

레이저 용접을 위한 고속 용접선 추적 알고리즘

A Fast Seam Tracking Algorithm for Laser Welding

°배재욱*

* 대우고등기술원 생산 기술실 CAD/CAM 팀(Tel : +82-335-30-7346; Fax : +82-335-30-7113; Email:jwbae@iae.re.kr)

Abstracts This paper discusses an automatic visual-servoing system, in which a laser and a CCD camera are used for imaging the pattern of joint groove. The algorithm used here is simple and robust to find out the gap width and gap center. As a consequence, the speed of algorithm is very fast and optimized. A feature of this system is that it processes only by summing the vertical line and horizontal line of screen without any image preprocessing in order to get the energy information of lines alternatively. It is practical and useful for the system requiring a fast process time of vision.

Keywords Seam, Trackings, Reliability, Linear Interpolation.

1. 서론

현재 Tailored Blank(TB)의 레이저 용접 시에 판재를 고정 시켜주는 지그(jig)의 고정 정확도, 편평도 문제와 용접선의 굴곡 때문에 용접할 시편의 겹(gap) 오차와 단차(step)의 오차가 발생하게 된다. 상품화된 용접기는 지그의 고정 정확도를 향상시키는데 주력하고, 시편의 오차를 줄이기 위해서 시편의 고정밀 가공을 요구하고 있다. 이와 같이 센서를 사용하지 않고 설계상에서 오차를 잡으려는 이유는 센서의 비용 문제와 성능면에서 용접기에 부착하기가 힘들었다. 이런 이유로 비용이 저렴하고 성능이 뛰어난 센서를 요구하게 되었는데, 용접 경로 변화를 측정할 수 있는 센서 중에는 용접 공정 중에 틱-모재간의 거리 변화에 따른 전류와 전압을 측정하여 위치 정보를 찾아 내는 아크 센서, 광학 장치(optical device)를 사용한 용접선의 위치를 검출하는 광학 센서가 있다. 아크 센서는 구성이 간단하고 가격이 저렴하다는 장점이 있으며, 후판의 맞대기 이음 및 필렛 이음부와 같이 위빙(weaving)이 가능한 경우는 잘 적용될 수 있으나, 박막(thin film)의 겹치기 이음과 같이 위빙이 필요 없는 경우에는 적용이 불가능하다. 이러한 경우에 용접 경로를 추적할 수 있는 센서로써 광학 센서의 이용을 검토할 수 있다. 그러나 구조화된(structured) 빛과 카메라를 이용한 광학 센서 시스템은 레이저와 카메라, 그리고 카메라용

회로 등의 가격이 비싸며 영상 처리 프로그램이 복잡하다는 단점이 있다. 주사빔을 이용한 센서는 구조가 복잡하고 시스템이 고가이나 구조화된 빛을 이용하는 방식에 비해 아크에 의한 영향을 덜 받고 전처리 시간을 줄일 수 있어 점차 사용이 증가하고 있다. 비전 센서(vision sensor)를 사용하기가 힘든 이유는 용접 상황에서 생길 수 있는 노이즈의 영향이 커서 센서가 정확한 성능을 발휘하기에는 최악의 상황이다. 용접 상황에서 발생할 수 있는 잡음의 요인으로는 아크광(arc light), 스패터(spatter), 용접 연기(smoke)이다. 이런 문제점을 제거하기 위해서 카메라(camera)의 위치와 방향을 아크 발생 방향과 반대 방향으로 카메라를 설치하고 카메라를 보호하기 위해서 보호 케이스(shield case)를 잘 설계하여 용접에서 생길 수 있는 문제점들을 잡으려고 노력했다.⁴⁾

[3] 는 out of focus 방법을 사용하여 고주파(high freq.) 성분의 노이즈를 최소화하고, 인식율을 높였다. 용접광에 의한 영향을 없애기 위해서, [2]은 Ultrasonic 을 사용하여 용접선 추적을 구현하였다. 하지만 비전 센서를 사용할 때보다는 정보량이 적었고, Ultrasonic 의 사용이 일반화되어 있지 않아 비용면이나 적용하는데 어렵다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 670nm 의 가시광 레이저를 사용하여 카메라(CCD camera)로 겹 정보와 단차 정보를 찾아 낸다. 겹의 두께를 구하여 레이저 용접 속도를 제어하고, 겹의 중심을 구하여 대우 용접기(Daewoo Laser Welding 400(DLW400) Machining)의 용접 위치를 제어했다. 측정 오차를 10 μ m 이하로 줄이기 위해서 촛점거

리(focal length)를 90mm로 하고, 카메라의 시각 원도위의 면적을 5mm×4mm의 넓이로 측정하였다. 용접 상황에서 생길 수 있는 노이즈에 대응하기 위해서 신뢰성 디자인(reliability design)방법을 적용하여 비전 소프트웨어의 신뢰성을 향상 시켰다. 제작하였다.

