

전자 튠너 조정을 위한 위치와 방향 인식

양재호*, 공영준*, 이문규**

Position and Orientation Recognition for Adjusting Electronic Tuners

Yang, Jae-Ho*, Kong, Young-June*, and Lee, Moon-Kyu**

ABSTRACT

This paper describes the development of a vision-aided position and orientation recognition system for automatically adjusting electronic tuners which control the waveform by rotating variable resistors. The position and orientation recognition system estimates the center and the angle of the tuner grooves so that the main controller may correct the difference from the ideal position and thereby manipulate the variable resistors automatically. In this paper, a robust algorithm is suggested, which estimates the center and the angle of the tuner grooves fast and precisely from the source image with lighting variance and video noise. In the algorithm, morphological filtering, 8-chain coding, and invariant moments are sequentially used to figure out image segments concerned. The performance of the proposed system was evaluated using a set of real specimens. The results indicate the system works well enough to be used practically in real manufacturing lines. If the system adopts a high speed frame grabber which enables real time image processing, it can also be applied to positioning of robot manipulators as well as automated PCB adjusters.

Key Words: Electronic tuners(전자 튠너), Position and Orientation Recognition(위치와 방향 인식), Morpholog(모폴로지), Invariant Moments(불변모멘트)

1. 서론

전자튜너나 인쇄회로기판의 기존 조립라인에서는 회로의 전기적 특성을 검사하고 가변저항, 가변 코일, 가변커패시터 등 볼륨을 조정하여 설계된 규격에 맞추는 작업을 검사자의 눈과 손에 의존하고 있다. 그러나 전자제품은 회로기술의 급속한 발달과 더불어 그 회로가 점점 복잡해져서 결함의 검출과 이의 조정에 고도로 숙련된 많은 인원과 시간이 소요되고 있다. 그러므로 이 분야의 생산성 향상을 기대하기가 어려울 뿐만 아니라, 신호의 입력과 출

력신호를 오실로스코프를 통해 관측하는 등 사람의 관능에 의존하기 때문에 균일한 품질수준을 유지하기가 어렵다. 이에 따라 전자회로의 검사조정을 자동화하기 위하여 그간 많은 연구가 수행된 바 있다 [4]. 1990년초 고속A/D컨버터(analog to digital converter)의 개발로 인하여 정밀 계측데이터를 취득한 후 이를 디지털 값으로 변환하여 그 과형을 분석하는 조정 알고리즘이 개발됨으로써 조정자동화가 가능하게 되었다[1,2]. 그러나 사람을 대신하여 조정대상부품을 어떻게 회전시킬 것인가 하는 문제에 직면하였고 이를 위해 여러 개의 마이크로

* 대우전자(주)

** 계명대학교 산업공학과

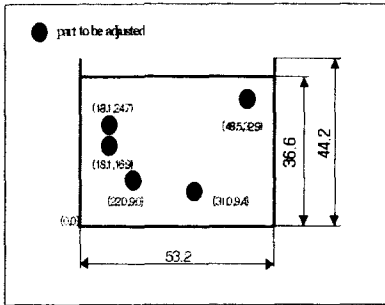


Fig. 2.1 An electronic tuner with 5 parts to be adjusted.

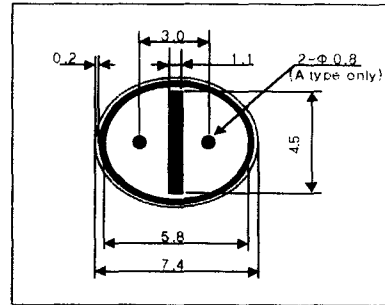


Fig. 2.2 Part A.

모터와 조정봉을 고정하는 픽스처(fixture)를 고안하여 조정대상부품의 상면에 설치하는 멀티헤드타입(multi-head type)의 자동조정기가 출현하였다. 하지만 이와 같이 멀티헤드타입의 픽스처를 이용한 위치보정은

- 높은 픽스처 제작비와 유지보수 비용의 소요
- 픽스처 교환에 따른 기종교체시간의 과다
- 조정봉의 불완전한 삽입으로 조정품질 저하 등의 여러 문제점이 대두된다.

이를 해소하기 위해 일부기업에서 직교좌표로봇을 이용하여 조정대상부품의 위치로 조정봉을 이동시켜 한번에 한 개씩 순차적으로 조정하는 원바이원타입(one-by-one type)의 자동조정시스템을 개발하여 실용화를 서두르고 있다. 그러나 회로기판상의 부품위치와 배열에는 산포가 있을 뿐만 아니라 회로기판의 부품 밀도가 높아지고 전자부품이 輕薄短小化됨에 따라 상대적으로 조정대상부품에 조정봉을 정확히 삽입하기 위해서는 부품의 위치와 홈의 각도측정에 관한 자동화가 요구되고 있다.

본 연구에서는 이러한 점들을 감안하여 직교좌표로봇 매니플레이터에 부착된 상용 CCD카메라를 통하여 획득된 영상자료를 이용하여, 조명변화와 잡음에 둔감하면서도 조정 대상부품인 튜너의 중심과 홈의 각도를 신속·정확하게 추출할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 다음으로 이러한 알고리즘을 바탕으로 조정대상부품의 중심위치와 중심각도를 검출하여 주제어기에 피이드백시스템으로써 조정봉과 조정대상부품의 위치와 방향 편차를 보정할 수 있게 하는 자동보정시스템을 구축하였다.

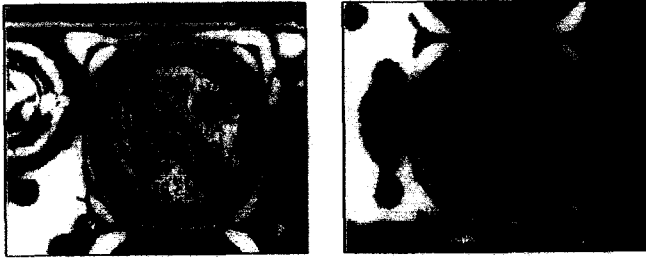
2. 자동 보정 시스템

2.1 보정 대상 부품

본 연구의 대상인 전자튜너의 개략적인 형태는 그림 2.1과 같이 가로 53.2mm, 세로 44.2mm 크기에 조정대상 부품이 5~8개가 실장되어 있는 것이다. 보정의 대상이 되는 부품은 크게 유형 A와 B의 두 종류가 있는데 두 가지는 서로 외형이 동일하나 유형 A에는 $\phi 0.8$ 의 원형 홈이 두 개가 더 있는 것이 두드러진 차이이다. 대상부품은 그림 2.2에서 보는 바와 같이 $\phi 7.4$ 의 원통에 $\phi 5.8$ 의 코어로 구성되어 있는데 폭이 1.1mm이고 길이가 4.5mm인 조정홈이 중앙에 위치하고 있다.

