

디지털 이미지프로세싱을 이용한 자동외관검사장치 개발

유봉환*, 김광래**, 사승윤***, 김영일****

System Development for Automatic Form Inspection by Digital Image Processing

Bong-Hwan Ryu, Kwang-Lae Kim, Seung-Yoon Sa, Young-Il Kim

Abstract

Basically, the idea underlying most edge-detection technique is the computation of a local derivative operator used for edge detection in gray level image. This concept can be easily illustrated with the aid of object which shows an image of a simple light on a dark background. Using the gray level profile along a horizontal scan line of the image, the first and second derivatives of it were acquired. This study is to develop an automatic measuring system based on the digital image processing which can be applied to the real time measurement of the characteristics of the ultra-thin thickness. The experimental results indicate that the developed automatic inspection can be applied in real situation.

keywords : Machine vision(머신 비전), Automatic thickness measurement(자동두께측정), Image processing(영상처리), Edge detection(에지 검출)

1. 서 론

전 세계적으로 생산체제가 소품종 대량 생산체제에서 다품종 소량 생산체제로 바뀌어감에 따라 조립라인에서도 조립과정과 검사과정을 자동으로 시행하기 위하여 조립용 로봇에 검사기능을 가진 기구성능 검사기의 필요

성이 요구되고 있다.^{1), 2)}

따라서, 조립과정중에 부품이나 제품의 양호 또는 불량률을 검사할 수 있을 뿐만 아니라 재가공품을 선별하는 능력 등을 능동적으로 대처할 수 있도록 생산라인의 유연성 및 효율성을 높일 수 있고, 생산현장에 대한 적응력, 생산성, 품질 등을 향상시킬 수 있으므로, 빠르고 명확한 결과를 얻을 수 있는 기구성을 가진 검사기기의

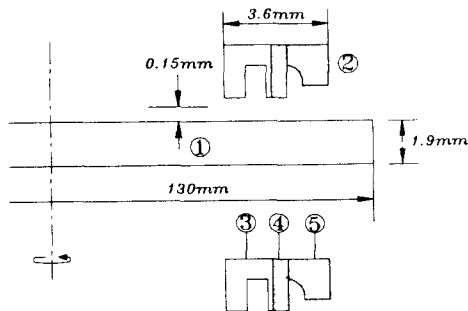
* 숭실대학교 기계공학과
** 인덕전문대학 기계과
*** 숭실대학교 대학원
**** 두원공업전문대학 기계과

개발은 매우 의미 있는 일이다.

현재의 산업현장에서 생산 자동화를 추진함에 있어서 핵심기술은 로봇트를 이용한 생산공정의 자동화이고, 이 중에서 가장 어려운 과제는 조립공정의 자동화라고 할 수 있다.

조립공정을 자동화하기 위해서는 로봇기술, 센서기술, 치공구기술, 컴퓨터기술, 통신기술, 부품공급장치 설계제작기술, 제품설계기술 및 공정관리기술 등이 서로 밀접하게 관련되어 있으므로, 이와 같은 제반기술을 총체적으로 결합시켜 자동조립라인을 구축할 필요성이 점차 높아지고 있다⁽³⁻⁶⁾. 따라서 이송라인, 분류작업 및 측정의 신속성을 조합한 단위기계자동화를 추구하고자 컴퓨터에 사용되고 있는 자기기록장치의 자기헤드인 취성의 반도체 부품을 대상으로 하였다. 그 구조는 Fig.1 과 같이 매체의 자성을 이용하여 데이터를 저장하는 장치로 자기헤드와 자기디스크로 구성되어 있으며, 특히 자기헤드는 영문자 E 형태인 세부분으로 나누어진 다른 재질을 본드로 접합시킨 후, 0.1mm의 두께로 절단하여 사용한다. 또한, 자기기록장치는 일반적으로 3600rpm으로 회전하는 지름130mm, 두께 1.9mm의 알루미늄 합금재의 자기디스크 위에 0.15mm이하의 간격으로 자기헤드가 설치되고 있다.

본 연구에서는 생산된 제품의 신속한 양·불량의 판별을 최단시간에 처리할 수 있는 시스템 설계 및 제작을 통한 품질 선별 능력 향상은 물론, 생산성 및 가동률을 향상시키기 위한 목적으로 비접촉 광학적기법을 이용한 자동 외관 검사장치를 개발하고자 한다.



