

Development of a 3-Dimensional Measurement System
using Laser Vision

權孝根* · 千瑛碩** · 徐榮秀† · 盧瑩植***

(Hyo Geun Kwon · Young Seok Chun · Young Soo Suh · Young Shick Ro)

Abstract - A laser vision system is developed to measure the three-dimensional feature of an object. This system consists of two low cost cameras and a cross laser. One camera and a cross laser are used to measure a plane equation of an object. Using this information, the other camera measures a hole size of an object. The proposed system provides 0.05 mm accuracy measurement systems with relatively low cost.

Key Words : vision system, laser, laser vision, 3D measurement, range finder,

1. 서 론

3차원 측정 시스템은 물체의 모델링, 멀티미디어, 게임, 가상현실 그리고 검사 시스템과 같은 여러 산업 분야에서 널리 이용되고 있다. 특히 산업현장에서 최근 품질관리가 중요시 되고 있어 제품의 전수 검사 시스템에 많이 이용되고 있다.[1-2] 레이저 비전을 이용한 3차원 측정 시스템은 포인트 광 방법, 레이저 슬릿빔을 이용한 방법, 구조화된 광선 패턴을 이용한 방법, 모아레 무늬를 이용한 방법 등 여러 가지가 있다 [3-6]. 본 논문에서는 구조화된 광선 패턴을 이용한 방법을 이용하였으며 구조화된 광선 패턴이란 3차원 공간에서 측정을 위해 미리 알고 있는 광원을 말하며 이 광원을 물체에 비추어 그 광원의 변화된 형태를 카메라로 측정하여 3차원 정보를 측정하는 방법이다.

본 논문의 목적은 저가의 카메라와 레이저를 이용하여 고정밀도를 가지는 3차원 측정기 개발이다. 일반적인 레이저 비전 센서 모듈과는 달리 2대의 카메라와 레이저로 측정기를 구현하였다. 한 대의 카메라와 레이저는 기존의 방법과 동일하게 측정물의 3차원 깊이 정보를 측정한다. 이 깊이 정보를 바탕으로 나머지 카메라의 영상을 분석하여 측정물 표현에 있는 홀, 갭 등의 2차원 형상 정보를 측정한다. 3차원 깊이 정보와 2차원 형상 정보를 측정하는 알고리즘을 제안하였으며, 3차원 측정 시스템 구현 과정에서의 구조적인 오차에 대한 보상 알고리즘을 제안하였다. 정밀한 측정을 위해서는 카메라 교정을 통하여 카메라의 내·외부 파라미터를 알아내야 한다. 현재 보다 빠르고 정확한 카메라 교정을 위

하여 수많은 알고리즘이 개발되고 있다. 본 논문에서는 기지 패턴을 이용한 방법으로 카메라 교정을 수행하여 카메라 내·외부 파라미터를 구하였다 [7-9].

2. 시스템 구성

본 논문에서 3차원 측정을 위한 시스템은 그림 1과 같이 두 대의 카메라와 레이저 다이오드 모듈로 구성되어 있다. 한 대의 카메라(3D 카메라)와 레이저 다이오드 모듈은 측정 대상의 3차원 상의 정보를 추출한다. 정밀한 측정을 위해 카메라 렌즈 앞에 필터를 장착하여 외란을 제거하였다. 나머지만 한 대의 카메라(2D 카메라)는 측정 대상의 2차원 형상 정보를 추출한다. 다양한 외부 환경에서 둔감하도록 외부 조명을 부착하였다. 한 대의 카메라로 3차원정보 및 2차원 형상정보를 모두 얻는 것이 가능하지만 3D 카메라의 앞에 필터가 장착되어 있어, 측정대상의 홀 영상 등이 보이지 않아 2대의 카메라를 사용하였다. 레이저 영상을 측정하는 카메라를 3D 카메라라고 부르는 이유는 이 카메라의 영상에서 측정대상의 평면방정식 (3차원 정보)를 얻기 때문이다. 3D 카메라와 2D 카메라는 모두 동일한 카메라를 사용하였다.

