

조선 소조립 용접자동화의 부재위치 인식을 위한 카메라 시각 시스템

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

전 바 롬, 윤 재 응, 김 재 훈

(Ba-Rom Jeon, Jae-Woong Youn, and Jae-Hoon Kim)

Abstract : 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 a sensing system to recognize the position of the welding panels. In this research, a camera vision system(CVS) 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 (fitting 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

I. 서론

용접은 구속 접합법으로 자동차, 선박, 항공기 등 다양한 금속공업에 널리 이용되고 있는 근대 산업의 필수적인 생산기술이지만, 작업환경이 매우 열악하고 품질의 균일성이 작업자의 기능에 민감하게 영향을 받으므로 로봇을 이용한 자동화가 절대적으로 필요한 공정이며, 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.

용접 자동화의 구현을 위해서는 다단계의 자동화 방안이 있을 수 있다. 용접장치만을 자동화함으로써 작업 생산성은 올리지만 사전단계 혹은 사후단계에서는 작업자가 개재하는 방법이 있고, 사전 및 사후단계 모두를 고려한 자동화 방안이 있을 수 있다. 전자의 경우 주로 장치 자동화라는 관점에서 적용되므로 장치 자체의 생산성 향상이라는 장점은 있을 수 있지만 작업 혹은 용접의 대상이 계속적으로 변화하는 작업에서는 유연성(flexibility)이 떨어진다는 단점이 있으므로 적용에 많은 제약이 있다. 이를 개선하기 위해 후자의 방법을 사용하게 되는데 이에 는 기술적으로 많은 어려움이 따르게 된다.

용접자동화의 어려움 중에 대표적인 것은 용접해야 할 대상 즉, 작업부재를 인식하고 그 위치를 자동으로 측정함으로써 용접자동화 장치 혹은 용접 로봇에게 작업위치를 알려주는 것이라 할 수 있다. 본 연구에서 다루는 조선 소조립의 경우, 작업해야 할 부재의 형상이 다양하고 그 크기 또한 매우 다양하기 때문에 부재의 인식 및 위

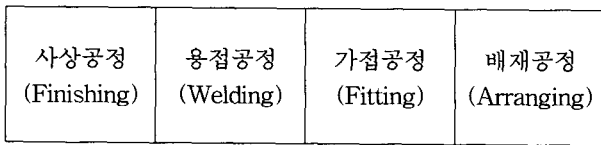
치 측정을 완전 무인 자동화한다는 것은 현실적으로 현재의 기술 수준으로는 불가능하다고 보는 것이 맞을 것이다. 그러나 주어진 제한조건 안에서 가능하면 작업자의 개재를 줄이고 신뢰성을 갖게 하는 것이 소조립 라인의 자동화에 있어 가장 중요한 요소 중 하나이기 때문에 전체 시스템의 구성 및 운영방법의 최적화가 매우 중요한 관건이라 할 수 있다.

이러한 조선 소조립 용접라인을 자동화하기 위한 연구는 유럽 및 일본의 선진 조선소에서 몇 년 전부터 개발되기 시작하였다[1][2]. 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 가지고 있다. 부재 인식 및 위치 측정에 제한사항이 많이 가해지는 것은 앞에서 언급한 바와 같이 비전 시스템 기술이 아직은 실제 적용을 따라가지 못하고 있는 실정이기 때문이다.

부재의 위치를 측정하는 방법에는 여러 가지가 있을 수 있다. 소조립 용접부재와 같이 그 크기가 수 m에서 수십 m에 이르는 대형 부재인 경우에는 카메라를 쓰는 것이 가장 효과적이라 생각된다. 이는 측정하려고 하는 영역의 크기에 따라 렌즈를 다르게 함으로써 조절할 수 있고 설치, 유지, 그리고 가격의 관점에서 경제성이 있기 때문이다.

본 연구에서는 조선 소조립 용접라인의 작업자에 가해지는 제한사항을 최소화하고, 높은 신뢰성을 갖는 자동화시스템을 구현하기 위해, 2단계의 카메라 비전 시스템을 구성하여 용접부재의 정밀한 위치와 회전량을 자동으로 인식토록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 용접부재의 위치인식을 완전 자동화하기 위해 개발된 각 구성요



컨베이어 이동방향



그림 1. 소조립 공정의 흐름도.
Fig. 1. Flow of sub-assembly line.

소들을 살펴보고, III장에서는 인공 신경망 기법을 이용한 카메라 영상의 교정방법을 제시하였으며, IV장과 V장에서는 II장에서 설명된 가접공정과 용접공정의 구성요소들을 운영하는 방법을 각각 설명한다. 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 구성

소조립 라인은 그림 1과 같이 길이 22m, 폭 8m의 크기를 갖는 4개의 세부 공정으로 나뉘어져 있다. 먼저 배재공정에서는 임의의 정의된 모양으로 절단된 수평부재와 보강재들을 컨베이어 위의 적절한 위치에 작업자가 배치하는 작업이 수행되며, 그 다음은 가접공정으로서 이미 배치된 수평부재 위에 위치를 잡아 보강재들을 수직으로 세워 작업자가 가용접하는 단계이다. 가용접된 부재는 컨베이어에 의해 용접공정으로 이송된다. 여기에서 부재들을 자동용접하고, 사상공정에서 용접되지 않은 용접선의 용접을 추가로 수행한 후 최종 마무리 및 후처리를 수행하게 된다.

본 연구에서 자동화될 소조립 라인의 생산성을 극대화하기 위해 용접공정뿐만 아니라 전후 공정도 고려하여 자동화를 구현하였다. 배재공정에서 작업자가 용접부재를 배치할 때 작업자의 제한사항을 최소화하고, 부재의 정밀 위치와 회전량을 자동으로 인식하기 위해 카메라 비전 시스템을 두 단계로 나누어 설정하였다. 하나는 가접공정에서 부재의 ID를 확인하고 부재의 대략적 위치를 측정함으로써 용접공정의 비전 시스템이 그 위치를 정확하게 측정하기 위해 이동 카메라가 움직여야 할 좌표정보를 생성하기 위한 비전 시스템으로서, 공간상에 고정된 카메라를 이용한다. 두 번째는 용접공정에서 움직이는 이동 쟈트리의 상의 임의의 지점에 카메라를 설치하여 부재의 정밀한 위치와 방향을 측정하는 이동 카메라 시스템을 이용한다.

