http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2012.61.3.472

영상 클러스터링에 의한 인쇄회로기판의 부품검사영역 자동추출

논 문
61-3-19

Automatic Extraction of Component Inspection Regions from Printed Circuit Board by Image Clustering

김 준 오* · 박 태 형†
(Jun-Oh Kim · Tae-Hyoung Park)

Abstract - The inspection machine in PCB (printed circuit board) assembly line checks assembly errors by inspecting the images inside of the component inspection region. The component inspection region consists of region of component package and region of soldering. It is necessary to extract the regions automatically for auto-teaching system of the inspection machine. We propose an image segmentation method to extract the component inspection regions automatically from images of PCB. The acquired image is transformed to HSI color model, and then segmented by several regions by clustering method. We develop a modified K-means algorithm to increase the accuracy of extraction. The heuristics generating the initial clusters and merging the final clusters are newly proposed. The vertical and horizontal projection is also developed to distinguish the region of component package and region of soldering. The experimental results are presented to verify the usefulness of the proposed method.

Key Words : Printed Circuit Board (PCB), Assembly inspection, Auto-teaching system, Image segmentation, Clustering

1. 서 론

인쇄회로기판(PCB : printed circuit board) 에 전자부품을 자동으로 조립하는 PCB 조립라인은, 스마트폰, LED TV 등 최근 수요가 급증하는 IT 제품 생산의 핵심적인 공정을 담당한다. PCB 조립라인은 스크린프린터, 칩마운터, 리플로우어 및 조립 검사기 등의 자동화 장비로 구성되며, 이 중 조립 검사기는 부품 조립의 불량유무를 자동으로 판정하는 장비이다. XY 로봇에 부착된 카메라가 조립이 완료된 PCB 위를 이동하며 영상을 획득하고, 획득된 영상의 처리 및 분석을 통하여 부품의 조립 상태를 검사한다. 검사하는 항목은 부품의 미장착, 오장착, 틀어짐, 모로섬 등 부품의 장착 상태를 검사하는 부품검사와 과납, 소납, 들뜸, 단락 등 솔더링 상태를 검사하는 솔더링검사로 구분된다[1-3].

PCB 조립검사기의 작업프로그램은 검사를 수행할 영역의 위치 및 크기 데이터를 포함한다. 검사를 수행할 영역은 부품검사에 필요한 부품패키지 영역과 솔더검사에 필요한 솔더링 영역으로 구분된다. 그림 1은 부품 종류별 부품패키지 영역과 솔더링 영역의 예를 보여준다. 하나의 기판에는 수백 내지 수천 개의 부품이 존재하며, 하나의 부품 당 여러 개의 검사영역이 필요하므로, 모든 검사영역의 위치 및 크기를 수동으로 입력하는 티칭과정은 매우 많은 시간과 노력을 필요로 한다. 그러므로 장비의 작업준비시간을 단축시키기 위하여 자동티칭이 필요하며, 하루에도 여러 번 PCB 가 교체되는 PCB 조립라인의 생산성 향상에 큰 영향을 줄 수 있다.

자동티칭을 위하여 PCB 설계에 사용된 CAD 및 CAM 파일을 사용할 수 있다. 이들 설계 파일로부터 각 부품의 중심위치, 이름 및 크기 정보를 추출할 수 있으나, 가장 핵심적인 검사영역의 추출은 어렵다. 따라서 대부분의 PCB 조립검사기는 부품종류 별 검사영역을 데이터베이스로 구축하여 자동티칭에 활용한다. 그러나 데이터베이스를 구축을 위하여 모든 부품종류에 대한 각 검사영역의 측정 및 등록이 필요하므로 불편하고 시간이 많이 소요된다.

PCB 조립검사기의 자동티칭에 소요되는 시간을 단축시키기 위하여, PCB에서 획득한 영상을 직접 활용하는 방법이 개발되고 있다. 부품들이 정확하게 조립되어 있는 표준 PCB 에 대한 영상을 검사기의 카메라로 획득하고, 이 영상을 처리하여 각 부품 별 검사영역을 자동으로 찾아내는 방법이다. 별도의 데이터베이스가 필요 없으므로 빠르고 편리하게 티칭을 수행할 수 있다, 그러나 PCB 입력영상에 포함된 기판 배경, 실크선 등을 제외시키고 정확하게 검사영역을 추출하기 위해서는 복잡한 영상분리 알고리즘을 필요로 한다.

PCB 영상에서 부품검사영역을 자동으로 추출하기 위한 방법들이 발표되었다. 유전알고리즘을 이용한 템플릿 매칭 방법으로 부품패키지 영역을 추출하는 방법 [4], 색상에 대한 임계치를 이용하여 솔더링 영역을 추출하는 방법 [5] 이 제안되었다. 그러나 부품종류에 따라 템플릿이나 임계치에 대한 데이터베이스가 필요하므로, 별도의 등록시간을 필요로 하는 단점이 있다. HSI 색상모델을 사용하여 부품 패키지를 배경으로부터 분리하여 추출하는 방법 [6] 이 제안되었다. 그러나 다양한 색상의 부품종류에 일일이 대응하기 불편하고, 솔더링 영역을 추출하지 못하는 문제가 있다.

