한국정밀공학회지 제 24 권 제 4 호 (2007 년 4 월)
Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 24, No.4, April 2007

◆특집◆ **Display** 제조 공정에 적용된 **Machine Vision** 사례

디스플레이용 유리의 기포 검사를 위한 알고리즘 개발

오춘석*, 유영기*, 신승중**, 유현중***, 전병욱****

An Algorithm Development for Detecting Blister Defects of Display Glasses

Choonsuk Oh*, YoungKee Ryu*, Seung-jung Shin **,
Hyeon-Joong Yoo***, Byung Uk Jun****

Key Words : Glass (디스플레이유리), Blister (기포), Defects Detection (결함검출), Automatic Inspection (자동검사)

1. 연구배경

평판 유리의 검사 시스템은 유리의 크기가 나날이 커지면서 질적 요구에 의해 꼭 필요한 시스템이 되었다. 이러한 요구에 대한 해결책은 평판 유리 생산 공정을 거쳐 나온 후 100% 자동화된 표면 검사를 하는 것이다.

최근, TFT-LCD (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display) 디바이스는 FPD (Flat Panel Display)에 대한 주요한 기술이 되었다. FPD 시장이 점점 더 경쟁적이 되면서, 디스플레이의 질은 생산업체의 중요한 문제가 되었다. 디스플레이의 질을 조절하는 가장 중요한 점은 LCD 패널에서 공정상 가끔씩 발생하는 결함을 검사하는 것이다. 현재 패널 검사공정은 다른 어느 공정보다 작업자에 의존하는 공정이라 할 수 있다. 제품의 양불 판별의 대부분이 검사자의 경험과 목시에 의존한 육안판별에 의해 이루어지고 있기 때문이다. 이러한 특성으로 인하여 검사공정은 표준화 및 정량화가 힘들고,검사자의 경험과 상태에 따라 측정의 일관성을 이루기 힘들어 검사 결과의 양불 판정기준에 차이가 있을 수 있다.

현재 많은 유리 생산업체들은 공정상에서 두께나 결함을 다양한 방법으로 측정하고 있다. 광학적 측정 방법이 실시간 작동성과 구현성이 우수하여 광범위하게 사용 되고 있다.

2. 영상 획득과 전처리

유리판넬 내의 기포(Blister) 불량의 형상을 측정하는데 있어서, 불량의 크기는 미세하고, 고분해능의 측정 정밀도를 원하기 때문에 만일 640×480의 CCD 이미지 센서로 6.4 ㎜×4.8 ㎜의 영역을 측정한다면, 한 Pixel 당 10 ㎛에 해당하며, 이때 심도는 실험적으로 약 3 ㎜이하로 나타난다.

대부분의 Panel 두께가 8 ㎜이상인 상태에서 3 ㎜이하의 심도를 갖는 광학계로 불량을 측정하기 위해서는 Panel 의 임의 위치에 존재할 기포의 현상을 측정하기 위하여 광학계의 높이를 바꾸어가며 Fig. 1 처럼 여러 장의 영상을 측정한다.

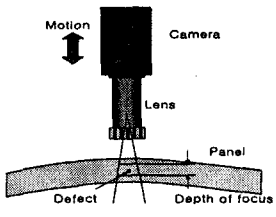

Fig. 1 Proposed image acquisition system

* 선문대학교 정보통신공학부
** 한세대학교 IT 학부
*** 상명대학교 정보통공학부
**** 수원대학교 정보통신공학부
Tel 041-530-2353, Fax.041-530-2910
E-mail csoh@sunmoon.ac.kr
화상처리, 자동검사, 머신비전, 정밀계측과 광학시스템 분야에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다

Fig. 2 는 기포가 유리 판넬의 내부에 존재하는 경우 깊이에 따라 렌즈의 초점거리를 바꾸어가면서 여러 장의 이미지를 획득한 예이다.

