

비전 데이터를 이용한 아크 용접로봇의 용접선 추적에 관한 연구

김 은 엽*·김 광 수**

A Study on Seam Tracking for Robotic Arc Welding Using Snapshot Visual Data

Enuyeob Kim* and Kwangsoo Kim**

Abstract

A new approach to seam tracking for robotic arc welding is proposed. In this approach, the weld model is a snapshot image and the acquired image is analyzed and compared to the welding database which contains CAD data, weld positions, weld parameters, etc. This paper presents a fast and robust algorithm for the Hough Transform. This modified Hough Transform(MHT) algorithm uses the least-squares regression analysis method in order to approximate the edge lines more precisely, and leads to a significant reduction in both computation and storage. In comparison with the conventional seam tracking methods, this new approach has the advantages of low cost, continuous welding, and various type welding.

1. 서 론

아크용접 공정은 작업 환경이 매우 열악할 뿐 아니라 노동력, 시간이 많이 요구되며, 작업자의 기능에 따라 품질의 균일성에 많은 차이를 보일 수 있는 민감한 작업이므로, 용접 공정의 지능화를 통하여 이 문제의 해결 및 생산성 향상을 도모해 왔다. 지능화의 방법으로 인간의 팔에 해당하는 로봇의 매니퓰레이터(manipulator)와 눈에 해당하는 컴퓨터 비전(computer vision, robot vision)을 결합하는 형태가 많다. 특히 로봇과 컴퓨터 비전

을 이용한 아크용접에 있어서 가장 중요한 문제중의 하나는 용접선의 위치 및 자세를 추출하고 이 결과에 따라 용접 로봇의 운동을 제어하는 것이다. 용접선의 위치 및 자세를 추출하고 이 결과에 따라 용접 로봇의 운동을 제어하는 기법은 센싱(sensing)의 기술적인 측면에서 교시방법(teach and playback), 아크를 통한 센싱기술, 사전 관찰.preview)에 의한 센싱 기술 등이 있다[1].

이중 현재 보편적으로 많이 사용되고 있는 것은 컴퓨터 비전을 이용한 사전 관찰 기법이며, 이는 인공조명(structured light)과 CCD camera를 이

*삼성중공업 중장비사업본부

**포항공과대학 산업공학과

용하여 용접선을 추출하는 방법이다[11]. 그러나 이러한 방법은 용접시 발생하는 아크광의 방해로 인하여 레이저 빛과 아크광의 구별이 어려운 경우가 빈번하며, 이미지에 잡음이 생겨서 레이저 빛을 추출하기가 어렵고, 용접이음의 형태중 인식이 어려운 형태가 존재하며, 용접도중에 이음의 형태가 변하지 않아야 한다. 또한 이러한 용접선 추출방법은 단지 용접선의 위치만을 추출하기 때문에 기타 용접정보(travel speed, wire feedrate, volage, etc.)는 수동으로 제어를 해야하는 불편이 있다.

용접공정의 자동화를 위해서는 용접선 추출이 용이해야 하고, 용접선 뿐만 아니라 기타 용접정보도 자동으로 추출하여야 하기때문에 기존의 이러한 문제점의 개선은 용접 지능화에 필수적이다. 한편 대량생산의 경우 컨베어상에 놓여 있는 용접부재는 연속적으로 작업이 진행되며, 이 경우 컨베어 위에서 연속적으로 이동되는 용접부재의 용접선은 자동적으로 인식이 되어야 한다.

본 연구에서는 ① 용접선 정보를 손쉽게 얻어낼 수 있는 효율적인 방법의 제시와 ② 정확하고 신속하게 꼭지점을 추출하기 위한 수정된 허프변화(Modified Hough Transform)의 알고리즘 개발 및 peak점의 자동계산을 위한 Adaptive Peak Detection Algorithm개발 ③ 용접 공정계획의 정보로부터 용접 로봇트의 운동을 제어하는 방법을 제시하고자 한다.

2. 비전과 CAD 데이터로부터 용접선 추출

용접선의 정확한 위치(position) 및 최적의 용접 조건(travel speed, wire feedrate, voltage, etc.)을 추출하기 위하여 새로이 제안한 방법은 [그림 1]에서 보는 바와 같이 CCD 카메라를 통하여 획득된 용접부재의 이미지(snapshot vision data)를 영상 처리(image processing)과정을 거쳐 특징점

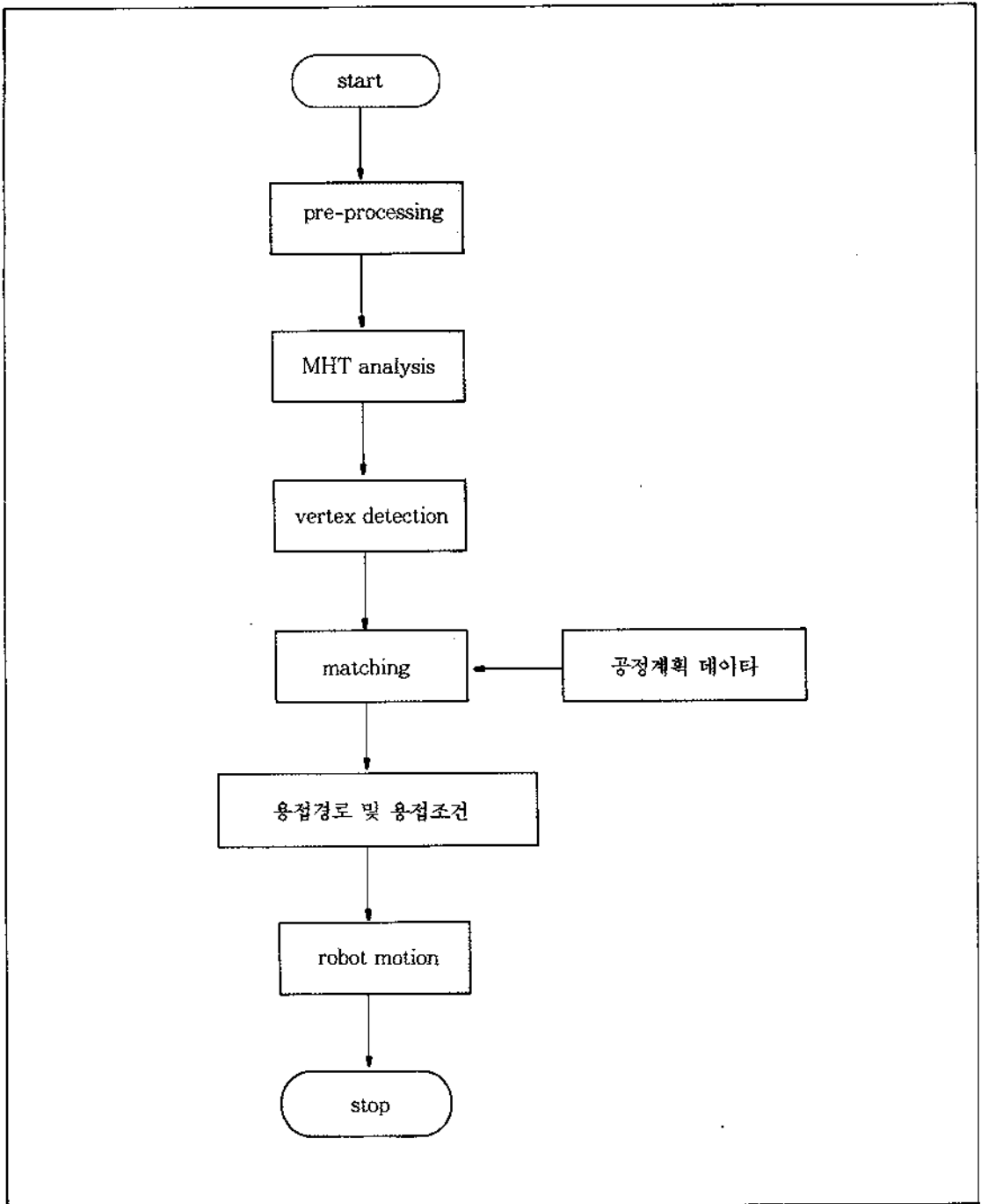
을 추출한 후, 이것과 용접경로 및 용접조건이 들어 있는 공정계획 데이터(CAD database)와 비교, 매칭시켜서 원하는 용접정보를 추출하는 것이다.