* 정 회 원 : 미래산업(주) 연구원
† 교신저자, 정회원 : 충북대학교 전자공학부 교수
E-mail : taehpark@cbnu.ac.kr
접수일자 : 2012년 1월 2일
최종완료 : 2012년 2월 24일

본 논문은 입력영상으로부터 원하는 객체의 영상을 식별하는 영상분할 방법을 적용하여, PCB 영상으로부터 부품검사영역을 추출하고자 한다. 차량의 번호판 추출 [7], 무인 주행을 위한 교통 표지판 추출 [8], 생체 인식을 위한 얼굴영역 추출 [9], 지폐에서의 보안용 패턴 추출 [10] 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 그러나 부품검사영역을 식별하기 위하여 본격적인 영상분할방법이 적용된 사례는 찾기 어렵다. 본 논문은 영상분할 방법 중 성능이 우수하여 널리 사용되는 클러스터링 기법을 적용하여, 부품검사영역을 자동으로 추출하는 새로운 알고리즘을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 부품검사영역 추출 방법은 다음의 단계로 구성된다, 전체 PCB 영상과 함께 CAD 파일 등으로부터 추출된 부품의 중심위치 데이터를 입력받아, 부품 별 영상을 추출한다. 추출된 부품 별 영상을 HSI 색상모델로 변환시키고, 클러스터링 알고리즘을 적용하여 부품 영역과 배경 영역을 분할시킨다. 부품 영역에 대한 수평 및 수직 투사를 통하여, 부품 패키지 영역과 솔더링 영역을 식별한다.

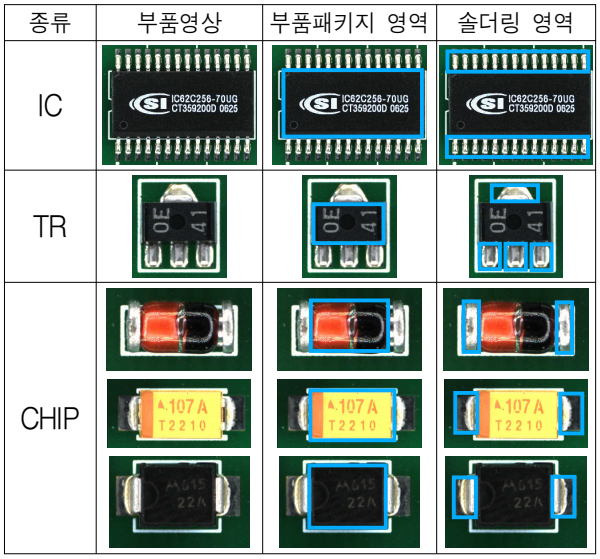


그림 1 부품검사영역의 예
Fig. 1 Examples of component inspection regions

2. 색상모델의 변환

카메라로부터 획득한 영상의 각 화소는 RGB 모델을 사용하여 표현되어 있다. 빛의 3원색인 빨강(R), 초록(G), 파랑(B) 로 색상을 표현하는 방법이나, 세 성분이 독립적이지 않아 색상분석에 사용하기 어렵고, 특히 외부 조명의 영향을 크게 받는 문제가 있다. 반면 HSI 모델은 색상(H), 채도(S), 명도(I) 로 색상을 표현하는 방법으로, 세 성분이 상호 독립적이며, 색상 성분의 경우 외부 조명의 영향을 받지 않는 장점이 있다. 인간의 시각 인지 모델과 유사하여, 컬러영상처리에 널리 사용된다. $M\times N$ 개의 화소를 갖는 영상에 대하여, 각 화소 (i,j) $(i=1,\cdots,M,\ j=1,\cdots,N)$ 에 대한 HSI 모델 각 성분의 값 H_{ij}, S_{ij}, I_{ij} 는 다음과 같이 계산된다[11].

$$H_{ij}=\cos^{-1}\left[\frac{\frac{1}{2}[(R_{ij}-G_{ij})+(R_{ij}-B_{ij})]}{\sqrt{(R_{ij}-G_{ij})^2+(R_{ij}-B_{ij})(G_{ij}-B_{ij})}}\right] \quad (1)$$

$$S_{ij}=1-\frac{3}{(R_{ij}+G_{ij}+B_{ij})}\cdot\min\{R_{ij},G_{ij},B_{ij}\} \quad (2)$$

$$I_{ij}=\frac{R_{ij}+G_{ij}+B_{ij}}{3} \quad (3)$$

단, R_{ij}, G_{ij}, B_{ij} 는 화소 (i,j) 의 R, G, B 성분의 값으로의 0 이상 255 이하의 정수이다.

