

비전 데이터를 이용한 아크 용접로봇의 용접선 추적에 관한 연구

A Study on Seam Tracking for Robotic Arc Welding

Using Snapshot Visual Data

김 은엽, 김 광수

(삼성중공업 증장비연구소, 포항공대)

본 연구에서는 용접선 추출의 방법으로 현재 많이 사용되고 있는 용접선을 따라 연속적으로 이미지를 얻어 처리하는 사전관찰(preview)기법을 개선하여 용접 모재를 한번에 촬영(snapshot)하여 화상처리를 거친 후 용접 정보가 들어 있는 CAD database와 비교, 매칭시켜 필요한 용접정보를 획득하는 새로운 방법을 제시한다. 또한 정확한 꼭지점을 추출하기 위해서는 정확한 직선식이 필요한데 이의 계산에는 허프 변환(Hough Transform)이 이용되고 있지만 계산시간이 많이 소요되며 부정확하다. 계산시간의 감소 및 정확도의 향상을 위해 기존의 허프변환(Hough Transform)을 개선한 수정된 허프변환(Modified Hough Transform)을 개발하였다.

1. 서론

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. 특히 로봇과 컴퓨터비전을 이용한 아크용접에 있어서 가장 중요한 문제중의 하나는 용접선의 위치 및 자세를 측정하고 이 결과에 따라 용접 로봇의 운동을 제어하는 것이다. 용접선의 위치 및 자세를 측정하고 이 결과에 따라 용접 로봇의 운동을 제어하는 기법은 센싱의 기술적인 측면에서 교시방법(teach and playback), 아크를 통한 센싱기술, 사전관찰에 의한 센싱 기술 등이 있다. 이중 현재 보편적으로 많이 사용되고 있는 것은 컴퓨터 비전을 이용한 사전 관찰 기법이며, 이는 인공조명(structured light)과 CCD

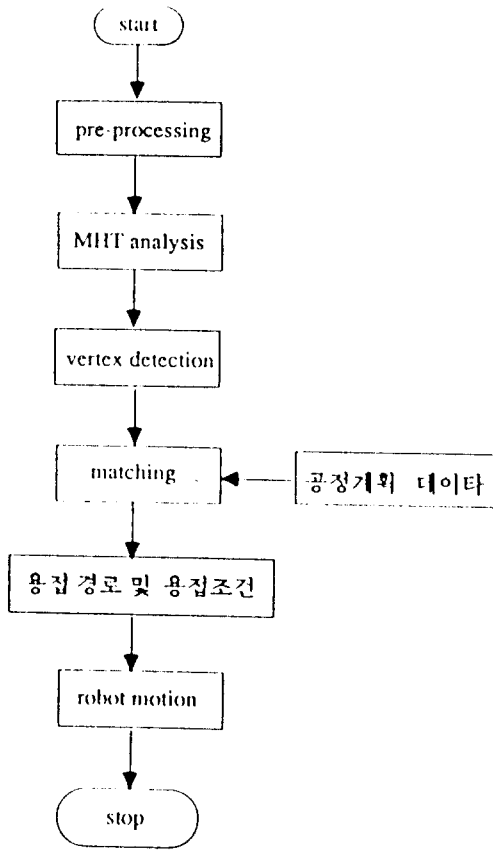
camera를 이용하여 용접선을 추출하는 방법이다. 그러나 이러한 방법은 용접시 발생하는 아크광의 방해로 인하여 레이저빔과 아크광의 구별이 어려운 경우가 빈번하며, 이미지에 잡음이 생겨서 레이저빔을 추출하기가 어렵고, 용접이음의 형태중 인식이 어려운 형태가 존재하며 용접도중에 이음의 형태가 변하지 않아야 한다. 또한 이러한 용접선 추출방법은 단지 용접선의 위치만을 추출하기 때문에 기타 용접정보 즉 용접속도, 용접봉의 이송속도, 전압 등은 수작업으로 처리해야 하는 불편이 있다.