2.1 전처리 과정(pre-processing)

일반적으로 획득된 화상은 조명, 물체의 색깔, quantization 등으로 인하여 많은 잡음(noise)이나 기하학적인 왜곡(distortion)이 포함되어 있다. 이와 같은 잡음이나 왜곡을 보정하여 화상이 지닌 정보를 인간이 관측하기 쉬운 상태로 하거나 화상을 일정한 표준적 형태로 변환하여 특징추출과 인식이 용이하도록 하는 조작이 화상 처리(image processing)의 중요한 목적의 하나이다. 이와같은 처리는 통상 전처리 과정(preprocessing)이라 불리우며, 대비(contrast) 강조, 잡음제거, 기하학적 왜곡 보정이 포함된다. 이중 중요한 것이 잡음제거인데, 이것은 에지검출(edge detection)에 많은 영향을 미치므로 사전에 이것을 걸러내야 하며, 보통 필터링(filtering) 및 평활화(smoothing)을 통하여 이를 수행한다. 잡음이 제거된 상태에서 윤곽을 추출하는 것은 매우 중요한 의미를 지니는 것으로 윤곽선이란 두 물체를 분리하는 의미있는 경계선을 말하며, 이것은 이웃화소와 그레이레벨(gray level)의 현저한 차이가 나는 점의 연속이고 차후 화상 인식(image recognition)에 접근하는 가장 기초적인 자료가 되며, Robert 연산자, Sobel 연산자와 같은 미분 연산자(gradient operator)를 주로 사용한다[5][9][10].

2.2 허프 변화(Hough Transform)

특징점은 미지의 목표물을 인식하는 데 중요한 요소이기 때문에 패턴인식에서 특징점의 검출은 가장 중요한 부분이다. 화상으로부터 분류 및 인식에

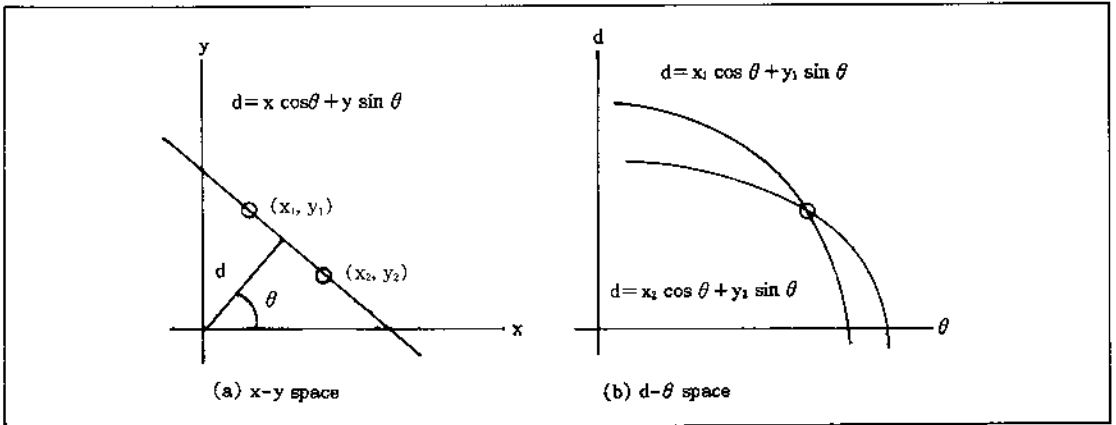


[그림 1] 비전과 CAD데이터로부터 용접선 추출

필요한 정보를 얻어낼 수 있는 특징점을 추출하기 위해서는 화상의 화소(pixel)들간의 구조적인 관계(specific structural relationship)의 검출이 필요하다.

인간이 만든 물체의 이미지는 직선을 따라 그레이 레벨의 불연속(gray level discontinuity)이 많이 존재한다. 특히 용접 부재의 경우 용접선은 대부분 직선구간으로 구성이 되어 있어 이미지로부터 직선의 자동인식은 매우 중요하다. 이미지상의 직선을 추출하는 데 이용되어온 허프변환은 이미지로부터 패턴의 기하학적 형태의 특징(geometric shape feature)을 추출하는 강력하고 효율적인 방법이다.

허프변환은 원래 디지털 이미지(digital image)에 있는 직선의 검출을 위해 개발된 선형변환(linear transform)으로, 커브(curve)상의 점과 그 커브의 파라미터 사이의 관계를 활용하여 커브를 검출하는 기법이다. 허프가 사용한 기울기-절편(slope-intercept) 파라미터에서의 직선식은 수직으로 놓여질 때 기울기 및 절편이 무한대로 접근하는 문제가 있기 때문에, Duda와 Hart는 [그림 2]에 보는 바와 같이 기울기-절편 대신에 normal-parameter를 사용하여 이러한 문제점을 보완하였다[7].



