

◆특집◆ Display 제조 공정에 적용된 Machine Vision 사례

마이크로 BGA 소자의 결함 검출을 위한
비전 검사 시스템에 관한 연구

박영순*, 김준식**

A Study on the Vision Inspection System for the Defects
Detection of Micro-BGA Device

Young Soon Park* and Joon Seek Kim**

Key Words : BGA(볼 그리드 어레이), Vision system(비전 시스템), Inspection(검사), Calibration(측정), Stereo vision(스테레오 비전)

1. 서론

마이크로 BGA 같은 반도체 부품은 거의 모든 전자제품을 비롯한 각종 산업 분야에서 CSP(chip scale package) 기술이 사용되고 있다. CSP 기술이 사용된 제품의 생산 중 발생하는 반도체 부품의 결함은 각종 장비의 성능을 크게 좌우하며 양산과정에서의 효율성에도 매우 중요한 영향을 미친다. 이에 따른 PGA(pin grid array)나 BGA와 같은 반도체 부품의 리드 간격이나 볼 크기 등의 2차원(표면) 결함을 검사하는 시스템이 개발되었고, 볼의 높이 정보를 구하기 위해 3차원 방식(스테레오 검사)을 이용한 검사 시스템도 활발히 진행되어 왔으며 이미 상용화되었다. 마이크로 BGA 검사에 있어서 볼의 3차원적 결함뿐만 아니라 볼의 2차원적 결함검사도 높은 정확도로 인해 검사에 많은 어려움이 발생한다. 따라서 이러한 마이크로 BGA와 같은 초정밀 반도체 부품의 결함을 효과적으로 검사할 수 있는 시스템 개발이 절실히 필요한 실정이다.

비전 시스템은 생산 분야에서의 경쟁력 강화를

위한 품질 보증, 인력절감, 생산성 향상이 가능하기 때문에 정밀 분야인 반도체, 디스플레이, 재료, 부품 분야 등 다양한 분야에서 비전 검사 시스템에 의한 검사/계측이 더욱 절실해지고 있다. 그러나 머신 비전 시스템의 도입은 간단한 일이 아니기 때문에 처리하고자 하는 목적에 따라 신중히 검토하고, 경제성 및 실현 가능성 등 도입 목적에 부합하는지를 충분히 검증한 후에 도입하는 것이 중요하다.^{1,2}

마이크로 BGA 패키지 검사는 크게 2차원 검사와 3차원 검사로 나눌 수 있는데, 2차원 검사는 패키지 사이즈, 원형도, 볼의 유무, 볼간 거리, 오프셋 등을 검사하고, 3차원 검사는 정확한 볼의 높이 정보와 볼의 형상 등을 검사한다.

본 논문에서는 반도체 소자 중 마이크로 BGA의 볼에 대한 2차원 결함 검사 알고리즘뿐만 아니라 3차원 결함 중에서 볼의 높이 검출을 위해 머신 비전의 한 방법인 스테레오 비전 방법을 이용한 정밀검사 및 불량률 고속으로 정확히 검사하는 알고리즘을 제안한다.

2. 본론

2.1 비전 시스템

비전 시스템은 카메라에 의해 입력된 2차원 영상으로부터 실세계의 모델을 생성하는 작업으로써,

* (주)에버테크노

** 호서대학교 전자공학과

Tel. 041-540-5664, Fax. 041-540-5693

Email joonskim@office.hoseo.edu

2차원 투영도로부터 3차원 영상에 대한 구조와 특성 정보를 자동적으로 추론하는 알고리즘으로 구성 되어 있다. 비전 검사 시스템은 조명, 카메라, 렌즈, 프레임 그래버 등으로 구성되며 시료의 광 특성에 맞도록 광학계를 설계하는 것과 조명장치의 종류를 시료의 특성에 맞게 선택하는 것이 대단히 중요하다.

비전 시스템에서 많이 사용되고 있는 조명의 종류로는 할로겐 조명, 형광등 조명, 제논 조명, LED 조명(light emitting diode lamp)등이 있고, 조명을 조사하는 방향에 따라서 일반적으로 동축낙사 조명, 투과 조명(back light), 측사 조명, 링 조명등으로 구별되고 검사 대상과 검사 환경에 따라 선택해서 사용된다.

조명의 보조 장치로는 확산판이 있는데 방향성의 광을 균일하게 분산시키는 역할을 한다. 유백색의 얇은 판이 많이 사용된다. 백 라이트할 때에는 시료를 확산판에 놓고 뒤로부터 조명을 하는 구성이 많다. 또한, 카메라 렌즈에 편광 필터를 부착하여 조명으로부터 반사광의 영향을 제거 할 수 있다. 조명의 선택은 시료의 조건 및 대상물의 종류 등에 따라 조명의 각도, 조사위치, 조명의 색상(파장), 조명의 방향성(직진성, 산란특성, 편광성 등) 및 광학계와의 연계성 등 각종 주변여건을 고려해서 결정해야 한다.

일반적으로 스테레오 시각 문제에서는 탐색 공간을 줄이고, 문제를 단순화시키기 위하여 다음의 몇 가지 가정을 적용한다.^{1,5}

첫째, 각 영상의 에피폴라 라인은 동일한 위치에 존재한다.

둘째, occlusion 영역을 제외한 나머지 영역에서는 연속적인 3차원 정보를 가져야 한다.

셋째, 정합을 위한 특징들은 두 영상에 독립적으로 위치하고, 한 영상의 특징이나 화소들은 다른 영상의 특징이나 화소들에 하 나이상 정합 될 수 없다.

2.2 스테레오 카메라 모델링과 정합 기법

일반적인 카메라의 배치에 의해서는 복잡한 비선형 관계식이 되나 두 카메라 수평 스캔 라인이 베이스 라인과 평행하다 가정하여 계산을 단순화 할 수 있다. 이렇게 되면 수직방향의 양안차(disparity)는 고려하지 않고 단지 수평방향의 양안

차 만을 생각하면 되므로 계산이 단순하게 된다.