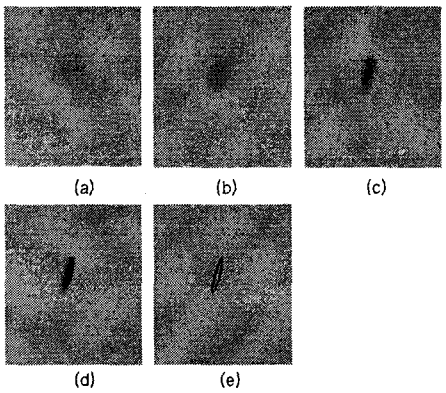

Fig. 2 A series of defect images captured by different focusing

어떤 불량의 형상이 뚜렷이 보이는 화상(초점이 맞은 화상)과 그렇지 않은 화상 사이에 큰 밝기 차이가 나타날 것이다. 이러한 현상을 이용하여 불량의 유무 및 위치를 판단하고 알고리즘의 속도를 고려하여 새로운 화상을 아래 (식 1)과 같이 연산하여 다음과 같이 재구성할 수 있다.

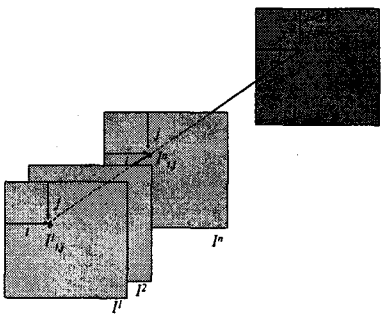

Fig. 3 Reconstruction from a series of images

$$F_{i,j} = \sum_{0}^{k-n} \left| I_{i,j}^{k} - I_{i,j}^{k+1} \right| \qquad (1)$$

여기서, 아래첨자 i,j 는 픽셀 위치, 윗첨자 k 는 화상 번호, I 는 입력화상 그리고 F 는 다수의 영상에서 계산된 새로운 영상의 밝기값을 표현한다.

(식 1)에서 보이는 바와 같이 연속된 화상 사이에서 변하는 밝기차이의 절대값의 합을 새로운 영상으로 재구성하는 경우, 불량이 존재하는 경우는 밝은 화상이, 불량이 없는 배경 부분은 어둡게 나타날 것이다. 아래의 Fig. 4(a)는 재구성된 영상 F 를 보여주는 한가지 예이다.

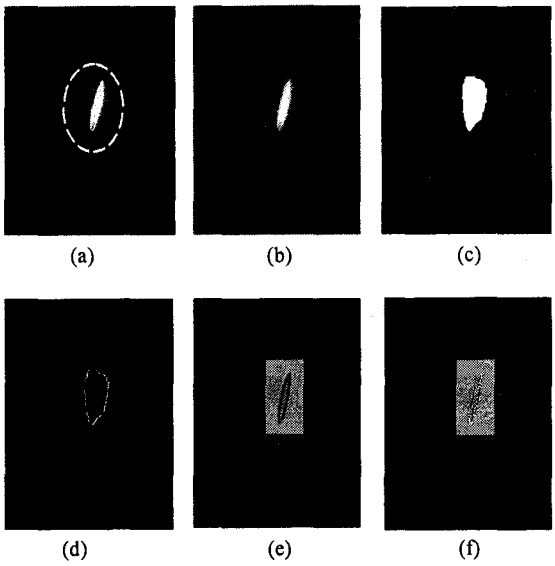

Fig. 4 Various preprocessing images

Fig. 4(a)는 심도를 달리하여 얻은 영상으로부터 밝기 차이로 구한 영상이며, Fig. 4(b)는 같이 3×3 단위로 평활화한 영상이며, Fig. 4(c)는 실험으로 구해진 문턱값을 이용하여 이진화상처리를 하여 불량 부위를 나타내는 영상이다. Fig. 4(d)는 불량 영역으로 예상되는 부분으로 앞서 구한 획득이미지 I1 부터 In 까지의 영상 중 가장 윤곽 값이 큰 부분에 해당하는 영상영역이 된다. Fig. 4(e)와 Fig. 4(f)는 영역을 네모 형태로 보여준다. 이진화상 Fig. 4(c)로부터 체인코드 방법으로 불량 예상 영역들의 면적, 둘레, 길이 및 위치를 고려하여 불량으로 의심되는 영역만 남겨두고 그 외의 영역은 소거한다. 가장 윤곽이 뚜렷한 영상으로부터 자세한 불량의 정보를 추출하는 전체적인 과정으로 불량의 정보를 추출한다.

3. 실물 보정

카메라와 렌즈로 구성된 광학시스템에서 획득

된 이미지의 한 화소가 차지하는 물리적 크기를 구하여 측정시 화상의 픽셀 정보를 실제의 크기로 변환하기 위하여 아래와 같은 형태의 시편을 사용하였다.

