

Automatic Liver Segmentation on Abdominal Contrast-enhanced CT Images for the Pre-surgery Planning of Living Donor Liver Transplantation

Yujin Jang, M.S.¹, Helen Hong, Ph.D.¹, Jin Wook Chung, M.D.²

¹Department of Multimedia Engineering, College of Information and Media, Seoul Women's University, Seoul, Korea

²Department of Radiology, Seoul National University Hospital, Seoul, Korea

Purpose For living donor liver transplantation, liver segmentation is difficult due to the variability of its shape across patients and similarity of the density of neighbor organs such as heart, stomach, kidney, and spleen. In this paper, we propose an automatic segmentation of the liver using multi-planar anatomy and deformable surface model in portal phase of abdominal contrast-enhanced CT images.

Method Our method is composed of four main steps. First, the optimal liver volume is extracted by positional information of pelvis and rib and by separating lungs and heart from CT images. Second, anisotropic diffusing filtering and adaptive thresholding are used to segment the initial liver volume. Third, morphological opening and connected component labeling are applied to multiple planes for removing neighbor organs. Finally, deformable surface model and probability summation map are performed to refine a posterior liver surface and missing left lobe in previous step.

Results All experimental datasets were acquired on ten living donors using a SIEMENS CT system. Each image had a matrix size of 512 x 512 pixels with in-plane resolutions ranging from 0.54 to 0.70 mm. The slice spacing was 2.0 mm and the number of images per scan ranged from 136 to 229. For accuracy evaluation, the average symmetric surface distance (ASD) and the volume overlap error (VE) between automatic segmentation and manual segmentation by two radiologists are calculated. The ASD was 0.26 ± 0.12 mm for manual1 versus automatic and 0.24 ± 0.09 mm for manual2 versus automatic while that of inter-radiologists was 0.23 ± 0.05 mm. The VE was $0.86 \pm 0.45\%$ for manual1 versus automatic and $0.73 \pm 0.33\%$ for manual2 versus automatic while that of inter-radiologists was $0.76 \pm 0.21\%$.

Conclusion Our method can be used for the liver volumetry for the pre-surgery planning of living donor liver transplantation.

Key Words Living donor liver transplantation · Abdominal CT image · Liver volumetry · Liver segmentation.

Received: July 11, 2014 / Revised: July 11, 2014 / Accepted: July 15, 2014

Address for correspondence: Helen Hong, Ph.D.

Department of Multimedia Engineering, College of Information and Media, Seoul Women's University, 621 Hwarang-ro, Nowon-gu, Seoul, Korea

Tel: 02-970-5756, Fax: 02-970-5981, E-mail: hlhong@swu.ac.kr

서 론

전이성 간암이나 간 세포암과 같은 간 질환으로 인한 생체 간 이식술의 수술 계획 및 방사선 치료와 고주파 응고 치료의 효과를 관찰하기 위하여 전산화단층촬영영상(CT: computed tomography)에서 간 분할은 우선적으로 수행되어야 하는 과정이다. 그러나, CT 영상에서 간은 심장, 위, 비장 등 주변 기관의 밝기값과 유사하고, 사람에 따라 간의 형태와 크기가 다양하게

나타나기 때문에 자동으로 분할하는데 한계가 있다 (Fig. 1).

CT 영상에서 간을 자동으로 분할하는 기존 연구로는 밝기값 및 기울기 기반 분할기법, 분류화 기반 분할기법, 형태정보 기반 분할기법으로 나누어 살펴볼 수 있다. 먼저, 밝기값 및 기울기 정보 기반의 분할기법은 주변 조직과 유사한 밝기값을 가지는 부위에서 경계 정보가 불명확하기 때문에 정확하게 분할하기 어려운 문제점을 가진다¹⁻⁶ 분류화 기반의 분할기법은 밝기값 정보를 기반으로 분류하기 때문에 간과 밝기값이 유사한 주변기관

