

Edge Detection을 이용한 간 혈관 추출

서 정 주*, 박 종 원*

Hepatic Vessel Segmentation using Edge Detection

Jeong-Joo Seo*, Jong-Won Park*

요약

간 혈관 구조는 간에 대한 질병을 판단하거나 간 수술 계획을 세우는 데 중요한 요소이다. 특히 생체간이식에서 간 혈관 구조는 기증자와 수혜자의 안전을 보장하기 위하여 수술 전 환자의 간 상태를 파악하고 좌우엽의 체적을 계산하는 중요한 근거로 활용된다. 본 연구는 조영제를 투여한 복부 MDCT 영상에서 추출된 간 영상으로부터 간 혈관을 자동추출하기 위하여 노이즈에 강한 Canny edge detection을 활용할 수 있는 방안을 제안한다. 환자마다 달라질 수 있는 간 영상의 밝기와는 독립적으로 간 내부의 혈관을 추출하기 위하여 간 영상의 히스토그램과 평균 픽셀값을 이용하여 Canny 알고리즘에 사용되는 최적의 파라미터들을 정의한다. 간 영상의 밝기에 따라 파라미터를 수동으로 조절하는 경우보다 시간을 절약할 수 있다. 찾아진 혈관의 경계선에서 픽셀의 밝기를 이용하여 후보 혈관을 추출한다. 최종적으로 수평과 수직방향으로 연결된 혈관이나 고립된 혈관을 검색하는 시스템을 이용하여 추출에 실패한 혈관을 추가하고 노이즈를 제거한다. 그 결과로써 환자마다 나타나는 다양한 혈관 모양을 정확하게 3차원으로 재구성한다.

▶ Keyword : 간 혈관 자동 추출, MDCT 영상처리, Edge detection, 수평과 수직 방향의 오류 수정

Abstract

Hepatic vessel tree is the key structure for hepatic disease diagnosis and liver surgery planning. Especially, it is used to evaluate the donors' and recipients' liver for the LDLT(Living Donors Liver Transplantation) and estimate the volumes of left and right hepatic lobes for securing their life in the LDLT. In this study, we propose a method to apply canny edge detection that is not affected by noise to the liver images for automatic segmentation of hepatic vessels tree in contrast abdominal MDCT image. Using histograms and average pixel values of the various liver CT images,

• 제1저자 : 서정주 • 교신저자 : 박종원

• 투고일 : 2011. 11. 25, 심사일 : 2011. 12. 14, 게재확정일 : 2012. 01. 03.

* 충남대학교 정보통신공학과 (Dept. of Information Communications Engineering, Chungnam National University)

optimized parameters of the Canny algorithm are determined. It is more time-efficient to use the common parameters than to change parameters manually according to CT images. Candidates of hepatic vessels are extracted by threshold filtering around the detected the vessel edge. Finally, using a system which detects the true-negatives and the false-positives in horizontal and vertical direction, the true-negatives are added in candidate of hepatic vessels and the false-positives are removed. As a result of the process, the various hepatic vessel trees of patients are accurately reconstructed in 3D.

▶ Keyword : Automatic segmentation of hepatic vessel, MDCT image processing, Edge detection, error correction on horizontal and vertical direction

I. 서론

그 동안 의료 영상 분야에서는 복부 내부를 진단하기 위하여 CT(computed tomography)나 MRI(Magnetic Resonance Imaging)영상을 주로 사용하여 왔으나, 최근에는 해상도가 높아진 MDCT(Multi Detector CT) 영상이 선호되고 있다. MDCT 영상은 많은 양의 데이터를 갖기 때문에 추가적인 처리를 위해 많은 시간과 노력이 필요하다. 이런 이유로 보조처리를 위한 알고리즘들이 계속 개발되고 있다.

복부 의료 영상에서 간 내부의 혈관을 추출하는 것은 간에 대한 진단이나 치료에 중요한 의미가 있다. 간에 대한 최종적인 치료법 중 하나는 간 이식이다. 특히 생체간이식은 정상인의 간을 떼어내야 하는 큰 부담을 가지고 있다. 간이식에서는 기증자의 좌간이나 우간을 수혜자에게 이식하게 되는데, 이때 해부학적인 좌간과 우간은 간 내부의 혈관을 기준으로 구분된다[1]. 그리고 간 내부의 혈관상태는 기증자를 평가하는 중요한 요소이다[2]. 간의 부분 제거술에 있어서도 절제되는 혈관의 상태에 따라 생명에 위협적인 요소가 되므로 혈관에 대한 정보가 중요한 의미를 갖는다. 간의 혈관 모양은 사람마다 다를 수 있기 때문에[3] 수술 전에 혈관의 위치와 모양에 대한 정보를 파악하는 것은 간 수술에 있어서 필수적인 작업이다.

