

논문 2009-46SC-4-8

히스토그램 변환을 사용하여 정확도를 향상시킨 외관 Vision 검사 방법

(Visual Inspection Method Which Improves Accuracy By using
Histogram Transformation)

한 광 희*, 허 경 무**

(Kwang-hee Han and Kyung-moo Huh)

요 약

각종 전자 제품 및 부품의 외관 검사는 인간의 시력에 의해 이루어졌다. 외관 검사는 LCD Panel, flexible PCB 및 다른 여러 가지 전자부품에 적용되어진다. 전자 제품의 외관검사를 사람의 시력에 의존할 경우 작고 미세한 전자 제품은 검사자의 신체와 정신에 따라 검사 결과가 변화하기 때문에 안정적인 결과를 기대 할 수 없다. 머신비전 시스템은 이러한 문제가 발생되지 않는다. 따라서 머신 비전 시스템은 현재 여러 외관 검사 분야에서 사용되어지고 있다. 하지만 머신 비전 시스템에 의한 자동 검사는 작업장의 조명에 의한 영향을 많이 받는다. 본 논문에서는 이러한 영향을 극복하기 위한 방법으로 히스토그램변환을 이용한 머신비전 검사의 정확성 향상 방법을 제안한다.

Abstract

The appearance inspection of various electronic products and parts was executed by the eyesight of human. The appearance inspection is applied to the most electronic component of LCD Panel, flexible PCB and remote control. If the appearance of electronic products of small and minute size is inspected by the eyesight of human, we can't expect the stable inspection result because inspection result is changed by condition of physical and spirit of the checker. Therefore currently machine vision systems are used to many appearance inspection fields instead of inspection by human. The many problems of inspection by the checker are not occurred in machine vision circumstance. However, the inspection by automatic machine vision system is mainly influenced by illumination of workplace. In this paper, we propose a histogram transform method for improving accuracy of machine visual inspection.

Keywords : Histogram transformation, Illumination, Accuracy, Inspection

I. 서 론

생산 현장에서 각종 전자 부품과 제품의 외관 검사는

사람의 시각에 의해 이루어지고 있다.

이러한 외관 검사는 LCD Panel, Flexible PCB, 전자 제품에 사용되는 리모컨 등 거의 모든 전자 제품 및 부품에 적용되고 있다^[1]. 또한 크기가 미세하고 복잡한 구성을 가지고 있는 전자 제품 일수록 외관 검사의 중요성은 크다고 할 수 있을 것이다. 크기가 미세하고 복잡한 구성을 가지고 있을수록, 제조 공정에서 불량품이 만들어질 가능성이 높기 때문이다.

이렇게 미세하고 복잡한 구성을 가지고 있는 전자 제품의 외관을 사람의 시각에 의해 검사한다면, 검사자의 육체적, 정신적 상태에 따라 일정하지 않은 결과를 초

* 학생회원, 단국대학교 전자·전기공학과
(Department of Electronic & Electrical Engineering
Dankook University)

** 정회원, 단국대학교 공학대학 전자공학과
(Department of Electronic Engineering Dankook
University)

* 이 연구는 단국대학교 대학원 연구보조장학금의 지원으로 이루어진 것임

접수일자: 2009년3월26일, 수정완료일: 2009년7월2일

래하게 된다. 즉 불량 판정 오류의 가능성이 큰 것이다. 또한 불량 판정 오류 뿐만 아니라 검사 시간이 일정하지 않으므로 대량 생산되는 전자 제품의 생산성에도 나쁜 영향을 미치게 된다.

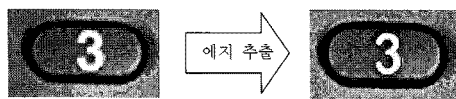
따라서 현재 사람에 의한 외관 검사 대신 머신 비전에 의한 검사 방법이 광범위하게 적용되고 있으며, 사람의 시각에 의해 검사가 수행됐을 때 발생할 수 있는 많은 문제점들이 머신 비전 환경에서는 발생하지 않고 있다. 결과적으로 전자 제품의 신뢰성 및 생산성이 향상되고 있는 것이다.

