

볼트 검사를 위한 영상 자동 장치

오춘석*,이현민*,유영기*, 임종설*
*선문대학교 전자정보통신공학부
e-mail:csoh@sunmoon.ac.kr

An Automatic Imaging System for the Bolts Inspection

Choonsuk Oh*, Hyunmin Lee*,Youngki Ryu*, and Jong-Seul Lim*

*Dept. of Information and Communications, SunMoon University

요 약

본 논문은 자동으로 볼트를 검사할 수 있는 장치에 대한 시스템 설계 및 제품 개발에 관해 다룬다. 볼트를 연속적으로 검사하기 위해 컨베이어를 이용하고 이를 동작시키기 위한 서보모터와 엔코더를 부착하여 정확한 이송량을 유지하게 된다. 엔코더 신호를 수신한 라인스캔 카메라의 동작에 따라 프레임 그래버로 볼트 영상을 전송하며 한 프레임을 구성한 후 영상 검사 알고리즘에 의해 파라미터를 측정하고 검사하게 된다. 제작된 결과물을 이용하여 실험을 통해 본 장치의 효용성을 입증하고자 한다.

1. 서론

대량의 소형 부품들에 대해 신속하게 불량을 검사하여 검출하는 시스템 개발의 필요성이 증가하고 있다. 산업 현장에서 대량으로 사용되는 부품 하나의 결함으로 인해 시스템 전체의 품질에 막대한 영향을 미치게 되므로 사전에 이를 자동 검사하는 시스템이 절실히 요구되고 있다. 그동안은 소형부품의 전체 영상을 획득하여 검사하는 전역 카메라 시스템이 주종을 이루었다. 그러나 이런 검사시스템은 소형 부품의 각 부분에 대한 정확한 측정치를 산출하는데 어려움이 있다. 이를 극복하기 위해 라인 스캔 카메라를 사용하여 빠른 속도로 이동하는 볼트의 여러 가지 파라미터를 측정하고 양볼의 판정을 통해 신뢰있는 부품사용으로 시스템의 품질을 증진할 수 있다. ...

2. 시스템 구성

시스템은 크게 하드웨어와 소프트웨어로 이루어진다.

2.1 하드웨어

(1) 컨베이어

컨베이어는 생산 공정상에서 제조된 제품이 지나가

면서 비전 검사를 연속적으로 실시할 수 있게 해준다. 컨베이어는 이를 동작시키기 위한 서보 모터와 정확한 이송량 측정을 위한 엔코더가 부착되어 있다. 컨베이어는 시스템 개발을 위해 직접 설계, 제작하였다. 컨베이어 시스템에는 카메라와 조명이 직접 부착되어 있다.

(2) 라인 스캔 카메라

라인 스캔 카메라는 컨베이어 시스템에 가장 적합한 형태의 카메라이다. 연속적으로 이송되는 물체의 형상을 정확한 간격으로 획득할 수 있게 해준다. 본 시스템에서는 캐나다 소재 DALSA의 제품인 Spyder를 사용하였다. 제원은 아래와 같다.

Case size : 50mm*50mm*88mm, 300g

Resolution : 512 pixel

Cell size : 14um * 14um square

Data rate : 30MHz

Trans. type : LVDS

Feature : Exposure control과 Antiblooming

Max line rate : 58kHz

(3) 조명

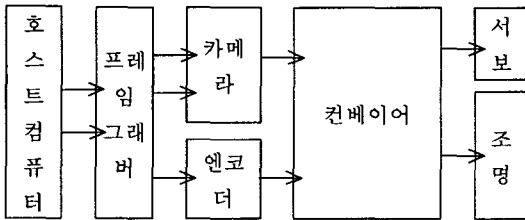
조명은 적색 LED를 일렬로 배열한 것과, 할로겐 조명을 사용하였다.

(4) 프레임 그래버

프레임 그래버는 카메라에서 획득된 영상을 호스트 컴퓨터 내의 적절한 메모리에 적재시키는 역할을 한다. 본 시스템에서는 Matrox사의 Meteor-2d를 사용하였다. 여기서 사용된 프레임 그래버는 디지털 입출력 및 인터페이스가 유연하게 설계되어 있으므로 사용하게 되었다.

(5) 호스트 컴퓨터

컨베이어 시스템에서의 비전 기술 적용은 실시간으로 끊임없는 계산을 해야하는 탓에 계산을 직접 수행하는 기기의 성능에 많은 영향을 받는다. 그래서, 본 시스템에서는 PC 중에서 비교적 계산 능력이 뛰어나다고 할 수 있는 기종을 사용하였으며, 이는 인텔사에서 나온 펜티엄 4 프로세서를 사용한다.