일반적으로 비전 시스템을 이용한 영상처리에 필요한 구성요소는 CCD 카메라, 렌즈 그리고 영상처리를 위한 프레임 그래버로 나눌 수 있으며 본 시스템에서는 가접공정과 용접공정의 FOV (Field Of View)가 서로 다르므로 렌즈의 선정도 각각 요구되는 FOV에 따라 결정하였다. 한편, 용접공정의 경우, 요구되는 정밀도가 높으므로 정확한 영상의 처리를 위해 수동 조리개 렌즈를 사용하였고, 가접공정의 경우 카메라가 천장에 장착되므로 조명의 조건에 따라 자동으로 조리개가 조절되는 렌즈를 사용하였다. 표 1은 본 시스템에서 사용된 재원이다.

표 1. 하드웨어 사양.

Table 1. Hardware configuration.

CCD 카메라	SONY XC-75 with shielded cable
렌즈	<ul style="list-style-type: none"> ■ 가접공정 - 초점거리 : 10 mm - FOV : 12,949 mm×9,504 mm - 해상도 : 20 mm ■ 용접공정 - 초점거리 : 6 mm - FOV : 1600 mm×1200 mm - 조명 : 2×500 W Lamp
프레임 그래버	DT3152

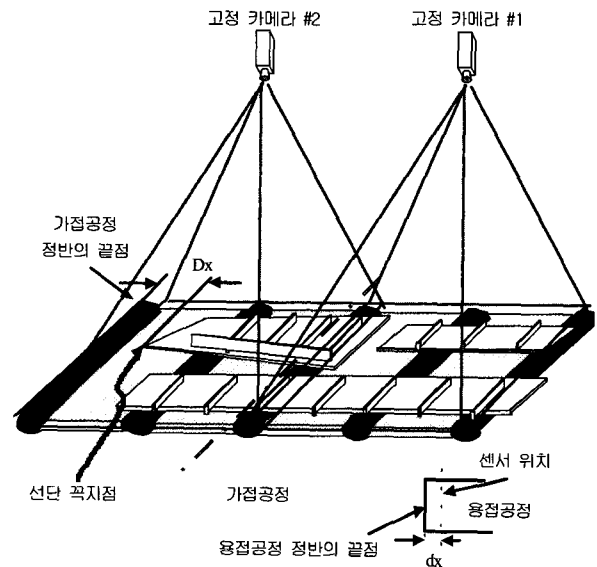


그림 2. 가접공정 CVS의 선단부재 인식.
Fig. 2. Recognition of leading vertex.

1. 가접공정 CVS(camera vision system)의 구성

본 시스템에서는 그림 2와 같이 두 대의 카메라를 22m 상공의 천장에 설치하고, 두 대의 카메라 영상을 겹치게 하여 한 개의 영상으로 변환하였다. 합성된 두 카메라의 영상을 이용하여 작업자가 각 부재의 ID와 대략적 위치를 확인하면 그 결과는 다음공정의 비전 시스템을 위해 저장된다. 이때, 고정 카메라의 픽셀 당 해상도는 약 20 mm 이상이 되므로 작업자의 에러와 보정 에러 등을 감안한다면 부재당 평균 15cm 내외, 그리고 orientation은 약 2-3° 정도의 오차를 갖게되어 실제 용접을 하기 위한 보강재의 터치 센싱시 많은 시간이 소요되고 충돌의 위험도 갖게된다. 따라서 추가의 정밀측정이 요구된다.

고정 카메라 시스템의 또 하나의 역할은 정반 상에 놓여진 부재중, 정반의 진행방향으로 최선단에 놓여진 부재의 꼭지점을 인식하는 작업이다. 이는 정반 상에 놓여진 각 부재들이 정반 단위로 이동됨에 따라 가접공정에서의 부재 위치가 용접공정에서도 그대로 적용되게 하기 위해서이다. 즉, 그림 2에서와 같이 가접공정에서 선

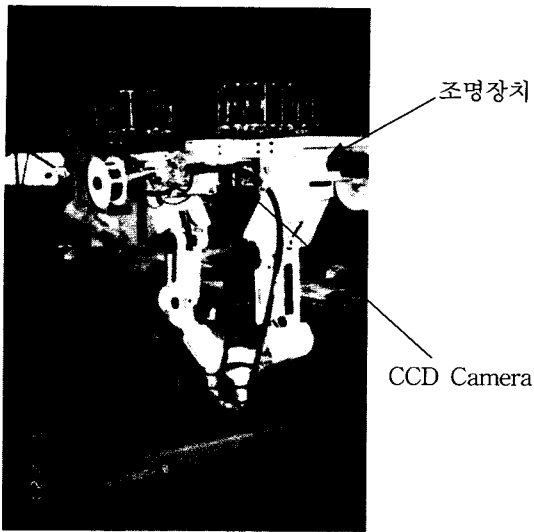


그림 3. 용접공정의 이동 카메라 시스템.
Fig. 3. Mobile camera system of welding stage.

단 꼭지점의 정반 상의 위치를 인식한 후, 부재가 컨베이어 롤을 따라 다음 용접공정으로 이동될 때 사전에 약속된 임의 위치에서 이동을 정지시키고 그 차이만큼을 각 부재의 좌표변환에 반영하면 가접공정상의 부재위치를 용접공정상의 부재위치로 변환할 수 있게 된다.

2. 용접공정 CVS의 구성

용접공정에는 세 대의 겐트리 시스템이 운용되며, 그림 3에서와 같이 각 겐트리 로봇의 회전축 끝단에 카메라를 설치하여 겐트리를 이동하면서 촬영하도록 하였으며, 이때 카메라의 기준위치는 겐트리의 좌표가 된다.

