

멀티 라인 레이저 비전 센서를 이용한 고속 3차원 계측 및 모델링에 관한 연구

성기은*(한양대 대학원 정밀기계공학과), 이세헌(한양대 기계공학부)

Development of multi-line laser vision sensor and welding application

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), Laser (레이저), Image processing (화상처리), Welding (용접), Seam tracking (용접선 추적)

1. 서론

레이저 비전 센서는 단파장의 빛을 이용하여 측정 대상에 패턴을 투사한 후 그 패턴의 모양을 시각센서를 통해 획득한다. 이렇게 획득한 화상을 분석하여 거리정보를 얻게 된다. 레이저 비전 센서는 비교적 저가로 높은 50~200 μm 정밀도를 얻을 수 있고 다양한 해상도를 구현 할 수 있다. 또한 비접촉식이므로 마모 및 충돌 등을 고려하지 않아도 되므로 작고 가벼운 물체나 높은 정밀도를 요하는 측정에 사용 가능하다.

일반적으로 레이저 비전 센서는 하나의 선 모양의 패턴을 사용한다. 이 패턴을 사용하면 비교적 안정적인 시스템을 구축할 수 있고 화상처리 과정도 상당히 간단하게 설계 할 수 있으며 처리속도 또한 빠르다. 이런 종류 레이저 비전 센서는 실시간으로 2차원 거리 정보를 얻을 수 있고 시간에 따라 변하지 않는 물체에 대해서는 스캐닝 작업을 통해 3차원 정보를 얻을 수 있다. 그러나 실시간으로 3차원 정보를 얻을 수 없다는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 다양한 모양의 레이저 패턴을 사용하는 센서들이 연구 되고 있다. 영국의 옥스포드 센서사에서는 원 모양의 패턴을 사

용함으로써 위에서의 문제들을 해결하고 안정성을 높이고자 하였다. 그러나 이러한 경우 실시간 추적에 응용하면 기존의 레이저 비전 센서에 비해서 비교적 많은 정보를 얻을 수는 없다. 또한 주사 형식을 사용함으로써 기계적으로 복잡한 구조를 갖게 된다.

본 연구에서는 평행한 복수의 선 패턴을 이용하여 레이저 비전 센서를 개발하였다. 이 방법을 사용하면 한 번의 계측으로 복수의 2차원 거리 정보를 얻을 수 있고 이것을 통해 3차원 형상을 얻을 수 있다. 한 화상 속에 있는 다수의 선들을 구분해내기위해 화상처리과정과 처리된 화상으로부터 화상내의 강도에 대한 패턴 매칭 기법을 사용하여 각각의 선들을 분리해 내었다. 이렇게 분리된 각각의 선들은 다시 처리하여 필요한 3차원 정보를 추출하였다. 또한 실시간 처리를 위해 각각의 알고리즘의 최적화를 실시하였다.

본실시간으로 변하는 계측에 있어서도 각 시간에 대해서 3차원 정보를 가지고 있으므로 어떤 점에 대해서 잘못된 정보가 들어오더라도 각각 측정된 정보간의 비교를 통해 오류를 수정 할 수 있었다. 또한 이 복수의 레이저 라인은 하나의 광학소자에 의해 구현 되므로 간단한 구조를 갖는다. 다

만 화상처리 과정이 기존의 하나의 선을 이용하는 경우보다 3 배 이상 복잡해지고 동일한 정밀도를 갖기 위해서는 30%이상 성능이 향상된 비전 시스템이 필요하였다. 이러한 단점들도 고성능 프로세서와 비전 시스템으로 사용하면 해결이 가능할 것이다..

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

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. 보통 계산 및 보정상의 편의를 위해 레이저 평면이나 CCD 중 하나가 지면에 수직하도록 한다. MLVS 의 경우 CCD 를 수직하게하고 레이저를 눕힐 경우 각각의 레이저 평면 마다 출발점에서 측정점까지의 거리가 달라져 심한 강도 차이가 나타나고 이것은 각 레이저 평면이 생성하게 되는 레이저 선의 두께를 일정하게 유지할 수 없게 만든다. 따라서 MLVS 의 경우에는 레이저 평면을 수직으로 세우고 CCD 를 눕히는 방법을 사용한다. Fig.1 에서 보는 것과 같이 레이저 평면을 지면에 수직하게 놓아도 중앙의 하나를 제외한 나머지는 각각 다른 각과 다른 CCD 와의 거리를 가지게 된다. 따라서 각각의 레이저 평면 들은 서로 다른 해상도를 가지며, 실 좌표계로 변환하기 위한 변환 행렬도 모두 다르다. 각각의 레이저 평면을 구분해서 보정해야 하며 실제 측정 시에도 각각을 모두 구분해야한다.