<그림 1> 시스템 구성도

2.2 소프트웨어

(1) 운영체제

호스트 컴퓨터의 운영체제는 프레임 그래버를 안정적으로 지원할 수 있어야 하는 까닭에, 프레임 그래버에 맞추어 선택하게 되었고, 이에 따라 Microsoft Window NT를 사용하게 되었다.

(2) 프로그래밍 언어

역시 프레임 그래버의 제조사가 지원하는 컴파일러를 사용해야 하는 이유로 Microsoft Visual C++을 사용하게 되었다.

(3) Mil-lite

프레임 그래버를 직접 조작할 수 있는 라이브러리가 프레임 그래버 제조사에서 제공된다. 이 라이브러리가 없으면 프레임 그래버를 원하는 바대로 사용할 수 없으므로 특별히 사용한다.

(4) 검사 프로그램

실제로 검사를 행하는 프로그램이다. 검사 알고리즘은 Visual C++로 구현되었으며, 카메라와의 인터페이스는 Mil-lite를 통한다.

3. 시스템의 동작

3.1 시스템 동작 사양

구성한 시스템은 아래와 같은 사양을 가진다.

- 피검사물체의 최대 높이 : 30mm
- 피검사물의 최소 높이 : 5mm
- 측정 오차 (가로) : 0.01~0.02mm
- 측정 오차 (세로) : 0.1mm
- 컨베이어 최대 속도 : 300mm/sec

엔코더 축 반지름 : 25mm

벨트 두께 : 1.5mm

엔코더 레졸루션 : 2000ppr

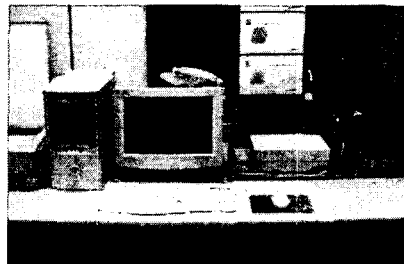
3.2 동작 설명

라인스캔 카메라는 라인 단위로 물체를 촬영하게 되어 있으므로, 촬영 간격이 얼마나 정확하느냐에 따라 측정된 물체의 정밀도가 결정된다. 그렇기 때문에, 주기적으로 라인을 촬영하는 것은 컨베이어 이송 시스템과는 맞지 않는다. 컨베이어 이송 시스템은 다분히 기계적인 부분이기 때문에 외부의 영향이나 기구 자체의 결점으로 인하여 정확한 이송이 불가능하다. 컨베이어 위를 지나가는 물체를 일정한 시간 간격으로 라인 단위 촬영을 하여 하나의 영상을 만들면 영상의 어떤 부분은 길게 늘어지고, 어떤 부분은 수축되는 현상을 쉽게 관찰 할 수 있다. 이를 극복하기 위해, 컨베이어의 축에 엔코더를 부착하여, 카메라의 트리거 신호로 사용한다.

일단 엔코더로부터 나오는 트리거 신호는 (거의) 정확한 공간 간격을 보장할 수 있으므로, 이 신호를 라인 스캔 개시 신호로 사용한다. 이렇게 했을 경우에 비교적 양호한 물체 영상을 얻을 수 있게 된다.

엔코더 신호를 통해 스캔된 라인은 전송 케이블을 통해 프레임 그래버로 전달되게 된다. 각 신호에 대해 실제로 스캔되는 라인은 하나이지만, 프레임 그래버에서는 가상 프레임의 개념을 도입하여 16개의 라인을 한 프레임으로 취급한다. 그리하여, 16라인이 모두 모이면 한 프레임이 완성되었음을 호스트 컴퓨터에 알리게 된다.

라인 스캔 카메라는 특별히 노출 시간 제어 메커니즘을 사용한다. 각 라인마다 동일한 시간만큼 노출시키지 않으면 획득된 영상의 질이 현저하게 떨어진다. 그렇기 때문에 프레임 그래버 내의 프로그래머블 타이머를 이용해 적당한 크기의 노출 시간을 정해준다.



<그림 2> 전체 시스템 모습

4. 이송 물체의 검사

4.1 검사 파라미터

물체의 길이, 물체의 높이, 물체의 면적, 물체의

둘레, 물체의 무게중심, 무게중심으로부터 물체의 길이 방향으로 가장 먼 지점, 무게중심으로부터 물체의 길이 방향으로 가장 가까운 지점, 무게중심으로부터 물체의 높이 방향으로 가장 먼 지점, 무게중심으로부터 물체의 높이 방향으로 가장 가까운 지점들을 측정하여 볼트의 적합성 여부를 판결하게 된다.