본 논문에서 언급되어지고 있는 3차원 정보와 2차원 형상 정보에 대해서 설명하면 우선 3차원 정보는 그림 1과 같이 레이저 다이오드 모듈에서 나온 십자 형태의 레이저 광이 측정 대상물의 비추게 되며 이것을 3D 카메라에 의해 영상을 획득하게 된다. 이 영상물을 영상 처리하여 레이저 다이오드 모듈을 기준으로 측정 대상물까지의 깊이 정보와 그 평면의 기울어진 각도 그리고 측정 대상물의 뚫어진 구멍의 깊이를 측정한다. 2차원 형상 정보는 2D 카메라의 영상에 의해서 결과를 얻어지게 된다. 2D 카메라는 레이저의 광축과 거의 일치하도록 설치되어 있다. 측정 대상물의 평면을 바로 위에서 바라보는 것이 많은 면적을 측정할 수 있다. 2D 카메라는 3D 카메라를 통해 얻어진 측정 대상물의 3차원 정보를 통해 실제 원의 지름, 면적, 틈의 간격 등 2차원

* 學生會員 : 蔚山大學 電氣電子情報시스템工學部 碩士課程

** 學生會員 : 蔚山大學 電氣電子情報시스템工學部 碩士課程

*** 正 會 員 : 蔚山大學 電氣電子情報시스템工學部 教授

† 교신저자 : 蔚山大學 電氣電子情報시스템工學部 副教授

E-mail : suh@ieee.org

接受日字 : 2007年 2月 10日

最終完了 : 2007年 3月 13日

의 치수를 측정한다. 그림 2는 3차원 정보와 2차원 정보를 구하게 되는 과정이다.

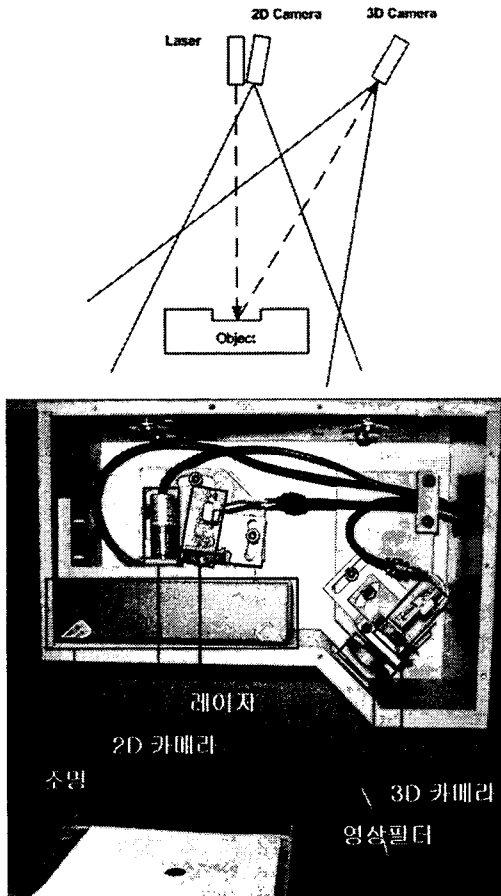


그림 1 시스템 구성도
Fig. 1 System Overview

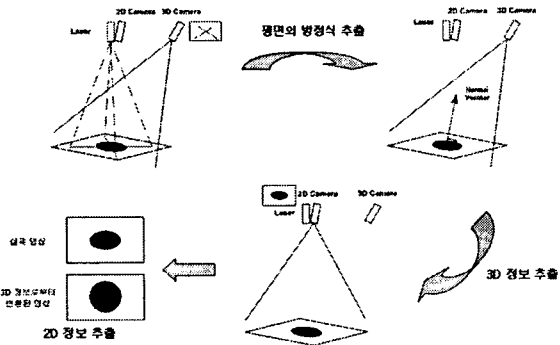


그림 2 3차원 정보와 2차원 정보 추출 과정
Fig. 2 3D and 2D information computation process

3D 카메라의 영상 좌표는 카메라 좌표계의 3차원 점과 카메라 내부행렬의 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_u & \alpha_u \cot \theta & u_0 & 0 \\ 0 & \alpha_v / \sin \theta & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

식(1)에서 $\alpha_u, \alpha_v, u_0, v_0$ 는 카메라 내부 파라미터들이다. 이는 카메라 교정을 통하여 구할 수 있다. 본 논문에서는 기지 패턴을 이용한 카메라 교정을 수행하였다 [9].

