

論文96-33B-5-11

레이저 스캐너 3차원 계측에 있어서의 오차 보정

(Error Correction in Laser Scanner 3D Measurement)

金應珪 *

(Eung-Kyeu Kim)

요 약

레이저 빔과 기계식 미러 스캐너로 대상을 공간적으로 주사함에 의해 공간적인 정보를 얻을 수 있으며, 이때 중요한 것은 카메라와 광투영기 간의 상대적인 관계와 카메라 파라메타를 정확하게 구해 놓는 일이다. 본 논문에서는 종래의 방법과는 달리, 2개의 검류계가 부착된 3차원 레이저 스캐너 시스템에 있어서 계측 오차를 수정하기 위한 방법(캘리브레이션)을 제안한다. 우선, 주사 시스템에 관한 구조적인 오차의 모델이 3각 측량의 원리에 기초를 두고 제시되며, 캘리브레이션용의 파라메타 값은 실측된 거리와 계측된 거리간의 오차(평가 함수)를 최소화하기 위해, 개략적이고 정밀한 탐색을 통해서 반복적으로 수정된다. 이러한 수정 방법은 실용적으로 적합한 정밀한 계측의 가능성을 나타낸다.

Abstract

When objects are scanned spatially by a laser-beam and mechanical mirror scanners, spatial information can be obtained, and then it is important to accurately obtain the parameters relating the light source and camera positions, etc.. In this paper, a calibration technique is presented for correction of measurement errors in a three-dimensional laser scanner system with two galvanometers. First, a model of the systematic errors is developed based on the geometry of the scanning system. Calibration parameter values are then iteratively adjusted with coarse-fine search in order to minimize errors(evaluation function) between measured and computed distances. It is shown that this correction method results in measurement precision suitable for practical use.

I. 서 론

3차원 계측을 비접촉으로 행하는 수법으로는, (1)스리트 광과 공간 코드 패턴을 투영하는 광투영 방식^{[1]~[6]}, (2)다안 화상(multi-eye images)과 동화상의 대응점 탐색 등에 기초를 둔 방식^{[7]~[10]}, (3)단안 화상(monocular images)에 있어서 scene에 관한 지식을 이용하는 방식^{[11]~[14]} 등이 있다. 이들 가운데에 (2), (3)은 연구 단계에 있지만, (1)의 광투영 방식은

실용적으로 제공되고 있는 시스템이 몇 가지가 존재해, 3차원 물체의 형상을 고 정밀도로 입력할 수 있게 되었다. 그러나, 이들의 시스템은 실내에 있어서 비교적 작은 물체를 입력할 수 있음에 그치고 있어, 옥외 태양 광선 아래에서 투영 광선을 계속하기 위한 충분한 S/N을 확보한다는 것은 곤란한 일이다. 이에 대해, 본 연구에서는 옥외 태양 광선 아래에서도 계측이 가능한 충분한 신호를 얻기 위해서 슬리트 광과 공간 코드 패턴이 아닌, 레이저 빔 그 자체를 대상 물체에 투영해서, 그것을 기계적으로 2차원적인 주사를 행함으로써 공간적인 정보의 획득 가능성을 시도해 본다. 다시 말해서, X와 Y축의 미러 스캐너를 사용해서 레이저 빔에 의해 대상을 공간적으로 주사해서, 그 화상을 TV 카메라

* 正會員, 大田産業大學校 情報通信工學科
(Dept. of Information and Communication Eng.,
Taejon National Univ. of Technology)
接受日字:1995年9月28日, 수정완료일:1996年4月29日

로 촬영한다. 광투영 방식은 기본적으로 삼각 측량의 원리에 기초를 두고 있으며, 이 방식에서 중요한 것은, 카메라와 광투영기 간의 상대적인 관계와 카메라 파라메타 등을 사전에 정확하게 구해 놓는 일이다. 이들의 파라메타 측정(캘리브레이션)은 3차원 측정의 정밀도에 중대한 영향을 미치기 때문에, 이를 위한 몇 가지의 방법이 개발되어 왔다^{[15]~[17]}.

본 논문에서는, 종래의 방법과는 달리, 광투영을 기계적인 2차원의 주사에 의해 행하는 것으로, 통상의 카메라 파라메타에 부가해서, 미리 스캐너 파라메타(기계식 주사계)의 오차를 고려해 넣어서 캘리브레이션을 행하는 방법을 제안한다. 기계식 주사의 부정확함을 나타내는 구조적인 오차의 모델을 도입함으로써 고 정밀도를 가진 3차원의 계측 가능성을 기대하게 된다. 이하, 2장에서는 우선, 투영계 및 카메라 좌표계의 설정에 관해서 기술한다. 3장에서는 미리 스캐너 시스템에 있어서 오차의 모델을 개발하고, 4장에서는 캘리브레이션의 방법을 기술하며, 5장에서는 그 실험 결과를 나타낸다.

