

컴퓨터 비전 시스템을 이용한 2차원 측정 시스템 구현

정정훈\*, 박상국\*, 여희주\*, 김재현\*\*  
 \*대전대학교 전자공학과, \*\*지-메이트

Implementation of a 2D Measuring System using Computer Vision

Jung-Hoon Choung\*, Sang-Gouk Park\*, Hee-Joo Yeo\*, Jae-Hyun Kim\*\*  
 \*Dept. of Electronics Eng., Dae-Jin Univ., \*\*G-mate

**Abstract** - 본 연구에서는 시각센서를 이용하여 CAD 데이터와 측정치와의 오차를 실시간으로 판정하여 다양한 형태의 불량검사 및 부품분류를 할 수 있는 2D 측정용 Machine Vision System을 개발하였다. 또한, 본 시스템은 품질검사 및 수율 관리를 하여 제품의 품질을 향상시킬 수 있도록 하기 위한 품질관리 제어시스템이다. 이를 위하여, 고성능 카메라와 서브픽셀, 레이블링, 캘리브레이션등의 최첨단 영상처리 기술을 개발하여 고속 온-라인 상에서 가공물의 치수를 정확하게 측정(10 μm 단위)할 수 있도록 하였다.

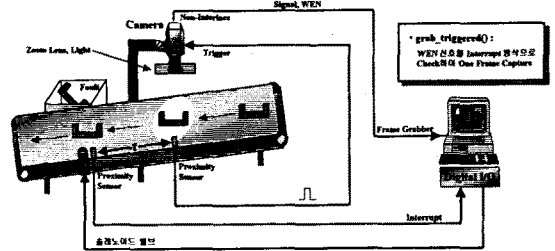


그림 1. 불량검사를 위한 자동 측정시스템의 구성도

1. 서 론

최근 10여 년간 자동화된 산업분야에서 비전시스템을 이용한 다양한 검사시스템을 구축하여, 복잡하거나 정교한 작업들을 자동으로 수행하여 생산시간을 단축하기 위한 시도가 국내외적으로 활발히 추진되고 있다 [1-7]. 비전 센서를 이용한 검사 시스템의 주된 기능은 물건의 치수측정 및 시각적 모양을 검사하는 것이다. 즉, 외관상의 결점을 시각을 통해 알아내는 것이다. 지금까지의 대다수 생산공정에서 사람에 의한 시각검사는 더 이상의 신뢰도 향상을 기대하기 어려운 실정이다. 따라서, 인간에 의한 검사 대신 자동화된 시각검사 시스템을 이용하면, 이러한 단점을 보완하여 항상 일정한 신뢰도를 유지할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 최근 고속, 고정밀도, 고정확성이란 목표아래 카메라에서 발생하는 왜곡을 제거하기 위한 카메라 캘리브레이션, 영상의 해상도를 높이기 위한 서브픽셀 알고리즘, 대상물체를 정확히 인식하기 위한 서칭 알고리즘, 부품에 레지스터 마크를 등록하여 두 포인터 간의 거리, 부품의 면적, 둘레길이, 측정면의 각도 등과 같은 특징점 추출을 위한 다양한 알고리즘 등의 최첨단 영상처리기술을 개발하여 고속 온-라인 상에서 가공물의 치수를 정확하게 측정(10 μm 단위)하여 불량 검사 및 부품 분류를 할 수 있는 그림 1과 같은 2D 측정용 머신 비전 시스템(machine vision system)을 개발하고자 한다. 또한, CAD 데이터를 기준으로 측정치와의 오차를 실시간으로 판정하여 다양한 형태의 부품 분류 및 불량검사를 할 수 있는 시스템이며, 품질검사 및 수율관리를 하여 제품의 품질을 향상시킬 수 있도록 하기 위한 품질 관리 제어시스템이다. 특히, 사용자 편리성(user friendly interface)과 기능구현의 유연성(flexibility)을 개선하여 산업 현장에서 구현하고자 하는 기능의 신뢰성(reliability)을 보장하기 위한 새로운 시각 센서 응용 시스템을 구축하고자 한다.

2. 본 론

전체 시스템의 S/W 구조는 그림 2와 같으며, 이동 중인 라인에서는 온-라인 모드로, 정지된 상태에서는 오프-라인 모드로 각각 측정할 수 있다.