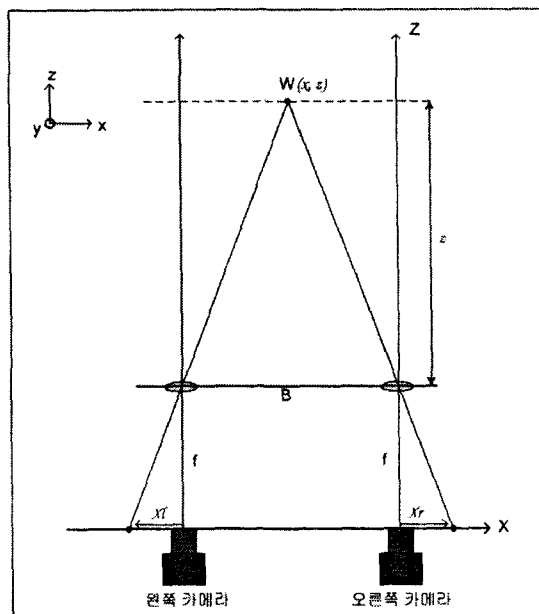


Fig. 1 Correlation of disparity and depth

Fig. 1에서 삼각형의 비례관계식을 이용하여 양안차를 구할 수 있는데 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$z = \frac{fx}{-X_l} \quad (1)$$

$$z = \frac{f(B-x)}{X_r} \quad (2)$$

식 (1)과 (2)로부터 z 를 구하면 다음과 같다.

$$z = \frac{fB}{D} \quad (3)$$

여기에서 D 는 $|X_l + X_r|$ 이다. B 는 두 카메라 사이의 거리, f 는 카메라의 초점거리를 나타낸다.^{1,6-8}

스테레오 정합 방법(대응점 문제를 해결하는 방법)에는 크게 특징 기반 정합(feature-based matching)과 상관도 기반 정합(correlation-based matching) 두 가지로 나눌 수 있다.^{4,6}

영역 기반 정합은 스테레오 영상에서 대응하는 화소 주변의 양안차 분포는 거의 같고 화소 주변 영역은 다른 영상에서 대응화소를 찾기 위한 정보가 될 수 있다. 즉, 영역기반에 의한 정합방법은 유사성 제약(similarity constraint)⁶에 의거, 한 영상 내에 존재하는 정합시키려는 대상점 주변에 윈도우를

설정하고 이 윈도우 안의 내용과 비슷한 내용의 윈도우를 다른 영상에서 검색하는 방법이 된다.

2.3 전체 시스템 구성도

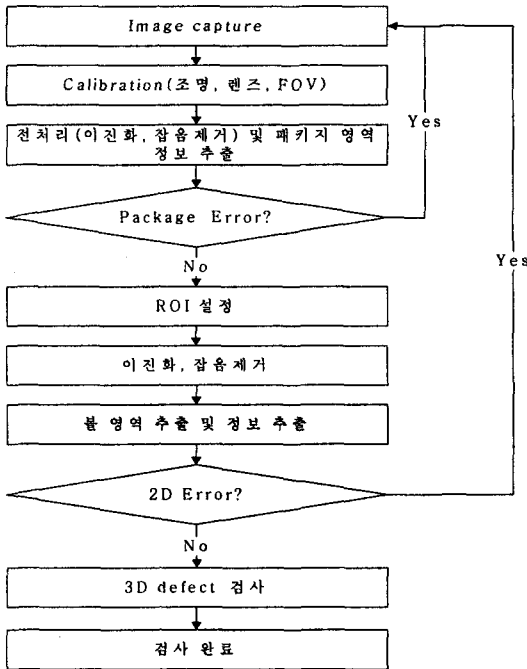


Fig. 2 Correlation of disparity and depth

Fig. 2는 전체 시스템의 구성도를 나타내고 있다. Fig. 2에서 패키지 영역, 불 영역, 불 정점 영역 검출 및 추출 단계는 더 세부적인 알고리즘이 적용된다.

2.4 Calibration

FOV는 field of view의 약자로써, 카메라에 의해 촬영되는 검사 대상물의 영역을 말한다. FOV는 영상 촬영 시 구할 수 있으며, 이 값을 영상의 해상도로 나누게 되면 한 화소가 차지하는 실제의 거리를 계산할 수 있다. 본 논문에서는 영상좌표를 실측좌표로 변환하는 과정에서 더 정확한 한 화소 당 실제 측정거리를 계산하기 위해서 기존의 버니어 캘리퍼스나 PCB 보드를 사용한 방법보다 MVTEC에서 제공하는 0.01m x 0.01 m 규격의 캘리브레이션 플레이트를 사용하여 더 정확한 실측거리를 측정하였다. 영상에서의 크기를 실세계에서의 길이로

변환 시키는 식 (4)와 같이 정의할 수 있다.

$$\text{한 화소 당 실측 거리} = \frac{\text{실제 거리}}{\text{해당 화소의 수}} \quad (4)$$

식 (4)는 한 화소 당 거리를 나타내며, (4)의 식을 가지고 실제 2차원 및 3차원 측정 시 실제 해당 길이를 구할 수 있고, 이 길이는 결함 검출 시 중요한 데이터로 사용된다.

조명장치는 16단계의 밝기 조정이 가능한 CCS사의 PD-3012의 광원소스를 사용하였고, 적색의 LED가 3단으로 링을 형성하는 LDR-132LA 모델을 사용하였다. LED 조명기에 확산 판을 부착한 조명을 사용하였다. LED 조명을 선택한 이유는 장수명이기 때문에 램프 교환에 의한 번잡성을 줄이고 반응속도가 가장 빠르며 CCD 카메라에 대한 감도가 좋다. 대상 시료에 맞는 형상을 용이하게 만들 수 있기 때문에 시료의 최적 콘트라스트를 얻을 수 있으며 전기적 켜기, 끄기를 고속으로 할 수 있기 때문이다. 또한, 반복적인 영상을 취득함에 있어 영상의 품질이 동일해야 하며 빛의 산란이 없는 균일한 광원을 사용해야 하기 때문에 LED 조명에 확산판을 부착하여 사용하였다.

중전의 방식^{7,9}은 간단한 조명기로 취득한 영상을 가지고 영상처리 소프트웨어를 얼마나 잘 만드는지에 중점을 두고 장시간을 소요한 방법을 사용하여 왔다. 그러나 시료의 콘트라스트를 얻기 위한 조명기술에 중점을 둬으로써 소프트웨어의 부담을 줄일 수 있어 영상 소프트웨어가 간단해 지고 검사의 신뢰성도 향상시킬 수 있게 된다. Fig. 3은 측정하고자 하는 시료에 적색의 조명을 조사하면 패키지의 패턴은 입력영상에 나타나지 않고 패키지, 불, 불의 정점만을 나타낼 수 있다.

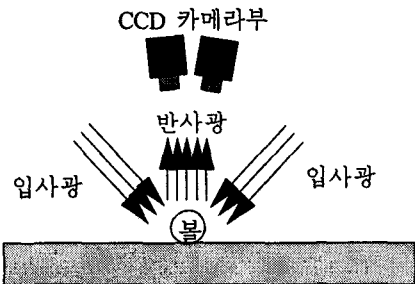


Fig. 3 The reflection property of ball

렌즈는 광학의 원리를 이용하여 CCD소자에 유입되는 광을 모아 상을 맺을 수 있도록 하는 광학계로서 표준렌즈, 광각렌즈, 줌 렌즈, 매크로 렌즈, 텔레 센트릭 렌즈등으로 구분할 수 있다.