그림 2는 PCB에서 획득한 몇 개의 부품 영상에 대한 HSI 모델의 각 성분 값을 보여준다. 색상은 크게 기판 배경, 부품 패키지 영역, 솔더링 영역, 실크선 영역 및 패드 영역으로 구분된다. 이들 영역 중에서 부품검사영역으로 사용되는 부품패키지 영역과 솔더링 영역만을 추출하여야 한다. 솔더링 영역은 부품 종류에 관계없이 채도가 낮고 명도가 높으므로, S 및 I 성분을 고려하여 다른 영역과 분리시킬 수 있다. 부품패키지영역은 그 색상과 채도가 다른 영역과 차별화되므로, H 성분과 S 성분을 고려하여 분리시킬 수 있다.

부품패키지 영역의 경우, 부품패키지의 색상에 따라 H 성분과 S 성분으로 부품패키지 영역을 분리시키는 것이 어려운 부품이 있다. 그림 2의 (b) 및 (c) 부품의 경우, 기판배경과 부품패키지의 일부영역에 대한 H 성분 및 S 성분이 유사함을 볼 수 있다. 이러한 경우는 부품패키지의 명도(I) 낮아 경우, 어두운 기판배경과의 색상(H) 구분이 발생되지 않는 경우 발생될 수 있다. 그러므로 부품패키지 영역의 용이한 식별을 위하여, S 성분을 I 성분을 이용하여 다음과 같이 보정한다.

$$S^*_{ij}=\begin{cases}I_{ij} & , I_{ij}<I^{TH}\\ S_{ij} & , otherwise\end{cases} \quad (4)$$

단, I^{TH} 는 명도에 대한 임계값으로서, 실험을 통하여 결정되며 보통 10 내외의 값을 갖는다. 그림 2의 부품에 대하여, 식 (4) 로 보정된 H, S^*, 및 I 성분을 보여준다. S^* 성분은 S 성분과 비교하여 기판배경과 부품패키지의 구별이 보다 용이함을 확인할 수 있다.

3. 영상 클러스터링

원 영상을 기판배경 영역, 솔더링 영역, 부품패키지 영역, 패드 영역 등 몇 개의 그룹으로 분할하는 문제는 전형적인 영상 클러스터링 (clustering) 문제의 범주에 속한다. 클러스터링은 원 영상의 모든 화소들을 몇 개의 그룹으로 나누는 것으로서, 이 때 유사도가 높은 화소들끼리 같은 그룹에 속하여야 한다. 영상 클러스터링 문제의 해결을 위하여, 일반적인 클러스터링 문제의 해를 구하기 위한 방법들을 적용할 수 있다.

다양한 클러스터링 문제에 널리 사용되는 클러스터링 방법으로서 EM 알고리즘과 K-means 알고리즘이 있다.[12] EM (expectation-maximization) 알고리즘은 데이터들이 정규분포를 갖는다고 가정하고, 각 클러스터 별 최적의 확률