[그림 2] Normal Parameter에 의한 허프 변환

이 경우 직선은 원점에서의 수직거리(algebraic distance) d 와 각도 θ 로 표현하여 식(2-1)과 같이 되고 θ - d 공간에서는 sinusoidal curve가 된다.

$$d = x \cos \theta + y \sin \theta, 0 \leq \theta \leq \pi \dots\dots\dots(2-1)$$

이러한 파라미터를 사용한 직선식은 θ 의 범위를 0과 π 사이에서 한정시키면 직선의 normal parameter는 유일하게 결정이 된다. 이러한 제약 조건 하에서 x - y 평면의 모든 직선 각각은 θ - d 공간에서 한 개의 유일한 점이 된다. n 개의 점 $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$ 이 있을 때 이들을 지나는 직선군을 구하려면, 각각의 점 (x_i, y_i) 를 θ - d 공간에서

식(2-1)로 표현되는 sinusoidal curve로 변환시킨다. 이때 동일 직선상의 점(colinear image points)에 해당되는 커브는 공통된 교점 (θ_0, d_0) 이 존재하며 θ - d 공간에서 이러한 점들은 x - y 평면에서 동일한 직선을 지나는 점들(colinear point)의 직선식으로 정의된다. 따라서 동일한 직선상의 점들을 검출하는 문제는 θ - d 공간에서 커브의 교점을 찾는 문제로 귀착이 된다. 이러한 point-to-curve 변환의 성질은 다음과 같이 요약할 수 있다[2][3][13].

property 1 : x - y 평면에서 점은 θ - d 공간에서

sinusoidal curve이다.

property2 : θ -d공간에서 점은 x-y평면에서 직선이다.

property3 : x-y평면에서 동일한 직선위에 놓인 점들은 θ -d공간에서 common point를 통과하는 sinusoidal curve들에 해당한다.

property4 : θ -d공간에서 동일한 curve위에 놓인 점들은 x-y평면에서 common point를 통과하는 직선군에 해당한다.

2.3 수정된 허프변환(Modified Hough Transform)

허프변환의 기본원리를 이용하여 x-y평면에 있는 모든 점들은 이에 대응되는 θ -d공간의 커브들로 매핑(mapping)시킬 수가 있다. 이때 θ -d공간에 매핑되어진 커브들은 공통된 교점이 존재하며, 이러한 교점은 x-y평면상에서 동일한 직선위에 있는 점들의 직선식이 된다. x-y평면의 임의의 점 (x_i, y_i) 에 대해, θ 를 0에서 π 까지 분할된 값으로 변경시키면서 식(2-1)로 d를 구한다. 이때 d는 d축에 허용된 가장 가까운 값으로 반올림하여 결정한다.

즉, (x_i, y_i) 에 해당하는 (θ, d) 는 허용오차 범위내에서 구해지며, (θ, d) 에 해당되는 accumulator cell에 count수를 누적시킨다. 결국 2차원 accumulator의 각 cell은 이 cell의 (θ, d) 값을 가지는 직선에 놓인 점의 누적 count수가 기록되어진다. 어떤 주어진 cell (θ, d) 의 수가 k이면 정확히 k개의 점은 (θ, d) 인 parameter를 갖는 직선을 quantization error안에서 지나게 된다. 이러한 방식으로 x-y평면의 모든 점을 처리하고 accumulator array를 조사하여 높은 count수를 가지는 cell은 이미지중 직선을 형성하는 부분이며, 직선식은 식(2-1)를 이용하여 구할 수 있다. 이와같이 x-y평

면의 모든 점을 (θ, d) 공간에 매핑 시키고, (θ, d) 공간에서 매핑되어진 커브들의 모든 교점을 구할 경우, 경계선을 형성하는 직선뿐만 아니라 잡음(noise)으로 인한 사소한 점들도 직선을 형성하게 된다. 또한 이러한 접근방법은 낭비적이고, 계산도 x-y평면상의 점들의 수의 2승으로 증가하게 되어 사용이 거의 불가능하다.

기존의 허프 변환에서는 정확한 직선식을 산출하기 위해서 θ 및 d의 허용오차를 줄여야 한다. 즉 분할갯수(division number)K, L을 증가시켜야 하는데, 이것은 계산비용(computing cost)의 증가를 초래하여 로봇의 실시간 제어(real time control)에는 적용하기 어려운 점이 있다. 계산 비용의 감소를 위해 본 논문에서 제안한 수정된 허프변환(Modified Hough Transform)은 분할갯수를 어느 정도 작게하여 허프변환을 수행하고 accumulator array의 히스토그램을 분석한다. 경계선을 형성하는 직선위에 있는 점들의 집합은 accumulator에서 누적 count수가 다른 곳보다 현격히 많으므로 히스토그램 분석을 통하여 쉽게 파악이 된다. 이렇게 파악된 점들의 집합만을 다시 조사하여 regression을 수행하면 정확한 직선식이 계산이 된다. 즉 분할갯수를 줄이고 허용오차 범위로 quantization이 된 cell에 속한 x-y평면상의 점들의 그룹을 regression analysis를 통하여 정확한 직선식을 산출하는 것으로서 알고리즘은 다음과 같다.

Modified Hough Transform Algorithm

1) 2D accumulation

for (X_i, Y_i)

for $(\theta=0, \pi$ by $\Delta\theta)$

for $(d=-L, L$ by $\Delta L)$

$d := X_i \cos\theta + Y_i \sin\theta$

end

end

end

2) peak calculation에 의한 d, θ 결정

- 3) d, θ 에 해당되는 (X_i, Y_i) 의 grouping
 4) grouping된 (X_i, Y_i) 에 대해 regression을 통한 정확한 직선식 산출

한편 accumulator cell의 누적 count수는 직선을 형성하는 부분에서 피크(peak)를 이루는데, 이 피크를 구분해주는 임계치(threshold value)를 어떻게 선정하느냐가 문제가 된다. 또한 직선의 길이가 짧은 경우 피크값이 작아서 직선검출이 안되는 경우가 발생한다. 이것은 결국 이미지의 경계선의 경계선이 몇개로 이루어졌나를 파악하는 것으로 자동인식이 되어야한다. 이와같이 짧은 선을 포함한 모든 경계선을 자동으로 찾기 위한 알고리즘은 다음과 같다.

Adaptive Peak Detection Algorithm

```

no-edge := 0
min := allowed minimum point no. on
shortest edge
max := global Max(accumulator)
while max > min do
  for each pixel(x,y) on edge with max
    decrement accumulator cells along loci(x,
    y)
  end
  max := global Max(accumulator)
  no-edge := no-edge + 1
end
  
```

2.4 꼭지점 계산

용접부재와 CAD database의 매칭을 위한 이미지의 특징점을 찾기 위해서는 다각형 모양의 꼭지점의 좌표를 찾아야 한다. 이것은 다각형 모양의 각 에지(edge)를 구성하는 직선들의 교점을 구하면 된다. 이들 직선이 만나는 교점은 Cramer의 법칙을 이용하여 직선의 방정식을 연립으로 풀면 구할 수 있다. 즉 두개의 에지(edge) j, k 가 (θ_j, d_j) ,

(θ_k, d_k) 와 같이 주어지면 교점 (X_i, Y_i) 은

$$X_i = \frac{D_1}{D} \quad Y_i = \frac{D_2}{D}$$

와 같이 구하여지고, 여기서 D_1, D_2, D 는 다음과 같다.

$$D = \begin{vmatrix} \cos\theta_j & \sin\theta_j \\ \sin\theta_k & \sin\theta_k \end{vmatrix}$$

$$D_1 = \begin{vmatrix} \cos\theta_j & \sin\theta_j \\ \sin\theta_k & \sin\theta_k \end{vmatrix} \quad D_2 = \begin{vmatrix} \cos\theta_j & \sin\theta_j \\ \sin\theta_k & \sin\theta_k \end{vmatrix}$$

이렇게 구해진 꼭지점의 정보로부터 용접부재의 전체 segment수, 각 segment길이, 전체 segment 길이(perimeter)등의 계산이 가능해진다.

