한국정밀공학회지 제 22권 제 11호 (2005년 11월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 22, No. 11, November 2005

구조화 레이저를 이용한 PC 기반 인-라인 검사 시스템 개발에 관한 연구

신찬배#, 김진대*, 임학규**, 이재원***

A Study on Development of PC Based In-Line Inspection System with Structure Light Laser

Chan-Bai Shin#, Jin-Dae Kim*, Hak-Kyu Lim**, Jeh-Won Lee***

ABSTRACT

Recently, the in-line vision inspection has become the subject of growing research area in the visual control systems and robotic intelligent fields that are required exact three-dimensional pose. The objective of this article is to study the pc based in line visual inspection with the hand-eye structure. This paper suggests three dimensional structured light measuring principle and design method of laser sensor header. The hand-eye laser sensor have been studied for a long time. However, it is very difficult to perform kinematical analysis between laser sensor and robot because the complicated mathematical process are needed for the real environments. In this problem, this paper will propose auto-calibration concept. The detail process of this methodology will be described. A new thinning algorithm and constrained hough transform method is also explained in this paper. Consequently, the developed in-line inspection module demonstrate the successful operation with hole, gap, width or V edge.

Key Words : Vision inspection(시각 검사), Three-dimensional Pose(3차원 정보), PC based module (PC기반 모듈), Measurement principle(측정 원리), Auto-calibration(자동 보정), Constrained hough transform(구속 허프 변환).

1. 서론

2002년 7월, 제조물 책임법(PL법)시행으로 제품의 제조 과정에서의 품질 데이터의 수집, 기록, 관리의 필요성이 증대되고 있으며 이에 따른 제조공정에서의 인라인 검사설비의 수요가 크게 늘어나고 있는 추세이다. 특히 조선 및 자동차제조업을 중심으로 안전성과 직접적인 연관이 있는 부품의 결함을 검사키 위한 레이저 센서를 이용한 인라인 검사설비의 수요가 크게 증대되고 있다.

기존의 금형이나 프레스 패널(Panel) 검사 공정에 사용되어온 접촉식 프로브(Probe)를 이용한 3차

접수일: 2005년 5월 30일; 게재승인일: 2005년 9월 9일
교신저자, 울산과학대학 디지털기계학부
Email: cbshin@mail.uc.ac.kr, Tel: (052) 279-3108
* (주) 유진엠에스 기술연구소
** 경북대학교 농업과학기술연구소
*** 영남대학교 기계공학부

원 측정법은 점 측정 방식으로 시간이 많이 소요되어 생산 효율이 저하되고 기계적 한계로 인하여 응용 범위가 좁았다. 센서 기술의 발달과 더불어 외국 센서 메이커들은 비접촉식 선(Line)측정 장치들을 연구 개발하여 왔다.[1-2] 하지만 이들 시스템은 기술적으로 닫혀있으므로 국내 기술자들이 작업환경이나 사용 목적의 변경 등 현장의 특성들을 고려한 기술적 수정 보완이 불가능하다. 그래서 고가 장비임에도 불구하고 높은 기술적 성능을 기대하기 어렵다. 위와 같은 문제점들을 감안한다면 국내 순수 기술의 선 측정 방식에 대한 개발이 절실하다. 본 연구에서는 현장에서 수동으로 이루어지고 있는 제품의 결함검사를 인라인 3차원 측정 시스템을 이용하여 자동으로 검사 할 수 있는 측정 장치와 알고리즘을 개발하고자한다.

2. PC 기반 인-라인 로봇 검사 시스템

Fig. 1과 같이 구조화 레이저를 이용하는 인라인 검사 장비는 넓은 검사 영역을 확보하기 위하여 주로 센서 이송용 기구나 6자유도 로봇 등에 부착되어 핸드-아이(Hand-eye) 구조로 많이 사용된다.

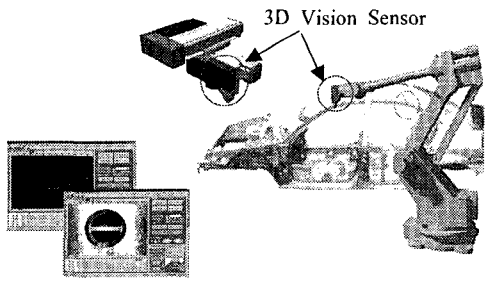


Fig. 1 In-line inspection system configuration

핸드-아이 로봇 구조에서 3차원 시각 센서 자체가 가지는 정밀도 외에 측정 및 검사 성능에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 로봇 베이스 좌표계상에서 재구성된 물체의 위치 및 방향 데이터의 정밀도이다. 즉, 로봇의 정밀한 움직임은 로봇 베이스 좌표계 중심으로 이루어지므로 이를 기준으로 모든 위치 및 형상 검사 작업을 수행하여야만 한다.

