

조선 소조립 용접자동화의 부재위치 인식을 위한 Camera Vision System

Position Estimation of Welding Panels for Sub-Assembly Welding Line in Shipbuilding Using Camera Vision System

전바롬, 윤재웅*, 김재훈*, 고국원**, 조형석**

*삼성중공업 중앙연구소 메카트로개발센터(Tel:+82-42-865-4325; Fax:+82-42-865-4391; E-mail:brjeon@samsung.co.kr)

**한국과학기술원 기계공학과(Tel:+82-42-869-3213; Fax:+82-42-869-3210; E-mail:hscho@lca.kaist.ac.kr)

Abstracts There has been requested to automate the welding process in shipyard due to its dependence on skilled operators and the inferior working environments. According to these demands, multiple robot welding system for sub-assembly welding line has been developed, realized and installed at Keoje Shipyard. In order to realize automatic welding system, robots have to be equipped with the sensing system to recognize the position of the welding panels. In this research, a camera vision system is developed to detect the position of base panels for sub-assembly line in shipbuilding. Two camera vision systems are used in two different stages (Mounting and Welding) to automate the recognition and positioning of welding lines. For automatic recognition of panel position, various image processing algorithms are proposed in this paper.

Keywords Sub-assembly Welding Line, Vision System, Image Processing, Hough Transform, Camera Calibration

1. 서론

용접은 구속 접합법으로 자동차, 조선, 항공기 및 다양한 금속 공업에 널리 이용되고 있는 근대 산업의 필수적인 생산기술이지만 작업환경이 매우 열악하고, 품질의 균일성이 작업자의 기능에 민감하게 영향을 받으므로 로봇을 이용한 자동화가 절대적으로 필요한 공정이다. 따라서 현재 로봇을 이용한 용접 자동화에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 그러나, 용접이 절대적인 비중을 차지하고 있는 조선소의 경우는 용접자동화가 잘 이루어지지 않고 있으며, 이는 대형구조물의 용접, 다양한 용접부재 등 용접자동화를 어렵게 하는 요소가 많기 때문이다.

용접자동화의 어려움 중에 대표적인 것은 용접해야할 대상 즉, 작업부재를 인식하고 그 위치를 자동으로 측정함으로써 용접자동화 장치 혹은 용접 로봇에게 작업위치를 알려주는 것이라 할 수 있다. 본 연구에서는 주어진 제한 조건 내에서 가능하면 작업자의 제약을 줄이고 신뢰성을 갖을 수 있는 자동화 시스템을 개발하였다.

소조립 라인의 용접공정은 베이스 판넬(Base panel)에 여러 개의 보강재(Stiffener)를 세운 뒤 두 부재간을 접합하는 공정으로 이 때 사용되는 용접은 필렛(Fillet) 용접이다. 용접 시에는 정확한 용접선의 종류와 위치를 알아야 한다. Camera Vision System은 이러한 용접선의 종류와 위치에 관한 정보를 제공한다.

소조립 용접라인을 자동화하기 위한 연구는 유럽 및 일본의 선진 조선소에서 몇년 전부터 개발되기 시작하였다[2,5]. 최근에는 이러한 연구 개발이 완료되어 현장에 적용되고 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 이들의 대부분은 용접장치 및 주변장치에서는 완전 자동화를 구현하고도 부재의 인식이라는 부분에 있어서 만큼은 작업자에게 많은 제한사항을 가하고 있다.

본 연구에서는 작업자의 제한사항을 최소화하고, 높은 신뢰성을 갖는 자동화시스템으로 구현하기 위해 Camera Vision System을 두 단계로 나누어 설정하고 부재위치의 자동 정밀인식 및 부재 회전량의 정밀 인식을 수행하였다.

2. Vision System의 Configuration

2.1 취부공정 CVS의 Configuration

소조립 용접라인은 길이 22m 그리고 폭 8m의 크기를 갖는 1개의 세부 공정으로 그림 1과 같이 나뉘어져 있다. Vision System은 크게 두 부분으로 구성된다. 하나는 취부공정에서 부재의 ID를 확인하고 부재의 대략적 위치를 측정하여 용접공정의 Vision System이 그 위치를 정확하게 측정 하기 위해 이동 Camera가 움직여야 할 좌표 정보를 생성하는 Vision System으로서, 공간 상에 고정된 Camera를 이용한다. 두 번째는 움직이는 Traveling Gantry 상의 임의의 지점에 Camera를 설치하여 부재의 정밀한 위치와 방향을 측정하는 이동 Camera 시스템을 이용한다.

