

불변 모멘트를 이용한 반도체 IC 리드 불량 검사 알고리즘

이 길 휘[†] · 김 준 식^{††}

요 약

최근의 생산자동화 설비에서 시각시스템을 이용한 검사의 중요성이 증가되고 있다. 본 연구에서는 시각시스템을 이용한 반도체 외관검사 방법을 제안하였다. 기존의 연구가 특징점을 통한 칩의 위치 및 기울어짐에 집중되어 있으나 본 연구에서는 물체 영역분할 방법으로 검사 대상의 리드 영역분할 및 리드 추출을 제안하였으며, 불량 검사 방법으로 치수에 의한 검사방법이 주를 이루나 본 연구에서는 모멘트를 이용한 불량 빈도에 의한 단계적 검사 방법을 제안하였다. 기존의 방법과 비교실험에서 제안 방법의 영역분할 방법과 순차적 검사 방법의 우수성과 불변 모멘트를 이용한 검사의 유용성을 입증하였다.

The Inspection Algorithm using Invariant Moment for the Detection of Lead Faults of Semiconductor IC

Kil-Whi Rhee[†] · Joon-Seek Kim^{††}

ABSTRACT

Recently, vision system is widely used in factory automation processes. In this paper, the method which detects the badness in the position, slop, and the lead of chips is proposed for the inspection of semiconductor chips.

The conventional methods mainly inspect semiconductor IC with the features which is extracted in image. But we propose the method which segments the lead part by the morphology and inspects the lead faults by the invariant moment.

In the simulation, the results of the proposed method is better than those of the conventional method for the noisy and noiseless images.

1. 서 론

산업의 여러 분야에서 시각검사 자동화를 위한 시각시스템의 도입이 증가하고 있다. 시각검사란 품질 검사의 한 분야로서 지금까지는 주로 인간이 직접 눈

으로 검사하여 왔다. 그러나, 인간 시각에 의한 검사는 작업장의 환경, 작업자의 상태, 장비의 여건에 따라 균 일한 검사가 이루어지기 어렵다^[1]. 따라서, 시각시스템에 의한 고품질의 균질성을 확보하여 인건비를 절감시키고, 시각검사 자동화에 의해 모든 검사 결과가 검사 시점에서 파악되고 전자정보화가 가능하다. 시각시스템을 이용한 연구의 한 분야인 외관검사 자동화에서 그 용도는 결함검출, 분류, 위치 및 치수측정, 이상상태 감시, 문자·기호판독, 형상식별 등 그 적용범위가 광

* 본 연구는 한국과학재단 지정 호서대학교 반도체제조장비국산화 연구센터의 지원하에 수행되었음.

† 정 회 원 : (주)기아정보시스템 연구원

†† 정 회 원 : 호서대학교 전기전자제어공학부 교수

논문접수 : 1998년 4월 14일, 심사완료 : 1998년 6월 24일

범위하며 잠재적인 수요가 매우 크다. 본 연구에서는 시각시스템을 활용할 수 있는 분야인 반도체 칩 외관 자동검사 알고리즘 개발에 관한 연구를 수행하였다.

기존의 연구방법은 표면실장기술(SMT: Surface Mounting Technology)을 위한 반도체 소자의 위치 및 방향 탐지에 집중되어 있으며, 물체의 관성 모멘트(moment)^[2]를 이용하여 물체의 중심 및 기울어짐을 찾는 방법, Horn^[3]이 제안한 투영 기법을 이용한 방법, 3-D 삼각측량법에 의한 방법^[4], Hough변환에 의한 방법과 영상의 코너점을 가지고 Hough변환을 이용하는 방법이 있다^[5, 6].

기존에 제안된 불량검사 방법은 ruling 기법^[7]을 이용하여 리드의 불량을 검출하는 방법이 제안되었고, 이 방법은 물체의 방향과 직각이 되는 방향으로 ruler를 평행이동 시키기 위한 많은 전처리 과정을 필요로 하며 전처리 과정에서 발생한 오차가 ruling결과에 영향을 미친다. 기존 연구방향이 특징점 위치를 기반으로 칩의 외관적 특성을 파악하여 검사하는 방법이었으나, 이는 특징점 추출과정의 복잡성 및 하드웨어 구현이 용이하지 않다는 문제점들이 대두되었다. 따라서 본 연구에서는 칩의 위치 및 기울어짐에 무관하게 리드 불량을 검출할 수 있는 알고리즘을 제안하였다^[8, 9].

일반적으로, 선형 시스템이 영상 신호를 처리할 때 영상의 구조 및 형태를 왜곡하는 특성을 갖지만 본 연구에서 적용한 수리형태론은 우수한 비선형 특성으로 인해 신호의 잡음 제거, 형태보존, 윤곽선 보존 등의 우수한 특성을 갖기 때문에 영상 신호처리 분야에 적용되어 영상분할, 결합검출 등에 이용되고 있으며,^[10-15] Loui^[16]등에 의해 형태학적 영상처리를 위한 비선형 파이프라인 프로세서가 제안되어 하드웨어적 가능성을 보이고 있다. 즉, 본 연구에서는 하드웨어로 구현이 용이한 수리형태론을 적용하여 반도체 IC 불량 및 기울기 계산을 위한 리드 분리 전처리 과정을 거친다.

검사 단계에서는 분리된 리드에 라벨을 할당하고 각 리드에 대한 모멘트를 얻어 2차와 3차 모멘트로부터 도출되는 이동, 축적, 회전에 불변인 정규화 불변 모멘트로 재구성할 수 있다. 이 함수의 특징은 리드의 대칭적 구조로 인하여 ϕ_1 을 제외한 나머지 값들은 영으로 간다는 특성을 가지고 있다. 따라서 구부러진 리드 및 휘어진 리드의 covariance 값을 통하여 불량률 판정하는 알고리즘과 칩의 기울어짐을 정상리드들의 불변 모멘트로부터 얻는 알고리즘을 제안하였다.

2. 수리형태론^[13, 14]

수리형태론은 크게 두 분야로 구분할 수 있다. 이진 영상 수리형태론과 농담영상 수리형태론으로 구분한다. 본 연구에서는 이진영상 수리형태론을 적용하였다. 따라서, 수리형태론의 기본연산자 dilation과 erosion을 통하여 opening과 closing으로 확장하여 설명한다.

2.1 Dilation

Dilation이란 집합의 각 원소들을 벡터 덧셈 방법을 이용하여 두개의 집합을 결합하는 형태론적 변환이며, 집합 A, B의 원소들을 각각 $a = (a_1, \dots, a_N)$, $b = (b_1, \dots, b_N)$ 라 할 때 집합 A의 B에 대한 dilation은 A의 집합에서 B의 집합으로부터 비롯된 각 원소 쌍들의 모든 벡터 합을 말한다.