기존에 연구되었던 간 혈관 추출[4][5]은 가장 기본적으로 간 내부 픽셀의 밝기에 따라 후보 혈관이 결정되고 모폴로지를 이용하여 노이즈를 제거하거나 픽셀의 밝기를 이용하여 혈관 영역을 확장시켰다. 하지만 이러한 방법은 일정한 크기 이상의 혈관 추출만이 가능하거나 혈관에 해당하는 seed를 수동으로 선택하는 처리가 필수적이었다. 본 연구에서는 edge detection과 픽셀의 밝기를 함께 이용하여 환자마다 달라지는 영상의 전체적인 명암 차이와 CT상에 나타나는 혈관의 다양한 형태에 영향을 적게 받았다. 만약 픽셀의 명암값만으로 혈관을 인식하면 혈관의 모양이 제대로 찾아지지 않는

경우가 발생하여 다시 경계선을 처리하는 모양 복원 작업이 필요하다. 이런 경우 혈관의 질병이나 기형으로 발생하는 혈관의 모양이 변형될 가능성이 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하고 간 내부의 혈관을 인식하기 위하여 주변 조직과의 픽셀 값 차이를 이용하는 edge detection을 사용한다.

본 연구의 목적은 간이식이나 간의 부분을 제거하는 수술 전 의료진에게 많은 정보를 제공하기 위하여 CT영상으로부터 간에 분포하는 혈관들을 정확하게 추출하는 것이다.

II. 관련연구

간 내의 혈관을 추출하기 위하여 우선 복부영상으로부터 간을 구분해야 한다[6]. 간에 해당되는 픽셀의 밝기를 알기 위하여 히스토그램을 이용하였다 (그림 1). 조영제를 투여한 간의 평균 밝기는 180 주변값이다. 간에 해당하는 명암값과 위치 정보를 이용하여 간을 추출한다. morphological filtering의 기법 중 erosion을 이용하여 떠나 간 외부의 혈관과 같은 주변 조직을 제거한 후 남은 간 조직에 대해서는 dilation을 실행시켜 원래의 영상으로 복원시켰다. 추출된 간은 그림2에서 볼 수 있다.

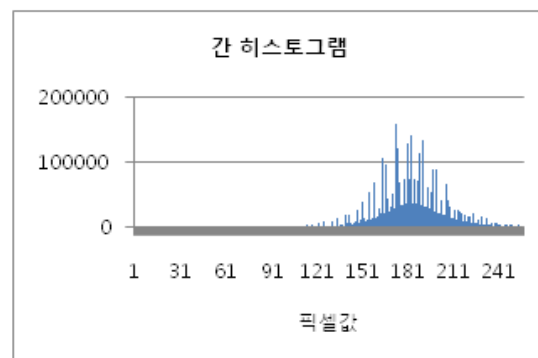


그림 1. 간의 히스토그램
Fig. 1. Histogram of liver

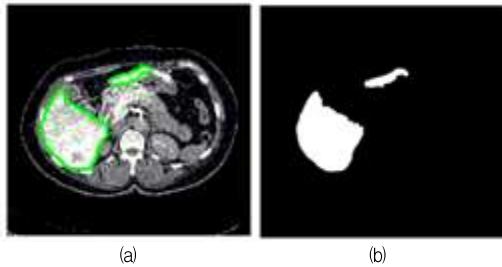


그림 2. Morphology 연산 처리 후 간 인식 결과 (a)추출된 간의 2진 영상 (b)원 영상에서의 간 인식 결과

Fig. 2. The result of liver segmentation after the processing morphology (a)Binary image of segmented liver (b)The result of segmented liver on the original image

III. 자료와 방법

1. CT 영상과 시스템

복부영상은 조영제를 사용하여 동맥기, 문맥기, 정맥기의 3단계로 촬영되었다. CT영상의 파라미터들은 120 kVp, 380 mAs, 512x512-pixel matrix, 3 or 5mm section thickness이다. Section thickness 는 촬영 후 1mm로 재구성되었다. 환자 3명으로부터 얻어진 정맥기 3sets의 이미지(총 section의 수는 539장)를 처리하였다. 본 알고리즘은 개인용 컴퓨터(LG PC, Intel® CoreTM2 CPU, 2GB RAM, 32 bit OS)에서 처리하였다.