하지만 자동화된 머신 비전에 의한 검사는 작업장의 환경, 특히 조명에 아주 큰 영향을 받고 있다. 미세한 조명의 변화는 머신 비전 시스템에 입력되는 이미지의 픽셀값 변화로 나타나고, 이런 이미지를 분석하는 비전 시스템은 불량 판정의 오류를 일으킬 수밖에 없는 것이다. 이에 본 논문에서는 검사 환경에 영향을 받지 않고, 일정한 검사 결과를 얻을 수 있는 비전 검사 시스템을 만들기 위해, 히스토그램 변환 기법(Histogram Transformation Method)을 제안하였다.

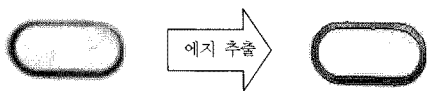
또한 본 논문에서 제안한 히스토그램 변환에 의한 조명 영향의 감소를 실제 비전 검사 환경에서 검증해 보고자, 리모컨 외관 검사를 실시하였다.

II. 에지 기반 검사 방법

거의 대부분의 머신 비전 검사 시스템은 시스템 구성 초기에 정상적인 검사 모델의 이미지를 저장해 놓는다. 그런 다음 계속 생산되고 있는 검사 모델을 카메라로 캡처하고, 시스템 구성 초기에 저장해 놓은 이미지와 카메라로 캡처한 이미지의 차이를 비교, 분석하는 방법으로 외관을 검사한다. 이때 분석하는 방법은 에지 기



(a) Normal edge of Reference Image model.



(b) Abnormal edge by Illumination change.

그림 1. 버퍼에 저장된 모델 예

Fig. 1. Model example which is stored in the buffer.

반 방법이 많이 사용된다.

만약 조명의 변화 등 외적 요인에 의해서 입력 이미지의 에지가 변한다면 머신 비전 시스템은 검사 오류를 일으킬 것이다.

본 논문에서는 시스템 구성 초기에 저장된 이미지를 Reference Image라고 정의했고, 검사하기 위해서 카메라로 캡처된 이미지를 Input Image라고 정의했다.

그림 1 (a)는 시스템 구성 초기 버퍼에 저장된 Reference Image 모델을 나타낸다. 또한 그림 1 (b)는 조명 변화 때문에 약해진 Input Image 모델 에지의 예를 보여준다.

기존 검사 방법에서는 Reference Image의 리모컨 외관을 버튼과 문자로 각각 모델링하고, 에지를 추출한 후 버퍼에 저장한다. 그리고 검사대상인 Input Image와 버퍼에 저장된 에지 모델들을 비교하여 차이를 분석하는 방법으로 외관불량을 검사하였다.

이러한 기존의 에지 기반 검사 방법은 조명 변화 등에 의해서 검사 대상 이미지의 에지가 변한다면, 정확한 오류 검출을 할 수 없는 단점이 있었다. 본 논문에서는 이런 기존 검사 방법의 단점을 보완하고자, 히스토그램 변환 알고리즘을 제안한 것이다.

III. 리모컨 외관 검사 시스템

그림 2는 리모컨 외관 검사 시스템의 전체 흐름도이다. 리모컨 검사 시스템에서 검사할 구체적 내용은 리

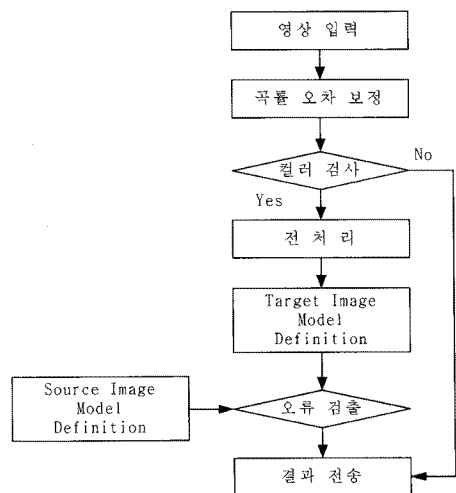


그림 2. 리모컨 외관 검사시스템 흐름도.

Fig. 2. Remote control inspection system flow chart.

