

영상모델링을 이용한 표면결함검출에 관한 연구

A Study on the Detection of Surface Defect Using Image Modeling

목종수, 사승윤(승실대학교 대학원), 김광래(인덕전문대학), 유봉환(승실대학교)

Jong Soo Mock, Seung Yoon Sa(Graduate School, Soong Sil Univ.),

Kim Kwang Lae(In Duk College), Bong Hwan Ryu(Soong Sil Univ.)

ABSTRACT

The semiconductor, which is precision product, requires many inspection processes. The surface conditions of the semiconductor chip affect on the functions of the semiconductors. The defects of the chip surface are cracks or voids. As general inspection method requires many inspection procedure, the inspection system which searches immediately and precisely the defects of the semiconductor chip surface is required.

We suggest the detection algorithm for inspecting the surface defects of the semiconductor surface.

The proposed algorithm first regards the semiconductor surface as random texture and point spread function, and secondly presents the character of texture by linear estimation theorem. This paper assumes that the gray level of each pixel of an image is estimated from a weighted sum of gray levels of its neighbor pixels by linear estimation theorem. The weight coefficients are determined so that the mean square error is minimized. The obtained estimation window(two-dimensional estimation window) characterizes the surface texture of semiconductor and is used to discriminate the defects of semiconductor surface.

key words : random texture(랜덤 결), point spread function(점확산함수), two-dimensional estimation window(예측원도우), linear estimation theorem(선형예측이론)

1. 서 론

제품의 표면상태나 치수·형상등은 제품의 품질에 많은 영향을 미치기 때문에 일정수준의 품질관리를 위해 제품의 표면상태, 길이, 위치, 폭 등을 측정하고 검사하는 기술들이 요구되고 있다.

제품의 품질을 측정하는 기준방법은 대부분 현장 근로자에 의한 육안검사이다. 따라서 반복적인 작업으로 인한 작업능률저하, 근로자의 장시간 근무에 따른 검사의 신뢰성의 감소 및 검사자의 측정오차 등 많은 문제점을 갖고 있다. 또한 육안검사가 어려운 제품들에 대해서도 검사공정의 자동화가 절실히 요구

되고 있다.

따라서 검사공정을 자동화에 의한 생산성 향상, 경비절감, 생산라인의 무인화 및 모니터링을 실현하기 위해서 자동검사 시스템의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 최근 검사 공정 자동화시스템에 컴퓨터 비전시스템이 많이 도입되고 있다. 이러한 시스템들은 주로 분말야금제품의 검사공정, 용접품질의 검사공정, 보드각도 검사, 용선시편의 검사, 웨이퍼 표면 결함검사 등에 적용되고 있다⁽¹⁾.

컴퓨터 비전시스템을 이용한 검사중 표면내의 결함검출에 관한 연구에서 Wang⁽²⁾은 해상도가 다른 세개의 CCD카메라를 이용한 Pyramid Hardware라

는 장치를 개발하였다. 이 장치는 해상도가 낮은 카메라로는 결합의 위치를 찾으며, 해상도가 높은 카메라는 결합의 위치에서 영상을 받아들여 이 영상을 신경회로망으로 학습된 알고리즘을 통해 결합의 양부를 판정하며 또 다른 카메라로는 앞에서 설명된 카메라들의 연관성을 찾는데 사용하였다. 이들이 개발한 자동시각시스템은 결합의 실시간 검출과 결합검사의 간이성을 부여하기 위해 제작되었으나 실용화에 상당한 경비가 든다는 것이 단점이 있다.

Connors⁽³⁾는 ALPS(Automated Lumber Processing System)을 개발하였다. 이 시스템은 입력된 영상을 여러 개의 불연속적인 윈도우로 나누어 각각의 윈도우에서 특징 값들을 계산하여, 표면결합의 위치를 찾았다고 분류하였다.

본 연구에서는 반도체 표면을 random 결(random texture)로 보아 반도체 표면의 특성을 확률적인 방법으로 표현하였다. 결이란 물체의 구조 혹은 그들의 결합관계를 나타내주는 물체표면의 조직구조를 말하며, 반복성이 없는 random 결과 반복적인 형태를 가지는 regular 결로 구분된다. random 결은 통계·확률적인 방법을 이용하여 해석하고 regular 결은 구조적인 해석방법을 이용하여 결의 특성을 나타낸다.

