

논문 2007-44SP-2-17

# 멀티 레이저 라인 조사를 이용한 비등속 이동물체의 3차원 형상 복원

(3D surface Reconstruction of Moving Object Using Multi-Laser Stripes Irradiation)

이 영 열\*, 예 수 영\*\*, 남 기 곤\*\*

(Young-Youl Yi, Soo-Young Ye, and Ki-Gon Nam)

## 요 약

본 논문에서는 멀티 레이저 라인 조사 방법을 이용한 능동적 비전(Active Vision)의 방법으로 비등속 이동물체의 표면을 효율적으로 모델링 하는 방법을 제안한다. 레이저 라인을 물체에 조사하고 레이저가 조사된 방향과 각도를 달리한 방향에서 이를 관찰하면 레이저 라인이 표면의 굴곡에 따라 휘어지는 현상을 관찰할 수 있다. 이를 삼각기법(triangulation method)을 이용하여 분석하면 물체의 표면 3차원 정보 획득이 가능하다. 기존에 대표적 구조화 조명기법인 단일 라인(single stripe) 기법과 단일 프레임(single frame) 기법의 장단점과 제안하는 멀티 라인 기법의 장점을 설명하고 정밀도를 높이기 위한 레이저 라인의 효율적 배치에 대하여 설명한다. 강인한 레이저 라인의 추출을 위하여, 레이저 라인 피크 검출기법과 색 분석을 통해 얻은 레이저 반응도를 함께 이용하는 방법을 소개하였고, 효과적인 레이저 라인의 라벨링 기법을 새로 제안하였다. 개별 3차원 복원 표면을 전체영상으로 표현하기 위하여 동기화 정보 획득에 영상 간 특징점 매칭을 활용한 영상 정합 기법을 적용하였다. 3차원 표면 모델링 기술을 최종적으로 컨테이너 표면 데미지 검사에 활용하여 제안 3D 모델링 기술의 우수성을 확인하였다.

## Abstract

We propose a 3D modeling method for surface inspection of non-linear moving object. The laser lines reflect the surface curvature. We can acquire 3D surface information by analyzing projected laser lines on object. In this paper, we use multi-line laser to make use of robust of single stripe method and high speed of single frame. Binarization and channel edge extraction method were used for robust laser line extraction. A new labeling method was used for laser line labeling. We acquired sink information between each 3D reconstructed frame by feature point matching, and registered each frame to one whole image. We verified the superiority of proposed method by applying it to container damage inspection system.

**Keywords :** 3D Reconstruction, Laser stripes peak detector, 3D surface registration.

## I. 서 론

인간의 시각정보는 실세계의 3차원 정보를 포함하고 있다. 이러한 3차원 정보를 2차원 디스플레이 장치에서 사실감 있게 표현하는 것이 그래픽스(graphics) 분야의 오랜 화두였다면 컴퓨터 비전(vision)의 분야에서는 2차

원 영상 입력장치로 들어오는 정보로부터 어떻게 3차원 정보를 획득하는가가 흥미로운 관심거리였다. 컴퓨터 연산 속도의 비약적인 발전으로 이 분야의 연구 성과가 가상 시뮬레이션, 오락, 미디어, 표면검사 등에서 이용 되는 사례가 늘고 있다.

컴퓨터 비전을 이용한 3차원 정보 획득 방법은 크게 수동형 센싱법(passive sensing)과 능동형 센싱법(active sensing)으로 나눌 수 있다. 수동형 센싱법은 촬영된 영상만을 이용하는 방법으로 정밀도가 낮은 반면, 적용 대상 및 장소에 제한이 적다. 반면 능동형 센싱법에 의한 3

\* 학생회원, \*\* 정회원, 부산대학교 전자공학과  
(Dept. of Electronics Engineering, Pusan National University)  
접수일자: 2006년10월31일, 수정완료일: 2007년2월21일

차원 복원 방법은 물체에 구조화 조명기구(레이저, 빔 프로젝터)를 이용하여 일정한 패턴(pattern)을 조사하고, 이를 영상 장치로 획득하여 획득된 영상내에 패턴의 변형 정도로부터 표면의 굴곡 정보를 검출해 내는 방법으로 정밀도가 높다. Levoy<sup>[1]</sup>는 단일 레이저 라인(single stripe) 조사 방법을 이용하여 다비드 상을 정밀 복원하였다. 단일 레이저를 이용하는 방법은 패턴이 단순하고 식별성이 뛰어나 물체의 굴곡에 따른 패턴의 변형 정보 검출이 용이하여 강인한 3차원 복원 결과를 얻을 수 있지만 한번의 영상획득으로 레이저 라인이 투영된 좁은 영역의 3차원 정보획득 만이 가능하므로 시간이 많이 소요되는 단점을 가지고 있다. Hall-Holt<sup>[2,3]</sup>는 프로젝터를 광원으로 사용함으로써 한번에 넓은 영역에 패턴을 조사하고 3차원 정보를 획득하였다. 이러한 방법은 속도면에서는 뛰어나지만 조도 변화에 영향을 많이 받고, 패턴의 특징을 추출하고 구분하는데 어려움이 있다.

