

멀티 라인 레이저 비전 센서를 이용한 고속 용접선 추적 기술

성기은*(한양대 대학원 정밀기계공학과), 이세현(한양대 기계공학부)

High speed seam tracking using multi-line laser vision sensor

K. E. Sung(Dept. of Precision Mechanical Eng., HYU), S. H. Rhee(School of Mechanical Eng., HYU)

ABSTRACT

A vision sensor measure range data using laser light source. This sensor generally use patterned laser which shaped single line. But this vision sensor cannot satisfy new trend which needs faster and more precise processing. The sensor's sampling rate increases as reduced image processing time. However, the sampling rate can not over 30fps, because a camera has mechanical sampling limit. If we use multi line laser pattern, we will measure multi range data in one image. In the case of using same sampling rate camera, number of 2D range data profile in one second is directly proportional to laser line's number. For example, the vision sensor using 5 laser lines can sample 150 profiles per second in best condition.

Key Words : Vision sensor (시각 센서), Structured Laser(구조광 레이저), Image processing (화상처리), High speed welding (고속용접), Seam tracking (용접선 추적)

1. 서론

레이저 패턴을 광원으로 사용하여 거리 정보를 얻는 시각센서는 일반적으로 하나의 선 모양의 패턴을 사용한다. 그러나 현재의 용접공정은 더 빠르고 더 정확한 용접선 추적을 요구하고 있다. 이러한 시각센서로는 이러한 경향을 만족 시킬 수 없었다. 화상처리 시간을 단축하더라도 카메라자체의 하드웨어적인 한계가 있기 때문에 특수한 카메라를 사용하는 경우를 제외하고는 30fps 를 넘기 어렵기 때문이다. 그러나 레이저 패턴을 하나의 선으로 사용하지 않고 여러 개의 선을 사용할 경우 한 개의 화상에서 다수의 거리 정보를 얻을 수 있다. 같은 30fps 라도 초당 얻을 수 있는 2 차원 거리 정보는 사용되는 선의 수에 비례하여 늘어나게 된다. 이러한 레이저 비전 센서를 사용할 경우 일반 카메라를 사용하더라도 충분히 빠른 샘플링 속도를 얻을 수 있다. 다수의 선의 관계를 분석하여 값을 찾아내므로 부수적으로 신뢰성도 높아지게 된다.

본 연구에서는 평행한 복수의 선 패턴을 이용한 레이저 비전 센서를 개발하였다. 이 방법을 사용하면 한 번의 계측으로 복수의 2 차원 거리 정보를 얻을 수 있고 이것을 통해 3 차원 형상을 얻을 수

있다. 한 화상 속에 있는 다수의 선들을 구분해 내기 위해 화상처리과정과 처리된 화상으로부터 화상 내의 강도에 대한 패턴 매칭 기법을 사용하여 각각의 선들을 분리해 내었다. 이렇게 분리된 각각의 선들은 다시 처리하여 필요한 3 차원 정보를 추출하였다. 이러한 전체 시스템을 모델링하여 시뮬레이션 시스템을 구축하여 다중 레이저 비전 센서의 성능을 추정하고 각 변수 값을 최적화 하였다. 최종적으로 실제 용접선 추적을 통하여 개발된 다중 레이저 비전 센서가 일반 레이저 비전 센서로는 추적이 어려운 고속용접에도 적용가능 하다는 것을 보였다.

2. 다중 레이저 선을 갖는 시각 센서 (Multi lines Laser Vision Sensor : MLVS)

레이저 비전 센서는 기본적으로 광학 3 각법을 통해 거리 정보를 얻게 된다. 이 광학 3 각법을 이용하기 위해서 기준이 되는 레이저 평면과 측정하는 CCD 는 어떤 각을 이루어야 한다. MLVS 의 경우 레이저를 각을 갖도록 경우 각각의 레이저 평면마다 출발점에서 측정점까지의 거리가 달라져 심한 강도 차이가 나타나고 이것은 각 레이저 평면이 생

성하게 되는 레이저 선의 두께를 일정하게 유지할 수 없게 만든다. 따라서 MLVS 의 경우에는 레이저 평면을 수직으로 세우고 CCD 를 눕히는 방법을 사용한다. 레이저 평면을 지면에 수직하게 놓아도 중앙의 하나를 제외한 나머지는 각각 다른 각과 다른 CCD 와의 거리를 가지게 된다. 각각의 레이저 평면을 구분해서 보정해야 하며 실제 측정시에도 각각을 모두 구분해야 한다.