본 연구는 컴퓨터비전을 이용한 표면결합을 검출하는 여러방법들 중에서 선형예측이론을 이용하여 표면결합을 검출하려 한다. 선형예측이론에 의해 영상에서의 각각의 픽셀값은 인접 픽셀값의 가중합(weight sum)으로 표현할 수 있다는 가정하에 표준영상으로부터 예측 윈도우의 계수들을 결정한다. 예측 윈도우 계수는 예측오차의 제곱의 평균이 최소가 되도록 결정한다. 이때 결정된 예측윈도우의 계수는 표준영상의 특성을 나타낸다. 결함이 있는 영상에 대해서는 예측 윈도우를 적용하여 인접화소들의 가중합으로부터 임의의 위치의 픽셀값을 예측하며, 예측된 값과 실제값의 오차정도를 판별 알고리즘에 적용시켜 결합의 위치를 검출하고자 한다.

2. 영상 모델링

2.1 기본원리

영상데이터를 한정된 크기의 점 확산함수(point spread function)로 가정하면 크기가 $m \times n$ 인 이차원 영상계 $x(m, n)$ 로 고려하였을 때 영상내의 임의의 위치의 화소는 인접화소들과 상관관계를 가지고 있으므로, 인접 픽셀값들의 가중합으로 임의의 위치의 픽셀값 $x(i, j)$ 를 표현할 수 있다.

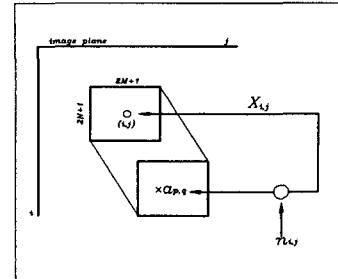


Fig 2 A schematic diagram of image generator

또한 영상데이터를 2차원 선형시스템의 출력으로 가정한다면 영상내의 임의의 픽셀값 $x(i, j)$ 는 식(1)과 같다.

$$x_{i,j} = \sum_{p=-M}^M \sum_{q=-N}^N a_{p,q} x_{i-p,j-q} + n_{i,j} \quad (1)$$

식(1)에서는 $n_{i,j}$ 는 백색잡음입력(white noise input)이며 $a_{p,q}$ 는 가중계수(weight coefficient)이다.

Fig. 2는 식(1)의 관계를 도식적으로 나타내고 있다. 임의의 영상데이터 $x(m, n)$ 가 주어졌을 때 인접 픽셀값 $x_{i-p,j-q}$ 의 가중합으로 임의의 픽셀값 x_{ij} 의 예측치 \hat{x}_{ij} 를 모든 i, j 에 대해서 구할 수 있다.

$$\hat{x}_{ij} = \sum_p \sum_q a_{pq} x_{i-p,j-q} + n_{ij} \quad (2)$$

임의의 위치에 대한 실측치 x_{ij} 와 그 위치에서의 예측치 \hat{x}_{ij} 의 예측오차는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} e_{i,j} &= x_{i,j} - \hat{x}_{i,j} \\ &= x_{i,j} - \sum_p \sum_q a_{pq} x_{i-p,j-q} \end{aligned} \quad (3)$$

또한 평균자승오차(mean square error)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} S &= E [e_{ij}]^2 \\ &= [(x_{ij} - \sum_p \sum_q a_{pq} x_{i-p,j-q})^2] \end{aligned} \quad (4)$$

평균자승오차를 최소로 하기 위해 식(4)를 a_{kl} 에 대해서 편미분하면 식(5)를 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial S}{\partial a_{k,l}} = 0 \quad (5)$$

여기서 $k = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm P, l = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm Q$ 이며, k, l 은 동시에 0이 될 수 없다.

