

Image segmentation을 위한 초음파 이진 영상 생성에 관한 연구

최 흥 호·육 인 수

인제대학교 보건대학 의용공학과
(1998년 9월 25일 접수, 1999년 1월 4일 채택)

A Study on the Generation of Ultrasonic Binary Image for Image Segmentation

H.H. Choi, I.S. Yook

Department of Biomedical Engineering, College of Health Science, Inje University
(Received September 25, 1998, Accepted January 4, 1999)

요 약 : 초음파 영상 진단 장비의 중요한 특징 중의 하나는 실시간으로 생체내의 연부 조직에 대한 정보를 보여준다는 것이다. 심초음파도는 심장 판막 및 심벽의 상태를 실시간 단면 영상으로 보여줄 수 있으므로 심장 질환 진단에 널리 이용되고 있다. 그러나, 초음파 영상은 스펙클 잡음이나 영상 탈락 등으로 인하여 화질이 많이 열화되어 있다. 그러므로, 이러한 초음파 영상을 개선시킬 수 있는 새로운 기술을 개발하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 심초음파도의 개선된 이진 영상을 검출하기 위한 영상 처리 기술을 제안한다. 아날로그 영상인 심초음파도로부터 디지털 동영상 파일을 만들고, 이것을 다시 프레임 단위로 각각 8bit 그레이 레벨을 갖는 정지 영상으로 변환하여 저장하였다. 효율적인 영상 처리를 위해 심중격과 삼첨판을 중심으로 한 심장 부위를 관심 영역으로 두었고, 스펙클 잡음이 포함된 각각의 영상은 영상 개선 필터와 모폴로지 필터를 이용하여 처리되었다. 그 결과, 원 영상이나 문턱치에 의한 이진 영상에 비해 명확한 윤곽선을 가진 개선된 이진 영상을 얻을 수 있었다. 결론적으로, 본 논문에서 제안한 방법은 보다 최적의 초음파 이진 영상 처리 기술 개발과 심초음파 영상의 좌심실벽 운동과 같은 정량적 분석에 중요한 심벽 윤곽선 검출 등에 기여할 수 있을 것이라 생각된다.

Abstract : One of the most significant features of diagnostic ultrasonic instruments is to provide real time information of the soft tissues movements. Echocardiogram has been widely used for diagnosis of heart diseases since it is able to show real time images of heart valves and walls. However, the currently used ultrasonic images are deteriorated due to presence of speckle noises and image dropout. Therefore, it is very important to develop a new technique which can enhance ultrasonic images. In this study, a technique which extracts enhanced binary images in echocardiograms was proposed. For this purpose, a digital moving image file was made from analog echocardiogram, then it was stored as 8-bit gray-level for each frame. For an efficient image processing, the region containing the heart septum and tricuspid valve was selected as the region of interest(ROI). Image enhancement filters and morphology filters were used to reduce speckle noises in the images. The proposed procedure in this paper resulted in binary images with enhanced contour compared to those from the conventional threshold technique and original images. The results demonstrated that this proposed method may be able to contribute to the development of more accurate ultrasonic binary image processing technique which can be further implemented for the quantitative analysis of the left ventricular wall motion in echocardiogram by easy detection of the heart wall contours.

Key words : Binary image, Echocardiogram, Speckle noise, ROI(region of interest), Image enhancement filter, Morphology filter

서 론

통신저자 : 최흥호, (621-749) 경남 김해시 어방동 607
인제대학교 보건대학 의용공학과,
Tel. (0525)320-3294, Fax. (0525)337-1303
E-mail : hhchoi@bme.inje.ac.kr

초음파 진단 장비는 인체에 무해하고, 실시간으로 생체내 연부 조직의 영상화가 가능하다는 장점 때문에 널리 이용되고 있다. 그러나, 초음파 영상에는 생체내 조직 구조와 대응하지 않는

echo파(speckle echo)가 혼재할 수 있고[1-2], 또한 영상의 일부가 탈락(dropout)하는 등 그 분해능이 떨어져 영상의 질이 비교적 나쁘다는 단점 때문에 더욱 정확한 정보를 얻기 위한 영상 처리 기법에 대한 연구가 계속 진행되고 있다. 또, 심장 질환 진단에 널리 사용되고 있는 영상 장비 중의 하나가 심초음파 장비이다. 심초음파도는 심장에 대한 여러 가지 다양한 정보를 제공하여 심장 질환 진단에 도움을 주고 있다.

