

# 반도체 패키지의 마크문자 회전량 측정을 위한 고속 라돈 변환에 관한 연구

신균섭\*, 주효남\*\*, 김상민\*\*\*, 이정섭\*\*\*\*  
\*세크론(주) 연구소, \*\*호서대학교 디지털디스플레이공학과  
\*\*\*세크론(주) 연구소, \*\*\*\*세크론(주) 연구소  
e-mail : \*gyunsob.shin@samsung.com, \*\*hnjoo@hoseo.edu  
\*\*\*sm5707.kim@samsung.com, \*\*\*\*jungseob.lee@samsung.com

## A Study of high speed Radon transform for mark character tilting amount measurement of semiconductor package.

Gyunsob Shin\*, Hyonam Joo\*\*, Sangmin Kim\*\*\*, Jung-seob Lee\*\*\*\*  
\*Secron co., ltd, \*\*Dept. of Digital-Display Engineering, Hoseo University  
\*\*\*Secron co., ltd, \*\*\*\*Secron co., ltd

### 요 약

반도체 패키지 제조공정 중에는 제품에 일련번호를 인쇄하는 마킹공정이 있다. 마킹 공정에서 새겨진 문자는 해당 관리기준에 따라 관리되고 있는데 최근 반도체 패키지의 소형화에 따라 인쇄된 마크문자의 틀어짐 정도가 관리기준에 미달되는 문제가 발생되고 있다. 본 논문에서는 마크문자의 검사 항목 중 tilted mark(angle mark) 검사를 위한 회전량 측정방법으로 golden section searching 방법을 적용한 고속 라돈 변환(radon transform)방법을 제안한다. 실험에서는 제안한 방법이 일반적인 라돈 변환에 비해 최대 약 21 배의 회전량 측정속도가 향상되는 것을 확인하였다.

### 1. 서론

반도체 패키지 제조공정에는 패키징이 완성된 반도체 제품 표면에 제품 이름이나 일련 번호가 새겨진 마크의 유, 무와 위치, 밝기 등의 품질을 해당관리기준에 따라 검사하는 마킹검사 공정이 있다. 마킹검사 항목 중 tilted mark(angle mark) 검사항목은 패키지의 외곽 대비 문자 열의 회전량을 측정하고 그 회전량이 일정 허용범위를 넘게 되면 불량으로 분류해야 하는 항목이다. 마킹검사에서는 상기 검사항목 이외에도 많은 검사 항목을 동시에 검사하기 때문에 검사속도와 정확도가 높은 검사방법이 요구된다.

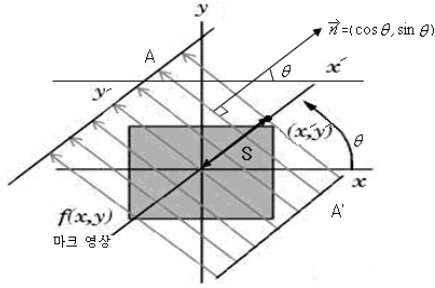
이와 관련한 영상처리 검사방법에 관한 연구로는 검사대상의 무게중심과 외곽 사이의 거리비율에 따른 공간, 주파수 특성을 이용한 회전량 검출방법[1], chamfer matching 방법[2], 라돈 변환을 이용한 회전각 추출 방법[3,4] 등, 많은 관련 기술들이 소개되어 왔다. 공간 및 주파수 특성을 이용한 방법은 대상에 대한 여러 가지 선행되어야 할 학습항목이 많고, Fourier 변환을 이용한 주파수 특성방법의 적용은 영상 해상도가 커지면 검사시간이 길어지는 단점이 있어 고속의 검사를 구현하기에 어려움이 있다. chamfer map 기반의 방법은 다수의 선행학습을 통한 데이터 베이스를 요구하는데, 신규 반도체 자재를 검사하기 위해서 작업자가 준비해야 할 작업이 많아 장비에 적용하기에는

무리가 있을 수 있는 방법이다. 반면, 라돈 변환은 회전량을 측정하기 위한 선행 작업이 필요 없으며, 측정 신뢰도가 높아 장비에 적용하기에 적절하지만, 변환하고자 하는 회전 범위와 회전 각도의 resolution에 따라 계산시간이 길어질 수 있는 단점이 있다. 본 논문에서는 이와 같은 라돈 변환의 단점을 보완한 golden section searching 방법을 이용한 고속 라돈 변환 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 2 장에서 기존의 라돈 변환을 이용한 회전량 계산법을 소개하고, 3 장에서 제안된 golden section searching 방법을 이용한 고속 라돈 변환에 대해서 알아본다. 4 장에서는 실험을 통해 그 결과를 분석하고, 5 장에서 결론을 맺는다.

