

3 차원 곡면 데이터 획득을 위한 멀티 레이저 비전 시스템 개발

이정환† · 권기연* · 이현철** · 도영철** · 최두진* · 박진형* · 김대경** · 박영준*

Development of Multi-Laser Vision System For 3D Surface Scanning

J.H.Lee, K.Y.Kwon, H.C.Lee, D.J.Choi, Y.C.Doe, J.H.Park, D.K.Kim, Y.J.Park

Key Words : Laser Vision Sensor, 3D Scanning System, Image Processing, Reverse-engineering

Abstract

Various scanning systems have been studied in many industrial areas to acquire a range data or to reconstruct an explicit 3D model. Currently optical technology has been used widely by virtue of non-contactness and high-accuracy. In this paper, we describe a 3D laser scanning system developed to reconstruct the 3D surface of a large-scale object such as a curved-plate of ship-hull. Our scanning system comprises of 4ch-parallel laser vision modules using a triangulation technique. For multi laser vision, calibration method based on least square technique is applied. In global scanning, an effective method without solving difficulty of matching problem among the scanning results of each camera is presented. Also minimal image processing algorithm and robot-based calibration technique are applied. A prototype had been implemented for testing.

기호설명

Multi-LVS : Multi-Laser Vision System(멀티 레이저 비전 시스템)

1. 서 론

산업제조 현장에서는 보다 품질이 좋은 제품을 만들어 내기 위해 다양한 3 차원 계측장비를 사용하고 있다. 특히, 대형 선박이나 해양 구조물을 제작하고 있는 조선산업에 있어 time of flight 와 같은 다양한 원리에 기반한 상용화된 3 차원 계측장비가 실제 선박 블럭생산, 조립 공정 등에 사용되고 있다.[1-5] 그러나, 이들 계측장비는 계측 포인트 수가 상대적으로 적은 특정 응용분야에 국한하여 사용되고 있는 실정이다. 최근, 선박 블럭 외판의 자동 가공 생산 및 품질 확보를 위해 3

차원 곡부재에 대한 계측장비의 필요성이 대두되었고, 이에 대한 상용화된 장비를 활용하고자 했으나 대부분의 계측장비들이 생산현장 적용관점에서 현실성이 떨어지는 것으로 판단되었다. 특히, 계측 대상물 특성에 있어, 큰 사이즈와 다양한 3D 곡면형상 (內/外종곡)으로 인하여, 일반적으로 대형 계측분야에서 사용하는 광파기와 같은 point 측정 방식으로는 수동 계측에 따른 불편함, 계측시간이 오래 걸리는 문제 등으로 실제 현장 적용이 어려운 실정이다.

따라서, 대형 곡판부재의 삼차원 측정을 위하여, Time of Flight 방식 대비 단위 시간당 획득 데이터 량이 많은 광 삼각법 기반 range sensor 인 Multi Laser Vision System 을 제안하고자 한다. 개발된 시스템은 요구되는 계측 정밀도 대비 측정 범위 확보를 위하여, 레이저 비전 모듈을 폭 방향 추가 배치하는 형식으로 설계되었고, 카메라 간 대응문제를 어려움 없이 해결할 수 있는 알고리즘을 활용하였다.

2,3 장에서는 설계 및 구성 그리고 영상처리 알고리즘을 보여주고, 4,5 장에서는 캘리브레이션 및 계측결과를 보인다.

† 삼성중공업 메카트로닉스 센터

E-mail : jh9336.lee@samsung.com

TEL : (042)865-4388 FAX : (055)630-7673

* 삼성중공업 메카트로닉스 센터

** 삼성중공업 자동화 연구센터



Fig. 1 Mega-Block composed of several curved plates

2. 시스템 설계 및 구성

2.1 시스템 설계

대형 면적을 측정하기 위해서, Gantry 기반 시스템으로 제작되었으며, 폭방향의 측정범위를 늘리기 위해 총 4 대의 레이저 비전 모듈을 평행하게 추가/사용하여 제작되었다. 이러한 방식은 측정 대상물이 상대적으로 커지면, 단일 레이저 비전 모듈을 추가하는 것으로 대형 측정장비를 제작할 수 있는 장점을 갖는다.