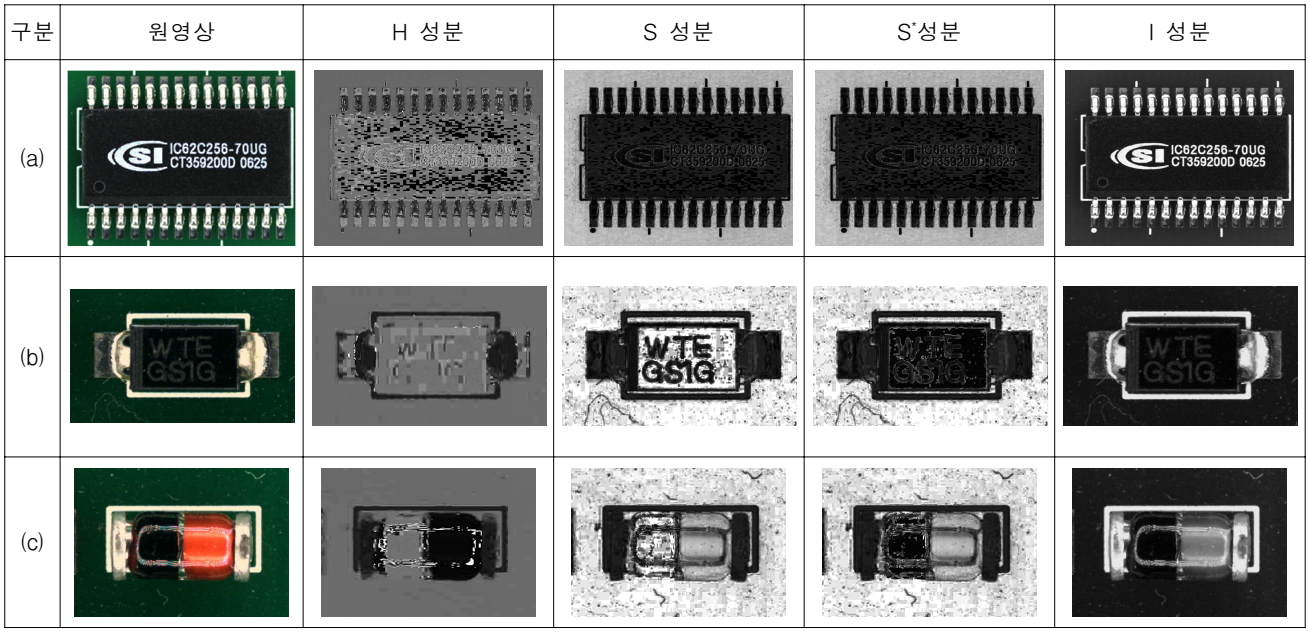


그림 2 부품 별 H, S, I 및 S* 성분

Fig. 2 H, S, I and S* for sample components

파라메터를 구하여 클러스터링을 수행하는 알고리즘이다. 초기 해를 기준으로 반복적인 추정 및 최대화 단계를 수행한다. K-means 알고리즘은 EM 알고리즘의 특수한 경우에 해당하며, 각 클러스터 별 최적의 평균값을 구하며 클러스터링을 수행한다. EM 알고리즘은 복잡한 클러스터링 문제에 적용되는 것이 바람직하나 해의 수렴속도가 상대적으로 늦다. K-means 알고리즘은 단순하게 구성되어 해가 빠르게 수렴하나, 상대적으로 복잡한 쉬운 문제에 적용되는 것이 바람직하다. 객체영역의 분할을 위한 영상 클러스터링 문제에 많이 적용되고 있으나 [13][14], 근본적으로 국지적 최적화 기법에 해당되어, 초기 해에 따라 결과가 크게 달라질 수 있다.

PCB 영상에서 부품검사영역을 추출하는 것이 목표인 본 논문의 경우, 영역의 구성이 크게 복잡하지 않다. 또한 하나의 기판에 수백 내지 수천 개의 영상을 대상으로 클러스터링을 수행하여야 하므로 빠른 처리시간이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 K-means 알고리즘을 적용하여 영상 클러스터링을 수행한다.

3.1 K-means 알고리즘

원 영상의 각 화소는 식(1)-(4) 와 같이 H, S* 및 I 성분 값을 갖으며, 각 성분은 독립적으로 영역 구분에 사용될 수 있다. 따라서 각 성분 별로 별도의 클러스터링을 수행한다. 주어진 PCB 영상에 대하여 히스토그램을 구하여, 하나 이상의 화소가 존재하는 성분 값의 집합을 다음과 같이 정의한다.

$$X=\{x^1,\cdots,x^N\} \tag{5}$$

단, $x^t(t=1,\cdots,N)$ 은 H, S* 또는 I 값으로 정수 또는 실수이다.

변수 $b_i^t\in\{0,1\}$ 를 x^t 가 i번째 클러스터에 속한 경우에는 1 이고, 속하지 않은 경우에는 0 이라 정의하면, 기본적인 K-means 알고리즘은 다음과 같다.

[step 1] k 개의 클러스터에 대한 중심값 $m_i(i=1,\cdots,k)$ 을 임의로 설정한다.

[step 2] 모든 $x^t\in X$ 에 대하여, 다음과 같이 중심 값과의 편차가 최소가 되는 클러스터를 찾아 소속시킨다.

$$b_i^t=\begin{cases}1 & \text{if } |x^t-m_i|=\min\limits_{j=1,\cdots,k}|x^t-m_j| \\ 0 & \text{otherwise}\end{cases} \tag{6}$$

[step 3] 모든 클러스터 $i=1,\cdots,m$ 에 대하여, 다음과 같이 중심값을 갱신한다.

$$m_i=\frac{\sum_{t=1}^{N}b_i^t x^t}{\sum_{t=1}^{N}b_i^t} \tag{7}$$

[step 4] 클러스터의 중심값 $m_i(i=1,\cdots,m)$ 중 변경된 값이 있으면 [step 2] 로 간다. 더 이상의 변경이 없으면 종료한다.

H, S*, I 의 성분 별로 각 각 k_H, k_{S^*}, k_I 개의 클러스터가 생성되며, 종합적으로 $k_H\times k_{S^*}\times k_I$ 개의 클러스터가 생성된다. 각 클러스터에 속한 화소의 각 성분 값은 해당 성분 클러스터의 평균값으로 대체된다.

그림 3은 H 성분에 적용한 K-means 알고리즘의 동작 예를 보여준다. 그림 3(a)는 가로축이 H 성분값이고 세로축

이 각 성분값에 대한 빈도수인 히스토그램에 대하여, [step 1] 에 의하여 초기의 중심값을 설정한 예를 보여준다. k 값을 4 로 설정되었으며, 중심값으로 설정된 성분값에 'X' 로 표시하였다. 그림 3(b)는 [step 2] 에 의하여, 각 성분값들을 클러스터링한 결과를 보여준다. 빗금선으로 클러스터를 표시하였다. 그림 3(c)는 [step 3] 에 의하여 중심값을 업데이트한 결과를 보여주고, 그림 3(d)는 업데이트된 중심값을 기준으로 [step 2] 에 의하여 재 클러스터링된 결과를 보여준다. 이 과정을 반복하며 영상 클러스터링이 완료된다.