II. 비전과 CAD 데이터로 부터 용접선 추출

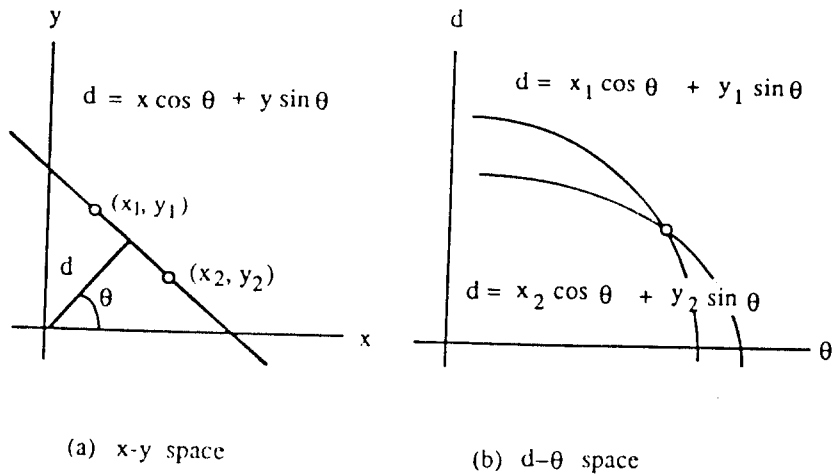
용접선의 정확한 위치(position) 및 최적의 용접조건(travel speed, wire feedrate, voltage, etc.)을 추출하기 위하여 새로이 제안한 방법은 그림1에서 보는 바와 같이 CCD 카메라를 통하여 획득된 용접부재의 이미지(snapshot vision data)를 영상 처리(image processing)과정을 거쳐 특징점을 추출한 후, 이것과 용접경로 및 용접조건이 들어 있는 공정계획 데이터(CAD database)와 비교, 매칭시켜서 원하는 용접정보를 추출하는 방법이다.

2.1 전처리 과정

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 처리의 중요한 목적의 하나이다. 이와같은 처리는 통상 전처리 과정(preprocessing)이라 불리우며, 대비강조, 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(graylevel)의 현저한 차이가 나는 점의 연속이고, 차후 화상 인식(image recognition)에 접근하는 가장 기초적인 자료가 된다.



(그림1 비전과 CAD데이터로 부터 용접선 추출)



(그림2 Normal Parameter에 의한 히프변환)

2.2 허프 변환(Hough Transform)

인간이 만든 물체의 이미지는 직선을 따라 그레이레벨의 불연속(graylevel 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. 이는 point-to-curve 변환의 성질으로 다음과 같이 요약할 수 있다(그림2).

- property 1 : x - y 평면에서 점은 θ - d 공간에서 sinusoidal curve이다.
- property 2 : θ - d 공간에서 점은 x - y 평면에서 직선이다.
- property 3 : x - y 평면에서 동일한 직선위에 놓인 점들은 θ - d 공간에서 common point를 통과하는 sinusoidal curve들에 해당한다.
- property 4 : θ - d 공간에서 동일한 curve위에 놓인 점들은 x - y 평면에서 common point를 통과하는 직선군에 해당한다.

2.3 수정된 허프 변환(Modified Hough Transform)

기존의 허프변환은 정확한 직선식을 산출하기 위해서 θ 및 d 의 허용오차를 줄여야한다. 즉 분할갯수(division number) K, L 을 증가시켜야 하는데, 이것은 계산비용(computing cost)의 증가를 초래하여 실시간 제어(real time control)인 용접의 경우 적용하기에는 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 누적count수가 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 - y 평면상의 점들의 그룹을 regression analysis를 통하여 정확한 직선식을 산출하는 것으로서 알고리즘은 다음과 같다.

- 1) 2D accumulation
 - for (Xi, Yi)
 - for (θ 0, π, Δθ)
 - for (d=-L, L, ΔL)
 - d = Xi cosθ + Yi sinθ
 - end
 - end
 - end
- 2) peak calculation에 의한 d, θ 결정
- 3) d, θ에 해당되는 (Xi, Yi)의 grouping
- 4) grouping된 (Xi, Yi)에 대해 regression을 통한 정확한 직선식 산출