식(4) 와 식(5)로부터 평균자승오차를 최소로 하는 예측윈도우의 가중계수(weight coefficient)를 구할 수 있는 일반방정식 식(6)을 얻을 수 있다.

$$\sum_p^P \sum_q^Q a_{pq} E \left[\sum_i^I \sum_j^J x_{i-k,j-l} \right] = E \left[\sum_i^I \sum_j^J x_{i,j} x_{i-k,j-l} \right] \quad (6)$$

여기서 $C_{k,l}$ 은 영상데이터의 자기상관함수로서 다음 식과 같다.

$$\sum_p^P \sum_q^Q a_{pq} C_{p-k,q-l} = C_{k,l} \quad (7)$$

예측계수 $a_{p,q}$ 를 결정하기 위한 식(7)은 $(2M+1)(2N+1)-1$ 개의 방정식을 형성하고 최적의 계수를 구하면, 최적의 예측원도우는 식(8)로 표현할 수 있다.

$$\hat{x}_{i,j} = \sum_p^P \sum_q^Q a_{pq} x_{i-p,j-q} \quad (8)$$

그리고 S 의 최소값은 다음식으로 구할 수 있다.

$$S_{\min} = C_{0,0} - \sum_p^P \sum_q^Q a_{pq} C_{p,q} \quad (9)$$

식(7)로부터 구한 최적의 예측계수를 식(4)에 대입함으로써 식(2)에 의해 표현된 예측치를 구하면 다음과 같다.

$$\hat{x}_{i,j} = \sum_p^P \sum_q^Q a_{pq} x_{i-p,j-q} + e_{i,j} \quad (10)$$

2.2 예측차수추정

2.1절의 과정들은 예측계수들의 차수를 알고 있다는 가정하에서 예측치를 추정하는 것으로 실제 데이터에 대한 차수를 임의로 적용하는 경우에는 오차가 크게 나타날 수가 있으므로 데이터의 특성에 맞는 차수를 추정하여야 한다.

따라서 최적의 차수를 추정하기 위하여 다음과 같은 예측오차함수(final prediction error criterion)를 적용하였다.

$$\hat{x}_i = \sum_p^P a_{p,i} x_{i-p} \quad (11)$$

1차원 데이터의 경우에 예측값이 식(11)과 같이 주어지고 예측오차의 분산이 S 라면 최종예측오차(FPE)함수는 식(12)와 같다.

$$FPE(L) = \frac{I+(L+1)}{I-(L+1)} S_{\min}(L) \quad (12)$$

여기서 $S_{\min}(L)$ 은 차수가 L 일때의 예측오차분산이다. 따라서 $FPE(L)$ 값을 최소로 하는 차수를 최적의 차수로 정한다.

1차원 예측오차함수를 2차원으로 확장할 경우에는 임의의 점 $x(i,j)$ 를 통과하며, x, y 축에 평행한 두 직선을 고려할 때 식(11)를 적용하여 식(13)과 식(14)로 나타낼 수 있다.

$$\hat{x}_{i,j} = \sum_p^P \sum_q^Q a_{p,q}^{(M)} x_{i-p,j-q} \quad (13)$$

$$\hat{x}_{i,j} = \sum_p^P \sum_q^Q a_{p,q}^{(N)} x_{i,j-q} \quad (14)$$

따라서 1차원의 경우와 같이 양방향의 예측오차분산이 $S_{\min}(M), S_{\min}(N)$ 이라면 식(15)와 식(16)에 대입하여 식(15)와 식(16)의 값을 최소로 하는 차수를 최적의 차수로 한다.

$$FPE(M) = \frac{I+(L+1)}{I-(L+1)} S_{\min}(M) \quad (15)$$

$$FPE(N) = \frac{I+(L+1)}{I-(L+1)} S_{\min}(N) \quad (16)$$

3. 결합검출 알고리즘

주어진 임의의 영상 $x(i,j)$ 로부터 최적의 차수를 결정한 후, 임의의 다른 영상 $\hat{x}(i,j)$ 이 주어졌을 때 $\hat{x}(i,j)$ 가 $x(i,j)$ 와 같은 특성을 갖는지를 판별하기 위해 예측원도우를 $\hat{x}(i,j)$ 에 적용하여 예측오차의 값을 갖고 $\hat{x}(i,j)$ 의 특성을 판단한다.

$$\dot{e}_{ij} = \hat{x}_{ij} - \sum_p^P \sum_q^Q a_{pq} \hat{x}_{i-p,j-q} \quad (17)$$

식(17)의 값이 백색잡음을 나타내며 임계값보다 작은 경우 \hat{x}_{ij} 의 영상은 $x(i,j)$ 와 같은 특성을 갖는 영상으로 판단한다.

