영상처리기술을 이용한 건축 구조물의 실시간 변위측정 시스템의 개발

김성욱† · 서진호* · 김상봉**

Development of Real-Time Displacement Measurement System for Multiple Moving Objects of construction structures using Image Processing Techniques

Sung-Wook Kim, Jin-Ho Seo and Sang-Bong Kim

Key Words : multiple objects, pan /tilt, image processing, CCD camera.

Abstract

The paper introduces a development result for displacement measurement system of multiple moving objects based on image processing technique. The image processing method adopts inertia moment theory for obtaining the centroid of the targets and basic processing algorithms of gray, binary, closing, labeling and etc. To get precise displacement measurement in spite of multiple moving targets, a CCD camera with zoom is used and the position of camera is changed by a pan/tilt system. The fiducial marks on the fixed positions are used as the sensing points for the image processing to recognize the position errors in directions of $X-Y$ coordinates. The precise alignment device is pan /tilt of $X-Y$ type and the pan/tilt is controlled by DC servomotors which are driven by 80c196kc microprocessor based controller. The centers of the fiducial marks are obtained by a inertia moment method. By applying the developed precise position control system for multiple targets, the displacement of multiple moving targets are detected automatically and are stored in the database system in a real time. By using database system and internet, displacement data can be confirmed at a great distance and analyzed. The developed system shows the effectiveness such that it realizes the precision about 0.12mm in the position control of $X-Y$ coordinates.

1. 서 론

최근 물체를 인식을 하는데 CCD 카메라를 이용한 영상처리기술이 많이 연구되고 많은 부분에서 응용되고 있다. 이러한 영상처리기술을 건축분야에 적용하여 센서를 설치하거나 사람이 계측장치로 직접 측정하기 어려운 구조물의 변위를 계측하고자 한다.[2]

† 부경대학교 대학원
E-mail : ksw221@dreamwiz.com
TEL : (051)620-1606 FAX : (051)621-1411
* 부경대학교
** 부경대학교

본 논문에서는 줌 CDD 카메라로부터 얻어지는 아날로그 영상신호를 이미지그래버(Image Grabber) 보드를 이용하여 디지털화하고 이 신호를 컴퓨터로 영상처리 알고리즘을 바탕으로 분석하여 구조물의 변위를 계측하는 영상처리기술과 하나 또는 그 이상의 관측대상물의 많은 부분을 관측하기 위해 마이크로프로세서기술과 PC 응용기술을 접목한 실시간 무인 감시 시스템을 소개한다.

이 시스템은 건설 구조물의 변위를 실시간으로 측정함으로써 구조물의 상태를 미리 예측하여 붕괴와 같은 사고로 인한 여러 가지 재산피해 및 인명피해를 사전에 예방하고자 하는데 목적을 두고 있다. 또한 비전문가도 현장을 쉽게 파악할 수 있도록 하였으며, 획득되는 데이터를 데이터베이스화하여 효율적으로 저장, 관리하였으며 현장에

서의 관측결과를 원거리에 떨어진 중앙관측소에서 관측이 가능하게 하였다. 또한, 관리자가 계측프로그램을 통하여 변화를 바로 확인할 수 있게 하여 시공관리 혹은 시공 이후의 사후 계측관리에 활용될 수 있도록 하였다.

관측대상물의 표적을 인식하기 위해서 여러 가지의 영상처리 알고리즘이 적용되었으며 계측환경에 따라 컬러모드와 흑백모드를 선택할 수 있도록 하였다. 다수의 표적을 관측하기 위해서 마이크로컨트롤러를 사용하여 두 개의 DC 모터를 제어하여 CCD 카메라의 상하좌우 회전이 가능하게 함으로써 면적이 넓은 구조물도 관측이 가능하게 하였다. 또한 줌 렌즈를 장착함으로써 대상관측물이 매우 먼 거리에 있어도 관측이 가능하게 하였다. 본 시스템의 실험을 통하여 0.12mm 의 정밀도를 갖는 것을 알 수 있었다.

2. 시스템의 구성

본 논문에서 소개되는 무인감시시스템은 영상처리부분을 담당하는 소프트웨어부분과 카메라의 움직임을 제어하는 하드웨어부분으로 나뉜다. Fig. 2.1 은 이 시스템의 전체구성도를 나타내고 있다.

