

# 시각 장치를 사용한 조선 소조립 라인에서의 용접부재 위치 인식 Position Estimation of the Welding Panels for Sub-assembly line in Shipbuilding by Vision System

\*노영준, \*고국원, \*박원식, \*조형석, \*\*김재훈, \*\*윤재웅, \*\*전바름  
\*한국과학기술원 기계공학과, \*\*삼성 중공업

Young Jun Roh , Kuk Won Ko, Won Shik Park, Hyung Suck Cho (KAIST)  
Jae Hoon Kim, Jae Woong Yoon, Paul Jeon ( SamSung Heavy Industries co. )

### Abstract

The welding automation in ship manufacturing process, especially in the sub-assembly line is considered to be a difficult job because the welding part is too huge , various, unstructured for a welding robot to weld fully automatically. The weld process at the sub-assembly line for ship manufacturing is to joint the various stiffener on the base panel. In order to realize automatic robot weld in sub-assembly line, robots have to equip with the sensing system to recognize the position of the parts. In this research, we developed a vision system to detect the position of base panel for sub-assembly line is shipbuilding process. The vision system is composed of one CCD camera attached on the base of robot, 2-500W halogen lamps for active illumination. In the image processing algorithm, the base panel is represented by two set of lines located at its two corner through hough transform. However, the various noise line caused by highlight, scratches and stiffener, roller in conveyor, and so on is contained in the captured image, this noise can be eliminated by region segmentation and threshold in hough transform domain. The matching process to recognize the position of weld panel is executed by finding patterns in the Hough transformed domain. The sets of experiments performed in the sub-assembly line show the effectiveness of the proposed algorithm.

**Key words :** welding automation, Hough transform

### 1. 서론

용접은 구속 접합법으로 자동차, 조선, 항공기 및 다양한 금속 공업에 널리 이용되고 있는 근대 산업의 필수 적인 생산 기술이지만, 작업 환경이 매우 열악하고, 품질의 균일성이 작업자의 기능에 민감하게 영향을 받으므로 로봇을 이용한 자동화가 절대적으로 필요한 공정이다. 따라서, 현재 산업 현장에서 로봇을 이용한 용접 자동화에 대한 연구를 진행하고있으며, 이 결과로 인하여 많은 자동화 용접 장치가 개발되었다. 그러나, 특히 용접이 많은 비중을 차지 하고 있는 조선소의 조립 라인에서는 용접 자동화가 이루어 지지 않고 있다. 그 이유는 조선 용접 공정은 다양한 종류의 부재를 사용할 뿐 아니라, 용접 대상이 자주 바뀌어 자동화를 위하여 로봇 시스템을 사용하여 용접선을 티칭(teaching)하는 것이 어렵기 때문이다. 또한, 용접 부재의 크기가 너무 커 현재 이루어지고 있는 소형 로봇을 사용한 자동화에 적합한 환경을 만들기 어렵기 때문이다.

조선 공정의 소조립 라인에서의 용접 공정은 그림 1에서와 같이 베이스 패널(Base panel)에서 여러개의 보강재(Stiffener)를 세운 뒤 두 부재간을 접합하는 것이다. 이때 사용되는 용접은 필

렛(fillet) 용접이다. 이와 비슷한 공정은 교량을 만들 때 베이스 패널에 강도를 부여하기 위해서 마찬가지로 보강재를 사용하여 보강하는 공정이다. 이 공정은 용접 작업이 직선적인 형태라서 현재 일부 용접 자동화가 되어 있지만, 아직 조선 공정에서는 용접 자동화의 적용 사례는 없다. 그 이유는 조선에서의 소조립 공정이 전형적인 소량 다품종이고, 용접선이 3차원으로 구성되므로, 용접 토치의 유연성(flexibility)이 뛰어나고 넓은 작업 영역 거리(working space)가 필요한 용접 로봇이 필요하고 여기에 정밀한 용접 부재의 위치 및 용접선의 위치 인식을 모두 만족 시킬 수 있는 지능적(intelligent)인 인식 시스템이 추가로 필요하기 때문이다.