그림 2.3은 조정대상부품을 CCD 카메라를 통하여 획득된 원시 영상을 나타내고 있다. 부품 A는 코어부가 백색이며 조정홈의 직각 방향으로 작은 원형의 구멍이 있고 부품 B는 코어부가 흑색을 띄고 있어 다소 어렵게 나타나 있다. 그러나, 대상 부품들의 실물은 그림 2.3과 같은 기본형상을 가지면서 백, 흑, 녹색, 적, 황 등의 다양한 색상을 띄고 있다. 영상인식의 주대상 영역이 되는 코어 부위를 제외한 주변부가 검은색으로 나타나기 때문에 백색 코어는 명암이 뚜렷이 구분되는 반면 흑색코어는 가장 명암 차이가 적어 잘 구분되지 않는다. 따라서 상대적으로 가장 좋은 조건인 백색코어(부품 A)와 가장 나쁜 조건인 흑색코어(부품 B)의 두 가지 경우에 대해서만 정확하게 중심과 각도를 검출하여도 다른 색상을 띤 부품을 인식하는 데는 별 문제가 없기 때문에 본 연구에서는 이러한 두 부품만을 대상으로 하였다. 그림 2.4는 조정봉이 부품 B를 삽입하고 있는 것을 위에서 촬영한 모습을 보여 주고 있다.

2.2 자동보정시스템의 구성



(a) Part A.

(b) Part B.

Fig. 2.3 Original image for the two parts concerned.

자동보정시스템은 전자튜너에 장착된 부품들 중에서 조정 가능한 부품의 위치편차와 홈의 회전된 각도 정보를 추출하여 그 편차량을 보정하는 것을 목적으로 하고 있다. 이러한 자동보정시스템은 XY로봇에 부착된 상용 CCD카메라를 통하여 입력되는 전자튜너 영상으로 부터 조정대상 부품의 실제 위치와 방향 정보를 가지고 홈의 회전된 각도를 추출하여 조정용 드라이버 제어부와 XY로봇 제어부로 전달하여 이를 보정하게 한다. 시스템의 구조는 로봇과 드라이브 제어부를 제외하고 크게, 카메라 장치, 조명장치, 그리고 프레임그래버로 이루어진 영상획득부와 영상처리부(부 제어기)로 나누어진다.

2.2.1 영상획득부

1) 입력 카메라

본 자동보정시스템에서 사용한 렌즈 및 카메라의 규격은 다음과 같다:

렌즈의 초점거리 : 15mm

렌즈의 구경 : 17mm

렌즈마운트방식 : 베이오넷 마운트

카메라의 화소수 : 335,000 화소(670 x 500 CCD 셀 어레이)

CCD셀 어레이의 크기 : 0.5 in2 (12.7mm)

렌즈와 피사체와의 거리를 65mm로 하였을 때 배율은 약 0.5배, 또 최대 입력 가능한 피사체의 크기는 가로 23.5mm, 세로 17.5mm이다. 사용중인 카메라장치의 파라미터를 근거로 피사체 심도를 구하면 다음과 같다:

$$\text{CCD셀의 크기} = \frac{12.7 \times 12.7}{(670 \times 500)} = 4.8 \times 10^{-4} \text{mm}$$

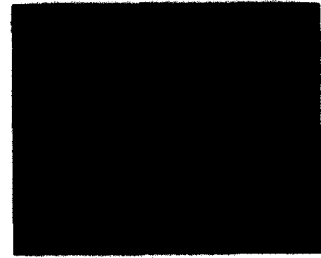


Fig. 2.4 Part B being adjusted.

$$\text{피사체 심도} = \frac{2 \times 4.8 \times 10^{-4} \times 17 \times (1 + 0.5)}{0.5 \times 0.5} = 0.098 \text{mm}$$

따라서 조정대상부품의 높이 차이가 거의 없으므로 사용중인 렌즈로 대상부품 모두에 대하여 양질의 영상을 획득하는 데는 큰 무리가 없다.

2) 조명장치

본 위치보정시스템의 경우 대상 부품의 표면에서 반사되는 반사광을 이용하여 영상을 획득하므로 조명의 수직照射에 의한 표면의 직접 반사광을 피하고 산업현장의 조명조건 변화와 그 외 영상 잡음 등 환경변화에 강건하게 영상을 획득하기 위하여 그림 2.6과 같은 난반사 필터를 부착한 환형 구조의 조명장치를 구축하였다. 할로겐 조명의 조도는 외부조명의 밝기가 2-3 lux 분포를 나타낼 때 부품표면에서 측정된 조명에 의한 조도가 3-5 lux 범위(외부조명의 1.2 - 1.5배)에서 가장 양호한 영상을 획득할 수 있었다.

3) 프레임그래버

프레임그래버는 시각검사를 위한 머신비전 시

Table 2.1 Specification of the frame grabber used for the automatic tuner adjustment system.

| Video Inputs | RS170, CCIR |
|----------------|----------------|
| Resolution | 512 x 512 |
| Frame Buffer | 0.5MByte |
| Processor | DSP(TMS320C40) |
| Program Memory | 1.5MByte |
| Text Overlay | available |

시스템의 주요 하드웨어로서 영상신호를 획득하여 영상을 저장하고 처리된 결과를 문자와 함께 모니터에 출력시켜 검사여부를 알 수 있도록 영상 D/A컨버터 기능을 제공한다. 본 시스템에 사용된 프레임 그래버의 주요 사양은 표 2.1과 같다.