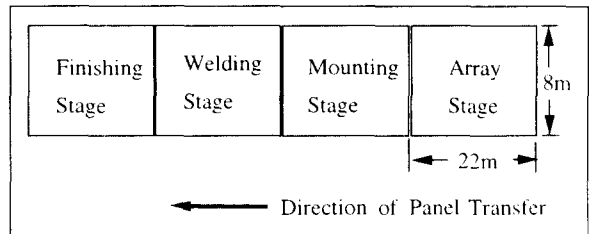


그림 1 소조립 공정의 흐름도

Fig. 1 The flow of sub-assembly welding line

본 시스템에서는 그림 2와 같이 2대의 Camera를 22m 상공의 천정에 설치하고, 2대의 Camera 영상을 Overlap시켜 한 개의 영상으로 변환하였다.

2.2 용접공정 CVS의 Configuration

용접공정에서의 부재 위치측정은 Stiffener 정보를 이용하지 않고 부재의 외곽선과 CAD Data만을 이용하므로 Edge의 변별력을 높이기 위해 전체 정반은 검은색으로 도색하였다.

용접공정은 2대의 Gantry 시스템이 운용되도록 되어있다. 따라서 용접공정에서는 그림 3에서와 같이 Gantry Robot의 4축 끝단에

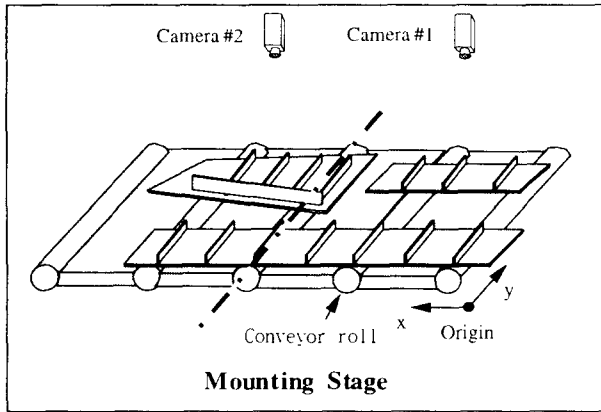


그림 2 취부공정 카메라 시스템
Fig. 2 Mounting stage camera system

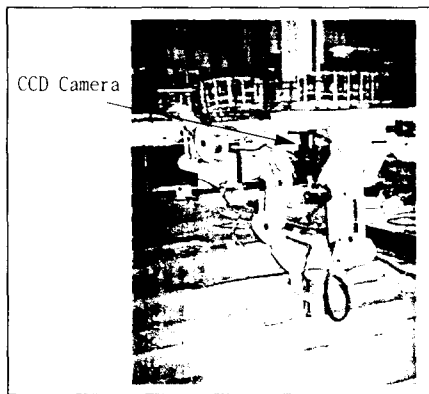


그림 3 용접공정의 이동 카메라 시스템
Fig. 3 Welding stage mobile camera system

각각 Camera를 설치하여 이동하면서 촬영하도록 하였으며, 이때 Camera의 기준위치는 Gantry의 좌표가 된다.

용접공정에서는 각 부재의 윤곽선 중 사전에 정의된 2 꼭지점(Vertex)의 위치를 자동 인식한다. 이는 취부공정에서 생성된 각 부재의 대략적 Vertex 위치와, 용접 Scheduling System에 의해 각 Gantry별로 할당된 이동 카메라의 측정 위치와의 관계로부터 결정된다. 부재가 용접공정에 들어온 신호를 운영시스템이 받게 되면 측정에 할당된 이동카메라, 즉 각 Gantry는 바로 각 부재의 Vertex들의 영상을 촬영하기 위해 취부공정에서 받은 위치로 이동하게 된다.

3. Camera Calibration

3.1 인공 신경망을 이용한 영상의 Calibration

영상의 Calibration은 Vision System의 최종 정밀도에 그대로 반영되기 때문에 정밀도 관점에서 충분히 고려되어야 한다. 본 연구에서는 변환행렬을 이용하는 방법의 단점인 영상의 국부왜곡에 대한 대처 능력부족을 극복하기 위해 Artificial Neural Network을 이용한 비선형 Mapping 방법을 사용하였다.

