

블록 보간법을 이용한 산업용 로봇의 3차원 위치 보정기법

A 3-D Position Compensation Method of Industrial Robot Using Block Interpolation

류항기, 이재국*, 우경행, 최원호

(Hang-Ki Ryu, Jae-Kook Lee, Kyung-Hang Woo, and Won-Ho Choi)

Abstract : This paper proposes a self-calibration method of robots those are used in industrial assembly lines. The proposed method is a position compensation using laser sensor and vision camera. Because the laser sensor is cross type laser sensor which can scan a horizontal and vertical line, it is efficient way to detect a feature of vehicle and winding shape of vehicle's body. For position compensation of 3-Dimensional axis, we applied block interpolation method. For selecting feature point, pattern matching method is used and 3-D position is selected by Euclidean distance mapping between 462 feature values and evaluated feature point. In order to evaluate the proposed algorithm, experiments are performed in real industrial vehicle assembly line. In results, robot's working point can be displayed 3-D points. These points are used to diagnosis error of position and reselecting working point.

Keywords : auto calibration, block interpolation, robot position compensation, laser sensor, camera vision

I. 서론

현대 제조 산업 공정 시스템은 그 규모가 크고 복잡하며, 많은 공정이 인력에 의한 작업 의존도보다 공정 로봇에 의한 의존도가 높아지면서 개별 로봇 시스템의 신뢰성과 안전성의 유지에 대한 관심이 고조되고 있다. 로봇에 의한 작업은 중공업 및 항공 산업과 같은 대형 산업 설비 시설 뿐만 아니라 반도체 산업과 같은 소형 산업 설비시설 등에 폭넓게 사용 되며, 특히 자동차 제조 공정의 경우 환경에서의 소음, 계절에 따른 온도 차이, 그리고 조립물체의 무게 등 여러 가지 요인으로 인하여 작업 인력에 의한 계속적 단순 반복 작업 불가능하므로 이로 인하여 로봇에 의한 의존도가 다른 산업현장에서 보다 높다 할 수 있다.

로봇에 의한 작업은 크게 작업 물체의 위치와 함께 작업 부위의 로봇의 위치 제어에 따라 신뢰성 및 안정성에 크게 영향을 받게 된다. 본 논문에서는 자동차 차체라인의 용접 부위의 실러 도포를 위하여 로봇의 툴 위치에 비전 카메라와 함께 레이저 센서를 함께 부착하여 자동차의 차종에 따라 차체의 특정 부위에 대한 특징점을 결정하고 거리에 따른 정확한 정보를 로봇에 전달하여 작업 대상 차체의 회전 및 거리에 대한 변화에 따라 작업 할 수 있도록 하였다.

스테레오 카메라를 이용하여 각 카메라 영상의 차이를 기준으로 하여 회전 및 거리 정보를 추출하여 위치 추정을 하는 방법은 동적 스테레오 비전 시스템에 적용되며 이를 응용하여 산업 설비에 적용하는 방법이 있다. 로봇의 자세 및 위치를 보정하는 방법으로는 레이저 다이오드와 비전 카메라를 이용하여 레이저의 곡형 변화를 실시간으로 레이저 센

서의 곡형의 변화를 비전 카메라를 통해 얻어진 영상 정보를 이용하여 용접 상태 및 용접 로봇의 위치를 보정하는 방법이 사용된다[5]. 물체의 특징점을 추출하고 각 물체의 위치 변화에 따라 작업 부위를 설정하는 방법으로 로봇의 위치를 보정하기 위하여 스테레오 카메라를 이용하여 영상을 실시간으로 받아들여 퍼지이론 및 확률 이론 등을 적용하여 영상처리 시간을 단축하여 로봇의 위치보정을 하는 방법 그리고 상대 오차 및 투영에 의한 방법 등이 제안되고 있다[1,2,4,6].

거리에 따른 로봇의 교정 방법은 작업 위치를 미리 로봇 티칭 프로그램을 이용하여 작업 위치의 절대 좌표를 로봇의 콘트롤러를 통하여 다운로드 하여 레이저 센서 또는 비전 카메라를 이용하여 2차원 형태의 X축 및 Y축의 오차 변위 값을 통신 제어를 통해 위치를 보정하는 방법을 사용하고 있다 [3,5]. 그러나 이러한 경우 다수의 로봇 제어의 경우 작업 위치를 개별 로봇 별로 티칭 작업을 거쳐야 하며, 로봇 간의 간섭 및 각 축의 포즈 결정에 상당한 시간 및 작업 인원이 필요하게 되는 문제점을 가지고 있다. 또한 자동차 차종 별로 로봇 작업이 이루어 지는 경우 수 배의 시간 및 인력 자원이 필요하게 된다.

본 논문은 자동차 차체의 실러 도포 로봇 작업에 있어 레이저 센서 및 비전 카메라를 이용하여 자동차 차체의 3차원 위치 변위를 블록 보간법에 의하여 차종에 따라 미리 개별 거리 및 위치데이터를 설정하여 3차원로봇의 위치를 보정하는 방법에 관한 것이다.