본 연구에서 개발하고자하는 3차원 검사 측정 장치는 정밀한 레이저 시각 헤드 보정 방법의 최적화로 어떤 종류의 로봇과 연계해도 최종 검사 정밀도를 확보할 수 있도록 하고자 한다. 검사 장비는 크게 카메라와 레이저 슬릿 광(Slit Beam)으로 이루어진 레이저 센서 헤드부분과 넓은 검사 공간을 확보하고 필요시 작업을 직접 수행하기 위한 로봇으로 구성되는 하드웨어 부분, 센서 헤드와 로봇 제어기(Controller)에 제어 명령을 내리거나 시각 검사 기능을 수행하는 소프트웨어 부분으로 구성된다. 인-라인 검사를 목적으로 RS232를 통한 데이터 교환 및 외부 디바이스와의 동기화를 위한 추가의 I/O장치 설계도 수행한다.

3. 구조화 레이저 측정 시스템의 설계

3.1 측정 원리

구조화 레이저 측정법은 공간상에 평면의 레이저광과 카메라 사이의 광학 기하를 이용하여 측정 물체에 따른 단면의 형상에 의한 3차원 형상을 측정하는 기술이다.

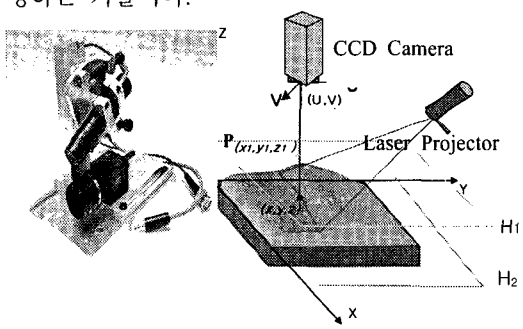


Fig. 2 Configuration of Structure light vision

Fig. 2는 본 연구의 시각 시스템의 구성을 나타낸다. 카메라의 영상 선과 평면의 레이저광이 임의각을 가지고 측정 단면에서 만나서 형성된 광 궤적 영상은 측정 단면에 따라 달라진다. 이 변형된 광 궤적은 측정 물체의 3차원 단면 정보를 가지고 있으므로 보정 방정식을 통하여 측정단면의 3차원 좌표 값을 얻을 수 있다. 그림에서와 같이 물체 좌표계 xyz직교 좌표를 설정하고, 카메라 좌표와 물체 좌표와의 관계를 설정하는 카메라 보정을 수행한다.

즉, $q(U_1, V_1)$는 점 $P(x_1, y_1, z_1)$에 대응되는 영상 점으로 카메라의 영상 면에 설정된 2차원 UV 좌표계 상의 한 점으로 정의된다. 이때 영상점 $q(U_1, V_1)$와 보정 면 H_1위의 점 P사이의 관계는 카메라를 이상적인 직선으로 가정하면 다음과 같은 행렬식 (1)로 표현될 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = H^* \begin{bmatrix} U \\ V \\ 1 \end{bmatrix} \qquad P = H^* Q \tag{1}$$

식(1)에서 P는 물체 위치 벡터들, Q는 그에 상응하는 영상 점들의 벡터들을 나타낸다. 보정 행렬 H^*는 식(2)의 최소 자승법으로 구할 수 있다.

$$H^* = PQ^T[QQ^T]^{-1} \tag{2}$$

여기에서 H^*는 영상 점의 2차원 좌표와 측정 표면상의 점인 3차원 공간 좌표 사이의 관계를 나타내는 보정 행렬이며, 이는 영상 점 $q(U_1, V_1)$과 점 $P(x_1, y_1, z_1)$뿐만 아니라 이들 두 점의 관계와 같이 각각의 영상 점과 3차원 공간 점들을 연결하는 영상선상의 모든 점들이 대응되고 있음을 의미한다. 하지만 2차원의 좌표와 3차원의 좌표와의 관계 확립을 위해서는 추가 정보가 요구된다. 이를 충족시키기 위한 구속 조건으로 레이저 평면을 이용한다. 평면방정식 $ax+by+cz+d=0$에서 $a=1$로 두고 여러 점들에 대하여 표현하면 (3)으로 둘 수 있다.

$$\begin{aligned} -X &= [\, Y \;\; Z \;\; 1] \begin{bmatrix} b \\ c \\ d \end{bmatrix} \\ &= GC^* \end{aligned} \tag{3}$$

위의 레이저광 평면 보정 또한 식(4)의 최소자승법으로 구할 수 있다.

$$C^* = [G^T G]^{-1}(-X) \tag{4}$$

구조화 레이저를 이용할 때 3차원 좌표 값은 레이저 광에 대한 평면식과 영상선식 사이의 교점으로부터 구할 수 있다. 그러므로 임의 영상 점 (U_1, V_1)에 대하여 (x_1, y_1, z_1)과 (x_2, y_2, z_2)를 지나는 카메라의 영상 선의 방정식은 보정 행렬. (H_1, H_2)를 이용하여 구할 수가 있다. 즉, 영상 좌표 (U_1, V_1)에서 본 각각의 보정면상의 두 점, (x_1, y_1, z_1)와 (x_2, y_2, z_2)를 구한다. 이들 점들을 이용하여 카메라 영상선의 방정식을 구하고 각각의 단위벡터를 v_x, v_y, v_z를 다음의 식(5)로 구할 수 있다.

