

꼭지점 형태 정합을 이용한 집적회로 패턴의
전체 좌표 추출

안현식, 이왕국, 조석제, 하영호
경북대학교 공과대학 전자공학과

(Global Coordinate Extraction of IC Chip Pattern
using Vertex-Form Matching)

Hyun-Sik Ahn, Wang-Goog Lee, Seok-Je Cho, and Yeong-Ho Ha
Dept. of Electronics, Kyungpook National University

ABSTRACT

Recognition of IC chip pattern requires extraction of features, which have the information of vertex' position and orientation. Edges are extracted and straightening algorithm is applied to the edges, so that lines are obtained. With these extracted data, the coordinate and orientation of all vertices are extracted and vertex-form matching is applied to the locally overlapped area of neighborhood frames to have global coordinate of IC chip.

1. 서론

완성된 집적회로에서 패턴을 인식하기 위하여 영상처리 방법을 이용하면 집적회로 사진 도면으로부터 회로를 추출 해석하는 과정을 자동화 할 수 있으며 인식과정에 필요한 시간도 줄일 수 있다. 집적회로 패턴은 대부분 직선으로 구성되어 있으므로 이것을 나타내는 정보로 사용하는 특징(feature)은 꼭지점의 좌표와 형태가 적절하다. 영상내에 있는 꼭지점을 추출하기 위하여 Fang 과 Huang이 제안한 방법[1]은 어떠한 각도의 꼭지점도 찾을 수 있으나 모서리점 주위에 여러 꼭지점 후보가 생기며 직선 경계선을 연장하는 꼭지점을 찾기 어렵다. 본 논문은 경계선을 검출한 후 제안한 방법으로 직선화 한 영상에서 꼭지점을 찾아 집적회로 패턴의 꼭지점 위치를 보다 정확히 추출하였다. 현미경으로 얻은 집적회로의 각 프레임 영상들은 메탈층(metal layer) 및 다결정 실리콘층(poly-silicon layer)과 확산층(diffusion layer)등으로 구성되어있다. 메탈층은 다른층과 현격한 명암도 차가 있으므로 명암도에 문턱값을 주어 다른층과 구분하고 제안한 방법으로 병합한후 Sobel 연산자[2]로써 경계선을 검출하였다.

여기에 제안한 직선화 알고리즘을 적용하여 각종의 경계선을 직선으로 만든 다음 이 영상에서 꼭지점의 위치를 얻고 경계점을 Clustering[1]함으로써 두가지의 경계선 방향을 가지는 꼭지점 형태를 추출하였다. 집적회로패턴의 전체적인 꼭지점 좌표와 형태를 얻으려면 이웃하는 두 프레임을 부분적으로 겹치도록 하고 변위를 얻기 위하여 정합을 해야한다.

기존의 2차원 정합은 Line Segment를 특징으로 한 Relaxation 을 이용한 방법 등[3][4][5]이 있으나 집적회로 영상은 꼭지점의 위치 및 형태를 특징으로 이용하는 것이 특징정보의 탕이나 계산시간 면에서 효율적이다. 본 논문은 가중치 정합창(matching window)을 이용하여 만족도가 최대화된 정합 꼭지점을 찾으므로써 보다 정확히 정합할 수 있는 꼭지점 형태 정합 방법을 제안한다. 실제적인 적용에 있어서는 Stepping Motor의 X축 Y축으로의 대략적인 이동 변위를 이용하였으며 먼저 메탈층을 인식하고 Etching 공정으로 메탈층을 제거한후 기타 아래층을 인식한다고 가정하였다.

2. 경계선 검출

집적회로 영상에서 메탈층은 다른층에 비해명암도가 크므로 명암도에 문턱값을 주어 다른층과 구분하고 병합한후 경계선을 검출하였다. 기타층에 대해서는 명암도 차가 적어서 명암도 문턱값에 의한 각종의 구분이 어려우므로 영상의 Color와 Contrast등 여러 영상정보를 이용하여 경계선을 얻은후 명암도 세선화(gray level Thinning) 방법[6]으로 세선화된 영상을 얻을 수 있다.