2.5 매칭

앞의 과정을 통하여 검출된 용접부재의 용접에 관한 정보를 추출하기 위해서는 CAD 데이터베이스중 어느 것에 해당하는 지를 알아야 한다. 즉 공정계획의 데이터가 저장되어 있는 CAD 데이터베이스와 취득되어진 영상과 일치시키는 과정이 필요한데, 이를 매칭(matching)이라 한다. 어떤 패턴을 분류하는 가장 즉각적인 방법은 패턴과 이미 알고있는 모델 즉 템플릿(template)와 비교하여 가장 좋은 매치를 선택하는 것으로 이를 원형 비교법(template matching)이라 한다[9]. 아래보기의 용접의 경우 CCD카메라로 촬영한 형상은 2차원 다각형의 형상을 갖는다. 이러한 형태의 패턴매칭에는 일반적으로 ① 전체 세그먼트의 수 ② 각 세그먼트의 길이 ③ 전체 세그먼트의 길이 ④ 면적 등을 비교하여 일치하는 것을 선택하면 CAD 데이터베이스중 원하는 용접부재가 된다.

3. 로봇트 운동제어

3.1 운동 계획(motion planning)

로봇에서 기본적인 문제는 미리 정해진 작업을 수행하기 위하여 운동을 계획하고 이러한 운동을 이루기 위하여 필요한 명령을 수행하도록 로봇을 제어하는 것이다. 로봇의 엔드에펙터(end-effector)가 원하는 궤적(trajjectory)을 따라가도록 관절각(joint angle)을 계산하여 주는 것을 궤적 계획(trajjectory planning)이라하는 데, 이를 위해서는 기구학적 해석(kinematic analysis)이 필요하다. 관절변수 즉 관절각도가 주어졌을 때 엔드에펙터의 위치와 방향을 계산하는 것이 순방향 기구학(forward kinematics)이며, 역으로 엔드에펙터의 위치와 방향이 주어졌을 때 이에 해당하는 관절각도를 계산하는 것이 역기구학(inverse kinematics)이다[4][6].

역기구학 문제의 닫힌형태(closed form solution)의 해를 구하는 방법은 Denavit-Hartenberg의 동차 변환행렬(homogenous transformation matrix)를 이용하는 데, 이 행렬은 $i-1$ 번째 링크(link)와 i 번째 링크를 관련시키는 행렬로서 관절형 매니플레이터의 경우 보통 A_i 로 표현하고 다음의 형태를 가진다.

$$A_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \cos\alpha_i & \sin\theta_i \sin\alpha_i & a_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \cos\alpha_i & -\cos\theta_i \sin\alpha_i & a_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3-1)$$

- 여기서 θ_i : i th joint variable
- d_i : i th joint offset
- a_i : i th link length
- α_i : i th link twist angle

자유도가 6인 로봇의 경우에 기저좌표에 대한 엔드에펙터의 위치와 방향은

$$T_6 = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 \dots\dots\dots(3-2)$$

로 나타낼 수 있다. 역기구학 문제는 식(3-2)에서 T_6 가 주어졌을 때 오른쪽항의 관절각($\theta, i=1,6$)을 구하는 것으로, T_6 와 (3-2)의 오른쪽 항의 계산결과를 일치시켜 12개의 방정식을 만들고 연립방정

식을 푸는 문제로 귀착이 된다. 이러한 12개의 방정식들은 삼각함수 연산 및 각 행렬요소가 일치하도록 행렬의 재그룹을 통하여 닫힌 형태의 해를 구한다. 이와 같은 해석을 통하여 8개의 해가 구해지는데, 이는 같은 위치에 도달하기 위한 관절각의 경우의 수가 8개가 되는 것으로 이때 관절각도가 로봇의 물리적 한계안에 있는 것을 선택하면 원하는 역 기구학의 해가 된다[8][12].

3.2 직선 운동제어 (straight line motion)

엔드에펙터가 직각좌표 공간상에서 시작점과 끝점을 직선으로 운동하는 경우가 많이 존재한다. 예를 들면, 핀을 집어넣는 작업(insertion a pin), 컨베이어벨트를 추적하는 동작(tracking conveyor belt), 용접 로봇의 용접선 추적 등이다. 이와같이 직선운동을 선택하는 이유는, 첫째 직선행로는 비교적 예측 및 관측하기 쉽고, 둘째 시작점과 끝점을 가장 짧게 연결하는 행로이며, 셋째 Paul과 Talyor가 지적했듯이 직선운동을 하는 균일한 움직임은 매니플레이터와 엔드에펙터가 잡고있는 물체에 작용하는 관성력을 최소화시키기 때문이다. [14].

이와같이 직선운동은 많은 이점이 있지만 이러한 궤적을 이루기 위해서는 어려운 점이 존재하는데 이는 두점의 관절좌표 표현들(joint space description) 사이의 선형보간은 직각 좌표계의 직선 운동이 되지 않는다는 것이다. 1979년 Talyor는 Bound Deviation Method라 불리는 방법을 제시하였으며 이는 엔드에펙터가 직선을 따라 미리 정해진 양을 벗어나지 않게 충분한 intermediate point을 보간하는 방법으로 알고리즘은 다음과 같다.

Step1) Calculate joint variable J_s and J_e , corresponding to starting point S and ending poing E.