2. 간 내부 혈관 추출

본 알고리즘은 다음의 4단계로 처리된다.

단계 1: 간 조직과 혈관 사이의 경계선을 찾는다. 혈관의 경계선을 찾기 위하여 edge detection 알고리즘을 이용한다.

단계 2: 인식된 혈관 경계선의 위치를 중심으로 혈관에 해당되는 후보 픽셀들을 찾아낸다.

단계 3: 오류를 최소화하기 위하여 후보 픽셀에서 빠진 혈관픽셀들을 추가한다.

단계 4: 후보 픽셀들 중 노이즈를 제거한다.

2.1 혈관 경계선 검출

혈관의 경계선을 인식하는 방법으로는 Gaussian 연산자를 사용하여 노이즈가 존재하더라도 경계선을 잘 구분할 수 있는 Canny 알고리즘[7][8]을 이용한다. 혈관의 경계선을 인식하는 선행 작업은 혈관과 주변 픽셀의 밝기 차이를 이용하여 혈관의 위치를 알 수 있다. 혈관을 찾기 위해 hi

threshold와 low threshold를 조정한다. Threshold가 낮아질수록 더 많은 혈관의 경계선을 찾을 수 있었다. 그러나 최적의 혈관을 추출할 수 있도록 각 슬라이드마다 명암값을 조절하면서 수동으로 추출한 혈관과 비교해서 나타나는 유효율은 반대로 떨어졌다. 간 혈관의 histogram(그림 3)을 알아보고 혈관의 경계선 인식률과 수동으로 추출한 혈관과 비교한 유효율이 동시에 최대가 되는 최적의 파라미터들을 선택한다.

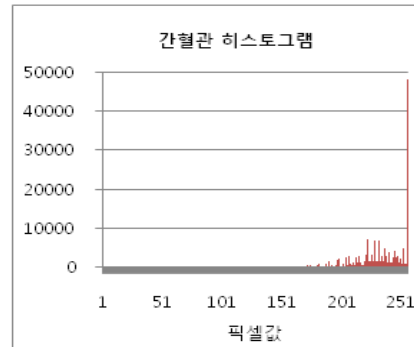


그림 3. 간 혈관의 histogram
Fig. 3. Histogram of liver vessel

간 혈관의 평균 밝기는 231.75이고 혈관의 밝기 분포는 다음 표 1과 같다.

표 1. 간 혈관의 밝기 분포

Table 1. Distribution of hepatic vessel

픽셀값 범위	165 이상	199 이상	200 이상
포함된 간 혈관의 비율(%)	99	90.22	89.99

High threshold는 전형적인 혈관의 명암값인 255로 하고 low threshold는 90%의 혈관이 분포한 명암값의 최소치인 200으로 처리한다. Sigma 값은 실험을 통해 1.0에서 1.2사이에서 좋은 결과가 나타난다는 것을 알 수 있었다.(그림 4)



(a)

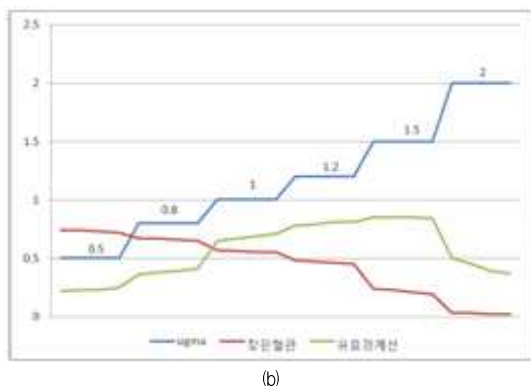


그림 4. Sigma 값에 따른 혈관 경계선 추출과 유효율 (a) sigma 값이 1.2에서 최상의 경우 (b) sigma 값이 1.0에서 최상의 경우
Fig. 4. The ratio of the vessel edge detected using Canny edge detection and the significant edge (a) The best case in sigma=1.2 (b) The best case in sigma=1.0

수동으로 혈관을 추출한 수동결과와 비교했을 때, sigma 값이 1.0 미만인 경우에는 지나치게 많은 혈관의 경계선을 추출하기 때문에 수동으로 추출된 혈관과 일치하는 유효한 경계선의 비율이 낮아진다. 결국 처리하는 시간은 길어지고 효율은 떨어진다. Sigma 값이 1.2 이상에서는 추출된 혈관 경계선의 양이 많지 않아 유효한 경계선의 비율은 높아지지만 원하는 혈관을 모두 찾지 못하였다. Sigma 값에 따라 추출되는 혈관의 정도는 그림 5와 같다. 그림 5의 (a) - (d)는 그림 4의 (a)에 해당하는 영상(data 1)에서, 그림 5의 (e) - (h)는 그림 4의 (b)에 해당하는 영상(data 2)에서, sigma 값의 변화에 따라 다르게 추출되는 혈관의 경계선을 보여준다. 간의 밝기에 영향을 받지 않고 최적의 혈관추출을 처리하기 위하여 sigma 값은 1.1을 선택한다.