메탈층은 아래층의 요철로 인해 함몰되거나 돌출하게 되어 아래층의 경계선 부분에 그림자가 생기므로 메탈층과 기타층의 구분이 뚜렷하지 못한 경우가있다. 이 경우 명암도 문턱값으로 구분하면 그림자에 해당하는 부분은 배경으로 구분되므로 제안한 선분병합(line merging) 방법으로

개선하였다. 이 방법은 메탈영역에 해당되는 화소이면 수평 및 수직 방향으로 문턱값 이상의 화소를 계수하되 계수가 중단된 후 다시 계수될때 까지의 계수가 중단된 화소의 수가 문턱값보다 작으면 메탈층에 속한 그림자로 간주하고 병합한다. 여기서 문턱값은 Design Rule[7]에서의 최소거리단위 이하가 되도록 하였다. 병합된 영상에 Sobel 연산자를 적용하여 경계선 영상을 얻었다.

메탈층을 제거한 기타층은 원 영상에 Sobel 연산자를 적용한후 보다 정확한 경계선을 검출하기 위해 명암도의 기울기가 최대인 부분을 찾는 명암도 세선화 방법을 이용한다. 이 방법은 어떤 경계선 화소의 방향에 대해 수직인 이웃화소가 같은 방향을 가질경우 경계선 크기를 비교하여 최대가 아니면 그 화소를 제거하여 세선화된 영상을 얻는다. 여기서 경계선 화소의 방향정보를 얻기 위해 0° , 45° , 90° , 135° 의 Sobel 형판(template)을 정합하고 경계선 크기가 최대인 형판방향을 경계선 방향정보로 선택하였다. 예를들면 90° 방향을 가지는 화소의 이웃화소는 그림1.과 같다.

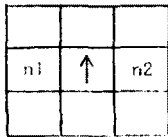
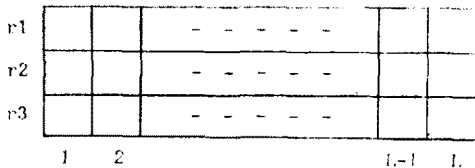


그림 1. 90° 방향을 가지는 화소의 이웃화소

3. 직선화

집적회로 영상의 경계선은 대부분 수평선과 수직선이고 특별한 경우 45° 와 135° 에 가까운 경사진 직선이 부분적으로 포함될 수 있으므로 집적회로의 인식을 보다 용이하게 할 수 있다. 본 논문에서는 수평 및 수직으로 $3 \times L$ 과 $L \times 3$ Mask를 적용하여 직선화된 집적회로의 경계선 영상을 얻었다. 수평경계선에 대한 직선화 과정을 간략히 서술하면 다음과 같다.

- (1) 한 화소를 중심으로 하여 아래위로 이웃한 화소중 경계점이 존재하면 연장하여 선분길이를 구하고 그림2. 와같이 $3 \times L$ Mask를 만든다.



L: 선분 길이

그림 2. $L \times 3$ Mask

- (2) Mask내에 3행의 열(r1,r2,r3)에 대해 각각의 경계점을 계수하여 중간행(r2)이 가장 크면 L2이 만큼 직선을 긋는다.

- (3) 선분의 길이가 Design rule[6]의 최소 단위길이보다 작은 범위내에서 정한 문턱값과 비교하여 작으면 제거한다.

- (4) 메탈층의 경우 기타층 위를 지나기때문에 생기는 그림자로 인하여 메탈층의 너비가 일정하지 않으므로 한쪽경계선 부분에서 양 옆으로 얼마간 멀어져서 연결되지 않은 선분이 존재할 수 있다. 수평직선의 경우 먼저 전체 경계선길이 내에서 메탈영역의 화소를 각 선분에 대하여 계수하고 가장적은 수로 계수된 선분을 경계선분으로 간주하고 전체길이 만큼 굵는다.

- (5) 꼭지점 위치에 선분이 못미치거나 더길게 연장될 수 있으므로 선분의 끝부분에서 양옆으로 탐색하여 마주칠 수 있는 선분이 있으면 그 위치까지만 연장한다.