- Step2) Calculate joint coordinate midpoint, $J_m = J_s + 1/2(J_e - J_s)$, and use J_m to calculate M (M is joint space motion path)
- Step3) Calculate midpoint X of Cartesian straight line motion path
 $P_x = P_s + 1/2(P_e - P_s)$
 $R_x = R_s \text{ ROT}(r, \theta/2)$
- Step4) Calculate deviation between M and X
 $\delta_p = |P_m - P_x|$
 $\delta_r = |\text{angle part of } R_x^{-1} R_m|$
- Step5) If $\delta_p \leq \delta_p^{\max}$, $\delta_r \leq \delta_r^{\max}$, then proceed to Step6 Else make midpoint X as end point E , and apply Step 1-5 for segment $SE(SX)$
- Step6) Interpolated knot point is obtained.
 In remaining segment, repeat Step 1-6 in order to find another interpolation

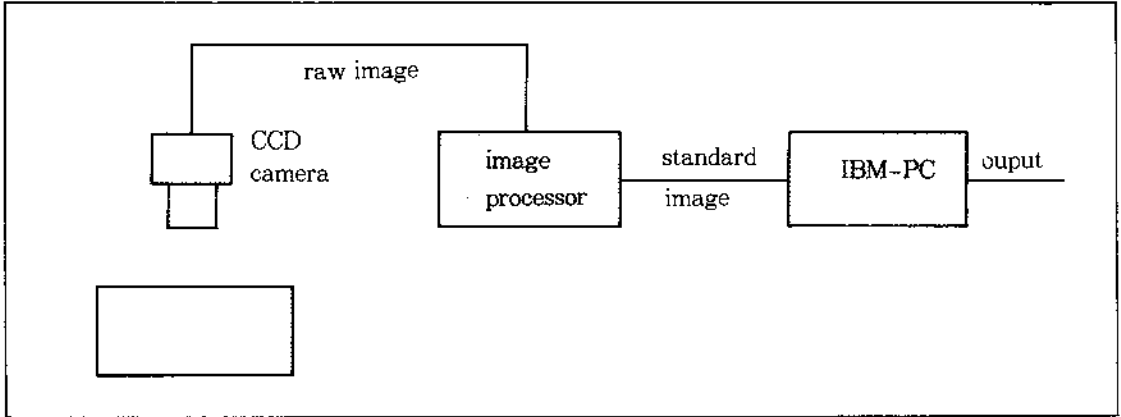
knot point until all interpolation knot points are found for whole segment SE .

4. 컴퓨터 실험 및 분석

본 실험에 이용한 화상처리 시스템은 [그림3]과 같이 구성되며 사용된 장비는

- * CCD camera.....PULNIX TM-545
 resolution 512×512,
 8bit plane
- * image processor..... Imaging Tech. Series
 150/151 image processor
- * program library..... ITEX 151 image processing function

을 사용하였으며 IBM-PC에서 C언어를 사용하였다.



[그림3] 컴퓨터비전 시스템의 구조

획득되어진 디지털 이미지의 실제크기를 알려면 실제 크기와 이미지의 크기의 비율 즉 보정계수 (calibration factor)를 구해야 한다. 이때 보정기구(calibration piece)로서는 이미 크기를 알고 있는 사각형의 시편을 이용하면 보정계수는 쉽게 구해진다. 먼저 보정기구의 이미지를 획득하여 raster scanning에 의해 검은 화소의 수를 세어서 이미지

의 면적을 계산한다. 이때 보정기구의 실 면적 A_r 은 이미 알고 있으므로 보정계수 C_f 는 다음과 같이 구해진다.

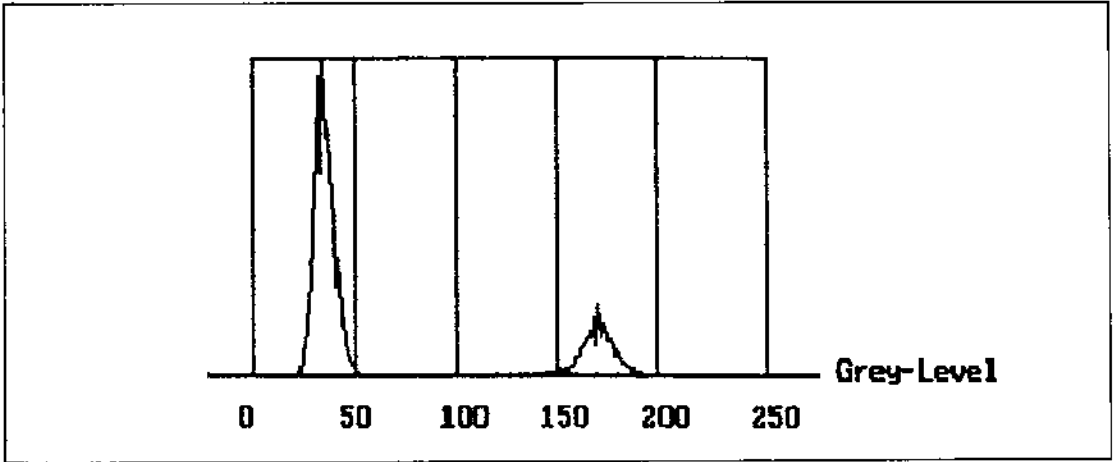
$$C_f = \sqrt{A_p/A_r} \text{ (pixel per mm)} \dots \dots \dots (4-1)$$

이와같이 보정계수가 결정이 되고나면, 이후로는 카메라의 재보정이 없이도 카메라 밑에 용접하고자

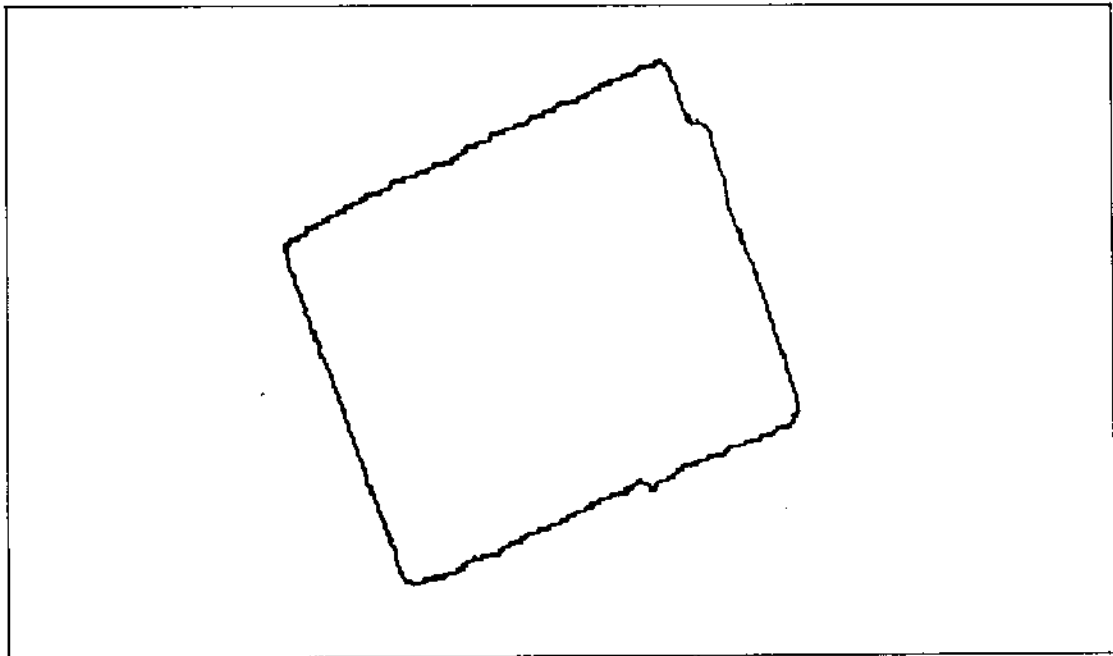
하는 부재를 놓고 이미지를 획득하기만 하면 실제 크기는 이미지의 pixel수 보정계수 Cf를 이용하여 쉽게 계산이 가능하다.