### 2. Radon Transform

라돈 변환은 주어진 선이나 어떤 함수에 대한 에너지 전달 경로를 따라 대상체의 물성을 적분하여 라돈 변환 공간 상에 누적함으로써 선형 특징을 강조하고 검출하는데 사용되고 있다. 그림 1 은 유클리드 (Euclidean Space) 공간 상에서 2 차원 영상  $f(x, y)$  의 라돈 변환 공간상으로 적분되는 것을 보여주며, 투영 각도  $\theta$ 에 대한 라돈 변환 식은 식(1)과 같다[3].



(그림 1) 라돈 변환의 기하학적 구조

$$g(\rho, \theta) = R[f(x, y)]$$

$$= \iint_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - \rho) dx dy \quad (1)$$

$$-\infty < x, y < \infty, -\infty < \rho < \infty, 0 \leq \theta < \pi$$

S 는  $\theta$ 의  $x, y$  좌표의 실제 거리이며,  $\theta$ 는  $x$  축으로부터의 각도이다.  $g(\rho, \theta)$ 은 2 차원 영상을 선 적분하여 획득한 투영 데이터이고,  $\rho$ 는 원점에서 법선의 길이이다.

$$Minval = \min(R = (r_{i,j})), \quad (2)$$

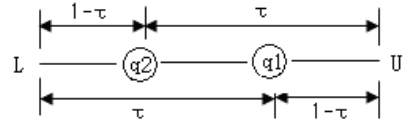
$$-\frac{m}{2} \leq i \leq \frac{m}{2}, 0 \leq j \leq 180$$

$R = (r_{i,j})$ 는 영상  $f(x, y)$ 가 라돈 변환을 통하여 변환 공간상으로 변환 될 때 획득한 2 차원 행렬이며,  $m$ 은 각 투영 각도에서의 선 적분 회수이다. 이렇게 획득한 2 차원 행렬에서 식(2)와 같이 최소값  $\min(R = (r_{i,j}))$ 는 열 좌표를 이용하여 회전된 물체의 각도를 알아 낼 수 있다[3].

### 3. Golden Section Searching

golden section searching 은 최적의 값을 찾는 방법 중 하나로서 region elimination methods 에 속하는 방법이다. 최적의 값을 찾는 방법으로 Newton-Raphson, Powell's, quadratic, cubic method 등이 있으며, 그 중 golden section searching 의 결과가 multimodal function 또는 strongly skewed 한 경우 신뢰도가 높게 나왔다[5]. golden section searching 은 주어진 길이를 가장 이상적으로 둘로 나누는 비로, golden section ratio  $\tau = 0.61803\dots$ 을 정의하여 최소 또는 최대의 분할된 점을 찾는 방법이다. golden section ratio  $\tau$  간격으로 단위 길이 1로 초기화하면 일정한 스케일의 길이를 가지게 된다. 아래 단위 길이에 대한 비율을 보면  $\tau$ 에 서로 대칭이 된다는 것을 알 수 있다. 그림 2는 단위 공간 상에서 golden section searching 의 1차원 분할되는 것을 보여준다. golden section searching 을 적용하기 위한 조건은 첫째, 두 개의 점을 분할하는 것이 가능해야 하며 위치를  $\tau$  간격으로 결정해야 한다. 둘째, 분할 후 비교가 되어 제거된 위치는 결과에 관계없이 같은 길이가 되도록 최대, 최소 간격으로 놓

여져야 한다. 셋째, 이 간격은 더 작은 값에 관계없이 남아있는 길이는 항상  $\tau$ 에 비례 해야 한다[6].