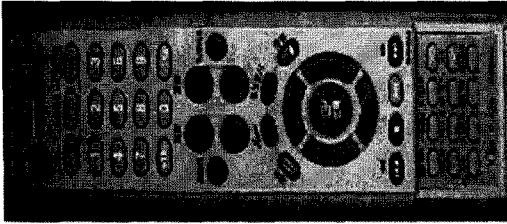


그림 3. 검사 대상 리모컨

Fig. 3. The remote control which is used to inspection.

모컨 버튼의 유무, 모양, 색깔의 이상 유무이다. 이러한 검사 내용은 컬러불량 검출과 외관불량 검출로 나눌 수 있고, 컬러불량 검출은 리모컨에 있는 컬러로 도색된 버튼을 R, G, B값을 이용해서 불량을 검출하는 것이다. 컬러불량을 검출하는데 있어서 정량화된 R, G, B값을 사용함으로써 판별기준을 객관화하는데 노력하였다.

또한 외관불량 검사에서는 Reference Image의 리모컨 외관을 버튼과 문자로 각각 모델링하고, 에지를 추출한 후 버퍼에 저장한다. 그리고 검사대상인 Input Image와 버퍼에 저장된 에지 모델들을 비교하여 차이를 분석하는 방법으로 외관불량을 검사하였다.

그림 3은 외관 검사에 사용된 리모컨의 사진이다.

IV. 제안하는 외관 검사 방법

가. 히스토그램 변환 개요

히스토그램이란 영상의 밝기(Intensity)값을 수평축으로 하고, 그 값에 대응되는 픽셀수가 영상 내에서 몇 개나 되는지 나타내는 빈도수(Frequency)를 수직축으로 만든 그래프로서, 일반적인 흑백영상의 경우 수평축은 "0"부터 "255"의 범위를 가지며 수직축은 영상의 크기와 밝기의 분포에 따라 달리 나타나게 된다. 히스토그램은 영상분석을 위한 중요한 도구로써, 입력되는 영상의 히스토그램을 분석해서 영상의 밝기 구성, 명암의 대비 등에 대한 정보를 알 수 있으며, 이러한 분석 정보를 이용하여 영상개선 및 화질 향상을 위한 출발점으로 사용할 수 있다^[2~4].

또한 처리된 영상이 우리가 바라는 히스토그램의 형태로 명시할 수 있는 것은 때때로 매우 유용하다^[5,6]. 즉 머신 비전 시스템에서 미세한 조명 변화에 의한 영상 변화는 히스토그램의 변화로 수치화 할 수 있고, 이렇게 변화된 히스토그램을 우리가 원하는 형태로 지정한다면 미세한 조명의 변화에 대응할 수 있는 검사 시스

템을 구성할 수 있다.

다시 말하자면, 검사 환경 때문에 변화된 Input Image의 히스토그램을 Reference Image의 히스토그램과 똑같이 정합시킨다면 검사 정확도를 높일 수 있는 것이다.

하지만 히스토그램은 픽셀들의 영상 내 위치 정보를 가지고 있지 않고, 디지털 이미지의 고유 특성인 양자화 에러를 가지고 있다. 따라서 영상의 크기가 커지면 히스토그램 정합의 정확도가 많이 낮아 진다. 이에 본 논문에서는 이미지의 영역을 나눠서 히스토그램 정합을 한 후, 비전 외관 검사하는 기법을 제안한 것이다.

히스토그램 지정을 수행하기 위해서는 우선 영상 히스토그램의 정규화를 수행해야 한다. 우리는 디지털화된 이미지를 사용하기 때문에 히스토그램의 정규화는 쉽게 구할 수 있다.

식 (1)을 사용해서 Reference Image의 정규화합 연산을, 식 (2)를 사용해서 Input Image의 히스토그램 정규화합 연산을 수행한다.

$$r(k_m) = \sum_{j=0}^m R(g_j) \quad m = 0, 1, 2, \dots, 255 \quad (1)$$

$$i(l_n) = \sum_{j=0}^n I(g_j) \quad n = 0, 1, 2, \dots, 255 \quad (2)$$

식 (1)에서 $R(g)$ 는 Reference Image의 히스토그램을 식 (2)에서 $I(g)$ 는 Input Image의 히스토그램을 의미한다.