3. 화상 처리 및 3 차원 모델링

레이저 비전 센서는 화상으로부터 원하는 정보를 이끌어내기 위해서 전처리 과정 및 레이저 선 인식 및 추출, 얻어진 거리 정보로부터 물체를 인식해야 한다. 이러한 작업은 레이저 비전 센서를 어디에 적용하는가에 따라 달라지게 된다. 예를 들면 용접선 추적에 사용할 것인지 회로기판 검사에 사용할 것인지에 따라 처리 방법은 큰 차이를 보이게 된다. 본 연구에서는 겹치기 이음의 용접선 추적에 적용할 수 있도록 화상 처리 및 3 차원 모델링을 구현하였다.[1][2]

3.1 화상 전처리

CCD 로부터 얻어진 화상은 Fig.2 와 같이 매우 복잡하다. 다중 레이저 평면을 생성하는 프리즘이 5 개의 평면만을 생성하는 것이 아니라 일정한 간격으로 무한대로 평면을 생성한다. 따라서 화상에는 항상 많은 레이저 선들이 나타나게 된다. 그리고 겹반사 등에 의한 효과도 다수 나타나게 된다. 이러한 노이즈들을 제거 혹은 약화시키기 위해서 향상된 미디언 필터를 적용한다. 이 필터는 레이저 선을 강화하고 노이즈는 약화하도록 특화 된 마스크를 이용한다. 이 필터는 Fig. 1 과 같이 화상 좌표계가 이루어져 있을 때 식(1)로 표현된다.

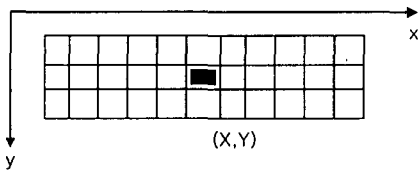


Fig. 1 Image coordinate

$$I_{new}(X, Y) = \frac{\sum_{Y-m}^{Y+m} \sum_{X-n}^{X+n} I_{raw}(X, Y)}{n+m} \quad (1)$$

$$I'_{new}(X, Y) = \begin{cases} I_{new}(X, Y) & : \text{if } \prod_{Y-a}^{Y+a} \prod_{X-a}^{X+a} I_{raw}(X, Y) > 0 \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$I''_{new}(X, Y) = \begin{cases} \frac{\sum_{Y-a}^{Y+a} \sum_{X-a}^{X+a} I'_{new}(X, Y)}{(2a+1)^2} & : \text{if } \sum_{Y-a}^{Y+a} \sum_{X-a}^{X+a} I'_{new}(X, Y) > 0 \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

이때 $I_{new}(X, Y)$ 는 화상처리후 생성되는 새로운 이미지는 나타내고, $I_{raw}(X, Y)$ 는 처리전의 이미지를 의미한다. n 은 x 축 방향으로 마스크의 크기, m 은 y 축 방향으로의 마스크의 크기이다.

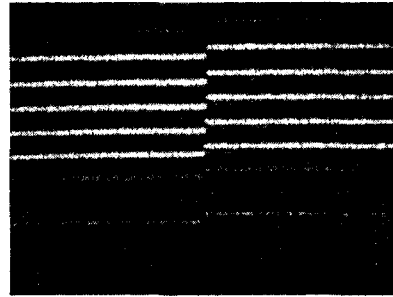


Fig.2 Raw image data

이 필터가 적용된 화상은 Fig. 3 과 같다.

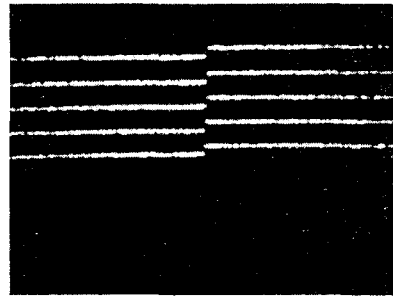


Fig. 3 Filtered image

3.2 선 분리 과정

앞에서 찾아진 화상으로부터 5 개의 레이저 라인을 구분해서 추출해야 한다. 이를 위해서 우선적으로 대비를 강하게 하기 위해서 개선된 이진화 기법을 사용하였다.

