

IC 패키지 마킹검사를 위한 적응적 다단계 이진화와 정합단위의 동적 선택

김민기†

요약

머신비전을 이용한 IC 패키지 마킹검사 시스템은 입력영상으로부터 검사할 요소들의 위치를 식별하고, 추출된 요소들을 학습된 표준 패턴과 비교하여 마킹의 불량 여부를 판단한다. 본 논문에서는 검사 대상 IC 패키지의 위치 판별, 마킹문자 추출, 핀원뿔폴 검출과 같은 일련의 작업들에 적합한 적응적 다단계 이진화 방법과 마킹문자의 국소적인 오류검출은 물론 잡영에 강건한 정합단위의 동적 선택 방법을 제안한다. 제안하는 이진화 방법은 이진화 대상 영역과 명도 값의 범위를 제한하여 Otsu의 이진화 알고리즘을 적용함으로써 특정 특정 응용에 적용적인 이진화가 가능하다. 정합단위의 동적 선택 방법은 문자추출 및 배치분석에 대한 결과에 따라 정합단위를 선택한다. 그러므로 문자추출 및 배치분석 과정에서 발생하는 예기치 못한 부적절한 상황에서도 가능한 범위내에서 최소의 정합단위를 선택할 수 있다. 제안된 방법을 구현하여 8종의 IC 패키지, 총 280개의 영상에 대하여 실험한 결과, IC 패키지와 핀원뿔폴의 검출율은 100%였으며, 마킹상태에 대한 판정은 98.8%의 정확도를 나타내어 제안된 방법이 효과적임을 확인할 수 있었다.

An Adaptive Multi-Level Thresholding and Dynamic Matching Unit Selection for IC Package Marking Inspection

Min-Ki Kim†

ABSTRACT

IC package marking inspection system using machine vision locates and identifies the target elements from input image, and decides the quality of marking by comparing the extracted target elements with the standard patterns. This paper proposes an adaptive multi-level thresholding (AMLT) method which is suitable for a series of operations such as locating the target IC package, extracting the characters, and detecting the Pin1 dimple. It also proposes a dynamic matching unit selection (DMUS) method which is robust to noises as well as effective to catch out the local marking errors. The main idea of the AMLT method is to restrict the inputs of Otsu's thresholding algorithm within a specified area and a partial range of gray values. Doing so, it can adapt to the specific domain. The DMUS method dynamically selects the matching unit according to the result of character extraction and layout analysis. Therefore, in spite of the various erroneous situation occurred in the process of character extraction and layout analysis, it can select minimal matching unit in any environment. In an experiment with 280 IC package images of eight types, the correct extracting rate of IC package and Pin1 dimple was 100% and the correct decision rate of marking quality was 98.8%. This result shows that the proposed methods are effective to IC package marking inspection.

키워드 : 마킹검사(marking inspection), 핀원뿔폴(Pin1 dimple), 적응적 이진화(dynamic thresholding), 문자추출(character extraction), 정합단위(matching unit)

1. 서론

머신비전(machine vision)을 이용한 대상물의 자동검사 및 분류는 산업계의 자동화 설비에 폭 넓게 이용되고 있다. 인쇄 회로기판(PCB)의 자동 외형 검사를 위한 다양한 시도는 이미 20여년 전부터 시작되었으며[1], 반도체에서 종이크립, 캔, 자동차에 이르기까지 대량으로 생산되는 제품의 자동검사에 대한 연구가 꾸준히 이루어지고 있다[2,3]. 그러나 각 응용이 갖는 상이한 환경으로 인하여 임의의 패턴에 대한 검사나 분류에

대한 일반적인 해결책이 없는 것으로 인식되고 있어 해당 응용에 적합한 세부 기술의 개발이 지속적으로 요구되고 있다.

본 논문은 반도체 제조 공정의 마지막 단계에서 수행되는 마킹(marking)에 대한 자동 검사를 연구의 대상으로 하고 있다. 마킹이란 전기적 특성 및 기능에 합격한 IC 패키지 표면에 제작사명, 제품명 등을 기록하는 것으로, 마킹검사에서는 문자의 위치(position), 굵김(broken), 뒤틀림(twist), 스크래치(scratch), 방향(orientation) 등을 검사하여 불량유무를 판별하게 된다. 물론 마킹은 제품의 기능과는 무관하기 때문에 문자 또는 로고의 가독성이 중요한 판단 기준이 된다. 다만 가독성에

† 종신회원 : 경상대학교 컴퓨터교육과 교수
경상대학교 컴퓨터·정보통신연구소 연구원
논문접수 : 2001년 10월 11일, 심사완료 : 2002년 1월 26일

ing)은 이용자에게 혼동을 유발할 수 있으므로 특히 주의가 요구된다. 마킹검사는 크게 표준 패턴에 대한 학습 과정과 추출한 패턴에 대한 검사과정으로 나누어 볼 수 있는데, 학습과 검사를 위해서는 보통 이진화, 검사 대상 요소의 추출 등이 선행되어야 한다. 그러므로, 마킹검사는 획득된 영상으로부터 검사 대상 요소의 식별과 마킹문자의 정합을 위한 안정적인 특징 추출이 마킹검사 시스템의 성능을 좌우하게 된다. 현재 운용되고 있는 대부분의 IC 패키지 마킹검사 장비들은 검사할 IC 패키지에 종류에 따라 각각 사람이 검사 대상 IC 패키지의 위치를 미리 설정해 주고 있고, 경우에 따라서는 이진화 임계값을 입력 영상의 맞게 조절해 주어야 하기 때문에 장비를 다루는 사람의 경험이나 능력에 따라 전체적인 시스템의 효율이 좌우되고 있다.

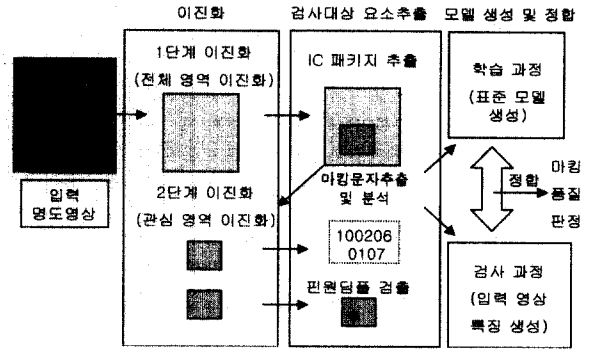
본 논문은 모델 생성 및 정합에 수반되는 모든 과정을 최대한 자동화하여 장비 운용자의 사전지식 없이도 효율적인 마킹검사가 가능한 시스템 구성에 초점을 두고 있다. 이를 위하여 적응적인 이진화 방법과 문자추출 및 분석과정에서 발생하는 변형을 흡수할 수 있는 적응적 패턴 생성 및 정합 방법을 제안한다. 본 논문의 구성은 서론에 이어 제 2장에서는 전체적인 시스템의 구성을 기술하고, 제 3장에서는 IC 패키지 위치 확인, 마킹문자 추출, 핀원딴플(Pin1 dimple) 검출에 적합한 적응적 다단계 이진화 방법을 설명한다. 제 4장에서는 연결요소의 윤곽선 추출에 의한 마킹문자의 검출과 이들 간의 배치형태를 분석하는 방법을 기술하고, 제 5장에서는 마킹문자 패턴이 갖는 다양한 변형을 흡수할 수 있는 정합단위의 동적 선택 방법을 설명한다. 그리고 제 6장과 제 7장에서 실험 결과를 제시하고 결론을 맺는다.