본 논문은 다음과 같은 구성으로 되어있다. 2장에서는 레이저 센서 및 비전 카메라의 측정 시스템에 대하여 기술하였으며, 3장에서는 본 논문에서 자동교정을 위해 사용된 블록 보간법 및 레이저 센서의 스캔 방법에 대하여 기술하였으며, 4장에서는 실제 적용된 사례 및 실험 결과를 분석하였다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론 및 향후 과제에 대하여 기술하였다.

II. 레이저 센서 및 비전카메라의 측정시스템

자동차 차체라인의 차체 하부 용접 부위의 실러 도포를 위

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 6. 22., 채택확정 : 2006. 11. 29.

류항기, 이재국, 우경행, 최원호 : 울산대학교 전기전자정보시스템 공학부

(atmc@atmc.co.kr/alf037@hanmail.net/whk2000@hanafos.com/whchoi@mailululsan.ac.kr)

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

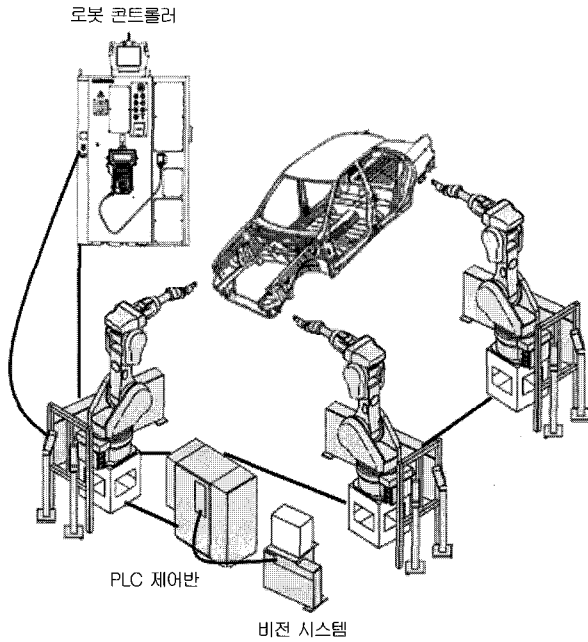


그림 1. 비전 및 레이저 설비 시스템.
Fig. 1. Equipment system of vision and laser.

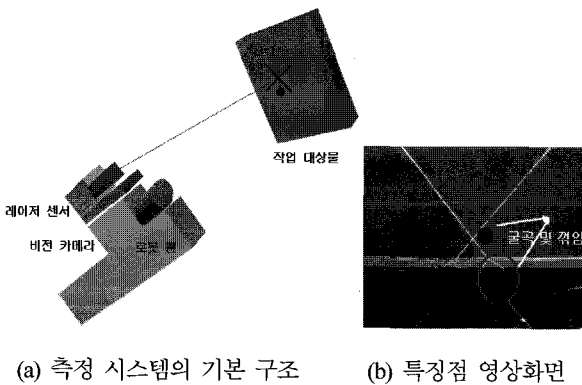


그림 2. 레이저 센서 및 비전 카메라 측정시스템 구조.
Fig. 2. Schematic of laser sensor and vision camera.

한 산업 설비의 구조는 그림 1과 같은 다수의 작업 로봇과 작업 대상에 대한 차체 바디와 거리 측정을 위한 레이저 센서와 차체의 특징점 추출을 위한 비전 카메라의 사용, 그리고 로봇과 비전 및 레이저 시스템을 통신 제어하는 PLC 부분으로 구성되어 있다. 거리 측정을 위해 사용된 레이저 센서는 사용거리에 따라 빔의 조절이 가능한 크로스 레이저 빔 타입을 사용하였으며 비전 카메라의 경우 Sony사의 산업용 카메라를 사용하였다.

그림 2는 크로스 레이저 센서 및 비전 카메라로 이루어진 작업 차체와 차체내의 특징점을 보여주는 측정시스템으로 거리 측정 및 작업 차체 면의 굴곡 등의 위치와 비전 카메라를 이용한 특징점의 검출 원리를 이용하여 3차원 정보를 얻는다. 그림 2(b)에서 보듯이 특징점 및 굴곡에 대하여 (+)형 레이저 센서는 사라지거나 꺾인 영상을 얻는다. 센서의 교차점 거리를 측정한다.