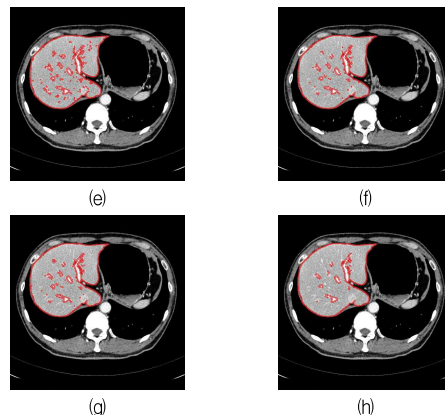
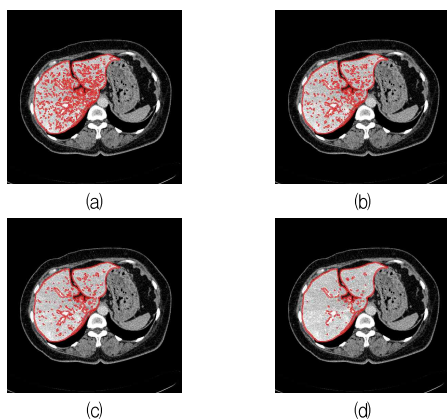


그림 5. Canny 알고리즘을 이용하여 간 혈관 경계선 추출 (High threshold=255, low threshold=200)

(a)sigma=1.0 in data 1 (b)sigma=1.1 in data 1
(c)sigma=1.2 in data 1 (d)sigma=1.4 in data 1
(e)sigma=1.0 in data 2 (f)sigma=1.1 in data 2
(g)sigma=1.2 in data 2 (h)sigma=1.4 in data 2

Fig. 5. Boundary of hepatic vessel using Canny algorithm (High threshold=255, low threshold=200)
(a)sigma=1.0 in data 1 (b)sigma=1.1 in data 1
(c)sigma=1.2 in data 1 (d)sigma=1.4 in data 1
(e)sigma=1.0 in data 2 (f)sigma=1.1 in data 2
(g)sigma=1.2 in data 2 (h)sigma=1.4 in data 2

2.2 간 내부의 후보 혈관 추출

혈관의 경계선을 찾는 작업이 완료되면, 그 경계선을 기준으로 픽셀의 밝기를 이용[9][10]하여 혈관에 해당되는 픽셀들을 결정한다. 조영제의 확산 정도가 사람마다 다르기 때문에 이러한 픽셀 값들의 범위는 경우에 따라 약간의 차이를 보일 수도 있다. Filtering을 위한 threshold는 각 영상들의 간 밝기를 기준으로 다음 표 2와 같이 정의한다.

표 2. 간 평균 밝기에 따른 threshold
Table 2. Thresholds according to liver intensity

간 평균 밝기 X	Filtering Threshold	Connected Element Finding Threshold
$170 > X \geq 160$	200	190
$180 > X \geq 170$	220	200
$190 > X \geq 180$	230	210
$210 > X \geq 190$	240	230
$X \geq 210$	250	240

2.3 여러 수정

누락된 혈관을 최대한 더 추출하기 위하여 혈관 픽셀이 가질 수 있는 밝기의 최소값을 설정하고 각 슬라이드에서 앞과

뒤의 슬라이드에 혈관의 연결 상태를 확인하면서 최소값까지 혈관을 확장시킨다. 이때 사용하는 최소 명암값은 표 2에서 보여지듯이 각 영상들의 간 평균 밝기를 기준으로 정의된다.