2. 시스템 구성

전체적인 시스템의 구성은 (그림 1)과 같이 크게 입력 영상의 이진화, 검사 대상 요소 추출, 모델 생성 및 정합의 세 부분으로 나누어진다. 이진화는 입력 명도영상을 이진영상으로 변환하는 부분으로 전역적 단일 이진화 임계값을 이용할 경우 IC 패키지의 외곽선, 문자, 핀원 딴플을 효과적으로 구분할 수 없기 때문에 이진영상을 이용하는 후속 작업에 적합하도록 다단계 이진화를 적용한다. 이렇게 생성된 각각의 이진영상은 IC 패키지 추출, 마킹문자 추출 및 분석, 핀원딴플 검출 프로시저로 넘겨진다. 문자추출 및 분석 부분에서는 마킹문자나 로고의 배치(layout)에 대한 분석과 분할을 수행한다. 일반적인 문서와는 달리 IC 패키지에 나타나는 문자의 배치는 비교적 단순하지만 잡영에 의하여 문자간 접촉이 발생하기도 하고 제작사명이 나타나는 문자 행은 다양한 문자 배치가 나타나기 때문에 이에 적용할 수 있도록 하향식 문서분석 방법과 상향식 문서분석 방법을 혼용한 방식을 이용하였다.

모델 생성 및 정합 부분은 표준 모델 패턴을 생성하는 학습 과정과 검사할 특징 패턴을 표준 모델과 비교하는 검사 과정으로 나누어 볼 수 있다. 학습 과정에서는 이진화 및 잡영에 의해 발

생하는 패턴의 변형을 흡수하기 위하여 문자, 단어, 문자 행, 전체 문자 영역의 4 레벨의 계층적 모델을 자동으로 생성하게 되며, 검사 과정에서는 입력영상에서 추출한 문자, 단어, 문자 행의 개수에 따라 최적의 정합단위를 동적으로 선정하여 해당 모델과 원형 정합에 의해 마킹의 상태를 평가한다.



(그림 1) 시스템 구성도

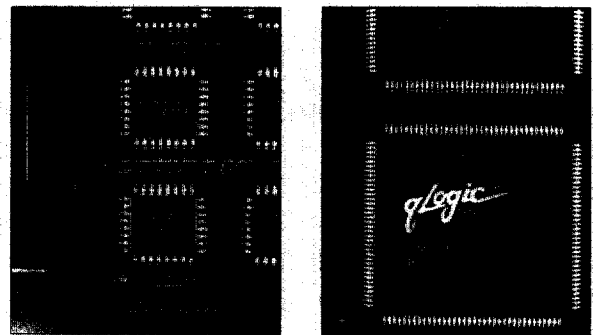
3. 적응적 이진화

기존에 제시된 다양한 이진화 방법들과 이들에 대한 비교 연구들에서 확인할 수 있듯이 어떠한 이진화 방법을 선택할 것인가는 원 영상의 특성과 이진화된 결과영상을 이용하는 후속 작업에 매우 의존적이다[4,5]. 따라서 입력 영상의 특징에 대한 면밀한 관찰과 분석을 통하여 해당 응용에 적합한 이진화 방법을 선택하거나 개발하는 것이 필요하다.

3.1 입력 영상의 특징 관찰

3.1.1 입력 영상의 요소

CCD 카메라를 통해 획득되는 영상은 조명에 많은 영향을 받으며 대상물의 특성에 따라 다양한 특징을 나타낸다. IC 패키지의 마킹검사는 보통 격자 트레이(matrix tray)나 운송 테이프(carrier tape)에 적재된 상태로 이루어진다. (그림 2)는 격자 트레이에 적재된 IC 패키지 영상을 보여주고 있다. 각각의 IC 패키지 영상은 바깥쪽에 리드(lead)가 있고, 패키지 윗



(a)

(b)

(그림 2) 격자 트레이에 적재된 입력 영상

면에 제작사명, 로고, 제품번호 등이 나타난다. 그리고 좌측 하단에 IC 패키지의 방향을 나타내는 작고 오목하게 들어간 핀원뿔들이 존재한다. 핀원뿔들은 1번 핀의 위치를 나타내는 것으로 마킹의 방향을 판별할 수 있는 중요한 요소가 된다.

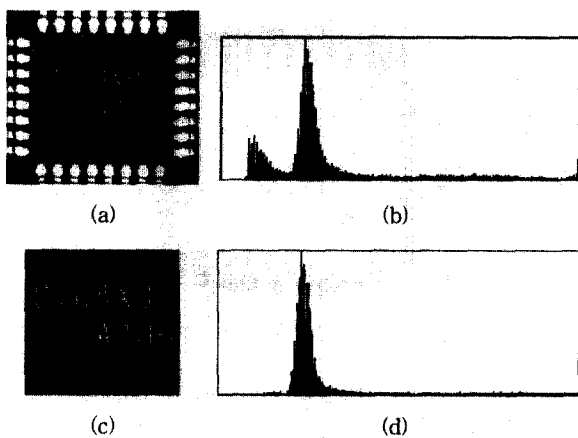
3.1.2 입력 영상의 명도 특성

사진이나 그림이 없는 텍스트 위주의 일반 문서영상의 명도 히스토그램은 문자와 배경의 두 그룹으로 나누어지는데 반해 (그림 3)과 같이 IC 패키지 입력영상은 세 그룹으로 구성된다. (그림 3)은 (그림 2)에 나타난 입력영상 (a), (b)에 대한 명도 히스토그램을 나타낸 것으로 왼쪽에 블록한 부분이 가장 어두운 영역으로 IC 패키지 외곽의 검은 부분이 여기에 속한다. 오른쪽에 평탄한 부분은 리드와 문자를 포함하는 밝은 영역이다. 그리고 가운데 블록한 영역은 IC 패키지 와 트레이의 바탕을 나타낸다.



(그림 3) 입력 영상의 명도 히스토그램

(그림 4)의 (a), (b)는 (그림 2)-(a)에 나타난 영상에서 하나의 IC 패키지 영역과 해당 명도 히스토그램을 나타낸 것으로, (그림 3)의 히스토그램과 비교해보면 빈도의 차이는 있으나 전체적인 구성은 유사함을 알 수 있다. (그림 4)의 (c), (d)는 (그림 4) (a)에서 리드 안쪽의 내부 영역에 대한 영상과 해당 히스토그램을 제시한 것이다. (d)를 보면 IC 패키지 윗면을 나타내는 영역의 좌측에 더 어두운 명도 값이 미세하게 나타나고 있는데 이것이 핀원뿔들에 해당되는 부분이다.



(그림 4) 부분 영상과 그레이 히스토그램

3.2 적응적 이진화

입력 영상의 국소적인 변화가 크지 않고 빠른 수행속도를 요구하는 응용에서는 전역적 이진화 방법을 이용하는 것이 적

합하다. 전역적 이진화 방법은 단순히 임계값을 기준으로 영상을 배경과 대상으로 구분하는 방식으로, 개체간에 명도 값의 차이가 명확할 경우에는 고정 임계값을 이용해도 좋은 결과를 얻을 수 있으나 그 차이가 미세한 경우에는 입력 영상별로 매번 임계값을 새로 설정해야 한다. 따라서 본 연구에서는 전역적 이진화 방법을 이용하면서 입력 영상의 명도 값 분포에 따라 자동적으로 임계값을 조정하는 Otsu의 이진화 알고리즘을 기반으로 이진화를 수행하였다.