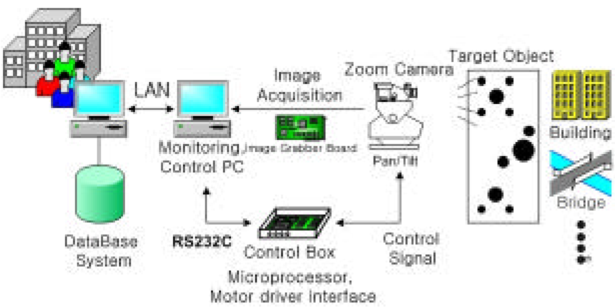

Fig. 2.1 Schematic configuration of developed system

2.1 영상장치

영상장치에는 Fig. 2.1 에 나타낸 것과 같이 아날로그 영상신호를 받아들이는 CCD(Charge Coupled Device) 카메라 및 캠코더와 대상물체의 관측점을 확대하여 더 정확하고 정밀하게 얻기 위한 줌 렌즈, 아날로그 신호를 디지털로 바꾸는 이미지 그래버보드로 구성된다.

2.2 팬/틸트 및 컨트롤박스

팬/틸트는 CCD 카메라를 장착하는 장치로서 수평 수직을 자유로이 회전할 수 있다. 상하좌우로 각각 회전하기 위해서 DC 모터를 두 개 장착하여 수평방향으로 0 °에서 355 °, 수직방향으로 -60 °에서 30 °로 회전이 가능하게 하였으며 컨트롤박스의 신호에 의해서 구동된다. 또한, 1 분당 약 5 바퀴를 회전할 수 있도록 하였다.

컨트롤박스는 마이크로컨트롤러와 모터구동회로, 전원공급장치로 구성된다. 마이크로컨트롤러는 Intel 사의 80C196KC 를 채택하였으며 모니터링 PC 와 통신을 위해서 RS232C 를 사용하였고 위치의 검출을 위해 포텐셔메터를 사용하였으며 포텐셔메터의 값을 읽기 위해서 마이크로컨트롤러의 A/D 기능을 사용하였다. 또한 마이크로컨트롤러는 PC 로부터의 신호에 따라 DC 모터를 구동하는 펄스를 발생시키는데 DC 모터를 구동하기 위해서는 모터구동회로가 필요하다.

2.3 모니터링 및 컨트롤 PC

모니터링 및 컨트롤 PC 는 이미지 그래버보드로부터의 디지털 영상데이터를 프로그램 화면상으로 관찰자에게 보여줌과 동시에 여러 가지 영상처리 알고리즘을 통해서 영상데이터를 분석하여 대상물의 관측점에 대한 정보를 얻어서 저장하고 이전 데이터들과 비교함으로써 대상물의 변위변화를 계측하는 역할을 한다. 또한 다수의 물체를 관측하기 위해서 RS232C 를 이용하여 컨트롤박스로 특정한 신호를 보내 역할을 하며 이 신호에 의해서 마이크로컨트롤러는 두 개의 DC 모터를 구동하게 되는 것이다.

관측결과는 데이터베이스에 저장되어 현재의 관측결과와 이전의 관측결과를 비교하여 현재 변위가 얼마나 변했는가 하는 것을 판단하고 데이터베이스 시스템의 데이터를 분석함으로써 지속적으로 얼마의 변위가 생겼는지를 알 수가 있다.

2.4 계측소프트웨어 구성

계측소프트웨어는 영상을 분석하여 관측점들에 대한 정보를 획득하고 저장하는 부분과 현재관측상태와 관측결과를 확인할 수 있게 하는 디스플레이하는 부분, 다수의 물체를 관측하기 위한 팬/틸트를 구동하는 부분으로 구성된다. Fig2.2 는 계측소프트웨어의 실행화면을 나타내고 있다.

이 프로그램은 컬러모드와 흑백모드를 지원하여 관측점의 색깔을 한 가지로 선택하거나 여러 가지로 선택할 수 있도록 하였다. 두 가지 모드를 실제 적용대상에 테스트하여 결과가 좋은 모드를

선택하면 된다. 흑백모드에 비해 컬러모드는 RGB 컬러값을 지정하는 과정이 더 추가된다.