정의 1 : A와 B를 E^N 의 부분 집합이라 하면, B로 A를 dilation함을 $A \oplus B$ 로 표기하고, 다음과 같이 정의한다.

$$A \oplus B = \{ C \in E^N \mid c = a + b \text{ for some } a \in A \text{ and } b \in B \} \quad (1)$$

2.2 Erosion

Erosion이란 dilation에 대한 형태학적 쌍대(dual) 관계에 있으며 집합내의 원소의 벡터 차를 이용하는 형태론적 변환이며, 일반적으로 erosion은 영상내의 물체를 수축시키는 개념으로 설명되어지고 집합이론에서 erosion된 집합은 원래의 집합에 포함된다.

A, B가 N-차원 Euclidean space(E^N)내의 집합이라고 할 때 B에 대한 A의 erosion은 모든 $b \in B$ 에 대해 $X + b \in A$ 를 만족하는 X의 집합을 말한다.

정의 2 : B로 A를 erosion함을 $A \ominus B$ 로 표기하고, 다음과 같이 정의한다.

$$A \ominus B = \{ X \in E^N \mid X + b \in A \text{ for every } b \in B \} \quad (2)$$

2.3 Opening

Opening과 closing은 수리형태론의 연산자인 erosion 연산자와 dilation 연산자의 확장으로 얻을 수 있다. 우선, opening은 erosion된 결과에 dilation하는 과정이며, 연산은 동일한 구성소가 erosion과 dilation과

정에 적용된다.

일반적으로 opening은 원영상에 비해 물체 경계의 날카로운 부분을 열화시키며 구성소 보다 작은 물체는 제거하는 성질을 지니고 있다.

정의 3: 구성소 B에 의한 영상 A의 opening은 $A \circ B$ 로 표현하고, 다음 식과 같이 정의된다.

$$OPEN(A, B) = A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

2.4 Closing

Closing이란 opening에 대한 형태론적 쌍대 관계에 있으며, 같은 구성소로 dilation된 결과에 erosion을 행하는 과정을 말한다. 일반적으로, closing은 영상내의 물체에서 작은 협곡 모양의 물체 및 구멍을 메우는 특성을 가지고 있다^[17].

정의 4: 구성소 B에 의한 A의 closing은 $A \bullet B$ 로 표기하고, 다음과 같이 정의한다.

$$CLOSE(A, B) = A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (4)$$

opening과 closing은 서로 쌍대 관계를 가지고 있다.

$$CLOSE(A, B) = OPEN(A, B)^C : \text{Duality} \quad (5)$$

2.5 경계 검출

수리형태학을 응용하여 물체의 경계선을 얻을 수 있다. 영상내의 물체 A의 경계는 $\beta(A)$ 로 표현되며 이는 물체 A에 구성소 B로 erosion을 수행하고, 원영상과 erosion된 영상과의 차를 통해 얻을 수 있다. 이를 수학적으로 표현하면 다음과 같다.

$$\beta(A) = A - (A \ominus B) \quad (\text{단, } B \text{는 적당한 구성소}) \quad (6)$$

본 연구에서 사용하는 취득영상은 단조롭고 처리과정에서 물체의 경계를 이용한다는 점을 고려하여 영상 처리에서 많이 사용되는 sobel 연산자보다 본 알고리즘을 적용하여 물체의 경계를 얻었다.

3. Invariant Moment

물체의 형태를 묘사하는 것은 영상해석과 영상합성에 있어 가장 중요한 작업이다. 물체의 형태정보는 물체 인식분야인 영상해석, 컴퓨터비전, 패턴인식 등의 응용에 이용되고 있으며, 물체의 형태정보를 묘사하는

방법들(boundary length, curvature, signature, Fourier description)이 있다. 본 연구에서는 물체의 외형을 묘사하는 가장 유용한 한 가지 방법인 불변모멘트를 이용하여 물체해석 및 검출에 적용하였다. Moment는 uniqueness theorem에 의하면, 2차원 연속 함수 $f(x, y)$ 를 갖는 영상에서, $f(x, y)$ 가 구간에서 연속이고 $x - y$ 평면의 일정부분에서 영이 아닌 값을 갖는다면, 모든 차수의 모멘트가 존재하며 함수 $f(x, y)$ 에 의해 $(p + q)$ 차수의 모멘트 m_{pq} 가 유일하게 결정되고, 또한 m_{pq} 로 부터 $f(x, y)$ 가 유일하게 결정된다^[18].

$f(x, y)$ 가 구간에서 연속인 함수에서 $(p + q)$ 차수의 모멘트는

$$m_{pq} = \int_{-x}^x \int_{-x}^x x^p y^q f(x, y) dx dy \quad p, q = 0, 1, 2, \dots \quad (7)$$

이고, 중앙 모멘트 μ_{pq} 는 다음과 같이 주어진다^[18].

$$\mu_{pq} = \int_{-x}^x \int_{-x}^x (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) dx dy \quad (8)$$

여기서 중심 모멘트 \bar{x}, \bar{y} 는 다음과 같고,

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \quad \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (9)$$

식(9)은 물체내의 면적 중심으로 중심점을 얻을 때 사용된다. 식(8)을 디지털 영상에 적용하면 다음과 같다.

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) \quad (10)$$

3차까지의 중앙 모멘트를 구하여 크기에 무관한^[19] 정규화 중앙 모멘트 η_{pq} 로 표현하면

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^{\frac{p+q}{2}}} \quad (11)$$

이며, 여기서

$$\gamma = \frac{p+q}{2} + 1 \quad (p+q=2, 3, 4, \dots) \quad (12)$$

로 표현되며, 7개의 불변 모멘트는 2차와 3차 모멘트

로부터 도출되는데, 이는 이동, 축적, 회전에 불변인 특성을 가지며,

$$\phi_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \tag{13}$$

$$\phi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \tag{14}$$

$$\phi_3 = (\eta_{30} + 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} + \eta_{03})^2 \tag{15}$$

$$\phi_4 = (\eta_{30} + 3\eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \tag{16}$$

$$\begin{aligned} \phi_5 = & (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ & + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \end{aligned} \tag{17}$$

$$\begin{aligned} \phi_6 = & (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ & + 4\eta_{11}(\eta_{30} - \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \end{aligned} \tag{18}$$

$$\begin{aligned} \phi_7 = & (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ & + (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \end{aligned} \tag{19}$$

로 정의된다.

이미 알려진 불변 모멘트의 특성은 특별한 형태변환, 즉 이동, 회전, 축적에 관계없이 불변이며, 특히 ϕ_7 은 뒤틀림에도 불변이다. 그리고 ϕ_7 은 180° 회전을 하면 그 부호가 변하는 성질을 가지고 있다. 또한 이진 영상이며, 그 영상이 $x=y$ 의 함수에 대칭인 경우 ϕ_1 을 제외하고는 모두 영 값을 갖는 특징이 있다^[20, 21].