그림 3과 같이 카메라 영상 평면에서의 임의의 점 A는 카메라 좌표계를 기준으로 L 직선 위에 있는 모든 점들이 중심 사영에 의해서 나타낼 수 있음을 볼 수 있다. 즉, 카메라의 영상 평면에 찍힌 한 화소는 깊이 정보는 알 수 없으나 3차원 공간의 어느 방향을 가리키는지를 알 수가 있는 것이다. 가상의 영상평면에서 일정한 거리에 있는 기준평면까지의 방향벡터를 Direction Vector of Pixel(DVP)이라 한다.

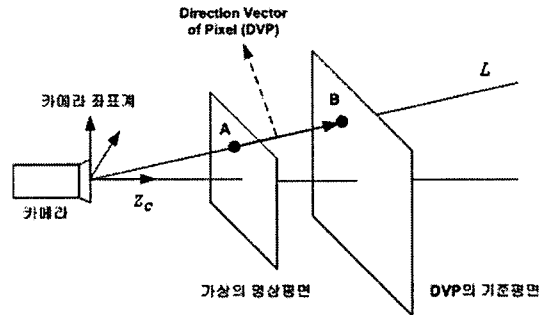


그림 3 픽셀의 방향벡터
Fig. 3 Direction Vector of Pixel

식(1)은 카메라 좌표계의 한 점이 영상좌표계에 대응하는 점 사이의 관계를 나타내고 있다. DVP는 카메라 내부 행렬의 역행렬로서 구할 수 있다. DVP는 아래와 같은 식으로 표현된다. 식(2)에서 척도 스칼라인 s가 제거된 이유는 카메라에서 얻은 영상 이미지만으로는 3차원 정보를 알 수가 없으므로 제거되었다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\alpha_u} \cos \theta & -\frac{v_0}{\alpha_v} \cos \theta - \frac{u_0}{\alpha_u} \\ 0 & \frac{\sin \theta}{\alpha_v} & -\frac{v_0}{\alpha_v} \sin \theta \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

3. 3차원 정보 추출

3차원 정보 추출은 측정 대상물의 평면 방정식을 구하는 것이다. 측정대상물중 홀을 제외한 평면의 십자 형태의 레이저를 비추게 되다. 이를 3D 카메라로 측정하여 3D 카메라의 DVP와 레이저 벡터를 삼각측정법을 통해서 3차원 정보를 추출하게 된다. 레이저 다이오드 모듈은 파장은 655nm 이고 출력은 2.5mW인 LANICS사의 LM-6505NCW이다. 3D카메

라 전방에 파장 656.3nm에 대역폭이 10nm인 필터를 부착하여 측정의 정밀도를 향상하였다.

그림 4에서 (X_m, Y_m, Z_m) 은 카메라 교정에 사용되는 패턴의 중심에 원점을 두는 카메라 교정 모델 좌표계이다. 이 좌표계를 중심으로 3D 카메라와의 상대위치를 계산하고 또한 레이저와의 상대위치도 계산한다. 그림에 나타난 각 좌표계와 벡터의 설명은 표 1에 있다.

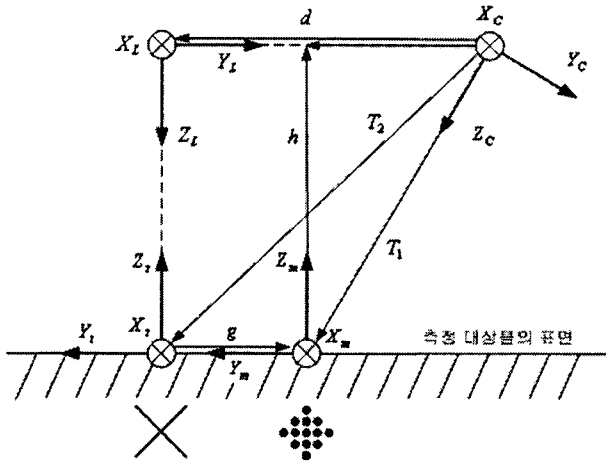


그림 4 카메라 교정 모델과 카메라 및 레이저 사이의 상대 위치

Fig. 4 Relative location of a camera and a laser with respect to camera calibration model