CCD camera를 통하여 획득한 이미지를 전처리

과정을 거친후 그레이레벨에 따른 히스토그램을 표시하면 [그림4]와 같으며, 이를 토대로 Sobel 연산자를 적용하여 경계선을 추출한 결과가 [그림5]이다.



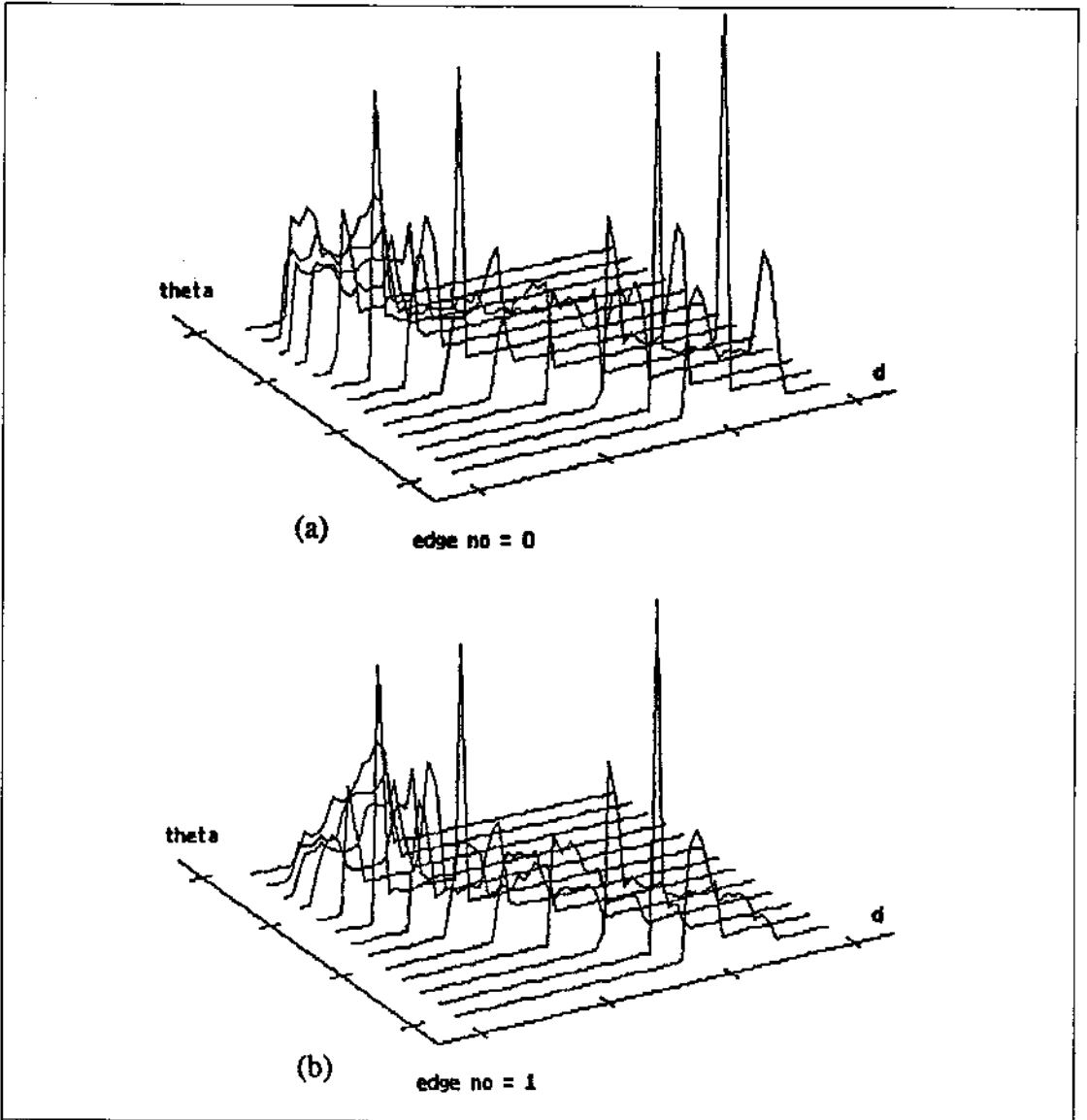
[그림4] 히스토그램 분석

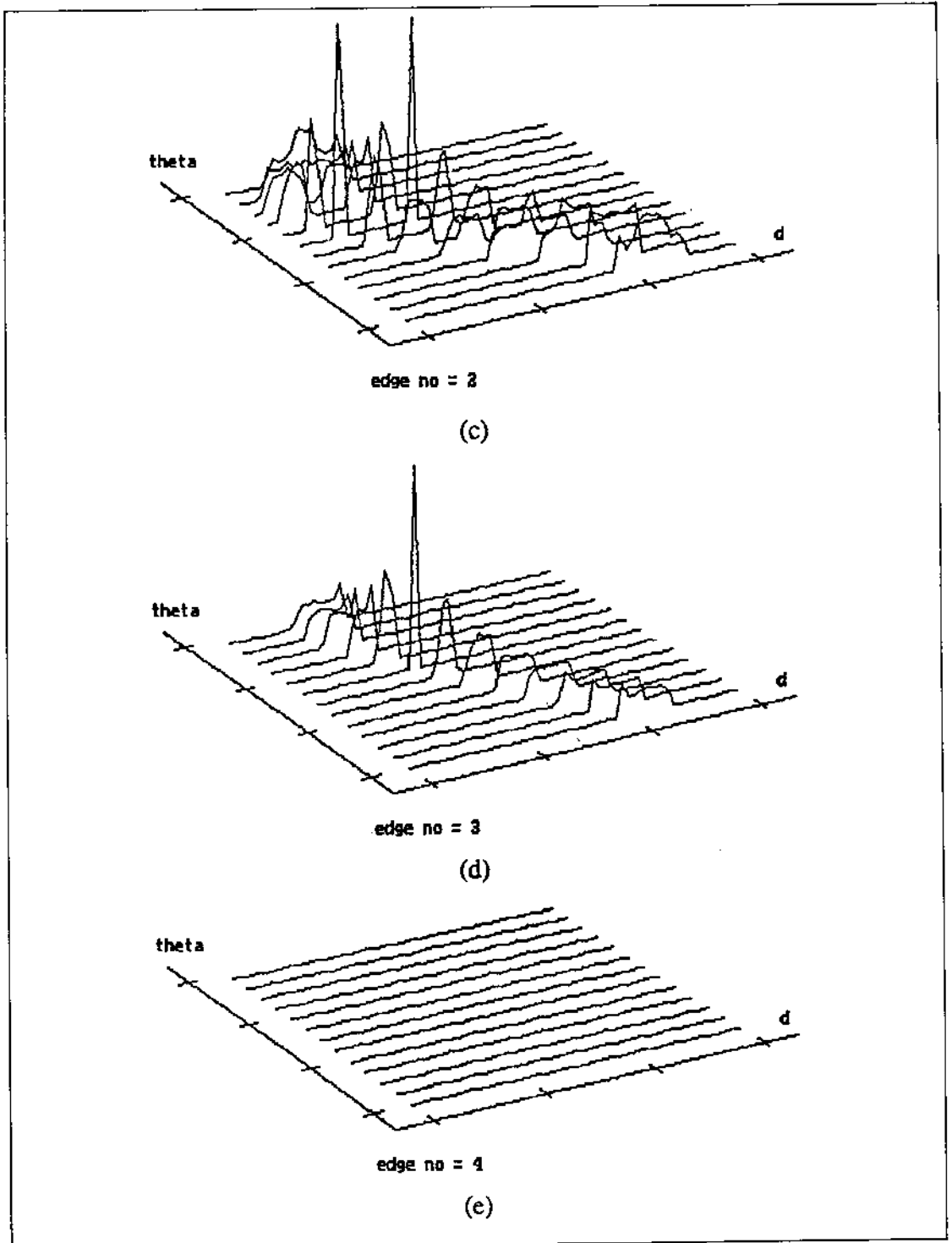


[그림5] 경계선 추출

$\delta\theta=10$, $\delta_d=10$ 간격으로 즉 분할갯수를 $K=20$, $L=50$ 으로 하였을 경우 [그림5]의 이미지에 대해 기존의 허프변환을 적용하여 accumulator array를 분석하면 [그림6(a)]와 같이 peak가 여러 개 나오며 이중 대략 4개가 다른것에 비해 높은 값을 가짐을 알 수 있다. 하지만 높은 count수를 가진 4개와 다른 것들을 구별 짓는 최적의 임계치를 아는 것이 불가능하다. 따라서 이러한 문제점을 극복하고 자동으로 에지수를 찾는 기법이 필요한데,