$$\frac{x-x_1}{v_x} = \frac{y-y_1}{v_y} = \frac{z-z_1}{v_z} \tag{5}$$

여기에서

$$v_x = \frac{x_2-x_1}{\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2+(z_2-z_1)^2}}$$

$$v_y = \frac{y_2-y_1}{\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2+(z_2-z_1)^2}}$$

$$v_z = \frac{z_2-z_1}{\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2+(z_2-z_1)^2}}$$

이를 행렬 형태로 표현하고 앞에서 구한 평면 방정식(4)로부터 측정값 X, Y, Z는 식(6)과 같다.

$$\begin{bmatrix} v_y & -v_x & 0 \\ v_z & 0 & -v_x \\ a & b & c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_y x_1 - v_x y_1 \\ v_z x_1 - v_x z_1 \\ -d \end{bmatrix} \tag{6}$$

3.2 기구학적 일치를 고려한 설계

로봇과 센서 좌표계간의 관계 보정에 있어서 기존에 사용된 방법은 Fig. 3과 같은 여러 장면을 이용한 기구학적 해석이었다.[8]

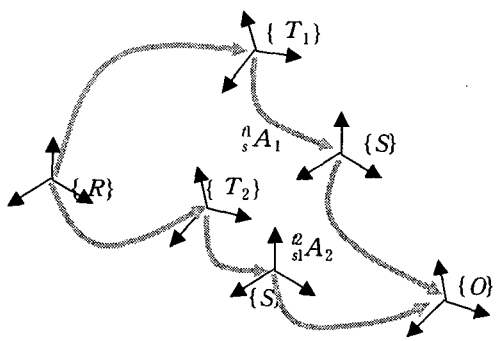


Fig. 3 Kinematical analysis with multiple view

Fig. 3에서와 같이 한 물체에 대해서 여러 번 로봇을 움직이면서 물체 좌표계상의 보정 점들을 측정하고 식(7)의 폐 루프 방정식을 구성하였고 이를 정리하여 ${}^{r}_{e}A_2^{-1} \cdot {}^{r}_{n}A_1$와 ${}^{s}_{o}A_2 \cdot {}^{s}_{o}A_1^{-1}$를 각각 A, B로 두고, ${}^{n}_{s}A_1 = {}^{e}_{s}A_2$을 X로 한 다음 $AX = XB$ 문제를 풀어야만 했다.

$$ {}^{r}_{2}A_{2}^{-1} \cdot {}^{r}_{fl}A_{1} \cdot {}^{fl}_{s}A_{1} = {}^{e}_{s}A_{2} \cdot {}^{s}_{o}A_{2} \cdot {}^{s}_{o}A_{1}^{-1} \quad (6) $$

하지만 이를 구하는 과정에서는 로봇의 기구학, 로봇과 물체간의 관계 규명, 센서와 물체간의 관계 규명 등 복잡한 수학적 과정이 따른다. 또한 물체 좌표계 중심의 3차원 측정으로 측정 방향과 위치에 따른 오차를 내포할 수 있다. 본 연구에서는 물체 좌표계와 센서 좌표계를 Fig. 4와 같이 물체 좌표계 {O}를 센서 좌표계{S}와 일치되게 설정함으로서 핸드-아이 보정을 쉽게 해결하는 방법을 제시한다. 이렇게 하면 자동 보정(Auto-Calibration)기능이 포함되어 측정 자세나 위치에 관계없이 항상 정밀한 3차원 측정을 수행할 수 있다.

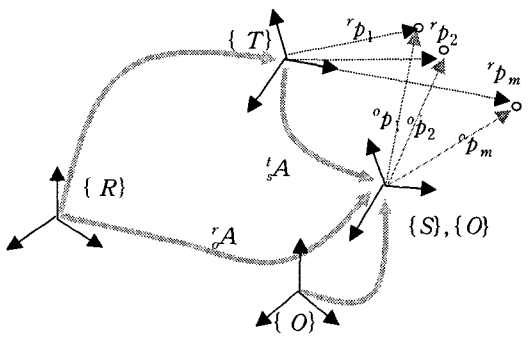


Fig. 4 Sensor and object coordinate alignment

{O}와 {S}가 일치되게 설정하면 측정 시스템 폐 루프 방정식은 식(7)과 같다. 여기에서 ${}^{r}_{t}A$는 로봇 기구학식이고 보정 파라미터는 ${}^{t}_{s}A$이다.

$$ {}^{r}_{o}A = {}^{r}_{s}A = {}^{r}_{t}A \cdot {}^{t}_{s}A \quad (7) $$

${}^{t}_{s}A$를 구하기 위해서는 센서와 물체 좌표계를 일치시켰으므로 ${}^{r}_{o}A$또는 ${}^{r}_{s}A$의 규정만이 필요하다. 보정된 센서를 사용할 경우 로봇 좌표계상에 놓인 측정 점들에 대한 센서 좌표계 상에서의 데이터는 3차원 측정으로 가능하므로 이들 간의 관계로부터 다음의 과정으로 구한다. Fig. 4에 나타낸 벡터 쌍들은 식(8)로 표현할 수 있다. 즉, {S},{O}좌표계와 {R}좌표간의 보정 문제는 $Q(q)$와 ${}^{r}T$를 추정하는 작업이 된다.