표 1 그림 4의 좌표계 및 벡터 설명

Table 1 Coordinate System and Vector Definition in Fig. 4

$\{C\}$	카메라 좌표계
$\{L\}$	레이저 좌표계
$\{m\}$	카메라 교정 모델 좌표계
$\{t\}$	표면에 비친 레이저의 중심을 나타낸 좌표계
T_1	카메라 좌표계에서 카메라 교정모델 좌표계까지의 벡터
T_2	카메라 좌표계에서 표면에 비친 레이저의 중심 좌표계까지의 벡터
d	카메라 좌표계에서 레이저 좌표계까지의 벡터
h	카메라 교정 모델에서 바라본 카메라까지의 높이
g	표면에 비친 레이저의 중심과 카메라 교정 모델 사이의 오차를 나타내는 벡터

3D 카메라의 DVP와 레이저 벡터가 만나는 점을 삼각측정법을 통해서 레이저에서 바라본 측정대상물의 깊이를 구할 수 있다. 그림 5는 DVP와 레이저 벡터를 간략히 나타내었다. 식(4)에서 양변의 미지수인 λ, η, μ 을 구하면 측정대상물의 3차원 정보를 얻을 수가 있다.

$$d = T_1 + h - g, \quad g = T_{mc}T_2$$

$$\lambda C = d + R(\eta L_1 + \mu L_2) \tag{4}$$

식 (4)에서 방정식이 3개이고 미지수 (λ, η, μ)도 3개이기 때문에 일반적으로 유일해를 구할 수 있다.

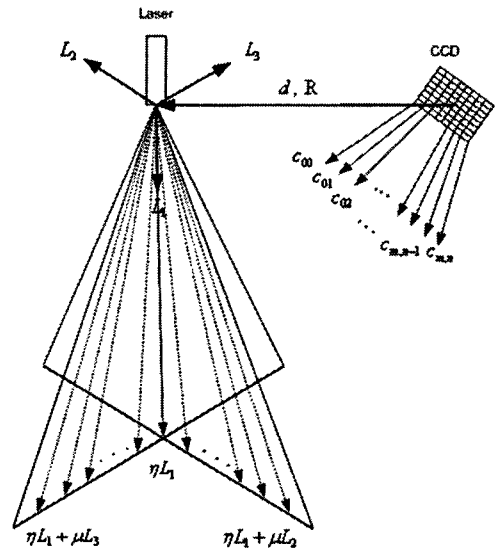


그림 5 DVP와 레이저 벡터

Fig. 5 Relationship between DVP and laser vectors

카메라 교정을 통해서 DVP(C)와 카메라의 외부행렬 (T_{cm})의 값을 알고 있다. g 에 대해서 풀어보면, T_2 는 카메라에서 바라본 것이므로 DVP로 나타낼 수 있고 αDv 라 가정한다. $T_{mc}[\alpha Dv \ 1]^T$ 은 카메라 교정 모델을 기준으로 DVP를 바라본 것이다. 레이저 광 좌표계와 카메라 교정 모델 좌표계가 같은 평면에 존재하므로 이 벡터의 연산 결과는 z 축 높이가 0이어야 한다. 따라서 T_2 의 크기를 결정하는 α 는 다음 식(5)와 같다.

$$\alpha = \frac{-t_3}{R_{31}x + R_{32}y + R_{33}z} \tag{5}$$

$$\text{여기서, } T_{mc} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & t_1 \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & t_2 \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Dv = [x \ y \ z]^T$$

$$T_2 \text{는 } \alpha \text{에 의해서 } T_2 = \alpha Dv = \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 0 \end{bmatrix} \text{으로 나타내며, } T_1$$

$$\text{역시 좌표계 } \{m\} \text{에서 보면 } T_{mc}T_1 = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 0 \end{bmatrix} \text{이다.}$$

$$g = \begin{bmatrix} x_1 - x_2 \\ y_1 - y_2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