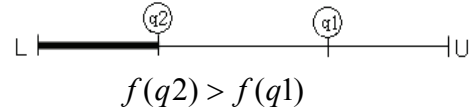


(그림 2) 1차원 golden section searching

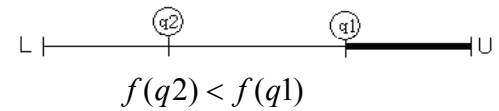
여기서, 분할된 점은 식(3), (4)으로  $q1, q2$ 를 이용하여 구하며, L은 0에서 U는 1을 기준으로 반복횟수 N을 진행하여 영역을 제거해 나간다. 그림 3과 그림 4에서 굵은 선 영역은  $q1, q2$  값 비교 후에 제거되는 영역을 보여준다.

$$q1 = L + (U - L) * \tau \quad (3)$$

$$q2 = L + (U - L) * (1 - \tau) \quad (4)$$



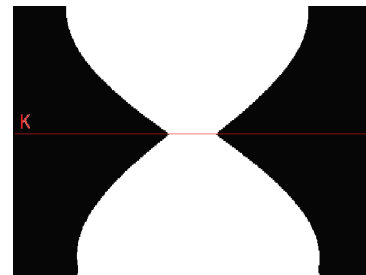
(그림 3)  $q1, q2$  값 비교에 대한 제거 방향



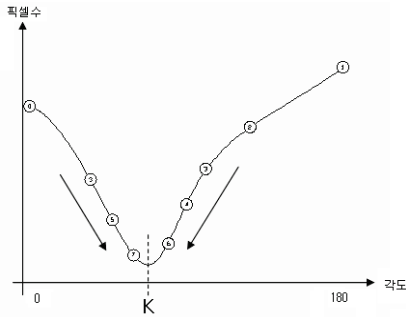
(그림 4)  $q1, q2$  값 비교에 대한 제거 방향

첫번째 단계에서 추정되는 (3)식과 두번째 단계에서 추정된 (4)식을 서로 비교하여 보다 큰 영역을 제거해 나가면서 최소가 되는 단계까지로 점차 진행할 수 있게 된다. 만약, N 번째 단계에서  $\tau^{N-1}$ 의 새로운 분할 점을 얻는 식을 얻을 수 있다[7].

본 논문에서 제안한 방법의 경우 0~180도 회전 범위 안에서 흰색 픽셀의 갯수가 최소가 되는 점을 찾는 방법으로 그림 5에서 라돈 변환의 이진 결과를 볼 수 있으며, 각도에 대한 분포를 그림 6과 같이 2차원 함수의 변화량을 보이게 된다.



(그림 5) 라돈 변환의 이진 결과

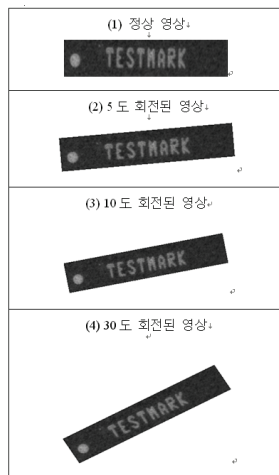


(그림 6) 2 차원 golden section search

그림 6 에서 일반적인 방법으로 K 값을 찾기 위해 0~180 도의 범위를 1 도 간격으로 투영 데이터를 획득 하는 계산을 해야 한다면, 180 번의 계산 후에 최소값 K 를 알 수 있으나, 제안한 golden section searching 방법을 이용하면 10 번 이하의 계산으로 K 값에 근접한 값을 찾을 수 있다.

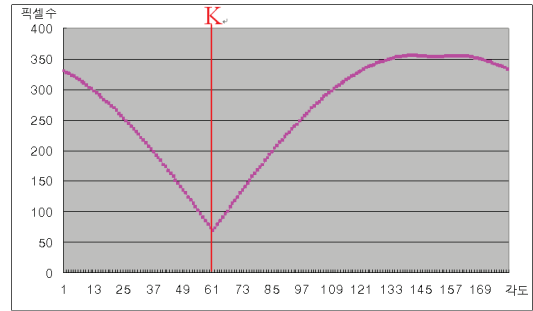
4. 실험

이 장에서는 본 논문에서 mark tilt 각도 검사를 위한 방법으로 일반적인 라돈 변환 방법과 제안한 golden section searching 방법을 적용한 고속 라돈 변환 방법을 비교하는 실험을 하였다. 그림 7 은 실험대상 이미지로서 비전 검사 장비에서 획득한 640x480 사이즈의 마크 영상이며 응용 프로그램 eVision library 를 이용하여 마크 영상을 회전시켰다.