한편 accumulator cell의 누적 count수는 직선을 형성하는 부분에서 피크를 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 경계선이 몇개로 이루어졌나를 파악하는 것으로 자동인식이 되어야한다. 이와같이 짧은 선을 포함한 모든 경계선을 자동으로 찾기 위한 알고리즘은 다음과 같다.

```

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 검출 및 매칭

용접부재와 CAD database의 매칭을 위한 이미지의 특징점을 찾기 위해서는 다각형 모양의 꼭지점의 좌표를 찾아야한다. 이것은 다각형 모양의 각 에지들 구성하는 직선들의 교점을 구하면 된다. 이들 직선이 만나는 교점은 Cramer의 법칙을 이용하여 직선의 방정식을 연립으로 풀면 구할 수 있다. 이렇게 구해진 꼭지점의 정보로부터 용접부재의 전체 segment수, 각 segment 길이, 전체segment 길이(perimeter)등의 계산이 가능해진다. 이와같은 정보와 이미 CAD database에 저장되어 있는 기하학적인 데이터와 비교, 매칭시켜서 원하는 용접 정보를 추출하게 된다.

III. 로봇트 운동제어

비전을 통하여 얻어진 정보는 용접 부재의 경계선을 이루는 꼭지점들의 좌표이다. 이 경우 용접봉은 이들 꼭지점을 연결하는 직선을 따라 이동해야 한다. 즉 로봇트의 end-effector가 직선운동을 해야한다. 이때 로봇트의 관절각을 선형보간을 하면 곡선을 형성하기 때문에 용접선이 곡선이 되는 결과가 되어 적용하기가 불가능하다. 이를 개선하기 위한 방법으로 Taylor가 제안한 Bound Deviation Method가 있는데 이는 end-effector가 직선을 따라 미리 정해진 양을 벗어나지 않게 충분한 intermediate point를 보간하는 방법이다.

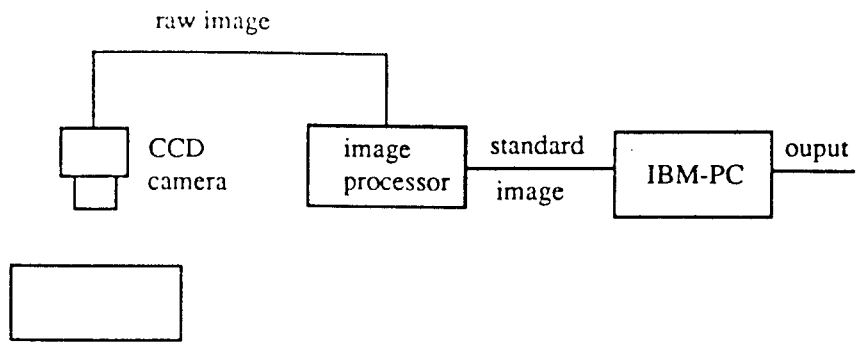
IV. 컴퓨터 실험 및 분석

본 실험에 이용한 화상처리 시스템은 그림3과 같이 구성되며 사용된 장비는