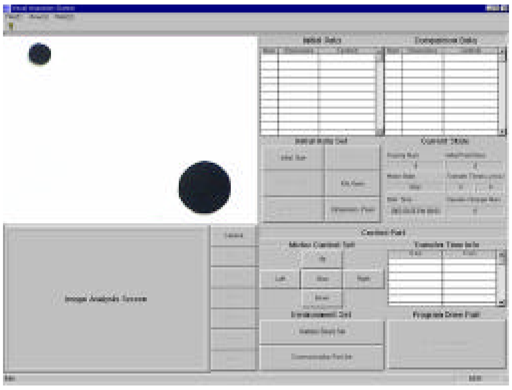

Fig. 2.2 Monitoring display screen of the measurement software

본 시스템은 계측과정에서 변위가 발생한 관측점에 대한 정보를 데이터베이스에 모두 저장하여 관리자가 변위의 변화를 한눈에 알 수 있으며 이후에 데이터베이스에 저장된 데이터를 재확인함으로써 얼마의 길이만큼 변화가 발생하였는지 알 수 있다.

3. 영상처리를 이용한 다수의 관측점에 대한 변위계측

3.1 다수의 관측점에 대한 변위계측원리

본 논문에서는 카메라를 고정시켜 놓고 한 부분만을 관측하는 기존 시스템을 벗어나 다수의 대상물에 대한 다수의 관측점을 계측할 수 있도록 하였다.

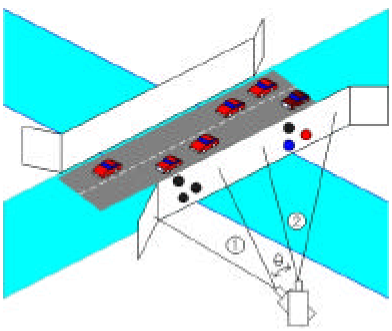

Fig. 3.1 Measurement principle of the multiple observation points

Fig. 3.1 은 두 영역(①, ②)의 관측점을 감시하는 예를 나타내고 있으며 아래에 다수의 관측점에 대한 계측원리를 단계별로 설명하였다.

먼저 시스템 관리자는 관측대상물체의 자동계측을 위해 한번은 아래와 같은 과정을 통하여 시스템의 초기데이터를 설정해야 한다.

(1) 모니터링과 컨트롤용 PC 를 이용하여 팬/틸트의 모터를 구동하여 카메라를 영역①에 위치시킨다.

(2) 관측점 인식과정을 이용하여 영역①에 있는 세 개의 점에 대한 초기데이터(개수, 면적, 도심)를 얻는다.

(3) 다시 PC 를 이용하여 팬/틸트를 구동시켜 다음 관측영역인 영역②에 카메라를 위치시킨다. 이때 Fig. 3.1 의 만큼 회전할 때의 시간정보가 계측소프트웨어의 시간정보그리드(7)에 저장되고 그 때의 포텐셔메터의 값도 계측소프트웨어에 의해 메모리 상에 저장된다. 이 데이터들은 팬/틸트를 자동으로 구동하기 위한 정보이다.

(4) 두 번째 과정과 마찬가지로 관측점 인식과정을 이용하여 영역②에 있는 세 개의 점들에 대한 초기데이터(개수, 면적, 도심)를 얻는다.

이렇게 관측하고자 하는 영역에 대해서 위의 과정과 같은 작업이 모두 끝나게 되면 모든 영역에 대한 점들의 초기데이터는 계측프로그램에 의해서 저장된다. 초기화 작업이 끝난 후 다시 맨처음 관측영역(여기서는 영역①)으로 카메라를 위치시킨다. 이 과정이 끝난 후 계측소프트웨어의 실행버튼을 누르면 팬/틸트를 구동하고 관측점에 대해 영상처리를 하여 변위를 계측하게 된다.

Fig.3.2 는 기준점을 이용한 자동변위계측의 전체적인 순서도를 나타낸 것으로 전체적인 계측순서는 다음과 같다.