에칭된 마크는 크기가 0.5 ㎜에서 1 ㎜의 것을 사용하였으며 회전에 무관하게 간단히 측정하기 위하여 원형의 마크를 선정하였다. 위의 그림에서 중심부가 뚫려진 시편을 사용하였다.

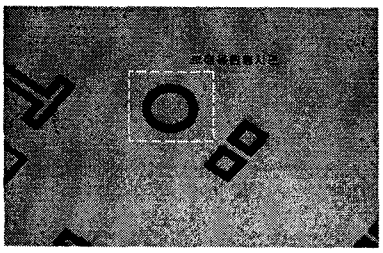

Fig. 5 A pattern for calibration

4. 불량 형상 정보 추출

영상처리의 체인코드 알고리즘은 관심영역내의 불량 후보 영역을 구하는 역할을 한다. 미미한 잡음에 의한 영상은 배제하고 불량으로 예상되는 영역에 대한 정보를 추출한다. 측정하기에는 너무 많은 잡음이나 너무 작은 불량은 시편의 상태가 좋지 않은 경우로 간주할 수 있으므로 측정 대상에서 무시되며, 화상의 경계에 존재하는 경우도 무시된다. 이러한 조건을 만족하는 경우에 대한 불량 예상 영역에 대해서는 무게중심, 면적, 둘레, MBR(Maximum Boundary Region), 회전된 상태에서 장축을 기준으로 한 MBR, 일그러짐량, 통계적 장단축 방향의 길이, 외곽의 장단축 길이 등을 계산한다.

5. 기포의 측정 알고리즘

기포의 윤곽을 정확하게 구한다는 것은 실제로 매우 힘든 문제이다. 그 이유는 기포의 발생 위치가 투명한 유리의 중심에 위치하고 있어 물리적으로 유리를 절단하여 실제의 크기를 측정한 값과 상단 camera 에서 측정한 크기는 유리의 굴절률 영향으로 다르게 보일 것이다. 보통은 실제보다 크게 보인다.

또한 실제의 기포 크기를 정확히 측정한다 하더라고 그 크기의 값보다 그 불량 크기로 인하여 발생한 화면상의 불량 이미지 크기는 또한 기포의 위치에 따라 달라진다. 즉 기포의 크기 자체보다는 근본적으로 기포에 의한 불량 영상 효과를 고려한 불량 크기 판별이 이루어져야 한다.

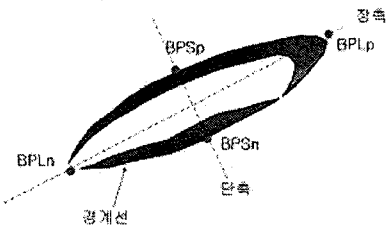

Fig. 6 A long axis and short axis of MBR

Fig. 6 에서 4 개의 최외곽 위치점을 2 축의 투영에 의해 구할 수 있다. 다음은 4 개의 최외곽점 표기이다.

BPLp ; 장축의 + 방향에 최외곽 위치점
BPLn : 장축의 - 방향에 최외곽 위치점
BPSp : 단축의 + 방향에 최외곽 위치점
BPSn : 단축의 - 방향에 최외곽 위치점

기포의 측정 알고리즘은 다음 4 단계로 진행된다.

1) 이진화 영상에서 경계선을 이용한 최외곽 경계 위치 검출(Maximum Boundary Points: MBR)하고, 위의 이진 영상을 장축 방향과 단축 방향에서 최외각이 되는 점을 계산한다.

2) 불량의 주변 밝기값을 구하여 장축, 단축의 밝기값에서 바탕 밝기를 빼줌으로서 불량의 정확한 경계를 구한다.

3) 주변 광 밝기가 불균일 할 경우도 있기 때문에 장축과 일정 설정치(offset)를 갖는 위치의 밝기(I2,I3)의 평균값을 장축상의 밝기 강도값 I1 에 빼주어 주변 광의 영향을 제거한 불량을 장축에 대한 밝기 분포를 구한다.

4) 각 축에 따라 투영한 밝기를 일정한 값으로 정규화한 윤곽값을 구한다.

5.1 원형에 가까운 불량

경계의 윤곽이 뚜렷하며 위의 세 정보 값이 매우 유사하다. 실험을 통하여 윤곽치의 최대값 위치가 목시 검사와 매우 유사한 결과를 보인다.