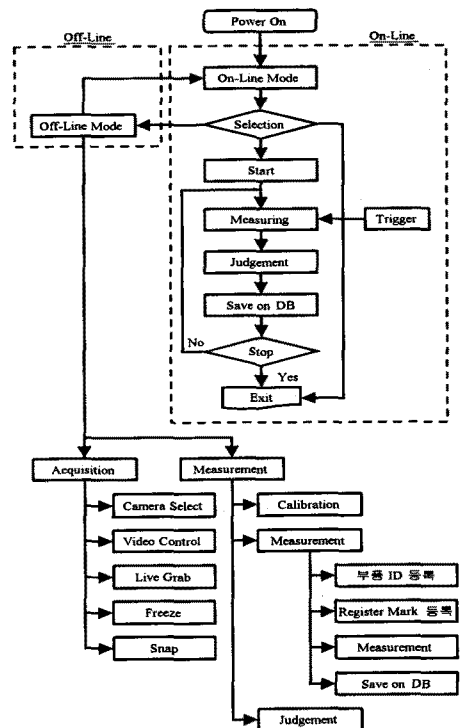


그림 2. 전체 시스템의 S/W 구조

오프-라인 모드에서는 영상을 획득하고 캘리브레이션 을 통하여 실좌표를 변환한 후, 측정할 레지스터 마크를 등록하고 측정결과를 데이터 베이스에 저장할 수 있다.

온-라인 모드에서는 오프-라인 모드에서 구성한 데이터 베이스를 이용하여 현재 검사할 부품의 ID, ID에 따른 레지스터 마크등을 알아 낼 수 있다. 따라서, 서칭 알고리즘을 사용하여 회전 및 이동이 있는 측정 대상물의 레지스터 마크를 찾아내고, 측정 결과를 캘리브레이션 결과에 따라 실좌표로 변환 시킴으로써, 정확한 결과를 얻을 수 있다.

### 2.1 기존S/W(Optimas, Image-Pro, Auto-Cad) 분석

기존에 이미 상용화되어있는 여러 프로그램들을 분석하여 Measuring 관련 기능과 개발내용을 참조하도록 한다. 대상프로그램은 Optimas, Image-pro, Auto-Cad등이며, 본 연구와 관련있는 Measuring,캘리브레이션의 구현방법과 Sub-pixel, Labeling 등 이미지 프로 세싱부분을 중심으로 분석하였다.

- ① 대부분의 레지스터 마크는 외곽선에 위치하므로 LUT를 조정하여 외곽선을 추출하는 방법을 사용한다. - (Optimas)
- ② 미리 측정 항목(포인트, 라인, 면적)을 설정해 놓은 후, 사용자로 하여금 측정 항목을 선택하여 측정하도록 유도한다. - (Optimas)
- ③ 측정 대상물에 대해 레이블링 알고리즘으로 구해진 모든 Object들에 대한 측정값들을 보여주는 모드와 사용자가 원하는 하나의 Object에 대한 측정 결과를 보여주는 모드가 따로 존재한다. - (Image-Pro)
- ④ 레지스터 마크를 정밀하게 등록하기 위해 일부분을 확대하였을 때에도 현재 등록되는 포인트가 어디에 위치하고 있는지 알 수 있도록, 대상물을 확대하였을 때 대상물의 전체 모습을 작은 윈도우에 따로 보여준다. - (Auto-Cad)
- ⑤ 사용자가 마우스를 외곽선 가까이로 움직이면 자동으로 마우스 포인트가 외곽선을 가리키도록 하여, 정확하게 외곽선을 가리킬 수 있도록 한다. 본 연구에서는 수동과 자동 두 가지 모드를 두어, 외곽선이 아닌 부분을 레지스터 마크로 등록할 경우에는 수동 모드를 사용할 수 있도록 하였다. - (Auto-Cad)

### 2.2 캘리브레이션

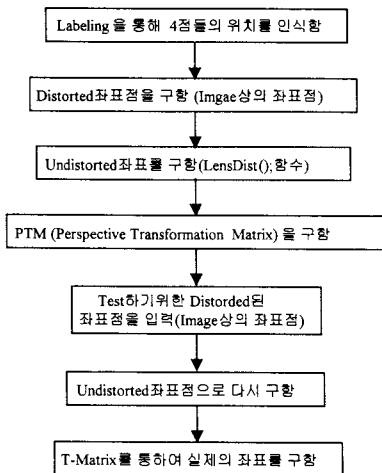


그림 3. 캘리브레이션 알고리즘 흐름도

캘리브레이션 알고리즘의 기본은 [7]을 참조 하기 바란다. 본 캘리브레이션에서는 기존에 문제시되어 왔던 카메라와 컴퓨터 프레임 그래버에 왜곡에 의한 오차 정도를 최대한 줄일 수 있는 방법이 사용되었다. 기존에 수평 스케일 팩터(scale factor)만이 사용되었으나 본 알고리즘에서는 수평과 수직 스케일 팩터를 모두 고려했으며, 스케일 팩터 또한 최소화할 수 있는 값을 구함으로써 더욱더 정확한 캘리브레이션을 수행한다. 아래 그림 3은 캘리브레이션 구성을 간단히 나타내었으며, 전체 알고리즘의 흐름은 그림 3과 같다.

