

3-D Working Point Decision Method for Industrial Robot

柳 杭 基* · 李 在 國* · 金 炳 禹** · 崔 源 昊†

(Hang-Ki Ryu · Jae-Kook Lee · Byeong-Woo Kim · Won-Ho Choi)

Abstract - In this paper, we propose a new 3-D working point determination method for industrial robot using vision camera system and block interpolation technique with feature points in a vehicle body. To detect the feature points in a vehicle body, we applied the pattern matching method. For determination of working point, we applied block interpolation method. The block consists of 3-D type blocks with detected feature points per section. 3-D position is selected by Euclidean distance between 245 feature values and an acquired feature point. In order to evaluate the proposed algorithm, experiments are performed in glass equipment process in real industrial vehicle assembly line.

Key Words : 위치보정, 비전시스템, 블록보간법, 로봇비전

1. 서 론

현대 제조 산업 공정 시스템은 그 규모가 크고 복잡하며, 많은 공정이 인력에 의한 작업 의존도보다 공정 로봇에 의한 의존도가 높아지면서 신뢰성과 안전성의 유지에 대한 관심이 고조되고 있다. 산업용 로봇에 의한 작업은 조선 및 항공과 같은 중공업분야의 대형 설비 시설뿐만 아니라 자동차 및 반도체 산업과 같은 중소형 산업 설비시설 등에 폭넓게 사용되며, 특히 자동차 제조 공정의 경우 작업 환경에서의 위험성, 소음, 계절에 따른 온도의 차이, 그리고 조립물체의 무게 등 여러 가지 요인으로 인하여 인력에 의한 계속적 단순 반복 작업이 불가능하므로 이를 산업용 로봇에 의한 공정의 개선 및 개조가 다른 산업현장에서 보다 높다 할 수 있다[8].

자동차 산업에서의 로봇에 의한 작업은 작업 물체의 위치를 인지하고 작업 부위를 결정하는 위치 제어가 신뢰성과 안전성을 높이는 데 중요한 요소이다. 이를 위해 비전 카메라 또는 레이저 센서와 같은 위치를 결정할 수 있는 시스템을 로봇에 장착한다. 비전 카메라와 레이저 센서의 성능 및 위치 결정 방법은 자동차 생산에 있어 신뢰성 및 안정성에 크게 영향을 준다. 위치 정보를 결정하는 방법 중 스테레오 카메라는 각 카메라 영상의 차이를 기준으로 하여 회전 및 거리 정보를 추출한다. 다른 방법으로는 로봇의 자세 및 위치를 보정하는 방법으로 레이저 다이오드와 비전 카메라를

이용하여 레이저의 파형 변화를 실시간으로 획득하고 비전 카메라를 통해 얻어진 영상 정보를 이용하여 용접 상태 및 용접 로봇의 위치를 보정하는 방법이 사용되었다[5]. 또한 영상을 실시간으로 받아들여 퍼지이론 및 확률 이론 등을 적용하여 로봇의 위치보정을 하는 방법 그리고 상대 오차 및 투영에 의한 방법 등이 제안되고 있다[1,2,4,6].

자동화 공정에서 로봇의 교정 방법은 표준 차체의 작업 위치를 미리 티칭하여 좌표를 설정한 후 작업 물체의 좌표를 레이저 센서 또는 비전 카메라를 이용하여 표준 차체와의 2차원 형태의 X축 및 Y축의 오차 변위 값을 통신 제어를 통해 위치를 보정하는 방법을 사용하고 있다[3,5]. 그러나 이러한 경우 작업 차체의 회전에 대하여 정확한 정보를 추출하지 못해 생산 품질의 저하 및 글라스 장착 시 오류 발생으로 인한 파손 등의 문제를 발생시킨다. 차체 손상 또는 글라스의 파손이 발생될 경우 이를 복구하기 위해서는 상당한 시간 및 작업 인원이 필요하게 되는 문제점들을 가지고 있다. 또한 자동차 차종 별로 로봇 작업이 이루어지는 경우 수 배의 시간 및 인력 자원이 필요하게 된다.

본 논문은 자동차 차체의 글라스 장착을 위한 로봇 작업에 있어 비전 카메라를 이용하여 자동차 차체의 3차원 위치 변위를 블록 보간법에 의하여 차종에 따라 미리 개별 거리 및 위치데이터를 설정하여 실제 글라스가 장착될 차체의 위치 변위를 기하학적 분석과 유클리드 최소거리를 가지는 블록을 결정하여 3차원 로봇의 위치를 보정하는 방법에 관한 것이다.

본 논문은 다음과 같은 구성으로 되어있다. 2장에서는 비전 카메라의 측정 시스템에 대하여 기술하였으며, 3장에서는 본 논문에서 자동교정을 위해 사용된 블록보간법에 대하여 기술하였으며, 4장에서는 기하학적 분석에 관하여 서술하였고, 5장에서는 제안한 방법의 우수성을 실제 자동차 생산라인에 적용한 결과를 통해 입증하였다. 마지막으로 6장에서는 본 논문의 결론 및 향후 과제에 대하여 기술하였다.

* 正 會 員 : ATM(주)

** 正 會 員 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 조교수

† 교신저자, 正 會 員 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수

E-mail : whchoi@ulsan.ac.kr

接受日字 : 2007年 10月 25日

最終完了 : 2007年 11月 14日

2. 비전카메라의 측정시스템

자동차 의장라인의 글라스 장착을 위한 산업 설비 구조는 그림 1과 같다. 작업 대상에 대한 특징점인 체결용 홀(Hole)이나 굴곡점 측정을 위한 비전 카메라를 사용하였고, 글라스 장착을 위한 산업용 로봇과 비전 시스템과 로봇의 통신을 제어하는 PLC 부분으로 구성하였다. 비전 카메라는 두 대의 Sony사의 산업용 카메라를 스테레오 형태로 구성하였다.