2.2.2 영상처리부

자동보정시스템의 성능에 가장 영향을 크게 주는 것이 영상처리 알고리즘이므로 본 연구의 목적상 산업현장의 조명조건 변화나 영상 잡음 등 환경 변화에 대하여도 강건하게 동작하며, 고속으로 부품의 중심점 위치와 조정용 홈의 회전 각도를 정밀하게 측정할 수 있는 알고리즘을 개발해야 한다. 이를 위하여 카메라로부터 얻어진 조정 대상부품의 영상으로부터 영상분할(image segmentation) 및 특징추출을 위한 전처리를 행하여 시스템의 처리시간을 최소화하여야 한다. 영상분할 후 효과적인 특징추출 및 사전지식을 이용하여 대상부품의 확인과 아울러 중심점의 위치를 찾는다. 또한 대상부품의 영상에서 조정홈의 회전각도를 구하기 위해서는 얻어진 중심점의 위치로부터 부품의 모양과 크기, 조명 및 초점거리 등의 영향을 고려하여 최적의 위치편차 추정 알고리즘의 개발이 요구된다. 본 연구와 유사한 것으로서 정홍규와 박래홍[3]은 SMD와 PCB의 방향과 위치 탐지를 위하여 퍼지 Hough 변환과 template정합을 이용하였다. 그러나, 이러한 알고리즘은 대상 물체의 형상이 본 연구의 대상 부품인 튜너와 크게 달라서 그대로 적용하기가 힘들다. 따라서, 본 연구에서는 대상 부품의 특성을 최대한 활용하여 다음절과 같이 튜너의 중심위치와 회전각도를 계산하는 알고리즘을 개발하였다. 이 알고리즘은 효과적인 윤곽선추출을 위한 일련의 전처리를 거친 다음 윤곽선 추출, 특징 추출, 영상 분할, 해석 등의 전형적인 과정으로 되어 있으나, 대상 물체의 특성을 최대한 반영하도록 하였다.

3. 중심 및 각도 추정 알고리즘

3.1 개요

본 연구에서는 그림 3.1에 주어진 것과 같이 중심과 회전 각도를 추정하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 먼저 카메라로부터 입력되는 CCD영상을 프레임그래버로 획득하고 이와 동시에 프레임그래버에서 지원되는 LUT(lookup table)를 이용하여 밝기(brightness)와 대비(contrast)를 조정하였다. 획득

된 영상에서 메디안 필터(Median filter)를 사용하여 주변의 잡음을 제거하고 빠르게 영역을 구분하도록 이진화한 후, 모폴로지 필터(Morphological filter)를 이용하여 대상부품의 특징이 추출되기 쉬운 형태로 대상부품을 변형시킨다. 또한 영역의 분할과 계산량을 줄이기 위하여 대상 영상의 윤곽선을 추출하였다. 이로부터 중심과 각도의 추정 대상이 되는 관심영역(region of interest: ROI) - 원형 모양의 코어부와 직사각형 홈 -을 추출하기 위하여, 크기와 방향에 무관한 분할된 영상영역의 특징(불변모멘트)을 이용하였다. 마지막으로, 이러한 방법으로 추출된 분할 영상들로부터 간단한 연산을 통하여 중심과 홈의 각도를 추정한다.

3.2 전처리

일반적으로 영상처리에서 경계선 추정을 거쳐 영역분할을 행하는 방법은 국부적인 통계정보(local information)의 영향을 많이 받는 단점이 있으므로, 본 연구에서는 전역정보(global information) 및 사전 지식(prior information)을 이용한 전처리 작업으로서 이진화를 수행하고, 이진화 과정에서 간과된 국부적인 통계정보를 보강하기 위하여 모폴로지 필터링(Morphological filtering)을 적용하였다.

3.2.1 밝기와 대비 조정

본 연구에서는 영상 획득시 하드웨어에서 제공되는 룩업 테이블(lookup table : LUT)을 이용하여 영상획득과 동시에 특징추출을 용이하게 하기 위한 하나의 방법으로서 영상의 대비 강조(contrast stretching)[5]를 수행하였다.

3.2.2 메디안 필터링

획득된 영상에서 영상 잡음(noise)을 제거하기 위한 방법으로 이웃 화소간의 평균 또는 적분을 이용함으로써 영상평활(image smoothing) 효과를 낼 수 있다. 본 연구에서는 외곽선(edge) 부분의 선명도 감소를 억제하면서 작은 크기의 영상잡음을 제거하기 위하여 3x3 크기의 국소영역 픽셀 집합에 대한 명암도 수치들을 크기 순으로 나열하고 중위수를 선택하는 메디안 필터링을 실시하였다. 그림 2.3의 원시영상에 대하여 메디안 필터링을 실시한 결과가 그림 3.2와 같이 나타났다. 이 그림을 보면 윤곽선이 무더지지 않았으면서도 영상잡음이 상당히 제거되었음을 알 수 있다.

3.2.3 전역정보를 이용한 최적 이진화

입력된 영상을 신속하게 처리하기 위하여 2차

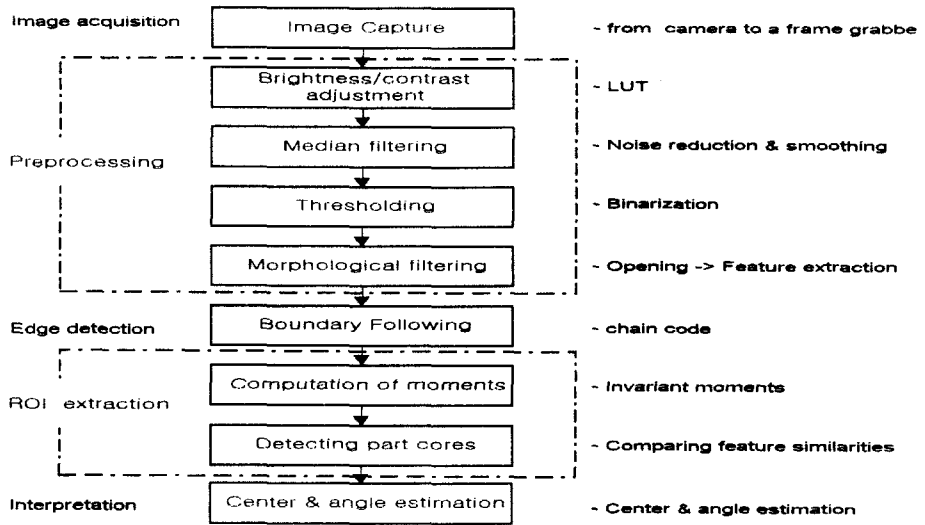


Fig. 3.1 Procedure to estimate the center and the rotation angle of parts to be adjusted.