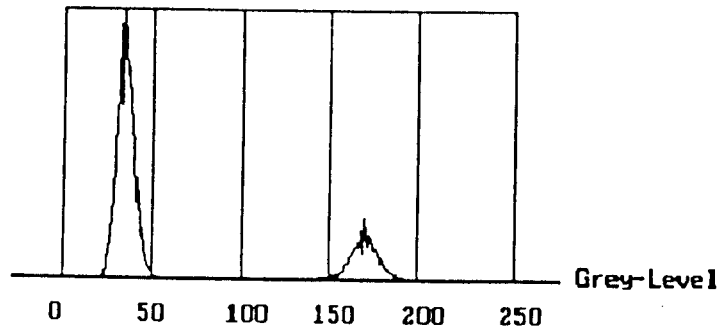
- * CCD camera PULNIX TM-545
resolution 512 X 512, 8 bit plane
- * image processor Imaging Tech. Series 150/151 image processor
- * program library ITEX 151 image processing function

을 사용하였으며 IBM-PC에서 C언어를 사용하였다.

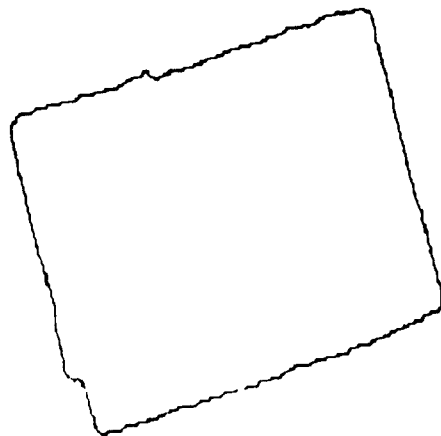
획득되어진 디지털 이미지의 실제크기를 알려면 실제 크기와 이미지의 크기의 비율 즉 보정계수(calibration factor)를 구해야한다. 이때 보정기구



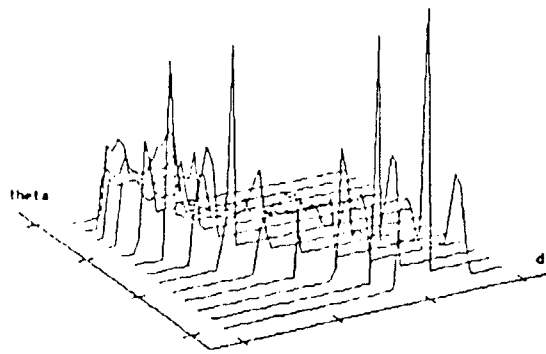
(그림3 컴퓨터비전 시스템의 구조)



(그림4 히스토그램 분석)

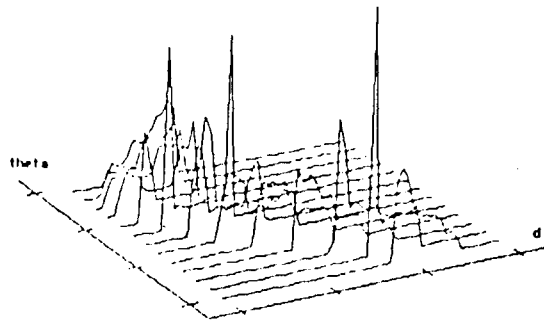


(그림5 경계선 추출)



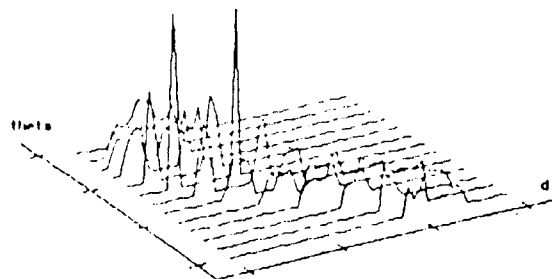
edge no = 0

(a)



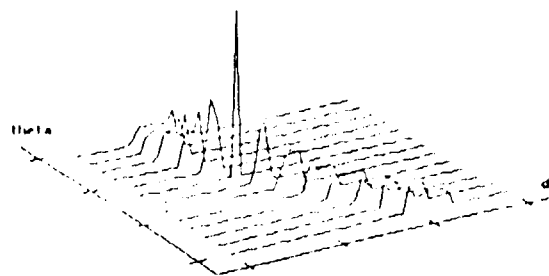
edge no = 1

(b)



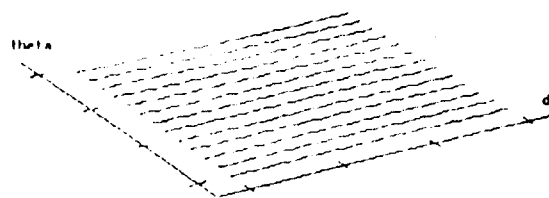
edge no = 2

(c)



edge no = 3

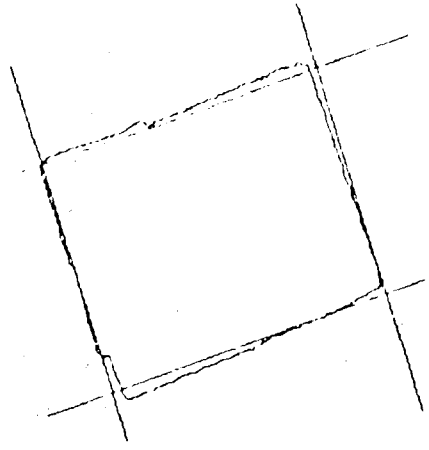
(d)



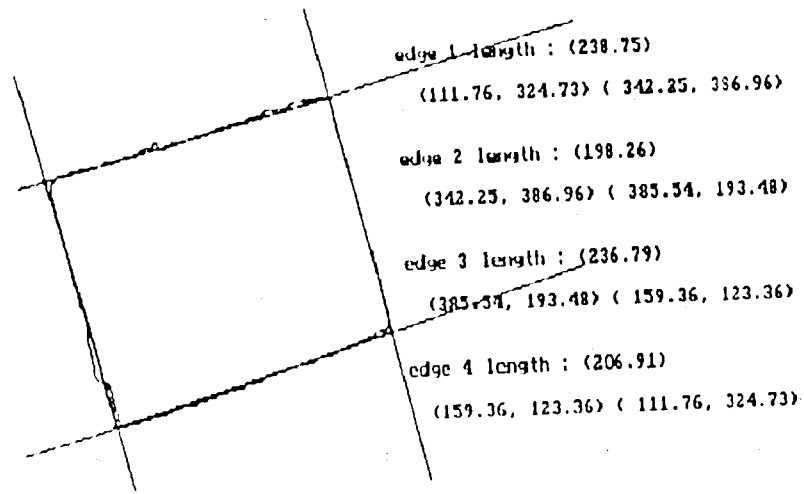
edge no = 4

(e)

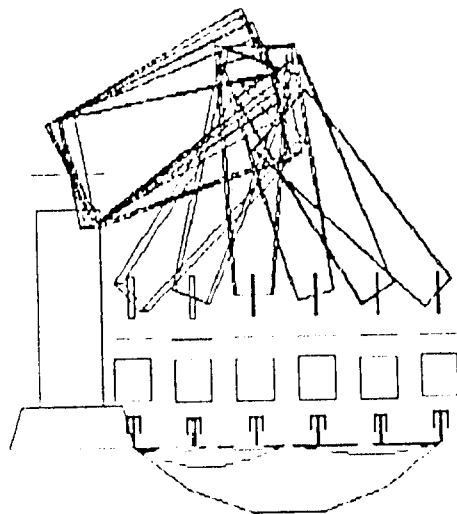
(그림 6 Accumulator Array Used in the Experiment)



(그림7 기존의 히프변환을 적용한 결과)



(그림8 수정된 히프변환을 적용한 결과)



(그림9 로봇의 직선운동)