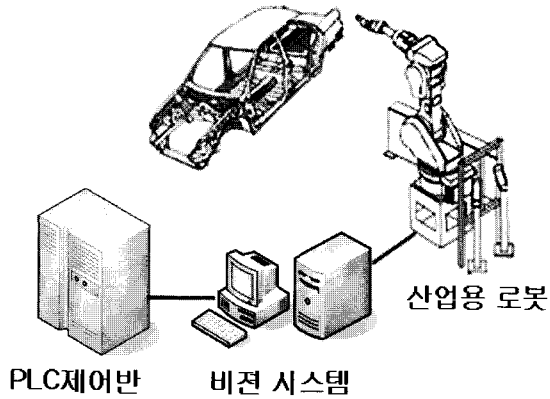


그림 1 비전 및 레이저 설비 시스템
Fig. 1 Equipment System of Vision and Laser

그림 2는 구성된 두 대의 카메라가 작업 대상의 하나의 특징점을 바라보고 있는 구조를 나타내었다. 비전 카메라와 특징점과의 거리는 수식 (1)에서와 같이 계산할 수 있다.

$$\text{거리} = \frac{L \cdot f}{dr + dl} \quad (1)$$

여기서 L은 두 개의 카메라 사이의 거리차를 나타내며, dr과 dl은 영상의 중앙에서 특징점 위치 좌표사이의 거리를 나타내며 그리고 f는 카메라의 초점을 나타낸다.

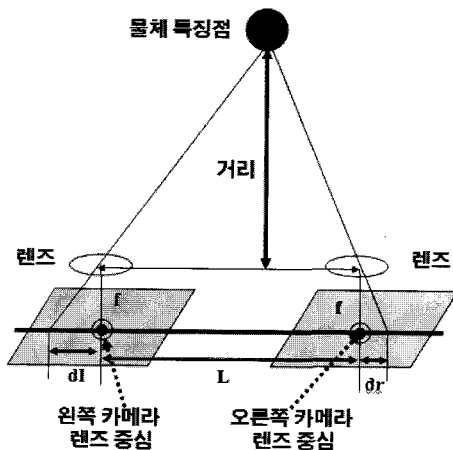


그림 2 스테레오 비전 카메라 측정시스템 구조
Fig. 2 Schematic of Stereo Vision Camera

비전카메라의 위치는 글라스 흡착을 위한 로봇의 툴에 간섭이 없는 측면 부분에 장착하였다. 영상 획득 위치는 로봇의 티칭좌표에서 작업 차체내의 특징점들을 패턴 매칭 방법으로 추출한다.

자동차 생산 라인에서는 컨베이어에 의해 실제 작업 차체가 이동하여 장착될 차체는 회전 및 위치가 일정하지 않다. 이를 위해 구현한 비전 측정 시스템은 측정범위 및 특징점의 영상 변화를 최소화하기 위해 작업 환경의 조건에 맞도록 실험적으로 표준 작업 차체와 비전 카메라와의 거리를 300mm로 설정하였다.

그림 3은 로봇의 작업위치 교정을 위한 전체 순서도를 나타내었다. 먼저 로봇의 영상획득 위치를 로봇 툴과 작업차체와의 간섭이 없도록 설정하고 로봇의 툴 끝에 비전 카메라를 설치하였다. 작업 차체의 특징점을 홀과 굴곡점의 3개로 결정하여 각 특징점의 표준 좌표를 추출하였다.

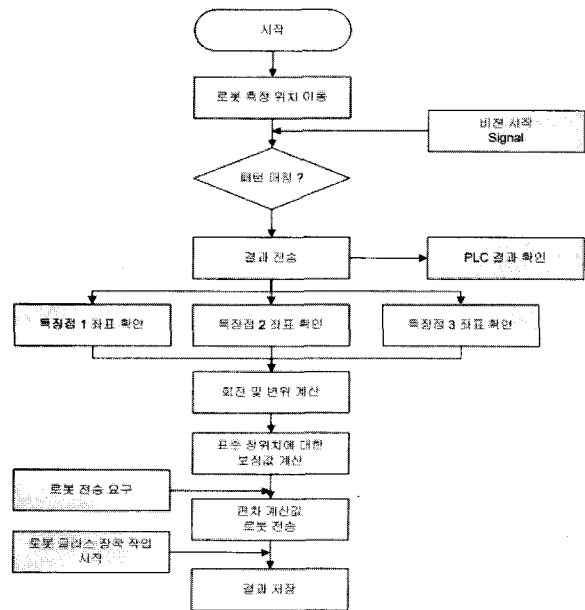


그림 3 로봇의 3차원 위치 교정을 위한 전체 순서도
Fig. 3 The Flow Chart for 3-D Position Compensation of Robot

작업 차체가 글라스 장착을 위한 위치에 도착하면 PLC(Programable Logic Controller)에 의해 로봇이 미리 티칭된 측정 위치로 이동한다. 영상획득 신호를 입력받아 패턴 매칭 방법으로 각 특징점의 결과를 확인하고 이를 PLC로 전송한다. 3개의 특징점들의 영상 좌표들을 획득한 후 미리 티칭된 표준 차체의 특징점 좌표들과 회전 및 변위값을 계산하여 보정값을 결정한다. RS-232 통신방법을 이용하여 로봇으로 계산된 변위값과 회전값을 전송한 후, 로봇이 실제 글라스를 장착하도록 한다. 작업이 종료 된 후 결과 영상과 작업 시간, 작업차체의 일련번호, 그리고 변위 및 회전값을 로그(Log)파일로 저장한다.