각각의 변수를 식(4)에 대입하면

$$\begin{aligned} \lambda C &= d + \eta L_1 + \mu L_2 & (6) \\ &= T_1 + h - g + \eta L_1 + \mu L_2 + g \\ &= T_1 + h + \eta L_1 + \mu L_2 \end{aligned}$$

$$\lambda C = T_1 + h + R_{cL}(\eta L_1 + \mu L_2) \quad (7)$$

여기서 R_{cL} 은 각 좌표간의 변환행렬로 구할 수 있다. $T_{cL} = T_{cm} T_{mt} T_{tl}$ 에서 회전행렬만 추출하면 된다.

$$\begin{aligned} \lambda C &= T_1 + h + R_{cL}(\eta L_1 + \mu L_2) \\ \begin{bmatrix} \lambda \\ \eta \\ \mu \end{bmatrix} &= [C, R_{cL}L_1, R_{cL}L_2]^{-1} * D \end{aligned} \quad (8)$$

식(8)에서 구한 λ, η, μ 을 이용하여 측정대상물의 3차원 정보를 알 수 있다. 그리고 λC 은 카메라에서 바라본 깊이 정도를 나타내며, $\eta L_1 + \mu L_2$ 는 레이저에서 바라본 깊이 정보를 알 수 있다.

3차원 추출 알고리즘은 영상의 한 화소에 대한 정보만 가지고 있어도 3차원 정보를 알 수가 있다. 레이저의 직선의 방정식을 이용하여 두 직선이 만나는 교점과 그 교점을 기준으로 하여 ± 50 화소에 위치에 있는 가상의 직선을 그어 레이저의 직선의 방정식과 만나는 점 4개를 이용하여 측정대상물의 평면의 방정식을 구하였다.

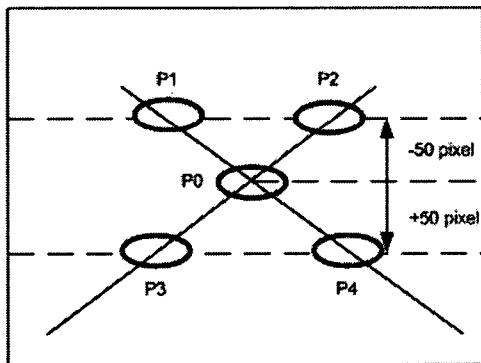


그림 6 평면의 방정식을 구하기 위한 다섯 점 획득 과정
Fig. 6 Plane equation computation from five points

평면의 방정식 $ax + by + cz + d = 0$ 에서 $d = -1$ 로 가정하고 5점에 대해서 최소자승법으로 평면의 방정식을 구하였다.

$$\begin{aligned} P0 : & ax_1 + by_1 + cz_1 = 1 \\ P1 : & ax_2 + by_2 + cz_2 = 1 \\ P2 : & ax_3 + by_3 + cz_3 = 1 \\ P3 : & ax_4 + by_4 + cz_4 = 1 \\ P4 : & ax_5 + by_5 + cz_5 = 1 \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & x_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_5 & y_5 & z_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

식 (9)은 $Ax = B$ 의 형태를 띠고 있으므로 a, b, c 가 측정 대상물 평면의 방향벡터이므로 x 는 식(10)을 이용하여 구하였다. (유사역행렬)

$$x = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (10)$$

4. 2차원 정보 추출

2차원 정보 추출이란 측정 대상물의 바닥 평면에서 본 형상을 말한다. 본 논문에서는 측정대상이 홀 형태의 원으로 가정하고 있다. 3차원 정보 추출을 통해 측정 대상의 평면 방정식을 구하고 이 결과를 2차원 정보 추출에 사용한다. 얻어진 평면 방정식은 $ax + by + cz + d = 0$ 의 형태이며 방향벡터는 $[abc]$ 이다. 일반적으로 쓰는 xyz 좌표계의 각 축은 서로 수직을 이루기 때문에 내적이 0이 된다. 그림 7과 같이 3D 카메라로 추출된 방향벡터는 영공간을 이용하여 측정 대상물 표면에 $r_1 \cdot r_2 = 0, r_2 \cdot r_3 = 0, r_3 \cdot r_1 = 0$ 을 만족시키는 임시의 좌표계(r_1, r_2, r_3)를 설정한다.