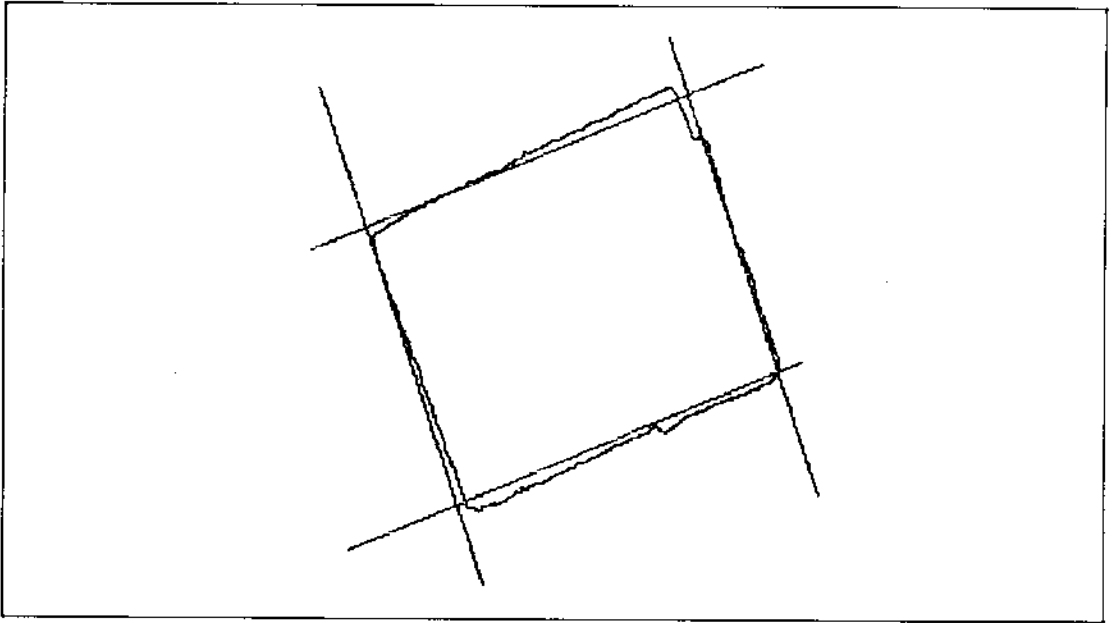
이는 adaptive peak detection algorithm을 적용하여 해결할 수 있다. 먼저 peak 값중 최대값을 가지는 것을 선택하고 이것에 해당하는 점에 의해 누적된 count수를 accumulator array에서 감소시키며, 이의 결과는 [그림6(b)]와 같다. 이러한 과정을 되풀이 하면 [그림6(c) (d)]와 같이 되고 최종적으로는 [그림 6(e)]와 같이 누적 count수가 미리 정해진 값 이하가 되어 이미지중 경계선을 이루는 에지수를 자동으로 계산을 할 수 있다.



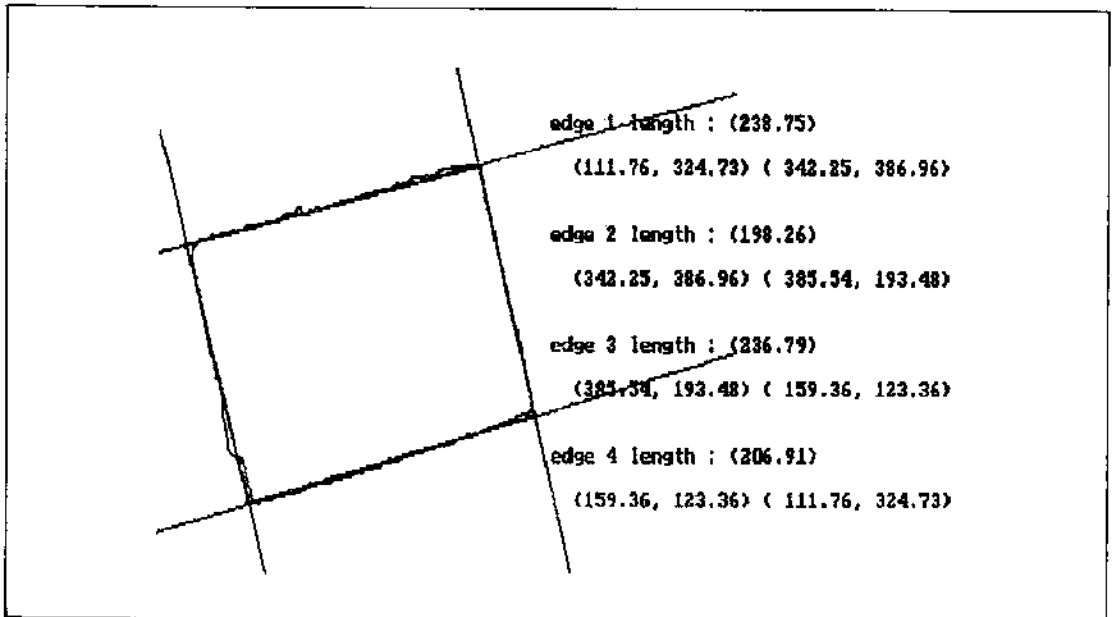


[그림6] Accumulator Array Used in the Experiment

[그림7]과 [그림8]은 기존의 허프변환, 수정된 허프변환의 적용 결과인 데, 시간은 거의 같으나 정확도 면에서 많은 차이가 남을 알 수 있다.