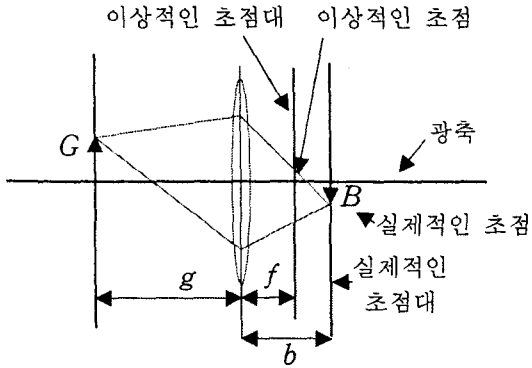


Fig. 4 Modeling of close-up lighting source of real

Fig. 4는 실제 근접 광원에 대한 모델링을 나타내었다. Fig. 4에서 g 는 물체에서 렌즈까지의 거리 WD , f 는 무한거리 광원에 의한 이상적인 초점 거리, b 는 실제 근접광원에 의해 광이 모두 모이는 점의 길이(back focal length)이다. Fig. 4에서 근접한 대상을 초점 평면에 위치하기 위해서는 렌즈를 초점 평면에 한 점으로 띄워줘야 CCD에 광이 모임을 알 수 있다. 우리는 대상물의 거리에 따라 초점을 조절하는데 바로 이러한 이유 때문이다. 물체가 더욱 접근하면 초점을 맞출 수가 없고 이때의 거리를 최단 촬영거리(the nearest picture-taking distance)라 부른다. 일반적인 'C' 마운트 렌즈에서는 최단 촬영거리보다 더 가까운 물체를 위해 접사 튜브를 사용하거나 접사렌즈를 사용한다. Fig. 4로부터 식 (5)와 (6)같은 비례식이 성립된다.

$$\frac{1}{b} + \frac{1}{g} = \frac{1}{f} \quad (5)$$

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad (6)$$

$$f = \frac{gB}{(G+B)} = \frac{g}{\left(1 + \frac{G}{B}\right)} \quad (7)$$

식 (5)와 (6)에서 b 는 렌즈부터 실제초점까지의 거리, g 는 렌즈부터 물체까지의 거리, f 는 초점거리, G 는 물체의 위치를 나타내고, B 는 실제 초점이 맺히는 위치를 나타낸다. 식 (7)에서 초점거리를 구할 수 있으며, 근접 촬영하기 위해서는 접사튜브(접사링)나 접사렌즈를 사용해야 한다.

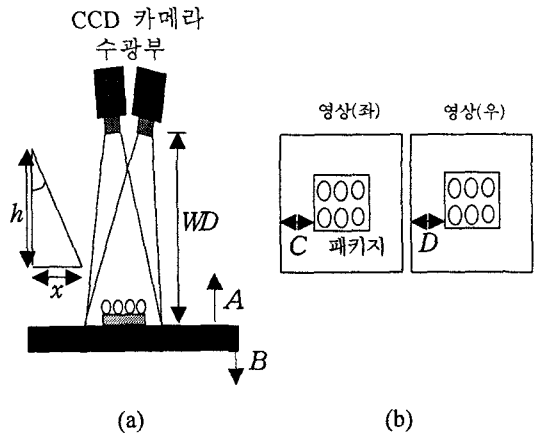


Fig. 5 Correlation of the picture-taking of camera angle and WD

WD 와 카메라 각도의 보정 단계에서 Fig. 5는 카메라 각도와 WD 에 대한 좌우 카메라로부터 촬영영상간의 관계를 나타낸다. 여기서 (a)는 카메라와 패키지의 WD 관계와 그에 따른 변위(x)를 구할 수 있다. (b)는 (a)에서 패키지의 위치에 따른 카메라 촬영영상에서 나타나는 위치관계를 나타낸다. Fig. 5에서 좌우 영상 안에서 패키지가 중앙에 있다면 카메라의 각도와 WD 가 올바르게 보정된 것이다. 만약 WD 가 작아지면(패키지가 A방향으로 이동하면) 좌측 영상의 패키지는 우측으로(C 가 길어짐), 우측 영상의 패키지는 좌측으로(D 가 짧아짐) 이동하게 된다. 반대로 WD 가 길어지면(패키지가 B방향으로 이동하면) 좌측 영상의 패키지는 좌측으로(C 가 짧아짐), 우측 영상의 패키지는 우측으로(D 가 길어짐) 이동하게 된다. 또한 카메라의 각도도 고려해야 한다. 만약 카메라의 각도가 같다면 WD 만이 문제가 되는 것이고 카메라의 각도가 같지 않다면 각도와 WD 가 다르게 되는 것이다. 삼각형의 비례관계식을 이용하여 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\tan \theta = \frac{x}{h} \quad (8)$$

$$x = h \times \tan \theta \quad (9)$$

여기서, x 는 패키지의 변위이고, h 는 렌즈부터 물체까지의 거리이며, θ 는 카메라의 각도를 나타낸다. 식 (8)은 Fig. 5에서 (a)의 좌측 삼각형으로 비례식을 구할 수 있다. 식 (9)에서 x 의 변위는 좌우 영상에서 C 와 D 의 변위이다. 그러므로 x 의 변화량을 가지고 패키지를 좌우 영상에서 중심으로 위치시킬 수가 있다. 또한 카메라 각도와 WD 를 정확하게 보정하는 것은 물론이고 최단 촬영거리에 준하여 영상에서 초점이 정확하게 맞는지도 고려해야 한다. 본 논문에서는 FOV보정, 조명보정, 렌즈보정을 한 후에 최적의 영상을 촬영하기 위해서 WD 와 카메라의 각도에 의해서 발생하는 문제점을 보정하였다.

2.5 부화소(subpixel)

에지를 찾는 방법은 LoG¹⁰나 소벨 마스크(sobel mask)와 같은 2차 미분 요소를 사용하여 찾게 된다. 이러한 2차 미분 요소를 이용하여 에지를 찾는 방법은 화소 명암도 값의 1차 미분값 기울기가 0이 되는 자리가 된다. 그러나 2차 미분요소를 이용한 에지 찾는 방법은 전처리 단계에서 가우시안 고주파 필터로 유연화시켜도 노이즈 성분에 민감하게 반응하여 정확한 에지 성분을 찾기에는 부족함이 많다.

Tabatabai¹¹와 Lavers¹²은 모멘트를 이용해서 에지의 위치를 화소 크기 이하의 해상도로 검출하는 알고리즘을 제안하였다.