따라서 장단축의 경계값은 윤곽치의 최대값 위치로 정하였다.

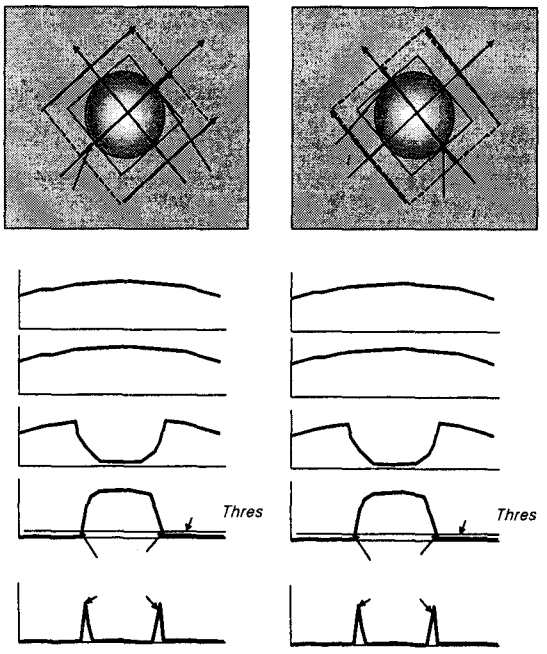

Fig. 7 Measure of circular blister

5.2 장축에 가까운 불량의 경우

원형상과는 달리 장축에 가까운 형상은 최외각 경계 위치점 (BPLp, BPLn, BPSp, BPSn), 장단축에서의 윤곽치 (El, Es), 장단축에서의 밝기 분포 (Ipl,Ips)를 구하는데 있어 차이를 둔다. 원형의 경우는 윤곽 값은 장축길이와 단축길이를 합하여 2로 나눈 평균값이 되지만, 긴 형상의 경우는 장축의 길이가 된다. 즉, 단축은 앞에서와 같이 윤곽값의 최대 위치로 하고, 장축은 원형에 가까운 경우는 윤곽 값으로 긴 형상에 가까운 경우는 세가지 정보 중 가장 큰 값과 윤곽 최대값 사이의 거리로 결정하도록 하였다.

5.3 장축에 가까운 불량의 경우

Fig. 8 은 불량 판별을 위한 알고리즘을 표현한 것으로써 장/단축상에서 Ic1 은 중심을 지나는 선상의 밝기를 Ipl 은 장축방향으로 투영한 이미지의 최소값을 표현한 것으로 이 값은 이미 앞의 측정을 위한 과정에서 구해진 것이다. 이 두 값 Ic1 과 Ipl 의 차에 절대값을 취한 결과 D1 이라할 때, 단축에 대해서도 같은 계산결과 과정을 통하여 구하였다면 판정은 다음과 같다.

앞에서 계산한 기포의 장단축상의 기포형상 위치 내에서 Dl, Ds 의 최대값(Peak) 과 평균면적 (Area/N, N:불량길이, l:장축, s:단축)을 구하여 이 값이 일정 문턱치값보다 크면 기포, 그렇지 않으면 기포가 아닌 불량으로 판단하였다.

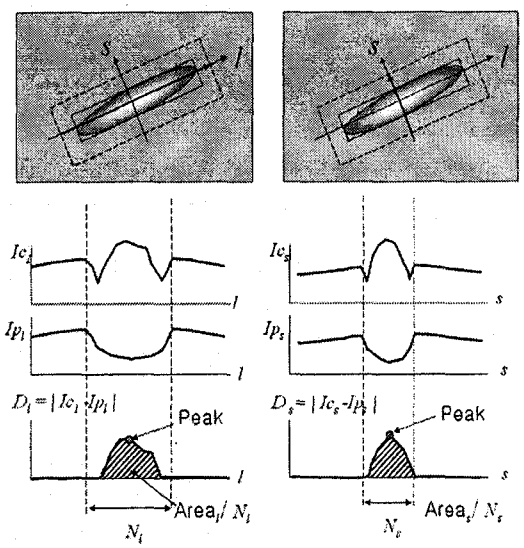

Fig. 8 Defect decision algorithm

불량이 크고 뚜렷한 원형에 가까울수록 위에서 언급한 값은 크게 나타나고 그렇지 않으면 작은 값으로 나타난다.