II. 좌표계

본 논문에서 이용한 좌표계를 그림1에 나타낸다. 카메라 렌즈의 중심은 world 좌표계($O_w; X_w, Y_w, Z_w$)의 중심(O_w)에 둔다. 카메라의 좌표(X_e, Y_e, Z_e)는 Z_w 축을 X_w 축의 주위로 각도 α 만큼 회전한 것으로 하며, Z_e 는 광축이다. 여기에서, 회전은 오른 나사의 방향을 플러스의 방향으로 하며, 그 이하는 동일하다. 화상 평면(U, V)의 원점은 광축(Z_e)을 따라 world 좌표의 원점(O_w)으로부터 f 만큼 떨어진 거리에 있으며, U 와 V 축은 각각 X_e 와 Y_e 축에 평행하다. 한편, 스캐너 기준 좌표계($O_s; X_s, Y_s, Z_s$)는 world 좌표의 원점(O_w)으로부터 (T_x, T_y, T_z)만큼 평행하게 이동해서, Y_s' 축 주위로 θ 만큼 회전한 것이다. 더구나, 실제의 레이저 빔의 방향을 나타내는 스캐너 좌표계($O_s; X_s, Y_s, Z_s$)는, 스캐너 기준 좌표계를 X_s' (= X_s)축의 둘레에 각도 η 만큼 회전시켜 얻은 것이다. 스캐너 좌표계의 Z_s 축은 양쪽 검류계의 중립 위치에 있어서 레이저 빔의 방향을 나타낸다. 그러나, 실제의 레이저 빔의 방향은 검류계의 설정오차에 의해, 수평주사의 방향을 나타내는 X_g 축은 Z_s 축의 둘레에 X_s 축으로부터 미소각 ξ 만큼 회전한 것이고, 또한 수직주사의 방향을 나타내는 Y_g 축은 동일한 Z_s 축의 둘레에 Y_s 축으로부터 미소각 ε 만큼 회

전한 것이다. 따라서, 현재의 경우, 레이저 빔의 주사 좌표계($O_g; X_g, Y_g, Z_g$)는 반드시 직교 좌표계라고 할 수는 없다. 레이저 빔은 X 와 Y , 2개의 검류계의 회전 때마다, Z_g (= Z_s)축으로부터 X_g 의 방향에 각도 δ , Y_g 의 방향에 각도 β 의 편향을 받아, 거리 l 만큼 떨어진 물체에 투영된다. 대상 물체를 표현하는 물체 좌표계($O_o; X_o, Y_o, Z_o$)는 스캐너 기준 좌표계($O_s'; X_s', Y_s', Z_s'$)로부터 (T_x, T_y, T_z)만큼 평행하게 이동한 곳에 설정한다.

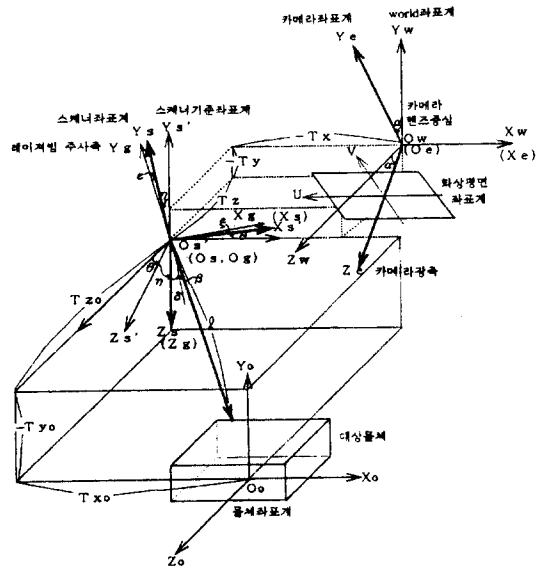


그림 1. 좌표계
Fig. 1. Coordinate system.

1. 좌표 변환

물체상의 레이저-소프트 위치(투광점)에 대한 스캐너 좌표치(X_s, Y_s, Z_s)로부터, 그것이 투영된 화상 좌표치(U, V)로의 변환은 다음의 식 (1)로 주어진다^{[18], [19]}.

$$i = L \cdot T_{ss'} \cdot T_{s'w} \cdot T_{we} \cdot P \tag{1}$$

여기에서,

$i = (u, v, t)$: 화상평면 동차좌표

$(U, V) = (u/t, v/t)$: 화상평면 좌표

$L = (X_s, Y_s, Z_s, 1)$: 물체 위의 빔소프트 위치(투광점)의 스캐너 동차 좌표치

$$T_{ss'} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \eta & \sin \eta & 0 \\ 0 & -\sin \eta & \cos \eta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