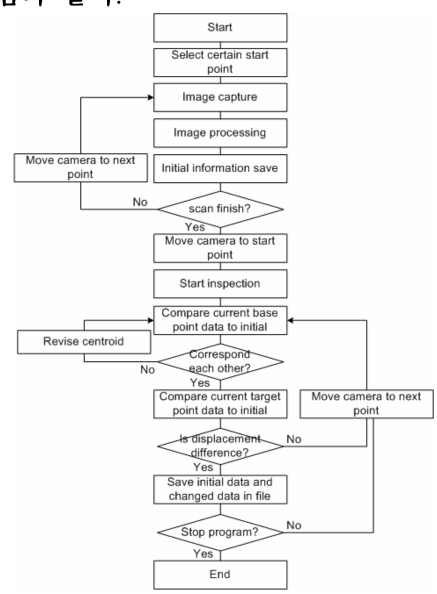

Fig. 3.2 Flow chart of measurement algorithm

3.4 관측점 인식과정

본 시스템에서는 가로 640 픽셀, 세로 480 픽셀의 컬러영상을 영상처리를 이용하여 다음과 같은 단계로 관측점의 수와 면적, 도심의 정보를 획득하였다.

⑴ 영상(컬러)을 캡처한다.
⑵ 영상(컬러)을 그레이화한다.
⑶ 영상(그레이)을 흑과 백으로 표현되는 이진화를 한다.
⑷ 대체로 크기가 작은 노이즈 제거를 위해서 영상 축소와 팽창을 한다.
⑸ 영상축소와 팽창을 적용한 후에 남아 있는 노이즈를 제거한다.
⑹ 영상인식을 위해 레이블링하여 영상면적, 도심, 개수를 파악한다.

Fig. 3.3 는 위의 단계를 실제 영상에 적용한 것을 나타내고 있다.

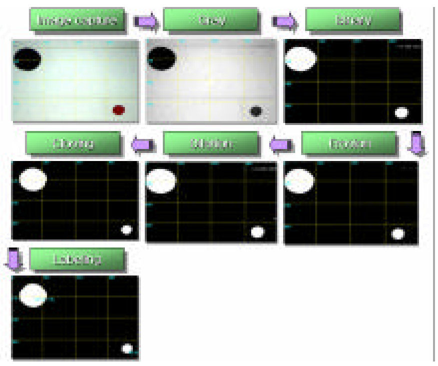

Fig. 3.3 Recognition procedure of the observation point

3.5 관측점 도심계산법

본 논문에서는 변위를 측정하는데 도심을 사용하였다. 관측점에 대한 초기데이터의 도심과 실시간으로 측정되는 도심 간의 픽셀차이를 실제거리로 환산하여 변위를 측정하였다.

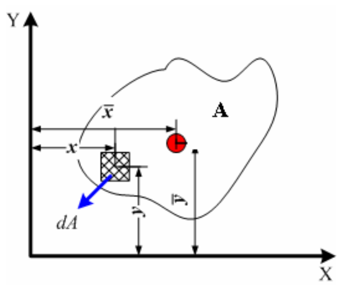

Fig. 3.4 Schematic description of inertia moment

관측점의 도심을 구하기 위해서 관성모멘트법를 적용하였다. Fig. 3.4 과 아래의 식은 관성모멘트에 대해서 언급하고 있다.

여기서, M_x 와 M_y 는 x 축방향과 y 축방향으로 면적 A 에 대한 각각의 면적 1 차모우멘트를 나타내며 다음 식과 같이 표현된다.

$$\left.\begin{aligned} M_x &= \int_A x\,dA = \bar{x}A \\ M_y &= \int_A y\,dA = \bar{y}A \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

위 식에서 는 전체면적의 도심좌표를 나타내며 식(1)를 다시 표현하면 다음과 같은 식이 된다.

$$\left.\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{1}{A}\int_A x\,dA = \frac{\int_A x\,dA}{\int_A dA} \\ \bar{y} &= \frac{1}{A}\int_A y\,dA = \frac{\int_A y\,dA}{\int_A dA} \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

위 식에서 알 수 있듯이 도심을 구하기 위해서는 물체의 총면적을 구해야 한다. 식(2)을 영상인식과정인 레이블링 알고리즘 내에 적용하여 관측점들의 면적을 구하고 픽셀좌표를 이용하여 도심을 구해낸다.

4. 실험 및 고찰

모형상자에 변위를 측정하기 위한 표적과 모래를 채운 후 압축장치로 상자의 상단부에서 아랫방향으로 모래 위를 누른다. 그러면 모래가 압축되면서 모래 속에 설치된 관측점들도 함께 아랫방향으로 함께 내려가게 된다.