에러의 역전파 알고리즘을 이용한 Generalized Delta Rule은 은닉층을 이용하여 다층 Perceptron을 구축하고, 입력과 출력층, 그리고 은닉층의 각 Node에 대한 가중치를 학습을 통해 결정하고, 임의의 입력에 대한 출력을 계산하는 방법으로서 가장 널리 응용되고 있는 방법 중 하나이다[3].

3.2 취부공정 Camera의 Calibration

취부공정은 2대의 Camera 영상을 하나로 Merging하여 사용하기 때문에 Calibration도 동일한 방법으로 수행한다. 먼저 정반상에 일정한 간격으로 크기와 형상이 정의된 물체를 놓고 영상을 각각 촬영하여 하나의 영상으로 만든다. 본 연구에서는 지름이 30 cm인 검은 원판을 그림 4에서와 같이 1 m 간격으로 13 X 6개를 등간격으로 배치하였다.

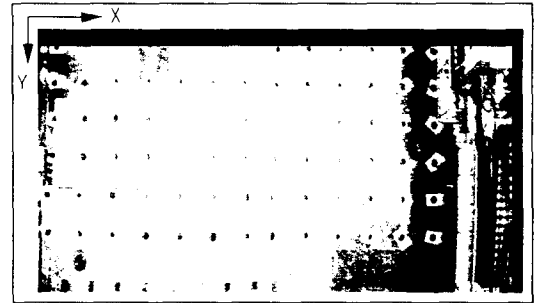


그림 4 취부공정 Calibration을 위한 Calibration Mark
Fig. 4 Calibration mark for mounting-stage calibration

원판이 놓여진 World Coordinate 상의 x, y 좌표값과 영상좌표계에서의 원판의 x, y 좌표값을 알면 Neural Network의 학습을 이용하여 서로 다른 두 값의 비선형 관계를 Mapping할 수 있다.

3.3 용접공정 Camera의 Calibration

용접공정의 Calibration 방법은 근본적으로 취부공정과 같다. 본 연구에서는 취부공정의 Calibration과 같이 지름이 10 cm인 검은 원판을 15cm의 간격으로 8 X 6개를 등간격으로 배치하였다.

4. 취부공정 Camera Vision System

4.1 영상 취득

취부공정 CVS에서는 천장에 고정된 두 개의 카메라를 이용하여 영상 취득을 한다. 두 개의 카메라로부터 취득된 영상들은 영상 합성을 통하여 하나의 영상이 된다. 두 개의 카메라는 일정 영역을 공유할 수 있도록 배치된다. 한편 두 개의 카메라 자세가 동일하지 않으므로 두 영상 간에는 수직 방향으로 변위차가 발생한다. 따라서, 영상 합성이 이를 고려하여 두 영상이 연속적으로 나타나도록 합성한다.

4.2 Cad Data 변환

CAD실에서 취부공정 CVS를 위하여 작성된 CAD Data는 부재의 외곽선을 이루는 모든 Vertex에 대한 좌표와 부재를 대표하는 두 Vertex의 좌표를 포함한다. 이 CAD Data는 당일에 용접할 모든 부재를 포함하며 이러한 각 부재의 Vertex 정보를 내부적으로 인식할 수 있는 형식의 데이터 구조로 변환한 후에 부재의 외곽영상과 CAD 데이터를 매칭하게 된다.

4.3 CAD Data Matching

취부 공정 Vision System은 작업자에 의해 수동으로 진행된다. 먼저, 여러 CAD Data 중 Matching 하고자 하는 부재의 CAD Data를 선택하고, 선택된 CAD Data를 최종 Matching 위치로 이동, 회전시킨 후 부재의 이동량과 회전량을 저장한다. 이동량은 World Coordinate의 원점으로부터의 이동량이므로 World Coordinate에서

의 위치 좌표와 동일하다. 이들 좌표는 부재의 대략적인 위치를 나타내며 용접공정 CVS에서 이동 카메라가 이동할 위치의 좌표와 동일하다.

5. 용접공정 Camera Vision System

5.1 측정 Sequence

취부공정에서 측정되는 부재의 위치 정밀도는 약 2-15 cm이며 이 정밀도는 로봇을 이용한 자동 용접을 위한 위치 정밀도를 만족하지 못한다. 따라서 로봇을 이용한 자동 용접을 수행하기 위해서는 추가로 부재의 정확한 위치와 방향을 측정하여 위치를 보정해 주어야 한다.