본 연구에서 구조화 조명 장치로써 멀티 레이저 라인을 사용하는데에는 크게 2가지 이유가 있다. 첫째는 레이저라는 광원(655nm)은 주변의 조도변화에도 상대적으로 우수한 식별성이 보장된다는 것이고, 둘째는 다수개의 레이저 라인을 사용함으로써 한번의 영상획득으로 보다 넓은 영역의 3차원 정보획득을 할 수 있다는 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장 1절에서는 라인 레이저를 이용한 3차원 정보 획득원리를 설명한다. 2절에서는 정밀도를 높이기 위한 효율적 레이저 라인 조사 방법을 설명하고 3절에서 강인한 레이저 라인 추출 기법에 관하여 설명한다. III장에서는 추출된 레이저 라인의 위치정보로부터 개별 획득 프레임에 대한 3차원 정보를 얻고, 개별 프레임 간 특징점 정합을 통해 얻은 동기화 정보를 이용하여 전체 복원 영상을 만드는 기법을 소개한다. IV장에서는 제안한 3차원 모델링 기법을 컨테이너 표면 검사에 활용한 결과를 보이고, 끝으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 레이저 라인 조사 및 추출 기법

### 1. 3차원 정보 획득 원리

라인 레이저 조사를 이용한 물체 표면의 3차원 모델링 원리는 그림 1과 같다. 라인 레이저를 물체의 표면에 조사하고, 이를 레이저와 각도를 달리한 CCD 카메라로 영상 획득하면 조사된 레이저 라인이 물체의 표면 굴곡에 따라 그림 1의 투영 패턴(Reflected pattern)과 같이 휘어지는 현상이 나타난다. 동일한 방법으로 물체

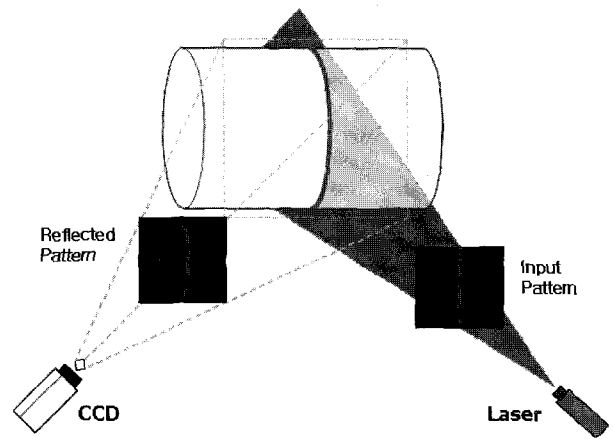


그림 1. 3차원 정보 획득 개념도

Fig. 1. A general idea of acquiring 3D inform.

표면의 홀(hole)이나 크랙(crack)을 관찰한다면 레이저 라인에 끊어짐 볼 수 있다. 이러한 현상을 이용하여, 영상에서 레이저 라인을 추출하고 이를 분석하면 표면의 3차원 정보의 획득이 가능하다.

본 연구는 CCD 카메라에서 1초당 30장의 프레임으로 획득된 각 영상을 2:1로 분할하여 사용하였다. 전체 영상의 2/3에 해당하는 앞 영역은 레이저 라인이 조사되지 않은 영역으로 개별 프레임 간 동기정보를 포함하고 있다. 그러므로 이 영역에서 특징점들을 찾아 각 프레임들을 연결하여 하나의 전체 영상으로 복원하기 위하여 사용된다. 나머지 영역은 레이저 라인 추출 및 깊이 정보를 획득하는 영역으로 활용하였다.

### 2. 효율적인 레이저 라인 조사 기법

복원하고자 하는 3차원 물체에 조사하는 레이저 라인의 구조적 배치 문제는 복원 정밀도를 결정하는 중요한 요소이다. 레이저 사이의 간격이 너무 조밀할 경우는 레이저 라인 퍼짐 현상으로 올바른 레이저 라인의 추출이 힘들어진다. 따라서 일정 간격 이상 떨어 뜨려 라인을 조사하게 된다. 정밀한 복원 결과를 얻기 위해서는 레이저 라인을 조밀하게 조사 하여야 하는데 이 문제는 연속 프레임에서 이저 프레임의 레이저 라인과 라인 사이를 다음 프레임의 레이저 라인이 메움으로써 해결된다. 하지만 이때 프레임 사이의 물체의 이동량이 레이저 라인 간 간격의 N배 일 때 레이저 라인 사이사이를 메우지 못하고 동일 위치에 겹치는 결과가 발생한다. 이러한 겹침(overlap)현상을 최소화하기 위해 그림 2(b)와 같은 형태의 라인 조사 방법을 제안한다. 2<sup>n</sup>간격으로 조사된 레이저 라인은 전, 후 프레임에서 1개 초과해서 라인이 겹치는 현상이 발생하지 않는다. 레이

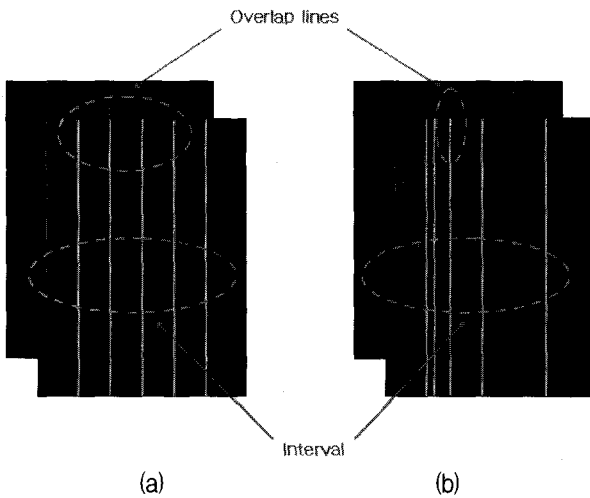


그림 2. 레이 라인조사 방법; (a) 등간격, (b) 2<sup>n</sup>간격  
 Fig. 2. Irradiation method of laser stripes.  
 (a) regular intervals, (b) 2<sup>n</sup> intervals