용접공정에서는 각 부재의 윤곽선 중 사전에 정의된 두 꼭지점(vertex)의 위치를 자동 인식한다. 가접공정에서 생성된 각 부재의 대략적 꼭지점의 위치와 용접 스케줄링 시스템에 의해 각 겐트리별로 할당된 이동 카메라의 측정 대상 꼭지점과 순서가 결정된다. 부재가 용접공정에 들어온 신호를 운영시스템이 받게 되면 측정에 할당된 이동 카메라, 즉 각 겐트리는 바로 각 부재의 꼭지점들의 영상을 촬영하기 위해 가접공정에서 받은 위치로 이동하게 된다.

용접공정 비전 시스템은 로봇 용접을 수행하기 전에 전체 용접선의 겐트리별 할당과 순서를 결정하기 위한 부재의 좌표정보를 주고, 용접 전 터치 센싱을 위한 기준 좌표를 제공하므로 본 시스템에서 요구되는 정밀도는 약 ±15mm 정도라 할 수 있다. 용접공정에서의 부재 위치측정은 보강재의 정보를 이용하지 않고 부재의 외곽선과 CAD 데이터만을 이용하므로 에지의 변별력을 높이기 위해 전체 정반은 검은 색으로 도색 하였다.

III. Camera calibration

1. 인공 신경망을 이용한 영상의 보정

시각센서로부터 어떤 영상의 크기 혹은 위치를 측정하고자 할 때에는 반드시 시각센서의 교정작업이 필요하며 이를 영상의 보정이라 한다. 이는 기준 좌표계에 존재하는 물체를 영상 상의 좌표로 매핑 하는 작업이며 일

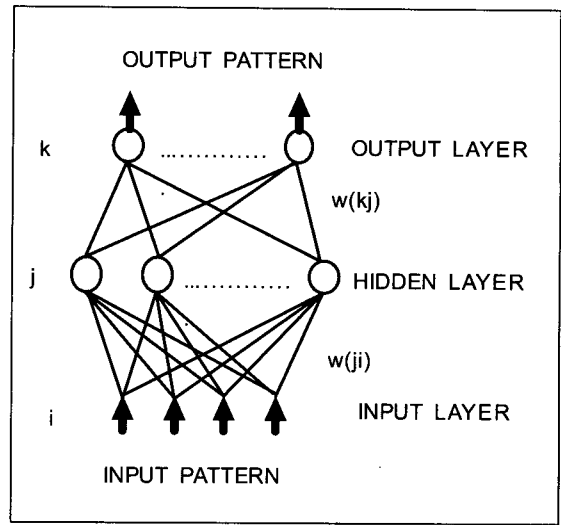


그림 4. 다층 신경망 회로의 구조.
Fig. 4. Structure of multi-layer neural network.

반적으로는 기준 좌표와 영상 좌표사이의 변환행렬을 구함으로써 이루어진다. 영상의 보정은 결국 비전 시스템의 최종 정밀도에 그대로 반영되기 때문에 정밀도 관점에서 충분히 고려되어야 한다. 본 연구에서는 이와 같이 변환행렬을 이용하는 방법의 치명적인 단점인 영상의 국부왜곡에 대한 대처 능력부족을 극복하기 위해 인공신경망을 이용한 비선형 매핑 방법을 사용하였다. 이것은, 영상 가장자리의 왜곡에 의한 에러를 가능한 한 줄임으로써 카메라 비전 시스템의 정밀도를 높이기 위해 사용한 방법이다.

1986년 Rumelhart 등에 의해 제시된 효과적인 학습방법인 에러의 역전파(back-propagation of error) 알고리즘을 이용한 generalized delta rule은 그림 4와 같이 은닉층(hidden layer)이라는 내부층을 이용하여 다층 퍼셉트론을 구축하고, 입력과 출력층, 그리고 은닉층의 각 노드에 대한 가중치(weighting factor)의 학습을 통해 결정하고, 임의의 입력에 대한 출력을 계산하는 방법으로서 가장 널리 응용되고 있는 방법중 하나이다[3].

그림 4에서와 같이 j번째 층의 각 노드로 들어가는 네트 입력은 (1)과 같이 묘사된다.

$$net_j = \sum w_{ji} o_i$$

$$o_j = f(net_j)$$

(1)

여기서 f는 activation 함수로서 (2)와 같은 sigmoidal activation 함수를 사용하였다.

$$o_j = \frac{1}{1 + e^{-(net_j + \theta_j) / \theta_j}}$$

(2)

여기에서 θ_j 는 임계값(threshold or bias)이다. 신경망의 학습단계에서는 미리 주어진 목표값에 대한 가중치를 조절하게 되는 데 이때는 실제 주어진 목표값과 신경망의 출력값이 일치하지 않게 되며 두 값 사이의 오차를 줄이는 방향으로 계속적인 학습이 일어난다. 이것이 오차의 역전파 알고리즘이며 이때 전체 시스템의 오차 혹

은 임의의 출력 노드의 오차를 최소화하도록 학습이 반복되는 것이다. 따라서 각각의 패턴에 대한 에러는 (3)과 같이 나타낼 수 있으며, 전체 시스템에 대한 평균 에러는 (4)와 같이 묘사할 수 있다.

$$E_v = \frac{1}{2} \sum_k (t_{pk} - o_{pk})^2 \quad (3)$$

$$E = \frac{1}{2p} \sum_p \sum_k (t_{pk} - o_{pk})^2 \quad (4)$$

한편, 각각의 가중치와 임계치는 시스템 에러를 줄이는 형태로 학습을 통해 조절된다.

2. 가접공정 카메라의 보정

가접공정은 두 대의 카메라 영상을 하나로 합성하여 사용하기 때문에 보정도 동일한 방법으로 수행한다. 먼저 정반 상에 일정한 간격으로 크기와 형상이 정의된 물체를 놓고 영상을 각각 촬영하여 하나의 영상으로 만든다. 본 연구에서는 지름이 30cm인 검은 원판을 그림 5에서와 같이 1m의 간격으로 13×6개를 등간격으로 배치하였다.



그림 5. 가접공정 보정을 위한 보정 마크.
Fig. 5. Calibration mark for array stage calibration.