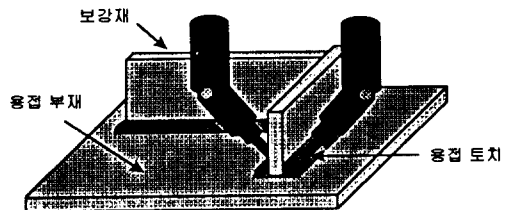


그림 1. 소조립 공정

본 연구는 조선소 소조립 공정의 용접의 자동화 시스템의 한 분야인 용접 부재 위치 인식을 위한 영상 처리 기법에 관한 것으로 용접 로봇에 부재의 위치와 자세 정보를 제공하여 로봇의 경로를 보정하도록 하는데 목적을 둔다. 이를 위하여 우선, 용접 로봇에 부착된 카메라를 이용하여 일정한 거리로부터 부재의 영상을 획득한 후 영상 처리 기법을 이용하여 용접 부재의 에지(edge) 정보를 추출하고 Hough 변환을 통하여 구한 직선 성분을, 캐드(cad) 데이터와 비교하여 부재의 위치 오차를 실시간으로 얻을 수 있도록 하였다.

## 2. 소조립 라인의 자동화 시스템

### 2.1 소조립 자동화 시스템

현재의 수동으로 이루어 지고 있는 소조립의 용접 공정은 먼저 기중기를 이용하여 베이스 패널을 정해진 위치에 놓고 여기에 작업자가 여러 개의 보강재를 우선 가접 시킨 후 컨베이어 벨트를 이용하여 다음 주 용접 정으로 보내어 진다. 주 용접 공정에서는 CO<sub>2</sub> 가스를 이용한 반 자동 직선 용접선 추적 장치를 사용하고 있다. 작업자가 용접기 직선 용접을 자동으로 할 수 있도록 초기 용접 위치와 자세를 정해 주고 있다. 이때의 용접은 크게 베이스 패널과 보강재 사이의 수평과 모서리 용접, 그리고 보강재 사이의 수직 용접으로 나뉜다.

소조립 공정의 용접 자동화는 로봇이 자동으로 용접 부재의 자세를 인식하여 CAD 정보로부터 스스로 경로를 생성하여 용접을 하도록 하는 것으로 전체 공정의 흐름은 그림 2 와 같다.

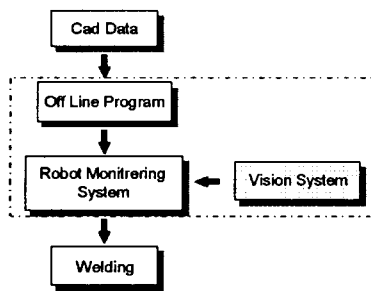


그림 2. 소조립 용접 자동화 시스템의 흐름

오프라인 프로그램에서는 부재에 대한 CAD 데이터(cad data)를 통해 영상 정보를 얻고, 여기서 미리 교시된 보강재의 위치 정보로부터 용접선 정보와 용접에 필요한 로봇의 자세와 동작에 대한 정보를 생성한다. 비전 시스템에서는 가접 공정 후 자동 용접 공정으로 부재가 이동되면서 생긴 위치와 방향 오차를 검출 하기 위한 것으로 용접 부재의 CAD 데이터를 기반으로 부재가 놓인 위치와 방향 오차를 인식하고 그 정보를 RMS(Robot Monitoring System)로 보낸다. 로봇은 비전 시스템에서 구한 오차 정보를 이용하여 로봇의 이동 경로와 움직임을 보정한 후 용접 작업을 시행한다.

### 2.2 용접 로봇 및 영상 시스템

소조립 공정에서 사용될 자동 용접 로봇은 그림 3 과 같이 보강재의 양단에서 동시에 용접할 수 있도록 두 개의 팔로 구성되어 있다. 이 로봇은 겐트리를 통하여 조립 라인 어느 위치로 이동이 가능하다. 부재 인식을 위한 비전 시스템은 삼성 항공 B/W CCD 카메라와 12mm 렌즈(cannon 사)로 구성되어 있고 로봇의 팔 중앙부에 설치되어 있다. 그리고, 주위 조명 조건에 능동적으로 대응할 수 있도록 500W의 할로겐 조명이 2 개 설치되어 있다. 영상 획득 시에는 로봇은 용접 대상물에서 1m의 위치에 수직으로 위치하고 로봇의 팔은 영상 획득에 방해가 되지 않도록 접힌다.