3.2.1 Otsu의 이진화 방법

Otsu의 방법은 영상의 명도 값을 통계적으로 분석하여 임계값을 선정하며 영상의 내용에 무관하게 적용될 수 있다[6]. 영상의 명도 레벨이 1부터 L까지 일 때, 명도 값이 i인 화소의 수를 n_i 라고 하면 전체 화소의 수 $N = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_L$ 이 된다. 각 명도 값 히스토그램을 식 (1)과 같이 정규화하면 이것을 확률 분포 p_i 로 간주할 수 있다.

$$p_i = n_i / N, \quad p_i > 0, \quad \sum_{i=1}^L p_i = 1 \quad (1)$$

만약 화소들이 하나의 임계값 k에 의해 두 개의 클래스 C_0, C_1 으로 나누어진다면, 이들 두 클래스의 발생 확률 ω , 평균 레벨 μ , 분산 σ^2 은 각각 식 (2), 식 (3), 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$\omega_0 = \sum_{i=1}^k P_i, \quad \omega_1 = \sum_{i=k+1}^L P_i \quad (2)$$

$$\mu_0 = \sum_{i=1}^k \frac{iP_i}{\omega_0}, \quad \mu_1 = \sum_{i=k+1}^L \frac{iP_i}{\omega_1} \quad (3)$$

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(i-\mu_0)^2 P_i}{\omega_0}, \quad \sigma_1^2 = \sum_{i=k+1}^L \frac{(i-\mu_1)^2 P_i}{\omega_1} \quad (4)$$

임계값 k를 평가하는 가장 간단한 방법은 두 클래스간 분산을 평가하는 것으로, 두 클래스간 분산 σ_B^2 은 식 (5)와 같이 구할 수 있다. 이때 두 클래스간 분산 σ_B^2 이 최대가 되는 임계값을 선택한다.

$$\sigma_B^2 = \omega_0 \omega_1 (\mu_1 - \mu_0)^2 \quad (5)$$

3.2.2 적응적 단단계 이진화

입력 영상은 세 개의 클래스로 나누어지므로 적어도 두 개의 임계값이 필요하며, 이진영상으로부터 IC 패키지, 마킹문자, 핀원뿔을 추출해야 하므로 해당 응용에 적합한 임계값 선정이 필요하다. IC 패키지의 외곽을 구성하는 리드의 명도 값은 트레이의 명도 값과 큰 차이를 나타내고 있지만, IC 패키지의 방향을 나타내는 핀원뿔들은 배경과 동일한 색상으로 다만 약간 오목하게 들어가서 명도 값의 차이가 미세하기 때문에 Otsu의 이진화 기법만으로는 효과적인 이진화가 불가능하다.

제안하는 이진화 방법은 각 응용의 수행 단계별로 적응적 이진화를 수행하며 이진화할 영상의 영역과 명도 레벨을 효과적으로 제한하여 Otsu의 이진화 알고리즘을 적용한다. 물론 이러한 명도 레벨의 제한은 알고리즘에 제시된 바와 같이 적응적으로 이루어진다. 1단계 이진화는 입력 영상의 모든 영역을 대상

으로 하며, 이진영상은 IC 패키지의 위치 검출을 위해 사용된다. 그러므로 트레이와 패키지를 구분하는 최적의 임계값을 선택할 수 있도록 마킹문자를 나타내는 명도 값 k 를 추정하여 Otsu의 알고리즘을 명도 값 0부터 k 까지로 제한하여 적용한다.

- 입력 : 명도영상(전체 입력영상)
 - 출력 : 트레이와 IC 패키지 외곽을 구분할 수 있는 임계값($Th1$)
- ① 입력 영상의 명도값 분포 계산
 - ② $Bound = (T-A) * (W/B)$
(T : 입력 영상의 전체 픽셀수, A : 명도 히스토그램의 좌측(0)과 우측(255)의 일정 범위 영역에 포함된 픽셀수, W/B : 리드와 문자를 나타내는 픽셀수 W 와 배경을 나타내는 픽셀수 B 의 추정치 비율)
 - ③ $S = \sum_{i=0}^k N(i)$, $N(i)$ 는 명도 값이 i 인 픽셀의 수
 - ④ $S > Bound$ 을 만족시키는 최소의 k 값을 구함
 - ⑤ 명도 값을 0부터 k 까지로 제한하여 Otsu의 알고리즘을 적용($Th1$ 리턴)

(1단계 이진화 알고리즘)

2단계 이진화에서는 마킹문자와 핀원뿔들이 나타나는 관심 영역만을 대상으로 하며 출력 이진영상은 마킹문자 추출과 핀원뿔 검출에 이용된다. 이진화를 일부 영역으로 제한하는 이유는 전체 영역을 대상으로 명도 값의 통계적 특성을 분석하게 되면 트레이, 리드 등 다른 요소들에 의해 불필요한 데이터가 통계에 잡히게 되고, 핀원뿔이 차지하는 영역이 매우 작기 때문에 그 특성이 제대로 반영되지 못하기 때문이다. 또한 일부 영역만을 이진화하게 되면 자연스럽게 처리 시간을 줄일 수 있다.

IC 패키지의 리드 안쪽의 관심 영역은 크게 핀원뿔, 배경, 문자의 3개 클래스로 나누어지므로 문자 추출을 위한 이진화는 핀원뿔에 해당하는 명도 값을 제외하는 것이 효과적이다. (그림 4)에서 제시한 바와 같이 핀원뿔을 나타내는 명도 값은 IC 패키지와 트레이의 움푹 들어간 경계영역의 명도 값과 유사하므로 1단계 이진화에서 구한 임계값 $Th1$ 보다 작은 명도 값을 배제하고 Otsu의 알고리즘을 적용한다. 핀원뿔은 세 요소 중 가장 어두운 명도 값을 갖고 있으므로 명도 값을 늘려가면서 해당 명도 값을 갖는 화소들을 누적하면 결국 핀원뿔을 나타내는 화소들을 모두 포함하게 된다. 이때 핀원뿔을 모두 포함하는 최소의 명도 값을 k 라 하면 0부터 k 까지로 명도 값을 제한하여 Otsu의 알고리즘을 적용한다.

- 입력 : 명도영상(검사대상 IC 패키지 영역)
 - 출력 : 문자추출을 위한 임계값($Th2$), 핀원뿔 검출을 위한 임계값($Th3$)
- ① 명도값을 $Th1$ 부터 255로 제한하여 Otsu의 알고리즘을 적용($Th2$ 리턴)
 - ② 검출된 IC 패키지 내부영역 영상의 명도 값 분포 계산
 - ③ $Bound = T * Pin1_Rate$
(T : IC 패키지 내부영역 영상의 전체 픽셀수, $Pin1_Rate$: 전체 영역중 핀원뿔을 충분히 포함하는 영역의 추정치 비율)
 - ④ $S = \sum_{i=0}^k N(i)$, $N(i)$ 는 명도 값이 i 인 픽셀의 수
 - ⑤ $S > Bound$ 을 만족시키는 최소의 k 값을 구함
 - ⑥ 명도 값을 0부터 k 까지로 제한하여 Otsu의 알고리즘을 적용($Th3$ 리턴)