심장 질환의 진단이나 증세의 평가에 이용되는 심장 echo상의 정보로서는 다음과 같은 것들이 있다. 즉, 심장 구조물의 이상, 심장의 크기나 심벽의 두께 또는 그 변화, 판막이나 기타 심내 구조물의 변화와 운동 이상 등이다[3].

한편, 최근에는 디지털 영상 처리 기술에 힘입어 심초음파 영상으로부터 심근벽의 두께나 운동 모양, 심장 체적 등의 심장 변수를 정량적으로 측정함으로써 진단 및 수술, 그리고 심장의 모델링에 유용한 자료를 얻기 위한 연구가 활발하게 수행되고 있다. 심초음파 영상의 정량적 분석을 위해서는 심벽의 윤곽선을 정확히 검출할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 명확한 에지를 검출할 수 있는 잡음이 제거된 개선된 이진 영상을 검출하기 위한 영상 처리 기술을 제안하려고 한다.

이진 영상 검출

1. 이진영상 생성을 위한 전처리

1) 스펙클 잡음

스펙클 잡음은 레일리 분포(rayleigh distribution)를 따르는 곱형의 잡음(multiplicative noise)으로 알려져 있으며, 이는 sonar, radar, laser와 같은 간섭파를 이용하여 영상 신호를 검출할 때 나타나는 현상으로, 반사되는 경계면에서의 산란과 이것에 의한 간섭 현상에 기인하는 것이다[5].

B-mode 영상을 이용해서 조직의 운동 해석을 행하는 경우에 영상에 반점 모양의 특징적인 패턴으로 나타나는 이러한 스펙클에 대한 처리가 중요시된다. 왜냐하면 스펙클 패턴은 영상의 휘도와 대상체 사이에 일대일 대응관계가 성립하지 않는, 즉 실제 인체내의 조직 구조를 나타내는 것이 아니기 때문이다.

또한, 조직의 테두리나 조직간의 경계를 나타내는 에지는 영상 진단에 있어서 중요한 정보가 된다. 그러나, 초음파 영상은 스펙클 잡음으로 인하여 매우 열화되어 있으므로 경계선 검출을 위해 전처리로서 스펙클 잡음과 같은 잡음을 제거할 필요가 있다.

본 연구에서는 다음과 같은 방법을 이용하여 스펙클 잡음을 제거하였고, 영상의 경계선을 명확하게 하였다.

2) 영상 개선 필터와 모폴로지 필터

잡음이나 영상 탈락 등으로 열화된 영상의 해상력을 높이 증가시키기 위해서 1차적으로 영상을 평활화하기 위한 필터를 구

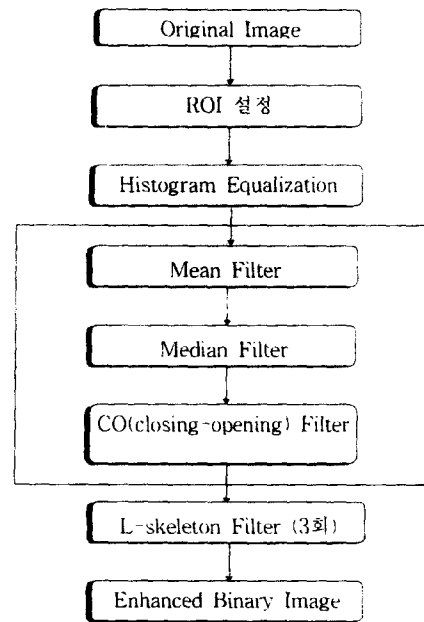


그림 1. 본 논문에서 제안한 영상 처리 과정의 흐름도
Fig. 1. Flowchart of binary image detection using proposed filtering

성하였고, 2차적으로 영상 개선 필터와 함께 잡음 제거에 우수 하면서 원 영상의 정보를 최대한 보존하기 위해서 모폴로지 필터를 구성하였다. 두 과정을 통해서 효과적인 이진 영상을 생성하기 위한 영상 개선 필터를 그림 1에 구성하였다.