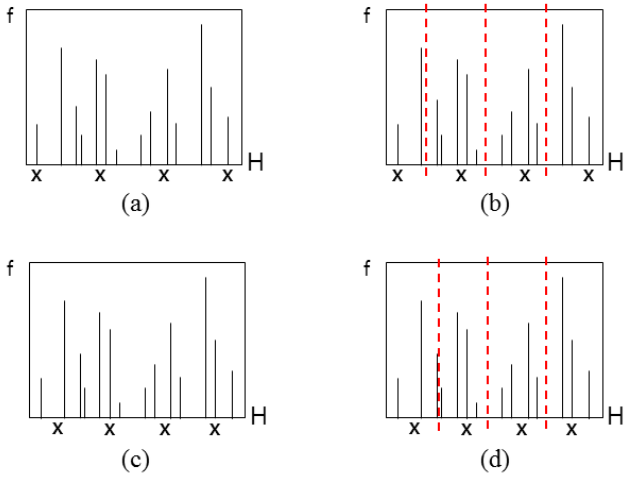


그림 3 H 성분 히스토그램에 적용한 K-means 알고리즘 (k=4) (a) 중심값 초기화 (b) 클러스터링 (c) 중심값 업데이트 (d) 클러스터 업데이트

Fig. 3 K-means algorithm applying to H-histogram (a) initialization of centers (b) clustering (c) update centers (d) update clusters

3.2 수정된 K-means 알고리즘

K-means 알고리즘을 영상 클러스터링 문제에 효과적으로 적용하기 위하여, 추가로 고려할 사항들이 있다. K-means 알고리즘은 초기값의 개선을 통하여 해를 찾아가는 국지적 알고리즘으로서, [step 1] 에서 임의로 설정한 초기 중심값에 따라 수렴 속도 및 클러스터링 결과가 달라질 수 있다. 따라서 초기 중심값을 합리적으로 설정하기 위한 휴리스틱스가 추가로 필요하다[15]. 또한 클러스터의 수를 몇 개로 하는 것이 합리적인지에 대한 판단과정이 필요하다. 클러스터의 병합 또는 분리를 통하여 영역 추출에 적절한 수의 클러스터가 생성되어야 한다. 본 논문은 PCB 영상으로부터 부품검사영역을 추출하기 위하여, 초기 중심값을 결정하는 단계와 클러스터를 병합하는 단계가 추가된 수정된 K-means 알고리즘을 제시한다.

초기 중심 값은 화소의 수가 많은 성분 값으로 결정되는 것이, 수렴속도 측면에서 바람직하다. 또한 초기 중심값들은 서로 떨어져 있는 것이, 탐색의 다양성 측면에서 바람직하다. 초기 중심값을 결정하기 위하여, 우선 주어진 PCB 영상의 성분값(H, S^* 또는 I) 에 대한 히스트그램을 구하여야 한다. 성분값 $x^t \in X$ 에 대한 화소수를 $f(x^t)$ 라 표시하면, 초기 중심값을 설정하는 [step 1] 은 다음과 같이 수정된다.

[step 1-1] 첫 번째 클러스터의 중심값 m_1 을 최대의 화소수 $f(x^t)$ 를 갖는 성분값 x^t 로 설정한다.

[step 1-2] 모든 클러스터 $i=2,\cdots,k$ 에 대하여, 각 클러스터의 중심값 m_i 를, 다음을 최대화시키는 성분값 x^t 로 설정한다.

$$\frac{f(x^t)}{|x^t - m_{i-1}|} \tag{8}$$

K-means 알고리즘의 결과로 H, S^*, I 각 성분 별로 각 k 개의 클러스터가 생성되었다. 이 때 k 값은 알고리즘 시작 전에 임의로 설정한 값으로서, 후속 단계인 부품패키지 영역의 추출과 솔더링 영역의 추출단계에 영향을 준다. k 값이 너무 작으면, 원하는 영역을 정확하게 추출할 수 없다. 반면 k 값이 너무 큰 경우, 영역의 과 분할로 인하여 영역 추출 과정을 어렵게 할 수 있다. 본 논문은 원하는 영역을 충분히 추출할 수 있게 k 값을 설정하여 클러스터를 생성하고, 이후 클러스터의 병합과정을 통하여 보정시킨다.

H, S^*, I 성분에 대하여 각 각 k_H, k_{S^*}, k_I 개의 클러스터가 존재하는 경우, HS^*I 색상모델에 대한 전체 클러스터의 집합을 다음과 같이 표현한다.

$$\{C_1, \cdots, C_T\} \tag{9}$$

단, $T = k_H \times k_{S^*} \times k_I$ 이다, 클러스터 C_i $(i=1,\cdots,T)$ 의 성분값을 (H_i, S_i^*, I_i) 라 표시하면, H_i, S_i^* 및 I_i 는 클러스터링된 해당 성분의 값이다.

기판배경 영역과 부품패키지 영역에 존재하는 화소들을 색상과 채도 성분이 유사하다. 그러므로 H 성분과 S* 성분의 편차가 임계값 이내인 클러스터들을 병합하는 다음의 과정을 추가한다.