구현된 측정 시스템의 경우 측정범위 및 특징점의 영상 변

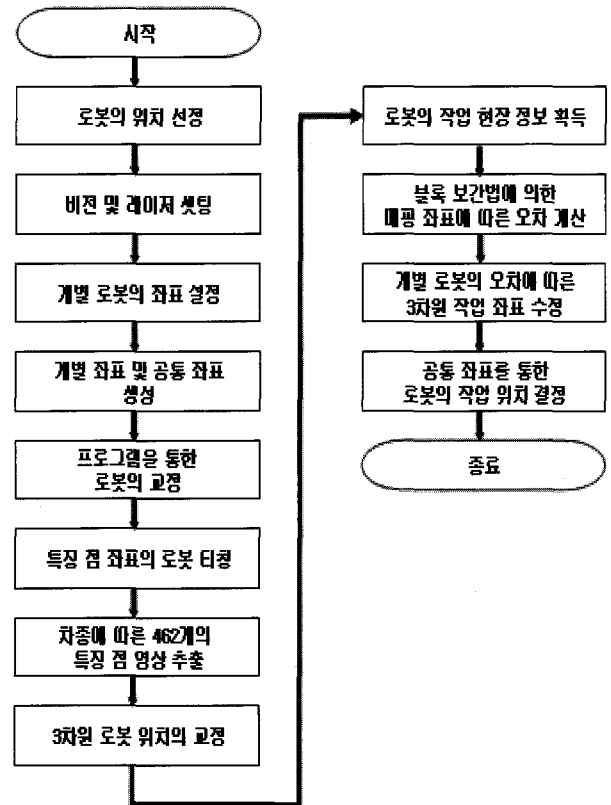


그림 3. 로봇의 3차원 위치 교정을 위한 전체 순서도.
Fig. 3. The flow chart for 3-D position compensation of robot.

화를 최소화 하기 위해 작업 환경의 조건에 맞게 실험적으로 작업 차체와 레이저 센서와의 거리를 220mm로 일정하게 하여 측정하였다.

그림 3은 로봇의 3차원 위치 교정을 위한 전체 순서를 나타내었다.

먼저 로봇의 위치를 각 로봇의 간섭이 없도록 설정하고 로봇의 톨 끝에 레이저 센서 및 비전 카메라를 설치하였다. 로봇의 좌표를 통신을 통해 획득하며 이를 기준으로 실제 작업 차체의 형태 및 교정 좌표를 확인 할 수 있는 공통 유지 좌표를 생성하였다.

작업 차체에 대하여 영상 및 거리를 획득할 수 있도록 로봇의 톨 포즈를 설정한 후 기준이 될 수 있는 특징점의 좌표를 로봇 티칭을 통하여 거리 및 특징점 영상을 각각 X축으로는 20mm Y축과 Z축으로는 10mm 오차를 가지는 462개를 획득한다. 블록의 수는 차체 도포를 위한 공정 사이클 타임과 각 축의 허용 오차를 고려하여 실험을 통해 결정하였다. 블록의 수가 많아 질 경우 보다 정확한 위치를 결정할 수 있으나 교정을 위한 처리시간이 늘어나 전체 공정에 영향을 주게 된다. 자동 교정을 위해 이러한 실험적 방법을 통해 블록 수를 결정하고 462개의 블록으로 나뉘어진 좌표들과 유클리드 거리 계산으로 최소거리를 가지는 블록을 선택하고 선택된 블록에 공간상의 8개의 주변 블록 좌표를 기준으로 1mm 오차를 가지도록 공간을 블록 형태로 나누었다.

이러한 방법으로 결정된 로봇의 좌표를 공통 좌표에 적용하여 최종 로봇의 작업위치를 결정하도록 하였다.

III.3 차원 위치 보정을 위한 블록 보간법 및 레이저 스캔

본 논문에서는 로봇의 3차원 위치 보정을 위하여 (+)형 레이저 센서와 비전 카메라를 이용하여 로봇의 툴 끝에 장착하여 작업 차체의 굴곡 면의 형태 및 기울어짐 정도 그리고 특징점의 형태에 따라 크로스 타입의 레이저 센서를 45도 기울여 획득하였으며 작업 차체의 특징점을 비전 카메라를 이용하여 비전 카메라의 해상도에 맞추어 3차원 형태의 블록 보간법을 이용하여 462개의 데이터를 추출하였다. 블록 내 대표값으로 설정된 점들은 로봇의 X축과 Y축으로 최대 50mm에서, 최소 -50mm로 좌표를 설정하고 Z축으로는 최대 30mm와 최소 -30mm로 변경한다. 블록 보간법을 적용하기 위하여 레이저 및 비전 카메라를 이용하여 특징 점에 대한 각 세 지점의 기준점을 설정 한 후 X축으로는 20mm로 증감하여 구간을 나누었으며, Y축과 Z축은 각각 10mm 단위로 증감하여 구간을 나누어 특징 점들의 대표 값들을 462개 획득하였다. 또한 각 차종에 따라 특징점 및 차체의 형태가 다르기 때문에 각각 차종에 따른 462개의 특징 대표 값을 각각 비전 시스템에 저장하였다.

로봇의 자동 위치 교정을 위하여 기준이 되는 462개의 3차원 좌표와 실제 작업 시 획득된 특징점 및 거리 좌표에 대한 좌표를 (1)을 이용하여 주위 8개 블록 중 최소거리를 가지는 블록을 선택하도록 한다.

$$D_i = \sqrt{(x_i - \mu_x)^2 + (y_i - \mu_y)^2 + (z_i - \mu_z)^2} \quad (1)$$

여기서 x_i, y_i, z_i 는 주변 8개 블록의 좌표이고, μ_x, μ_y, μ_z 는 측정된 특징점의 좌표이다.

블록 보간법이란 그림 4에서 나타낸 바와 같이 각 기준점들을 기준으로 하여 그 사이 값들을 일정 간격으로 등분하여 가상의 값을 갖도록 하는 것으로 (2)와 같이 등간격으로 나누어 좌표를 설정하였다.