$$ {}^{r}p = Q(q) \cdot {}^{o}P + {}^{r}T \quad (8) $$

먼저, 회전과 관련된 $Q(q)$를 구하고 ${}^{r}T$를 구할 수 있다. $Q(q)$를 얻어내기 위해서는 로봇 좌표계{R}와 센서 좌표계{S},{O}에서의 각각의 상태 벡터를 식(9)로 만든다.

$$ v_{o,i} = {}^{o}p_{i} - {}^{o}p_{i+1} \quad (9) $$

$$ v_{r,i} = {}^{r}p_{i} - {}^{r}p_{i+1} \text{ 여기서, } i = 1,2,\cdots,m-1. $$

식(9)로부터 $v_{o,i}$를 $Q(q)$만큼 회전 시켜 $v_{r,i}$와 일치시키기 위해서, 우선 이들 간의 상관 행렬을 구하면 식(10)과 같다.

$$ L = \begin{bmatrix} k_{11}+k_{22}+k_{33} & k_{32}-k_{23} & k_{13}-k_{31} & k_{21}-k_{12} \\ k_{32}-k_{23} & k_{11}-k_{22}-k_{33} & k_{12}+k_{21} & k_{31}-k_{13} \\ k_{13}-k_{31} & k_{12}+k_{21} & -k_{11}+k_{22}-k_{33} & k_{23}+k_{32} \\ k_{21}-k_{12} & k_{31}+k_{13} & k_{23}+k_{32} & -k_{11}-k_{22}+k_{33} \end{bmatrix} \quad (10) $$

여기서, $k = \sum_{i=1}^{m-1} w_i \cdot v_{o,i} \cdot v_{r,i}^{T}$, w_i:weight

회전행렬 $Q(q)$에 해당하는 단위 쿼터니언(Quartenion)은 식(10)의 가장 큰 양의 고유치에 해당되는 고유 벡터 $\lambda = [\lambda_0 \ \lambda_1 \ \lambda_2 \ \lambda_3]$가 된다. 이로부터 구하는 회전각과 회전축은 식(11)과 같다.

$$ \theta = 2\cos^{-1}(\lambda_0), \quad k_x = \lambda_1 \sin^{-1}(\theta/2) \quad (11) $$
$$ k_y = \lambda_2 \sin^{-1}(\theta/2), \quad k_z = \lambda_3 \sin^{-1}(\theta/2) $$

$Q(q)$가 구하여지면 이를 이용하여 병진 파라미터는 식(12)로 구할 수 있다.

$$ {}^{r}T = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} w_i ({}^{r}p - Q(q) \cdot {}^{o}p) \quad (12) $$

여기서, w_i: weight

아래의 Fig. 5는 본 연구에서 제작한 보정 지그와 센서 좌표계를 나타낸다. 보정 지그 상의 수직인 두 면에{O} 좌표계를 설치하였고 센서 헤드 상의 수직인 두 면에 {S}좌표계 사이 설치 보정 지그 상의 수직인 두 면에 체결할 수 있는 구조로 제작하여 좌표계를 통일 시켰다.

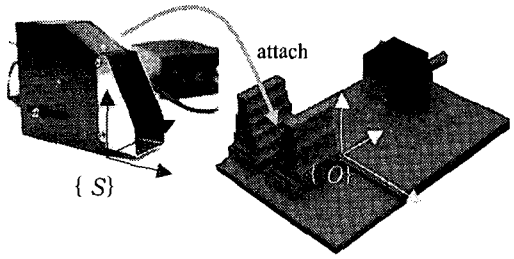


Fig. 5 Calibration jig and coordinate

3.3 외부 인터페이스 설계

언급한 바와 같이 PC기반의 독립형 인-라인 검사장비는 6축 로봇이나 센서 이송기구에 부착되어 주로 사용된다. 따라서 외부 장비와의 인터페이스 지원이 필수적이다.

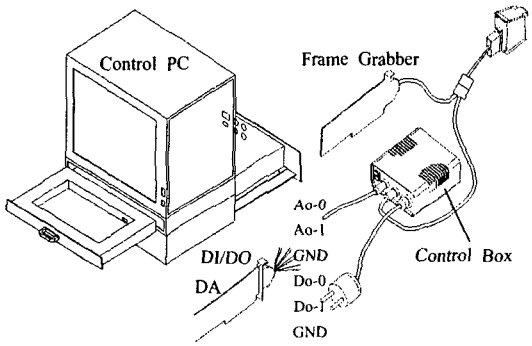


Fig. 6 External interface design

Fig. 6은 본 연구에서 개발된 외부 인터페이스를 보이고 있으며 DI/O(Digital Input/Output)은 주로 외부 로봇 프로그램 실행 및 검사 결과 출력용으로 제작되었고 DA 부분은 구조화 레이저 빔 강도 제어를 위한 포트로 사용하였다. 또한 RS232C 직렬 프로토콜을 자체 제작하여 외부 로봇과 인-라인 통신이 가능토록 하였다.