영상으로 변환하는 경우가 많다. 가장 간단한 임계치 처리는 영상의 화소(x, y)의 명암도(gray level) $f(x, y)$ 를 하나의 기준치인 임계치 t 를 기준으로 하여 이진화하는 것이다. 이 때 임계치 t 의 선정이 이진영상의 질을 결정하는 가장 중요한 요소가 되는데 본 연구에서는 최적 이진화를 위하여 먼저 위치보정의 대상인 전자튜너의 영상 중에서 각 부품의 유형별 히스토그램 분포를 구하였다. 그 결과 유형에 따라 70 ~ 90 근처의 다소 높은 밝기 정보를 갖는 화소군과 15 ~ 35 근처의 상대적으로 낮은 밝기 정보를 갖는 화소군으로 나누어져 있다. 그리고 전자튜너 영상을 분석하여 보면, 두 가지 유형의 대상부품 모두 비교적 빛의 반사가 잘 되는 표면으로 이루어져 있으며, 배경이 되는 부품주변은 명도가 상대적으로 부품에 비하여 낮아 이상적인 쌍봉성 히스토그램을 갖고 있다. 따라서 조정대

상 부품의 평균과 그 표준편차를 고려하여 유형 A와 유형 B 각각에 대하여 서로 다른 고유의 임계치 즉, 각각 80과 25로 선택하였다. 이러한 최적이진화 방법을 사용하여 메디안 필터링을 거친 영상(그림 3.2)을 이진화한 결과 그림 3.3에서 볼 수 있듯이 이진화 이후 대상부품의 영역이 비교적 깨끗하게 분할됨을 알 수 있다. 그러나 이러한 이진화는 단순히 전역 정보만을 사용하므로 국소적인 돌출 또는 부품간 연결 등의 영역도 분할된 영역에 다소 포함되어 있어 이를 제거하기 위한 영상처리 과정이 필요하다.

3.3 모폴로지(Morphology)의 적용

앞의 결과처럼 전자튜너의 조정대상 부품을 이진화하면 부품의 코어부분에 반원형태의 분할영상이 드러나게 된다. 그러나 조정코어의 형태에 따라



(a) Part A.



(b) Part B.

Fig. 3.2 Results of median filtering.



Fig. 3.3 Results of binarization.

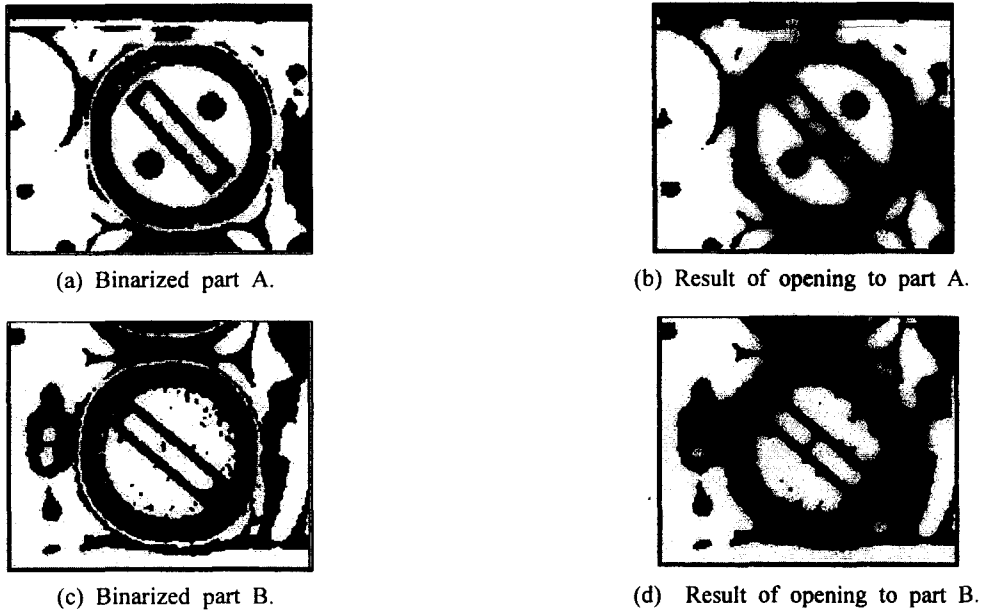


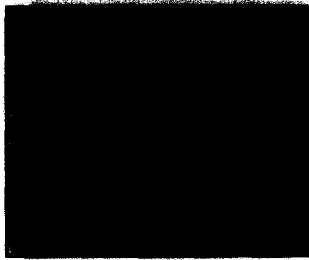
Fig. 3.4 Results of opening by 9x9 circle mask.

그림 3.4(a)와 같이 두 개의 반원형 형태가 하나로 연결되어 나타날 수가 있다. 이런 경우는 영상이 불균일하게 되어 중심과 각도의 검출이 매우 어렵게 된다. 이를 해결하기 위한 방법으로 모폴로지 기법중의 하나인 오프닝(opening)처리를 실시하였다. 그 결과 서로 연결되어 있던 두 반달형 영상을 배경 영상으로부터 분리시킬 수 있었다. 오프닝 처리는 두 가지 방법으로 실험하였는데 먼저 5x5 원형마스크를 사용하여 수축(erosion)을 연속 2회 시행하고 이어서 다시 동일한 마스크를 사용하여 팽창(dilation)을 2회 시행하였다. 다음에는 원 영상에 대하여 9x9 원형마스크를 사용하여 동일한 과정을

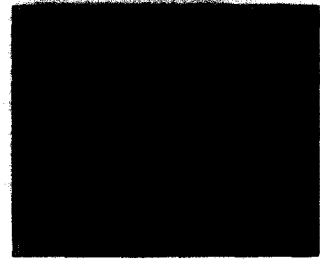
반복하였다. 그 결과 9x9 원형마스크를 사용하는 것이 반달원 영상이 더 확실히 분리되었다. 그림 3.4 (b)와 (d)는 A, B부품에 대하여 각각 오프닝 처리를 실시한 결과를 보여주고 있다. 이 그림을 보면 반달형상이 뚜렷이 구분되었고 코어 주변의 원통형상과 작은 점들도 많이 제거되었음을 알 수 있다.

3.4 체인코드(chain code)를 이용한 외곽선 추출

본 연구에서는 영상의 외곽선을 8-방향 체인코드[5]로 변환하여 고속으로 레이블링하는 방법을



(a) Part A.



(b) Part B.

Fig. 3.5 Results of boundary following using chain code

사용하였다. 이와 같이 외곽선을 검출하는 이유는 조정대상부품의 특징 영상(좌우 반원형 영상)이 외곽선만으로 충분히 설명되기 때문이다. 따라서 이와 같이 영상의 특징 추출을 위하여 외곽선만을 이용하게 되면 계산량이 대폭 줄어들어 영상처리 속도가 빨라지게 된다. 그림 3.5는 부품 A와 B에 대한 영상 그림 3.4(b)(d)에 대하여 8 체인코드를 이용하여 외곽선 추적을 시행한 결과이다.