방 법

이 인접해 있는 영역에서 정확하게 분할하기 어렵고 최적화하는데 수행시간이 오래 걸리는 문제점을 가지며⁷⁻¹⁰ 형상정보 기반 분할기법은 주변과 밝기값이 유사한 영역에서 비교적 정확하게 분할될 수 있지만 간의 크기와 형상은 사람에 따라 다양하게 나타나고, 특히 좌엽의 변이가 크기 때문에 혼련 집합의 형상정보에 의해 분할 정확성의 영향을 많이 받는 한계점을 가진다.¹¹⁻¹⁷

본 논문에서는 간의 밝기값과 유사한 신장, 위, 비장과 같은 주변기관을 제거하기 위하여 다단면도의 해부 정보를 사용하는 주변기관 제거 기법을 제안하고, 서로 다른 환자간의 간 형상 및 동일 환자의 각 슬라이스간 간 형상의 다양성으로 인해 발생하는 자동 분할의 한계점을 극복하기 위하여 변형모델과 확률 누적맵을 통해 간의 형상이 다양하더라도 견고하게 분할하는 기법을 제안한다.

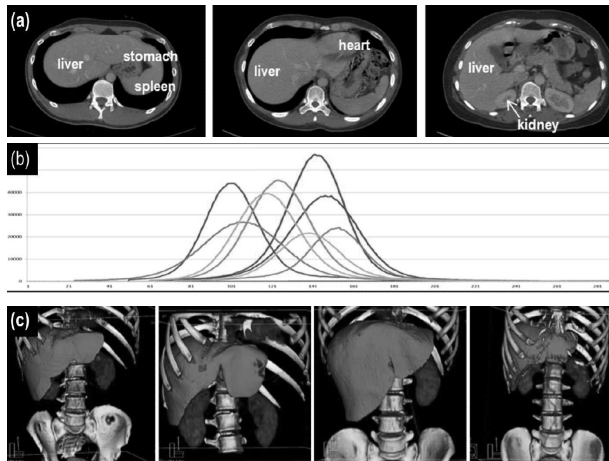


Fig. 1. 3The challenging issues of liver segmentation in abdominal contrast-enhanced CT image : (a) Intensity similarity of neighbor organs such as heart, stomach, kidney and spleen (b) Variability of liver intensity across patients (c) Variability of liver shape across patients.

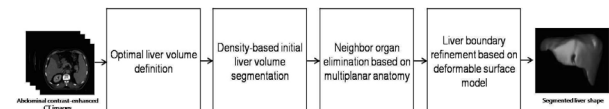


Fig. 2. The pipeline of the proposed method for liver segmentation using multi-planar anatomy and deformable surface model in abdominal contrast-enhanced CT images.



Fig. 3. The definition of optimal volume circumscribing a liver: (a) side bounding is defined in middle axial plane, (b) lower bounding is defined in middle coronal plane, and (c) upper bounding is defined in each coronal plane.

본 논문의 제안방법은 최적볼륨영역 선정, 후보 간 영역 추출, 주변기관 제거 그리고 간 외곽선 보정의 네 단계로 이루어진다 (Fig. 2).

첫째, 간 부위를 포함하는 최적의 간 볼륨을 추출하기 위하여, 관상 단면도에서 밝기값 기반의 폐 및 심장 분할기법을 통해 상단경계를 정의하고 골반뼈 및 갈비뼈 인식 기법을 통해 하단경계를 정의하며, 축상 단면도에서 갈비뼈 인식 기법을 통해 측면 경계를 정의한다 (Fig. 3).

둘째, 선정된 최적 간 볼륨에서 간 후보영역을 추출하는 초기 간 볼륨 분할 기법을 수행하기 위하여 비등방성 발산 필터링¹⁸을 통해 간의 밝기값 정보를 갖는 영역을 강조하고 적응적으로 산출되는 임계치 값을 통해 초기 간 볼륨을 분할한다.