4.2 검사 알고리즘

- (1) 휴지 상태에서 프레임 영상이 완성되길 기다리다 완성되면 가져온다
- (2) 가져온 프레임이 물체 일부분의 영상인지 확인한다
- (3) 물체 영상의 일부분일 경우 버퍼에 영상을 저장하고 단계 1로 되돌아간다.
- (4) 물체 영상의 일부분이 아닐 경우 앞선 프레임이 물체 영상의 일부분이었던지 확인한다.
- (5) 앞선 프레임이 물체 영상의 일부분이 아니었다면 단계 1로 되돌아간다.
- (6) 앞선 프레임이 물체 영상의 일부분이었다면, 앞선 모든 물체 영상의 일부분인 프레임들과 현재 프레임을 합쳐서 하나의 영상을 만든다.
- (7) 만들어진 영상의 파라미터를 추출한다.
- (8) 파라미터를 분석하여 불량 유무를 판별한다.
- (9) 불량 유무에 따른 적절한 조치를 취한다.
- (10) 단계 (1)로 돌아간다.

4.3 엔코더 신호의 계산

시스템의 오차 한계를 결정하기 위해, 시스템의 각종 스펙을 이용할 수 있다.

- 엔코더 부차 축의 반경 : r mm
 - 컨베이어 벨트의 두께 : t mm
 - 엔코더 부차 축의 전체 반경 : $R=r+t$ mm
 - 엔코더 회전당 펄스 수 : p ppr
 - 컨베이어 이송 속도 : a mm/sec
 - 라인 레이트 : h Hz
 - 오차 한계 : x mm
- 엔코더가 1회전 하는데 가는 거리가 $2\pi \cdot R$ mm 이므로, 실제 1펄스 신호당 가는 거리는 $2\pi \cdot R/p$ 가 된다고 볼 수 있다. 주어진 오차 한계를 만족시키기 위해서는 샘플링 이론에 의해 2배의 주파수로 샘플링 해야 하므로 요구되는 샘플링 간격은 $x/2$ mm 가 된다.
- 샘플링 간격은 펄스 신호 하나 당 컨베이어 이송 거리이므로

$$\frac{x}{2} = \frac{2 \times \pi \times R}{p} \quad (1)$$

가 된다.

본 시스템에서는 엔코더 부차 축의 반경을 25mm,

컨베이어 벨트의 두께를 1.5mm, 회전당 펄스 수가 10000인 엔코더를 사용하였으므로, 위 식에 의해 구한 오차 한계는 0.1665mm가 된다.

라인 스캔 카메라는 대역폭의 제한으로 인하여 고유의 최대 라인 레이트를 가지게 된다. 현재의 시스템에 적절한 카메라가 사용되고 있는지 확인하기 위해 시스템의 라인 레이트가 카메라의 최대 라인 레이트를 넘지 않는지 확인해 보아야 한다. 라인 레이트의 정의에 의해,

$$h = \frac{a}{\frac{2 \times \pi \times R}{p}} = \frac{a \times p}{2 \times \pi \times R} \quad (2)$$

가 되므로 이 관계식에서 컨베이어의 최대 이송 속도를 300mm/sec 라 할 때, 직접 라인 레이트를 구해 보면,

$$h = \frac{a \times p}{2 \times \pi \times R} = \frac{300 \times 10000}{2 \times \pi \times 26.5} = 18kHz$$

시스템의 라인 레이트는 카메라의 최대 라인 레이트를 벗어나지 않는다.

4.4 카메라 캘리브레이션

시스템 설계 규격을 통해 각종 파라미터를 직접 계산해 낼 수는 있으나, 카메라의 왜곡 및 정확하지 않은 초점 거리, 엔코더 축의 반경의 부정확 등으로 인해 정확한 값을 계산해 낼 수는 없다.

이를 보정하기 위해 카메라 캘리브레이션을 실시한다. 이미 정확하게 길이와 높이를 알고있는 물체를 측정하여 현재 시스템에 대한 스케일 팩터를 구해서 측정된 값에 적용한다.

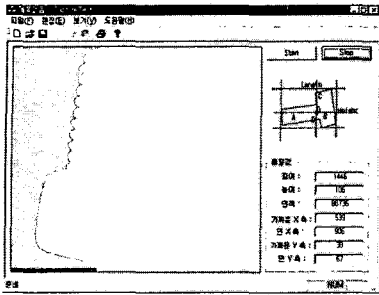
4.5 검사한 물체에 대한 처리

- (1) 양품의 경우 : 일단 양품으로 판명된 것은 컨베이어를 그냥 통과시킨다.
- (2) 불량인 경우 : 불량으로 판명된 것일 경우, 공압을 이용해 퇴출시킨다.
- (3) 알 수 없는 경우 : 물체가 거꾸로 들어왔다거나 하는 경우에 공압을 이용해 되돌린다.

5. 실험

설계한 시스템이 의도한대로 정확하게 동작하는지, 불량 검사를 제대로 수행할 수 있는지 여부를 판단하기 위해 나사를 측정하여 나사의 각종 파라미터가 얼마나 정밀하게 측정되는지 알아보았다.

