

## 부화소 정밀도를 가지는 3차원 BGA 검사 알고리즘

김정훈\*, 박성한\*, 심영석\*\*

\*한양대학교 공학대학 전자계산학과, \*\*안산 1 대학 멀티미디어학과

Tel: 0345-400-4109, Fax: 0345-406-4673

### A 3D BGA Inspection Algorithm with Subpixel Accuracy

Jung-Hoon Kim\*, Sung-Han Park\*, Young-Seok Sim\*\*

Dept. of Computer Science and Engineering, Hanyang University

E-mail:{kimjh, shpark, yssim}@cse.hanyang.ac.kr

#### Abstract

Inspection of BGAs presents several challenges for modern measurement equipment. Not only must these systems be fast and accurate, they must deal with the special challenges presented by very small shiny metal spheres. For accurate measurement, we propose an algorithm which fits for estimating the accurate ball height using 2-D curve-fitting algorithm. The real boundary between two adjacent pixels and the real ball diameter are measured with subpixel accuracy. Experimental results show that the proposed method calculates the ball height and diameter with subpixel accuracy and is robust in local noise with low measurement error.

#### 1. 서론

BGA(Ball Grid Array)는 통합 회로 요소의 연결 방법으로 널리 사용되고 있다. BGA 패키지를 사용하는 IC 로직은 고성능, 고가의 칩이기 때문에 BGA 패키지의 오류로 인하여 IC의 손실이 발생한다면 그 피해는 막대하다. 그러나 현재까지 개발된 어떠한 BGA 생산 공정에서도 1차 생산에서 일정량의 불량품이 산출되기 때문에 최종적으로 무결점 BGA를 얻기 위해서는 BGA 검사시스템이 도입되어야 한다[1]. 디지털 영상

정보를 이용한 정밀 측정 시스템들은 화소와 화소 사이에 존재하는 실제 경계를 추정하여 부화소(Subpixel) 영역에서의 정밀도를 사용한다[2][3].

BGA 검사 시스템을 위해 Sheet-of-light 광원과 스마트 비전 카메라를 이용하여 BGA range 데이터와 디지털 영상 데이터를 획득한다[4]. 이 BGA range 데이터를 2차원 곡선으로 조정하여 BGA 실제 높이를 추정한다. BGA 디지털 영상은 스마트 비전 카메라에 투영하여 샘플링 과정을 거쳐 얻게 되는데 이러한 과정에서 경계의 손실이 발생하여 정확한 경계 데이터를 제공하지 못하는 문제점이 있다.

본 논문에서는 Sheet-of-light 광원을 이용하여 측정된 range 영상을 가우시안 분포를 통하여 정확한 경계를 구하고 이렇게 얻어진 결과 데이터를 이용하여 정확한 BGA 높이를 추정한다. 또한 디지털 밝기 데이터의 모멘트를 이용하여 BGA 지름을 추정한다.

#### 2. 제안하는 알고리즘

##### 2.1 전체 시스템

BGA 검사 시스템을 위한 Ranger 시스템의 하드웨어 구조는 그림.1에 보여진다. 전체 시스템은 sheet-of-light 광원과 range 카메라로 구성되며 하나의 물체를 촬영할 경우 물체의 높이 변화에 따른 정보를 영상에 표시한다. Range 영상의 경우 물체의 높이 변화에 따른 정보만 영상에 표시하여 인쇄된 글자와 같은 정보는 나타나지 않으며 이러한 영상은 도로면

검사, 산업용 검사, 공업용 로봇 등의 다양한 응용분야를 가지고 있다.

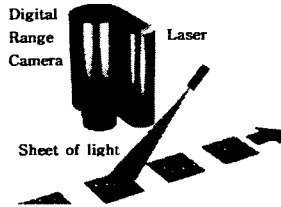


그림 1 시스템 구성  
Fig. 1 System Configuration

전체 검사 과정은 그림. 2와 같다. 영상 취득 과정에서 얻어진 range 데이터를 가우시안 분포를 이용하여 조정하고 영상의 높이 값을 취득한다. 취득한 결과를 통하여 영상 밝기 데이터를 얻은 후에 부화소 정도 경계를 추출하여 지름을 측정한다.