[step 5] 모든 클러스터 C_i $(i=1,\cdots,T)$ 에 대하여, 다른 클러스터 C_j $(j=1,\cdots,T)$ 와 다음을 계산한다.

$$\Delta H = |H_i - H_j| \tag{10}$$

$$\Delta S^* = |S_i^* - S_j^*| \tag{11}$$

$\Delta H \le \epsilon_H$, $\Delta S^* = \epsilon_{S^*}$ 이면, 클러스터 C_j 를 클러스터 C_i 에 병합시킨다. 이때 H_j, S_j^*, I_j 값은 각 각 H_i, S_i^*, I_i 값으로 대체시킨다.

그림 4는 그림 2의 (b) 및 (c) 부품에 대하여 수행한 클러스터링 결과를 보여준다. HS^*I 에 대한 클러스터링을 수행하고, 이를 영상에 표시한 것이다. 본 논문에서 제시한 수정된 K-means 알고리즘은 초기화 단계를 추가하여, 보다 정확하게 영역을 구별한다. 또한 병합과정을 추가하여 클러스터의 수를 많이 감소시켰음을 볼 수 있다. 특히 기판배경과

부품패키지 영역 내에서 영역구별을 보다 확실하게 하였다.

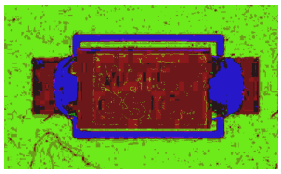
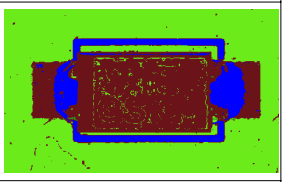
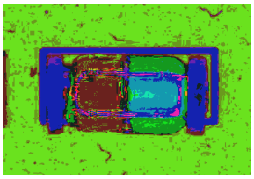
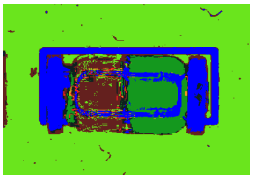
구분	K-means 알고리즘	수정된 K-means 알고리즘
(b)		
(c)		

그림 4 클러스터링 결과 비교
Fig. 4 Clustering results

4. 부품검사영역의 추출

영상 클러스터링된 결과를 사용하여 부품검사영역을 추출한다. 기판배경 분리, 이진화 및 투사 단계를 통하여 부품패키지 영역과 솔더영역을 추출한다. 첫 번째 단계인 기판배경 분리 단계는 클러스터링된 S^* 성분을 사용하여 기판배경 영역과 나머지 영역을 분리시킨다. 부품의 중심위치 정보를 사용하여 부품중심 주변의 성분값과 외곽의 성분값을 찾을 수 있으며, 외곽의 성분값을 갖는 클러스터를 기판배경으로 설정한다. 그림 5(a)는 기판배경 영역을 분리시킨 예를 보여준다. 배경 부분에 발생하는 잡음을 중간값 필터 또는 모폴로지 연산을 통하여 제거한다.

두 번째 단계인 이진화 단계는 기판배경이 분리된 S^* 성분 영상을 이진화 시킨다. S^* 성분의 영상에서는 솔더링 및 실크영역과 같은 밝은 부분이 잘 나타나지 않는다. 밝은 부분에 대한 식별은 I 성분 영상에서 용이하다. 그러므로 S^* 성분 영상은 I 성분 영상을 고려하여 다음과 같이 이진화 시킨다.

$$S_{ij}^{*}=\begin{cases} S_{\min} & , S_{ij}^{*} < S_{TH} \\ S_{\max} & , S_{ij}^{*} \geq S_{TH} \text{ or } I_{ij} = I_{\max} \end{cases} \tag{12}$$

단, $S_{\min}$ 및 $S_{\max}$ 는 S 성분의 최소 및 최대값이고, S_{TH} 는 S 성분의 이진화를 위한 임계값이다. 또한 $I_{\max}$ 는 클러스터링된 I 성분 중 최대값을 표시한다. 그림 5(b)는 이진화된 영상의 예를 보여준다.

마지막 단계는 이진화된 영상에 대한 수평 및 수직 투사를 통하여 부품패키지 영역과 솔더링 영역을 식별하는 단계이다. 이진화된 영상의 흰색부분을 0, 흑색부분을 1 이라 하는 경우, 수평투사 그래프는 영상의 가로 방향으로 1 의 빈도수를 표시한 것이다. 또한 수직투사 그래프는 영상의 세로 방향으로 1 의 빈도수를 표시한 것이다. 그림 6은 수평 및 수직투사 그래프의 예를 보여준다. 수평 및 수직투사 그래프의 중심으로부터 멀어지는 방향으로 1 의 빈도수에 급격히 줄어드는 부분을 경계선으로 하여 부품패키지 영역 및 솔더링 영역의 식별이 가능하다. 이 때 솔더링 영역을 수평투사 또는 수직 투사 중 어디에서 식별할 지의 여부는 주어진 부품의 각도값으로부터 결정한다.