단일 레이저 비전 시스템의 측정원리는 optical-triangulation 이 적용되었으며, 일정 과장대를 갖는 레이저 다이오드와 분해능 카메라 그리고 광학 필터류로 구성된다. 일반적으로 측정 분해능과 측정범위 사이의 상관관계에 직접적인 영향을 주는 요소는 분리각이다. 본 센서에서는 레이저 발진기와 카메라 사이의 분리각(separation angle)을 오프라인 실험을 통해 30[deg]로 설정 하였고, Stand-Off Distance 는 1,800mm 를 기준으로 설정하였다. 이 경우 Multi-LVS 의 측정 가능 영역은 폭과 높이는 각각 2,700mm, 500mm 로 설계되었다.

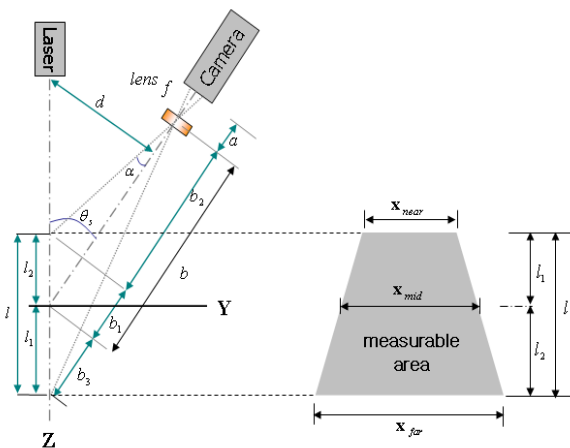


Fig. 2 Design of laser vision sensor

여기서 f 는 focal-length, θ_s 는 separation-angle, b 는 Stand-off Distance, d 는 카메라와 다이오드간 거리를 나타낸다. 또한, α 와 β 는 각각 카메라의 수평/수직의 뷰잉각도(viewing angle)를 나타낸다.

Fig.2 에서, Z 축과 Y 축에 대한 평균 분해능은 각각 아래 식을 통해 계산할 수 있다.

$$(R)_V = \frac{l}{N_V} = \frac{2b \tan \alpha \tan \theta}{\cos \theta (\tan \theta^2 + \tan \alpha^2) N_V} \quad (1)$$

$$(R_{near})_H = \frac{x_1}{N_H} = 2b \frac{\tan \theta \tan \beta}{N_H (\tan \theta + \tan \alpha)} \quad (2)$$

$$(R_{mid})_H = \frac{x_2}{N_H} = \frac{2b \tan(\beta)}{N_H} \quad (3)$$

$$(R_{far})_H = \frac{x_3}{N_H} = 2b \frac{\tan \theta \tan \beta}{N_H (\tan \theta - \tan \alpha)} \quad (4)$$

여기서, N_V 와 N_H 는 각각 CCD 센서의 수직/수평 픽셀수를 나타낸다. 식(1)~식(4)를 통해 단일 레이저 비전센서의 분해능과 센서의 스펙을 결정할 수 있다.

2.2 하드웨어 구성

2.1 절에서 설계된 단일 LVS 모듈을 기반으로 여러대의 LVS 모듈을 parallel 방식으로 고정후 대형 겐트리 장비 폭 방향 하단 축에 장착되도록 구성되었다.

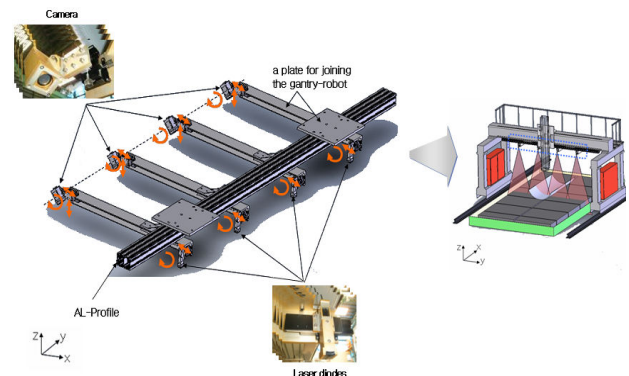


Fig. 3 Composition of Multi-Laser Vision System

따라서, 3 차원 측정 가능한 영역은 폭 방향으로 추가되는 레이저 비전 센서 모듈 수에 의존하게 되고, 측정 가능한 길이방향은 겐트리 장비가

이동할 수 있는 레일길이에 따라 달라지게 되는 방식이다.