그림.2 측정 과정  
Fig.2 Measurement Procedure

### 2.2 영상 높이 정보 획득을 위한 알고리즘

3차원 배경으로부터 반사된 한 줄 영상은 그림. 3과 같은 신호를 생성한다. 1차원 신호로부터 일련의 위치 정보를 취득하기 위해 다양한 방법과 알고리즘이 적용된다. 일반적 알고리즘은 화소 밝기의 최대 값의 위치를 영상의 높이로 추정하거나 영상 밝기의 문턱치(threshold value)를 이용하여 화소들의 중간 위치를 높이로 추정한다.

그림. 3처럼 최대 값의 위치가 평평하다면 일반적으로 높이의 위치는 다음과 같이 선택된다.

$$pos = \frac{a+b}{2}$$

문턱치를 이용하여 화소들의 중간 위치를 높이로 추정하면 영상의 높이는 다음과 같이 선택된다.

$$pos = \frac{n+m}{2}$$

일반적 알고리즘의 문제는 여러 개의 최대 밝기 값들 중에서 절반의 위치만을 고려하며 문턱치 처리 이후의 노이즈 문제를 해결하지 못한다. 이러한 문제점들의 해결을 위해 제안하는 높이 정보 획득 알고리즘은 먼저 획득된 영상 데이터를 가우시안 분포로 가정하고 데이터를 조정한 이후 아래의 식으로 최대 값을 가지는  $\mu$ 를 계산하여 높이 정보를 획득한다.

$$\mu = \sum_i x_i f(x_i) \quad \begin{matrix} x_i: i\text{번째 화소 밝기} \\ f(x_i): i\text{번째 화소 개수 분포값} \end{matrix}$$

작은 개수의 화소 폭을 가지는 신호의 높이 위치는 일반적 알고리즘에서 0.5 부화소의 정확도를 가지나 데이터 조정을 통한  $\mu$ 의 높이 측정은 무한한 부화소 정확도를 가짐을 알 수 있다.

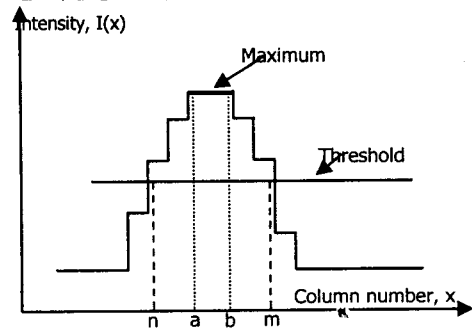


그림 3. 레이저 반사광 측정을 위한 두 가지 방법  
Fig. 3 Two different ways to find the laser reflection

### 2.3 BGA 높이 정보 획득 알고리즘

BGA의 정상적인 불의 형상은 지름과 높이의 폭 비율이 0.75~0.90 사이의 지름이 더 긴 형태로 BGA 패키지를 생산한다. 이러한 환경을 바탕으로 얻어진 BGA 영상을 타원 형태를 가지는 2차 곡선으로 간주하여, 아래 식의 계수를 구한다.

$$ax^2 + by^2 + cx + dy = 1$$

이를 위하여 영상 데이터에 가장 근접하는 2차 곡선의 파라미터를 가우시안 제거법(Gaussian elimination)을 이용한다.

$$A = [x_i^2 \ y_i^2 \ x_i \ y_i] \quad y_i: x_i\text{번째 화소의 밝기}$$

$$\bar{x} = [a \ b \ c \ d]^T \quad \bar{c} = [1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$$

$$\bar{x} = (A^T A)^{-1} A^T \bar{c}$$

이렇게 조정되어 얻어진 2차 곡선 상에서 가장 높은 위치를 볼의 높이로 추정할 수 있다.

2.4 모멘트를 이용한 부화소 정확도 계단 경계 추출

본 절에서는 BGA 볼의 부화소 정확도를 가지는 지름을 검출하기 위해 모멘트를 이용한 부화소 정도의 1차원 계단 경계 추출에 대해 기술하고 이를 볼 데이터에 적용하는 방법에 대해 기술한다.