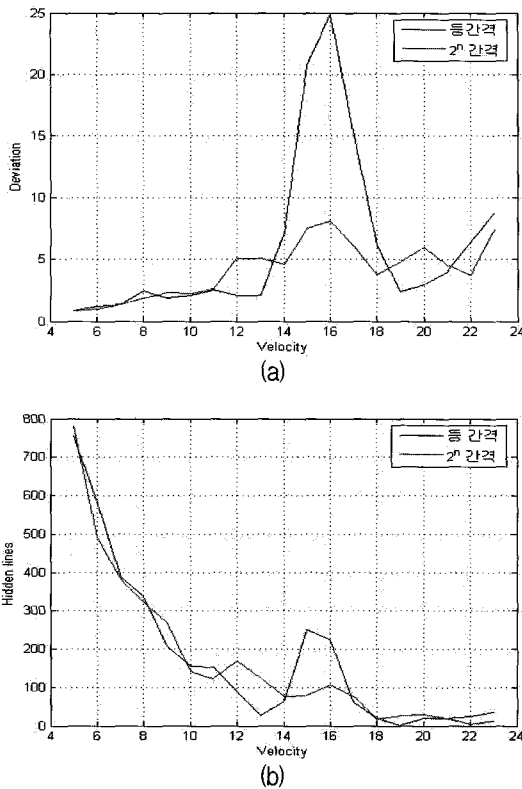


그림 3. 등간격 레이저 라인 조사와 2<sup>n</sup>간격 레이저 라인조사의 효율성 비교; (a) 물체의 평균 이동속도 변화에 따른 투영된 레이저 라인 간 간격의 분산의 변화, (b) 물체의 평균 이동속도 변화에 따른 겹치는 레이저 라인 수 변화  
 Fig. 3 Comparison of efficiency laser line irradiation (a) Comparison of deviation of interval between projected laser lines when the velocity of moving object varies, (b) Comparison of hidden laser line number when the velocity of moving object varies.

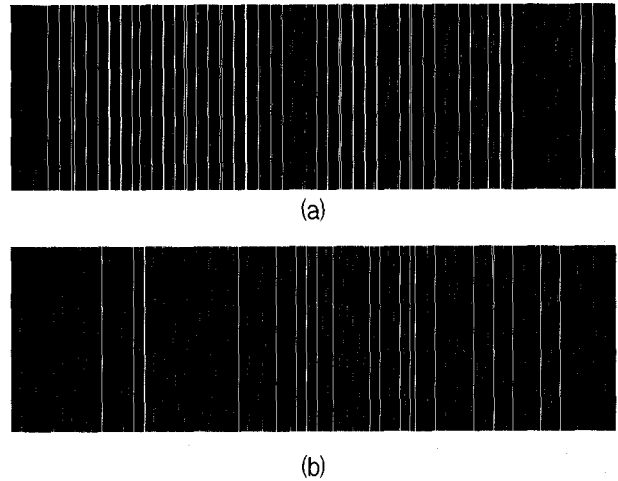


그림 4. 물체에 투영된 레이저 라인의 간격비교; (a) 등간격 조사, (b) 2<sup>n</sup>간격  
 Fig. 4. Compare intervals between projected laser lines on an object: (a) regular intervals, (b) 2<sup>n</sup> intervals.

저 라인 간 겹침(overlap)현상이 최소화되면 결과적으로 물체에 투영된 레이저 라인 간 간격을 조밀하게 할 수 있고, 이는 표면 깊이 정보의 샘플링(sampling) 횟수를 증가시켜 복원 결과의 정밀도를 높이는 역할을 한다. 이상적인 경우에는 조사된 모든 라인이 복원하고자 하는 물체 표면 위에서 일정한 간격을 가지면서 겹치지 않아야 한다. 따라서 라인 조사의 효율성을 비교하기 위해 복원 대상 물체의 속도 변화시켜 가면서 물체에 투영된 레이저 라인 간 간격의 변화를 살펴보았다. 투영된 레이저 라인 간 간격이 이상적인 레이저 라인 간 간격을 중심으로 분산이 적은 정규분포를 하고 있을 때를 우수한 레이저 라인 조사 방법으로 판단하였다.

그림 3(a)는 등간격 조사와 비등간격 조사에 방법으로 물체에 투영된 레이저 라인 간 간격의 분산값을 비교한 그래프이다. 등 간격 조사에서는 프레임 간 속도가 라인간 간격 15와 가까울 때 분산값이 커지고 그때 그림 3(b)와 같이 겹치는 라인이 많아서 비 효율적임을 알 수 있다. 실제로 분산이 프레임 간 평균 이동속도가 15 (pixle/fram)인 경우에 물체에 투영되는 라인 비교는 그림 4와 같다.

2. 제안하는 레이저 라인 추출 기법

레이저 라인 추출의 과정은 2단계로 구분된다. 1단계는 획득 영상으로부터 배경과 레이저 라인을 분리하여 이진화 하는 단계이고, 2단계는 분리된 이진영상에서 레이저 라인의 위치 정보를 손쉽게 얻을 수 있는 형태

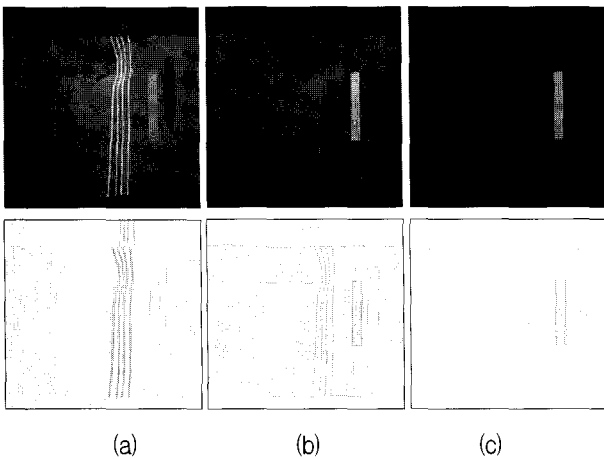


그림 5 에지 추출 영상; (a) Red 채널, (b) Green 채널, (c) Blue 채널  
 Fig. 5. Extracted edge images; (a) Red channel, (b) Green channel, (c) Blue channel.