결합을 검출하기 위하여 전체영상에서 임의의 크기의 영역을 정한 후 임의의 영역의 중심에 대한 자기상관함수 $C_{k,l}$ 를 계산하여 최적의 예측원도우의 계수를 구한 후 식(18)을 이용하여 예측치 \hat{x}_{ij} 를 얻는다.

$$\hat{x}_{ij} = \sum_{p=-M}^M \sum_{q=-N}^N a_{pq} x_{i-p,j-q} \quad (18)$$

$$E[e_{ij}^2] = S_{\min} \quad (19)$$

2단계는 예측치와 실측치와의 오차를 계산한 후, pixel by pixel 알고리즘을 이용하여 대략적인 판별을 한다. 즉 식(20)을 이용하여 $z_{i,j}=1$ 인 경우에는 실제 픽셀값을 대입하여, 0일 때는 픽셀값을 255로 대입함으로써 결합을 검출할 수 있다.

$$z_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{if } \frac{|e_{i,j}|}{\sqrt{S_{\min}}} < \theta_1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (20)$$

여기서 θ_1 은 임계치 값이다.

위의 알고리즘은 대략적인 판별이므로 더욱 정확한 판별을 하기 위해 예측오차값을 판별알고리즘에 적용하기 전에 식(21)을 이용하여 예측오차값을 평균화한 후 판별알고리즘에 적용한다.

$$e_{i,j} = \frac{1}{(2K+1)^2} \sum_{p=-K}^K \sum_{q=-K}^K |e_{i-p,j-q}| \quad (21)$$

여기서 $(2K+1) \times (2K+1)$ 는 평균화를 적용하는 원도우 크기이다.

임의의 영역에서의 예측오차 $e_{i,j}$ 는 평균이 0이며

분산이 S_{\min} 인 가우시안 분포라고 가정한다면, 식(22)과 식(23)을 얻을 수 있다.

$$m_e = E[e_{i,j}] = \sqrt{\frac{2}{\pi}} S_{\min} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \sigma_e^2 &= E[(e_{i,j} - \sqrt{\frac{2}{\pi}} S_{\min})^2] \\ &= \frac{1}{(2K+1)^2} (1 - \frac{2}{\pi}) S_{\min} \end{aligned} \quad (23)$$

식(22), 식(23)에 의해 임의의 위치 (i, j) 에서 화소값에 대한 예측오차가 $e_{i,j} < m_e + 3\sigma_e$ 의 범위 있는지 없는지에 따라 임의의 결합위치를 판별할 수 있다. 따라서 수정판별알고리즘은 식(24)와 같다.

$$z_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{if } \frac{|e_{i,j}|}{\sqrt{S_{\min}}} < \theta_2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (24)$$

여기서 $\theta_2 = \sqrt{\frac{2}{\pi}} + \frac{3}{(2K+1)} \sqrt{1 - \frac{2}{\pi}}$ 이다.

4. 실험방법 및 절차

4.1 실험방법

Fig. 2는 반도체 표면의 영상을 획득하기 위한 실증장치로서, 반도체를 테이블에 고정시킨 후, 반도체 표면과 법선방향으로 일치하도록 CCD카메라를 설치한다. 그리고 반도체 표면과 CCD카메라의 활성면이 서로 평행하도록 하였다. 또한 조명장치는 할로겐 램프(halogen lamp)를 사용하여 반도체 표면에 균일한 광강도가 분포하도록 하였다. 영상획득과 처리를 위해 영상보드는 DT3155를 사용하였으며, 반도체 칩의 표면을 15배로 확대하여 영상을 획득하였다.

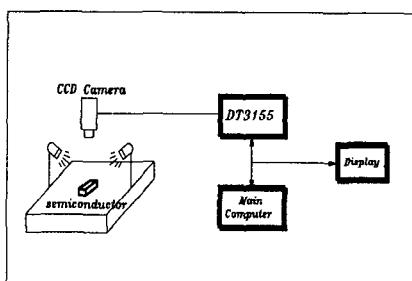


Fig. 2 Experiment set up

4.2 실험방법

본 연구에서는 영상처리기법을 이용하여 표면내의 결함을 검출하기 위한 대상으로 비전시스템을 이용하여 반도체 칩 표면의 영상을 획득하였다.