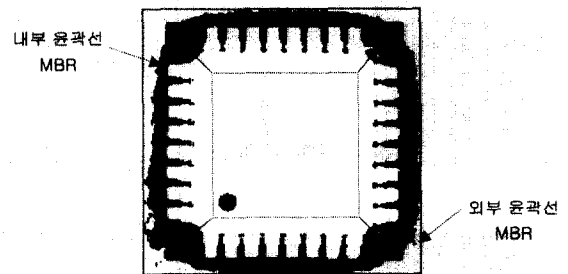
(2단계 이진화 알고리즘)

4. 관심 요소 추출과 배치형태 분석

4.1 IC 패키지 위치와 핀원뿔 검출

검사 대상 IC 패키지는 입력 영상의 중앙하단에 위치하고 있으므로 이진화된 영상의 중심점에서 아래쪽으로 윤곽선을 추적하여 연결요소를 추출한다. 윤곽선은 외부 윤곽선과 내부 윤곽선으로 구분할 수 있다. 예를 들어 영문자 'B'에 대한 윤곽선을 추출하면 바깥쪽의 외부 윤곽선이 하나 추출되고 홀을 나타내는 두 개의 내부 윤곽선을 얻을 수 있다. 내부 윤곽선과 외부 윤곽선의 구분은 윤곽선의 추적 방향으로 식별할 수 있다 [7]. 이진화된 입력 영상으로부터 추출한 외부 윤곽선은 IC 패키지가 적재된 트레이의 움푹 들어간 부분을 나타내며 내부 윤곽선은 IC 패키지를 나타낸다. 따라서 추출된 연결요소 중에서 내부 윤곽선이라면 일정 크기이상을 나타내며 요철의 존재 여부를 판단하면 IC 패키지를 나타내는 연결요소의 확인이 가능하다. 요철의 판별은 연결요소의 최소 외접사각형의 길이와 추출된 윤곽선의 길이, 즉 윤곽선을 구성하는 화소의 개수를 구하여 상대적인 비율로 계산한다.

마킹검사는 IC 패키지의 윗면에 나타난 문자의 마킹상태를 검사하는 것이므로 추출한 검사대상 IC 패키지에서 내부 영역이 주된 관심영역이 된다. 관심영역의 추출은 (그림 5)와 같이 IC 패키지를 나타내는 내부 윤곽선에 대한 최소 외접사각형(MBR)의 각 꼭지점에서 일정 길이 만큼 안쪽으로 축소 한 가상의 사각형을 만든다. 만일 잡영에 의해 내부 윤곽선이 추출되지 않는 경우에는 IC 패키지를 포함하는 것으로 추정되는 외부 윤곽선으로부터 가상의 사각형을 만든다. 이 가상의 사각형 꼭지점에서 대응되는 외접사각형의 꼭지점으로 진행해가면서 후화소를 검출하여 리드를 제외한 내부 영역을 추출한다. 뒤에 이어지는 모든 처리는 추출된 관심 영역만을 대상으로 수행하게 된다.



(그림 5) IC 패키지의 관심 영역 추출

핀원뿔은 IC 패키지의 좌측 하단에 위치하므로, IC 패키지의 위치 검출에서와 같은 방법으로 이 영역에 대한 윤곽선 추적을 통해 연결요소를 추출한 후 윤곽선의 크기와 모양을 검증하여 핀원뿔의 존재 여부를 확인한다. 만약 좌측 하단부에 핀원뿔이 존재하지 않는다면 IC 패키지가 트레이에 놓인 방향이 올바르지 못하거나 마킹할 때 방향이 올바르지 않았음을 의미하는 것이다.

4.2 문자추출과 배치형태 분석

문서구조 분석 방법은 크게 상향식 방식과 하향식 방식으로 나누어 볼 수 있다[8-11]. 상향식 방식은 문서를 구성하는 최소 단위인 문자에서 단어, 문자 행, 문자 블록으로 확장해 가면서 문서의 전체적인 구조를 파악하는 방식으로 적용성이 뛰어난 반면 많은 분석시간을 요한다[9, 10]. 하향식 방식은 상향식 방식과는 반대로 문자 블록, 문자 행, 단어, 문자로 관심영역을 축소해 가는 방식으로 상향식 방식에 비하여 적용성은 다소 떨어지나 빠른 분석이 가능하다[11]. (그림 6)에 나타난 바와 같이 IC 패키지에 나타난 문자의 배치는 단순하고 문자 행의 개수도 대부분 5개 이내이다. 그러나 제작사명이나 로고가 나타나는 부분은 문자행 내에 문자의 공간적 배치가 다양하게 나타나고 있다. 따라서 본 논문에서는 하향식 방식을 적용하여 먼저 문자 행을 분리하고 각각의 분리된 문자 행에서 추출한 연결요소를 상향식 방식을 적용하여 연결요소의 논리적 단위를 확장해 가는 하이브리드 방식을 채택하였다.

먼저 문자 행을 분리하기 위하여 수평 방향으로 프로파일을 구하고 협곡부분을 검출하여 문자 행을 분리하였다. 각각의 분리된 문자 행에 대하여 윤곽선 추출을 수행하면 문자 내의 홀을 구성하는 내부 윤곽선과 홀을 제외한 외부 윤곽선을 구할 수 있다. 추출된 윤곽선은 수평방향으로 겹침을 조사하여 병합하게 되는데 이때 내부 윤곽선은 해당 문자의 전체 영역에 포함되고, 제작사의 로고와 같이 분리된 각각의 외부 윤곽선이 하나의 영역을 구성하게 된다. 이렇게 문자가 추출이 되면 문자간의 평균 거리, 문자의 크기, 문자의 중심 좌표 등의 정보를 이용하여 유사 문자군을 단어로 병합하고, 단어는 다시 문자 행으로 병합한다. (그림 6)은 관심 영역에 대한 문자추출과 배치형태의 분석결과로 각각 연결요소, 문자, 단어, 문자 행, 문자 블록을 나타내고 있다. 제작사의 로고는 여러 개의 문자로 구성되어 있으나 문자열이라기 보다는 전체를 그림으로 취급하여 하나의 문자로 다루었다.

5. 계층적 모델 생성 및 정합

5.1 계층적 모델

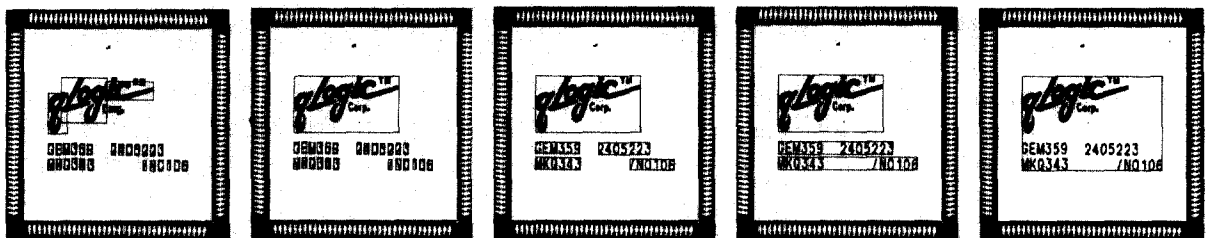
일반적인 패턴 인식 및 분류 방식은 정합할 패턴의 단위를 미리 정하고 이에 따라 해당 패턴을 생성하여 모델로 등록한다. 정합할 패턴의 단위는 해당 응용에 따라 신중히 설정하여