- ① magnetic disk
- ② magnetic head
- ③ Ba TiO₃ material
- ④ MnZn material
- ⑤ MnZn material

Fig. 1 Magnetic head

2. 관련 이론

2.1 미분 연산자(Derivative operator)

경계선을 검출하기 위한 화상처리의 개념은 대역 천이 점에서의 위치를 부각하고, 반면에 불규칙한 밝기 분포를 가진 성분을 감쇄 혹은 제거하는 edge operator가 요구된다. 에지라인을 부각시키는 화상처리기법에는 많은 이론적인 연구와 실험적인 예⁽⁷⁻⁹⁾가 있지만 각기 이론의 장단점과 화상처리 대상에 따라 일률적으로 적용하는 것이 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 실험 대상인 반도체부품의 미소두께 측정의 특성을 고려하여 3×3 필터형을 배제하고, 가로축을 따라서 선형으로 미분하는 방식을 도입하고자 한다.

우선 가로축으로 배열된 화소의 일부분을, 기준점(X)에서 좌측 화소값과 우측 화소값의 차이의 절대치를 합산하고 취하는 주변 화소의 수인 컨버루션수로 나눈 평균값 NG(X) (new gray level)을 구한다.

$$NG(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N |G(x+i) - G(x-i)| \quad (1)$$

NG(X)는 상위 선이나 하위 선에 놓인 노이즈(noise)에 대하여 영향을 받지 않고, 단지 기준선 상에 놓인 노이즈에 대한 영향을 받으나, 컨버루션수를 크게 하여 그 영향을 줄일 수 있다. 반면에 서로 다른 그레이 레벨을 갖는 인접된 두 대역의 경계선에서 NG(X)를 크게 하는 효과가 있다. 더구나 컨버루션수가 클 수록 계산시간이 비례한다는 것을 고려해야 한다.

화면에 표시된 화상 데이터의 수치계산을 위하여 이미지 데이터의 좌측 상단 X = 0, Y = 0을 기준으로 정하고, X축으로 0에서 511까지, Y축으로 0에서 479의 화소 좌표를 설정한다. 좌표표시는 (X,Y)로 나타내며, G(X,Y)는 좌표(X,Y)에서의 밝기 값을 나타낸다. 그리고 세로 좌표의 크기가 480으로 표시되는 것은 image frame grabber 회로 특성으로 전원 주파수 60Hz에서 나타난다.

2.2 원통형 부품정렬장치

원통형 부품 정렬장치를 모델링하면 Fig.2와 같이 나타낼 수 있다. Fig.2(a)에 나타난 것처럼 이송물체는 반경 r 인 원통내벽에 설치된 나선형 트랙 위를 미끄러진다. 이때 원통의 상하방향을 Z방향, Z축에 대한 회전 각 변위를 φ라 하면, 원통은 다음과 같은 운동을 한다.

$$Z = Z_0 \sin(\omega t + \delta) \quad (2)$$

$$\phi = \phi_0 \sin \omega t \quad (3)$$

Fig.2(b)와 같이 원통형의 나선형트랙을 펼친 경사각 θ 인 경사면을 생각하자. 경사면의 빗면 방향을 X 방향, 빗면에 수직인 방향을 Z 방향, X , Z 양축에 직각인 방향을 Y 라하면, 보울의 운동은 다음과 같다.

$$X = a \sin(\omega t + \delta_1) \quad (4)$$

$$Y = 0 \quad (5)$$

$$Z = c \sin(\omega t + \delta_2) \quad (6)$$

한편, 질량 m 인 이송물체의 운동의 X , Y , Z 방향 성분을 x , y , z 로 표현하면, 상대적인 미끄러짐이 있을 때의 물체의 운동방정식은 다음 식으로 표현된다.