물체의 회전량 θ 는 (그림 1)과 같이 물체의 x 축과 주축이 이루는 각도로서 표현된다. 각도를 최소화시키는 함수 $S(\theta)$ 로 유도되고,

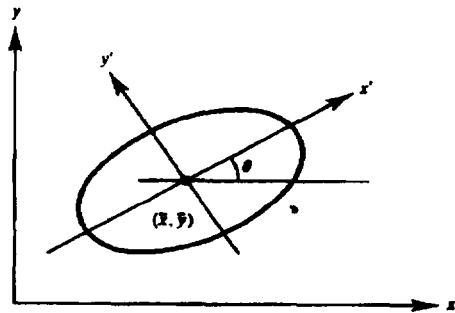
$$S(\theta) = \sum_x \sum_y [(x - \bar{x}) \cos \theta - (y - \bar{y}) \sin \theta]^2 \tag{20}$$

각도가 최소화되는 결과는 다음과 같다.

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{2\mu_{11}}{\mu_{20} - \mu_{02}} \right) \tag{21}$$

4. 제안 부품 검사 알고리즘

본 연구에서 제안한 알고리즘은 패키지형의 능동부품(QFP, SOP)을 분류하여 패키지와 리드 부분으로 분리하는 전처리 알고리즘과 분리된 리드를 검사하는 알



(그림 1) 물체의 회전 정의
(Fig. 1) Definition of object orientation

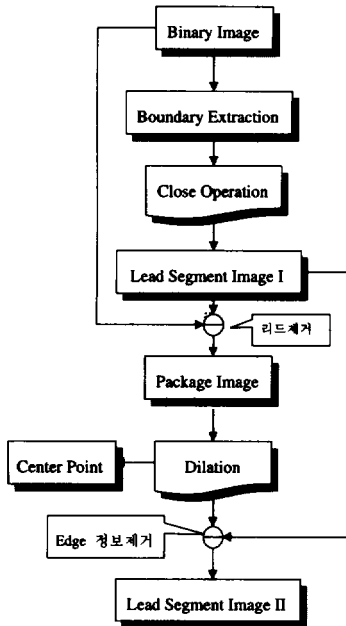
고리즘으로 구분된다. 전처리 알고리즘은 수리형태학을 이용하여 리드 영역을 영역분할하고 label을 할당하여 리드만을 이진영상으로부터 분리하는 알고리즘이다. 불량검사 알고리즘은 불변모멘트로 얻은 파라미터로 불량판정을 하는 알고리즘으로 구성되어 있다.

4.1 전처리 알고리즘

4.1.1 리드 영역분할

CCD 카메라를 통해 입력된 반도체 IC(QFP, SOP)의 영상은 농담영상으로 이를 적절한 문턱치 처리를 거쳐 2진 형태학(binary morphology)을 적용할 수 있는 이진 영상으로 변환한다. 변환된 이진영상에 식(6)을 이용하여 경계검출을 수행하고, 경계영상으로 변환한다. 변환된 영상을 이진 수리형태론을 수행하여 리드영역을 영역분할 한다. 영역분할은 식(4)에 따라 수리형태학의 closing 연산을 이용한다. 이때 사용된 구성소는 3×3 square 구성소로 dilation과 erosion을 n번 동일하게 적용하였다. Closing을 적용한 영상은 리드영역으로 영역분할 된다. 그러나 아직까지 리드 영역으로 완전히 분리된 것은 아니다. 수리형태론이 비선형적 특성으로 영상의 형태는 유지한다고 하였듯이 반도체 칩의 경계는 유지하고 있다. 따라서, 이진 영상에서 closing 결과영상의 차를 구하면, 이진영상을 opening 시킨 결과(패키지 부분만의 영상)를 얻을 수 있다. 직접 이진영상을 opening 시키지 않는 이유는 처리 속도의 향상과 함께 같은 결과를 얻을 수 있기 때문이다. 결과 영상에 구성소를 가지고 dilation을 적용하여 패키지 영상을 확장시키고 불변모멘트 식(9)에 따라 중심점을 구한다. 최종적으로 closing된 영상에서 결과

영상의 흑화소를 제거하면 리드부분이 분리된 영상을 얻을 수 있다. (그림 2)는 리드 영역분할 과정에 대한 흐름도 이다. (그림 2)에서 Lead Segment Image I은 경계가 포함되어 있는 영상이고, Lead Segment Image II는 경계가 완전히 분리된 리드영역별 영상이다.



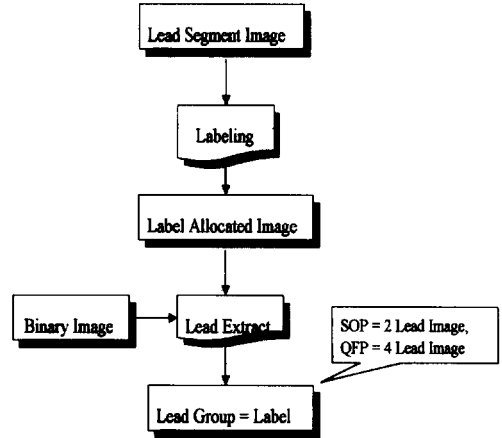
(그림 2) 리드 영역분할 과정
(Fig. 2) The process steps for lead region segmentation

4.1.2 리드 추출

(그림 2)과 같이 lead segment 결과는 능동부품 SOP는 2개의 영역으로 분할되고, QFP는 4개의 영역으로 분할된다. 영역분할된 결과로부터 영역을 인식하기 위하여 labeling을 수행한다. Label을 할당하면, SOP는 2개, QFP는 4개의 label이 할당되며, 할당된 label 번호의 영상좌표 정보를 근거로 이진영상에서 각 label 부분의 리드를 추출해 낸다. 추출된 리드영상은 label 수와 같다. (그림 3)는 리드분리 알고리즘으로 리드 영역분할 영상에 label을 할당하여 label정보를 통해 이진영상에서 리드를 추출하는 순서도이다.

4.2 리드 불량 검사 알고리즘

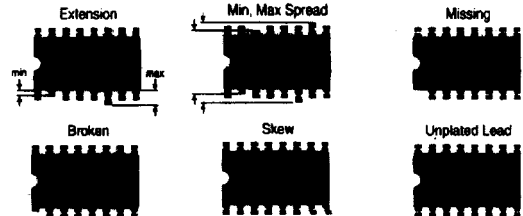
패키지형 능동부품(QFP, SOP)은 자동 장비를 이용하여 PCB 기판에 자동 장착된다. 이때 부품의 리드에



(그림 3) 리드 추출 과정
(Fig. 3) The process step for lead extraction

불량이 존재하면 올바른 장착을 할 수가 없다. 따라서 본 연구에서는 리드 불량 검출에 대한 알고리즘을 제안하였다.

리드 불량이 발생하는 경우는 (그림 4)와 같다.



