

비전 센서를 이용한 용접선 추적 시스템의 다층 아크 용접 응용에 관한 연구

A Study on Application of Joint Tracking System on Multipass Arc Welding using Vision Sensor

장인선*, 이세현**, 엄기원**

* 한양 대학교 정밀 기계 공학과 대학원

** 한양 대학교 정밀 기계 공학과

1. 서 론

대부분의 비전 센서를 이용한 용접선 추적 시스템은 단지 단층 용접 작업에서 비교적 단순한 기하학적 형상으로부터 조인트의 위치를 찾는 데 한정되었다. 본 연구는 이러한 용접선 추적 시스템이 단층 용접뿐만 아니라 다층 용접에서도 응용될 수 있도록 용접 층의 순서와 편차를 지정하는 과정(layering process)을 제시하고 용접 전 혹은 용접 후의 임의의 형상을 가진 홈에 대한 좀더 자세한 기하학적 묘사와 용접선 치수 측정이 가능한 알고리즘을 제시한다. 이러한 기술을 좀더 향상시켜 용접선 추적에 적용한다.

2. 주사 빔(scanning beam)을 이용한 비전 센서의 원리

주사 빔을 이용한 센서는 레이저 빔을 회전 평면 거울이나 다각 거울 또는 피라미드형 거울 등을 이용하여 모재 표면에 조사한다. 물체에 부딪혀 반사된 광을 1차원 위치 센서로 감지하여 광학 삼각법에 의해 물체까지의 거리를 측정한다. 이렇게 측정된 거리 값은 거울의 회전에 대한 정보와 결합하여 2차원의 거리 이미지(range image)를 만들어 낸다. 위치 센서가 검출축(detection axis)에 대해 기울어지도록 되어 있는데 이 각도는 산란된 레이저 광이 선명한 상을 맺기 위한 조건인 Scheimpflug 조건으로부터 구해진다. 이러한 기하학적 형상의 이점은 투영축(projection axis)상의 어느 점이라도 위치 센서 상에 초점이 정확히 맺힌다는 것이다. 이러한 성질은 측정 깊이(depth of view)를 상당히 개선할 수 있으며 비전 센서의 설계에 이용된다. 이 원리를 2차원으로 확장하여 검출축과 투영축을 동기화한 것이 동기 주사형 비전 센서(synchronized scanner)의 기본이다. 동기 주사형 비전 센서는 분해능을 좋게 하기 위해 광원과 이미지 센서사이의 각을 크게 해야 했고, 이에 따라 측정 범위가 줄어드는 단점이 있었다. 자동 동기 주사형 비전 센서(autosynchronized scanner)는 이런 문제점을 해결하기 위해 개발되었다. 이는 모재에 주사되는 레이저와 수광되는 빛이 모터가 연결된 주사축상의 거울을 통해 자연스럽게 동기화된 것이다. 이렇게 해서 주사 범위에 걸쳐 물체까지의 거리를 알 수 있고 한 번 주사할 때마다 조인트 형상을 얻게 된다.

3. 비전 처리(Vision Processing)

3.1 비전 전처리(Vision Preprocessing)

비전 시스템에 의해 데이터의 센서 보정 결과로 얻어진 원 단면 형상은 (y, z) 좌표값으로 표현된다. 그러나 이러한 단면 형상은 잘못 인식된 노이즈 포인트들을 포함할 수 있다. 단면 형상을 평활화하고 노이즈를 제거하기 위하여 필터링이 필요하다. 윈도우에서 한 값을 그 이웃한 값들의 중간 값으로 대체함으로써 고립된 노이즈 성분을 제거하여 노이즈를 줄이는 비선형적 처리 기법인 미디언 필터링이 가장 효과적이다.

3.2 특징 추출과 인식(Feature Extraction and Recognition)