로 전처리하는 단계이다. 배경으로부터 레이저 라인을 분리하기 위하여 레이저 파장(658nm)의 색상 특성을 이용한다.

$$R - (0.7 * B + 0.3 * G) > Threshold \quad (1)$$

식 (1)에서 R, G, B는 각각 영상의 화소(pixel)를 구성하는 레드(Red:R) 채널, 그린(Green:G) 채널, 블루(Blue:B) 채널을 의미한다. 라인 후보영역은 레이저 라인뿐만 아니라 레이저와 색상 특성이 유사한 붉은색 계열의 표면 색상을 포함할 수 있다. 따라서 보다 정확하게 레이저 라인을 추출하기 위하여 R, G, B 채널(channel)별 에지(edge) 검출 기법을 이용하였다. 일반적인 에지 검출 기법에서는 색상 및 밝기 변화가 발생하는 모든 경계를 검출하는 반면, 채널별 에지 검출 기법은 특정 색상(레이저 라인)의 변화에 따른 에지를 선택적으로 검출해낼 수 있는 이점을 가지고 있다. 그림 5는 채널별 에지 검출 영상을 나타낸다. R 채널에 의한 에지 반응이 다른 채널 보다 높을 경우만 레이저 라인에 의해 발생한 에지로 판단한다.

레이저 라인 후보 영역과 분리 채널 에지 검출 기법을 이용해 얻은 영역이 오버랩(overlap) 될 때 최종 레이저 라인으로 판단하고 배경과 레이저 라인으로 이진화한다. 후처리 단계에서는 결과영상에 포함된 노이즈 제거를 위해 미디언(median) 필터를 사용하였고, 레이저 라인의 위치정보를 쉽게 파악하기 위하여 1픽셀(pixel) 라인으로 세선화(thinning) 하였다.<sup>[5]</sup>

### III. Depth Modeling

#### 3.1 레이저 라인의 위치정보 획득 및 라인 라벨링

레이저 라인의 위치정보 획득은 그림 6(a)과 같은 방법으로 이루어진다.

레이저 라인과 배경으로 이진화 된 영상을 매 라인 스캔(scan)하면서 레이저 라인에 교차하는 x 좌표를 그림 3(b)와 같은 프로토콜(protocol)에 따라 1의 위치에 저장하고, 2의 위치에 실제로 검출된 라인임을 뜻하는 1을 기록한다. 끊어짐으로 인해 라인이 없을 경우 0이 기록된다. 결과는 그림 7에 나타내었다.

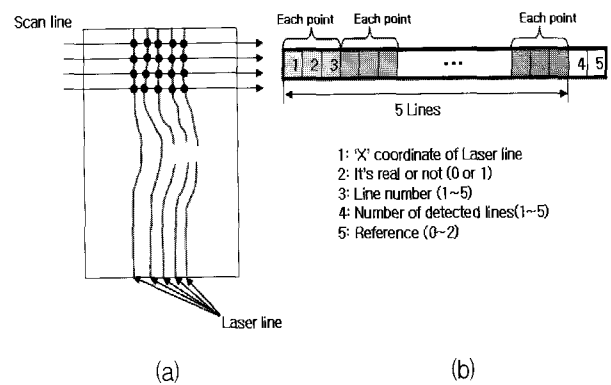


그림 6. 라인 위치정보 획득원리와 저장 프로토콜; (a) 라인 스캔 방법, (b) 라인정보 프로토콜

Fig. 6. Line location acquisition and line inform protocol; (a) Line scan method, (b) Line information protocol.

Each line		Each line		Each line		Each line		Each line		Each line		Each line					
16	1	0	44	1	0	72	1	0	100	1	0	130	1	0	0	0	Normal line
17	1	0	45	1	0	73	1	0	100	1	0	131	1	0	0	0	
17	1	0	45	1	0	75	1	0	128	1	0	0	0	0	0	0	
16	1	0	44	1	0	130	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Damaged line
16	1	0	44	1	0	75	1	0	130	1	0	0	0	0	0	0	
15	1	0	45	1	0	74	1	0	101	1	0	130	1	0	0	0	
16	1	0	44	1	0	73	1	0	100	1	0	128	1	0	0	0	

그림 7. 라인 스캔 정보  
 Fig. 7. Information of the line scan.

Each line		Each line		Each line		Each line		Each line		Each line		Each line		Each line			
16	1	1	44	1	2	72	1	1	100	1	4	130	1	5	5	1	Normal line
17	1	1	45	1	2	73	1	1	100	1	4	131	1	5	5	1	
17	1	0	45	1	0	75	0	0	128	1	0	0	0	0	4	0	
16	1	0	44	1	0	130	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	Damaged line
16	1	0	44	1	0	75	0	0	130	1	0	0	0	0	4	0	
15	1	1	45	1	2	74	1	1	101	1	4	130	1	5	5	1	
16	1	1	44	1	2	73	1	1	100	1	4	128	1	5	5	1	

그림 8. 레이저 라인 라벨링 과정 (step 1)  
 Fig. 8. Laser stripe labeling steps.(step 1).

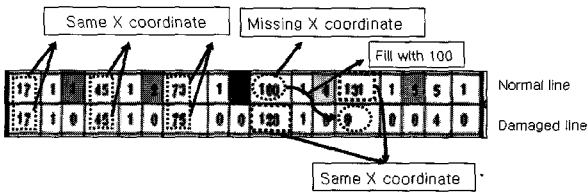


그림 9. 레퍼런스 라인과 손상된 라인의 비교  
 Fig. 9. Compare reference with damaged line.