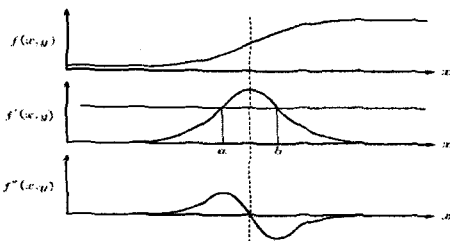


Fig. 6 Edge defect by 1D, 2D differential

Fig. 6은 일차, 이차 미분에 의한 에지의 검출을 나타낸 것이다. $f(x, y)$ 는 입력영상을 나타내고,

$f(x, y)$ 는 $f(x, y)$ 에 대한 1차 미분을 수행한 것을 의미하고, $f''(x, y)$ 는 2차 미분을 수행한 것이다. Fig. 6에서 a 와 b 사이의 모든 점들이 에지로 검출된다. 에지 영역을 구한 뒤, 에지의 패턴을 입력 값으로 받아서 패턴들의 데이터(명암값과 위치 정보) 즉, GLI(gray-level information)를 이용하여 정확한 에지의 위치를 계산하게 된다. 모든 영역에 대해서 부화소를 적용하게 되면 그 계산량이 많아지기 때문에 우선 물체와 배경의 경계 부분인 에지 영역의 정보를 얻은 후 그 정보를 가지고 에지 패턴내에서 부화소를 적용시켜 계산량을 줄일 수 있다. 에지 패턴 영역으로는 경사도가 임계값 이상인 화소들을 받아들일게 되고, 일차원 미분을 통해서 그 값이 임계값보다 큰 부분이 에지의 영역으로 가정된다.

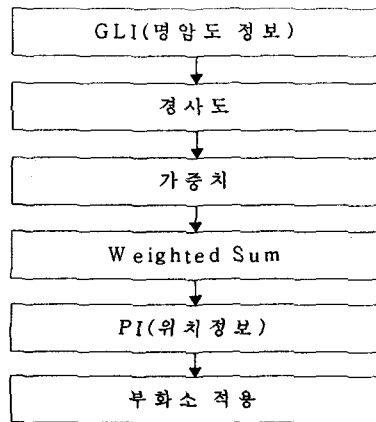


Fig. 7 The algorithm of subpixel

Fig. 6에서 $a \sim b$ 영역이 에지의 영역으로 가정되고, 그 패턴의 데이터를 부화소를 위한 입력 값으로 이용한다.

Fig. 7은 경사도와 위치 정보를 이용한 부화소 알고리즘을 나타낸다. 일차원에서 이웃 화소들의 영향을 가중치로 고려한 경사도의 값이 가장 큰 곳을 에지의 위치로 찾는 방법이다.

2.6 전처리 과정

이진영상 처리는 두 종류의 방법으로 구분되는 데 영상의 각 부분에 적당한 서로 다른 임계값을 사용하여 이진화 하는 지역적 이진화 방법과 전체

영상에 대해 동일한 임계값을 적용하여 이진화하는 전역적 이진화 방법이 있다. 본 논문에서는 지역적 이진화 방법을 사용하여 불의 형태와 정점이 뚜렷하게 잘 나타낼 수 있는 임계값을 정하기 위해서 또한 패키지 내에서 패던 부분을 없애기 위해서 히스토그램에서 얻어진 평균값에 표준편차를 더한 값으로 적용하여 보다 좋은 이진화 영상을 얻을 수 있었다.^{5,6,13}

잡음제거 기법을 적용하는 이유는 카메라를 통해 얻어진 영상에서 불필요한 잡음을 제거하고, 불의 정점을 구할 때나 불의 윤곽선을 구할 때도 좀더 정확한 값을 얻기 위함이다. 일반적으로 평균값 필터와 중간값 필터가 있는데, 본 논문에서는 좀더 빠른 검사 속도를 위해 연산 양이 적은 평균값 필터를 적용하였다.^{6,13}

2.7 2차원 결함 검사 알고리즘

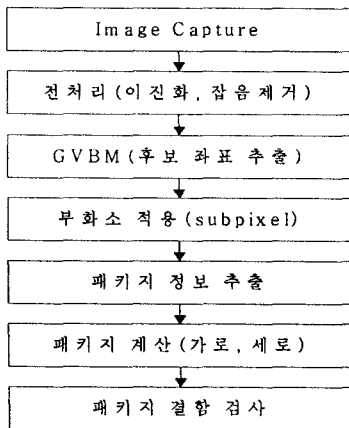


Fig. 8 Inspection algorithm of package

패키지 영역 추출 및 검사방법은 Fig. 8은 영역 추출 및 검사에 대한 알고리즘을 나타내었다. CCD 카메라를 통해 입력된 마이크로 BGA 영상은 전처리 과정을 거쳐 이진 영상으로 변환이 된다. 변환된 이진 영상을 가지고 배경과 패키지 영상을 분리하기 위해서 GVBМ(gray value based matching)을 수행한다.

GVBМ 알고리즘

단계 1. 최적의 문턱치 값을 가지고 좌우 영상

에 대해 지역적 이진화를 수행한다.

단계 2. 이진화된 좌우 영상에서 그레이값 만을 가지고 패키지와 배경의 경계선 및 경계영역을 검출한다.

GVBМ 단계에서는 패키지 정보에 대한 후보점을 찾는 것이다. 후보점에 대한 정보를 가지고 원 영상에 해당하는 ROI영역을 설정하여 좀더 정확하게 찾고 정확한 결함검사를 위해 패키지의 상, 중, 하단의 평균값을 구하여 패키지의 가로 크기와 세로 크기를 검사하는 단계를 수행하게 하였다. 각각의 패키지의 가로와 세로의 크기에 대해서는 제조사에서 제공한 데이터와 비교하여 결함 검출을 하였다.

불 영역 추출 및 검사방법은 패키지 영역이 검출되면 불 영역을 추출해야 하는데, 패키지 영역만을 ROI로 설정하여 이진화와 잡음제거를 수행하고 전처리를 통한 불과 패키지 영역을 분리한다. 이때 패키지에서 불을 검출하는 방법은 GVBМ과 SBМ(shape based matching)을 이용하여 검출하였다.

SBМ 알고리즘

단계 1. GVBМ 방법을 이용하여 불의 경계선을 따라 불의 특징을 검출한다.

단계 2. 검출된 불의 경계선 특징과 불 정보를 가지고 정규화하여 불을 모델링한다.

단계 2. 좌우 영상에 모델을 정합하여 불과 불의 정보를 검출한다.

SBМ 알고리즘은 조명의 변화, 노이즈, 물체의 부분적인 손실이나 왜곡에도 강한 특성을 보인다.

GVBМ으로 화소값을 이용하여 패키지 안에서 불을 찾고, SBМ으로 패키지내의 불의 모양을 모델화하여 불을 검출하였다. 불 검출 시 GVBМ과 SBМ의 두 조건이 만족하는 경우에만 불로 검출하였다. 두 가지의 검출 방법을 적용 시킨 이유는 잡음이나 왜곡으로 인한 불의 과검출을 방지하고 정확한 불의 후보점을 찾기 위함이다. 찾은 후보점의 정보를 가지고 원 영상에서 불 보다 큰 ROI를 만들고 서브 화소를 적용하여 정확한 불의 상, 하, 좌, 우 및 무게 중심 정보를 가지고 마이크로 BGA 제조사에서 제공하는 BGA 패키지 사양과 비교하여 불의 폭과 높이, 오프셋, 피치의 결함을 검출하였다.