개발된 Proto-type 장비는 선박 블럭의 곡판측정 전용이므로 계측가능한 길이와 폭 그리고 높이를 각각 5m, 4m 그리고 0.5m 를 기준으로 제작되었다.

3. 영상처리

멀티 레이저 비전 계측 시스템에서의 영상처리는 총 4 대가 사용되므로 이에 대한 동시 영상 캡처가 가능해야하고, 겐트리 이동에 따른 정확한 동기화 그리고 빠른 영상처리 알고리즘이 선행되어야 한다. 먼저, 겐트리 제어시스템의 트리거 신호와 함께 4 개의 영상이 동시에 캡처되고, 이때의 레일 상의 겐트리 위치 값도 통신모듈을 통해 전송받는다. 이후 레이저 중심위치 데이터를 각각의 영상에서 찾게 되고, 카메라 영상 좌표계 기준으로 추출된 레이저 중심위치 데이터들은 이후 이전의 캘리브레이션 결과값의 계산과정을 통해, 실차원 데이터로 변환될 수 있으며, Fig.5 와 같이 각 카메라가 커버되는 영역만큼씩 결과값을 추출하는 data merge 단계를 거치게 된다. 상기 데이터에는 다양한 노이즈 데이터가 포함될 수 있어 이후 노이즈 데이터 제거 알고리즘을 거친후 순수한 곡면 정보 데이터를 얻을 수 있다.

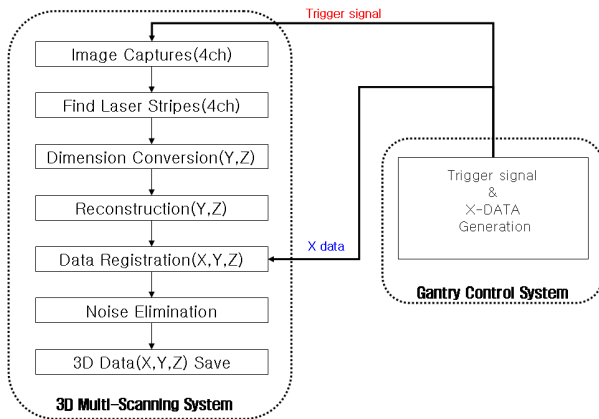


Fig. 4 Flow chart of Image Processing

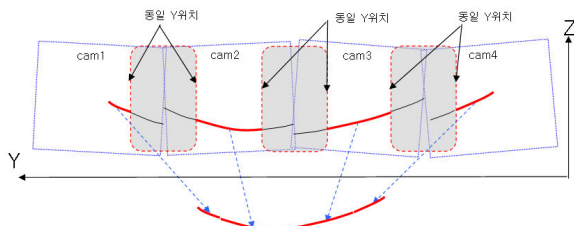


Fig. 5 3D-Data Registration Algorithm

4. 캘리브레이션

4.1 다이오드 얼라인

먼저 멀티 레이저 비전 시스템 특성상 일직선을 이루기 위한 레이저 다이오드 조정이 정밀하게 셋팅되어야 한다. 이를 위해 X-STAGE 를 포함한 총 4 자유도의 얼라인 조정장치가 구축되어 총 4 대의 다이오드를 겐트리 로봇의 X,Y,Z 축 기준으로 정밀하게 얼라인 할 수 있었다.

4.2 캘리브레이션 방법

캘리브레이션 과정은 먼저, 겐트리 로봇 끝단부에 특정 지그를 부착한 뒤 이를 Y,Z 축으로 이동시키면서 순차적으로 진행된다. 이때, 캘리브레이션 위치의 겐트리 좌표값과 카메라의 영상좌표를 각각 획득하여 캘리브레이션 작업을 수행할 수 있다. 이러한 캘리브레이션 방법은 계측장비를 오프라인 캘리브레이션 작업없이, 추가적인 좌표계 변환과정을 거치지 않게 되므로 신속하게 캘리브레이션 작업을 수행할 수 있다.