4. 인-라인 검사를 위한 영상처리 알고리즘

4.1 구조화 레이저광의 세선화(Thinning)

세선화는 가우시안 분포의 레이저 빔 영상에 대하여 밝기가 가장 밝은 부분을 연결하는 작업으로 본 논문에서는 레이저광 단면의 빛의 강도를 2차식 곡선 맞춤하여 최대 값을 찾는 방법을 사용하였다.

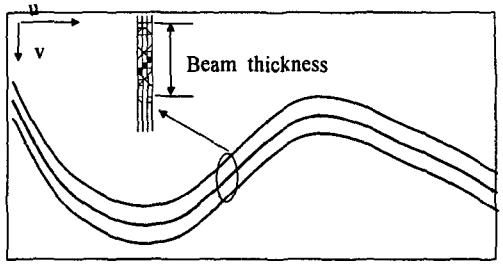


Fig. 7 Laser intensity and thinning process

먼저 Fig. 7에서 레이저 빔 영상은 v축 방향으로 빛의 강도 함수 $I(v)$를 식(13)과 같이 다차항 함수로 표현할 수 있다.

$$I(v) = \sum_{i=0}^{n} b_i v_i^i \tag{13}$$

여기서 계수 $b_i(i=0,1,\ldots,n)$를 구하기 위해서는 최소한 n+1화소의 밝기 값이 필요하다. 레이저 광의 영상만을 고려하기 위하여 각 열에서 가장 빛의 세기가 큰 화소 $v_{\max}$를 중심으로 상하로 m 화소에서의 강도를 고려하여 밝기 분포곡선의 계수를 구한다. 만일 고려되는 화소의 수가 2m+1개 일 경우 식(14)로 적을 수 있다.

$$I = TB \tag{14}$$

여기서,

$$I = \begin{bmatrix} I_{v_{\max}-m} \\ I_{v_{\max}-m+1} \\ \vdots \\ I_{v_{\max}+m-1} \\ I_{v_{\max}+m} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix},$$

$$T = \begin{bmatrix} 1 & (v_{\max}-m) & (v_{\max}-m)^2 & \cdots & (v_{\max}-m)^n \\ 1 & (v_{\max}-m+1) & (v_{\max}-m+1)^2 & \cdots & (v_{\max}-m+1)^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & (v_{\max}+m) & (v_{\max}+m)^2 & \cdots & (v_{\max}+m)^n \end{bmatrix}$$

식(14)에 최소 자승법을 적용하면 구하는 다차항 계수는 식(15)와 같이 구할 수 있다.

$$B = [(T^T T)^{-1} T^T I] \tag{15}$$

이 계수행렬을 구한 후 식(14)에 대입하여 뉴튼 랩슨법을 이용하여 최대 값의 위치를 구함으로서 세선화를 수행하였다.

4.2 구속 허프 변환(Hough Transform)

허프 변환은 직각 좌표계(x, y)상의 선 데이터를 극좌표(ρ, θ)로 변환하여 처리, 특정 정보만을 추출하고 역 변환하여 직선을 찾아내는 방법이다. 즉, Fig. 8 에서처럼 (x, y)평면에 직선상의 세 점은 극좌표에서는 곡선으로 표시되고 직선은 하나의 점으로 표시가 된다. 즉 (x, y) 평면에서 모든 점들을 원하는 각도를 이용하여 극좌표로 변환시키면 한 직선상에 있는 점들은 한 점에 모이게 된다. 이를 이용하여 직선을 검출할 수 있다.

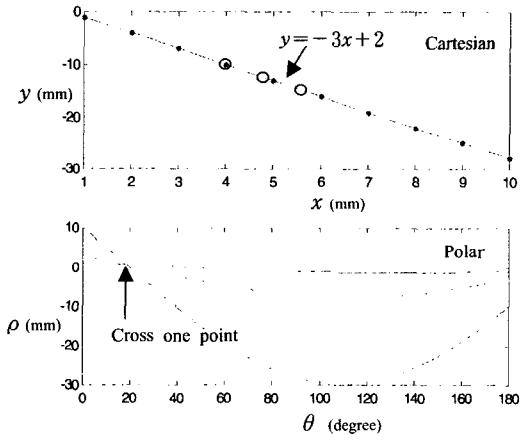


Fig. 8 Transform between cartesian and polar

본 연구에서 사용된 구조화 레이저 빔은 주로 직선 형태 영상을 형성하므로 직선 찾기 및 검사에 대해서는 식(16)과 같은 각도 구속 허프 변환을 적용하였다.

$$y = ax + b,$$
$$\rho = x\cos\theta + y\sin\theta \qquad (16)$$
여기서, $\theta_{lower} < \theta < \theta_{upper}$