그림 5와 같이 취득된 영상을 임의의 임계치를 이용하여 이진 영상으로 변환하면 원판과 정반이외의 다른 노이즈 성분을 제거할 수 있다. 그렇게 되면 정반 상에는 원판만이 존재하는 영상으로 변환되어지고 검은 원판은 뒤에서 언급될 blob coloring 방법에 의해 자동으로 원으로 인식되고 인식된 원들의 영상 좌표값도 계산되어진다.

실제 원판이 놓여진 기준 좌표계 상의 x, y 좌표값과 영상 상에 맺혀진 영상의 영상 좌표계에서의 x, y 좌표값을 알면 신경망을 이용하여 서로 다른 두 값의 비선형 관계를 매핑 할 수 있다. 즉, 신경망의 학습 기능을 이용하여 사전에 학습을 통한 매핑을 수행하고 학습이 완료되면 임의의 영상 좌표로부터 기준 좌표를 학습된 결과를 이용하여 바로 계산할 수 있다. 이는 앞에서 설명한 신경망의 입력에 학습된 각각의 가중치를 곱함으로써 얻을 수 있다.

3. 용접공정 카메라의 보정

용접공정의 보정 방법은 근본적으로 가접공정과 같다. 정반 상에 일정한 간격으로 크기와 형상이 정의된 물체를 놓고 단일 영상을 촬영하여 수행하였다. 본 연구에서

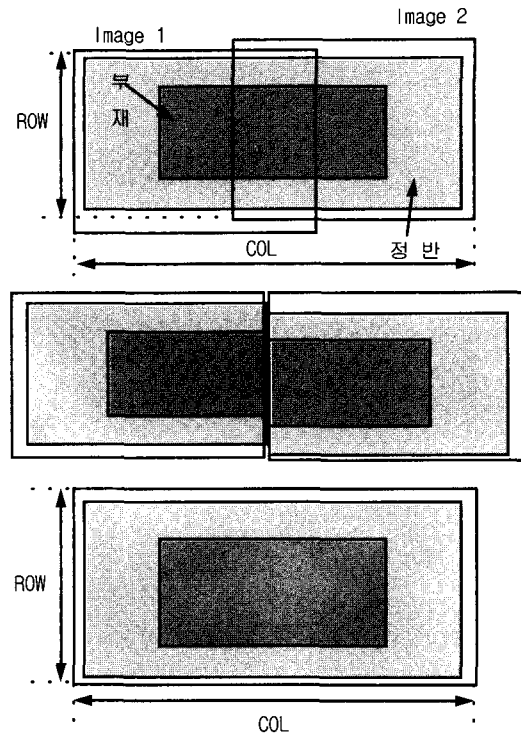


그림 6. 영상 획득과 합성.
Fig. 6. Image acquisition and merging.

는 가접공정의 보정과 같이 지름이 10cm인 검은 원을 15cm의 간격으로 8×6개를 등간격으로 배치하였다.

IV. 가접공정 camera vision system

로봇을 이용하여 자동 용접을 수행하기 위해서는 용접 부재의 위치와 방향에 대한 정보가 사전에 준비되어야 한다. 부재의 위치와 방향에 대한 정밀한 정보를 측정하기 위한 사전 단계로 가접공정 CVS에서는 부재의 위치와 방향에 대한 대략적인 정보를 측정한다. 또한 가접공정 CVS에서는 부재의 최선단 꼭지점의 위치도 측정한다. 최선단 꼭지점의 위치는 용접공정에서 부재의 상대 위치를 결정하는 데 사용된다.

1. 영상 획득

가접공정 CVS에서는 천장에 고정된 두 대의 카메라를 이용하여 영상을 획득한다. 그림 6에서와 같이 두 대의 카메라로부터 획득된 영상들은 영상 합성을 통하여 하나의 영상이 된다. 두 대의 카메라는 일정 영역을 공유할 수 있도록 배치된다. 한편 두 대의 카메라 자세가 동일하지 않으므로 두 영상간에는 수직 방향으로 변위차가 발생한다. 따라서, 영상 합성시 이를 고려하여 두 영상이 연속적으로 나타나도록 합성한다.

2. Cad data 변환

CAD실에서 가접공정 CVS를 위하여 작성된 CAD 데이터는 부재의 외곽선을 이루는 모든 꼭지점에 대한 좌표와 부재를 대표하는 두 꼭지점의 좌표를 포함한다. 이 CAD 데이터는 당일에 용접할 모든 부재를 포함하며 이러한 각 부재의 꼭지점 정보를 내부적으로 인식할 수 있는 형식의 데이터 구조로 변환한 후에 부재의 외곽영상

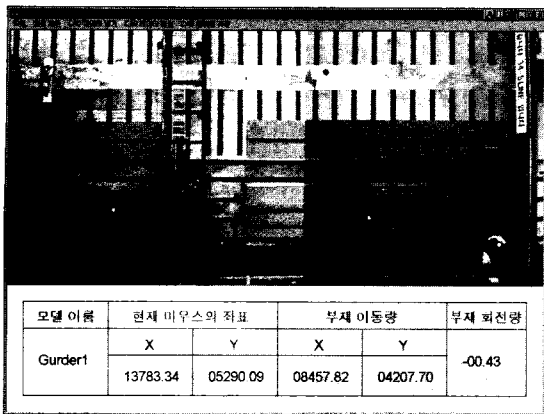


그림 7. 가접공정 CVS의 부재위치 인식.
Fig. 7. Position estimation of welding panels at fitting stage.

과 CAD 데이터를 정합한다.

3. CAD 데이터의 정합

그림 7에 CAD 데이터와 부재가 정합된 결과를 나타내었다. 먼저, 여러 CAD 데이터 중 정합하고자 하는 부재의 CAD 데이터를 선택하고, 선택된 CAD 데이터를 최종 정합 위치로 이동, 회전시킨 후 부재의 이동량과 회전량을 저장한다. 이동량은 기준 좌표계의 원점으로부터의 이동량이므로 기준 좌표계에서의 위치 좌표와 동일하다. 이들 좌표는 부재의 대략적인 위치를 나타내며 용접공정 CVS에서 이동 카메라가 이동할 위치의 좌표와 동일하다. 용접공정에서는 운영시스템이 위의 정보를 이용하여 이동 카메라가 이동할 곳의 위치를 결정하며 해당 지점 부재 꼭지점에 카메라를 할당한다.