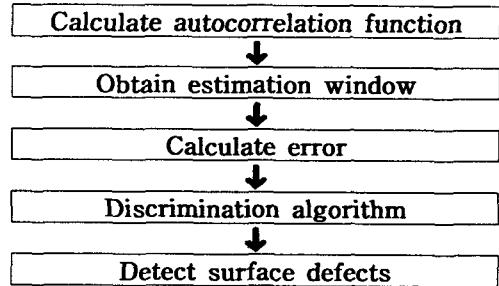


Fig. 3 Flowchart of detection on surface defect

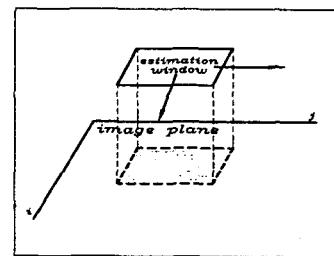


Fig. 4 The convolution of estimation window and entire image

비전시스템을 이용하여 획득된 영상으로부터 영상의 특성을 잘 표현하는 예측원도우 계수를 추정하기 위하여 표준영상에서 90×60 크기의 임의의 영역을 선정한 후, 선정된 영역의 중심을 기준으로 자기상 관함수를 구한 후, 표면의 특성을 표현하는 예측원도우의 계수를 추정한다. Fig. 4와 같이 추정된 예측원도우의 예측계수로 부터 앞서 기술한 원리에 의해 예측원도우를 결합이 있는 영상과 콘볼루션하여 추정된 예측치와 실측치 사이의 오차를 판별알고리즘에 적용하여 결합위치를 검출한다

5. 실험결과 및 고찰

5.1 실험결과

Fig. 5는 표면내의 결함을 검출하기 위해 임의로 선정한 반도체 표면영상이며, Fig. 6은 선정된 반도체에서 결함이 없는 표면일부를 확대한 영상으로 확대한 부분의 일부영역(90×60)에 대해서 표면의 상태를 나타내는 예측원도우의 계수를 추정하였다.

Fig. 8은 표준영상의 특성을 나타내는 예측원도우를 결합이 있는 영상(Fig. 7)과 콘볼루션함으로써 예측 픽셀값과 실제 픽셀값 사이의 오차정도에 대해 결합의 위치와 모양을 표시한 영상으로서, 가시적으로

결합의 위치와 모양을 쉽게 구별할 수 있다.

Table 1은 Fig. 6의 자기상관함수를 나타내고 있으며, Table 2는 Fig. 6의 특성을 나타내는 계수들이다.



Fig. 5 Chip surface image

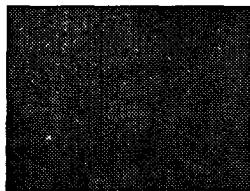


Fig. 6 Standard image

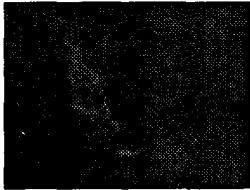


Fig. 7 Defect image

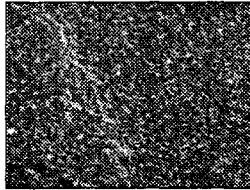


Fig. 8 Result image

Table 1 Correlation matrix

i	-2	-1	0	1	2
j	16340.7	16072.7	15950.4	15101.1	16282.4
	16240.7	16072.2	16016.4	16114.0	16282.2
	16142.4	16080.7	15080.8	16002.4	16186.8
	16212.0	16128.2	16081.1	15673.3	16156.7
	16155.9	16142.0	16087.1	15946.0	16073.1

Table 2 Estimation window coefficient

i	-1	0	1
j	0.089069	-1.73868	0.82004
	-0.13587		2.06169
	-0.78295	1.70815	-1.82796

Fig. 9와 Fig. 10은 표준영상에서의 히스토그램과 라인프로파일이며, Fig. 11과 Fig. 12는 결합이 있는 영상에서의 히스토그램과 라인프로파일이다. 결합이 있는 영상과 없는 영상에서의 히스토그램의 분포는 거의 유사함을 알 수 있으며, 라인프로파일에서는 결합의 위치에서만 약간의 차이가 있을뿐 전체적으로 두 영상의 데이터 분포특성은 유사함을 알 수 있다. 따라서 일반적인 필터를 이용하여 결합을 검출한다 하더라도 영상 데이터의 분포가 유사하기 때문에 결합의 위치를 정확하게 검출할 수 없음을 알 수 있다. 그러므로 반도체 표면과 같은 표면상태를 가지는 제품에 대해서는 본 연구에서 제시한 방법으로

표면내의 결합을 검출하는 것이 더욱 효과적임을 알 수 있었다.