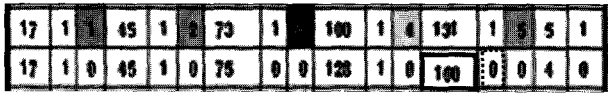


그림 10. 레퍼런스와 손상된 라인 비교 결과  
 Fig. 10. Result compared reference with damaged line.

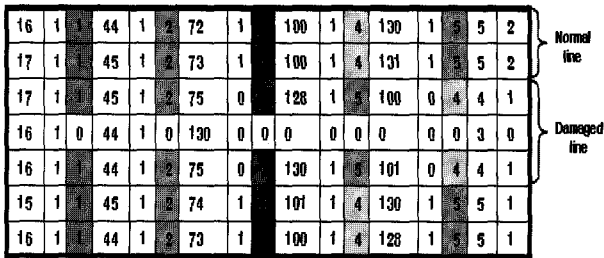


그림 11. 레이저 라인 라벨링 과정 (step 3)  
 Fig. 11. Laser line labeling steps.(step 3)

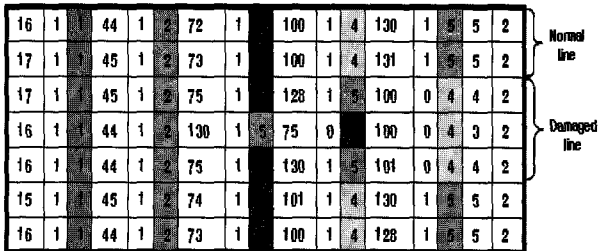


그림 12. 라벨링 결과  
 Fig. 12. Result of the labeling.

레이저 라인은 위치 정보 획득을 위하여 라벨링 (labeling) 되어야 한다. 여기서 라벨링이라 함은 영상에서 검출된 레이저 라인이 몇 번째 레이저 광원에서 출발한 것인지 넘버링(numbering)하는 것이다. 라벨링의 과정의 다음의 step 1~step 5의 과정을 따른다.

step 1. 레이저 라인의 위치정보가 기록된 그림 7에서 검출된 라인의 개수를 레이저 라인정보 프로토콜 (laser line inform protocol: LLIP) 4의 위치에 기록한다. 조사된 5개의 레이저 라인을 모두 찾은 경우는 레퍼런스(reference) 스캔 라인으로 활용하기 위해 LLIP 5의 위치에 1를 기록하고, 레이저 라인을 순서대로 넘버링한다. 결과는 그림 8에 나타내었다.

step 2. 레퍼런스 스캔라인과 인접한 스캔라인 중에 정상적으로 모든 레이저 라인을 찾지 못한 스캔라인이 있다면 인접한 레퍼런스 스캔 라인으로부터 빠진 레이저 라인의 위치정보를 받아와서 채워 넣는다. 예를 들면, 그림 9에서 정상 라인과 손상된 두 라인을 나타내었다.

여기서 정상라인이 레퍼런스 라인이 되고 손상라인은 레퍼런스 라인 정보들과 비교되어 진다. 정상라인의 17과 손상라인의 17, 정상라인 45와 손상라인 45, 정상라인 73과 손상라인 75, 정상라인 131과 손상라인 128 같은 x축 정보를 가지는 것으로 취급할 수 있다. 이때 손상된 라인에 100에 해당하는 레이저 라인 정보가 빠져있으므로 정상라인의 이 정보를 받아와서 채워 넣는다. 이때 채워 넣은 레이저 라인정보는 실제로 찾은 레이저 라인과의 구분을 위해 LLIP 2의 위치에 0으로 기록한다. 결과는 그림 10과 같이 나타난다.

step 3. 빠진 레이저 라인 정보를 채워 넣은 스캔라인은 x좌표의 위치정보가 작은데서 큰 순으로 넘버링을 실시한다. 기존의 레퍼런스 스캔라인은 레퍼런스 라인으로써의 기능을 다하였으므로 LLIP 5의 위치에 2로 변경 기록하고 새로 넘버링을 실시한 라인을 레퍼런스 라인 활용하기 위해 LLIP 5의 위치에 1로 기록한다. 결과는 그림 11와 같이 나타난다.

step 4. 모든 스캔라인의 LLIP 5가 2로 변경될 때까지 step2~step4 과정을 반복수행하면 그림 12과 같이 모든 레이저 라인의 라벨링이 완료된다.

### 3.2 개별 프레임 깊이 정보 결정

레이저 라인의 깊이 정보의 획득은 그림 13와 같은 방법으로 이루어진다. 레이저 광원과 레퍼런스 표면 (reference surface)에 이르는 거리를 D라 정의하였다. 라인 레이저가 어떠한 물체에 조사되었을 때 레이저 라인의 투사위치  $z_w$ 의 변화는 카메라로부터 획득된 영상에서 레이저 라인 검출 위치의 변이(disparity)로 나타난다.

그림 13에서 카메라 렌즈를 중심으로 마주보는 두개의 대칭 삼각형에서 식 (2)와 같은 관계를 얻을 수 있고, 라인 레이저의 투사각도  $\theta$ 에 따라 실 좌표  $x_w$ 와  $z_w$ 가 식 (3)의 관계를 이룬다. 식 (2), (3)으로부터 카메라에서 레이저가 조사된 물체에 이르는 거리  $z_w$ 가 식 (4)와 같이 결정된다.  $x_l, f, x_w, D, z_w, \theta$ 는 그림

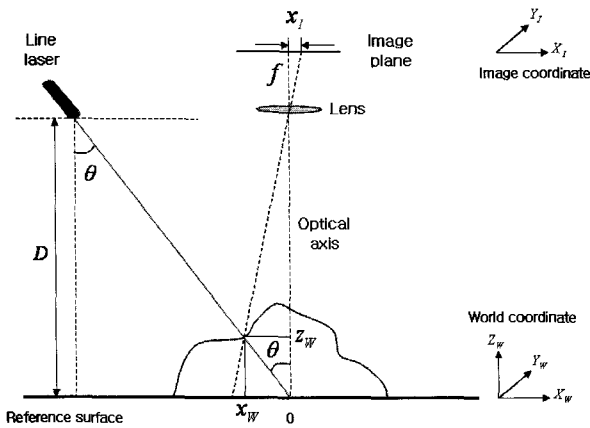


그림 13. 3차원 거리정보 획득

Fig. 13. Acquire distance information of the 3 dimension.