(그림 4) SOP 반도체 칩 불량
(Fig. 4) Badness of SOP semiconductor chip

(그림 4)와 같이 6개의 불량 결과를 나타내었다. 불량 원인은 단독으로 발생하는 경우보다 서로 복합적으로 발생하는 경우가 많다. 가장 많은 불량 발생은 리드가 휘어진 경우(skew)가 가장 많고, 휘어진 경우에 리드의 extension의 차이도 발생한다. 다음의 발생빈도가 많은 것은 리드가 위로 뜨거나 아래로 내려앉은 경우가 발생한다. 이때는 리드가 기울어지지 않고, 길이의 변화만 발생한다. 또 리드가 empty나 broken으로 발생하는 불량이 존재한다. 본 알고리즘은 이 3가지의 경우를 검사하는 방법을 제안하였다. 본 검사 알고리즘의 판정은 순차적 판정 방법을 적용하였는데, 불량 빈도가 많고, 불변모멘트의 특성으로 판정이 용이한

휘어짐에 대하여 먼저 판정한다. 리드가 휘어졌다는 것은 검사 대상인 능동부품(QFP, SOP)의 분리된 리드가 대칭적 구조를 가지고 있지 않다는 것이다. 불변모멘트에서 유도되는 μ_{11} 은 공분산 양으로, 값이 클수록 대칭성에서 벗어남을 나타낸다. 본 연구에서는 불변모멘트를 좀 수정하여 불량 판정을 하였다.

$$\begin{aligned} \text{Skew} &= \frac{\mu_{11}}{\mu_{00}} \leq C_1 \times \alpha_1 : \text{정상} \\ \text{Skew} &= \frac{\mu_{11}}{\mu_{00}} \geq C_1 \times \alpha_1 : \text{불량} \end{aligned} \quad (22)$$

식 (22)에서 공분산 μ_{11} 을 μ_{00} 을 이용해 나눈 물리적 의미는 μ_{00} 가 검색 리드의 화소수이고, 화소수로 공분산 값을 나눈 값은 화소수에 대한 리드의 대칭비가 된다. 따라서, 휘어진 리드에서는 공분산이 증가하므로 값이 크게 증가한다. C_1 은 이동, 축적, 회전에 무관하게 정규화시킨 식 (13)을 인자로 식 (14)를 잡음에 강하게 ϕ_2/ϕ_1^2 을 통해 나누어서 정규화시킨 값으로 리드의 형태가 동일하면 유사한 값으로 존재하며, 축적에 무관한 값이기 때문에 변화량이 상대적으로 적다. 따라서 값을 비교하기 위해 정규화 값에 α_1 을 곱해서 μ_{11}/μ_{00} 의 값이 $C_1 \times \alpha_1$ 보다 크면 휘어짐으로 판정한다. α_1 은 1이하인 C_1 의 정규화 값을 비교 범위의 값으로 변화시키고 정상 영역을 설정하여 검사 정밀도를 조절할 수 있는 값이다. 본 논문에서는 10을 사용하였다.

휘어짐에 의한 불량이 존재하지 않으면 리드 들뜸이나 가라앉음에 의해 발생하는 길이의 불량을 검사한다. 이때 식(23)과 식(24)의 ϕ_1, ϕ_2 평균과 표준편차를 사용하여 식(25)을 통해 불량을 판정한다. α_1 값은 검사 정밀도 및 정상 영역 조절값으로 본 논문에서는 0.1을 사용하였다.

$$\begin{aligned} \bar{\phi}_1 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \phi_1 L_i \quad (\text{단 } L = \text{리드}, N = \text{리드수}) \\ \text{Var}(L_1 \dots L_N) &= \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\phi_1 - \bar{\phi}_1) L_i \\ \sigma_1(L_1 \dots L_N) &= \sqrt{\text{Var}(L_1 \dots L_N)} \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \bar{\phi}_2 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \phi_2 L_i \quad (\text{단 } L = \text{리드}, N = \text{리드수}) \\ \text{Var}(L_1 \dots L_N) &= \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\phi_2 - \bar{\phi}_2) L_i \\ \sigma_2(L_1 \dots L_N) &= \sqrt{\text{Var}(L_1 \dots L_N)} \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \phi_1 L_i > (\bar{\phi}_1 + (\sigma_1 + \bar{\phi}_2 \times \alpha_2)) &: \text{들뜸} \\ \phi_1 L_i < (\bar{\phi}_1 - (\sigma_1 + \bar{\phi}_2 \times \alpha_2)) &: \text{내려앉음} \end{aligned} \quad (25)$$

다음으로 불량이 존재하지 않으면 리드의 empty를 검사한다. Empty는 식 (26)에서 서로 마주보는 라벨 그룹의 리드수가 다를 경우 불량으로 판정한다.

$$\begin{aligned} (\text{Label Group})_1 \cdot \text{Label}_{\text{Number}} &\neq (\text{Label Group})_2 \cdot \text{Label}_{\text{Number}} \\ (\text{단 } 1 \text{과 } 2 \text{는 마주보는 Label Group}) & \end{aligned} \quad (26)$$

전처리 과정에서 식(9)를 이용하여 물체의 중심점을 구했으므로, 물체의 보정을 위해서 물체의 각도를 구해야 한다. 본 연구에서는 물체의 각도도 불변 모멘트를 이용하여 구했다. 식(22)에 따라 휘어짐에 의한 불량이 발생하지 않은 리드의 θ 값에 대한 평균값을 물체의 각도로 이용하였다.

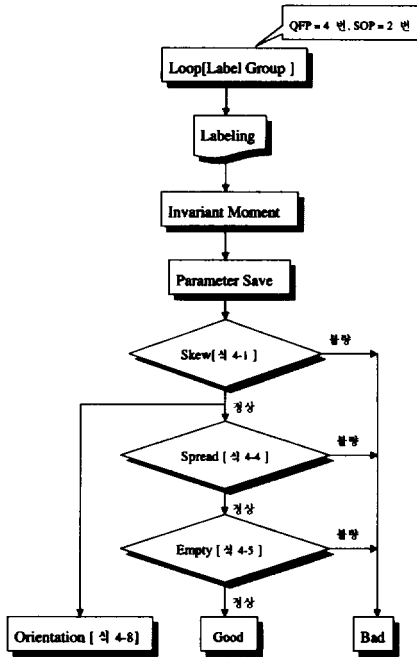
$$\theta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \theta_i \cdot L_i \quad (L_i \text{는 정상리드}, N \text{는 리드수}) \quad (27)$$

5. 실험 및 결과

본 장에서는 본 연구에서 사용한 실험 환경 및 컴퓨터 모의 실험에 의한 결과를 보인다.