야 한다. 마킹문자가 나타나는 관심영역 전체를 정합단위로 정할 경우에는 문자추출 및 배치형태에 대한 분석 과정이 필요 없으므로 처리 시간이 단축될 뿐만 아니라 처리 과정이 단순화되어 오류의 가능성도 줄어든다. 그러나 정합단위가 크면 국소적인 마킹불량을 검출하기가 어렵다. 반대로 개별 문자를 정합단위로 할 경우에는 이진화 또는 잡영으로 인한 예기치 못한 원인으로 검사 대상 IC 패키지로부터 모델과 동일한 문자추출 결과를 얻지 못할 경우 이에 대한 처리가 곤란하다. 본 논문에서는 이러한 양극단의 문제점을 해결하기 위하여 입력 영상의 문자배치 분석 결과를 이용하여 정합단위를 탄력적으로 적용할 수 있도록 계층적인 모델을 제안한다. 계층적 모델이란 (그림 6)과 같이 개별 문자, 단어, 문자행, 문자블록의 논리적인 계층 구조에 따라 해당 영역으로부터 각각의 표준 패턴을 생성하는 것이다. 이렇게 계층적 모델이 생성되면 검사 대상 IC 패키지의 문자 배치형태 분석 결과에 따라 1:1로 대응되는 최소 크기의 모델을 정합단위로 선정하게 된다. 제안하는 방식은 대부분의 검사 대상 IC 패키지를 문자단위로 정합하여 검사를 하고, 이진화 혹은 마킹 자체의 문제로 인한 예상치 못한 패턴이 발생할 때 단어, 문자 행, 문자블록으로 정합단위를 동적으로 확장한다.

5.2 모델 생성 및 정합

모델 생성은 계층적으로 추출된 각 영역에 대하여 모폴로지를 이용한 확장(dilation) 연산을 수행한 후 흑화소, 확장화소, 백화소의 공간적인 패턴을 특징으로 등록한다. 확장화소란 원영상에 나타나는 흑화소에 확장연산을 적용하여 확장된 흑화소를 말한다. 따라서 모델에 등록되는 패턴은 3가지 값을 갖게 된다. 확장 연산을 수행하는 이유는 표준 패턴과 입력 패턴간의 미세한 위치 변화를 흡수하기 위한 것으로 다수의 영상으로부터 추출한 원형을 포개어 위치 변화를 흡수하는 방법에 비해 학습 과정을 단순화하는 이점이 있다. 모델의 생성과 정합은 동일한 이진화 과정과 문자추출 과정을 거치게 된다. 정합시에는 입력 영상의 문자추출 및 배치형태 분석 결과에 따라 탄력적으로 선택된 정합단위에 대한 패턴만을 생성하며 이 과정에서는 확장 연산을 수행하지 않는다.

영상의 획득은 학습 과정과 실제 검사 과정이 동일한 환경에서 이루어지기 때문에 별도의 크기 정규화는 수행하지 않는다. 그러나 모델에 등록된 표준 패턴과 입력영상으로부터 추출한 검사 패턴의 크기는 이진화나 잡영 등에 의해 약간의 차이가 발생



(그림 6) 문자추출 및 배치형태 분석 결과

한다. 따라서 이러한 차이로 인한 패턴 불일치를 최소화하기 위하여 표준 패턴과 검사 패턴의 수평 프로파일과 수직 프로파일을 비교하여 두 패턴이 최대한 일치하도록 정합영역을 조정한 후 정합을 수행한다[12]. 표준 패턴의 흑화소에 대응되는 검사 패턴의 화소가 흑화소인 경우의 수를 M_{bp} , 표준 패턴의 확장화소에 대응되는 검사 패턴의 화소가 흑화소인 경우의 수를 M_{ep} , 검사 패턴의 흑화소에 대응되는 표준 패턴의 화소가 백화소인 경우의 수를 U_{bp} 라 하면 두 패턴간의 유사도 S 는 식 (6)과 같이 계산된다. S_{bp} 와 T_{bp} 는 각각 표준 패턴과 검사 패턴이 갖는 흑화소의 총수를 나타낸다. S 는 두 패턴간의 유사도를 나타내는 값으로 1에 가까울수록 두 패턴이 정확히 일치함을 나타낸다. 한 개의 IC 패키지 내에는 정합대상이 여러 개 나타나므로 식 (7)과 같이 평균 유사도 $Aug(S)$ 를 계산할 수 있다.

$$S = \frac{(M_{bp} \times 2) + M_{ep} - (U_{bp} \times 3)}{S_{bp} + T_{bp}} \quad (6)$$

$$Aug(S) = \frac{\sum_{i=1}^N S_i}{N}, \quad N \text{은 정합 대상의 수} \quad (7)$$

결국 마킹의 품질은 정합대상에 대한 유사도 S 와 평균 유사도 $Aug(S)$ 으로 평가할 수 있으며 불량여부를 판단하는 기준값은 요구되는 마킹의 품질에 따라 적절하게 설정할 수 있다. 그러나 유사도는 정합단위가 확장되면 두 패턴간의 국소적인 차이가 상대적으로 작게 나타날 수 있으므로 정합단위에 따라 기준값을 자동으로 조절하도록 하였다. 또한 문자추출 과정에서 발견되는 잡영의 존재 여부와 잡영의 정도, 문자의 배치형태 분석 과정에서 나타나는 문자간 접촉, 단어간 접촉, 문자행간 접촉 등에 따라 기준값을 자동으로 조절하도록 하였다. 마킹상태의 최종 판정은 식 (8)에 나타난 바와 같이 모든 정합대상의 유사도 S_i 가 기준값 ThS_i 를 충족하는지와 평균 유사도 $Aug(S)$ 가 기준값 $ThAvg$ 를 충족하는지의 여부로 이루어진다.

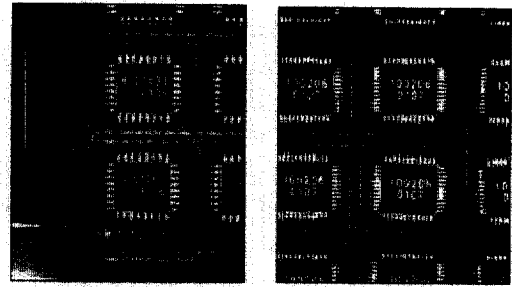
$$D = S_i \geq ThS_i, \text{ for all } i, 1 \leq i \leq N$$

$$\text{and } Aug(S) \geq ThAvg \quad (8)$$

6. 실험 및 고찰

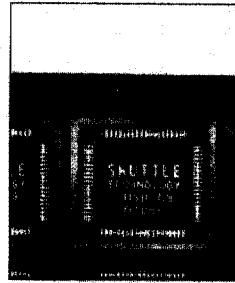
6.1 실험 환경

실험에 사용한 영상은 CCD 카메라를 고정시킨 상태에서 IC 패키지가 적재된 트레이를 이동시켜 가며 캡처한 것으로, 256-레벨 명도영상이며 영상 데이터의 크기는 모두 480×640 화소 크기이다. (그림 7)은 실험에 사용된 IC 패키지를 종류별로 제시한 것으로 마킹검사는 IC 패키지를 트레이에 적재한 상태로 이루어지기 때문에 IC 패키지의 기울어짐(skew)은 크지 않음을 확인할 수 있다. 알고리즘의 구현을 위해 Pentium III PC상에서 Visual C++ 6.0을 이용하였으며 8종의 IC 패키지에 대하여 각각 트레이 5열의 영상, 총 280개의 영상에 대하여 제안한 방법의 타당성을 실험하였다. IC 패키지의 크기에 따라 트레이 1열에 나타나는 IC 패키지 수는 차이가 있으며 “유형1”과 “유형2”는 10개, “유형8”은 5개이다.