각각의 y 값에 대해서 다음과 식(4)를 이용하여 개선된 이진화를 수행한다.

$$I_{new}(X, Y) = \begin{cases} 0 & \text{if } I(X_i, Y_j) < th\text{-value}, (j = 0 \dots 480) \\ I(X_i, Y_j) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{where, } th\text{-value} = \max \left[\frac{\sum_{X_i-n}^{X_i+n} I(X_i, Y_j)}{n} \times 0.7 \right], (i = 0 \dots 640)$$

이때 $I_{new}(X,Y)$ 는 화상처리후 생성되는 새로운 이미지는 나타내고, $I(X,Y)$ 는 처리전의 이미지를 의미한다. n 은 x 축 방향으로 마스크의 크기이다

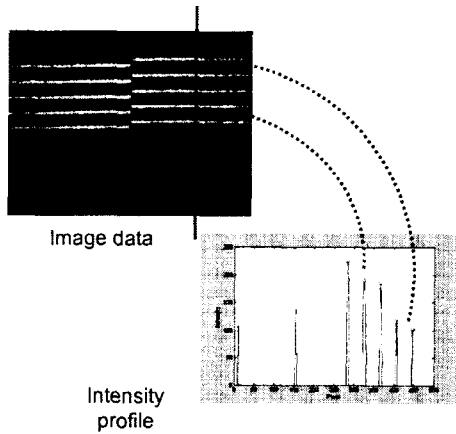


Fig. 4 Separation of laser lines

이렇게 만들어진 화상을 레이저 선에 수직하도록 구역을 나누어 이 구역에서 레이저의 강도가 어떤 패턴을 형성하는 것을 찾는다. 레이저 선들은 대체적으로 연속으로 일정한 간격을 가지고 침두를 이루는 집합을 형성한다. 이렇게 레이저 강도 그래프의 패턴을 찾아 레이저 선을 찾은 것은 Fig. 4와 같다.

이 과정을 전 영역에 적용하여 각각의 5개의 레이저 선을 찾게 된다. MLVS는 한 개의 화상에서 5개의 거리 정보를 얻게 된다. 이 거리정보를 가지고 3차원 모델을 구현하게 된다. 3차원 모델링을 하는 방법은 어떤 대상인가에 따라 달라지게 된다. 용접선 추적인 경우 겹치기 이음을 할 때에는 2개의 평면과 한 개의 곡선으로 모델링 하게 될 것이다.

4. 용접선 추적 시뮬레이션 및 실험

용접선 추적 시스템을 시뮬레이션 하기 위해서

Table 1 Laser line 수에 따른 용접선 추적 오차

| Weld speed | 10mm/sec(0.6MPM) | | 25mm/sec(1.5MPM) | | 40mm/sec(2.4MPM) | |
|--------------------|------------------|---------|------------------|--------|------------------|---------|
| | Man | Max. | Man | Max. | Man | Max. |
| Single line | 0.068mm | 0.082mm | 0.284mm | 거의 불가능 | 0.509mm | 불가능 |
| Multi-line(5lines) | <0.01mm | 0.01mm | <0.01mm | 0.01mm | <0.01mm | 0.011mm |

실제 공정의 모델이 필요하다. 이 모델을 구하기 위해서 용접선 추적 시스템을 구체적인 부분과 추상적인 과정으로 나누었다. 구체적인 부분은 용접선 추적 시스템을 구성하는 용접 대상, 레이저 비전 센서, 로봇의 모델이고 추상적인 과정들은 용접선으로부터 레이저 비전 센서가 용접선을 추출하는 것을 모델링한 용접선 추출 과정과 레이저 비전 센서로부터 얻어진 정보를 통해 용접선을 어떻게 추적 할 것인지 결정하는 용접선 추적 알고리즘과 이로부터 명령을 받아 로봇을 구동하는 과정의 모델로 이루어진다.

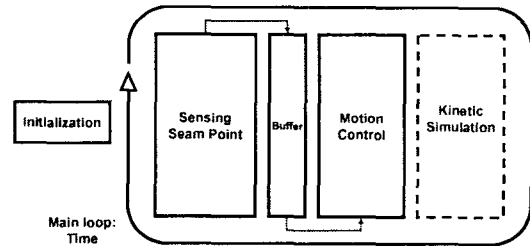


Fig. 5 Simulation system flow

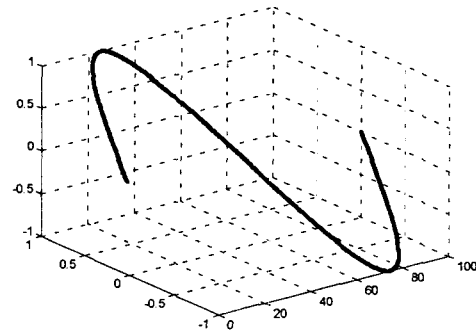


Fig. 6 Seam profile model

Fig. 6와 같은 형상의 용접선을 용접하는 고속 용접선 추적 시스템에 있어서 용접선 추적 결과는

Table 1 과 같다.