2.4.1 모멘트에 기반한 계단 경계 추출

계단 경계에 대한 부화소 경계 추출을 위해 먼저 1차원 경계 연산자에 대해 설명한다. 샘플된 데이터는 단조 증가 혹은 단조 감소하는 일련의 화소 밝기  $x_i(i=1,2,\dots,n)$ 로 구성된다. 반면에 이상적인 경계는 연속적인 하나의 밝기 값을 가지는  $h_1$ 과 연속적인 다른 밝기 값  $h_2$  사이의 경계이다. 여기서 입력 데이터의 처음 세 개의 모멘트  $m_i$ 는 다음과 같이 정의된다.[3]

$$\bar{m}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k x_j^i \quad i=1,2,3$$

이상적인 경계 상에서  $k$ 를  $h_1$ 값의 개수라고 가정한다면  $k$ 는 실제 경계 위치가 된다. 실제 경계 데이터를 구하는 방법은 샘플된 경계 데이터와 출력인 실제 경계 데이터 사이의 처음 세 개의 모멘트를 보존하는 것은 3개의 미지의 변수  $p_1, h_1, h_2$ 에 대한 다음의 3가지 방정식을 푸는 것과 같다.

$$\sum_{j=1}^k p_j h_j^i = \bar{m}_i$$

$$p_1 = \frac{k}{n}$$

$$\sum_{j=1}^k p_j = 1$$

위의 방정식에 대한 해법은 다음과 같다.

$$h_1 = \bar{m}_1 - \bar{\sigma} \sqrt{\frac{p_2}{p_1}}$$

$$h_2 = \bar{m}_1 + \bar{\sigma} \sqrt{\frac{p_1}{p_2}}$$

$$p_1 = \frac{1}{2} \left[ 1 + \bar{\sigma} \sqrt{\frac{1}{4 + \bar{\sigma}^2}} \right]$$

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{m}_1)^3}{\bar{\sigma}^3} \cong \frac{\bar{m}_3 + 2\bar{m}_1^3 + 3\bar{m}_1\bar{m}_2}{\bar{\sigma}^3}$$

$$\bar{\sigma}^2 = \bar{m}_2 - \bar{m}_1^2$$

위의 결과로부터  $k=np_1$ 은 정수가 아님을 알 수 있다. 여기서 첫 번째 화소는  $j=0.5$ 에 위치하며 다음 화소는 1의 간격으로 위치하므로 에지 위치의 부화소 측정을 가능하게 한다. 즉 경계 위치는 샘플된 지점에 있을 필요는 없다. 표. 1은 서로 다른 경계에 대해 이 방법을 적용하여 실제 경계 위치를 추정된 결과를 나타내고 있다

표. 1 다른 에지 패턴의 실제 에지 위치  
Table 1 Edge location for different edge pattern

Input sequence	Calculated edge location
(a) 0 0 0 .5 1 1 1 1 1	3.506
(b) 0 0 0 .25 1 1 1 1 1 1 1	3.860
(c) 0 0 0 .25 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	3.861
(d) 0.1 2 .3 4 .5 .8 1 1	4.997

2.4.2 BGA 볼 영상 지름 측정 알고리즘

BGA range 영상의 높이 정보를 이용하여 얻어진 다수의 볼 영상의 지름을 측정하기 위해 스캔된 여러 range 영상 중 최대 밝기를 가지는 range 영상을 이용한다. 하나의 볼 영상의 지름을 구하기 위해 다수의 볼을 세그먼트 하여 화소의 밝기 정보를 취득한다. 정확한 볼 화소 밝기 정보는 일반적으로 단조 증가 혹은 감소하는 형태를 이루어야 한다. 그러나 배경의 밝기와 카메라 영상 취득 시에 문제점을 지녀 정확한 BGA 화소 밝기 정보를 추출하지 못한다. 이러한 정보의 조정을 위해 이전 픽셀 밝기의 변화량  $\delta$ 을 잘못 측정된 픽셀 밝기에 추가한다.

$$\delta = |x_{i-1} - x_{i-2}|$$

단조 증가 혹은 감소하는 조정된 화소 밝기를 이용하여 볼의 양쪽 방향의 부화소 계단 경계 위치를 찾아 볼의 지름을 추정할 수 있다.

