

레이저 비전 센서를 이용한 고정밀 고속 계측 시스템 개발

최원태, 노영식, 서영수, 홍현주
울산대학교 전기전자정보시스템공학부

A High Speed Measurement System Using the Laser Vision Sensor

Won-Tai Choi, Young-Shick Ro, Young-Su Seo, Hyun-Ju Hong
School of Electric-Electronic Information System Engineering University of Ulsan

Abstract - 본 논문은 레이저 비전 센서를 이용하여 측정 대상의 3차원 위치 정보를 측정하기 위한 방법을 제안하였으며, 이를 이용한 측정 시스템을 개발하였다. 레이저센서는 물체의 평면방정식을 찾기 위해 사용되었으며, 측정된 물체의 평면의 방정식과 Camera를 이용한 물체 위치 정보와 함께 측정 대상의 3차원 정보를 얻는다. 이러한 고정밀 고속 계측을 위한 레이저 모듈 및 소프트웨어를 개발하고 전용 JIG장치에 의하여 측정하던 방식을 Robot과 Laser Vision Sensor를 이용하여 자동으로 측정하는 시스템을 구현하였다.

1. 서 론

우리나라 자동차 산업은 빠른 기술개발, 국산화, 디자인 기술 습득, 가격경쟁력 확보 등으로 세계 5위의 자동차 생산 및 수출국으로 발전하였다. 그러나 이러한 고도의 성장을 이어 세계 최고의 자동차 강국으로 가는 길에는 핵심기술 및 첨단기술력 미흡, 무역불균형에서 오는 통상마찰, 중국의 급성장, 품질관리 미흡 등의 수많은 과제들이 산재해 있다.

그 중에서 특히 자동차 차체 및 부품에 대한 품질관리 기준이 완벽하게 확립되어 있지 않아 수출 차량이 크레임 되어 폐기되는 건수도 빈번하게 발생하고 있으며, 현재의 차체 및 부품 정도측정 시스템은 간이형 검사 Jig를 이용하여 사람에 의한 Sampling 측정방식으로 현실적인 완벽한 품질관리가 이루어지기 어려운 것이 현실이다. 이는 경제적인 측면에서도 매우 불합리한 요소이기에 다차종 다사양 생산 체제에서 고품질의 완성차를 생산하기 위해서는 합리적인 품질관리 활동 기법의 도입이 필수적이다. 따라서 생산 라인에 완성차 및 부품의 정도 측정 시스템을 설치하여 실시간으로 정도를 측정하고 완성차 및 부품의 정도 정보를 Database화 함으로써, 품질문제 발생시 신속한 문제 분석 및 대응이 가능하도록 하여야 한다.

본 시스템은 측정 대상을 전용 JIG 장치에 의하여 측정하던 방식을 Robot과 Laser Vision Sensor를 이용하여 자동으로 측정하는 장비로 기존 측정 방법에 비하여 다양한 ITEM에 대한 대응이 가능하고, 측정 Data를 신속하게 얻을 수 있으며, 측정 Data를 Database화 할 수 있다.

2. 레이저 비전 센서 개발

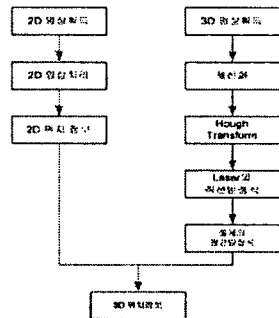


그림 1. 3차원 위치정보를 계산하기 위한 흐름도

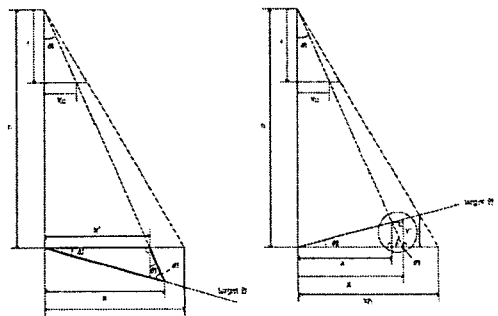
2.1 2D-3D 좌표변환 알고리즘

본 알고리즘은 2D-3D CCD상의 좌표를 Target이 놓인 Plane의 평면방정식을 이용하여 공간상의 좌표로 변환하는 알고리즘이다. 이는 2D-3D CCD에 잡힌 Target의 중심좌표를 공간상의 좌표로 변환하는데 이용된다. 평면 방정식의 기본형과 이에 따른 Normal vector는 다음과 같다.

$$ax + by + cz + d = 0$$

$$N = (a, b, c)$$

Normal Vector로 얻어진 각 축으로의 기울기값(θ)은 CCD면과 평행한 직선을 기준으로 다음과 같이 두 경우로 구분되어 진다.