볼의 원형도에 대한 결함 검사는 8-이웃 연결값에 의한 병렬 세선화 알고리즘인 8-WPTA(won's parallel thinning algorithm)¹⁴을 사용하였다. 이 알고리즘은 각 화소들 간의 연결성을 나타내는 연결값(connectivity value)을 이용하여 세선화 함으로써 병렬성 구현이 용이하며, 세선화된 결과는 완전히 1화소 두께가 되어, 볼의 최외각 방향성분을 구하는데 유용하게 사용될 수 있으며, 결과값이 수치적으로 표현이 가능한 알고리즘이다. Fig. 9는 볼의 2차원 결함 검사 알고리즘을 나타낸다.

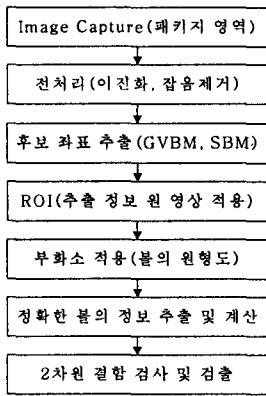


Fig. 9 Inspection algorithm of 2D defect

2.8 3차원 결함 검사 방법

양안차 계산방법은 일반적인 스테레오 비전을 바로 적용하기 힘들기 때문에 Fig. 10과 같이 심플 스테레오로 변환하여 양안차를 구하게 된다. Fig. 10은 일반적인 스테레오 비전에 카메라 각도를 주어 심플 스테레오로 구성된 모델을 나타내었다. 심플 스테레오 비전에서는 양안차 $|X_{S1t} + X_{S1r}|$ 는 그대로 적용할 수 없기 때문에 다음의 변환식 (10)을 이용하여 새로운 양안차를 구하게 된다.

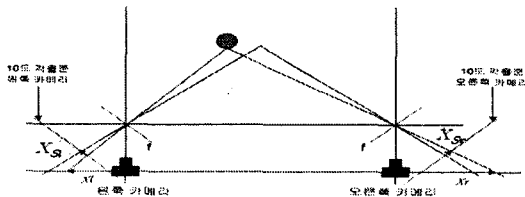


Fig. 10 Modeling image of simple stereo camera

$$X_t = \tan\left(\text{카메라각도} - \left(\tan^{-1}\left(\frac{(\text{center} - X)\text{픽셀당거리}}{f}\right)\right)\right) f \quad (10)$$

식 (10)에서 center는 영상에서의 중심 포인트이고, X는 영상에서의 해당 물체의 포인트이다. (center- X)값이 X_{S1} 값이 된다. 오른쪽 영상의 변위 X_{S2} 은 식(10)에서 카메라 각도를 더해주면 구할 수 있다. 이렇게 변환된 X_t 과 X_r 을 이용하면 카메라의 렌즈부터 촬영 물체까지의 거리 정보를 얻을 수 있다.

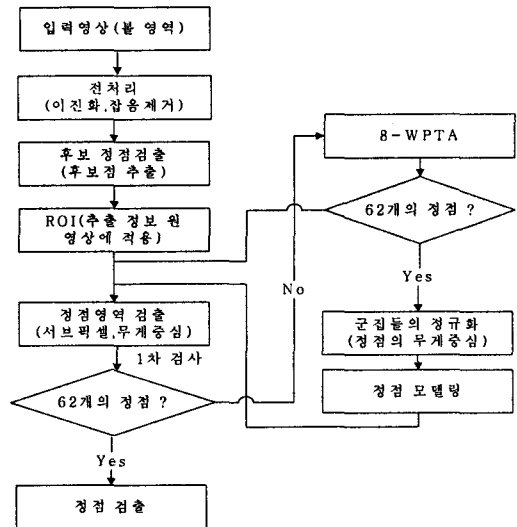


Fig. 11 Inspection algorithm of the top point

정점 검출 알고리즘

- 단계 1. 볼 영역만을 입력 영상으로 전처리 과정을 수행한다.
- 단계 2. GVBM과 SBM을 사용하여 이진영상에 대한 후보점 정보를 검출한다.
- 단계 3. 이진 영상에서의 정보를 원 영상에 적용하기 위해 ROI마스크를 생성한다.
- 단계 4. ROI에 해당하는 부분만을 부화소 적용 후 무계중심을 값을 구하고, 62개의 정점을 구한다.
- 단계 5. 62개의 정점을 찾지 못했다면, 이진영상에서의 정보를 가지고 8-WPTA를 적용시킨다.
- 단계 6. 62개의 정점을 찾지 못했다면, 하나의

정점이 2-3개의 군집형태로 나타나기 때문에 군집들을 정규화하여 정점 모델링을 생성 및 정합방법을 통한 62개의 정점을 구한다.

논문에서는 카메라의 위치에 따라 치우쳐져 나타나는 마이크로 BGA 볼의 정점 포인트, 방향성분, 정점의 상, 하, 좌, 우, 폭과 높이, 정점의 무게 중심을 정합 인자로 사용하여 좌우 영상을 정합하였다. 또한 정점 부분이 한 군집으로 되어 있는 것이 아니라 2개에서 최대 3개의 군집 형태로 이루는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 군집 형태는 정합시 잘못된 인자 값을 반환한다. 본 논문에서는 3개의 군집 형태를 하나의 볼 정점 형태로 모델화하였다. 각 군집의 무게 중심 정보와 최외각 점들의 정보를 이용하여 정점을 모델화 하였다. 이때에 이 정점에 해당하는 볼이 결함이 없다는 가정 하에 정합에 적용된다. 최외각 점을 이용하거나 무게중심은 화소의 유효 값을 갖고 있는 좌표들의 값들을 모두 더한 후, 그 좌표 값을 유효화소의 개수로 나누어 구할 수 있다. 최외각 점들이나 무게 중심을 구하는 식 (11)를 다음과 같이 나타내었다.

$$C_x = \frac{1}{N} \sum P(x), C_y = \frac{1}{N} \sum P(y) \quad (11)$$

$P(x), P(y)$: 유효값을 갖고 있는 x, y 좌표
 N : 유효화소의 개수

C_x, C_y : 무게 중심을 갖는 x, y 좌표

이렇게 구해진 볼의 정점 정보를 식(11)을 이용하여 변위를 구하며, 변위를 식(3)에 대입하여 카메라 렌즈에서부터 볼의 높이까지의 거리를 구하고, 이 값과 마이크로 BGA 패키지의 바닥 면까지의 거리의 차를 구하면 볼의 높이를 구할 수 있다.

3. 실험 및 고찰

본 논문에서는 마이크로 BGA에서 발생하는 2차원, 3차원 결함을 자동 검사하기 위한 비전 검사 시스템 및 알고리즘을 제안한다. 비전 시스템은 크게 조명부(illumination part), 영상촬영부(picture-taking part), 검사부(inspection part)로 구성되어 있다.