임의의 두 지점 x_n, x_1 이 주어질 경우,

$$k = \frac{(x_n - x_1)}{h} \quad (2)$$

여기서 k는 나누어지는 구간의 경계지점을 나타내며, h는 구간의 개수를 나타낸다.

각 블록 내의 데이터 분포를 하나의 대표값으로 설정하는 방법으로 위치 보정을 위하여 3차원 간격이 각각 10mm 간격의 블록을 설정하였다. 먼저 측정된 위치 데이터와 블록 내 최소 거리를 가지는 블록을 선택하게 된다. 선택된 블록 내 국부 영역을 다시 (2)를 이용하여 그 간격이 1mm단위의 블록으로 재 분할 하여 (1)을 이용하여 가장 거리가 가까운 특징점을 추출하게 된다[8].

위의 블록 보간법의 적용 방법으로 각 특징점들을 추출하였다. 레이저 센서와 비전 카메라의 위치는 작업 환경 및 조명등을 고려하여 로봇의 툴에 장착하였다. 비전 카메라의 경우 특징점 변화가 많은 Y축 방향에 대해서 11개로 분할 하였으며 X축과 Z축은 각각 6개와 7개의 블록으로 분할하였으며 카메라 해상도인 760x570에 대하여 462개로 분할한 것을 나타내었다.

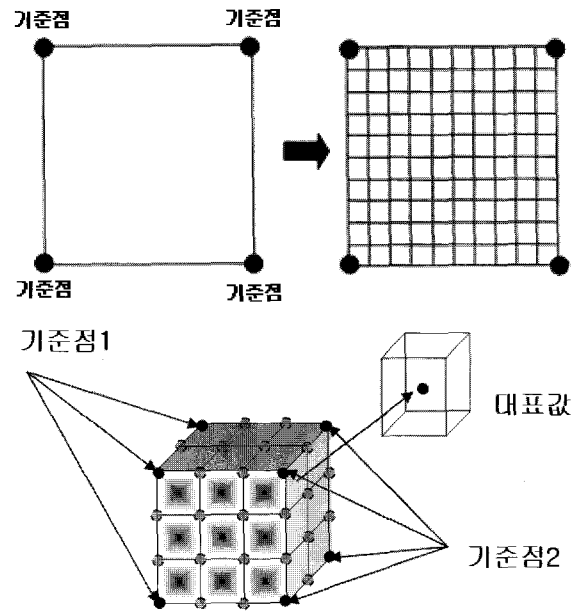
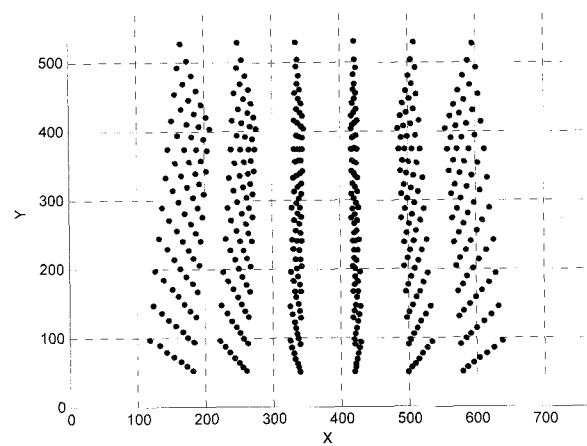
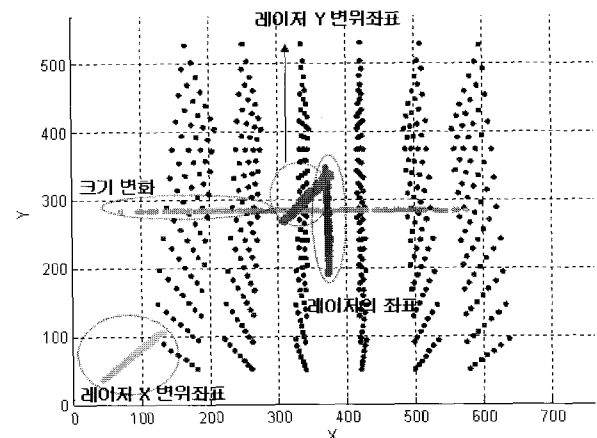


그림 4. 3차원 블록 보간법. Fig. 4. 3 Dimensional block interpolation.



(a) 비전 카메라를 이용하여 3차원 블록분할



(b) 레이저 센서의 데이터 변화 및 비전 카메라 3차원 블록 분할

그림 5. 3차원 블록 분할 데이터. Fig. 5. 3 Dimensional block data.

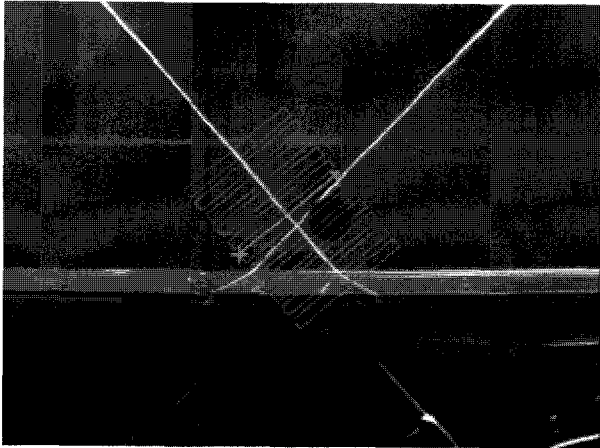


그림 6. 레이저 센서의 검출 방법.
Fig. 6. Scan method of laser sensor.