특히 모폴로지 연산에는 두 가지의 기본 연산, 즉 erosion과 dilation이 있다. Erosion 필터는 밝은 부분을 대상으로 했을 때 배경 면적은 넓어지는 반면 밝은 부분의 대상은 줄어든다. 어두운 부분을 대상으로 했을 때는 그 역이 성립한다. Dilation 필터는 위의 erosion과 반대되는 개념으로 배경 면적은 줄어들고, 밝은 부분의 대상은 넓어진다.

Gray-scale erosion 연산(1)과 gray-scale dilation 연산(2)은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 O(x, y) = \min\{ & X + I(x, y), X_0 + I(x + 1, y), \\ & X_1 + I(x + 1, y - 1), X_2 + I(x, y - 1), \\ & X_3 + I(x - 1, y - 1), X_4 + I(x - 1, y), \\ & X_5 + I(x - 1, y + 1), X_6 + I(x, y + 1), \\ & X_7 + I(x + 1, y + 1) \} \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 O(x, y) = \max\{ & X + I(x, y), X_0 + I(x + 1, y), \\ & X_1 + I(x + 1, y - 1), X_2 + I(x, y - 1), \\ & X_3 + I(x - 1, y - 1), X_4 + I(x - 1, y), \\ & X_5 + I(x - 1, y + 1), X_6 + I(x, y + 1), \\ & X_7 + I(x + 1, y + 1) \} \quad (2)
 \end{aligned}$$

여기서, $I(x, y)$ 는 입력 화소이고 $O(x, y)$ 는 출력 화소를

나타낸다.

이들 두 연산을 기본으로 하여 opening 필터와 closing 필터가 정의된다. Opening 필터는 대상으로 하는 영상에 대하여 erosion, dilation 순으로 처리하는 것으로 단일 픽셀의 잡음이나 작은 돌출부들을 제거하여 대상체의 울퉁불퉁한 경계선을 평활화 하기 위해 이용하는 것으로 경계선 향상에 유용하다. 반면, closing 필터는 opening 필터와 반대로 대상 영상에 대하여 dilation, erosion 순으로 처리하여 대상체내에 있는 단일 픽셀의 작은 구멍이나 경계선의 갈라진 틈을 채우기 위한 것이다. 특히, 잡음이 포함된 영상에서 보다 효과적으로 잡음을 제거하기 위해서 opening-closing 필터나 closing-opening 필터를 적용하면 더 나은 화질의 영상을 얻을 수 있지만, 잡음의 성질에 따라 화질이 다르게 나타난다.

끝으로, L-skeleton 필터를 사용하였는데 이것은 대상체의 넓은 골격 즉 이진 영상을 최소 1-pixel의 선으로까지 남길 수 있다.

본 논문에서는 이 필터를 원래 영상의 대상 구조를 최대한 보존하는 범위내에서 3회 반복(iteration)하여 사용하였다.

2. Phantom을 이용한 모의 실험

본 실험에 앞서 초음파 test phantom으로부터 얻은 영상에 본 논문에서 제안하고 있는 필터링을 적용시켜 그 유효성을 검증하고자 하였다. 이 때, 사용된 영상은 초음파 장비와 연결된 PC의 image grabber board (DT3155)를 이용하여 획득한 영상이고[그림 2 (a)], 영상의 유효성을 검증하기 위하여 영상 처리 과정의 각 영상을 나타내었다[그림 2 (b), (c)]. 최종적으로 L-skeleton 필터를 적용하여 명확한 경계를 갖는 이진 영상을 검출하였다[그림 2 (d)]. 일반적으로 보통의 영상들에서 이진 영상을 얻기 위해서는 대부분이 문턱값에 의한 방법을 사용한다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법과 문턱값에 의한 방법을 비교 분석하였으며, 그림 2 (e)에 문턱값에 의한 이진 영상을 나타내었다.

또한, 스펙클 잡음 제거에 대한 정도를 정량적으로 평가하기 위해서는 MAE(Mean Absolute Error)와 MSE(Mean Square Error)를 계산하여 비교해 보는 것이 효과적이다. 이 값은 실제 값과 추정 값의 오차 정도를 계산하는 것으로 적으면 적을수록 스펙클 잡음 제거의 정도가 크다는 것을 알 수 있다[9,10]. 처리된 영상들의 정량적인 분석을 위하여 그 영상들의 MAE와 MSE를 계산하여 표 1에 나타내었다.