정규화합 연산을 수행하면 히스토그램의 모양이 단순 증가함수 모양으로 바뀌게 된다. 그리고 Input Image 히스토그램의 정규화합 $i(l_0)$ 에 대해서 식 (3)을 만족하는 $r(k_m)$ 을 찾고, 이 때의 k_m 값을 l_0 대신 넣어 준다. 이런 과정을 l_{255} 까지 반복하면 히스토그램 지정 연산이 완료된다.

$$\begin{aligned} i(l_0) - r(k_m) &\cong 0 & (m = 0, 1, 2, \dots, 255) \\ i(l_1) - r(k_m) &\cong 0 & (m = 0, 1, 2, \dots, 255) \\ &\vdots \\ i(l_{255}) - r(k_m) &\cong 0 & (m = 0, 1, 2, \dots, 255) \end{aligned} \quad (3)$$

그림 4는 히스토그램 지정의 그래픽적 설명이다. Reference Image와 Input Image의 정규화합 히스토그램에서 수직축으로 같은 값을 갖는 Reference Image의 그레이 값과 Input Image의 그레이 값을 구하고, Reference Image의 그레이 값을 Input Image의 그레이

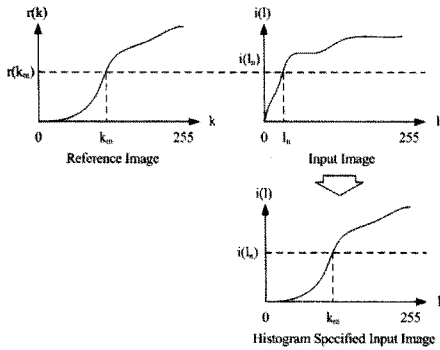


그림 4. 히스토그램 지정 연산 과정
Fig. 4. The histogram specification process.

값으로 바꾸는 과정을 보여 주고 있다.

하지만 이런 히스토그램 지정 연산의 경우, 영상의 해상도에 따른 정확도 문제와 디지털 영상의 양자화 에러를 극복할 수 없고, 이에 본 논문에서는 영역 다분할 히스토그램 지정 기법을 제안하였다.

나. 영역 다분할 히스토그램 지정

히스토그램은 각 픽셀들의 영상 내부 위치정보를 갖고 있지 않다. 즉 “40” Gray값을 가지는 픽셀이 영상의 (24, 50), (54, 120)에 위치해 있을 때, 히스토그램에서는 위치를 구별하지 않고 단지 “40” Gray값을 가지는 픽셀이 두 개 있는 것으로 판별한다^[7-8].

따라서 이미지 사이즈가 커지면 히스토그램 지정 연

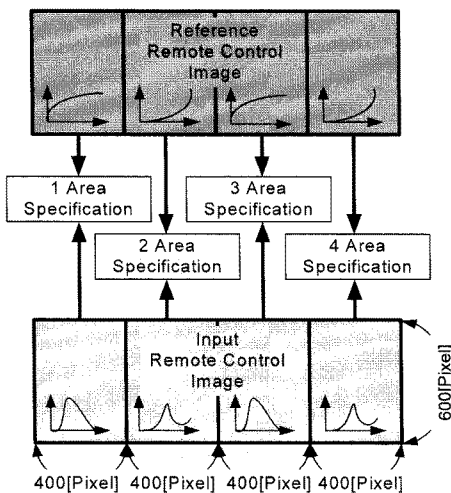


그림 5. 영역 다분할 히스토그램 지정
Fig. 5. Area separation histogram specification.

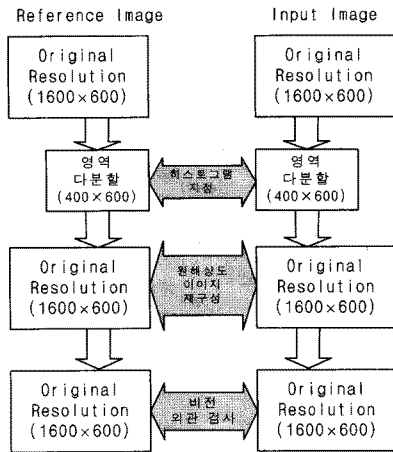


그림 6. 제안한 알고리즘의 흐름도
Fig. 6. The flow of Proposed Algorithm.