그림 5(a)와 (b) 경우 블록 보간법을 적용한 특징점들의 위치와 레이저 센서의 크기 변화와 좌표 변화에 따른 데이터의 변화를 나타내었다.

좌측 하단의 경우 레이저 센서의 X 변위 값을 나타내었고, 중앙의 대각선 형태의 경우 레이저센서의 Y축 변위 좌표를 나타내었다. 레이저의 변위 좌표는 실제 영상에서 레이저의 크로스 타입의 끝 지점의 데이터 변화를 나타낸 것으로 이를 이용하여 특징점의 위치와 레이저 센서의 중앙 점의 차이를 구분 할 수 있으며, 레이저 센서의 크기 변화의 경우와 레이저의 좌표 변화에 따라 특징 점의 위치 추정을 위하여 사용하였다.

실제 특징점의 크기 변화 경우 로봇과 작업 위치의 거리에 따른 Z축에 영향을 받는 것으로서 차량의 뒤틀림은 그 움직임의 폭이 대상 차체의 상하 움직임에 비해 변화폭이 작기 때문에 좌표 보정에 있어 상관도를 높이기 위해 실험적 일정 비율로 크기를 변화 시켜 적용하였다. 차체와의 거리는 차체의 굴곡 면에 따라 레이저 센서가 꺾이거나 사라지는 부분을 보정하기 위해 교차점을 기준으로 하여 그림 6과 같이 선분을 검출하여 특징점인 홀의 위치 그리고 홀의 크기 변화를 병행하여 일정 값을 유지하는 부분을 선택하여 결정하였다.

IV. 공통 좌표계 생성

그림 7은 공통 좌표계의 모델 생성 방법을 나타내었다. 공통 유저 좌표계의 생성 경우 개별 로봇과의 통신을 통하여 로봇자체의 좌표들을 이용하여 중앙에 직교 좌표계를 생성하는 방법으로 사용하였다.

실제 자체 실러 도포의 경우 이를 통하여 3차원 위치 보정 변위 정보를 가지고 작업을 수행하도록 한다.

V. 실험 결과

그림 8은 로봇 3차원 교정을 위한 메인 화면으로서 각 로봇의 주요 특징점 영상 및 교정 결과에 대한 변위 좌표 값을 보여준다. 메인 메뉴의 구성으로는 차종 변화 및 시스템의 수동 또는 자동변환과 레이저 센서와 특징점과의 측정 화면과 특징점 검출의 성공 또는 실패, 통신 상태 그리고 로봇의 쉬프트 좌표 등을 나타낸다.

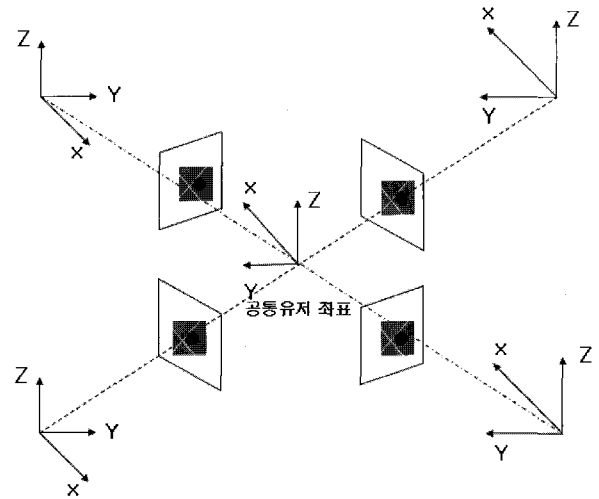


그림 7. 공통 좌표계 모델 생성방법.
Fig. 7. Geometric user axis model.

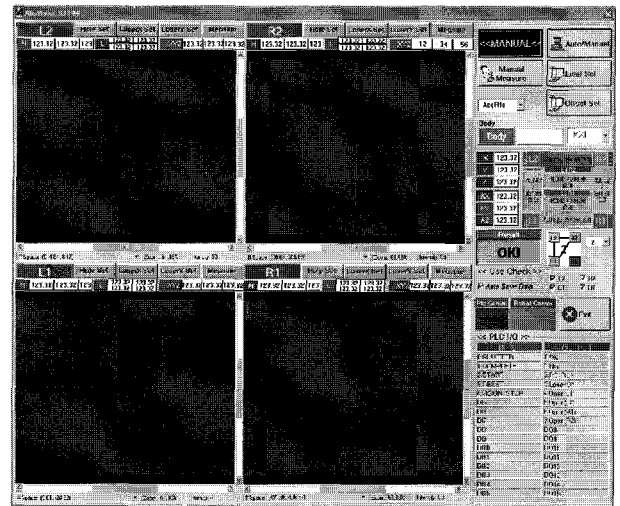


그림 8. 로봇 교정에 사용된 메뉴 및 시스템의 구성도.
Fig. 8. Main system menu for robot compensation.