4. 선단 부재 인식

정반 상에 놓인 부재는 가접공정이 끝나면 라인을 따라 용접공정으로 이동한다. 용접공정에는 라인을 따라 이동하는 부재를 검출하는 센서가 있으며 이 센서가 부재를 검출하면 라인의 이동이 멈춘다. 이때 용접공정 정반의 끝점을

기준으로 한 부재의 위치와 가접공정 정반의 끝점을 기준으로 한 부재의 상대적 위치는 일치하지 않는다. 이러한 정반의 끝점과 부재의 상대적 위치의 차이를 보정하기 위해서는 부재 선단과 정반 끝점과의 거리의 차이를 알아야 한다. 그림 2에 나타난 것과 같이 이 거리를 Dx 라 하고 용접공정에 위치한 센서와 용접공정 정반 끝점과의 거리의 차이를 dx 라 하면 용접공정의 정반 원점을 기준으로 한 부재의 x 좌표는 (5)와 같다.

$$x = x' + (Dx - dx) \tag{5}$$

- x' : 가접공정의 정반 원점을 기준으로 한 x 좌표
- dx : 용접공정 정반의 끝점과 부재검출 센서까지의 거리

V. 용접공정 camera vision system

1. 측정 시퀀스

용접 부재는 정반 상에 임의의 방향으로 놓여지며 부재들의 대략적인 위치는 가접공정에서 측정된다. 가접공정에서 측정되는 부재의 위치 정밀도는 약 $\pm 15\text{cm}$ 이며

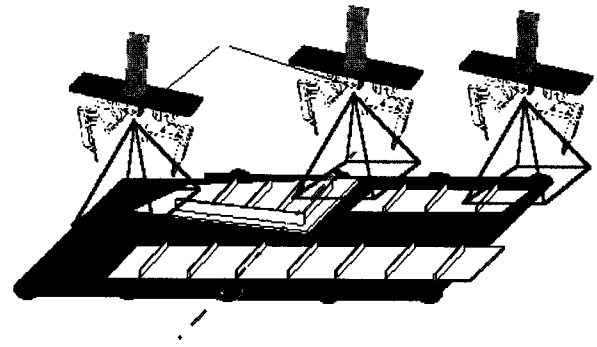


그림 8. 용접공정의 영상취득 위치.
Fig. 8. Image aquisition position.

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.

부재가 용접공정에 들어온 신호를 운영 시스템이 받게 되면 측정에 할당된 이동 카메라, 즉 각 겐트리는 바로 각 부재의 꼭지점들의 영상을 촬영하기 위하여 가접공정에서 측정한 위치로 이동한다. 이 때, 측정 위치는 부재의 대각선 방향의 두 꼭지점들이다. 이렇게 두 개의 꼭지점을 선정하는 것은 하나의 꼭지점만으로는 부재의 방향 정밀도를 만족시킬 수 없기 때문이다. 그림 8에 이동 카메라의 부재 영상 취득 위치를 나타내었다.

2. 영상 처리

이동 카메라를 이용하여 취득된 영상으로부터 일련의 영상 처리 과정을 거쳐 부재의 정확한 위치와 방향을 측정하며 이 정보는 운영시스템인 supervisory control system에 전달하기 위하여 파일로 저장된다. 그림 9에 영상 처리 과정의 흐름도를 나타내었다.

2.1 메디안 필터링(median filtering)

촬영된 영상에는 많은 노이즈가 존재한다. 평활화 필터는 영상의 스파이크 노이즈(spike noise) 제거를 위하여 사용되며 이에 는 평균 필터, 최소 필터, 최대 필터, 메디안 필터 등이 포함된다[4]. 여러 평활화 필터 중 메디안 필터는 영상의 노이즈를 효과적으로 제거하면서도 영상의 에지를 왜곡시키지 않는 특성을 갖는다. 메디안 필터링을 수행하기 위하여 먼저 각 픽셀에 인접한 픽셀들의 값들을 정렬한 후 메디안 값을 결정하고 각 픽셀의 픽셀 값을 구한 메디안 값으로 변경시킨다. 메디안 필터의 창틀 크기는 3×3 으로 하여 인접한 8 픽셀들의 값을 참조하였다. 원영상에 메디안 필터링을 수행한 결과를 그림 9 (a)에 나타내었다.

2.2 꼭지점 선택(vertex selection)

부재의 CAD 데이터는 직선성분으로 구성되어 있다. 꼭지점 선택 단계는 CAD 데이터의 직선 성분들 중에서 부재의 위치결정을 위한 두 개의 직선 성분들을 선정하는 단계이다. 두 직선을 선정하기 위하여 부재에 대한 사전정보를 이용하며, 이 직선들 중 다음과 같은 선정 조건을 만족하는 두 직선을 선정한다.