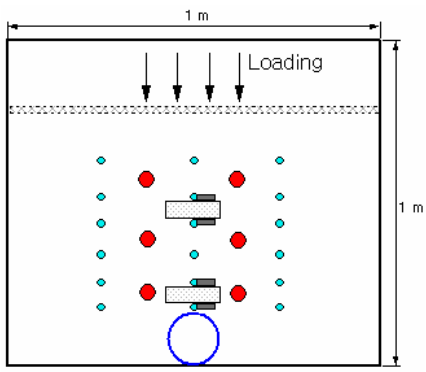

Fig. 4.1 Configuration of experimental apparatus

위 실험에서 사용된 도구들은 다음과 같다.

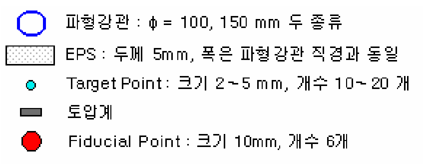

Fig. 4.1 은 실제 모형상자의 개요도를 나타내며 관측점과 기준점이 일정한 간격으로 배치되어 있는 것을 볼 수 있다. 그리고 가운데 아랫부분에는 파형강관에 하중을 최소화하기위해 EPS 블록을 보강하였다.

이 실험의 목적은 지중에 매설된 파형강관에 작용하는 하중을 저감시키기 위하여 EPS 블록을 보강한 경우, 상재하중의 단계별 재하에 따른 지반, EPS 및 파형강관의 침하특성 및 응력변화특성을 규명하기 위한 실내 모형실험이다. 그리하여 EPS 블록 보강이 파형강관에 미치는 하중을 얼마만큼 줄일 수 있는지를 판단한다. EPS 는 화학 명으로 Expandable Polystyrene(발포폴리스티렌)이라 하며 일반적으로 강한 스티로폼이라고 생각하면 된다.

Photo. 4.1 은 실험에 사용된 전체 시스템의 모습을 나타내고 있다. 카메라와 모형사이의 거리는 2m 로 하였다.

Photo. 4.1 Configuration of measurement system

Fig. 4.2 에서 Fig. 4.3 은 차례대로 실제 모래속의 관측점 인식과정이다.

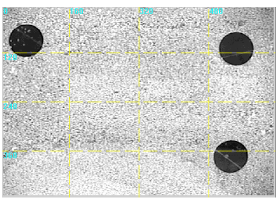

Fig. 4.2 Gray image

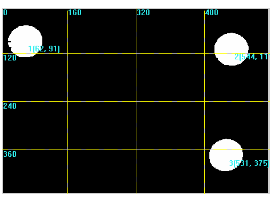

Fig. 4.3 Binary image

Fig. 4.3 을 통해 세 개의 물체가 인식되었다는 사실을 알 수 있다.

Fig. 4.4 은 모형에 압축을 가한 후에 관측점을 인식한 결과를 나타내고 있으며 Fig. 4.5 는 관측점들의 초기데이터와 변위가 발생한 후의 비교데이터를 나타내고 있다.

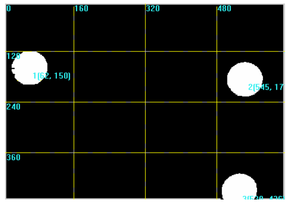

Fig. 4.4 Labeling image after press sand

Initial Data			Comparison Data		
Num	Dimensions	Centroid	Num	Dimensions	Centroid
1	5063	(62, 91)	1	5066	(62, 150)
2	5153	(544, 111)	2	5150	(545, 171)
3	5005	(531, 375)	3	5005	(530, 436)

Fig. 4.5 Initial data and comparison data

Fig. 4.5 로부터 각각의 관측점들은 y 축 방향으로 60 픽셀씩 움직인 것을 알 수 있다. 관측점들의 면적이 약 5000 픽셀이므로 Table 1 를 참고하면 약 0.6cm 씩 이동한 것을 알 수 있다. Table 2는 면적에 대한 1mm 당 픽셀 수를 나타낸 것이다.