### 2.3 서브 픽셀 알고리즘

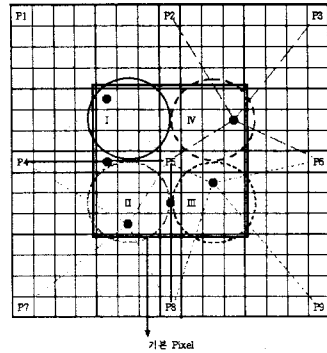


그림 4. 서브픽셀 알고리즘의 적용

그림 4는 기본 픽셀(pixel)을 여러 개의 서브-픽셀(sub-pixel)로 분할한 것이다. 우선 4개의 영역으로 분할하여 각 영역에 영향을 미치는 주변 픽셀에 대한 Weight를 구함으로써 임의의 서브-픽셀 값을 결정한다.

- 1 영역 - (P1, P2, P4, P5), 2 영역 - (P4, P5, P7, P8)  
 3 영역 - (P5, P6, P8, P9), 4 영역 - (P2, P3, P5, P6)

영역 별로 영향을 미치는 Pixel Weight를 구하는 공식은 식 (1)과 같다.

$$w_i = d_i^{-1} \times \sum_{k=0}^3 d_k^{-1}, \text{ 단 } \sum_{k=0}^3 w_k = 1 \quad (1)$$

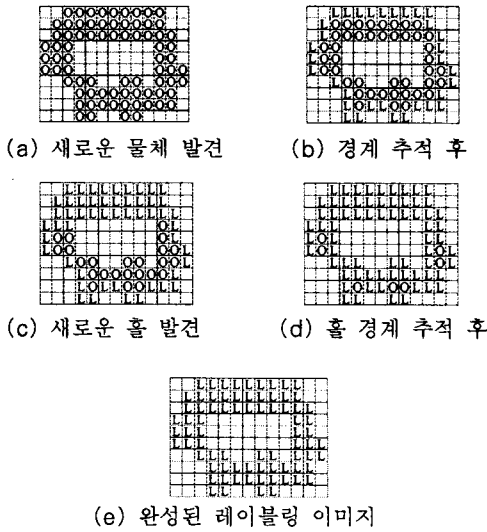
위 식에서 보면 Weight는 거리에 반비례한다. 즉, 가까운 거리에 있는 주변 Pixel이 더 큰 영향을 미친다. 임의의 좌표에 대한 Sub-pixel 값은 식 (2)와 같이 결정된다.

$$Data = \sum_{k=0}^3 w_k \times data_k \quad (2)$$

그림 4에서 고려되지 않은 수직선과 수평선 상에 있는 Sub-Pixel 값은 영역이 아닌 가장 가까운 선상에 있는 Pixel 값에 의해 좌우된다. 물론 Weight를 구하는 공식은 위와 같으나 4 Pixel이 아닌 2 Pixel만 고려한다.

### 2.4 레이블링 알고리즘

기존의 레이블링 알고리즘에서는 적어도 세 번의 이미지 스캔 과정이 필요하다. 이는 오브젝트(object)를 인지하기 위해 오브젝트의 Edge를 Tracing하며 Numbering을 하기 위해 한 번을 스캔하고, Hole을 인지하기 위해 다시 한 번을 스캔한 후, 정보-면적, 장축, ...-를 추출하기 위해서 다시 한 번 더 스캔을 하기 때문이다. 따라서 과도한 메모리가 필요하고, 상당히 느린 속도를 나타낸다. 그러나 본 연구에서 제안한 방법은 단 한번의 스캔과 동시에 행해지는 Edge-Tracing과 Numbering으로 기존의 방법과 동일한 효과를 나타낼 수 있으며, 따라서 더 적은 메모리로 더욱 빠른 속도를 나타낼 수 있다.



(a) 새로운 물체 발견 (b) 경계 추적 후  
(c) 새로운 홀 발견 (d) 홀 경계 추적 후  
(e) 완성된 레이블링 이미지

그림 5. 레이블링 과정

### 3. 실험 및 결과

Machine Vision System은 프레임 그레버, PC, 카메라, 기타 I/O장치로 구성되어 있다. 프레임 그레버는 Coreco사의 UltraII B/D를 사용하였고, 카메라는 초점거리 16mm, Non-Interlace, 640 × 480 Pixel Array를 갖는 CCD 카메라를 사용하였다.