6. 실험장비

Fig.9 과 같이 IBM PC 에 Matrox Meteor II/MC 화상처리보드를 탑재하고 SONY XC-55 흑백 카메라를 통하여 이미지를 획득한다. 렌즈는 초점거리 50mm(CANON 사)에 경통 50mm 를 부착하여 FOV 는 6.4mm x 4.8mm 로 설계하였다. 설계 제작된 X-Y table 및 Z 축 정밀 모션 스테이지를 보였다. X-Y Table 의 정밀도는 1 Pulse 당 10mm/400 = 25um 이며 z 축의 이송정밀도는 0.5mm/1000=0.5um 의 스테이지를 사용하였다.

기포의 형상 검사를 위한 조명으로 본 연구에서는 RED LED 조명을 선택하였다. 조명의 수명,

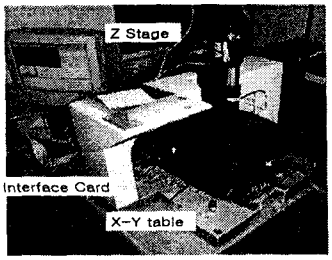

Fig. 9 A experimental system

비용, 점멸특성 및 RED 파장대에서의 CCD 센서의 감도 등을 고려하여 구성하였다. 백라이트의 조명 조건은 조명의 광이 정반사 혹은 투과된 광성분이 직접 렌즈로 입사하는 Bright Field 조명방식(명시야) 과 조명의 빛이 물체에서 반사된 산란된 빛이 렌즈로 입사되고 정반사의 조건을 만족하지 않는 광성분은 입사되지 않는 조명방식이 Dark Field 조명방식(암시야)이다. 이 두 조건 중에서 어떤 것이 기포의 형상 측정에 유리한지를 실험한 결과 명시에서는 경계가 밝게 나타나는 특성을 명시야에서는 경계가 어둡게 나타나는 특성을 나타내었다. 그러나 암시야시에 밝게 나타나는 부분이 엄밀히 경계부분을 나타내는 부분이 아니고 경면반사가 나타나는 부분이기 때문에 기포형상 측정시 적절치 않는 부분으로 판단된다. Fig.10 은 두 조명시의 이미지를 간단히 나타내었다. 명시야에서는 기포의 경계가 가장 어둡게 나타날 수 있지만 암시야에서는 기포의 경계부분에서 가장 밝게 나타나는 것이 아니고 조명의 입사각과 기포의 형상기울기 그리고 렌즈의 화각에 의해서 변할 수 있다. 따라서 암시야에서의 측정은 측정의 정밀도에 심각한 문제를 발생시킬 수 있다.

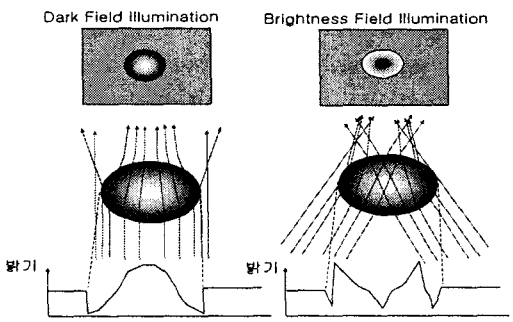

Fig. 10 Difference from dark & bright illumination

7. 운영 프로그램

Fig. 11 은 이미지의 표시창과 이미지획득 및 영상처리창 그리고 시편의 이송을 X-Y 축 제어하는 응용프로그램에 대한 각각의 창을 보여주고 있다.

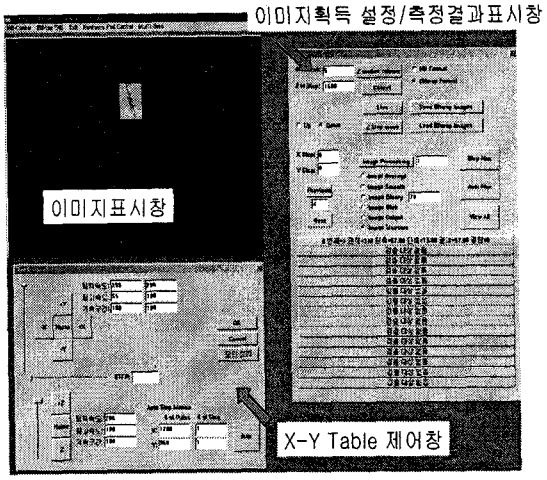

Fig. 11 Executing result window of written programs

그리고 Fig.12 는 구체적인 측정 결과의 예로서 이미지 획득, 저장, 영상보기, 영상처리 단계별 보기, 상세한 측정결과를 보여주고 있는 한가지 예이다.