3. 심초음파도에서의 이진 영상 검출

Phantom을 이용한 모의 실험을 통해서 제안한 영상 개선 필터의 잡음 제거 정도와 이진 영상 생성의 우수함을 알 수 있었다.

이를 토대로 본 연구에서 제안한 필터링을 심초음파도에 적용시켰다.

표 1. 그림 4 영상들의 MAE와 MSE

Table 1. MAE and MSE of images shown in Fig 4

| | MAE | MSE |
|---------------------------|----------|----------|
| 히스토그램 평활화 처리 영상 | 64.50856 | 5456.953 |
| 영상 개선 필터링 처리 영상 | 58.65499 | 4383.846 |
| 제안한 필터링에 의한 결과 영상 | 122.9296 | 15680.63 |
| Threshold value에 의한 이진 영상 | 127.3298 | 16249.95 |

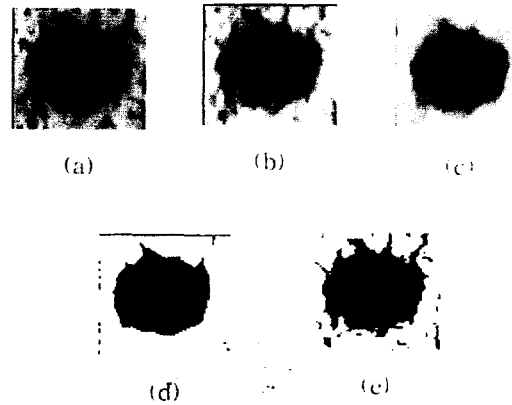


그림 2. 모의 실험 결과 영상 (a) 원 영상 (b) 히스토그램 평활화에 의한 ROI 영상 (c) 영상 개선 필터링에 의한 ROI 영상 (d) 제안한 필터링에 의한 ROI의 결과 영상 (e) threshold value에 의한 ROI의 이진 영상

Fig. 2. Result image (a) Original image (b) Image of ROI using histogram equalization (c) Image of ROI using image enhance filtering (d) Result image of ROI using proposed filtering (e) Binary image of ROI using threshold value

본 실험에 사용된 초음파 영상은 3.5MHz 트랜스듀서를 사용하여 성인 남성으로부터 얻은 것이다. 이 심초음파 영상을 1/2 inch VTR에 녹화하여 이를 컴퓨터를 통해 디지털 동영상 파일로 만들었다. 그림 3 (a)는 디지털 동영상 획득을 위한 시스템 블록도이다. 이와 같이 동영상을 얻고, 이것으로부터 프레임 단위의 정지 영상을 획득하기 위해 그림 3 (b)와 같이 동영상을 프레임 간격으로 재생시켜 8bit, 즉 256(=2⁸) 그레이 레벨의 영상 데이터로 변환하여 저장했다.

이렇게 해서 얻어진 각각의 정지 영상들에 대해서 심장 판막을 중심으로 한 심장 부위의 일부분을 ROI(Region of interest)로 두고 80×90 영역에 대해서만 처리를 하였다.

그 결과 화상인 개선된 이진 영상과 원래의 영상을 비교 검토하였다.

이들 각각의 정지 영상에 대한 영상 처리는 Global Lab Image(Data Translation Co.) 프로그램을 사용하였다.

결 과

본 연구에서는 심초음파도에서의 개선된 이진 영상을 검출하

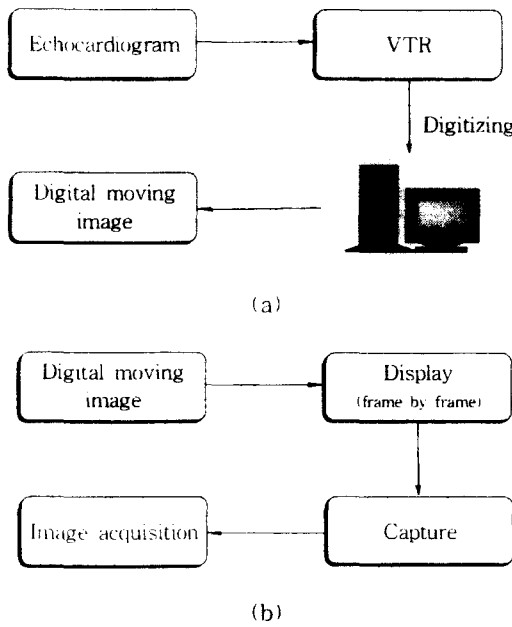


그림 3. 영상 획득 방법 (a) 디지털 동영상 획득을 위한 시스템 블록도, (b) 정지 영상 획득을 위한 블록도
 Fig. 3. Image acquisition method (a) System block diagram for digitization of moving image; (b) Block diagram for frozen image acquisition

기 위한 영상 처리를 수행하였다. 실험에 사용한 초음파 영상은 심초음파 동영상으로부터 프레임 단위로 획득한 영상들 중에서 임의의 두 프레임을 가지고 행하였다.