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -mg \sin \theta + F_y + F_z \quad (7)$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -mr \left(\frac{d\phi}{dt} \right)^2 + P_z \quad (8)$$

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = -mg \cos \theta + P_y \quad (9)$$

여기서, P_y, F_y 는 보울의 벽면에서 가해지는 수직반력과 마찰력이고, P_z, F_z 는 각각 트랙 면에서 가해지는 수직반력과 마찰력이다. 또한 $\frac{d\phi}{dt}$ 는 이송물체의 Z 축에 대한 회전각속도를 표현하기 때문에 x , z 를 이용하여 쓰면 다음과 같다.

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{\cos \theta}{r} \left(\frac{dx}{dt} - \frac{dz}{dt} \tan \theta \right) \quad (10)$$

또한 벽면 및 트랙 면과 물체와의 사이의 마찰계수를 μ 라하면 다음의 관계가 성립된다.

$$\begin{aligned} F_y &= \pm \mu P_y \\ F_z &= \mp \mu P_z \end{aligned} \quad (11)$$

여기서, $\frac{dx}{dt} > \frac{dX}{dt}$ 일 때는 위쪽 부호를, $\frac{dx}{dt} < \frac{dX}{dt}$ 일 때는 아래쪽 부호를 선택한다. 여기서, 다시 말해 F_y 와 F_z 의 부호가 반대로 되는 것은 y 축 방향이 보울의 중심으로 부터 벽면을 향하여 +로 놓이기 때문이다.

그러나 이송물체는 앞서 설명된 것처럼 보울의 벽면을 따라 이송하기 때문에 $y = r = \text{const}$ 인 관계가 있고, 이것을 식(8)에 대입하면

$$P_z = -\frac{m \cos^2 \theta}{r} \left(\frac{dx}{dt} - \frac{dz}{dt} \tan \theta \right)^2 \quad (12)$$

을 얻는다. 또한 물체는 트랙면 위로 튀어 오르지 않는다는 조건으로부터 $z = Z$ 을 식(9)에 대입하여

$$P_y = m \{ g \cos \theta - c \omega^2 \sin(\omega t + \delta_2) \} \quad (13)$$

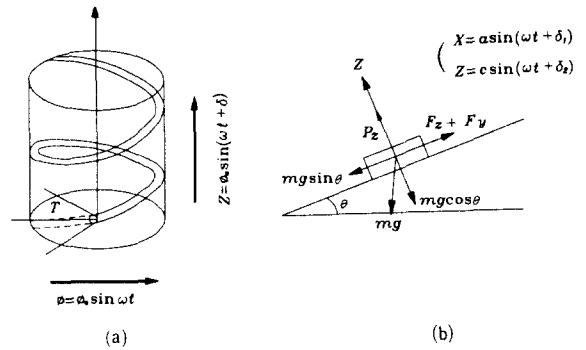


Fig. 2 Model of bowl feeder

을 얻는다. 이러한 (11)(12)(13)의 관계식을 식(7)에 대입하면 x 방향의 운동방정식으로서 다음식을 얻을 수 있다

$$\begin{aligned} \frac{d^2 x}{dt^2} &= -g \sin \theta + \mu [g \cos \theta - c \omega^2 \sin(\omega t + \delta_2) \\ &+ \frac{\cos^2 \theta}{r} \left\{ \frac{dx}{dt} - c \omega \tan \theta \cos(\omega t + \delta_2) \right\}^2] \end{aligned} \quad (14)$$

따라서, 식(14)의 운동방정식으로부터 $r \rightarrow \infty$ 인 경우는 직선방향이송을 나타내고, 이것은 직선형인 경우의 식(7)과 일치한다.

3. 자동이송 및 검사장치 설계·제작

3.1 시스템설계 및 제작

본 연구의 감시대상물인 하드디스크 헤드용 리드-라이트 칩의 초정밀 반도체부품인 판 두께가 0.1mm로 아주 얇고 거친 다듬질 면으로 되어 있다. 따라서 외주면이 더욱 얇아져 워크와 워크가 밀면서 이송할 때 겹쳐 버리는 부품이기 때문에 자동이송 및 선별 대상품으로는

대단히 어려운 워크이다.