(a) x의 계수가 음 (b) x의 계수가 양
그림 2. Target면의 기울기 값

2.1.1 Normal Vector의 x의 계수(a or b)가 음일 경우

그림 2.(a)는 Normal vector의 (a or b)가 음일 경우의 그림이다. 여기서,

f: 초점거리

h: 원점과 평면까지의 수직거리

X_h or Y_h : 높이가 h 일때 Camera 영역의 1/2면적

X_c or Y_c : xory의 CCD 좌표값

X' or Y' : xory가 회전각이 없을 경우 공간 좌표값

X or Y : xory가 회전각 θ_2 를 가질 경우 실제 좌표값

이다. 굵은 실선의 부분을 떼어내어 보면 다음과 같다.

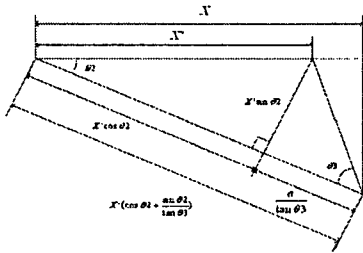


그림 3. X의 실제 공간 좌표값

여기서 구하고자 하는 X는 다음과 같다.

$$X = X' \cos \theta_2 \left(\cos \theta_2 + \frac{\sin \theta_2}{\tan \theta_3} \right) \quad (1)$$

2.1.2 Normal Vector의 x의 계수가 양일 경우

그림 2.(b)는 Normal vector의 (a or b)가 양일 경우의 그림이다. 그림에서 X를 구하기 위해 타원 부분을 확대하면 다음과 같다.

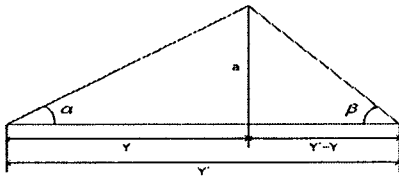


그림 4. 공간 좌표에서의 X와 Y

여기서 $\alpha = \theta_1$ 이고 $\beta = 90^\circ - \theta_3$ 가 됨을 알 수 있다. 최종적인 X를 구하면 다음과 같다.

$$X = \frac{\tan \beta}{\tan \theta_1 + \tan \beta} X' \quad (2)$$

2.2 평면방정식 및 Normal Vector 알고리즘

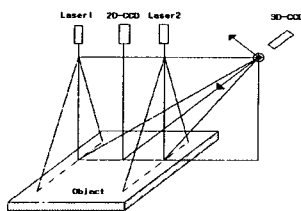


그림 5. Laser 센서 모듈 구성도

2.2.1 Laser Vision Sensor

센서 모듈은 두 개의 Line Laser, 2D Camera, 3D

Camera, 조명장치, 750nm Lens Filter로 구성된다. 이 센서 모듈의 기하학적 구성도는 다음과 같다.

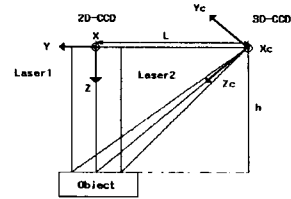


그림 6. Line Laser 모듈의 기하학적 구성도

그림 6에서 보듯이 측정하고자 하는 Object의 수직선상에 두 개의 Line Generator가 Laser Beam을 비추고 있다. 그리고 Camera는 Laser와 같은 높이에서 100mm 떨어진 곳에 위치해 있다

2.2.2 평면방정식 알고리즘

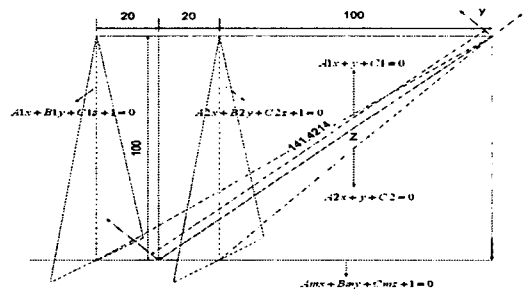


그림 7. 영상면의 평면방정식

어떤 평면 상의 일직선 상에 있지 않은 세 점의 좌표를 이용하여 A,B,C,D를 구할 때

평면 방정식 : $Ax + By + Cz + D = 0$

여기서 (x, y, z)는 평면 상의 점이다. 식을 D로 나누어 다음과 같이 구한다.