13에 표시되어 있다.

$$\frac{x_l}{f} = \frac{x_w}{D - z_w} \quad (2)$$

$$x_w = z_w \times \tan\theta \quad (3)$$

$$z_w = \frac{x_l \times D}{f \times \tan\theta + x_l} \quad (4)$$

각 레이저 라인 소스별로 카메라의 광축과 교차하는 거리  $D$ 를 실험을 통하여 결정하면, 라벨링된 각 레이저 라인의 깊이 정보를 획득할 수 있다.

### 3.3 개별 프레임의 동기화 정보를 이용한 영상 정합

본 연구에서는 비등속으로 이동하는 물체에 5개의 라인 레이저를 투사시켜 1초당 19개의 영상 프레임을 획득하였다. 등속 이동물체의 경우, 이동물체의 속도와 획득한 개별 영상의 획득 속도가 정의되어 있다면 개별 프레임을 하나의 전체 영상으로 연결하는 것이 용이하다. 비등속의 경우는 이와는 달라서 개별 영상간의 비선형적인 결합 정보를 얻기 위해 영상간 특징점 정합을 이용하여 동기화 정보를 획득하였다. 각 프레임의 영상에서의 특징점 추출은 SUSAN (Smallest Univalve Segment Assimilating Nucleus)<sup>[6]</sup> 알고리즘을 이용하였다. 여기서 특징점이라 함은 개별 프레임 영상에서 특징점으로 인식될 수 있는 표면 정보의 모서리(corner)를 의미 하는 것으로 SUSAN 알고리즘에서는 그림 14과같이 작은 마스크를 쉬프트 해 가면서 마스크의 중심(nucleus)과 마스크내의 주변 픽셀의 밝기값을 비교하여 일치 정도로부터 표면 정보의 모서리 반응 정도를

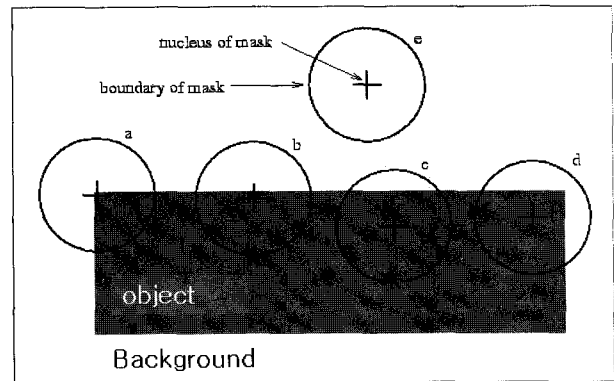


그림 14. SUSAN 특징점 추출 알고리즘 개념도

Fig. 14. The concept of SUSAN algorithm.

알아낸다.

그림 14를 보면 마스크의 중심과 주변의 밝기 유사도가 약 50%이면 물체의 에지에 해당하고 이보다 밝기 유사도가 작아질수록 모서리 반응이 높아진다고 판단할 수 있다. 개별 프레임에서 구한 특징점은 SSD(sum of squared differences)를 이용하여 최소 오차를 보이는 특징점 쌍을 대응쌍으로 결정한다. 대응쌍 중에는 잘못 대응된 쌍도 생길 수 있는데 이를 해결하기 위하여 RANSAC (random sample consensus)<sup>[7]</sup> 방법을 이용한다. RANSAC에서는 임의로 선택된 4개의 대응쌍으로부터 변환 관계를 나타내는 호모그래피(homography)<sup>[8]</sup> 행렬을 추정한다. 추정된 호모그래피 행렬을 이용하여 영상 변환을 실시하였을 때, 선택되지 않은 나머지 특징점들이 대응쌍에 얼마나 가깝게 맵핑(mapping)되는지를 통해 추정된 호모그래피 행렬의 적합성을 판단한다. 이 과정을 반복수행하여 최적의 호모그래피 행렬을 구해낸다. 구한 호모그래피 행렬의 변환 정보가 개별 프레임의 동기화 정보가 된다. 개별 프레임은 동기화 정보를 이용하여 결합되어 깊이정보를 포함하는 레이저 라인으로 된 전체 영상으로 표현된다.

### 3.3 깊이 정보의 표현

깊이 정보를 가지고 있는 개별 프레임의 레이저 라인들을 동기화 정보를 이용하여 전체 영상으로 결합한 영상을 그림 15에 나타내었다. 이 영상에서 라인과 라인 사이의 검은색 영역은 깊이 정보를 가지고 있지 않다. 라인과 라인사이의 검은색 영역의 깊이 정보는 두 이웃 라인의 깊이 정보를 선형보간 함으로써 획득할 수 있다. 이웃한 두 라인의 거리가 매우 짧기 때문에 이 구간의 깊이 정보 변화를 구간 선형(piecewise linear)으로 모델링 할 수 있었다.