2. 비전 센서 원리와 센서 디자인

레이저 센서는 용접될 모재의 위치와 방향을 정확하게 로봇에게 전달해야 한다. 이런 정보를 얻기 위해서는 용접 모재에 대한 3차원 정보가 필요하게 된다. 이런 요구를 만족시키기 위해서는 레이저빔의 모양을 띠 모양으로 바꾸고, 레이저와 카메라의 위치를 잘 정렬하여 3차원 정보를 얻게 된다.⁵⁾ 레이저 변위 센서의 종류에는 크게 광학 삼각법(optical triangulation)을 이용하는 방식과 광위상차(time of flight)를 이용하는 방식으로 나눌 수 있다.

광학 삼각법은 광원과 이미지 센서를 계산하여 이미지 센서에 상이 맺히는 위치에 따라 삼각법에 의해 물체까지의 거리를 측정하는 방식이고, 광 위상차 방식은 기준 광과 물체에 반사된 광의 위상차를 이용하여 물체까지의 거리를 측정하는 방식이다. 두가지 방법중에서 광학 삼각법을 이용하는 방식이 처리 시간이 짧고 구조가 간단한 장점이 있다.

본 논문에 사용된 센서는 주사 빔을 이용한 광학 삼각법 방식의 레이저 변위 센서로써 광학적 3차원 거리 측정 방식에 의해 대상 물체에서 반사된 레이저광이 위치 검출 소자(PSD)위에 광점의 영상을 맺게 하여 그 위치에 따라 거리를 측정할 수 있다. 그 때문에 광학계는 고정밀의 비구면 렌즈를 사용하고 있다.⁴⁾ 본 논문에 사용된 레이저는 670nm 파장의 반도체 레이저이고, CCD 카메라를 사용하였고, 렌즈의 초점 거리는 90mm이다. 실제 측정 오차는 픽셀당 오차가 10 μ m이지만, 소프트웨어적으로 선형 보간(linear interpolation) 방법으로 처리하여 1 μ m 이하의 오차를 보상했다.

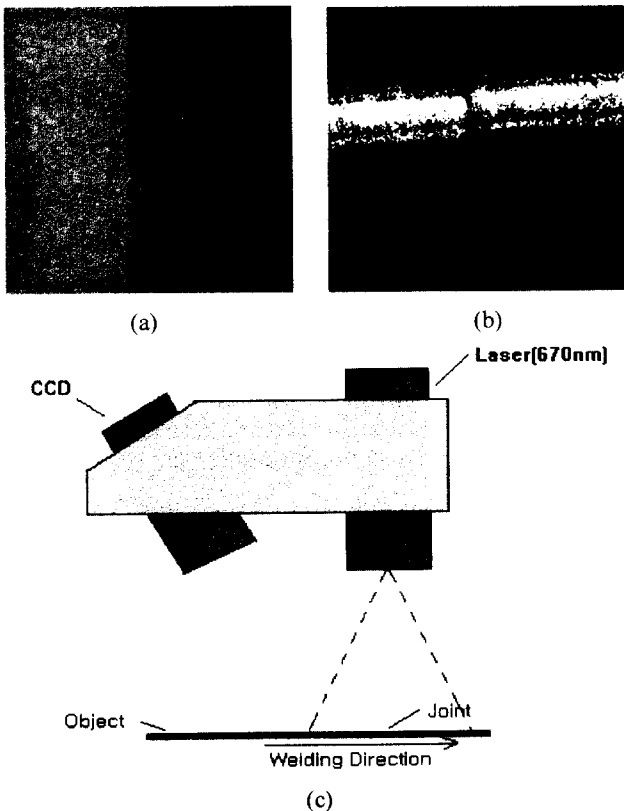


그림 1. (a) 모재의 용접 Joint(10 μ m) (b) 카메라에 잡힌 화상 (c) 구조화된 레이저 광을 사용한 비전 센서
Fig 1. (a) Object Joint for Welding(10 μ m) (b) The Image Capture with Camera (c) Vision Sensor using Structured Lighting.