이 때, 측정 위치는 부재의 대각선 방향의 두 Vertex들이다. 이렇게 두 개의 Vertex를 선정하는 것은 하나의 Vertex만으로는 부재의 방향 정밀도를 만족시킬 수 없기 때문이다. 그림 5에 이동 카메라의 부재 영상 취득 위치를 나타내었다.

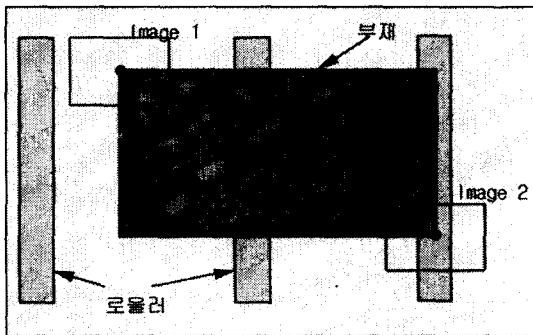


그림 5 영상 취득 위치

Fig. 5 Image acquisition point

이동 카메라를 이용하여 취득된 영상으로부터 일련의 영상 처리 과정을 거쳐 부재의 정확한 위치와 방향을 측정하며 이 정보는 운영시스템인 Supervisory Control System에 전달된다. 그림 6에 영상 처리 과정의 흐름도를 나타내었다.

5.2 영상 처리

5.2.1 Mediang Filtering

촬영된 영상에는 많은 노이즈가 존재하며 이를 제거하기 위하여 본 연구에서는 Median filtering을 수행하였다[1].

5.2.2 Vertex Selection

Vertex Selection 단계는 CAD Data의 직선 성분들 중에서 부재의 위치결정을 위한 두 개의 직선 성분들을 선정하는 단계이다. 두 직선을 선정하기 위하여 부재에 대한 사전정보를 이용하여, 이 직선들 중 다음과 같은 선정 조건을 만족하는 두 직선을 선정한다.

가. 길이가 긴 직선

나. 서로의 각도 차이가 큰 직선

다. 영상의 중심에서 가까운 직선

선정된 두 직선에 대한 직선 정보는 두 직선의 교점의 좌표, 두 직선과 영상의 경계와의 교점들의 좌표로 표현된다. 그림 6에 Vertex Selection 결과를 나타내었다.

5.2.3 Region Segmentation

Vertex Selection 단계에서 선정된 두 직선과 취부공정의 정밀도를 이용하면 부재의 직선 성분이 존재하는 영역을 예측할 수 있다.

직선 성분 존재 영역은 다음과 같은 과정을 거쳐 구한다. 첫째, 미리 알고 있는 CAD Data 직선들을 이용하여 이들 직선과의 거리가 30 cm인 직선들을 구한다. 그 다음 구한 직선들에 의하여 분할되어지는 영역들 중 CAD Data가 존재하는 영역을 구한다. 이 영역이 직선 성분 존재 영역이다. 이진화시의 신뢰성의 향상을 위하여 구한 영역을 CAD Data의 꼭지점을 중심으로 분할한다. 그림 6에 Region Segmentation의 결과를 나타내었다.

5.2.4 Optimal Thresholding & Blob Coloring

영상으로부터 부재의 직선 성분들을 검출하기 위해서는 에지를 추출하여야 한다. 그러나 영상은 부재 에지 외에도 Roll의 경계선, 정반의 굽힘, 부재 내의 보강재(Stiffener), 정반의 단, 조명의 상계 등과 같은 여러 에지들을 포함한다. 노이즈로 작용하는 이러한 에지들은 대부분 부재 내부 또는 정반 바닥 면에 존재한다. 따라서 부재 영역과 정반 영역을 분리하여 부재 영역과 정반 영역의 경계에서의 에지만 추출한다면 부재만의 직선 성분들을 검출할 수 있다. 부재 영역과 정반 영역을 분리하기 위하여 부재와 정반의 휘도 차이를 이용하는 Optimal Threshold 기법을 사용하였다[5]. 부재 영역과 정반 영역이 영역 간 경계선의 왜곡이 없이 잘 분리될수록 부재의 직선 성분 검출의 신뢰도는 높아진다. 영역간의 분리도를 높이기 위하여 Region Segmentation 단계에서 구한 각각의 영역 내에서만 Thresholding을 수행하였다.