자기 기억장치를 모델링하여 생각해 보면 Fig. 3과 같이 자기헤드의 길이는 약 3.2mm이지만, 점보제트기(최신 보잉 747-200)의 길이 70m까지 확대 해석해보면, 0.15 μ m라고 하는 간격은 실로 높이 3.3mm의 지상에 닿을 듯 말듯 점보제트기가 날고 있는 것과 같다. 그리고 자기 디스크의 표면 거칠기는 최대높이 Rmax 0.007 μ m이하로 가공되지만, 디스크를 부동헤드와 점보기의 비율로 확대해보면 실로 지름 1,820m의 넓은 원내의 지표를 최대의 요철이 0.1mm이하로 되도록 하는 엄청난 정밀도이다. 따라서 이러한 부품을 측정하여 양·부의 선별을 자동으로 하기 위하여 다음과 같이 측정장치를 설계·제작하였다.

먼저 부품 자동 공급장치는 일반적으로 무질서하게 놓여있는 부품을 규칙적으로 공급해 주는 장치이다. 진동 보울 피더는 기초 보울, 전자석 그리고 120° 간격으로 설치된 3개의 판 스프링으로 구성되어 있고, 보울에는 공급될 부품이 담겨져 있다. 이 부품은 보울 내부에 나선형으로 가공된 트랙을 따라서 위로 올라오면서 정렬이 되어지고 마침내 출구로 빠져나오게 된다. 부품이 트랙을 따라 이동될 수 있는 이유는 3개의 판 스프링과 전자석의 상호작용으로 이루어지게 되고, 작업기계가 작업을 할 수 있게 하기 위해서는 작업될 부품들을 규칙적으로 정돈하여 항상 일정한 방향으로 작업대에 공급되어야 한다. 부품 자동 공급장치에서 부품의 자세 정렬기능은 매우 중요한 부분이며, 실제 응용에서 많은 예리가 발생하는 부분이다. 이와 같이 부품의 형상에 따라 트랙이 다르게 설계되어야 하므로 한 개의 보울 피더로서는 한가지 부품만 공급 가능하다.

부품 공급장치로부터 나온 부품은 직선피드를 따라 CCD카메라에 설치한 마이크로소프트 렌즈 앞으로 이동하게 된다. 이동하는 부품은 직선피더의 첫번째 센서에 의해 일시 정지되어 있다가 앞서 진행된 부품의 양·부검사가 완료되고, 두번째 센서에 의해 재확인함과 동시에 microstorage에 안착하게 된다. 이때 검사대상 부품은 조명장치로부터 균일한 조명을 받고 현미경에 의해 확대된다.

이 확대된 영상을 CCD카메라의 촬상소자면에 투사시켜 CCD Drv.를 통해 프레임 그래버에 저장된다. 이 저장된 이미지는 각종 노이즈 제거처리와 이진화영상 처

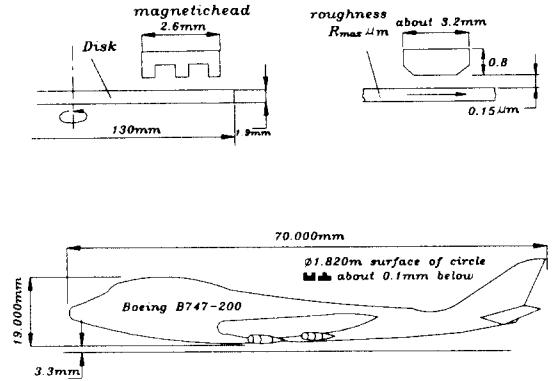


Fig. 3 Comparison of the magnetic head and jumbojet

리, 에지 처리 등을 통해 최종적으로 화소수를 보정된 값으로 변환시켜 우리가 알고자 하는 값으로 표현해 준다.