Fig. 12는 전체 실험 시스템의 구성도를 나타내

고 있다. 실험을 위해 사용된 장비는 마이크로 BGA 검사의 보다 높은 정확도를 위해 고해상도의 CCD 카메라인 Baslar사의 a102k 디지털 카메라 두 대와 Euresys의 grablink expert2 graber board, CCS사의 링 LED 조명을 사용하였다. 또한, 시료를 고정하기 위하여 BGA 지그를 제작하여 사용하였다. 실험에 사용된 마이크로 BGA소자는 삼성의 RDRAM에 들어가는 볼의 개수가 62개인 마이크로 BGA 패키지 (12mm × 10.2mm)를 사용하였다.¹⁵ 영상 보정 및 FOV 캘리브레이션을 하기 위해서 MVTec에서 제공하는 캘리브레이션 플레이트 (0.01m × 0.01m)를 사용하였다. 프로그램 구현은 Euresys에서 제공하는 evision, Microsoft 제공하는 visual C++ 6.0, MVTec에서 제공하는 halcon 7.1 을 사용하였다.

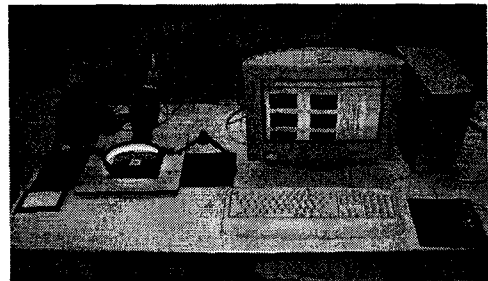


Fig. 12 The formation of system for the total experiment

Table 1 The beforehand information used experiment

실험에 사용된 사전 정보		(단위: mm)		
한 화소 당 실제 길이	Base line	Focus	카메라 각도	
왼쪽 영상	0.01059322	48.50	100	9°
오른쪽 영상	0.01059322			

Table 1은 실험에서 사용하기 위한 사전 정보 및 실험을 통해 미리 계산된 측정값이다. 본 논문에서 제안한 비전 시스템을 이용한 마이크로 BGA의 2차원 검사 및 3차원 결함 검사는 두 대의 카메라로 입력받은 두 장의 2차원 영상으로부터 2차원 및 3차원 결함을 검출하였다. Table 2는 제조사에서 제공하는 규격을 나타내고 있다. Table 2와 같이 제조사에서 제공하는 검사 항목은 6개지만 본 논문에서

서는 6개 항목과 더불어 볼의 원형도 검사도 수행하였다. 정밀한 소자를 측정하기 위해서 고 해상도의 디지털 CCD 카메라를 이용하여 1392 × 1040의 해상도를 가지고 영상을 촬영하였다.

Fig. 13은 한 화소 당 실제 거리를 계산하기 위한 측정 방법으로 MVTEC에서 제공하는 캘리브레이션 플레이트 (0.01m×0.01m)를 샘플로 사용하였다.

Table 2 Standard size offering in the company (단위: mm)

결함항목 (parameter)	최소값	최대값
package body length	11.90	12.10
package body width	10.10	10.30
ball pitch(x)	1.00	1.00
ball pitch(y)	0.80	0.80
ball diameter	0.30	0.40
ball height	0.20	0.30

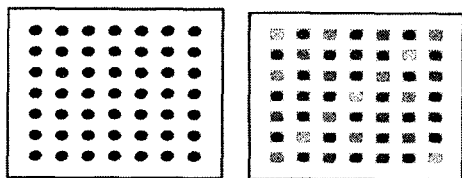


Fig. 13 Accuracy measurement method for calculating one pixel per distance

또한 x축 오프셋과 y축 오프셋의 정확한 측정을 위해서 Euresys에서 제공하는 e-vision 라이브러리를 사용하여 실제 측정 프로그램을 프로그래밍하여 한 화소 당 실측 거리를 구하였다.

왼쪽 영상에 대한 한 화소 당 거리는 식 (4)에서와 같이 해당 화소수 118화소의 크기를 가지고 있으며, MVTEC에서 제공하는 캘리브레이션 플레이트의 볼 피치는 1.25 mm이다. 이러한 방법으로 0.0105922 mm의 실제 한 화소 당 거리를 구하였다.

Table 3은 패키지 규격에 대한 측정 결과를 나타낸다. 본 실험은 제조사에서 제공하는 표준 규격과 SEM(scanning electron microscopy)으로 측정된 데이터 및 실험에서 측정된 패키지의 크기를 나타내었다. Table 3은 20개 마이크로 BGA를 가지고 측

정한 패키지의 평균 오차는 4 um범위 안에서 정확하게 측정된 것을 확인할 수 있었다. 또한, 본 논문에서 실험한 알고리즘에서는 패키지의 위치가 정확하게 고정되지 않았을 경우를 고려하여 패키지의 각도를 측정하였다. 20회의 반복 측정 시 패키지의 각도는 평균 0.9도였다.

Table 3 Measurement result of package size (단위: mm)

검사 항목	제조사에서 제공하는 표준 규격	SEM 영상으로 촬영한 패키지 크기	본 실험에서 측정된 패키지 크기
package body length	11.90 ~ 12.10	11.953	11.950
package body width	10.10 ~ 10.30	10.143	10.147

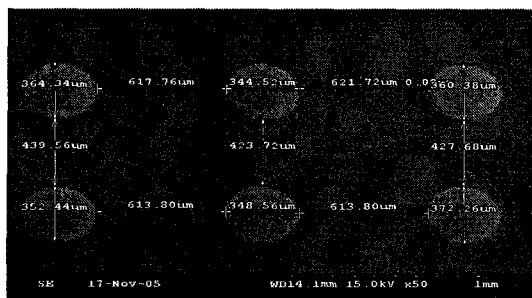


Fig. 14 Ball diameter and offset by SEM captured

Fig. 14는 원 영상을 50배 확대하여 촬영한 것으로서 SEM으로 측정된 볼의 너비와 오프셋을 나타낸 그림이다. Fig. 14에서처럼 볼 중심에서 다음 볼 중심까지의 거리를 볼의 피치라고 한다. 이러한 볼의 피치는 50배 확대된 영상에서 정확한 볼의 중심을 찍지 않으면 큰 오차값이 발생하므로 Fig. 14와 같은 방법으로 하여 볼의 x축 피치와 y축 피치를 측정하여 계산하였다.

Table 4는 20개의 샘플의 볼 너비에 대한 측정 결과이다. 각각의 62개 볼에 대한 평균 너비를 구하였다. SEM으로 측정된 볼의 평균 너비는 358.3 um의 값을 얻을 수 있었고, 실험을 통한 볼의 평균 너비는 365.9 um의 값을 얻을 수 있었다.

Table 4의 19번 볼에서 12 um로 가장 큰 차이 값을 확인할 수 있었다. 제조사에서 제공하는 볼의

너비의 규격은 300 ~ 400 μm 의 크기였다.