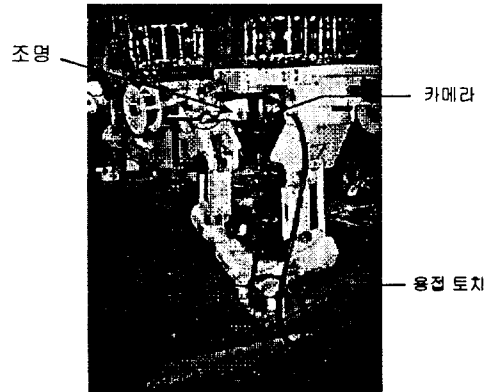


그림 3. 용접 로봇과 비전 시스템

## 3. 용접 부재의 위치 인식 알고리즘

### 3.1. 영상을 통한 용접 부재의 위치 결정

용접 부재는 임의의 방향으로 놓여진 상태에서 가접 공정을 거친 컨베이어를 통해 자동 용접 위치로 옮겨진다. 가접 공정에서 작업자가 부재의 위치를 교시하여 주나, 컨베이어 이동시에 진동으로 인하여 위치 이동이 생길 수 있고, 가접 공정의 용접 부재의 위치 정보는 자동 용접을 위한 위치 정밀도(위치 오차 20mm 내외, 각도 오차 : 2도내외)를 만족하지 못한다. 따라서, 로봇에 의한 자동 용접을 수행하기 위해서는 카메라를 통하여 얻은 영상 정보로부터 부재의 정확한 위치와 방향을 측정하여 위치를 보정해야 한다.

부재의 위치 인식을 위하여 그림 4와 같이 두개의 모서리 부분의 영상을 획득한다. 이는 하나의 영상으로는 용접 부재가 크므로(3m 이상) 측정의 정밀도를 만족시킬 수 없기 때문이다. 평면 상의 물체는 기하학적으로 정해진 두개의 점에 대한 위치만을 알게 되면 물체의 위치와, 방향이 결정되어지므로 대각선 방향으로 두개의 부분 영상을 얻고 각각의 영상에서 부재의 꼭지점의 위치를 구한다면 용접 부재의 위치 및 방향을 알 수 있다.

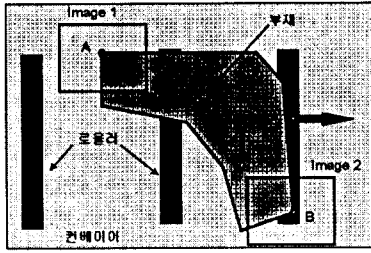


그림 4. 영상 취득 위치

### 3.2. 부재내의 직선 선분 선택

CAD data의 구성은 직선 성분으로 구성되어 있으므로 효율적인 위치 오차 추출을 위해서는 로봇에 장착된 카메라로부터 얻은 영상으로부터 직선 성분을 추출하여 비교하는 것이 유리하다. 기본적으로 평면의 물체는 인접한 두개의 선분에 의하여 위치와 방향이 결정되어 진다. 따라서, CAD data를 사용하여 위치결정을 위한 두개의 기준 직선 성분을 선정하는 작업이 먼저 수행되어야 한다. 기준 직선 성분의 선정은 우선 카메라의 위치에 대한 정보로부터 CAD data에서 영역을 예상할 수 있으며, 예상된 영역에서 다음과 같은 선택 조건을 만족하는 두 직선을 선택한다.

- 1) 길이가 긴 직선
- 2) 서로의 각도 차이가 큰 직선
- 3) 영상의 중심에서 가까운 직선

### 3.3. 영상 처리 알고리즘

로봇에 위치한 카메라로부터 획득한 영상을 통해 부재의 에지를 추출하는 영상 처리 과정은 그림 5와 같다. 노이즈한 영상으로부터 부재의 에지를 신뢰성 있게 찾기 위하여 직선 성분 추출에 유리한 Hough transform을 사용하였다.

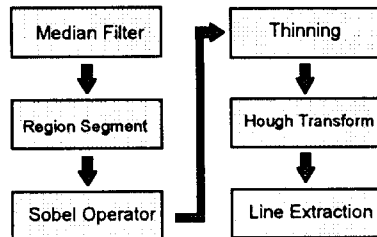


그림 5. 부재의 외각선 검출 흐름도

#### 3.3.1. 부재에 대한 영상

조선소의 소조립 공정의 환경은 다른 일반적인 자동화 공정과 같이 잘 정돈되어 있지 않은 상황에서 영상을 얻게 된다. 일반적으로 영상 처리의 신뢰성을 높이기 위해서는 측정하고자 하는 대상물이 배경과 쉽게 분리될 수 있도록 조명을 포함한 환경을 설정해야 한다. 그러나, 실외의 작업 환경이 대부분이며 크고

다양한 부재들에 대한 공정이 많은 조선소 공정 특성상 조명 조건과 작업장 환경을 일정하게 유지하기 어렵다.