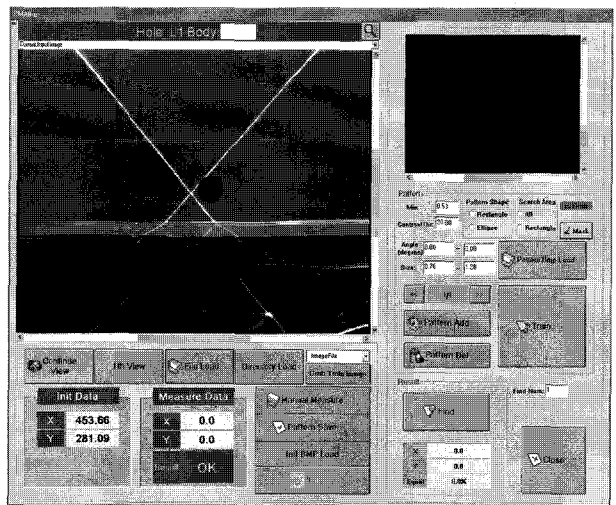


그림 9. 레이저 센서의 추출 화면.
Fig. 9. Sensing display of laser sensor.

그림 9에서 보듯이 작업 차체의 색상, 굴곡 면에 대한 정보, 그리고 작업환경에 크게 영향을 미치는 조명에 대하여 보다 강한 특성을 가지도록 크로스 타입의 레이저 센서를 사용하였으며 특징점의 추출과 작업 차체의 굴곡 면을 보다 쉽게 검출 할 수 있도록 하기 위해 45도의 기울기를 갖도록 설치 하였다.

작업 차종 별 462개의 레이저 센서 및 비전 카메라를 통한 작업 차체의 특징점에 대한 형태를 기준으로 하여 데이터 정보를 획득하고 각 차종 별로 비전 시스템에 저장하게 된다.

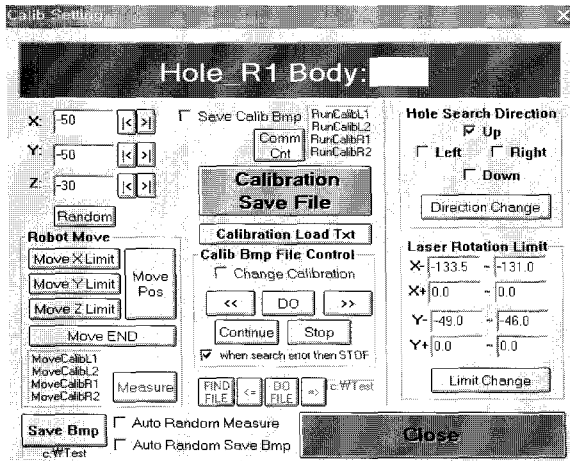
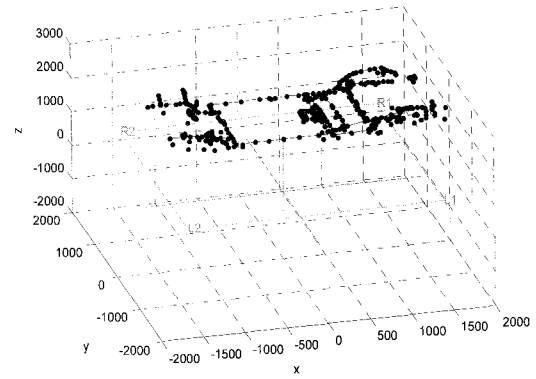
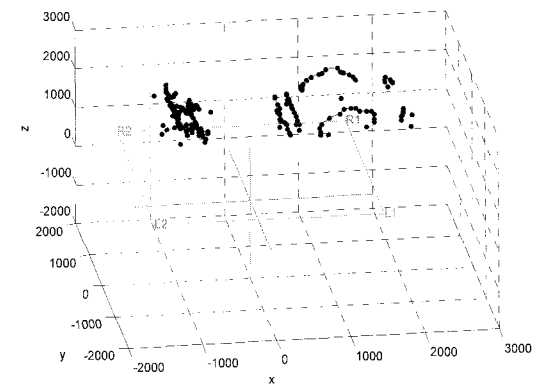


그림 10. 자동 교정 프로그램.
Fig. 10. Auto calibration program.



(a) Type 1의 작업 차체



(b) Type 2의 작업 차체

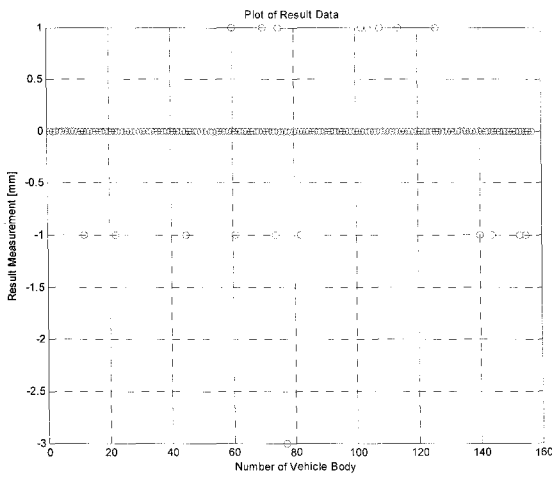
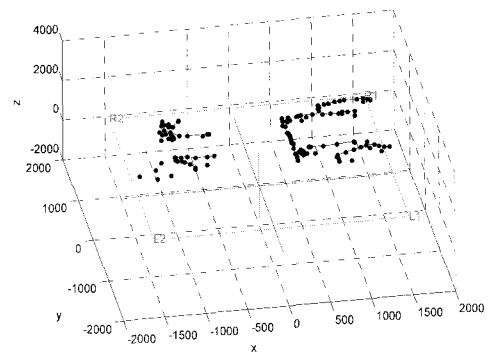