4. 꼭지점 좌표 및 형태추출

직선화된 영상에 3×3 Mask를 적용하여 꼭지점을 찾는다. 수평과 수직의 경계선 만을 가지는 꼭지점이면 0° , 90° , 180° , 270° 방향으로 경계점을 Clustering 하여 두 방향의 꼭지점 형태를 찾는다. 만약 경사진 경계선을 가진 꼭지점 이라면 먼저 수평 또는 수직 방향으로 하나의 경계선 방향을 찾고 경사진 다른 경계선은 경계점 Clustering 방법에 의해 추출하였다. 그림3.과 같이 꼭지점에 $M \times M$ 창을 만들고 45° , 135° , 225° , 315° 방향으로 각도 θ 와 화소의 너비로 만들어진 Bar를 정의한다. Bar내에 한개 이상의 경계점이 존재하면 계수하여 4방향중 가장 많이 계수된 방향을 경사진 경계선 방향으로 간주하고 꼭지점 형태를 추출한다. 따라서 모든 꼭지점에서 그림4.와 같은 8가지의 경계선 방향중 2가지의 방향을 가지는 형태를 얻는다.

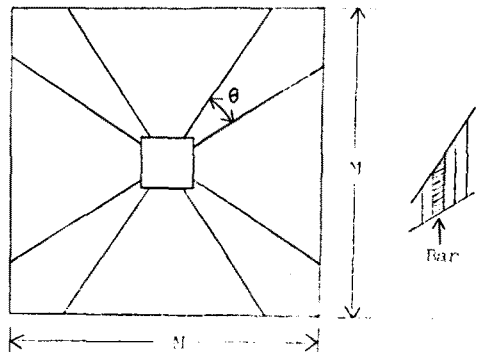


그림 3. 경사진 경계선을 가진 꼭지점에서의 경계점 Clustering을 위한 $M \times M$ 창

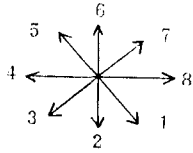


그림4. 8가지 경계선 방향

5. 꼭지점 형태 경합 및 전체좌표 추출

부분적으로 겹치는 두 프레임의 상대적 변위를 추출하기 위하여 위의 과정에서 얻은 꼭지점의 위치와 형태를 이용하여 경합한다. 본 논문은 집적회로 영상의 꼭지점에 거리에 따라 가중치를 준 경합장을 적용하고 최대 만족도를 찾는 꼭지점 형태 경합방법을 제안하였다.

경합 과정은 다음과 같다.

- (1) Stepping Motor의 대략적인 이동거리를 참조하고 첫번째 프레임의 꼭지점 형태가 두번째 프레임 내에 존재하면 겹치는 부분을 결정한다.
- (2) 겹치는 부분내에서 주위의 꼭지점들의 상대적인 위치를 두번째 프레임에 적용하여 5*5 창내에 같은 형태가 존재하면 경합(Match)으로 그렇지 않으면 부정합(Mismatch)으로 간주하고 그 갯수를 N1, N2로 각각 계수한다.
- (3) N1이 2이상이면 경합된 꼭지점에 한하여 창의 중심에 대한 거리로써 가중치를 그림5.과 같이 주고 경합의 정도를 나타내는 만족도(Acceptability)를 계산한다.

$$\text{만족도} = \frac{N1 \sum \text{가중치}}{N2}$$

0.2	0.8	1.0	0.8	0.2
0.8	1.6	2.0	1.6	0.8
1.0	2.0	3.0	2.0	1.0
0.8	1.6	2.0	1.6	0.8
0.2	0.8	1.0	0.8	0.2

그림5. 5*5 창에대한 가중치

- (4) 만족도가 최대인 두 프레임의 꼭지점의 각위치로부터 변위를 결정하고 이것을 두번째 프레임에 더하여 전체 좌표를 추출한다.

6. 실험 및 고찰

본 실험에서는 부분적으로 겹치는 비교적 복잡한 집적회로 영상에 대해 Simulation 하였다.

그림6.과 그림7.은 각각 첫번째 영상과 두번째 영상에 대한 결과이다. 그림6,7(a)는 원래 영상이고 그림6,7(b)는 영상에 명암도 편력값을 주어 메탈층과 배경부분으로 이진화한 영상이며 아래층의 경계선이 지나가는 부분은 메탈영역 입에도 불구하고 배경으로 구분되었음을 볼 수 있다. 그림6,7(c)는 선분병합의 결과이고 경계선을 추출하여 그림6,7(d) 과 같은 영상을 얻었다. 여기에 경계선을 그림6,7(e)와 같이 직선화하고 동일한 경계선을 나타내는 선분 끼리 묶고 꼭지점까지 연장하여 그림6,7(f)에서 알 수 있듯이 집적회로 경계선에 충실할 뿐 아니라 잡음도 잘 제거된 결과를 얻었다. 이 영상에서 Clustering하여 추출한 꼭지점의 위치와 형태는 그림6,7(g)과 같으며 꼭지점 정보를 제한한 방법으로 경합하여 얻은 첫번째 영상의 (0,0) 위치로 부터의 좌표 및 형태를 표1.에 나타내었다.