5.1 실험 장치

시각시스템을 이용하여 불량검사를 하기 위해서 중요한 부분을 차지하는 조명을 본 연구에서는 LED 20×20 을 구성하여 확산 조명을 만들어 이용하였다. 영상 취득은 검사 대상물의 후방에서 그림자 영상을 취득하였다. 이는 임계치를 주어 이진영상으로 변환 과정에서 데이터의 손실을 최소화할 수 있는 방법이다. 영상취득에 사용된 카메라는 CCD Video Mono Module (XC-75, Sony)이며, IBM Pentium-133MHz에 내장된 frame grabber를 통해 512×480 크기로 8bit 해상도를 지니는 농담 영상을 취득하였다. 컴퓨터 모



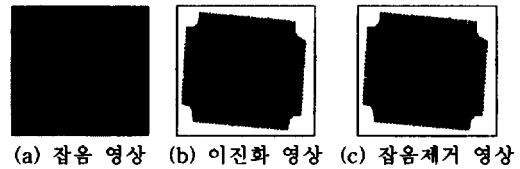
(그림 5) 제안한 검사 알고리즘 흐름도
(Fig. 5) The flowchart for the proposed inspection algorithm

의 실험은 Windows95를 운영체제로 하여 Visual C++를 통해 실험하였다.

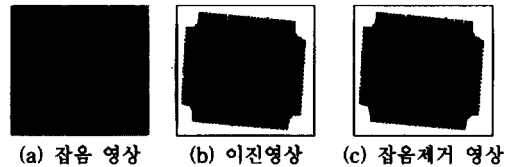
5.2 컴퓨터 모의실험 결과 및 고찰

영상 처리와 인식 분야에 있어서 잡음이 존재하는 영상에서 잡음을 제거하는 일은 매우 중요하다. 잡음의 존재는 영상의 질을 저하시킬 뿐만 아니라 기대하는 것과 전혀 다른 결과를 얻을 수 있으며, 이후의 검사에서도 성능을 떨어뜨린다. 따라서, 반도체 외관 검사 알고리즘에 대한 연구를 수행한 본 연구에서도 잡음에 대한 대처가 필요하므로, 잡음 제거 과정이 필요하다. 그러나, 본 연구에서 제안한 수리형태론은 우수한 필터의 성능을 가지고 있으며, 하드웨어로 구현의 용이성과 동일 알고리즘 적용을 위하여 수리형태론을 사용하여 별도의 잡음 처리 알고리즘을 적용하지 않고도, 제안 알고리즘을 통해 잡음에 대한 대처 능력을 가지고 있다. 그 결과물 (그림 6)과 (그림 7)에 나타내었다. Gaussian 잡음과 salt and pepper 잡음이 존재하는 영상에서 잡음에 대한 영향을 제거하기 위하여 이진영상에 이진수리형태론의 CO(closing, opening)을 통

한 잡음제거 결과를 나타내고 있다. 주파수 영역 필터가 영상을 왜곡시키는 특성을 가지며, 공간영역 필터인 median 필터는 에지와 같은 세부사항을 보전하지 못하는 단점을 가지고 있는데 반해 제안한 방법은 효과적으로 잡음을 제거할 수 있다.



(그림 6) Gaussian 잡음 결과
(Fig. 6) Result of Gaussian noise

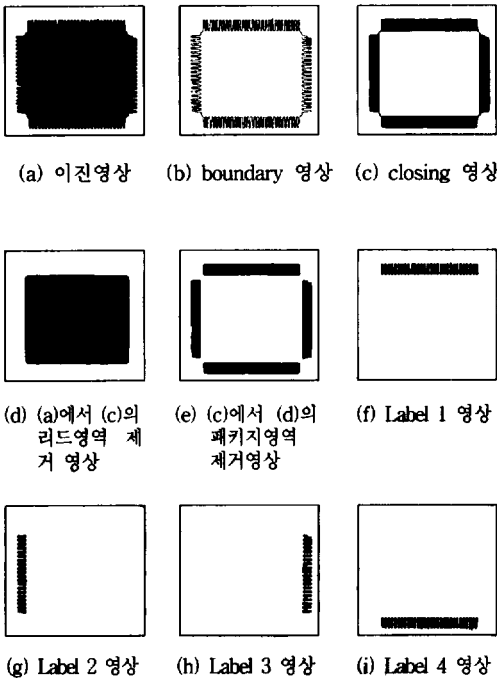


(그림 7) Salt and pepper 잡음 결과
(Fig. 7) Result of Salt and pepper noise

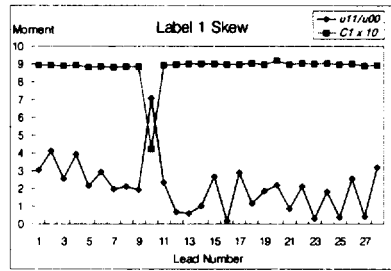
본 연구에서는 패키지형 능동부품(SOP, QFP)을 사용하였으며, 잡음제거, 리드 영역분할, 리드검사에 동일 알고리즘을 적용하여 실험하였다. 제안 알고리즘의 처리 결과물 (그림 8)에 나타내었다. (그림 8)(a)~(e)까지는 (그림 2)의 리드 영역분할 과정에 따라 진행된다. 취득영상인 농담영상을 문턱치를 주어 이진수리형태론을 적용할 수 있도록 (그림 8)(a)와 같이 이진영상으로 변환한다. (그림 8)(b)는 이진영상을 경계검출한 영상이고, 결과영상에 (그림 2)의 closing을 적용하여 리드 영역분할 영상을 만든 것이 (그림 8)(c)이다. (그림 8)(a)영상을 (그림 8)(c)의 리드 영역분할된 영상으로 제거한 영상이 (그림 8)(e)영상이므로 (그림 2)과 같이 최종적인 리드 영역분할이 이루어진 영상을 얻을 수 있다. (그림 8)(e)~(i)까지는 제안 알고리즘 (그림 3)의 흐름에 따라 이루어진다. (그림 8)(e)의 영역분할된 영상에 label 탐색 알고리즘을 이용하여 label을 할당한다. 본 영상은 QFP부품 영상으로 label은 4개를 얻을 수 있다. Label이 할당된 영상을 (그림 3)의 리드 분리 알고리즘에 따라 이진영상으로부터 라벨이 할당된 영역의 리드를 분리해내면 (그림 8)(f)~(i)까지의 결과를

어게 된다. 최종적으로 (그림 8)(f)~(i)까지의 영상을 제안 알고리즘 (그림 5)의 흐름에 따라 순차적으로 불량 판정을 해준다. 비교 알고리즘인 ruler 알고리즘은 전처리에서 구한 좌표점을 가지고 리드 영역에 대하여 20%와 80%영역에 각각 ruler를 이동하여 리드가 만나는 20%와 80%지점의 첫점, 끝점 사이의 각도를 가지고 검사한 영상이다. 정상적인 리드에 대해서는 0° (좌, 우측 리드), 90° (상, 하측 리드)이므로 리드가 휘어진 곳에서는 다른 각도가 나오는 알고리즘이다^[7].