θ_{lower}와 θ_{upper}는 검사 대상물의 형상에 의해 결정되는 값으로 구속 조건으로 사용가능하며 V에지와 같은 여러 직선 형상의 물체에 대한 두 직선, $(\rho_1, \theta_1), (\rho_2, \theta_2)$에 대한 교점은 식(17)로 간단히 구할 수 있다.

$$x_i = \frac{-\rho_1\sqrt{(1/\tan\theta_1)^2+1} + \rho_2\sqrt{(1/\tan\theta_2)^2+1}}{-(1/\tan\theta_1)-(1/\tan\theta_2)}$$
$$y_i = -\rho_1\sqrt{(1/\tan\theta_1)^2+1}\ (-1/\tan\theta_2) - \rho_2\sqrt{(1/\tan\theta_2)^2+1}\ (1/\tan\theta_2) \qquad (17)$$

5. 실험 및 검토

본 연구에서 개발된 3차원 검사용 센서의 사양은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Developed sensor specification

Stand Off Distance	Field of depth	resolution
100 mm	70 mm	±0.05 mm
100 mm	100 mm	± 0.1mm

본 PC기반 인-라인 검사시스템의 실제 테스트에 사용된 로봇 모델은 Fig. 9의 NACHI-SC50 6R이며 검사 개발 장비와 인터페이스 할 수 있도록 RS232C 및 DI/O를 제공한다. 카메라는 Sony의 HR50을 사용하였고 프레임 그래버(Frame Grabber)는 메트록스사의 Meteor2-MC/4, 구조화 빔은 Class IIIb, Wave length: 660nm, Power:35mW 고출력레이저를 이용하였다.

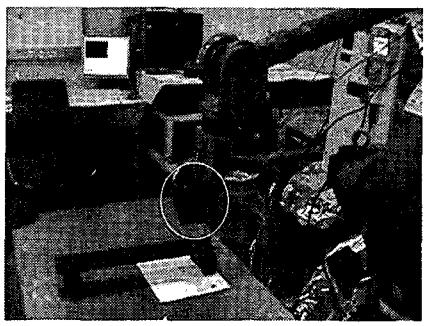


Fig. 9 Hand-eye robot configuration

검사 및 인식 대상물은 Fig. 10과 같은 50mm육면체에 갭, V에지, 폭, 단차 등의 특정 형상을 제작하여 사용하였고 3차원 홀 체크를 위한 대상물은 따로 제작하였다.

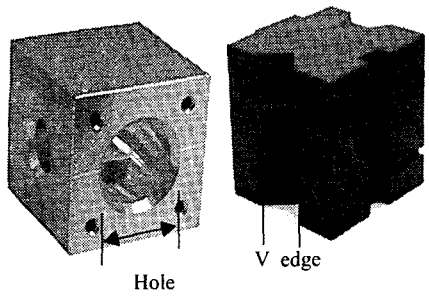


Fig. 10 Object model for inspection

다음의 Fig. 11과 12는 본 연구에서 개발된 3차원 시각 센서의 주요 성능을 나타내기 위해 실험한 보정 정밀도를 나타낸다.

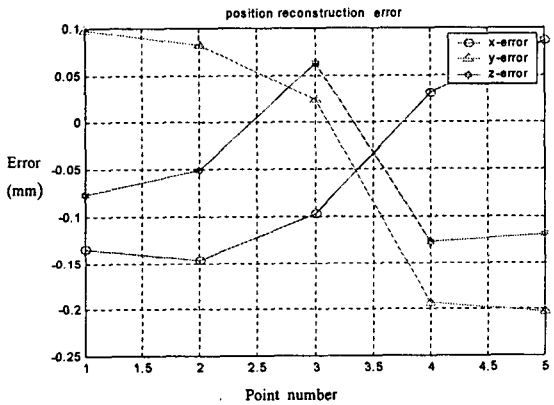


Fig. 11 Calibration error in vertical camera model

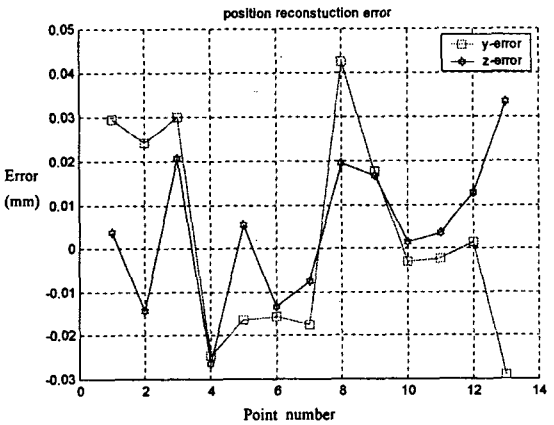


Fig. 12 Calibration error in vertical laser model

Fig. 11의 경우는 카메라 수직모델에 대한 결과로 -0.2~ +0.1mm 오차범위를 가졌고 Fig. 12는 레이저 빔을 수직으로 한 구조에 대한 보정 정밀도로 -0.03~+0.05mm의 오차 범위를 보였다. 위의 결과를 비교하면 레이저빔 수직모델인 경우가 카메라 수직모델 보다 y,z방향의 정밀도 측면에서 50%이상 우수함을 확인 할 수 있다. 하지만 레이저빔 전원을 오프(Off)시키고 2차원 측정용으로 사용할 경우 카메라 수직모델의 경우는 측정 대상 평면과 카메라 광축을 수직으로 유지 가능하므로 수직 평면상의 형상 측정에 있어 카메라경사모델(레이저수직모델) 보다 카메라보정 및 로봇 운용에 있어 장점을 가진다.