(그림 7) tilted mark 영상

일반적인 라돈 변환 방법을 설명하면, 그림 7 에서 (4)번 영상을 0~180 도 범위에서 1 도 간격으로 회전 이동 후 획득한 투영 데이터에서 흰색 픽셀 수를 Y 축으로, 회전이동 각도를 X 축으로 한 그래프를 그리면 그림 8 의 결과를 얻는다. 여기서 (90-K) 값이 mark tilt 각이 된다. 위와 같이 일반적인 라돈 변환 방법으로 알아낸 mark tilt 각도의 정확성은 높았지만, 검사 시간은 약 3520.6ms 가 소요됨을 확인할 수 있었다.



(그림 8) 일반적인 라돈 변환 결과 그래프

본 논문에서 제안한 golden section searching 으로 라돈 변환을 했을 때 표 1 은 mark tilt 각도를 찾아가는 과정을 보여준다. 우선, 0~180 도 범위를 단위 길이 1 로 스케일 변환을 한다. N1, N2...단계에서  $\tau$  로 일정한 길이의 비율로 계산한다.

<표 1> 단위 길이 1 에 대한 결과

(N)	L	q2	q1	U
N 1	0	0.382	0.618	1
N 2	0	0.236	0.382	0.618
N 3	0.236	0.383	0.472	0.618
N 4	0.236	0.326	0.382	0.472
N 5	0.236	0.292	0.326	0.382
N 6	0.292	0.326	0.348	0.382
N 7	0.292	0.313	0.326	0.348
N 8	0.313	0.326	0.334	0.348
N 9	0.326	0.334	0.339	0.348

여기서 N 은 픽셀의 갯수가 최소가 되는 값(K)을 추정하기 위한 반복횟수이다. 단위 길이 1 에 대한 N1, N2...단계에서 q1, q2 에 180 도 범위의 각도로 변환하면 표 2 와 같다.

<표 2> 180 도 범위의 각도로 변환한 결과

(N)	L	q2	q1	U
N 1	0	68.760	111.24	180
N 2	0	42.494	68.746	111.24
N 3	42.494	68.755	84.979	111.24
N 4	42.494	58.723	68.750	84.979
N 5	42.494	52.523	58.720	68.750
N 6	52.523	58.722	62.551	68.750
N 7	52.523	56.354	58.721	62.551
N 8	56.354	58.721	60.184	62.551
N 9	58.721	60.184	61.088	62.551

여기서 q1, q2 의 계산된 결과를 서로 비교하여 더 큰 픽셀의 갯수 값에 대하여 영역을 제거해나가면 픽셀의 갯수가 최소될 수 있는 영역에 대해 점차 좁혀나갈 수 있게 된다. 이때 q1 과 q2 의 거리가 허용범위 ( $\leq 0.005$ )이내에 들어오면 반복루프를 벗어나게 되며, 최종 반복횟수 N 단계에서 q1, q2 의 라돈 변환한 결

과값을 비교하여 픽셀의 갯수가 최소가 되는 값을 구하면 알고자 하는 회전 각을 알 수 있게 된다. 본 실험에서 영상을 90 도 기준으로 하여 N9 의 픽셀의 갯수가 최소가 될 때의 각도 값을 빼주면, 회전된 영상의 각도를 구할 수 있다. 표 3 은 반복횟수 N 의 q1, q2 각도로부터 획득한 투영 데이터에서 흰색 픽셀 수를 보여준다. 반복횟수 N 의 증가에 따라 더 작은 픽셀 수로 감소되는 것에서 제안한 방법이 최소값을 추정해내고 있는 것을 확인할 수 있다.