Table 1 Example of target point sizes

Pixel number	mm accuracy per pixel
1000	0.25
1500	0.2
2100	0.1667
2700	0.143
3100	0.136
3500	0.125
4000	0.119
4500	0.114
5000	0.111
over 6000	approximately 0.1

Table 2 에서 알 수 있듯이 화면상에서 관측점의 픽셀면적(Pixel number)을 크게 하며 할수록 정밀도는 좋아지는 것을 알 수 있었다. Fig. 4.10 은 Table 2 를 그래프로 나타낸 것이다

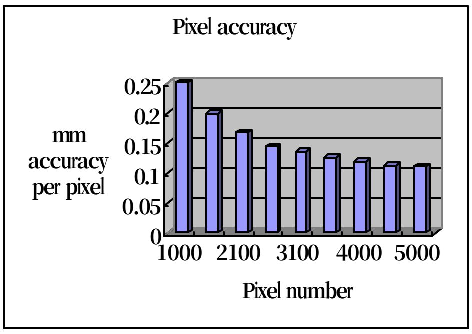

Fig. 4.10 Pixel accuracy graph

계속적인 실험을 통하여 본 시스템의 정밀도가 약 0.12mm 까지 가능한 것을 알 수 있다.

실험을 통하여 얻을 수 있었던 사실은 줌카메라를 이용하여 거리에 많은 제약을 받지 않으면서 팬/틸트와 영상처리를 동시에 이용함으로써 실시간으로 계측이 가능하다는 것을 판단할 수 있으며 계속적인 실험을 통하여 카메라의 성능과 이미지 그레버보드의 성능이 시스템의 정밀도에 많은 영향을 미친다는 사실을 알게 되었다.

5. 결 론

본 논문에서는 영상처리와 마이크로컨트롤러기술, PC 응용기술을 이용한 다수의 물체를 계측하는 실시간 무인자동화 시스템에 대해 소개하였다. 다수의 물체를 감시하기위해 위치컨트롤장치를 사용함으로써 다수의 물체를 자동적으로 변위를 계측할 수 있었다.

실험결과를 통하여 약 0.12mm 의 정밀도를 구현을 하였으며 화면상에 나타나는 관측점의 픽셀면적을 크게 할수록 정밀하다는 것을 알 수 있었다. 또한 실험에서는 언급하지 않았지만 이상적인 실험환경에서는 0.0256mm 까지의 정밀도가 얻어졌다.

본 시스템은 줌 카메라와 팬/틸트를 사용하고 있으므로 줌이 가능한 범위내의 모든 대상물을 관측할 수 있어 아주 멀리 떨어져 있는 구조물과 같은 물체들을 계측하는데 효과적이라고 할 수 있겠다. 또한 구조물의 관측과 같은 건축분야 뿐만 아니라 무인 자동 계측이 필요한 모든 응용분야에 사용될 수 있을 것이라고 고려된다.

참고문헌

[1] Chakravarthy, S.; Sharma, R.; Kasturi, R., 2, April 2002, "Noncontact level sensing technique using computer vision, Instrumentation and Measurement ", IEEE Transactions on , Volume: 51 Issue:, Page(s): 353-361

[2] Hasegawa, H.; Aoki, H.; Yamazaki, F.; Matsuoka, M.; Sekimoto, I., 1, 2000, "Automated detection of damaged buildings using aerial HDTV images ", Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000. Proceedings. IGARSS 2000. IEEE 2000 International , Volume: ,Page(s): 310-312 vol.1

[3] Chowdhury, M. H. and W. D. Little, "Image Thresholding Techniques", 1995, IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers, and Signal Processing, pp. 585-589.

[4] Jianzhuang, L. and L. Wenqing and T. Yupeng, , 1991, "Automatic Thresholding of Gray-level Pictures Using Two-dimensional Ostu Method", International Conference on Circuits and Systems, Vol. 1, pp.325-327.

[5] Otsu, N., 1979, "A Threshold Selection Method from Gray-level Histograms", IEEE Trans. Syst. Man Cybern. 9, pp. 62-66.

[6] Pitas, I., 1993, "Digital Image Processing Algorithms ", Prentice Hall, N.Y., pp.254-281.

[7] Castleman, K. R, , 1996, "Digital Image Processing ", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 123-645.

[8]. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, 1993, "Digital image Processing, Addison Wesly ", pp. 413-478.