3.5 특징 추출

3.5.1 모멘트(Moment) 추출

이진화가 이루어진 하나의 분할영상(image segment)에 대하여 $p + q$ 차수의 모멘트는 다음과 같이 정의된다:

$$m_{pq} = \sum_{x,y \in R} x^p y^q \quad (3.1)$$

여기서 (x, y) 는 '0'과 '1'로 이진화된 영상상에서 대상 물체 R로 인식되는 '1'로 할당된 임의의 화소 좌표를 의미한다. 식 (3.1)로부터 면적 N과 x, y 의 위치평균 x_c, y_c 를 구하면 다음과 같다:

$$N = m_{00} = \sum_{x,y \in R} x^0 y^0;$$

$$x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}}; \quad y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}}.$$

이 결과로부터 많은 특징들을 추출할 수 있는데 특히 원래의 화소좌표에 대한 이동변환과 정규화 과정을 통하여 영상의 이동(translation), 회전(rotation), 크기(scale)에 무관한 중요한 영상 특성인 불변모멘트(invariant moments)를 구할 수 있다[5]. 즉, 한 분할영상에 대한 중심 모멘트(central moment)는 다음과 같이 정의된다:

$$\mu_{kj} \triangleq \sum_{(x,y) \in R} (x - x_c)^k (y - y_c)^j \quad (\text{단, } k \geq 0, j \geq 0)$$

여기서 x_c, y_c 는 이동시 값이 변하나 μ_{kj} 는 불변이다. 이로부터 정규화된 중심 모멘트(normalized central moment)는

$\eta_{kj} \triangleq \mu_{kj} / \mu_{00}^{(k+j+2)/2}$ (단, $k \geq 0, j \geq 0$) 로 표현된다. 여기서 $\mu_{00} = 1$ 이면 크기는 불변이다. 또한 중심각(principal angle)은 다음과 같이 계산된다:

$$\theta \triangleq (1/2) \tan^{-1}(2\mu_{11}/(\mu_{20} - \mu_{02})) \quad (3.2)$$

Hu[6]는 이와 같이 정규화된 중심모멘트로부터 다음의 7가지 불변모멘트를 도출하였다:

$$u_1 = \eta_{20} + \eta_{02}$$

$$u_2 = (\eta_{20} + \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2$$

$$u_3 = (\eta_{30} + 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2$$

$$u_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2$$

$$u_5 = (\eta_{30} + 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12}) [(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} + \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03}) [3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

$$u_6 = (\eta_{20} + \eta_{02}) [(\eta_{20} + \eta_{02})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{20} + \eta_{02})(\eta_{21} + \eta_{03})$$

$$u_7 = (3\eta_{21} + \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12}) [(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{12} + \eta_{30})(\eta_{21} + \eta_{03}) [3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

이상의 7가지 모멘트는 이동, 회전, 크기에 모두 무관한 불변모멘트로서 대상 물체의 특징을 잘 나타내고 있기 때문에 영상인식에 효과적으로 사용될 수 있다.

3.5.2 모멘트 연산

본 연구대상에 대하여 이 7가지 모멘트를 연산한 결과 처음 u_1, u_2, u_3 를 제외한 나머지 값들은 분



(a) Part A



(a) Part B

Fig. 3.6 Results of deleting image segments which are not based on the distribution of invariant moments.

할 영상에 따라 별다른 차이가 없고 그 값도 매우 작아 0에 가까운 것으로 나타났다. 그러나 v_1, v_2, v_3 는 조정코어의 반원형 분할영상에 대하여 영상의 위치, 회전, 크기에 관계없이 거의 일정하게 나타났다. 이러한 불변모멘트의 편차를 크게 하는 요인은 외부 잡음, 조명, 부품의 불균일 등이다. 이 정보를 이용하면 전처리과정을 거친 이진화된 영상으로부터 원하는 2개의 반원형 분할영상을 추출할 수 있다. 이진화된 영상으로부터 불변모멘트를 구하여 반원형 분할영상을 추출해내기 위해서는 이를 비교 판정할 수 있는 기준값을 구하여야 한다. 따라서 각 유형별로 조명 등의 외부환경을 다소 변화시키면서 실험하였다. 표 3.1과 같이 위쪽과 아래쪽 반원형 분할영상에 대해 각 v_1, v_2, v_3 의 평균과 표준편차를 측정하였다. 이렇게 측정된 값을 토대로 상하 반원형 영상의 불변모멘트 평균과 표준편차를 구하면 불변모멘트 평균(\bar{x}) = $(\bar{x}_u + \bar{x}_l)/2$ 이므로 $\bar{x}(v_1) = 0.039205$, $\bar{x}(v_2) = 0.00387$, $\bar{x}(v_3) = 0.000015$ 가 되고, 불변모멘트 표준편차(σ) = $\sqrt{\sigma_u^2 + \sigma_l^2}$ 이므로 $\sigma(v_1) = 0.007494$, $\sigma(v_2) = 0.000707$, $\sigma(v_3) = 0.000032$ 이다. 이를 이용하여 v_1, v_2, v_3 각각에 대하여 $|\bar{x} \pm 3\sigma|$ 범위에 있는 것만을 의미 있는 영상영역(ROI)으로 간주하여 남기고 나머지는 제거하였다. 즉,

$$ROI = (0.016933 \leq v_1 \leq 0.061687) \cap (0.001749 \leq$$

$v_2 \leq 0.005991) \cap (0 \leq v_3 \leq 0.000111)$ 로 판별하였다.

이상의 불변모멘트를 이용하여 ROI를 구하면 다음 그림 3.6과 같이 나타났다. 이 그림에서와 같이 부품 A의 경우는 불필요 영역이 모두 제거되었으나 부품 B는 반원형 분할영상 이외에 좌측 상단부에 불필요한 분할영상이 아직도 남아 있다. 더군다나 조명등 외부의 환경이 다소 변하거나 코어 색상이 다른 경우에는 그림 3.7과 같이 우측 상단부에도 불필요 영역이 나타났다. 따라서 이것을 제거하기 위한 추가의 처리가 필요하였다.

3.5.3 불필요 영역의 제거

반원형과 유사한 불변모멘트를 갖기 때문에 앞 절의 불변모멘트를 이용하여도 구별되지 않는 영상영역이 있으면 이는 얻고자 하는 대상이 아니므로 이를 확실히 제거하여야만 한다. 이를 위하여 사용된 방법은 모멘트로 추출된 분할영상이 3개 이상이면 (2개라면 두 개의 반원만으로 이루어 있으므로 불필요한 영역이 없는 것으로 간주하여 이 과정을 생략함) 이미 실험적으로 정립되어 있는 두 반원형 영상간의 거리를 기준치로 하여 각 영역의 무게중심간의 직선거리를 비교하는 것이다. 각각의 2개의 영역간의 거리가 다음에 정의된 것과 같이 기 설정된 거리의 유효범위에 드는지를 판단하여 이에 부합되는 영역 쌍을 최종 반원형 영상으로 선정

Table. 3.2 Average and standard derivation of the invariant moments for the half-circle images.

| item | invariant moment | | | |
|-------------------|------------------------|---------|---------|---------|
| | v_1 | v_2 | v_3 | |
| upper half-circle | average(\bar{x}_u) | 0.04017 | 0.00205 | 0.00002 |
| | standard(σ_u) | 0.00478 | 0.00051 | 0.00003 |
| lower half-circle | average(\bar{x}_l) | 0.03824 | 0.00182 | 0.00001 |
| | average(σ_l) | 0.00577 | 0.00049 | 0.00001 |

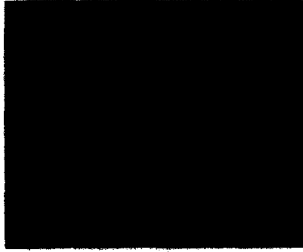


Fig. 3.7 One of the worst-case examples for interested, the part A

한다.

