362-367, 1997.
- [6] Y. Xiong and S. A. Shafer, "Depth from Focusing and Defocusing", *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.68-73, 1993
- [7] W. S. Kim, H. S. Cho and S. Kim, "A New Omni-directional Image Sensing System for Assembly", *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, Vol.2, pp.611-617, 1996
- [8] W. S. Kim, H. S. Cho and S. Kim, "Distortion Analysis in an Omni-directional Image Sensing System for Assembly", *Proc. IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning*, August 7-9, California, USA, 1997.