작업 차체에 대하여 영상 및 거리를 획득할 수 있도록 로봇의 툴 포즈는 표준 차체의 특징점 좌표를 거리 및 특징점

영상을 각각 X축으로는 30mm, Y축으로 30mm, 그리고 Z축으로는 20mm로 각 구간을 5mm 단위로 245개 블록으로 분할하여 특징점을 추출하도록 로봇의 내부 프로그램을 작성하였다. 분할한 블록별로 특징점들의 변위 및 회전값에 대한 기하학적 관계를 저장한다. 블록의 수는 차체 글라스 장착을 위한 공정 사이클 타입과 각 축의 허용 오차를 고려하여 실험을 통해 결정하였다. 블록의 수가 많아질 경우 보다 정확한 위치를 결정할 수 있으나 교정을 위한 변위 계산 처리시간이 늘어나 전체 공정에 영향을 주게 된다. 실험적 방법을 통해 블록 수를 245개로 결정하고 블록 내 좌표들과 실제 장착을 위한 차체의 특징점들의 좌표를 유클리드 거리 계산으로 최소거리를 가지는 블록을 선택한다. 선택한 블록을 1mm오차를 가지도록 구간은 블록 보간법을 적용하여 최종 작업위치 결정을 하였다.

3. 3차원 위치 보정을 위한 블록 보간법

본 논문에서는 로봇의 3차원 위치 보정을 위하여 스테레오 형태로 두 개의 비전 카메라를 이용하여 로봇의 툴 끝에 장착하여 작업 차체의 굴곡 면의 형태 및 홀(Hole)을 작업 차체의 특징점으로 결정하였다. 비전 카메라의 해상도에 맞추어 3차원 형태의 구간을 5mm단위로 분할하여 데이터를 추출하였다. 블록 내 대표값으로 설정한 점들은 로봇의 X축과 Y축으로 최대30mm, Z축으로는 최대 20mm로 설정하여 5mm간격으로 구간을 나누어 특징 점들의 대표 값들을 245개 획득하였다. 또한 각 차종에 따라 특징점 및 차체의 형태가 다르기 때문에 각 차종에 따른 245개의 특징 대표값을 각각 로봇 프로그램 및 비전 시스템에 저장하였다.

로봇의 자동 위치 교정을 위하여 기준이 되는 245개의 3차원 좌표와 실제 작업 시 획득된 특징점 및 거리 좌표에 대한 좌표를 식(2)을 이용하여 최소거리를 가지는 블록을 선택하도록 한다.

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

여기서 x_i, y_i, z_i 는 블록내의 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 식(3) 과 같이 등간격으로 나누어 좌표를 설정하였다.

임의의 두 지점 x_n, x_1 이 주어질 경우,

$$k = \frac{(x_n - x_1)}{h} \quad (3)$$

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

각 블록 내의 데이터 분포를 하나의 대표값으로 설정하는 방법으로 위치 보정을 위하여 3차원 간격이 각각 5mm간격의 블록을 설정하였다. 먼저 측정된 위치 데이터와 블록 내 최소 거리를 가지는 블록을 선택하게 된다. 선택된 블록 내 국부 영역을 다시 식 2를 이용하여 그 간격이 0.5mm단위의 블록으로 재분할 하여 식 (1)을 이용하여 가장 거리가 가까운 특징점을 추출하게 된다[8-9].

위의 블록 보간법의 적용 방법으로 각 특징점들을 추출하였다. 비전 카메라의 위치는 작업 환경 및 조명등을 고려하여 로봇의 툴에 장착하였다. 비전 카메라의 경우 특징점 변화가 많은 X축과 Y축 방향에 대해서 7개로 분할하였으며 Z축은 5개의 블록으로 분할하여 245개로 분할한 것을 나타내었다.

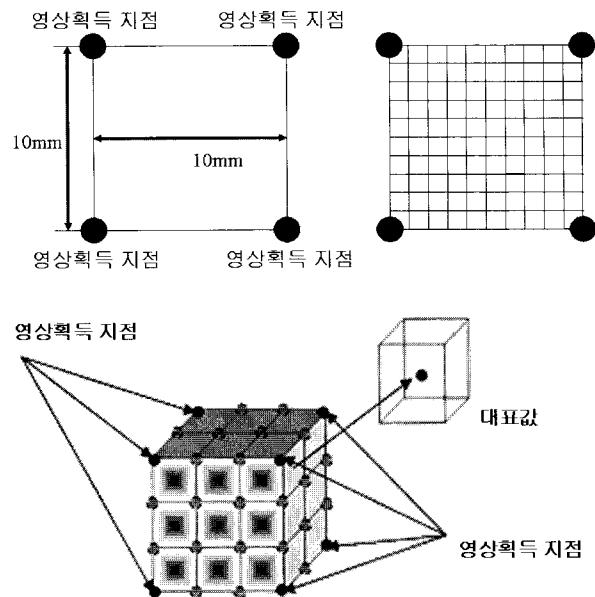


그림 4 3차원 블록 보간법
Fig. 4 3 Dimensional Block Interpolation

그림 5는 블록 보간법을 적용한 특징점들의 위치와 크기 변화와 좌표 변화에 따른 데이터 변화를 나타내었다.