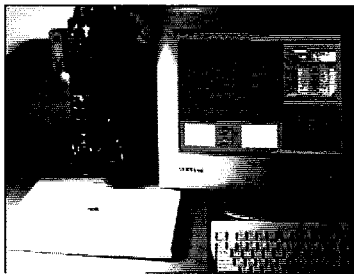


그림 6. 실험 환경

구현한 시스템을 평가하기 위하여 그림 8의 부분을 측정하여 보았다.

① 캘리브레이션을 통해 렌즈 왜곡을 보정하고, 실좌표를 구한다.

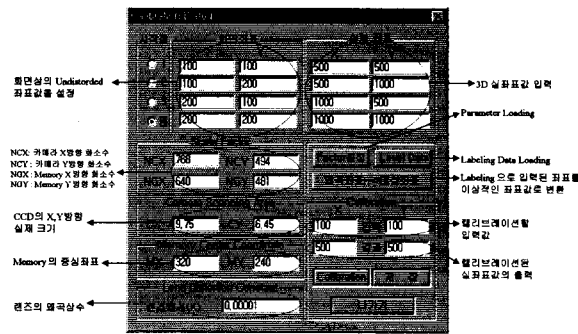


그림 7. 캘리브레이션을 위한 Menu구성

② 영상을 이진화한 후, 레지스터 마크를 등록한다



그림 8. 레지스터 마크 등록

③ 측정치와 기준치를 비교하여 오차를 구한다.

구분	기준치	측정치	오차
1.15 mm	1.15 mm	1.148 mm	-0.002 mm
2.15 mm	2.15 mm	2.152 mm	0.002 mm
3.95 mm	3.95 mm	3.948 mm	-0.002 mm
4.15 mm	4.15 mm	4.152 mm	0.002 mm
7.95 mm	7.95 mm	7.948 mm	-0.002 mm
10.4 mm	10.4 mm	10.398 mm	-0.002 mm
24.45 mm	24.45 mm	24.448 mm	-0.002 mm

그림 9. 측정 결과

그림 9는 등록된 레지스터 마크에 대해 캘리브레이션을 통하여 구해진 실좌표를 기준으로 길이를 측정한 결과를 보여주고 있다. 그림 9에 나타난 결과로는 평균 오차가 30 $\mu$ m 나 되는 것처럼 보이지만, 반복 성능 오차는 평균 10 $\mu$ m 이하로 나타났다. 따라서 일정한 횟수 이상 측정하여 Offset값을 조정함으로써 측정 오차를 10 $\mu$ m 이하로 낮출 수 있다.

### 4. 결론 및 추후과제

본 논문에서는 수평·수직 양방향 왜곡 상수를 고려한 캘리브레이션, 함수 보간법을 이용한 서브-픽셀 알고리즘, 방향성을 고려한 서칭 알고리즘 등의 최첨단 영상 처리 기법을 이용한 2D 정밀 측정용 Machine Vision System을 개발하였다. 캘리브레이션과 서브-픽셀 알고리즘으로 해상도의 많은 향상을 보이긴 했으나, 카메라의 반복 성능 오차로 인해 안정적인 측정 결과가 나타나지 않았다. 앞으로 5 $\mu$ m 이하의 고정밀 측정을 위하여 고성능의 카메라와 개선된 알고리즘을 이용하여 안정적인 반복 성능비를 나타내도록 하는 것이 과제로 남아있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] R.C.Gonzalez and R.E.Woods, "Digital Image Processing", Addison Wesley, 1993
- [2] R.Jain, R.Kasturi and B.G.Schunck, "Machine Vision", McGraw-Hill, 1995
- [3] R.M.Haralick and L.G.Shapiro, "Computer and Robot Vision", volume I, Addison Wesley, 1993
- [4] R.M.Haralick and L.G.Shapiro, "Computer and Robot Vision", volume II, Addison Wesley, 1993
- [5] H.Takahashi and F. Tomita, "Fast Region Labeling with Boundary Tracking", *IEEE ICIP'89*, pp. 5-8, 1989
- [6] Crowley J.L., Stelmazyk P., "Measurement and Integration of 3-D Structures by Tracking Edge Lines", *Int. Conf. on Computer Vision*, pp.269-280, 1990
- [7] Faugeras O.D., Toscani G., "Camera Calibration for 3D Computer Vision", *Int. Conf. on Machine Vision and Machine Intelligence*, pp. 194-199, 1989