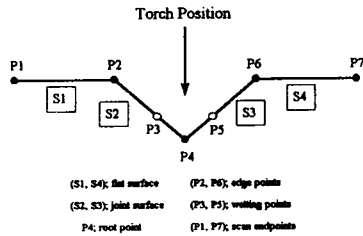


Fig. 1 Characteristic Features of a Vee-grooved Weld Joint

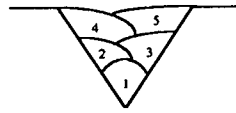


Fig. 2 Multipass Procedure

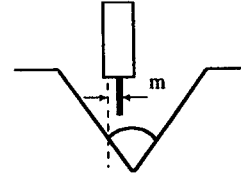


Fig. 3 Setting of Tracking Position

프로파일 상에서 큰 방향의 변화는 반드시 인식되어야 할 특징들에 해당된다. 이러한 프로파일의 특징들을 안정적으로 인식하기 위하여 내부적으로는 비교적 큰 방향의 변화를 찾는 것과 직선 세그먼트들로 근사화하는 것에 기초하여 영역 분할 처리(segmentation process)를 한다. 이렇게 처리된 프로파일 데이터 좌표값 (y_i, z_i) 를 각 직선 세그먼트들 사이의 교점인 절점(breakpoint)으로 정하고 저장한다. 이 절점들로부터 다음 단계인 의미를 가지는 특징들을 추출한다. V형 조인트에 대한 특징들은 Fig. 1에서 볼 수 있는 것과 같다. 이러한 특징점과 특징선에 대한 정보들을 이용하여 레이어링 과정(layering process)에 따라 추적점을 결정한다. 본 연구에서 사용된 V형 그루브에 대한 특징 추출 알고리즘은 Smati와 Smith 그리고 Yapp에 의해 거리 이미지에 적합하도록 고안된 V형 그루브 검출 알고리즘[4]을 수정한 것이다. 이 특징 추출 알고리즘은 반복적 평균 기법에 기초한다. 프로파일의 모든 z 축 값을 평균하여 \bar{z}_0 을 구하고 영역 분할 처리를 통해 얻어진 절점들 중에서 V형 그루브에 대한 특징 추출 알고리즘을 이용하여 Fig. 1에서 왼쪽 예지, P2와 오른쪽 예지, P6 점을 찾는다. 이때 사용되어지는 허용폭(tolerance band)은 조인트의 크기와 레이저 카메라의 분해능에 기초한다.

첫 번째 루트 패스인 경우에는 위에서 구한 왼쪽 예지, P2와 오른쪽 예지, P6사이에 극점이 되는 루트 점, P4는 다음과 같이 찾을 수 있다. V형 그루브에 대한 루트 패스의 예를 Fig. 4에 나타내었다. 루트 패스이후에서는 루트점, P4는 나타나지 않으므로 wetting point, P3와 P5를 찾는 알고리즘이 필요하다. 왼쪽 wetting point, P3는 왼쪽 예지, P2로부터 발견되는 첫 번째 절점에서 시작하여 기울기의 변화가 가공할 때 이미 알고 있는 경사각보다 작아지는 절점으로 정한다. 또한 오른쪽 wetting point, P5는 그 반대의 경우로 생각하여 결정할 수 있다.

일반적인 경우 첫 번째 루트 패스인 경우에는 앞에서 구한 루트 점, P4가 추적 위치가 된다. 그러나 멀티패스 용접이 필요한 후판의 V형 그루브 용접시에 용접선 추적 시스템을 적용시키기 위해서는 루트 패스시와 다른 몇 가지 루틴이 필요하다. 우선 다층 용접에서 두 번째 패스일 경우 추적 위치를 wetting point에 해당하는 P3 점으로 가정하면 P3을 찾기 위한 루틴과 Fig. 2에 나타낸 것과 같은 다층 용접 순서(multi-pass procedure)가 필요하다.

Fig. 2과 Fig. 3에 나타낸 것과 같이 추적 위치는 용접 비드의 특징 추출과 인식 과정을 통해 얻어진 특징점들로부터 다층 용접 순서와 편차(deviation), m 에 따라 기준점을 조정해 줌으로써 계산된다. 이와 같이 다층 용접 순서와 편차를 함께 지정함으로써 용접은 진행된다. Fig. 5에 V형 그루브에 대한 두 번째 패스일 때의 추적 위치로 wetting point를 찾은 예를 보여 주고 있다.