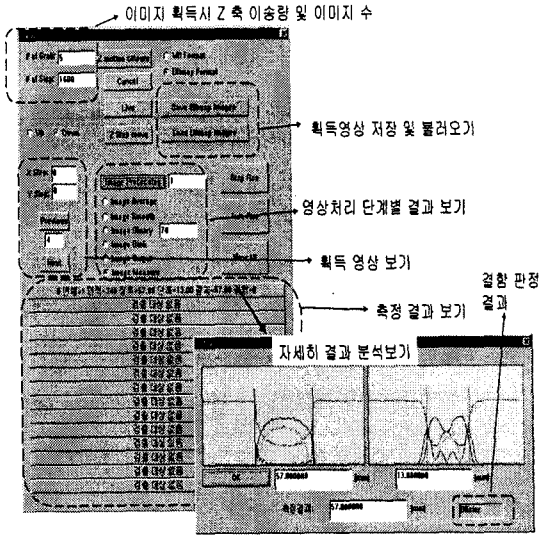

Fig. 12 An example of measured results

8. 결론

본 연구에서는 평판 유리의 기포형상을 측정하고 기포 불량을 판별하기 위하여 화상처리 알고리즘과 성능평가를 위한 비젼시스템을 구성하였다. 기포의 형상 측정은 원형 타입과 긴형상 타입으로 구분된다. 이 두 가지 타입에 따라 측정 결과 표시 방법이 다르다. 실제의 측정실험 시 원형과 긴 형상의 중간적인 형상의 경우 측정의 신뢰성이 떨어지는 문제점이 있다. 본 연구에서는 형상이 두 타입 중 어느 형상으로 판단되어도 측정에 일관성을 유지하도록 측정의 판단 기준을 제시하여 측정의 신뢰성을 향상시켰다. 광학계의 심도에 비하여 패널의 두께가 두껍기 때문에 높이를 변화시켜가며 획득한 영상에서 불량의 존재를 판단하고 불량의 형상을 측정하기에 적합한 영상을 여러 획득영상에서 선택하는 화상처리 알고리즘을 제안하였다. 기포의 형상 측정에 적합한 조명실험을 행하여 기존에 사용한 백라이트의 명시야 조명에서의 측정이 타당함을 확인하였다.

참고문헌

1. Youn, S. P. and Ryu, Y. K., "Development of a non-contact optical sensor for measuring the shape and thickness of the transparent objects," Optomechatronic System, SPIE, Vol. 4190, pp.20~28, 2000.
2. Zhang, J. H. and Cai, L., "An Autofocusing Measurement System with a Piezoelectric Translator," IEEE/ASME Transaction on Mechatronic, Vol. 2, No. 3, pp.213-216, 1997.
3. Ryu, Y. K. and Cho, H. S., "New Optical Sensing System for Obtaining 3D shape of Specular Objects," Optical Engineering, Vol. 35, No. 5, pp.1483-1495, 1966.
4. Gonzalez, R. C. and Woods, R. E., "Digital Image Processing," 2nd ed., Prentice Hall, pp. 210-216, 2002.
5. Kim, J. H., "A Detection Method of Non-uniform Brightness Defects in LCD Based on Human Vision," Journal of IEEK, Vol. 41, No. SP-3, pp.9-16, 2004.
6. Matrox Electronic System Ltd., "Matrox Imaging Library," Manual No. 10513-MN-0600, February, 1999.
7. Oh, C., Ryu, Y. and Roh, B., "Video Tape Recorder Head inspection using Image Processing Techniques," Optical Engineering, Vol. 38, No.1, pp. 124-130, 1999.
8. Otsu, N., "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 9, No. 1, pp. 62-66, 1979.
9. Rousseeuw, P. J. and Leroy, A. M., "Robust Regression and Outlier Detection," John Wiley & Sons, pp.134-150, 1987.
10. Ryu, Y., Oh, C. and Lim, J., "Development of a non-contact optical sensor for a measuring the shape of a surface and thickness of transparent objects," Optical Engineering, Vol. 40, No.4, pp.500-502, 2001.