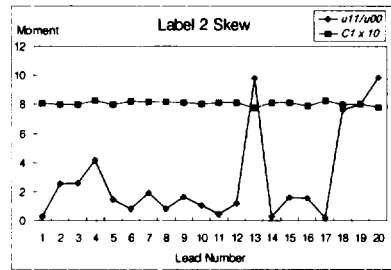
(그림 9)은 (그림 8)의 각 label의 리드에 대한 식(22)에 따라 휘어짐 검사 결과이다. (a)의 결과를 보면 10~11번 리드가 휘어지면서 서로 붙었기 때문에 리드의 수는 29개로 나오며 10번이 식(22)의 범위를 벗어남으로 불량으로 판정되며, (그림 9)(b)~(d)도 같은 과정을 반복하여 얻은 결과이다. (그림 9) 그래프 라벨을 설명하면 μ_{11}/μ_{00} 은 휘어진 검사를 위한 식(22)에서 각 리드 공분산의 상대적 크기이고 $C_1 \times a_1$ ($a_1=10$)은 각 리드의 비교 모멘트 크기이다.



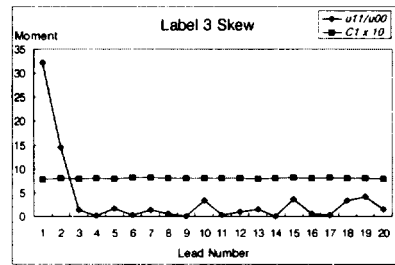
(그림 8) QFP에 대한 제안 알고리즘 검사 결과 (Fig. 8) Results of the proposed algorithm for QFP



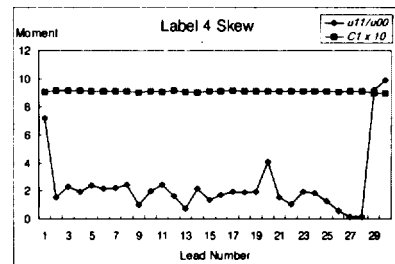
(a) Label 1 skew 검사 결과



(b) Label 2 skew 검사 결과



(c) Label 3 skew 검사 결과



(d) Label 4 skew 검사 결과

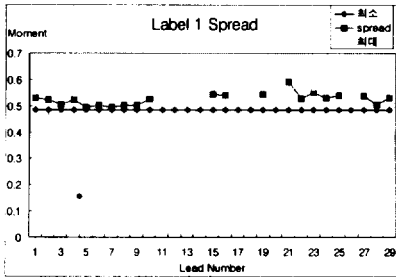
(그림 9) QFP에 대한 skew 검사 결과 (Fig. 9) Skew testing results for QFP

(그림 10)은 휘어진 불량리드를 제외하고 식(25)에 따라 spread를 검사한 결과로, (a)를 보면 21번 리드가 판정범위를 벗어나 불량으로 판정되었다. <표 1>은 중

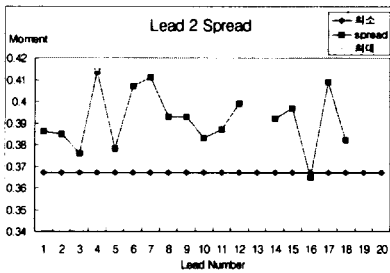
심점, 기운각도에 대한 결과를 비교 알고리즘과 비교한 결과이며, <표 2>는 리드불량에 대한 결과를 ruler 알고리즘과 비교해서 정리해 놓았다. 이후의 패키지형

부품의 실험검사 과정 및 결과도 위와 같은 흐름으로 배치하였다. 특히 ruler 알고리즘에서는 spread에 의한 불량은 검사가 불가능하나 제안한 알고리즘에서는 검사가 가능하다.

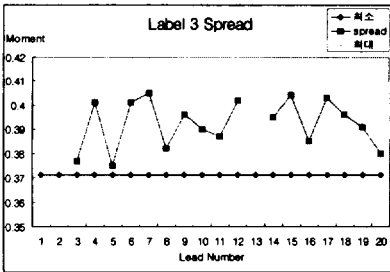
(그림 10)의 그래프 라벨을 설명하면 spread는 식 (25)에서 각 리드의 ϕ_1 값이고, 최소는 내려앉음 비교대상 값이다. 또한 최대는 들뜸의 비교대상 값으로 spread가 최소와 최대의 범위를 벗어나면 불량으로 판정된다.



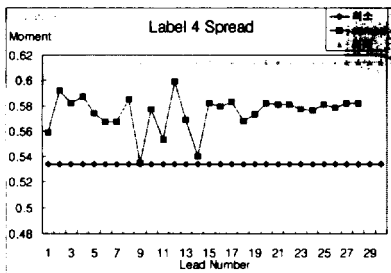
(a) Label 1 spread 검사 결과



(b) Label 2 spread 검사 결과



(c) Label 3 spread 검사 결과



(d) Label 4 spread 검사 결과

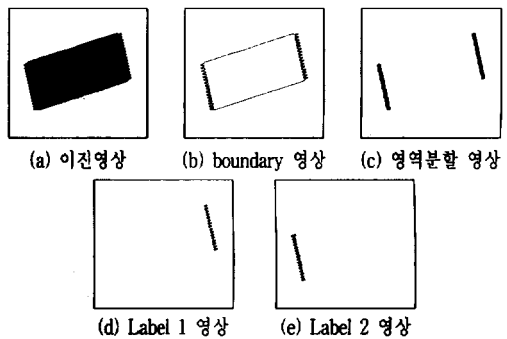
(그림 10) QFP에 대한 spread 검사 결과
(Fig. 10) Spread testing results for QFP

<표 1> 중심점 및 각도 실험 결과
<Table 1> Results of center point and angle

방법 실험영상	기준	투영	Hough	Moment	제안방법
중심점	(264, 253)	(265.5, 264.3)	(263.7, 264.5)	(264.7, 265.2)	(264.4, 253.3)
각도(°)	0	0.04924	0.23564	-4.35784	-0.03280

<표 2> 불량검사 실험결과
<Table 2> Results of inspection

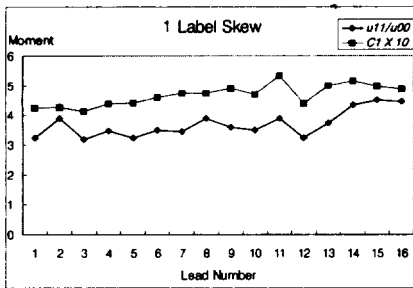
실험영상		Label 1	Label 2	Label 3	Label 4
방법	ruler	skew 10	13, 20	1	29, 30
	spread	검사 불가			
제안방법	skew	10	13, 19, 20	1, 2	29, 30
	spread	21	정상	정상	정상