Table 5는 20개의 샘플 패키지를 가지고 볼 피치(x)에 대한 측정 결과 값이다. 제조사에서 제공하는 볼 피치(x)는 800 μm 이다. Table 5에서 보면 SEM의 측정값이 제조사에서 제공한 규격 보다 작음을 Table 5를 통해 확인할 수 있었다. 본 실험에서 측정된 볼 피치(x)의 범위는 795 ~ 810 μm 이었다. 20개의 마이크로 BGA에 대한 전체 평균 볼 피치(x)는 803 μm 이었다. Fig. 13에서처럼 SEM으로 측정 시 50배 확대된 영상에서 볼의 중심점이나 볼의 외각선을 정확하게 클릭하지 못하면 상당한 크기의 오차값이 발생된다. Table 5에서처럼 SEM으로 측정된 평균 볼 피치(x)는 794 μm 이었다.

Table 4 Measurement result of ball diameter

(단위: μm)

볼 번호	SEM으로 측정값	실험에서 측정값	볼 번호	SEM으로 측정값	실험에서 측정값
1	367	361	34	369	362
3	359	365	38	370	375
6	371	362	41	338	344
10	354	358	45	359	361
15	364	365	48	361	370
19	375	387	51	375	365
24	339	344	53	345	352
27	329	331	57	353	343
29	381	387	60	372	377
31	358	355	62	367	364

Table 5 Measurement result of ball pitch(x)

(단위: μm)

Ball pitch(x)	SEM으로 측정값	실험에서 측정값	SEM & 실험 차이값
2번 볼과 3번 볼	799	807	8
3번 볼과 4번 볼	795	800	5
6번 볼과 7번 볼	795	806	11
9번 볼과 10번 볼	794	799	5
13번 볼과 14번 볼	789	795	6
42번 볼과 43번 볼	796	805	9
45번 볼과 46번 볼	793	805	12
52번 볼과 53번 볼	791	801	10
56번 볼과 57번 볼	798	810	12
60번 볼과 61번 볼	788	797	9

Table 6은 Table 5와 동일한 패키지 20개를 가지고 볼 피치(y)에 대한 측정 결과이며 제조사에서

제공하는 볼 피치(y)는 1000 μm 이다. 실험에서 20개의 시료를 가지고 측정된 볼 피치(y)의 범위는 1007 ~ 1018 μm 이었으며, 20개의 마이크로 BGA를 가지고 측정된 전체 평균 볼 피치(y)는 1012 μm 이었고, SEM의 전체 평균 볼 피치(y)는 1003 μm 이었다.

Table 6 Measurement result of ball pitch(y)

(단위: μm)

Ball pitch(y)	SEM으로 측정값	실험에서 측정값	SEM & 실험 차이값
2번 볼과 9번 볼	1003	1011	8
3번 볼과 10번 볼	999	1008	9
7번 볼과 14번 볼	1008	1018	10
10번 볼과 17번 볼	1007	1019	12
26번 볼과 32번 볼	1004	1012	8
28번 볼과 34번 볼	1001	1010	9
35번 볼과 42번 볼	1002	1009	7
47번 볼과 54번 볼	998	1010	12
50번 볼과 57번 볼	1003	1009	6
54번 볼과 61번 볼	1007	1017	10

Fig. 15는 마이크로 BGA를 SEM으로 촬영한 볼의 높이 결함들을 보여주고 있다. 원 영상을 200배 확대하여 촬영한 영상으로 (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h), (i)는 볼의 높이 형태가 다른 영상에 대해 각각 결함 형태를 보여주고 있다.

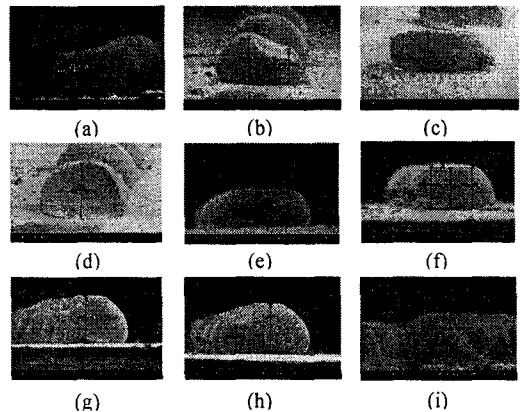


Fig. 15 Defect types of ball height by SEM captured

제조사에서 제공하는 표준 높이는 200 ~ 300 μm 이고, 정확한 기준 데이터가 필요하여 SEM으로 측정하였다. SEM 측정 시 외각 볼은 카메라와 패키지가 90도 수직으로 정확한 측정이 가능했으나 외각 볼을 제외한 내각 볼은 보는 각도에 따라 높이가 달라지므로 SEM으로 정확한 높이 측정이 불가능 하였다. 본 논문에서는 SEM으로 측정한 20개의 패키지 내에서 외각 볼만을 비교하였다.

Table 7 Measurement result of ball height

(단위: μm)

Ball number	SEM으로 측정한 높이값	실험에서 측정한 높이값	SEM & 실험 높이 오차값
1번 볼	182.25	168	14.25
8번 볼	236.64	228	8.64
9번 볼	218.79	230	11.21
14번 볼	235.62	247	11.38
15번 볼	234.24	245	10.76
22번 볼	231.66	223	8.66
23번 볼	197.01	184	13.01
28번 볼	239.58	252	12.42
29번 볼	232.67	243	10.33
34번 볼	232.28	225	7.28
35번 볼	221.76	230	8.24
40번 볼	234.63	245	10.37
41번 볼	232.98	243	10.02
48번 볼	227.91	239	11.09
49번 볼	226.37	218	8.37
54번 볼	233.64	244	10.36
55번 볼	241.51	234	9.51
62번 볼	237.83	229	8.83

Table 7은 마이크로 BGA(시료1)의 볼 높이에 대한 결과표이다. 결함 볼은 진하게 표시하였고, 시료1에서 18개 볼에 대한 평균 SEM 높이 측정값은 232.50 μm 이고, 실험에서 측정한 18개의 평균 높이값은 235.93 μm 이다. SEM으로 측정한 볼 중 1번 볼과 23번 볼은 결함으로 판명되었고, 실험에서 측정한 볼도 마찬가지였다. Table 7에서처럼 SEM과 실험에서 측정한 높이의 최대 차이는 13 μm 이었고, 평균 오차는 10 μm 이었다.

Table 8은 기존 논문과 본 논문과의 결과에 대한 정량적 비교 평가한 표이며 기존방법¹⁸ 알고리즘은 plastic-BGA를 대상으로 납볼의 시각 검사를 수행하기 위한 영상처리 알고리즘을 제안하였고,

기존방법²⁹ 알고리즘은 BGA 패키지를 시료로 사용하여 3차원 레이저 소스와 라인 스캔 카메라를 이용한 빛의 표면에 발생하는 반사로부터 프로파일 정보를 가지고 데이터의 패턴 정합 방법을 제안하였다. Table 8에서 제안한 알고리즘이 기존에 제안한 방법보다 우수함을 확인하였다.