3. 고속 화상 처리

3.1 신뢰성 디자인(Realiability Design)

용접용 비전 프로세스에서 가장 중요한 것은 용접 상황에서 생길 수 있는 잡음의 요소에 대해서 신뢰성 있게 프로그램이 동작을 해야 한다. 그러기 위해서는 안정된 디자인 방법이 적용되어야 하는데, 여기에 신뢰성 디자인(realiability design) 방법을 적용하였다. 먼저 용접 상황에서 생길수 있는 문제점들을 고려하고, 에러를 발생시킬 수 있는 이미지와 코드들을 분석하여, 에러 모델링을 하였다.

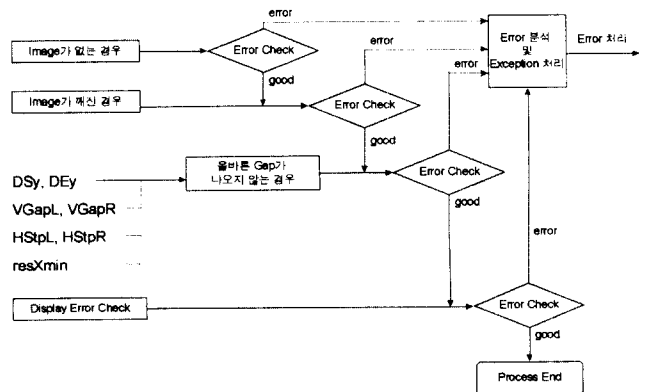


그림 2. 용접 상황에서의 에러 모델링
Fig 2. Error Modeling during Welding

이와 같이 에러에 대한 모델링을 하고, 각 에러에 대해서 예외 처리를 하여 화상에서 잡음이 생기면 생기는 즉시 다른 프로세스에 영향을 주지 않도록 하여 문제점들을 제거하였다.

3.2 고속 처리 알고리즘

이미지를 처리하기 위해서 여러 가지 방법의 이미지 전처리를 한다. 예를 들면 자동 문턱치값 보정(auto-thresholding), 평균화(averaging), 히스토그램 분석(histogram analysis) 등의 방법들을 사용해서 이미지 전처리를 한다. 이와 같은 방법들은 이미지 처리를 보다 쉽고 정확하게 하기 위해서 사용된다. 실시간 제어를 하기 위해서는 빠른 프로세스 방법이 요구된다.

데이터 처리량을 줄이기 위해서 활성 윈도우(moving-window) 기법을 사용하여, 화면 전부를 사용하지 않고, 적당한 윈도우를 잡아 이미지를 처리하였다. 이때 용접선이 벗어난 경우는 윈도우를 옮겨서, 용접선이 항상 윈도우의 가운데에 위치하게 윈도우를 제어 하였다.

용접 선을 제어하기 위해서는 첫째로 용접 선의 중심 위치를 알아야 하고, 용접 선의 겹 크기(gap width)를 알아야 한다. 이런 요구를 충족시키기 위한 최소한의 데이터는 단지 입력으로 들어온 레이저 광의 에너지(energy) 분포만 분석하면 된다. 분석하는 방법으로 가로 세로의 에너지의 분포를 구한 다음에, 선형 보간(interpolation) 방법을 사용하여 좀더 정확한 데이터를 얻는데 주력하였다.

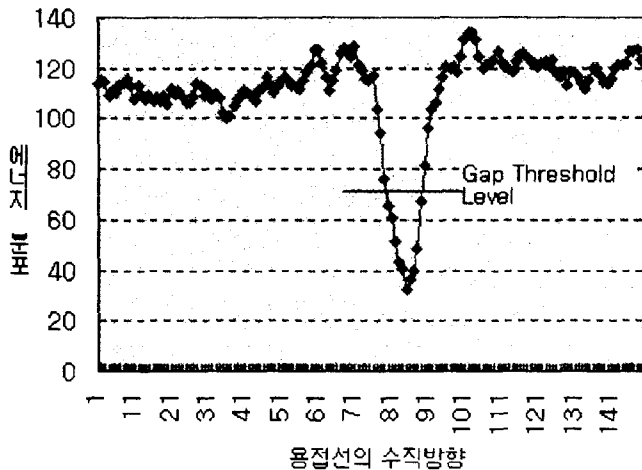


그림 3. 용접 선의 수직인 방향에서의 Energy 분포
Fig 3. Energy Distribution to Vertical Direction of Seam

3.2.1 선형 보간 방법(Linear Interpolation Method)