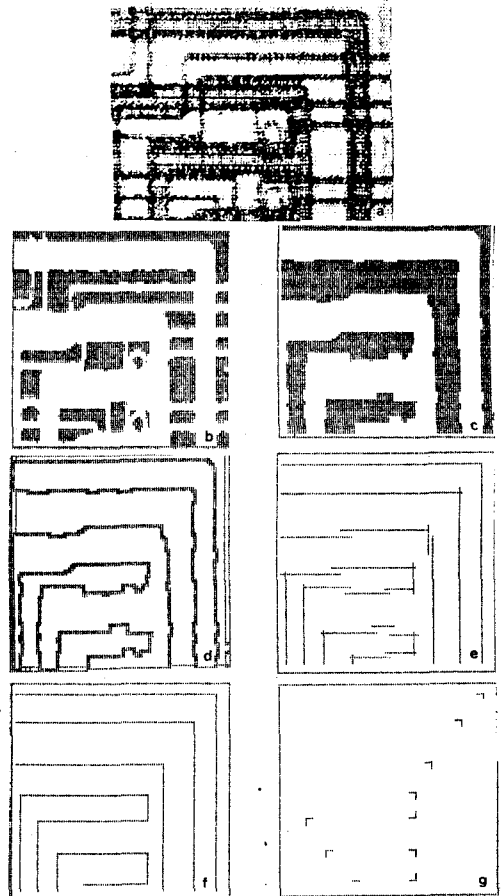


그림6. 집적회로 영상 실험결과 (첫번째 프레임)

- (a) 원 영상
- (b) 영역 분할한 후의 영상
- (c) 병합한 후의 영상
- (d) Sobel 연산자 적용후의 영상
- (e) 직선화 후의 영상
- (f) 가까이 있는 선분을 묶고 꼭지점까지 연장
- (g) 꼭지점 형태영상

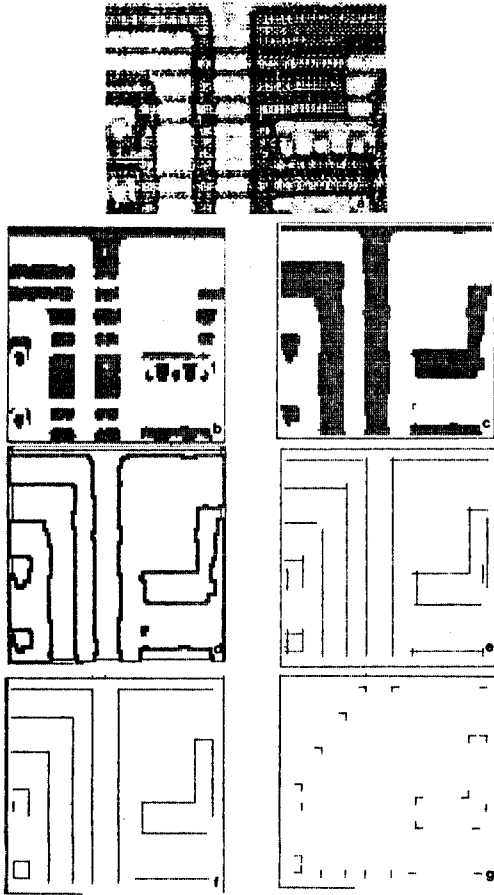


그림 7. 집적회로 영상 실험 결과 (두번째 프레임)

- (a) 원 영상
- (b) 영역 분할한 후의 영상
- (c) 병합한 후의 영상
- (d) Sobel 연산자 적용후의 영상
- (e) 직선화 후의 영상
- (f) 가까이 있는 선분을 묶고 꼭지점까지 연장
- (g) 꼭지점 형태영상