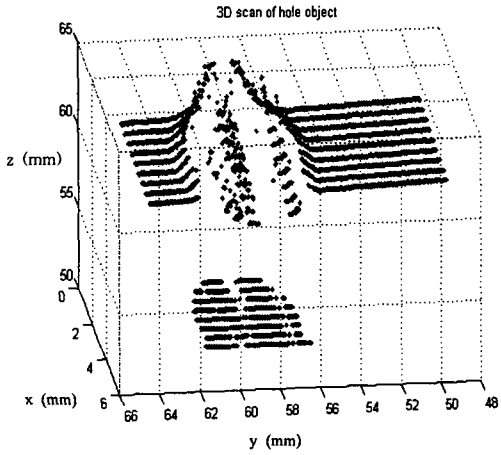


Fig. 13 3D hole scanned data plot

Fig.13은 본 연구에서 개발된 측정 장치를 상기 NACHI 로봇으로 1mm 간격으로 움직이면서 홀을 연속 스캔한 것으로 인-라인 복원 성능을 보인다.

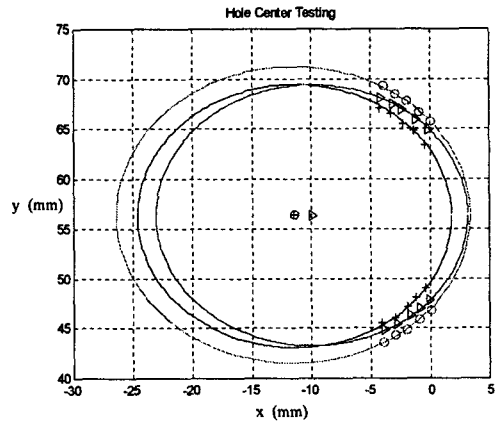
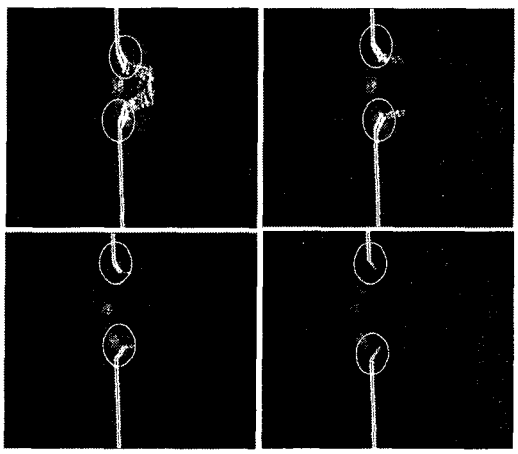


Fig. 14 Hole center inspection result

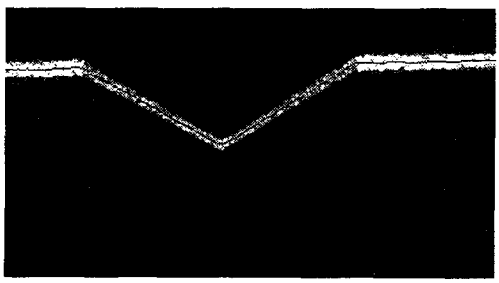
Fig. 14는 공간상에 존재하는 원 찾기를 여러 점 데이터를 이용한 최소 자승의 방법으로 찾은 결과를 나타낸다. Fig. 14에서 원주상의 0 , ▷,+는 3번의 원 측정에서 각각 5번의 레이저 스캔한 데이터에서 찾은 에지점들을 나타내며 중간부분에 나타낸 0 , ▷,+가 찾은 중심점에 대한 결과이다. 에지점 데이터의 측정 횟수에 따라 원의 중심점 결과에 변형이 발생함을 보이고 있다. 이와 같은 현상의 원인으로는 구조화 레이저 빔의 반사특성이 Fig. 15의 O에 나타낸 바와 같이 대상 물체의 에지 면의 형상에 민감하게 변하기 때문인 것으로 판단되며 강인한 알고리즘의 추가 연구가 필요하다.



scale=0.05mm/pixel

Fig. 15 Hole Edge Characteristic

V에지 인식에 의한 각도 및 교점 인식을 위한 실험에서는 Fig. 16에서 보듯이 직선 성분이 4개이므로 각도 구속을 -10에서 10, 15에서 30, 150에서 170, 170에서 180으로 주고 수행을 하였다.



scale=0.05mm/pixel

Fig. 16 Original Image in V Edge Test

Fig.17은 허프 변환 결과를 보이며 Fig. 18은 전체 V에지에서 직선들을 찾아내어 인식한 결과를 나타낸다. 본 연구의 사용한 허프 변환은 기존의 2차원 영상 전 영역(640*480*180)에 대하여 수행하던 작업을 (640*64)회로 줄임으로써 인-라인 검사를 위한 빠른 처리가 가능하게 하였다. 실험결과 전체 V에지 교점에 대한 위치 정밀도는 ±20mm구간에서 ±0.1mm로 나타났지만 반복 정도는 ±0.05mm로 우수한 성능을 보였다.