같은 크기의 나사라면 측정하는 시기나 조건에 관계없이 항상 같은 파라미터를 가져야 한다는 데에 중점을 둔다.



<그림 3> 측정 테스트 프로그램

6. 결론 및 고찰

영상을 획득하기 위해 처음에는 LED 조명을 사용하였으나, 밝기가 너무 약한 탓에 카메라 렌즈의 조리개를 모두 열어야 했다. 따라서 획득된 영상이 흐려지는 현상이 발생하였다. 이러한 결점 때문에, 나중에 광섬유 가이드를 가지는 할로겐 조명을 사용하여 획득된 영상의 질에 많은 개선이 있었다. 컨베이어가 정밀하지 못하게 제작되었기 때문에, 측정에 많은 오차가 발생하였다. 컨베이어 벨트가 불규칙하게 미끄러지는 일이 발생하여, 물체의 길이에 많은 오차가 발생하였고, 컨베이어 축의 뒤틀림으로 인해 컨베이어가 튀는 현상이 발생해 물체의 높이에 오차가 발생하였다. 이는 더 정밀한 컨베이어 기구 요소를 사용함으로써 해결 가능하리라 본다.

현재 사용된 LED나 광섬유 가이드 할로겐 조명이 시스템에 적합하지 못하다는 것을 알 수 있었다. LED 조명의 경우 밝기가 너무 약하고, 각 LED가 너무 두드러져 균일한 조명을 만들기 불가능하였다. 할로겐 조명의 경우도 광섬유가 그대로 드러나는 결점이 있었다. 균일하고 밝은 조명을 만들기 위해서는 할로겐 소스에 석영관을 확산기로 하는 조명을 사용할 필요가 있다.

호스트 컴퓨터의 성능이 검사 속도 제한에 커다란 영향을 미친다. 컨베이어의 이송 속도가 빠를 경우에 물체를 구성하는 프레임의 일부가 잘리는 문제가 자주 발생하고, 각 라인별 노출 제어의 한계를 벗어나 노출이 의도한대로 되지 않아 검사에 사용하기에 부적절한 영상이 얻어지는 경우가 있다. 이에 따라 엔코더 분해능을 낮추고, 더 좋은 성능의 호스트 컴퓨터를 사용할 필요가 있다.



<그림 5> LED 조명을 사용한 영상



<그림 6> 할로겐 조명을 사용한 영상

측정회수	길이	높이	면적
1	1453	104	86745
2	1429	107	88747
3	1437	107	87719
4	1443	108	89811
5	1455	107	87750
6	1425	106	87275
7	1407	106	84958
8	1406	106	85716
9	1417	107	86110
10	1453	107	87418
11	1394	107	86608
12	1408	107	87861
13	1455	107	88501
14	1425	107	88148
15	1393	106	84747
16	1423	104	84307
17	1408	108	87541
18	1344	106	80853
19	1388	107	84790
20	1450	109	88612
21	1388	107	84331
22	1448	106	88852
23	1433	108	88741
24	1456	107	88040
25	1431	105	84995
26	1442	106	89530
27	1437	104	85712
28	1431	106	86633
29	1418	105	85738
30	1421	106	87120
31	1395	105	82606
32	1377	107	84599
33	1378	105	82145
34	1438	107	87132
35	1349	106	83833
36	1479	106	89045
37	1388	107	86436
38	1444	107	87703
39	1395	108	85577
40	1403	105	82909
41	1472	106	86894
42	1360	109	83722
43	1383	106	85521
44	1446	106	88736
평균	1418.978	106.4444	86390.87
표준편차	31.48845	1.159066	2086.429

<표 2> 측정 결과

참고문헌

[1]Young Kee Ryu, Choonsuk Oh, and Jong-Seul Lim, "Development of a noncontact optical sensor for a measuring the shape of a surface and thickness of transparent objects" Optical Engineering, Vol.40, No.4, pp.500-502, Apr. 2001.
 [2]Choonsuk Oh, Youngki Ryu, and Byungok Roh, "Video Tape Recorder Head inspection using image processing techniques", Optical Engineering, Vol.38, No.1, pp.124-130, Jan. 1999.
 [3]오춘석, 이현민, "타포린 원단의 합침 자동 검출 시스템 개발", 한국정보처리학회논문지 제7권 제6호, pp.1973-1979, 2000.
 [4]한주훈, 오춘석, 유영기, "고정밀 위치제어용 병렬 XYθ 테이블 설계 및 구현", 대한전자공학회 논문지 제 36권 제 6호, pp.62-70, 1999년 7월.
 [5]신동철, 오춘석, "X-Ray 검사 시스템에서 Image Intensifier의 왜곡 보정", 한국정보처리학회논문지, 제 5권, 제 4호, pp. 1044-1047, 1998년 4월.