<표 3> 라돈 변환된 결과

(N)	L	q2	q1	U
N 1	330	117	308	330
N 2	330	165	117	308
N 3	165	116	202	308
N 4	165	75	117	202
N 5	165	111	75	117
N 6	111	75	82	117
N 7	111	90	76	82
N 8	90	76	69	82
N 9	76	69	73	82

본 논문에서 제안한 golden section searching 을 이용하면 0 ~ 180 도 범위에서 반복횟수 N 이 최대 9 이하의 범위에서 최소가 되는 픽셀의 갯수를 추정할 수 있다. 이로써 찾고자 하는 회전된 문자 영상의 각도를 빠르게 찾을 수 있었다. 본 논문에서 제안한 고속 라돈 변환을 실시한 결과 검사 시간은 약 161.97ms 이며 일반적인 라돈 변환 속도 보다 최소 21 배 가량 개선됨을 확인할 수 있었다.

마크 영상을 eVision library 로 회전시킨 후 일반적인 라돈 변환에서 나온 mark tilt 각도는 정확히 검출되었다. 하지만, 0~180 도 범위에서 1 도씩 라돈 변환 계산하면 검사 처리 시간이 많이 소요된다. 아래 표 4 는 라돈 변환과 제안한 방법과의 속도와 mark tilt 각도 검출에 대한 성능 비교표이다.

<표 4> 검사 성능 비교

참값 (도)	radon transform		golden section		오차 (도)
	속도 (msec)	회전각 (도)	속도 (msec)	회전각 (도)	
0	3519.1	0	35.494	0.2	0.2
5	3518.2	5	69.862	5.23	0.23
10	3521.8	10	89.600	9.935	0.265
30	3520.6	30	161.97	29.816	0.184

처리 시간은 일반적인 라돈 변환에 비해 21 배 향상된 것을 볼 수 있다. 하지만 mark tilt 각도를 추정하는데 있어 0.184 도 이내의 오차가 발생한다. 반도체 패키지의 경우 mark tilt 각도 불량을 검사하는데 만족할 만한 수준이다.

## 5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 고속 라돈 변환 방법을 위해, 회전 변환 과정에서 golden section searching 방법을 제안하였다.

라돈 변환의 경우 측정 신뢰도가 높고, 별도의 선행 작업이 필요 없는 장점이 있지만, 영상의 크기와 회전 각도에 따라 계산시간이 길어지는 단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 golden section searching 방법을 이용하여 라돈 변환의 처리 속도를 개선할 수 있었다. golden section ratio 의 최소 단계를 거쳐 흰색 픽셀의 갯수의 값이 최소가 되는 두 점의 간격이 최대한의 오차 범위 안에 들어올 때 열의 좌표를 이용하면 회전된 물체의 각도를 추정하여 알아낼 수 있었다. 실험 결과, 제안한 방법은 약 21 배 이상의 속도 개선의 향상을 이룰 수 있었다.

그러나 일반적인 라돈 방법에서 회전된 물체의 틀어진 각도를 정확하게 찾아낼 수 있었지만, 제안한 방법을 이용했을 때 찾아낸 각도의 정확성 측면에서 오차가 발생하였다. 향후 과제로는 라돈 변환의 mark tilt 각도의 정확성을 보완하는 기법이 연구되어야 한다.

## 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

## 참고문헌

- [1] 윤현섭, 한영준, 한현수, "Signature 기반의 회전된 물체의 인식 및 각도 검출 기법", 제 31 권, 제 2 호, 2008.
- [2] 조태훈, "Chamfer 거리 보간과 서브픽셀 탐색을 이용한 개선된 Chamfer matching, 한국정보처리학회, 제 14 권, 제 1 호, 2007.
- [3] 조보호, 정성환, "라돈 변환을 이용한 회전된 물체의 효율적인 보정", 정보과학회논문지, PP 291-295, 2007.
- [4] 반재경, 최도형, 박한규, "Radon 변환을 이용한 복합패턴 인식 시스템에 관한 연구", 대한전자공학회, No. 2 86/12.
- [5] William H. Press, Saul A. Teukolsky, "NUMERICAL RECIPES in C++, Chapter 10, Minimization or Maximization of Functions, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, pp. 398~410, 1998.
- [6] A. Ravindran, K. M. Ragsdell, G. V. Reklaitis, 2nd ED., ENGINEERING OPTIMIZATION, pp. 51~53, pp 70, 2005.
- [7] M. Ataei and M. Osanloo, "Determination of optimum cutoff grades of multiple metal deposits by using the Golden Section search method.