좌측 상단의 직선형태의 분포도는 비전 카메라의 위치에 따른 특징점간의 거리 변화율을 2배로 하여 변위값의 분포를 나타내었고, 중앙의 직선 형태는 크기 변화를 특징점간의 거리변화를 나타내었다. 본 논문에서는 두 배로 확대하여 실제 특징점들의 거리 분포 영향을 높여 구간별 파라미터로 사용하였다.

중앙의 분포도(+와 ●으로 표현된 분포도)들은 X축으로 7개의 구간, Y축으로 7개의 구간 그리고 Z축으로 5개의 구간으로 나눈 기준이 되는 특징점들을 표현하였다. 실제 특징점의 크기 변화 경우 로봇과 작업 위치의 거리에 따른 Z축에 영향을 받는 것으로서 차량의 뒤돌림은 그 움직임의 폭이 대상 차체의 상하 움직임에 비해 변화폭이 작기 때문에 좌표 보정에 있어 상관도를 높이기 위해 실험적으로 크기를 변화시켜 적용하였다.

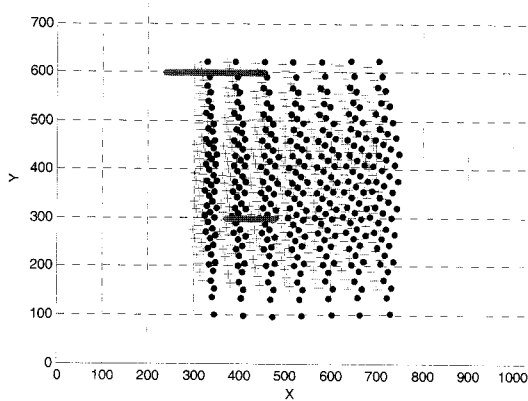


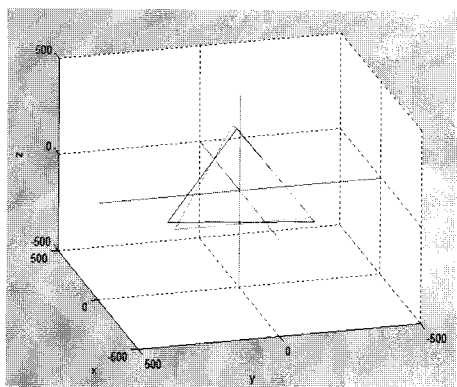
그림 5 3차원 블록 분할 데이터
Fig. 5 3 Dimensional Block Data

4. 기하학적 분석

로봇의 경우 제조사에 따라 각을 표현하는 방식이 나누어져 있다. 로봇들의 회전의 경우 오일러 회전 공식을 이용하여 최종방위를 결정한다. 글라스 장착을 위한 산업용 로봇의 경우 회전을 위해 Z축 회전 후 Y축 회전, 그리고 X축회전으로 진행하고 회전각을 구하였다[10].

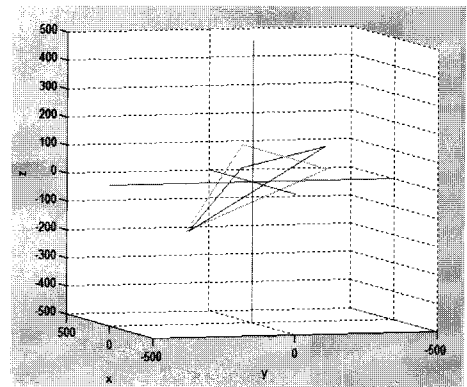
그림 6에서 좌측 표는 로봇을 이용하여 실제 회전한 경우와 위 Z-Y-X 회전각 공식을 이용하여 회전각을 구한 것을 비교한 것이다. 아래 그림은 3개의 특징점을 공통 좌표계 모델로 생성한 것을 나타내었다. 공통 유지 좌표계의 생성은 글라스 장착용 로봇자체의 좌표들을 이용하여 직교 좌표계를 생성하는 방법을 사용하였다.

Center						
-2017.1	-216.1	564.1				
원위치						
-1554.1	-349.6	741.9	463	-133.5	177.8	
-2018.7	-14.3	481.4	-1.6	201.8	-82.7	
-2475.1	-368.2	732.7	-458	-152.1	168.6	
X축 -0.6도 회전						
-1554.1	-347.7	743.3	463	-131.6	179.2	
-2018.7	-15.2	479.3	-1.6	200.9	-84.8	
-2475.1	-366.4	734.3	-458	-150.3	170.2	
Shift된 수치			회전			
0	1.9	1.4			-0.6	
0	-0.9	-2.1			0.01	
0	1.8	1.6			0.01	



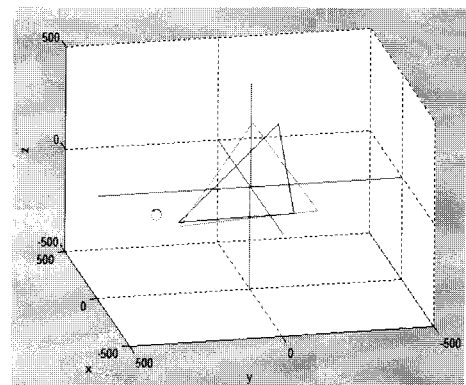
(a) X축으로의 회전 결과

Center						
-2017.1	-216.1	564.1				
원위치						
-1554.1	-349.6	741.9	463	-133.5	177.8	
-2018.7	-14.3	481.4	-1.6	201.8	-82.7	
-2475.1	-368.2	732.7	-458	-152.1	168.6	
Y축 -0.8도 회전						
-1556	-349.6	746.7	461.1	-133.5	182.6	
-2017.8	-14.3	481.4	-0.7	201.8	-82.7	
-2476.8	-368.2	727.9	-459.7	-152.1	163.8	
Shift된 수치			회전			
-1.9	0	4.8			0	
0.9	0	0			-0.6	
-1.7	0	-4.8			0	