추출된 후보 혈관 픽셀들 중 수평과 수직 방향의 주변 픽셀들과 연결 없이 독립적으로 존재하는 단일 픽셀들을 노이즈로 판단하고 제거한다. 5X5 템플릿의 3층 구조로 구성된 2단계 노이즈 제거 시스템은 그림 6에서 보여진다. 첫 단계에서는 수평방향으로 노이즈를 검출한다 (그림 6의 파란색 화살표 방향). 5X5 템플릿로 한 슬라이드의 이미지를 스캔하면서 중앙의 3X3 격자에 위치한 픽셀들이 주변 16개의 픽셀과 연결이 없는지 확인한다. 두 번째 단계에서는 수직방향으로 노이즈를 검출한다 (그림 6의 빨간색 화살표 방향). 수평방향에서 연결성이 없는 혈관 후보 픽셀들은 다시 앞뒤슬라이드에서 연결성을 확인하여 모든 방향으로 연결이 없는 픽셀들을 노이즈로 판단하고 제거한다. 노이즈를 제거한 혈관의 상태는 그림 7과 같다.

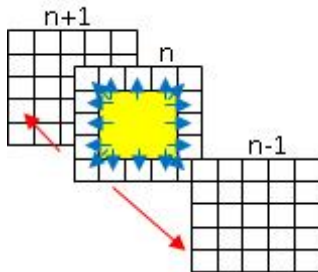


그림 6. 노이즈 제거 시스템
Fig. 6. A system for removing noise

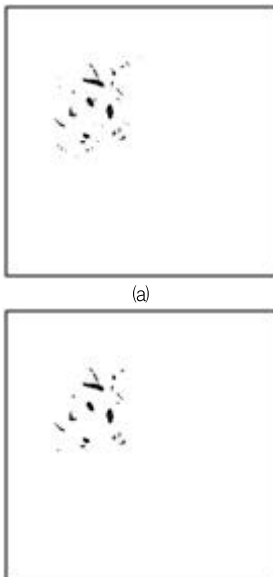


그림 7. 노이즈가 제거된 혈관 이미지 (a) 추출된 후보 혈관 (b) (a)영상에서 수평방향의 노이즈가 제거된 혈관 (c) (b)영상에서 수직방향의 노이즈가 제거된 혈관

Fig. 7. The hepatic vessel images removed noise
(a)Segmented the hepatic candidate vessel (b)The hepatic vessel removed the isolated noise in the same slice (c)The hepatic vessel removed the isolated noise in the adjacent slices

노이즈 제거 시스템을 이용한 결과 주요 혈관을 이루지 못하고 3차원 영상에서 안개와 같은 형상으로 나타나는 혈관 주변의 점들이 제거되어 보다 명확하게 주요 혈관들의 형태를 확인할 수 있다.

IV. 결과

Edge detection, filtering, 3차원적인 연결성, 그리고 noise를 제거하는 방법으로 그림 8과 같이 간 내부의 혈관을 정확하게 추출할 수 있었다. 추출된 간 내부 혈관의 3차원 영상[11]은 그림 9와 같다.