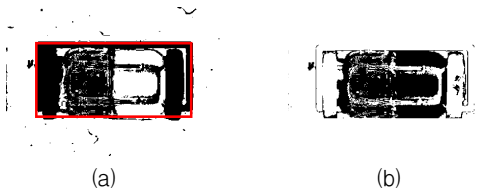


그림 5 기판배경의 분리 및 이진화
(a) 기판배경의 분리 (b) 이진화
Fig. 5 Split background and binarization
(a) split (b) binarization

그림 6 수평 및 수직 투사 그래프
Fig. 6 Vertical and horizontal projection

5. 실험 결과

PCB 조립공정에서 사용되는 상용 검사기로부터 획득한 실제 PCB 에 대한 영상을 상용하여 실험을 수행하였다. IC 부품, 칩 부품, TR 부품 등 다양한 종류의 부품 80 개에 대한 영상으로부터 부품검사영역을 추출하였다. 제안 방법은 Windows XP 환경에서 Visual C++ 2008 로 구현되었으며, IBM PC 호환기종 (Core2Duo, 2.40GHz)에서 실행되었다. 클러스터링 시 필요한 각 성분 별 초기 클러스터의 수인 k_H, k_{S^*}, k_I 는 각 각 3, 3, 2 로 설정하였다.

본 논문에서 제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여, 비교 실험을 수행하였다. 우선 색상모델에 대한 비교를 위하여 RGB 모델을 사용한 경우와 HSI 모델을 사용한 경우를 본 논문에서 제안한 HS^*I 모델을 사용한 경우와 비교하였다. 표 1은 색상모델 별 검사영역 추출의 정확도를 비교하여 보여준다. 부품의 색상은 검은색, 비 검은색 및 검은색과 비 검은색이 혼합된 색으로 구분하였다. 검사의 정확도는 다음과 같이 계산되었다.

$$(1-\frac{|A_t - A_m|}{A_t}) \times 100(\%) \tag{13}$$

단, A_t 는 실제 영역의 면적, A_m 은 영상처리를 통하여 측정된 영역의 면적이다.

RGB 모델의 경우 부품패키지의 색상에 따라 정확도가 크게 달라진다. HSI 모델의 경우, RGB 모델보다 정확도가 향상되나 색상 별 편차는 여전히 크다. 제안방법의 경우 부

표 1 색상모델에 따른 정확도
Table 1 Accuracy according to color models

부품색상	정확도(%)		
	RGB 모델	HSI 모델	HS*I 모델
검은색	44.4	75.3	93.1
비 검은색	90.5	87.7	93.0
혼합색	72.0	85.3	92.0

표 2 클러스터링 방법에 따른 정확도
Table 2 Accuracy according to clustering methods

부품색상	정확도(%)	
	K-means 알고리즘	수정된 K-means 알고리즘
검은색	86.1	93.1
비 검은색	84.7	93.0
혼합색	89.6	92.0

표 3 클러스터링 방법에 따른 연산시간
Table 3 Computation time according to clustering methods

영상크기 (pixels)	연산시간 (ms)	
	K-means 알고리즘	수정된 K-means 알고리즘
200x300	49	31
300x400	98	60
400x500	156	90

품 색상에 관계없이 비교적 높은 정확도를 얻을 수 있었는데, 그 이유는 S 성분보다 S^* 성분이 기판 배경과 부품의 구별을 보다 명확히 할 수 있기 때문이다. 특히 검은 색 부품에 대하여 RGB 모델 및 HSI 모델 대비 정확도가 크게 향상되었다.

다음으로 클러스터링 방법에 따른 정확도 비교 실험을 수행하였다. 색상모델은 HS^*I 를 동일하게 사용하고, 클러스터링 단계에서 기존의 K-means 알고리즘을 적용한 경우와 본 논문에서 제시한 수정된 K-means 알고리즘을 적용한 경우를 비교하였다. 표 2는 비교 결과를 보여준다. K-means 의 경우 초기 값을 랜덤하게 설정하였으며, 각 5 회 실행을 통하여 평균값을 구하였다. 수정된 K-means 는 초기 값을 성분 별 히스트그램을 고려하여 설정하였으며, 별도의 합병과정을 통하여 클러스터의 수를 줄였다. K-means 방법과 비교하여 평균적으로 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

마지막으로 클러스터링 방법에 따른 연산시간 비교 실험을 수행하였다. 입력된 부품 영상의 크기를 200x300 (pixels), 300 x 400 (pixels) 및 400 x 500 (pixels) 로 구분하여 연산시간을 측정하였다. 기존 K-means 방법의 경우, 초기치 설정에 따라 연산시간에 차이가 발생하므로 각 5 회 측정하여 평균값으로 계산하였다. 수정된 K-means 의 경우, 초기치를 합리적으로 설정하므로 빠른 수렴에 의하여 연산시간을 약 36% 내지 42% 단축시켰으며, 특히 영상의 크기가 큰 경우 시간 단축이 크게 이루어짐을 확인하였다.