2 차원 영상 데이터로부터 용접선의 3 차원정보를 산출하기 위해서는 센서의 캘리브레이션 과정이 필수적으로 요구된다. 캘리브레이션의 결과값인 사영행렬 (Projection matrix)은 다음과 같은 과정으로 계산될 수 있다.[3]

기지의 패턴을 이용한 카메라 캘리브레이션 식에서 카메라와 기지의 패턴 사이는 다음의 관계가 성립한다.

$$\begin{aligned} u * p_{11} + v * p_{12} + p_{13} - X(u * p_{41} + v * p_{42} + p_{43}) &= 0 \\ u * p_{21} + v * p_{22} + p_{23} - Y(u * p_{41} + v * p_{42} + p_{43}) &= 0 \\ u * p_{31} + v * p_{32} + p_{33} - Y(u * p_{41} + v * p_{42} + p_{43}) &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

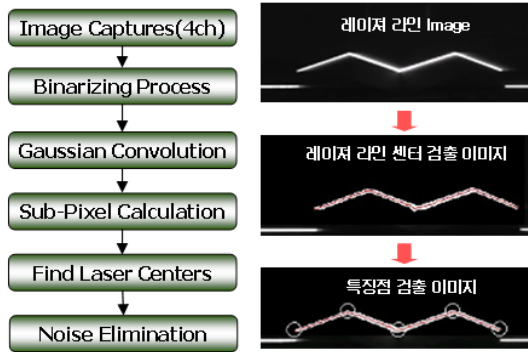
$$\begin{bmatrix} p_{11} \\ p_{12} \\ p_{13} \\ p_{21} \\ p_{22} \\ p_{23} \\ p_{31} \\ p_{32} \\ p_{33} \\ p_{41} \\ p_{42} \\ p_{43} \end{bmatrix} = 0 \quad (6)$$

n 개의 점이 있다면 행렬식을 얻을 수 있다[7].

$$\therefore \mathbf{BP} = \mathbf{0} \quad (7)$$

여기서, 는 $3n \times 12$ 행렬이고, \mathbf{P} 는 12×1 행렬이다. \mathbf{P} 는 11 개의 내부변수와 외부변수로 구성되지만 만약 n 개의 3 차원 점이 동일평면에 놓이지 않는다면, 일반적으로 \mathbf{B} 의 랭크는 11 이다

따라서, \mathbf{P} 는 $\mathbf{B}^T\mathbf{B}$ 의 최소 고유값에 대응되는 고유벡터로서 구할 수 있으며 이때, $\|\mathbf{p}_{34}\|=1$ 이 된다.



(a) Detection of Calibration Points



b) Calibration points

Fig. 6 Coplanar Calibration data

상기 그림 a)에서는 캘리브레이션 위치에서 캡처된 영상을 통해 특징점을 추출하는 영상처리 단계를 나타낸다.

Fig.6.은 겐트리 로봇의 끝단에 설치된 캘리브레이션 지그를 나타낸다. 미리 결정된 캘리브레이션의 위치와 순서를 통해서, 월드좌표계(3D data) 데이터를 확보할 수 있으며, 각각의 캘리브레이션 위치에서 캡처된 영상내에서 지그에 대한 특징 데이터(2D data)를 각각 추출할 수 있다. 따라서, 상기 두 데이터 집합을 통해 이차원 식 (11)을 계산하게 되면 최종 캘리브레이션 결과값을 각 카메라에 대해 얻을 수 있다.

5. 계측 결과

계측 시스템에 대한 S/W 개발은 VC++을 이용하였으며, 겐트리 로봇의 레일방향으로의 트리거

신호와 이와 동기화 된 데이터 라이브러리를 통해 신뢰성 있는 겐트리 X 축상의 데이터를 얻을 수 있었다. 또한, 멀티 레이저 비전 시스템에서는 레일 사이의 폭방향인 Y 축 데이터와 높이방향인 Z 축 상의 계측 데이터를 매 프레임별 저장하여, 최종적으로 3 차원 RAW 데이터를 획득 할 수 있게 된다.

CMM 장비를 활용한 계측 데이터와 Multi-LVS 로 측정된 데이터 사이의 오차는 최대 1.75mm 수준임을 확인 할 수 있었다.