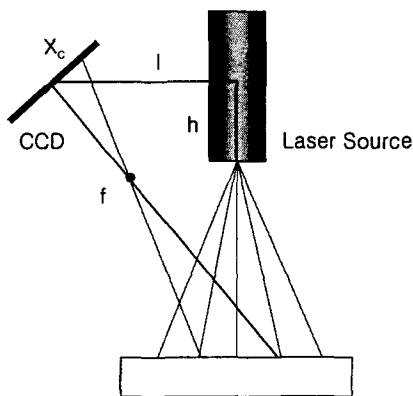


Fig. 1 Basic structure of MLVS

3. 화상 처리 및 3 차원 모델링
레이저 비전 센서는 화상으로부터 원하는 정

보를 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.3 와 같이 매우 복잡하다. 다중 레이저 평면을 생성하는 프리즘이 5 개의 평면만을 생성하는 것이 아니라 일정한 간격으로 무한대로 평면을 생성한다. 따라서 화상은 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. 2 과 같이 화상 좌표계가 이루어져 있을 때 식(1)로 표현된다.

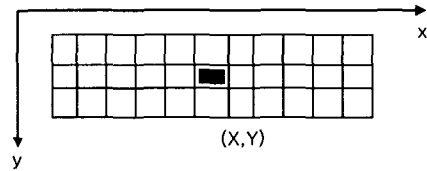


Fig. 2 Image coordinate

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

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.

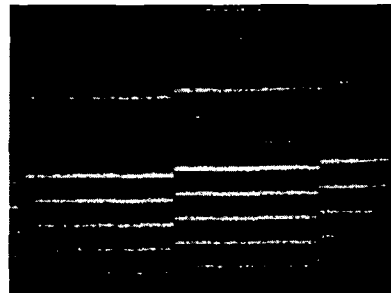


Fig. 3 Raw image data

이 필터가 적용된 화상은 Fig. 4 과 같다.

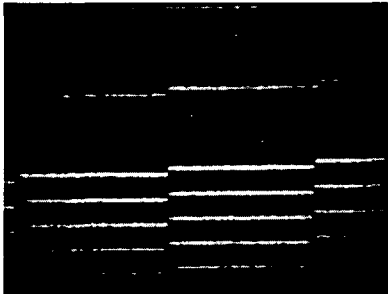


Fig. 4 Filtered image

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(2)를 이용하여 개선된 이진화를 수행한다.

$$I_{new}(X,Y) = \begin{cases} 0 & \text{if } I(X,Y_j) < th\text{-value} \\ I(X,Y_j) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

where, $th\text{-value} = \max \left(\frac{\sum_{X_i=n}^{X_i+n} I(X_i, Y_j)}{n} \right) \times 0.7, (X_i = X_0L \dots X_{end})$

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

이렇게 만들어진 화상을 레이저 선에 수직하도록 구역을 나누어 이 구역에서 레이저의 강도가 어떤 패턴을 형성하는 것으로 찾는다. 레이저 선들은 대체적으로 연속으로 일정한 간격을 가지고 점두를 이루는 집합을 형성한다. 이렇게 레이저 강도 그래프의 패턴을 찾아 레이저 선을 찾은 것은 Fig. 5 와 같다.

이 과정을 전 영역에 적용하여 각각의 5 개의 레이저 선을 찾게 된다. 찾아진 5 개의 레이저 선을 도시하면 Fig. 6 와 같다. MLVS 는 한 개의 화상에서 5 개의 거리 정보를 얻게 된다. 이 거리정보를 가지고 3 차원 모델을 구현하게 된다. 3 차원 모델링을 하는 방법은 어떤 대상인가에 따라 달라지게 된다. 용접선 추적인 경우 겹치기 이음을 할 때에는 2 개의 평면과 한 개의 곡선으로 모델링 하게 될 것이다.

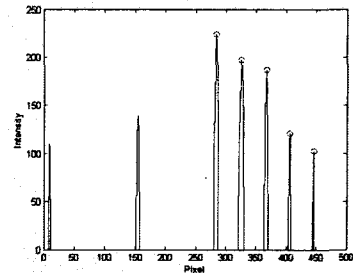


Fig. 5 Selecting laser lines

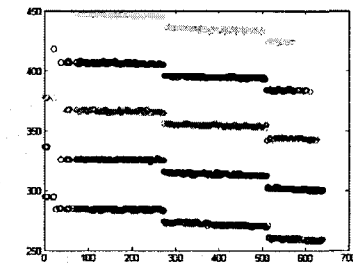


Fig. 6 Separated Laser lines

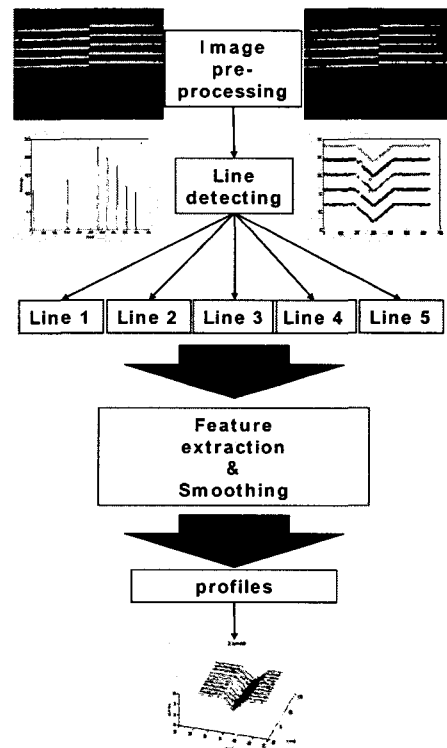


Fig. 7 Flow chart of image processing

4. 용접선 추적 시뮬레이션

시각 센서의 성능을 결정하기 위해서 용접선 추적의 경우에는 다음과 같은 3 가지 요소를 선택하였다. [3][4]