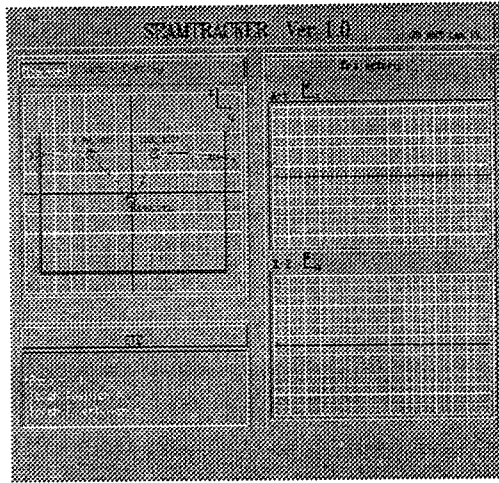


Fig. 4 Example for Root Pass on the Joint Tracking Program

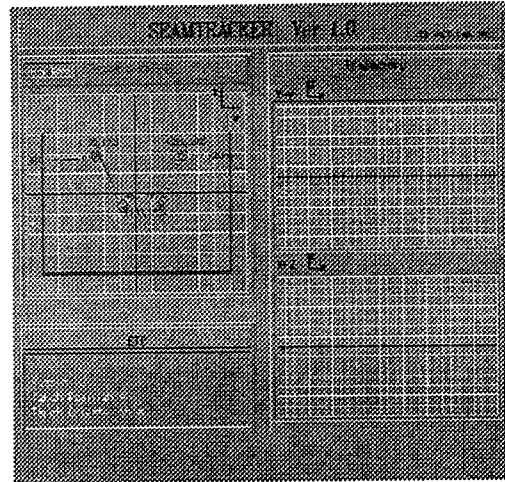


Fig. 5 Example for 2nd Pass on the Joint Tracking Program

4. 시스템 구성

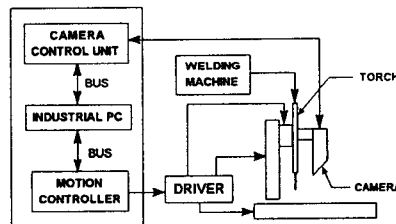


Fig. 6 System Configuration for Joint Tracking

그루브 형상의 센싱과 로봇 제어를 위한 용접선 추적 시스템을 Fig. 6에 나타내었다. 용접 방향에 대하여 레이저 카메라는 용접 토치의 전방에 설치하여 현재의 위치보다 일정 거리(look-ahead distance) 앞에서 정확한 조인트의 위치를 결정할 수 있도록 한다.

본 연구에서는 용접선 추적 시스템은 비전 시스템, PC, 모션 컨트롤러, CO₂ 용접기 ARTISAN-350P, 3축 직교 로봇(3-axis Cartesian robot)으로 구성된다. 비전 시스템으로 캐나다 Servo Robot사의 CAMI System을 사용하였다. 레이저 카메라로는 역시 Servo Robot사의 M-SPOT-90을 사용하였다. 광원으로는 파장이 680nm의 적색 가시광선인 출력 40mW의 레이저 다이오드가 사용되었으며 또한 아크 용접시 발생하는 아크 광, 스패터, 연기 및 가스 등에 의한 노이즈를 줄이기 위해서 특정 파장 대역만을 통과시키는 대역 통과 필터(band pass filter)가 카메라의 렌즈 부분에 설치되어 있다. 필터의 중심 파장은 680nm이며 반치폭은 $\pm 1\text{nm}$ 인 것이 사용되고 있다.

5. 3 축 직교 로봇을 이용한 용접선 추적

조인트에 기초한 용접 토치에 대한 추적 위치 (y, z)은 카메라 좌표계상에서 계산된다. 그리고

모재에 대한 토치의 방향이 결정될 수 있으므로 완전한 3차원의 용접선 추적이 가능하다. 그 이후, 모선 컨트롤러로 보내진 과거의 추적 위치에 따라 토치 위치가 변하므로 추적 위치는 반드시 실세계 좌표계로 좌표 변환되어야 한다. 센서는 일정 거리(look-ahead distance) 용접 토치의 전방에 위치하므로 조인트의 위치에 관한 정보는 적당한 용접 경로를 만드는데 이용된다.

조인트에서 잘못된 반사에 의해 야기되는 out-of-range correction을 제거하고 바람직하지 않은 갑작스런 변화를 막기 위하여 추적 경로를 필터링한다.

6. 결론

용접 자동화를 위한 연구로서 비전 시스템을 이용한 비전 처리와 용접선 추적 제어에 대해서 관찰 및 실험을 통하여, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 용접 공정의 3가지 단계, 즉 준비 단계, 용접 공정 실행 그리고 검사 단계 모두에 대하여 머신 비전을 새롭게 응용할 수 있도록 하기 위하여 효과적인 비전 처리 기법을 제시하였다.

(2) 이러한 기법들을 이용하여 용접에서 중요한 용접 조인트와 용접 비드의 특징들을 정확히 추출해내도록 하였다. 이러한 정보의 신뢰성은 차후 연구 과제인 용접 공정 조건들의 선택 및 조정, 용접 후 검사에의 응용, 또한 자동 용접 시스템의 개발에 있어서 절대적으로 필요로 한다.

(3) 용접 비드와 용접 조인트의 기하학적 정보가 용접층의 순서와 추적 위치를 지정하는 레이어링(layering process)에 따라 멀티 패스에서도 유용함을 보였다.

참고문헌

- [1] A. Pugh, Robot Sensors Vol. 1-Vision, Springer-Verlag, 1986.
- [2] J. E. Agapakis, "Approaches for Recognition and Interpretation of Workpiece Surface Features using Structured Lighting", The International Journal of Robotics Research, Vol. 9, No. 5, 1990, pp. 3-16.
- [3] J. E. Agapakis, et al, "Joint Tracking and Adaptive Robotic Welding using Vision Sensing of the Weld Joint Geometry", Welding Journal, Vol. 65, No. 11, 1986, pp. 33-41.
- [4] N. Nayak and A. Ray, Intelligent Seam Tracking for Robotic Welding, Springer-Verlag, 1993.
- [5] M. Rioux, et al., "Design of a Laser Depth of View Three-Dimensional camera for Robot Vision", Optical Engineering, Dec. 1987, Vol. 26, No. 12, pp. 1245-1250.