- 가. 길이가 긴 직선

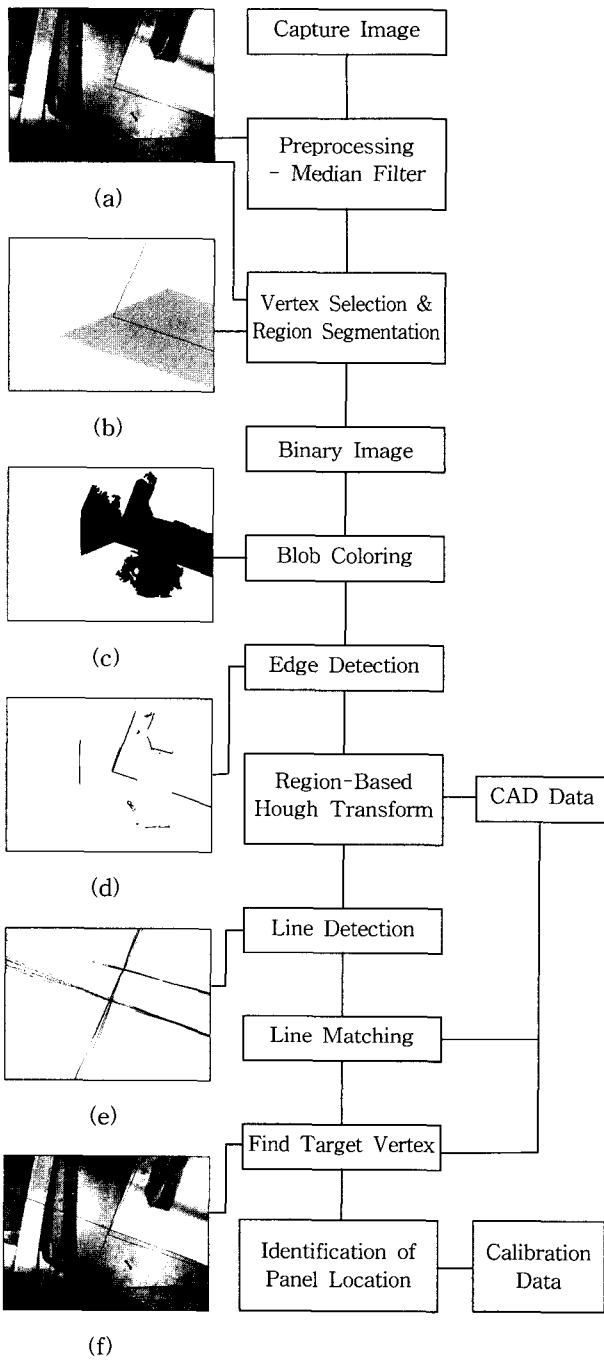


그림 9. 용접공정 CVS의 영상처리 흐름도.
Fig. 9. Flow of welding stage CVS.

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. 이 때 두 직선의 교점의 좌표는 영상의 보정된 중심 좌표와 일치한다. 선정된 두 직선이 표현된 영상은 가접공정에서 측정된 부재의 위치와 회전량에 대한 정보를 나타내는 영상이다. 그림 9 (a)에 꼭지점 선택 결과를 나타내었다.

2.3 영역 분할(region segmentation)

꼭지점 선택 단계에서 선정된 두 직선과 가접공정의 정밀도를 이용하면 부재의 직선 성분이 존재하는 영역을 예측할 수 있다.

직선 성분이 존재하는 영역을 결정하는 이유는 직선 성분이 존재하는 영역에 한하여 영상 처리를 하면 계산 시간을 단축할 수 있고 직선 검출의 신뢰도를 향상시킬 수 있기 때문이다.

직선 성분 존재 영역은 다음과 같은 과정을 거쳐 구한다. 첫째, 미리 알고 있는 CAD 데이터 직선들을 이용하여 이들 직선과의 거리가 30 cm인 직선들을 구한다. 그 다음 구한 직선들에 의하여 분할되어지는 영역들 중 CAD 데이터가 존재하는 영역을 구한다. 이 영역이 직선 성분 존재 영역이다. 이진화시의 신뢰성의 향상을 위하여 구한 영역을 CAD 데이터의 꼭지점을 중심으로 분할한다. 그림 9 (b)에 영역 분할의 결과를 나타내었다.

2.4 Optimal thresholding & blob coloring

영상으로부터 부재의 직선 성분들을 검출하기 위해서는 밝기값의 변화량을 이용하여 에지를 추출하여야 한다. 그러나 영상은 부재 에지 외에도 물의 경계선, 정반의 굽힘, 부재 내의 보강재, 정반의 단, 조명의 경계등과 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]. Optimal threshold를 이용하여 이진화로 영역을 분리하여 부재 내부와 정반 바닥 면에 존재하는 노이즈 에지들을 제거하였다.

부재 영역과 정반 영역이 영역 간 경계선의 왜곡이 없이 잘 분리될수록 부재의 직선 성분 검출의 신뢰도는 높아진다. 영역간의 분리도를 높이기 위하여 영역 분할 단계에서 구한 각각의 영역 안에서만 이진화를 수행하였다.

측정하려고 하는 부재 외부의 다른 부재 혹은 노이즈를 제거함으로써 측정하고자 하는 부재만을 남기고 다른 것을 지우기 위해 blob coloring을 수행한다[5].

Blob의 indexing이 모두 끝나면 blob의 정보들을 추출한다. 추출된 blob의 정보들은 원하지 않는 blob들을 제거하는 데 쓰인다. 경험적으로 면적의 임계치를 결정하여 blob의 면적이 임계치 이하인 blob들을 제거한다. 이 과정을 거치면 노이즈 성분들에 의하여 생기는 작은 blob들은 모두 제거된다. 그러나, 조명 노이즈에 의하여 생기는 면적이 큰 blob들이나 인접한 부재에 의하여 생기는 면적이 큰 blob들은 제거되지 않는다. 이러한 blob들은 blob의 무게 중심과 CAD 데이터에 의하여 생기는 가상 blob의 무게 중심 사이의 거리를 이용하여 제거할 수 있다. 즉, CAD 데이터 blob의 무게 중심과 blob의 무게 중심 사이의 거리가 임계치 이상이면 이 blob은 제거된다. Blob coloring을 통해 측정하고자 하는 부재의

이진 영상만이 남은 결과를 그림 9 (c)에 나타내었다.

2.5 에지 검출(Edge detection)

에지란 다른 밝기값을 갖는 두 영역의 경계를 의미한다. 에지 검출의 기본적인 테크닉은 local derivative 연산자를 이용하는 방법이다. 일차 도함수의 값은 어두운 영역에서 밝은 영역으로 변하는 부분의 에지에서는 양의 값이며 밝은 영역에서 어두운 영역으로 변하는 부분의 에지에서는 음수 값이며 밝기값이 일정한 부분에서는 0이다. 따라서 일차 도함수의 매그니튜드를 이용하면 영상의 에지를 검출할 수 있다.