: 스캐너 좌표→스캐너 기준좌표의 변환(η 는 $X_s(=X_s')$ 축 주위의 회전각)

$$T_{s'w} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ T_x & T_y & T_z & 1 \end{bmatrix}$$

: 스캐너 기준 좌표→world 좌표의 변환(Y_s' 축 주위로 $-\theta$ 회전 및 $(-T_x, -T_y, -T_z)$ 만큼 평행이동)

$$T_{we} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

: world 좌표→카메라 좌표의 변환(X_w 축 주위로 각도 α 만큼 회전)

$$P = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & s \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

: 투시 변환(U축의 반전, S는 눈금 파라미터)

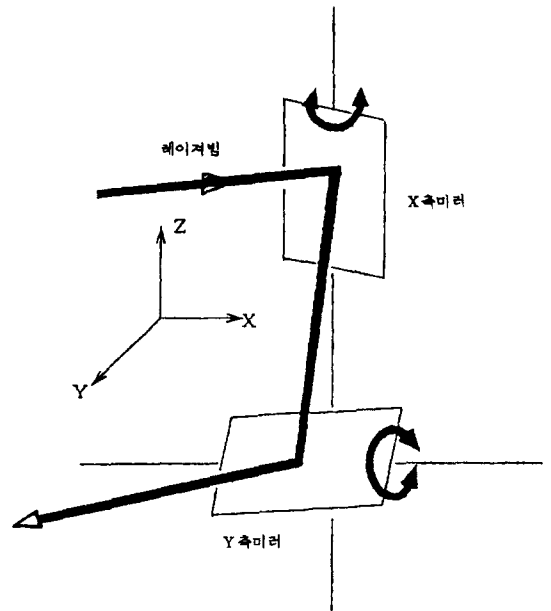
III. 검류계의 설정 오차

그림 2(a)에 표시한 바와 같이, 레이저 빔을 X, Y 방향으로 진동시키기 위해, 시판용의 2차원 미러 스캐너에는 2개의 검류계가 거의 직각으로 부착되어 있지만, 그들의 회전면을 정확히 직각으로 교차시킨다는 것은 불가능한 일이다. 더욱이, 두 검류계의 회전 중심은 어긋나 있어, 특히 근거리의 주사를 행할 경우, 이러한 변위에 대한 보정이 필요하게 된다. 따라서, 빔 주사에 대한 정밀한 모델을 그림 2(b)와 같이 수정해서 설정한다.

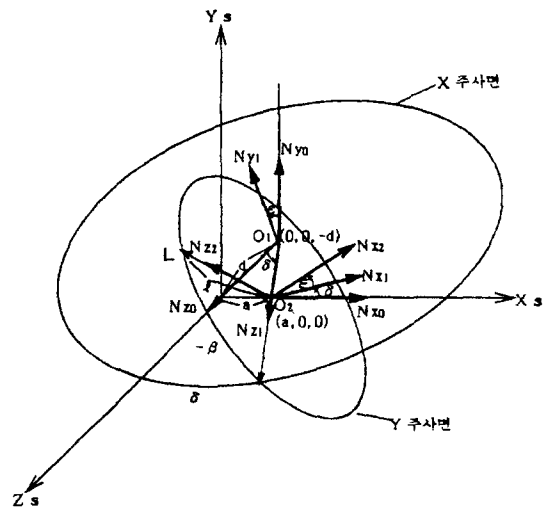
다시 말해서, 레이저 빔은 각도 δ 의 편향을 나타내는 제1의 주사 미러(X축 주사) 위의 O_1 점에서 출발해서, 제2의 주사 미러(Y축 주사) 위의 O_2 점에 입사되기까지 Z_s - X_s 평면 내를 움직이게 된다. 이 지점에서 레이저 빔은 Y축의 방향으로 편향을 받아 대상 물체에 투영된다.

X방향의 빔 주사의 중심은 $O_1(0,0,-d)$ 이고, 주사면(이하, X 주사면이라 함)은 Z_s 축 둘레에 X_s - Z_s 면으로부터 미소각 ϵ 만큼 기울고 있다. 더구나, 실제의 X축 주사 미러의 높이(Y좌표치)는 반드시 0(zero)이라고 할 수는 없지만 X-Z 평면에서의 투영을 고려한다면, O_1 의 Y 좌표치를 영(zero)으로 취해도 괜찮을 것이다.