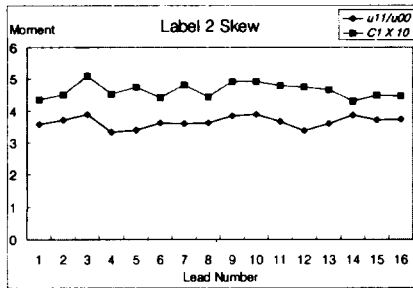
(그림 11) SOP에 대한 제안 알고리즘 검사 결과
(Fig. 11) Results of the proposed algorithm for SOP

(그림 11)은 정상 부품인 SOP type으로 리드가 16개씩 존재하고, 기울기가 8도이며, 중심좌표는(255, 235)의 좌표를 갖는다. 앞에서 QFP type의 검사에서는

moment 방법이 x 와 y 의 비가 비슷하므로 제대로 각도를 검사하지 못했지만 이번에는 제대로 각도를 검사하였으며, (그림 5)의 검사 알고리즘에 따라 휘어짐에서 불량이 없으므로, 다음에 spread를 검사한다. 불량 이 없으므로 마지막 단계로 empty 검사를 통해 불량을 판정한다. 본 부품은 불량 발생하지 않은 부품이다. <표 4>에서 비교 알고리즘인 ruler 검사에서는 spread에 대한 검사를 하지 못한다.



(a) Label 1 skew 검사 결과

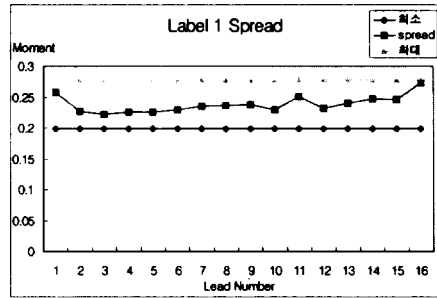


(b) Label 2 skew 검사 결과

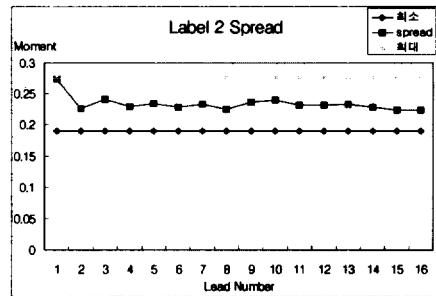
(그림 12) SOP에 대한 skew 검사 결과
(Fig. 12) Skew testing results for SOP

<표 3> 중심점 및 각도 실험 결과
<Table 3> Results of center point and angle

방법	실험영상				
	기준	투영	Hough	Moment	제안방법
중심점	(255, 235)	(254.2, 234.6)	(253.1, 234.9)	(255.3, 236.7)	(254.7, 234.8)
각도(°)	8	7.4582	8.2316	8.3781	7.7821



(a) Label 1 spread 검사 결과

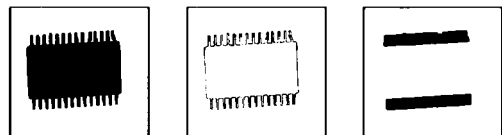


(b) Label 2 spread 검사 결과

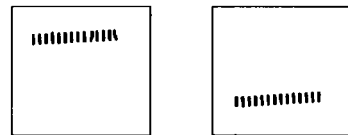
(그림 13) SOP에 대한 spread 검사 결과
(Fig. 13) Spread testing result for SOP

<표 4> 불량검사 실험 결과
<Table 4> Results of inspection

방법	실험영상	Label 1	Label 2
	ruler	skew	정상
spread		검사불가	
제안방법	skew	정상	정상
	spread	정상	정상
	empty	정상	

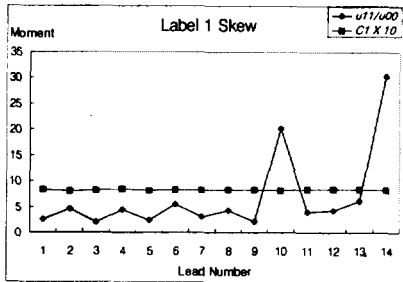


(a) 이진영상 (b) boundary 영상 (c) 영역분할 영상

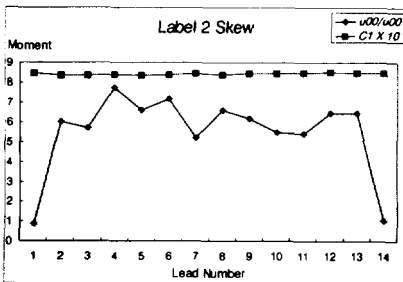


(d) Label 1 영상 (e) Label 2 영상

(그림 14) SOP에 대한 제안 알고리즘 검사 결과
(Fig. 14) Results of the proposed algorithm for SOP

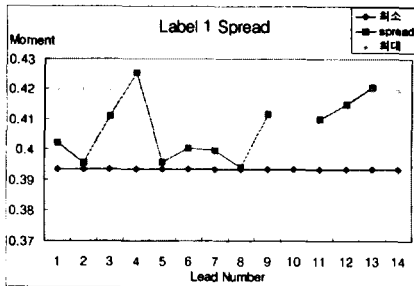


(a) Label 1 skew 검사 결과

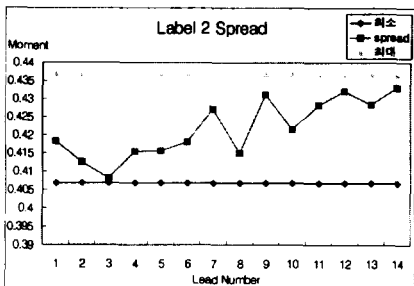


(b) Label 2 skew 검사 결과

(그림 15) SOP에 대한 skew 검사 결과
(Fig. 15) Skew testing results for SOP



(a) Label 1 spread 검사 결과



(b) Label 2 spread 검사 결과

(그림 16) SOP에 대한 spread 검사 결과
(Fig. 16) Spread testing results for SOP

〈표 5〉 중심점 및 각도 실험 결과
(Table 5) Results of center point and angle

방법 실험영상	기준	투영	Hough	Moment	제안방법
중심점	(236, 228)	(235.1, 229.7)	(237.4, 226)	(237.1, 227.9)	(236.9, 227.4)
각도(°)	6	6.245	6.172	5.92	5.87

〈표 6〉 불량검사 실험 결과
(Table 6) Results of inspection

방법		실험영상	Label 1	Label 2
ruler	Skew		10, 14	정상
	Spread		검사불가	
제안방법	Skew		10, 14	정상
	Spread		4, 13	정상
	Empty		정상	

(그림 14)와 같이 리드의 간격이 넓고 사이즈가 큰 반도체 외관에서의 제안 알고리즘은 유용성을 입증하기 위한 실험 결과를 (그림 15), (그림 16)에 나타내었으며, <표 5>와 <표 6>에 기존의 방법과 비교하여 나타내었다. 본 논문에서 적용한 영역분할 알고리즘은 위치 및 기울어짐에 무관하게 리드영역을 분할 추출할 수 있었으며, 분할된 리드의 불량빈도에 의한 순차적 검사에서 제안된 알고리즘은 치수에 의한 검사 방식보다 covariance 크기에 따라 각 리드에서 유동적으로 변하므로 영상특성에 스스로 적용하며 검사를 수행하는 결과를 얻을 수 있었다.