영역간 설정거리의 유효범위 = 평균거리 ± 표준편차 = 50 ± 10 (pixel)

만약에 기 설정된 거리의 유효범위 내에 드는 영역 쌍이 2개 이상이면, 그 중에서 분할영상의 특징이 가장 유사한 두 개를 선별해 내는 문제이므로, 각 영역 쌍의 유사도가 가장 높은 것만을 선정한다. 유사도는 영역 쌍의 두 분할영상간의 면적의 차이, 불변모멘트의 차이, 모멘트로부터 구한 각도의 차이 및 두 분할영상간 거리의 加重重으로 표현되며 그 수치가 작을수록 유사성이 큰 것으로 해석된다. 분할된 영상k와 영상j의 유사도는 S_{kj} 는 다음과 같이 정의된다:

$$S_{kj} = W_1 * |A_k - A_j| + W_2 * |v_{1k} - v_{1j}| + W_3 * |v_{2k} - v_{2j}| + W_4 * |\theta_k - \theta_j| + W_5 * d_{kj}$$

여기서 W_i = 분할영상의 특징 i 에 대한 가중치 $i=1, \dots, 5$;

- A_k = 분할영상 k의 면적(화소수);
- v_{ik} = 분할영상 k의 불변모멘트 $v_i, i=1, 2$;
- θ_k = 식(3.2)로 표현되는 중심각;
- d_{kj} = 분할영상의 무게중심간의 직선거리(유클리드 거리)를 의미한다. 가중치 W_i 는 다수의 실험을 거쳐 구한 $W_1 = 1, W_2 = 1000, W_3 = 5000, W_4 = 50, W_5 = 1$ 을 사용하였다. 이상에서 구한 분할영상간의 유사도중 가장 작은 값을 갖는 두 분할영상의 조합만을 남기면 그것이 구하고자 하는 의미 있는 분할영상이 된다. 다음 그림 3.8은 그림 3.7에서 의미 없는 분할영상을 제거한 결과를 나타내고 있다.

3.6 중심 위치 및 각도 검출

마지막으로 추출된 2개의 분할영상으로부터 부품중심의 위치는 간단히 2개의 분할영상의 중심간의 연결선으로부터 이등분 지점으로 하였다. 즉, 위



Fig. 3.8 Final core images obtained by using the similarity analysis.

쪽과 아래쪽에 위치한 반원형 이미지의 중심좌표가 각각 $(x_u, y_u), (x_l, y_l)$ 이라면, 조정 대상 부품의 중심점의 좌표는

$$C(x, y) = \left(\frac{x_u + x_l}{2}, \frac{y_u + y_l}{2} \right) \quad (3.3)$$

이 된다. 이러한 중심위치를 가지고 실제로 조정봉을 이용하여 조정을 시행한 결과, 부품을 조정하는데 아무 무리가 없었다. 물론 이와 같이 간단한 방법 이외에도 보다 세련되고 논리적인 절차를 이용하여 정밀한 중심위치를 찾아낼 수도 있을 것이다. 그러나, 다음 절의 성능평가에 기술한 바와 같이 식(3.3)에 의해서 구한 중심위치가 실용상에 충분한 정밀도와 신뢰도를 제공하는 것으로 평가되었다. 다음으로 부품의 각도를 구하기 위하여 우선 두 개의 반달형 분할영상의 중심점을 지나는 법선의 기울기인

$$\theta_o = -\frac{2}{\pi} \tan^{-1} \frac{|y_u - y_l|}{|x_u - x_l|} \quad (3.4)$$

로 추정하였다. 그러나 영상처리과정에서 대상영상이 매우 열악하고 불균일하여 반달형 형상이 일그러지면 ± 5° 정도의 오차가 발생하였다. 따라서 더욱 정확한 각도를 얻기 위하여, 식(3.3)으로 추정된 중심점을 지나면서 식(3.4)의 각도를 나타내는 직선으로부터 그림 3.9와 같이 모두 2n개(각 반원형 영상에 n개씩)의 점인 $PA_1, PA_2, PA_3, \dots, PA_n, PB_1, PB_2, PB_3, \dots, PB_n$ 을 구하였다(지정 개수와 간격은 실험적으로 지정함). 이 점들은 중심점을 지나는 직선상의 n개의 점 PC_1, PC_2, \dots, PC_n 의 각각에 대하여 그 직선과 수직인 선과 만나는 좌우의 반원형 영상상의 점들이다. 여기서 A는 상부 영상을, B는 하부 영상을 의미한다. 이러한 점들을 가지고 직선식 추정에 많이 쓰이는 기법중의 하나인 Hough 변

환[7]을 이용하여 현재 각도로부터 -5° 에서 $+5^\circ$ 까지 1도 간격의 해상도로 앞서 대략적으로 추정된 직선식을 보정하였다. 이와 같이 2개의 반원형 영상의 외곽선상에 있는 모든 점들을 사용하지 않고 직선식 추정에 결정적인 부위에 있는 점들만을 추출하여 이용하였기 때문에 계산시간이 대폭 단축되며 변환 및 탐색영역이 줄어들어 컴퓨터 기억용량이 최소화되는 장점이 있다.

이상과 같은 절차를 통하여 검출된 중심점과 중심각도를 조정대상부품의 원시영상 위에 도시하여 보면 그림 3.10과 같이 중심점과 중심각도가 정확히 검출됨을 알 수 있다.