Y방향의 빔 주사의 중심은 $O_2(a,0,0)$ 이고, 주사면(이하, Y 주사면이라 함)은 직선 O_1 - O_2 의 둘레에 Y축으로부터 미소각 ϵ 만큼 기울고 있다. 실제의 Y 방향의 빔



(a)



(b)

그림 2. (a) 기계식 2차원의 미러 스캐너 (b) 검류계의 설정 오차를 포함한 미러 스캐너계의 레이저 빔 주사 모델

Fig. 2. (a) Mechanical two-dimensional mirror scanner (b) Laser-beam scanning model using mirror scanner system including galvanometer error minimization.

주사의 중심은 O₂로부터 ε에 비례한 양만큼 위 또는 아래로 조금씩 어긋나 있지만, ε이 미소이고 어긋난 양도 미소이기 때문에, O₂는 X_s축 상에 있는 것으로 한다.

X_s, Y_s, Z_s축의 양의 방향으로 향하는 단위 벡터를 각각 N_{x0}, N_{y0}, N_{z0}로 하고, N_{y0}가 Z_s축 둘레에 ε만큼 N_{y0}를 회전시켜 얻어진 단위 벡터를 N_{y1}으로 한다. 이 경우, N_{y1}은 Y 주사 면의 법선 벡터가 된다. 또한, N_{z0}는 O₁을 통과하는 단위 벡터 N_{y1}의 둘레에 X방향의 빔 주사의 각도 δ 만큼 움직여서 N_{z1}이 된다고 한다. 이 경우, N_{x0}는 N_{x1}이 된다. 더욱이, Y 주사 면의 법선 벡터를 N_{x2}로 하면 N_{x2}는 N_{x1}을 단위 벡터 N_{z1}의 둘레에 각도 ξ 만큼 회전한 것이 되고 있다. 또한, Y 방향의 주사에 의해 N_{z1}은 O₂를 통하는 단위 벡터 N_{x2}의 둘레에 -β만큼 회전해서 N_{z2}가 된다. 이들의 회전에 의한 단위 벡터의 변화를 (표 1)에 나타낸다.

표 1. 오차를 고려한 2차원 주사 검류계 측정에 의한 단위 벡터의 변화

Table 1. Change of unit vectors resulting from consideration of errors in the two-dimensional scanning galvanometer measurements.

순서	회전 전의 단위 벡터	회전축의 단위 벡터	회전각	회전 후의 단위 벡터
1	N _{y0}	N _{x0}	ε	N _{y1}
2	N _{z0}	N _{y1}	δ	N _{z1}
3	N _{x0}	N _{y1}	δ	N _{x1}
4	N _{x1}	N _{z1}	ξ	N _{x2}
5	N _{z1}	N _{x2}	-β	N _{z2}

1. 임의 축 둘레의 점의 변환

원점을 통과하는 단위 벡터 N=(p,q,r)의 둘레에 임의의 한 점을 오른 나사의 방향으로 각도 φ만큼 회전시킨 변환은,

$$[x^*, y^*, z^*, 1] = [x, y, z, 1] \cdot R(p, q, r; \varphi) \quad (2)$$

로 주어진다^[18]. 여기에서 [x,y,z,1] 및 [x*,y*,z*,1]은 각각 변환 전·후의 점에 대한 동차 좌표이다. 또한, R(p,q,r, φ)는

$$R = \begin{bmatrix} p^2 + (1-p^2)\cos\varphi & pq(1-\cos\varphi) + r\sin\varphi & pr(1-\cos\varphi) - q\sin\varphi & 0 \\ pq(1-\cos\varphi) - r\sin\varphi & q^2 + (1-q^2)\cos\varphi & qr(1-\cos\varphi) + p\sin\varphi & 0 \\ pr(1-\cos\varphi) + q\sin\varphi & qr(1-\cos\varphi) - p\sin\varphi & r^2 + (1-r^2)\cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

이미 주어진 초기의 단위 벡터 N_{x0}=(1,0,0), N_{y0}=

(0,1,0), N_{z0}=(0,0,1)에서 출발해서 (2)식을 이용해서 (표1)의 각 회전 변환을 실행해 가면, O₂로부터의 빔의 방향을 나타내는 단위 벡터 N_{z2}가 구해진다. 이때에 스캐너의 출구 O₂로부터 대상 물체 위의 빔 스폿까지의 거리를 l로 하면, 스캐너 좌표에 있어서 대상 물체의 빔 스폿 위치(투광점)의 동차 좌표치는

$$L = (l \cdot N_{z2}, 1) + (d \cdot \tan \delta, 0, 0, 0) \quad (3)$$

로 주어진다.