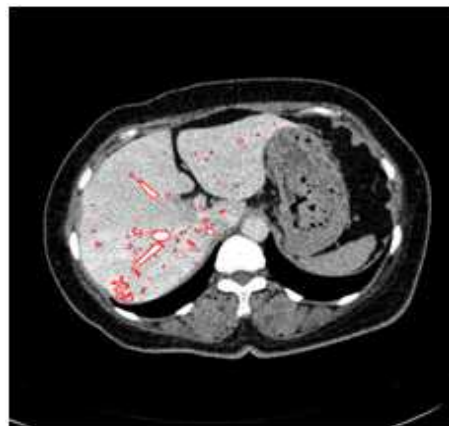


그림 8. 추출된 간 내부 혈관
Fig. 8. Segmented hepatic vessel

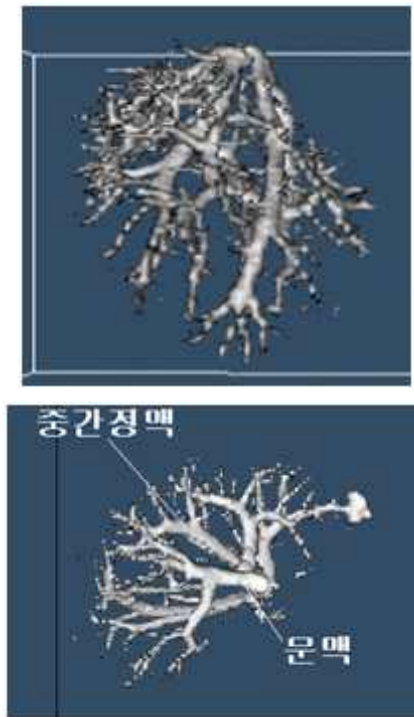


그림 9 추출된 간 내부 혈관의 3차원 영상
Fig. 9 3D image of the segmented hepatic vessel

V. 결론

간이식에서는 간의 좌엽과 우엽을 구분하기 위해 문맥의 중심부와 중간 정맥을 정확하게 인식하는 것이 중요하지만, 질병이 존재하여 간의 일부분을 제거하는 수술에 있어서는 간 내부의 정맥 모양이 모두 자세하게 추출되어야 한다[10]. 환자마다 신체상의 차이가 존재하므로 같은 내부 기관이라 하더라도 위치, 크기, 모양 그리고 주변 조직과의 관계가 같을 수 없으며, 조영제를 이용하여 혈관을 촬영하는 경우에도 환자에 따라 조영제가 퍼지는 속도와 정도에 차이가 있을 수 있다.[3] 본 알고리즘은 이러한 영상 차이에 영향을 받지 않을 뿐 아니라 인식된 혈관의 모양 변형 없이 혈관의 상태를 정확히 보여준다.

의료영상 보조처리장치에서 자동 인식 이전에 간단한 방법으로 의사의 의도와 판단을 추가시킨다면, 보다 정확한 환자 상태를 파악하고 진단할 수 있을 것이다.

Reference

- [1] A. Radtke, G. C. Sotiropoulos, S. Nadalin, E. P. Molmenti, T. Schroeder, and et al., "Preoperative Volume Prediction in Adult Live Donor Liver Transplantation: 3-D CT Volumetry Approach to Prevent Miscalculations," *Eur J Med Res*, vol.13, pp.319-326, July 2008.
- [2] Fulcher AS, Szucs RA, Bassignani MJ, and Marcos A, "Right lobe living donor liver transplantation: preoperative evaluation of the donor with MR imaging," *AJR Am J Roentgenol*, Vol.176, pp.1483-1491, 2001.
- [3] Michael J. Guiney, Jonathan B. Kruskal, Jacob Sosna, and et al., "Multi-Detector Row CT of Relevant Vascular Anatomy of the Surgical Plane in Split-Liver Transplantation," *Radiology*, Vol.229, No.2, pp.401-407, Nov. 2003.
- [4] B. D. Thackray and A. C. Nelson, "Semiautomatic segmentation of vascular network images using a rotating structuring element(ROSE) with mathematical morphology and dual feature thresholding," *IEEE Trans. on Medical Imaging*, Vol.12, No.3, pp.385-392, Sept. 1993.
- [5] Adams R. and Bischof L., "Seeded region growing," *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, Vo.16, pp.641 - 647, 1994.
- [6] Jeongjoo Seo, Gangmin Ryu, Yang Fei, and Jongwon Park, "Segmentation of Liver on MDCT Image," *Proceedings of KISS Korea Computer Congress 2005*, Vol.32, No.1(B), pp.802-804, 2005.
- [7] Mohamed Roushdy, "Comparative Study of Edge Detection Algorithms Applying on the Grayscale Noisy Image Using Morphological Filter," *GVIP Journal*, Vol.6, Issue 4, pp.17-23, December 2006.
- [8] Canny, J., "A Computational Approach to Edge Detector", *IEEE Transactions on PAMI*, pp. 679-698, 1986.
- [9] Michelle Doherty, Nicole Bordes, Thomas Hugh, and Bernard Pailthorpe, "3D Visualisation of

- Tumours and Blood Vessels in Human Liver,”
VIP2002, Vol. 22, pp.27-31, 2003.
- [10] Jonathan B. Kruskal and Robert A. Kane,
“Intraoperative US of the Liver: Techniques
and Clinical Applications,” RadioGraphics,
vol.26, No.4, pp.1067-1084, 2006.
- [11] Will Schroeder, Den Martin, Bill Lorensen, The
Visualization Toolkit An Object-Oriented
Approach To 3D Graphics, Third Edition,
Kitware Inc., USA.

저 자 소 개



서정주

1990 : 충남대학교 계산통계학과 이학사.
1993 : 충남대학교 전산학과 이학석사.
현재 : 충남대학교 정보통신공학과 박사
사수료.
관심분야 : 영상처리, 의료영상처리
Email : jjseo@cuvic.cnu.ac.kr



박종원

1979 : 충남대학교 전자공학과 공학사.
1981 : 한국과학기술원 전산과 이학석사.
1991 : 한국과학기술원 전산과 이학박사.
현재 : 충남대학교 정보통신공학과 교수.
관심분야 : 영상처리, 병렬 컴퓨터 구조,
의학 영상처리
Email : jwpark@cnu.ac.kr