그림 6. 노이즈가 많은 작업 환경의 실제 영상

그림 6은 로봇에 장착된 카메라를 통하여 얻은 현 수동 용접 라인에서 획득한 영상이다. 그림에서 보는 바와 같이 조명 상태에 의한 영상의 질 저하 뿐 아니라 보강재, 로울러, 굽힘 등에 의하여 영상 처리의 장애물이 많다. 따라서, 1차적으로 양질의 영상을 얻어 영상 처리의 효율을 높이기 위하여 바닥면은 검은 색의 페인트를 사용하여 부재와의 분리를 향상 시키고 환경 변화에 영향을 덜 받도록 500W의 조명을 카메라 주위에 설치하였다.

#### 3.2.2. 노이즈 제거와 에지 검출(Edge detection)

영상으로부터 부재의 직선 성분 검출을 위해서는 밝기 값의 변화량을 통한 에지(edge)를 추출해야 한다. 그러나, 실제 영상에는 용접 부재뿐 아니라, 사전 정보가 없는 보강재(stiffener), 부재의 위치 이동을 위한 로울러, 바닥면의 단, 굽힘 등에 의하여 생긴 노이즈 성분들로 인한 여러개의 에지들이 얻어지게 된다. 이러한 노이즈로 인한 에지 성분은 대부분 부재 내부와 바닥면에 존재하게 되므로 부재와 바닥간의 영역을 분리하여 경계 부분의 에지 성분만 구한다면 이들 에지는 쉽게 분리할 수 있다. 영역 분리를 위해서는 부재와 바닥의 휘도 차이를 이용하였다. 먼저 median 연산자를 사용하여 영상상의 작은 노이즈들을 제거한 다음, optimal threshold 기법[4]을 사용하여 이진화로 영역을 분할하여 원하는 에지 성분들을 제거하였다. 그림 7은 바닥과 부재가 이진화로 영역이 분할된 영상을 보여준다.



(a) 원래 영상

(b) 분할 영상

그림 7. 부재와 바닥의 영역 분할 영상

분할된 영역에서부터 영상의 에지를 추출하기 위해서는 일반적으로 많은 사용되는 밝기 값의 기울기 벡터(gradient vector)의 크기를 이용하였다. 잘 알려진 Sobel의 연산 기법을 사용하였다. 그림 8은 추출된 에지의 영상을 보여준다. 추출된 에지는 세선

화(Thinning) 과정을 거쳤다.

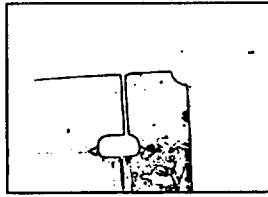


그림 8. 세선화된 edge 영상

### 3.2.3 Hough transform

Hough transform 은 디지털 영상(gray level image)에서 직선의 방정식을 알아내는 방법이다[4]. 에지 영상으로부터 직선 성분을 추출하여 영상 좌표로 표현 할 수 있다. 그림 9는 Hough transform 의 원리는 나타낸 것이다. 한 개의 직선을 원점으로부터 거리와 기울기로 변환한다. 그림에서 기울기  $\theta$  와 원점에서 거리  $s$  는 식 (1)로 표현된다.

$$s = x \cdot \cos\theta + y \cdot \sin\theta \quad (1)$$

직선 위의 점들은 식(1)과 같은 변환에 의하여  $s-\theta$  좌표로 대응(mapping)되며 이때 직선을 최소만큼 축척이 되는 교점이 되는  $(s, \theta)$ 가 직선을 대표하는 Hough transform 의 값이다.

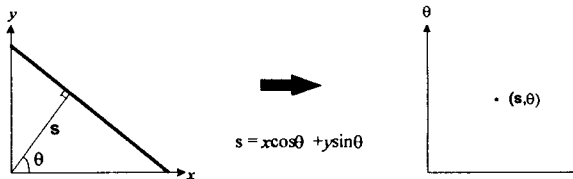


그림 9. Hough Transform 의 원리

그림 10은 에지 영상의 Hough transform 에 대한 직선의 표현과 Hough 의 좌표 값들을 이용하여 생성한 직선 성분들과의 관계를 보여준다.