일차 도함수를 구하는 여러 방법 중 본 논문에서는 sobel 연산자를 사용하였다. 영상의 모든 픽셀에 대하여 gradient를 계산한 결과는 원영상과 동일한 영상 크기를 갖는 gradient 영상이다. Gradient 영상의 값이 임계치 이상인 점들만 선택하면 원영상의 에지를 이루는 점들만이 남는다.

노이즈 성분들을 제거하기 위하여 검출된 에지 영상과 앞서 optimal threshold 방법으로 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. 이진화 영상, 반전된 이진화 영상과 sobel 연산자를 이용하여 검출된 에지 영상들에는 밝기값이 0인 부분(검은색 부분)이 존재한다. 이들 밝기값이 0인 부분들의 교집합을 구하여 강한 에지성분들을 검출한다. 그림 9 (d)에 최종적으로 구한 에지 영상을 나타내었다.

2.6 허프 변환을 이용한 직선 검출

허프 변환(hough transform)은 디지털 영상에서 직선의 방정식을 알아내는 방법이다[5]. 에지 영상으로부터 직선 성분을 추출하여 영상 좌표로 표현할 수 있다. 한 개의 직선을 원점으로부터의 거리와 기울기로 변환한다. 기울기 θ 와 원점으로부터의 거리 s 는 (6)과 같이 표현된다.

$$s = x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta \quad (6)$$

직선 위의 점들은 위의 식과 같은 변환에 의하여 $s-\theta$ 좌표로 대응되며 이때 직선이 $s-\theta$ 좌표 상의 값이 허프 변환의 값이 된다.

허프 변환을 수행하면 영상의 에지 성분들 중에서 직선 성분들만을 검출할 수 있다. 검출된 직선들 중에는 길이가 짧은 에지 성분에 의하여 나타나는 직선들이 있으며 이들 직선 성분은 에지의 길이에 대한 임계치를 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.

2.7 직선 정합(Line matching)

허프 변환 수행 후 결과들은 누적 셀에 저장된다. 이

때 앞서 언급한 바와 같이 양자화 오차에 의하여 한 직선 성분에 대한 파라미터 영역의 결과값들이 여러 개의 누적 셀에 나뉘어 저장된다. 누적 셀들의 값들 중 길이가 짧은 직선들의 값들은 직선의 길이에 대한 임계치를 이용하여 제거된다. 길이가 짧은 직선들을 제거한 후 인접한 누적 셀들의 값들을 분류하여 이들 그룹의 대표값을 이용하여 인버스 허프 변환(inverse hough transform)을 수행한 결과를 그림 9 (e)에 나타내었다. Blob coloring을 이용하여 부재 외부의 에지 성분들을 제거하였으므로 허프 변환을 수행하면 부재의 경계를 이루는 직선들과 부재 내부에 존재하는 보강재의 경계를 이루는 직선들만이 검출된다.

이들 직선들의 집합 중 부재의 경계에 해당하는 직선들의 집합을 선택하고 선택된 직선들을 다시 하나의 직선으로 근사화 한다. 부재의 경계에 해당하는 직선들의 집합을 선택하기 위하여 먼저 CAD 데이터의 꼭지점에서 부재의 외곽 방향으로의 방향 벡터 v_1 과 v_2 를 구한다. 이들 방향 벡터를 이용하여 CAD 데이터 직선의 연장선을 구한 후 이 연장선과 검출된 직선들의 교점들을 비교하여 최외곽의 교점을 구한다. 최외곽에 존재하는 교점을 이루는 직선은 검출하고자 하는 부재 경계 직선들의 집합에 포함되는 직선이다. 그 다음 최외곽 교점에서 CAD 데이터 직선의 연장선을 따라 일정 길이 이내에 존재하는 교점들을 구한다. 이러한 길이에 대한 임계치를 이용하면 부재 내부에 존재하는 보강재에 의하여 나타나는 직선들을 제외시킬 수 있다.

교점들이 결정되면 이들 교점들을 포함하는 직선들의 기울기의 평균을 구한다. 이 평균 기울기는 부재 경계를 이루는 직선들을 원소로 하는 집합의 대표 기울기가 된다. 그 다음 이 집합의 직선들 중 두 개의 직선들을 순차적으로 선택하여 교점들을 구한 후 이들 교점들의 평균을 구하여 집합의 대표 교점을 결정한다. 대표 기울기와 대표 교점을 이용하면 집합을 대표하는 하나의 직선을 결정할 수 있다.

위의 과정을 거쳐 부재의 경계를 이루는 두 개의 직선을 결정하고 두 직선의 교점을 구한다. 결정된 두 직선은 CAD 데이터의 두 직선에 해당하는 직선들이다. 또한 두 직선의 교점은 부재의 꼭지점에 해당하는 영상 좌표계 상의 지점이다. 최종적으로 구한 부재의 꼭지점을 그림 9 (f)에 나타내었다.

2.8 부재의 위치와 방향 결정

허프 변환을 이용하여 검출된 부재의 두 직선 $l_1(\theta_1, s_1)$, $l_2(\theta_2, s_2)$ 에 의하여 결정되는 교점 x_c, y_c 는 (7)과 같이 결정된다.

$$x_c = \frac{s_2 \csc \theta_2 \operatorname{sgn}(\tan \theta_2) - s_1 \csc \theta_1 \operatorname{sgn}(\tan \theta_1)}{\cot \theta_2 - \cot \theta_1} \quad (7)$$

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

보정 데이터를 이용하여 교점 x_c, y_c 를 카메라 좌표계 상의 X_c, Y_c 점으로 변환한 후 d_{cx}, d_{cy} 를 구한다. d_{cx}, d_{cy} 가 결정되면 최종적인 기준 좌표계 상의 위치 P_{wx}, P_{wy} 는 (8)을 이용하여 구한다.

$$\begin{aligned}
 P_{ux} &= C_{ux} + d_{cx} \\
 P_{uy} &= C_{uy} + d_{cy} \\
 d_{cx} &= X_c - C_{cx}, \quad d_{cy} = Y_c - C_{cy}
 \end{aligned}
 \quad (8)$$

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

(8)에서 영상의 중심 위치는 가접공정의 고정 카메라로부터 받은 대략적인 꼭지점의 위치이며, 또한 이동 겐트리 로봇의 기준 좌표계 상의 x, y 값이기도 하다.