기존에는 샘플링 값에 의존하여 픽셀의 최소한의 오차가 시스템의 성능이었다. 하지만 픽셀 사이를 선형 보간시킨다면 픽셀 오차를 최소화 줄여준다. 정확한 겹(gap) 정보를 얻을 수 있는 문턱값을(gap threshold level)을 정하고, 이 값과 에너지 분포를 얻은 히스토그램에서 비교하면서 이 문턱 값보다 작은 구간을 구한다. 이때 샘플링한 값이 불연속이기 때문에 10 μ m의 오차를 가지고 값을 구하게 된다. 하지만 이 구간을 선형 보간시킨다면, 10 μ m 이하의 정확한 값을 구할 수 있다.

$$Z_x = P_x + (P_{x+1} - P_x) \times (S_{x+1} - S_{th}) / (S_x - S_{x+1}) \quad (1)$$

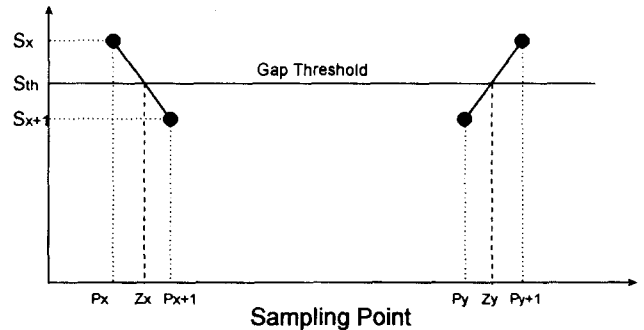
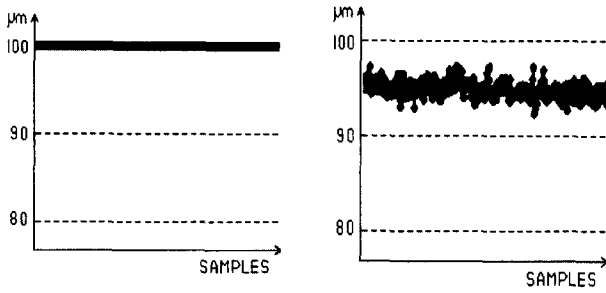


그림 4. 선형 보간
Fig 4. Linear Interpolation

4. 결론

본 논문에서 사용된 알고리즘을 사용하여 겹을 구한 결과 1 μ m 이하의 레이저 빛의 변화를 찾아 내는 결과를 얻었고, 신뢰성 디자인의 에러 모델링 기법과 Bottom-Up Analysis 기법을 적용하여 소프트웨어를 만들었기 때문에 용접 상황에서 생길 수 있는 이미지에 대해서 Robust 하게 사용되어졌다.

표 1에서 볼 수 있는 것과 같이 프로세스 시간이 픽셀의 합을 구하기 때문에 단 한번의 이미지를 읽은 후에 처리가 가능하다. 이미지 전처리 과정을 거치지 않고도 처리가 가능하기 때문에 처리 속도가 상당히 빨라지게 된다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 레이저의 변화량까지도 측정이 가능하고 10 μ m 이하의 오차를 줄였기 때문에 실제 겹이 95 μ m 인 대상에 대해서 측정값이 실제 겹에 가깝게 데이터를 구할 수가 있다.



(a)

(b)

그림 5. 95 μm 겹의 시편을 사용하여 측정 (a) M. Kawahara 알고리즘 적용. (b) 본 논문의 알고리즘 적용.

Fig 5. Measuring with the object that is separated by 95 μm width (a) M. Kawahara Algorithm (b) This Paper's Algorithm

표 1. 이미지 분석에 대한 정확도의 분해능

TABLE 1. Accuracy Resolution of Image Analysis

	본 논문	M. Kawahara
Resolution	1 μm 이하	10 μm
process counts /sec	20	18

참고문헌

- [1] 박용환, 김재웅, “레이저 변위 센서를 이용한 용접선 검출에서 신호처리에 관한 연구”, *Journal of KWS*, Vol. 13, No. 4, Dec., 1995
- [2] C.Umeagukwu, “Ultrasonic Seam Tracking in the Vicinity of an Operating Welding Torch”, *Materials Evaluation*, 1990
- [3] M. Kawahara, “TRACKING CONTROL SYSTEM FOR COMPLEX SHAPE OF WELDING GROOVE USING IMAGE SENSOR”, IFAC, Mexico 1983
- [4] Nitin Nayak, “An Adaptive Real-time Intelligent Seam Tracking System”, *Journal of Manufacturing System* Vol 6
- [5] J. E. Agapakis, et al, “Adaptive Robotic Welding Using Vision Sensing of Joint Geometry”, *SPIE* Vol.726 1986