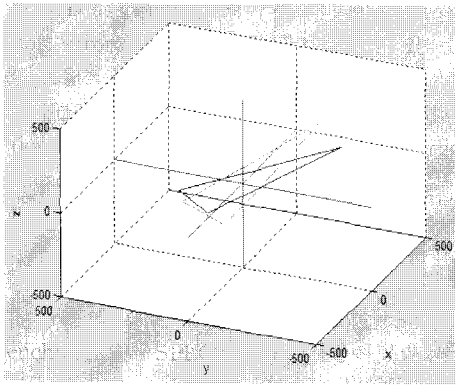
(b) Y축으로의 회전 결과

Center						
-2017.1	-216.1	564.1				
원위치						
-1554.1	-349.6	741.9	463	-133.5	177.8	
-2018.7	-14.3	481.4	-1.6	201.8	-82.7	
-2475.1	-368.2	732.7	-458	-152.1	168.6	
X	Y	Z	변위 X	변위 Y	변위 Z	
Z축 0.6도 회전						
-1552.7	-344.7	741.9	464.4	-128.6	177.8	
-2020.8	-14.3	481.4	-3.7	201.8	-82.7	
-2473.5	-373	732.7	-456.4	-156.9	168.6	
Shift된 수치			회전			
1.4	4.9	0	X 축 변위		0	X 축 회전
-2.1	0	0	Y 축 변위		0	Y 축 회전
1.6	-4.8	0	Z 축 변위		0.6	Z 축 회전



(c) Z축으로의 회전 결과

Center					
-2017.1	-216.1	564.1			
원위치					
-1554.1	-349.6	741.9	463	-133.5	177.8
-2018.7	-14.3	481.4	-1.6	201.8	-82.7
-2475.1	-368.2	732.7	-458	-152.1	168.6
X축 0.2도 Y축 -0.2도 Z축 0.2 회전					
-1554.3	-348.6	743.1	462.8	-132.5	179
-2019.1	-14	482.1	-2	202.1	-82
-2475.2	-370.4	730.6	-458.1	-154.3	168.5
Shift된 수치					
-0.2	1	1.2		0.19	
-0.4	0.3	0.7		-0.21	
-0.1	-2.2	-2.1		0.2	



(d) X,Y,Z축으로의 회전 결과

그림 6 회전에 대한 결과 및 공통 좌표계 모델 생성방법
Fig. 6 Results of Rotation and Geometric User Axis Model

그림 6의 (a)는 X축으로만 회전을 한 후 실제 회전값과 프로그램을 통한 회전값을 비교한 경우이고, (b)는 Y 축으로만 회전한 후 비교한 경우이고, (c)는 Z축으로만 회전을 한 후 비교한 경우이다. 그리고 마지막 (d)의 경우는 모든 축을 회전한 후 계산값과 비교하였다. 결과에서 보듯이 실제 회전값과 프로그램 내 계산을 통해 결정한 회전값이 거의 일치함을 알 수 있다.

5. 실험 결과

그림 7은 로봇 3차원 교정을 위한 메인 화면으로서 작업 차체의 3개의 특징점들을 비전 카메라를 이용하여 추출한 후 이를 이용하여 작업 위치의 교정 결과에 대한 변위 값을 보여준다. 메인 메뉴는 차종 변화 및 시스템의 수동 또는 자동변환, 특징점들의 측정 화면, 특징점 추출의 성공 여부, PLC 및 로봇과의 통신 상태 그리고 미리 티칭된 표준 차체와의 변위 값 등으로 구성되었다.

그림 7에 나타난 바와 같이 작업 차체의 색상, 굴곡 면에 대한 정보, 그리고 작업환경에 크게 영향을 미치는 조명에 대하여 보다 강인한 특성을 가지도록 집중형 LED 조명을 사용하였으며 특징점의 추출과 작업 차체의 굴곡 면을 보다 쉽게 검출할 수 있도록 하기 위해 표준이 되는 작업차체의 특징점과 로봇의 영상획득 위치를 300mm 간격으로 하여 로봇을 티칭하였다.

그림 8에서는 실제 자동차 생산라인에 제안한 3차원 로봇 위치 보정방법을 적용하여 그 결과를 저장하는 로그 파일

저장 화면과 3개의 특징점들 간의 각 선택 블록과 회전 및 변위 데이터를 일자별로 저장한 것을 나타내었다.