4. 성능 평가

이상에서 구현한 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 성능평가를 실시하였다. 전자 튜너에 사용되는 조정대상부품 중 흑색, 적색, 녹색, 백색 코어를 가진 부품을 (100, 100)픽셀씩 이동시켜 서로 다른 환경을 갖도록 하면서 각각 10회씩 총 40회를 심좌표와 회전각도를 추정하고 처리시간을 측정하였다. 대상부품은 색상별로 일정한 회전각을 가지고 중심좌표 좌표의 이동간에는 오차가 없는 것으로 설정하였다. 실험결과 실제로 추정한 중심점과 각도와 영상처리시간이 표4.1에 주어지고 그 결과가 표 4.2와 같이 정리되었다. 표에서 x, y 방향에 대한 -와 + 부호의 의미는 기준치로부터의 차이에 대한 부호를 의미한다. 또한 오차의 평균은 오차가 0인 경우를 -와 +의 2방향으로 2등분하여 계산하였다.

우선, 직선거리에 대한 최대오차는 0.52(14.14 pixels)mm이고, 오차의 평균과 표준편차가 각각 0.14(3.84 pixels), 0.10(2.67 pixels)mm로서 양호한 것

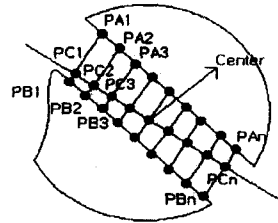


Fig. 3.9 The roughly estimated center line and the boundary points of two half-circles.

으로 평가되었다. 한편 자동조정시스템의 요구정밀도는 $\pm 0.5\text{mm}$ 이므로 중심위치의 최대 추정오차는

$$\begin{aligned} \bar{x}_d + 3\sigma_d &= 0.14 + 3 \times 0.1 \\ &= 0.44 < 0.5\text{mm} \end{aligned}$$

이므로 중심위치가 요구정밀도내에 있을 확률은 99.87%에 달한다. 여기서 통계적 outlier에 해당되는 11번째 추정결과인 최대절대오차 0.52mm는 요구정밀도와 거의 차이가 없다. 이것으로 볼 때 본 연구에서 제시된 방법에 의한 중심값의 추정精度는 매우 양호한 것으로 판단된다.

한편, 회전각도 추정결과를 최대 절대오차가 5° 이고, 오차의 평균은 -방향과 + 방향으로 각각 1.04° 와 1.22° 로 나타났고 표준오차는 각각 1.26° 와 0.88° 였다. 조정대상부품의 조정홀의 크기가 $4.5 \times 1.1\text{mm}$ 이고 드라이브 팁의 크기가 $3.5 \times 0.3\text{mm}$ 이므로 회전각도의 요구정밀도는

$$\theta_s = \tan^{-1}\left(\frac{1.1 - 2 \times 0.3}{3.5}\right) = 8.13^\circ$$

이다. 그런데, 회전각도의 추정오차는 -방향으로

$$\bar{x}_\theta + 3\sigma_\theta = 1.04 + 3 \times 0.88 = 3.68^\circ$$



(a) Part A.



(b) Part B.

Fig. 3.10 The estimated center points and groove lines.

이고 + 방향으로는

$$\bar{x}_\theta + 3\sigma_\theta = 1.22 + 3 \times 1.26 = 5.0^\circ$$

으로서 모두 요구정밀도보다 현저히 작고 최대 절대오차 또한 요구정밀도보다 작으므로 회전각의 추정 精度도 매우 양호한 것으로 평가된다.

한편 처리시간은 평균 2.28초, 표준편차 0.37초로 다소 크게 나타났다. 튜너자동조정기의 순수조정시간이 부품당 6초이고 일반적인 제조라인의 조정공정에서 cycle time이 15초에서 30초이므로 실용화에는 무리가 없는 것으로 판단되나 중심위치와 회전각도의 추정은 비부가가치 요소이므로 소요시간을 줄이기 위한 추가의 연구가 필요한 것으로 생

Table 4.1 Experimental results obtained from real specimens.