2. 변환

화상 평면 내의 동차 좌표는 다음과 같이 표시된다.

$$i = L \cdot T_{ss} \cdot T_{sw} \cdot T_{we} \cdot P$$

여기에서 T는 아래에 표시되는 변환 행렬의 부분이다.

$$T = T_{ss} \cdot T_{sw} \cdot T_{we} \cdot P = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \\ T_{41} & T_{42} & T_{43} \end{bmatrix} \quad (4)$$

N_{z2} = (X₂, Y₂, Z₂)로 놓으면, 이 때에

$$i = [u, v, t] = [l \cdot x_2 + a, l \cdot y_2, l \cdot z_2, 1] \cdot T \quad (5)$$

여기에서, a = d · tan δ이며, 이 식으로부터

$$u = l \cdot D_1 + D_4, v = l \cdot D_2 + D_5, t = l \cdot D_3 + D_6 \quad (6)$$

여기에서,

$$D_1 = x_2 \cdot T_{11} + y_2 \cdot T_{21} + z_2 \cdot T_{31}$$

$$D_2 = x_2 \cdot T_{12} + y_2 \cdot T_{22} + z_2 \cdot T_{32}$$

$$D_3 = x_2 \cdot T_{13} + y_2 \cdot T_{23} + z_2 \cdot T_{33}$$

$$D_4 = a \cdot T_{11} + T_{41}$$

$$D_5 = a \cdot T_{12} + T_{42}$$

$$D_6 = a \cdot T_{13} + T_{43}$$

또한, u = Ut, v = Vt 이므로,

$$l \cdot D_1 + D_4 = U(l \cdot D_3 + D_6) \quad (7)$$

$$l \cdot D_2 + D_5 = V(l \cdot D_3 + D_6) \quad (8)$$

위 식으로부터, 투광 점까지의 거리 l은

$$\ell = \frac{(D_6 U - D_4)}{(D_1 - D_3 U)} \quad (9)$$

또는

$$\ell = \frac{(D_6 V - D_5)}{(D_2 - D_3 V)} \quad (10)$$

로 주어지며, 측정오차로 인해 식(9)와 (10)의 거리 ℓ 이 최초에는 동일한 값이 되지 않는다. 하지만, 스캐너의 각도오차인 η , ε , ξ , θ 를 도입해서, 다음절에서 설명하는 캘리브레이션을 행하면, 거의 동일한 값을 얻을 수 있게 된다.

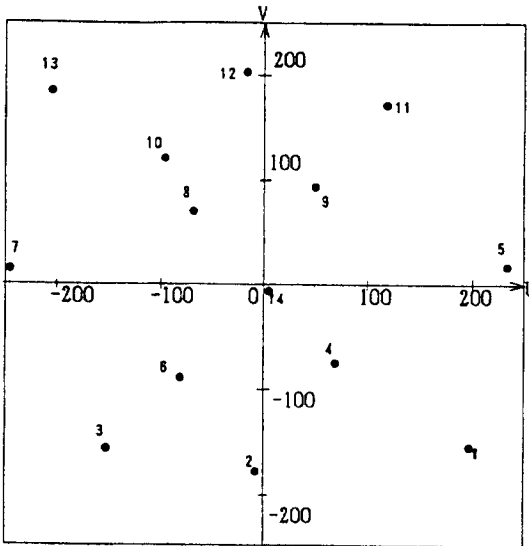


그림 3. 캘리브레이션용 투광점

Fig. 3. Projected spots for calibration.

IV. 캘리브레이션

그림 3에 나타난 바와 같이, 벽면 위의 여러 장소에 샘플점으로써 몇 가지의 레이저 스폿(실험에서는 14 점)을 투영해서, 그 화상을 TV 카메라로 촬영한다. 그 화상들은 임계값 처리에 의해 2치화 된다. 2치화 화상 내의 각 스폿 영역의 외접 사각형의 중심(U,V)을 스폿 위치로 간주한다. 그 때, 검류계의 구동 전류치로부터, 그 움직이는 각 β 및 δ 를 직접 읽어서 구하고, 더욱이, N_{z2} 등을 통해서 식(9)와 (10)으로부터 ℓ 이 계산된다. 이 때, 스캐너 출구로부터 스폿 점까지의 거리 ℓ' 를 실측해 놓는다. ℓ 을 계산하기 위해, 대략적인 η , ε , ξ , θ , T_x , T_y , T_z , S의 값을 초기 파라

메타 값으로 대입해 놓는다. α 는 world 좌표의 수평면($X_w - Z_w$)과 관련된 화상평면의 기울기를 결정하는 파라메타로, 본 연구에서는 계측치 그 자체를 사용한다. 그러나, 한 점의 world좌표가 미리 정해져 있는 경우도 있다. 그런 경우에는 그 파라메타 α 를 미지수로 택하고, 다른 파라메타와 동일한 방법으로 결정한다. 더욱이, 본 실험의 경우, 캘리브레이션용 투광편은 편평한 벽면을 이용하였지만, 반드시 편평한 면을 이용할 필요는 없다.