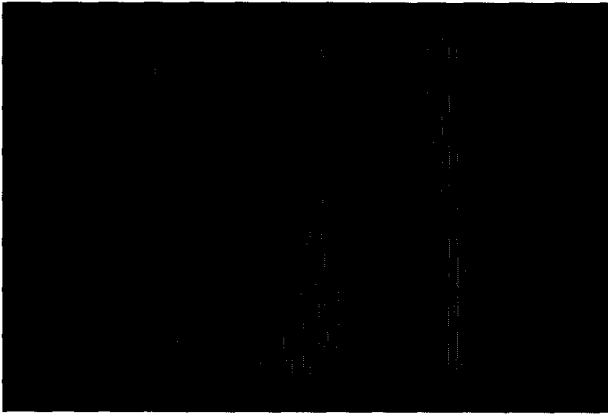


그림 15. 깊이 정보를 포함한 라인으로 표현된 전체 컨테이너 영상

Fig. 15. The whole container image expressed by depth lines.

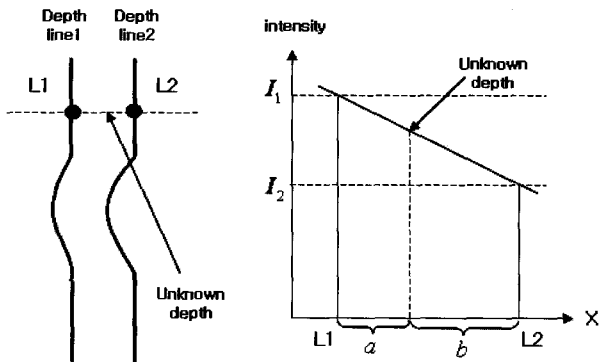


그림 16. 깊이 맵 생성을 위한 선형 보간법

Fig. 16. Linear interpolation method for depth map generation.

그림 13과 같이 레이저 라인의 깊이정보는 0~255 레벨의 밝기(intensity) 정보로 표현되고 이러한 밝기 정보를 이웃한 깊이 정보 라인까지의 거리의 비를 이용하여 선형 보간이 이루어진다.

식 (5)는 선형 보간을 이용하여 깊이정보를 결정하는 수식이다.

$$Unknown\ depth = (I_1 - I_2) \times \frac{b}{a + b} \quad (5)$$

여기서,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $a$ ,  $b$  에 관한 정보는 그림 16에 각각 표현되어있다.

#### IV. 실험 결과

##### 4.1 실험 환경

실험을 위한 시스템의 구성은 그림 17과 같다. 검사 기구부에는 5개의 라인 레이저와 CCD 카메라를 장착

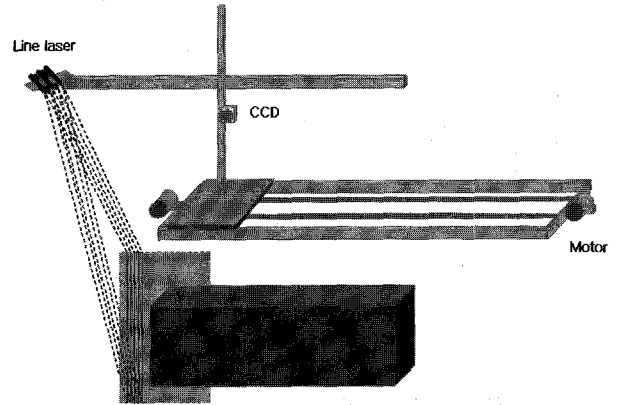


그림 17 컨테이너 표면 검사를 위한 시스템

Fig. 17. The system for container surface reconstruction.

하고 비등속(30 cm/s이하)으로 이동하면서 초당 19 frame/s의 속도로 영상을 획득한다. 획득영상의 사이즈는 640X480 이고, 레이저는 가시성이 뛰어난 658 nm의 파장을 사용하였다. Pentium 4, 3.0 GHz PC상에서 Visual C++를 이용하여 프로그램을 구현하였다.

##### 4.2 실험 결과

그림 18은 비등속 이동 컨테이너의 표면 3차원 최종 복원 영상이다. 총 30장의 시퀀스(sequence)영상이 사용되었고 복원하는데 45초가 소요되었다.

밝기 값이 높을수록 카메라로부터 가까운 지점을 의미하고 어두울수록 멀리 떨어져 있는 지점을 의미한다. 그림 18(a)에서는 복원된 컨테이너 표면의 리플(ripple)과 데미지가 잘 나타나고 있다. 그림 18(b)에서는 컨테이너 표면의 데미지 정보만을 나타낸 영상이다.

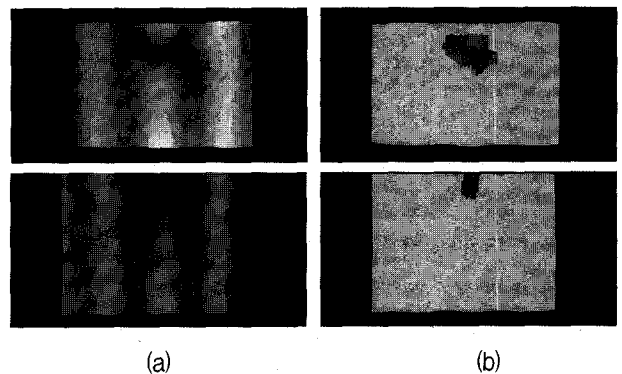


그림 18. 컨테이너 표면 검사 결과; (a) 표면 모델링 결과, (b) 데미지 검사 결과.

Fig. 18. The result of container surface inspection; (a) result of 3D surface modeling, (b) result of damage inspection.