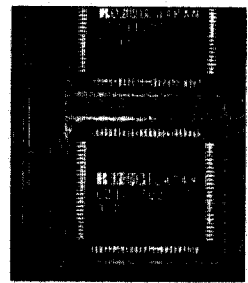


(a) 유형1

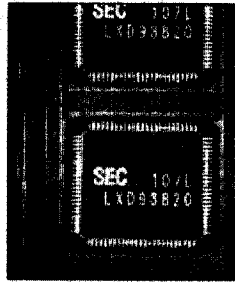
(b) 유형2



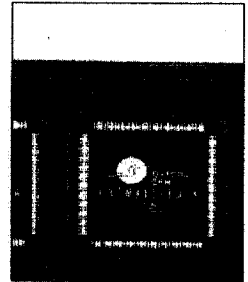
(c) 유형3



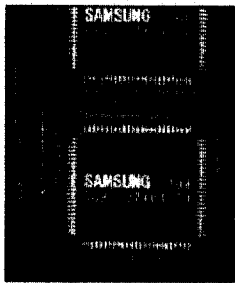
(d) 유형4



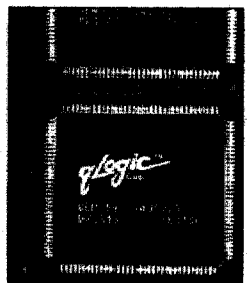
(e) 유형5



(f) 유형6



(g) 유형7



(h) 유형8

(그림 7) 실험에 사용된 입력 영상의 종류

6.2 이진화 실험결과 및 분석

제안된 이진화 방법의 성능을 평가하기 위하여 “유형1”의 일부 영상에 대하여 추출된 임계값을 조사하였다. <표 1>은 “유형1”의 IC 패키지 영상 중에 트레이 2열의 영상에 대하여 제안된 방법과 Otsu의 방법을 적용한 결과이다. $Th1$, $Th2$, $Th3$ 는 각각 제안된 이진화 방법으로 얻어진 IC 패키지, 마킹 문자, 핀원뿔 추출을 위한 임계값을 나타낸다. 3.1절에서 기술한 바와 같이 입력 영상이 세 개의 클래스로 구성되어 있기

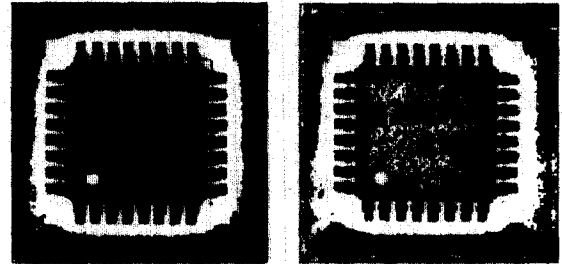
때문에 Otsu의 이진화 방법을 사용하여 다중 이진화(multi thresholding)를 수행하였을 때 두 개의 임계값을 $Otsu_Th1$, $Otsu_Th2$ 를 얻게 되는데 $Otsu_Th1$ 은 $Th1$ 에 대응되고 $Otsu_Th2$ 는 $Th2$ 에 대응되는 값이다. 그러나 Otsu의 이진화 방법으로는 통계적 빈도가 아주 작게 나타나는 핀원뿔홀에 대해서는 해당하는 임계값을 검출할 수 없었다.

<표 1>에서 IC 패키지 위치 검출에 대한 임계값은 제안된 방법과 Otsu의 방법이 최소 21에서 최대 38까지의 차이를 보이고 있으며, 마킹문자 추출을 위한 임계값은 최소 6에서 최대 56까지 차이를 보이고 있다. (그림 8)은 임계값 $Th1$ 의 차이가 최소인 1번 영상과 6번 영상에 대한 이진화 결과를 일부 영영만 나타낸 것으로 제안된 방법은 잡영이 거의 없고 IC 패키지의 윤곽이 뚜렷함을 알 수 있다. (그림 9)는 임계값 $Th2$

의 차이가 최소인 2번 영상과 10번 영상에 대한 이진화 결과로, 2번 영상에 대해서는 모두 좋은 이진화 결과를 보이고 있다. 제안된 방법은 10번 영상에서 2번 영상에 비해 다소 흑화소의 수가 증가되어 나타나지만 Otsu의 방법은 10번 영상에서 일부 문자에서 끊어짐이 발생하고 있다.

<표 1> 추출된 임계값

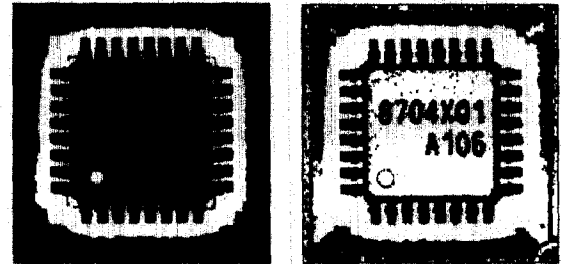
일련번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Th1$	48	47	46	45	45	46	45	44	45	50
$Th2$	139	154	154	133	136	139	140	122	129	127
$Th3$	50	56	54	46	47	49	49	44	46	43
$Otsu_Th1$	69	71	74	79	82	84	77	73	70	78
$Otsu_Th2$	156	160	162	167	170	172	165	162	155	183
일련번호	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$Th1$	52	52	51	52	50	50	50	50	52	62
$Th2$	147	139	139	136	142	138	141	125	131	142
$Th3$	57	45	47	48	49	50	50	53	45	45
$Otsu_Th1$	77	86	86	86	86	86	86	85	84	88
$Otsu_Th2$	164	175	175	175	175	176	177	176	173	188