3.2 영상처리 프로그램

직선피더를 따라서 CCD카메라 앞에 놓인 부품은 한 프레임의 영상으로 받아지게 되는데, 이때 영상입력은 프레임 그래버에서 비디오신호의 동기를 일치시키기 위해 우선 입력 비디오신호의 횡방향 동기신호를 감지하도록 설정하였다. 또 프레임 그래버에서 비디오영상을 디지털영상으로 전환한 후, 자체 프레임 그래버에 일시 저장하여 RAM Memory로 복사한 후 입력영상을 대기토록 하였다. 입력모드는 입력 실행 전에 Look-up table을 조정하도록 설정하였으며 연속된 비디오신호를 일정한 간격으로 여러 장의 영상을 입력, 저장하기 위하여 다중입력이 가능케 하였다. 이때 RAM 메모리를 일시 영상 기억장소로 활용하였으며, 8M RAM이 설치되어 최대 28장의 영상을 입력 저장할 수 있다. 본 연구에서 개발한 영상획득 알고리즘과 양·부 및 재작업의 판정 프로그램은 입력영상으로부터 라인 히스토그램을 조사하여 노이즈 제거를 위해 평균필터를 이용하여 노이즈의 영향을 감소시킨다. 그리고 2.1절에서 언급한 미분연산자를 이용하여 1차·2차 미분을 구한다. 미분영상으로부터 라인 히스토그램을 조사하여 에지를 검출하게 된다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 영상 처리 결과

영상의 그레이레벨 분포를 알기 위해서는 히스토그램을 조사하는 것은 필수적이다. 또한 이는 경계선검출, 영상강조 등 여러 가지 영상처리의 중요한 지표가 되므로 입력영상에 대한 히스토그램을 작성하여 영상상태를 분석한다.

Fig.4는 영상처리에 사용할 원영상을 나타낸 것이며, 영상의 좌측에서 우측으로의 라인 프로파일은 x축을 영상의 가로방향에 위치하고 그 위치에서의 광 강도의 분포를 조사하여 강도 값의 변화를 관찰하므로써 경계선을 손쉽게 검출할 수 있다.

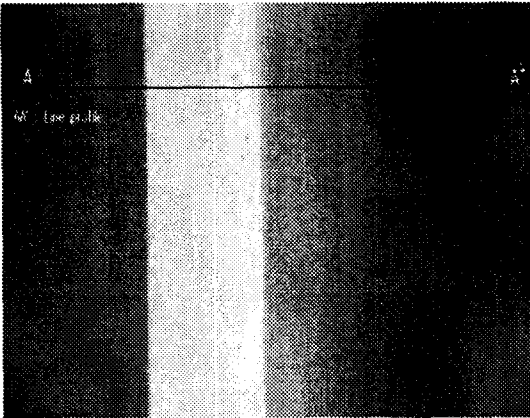


Fig. 4 The original image used in the image processing

원영상으로 부터 입력상태가 양호하지 못한 경우에는, 영상상태를 개선하기 위해 여러 방법들이 사용되고 있다. 즉 gray scale modification, lowpass filtering, highpass filtering, out-range pixel smoothing, adaptive filtering 등의 기법이다. Fig.4의 원영상으로부터 잡음을 제거하고, 그레이레벨 값이 한쪽으로 치우친 경우 이를 보완하여 그레이레벨 값이 전 영역에 걸쳐 고루 분포시켜 영상이 뚜렷하게 나타나도록 한다.

본 연구에서는 영상의 대조도를 높여 주기 위해 근방

관계 평균을 이용한 평활화기법을 채택하였다. 그리고 개선된 영상에 대하여 가로축을 따라서 선형으로 미분하는 방식을 채택하여 1차 미분 및 2차 미분을 통해 에지를 검출할 수 있었다. 측정 후의 결과영상에 대한 각종 정보를 원화상위에 나타내면 Fig.5와 같이 즉, 측정 화소수, 측정값, 샘플명, 시료배율, 총합배율, 분해능, 사용카메라 종류, 측정속도 등을 분석할 수 있다.

4.2 경제성 평가

하나의 생산품을 자동화한 경우 기술적으로 가능한 자동화방법은 매우 많을 수 있다. 즉 로봇에 의한 유연한 자동화와 본 연구에서 채택한 공압 액츄에이터에 의한 전용자동화로 크게 분류될 수 있다. 각각의 경우 공장여건, 대상물의 특성에 따라 다양한 시스템 레이아웃이 설계될 수 있다. 이와 같은 상황에서 가장 경제적인 것을 정확히 평가하는 것이 매우 중요하다.