산의 정확도가 상당히 떨어지는 문제점이 있고 실험 결과, 크기가 400×600픽셀 이상인 이미지에서는 히스토그램 지정 연산의 정확도가 상당히 떨어지는 것을 알 수 있었다.

이에 본 논문에서는 400×600픽셀을 히스토그램 지정 가능 영역으로 정의하고, Reference Image와 Input Image가 400×600보다 클 경우, 이미지를 400×600으로 나눠서 히스토그램 지정 연산을 수행하는 영역 분할 히스토그램 지정 기법을 제안하였다.

그림 6은 본 논문에서 제안한 알고리즘의 전체적인 흐름을 나타내고 있다. Reference Image는 시스템 구성 초기에 저장돼 있고, Input Image는 카메라를 통해서 캡처한다. 그 다음 픽셀들의 영상 내 위치정보를 가지고 있지 않고, 양자화 에러를 가지고 있는 히스토그램 고유의 특성^[9-10]을 극복하고자, 영역을 나눈 후 히스토그램 지정을 한다. 지정 후, 다시 원해상도 영상을 만들고 마지막으로 비전 외관 검사를 실시한다.

본 논문에서는 검사 대상의 이미지를 입력받은 후, 비전 검사 정확도를 높이고, 좀 더 정확한 비전 검사를 위해서 영역 다분할 히스토그램 지정 연산을 수행했다. 또한 마지막으로 이런 알고리즘을 검증해 보고자 리모컨 외관 검사를 수행했다.

V. 실험

본 논문에서 제안한 알고리즘을 실험적으로 검증하기 위해서 리모컨 외관 검사를 실시하였다. 즉 조명 조



그림 7. 버퍼에 저장된 버튼과 문자 모델
Fig. 7. The model of buttons and text stored in buffer.

표 1. 비전 검사 어려움
Table 1. Vision inspection error rate

조도 [LUX]	검사 어려움[%]	
	기존 검사 방법	영역 다분할 히스토그램 지정 적용 검사 방법
2600	0	0
2800	1	0
3000	1	0
3200	0	0
3400	0	1
3600	1	0
3800	1	0
4000	0	1
4200	1	0
4400	2	0
4600	9	1
4800	13	1
5000	12	1
5200	13	1
5400	14	0
5600	14	1
5800	14	2
6000	14	4
6200	15	10

건에 인위적으로 변화를 주고, 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용했을 경우와 적용하지 않았을 경우의 비전 검사 정확도를 측정 및 비교하였다. 실제 리모컨 모델에는 이상이 없지만, 조명이 변함에 따라 리모컨 모델의 외관에 문제가 있는 것으로 판단할 때를 검사 어려움으로 정의하고, 제안한 알고리즘을 검증한 것이다.

리모컨 검사 시스템에서 검사할 구체적 내용은 리모컨 버튼의 유무, 모양, 글자 및 숫자의 이상 유무이다.

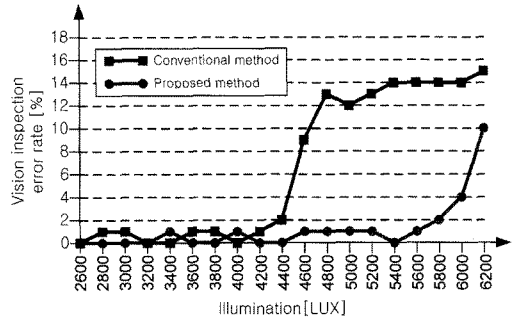


그림 8. 비전 검사 어려움 그래프
Fig. 8. The vision inspection error rate graph.

이러한 외관불량 검사에서는 Reference Image의 리모컨 외관을 버튼과 문자로 각각 모델링하고, 에지를 추출한 후 버퍼에 저장한다. 그림 7은 버퍼에 저장된 버튼과 문자 모델을 보여주고 있고, 모델 실험 영상의 개수는 99개이다. 그리고 검사대상인 Input Image와 버퍼에 저장된 Reference Image의 에지 모델들을 비교하여 차이를 분석하는 방법으로 외관불량을 검사하였다^[11].