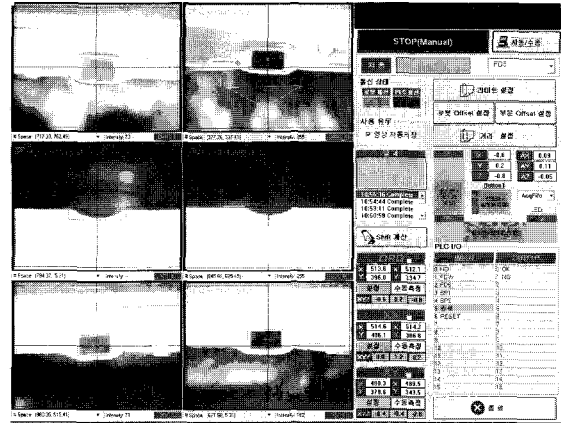


그림 7 로봇 교정에 사용된 메뉴 및 시스템의 구성도
Fig. 7 Main System Menu for Robot Compensation

결과	이름	크기	종류	수행한 날짜
LOG				
ORG_L_NG	20071006.TXT	39KB	텍스트 문서	2007-10-06 오후 11:59
ORG_L_CK	20071007.TXT	33KB	텍스트 문서	2007-10-07 오전 7:57
ORG_R_NG	20071008.TXT	100KB	텍스트 문서	2007-10-08 오후 11:59
ORG_R_OK	20071009.TXT	158KB	텍스트 문서	2007-10-09 오후 11:58
XX_L_NG	20071010.TXT	128KB	텍스트 문서	2007-10-10 오후 11:55
XX_L_OK	20071011.TXT	127KB	텍스트 문서	2007-10-11 오후 11:37
XX_R_NG	20071012.TXT	115KB	텍스트 문서	2007-10-12 오후 11:58
XX_R_OK	20071013.TXT	99KB	텍스트 문서	2007-10-13 오후 11:59
XY_L_NG	20071014.TXT	46KB	텍스트 문서	2007-10-14 오전 7:57
XY_L_OK	20071015.TXT	93KB	텍스트 문서	2007-10-15 오후 11:56
XY_R_NG	20071016.TXT	136KB	텍스트 문서	2007-10-16 오후 11:55
XY_R_OK	20071017.TXT	71KB	텍스트 문서	2007-10-17 오전 11:04

```

05:23:57 [2] ORG_L 584.84 437.10 ORG_R 605.77 591.53 5 -5 0 6.0 -6.4 -4.6
05:27:58 [2] ORG_L 564.42 394.81 ORG_R 587.10 350.46 5 -5 -10 5.0 -2.8 -5.2
05:29:59 [2] ORG_L 523.54 419.04 ORG_R 544.81 378.13 0 -5 -5 1.4 -4.0 -4.0
05:31:59 [2] ORG_L 532.35 429.28 ORG_R 553.34 390.26 0 -5 -5 2.0 -4.8 -3.4
05:33:59 [2] ORG_L 576.51 419.19 ORG_R 598.15 376.33 5 -5 -5 5.6 -4.8 -4.2
05:35:59 [2] ORG_L 562.36 431.97 ORG_R 583.82 388.21 5 -5 0 4.2 -5.0 -1.6
05:37:59 [2] ORG_L 537.25 429.28 ORG_R 556.57 388.93 0 -5 -5 2.4 -5.0 -4.0
05:39:59 [2] ORG_L 519.67 404.25 ORG_R 539.93 372.23 0 0 0 1.2 -2.4 -2.4
05:42:00 [2] ORG_L 560.82 423.76 ORG_R 592.46 388.02 5 -5 -5 4.2 -4.8 -2.4
05:44:00 [2] ORG_L 580.22 439.55 ORG_R 580.99 401.62 5 -5 0 4.0 -5.8 -2.6
05:46:00 [2] ORG_L 464.47 425.49 ORG_R 484.79 388.64 -5 -5 -5 -3.2 -3.6 -3.4
05:50:00 [2] ORG_L 551.82 440.37 ORG_R 571.87 399.57 5 -5 -5 3.2 -6.0 -3.6
05:52:00 [2] ORG_L 535.13 422.34 ORG_R 554.19 378.93 0 -5 -5 2.2 -4.4 -4.4
05:54:01 [2] ORG_L 589.33 427.28 ORG_R 611.89 387.70 5 -5 0 6.4 -5.2 -2.8
05:56:01 [2] ORG_L 563.04 422.26 ORG_R 584.56 389.02 5 -5 -5 4.2 -4.2 -1.6
05:58:01 [2] ORG_L 548.82 415.63 ORG_R 569.76 376.73 5 -5 -5 3.4 -4.0 -3.6
    
```

그림 8 로그 파일 및 내부 결과 저장 화면
Fig. 8 Display of Log File and Save File of Inner Results

작업 차종 별 245개의 비전 카메라를 통한 작업 차체의 특징점에 대한 형태를 기준으로 하여 데이터 정보를 획득하고 각 차종 별로 비전 시스템에 저장되고 로봇 프로그램 내에는 개별 차종에 따른 블록 데이터가 저장된다. 개별 상대 좌표를 공통 좌표로 설정하기 위해 원점을 기준으로 하여 각 특징점들의 좌표를 설정하고 그에 따라 로봇의 위치를 결정된 후 3차원 위치 정보를 이용하여 자동차 차체 글라스 장착 작업을 수행하도록 한다.

그림 9는 로봇의 3차원 교정을 위한 프로그램으로서 블록의 분할 방법을 제어할 수 있도록 하였다.

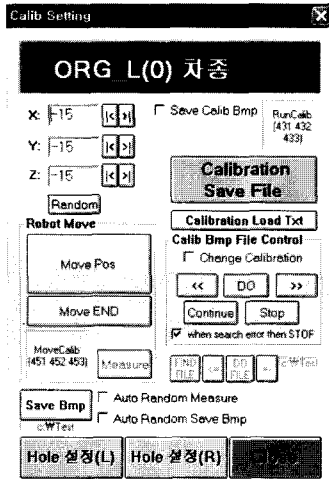


그림 9 자동 교정 프로그램
Fig. 9 Auto Calibration Program

그림 10은 자동으로 작업이 이루어진 글라스 장착에 대한 일자별 로그 파일을 나타내었다. 그림에서 보듯이 작업 차체는 대한 결과는 장착 시 측정 데이터와 선택된 블록 좌표, 각 축의 변위 값, 그리고 회전각을 나타내었다. 만약 오류 발생시 오류를 표시하도록 하고 현장 작업자에게 경보를 울려 글라스 장착이 원활히 이루어지도록 하였다.