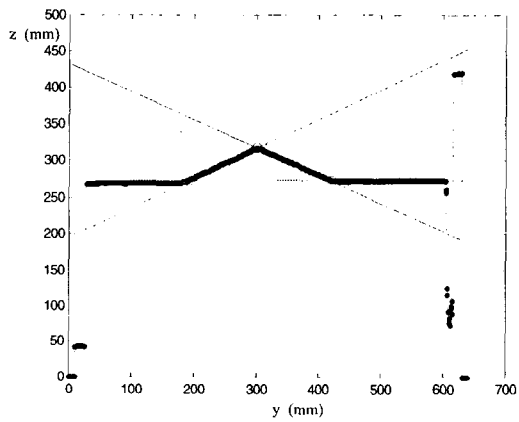


Fig. 17 Constrained Hough Transform Result

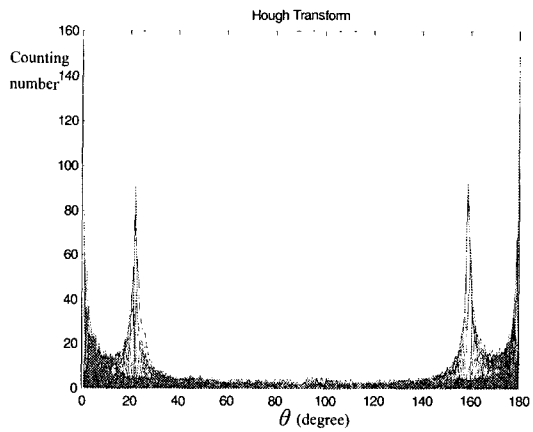


Fig. 18 The Result of V Edge Type Test

6. 결론

본 논문에서는 작업 환경이나 사용 목적의 변경 등 현장의 특성을 고려한 수정 보완이 가능한 PC

기반의 3차원 인-라인 검사용 모듈을 개발 하였다. 비접촉식 3차원 인-라인 검사용 센서는 통상 로봇이나 센서 이송용 장치에 부착되어 사용되는데 이를 위해서 기존의 센서는 기구학적 문제점들을 해결하여야만 했다. 본 시스템은 핸드-아이 적용시의 문제점들을 미리 헤드 설계에 반영함으로서 단순화하였고 외부 로봇이나 장치와 상호 인터페이스 부분도 설계 유연한 3차원 측정 모듈이 가능토록 하였다. 또한 레이저 빔의 세선화시 픽셀단위 오차보다 낮은 성능을 얻기 위해서 강도 2차함수로 적합하여 찾아낼 수 있는 최적화 알고리즘을 제시하였고 작업 대상물의 형상에 구속적으로 적용할 수 있는 허프 변환 알고리즘을 소개하였다. 본 연구에서 개발된 인-라인 검사 모듈로 홀, V 에지 등의 검사에 대하여 성공적인 결과를 얻었다.

향후 과제는 작업 대상물의 표면 재질, 반사도 등에 따른 이미지 처리 부분에 대한 연구가 남아있으며 또한 미세 형상 인식을 위한 고 배율 렌즈의 선정 및 심도 조정에 대한 연구가 지속되어야 한다.

후 기

본 연구는 2005년 울산과학대학 교내연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Altschuler, M., Taboada, J., "Laser electro-optic system for rapid three-dimensional topographic mapping of surfaces," Optical Engineering, Vol.20, pp. 953-961, 1981.
2. Matins, H. A., Birk, J. R., Kelley, R. B., "Camera models based on data from two calibration planes," Computer Graphics and Image Processing, Vol .17, pp. 173-180, 1984.
3. Besl, P.J., Jain, R.C., "Three-Demensional Object Recognition," In: ACM Computing Surveys, Vol. 17, pp. 75-145, 1985.
4. Puskorius, G. V., Feldkamp, L. A., "Global calibration of a robot/vision system," IEEE International Conference, Vol. 4, pp.190-195, 1987.
5. Jacquemod, G., Odet, C., Goutte, R., "Image resolution enhancement using subpixel camera displacement," Signal Processing, Vol. 26 , pp. 139-146, 1992.
6. Seitz, G., Tiziani, H. J., "Resolution limits of active triangulation systems by defocusing," Optical Engineering, Vol. 32, pp. 1374-1383, 1993.
7. Andrew, W. F., "High-level CAD model acquisition from range images," Computer Aided Design, Vol. 29, pp. 321-330, 1997.
8. Kim, J. D., Cho, Y. S., Lee, J. W., "Virtual Space Calibration for Laser Vision Sensor Using Circular Jig," Journal of KSPE, Vol. 20, No. 12, pp. 73-79, 2003.