그림 11. 측정 결과.
Fig. 11. Result of measurement.

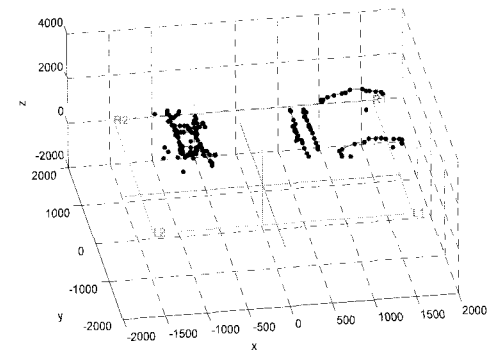
표 1. 차량에 따른 측정 결과.

Table 1. Result of vehicle type.

작업 차체	차량에 따른 측정 값과 실제 값의 [mm]단위별 측정 오차 대수							오차율
	+3mm	+2mm	+1mm	0mm	-1mm	-2mm	-3mm	
Type 1 [157]	0	0	8	138	10	0	1	99%
Type 2 [107]	2	3	28	23	36	11	4	81%



(c) Type 3의 작업 차체



(d) Type 4의 작업 차체

그림 12. 각 차종 별 로봇의 위치 보정 결과.
Fig. 12. Result of position compensation each vehicle body.

로봇 별 개별 상대 좌표를 공통 좌표로 설정하기 위해 원점을 기준으로 하여 각 로봇 별 좌표를 설정하고 그에 따라 각 로봇의 위치를 결정한 후 3차원 위치 정보를 이용하여 자동차 차체 하부의 실러 도포작업을 수행하도록 한다.

그림 10은 로봇의 3차원 교정을 위한 프로그램으로서 블록의 분할 방법, 그리고 로봇의 작업 반경의 제한 등을 제어할 수 있도록 하였다.

그림 11은 임의로 157대의 하루동안 작업이 이루어진 작업 차체에 대한 실험 결과를 나타내었다. 그림에서 보듯이 작업 차체에 대한 결과는 +1mm 차이나는 것은 8대, -1mm 차이를 보이는 것은 10대, 그리고 -3mm의 오차를 나타내는 것은 한 대로 나왔다.

표 1은 하루동안 작업된 각각 157대 그리고 107대의 작업 차체에 따라 측정 결과를 실제 값과 측정값에 비교하여 각 mm단위로 그 차이를 구분하고 (-)1mm에서 (+)1mm 까지를 로봇 교정의 목표로 설정하였기에 그에 따른 오차율을 보였다. 이렇게 각 작업 차체에 따라 오차를 나타내는 것은 차체의 종류 및 형태에 따른 레이저 센서의 상대 위치에 따라, 그리고 로봇 틀에 의한 각도 및 홀 크기의 변화에 따라 그 차이를 나타내었다.

그림 12는 실제 공통 좌표를 설정하고 그에 따라 실러 도포 작업을 위한 각 로봇의 작업 위치를 블록 보간법에 의해 결정된 좌표 보정을 한 결과를 나타낸 것이다.

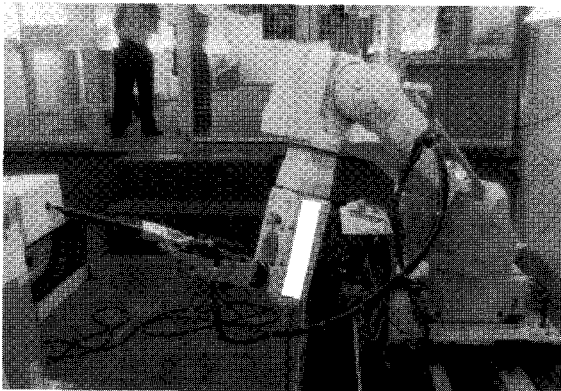


그림 13. 로봇의 작업 위치 티칭.
Fig. 13. Working position teaching of robot.

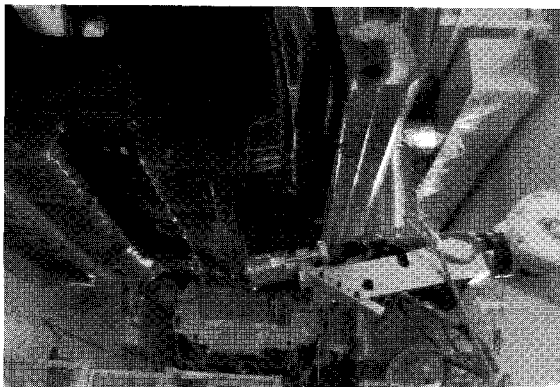


그림 14. 로봇의 작업 화면.
Fig. 14. Display of working robot.