특정점 좌표	선택된 블록좌표	특별 변위데이터	위치 결정 오류발생
XX_R 525.14 389.88	0 -5 0	1.2 -6.2 -0.2 X: -8.0 Y: 5.4 Z: -8.4	AX: 2.4
XX_R 540.58 390.66	5 -10 -5	2.4 -6.0 -3.0 X: -2.0 Y: 4.5 Z: 2.7	AX: 2.7
XX_R 541.28 381.01	0 -5 0	2.6 -5.8 -0.4 X: -2.3 Y: 4.7 Z: -0.1	AX: -0.1
XX_R 557.45 399.38	5 -10 0	3.8 -6.6 0.8 X: -3.3 Y: 5.6 Z: -1.4	AX: -1.4
XX_R 539.97 371.00	0 -5 0	2.0 -6.2 -1.4 X: -1.1 Y: 4.8 Z: 0.2	AX: 0.2
XX_R 529.11 358.24	0 -5 0	1.6 -6.0 -2.2 X: -0.8 Y: 5.0 Z: 1.2	AX: 1.2
XX_R 681.76 380.84	5 -5 0	7.4 -7.6 -1.4 X: -6.4 Y: 6.7 Z: 1.5	AX: 1.5
XX_R 578.45 398.79	5 -10 -5	5.4 -5.6 -3.0 X: -4.6 Y: 4.4 Z: 1.9	AX: 1.9
XX_R 571.15 395.75	5 -5 0	5.0 -6.0 0.4 X: -4.8 Y: 5.4 Z: 1.2	AX: 1.2
XX_R 549.66 358.57	0 -10 -5	1.0 -5.6 -2.2 X: -2.9 Y: 4.7 Z: -1.7	AX: -1.7
XX_R 558.68 399.80	5 -10 -5	3.8 -5.2 -2.8 X: -2.9 Y: 4.7 Z: -1.7	AX: -1.7
XX_R 616.46 355.13	10 -10 -5	8.4 -6.2 -2.0 X: -7.4 Y: 4.7 Z: 1.5	AX: 1.5
XX_R 561.58 367.27	5 -5 0	4.0 -5.2 -1.4 X: -3.7 Y: 3.7 Z: 0.1	AX: 0.1
XX_R 555.89 357.83	5 -10 -5	3.8 -7.0 -2.8 X: -2.4 Y: 5.3 Z: 1.8	AX: 1.8
XX_R 546.45 387.82	5 -5 -5	2.8 -4.8 -3.6 X: -2.1 Y: 3.5 Z: 2.3	AX: 2.3
XX_R 585.28 346.89	5 -10 -5	4.4 -5.4 -3.2 X: -3.5 Y: 3.7 Z: 1.5	AX: 1.5

그림 10 위치 보정 결과 표시
Fig. 10 Result of Position Calibration

표 1은 12일간 실제 자동차 생산라인에서의 글라스 장착 결과를 표시한 것이다. 표 1에 나타난 바와 같이 글라스 장착 성공율은 최소 93%에서 최대 100%까지 제안한 블록 보간법을 이용한 3차원 위치 보정 방법이 우수함을 알 수 있다. 5 일차 실험부터 7일차 까지 성공율이 낮아진 원인은 패턴 매칭을 위한 굴곡점이 차량 부품으로 검출이 불가능하여 위치 보정이 이루어지지 않은 경우와 외부 잡음으로 인한 통신이상으로 로봇에 의한 자동화 작업이 실행되지 않은 경우이다.

그림 11은 작업 차체의 움직임의 분포와 프로그램 계산에 의한 각도 변화를 나타낸 것으로 X축 방향으로 움직임이 많이 나타난다. 이는 운반용 컨베이어가 규격화 되어 있으나 제작시 고정부위의 용접으로 인한 오차를 포함하고 있기에 분포가 높게 나타난다. 실제 글라스 장착에서는 장착라인 차후 공정이 작업자에 의한 글라스 장착 여부를 판별하도록 되어있다. 만약 표 1에서 장착 실패나 오차가 발생할 경우 이를 보정하여 정확한 장착이 이루어지도록 하고 있다.

표 1 글라스 장착 결과
Table 1 Results of glass equipment of vehicle

	장착 성공 대수	장착 실패 대수	글라스 장착 성공률
1일차	442	5	98.9%
2일차	386	0	100%
3일차	365	6	98.4%
4일차	132	3	97.8%
5일차	313	12	96.3%
6일차	417	29	93.5%
7일차	385	22	94.6%
8일차	513	0	100%
9일차	464	0	100%
10일차	160	0	100%
11일차	291	1	99.7%
12일차	357	3	99.2%

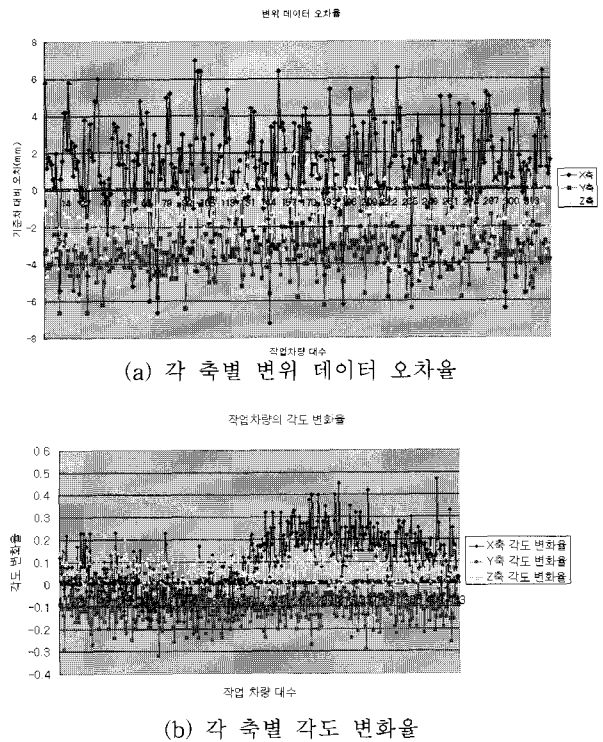


그림 11 변위 및 각도 데이터의 변화 분포
Fig. 11 Data Variance Distribution of Position and Angle