$$Ax_k + By_k + Cz_k + D = 0; \quad k = 1, 2, 3$$

1. 평면방정식 적용식

(1) 원점을 지나지 않을 때

$$ax + by + cz + 1 = 0 \quad (3)$$

(2) 원점을 지날 때 (y축이 포함되지 않을 때)

$$\begin{aligned} (A/B)x + y + (C/B)z + 1 &= 0 \\ ax + y + cz &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

2. 물체면 계산

(1) 광원1의 영상면 직선방정식 : $A_1x + y + c_1 = 0$

(2) 광원2의 영상면 직선방정식 : $A_2x + y + c_2 = 0$

(3) 광원1의 평면방정식 : $a_1x + b_1y + c_1z + 1 = 0$

(4) 광원2의 평면방정식 : $a_2x + b_2y + c_2z + 1 = 0$

(5) 물체면의 평면방정식 : $amx + bmy + cmz + 1 = 0$

(6) 광원 1의 영상면 : $A_1x + y + C_1z = 0$

(7) 광원 2의 영상면 : $A_2x + y + C_2z = 0$

$$\begin{bmatrix} 1 & -A_1 & 0 \\ 0 & -C_1 & 1 \\ 1 & -A_2 & 0 \\ 0 & -C_2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} am \\ bm \\ cm \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 - b_1A_1 \\ c_1 - b_1C_1 \\ a_2 - b_2A_2 \\ c_2 - b_2C_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$amx + bmy + cmz + 1 = 0$ 인 Object의 평면방정식을 만든다.

3. 고속 계측 시스템 개발

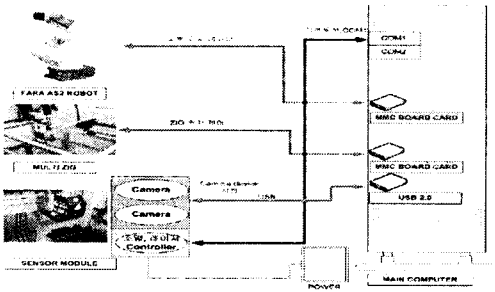


그림 8. 하드웨어 구성도

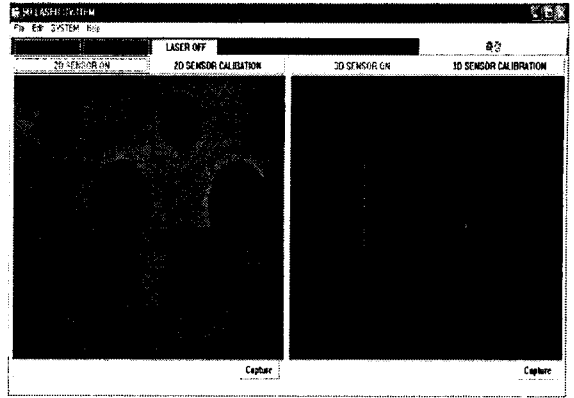


그림 12. Sensor 측정 화면

3.1 Multi Jig 시스템

측정물을 공간상의 좌표지점에서 측정 할 수 있는 시스템이다. 동일 측정 대상이 여러 곳에 있을 경우 그 지점까지 이동하여 대상물이 위치하게 된다. 그림 9는 본문에서 구현한 JIG 시스템이다.

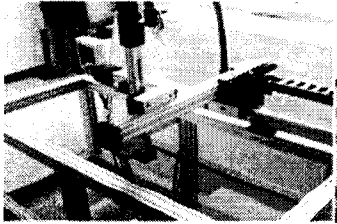


그림 9. Multi Jig 장치

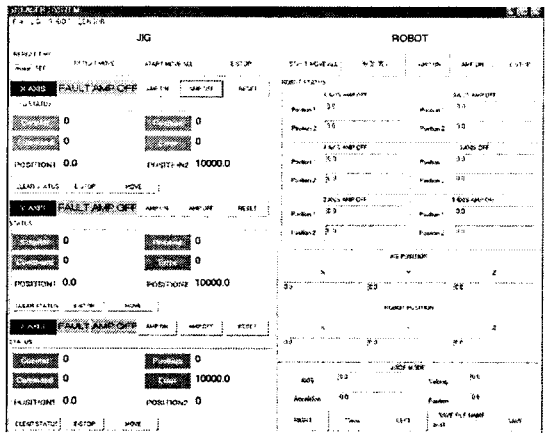


그림 13. 통합 프로그램 화면

3.2 Manipulator 제어 시스템

6축 삼성 FARA AT2를 사용하였으며 Motion Control Board, FARA Motor Drive를 이용해 로봇을 제어 할 수 있게 구성하였다 아래 그림은 로봇을 제어하기 위해 구현한 Robot 제어 시스템이다.