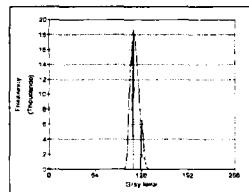


Fig. 9 Standard image histogram

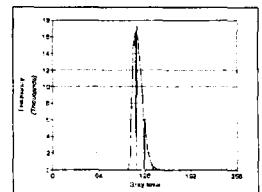


Fig. 10 Defect image histogram

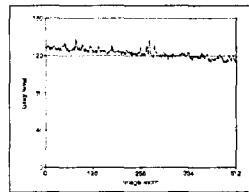


Fig. 11 Standard image line profile

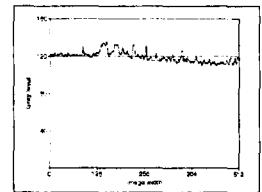


Fig. 12 Defect image line profile

5.2 고찰

선형예측이론을 이용하여 결합을 쉽게 식별할 수 있는 영상을 획득할 수 있었으나, 예측윈도우의 크기와 샘플링영역을 임의로 정하였기 때문에 대략적인 결합만을 검출할 수 있었다.

또한 표면내의 결합을 검출하기 위해 표면영상에 대해서 여러 영상처리하여 영상내의 결합을 식별할 수 있는 영상을 얻을 수 있었으나, 반도체 표면특성을 고려하지 않은 관계로 결합이 아닌 부분도 결합으로 검출하는 문제점을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 데이터의특성을 고려하여 결합을 검출함으로써 반도체 표면과 같은 특성을 가지는 표면에 대해서는 본 연구에서 제시한 방법이 적합함을 알 수 있었으며, 더욱 정확한 결합을 검출하기 위해 예측윈도우의 최적차수 결정에 관한 연구가 필요함을 알 수 있었다.

6. 결 론

컴퓨터 비전시스템을 이용하여 표면내의 결합을 검출하기 위한 하나의 방법을 제안하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 선형예측이론에 의한 결합검출알고리즘을 이용하여 결합이 있는 표면의 영상에 대하여 시각적으로 결합을 판별할 수 있는 영상을 획득하였다.

2. 결합식별이 가능한 영상을 획득할 수 있었으므

.로 예측원도우의 계수가 반도체 표면의 특성을 잘 표현하고 있음을 알았다.

3. 일반적인 필터로 결함을 검출하는 것 보다 좀 더 효과적으로 결함을 검출할 수 있는 정밀한 영상을 원었다.

4. 반도체 표면과 같은 특성을 가지는 제품의 표면 결함검사는 본 연구에서 제시한 방법이 더 효과적임을 알았다.

7. 참고문헌

1. H. Yoda, Y. Ohuich, Y. Taniguchi and M. Ejiri, "An Automatic Wafer Inspection System Using Pipelined Image Processing Technique," IEEE Trans. Pattern Recognition and Machine Intelligence, Machine Intelligence, Vol. 10, Jan., 1988, pp. 4-16
2. C. Wang and C. Yu, "Machine Vision Based Inspection of Textile Fabric," MVA '94, pp. 494-496
3. R. W. Conners, C. W. McMillin and K. Lin, "Identifying and Location Surface Defects in Wood," IEEE Trans. Pattern Recognition and Machine Intelligence, PAMI-10, Nov., 1983. pp. 573-583
4. K. Deguchi and I. Morishita, "Texture Characterization and Texture-Based Image Partitioning Using Two-Dimensional Linear Estimation Techniques," IEEE Trans. Computer, Vol. C-27, Aug., 1978, pp. 739-745
5. J. T. Tou, "Pictorial Feature Extraction and Recognition via Image Modeling," Computer Graphics and Image Processing 12, 1980, pp. 376-406
6. A.K. Jain, *Fundamental of Image Processing*, Prentice Hall, 1989
7. Gonzalez and Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 1992