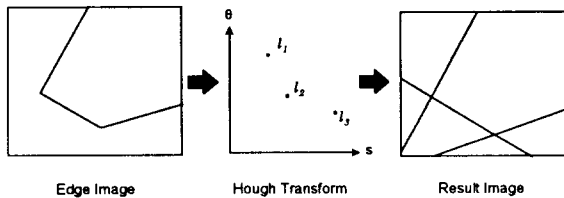


그림 10. Hough Transform 및 Hough transform 에 의한 직선 성분

### 3.2.4 Hough Transform 에 의한 에지 검출

영상 처리 과정을 통하여 부재와 바닥면의 영역을 분할함으

로써 보강재나, 바닥면에 의하여 생성되는 에지들을 줄이고, Hough Transform 을 수행하여 생성되는 직선의 후보들 중, 길이 성분이 큰 직선 성분들을 찾는다. 이렇게 함으로써 영상 노이즈로 인한 짧은 직선 성분들을 배제하고 가능한 부재에 의해 생성되는 긴 직선 성분을 검출할 수 있다.

실제로 노이즈를 제거하더라도 Hough transform 을 통하게 되면 많은 갯수의 직선 성분으로 표현될 수 있다. 그러나, 이중, 일정 길이 이상의 선분만을 추출한 후, 이들 직선들의 조합 중에서 사전 정보로부터 알고 있는 부재의 선분을 찾게 된다. 그림 11과 같이 영상에 들어오게 되는 부재의 두 선분의 각도 차는 회전과 위치 이동에 상관없이 항상 일정하므로 이러한 각도 차를 만족하는 두 직선 성분을 찾는다. 즉, Hough Domain에서의 각도 축의 값  $\theta$  의 차  $d\theta$  는 부재의 위치에 상관없이 부재에 의하여 결정되므로 Hough domain 에서 이 관계를 만족하는 두개의 선분을 찾는 것이 가능하다.

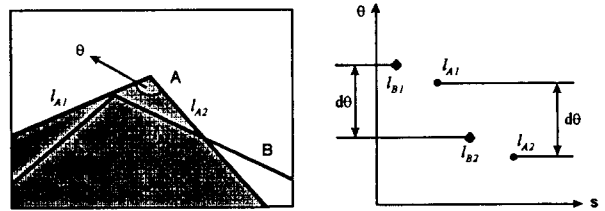


그림 11. Hough domain 에서의 두 직선 탐색

그러나, 그림 12와 같이 각도 성분만으로 부재의 에지를 찾게 되는 경우에 있어서, 만약 부재의 선분 중 평행한 선분이 존재할 경우 두개의 직선을 선택하는 것이 어렵다. 이때는 Hough Domain에서는  $d\theta$  를 만족하는 여러개의 선분 쌍이 존재하게 된다. 이를 경우에는 평행한 2개의 직선간의 거리 정보와 평행하지 않는 선분간의 각도 정보를 이용하여 3개의 직선 관계로부터 부재의 위치 정보를 얻는다. 그리고, 부재의 위치 정보를 위해서 최외각에 존재하는 선분과 이에 평행하지 않는 나머지 선분을 이용한다. 이렇게 함으로써, 평행한 선분이 존재하는 경우에는 동일한  $\theta$ 성분을 갖는 선분 중 최외각의 것으로 취하게 함으로써 혼란을 방지할 수 있다.

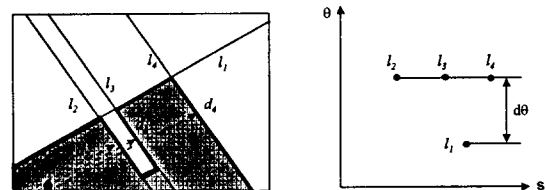


그림 12. 평행한 선분이 존재하는 경우

### 3.3 부재의 위치 결정

Hough 좌표에서 부재의 위치로 추출된 두 직선  $l_i(\theta_i, s_i)$ ,

$I_2(\theta_2, s_2)$ 에 의하여 결정 되는 교점  $x_c, y_c$ 는 다음과 같이 결정 된다.

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

$$y_c = -\cot \theta_1 \cdot x_c + s_1 \csc \theta_1 \operatorname{sgn}(\tan \theta_1) \quad (2)$$

따라서, 영상을 통하여 얻게 되는 부재에 대한 하나의 꼭지점의 전체 좌표에 대한 위치  $x_p, y_p$ 는 센터의 이동량에 따른 카메라의 좌표를 알고있으므로 다음과 같이 결정된다.

$$x_p = x_o + x_c, \quad y_p = y_o + y_c \quad (3)$$

(여기서,  $x_o, y_o$ 는 카메라의 원점이다.)