각각의 정지 영상들에 대하여 먼저 영상 강조를 위한 히스토그램 평활화 처리를 행한 후, 1차적으로 잡음 제거를 위하여 평균 필터 및 메디안 필터를 사용하였다. 그리고, 보다 효과적인 잡음 제거 및 이진 영상을 얻기 위하여 CO 필터, L-skeleton 필터 등의 모폴러지 필터를 적용하였다.

그 결과, 그림 4 (c)와 그림 5 (c)와 같이 개선된 이진 영상을 얻을 수 있었다. 대상으로 한 영상은 심중격(heart septum)과 그 왼쪽에 보이는 우심방과 우심실 사이의 삼첨판의 일부를 중심으로 한 것이다. 그림 4의 (a)와 (c), 그리고 그림 5의 (a)와 (c), 즉 원 영상과 처리된 이진 영상을 비교해 보면, phantom을 이용한 모의 실험의 결과에서와 마찬가지로 처리 후 잡음 제거와 함께 원래의 불분명한 영상에 비해 훨씬 명확한 윤곽을 가진 영상으로 변환된 것을 알 수 있다.

또한, 원 영상의 threshold 값에 의한 각각의 이진 영상과 비교했을 때도 그보다 경계가 뚜렷하게 개선되었음을 알 수 있었다. 이 때, 비교를 위해 사용한 threshold 값은 히스토그램 평활화 후의 각각의 원 영상 ROI내에서 gray level 중간값 131, 137로 하였다.

그림 6은 결과로서 얻어진 초음파 이진 영상들을 다시 동영상화 하기 위한 프로그램 화면이다. 그림 6에서 보는 바와 같이

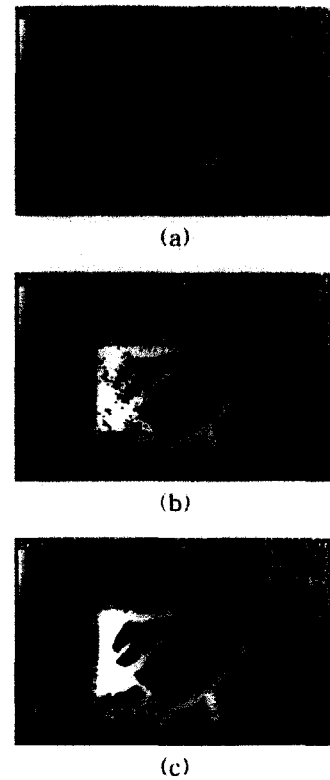


그림 4. 결과 영상 A (a) 원 영상 A (b) threshold value(=131)에 의한 ROI의 이진 영상 (c) 제안한 필터링에 의한 ROI의 이진 영상
 Fig. 4. Typical result A (a) Original image A (b) Binary image of ROI using threshold value(=131) (c) Result image of ROI using proposed filtering

프로그램 화면 왼쪽에는 원래 영상이 프레임 단위로 디스플레이 되고, 그 오른쪽에는 각각의 원 영상 프레임들 처리한 영상이 동시에 디스플레이된다. 이들 각 프레임 정지 영상을 연속적으로 나타냄으로써 동영상 파일을 재생하는 것과 같은 효과를 얻을 수 있었다.

결 론

본 연구에서는 제안한 영상 개선 필터를 심초음파도의 영상 처리에 적용하여 개선된 이진 영상을 얻을 수 있었다.

즉, 심초음파 영상을 디지털 영상으로 바꾸는 영상 획득 과정을 거치고, 이를 프레임 단위의 정지 영상으로 저장한 후 이들 각각의 영상에 대하여 잡음 제거 등의 영상 처리를 행하고 난 뒤 이진 영상을 얻은 것이다. 그림 7과 8의 결과 영상에서 보듯이 ROI 영역의 이진 영상은 기존의 threshold 값을 이용한 이진 영상 처리에 비하여 잡음 제거와 함께 더욱 명확한 윤곽을 가진 영상이 되었음을 확인할 수 있었다.