측정하려고 하는 부재 외부의 다른 부재 혹은 Noise를 제거함으로써 측정하고자 하는 부재만을 남기고 다른 것을 지우기 위해 Blob Coloring을 수행한 후 Blob의 정보들을 추출한다[5]. 추출된 Blob의 정보들은 원하지 않는 Blob들을 제거하는 데 쓰인다. Blob Coloring을 통해 측정하고자 하는 부재의 이진 영상만이 남은 결과를 그림 6에 나타내었다.

5.2.5 Edge Detection

에지 검출을 위하여 본 연구에서는 Sobel Operator를 사용하였다. 노이즈 성분들을 제거하기 위하여 검출된 에지 영상과 앞서 Optimal Threshold Method으로 구한 이진화 영상들을 함께 고려한다. 이진화 정보는 부재의 에지들이 존재하는 영역에서만 형성되어 있으므로 이진화 정보를 이용하면 노이즈를 효과적으로 제거할 수 있다. 또한 이진화 영상을 이용하면 에지들 중 강한 에지들을 효과적으로 검출할 수 있다. 그림 6에 최종적으로 구한 에지 영상을 나타내었다.

5.2.6 Hough Transform을 이용한 직선 검출

영상의 에지 성분들 중에서 직선 성분들만을 검출하기 위하여 Hough Transform을 수행하였다[1]. 그림 6은 에지 영상의 Hough Transform에 대한 직선의 표현과 Hough의 좌표값들을 이용하여 생성된 직선 성분들과의 관계를 보여준다.

검출된 직선들 중에는 길이가 짧은 에지 성분에 의하여 나타나는 직선들이 있으며 이들 직선 성분은 에지의 길이에 대한 일계치를 이용하여 제거한다. 이렇게 함으로써 노이즈들에 의한 짧은 직선 성분들을 배제하고 가능한 한 부재에 의하여 생성되는 긴 직선 성분들을 검출할 수 있다. 실제로 길이가 짧은 직선들을 제거하더라도 양자화 오차에 의하여 하나의 직선이 많은 수의 직선 성분들로 표현될 수도 있다. 그림 6에 Hough Transform을 수행하여 구한 직선 성분들을 나타내었다.

5.2.7 Line Matching

길이가 짧은 직선들을 제거한 후 Inverse Hough Transform을 수행한 결과가 그림 7에 있다. Blob Coloring을 이용하여 부재 외부의 Edge 성분들을 제거하였으므로 Hough Transform을 수행하면

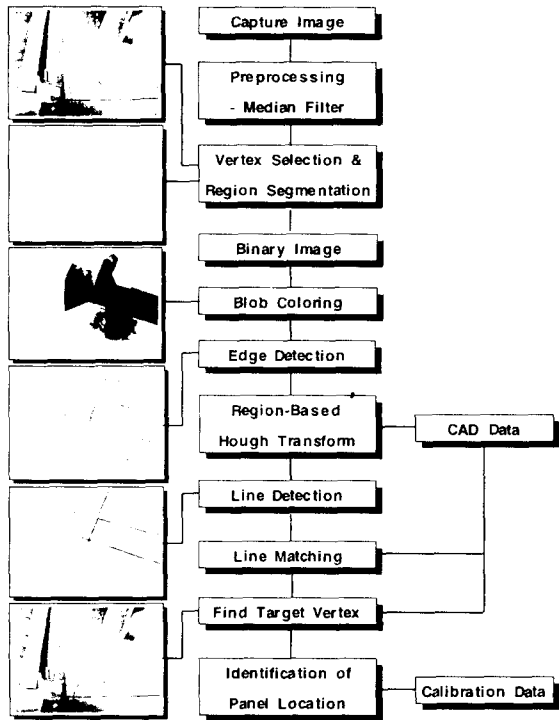


그림 6 용접공정 CVS의 영상처리 Flow
Fig.6 Flow of welding stage CVS

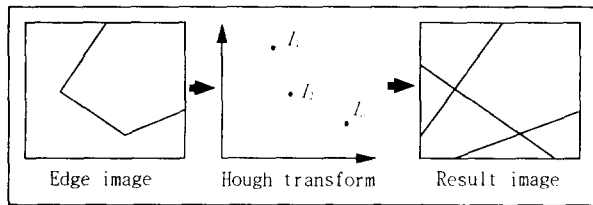


그림 7 Hough transform에 의한 직선 성분

Fig.7 Extracted line components by Hough transform

부재의 경계를 이루는 직선들과 부재 내부에 존재하는 Stiffener의 경계를 이루는 직선들만이 검출된다.