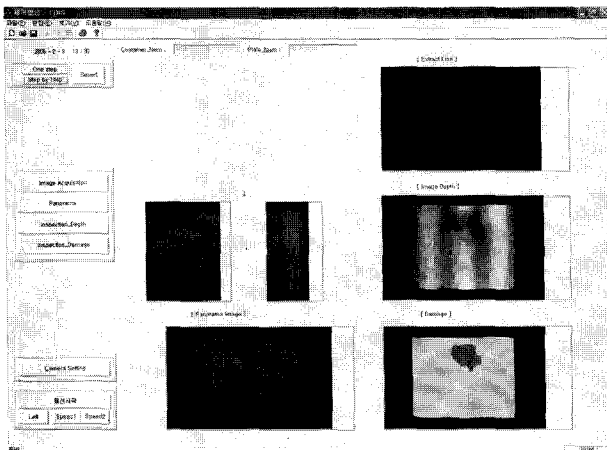


그림 19. 컨테이너 표면 데미지 검사 프로그램

Fig. 19. The program for container damage inspection program.

그림 19는 컨테이너 데미지 검사 프로그램을 캡처한 화면이다.

획득영상은 2:1로 레이저가 조사된 부분과 나머지 부분으로 나누어져 각각 프레임 간 동기화 정보 및 3차원 컨테이너 표면 모델링에 활용된다.

최종 복원된 3차원 컨테이너 표면 모델링 영상에서의 수직 방향 깊이 정보의 변화량으로부터 컨테이너의 깊이 2cm 이상의 구부러짐(dent)을 검출할 수 있었고, 수직 방향의 깊이 정보의 불연속, 단절의 정보로 직경 1cm 이상의 갈라짐(crack), 구멍(hole)등의 정보 검출이 가능하였다.

## V. 결 론

본 연구에서는 5개의 레이저 라인을 이용하여 비등속으로 이동하는 컨테이너의 표면을 감시하는 시스템 및 프로그램을 제안하였다. 일반적으로 레이저 라인의 추출은 주변 환경의 조도 및 대상물체의 색상 변화에 민감하여 복원 환경에 제약을 많이 받는다. 이에 본 논문에서는 주변 환경의 조도에 영향을 덜 받는 레이저 라인을 사용하였고, 또한 5개의 멀티 라인 레이저를 사용함으로써 복원 속도를 향상 시킬 수 있었다. 뿐만 아니라 제안한 레이저 라인 라벨링 방법을 이용하여 컨테이너 표면의 데미지 정보를 획득 할 수 있었다. 그리고 개별 프레임에서 복원된 3차원 복원 이미지를 영상의 특징점 정합 방법인 SUSAN 알고리즘을 이용하여 3차원의 전체 영상으로 정합하였다. 본 연구에서 제안한 방법을 이용하여 비등속으로 이동하는 물체의 3차원 표면 복원은 컨테이너의 표면에 대한 정보를 알아내는데 유용함을 알 수 있었다.

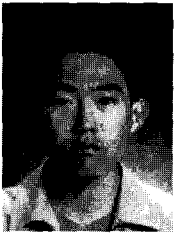
제안된 3차원 표면 모델링 방법이 실시간으로 활용되기 위해서는 검사시간이 단축되어야 한다. 이는 시간 소요가 다소 많은 영상 정합 부분에서 단축 할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 물체 표면의 리플과 데미지 별로 더 많은 실험이 실시되어야 할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Marc Levoy et al. "The Digital Michelangelo Project: 3D Scanning of Large Statues," *Proc. SIGGRAPH 2000*, pp. 131-144
- [2] Olaf Hall-Holt, Saymon Rusinkiewicz, "Stripe Boundary Codes for Real-Time Structured-Light Range Scanning of Moving Objects" Eighth International Conference on Computer Vision
- [3] S. Rusinkiewicz, O. Hall-Holt, and M. Levoy, "Real-Time 3D Model Acquisition" *Proc. SIGGRAPH*, pp. 438-446, 2002.
- [4] M. Sonka, V. Hlavac, and R. Boyle, "Image Processing, Analysis, and Machine Vision 2/E," Brooks/Cole, 1999.
- [5] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, "Digital Image Processing 2/E," Prentice Hall, 2002.
- [6] S. M. Smith and J. M. Brady, "SUSAN—a new approach to low level image processing," *Int. Journal of Computer Vision*, vol. 23, no. 1, pp. 45-78, May. 1997.
- [7] M. A. Fischler and R. C. Bolles, "Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography," in *Communications of the ACM*, vol. 24, no. 6, pp. 381-395, Jun. 1981.
- [8] K. Kanatani and N. Ohta, "Accuracy Bounds and Optimal Computation of Homography for Image Mosaicing Applications," *7th ICCV*, vol. 1, pp. 73-78, Sep. 1999.



저 자 소 개



이 영 열(학생회원)  
 2005년 부산대학교  
 전자공학과 학사 졸업.  
 2005년~현재 부산대학교 전자공  
 학과 석사과정 재학중.  
 <주관심분야 : 3차원 형상복원>



남 기 곤(정회원)  
 1977년 부산대학교  
 전자공학과 학사 졸업.  
 1981년 부산대학교  
 전자공학과 석사 졸업.  
 1989년 부산대학교  
 전자공학과 박사 졸업.  
 1990년 3월~현재 부산대학교 전자공학과 교수,  
 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신 연구소 연구원.  
 <주관심분야 : 영상처리, 패턴인식, 신호처리, 컴  
 퓨터 비전>



예 수 영(정회원)  
 1996년 동서대학교  
 전자공학과 학사 졸업.  
 1998년 부산대학교  
 전자공학과 석사 졸업.  
 2004년 부산대학교  
 의공학협동과정 박사졸업  
 2006년 10월~현재 부산대학교 의학전문대학원  
 BK21 고급의료인력양성 사업단 연구교수.  
 <주관심분야 : 신호처리, 영상처리, 패턴인식, 의  
 공학>