6. 결 론

PCB 조립검사기의 자동티칭을 위하여 영상으로부터 부품 패키지 영역과 솔더링 영역을 자동으로 추출하는 영상처리 알고리즘을 제안하였다. 컬러영상처리에 널리 사용되는 HSI 색상모델을 적용하였으며, PCB 부품영상의 특성을 고려하여 S 성분을 변형한 HS^*I 모델을 사용하였다. 변형 모델은 특히 기판 배경과 부품패기지 영역을 구분하는 데 유용하였다. 입력영상에 존재하는 여러 영역을 구분하기 위하여 영상 클러스터링 기법을 적용하였다. 영상의 특성을 고려하여 구현이 간단하고 빠른 수렴속도를 갖는 K-means 알고리즘을 적용하였다. 초기 클러스터의 설정과 클러스터의 병합과정이 추가된 수정된 K-means 알고리즘을 개발하여 제시하였다. 클러스터링을 통하여 기판배경과 부품검사영역을 구별하였으며, 최종적으로 수평 및 수직 투사 그래프를 통하여 부품검사영역을 부품패키지 영역과 솔더링 영역으로 구별하였다. 상용 PCB 조립검사기에서 획득한 실제 PCB 영상에 대한 실험을 통하여, 제시된 방법의 성능을 검증하였다.

본 논문은 최근 영상처리분야에서 많이 다루어지는 영상분할 범주의 연구에 해당한다. 기존의 영상분할에 관한 연구들은 주로 차량 번호판 식별, 얼굴 인식, 의료 진단 등에 응용되었으나, 생산자동화 분야에 적용된 사례는 매우 드물다. 본 연구의 결과는 PCB 조립검사기의 작업준비에 소요되는 시간을 단축시켜, 궁극적으로 PCB 조립라인의 생산성을 향상시킬 수 있다. 추후 PCB 조립검사기 이외에 반도체, LCD 등의 검사기에도 적용될 수 있는 방법을 개발할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구임.

참 고 문 헌

[1] T.H.Park, H.J.Kim, “Path planning of automated optical inspection machines for PCB assembly systems,” Int. J. of Control, Automation, and Systems, vol.4, no.1, pp.96-104, 2006.

[2] 이완영, 박태형, “인쇄회로기판검사를 위한 기하학적 영상왜곡의 보정방법”, 제어로봇시스템학회논문지, 15권 8호, pp.772-777, 2009.

[3] H.J.Cho, T.H.Park, “Wavelet transform based image template matching for automatic component inspection”, Int. J. of Advanced Manufacturing Technology, vol.50, no.9, pp.1033-1039, 2010.

[4] A.J.Crispin, V.Rankov, “Automated inspection of PCB components using a genetic algorithm template matching approach,” Int. J. of Advanced Manufacturing Technology, vol.35, no.4, pp.293-300, 2007.

[5] F.H.Kong, “A new method for locating solder joint based on rough set,” Proc. of the 6th Int. Conf. on Machine Learning and Cybernetics, pp.19-22, 2007.
[6] 김준오, 박태형, “PCB 조립검사기의 자동티칭을 위한 부품윈도우 자동추출방법”, 제어로봇시스템학회논문지, 16권 11호, pp.1089-1095, 2010.
[7] M.Yu and Y.D.Kim, “An approach to Korean license plate recognition based on vertical edge matching,” Proc. of the 2000 IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, pp.2975-2980, 2000.
[8] W.Wu, X.Chen, J.Yang, “Detection of text on road signs from video,” IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, vol.6, no.4, pp.378-390, 2005.
[9] R.L.Hsu, M.A.Mottaleb, A.K.Jain, “Face detection in color images,” IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.24, no.5, pp.696-706, 2002.
[10] 이건호, 박태형, “지폐검사를 위한 UV 패턴의 자동추출”, 한국지능시스템학회 논문지, 21권 3호, pp.365-371, 2010.
[11] R.C.Gonzalez, R.E.Woods, Digital Image Processing (3rd Ed.), Prentice Hall, 2007.
[12] E. Alpaydin, Introduction To Machine Learning (2nd Ed.), The MIT Press, 2010.
[13] T.W.Chen, Y.L.Chen, S.Y.Chien, “Fast image segmentation based on K-Means clustering with histograms in HSV color space,” Proc. of IEEE Int. Workshop on Multimedia Signal Processing, pp.322-325. 2008.
[14] S.M.Chun, C. C. Hsing, “A modified version of the K-means algorithm with a distance based on cluster symmetry,” IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.23, no.6, pp.674-680, 2001.
[15] 강지혜, 김성수, “적응적인 초기치 설정을 이용한 Fast K-means 및 Fuzzy-c-means 알고리즘,” 정보과학회논문지, 31권 4호, pp.516-524, 2004.

저 자 소 개

김 준 오(金 俊 昨)

2009년 충북대학교 전자공학부 학사. 2011년. 동대학원 제어로봇공학과 석사. 2011~현재 (주)미래산업 연구원. 관심분야는 전자조립시스템, 영상처리, 비전검사 등

박 태 형 (朴 泰 炯)

1988년 서울대 제어계측공학과 졸업. 1992년 동 대학원 제어계측공학과(석사). 1994년 동 대학원 제어계측공학과(박사). 1994년~1997년 삼성테크윈(주) 정밀기기 연구소 선임 연구원. 1997년~현재 충북대 전자공학부 교수. 2000년~2001년 Univ. of Toronto 방문교수. 관심분야는 전자조립 및 검사 시스템, 이동로봇, 영상처리 등.