그림 13은 로봇의 작업 위치를 티칭하는 방법을 내었으며 그림 14는 실제 작업 차체에 실러 도포를 위한 로봇의 작업을 나타내었다.

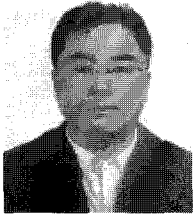
VI. 결론

본 논문에서는 자동차 설비 조립 라인의 실러 도포에사용되고 있는 로봇의 3차원 교정 방법을 블록 보간법을 이용하여 자동 교정할 수 있는 방법을 제안하였다. 로봇 교정을 위해 사용된 센서는 크로스 타입의 레이저 센서로서 차체의 굴곡 면과 특징점의 유무 등을 확인 할 수 있도록 하였으며, 비전 카메라를 이용하여 특징점의 유무를 확인할 수 있도록 하였다. 레이저 센서에 의한 거리와 비전 카메라를 이용한 특징점의 좌표 변화를 3차원의 형태로 블록화 하여 나누었으며 이를 보간법을 사용하여 로봇의 3차원 교정을 자동화할 수 있도록 하였다. 이를 토대로 실험 결과에서 자동차 차체의 실러 도포 작업시 그 작업의 오차가 2mm이내로써 제안된 방법이 효과적임을 알 수 있었으며, 교정을 위한 작업 시간 및 인력을 단축 할 수 있었다.

또한 작업이 이루어지는 로봇의 작업 위치 좌표를 시각적으로 확인 할 수 있었으며 이를 통하여 로봇의 티칭 위치를 보다 빠르게 확인할 수 있으며 수정 및 보안이 용이함을 알 수 있었다. 향후 과제로는 제안된 알고리즘을 이용하여 자동화 로봇에 적용가능성을 보다 폭 넓게 확대해 나가는 것이 과제이다.

참고문헌

- [1] J. P. Hespanha, Z. Dodds, G. D. Hager, and A. S. Morse, "Decidability of robot positioning tasks using stereo vision systems," *IEEE Conf. of Decision Control*, vol. 4, pp. 3736-3741, Dec. 1998.
- [2] M. Shibata and H. Kawasumi, "Solution for stereo correspondences on active stereo vision robot," *The 8th IEEE International Workshop on 25-28*, pp. 665-670, March 1989.
- [3] P. H. Kim and S. H. Rhee, "Three-dimensional inspection of ball grid array using laser vision system," *IEEE Trans. of Manufacturing Technology*, vol. 22, pp. 1514-155, April. 1999.
- [4] I. Ashokaraj, A. Tsourdos, P. Silson, B. White, and J. Economou, "Feature based robot navigation: using fuzzy logic and interval analysis" *2004 IEEE International Conf.*, vol. 3 pp. 1461-1466., July. 2004.
- [5] K. Hang, and G. Pritschow, "Reducing distortions caused by the welding arc in a laser stripe sensor system for automated seam tracking," *Proceedings of the IEEE International Sym.*, vol. 2, pp. 919-924., July. 1999.
- [6] 노동기, 김근우, 이정희, "Structured Light기법을 이용한 이동 로봇의 상대 위치 추정 알고리즘 연구," 제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지, 제 11 권, 제 8 호, pp. 678-687, 2005. 8.
- [7] 김진영, 조형석, "원형단면 부품조립에서의 비전 기반 부품형상 및 상대오차 측정," 제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지, 제 11 권, 제 7 호, pp. 615-620, 2005. 7.
- [8] 김승중, 정제창, 최병욱, "블록 기반 영상압축에 서방항성 보간을 이용한 에러 은닉 기법," 한국통신학회논문지, 제 22 권, 제 5 호, pp. 915-927, 1997.



류 항 기

1967년 10월 1일생. 1993년 울산대학교 전자공학과 졸업. 1999년 동 대학원 석사. 2006년 동 대학원 박사수료. 1996년~현재 ATM(주). 관심분야는 신경망, 비전 시스템, 시스템 고장 검출 및 진단 등.



이 재 국

1973년 11월 30일생. 1999년 울산대학교 전자공학과 졸업. 2003년 동 대학원 석사. 2005년 동 대학원 박사수료. 2005년~현재 ATM(주). 관심분야 신경망, 시스템 고장 검출 및 진단, 영상처리.



우 경 행

1970년 7월 22일생. 1993년 울산대학교 전자공학과 졸업. 1995년 동 대학원 석사. 2005년 동 대학원 박사수료. 2005년~현재 이엔아이테크(주). 관심분야는 신경망, 시스템 고장 검출 및 진단 등.



최 원 호

1956년 2월 9일생. 1978년 연세대학교 전자공학과 졸업. 1980년 동 대학원 석사. 1990년 동 대학원 박사. 1979년~1985년 제일 정밀 공업(주). 1985년~1986년 삼성 휴레 팩커드. 1986년~현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수.

관심분야는 Image Processing, 고장 진단 등.