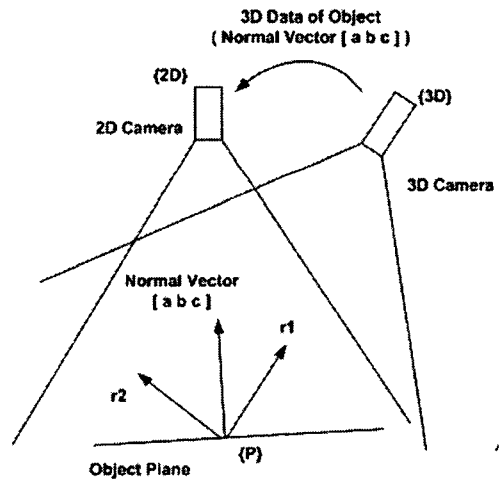


그림 7 영공간을 이용한 좌표계 설정
Fig. 7 Coordinate Definition using the Null Space

2D 카메라로 획득한 영상에서 얻어진 2차원의 형상은 방향벡터를 적용시켜서 깊이 정보를 알 수 있다. 즉, 영상의 각 화소는 DVP는 측정 대상물의 평면에 존재하게 하므로 아래의 식을 적용시킬 수 있다.

$$s(ax_1 + by_1 + c) + d = 0$$

여기서, $DVP = [x_1 \ y_1 \ 1]$

카메라에서 측정대상물까지의 깊이 s $DVP = s [x_1 \ y_1 \ 1]$

$$s = -d / (ax_1 + by_1 + c) \quad (11)$$

2D 카메라에서 얻은 영상은 식 (11)에 의해 측정 대상물의 평면까지의 깊이를 알 수 있다. 즉, 영상에서의 2차원 형상의 각 화소에 대한 깊이 정보를 알고 있으므로 이를 통해 2차원의 형상의 중심을 $t = [x_0 \ y_0 \ z_0]$ 을 구한다. t 는 그림 7에서 2D 카메라와 좌표계 $\{P\}$ 까지의 전위행렬로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = [r_1 | r_2 | r_3] \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

여기서, $[x \ y \ z]^T$ 는 2D 카메라 좌표계에서 바라본 2차원 형상 좌표 $[x_p \ y_p \ 0]^T$ 는 좌표계 $\{P\}$ 에서 바라본 2차원 형상 좌표이다.

$$x_p = r_1^T \left(\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \right), \quad y_p = r_2^T \left(\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \right) \quad (13)$$

식 (13)는 좌표계 $\{P\}$ 의 좌표이다. 즉, x_p, y_p 은 측정 대상물 표면에 있는 실제 좌표를 나타낸다. 변환 된 2차원 형상을 분석하면 2차원 형상의 원의 반지름, 크기, 면적 등을 알 수가 있다.

5. 실험 결과

레이저 비전 센서에서 평면의 움직임에 대한 3차원 정보의 정밀도를 측정하였다. 레이저 비전 센서 평면을 측정 대상물로 하여 z 축으로 움직이는 변화량과 x 축에 각도 변화량을 측정하였다. 측정 대상물의 움직임에 대한 신뢰성을 높이고자 측정하고자 하는 평면 아래쪽에 일본 SIGMA KOKI사의 $1\mu m$ 정밀도를 가지는 xyz Axis State와 같은 회사의 0.1° 의 정밀도를 가지는 α, γ Rotation State를 사용하였다. 2차원 형상 정보는 z 축으로 움직이면서 $5mm$ 의 원을 측정하였다.

표 2 기준 높이에서 z 축으로 $1mm$ 씩 이동
Table 2 Moving along z axis by $1mm$ from the reference

No	Z_{3D} (mm)	Z_G (mm)	Z_M (mm)	Error (mm)
1	122.7866	4	3.9857	0.0143
2	123.7763	3	2.9960	0.0040
3	124.7604	2	2.0119	0.0119
4	125.7761	1	0.9962	0.0038
5	126.7723	0	0.0000	0.0000
6	127.7761	-1	-1.0038	0.0038
7	128.7675	-2	-1.8852	0.0048
8	129.7521	-3	-2.9758	0.0202
9	130.7470	-4	-3.9747	0.0253

Z_{3D} : 레이저를 기준으로 바라본 평면의 높이
 Z_G : 측정 대상물이 실제 움직인 변화량
 Z_M : 레이저 센서로 측정된 측정 대상물의 움직인 변화량
 Error : $Z_G - Z_M$

표 3은 기준 평면에서 x 축으로 각을 변화시키면서 측정한 결과이다.