6. 결 론

본 논문에서 제안한 방법은 크게 두 부분으로 구분된다. 본 논문에서는 물체의 특성을 분석하기 위하여 기존의 특징점을 통한 접근 방법에서 벗어나 물체의 영역분할 방법인 이진수리형태론을 적용하여 접근하는 방법을 제시하였으며, 검사에서도 물체의 치수에 의한 검사보다는 moment 해석에 의한 검사 방법을 제시하였다. 제안 알고리즘에 적용된 labeling은 closing 연산자를 이용하여 영역 분할된 영역 및 추출된 리드에

label을 할당함으로써 검사대상인 리드의 순차적 추출 및 리드 파라미터 추출에 용이한 특성을 지니고 있다.

이진수리형태학은 물체에 대한 정보의 손실이 없으며, 특징점 검사를 통한 리드부분 영역 분할과정에서 생기는 불량률 해결할 수 있었으며, 위치 및 기울어짐에 무관하게 리드를 분리할 수 있었다. 또한, 수리형태론이 영상취득과정에서 발생하는 잡음에 대한 강한 특성을 지니고 있으며, 하드웨어로의 구현이 용이하다는 장점을 지니고 있다.

본 검사에서 사용된 불변 모멘트는 이형 물체의 인식에 유용한 방법이다. 본 논문에서는 능동부품인 SOP와 QFP의 리드 형태가 대칭적 구조를 이루고 있는데 착안하여 공분산 크기의 급격한 변화에 의한 휘어짐을 검사하는 방법과 spread 검사는 회전 및 축적에 불변인 정규화된 불변 모멘트를 이용하는 검사방법을 제시하였다. Label로 분리된 각 리드에 모멘트를 적용하였으므로 본 검사에서 적용하지 않은 많은 파라미터가 추출되므로 좀더 정밀한 계산에 적용할 수 있다.

앞으로 연구방향은 영상 취득과정에서 중요한 요소인 조명과 처리속도 향상을 위하여 개발한 알고리즘의 하드웨어 구현에 관한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] 시스템공학연구소, IC Lead Frame 자동검사 시스템의 개발(1), 과학기술처 연구보고서, pp.13-14, 1991년 7월.
 [2] Z. Hussain, *Digital Image Processing*. Ellis Horwood, pp.165-166, 1991.
 [3] B. K. P. Horn, *Robot Vision*, Cambridge, MA, MIT Press, pp.46-61, 1988.
 [4] R. W. Kelley, M. J. Collins, A. A. Jakimcius, and D. J. Svetkoff, "Automatic Inspection of SMD Printed Circuit Boards using 3-D Triangulation," *Conf. Proc. Robots and Vision '88*, Vol. 2, pp.7/33-7/47, 1988.
 [5] H. K. Chung and R. H. Park, "Vision based Orientation and Position Detection of IC's and PCB's," in *SPIE Proc. Intelligent Robots and Computer Vision XII: Algorithms and Techniques*, Vol.2005, Boston, MA, pp.106-117, Sep. 1993.
 [6] 정홍규, 박래홍, "SMD 및 PCB의 방향과 위치 탐

지," *전자공학회논문지* 31권 B편 제3호, pp.80-90, 1994년 3월.
 [7] 이상찬, 권준식, 장태규, 최중수, "수학적 형태론에 의한 SMD 위치 및 불량검색," 제5회 신호처리합동학술대회논문집, Vol.5, pp.617-621, 1992년 9월.
 [8] 이길휘, 남상규, 김준식, 김우성, "반도체 칩의 위치 및 불량검사 알고리즘에 관한 연구", *한국정보처리학회 96추계학술논문발표집*, pp.623-628, 1996년 10월.
 [9] 이길휘, 남상규, 김준식, 김우성, "Morphology를 이용한 반도체 외관 검사알고리즘에 관한 연구", *한국정보처리학회 97추계학술논문발표집*, pp.1223-1228, 1997년 10월.
 [10] Jean Serra. *Image Analysis and Mathematical Morphology*, New York: Academic Press, 1982.
 [11] P. Maragos and R. W. Schafer, "Morphological Filters-Part I: Their Set-Theoretic Analysis and Relations to Linear Shift-Invariant Filters," *IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Vol.ASSP-35, No.8, pp.1153-1169, 1987.
 [12] P. Maragos and R. W. Schafer, "Morphological Filters-Part II: Their Relations to Median, Order-Statistic, and Stack Filters," *IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Vol. ASSP-35, No.8, pp.1170-1183, 1987.
 [13] Charles R. Giardina and Edward R. Dougherty, *Morphological Methods in Image and Signal Processing*, Prentice-Hall, 1988.
 [14] M. Hararick, Stanley R. Sternberg, and Xinhua Zhuang "Image Analysis using Mathematical Morphology," *IEEE Trans. on Pattern Anal. Machine Intel.*, Vol.PAMI-9, No.4, pp.532-550, 1987.
 [15] James S. J. Lee, Robert M. Hararick, and Linda G. Shapiro, "Morphology Edge Detection," *IEEE Trans. on Robotics & Automation*, Vol.RA-3, No.2, pp.142-156, 1987.
 [16] A. C. P. Loui, A. N. Venetsanopoulos, and K. C. Smith, "Architectures for Morphological Image Processing and Analysis," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.2, No.1, pp.72-83, Mar. 1992.

[17] Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Massachusetts, Addison Wesley Pub. Co., pp.40-47, 1993.

[18] R. C Gonzales and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, pp.514-518. 1993.

[19] C. H. Tch and R. T. Chin, "On Digital Approximation of Moment invariants," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol. 33. pp.318-326, 1986.

[20] R. Y. Wong, "Scene Matching with Invariant Moment," *Computer Graphics and Image Processing*, Vol.8. pp.16-24. 1978.

[21] S. S. Reddi, "Radial and Angular Moment Invariants for Image Identification," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Matching Intelligence*, Vol.PAMI-3, No.2, pp.240-242. March, 1981.



이길휘

1996년 호서대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1998년 호서대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1998년~현재 기아정보시스템 연구원

관심분야: 영상인식, 컴퓨터 비전, 신경망 등



김준식

1987년 서강대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1989년 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1993년 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1993년 서강대학교부설산업기술연구소 박사후연구원
 1994년~1995년 호서대학교 전자공학과 전임강사
 1996년~현재 호서대학교 전기전자제어공학부 조교수
 관심분야: 영상신호처리, 영상압축, 컴퓨터 비전, 영상인식 등