이들 직선들의 집합 중 부재의 경계에 해당하는 직선들의 집합을 선택하고 선택된 직선들을 다시 하나의 직선으로 근사화하여 부재의 경계를 이루는 두 개의 직선을 결정하고 두 직선의 교점을 구한다.

5.2.8 부재의 위치와 방향 결정

Hough Transform을 이용하여 검출된 두 직선 $l_1(\theta_1, s_1)$, $l_2(\theta_2, s_2)$ 에 의하여 결정되는 교점 x_c, y_c 는 (1)식과 같이 결정된다.

$$x_c = \frac{s_2 \csc \theta_2 \operatorname{sgn}(\tan \theta_2) - s_1 \csc \theta_1 \operatorname{sgn}(\tan \theta_1)}{\cot \theta_2 - \cot \theta_1}$$

$$y_c = -\cot \theta_1 \cdot x_c + s_1 \csc \theta_1 \operatorname{sgn}(\tan \theta_1) \quad (1)$$

Calibration Data를 이용하여 교점 x_c, y_c 를 Camera Coordinate 상의 X_c, Y_c 점으로 변환한 후 d_{cx}, d_{cy} 를 구한다. d_{cx}, d_{cy} 가 결정되면 최종적인 World Coordinate 상의 위치 P_{wx}, P_{wy} 는 (2)식을 이용하여 구한다.

$$P_{wx} = C_{wx} + d_{cx}$$

$$P_{wy} = C_{wy} + d_{cy}$$

$$d_{cx} = X_c - C_{cx}, \quad d_{cy} = Y_c - C_{cy} \quad (2)$$

P_w : vertex position on the world coordinates

C_w : position of the image center on the world coordinate

C_c : position of the image center on the camera coordinates

d_c : distance between the image center and the vertex on the camera coordinates

같은 방법으로 부재의 또 다른 꼭지점에 대한 위치 정보를 구하여 한 부재 당 두 개의 꼭지점에 대한 정보를 저장한다. 한 부재의 두 개의 꼭지점에 대한 위치 정보를 알고 있으므로 두 꼭지점의 기하학적 관계를 이용하면 부재의 위치 즉, 부재 원점의 위치와 기준선에 대한 부재의 방향을 알 수 있다.

5.2.9 실험 결과

그림 8은 취득된 영상으로부터 부재 꼭지점의 위치를 찾은 결과를 표시한 영상이다.



그림 8 부재위치의 자동인식 결과

Fig. 8 Recognition of panel location

그림 8에서와 같이 다양한 직선 성분들이 존재하는 영상에서 부재의 꼭지점의 위치를 잘 선택해 낼 수 있으며 이 꼭지점의 위치는 10mm 이내의 오차를 보였다.

7. 결론

본 연구에서는 조선 소조립의 용접자동화를 위한 부재위치 인식용 Vision System을 개발하였다. 카메라는 각각 취부공정과 용접공정에 설치하였고, 취부공정에서는, 고정 카메라를 이용하여 부재의 위치를 대략적으로 인식하여 용접공정의 이동카메라가 정밀하게 위치를 인식할 수 있는 기준 좌표를 계산하였다. 용접공정에서는 다양한 영상처리 알고리즘을 이용해 부재의 위치를 자동으로 상밀하게 측정함으로써 용접 로봇이 충돌없이 정해진 용접선을 용접할 수 있도록 그 좌표를 제시하도록 하였다. 이것은 기존에 유럽 및 일본에서 부재에 Mark를 하거나 외부조명을 완전 차단하는 등의 제한 조건없이 보조광원과 부재의 CAD 데이터만을 이용하여 부재의 위치를 자동으로 인식할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 본 시스템은 현재 거제 조선소 소조립 용접라인에 설치되어 운영중이다.

참고 문헌

- [1]A. Jain, "Fundamentals of Digital Image Processing", Prentice Hall, 1989
- [2]O.Knudsen, "First Implementation of a Vision based Positioning Modules at OSS", *Industrial Vision*, ATV Project No. 466, 1996
- [3]Y.Pao, "Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks", Addison-Wesley Publishing Co., Inc., 1989
- [4]A.Rosenfeld and A.C.Kak, "Digital Picture Processing (1)", Academic Press, 1982
- [5]Y.Sugitani et al., "Multi-Robot Welding System for Sub-assembly in Shipbuilding", *NAK Technical Report*, No.153, pp 72-80, 1996