6. 결론

본 논문에서는 자동차 설비 조립 라인의 글라스 장착에 사용하고 있는 로봇의 작업위치 교정 방법을 비전 시스템을 이용하여 구간별로 특징점들을 추출하고 유클리드 최소거리를 가지는 블록을 선택한 후 블록 보간법을 이용하여 자동 교정할 수 있는 방법을 제안하였다. 로봇 교정을 위해 사용된 카메라는 Sony사의 산업용 비전 카메라로 특징점의 유무를 패턴매칭 방법으로 확인할 수 있도록 하였다. 비전 카메라를 이용한 특징점들의 좌표 변화를 3차원의 형태로 작업 차체가 존재할 수 있는 영역을 설정하여 245개의 블록으로 나누었다. 실제 장착할 차체의 특징점을 추출하여 유클

리드 최소거리를 가지는 블록을 선택한 후 이를 보간법을 사용하여 1mm 이내의 오차를 가지는 로봇의 작업 위치 교정을 자동화 할 수 있도록 하였다. 이를 토대로 실제 글라스 장착을 위한 자동차 라인에 적용하여 그 결과를 확인하였으며, 로봇을 이용한 자동교정 방법으로 작업 시간 및 인력을 단축 할 수 있었다. 또한 오류가 발생할 경우 작업이 종료된 시각과 영상을 로그파일들을 이용하여 시각적으로 확인 할 수 있도록 하였으며 이를 통하여 문제점 분석 및 글라스 장착 공정의 정확도 및 안정성을 높였다. 향후 과제로는 제한한 알고리즘을 이용하여 자동화 로봇에 적용 가능성을 보다 폭넓게 확대해 나가는 것이 과제이다.

감사의 글

본 논문은 산업자원부 “지역혁신 인력양성사업”의 지원을 받아 수행한 연구입니다.

참 고 문 헌

[1] Hespanha, J. P, Dodds, Z, Hager, G. D, and Morse, A. S, "Decidability of robot positioning tasks using stereo vision systems," IEEE Conf. of Decision Control, vol. 4, pp. 3736 - 3741, Dec., 1998.

[2] Shibata, M and Kawasumi, H, "Solution for stereo correspondences on active stereo vision robot," The 8th IEEE International Workshop on 25-28, pp. 665 - 670, March, 1989.

[3] Pyunghyun Kim and Sehun 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] Ashokaraj, I, Tsourdos, A, Silson, P, White, B, and Economou, J, "Feature based robot navigation: using fuzzy logic and interval analysis" 2004 IEEE International Conf, Vol. 3 pp. 1461 - 1466., July., 2004.

[5] Hang, K and Pritschow, G, "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, 김관우, 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] 류항기, 이재국, 우경행, 최원호, "블록 보간법을 이용한 산업용 로봇의 3차원 위치 보정기법," 제어.자동화.시스템공학 논문지, 제 13권, pp. 235-241, 2007.

[9] 류항기, 황언택, 우경행, 최원호, "A 3-D Position Compensation Method of Industrial Robot Using Block Interpolation", Proceeding of IFOST 2006, pp. 415-418, 2006. 8.

[10] 이강혁, 류항기, 최원호, "도장로봇의 차체위치보정을 위한 3D-Vision 시스템", 한국디지털아트미디어학회, pp. 25-29, 2004. 12.

저 자 소 개



류 항 기 (柳 杭 基)

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 진단등.
Tel : (052) 273-8727
Fax : (052) 273-8726
E-mail : atm@atmc.co.kr



이 재 국 (李 在 國)

1973년 11월 30일생. 1999년 울산대학교 전자공학과 졸업. 2003년 동 대학원 석사. 2007년 동 대학원 박사. 2005년~현재 ATM(주). 관심분야 신경망, 시스템 고장 검출 및 진단, 영상처리.
Tel : (052)273-8727
Fax : (052)273-8726
E-mail : alf037@hanmail.net



김 병 우 (金 炳 禹)

1965년 4월 15일생. 1987년 한양대학교 기계공학과 졸업. 1990년 동대학원 정밀 기계공학과 졸업(석사). 2002년 동대학원 박사. 1989년 일본 KOSAKA연구소 초빙연구원. 1994~2006년자동차부품연구원 전장기술연구센터장. 2006년 ~ 현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 조교수. 관심분야 지능형자동차, 텔레메틱스, 임베디드 시스템, 자동차 네트워크
Tel : 052-259-1287
Fax : 052-259-1686
E-mail : bywokim@ulsan.ac.kr



최 원 호 (崔 源 昊)

1956년 2월 9일생. 1978년 연세대학교 전자공학과 졸업. 1980년 동 대학원 석사. 1990년 동 대학원 박사. 1979년~1985년 제일 정밀 공업(주). 1985년~1986년 삼성휴대 팩커드. 1986년~현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수. 관심분야는 Image Processing, 고장 진단 등.
Tel : 052-259-2203
Fax : 052-259-1686
E-mail : whchoi@ulsan.ac.kr