표 1. 전체좌표

프레임 #	선프레임		정합한프레임		전체좌표 (i,j)
	위치 (i,j)	형태 (°)	#	위치 (i,j)	
1	(5,94)	135,180	0	(0, 0)	(5, 94)
1	(19,84)	135,180	0	(0, 0)	(19, 84)
1	(38,70)	135,180	0	(0, 0)	(38, 70)
1	(52, 5)	135, 0	0	(0, 0)	(52, 5)
1	(52,63)	135,180	0	(0, 0)	(52, 63)
1	(64,13)	135, 0	0	(0, 0)	(64, 13)
1	(64,63)	180, 90	0	(0, 0)	(64, 63)
1	(79,22)	135, 0	0	(0, 0)	(79, 22)
1	(79,63)	135,180	0	(0, 0)	(79, 63)
1	(93,63)	180, 90	0	(0, 0)	(93, 63)
2	(6,40)	135,180	1	(6,94)	(6, 92)
2	(6,52)	135, 0	1	(0, 0)	(6,104)
2	(19,31)	135,180	1	(19,84)	(19, 83)
2	(29,87)	135, 0	1	(0, 0)	(29,139)
2	(29,95)	135,180	1	(0, 0)	(29,147)
2	(35,20)	135,180	1	(38,70)	(35, 72)
2	(52,11)	135,180	1	(52,63)	(52, 63)
2	(58,63)	90, 0	1	(0, 0)	(58,115)
2	(58,87)	180, 90	1	(0, 0)	(58,138)
2	(72,63)	90, 0	1	(0, 0)	(72,115)
2	(85, 4)	135, 0	1	(0, 0)	(85, 56)
2	(85,11)	135,180	1	(0, 0)	(85, 63)
2	(93, 4)	90, 0	1	(0, 0)	(93, 56)
2	(93,11)	180, 90	1	(93,63)	(93, 63)

집적회로에서 실제 꼭지점의 위치는 집적회로 내에서의 일정한 거리와 여기에 해당되는 영상의 화소수의 상대적 비율을 이용하여 구한다. 제안한 방법은 집적회로의 첫번째 부터 마지막 프레임 까지 적용 할 수 있다. 만약 영상내에 정합 할만큼의 꼭지점이 존재하지 않는다면 Stepping Motop의 변위 정보만을 의존하거나 배율을 일정하게 축소하여 영상내에 꼭지점을 포함시켜 가장 가까운 꼭지점 사이의 거리를 찾은후 정합을 계속한다.

7. 결론

본 연구는 부분적으로 검치는 집적회로 영상을 Digitizer를 이용하여 얻고 메탈층을 기타층과 구분하는 방법을 제안하였고 기존의 방법으로 경계선을 추출하였다. 여기에 제안한 직선화 알고리즘을 적용하여 각 층의 경계선 선분을 얻었고 꼭지점의 위치 및 형태를 추출하였다. 그리고 각 프레임의 꼭지점을 제안한 방법으로 정합하여 집적회로의 전체좌표와 형태를 구하였다. 앞으로도 명암도 차가 적은 기타층들에 대한 영역분할이 연구되어 저야하며 이것이 해결된다면 각 층에 대한 전체좌표와 형태도 추출할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] W. K. Gu, Thomas S. Huang, " Connected line drawing extraction from a perspective view of a polyhedron," IEEE Trans. PAMI, vol.AMI-7, no.4, pp.423-425, July 1985.
- [2] A. Rosenfeld, A. C. Kak, Digital Picture Processing. 2nd ed., vol.2, pp.84-112, Academic Press, New York, 1982.
- [3] K. Paler, J. Kittler, "Graylevel edge thinning: new method," Pattern recognition Letter, vol.1,no.5.6, July 1983.
- [4] Bir Bhanu, Olivier D. Faugeras, " Shape matching of two-dimensional objects," IEEE Trans. PAMI, vol. PAMI-6, no.2, March 1984.
- [5] Keith E. Price, " Relaxation matching techniques-a comparision," IEEE Trans. PAMI, vol. PAMI-7,no. 5, sep. 1985.
- [6] Gerard Medioni, Ramakant Nevation, " Matching Image Using Linear Feature," IEEE Trans. PAMI, vol.MI-6, no.6, Nov. 1984.
- [7] Neil H. E. Weste, Kamran Eshraghian, Principles of CMOS VLSI design, Addition Wesely , pp.236-259, 1985.

* 이 연구는 한국전자통신연구소 자동설계운용 SW 연구의 지원으로 수행된 것임