향후, 이러한 일련의 처리 과정이 실시간으로 처리되면 새로운 초음파 진단법으로 발전시켜 나갈 수 있을 것으로 생각되며,

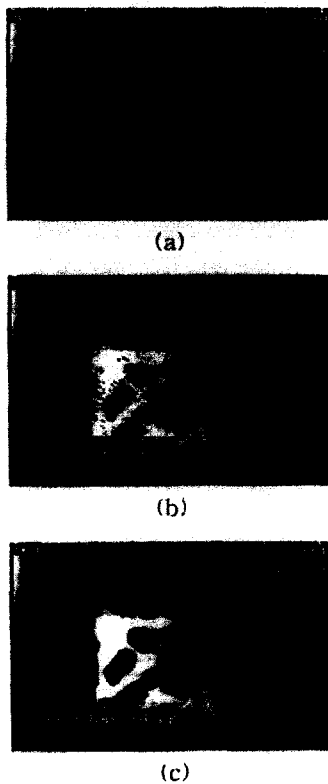


그림 5. 결과 영상 B (a) 원 영상 B (b) threshold value(=131)에 의한 ROI의 이진 영상 (c) 제안한 필터링에 의한 ROI의 이진 영상
 Fig. 5. Typical result B (a) Original image B (b) Binary image of ROI using threshold value(=137) (c) Result image of ROI using proposed filtering

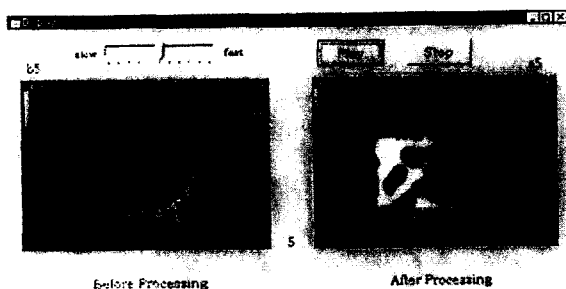


그림 6. 정지 영상 연속 재생 프로그램 화면
 Fig. 6. Sequential display of original and binary images

그 결과로서 심초음파 영상에서의 좌심실벽 운동과 같은 정량적 분석을 위한 전처리 과정으로 응용될 수 있을 것이라고 기대된다.

참 고 문 헌

1. W. R. Hedrick, D. L. Hykes, D. E. Starchman, *Ultrasound Physics and Instrumentation*, Mosby, 1995
2. Y. Chiaki, N. Masato, Y. Shin-ichi, "Real Time Speckle Reduction in Ultrasound Imaging", *Jpn. J. Med. Ultrasonics*, Vol.13, No.5, pp. 305-314, 1986
3. 全萬鏞, 朴成玉, 洪時榮, 孫龍來, *超音波 檢査學*, 大學書林, 1988
4. F. W. Kremkau, *Diagnostic Ultrasound: Principles, Instruments, and Exercises*, W. B. Saunders Company, pp. 538, 1989
5. M. A. Schulze, J. A. Pearce, "A morphology-based filter structure for edge-enhancing smoothing", *IEEE International Conference on Image Processing*, Vol.1, pp. 530-534, 1994
6. 南宮在贊, *畫像工學의 基礎*, 機電研究社, 1989
7. R. C. Gonzalez, R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 1993
8. M. A. Sid-Ahmed, *Image Processing*, McGraw-Hill, 1994
9. Schulze MA, Wu QX. "Noise reduction in synthetic aperture radar imagery using a morphology-based nonlinear filter." *Digital Image Computing: Techniques and Applications 95(DICTA95)*, 1995, 661-666
10. Schulze MA, Wu QX, "An edge-enhancing nonlinear filter for reducing multiplicative noise." *Nonlinear Image Processing VIII, Proc SPIE*, 1997, 3026
11. I. Pitas, *Digital Image Processing Algorithms*, Prentice Hall, 1996
12. K. R. Castleman, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, 1996
13. G. A. Baxes, *Digital Image Processing*, John Wiley & Sons, 1994