평가 함수 E는, 샘플점, i에 관한 계산치 ℓ 과 해당 계측치 ℓ' 와의 2승 오차의 합으로 정의한다.

$$E(\eta, \varepsilon, \xi, \theta, T_x, T_y, T_z, S)$$

$$= \sum_{i=1}^{n} (\ell_i - \ell'_i)^2$$

이 E를 최소로 하는 파라메타의 값을 아래에 나타낸 연속적인 탐색에 의해 구한다. 더욱이, 대표적인 3차원 계측시스템에 있어서의 계측오차는, 본 연구와 같은 점 마다의 계측을 행하는 경우에 있어서, 그 평균치가 2~3%를 넘는 경우가 생기고^[17], 먼 파라메타를 여러 점에서 계측을 하는 경우에서도 1%를 넘는 경우가 발생한다^[3]. 파라메타의 탐색은, E의 국소적인 최소화에 의해 국소점에 빠지는 것을 피하기 위해, 경사강하법 보다는 직접적인 방법에 의해 수행된다. 본 연구에서는 처리의 고속화를 도모하기 위해, 우선, 1% 단위의 개략적인 탐색을 행하고 그 다음, 0.2% 단위의 정밀한 탐색을 행한다.

1. E의 최소화 방법

1) 개략적인 탐색

파라메타의 값(η , ε , ξ , θ , T_x , T_y , T_z , S)은, 그 오차에 대한 예상된 영향을 고려해서 순서대로 한 개씩 탐색된다.

1) 먼저, E의 최소값을 찾기 위해, 파라메타 η 는 그 초기값의 $\pm 5\%$ 의 범위 내에서 1%의 간격으로 탐색된다.

2) 다음에는, ε 에 대해서 동일한 탐색을 행한다.

3) 그 다음에도, 마찬가지로 ξ , θ , T_x , T_y , T_z , S의 탐색을 행한다.

4) E의 감소가 없어질 때까지 1)~3)을 반복한다.

2) 정밀한 탐색

위의 1)절에서 얻어진 파라메타의 값을 초기값으로 해서, 이 초기값의 $\pm 1\%$ 의 범위 내에서 0.2%의 간격

으로 1)절과 동일한 방법으로, E를 최소화하기 위한 파라메타의 값이 탐색된다. 그림3의 캘리브레이션용의 샘플점을 이용했을 때의 파라메타값 및 오차의 결과를 (표 2)에 나타낸다.

표 2. 파라메타 탐색치 및 샘플 점에 대한 계측 오차

Table 2. Resultant parameter search values and measurement error of sampled points.

(1) 각 파라메타의 탐색 결과
Result of parameter search.

($\alpha=30^\circ$)

	$\theta(^{\circ})$	$\eta(^{\circ})$	$\varepsilon(^{\circ})$	$\zeta(^{\circ})$	Tx(mm)	Ty(mm)	Tz(mm)	S
초기치	-25.5	26.90	-1.00	-2.00	-426.20	-134.62	263.40	0.000500
탐색치	-26.3	25.30	-0.94	-1.88	-400.84	-126.61	248.30	0.00047

(2) 계측 오차 최소화 절차의 결과

Result of measurement error minimization procedure.

샘플점	화상 메모리 좌표		스캐너의 기울음 각도		계산치 l (mm)	실측치 l' (mm)	오차(%)
	U	V	$\delta(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$			
1	196	-156	1.56	-5.94	854.8	840.0	1.76
2	9	-176	5.00	-4.53	886.6	873.0	1.56
3	-154	-157	8.57	-2.81	930.6	913.0	1.93
4	68	-75	0.00	-2.58	933.5	921.0	1.36
5	229	15	-7.56	1.64	975.4	970.0	0.56
6	-84	-87	4.77	-1.64	968.2	942.0	1.83
7	-242	14	6.35	2.04	1081.9	1074.0	0.74
8	-68	69	0.01	2.12	1084.0	1081.0	0.28
9	50	90	-4.06	1.82	1075.0	1079.0	-0.38
10	-99	120	-0.49	3.60	1142.9	1146.0	-0.27
11	115	173	8.40	3.34	1148.1	1167.0	1.62
12	-17	202	-5.14	5.02	1212.3	1238.0	-2.08
13	-203	186	0.66	5.87	1248.4	1262.0	-1.08
14	4	6	0.00	0.00	1011.0	1004.0	0.70

RMS=1.32%

이 (표 2)에서, l 과 l' 의 차가 대략 2% 이내에 머물고 있음을 알 수 있다($\sigma=1.32\%$). 이들은 혼련 데이터에 대한 값이지만, 실측치 l' 의 자체 내에서도 오차를 포함하고 있기 때문에, 계산치와 실측치 사이의 실제의 오차도 이들의 값에 근접할 것으로 사료된다.