$Th1 = 48$

$Otsu_Th1 = 69$

(a) 1번 영상

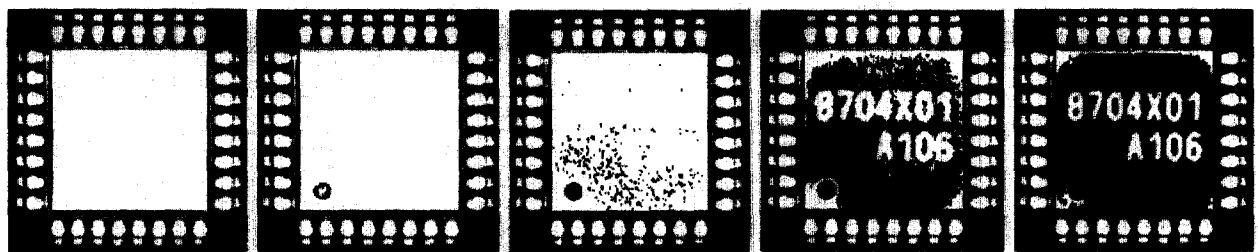


$Th1 = 46$

$Otsu_Th1 = 84$

(b) 6번 영상

(그림 8) IC 패키지에 대한 이진화 결과



$Th3 = 30$

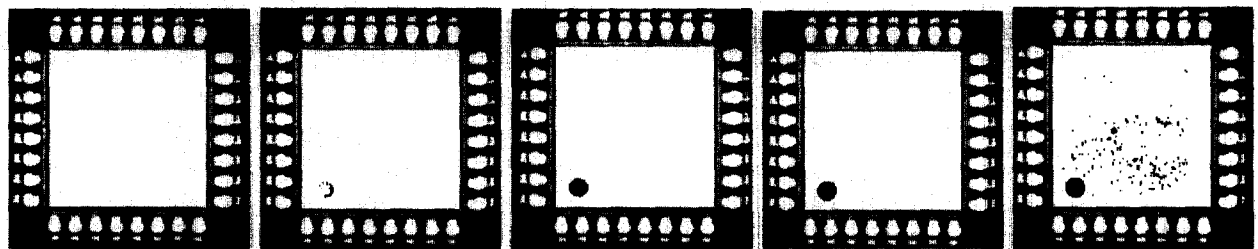
$Th3 = 40$

$Th3 = 50$

$Th3 = 60$

$Th3 = 70$

(a) 10번 영상



$Th3 = 30$

$Th3 = 40$

$Th3 = 50$

$Th3 = 60$

$Th3 = 70$

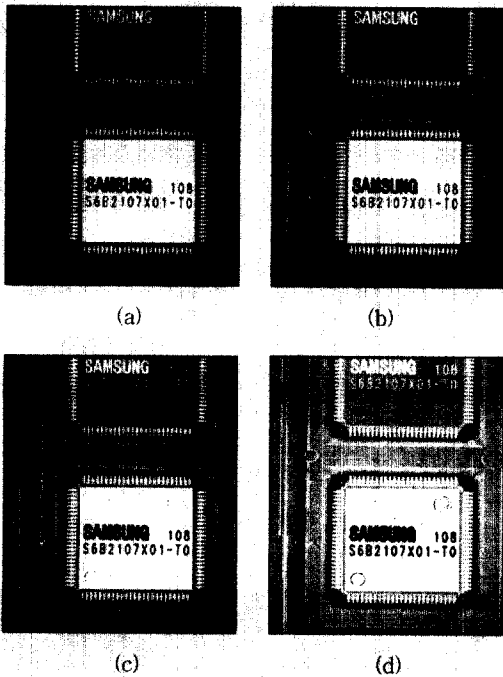
(b) 11번 영상

(그림 10) 핀원뿔홀에 대한 이진화 결과

(그림 10)은 Th_3 가 최소인 10번 영상과 최대인 11번 영상 대하여 임계값을 변화시켜 가며 관심 영역을 이진화한 것으로 핀원뿔들이 임계값에 매우 민감함을 확인할 수 있다. 또한 제안된 이진화 방법에 의해 생성된 임계값은 10번 영상은 43, 11번 영상은 57로 핀원뿔 검출에 매우 효과적임을 알 수 있다.

8704X01 8704X01 8704X01 8704X01
 A106 A106 A106 A106
 $Th_2 = 154$ $Otsu_Th_2 = 160$ $Th_2 = 127$ $Otsu_Th_2 = 183$
 (a) 2번 영상 (b) 10번 영상

(그림 9) 마킹문자에 대한 이진화 결과



(그림 11) 다양한 명도분포에 대한 마킹문자 이진화 결과

실험에 사용된 영상은 명도값의 변화가 크지 않기 때문에 명도값 변화에 따른 제안된 이진화 방법의 적응성을 확인할 수 없었다. (그림 11)은 영상 편집 툴을 이용하여 입력 영상의 명도값을 임의로 조절한 후 이진화를 수행한 결과이다. (a), (b)는 원 영상보다 어둡게 처리한 영상이고, (c), (d)는 밝게 처리한 영상으로 다양한 명도분포를 갖는 영상에 대하여 마킹문자 추출을 위한 이진화 결과는 전반적으로 양호하였다.

6.3 정합 실험결과 및 분석

정합은 추출한 마킹문자에 대하여 동적으로 선택된 정합단위에 따라 해당 모델 패턴과 유사도를 계산하고, 이 유사도를 마킹의 불량여부를 판정하는 기준값과 비교하여 마킹검사를 수행하게 된다. 마킹상태가 제품의 기능과는 무관하며 단지가독성이 어는 정도인지가 중요하기 때문에 기준값의 설정은 주관적일 수 있다. 물론 역마킹이나 다른 문자가 마킹되는 경

우는 객관적인 오류 판정이 가능하다. 본 논문에서는 마킹의 불량 여부를 판별하는 기준값을 설정하기 위하여 총 280개의 영상 중에서 IC 패키지 종류별로 트레이 2열의 영상(112개)을 학습 데이터로 사용하였고, 나머지 3열의 영상(168개)을 실험 데이터로 사용하였다.

<표 2>는 학습 데이터에 대한 유사도 측정 결과이고, <표 3>은 “유형1”에 대하여 유사도 측정 결과를 개별 영상별로 나타낸 것이다. $Min(S)$ 는 개별 정합대상에 대한 유사도 중 최소값, 즉 정합대상 중에서 마킹상태가 가장 나쁜 것으로 판정된 것의 유사도를 의미하고, $Avg(S)$ 는 여러 정합대상에 대한 평균 유사도를 의미한다. 1번 영상은 $Min(S)$ 와 $Avg(S)$ 가 모두 1.0인데 이것은 1번 영상이 “유형1”에 대한 표준 모델 패턴임을 의미하며, 13번 영상은 마킹불량으로 유사도가 매우 낮게 나타나고 있다. 본 논문에서는 학습 데이터에 대한 유사도 측정 결과를 토대로 마킹상태의 불량여부를 판정하는 기준값으로 개별 유사도에 대한 기준값은 0.85, 평균 유사도에 대한 기준값은 0.90으로 설정하였다.

<표 2> 학습 데이터에 대한 유사도 측정 결과

학습데이터 유형	유형1	유형2	유형3	유형4	유형5	유형6	유형7	유형8	
데이터수	20	20	14	12	12	12	12	10	
유사도 S	최소	0.87	0.84	0.89	0.84	0.89	0.81	0.80	0.77
	평균	0.96	0.97	0.96	0.95	0.97	0.95	0.96	0.95
평균유사도 Avg(S)	최소	0.93	0.93	0.94	0.93	0.94	0.92	0.94	0.92

<표 3> “유형1”에 대한 유사도 측정 결과

일련번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Min(S)$	1.0	0.93	0.92	0.92	0.93	0.91	0.89	0.92	0.96	0.95
$Avg(S)$	1.0	0.96	0.96	0.95	0.96	0.96	0.95	0.95	0.98	0.96
일련번호	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$Min(S)$	0.93	0.95	0.75	0.94	0.94	0.92	0.94	0.92	0.92	0.91
$Avg(S)$	0.96	0.98	0.94	0.97	0.96	0.96	0.96	0.94	0.94	0.93

<표 4>는 168개의 실험 데이터에 대한 마킹검사 결과로 (그림 12)-(a)와 같이 “유형5”와 “유형7”에서는 제작사 로고에 해당하는 문자가 접촉되어 “SEC”과 “SAMSUNG”에서 단어 단위 정합이 자주 발생하였고, “유형4”의 한 영상에서는 (그림 12)-(b)와 같이 비교적 3번째 문자 행에 큰 잡영이 문자로 추출되어 문자행 단위 정합이 이루어졌다. 제안된 방법은 이러한 예기치 못한 상황에서도 정합단위를 동적으로 선택함으로써 마킹상태의 검사가 가능하였다. 전체 실험 데이터에 대하여 IC 패키지와 핀원뿔들의 검출율은 100%였으며, 마킹상태에 대한 판정은 98.8%의 정확도를 나타내었다.