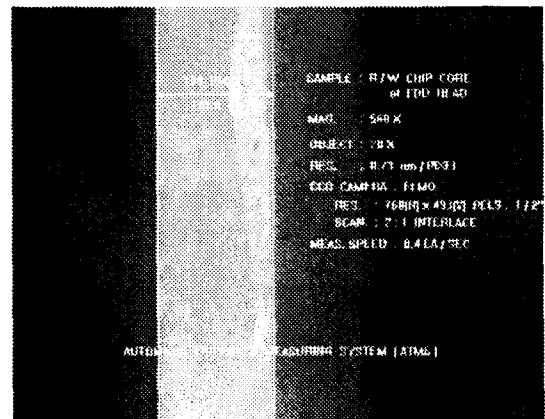


Fig. 5 The representation of the experimental result

본 연구에서 개발한 자동 외관 검사 시스템의 적용실험을 위해 수작업에 의한 기존의 두께측정기(SIP 305M)와 비교분석한 결과를 살펴보면 표준편차(2σ) ± 0.5 로 상당히 근접함을 보여주고 있다. 이는 기존의 정밀 두께 측정기의 신뢰도와 잘 일치하므로 본 측정시스템의 정밀도 및 정확도가 믿을 수 있다는 것을 입증해 준다.

이 측정결과를 시료별로 나누어보면 샘플 50, 100, 150, 200, 250 μm 에서 각각 잘 일치함을 알 수 있다.

측정시스템의 생산성을 평가하기 위해 총 샘플링 수 4232개를 무작위로 추출하고 요구사양(Spec. $98 \pm 10 \mu\text{m}$)에 맞는 검사를 실시해본 결과, 양품이 3453개로 전체의 81.6%를 차지하고, 불량품은 427개로 전체의 10.1%, 재작업량은 352개로 8.3%를 차지했다. 종전의 수작업에서는 재작업량 선별이 불가능하였으나, 자동 선별 시스템에서는 불량품 손실로 빠지는 부분을 재작업으로 분류하므로 생산원가 절감효과를 8.3% 증대시킬 수 있었다.

또한 4232개의 샘플을 수작업으로 검사하는데 걸리는 시간은 초당 약 0.1개정도로 11시간 45분이 소요되는데 비해 자동선별시스템의 선별능력은 초당 0.4개로 총소요시간 2시간56분에 자동 측정 및 양·부, 재작업선별이 가능하므로 4배의 절감효과를 나타내고 있다.

5. 결 론

본 논문은 취성이 강한 초정밀 자기 헤드를 대상으로 한 자동 외관검사 시스템 개발에 관한 연구로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 취성이 강한 미소 반도체 부품의 자동 이송 및 검사 시스템을 구축하였다.
2. 단순 반복 작업으로 수행하던 생산방식을 탈피하고, 자동으로 검사함으로써 검사시간을 단축하고, 생산성을 향상시킬 수 있었다.
3. 재작업을 지시할 수 있으므로 원자재 손실을 줄일 수 있고 원가절감 효과를 거둘 수 있었다.
4. 수작업으로 인한 측정위치 불안정을 개선하므로 제품의 안정성을 확보할 수 있었다.

후 기

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 수행되었으며, 관계자 여러분께 깊은 감사드립니다.

참고문헌

1. Tlustý, J., *Testing of Accuracy of Machine Tools*, UCRL-52960-suppl.1, McMaster University, Canada, 1980
2. Frost-Smith, E. H. et al., *Optimization of the Machining Process and Overall System Concepts*, Proc. MTIRA Conference on A. C. of Machine Tools
3. Groover, M. P., Zimmers, E. W., Jr., *CAD/CAM, Computer-Aid Design and Manufacturing*, Prentice-Hall, 1984
4. Smith, W., *Modern Optical Engineering*, McGraw-Hill, 1966
5. Ostrovsky, Y. I., *Interferometry by Holography*, Springer-Verlag, Berlin, 1980
6. Hosaka, S., Hasegawa, T., Hosoki, S. and Takata, K., "Dynamic Observation of Si(III) Surface using a Fast Scanning Tunneling Microscopy", *Appl. Phys. Lett* 57(2), pp.138~140, 1980
7. Gonzalez, R. C. and Wintz, P., *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 1987
8. Ballard, D. H. and Brown, C. M., *Computer Vision*, Prentice-Hall, 1982
9. Chow, C. K. and Kaneko, T., "Automatic Boundary Detection of the Left Ventri deform Cineangiograms", *Comp & Biomed. Res.*, Vol. 5, pp.388~410, 1972