같은 방법으로 부재의 또 다른 모서리의 꼭지점에 대한 위치 정보를 영상을 통해 얻음으로써 절대 좌표상에서 전체 부재가 놓여진 위치와 방향을 알게 된다.

#### 4. 실험 결과 및 토의

그림 13은 시험용 센터에서 얻은 영상으로부터 부재의 선분을 찾은 결과를 표시한 영상이다.

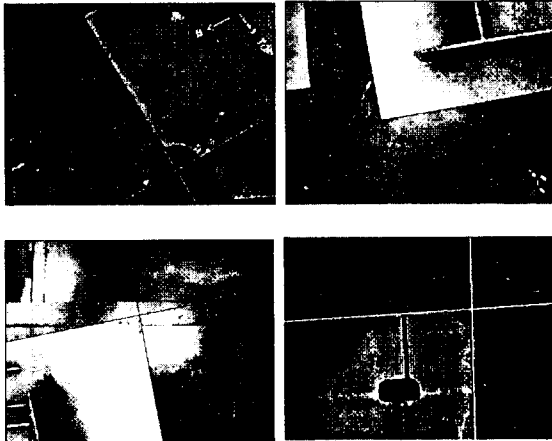


그림 13. 부재 꼭지점 위치 인식 영상

그림에서와 같이 다양한 선분들이 존재하는 영상에서 부재의 외각선을 잘 선택해 낼 수 있으며, 꼭지점에 대한 위치 정밀도는 화상의 질에 따라 1~10 화소(2~20mm) 정도의 오차를 보였다. 현재 다양한 형상의 부재에 대한 실험을 통하여 알고리즘의 신뢰성 검증이 진행 중이다.

#### 5. 결 론

용접 부재의 위치를 인식하여 로봇에 의한 자동 용접 공정을 수행 할 수 있는 비전 시스템과 영상 처리 알고리즘을 개발하였다. 영상을 통해 부재의 에지를 찾기 위한 알고리즘으로 영상의 휘도차에 의한 에지 영상을 구하고, Hough Transform 을 사용하여 직선 성분을 추출하는 방식을 사용하였다. Hough Transform 은 부분적으로 끊어진 에지에 큰 영향 없이 영상에서의 직선 성분을 방향 성분으로 표현하게 되므로 직선으로 표현되는 부재를 강건하게 찾을 수 있었으며 또한 기하학적인 해를 쉽게 구할 수 있도록 해준다. 휘도한 영상의 질이 양호한 경우 큰 문제없이 부재의 위치를 정확하게 찾아내었으나, 조명 상태의 불균일로 인한 영상의 질 저하로 부재의 구분이 어려운 경우 신뢰성이 떨어지므로 안정된 영상을 획득할 수 있도록 조명 조건을 확보해야 한다. 현재로서는 작업자의 1차 교시에 의한 대략적인 위치 정보를 이용하여 부재의 위치를 인식하고 있으나, 완전 자동화를 위하여는 부재의 종류와 위치를 함께 인식할 수 있는 지능화된 알고리즘이 필요하다. 보강재에 의하여 부분적으로 가린 부재나, 복잡한 형상의 부재 등, 보다 복잡하고 다양한 경우에 대한 강건한 화상 인식 알고리즘이 필요하다.

#### 후기

이 논문은 1997년도 삼성 중공업의 프로젝트 "영상을 통한 용접 부재의 위치 인식" 연구비 지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

#### 참고 문헌

1. Y. Sugitani, Yoshihiro Kanjo, " Multi-robot welding system for sub-assembly in shipbuilding", NKK 기보 pp. 72-80, No.153, 1996.
2. 김진오, 신정식, 김성권, "로봇을 이용한 조선 소조립 용접 자동화 시스템", Proceedings of the 11<sup>th</sup> KACC, pp. 516-519, Oct 1996.
3. J. Sin, K. Hyun, J.-O. Kim, S. Kim, "Design of robotic welding system for sub-assembly in ship manufacturing (task recognition)", The fourth international conference on control, automation, robotics and vision (ICARCV) Singapore, pp. 2277-2281, Dec. 1996.
4. Anil K. Jain, Fundamentals of digital image processing, Prentice hall, USA, 1989.
5. 한국과학기술원 생산공학과, " 전자부품 조립 자동화를 위한 로봇트 비전의 범용화상처리 알고리즘의 개발", 1991.7.