Table 8 The result comparison of the existing algorithm and proposal algorithm

(단위: μm)

	수평 피치 오차	수직 피치 오차	볼의 폭 오차	볼 높이 오차
기존 방법1	20 이하	20 이하	20 이하	×
기존 방법2	35이하	35이하	40이하	50이하
제안한 알고리즘	10이하	10이하	10이하	13이하

Fig. 16은 측정 시 사용한 검사 프로그램을 나타낸다. Fig. 16에서 카메라 설정은 본 실험에서 사용한 baslar 사의 a102k 2대를 각각 설정하여 촬영을 시작한다. grab 버튼을 통해 스틸 영상을 취득해 필요한 검사를 수행한다. 상단의 두 이미지는 입력영상과 검사 시 결과 값을 디스플레이 하였고, 하단에서 2차원 검사결과 및 3차원 검사 결과를 나타내는 프로그램이다.

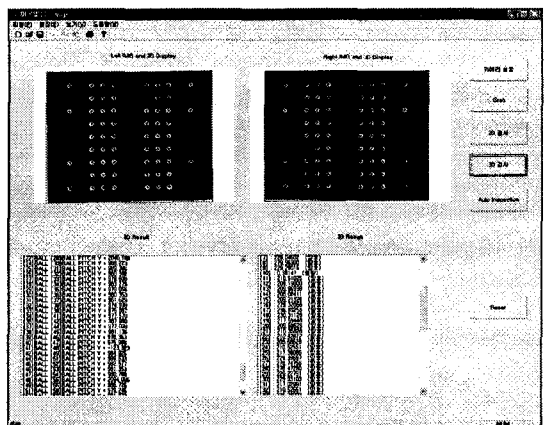


Fig. 16 Inspection program using the measurement

4. 결론

본 논문에서는 전자 및 산업 전 분야에서 널리 사용되고 있는 마이크로 BGA 소자를 비전 검사 시스템으로 2차원(표면검사) 및 3차원(스테레오 비전을 이용한 높이검사) 정밀 결함 검사 방법을 제안한다.

비전 시스템을 이용한 2차원 검사에서는 정확한 마이크로 BGA의 결함을 찾기 위해 패키지와 불 및 불의 원형도를 정확하게 검사하는데 중점을 두었고, 전처리 과정을 거친 후, 특징 파라미터(패키지, 불)의 후보점을 추출하였고, 그 후보점의 정보를 가지고 원 영상에서(패키지, 불) ROI(윈도우 마스크) 모델을 생성하여 부화소를 적용하였고, 각각의 패키지와 불에 대한 결함을 검사하였다. 또한, 결과값을 제조사에서 제공한 규격과 SEM으로 측정한 결과값에 비교 및 분석하였다.

비전 시스템을 이용한 3차원 검사에서는 고 해상도의 CCD 카메라를 통하여 입력된 영상에서 조명, 렌즈, WD 를 보정하였고, 기존의 PCB 보드나 버니어캘리퍼스를 사용하던 방법에서 벗어나 캘리브레이션 플레이트를 사용하여 한 화소 당 길이는 정확히 구할 수 있었다. 불과 정점영역을 정확하게 분리하기 위해서 전처리 과정(이진화, 잡음제거)을 수행한 이진 영상을 가지고 정점 영역의 후보점을 추출하고, 추출한 정보를 원 영상에서 ROI 마스크를 생성하여 부화소를 적용하였다. 정확한 정점의 정보를 구하기 위해서 검출되지 않은 정점은 정점의 모델을 하여 각각의 군집형태로 이루고 있는 정점들을 정규화하여 정확한 정점영역을 추출하였다. 추출한 정보를 심플 스테레오 정합 방법을 적용하여 높이 정보를 얻을 수 있었다. 스테레오 비전의 가장 큰 문제점인 정합문제, 즉 정합 할 포인트의 일치성의 문제점인데, 영상 전체에 대하여 정합 포인트를 찾게 되면 그만큼 처리 속도가 길어지게 된다. 본 논문에서는 미리 알고 있는 사전 정보를 이용하여 불의 정점(무게중심, 최외각 좌표, 정점의 원형도, 중심좌표) 정보를 가지고 정합 시 검사 처리 속도를 줄일 수 있었다.

차후 연구 과제로는 영상 촬영 시 발생하는 렌즈나 조명에 대한 왜곡을 최소화해야 하며, $5\ \mu m$ 이하의 측정 정밀도를 위해서는 더 많은 부화소에 대한 연구도 필요하다.

후기

본 연구는 산업자원부 지방기술 혁신사업(RTI04-01-02) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Shapiro, G. L. and Stockman, C. G., "Computer Vision," Prentice Hall, pp. 388-407, 2001.
2. Park, L. H., "The Vision System for Object Cognition of 3-Dimension," The Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 2, No. 12B, pp. 57-58, 1985.
3. Chol, Y. W. and Park, L. H., "Stereo Vision and Application," The Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 10, No. 12B, pp. 36-38, 1994.
4. Alvertos, N., Brzakovic, D. and Gonzalez, C. R., "Camera geometries for image matching in 3-D machine vision," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 11, No. 9, pp. 897-915, 1989.
5. Rodin, V. and Ayache, A., "Axial stereo vision: Modelization and comparison between two calibration methods," in Proc. Int'l Conf. Image Processing, Vol. 2, pp. 725-729, 1994.
6. Faugeras, O., "Three-Dimensional Computer Vision," The MIT Press, pp. 165-206, 2001.
7. Park, T. S., "Error Analysis in Extraction of Depth Information Using Stereo Vision," Department of Electrical Engineering Graduate School of Industry Chosun University, 1996.
8. Kim, K. T., "A Study on Image Processing Algorithm for Solder Ball Inspection of BGA Package," Department of Electronics and Control Engineering Graduate School Kum-oh National University of Technology, 1998.
9. Bae, K. T., "A Research of BGA Automation Inspection Using Image Information," Department of Computer Engineering Graduate School, Choongnam National University, 1992.
10. Bliton, C. A. and Patton, J. M., "Microscopic motion analysis, Laplacian of Gaussian masks for subpixel edge detection." Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE, Vol.

- 3, pp. 1098-1099, 1988.
11. Tabatabai, J. A. and Mitchell, R. O., "Edge-location to subpixel values in digital imagery," IEEE Transaction Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-6, No. 2, pp. 188-201, 1984.
 12. Lyvers, P. and Michell, R. O., "Subpixel Measurement Using a Moment-Based Edge Operator," IEEE Transaction Pattern analysis and Machine Inteligence, Vol. 11, No. 12, pp. 1293-1309, 1989.
 13. Jahne, B. and HauBecker, H., "Computer Vision and Applications," Academic Press, pp. 397-435, 2000.
 14. Won, N. S. and Sohn, Y. G., "A Parallel Algorithm by the 8-Neighbors Connectivity Value," The Korea Information Processing Society, Vol. 2, No. 5, pp.701-710, 1995.
 15. Samsung semiconductor, <http://www.samsung.com/Products/semiconductor/>, KM416RD8AC.