(calibration piece)로서는 이미 크기를 알고 있는 사각형의 시편을 이용하면 보정계수는 쉽게 구해진다. CCD camera를 통하여 획득한 이미지를 전처리과정을 거친후 그레이레벨에 따른 히스토그램을 표시하면 그림4와 같으며, 이를 토대로 강계선을 추출한 길이가 그림5이다. 이러한 강계선이 빗개인지를 자동으로 감지하는 adaptive peak detection algorithm을 적용한 결과 그림6과 같이 수렴됨을 알 수 있다. 그림7과 그림8은 기존의 허프변환, 수정된 허프변환의 적용 결과인데, 시간은 거의 같으나 정확도 면에서 많은 차이가 남을 알 수 있다. 한편 용접부재의 경계선은 직선으로 이루어졌으며, 알고 있는 정보는 양 끝점의 좌표이므로 이러한 양 끝점 사이를 직선운동하는 로봇의 제어가 필요한데 이는 Bound Deviation 방법을 이용하면 쉽게 해결이 된다(그림9).

V. 결론

본 논문에서 제시한 방법의 장점은 용접을 할려고하는 부재가 CAD 데이터 베이스에 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 허프 변환에 비해 계산시간은 거의 같았지만 정확한 직선이 산출이 되었으며, 이는 정확한 매칭뿐만 아니라 보다 빠른 시간에 원하는 용접정보를 획득하는 효과를 가져온다.

참고문헌

- [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] Asada, H. and Slotine, J.J.E., Robot Analysis and Control, John Wiley & Sons, 1986.
- [4] Brady, M., et al, Robot Motion : Planning and Control, The MIT Press, 1982.
- [5] Horn, B.K.P., Robot Vision, The MIT Press, 1987.
- [6] 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.
- [7] 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.