조명을 2600[LUX]에서 6200[LUX]까지 200[LUX] 단위로 증가시키면서 검사 어려움율을 측정할 결과, 기존 검사 방법에서는 평균 6.6[%], 본 논문에서 제안한 영역 다분할 히스토그램 지정 기법을 적용했을 경우는 평균 1.2[%]의 검사 어려움율을 볼 수 있었다. 특히 영역 다분할 히스토그램 지정 기법을 적용한 검사에서는 조명의 변화에도 거의 일정한 검사 어려움율을 보였다. 그림 8은 표 1. 비전 검사 어려움의 직관적 이해를 위한 어려움의 그래프이다.

VI. 결 론

본 논문에서는 머신 비전 검사 시스템의 검사 결과에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 조명이라는 점에 착안하여, 일정하지 않은 조명 환경에서도 균일한 비전 검사 결과를 얻기 위한 알고리즘을 제안했다.

히스토그램 지정 연산의 경우, 각 픽셀의 영상 내 위치정보를 가지고 있지 않는 히스토그램 고유의 특성을 극복하고자, 저해상도에서 히스토그램 지정 연산을 수행했고 그 결과 향상된 비전 검사 정확도를 볼 수 있었다.

그리고 차후 각 픽셀의 영상 내 위치정보를 포함하는 히스토그램 정합 알고리즘을 개발한다면, 좀 더 정확한

연산을 할 수 있을 것으로 기대된다.

본 검사 알고리즘을 리모컨 외관 검사에 적용했을 경우, 조명의 변화에도 불구하고 항상 낮은 비전 검사 에러율을 볼 수 있었다. 즉 주파수 영역이 아닌 공간 영역에서의 간단한 조작을 통해서 검사 에러율이 많이 낮아진다는 것을 알 수 있었다.

결과적으로 이 알고리즘을 실제 생산 현장의 각종 전자 부품 및 제품의 비전 검사에 적용할 경우, 전자 제품 및 부품의 검사 품질과 생산성 향상을 기대할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 엄주진, "머신 비전을 이용한 ALC 블록 생산 공정의 자동 검사 시스템 개발", 단국대학교 석사학위 논문, 2003.
- [2] Randy Crane "A Simplified Approach To Image Processing" pp. 85-184.
- [3] Tamal Bose, Francois Meyer, "Digital Signal and Image Processing", John Wiley & Sons, pp. 599-612, 2003.
- [4] Maria Petrou and Panagiota Bosdogianni "Image Processing", pp. 265-282.
- [5] Weng, J, Cohen, P. and Herniou, M, "Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.14, No.10, pp. 965-980, 1992.
- [6] Scott E Umbaugh, Ph.D, "Computer Vision and Image Processing", Prentice Hall PTR, pp. 197-218, 1998.
- [7] Forsyth, David A, "Computer Vision : A Modern Approach", Prentice Hall, pp. 175-186, 2003.
- [8] Wesley E .Snyder and Hairong Qi "machine Vision", CAMBRIDGE, pp. 312-325, 2004.
- [9] Roberto Cristi, "Modern Digital Signal Processing", Thomson-Brooks/Cole, pp. 213-226, 2003.
- [10] CHChen & PSP Wang, "pattern Recognition and Computer Vision" 3rd ed, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, pp. 445-480, 2005.
- [11] "Matrox Inspector User Guide", version4, Matrox electronic System Ltd. 2002Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, pp. 2529-2532, Munich, Germany, May 1997.

저 자 소 개



한 광 회(학성회원)
 2006년 단국대학교 전자공학과 학사졸업.
 2008년 현재 단국대학교 전자공학과 석사과정 재학 중

<주관심분야 : 시스템 제어, 로봇 제어, 3차원 Display, Vision>



허 경 무(정회원)
 1979년 서울대학교 전자공학과 학사 졸업.
 1981년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업
 1989년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사 졸업

1993년~현재 단국대학교 전자공학과 교수,
 단국대 전자부품 검사자동화 지역혁신센터(RIC) 소장,
 대한전자공학회 시스템및제어 소사이터 부회장,

<주관심분야 : 시스템 제어, 머신 비전, 검사자동화, 로봇제어, 학습 제어>