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.

3. 실험 결과

용접공정 CVS의 에러는 다음과 같이 크게 자동인식에서 발생할 수 있는 에러와 다른 환경적 요인에 의해 발생하는 에러를 들 수 있다.

자동인식에서 발생하는 정밀도 에러로는 조명상태의 불량, 부재의 윤곽선 근처에 존재하는 여러 노이즈 성분과, 영상의 질(quality) 등이 있으며 기타요인에 의한 에러로는 영상의 보정 에러(최대 2mm), 카메라가 장착되어진 자체에 의한 에러, 영상의 해상도에서 오는 양자화 에러(최대 2.5mm) 등이 있다.

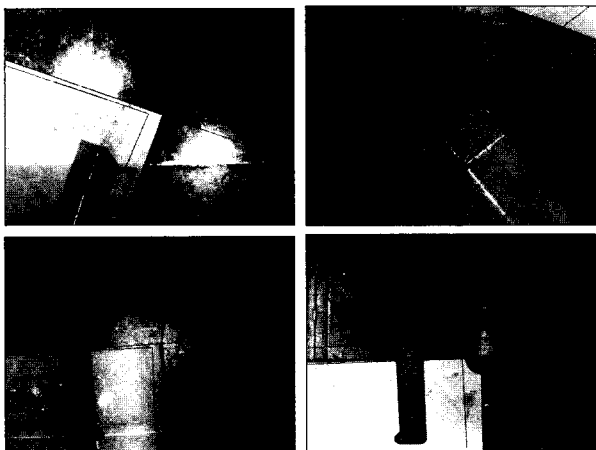


그림 10. 부재위치의 자동인식 결과.
Fig. 10. Position estimation of welding panels.

위와 같은 에러들 중 보정 에러와 영상 중심점의 보정에서 발생하는 에러의 한계는 해상도 등을 고려할 때 5-10mm 정도로 볼 수 있을 것이다. 따라서 실제 부재위치 자동인식을 위한 용접공정의 영상처리가 요구하는 정밀도는 최대 10mm (4 픽셀) 정도라 할 수 있으며 이는 결코 간단한 방법에 의해 해결될 수 있는 오차 범위는 아니라고 할 수 있다.

그림 10은 조선소 현장에서 4개의 다른 부재로부터 취득된 영상에서 부재 꼭지점의 위치를 검출한 결과를 표시한 것이다. 본 연구에서 개발된 카메라 비전 시스템은, 그림에서와 같이 다양한 직선 성분들이 존재하는 영상에서 부재의 꼭지점의 위치를 잘 인식해 낼 수 있었으며 인식된 꼭지점의 위치는 10mm 이내의 오차를 보였다.

VI. 결론

본 연구에서는 조선 소조립의 용접자동화를 위한 부재위치 인식용 비전 시스템을 개발하였다. 카메라는 각각 가접공정과 용접공정에 설치하였고, 가접공정에서는, 고정 카메라를 이용하여 부재의 위치를 대략적으로 인식하여 용접공정의 이동 카메라가 정밀하게 위치를 인식할 수 있는 기준 좌표를 계산하였다. 용접공정에서는 다양한 영상처리 알고리즘을 이용해 부재의 위치를 자동으로 정밀하게 측정함으로써 용접 로봇이 충돌 없이 정해진 용접선을 용접할 수 있도록 그 좌표를 제시하도록 하였다. 이것은 기존에 유럽 및 일본에서 부재에 마킹(marking)을 하거나 외부조명을 완전 차단하는 등의 제한 조건 없이 보조광원과 부재의 CAD 데이터만을 이용하여 부재의 위치를 자동으로 인식할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한, 작업자가 용접부재를 정반 상에 배치할 때 임의의 위치에 놓더라도 그 위치를 정밀하게 측정할 수 있기 때문에 자동화 시스템의 효율이 기존 시스템보다 크게 향상되었다. 본 시스템은 현재 거제 조선소 소조립 용접라인에 설치되어 운영중이다.

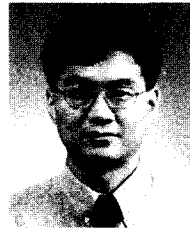
참고문헌

- [1] Y. Sugitani et al., "Multi-robot welding system for sub-assembly in shipbuilding," *NKK Technical Report*, no. 153, pp. 72-80, 1996.
- [2] O. Knudsen, "First implementation of a vision based positioning modules at OSS," *Industrial Vision*, ATV Project, no. 466, 1996.
- [3] A. Rosenfeld and A. C. Kak, *Digital Picture Processing* (1), Academic Press, 1982.
- [4] Y. Pao, *Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks*, Addison-Wesley Publishing Co., Inc., 1989.
- [5] A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice Hall, 1989.



전 바 롬

1970년생. 1990년 3월-1994년 2월 서강대학교 전자공학과 학사. 1994년 3월-1996년 2월 서강대학교 전자공학과 석사. 1996년 3월-현재 삼성중공업 중앙연구소 전임연구원. 관심분야는 컴퓨터 비전, 영상처리, 센서응용.



윤 재 응

1965년생. 1984년 3월-1988년 2월 한양대학교 기계설계학과 학사. 1988년 3월-1990년 2월 KAIST 생산공학과 석사. 1990년 3월-1995년 2월 KAIST 생산공학과 박사. 1994년 12월-현재 삼성중공업 중앙연구소 선임연구원. 관심분야는 생산자동화를 위한 센서응용 및 정밀가공.



김 재 훈

1959년생. 1976년 3월-1980년 2월 서울대학교 기계공학과(공학사). 1984년 8월-1985년 7월 Wright State University 시스템공학과(공학석사). 1987년 8월-1991년 12월 Purdue University 항공우주공학과(공학박사). 1979년-1987년 국방과학연구소 연구원. 1984년-1985년 USAF Flight Dynamics Lab 교환과학기술자. 1992년-현재 삼성중공업 중앙연구소 수석연구원. 관심분야는 구조/제어 혼합 최적화, 센서시스템, 최적제어, 생산자동화.