위에서 설명한 바와 같이, 본 논문에서는, 3차원의 위치 데이터가 아닌, 스캐너로부터의 거리 l 이라는 권척, 출자 등으로 측정이 용이한 데이터를 기초로 해서, 카메라·스캐너 계의 교정을 행한다.

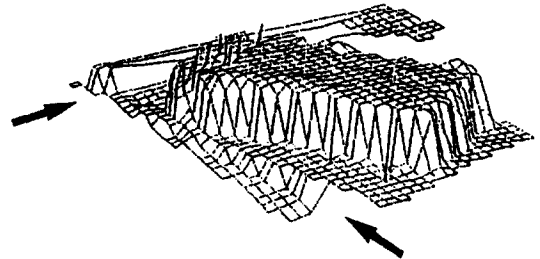


그림 4. 직육면체의 회전축 보정 전의 계측 통합치
Fig. 4. Integrated measurement value of rectangular parallelepiped before rotation axis correction.

V. 실험 결과

그림 4는 147mm x 80mm x 43mm의 직육면체의 상자를 스캐너로부터, 약 70cm의 회전 스테이지 위에 실어서, 120° 의 다른 2방향에서 계측한 것이다. 이 그림은, 회전축의 기울음 때문에 구성된 데이터가 정확치 못했다. 따라서, 화살표로 표시된 장소에서 마루 면에 계단상의 차가 생기고 있다. 회전축을 보정한 후의 본 시스템에 의해서 계측된 오차는, 길이의 직접적인 실측에 의한 체계치에 대해, -1.40%로 산출되었다. 그림5는 직경이 180mm인 반구를 스캐너로부터, 약 1m의 회전 스테이지에 실어서, 정면 및 $\pm 120^\circ$ 의 다른 3방향에서 계측한 것이다. 이들의 데이터는 회전축의 보정을 포함한 것으로, 체계는 이상적인 반구로 가정한 실측치에 대해, 본 시스템에 의한 계측 오차는 -1.60%로 산출되었다. 더욱이, 이들의 오차는 최적화를 하지 않는 방식^[20]에서의 대표적인 오차인 3~5%와 비교해 볼 때 작은 것이다.

위의 실험은, 옥내에서 각 방향에서의 단일 후레이밍 화상을 이용한 실험이고, 투영 광원으로서 3mW · 670nm인 반도체 펄스 레이저를 사용했다. 동일한 레이저에 의한 하계 태양 광선 하의 다른 실험에서는, 수광부에 협대역 간섭 필터를 사용한 수십 회의 차분치 가산법에 의해서, 보통 6~7m, 대상물에 따라서는 30m 정도 떨어진 곳에서도 거리의 계측이 가능했다.

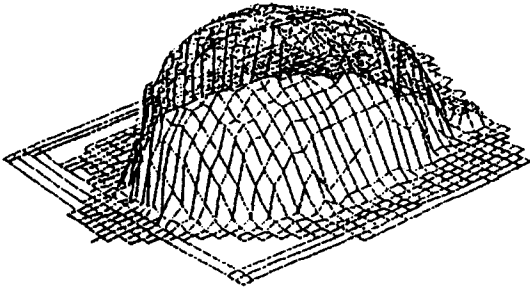


그림 5. 반구의 회전축 보정후의 계측 통합치
Fig. 5. Integrated measurement value of hemisphere after rotation axis correction.

VI. 결 론

레이저 스캐너와 TV 카메라를 사용한 3차원 계측 시스템에 있어서, 계측 오차를 최소화하기 위한 방법(캘리브레이션)에 관해서 기술하였다. 다시 말해서, 카메라의 설정 오차, 스캐너의 구조적인 오차 및 설정 오차를 섭동 파라메타(perturbation parameters)로서 취급해서, 계측이 용이한 스캐너로부터 대상물까지 계산된 거리에 있어서의 오차를 평가 함수로 하였다. 평가 함수를 최소화함에 있어, 여러 가지의 오차 보정용 파라메타를 구하는 과정은, 각 시스템을 설정한 후에 한번만 수행하면 된다.