표 3 기준 평면에서 x 축으로 각을 변화시키면서 측정
Table 3 Measurement by changing angles along the x axis

No	Z_{3D} (mm)	실제 움직인 각(°)	측정된 각(°)	이동된 각(°)	Error(°)
1	124.0729	5	4.4794	5.0110	0.0110
2	124.3366	4	3.4840	4.0153	0.0153
3	124.5666	3	2.5270	3.0583	0.0583
4	124.7596	2	1.4807	2.0120	0.0120
5	124.8422	1	0.5655	1.0968	0.0968
6	124.3760	0	-0.5313	0.0000	0.0000
7	124.8698	-1	-1.5612	-1.0301	0.0301
8	124.7841	-2	-2.5436	-2.0123	0.0123
9	124.5936	-3	-3.5458	-3.0145	0.0145
10	124.4067	-4	-4.5355	-4.0042	0.0042
11	124.0358	-5	-5.5451	-5.0138	0.0138

Z_{3D} : 레이저를 기준으로 바라본 평면의 높이
 실제 움직인 각 : 측정 대상물이 실제 움직인 각 변화량
 측정된 각 : 레이저 비전 센서로 측정된 각
 이동된 각 : 측정된 각 - 기준평면의 측정된 각

그림 8은 3차원 정보 측정에 관련된 영상들이다. 십자 형태의 레이저를 3D카메라로 측정하여 이진화후 세선화 과정을 통해 레이저의 직선방정식을 추출하였다. 그림 9는 2차원 형상 정보 측정에 관련된 영상들이다.

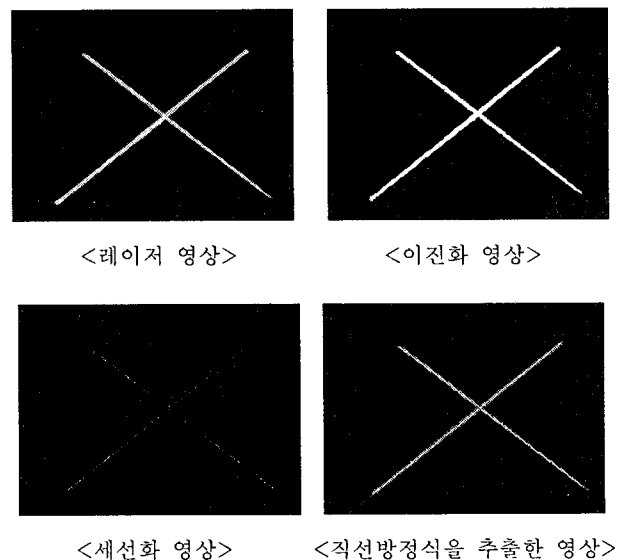
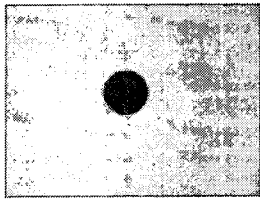


그림 8 레이저 영상 및 영상처리
Fig. 8 Laser images and image processing



<원 영상>



<외곽선 추출 영상>

그림 9 홀 측정

Fig. 9 Hole measurement

표 4는 측정 대상물의 표면에 5mm 원이 그려진 평면을 3차원 정보와 2차원 형상 정보인 원의 반지름 측정을 한 결과이다.