자체 제작된 곡면비교 S/W 모듈을 이용하여, 3 차원 CAD 파일과 실제 계측한 결과를 비교분석한 결과 오차 정도가 최대 30mm 수준임을 아래 그림과 같이 확인 할 수 있었다.

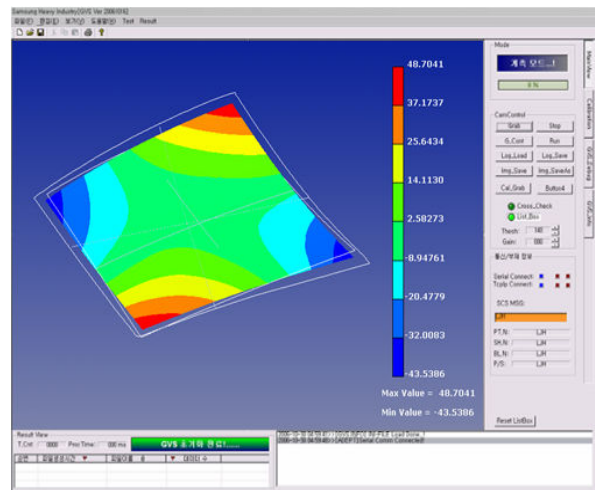


Fig. 7 The Developed Program for Scanning and Modeling

6. 결론

본 논문에서는 3차원 곡면 데이터 획득을 위한 멀티 레이저 비전 시스템을 제안하였다. 개발된 Proto-type 시스템을 통해 0.3~1.5mm수준의 정밀한 range data를 획득 할 수 있었고, 2m*3m 기준 계측시간은 1분 10여초 정도로 신속하게 계측 할 수 있음을 계측 시스템 작동결과를 통해 확인하였다. 또한, 겐트리 로봇 기반 자동 캘리브레이션 작업을 수행하는데 10분 이내 수준이 소요됨을 확인 할 수 있었다.

이러한 결과를 바탕으로 본 개발 시스템은 열간 가공 자동화 분야, 곡단판 품질 확보를 위한 계측 분야 나아가, 3차원 곡면을 갖는 물체 측정 분야등에 충분히 적용 가능함을 보였다.

향후 강건한 모델링 및 노이즈 데이터 제거 알고리즘 보완작업을 통해 최상의 3차원 곡판 생산 가공 자동화 시스템 완성 및 역설계를 통한 선박 품질 확보를 이루는데, 큰 기여를 할 수 있을 것이라 판단된다.

본 시스템은 현재 개발을 완료하고 열간 곡가공 로봇 시스템의 계측 시스템으로 활용되고 있으며, 향후 현장 적용을 위한 다양한 3 차원 곡판 계측 테스트가 진행 중에 있다.

후 기

본 논문은 산업자원부의 지역산업기술개발과제 (10024272)의 일부로 수행된 것을 정리한 것으로 위 기관의 후원에 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) Active and passive range sensing for robotics
Hebert, M. Robotics and Automation, 2000. Proceedings. ICRA. IEEE International Conference on Vol 1, Issue , 2000 Page(s):102 - 110
- (2) Blais.F, Beraldin.J.-A, El-Hakim S, Godin G ,
Proceeding of 6th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques. New Development in 3D Laser Scanners: From Static to Dynamic Multi-Modal Systems, Zurich, Switzerland. September 22-25, 2003.
- (3) Forsyth,Ponce, Computer Vision: A modern Approach, Prentice Hall, 2003, pp.467~469
- (4) <http://www.sokkia.co.kr/product/>
- (5) J.H.Kim, C.D.Yoo and J.O.Kim,J.S.Sin and S.K.Kim , Implementation of Automatic Teaching System for Subassembly Process in Shipbuilding, Journal of KWS, Vol. 14, No.2,pp 130~139(1996)
- (6) R.C.Gonzalez and R.E.Woods, Digital Image Processing. Reading, MA:Addison-Wesley, 1993, pp. 414-429
- (7) XU Gang, TSUJI Saburo, Book, 3-JIGEN VISION, pp105~111,translated by TaeYong Co.,Ltd, Tokyo(2000)