(그림 13)은 마킹불량으로 판정된 영상을 이진화 결과와 함께 제시한 것으로 (a)는 “TECHNOLOGY”의 “T”자가 불량으로 판정되었고, (b)와 (c)는 문자행간 접촉과 잡영으로 인해 불량으

〈표 4〉 실험 데이터에 대한 마킹검사 결과

실험 데이터 유형	유형1	유형2	유형3	유형4	유형5	유형6	유형7	유형8
데이터수	30	30	21	18	18	18	18	15
IC 패키지 검출	30	30	21	18	18	18	18	15
정합 단위	문자	30	30	21	18	18	18	15
	단어	0	0	0	2	13	1	12
	문자행	0	0	0	1	0	0	0
	문자블럭	0	0	0	0	0	0	0
핀원뿔 검출	30	30	21	18	18	18	18	15
마킹 판정	양호	30	30	20	16	18	16	18
	불량	0	0	1	2	0	2	0

SEC 107L SAMSUNG 108
LXD93820 S6B2107X01-T0

(a) 문자 접촉에 의한 정합단위 확장: 단어 정합

RICOH JAPAN
L2131702
0107

(b) 잡영에 의한 정합단위 확장: 문자행 정합

(그림 12) 정합단위의 동적 선택 예

SHUTTLE TECHNOLOGY
EUSB-C3
0106E

(a) "TECHNOLOGY"에서 'T'자가 불량으로 판정됨

RICOH JAPAN
L2131702
0107

(b) 문자 행간 접촉으로 불량으로 판정됨

RICOH JAPAN
L2131702
0107

(c) 잡영에 의해 불량으로 판정됨

OXFORD SEMI
OXFW911-T0-A
0107

(d) "OXFW911"에서 'F'자가 불량으로 판정됨

OXFORD SEMI
OXFW911-T0-A
0107

(e) "SEMI"에서 'I'자가 불량으로 판정됨

(그림 13) 마킹불량으로 판정된 영상

로 판정되었다. (d)와 (e)는 육안으로 판단할 경우에 마킹상태가 양호한 편이나 불량으로 판정된 예로, (d)는 "OXFW911"에서 'F'자가 불량으로 잘못 판정되었고, (e)는 "SEMI"에서 'I'자가 불량으로 잘못 판정되었다. 그러나 (d)의 'F'자와 (e)의 'I'자는 마킹이 약간 흐리게 되어 불량으로 판정된 것으로 완전한 오류로 보기는 어렵다. 이것은 마킹상태에 대한 판정의 옳고 그름은 요구되는 수준에 따라 달라질 수 있음을 의미한다.

7. 결 론

여타의 인스펙션 시스템과 같이 마킹검사는 표준 패턴을 미리 학습시키고, 검사할 대상물로부터 추출한 패턴과 표준 패턴을 비교함으로써 불량여부를 판별한다. 대부분의 기존 시스템에서는 표준 패턴 모델을 만들기 위해 검사할 IC 패키지에 종류에 따라 각각 사람이 검사 대상 IC 패키지의 위치를 미리 설정해 주어야 마킹검사가 가능하고, 경우에 따라서는 이진화 임계값을 입력 영상의 맞게 수동으로 설정하고 있다. 본 연구의 목적은 입력 영상의 이진화에서부터 검사 대상 IC 패키지 추출, 마킹문자가 나타난 관심영역 추출, 관심영역내 문자추출 및 분석, 핀원뿔 검출, 특징추출에 이르는 학습과 정합에 필요한 전 과정을 자동화하여 보다 진보된 마킹검사 시스템을 구축하는 것이다.

본 논문에서는 IC 패키지 위치 검출, 마킹문자 추출, 핀원뿔 검출에 적합한 이진영상을 얻기 위하여 적응적 다단계 이진화 방법을 제안하였고, 마킹문자의 국소적인 오류를 검출하기 위하여 정합단위를 최소화하면서 문자 배치분석에서 발생하는 오류를 극복할 수 있는 정합단위의 동적선택 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 적용하여 8종류의 IC 패키지, 총 280개의 영상에 대하여 실험한 결과, IC 패키지와 핀원뿔의 검출율은 100%였으며, 마킹상태에 대한 판정은 98.8%의 정확도를 나타내어 제안된 방법이 효과적임을 확인할 수 있었다. 향후 이러한 연구 결과를 실제 마킹검사 시스템에 적용하기 위해서는 다량의 영상을 확보하여 알고리즘의 신뢰성과 안정성을 확인하고, 처리시간에 대한 분석을 통해 최적화가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Madhav Moganti, Fikret Ercal, Cihan H. Dagli, and Shou Tsunekawa, "Automatic PCB Inspection Algorithms : A Survey," Computer Vision and Image Understanding, Vol. 63, No.2, pp.287-313, 1996.
- [2] Kjersti Aas, Line Eikvil, and Otto Milvang, "Automatic Can Separation," Proceedings of the 13th ICPR, Vol.3, pp.954-958, 1996.
- [3] Yi Ju and Anthony Tisler, "Machine Vision Inspection of VF Display Boards," Proceedings of the 13th ICPR, Vol.3, pp.839-843, 1996.

[4] 최경주, 변해관, 이일병, "효과적인 이진화를 위한 영상개선기법의 정의 및 구현", 정보과학회논문지(B), 제26권 제2호, pp. 284-296, 1999.

[5] Oivind Due Trier and Torfinn Taxt, "Evaluation of Binarization Methods for Document Images," IEEE transactions on PAMI, Vol.17, No.3, pp.312-315, 1995.

[6] N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms," IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, Vol.SMC-9, No.1, pp.62-66, 1979.

[7] Min-Ki Kim, Mun-Kyu Park, Oh-Sung Kwon, and Young-Bin Kwon, "Automatic Region Labeling of the Layered Map," Lecture Notes in Computer Science 1072 (Graphics Recognition), pp.179-189, 1996.

[8] George Nagy, "Twenty Years of Document Image Analysis in PAMI," IEEE transactions on PAMI, Vol.22, No.1, pp. 38-62, 2000.

[9] 김민기, 권영빈, 한상용, "연결요소를 이용한 한·영 혼용문서의 구조분석 및 낱자분리", 한국통신학회논문지, 제22권 제3호, pp.410-422, 1997.

[10] 장명옥, 천대녕, 양현승, "연결화소를 이용한 문서영상의 분할 및 인식", 정보과학회논문지, 제20권 제12호, pp.1741-1751, 1993.

[11] H. S. Baird, H. Bunke, K. Yamamoto(Eds.), "Structured Document Image Analysis," Springer-Verlag, 1992.

[12] 임문철, 황선철, 김우생, "일차 고유벡터와 히스토그램 분석에 의한 영상 정합", 정보과학회논문지(소프트웨어 및 응용), 제27권 제10호, pp.1054-1061, 2000.



김민기

e-mail : mkkim@nongae.gsnu.ac.kr

1989년 중앙대학교 전자계산학과 졸업
(이학사)

1994년 중앙대학교 대학원 전자계산학과
졸업(공학석사)

1998년 중앙대학교 대학원 컴퓨터공학과
졸업(공학박사)

1998년~1999년 한국학술진흥재단 부설 첨단학술정보센터(KRIC)
선임연구원

1999년~2000년 한국교육학술정보원(KERIS) 책임연구원, 연구 위원

2000년~현재 경상대학교 컴퓨터교육과 전임강사

2001년~현재 경상대학교 컴퓨터·정보통신연구소 연구원

관심분야 : 패턴인식, 원격교육, 평생교육, 인간과컴퓨터 상호작용, 정보검색