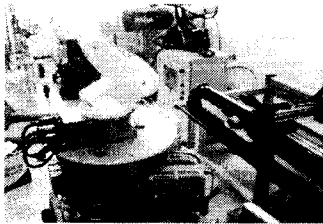


그림 10. 로봇 제어 장치

메인 컴퓨터에 의해 사용자는 Sensor, Jig, Robot을 제어 할 수 있다.

4. 적용 결과 및 실험

3.3 통합 제어 프로그램

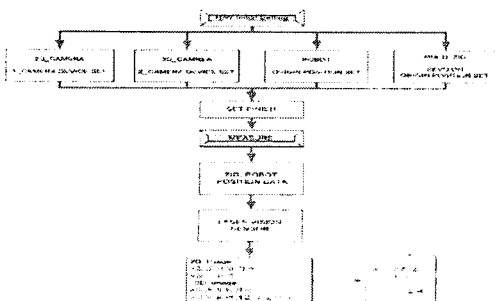


그림 11. 소프트웨어 흐름도

(a) Gray 이미지 (b) 이진화처리 이미지
그림 14 . 2D 영상처리

공간 좌표	X	Y	Z
측정값	27.160	16.320	10.000

표 1. 공간 좌표

센서에서부터 공간 상의 좌표는 표 .1 과 같다.

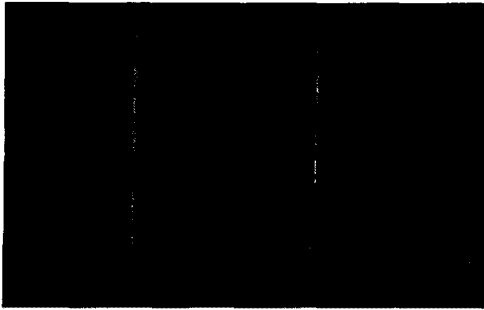


그림 15. 3D 이미지

그림 15는 영상의 외부광을 차단하기 위해 광 필터(750nm)를 장착하여 레이저 영상을 캡처한 사진이다.

Laser	Point1	Point2	평면 방정식
1	120,173	360,171	$0.089x - 0.0125y - 0.097z + 1 =$
2	120,412	360,419	$0.20x - 0.115y - 0.055z + 1 =$

표 2. Line Laser 의 평면 방정식

광원 1의 영상 평면	$-0.7125x + y - 0.1632z = 0$
광원 2의 영상 평면	$-1.745x + y - 0.382z = 0$
물체면의 평면 방정식	$0.124x - 0.09y - 0.238z + 1 =$
기준면과 기울린각(θ)	1.5411

표 3. 영상 평면과 물체의 기울린 각

5. 결 론

본 논문은 기존의 물체를 고정하고 로봇 펜던트를 이용한 프로그램을 해야 했던 숙련 작업들을 사용자가 편리하게 좌표 저장만으로 물체를 측정할 수 있는 시스템을 구축하였다. 아직 더 편리하게 인터페이스를 해야 할 부분과 Database화 시키는 부분을 보완하여야 한다. 그리고 CAD데이터와 비교할 수 있는 프로그램을 만드는 것이 최종단계가 될 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Jihoung Chen, Daoshan Yang & Huicheng Zhou, "Avoiding Scurious Reflections form Shiny Surfaces On a 3D Real-Time Machine Vision Inspection System", Instrumentation and Measurement technology Conference, 1998. IMTC/98. Conference Proceeding. IEEE, Volume: 1, 18-21 May 1998, pages:364 - 368 vol.1
- [2] K.S. Arun, T.S. Huang and S.D. Blostein, "Least-squares fitting of two 3-D point sets", IEEE Trans. Pattern Anal.Machine Intell., vol9, pp.698-700,1987
- [3] S. Singh, and M.C. Leu, "Optimal Trajectory Generation For Manipulators Using Dynamic Programming," ASME J. Dyn. Sys., Meas., Contr., Vol. 109, pp. 88-96, 1987
- [4] 박태형 이병희, 고명삼, "컨베이어 추적을 위한 로봇 매니플레이터의 동작계획." Trans. KIEE, Vol. 38. No. 12, pp.995-1006, 1989.
- [5] 정진화, 윤기호, 정선태, "컨베이어 추적을 위한 로봇 매니플레이터의 최소시간 궤적계획." Proceedings of KITE Summer Conference '94, Vol. 17, No. 1, pp. 913-916, 1994.