2.5 실험 결과

Sheet-of-light 광원과 range 카메라를 이용하여 BGA 패키지 영상 정보를 높이의 변화에 따라 22번 측정한다. 측정된 영상 중 일반적인 알고리즘인 최대 밝기 영상을 추출하여 볼의 높이를 표현한 결과는 그림. 4와 같고 제안된 방법을 이용하여 측정된 볼의 결과는 그림. 5와 같다.

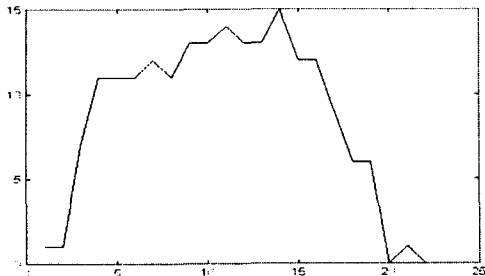


그림 4. 최대치 알고리즘을 이용한 볼 형태  
Fig. 4 Ball shape with Maximum algorithm

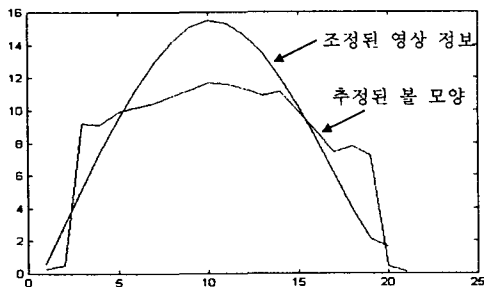


그림 5. 2차 곡선 조정을 통한 볼 형태  
Fig. 5 Fitted ball shape with 2-D curve

성능 평가를 위해 BGA 패키지의 볼 영상을 10장 취득하여 제안된 BGA 볼 영상 지름 측정 알고리즘을 이용하여 80개의 볼 영상의 지름을 추정한다. 각 지름 데이터의 표준편차를 비교하여 성능을 평가하며 표. 2에 나타낸다. 결과에서 나타난 바와 같이 제안된 방법이 소벨 연산자를 사용하여 지름을 측정하는 것보다 약 2.6배 정도 우수함을 알 수 있다.

	소벨 연산자를 이용한 방법	제안된 지름 측정 방법
볼 지름의 표준편차(화소)	1.196700	0.454436

표 2. 부화소 정확도 알고리즘과의 비교  
Table 2 Comparison with subpixel accuracy algorithm

제안된 알고리즘을 이용하여 추정된 정상적인 볼 높이와 지름의 정확도는 볼의 높이와 지름의 비로 측정하였으며 약 95%의 정확도를 가짐을 알 수 있다.

	실측 볼의 값	추정된 볼의 값
비율(높이/지름)	0.8500	0.8989

표. 3 추정된 볼과 실측 볼의 비율  
Table 3 Comparison with estimated ratio

### 3. 결론

본 논문에서는 정확한 BGA 볼 검사를 위해 볼의 높이를 2차 곡선으로 가정하고 볼 높이 정보를 2차 곡선으로 조정하여 가장 높은 볼의 위치를 측정하며 밝기 정보 조정을 통한 부화소 계단 경계를 화소 밝기의 모멘트를 계산하여 측정하고 이를 이용하여 볼의 지름을 측정한다.

향후 과제로는 BGA 검사 시스템은 정확한 볼의 측정과 실시간 처리에 적합한 빠른 계산을 요구하므로 볼 처리 속도의 향상을 개선하는데 있다.

### 4. 참고문헌

1. Karl Gunnarsson, "3D Profiling of Metal Spheres in Ball-Grid Array Components and Inspection of electronic components", Metolius Inc., Nov. 1997
2. A.J. Tabatabai and O.R. Mitchell, "Edge location to subpixel values in digital imagery", IEEE Transaction Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-6 no.2, pp.188-201, Mar. 1984.
3. M. Kisworo, S. Venkatesh and G. West, "Modeling Edges at Subpixel Accuracy Using the Local Energy Approach", IEEE Transaction Pattern Analysis and Machine Intelligence vol. PAMI-16, no. 4, pp.405-410, Apr. 1994
4. Mattias Johannesson, "Sheet-of-light Range Imaging", Thesis No.404, Dept. of Electrical Engineering, Linkoping University, 1993
5. 장혁중 박성한, "Sheet-of-light 레이저 광원을 이용한 3차원 BGA 검사 방법", 한양대학교 대학원, 1998