Table 1 에서 보는 것과 같이 고속 CCD 가 아닌 일반적인 CCD 를 사용하는 경우 기존의 레이저 비전 센서로는 추적 할 수 없는 고속 용접에 대해서도 다중 레이저 선을 적용한 레이저 비전 센서를 사용하면 용접선을 추적 할 수 있었다.

이러한 시뮬레이션을 통해서 MLVS 의 화상처리 시간의 한계, 용접선 형태의 따른 최대 추적 가능 속도의 계산등을 수행 할 수 있었다. 각 레이저 선 수에 따라 Fig. 6 의 용접선을 추적한 결과는 Fig. 7 과 Fig. 8 과 같다.

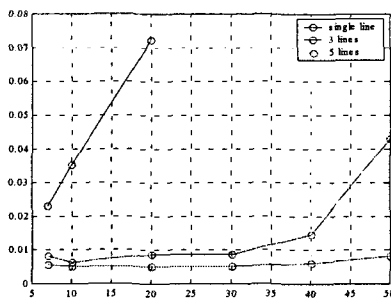


Fig. 7 Average error graph

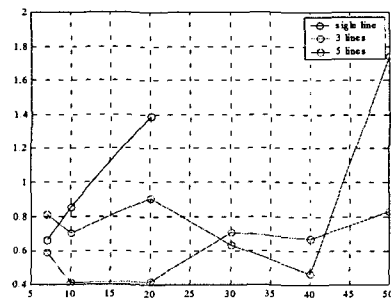


Fig. 8 Maximum error graph

MLVS 의 실험용 시스템을 구축하여 GMAW 의 박판 용접에서 10MPM 으로 용접선 추적을 실험 하였다. 실험 결과 박판의 가공상의 이유로 인한 용접선의 변형과 가접 부분에서도 성공적으로 용접선을 추적하는 것을 알 수 있었다. 그리고 용접시 박판이 심하게 변형되는 경우에도 용접선을 추적하여 용접을 성공적으로 추적함을 할 수 있었다

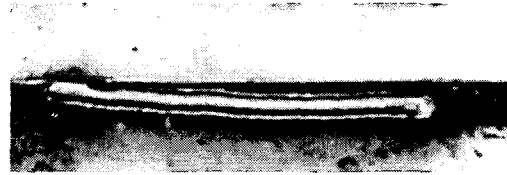


Fig. 9 Welding result of deactivated tracking system

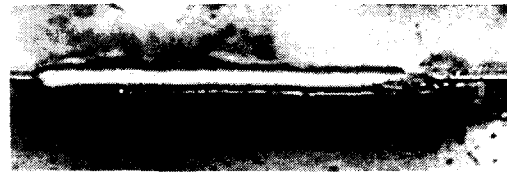


Fig. 10 Welding result of activated tracking system

5. 결론

본 연구를 통해서 기존의 레이저 비전 센서의 단점을 극복한 다중 레이저 선을 갖는 비전 센서를 개발하고 이것을 시뮬레이션을 통하여 빠른 속도와 높은 신뢰도를 필요로 하는 경우에는 MLVS 가 더 좋은 성능을 갖고 있음을 보였다.

> MLVS 에 적용하기 위한 화상 처리 알고리즘 및 3 차원 모델링 방법을 개발하였다.

> MLVS 를 실험에 적합 하도록 설계, 제작 하였다.

> MLVS 를 시뮬레이션과 실험을 통하여 용접선 추적에 대해서 적용하여 MLVS 가 기존의 센서보다 나은 성능과 새로운 유용한 기능들을 가지고 있다는 것을 보였다.

참고문헌

1. Ritter, G. X., Wilson, J. N., and Davidson, J. L. : Image algebra: An over view, Computer Vision, Graphics and Image Processing, 49(1990), pp297-331
2. V. B. Anand : Computer graphics and geometric modeling for engineers, John Wiley & Sons, 1993
3. C. P. Keferstein and M. Marxer : Testing bench for laser triangulation sensors, Sensor Review, 18-3(1998) pp183-187
4. N. E. Pears, : Modeling of a scanning range sensor for robotic applications, Advanced Robotics, 13-5(1999), pp549-562