레이저 센서의 그 자체는 한 개의 몸체로 구성된 고정밀도의 것이 개발되고 있다. 하지만, 대상물의 크기와 요철 형상에 따라 기선장, 카메라와 스캐너 등의 배치, 카메라와 스캐너의 조합(예로, 카메라 2대와 스캐너 3대) 등을 상황에 따라 적절히 설정하기 위해서는, 본 연구에서와 같은 해석 방법이 필요하게 될 것이다. 또한, 기계식 2차원 미러 스캐너에 의해 레이저 빔을 2차원적으로 주사하는 방법은, 슬릿광을 1차원적으로 주사하는 광 절단법에 비해 고휘도의 투광점을 얻을 수 있어, 외관광에 대해서 강하고, 옥외 환경 등에 쉽게 적용한다고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Y.Shirai, "Recognition of polyhedrons with a range finder", Pattern Recognition, Vol. 4, pp. 243~250, 1972.
- [2] Y.Nishikawa and S.Inokuchi, "Range data entry techniques using a laser spot scanner and two solid-state image sensors", IEEE Trans. Instru. Meas., Vol. IM-30, No. 4, 1980.
- [3] D.C.Tseng and Z.Chen, "Computing location and orientation of polyhedral surface using a laser-based vision system", IEEE Trans. Robotics Automat., Vol. 7, No. 6, pp. 842~848, 1991.
- [4] G.Hu and G.C.Stockman, "3-D surface solution using structured light and constraint propagation", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol. 11, No. 4, pp. 390~402, 1989.
- [5] J.L.Posdamer and M.D.Altuler, "Surface measurement by space-encoded projected beam system", Computer Vision, Graphics and Image Processing, Vol. 18, 1982.
- [6] 佐藤, 井口, "空間コード化による距離画像入力", 信學論, Vol. J68-D, No. 30, pp. 369~375, 1985.
- [7] M.Yachida and Y.Kitamura, "3-D Data acquisition by multiple views", Preprints of ISRR, 1985 and also in Robotics Reserch, pp. 11~18, MIT Press, 1986.
- [8] M.Yachida, Y.Kitamura and M.Kimachi, "Trinocular vision : New approach for correspondence problem", Proc. ICPR, pp. 1041~1044, 1986.
- [9] 北村, 來海, 谷内田, "エッジの連続性と畫面の局所的性質を利用した三眼視", 信學論, Vol. J70-D, No. 9, pp. 1757~1764, 1987.
- [10] 大田, 金出, "走査線間の整合性を考慮した動的計画法によるステレオ對應探索", 情報處理學會研資, Vol. 29, No. 7, 1984.
- [11] T.Kanade, "Recovery of the three-dimensional shape of an object from single view", Artificial Intelligence, Vol. 17, pp. 409~460, 1981.
- [12] F.M.Wahl and H.F.Biland, "Decomposition of polyhedral scenes in Hough space", Proc. 8th Int. Conf. Pattern Recognition, pp. 78~84, Oct. 1986.
- [13] T.Poggio, V.Torre and C.Koch, "Computa-

- tional vision and regularization theory", Nature, Vol. 317, pp. 314~319, 1985.
- [14] H.Mitsumoto, S.Tamura, K.Okazaki, N. Kajimi and Y.Fukui, "3-D reconstruction using mirror images based on plane symmetry recovering method", IEEE Trans. Pattern Analysis Mach. Intell., Vol. 14, No. 9, pp. 941~946, 1992.
- [15] R.M.Haralick, "Determining camera parameters from the perspective projection of a rectangle", Pattern Recognition, Vol. 22, pp. 225~230, 1989.
- [16] R.K.Lenz and R.Y.Tsai, "Technique for calibration of the scale factor and image center for high accuracy 3-D machine vision metrology," IEEE. Trans. Pattern Anal. Intell. Vol. 10, No. 5, pp. 713-720, Sept.1988.
- [17] Min-Hong Han and Sangyong Rhee, "Camera calibration for three-dimensional measurement," Pattern Recognition, Vol. 25, No. 2, pp. 155-164, 1992.
- [18] 山口富士夫, コンピュータディスプレイによる圖形處理工學, 日刊工業新聞社, 1981.
- [19] S.Ganapathy, "Decomposition of transformation matrices for robot vision", in Proc. Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 130~139, 1984.
- [20] 石川, 原田, 吉永, 加藤, "視覺センシングによる粉體體積の非接觸測定," 計測自動制御學會 論文誌, Vol. 26, No. 11, pp. 1238~1243, 1990.

 저 자 소 개



金應珪(正會員)

1952年 11月 1日生. 1976年 2月
 충남대 공대 공업교육과(학사).
 1978년 2월 충남대대학원 공업교육과(석사). 1993년 9월 오사카
 대학 대학원 의공학연구과 (박사). 1982년 6월 ~ 1987년 10월
 충남대 공대 조교 1990년 2월 ~ 1992년 3월 오사카
 대학 의학부 助手. 1993년 3월 ~ 1994년 2월 충남대
 공대 시간강사. 1994년 3월 ~ 현재 대전산업대학교
 정보통신공학과 조교수. 주관심 분야는 의용공학용 화
 상처리, 신경회로망, 컴퓨터비전 등이며, 화상통신 및
 정보통신망에 흥미를 갖고 있음.