표 4 z 축으로 1mm 씩 이동하며 원 측정

Table 4 Circle measurement while moving the object by 1mm along the z axis

No	Z_{3D} (mm)	Z_G (mm)	Z_M (mm)	측정반지름 (mm)
1	113.6823	-1	-1.0402	5.0508
2	112.6421	0	0	5.0135
3	111.6315	1	1.0106	4.9842

Z_{3D} : 레이저를 기준으로 바라본 평면의 높이

Z_G : 측정 대상물이 실제 움직인 변화량

Z_M : 레이저 비전 센서로 측정한 측정 대상물의 움직인 변화량

6. 결 론

본 논문에서는 레이저의 직진성과 카메라의 광학적인 특성을 이용한 기하학적인 모델을 통해 3차원 깊이 정보 및 2차원 형상 정보를 획득하는 레이저 비전 센서 모듈을 구했다. 레이저를 측정 대상물에 투사시킨 후 카메라로부터(3D 카메라) 획득한 2차원 영상으로부터 3차원 정보를 추출하였으며 이 정보(측정 대상물의 평면 방정식)를 이용하여 다른 카메라에서(2D 카메라) 얻은 2차원 영상으로부터 측정 대상물 표면에 있는 2차원 형상 정보를 추출하였다. 또한 시스템 구축에 따른 하드웨어적인 오차를 보상하는 알고리즘을 제시하였다. 실험 결과에서 z축으로 움직인 결과는 최대 오차가 25.30 μ m 정도이다. x축 회전량을 측정하는 부분에서도 x축은 최대 오차가 0.0968 $^\circ$ 로 상당한 정밀도를 가진다. 3차원 정보를 이용하여 추출한 2차원 형상 정보의 측정 최대 오차는 0.0508mm이다. 향후 과제로는 오차에 대한 보정 알고리즘이 필요하다. 또한 다양한 환경에서의 실험도 필요하다. 실험 결과의 정밀성을 위한 정확한 카메라 파라미터를 알기 위해 카메라 교정 알고리즘에 관한 연구도 필요하다

감사의 글

본 연구는 산업자원부·울산광역시 지원 울산대학교 네트워크 기반 자동화연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- [1] J. Chen, D. Yang and H. Zhou, "Avoiding Spurious Reflections form Shiny Surfaces On a 3D Real-Time Machine Vision Inspection System", IMTC/98 Conference Proceedings, vol. 1, pp. 364-368, 1998.
- [2] L. H. Bieman, and M. A. Michniewicz, "CADEYES - a three dimensional gage", NAECON Proceedings of the IEEE National, vol. 3, pp. 1200-1204, 1992.
- [3] C. F. Lin and C. Y. Lin, "A New approach to high precision 3-D measuring system", Image and Vision Computing. vol.17, pp. 805-814, 1999.
- [4] I. K. Park and S. U. Lee, "Geometric modeling from scattered 3-D range data", Image Processing. vol. 2, pp. 712-715, 1997.
- [5] Y. Sato, H. Kitagawa and H. Fujita, "Shape Measurement of Curved Objects Using Multiple Slit-Ray Projections" IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. FAMI-4, no. 6, pp. 641-646, 1982.
- [6] W. Y. Kim, "Range Data Analysis using Cross-stripe Structured-light System" SPIE Optics, Illumination and Image Sensing for Machine Vision V. vol. 1385, pp. 216-218, 1990.
- [7] R. K. Lenz, R. Y. Tsai, "Techniques for Calibration of the Scale Factor and Image Center for High Accuracy 3-D Machine Vision Metrology", IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence. vol. 10, no. 5, Sep 1988.
- [8] Michael A. Penna, "Camera Calibration: A Quick and Easy Way to Determine the Scale Factor", IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence. vol. 13, no. 12, Dec 1991.
- [9] Gang Xu, 쓰지 사부로, 3차원 비전, 대영사, 2000.

저 자 소 개



권 효 근 (權 孝 根)

1982년 2월 13일생. 2005년 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 졸업. 2007년 동 대학원 전기전자정보시스템공학과 졸업.



천 영 석 (千 瑛 碩)

1978년 11월 14일생. 2004년 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 졸업. 2006년 동 대학원 전기전자정보시스템공학과 졸업.



서 영 수 (徐 榮 秀)

1967년 10월 6일생. 1990년 서울대 공대 제어계측과 졸업. 1992년 동 대학원 제어계측과 졸업(석사). 1997년 동경대학교 계수공학과 졸업(공학박사). 2000~현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 부교수



노 영 식 (盧 瑩 植)

1959년 1월 1일생. 1981년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 (석사). 1987년 동 대학원 (공학박사). 1987년 ~ 1991년 삼성전자 생산기술연구소 선임연구원. 1991년 ~ 현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수.