첫째, 측정시 한 화면에서 정보를 얻는 확률

둘째, 한 개의 거리 정보에서 사용할 수 있는 픽셀의 비율

셋째, 용접선 추적시 오차

첫번째의 경우로, 용접을 하면서 용접선을 찾을 경우 상당한 확률로 화상에서 정보를 얻지 못한다. 기존의 시각센서에서 아크 용접을 하면서 용접선을 찾을 경우 연강 재질의 표면을 갖는다면 약 10%의 확률로 전혀 정보를 얻을 수 없는 화상이 나타나게 된다. 이것은 레이저 선이 구분 할 수 없을 만큼 노이즈가 심하게 생성되었기 때문이다. 그러나 MLVS의 경우에는 5 개의 레이저 선 중 1~2 개를 찾지 못하더라도 나머지는 찾을 수 있다. 모든 레이저 선을 잃어버리는 경우는 이론상으로 기존의 센서와 동일한 성능을 갖는다고 하면 0.01%가 된다. 사실 상 발생하지 않는다는 것이다. 그러나 MLVS의 화상처리 알고리즘의 복잡성으로 인해 각각의 레이저 선을 잃어 버릴 확률은 기존의 한 개의 레이저 라인을 갖는 센서보다 높아진다. 실험에 의하면 CCD 에 가까운 쪽은 10% 정도이고 멀어질수록 증가해 5 번째 선의 경우 40%정도의 확률로 선을 찾지 못하게 된다. 이렇게 되더라도 5 개의 선을 모두 찾지 못 할 확률은 0.18%로 무시해도 좋다. 용접선 추적시 용접 속도가 빨라지면 빨라질수록 이것이 중요하게 된다. CCD의 물리적인 한계로 고속 카메라가 아닌 경우는 초당 100 프레임 넘기 어렵다. 따라서 한 프레임 한 프레임이 중요하다. 이런 경우에 적용한다면 기존의 시각 센서로는 한계가 있을 수 밖에 없다. 그러나 MLVS의 경우에는 고속에서도 보다 높은 신뢰성을 얻을 수 있다.

두번째의 경우도 첫번째와 비슷하다. 다만 이것은 거리정보가 구해진 뒤에 이것을 가공하여 쓸 수 있는 정보로 만들었을 경우 전체 정보중에서 얼마나 많은 양이 유용한 정보로 변환되었는가 하는 것이다. 기존의 센서는 주변 조건이 좋은 경우 80%, 나쁜 경우 70%였다. MLVS는 레이저 선에 따라 다른 값을 갖는다. 가장 밝은 1, 2 번 선의 경우는 85%이상, 3 번선은 80%이상, 4 번선은 70%이상, 5 번선은 60%정도의 비율로 사용 가능한 정보를 얻을 수 있다. MLVS가 오히려 성능이 더 좋아지는 것은 MLVS의 경우 앞뒤의 선들과의 관계도 고려하여 선을 찾기 때문이라고 생각된다.

용접선 추적오차는 용접선을 추적하기 위해 추적 경로를 생성하는 것을 어떤 방식으로 하는가에

따라 좌우될 것이다. 동일한 방법을 사용한다고 하면 동일한 주기로 계측을 한다면 MLVS가 5 배 더 많이 정보를 얻을 수 있으므로 더 좋은 추적 성능을 얻는 것은 자명한 일이다. 기존의 센서의 경우에도 계측 주기를 5 배로 늘린다면 동일한 성능을 얻을 수 있을 것이다. 하지만 물리적인 제약으로 인해 고가의 고속카메라 등을 이용하지 않으면 이 방법은 불가능하다. MLVS의 경우에도 동일한 화면 크기에 더 많은 레이저 선을 사용하므로 측정 할 수 있는 범위가 30%정도 줄어 들게 된다. 그리고 기존의 센서에 비해 계산량이 3 배 이상 증가 하게 된다. 그러나 1024x1024 이상의 고밀도 CCD를 갖는 카메라들이 속속 개발되고 있고, 컴퓨터의 속도도 매우 빠르게 증가하고 있기 때문에 이것들은 큰 단점이 되지 않는 것이다.

MLVS가 기존의 하나의 레이저 선을 갖는 센서에 비해 고가가 되겠지만 MLVS의 장점을 활용하면 기존의 센서가 활용될 수 없었던 분야와 적용되어도 만족스럽지 못했던 분야에서 기존의 센서를 대체 할 수 있을 것이다.

5. 결론

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

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

> MLVS를 실험에 적합 하도록 설계, 제작 하였다.

> MLVS를 시뮬레이션을 통하여 용접선 추적에 대해서 적용하여 MLVS가 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