| NO | 영상 | 중심좌표(pixel) | | | | | 회전각도(deg) | | | | | 처리 시간(초) |
|----|--------|-------------|------|----|-----|-------|-----------|-----|-------|-----|--|----------|
| | | X우정치 | Y우정치 | ΔX | ΔY | Δd | θ우정치 | 실제θ | Δθ | | | |
| 1 | 육선 #1 | 103 | 94 | 3 | -6 | 6.71 | 53 | 54 | -1.00 | 2.6 | | |
| 2 | 육선 #2 | 101 | 101 | 1 | 1 | 1.41 | 55 | 54 | 1.00 | 2.6 | | |
| 3 | 육선 #3 | 99 | 101 | -1 | 1 | 1.41 | 55 | 54 | 1.00 | 2.7 | | |
| 4 | 육선 #4 | 100 | 99 | 0 | -1 | 1.00 | 56 | 54 | 2.00 | 2.4 | | |
| 5 | 육선 #5 | 92 | 106 | -8 | 6 | 10.00 | 53 | 54 | -1.00 | 2.5 | | |
| 6 | 육선 #6 | 101 | 96 | 1 | -4 | 4.12 | 53 | 54 | -1.00 | 2.5 | | |
| 7 | 육선 #7 | 101 | 101 | 1 | 1 | 1.41 | 53 | 54 | -1.00 | 2.6 | | |
| 8 | 육선 #8 | 101 | 105 | 1 | 5 | 5.10 | 53 | 54 | -1.00 | 2.3 | | |
| 9 | 육선 #9 | 102 | 106 | 2 | 6 | 6.32 | 59 | 54 | 5.00 | 2.8 | | |
| 10 | 육선 #10 | 98 | 95 | -2 | -5 | 5.38 | 54 | 54 | 0.00 | 2.7 | | |
| 11 | 직선 #1 | 98 | 86 | -2 | -14 | 14.14 | 29 | 30 | -1.00 | 2.3 | | |
| 12 | 직선 #2 | 100 | 109 | 0 | 9 | 9.00 | 27 | 30 | -3.00 | 2.3 | | |
| 13 | 직선 #3 | 101 | 100 | 1 | 0 | 1.00 | 28 | 30 | -2.00 | 2.4 | | |
| 14 | 직선 #4 | 103 | 101 | 3 | 1 | 3.16 | 29 | 30 | -1.00 | 2.2 | | |
| 15 | 직선 #5 | 97 | 98 | -3 | -2 | 3.61 | 30 | 30 | 0.00 | 2.3 | | |
| 16 | 직선 #6 | 101 | 103 | 1 | 3 | 3.16 | 30 | 30 | 0.00 | 2.3 | | |
| 17 | 직선 #7 | 97 | 99 | -3 | -1 | 3.16 | 31 | 30 | 1.00 | 2.2 | | |
| 18 | 직선 #8 | 100 | 99 | 0 | -1 | 1.00 | 29 | 30 | -1.00 | 2.3 | | |
| 19 | 직선 #9 | 103 | 102 | 3 | 2 | 3.61 | 30 | 30 | 0.00 | 2.4 | | |
| 20 | 직선 #10 | 97 | 98 | -3 | -2 | 3.61 | 32 | 30 | 2.00 | 2.2 | | |
| 21 | 육선 #1 | 99 | 95 | -1 | -5 | 5.10 | -54 | -56 | 2.00 | 2.6 | | |
| 22 | 육선 #2 | 102 | 103 | 2 | 3 | 3.61 | -57 | -56 | -1.00 | 2.5 | | |
| 23 | 육선 #3 | 101 | 99 | 1 | -1 | 1.41 | -56 | -56 | 0.00 | 2.6 | | |
| 24 | 육선 #4 | 102 | 98 | 2 | -2 | 2.83 | -57 | -56 | -1.00 | 2.5 | | |
| 25 | 육선 #5 | 100 | 101 | 0 | 1 | 1.00 | -55 | -56 | 1.00 | 2.4 | | |
| 26 | 육선 #6 | 98 | 97 | -2 | -3 | 3.61 | -56 | -56 | 0.00 | 2.7 | | |
| 27 | 육선 #7 | 101 | 102 | 1 | 2 | 2.24 | -58 | -56 | -2.00 | 2.6 | | |
| 28 | 육선 #8 | 97 | 96 | -3 | -4 | 5.00 | -56 | -56 | 0.00 | 2.6 | | |
| 29 | 육선 #9 | 98 | 96 | -2 | -4 | 4.47 | -54 | -56 | 2.00 | 2.6 | | |
| 30 | 육선 #10 | 102 | 101 | 2 | 1 | 2.24 | -56 | -56 | 0.00 | 2.5 | | |
| 31 | 백선 #1 | 100 | 94 | 0 | -6 | 6.00 | 33 | 36 | -3.00 | 1.7 | | |
| 32 | 백선 #2 | 100 | 104 | 0 | 4 | 4.00 | 38 | 36 | 2.00 | 1.8 | | |
| 33 | 백선 #3 | 100 | 96 | 0 | -4 | 4.00 | 37 | 36 | 1.00 | 1.6 | | |
| 34 | 백선 #4 | 101 | 95 | 1 | -5 | 5.10 | 36 | 36 | 0.00 | 1.6 | | |
| 35 | 백선 #5 | 102 | 98 | 2 | -2 | 2.83 | 35 | 36 | -1.00 | 1.7 | | |
| 36 | 백선 #6 | 100 | 102 | 0 | 2 | 2.00 | 38 | 36 | 2.00 | 1.7 | | |
| 37 | 백선 #7 | 97 | 101 | -3 | 1 | 3.16 | 36 | 36 | 0.00 | 1.8 | | |
| 38 | 백선 #8 | 100 | 98 | 0 | -2 | 2.00 | 36 | 36 | 0.00 | 1.7 | | |
| 39 | 백선 #9 | 99 | 101 | -1 | 1 | 1.41 | 35 | 36 | -1.00 | 1.8 | | |
| 40 | 백선 #10 | 101 | 97 | 1 | -3 | 3.16 | 34 | 36 | -2.00 | 1.6 | | |

Table 4.2 Summary of the experiment.

| 구분 | Error | | | | | | | | | | Error of rotation degree (°) | Processing (sec) | |
|-----------------------|------------------------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|------------------------------|------------------|------|
| | pixel | | | | | mm | | | | | | | |
| | ΔX | ΔY | Δd | ΔX | ΔY | Δd | ΔX | ΔY | Δd | Δθ | | | |
| average | 1.26 | -1.85 | 2.63 | -3.5 | 3.84 | 0.05 | -0.07 | 0.10 | -0.15 | 0.14 | 1.22 | -1.0 | 2.28 |
| maximum | 3 | -8 | 9 | -14 | 14.1 | 0.11 | -0.25 | 0.33 | -0.51 | 0.52 | 5 | -3 | 2.8 |
| minimum | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.04 | 0 | 0 | 1.6 |
| standard deviation | 0.96 | 1.93 | 2.36 | 2.92 | 2.7 | 0.04 | 0.07 | 0.09 | 0.11 | 0.10 | 1.26 | 0.8 | 0.37 |
| pixel size (mm/pixel) | x : 0.0367, y : 0.0364 | | | | | | | | | | | | |

각된다. 이를 위해서는 실시간으로 처리할 수 있는 머신비전의 하드웨어적인 접근이 필요한 것으로 보인다.

5. 결론

본 연구에서는 카오디오나 TV용으로 사용되는 전자튜너의 검사 조정작업을 자동화하기 위하여, 조정대상부품의 영상을 CCD카메라를 통하여 획득하고 컴퓨터영상처리를 통하여 부품의 실제 위치와 조정점의 회전된 각도를 검출할 수 있는 자동보정 시스템을 구축하고 이에 필요한 조정봉과 조정대상 부품의 위치와 각도편차를 보정하는 해법을 제시하였다. 본 연구를 통하여 개발된 자동보정시스템은 전자튜너 등 부품이 실장된 PCB 자동조정기의 위치보정은 물론 각종 로봇 매니플레이트의 위치보정에도 응용이 가능할 것이다. 이를 위해서는 실시간으로 영상을 처리할 수 있는 고속 프레임그래버를 사용하여야 할 것이다.

참고문헌

1. 양재호, 이상호, "고정밀 파형검사조정기의 개발," 「韓國精密工學會誌」, Vol. 12, No. 13, pp. 21-27, 1995.
2. 이상호, 양재호 외, "파형검사조정기 개발," 「상공자원부 고속고정밀회로측정 기술개발에 관한 연구보고서」, Vol. 2, pp. 126-298, 1994.
3. 丁鴻奎, 朴來弘, "SMD 및 PCB의 방향과 위치탐지," 「電子工學會誌」, Vol. 31, 편 B, No. 3, pp. 281-291, 1994.
4. 주일권 등, "전자제품 생산공정의 자동검사조정 시스템," 「제 1회 G7 첨단생산시스템 WORKSHOP」, 생산기술연구원, pp. 270-275, 1993.
5. Gonzalez, R. C., and Woods, R. E., Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
6. Hu, M. K., "Visual Pattern Recognition by Moment Invariants," IRE Trans. Info. Theory, Vol. IT-8, pp. 179-187, 1962.
7. Ker, J. I., Chen, F. F., and Lu, J., "A Quick Hough Transform Parameter Search Algorithm for Flexible Part Inspection," Journal of Manufacturing Systems, Vol. 15, No. 6, pp. 404-418, 1996.