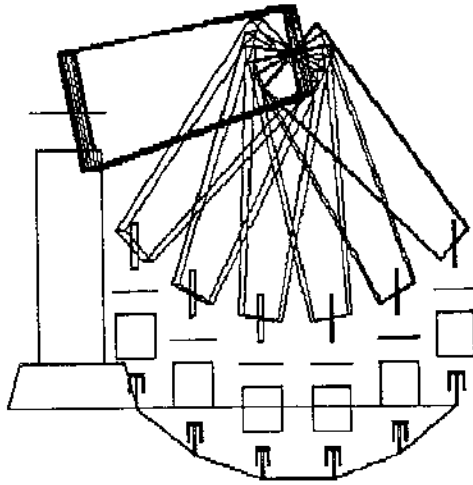
[그림7] 기존의 허프변환을 적용한 결과



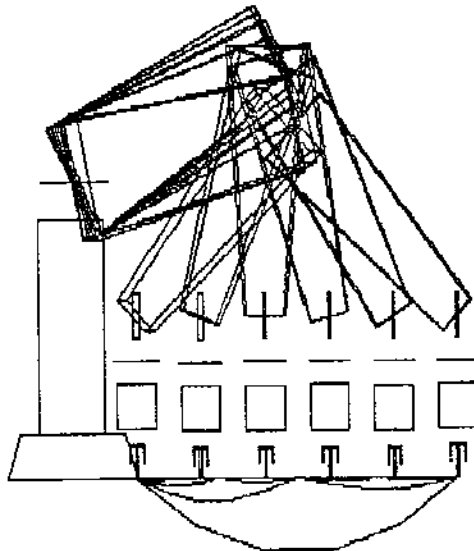
[그림8] 수정된 허프변환을 적용한 결과

용접선의 각 segment간의 로봇 운동은 직선 운동으로 구성이 되며 CAD database에서 추출된 정보는 각 segment의 시작점과 끝점의 좌표이다. 시작점이 (5,0,0)이고 끝점이 (30,0,0)인 경우

[그림9]에 보는바와 같이 관절각으로 보간시키면 곡선이 되며 Bound Deviation Method를 적용하면 직선으로 근점이 된다.



(a) 관절좌표에서의 보간



(b) Bound Deviaion결과

[그림9] Bound Deviation 결과

5. 결론

본 연구에서는 용접선 추출의 방법으로 현재 많이 사용하고 있는 용접선을 따라 연속적으로 이미지를 얻어 처리하는 사전관찰(preview)기법을 개선하여 용접부재를 한번에 촬영하여 화상처리를 거친 후 용접정보가 들어 있는 CAD database와 비교, 매칭시켜 필요한 용접정보를 획득하는 새로운 방법을 제시하였다. 또한 정확한 꼭지점을 추출하기 위해서는 정확한 직선식이 필요한데 이의 계산에는 허프변환이 이용되고 있지만 계산시간이 많이 소요되고 부정확하다. 계산시간의 감소 및 정확도를 위해 기존의 허프변환을 개선한 수정된 허프변환(MHT)의 알고리즘을 개발하였다.

본 연구에서 제시한 방법의 장점은 용접을 할려고 하는 부재가 CAD 데이터베이스에 존재하기 때문에 매칭만 되면 용접에 관한 모든정보 즉 용접선 뿐만 아니라 기타 용접정보(travel speed, wire feedrate, voltage, etc.)도 추출이 가능하다. 또한 설계와 생산을 연결해 주는 공정설계를 이용하기 때문에 설계와 생산을 유기적으로 연결, 통합하는 기반이 될 수 있다. 수정된 허프변환(MHT)을 적용한 결과 기존의 허프변환에 비해 계산시간은 거의 같았지만 정확한 직선이 산출이 되었으며, 이는 정확한 매칭뿐만 아니라 보다 빠른 시간에 원하는 용접정보를 획득하는 효과를 가져온다.

참 고 문 헌

[1] Agapakis, J.E., et al, "Vision-Aided Robotic Welding : An Approach and a Flexible Implementation", The International Journal of Robotics Research, Vol.9, No.5, pp.17-34, 1990.

[2] Anand, S., Raman, S., Wysk, R.A., "Vision Assisted NC Milling Path Generation", Journal of Manufacturing Systems, Vol.7, No.3, pp.233-240, 1990.

[3] Anand, S., Kumara, S.R.T. and et al, "Intelligent Robotic Painting Using Machine Vision", VISION '90, pp.9.31-9.45, 1990.

[4] Asada, H. and Slotine, J.J.E., Robot Analysis and Control, John Wiley & Sons, 1986.

[5] Ballard, D.H. and Brown, C.M., Computer Vision, Prentice-Hall, 1982.

[6] Brady, M., et al, Robot Motion : Planning and Control, The MIT Press, 1982.

[7] Duda, R.O. and Hart, P.E., "Using of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures", Communications of the ACM, Vol. 15, pp.11-15, 1972.

[8] Fu, K.S., Gonzalez, R.C. and Lee, C.S.G., ROBOTICS : Control, Sensing, Vision, and Intelligence, McGraw-Hill, 1987.

[9] Gonzalez, R.C. and Wintz, P., Digital Image Processing, Addison-Welsey, 1987.

[10] Horn, B.K.P., Robot Vision, MIT Press, 1987.

[11] Nitzan, D., "Three-Dimensional Vision Structure for Robot Applications", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.10, No.3, pp.291-309, 1988.

[12] McCarthy, J.M., The Kinematics of Robot Manipulators, MIT Press, 1987.

[13] Risse, T., "Hough Transform for Line Recognition : Complexity of Evidence Accumulation and Cluster Detection", Computer Vision, Graphics, and Image Processing, Vol.46, pp.327-345, 1989.

[14] Wang, K. and Lien, T.K., "The Planning of A Straight Line Trajectory via Interactive Computer Graphics", Robotics & Computer Integrated Manufacturing, Vol.5, No. 2/3, pp.215-221, 1989.