셋째, 밝기값 정보를 이용한 초기 간 분할 시 간과 유사한 밝기값으로 표현되는 주변조직과 신장, 위 그리고 비장과 같은 주변기관이 함께 검출되는 한계점을 해결하기 위하여 다단면도에서 해부 정보를 이용한 주변기관 제거 기법을 제안한다. 축상 단면도에서 간과 주변 기관들은 유사한 밝기값 정보를 가지고 있을 뿐 아니라 서로 인접하여 나타나는 해부 정보를 가지고 있기 때문에 간과 주변기관이 인접한 위치의 수직 단면도를 이용하여 주변기관을 효율적으로 제거한다. 간 영역 주변의 작은 조직 및

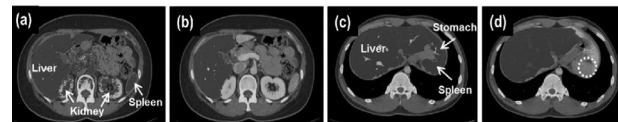


Fig. 4. The effect of neighbor organ elimination : (a) initial liver volume in axial plane, (b) elimination of the kidney in axial plane, (c) stomach and spleen are attached to the initial liver volume in axial plane, and (d) segmented liver after neighbor organ elimination.

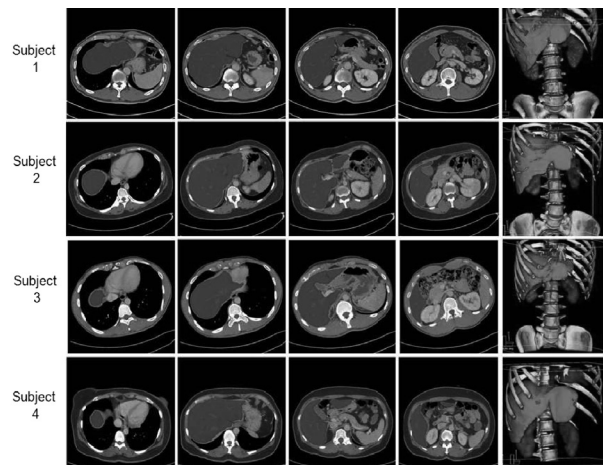


Fig. 5. The results of proposed method in 2D and 3D views.

신장 제거 과정은 축상 단면도에서 열림연산 (opening operator)을 통해 주변의 작은 조직을 제거하고, 연결영역 레이블링 기법을 통해 가장 큰 간 영역을 추출함으로써 신장을 제거한다. 비장 및 위는 축상 단면도에서 간과 인접하여 나타나는 반면 관상 단면도에서는 간과 분리되어 나타나기 때문에 관상 단면도에서 연결영역 레이블링 기법을 적용함으로써 비장과 위 영역을 효율적으로 제거한다 (Fig. 4).

마지막으로, 변형모델을 이용하여 간의 후표면을 부드럽게 보정하고, 주변기관제거 단계에서 손실된 좌엽 부위를 검출한다. 이 때, 변이가 큰 데이터의 경우 좌엽의 일부 영역이 주변기관으로 인식되어 손실되는 문제를 해결하기 위하여 관상 단면도에서 분할정보를 통해 산정된 확률 누적맵을 이용하여 형상 변이가 큰 간의 경계선을 보정한다.

결 과

1. 실험 데이터

본 실험에서 사용한 데이터는 SIEMENS CT로 촬영한 복부 조영증강 영상으로 10명의 생체 간 기증자 데이터에 적용되었다. 성별을 기준으로 데이터를 분류해 보았을 때 남자 데이터는 6개 여자 데이터는 4개로 실험하였고, 나이를 기준으로 데이터를 분류해 보았을 때 20~39세를 가지는 데이터는 7개 40~59세를 가지는 데이터는 3개로 실험하였다. 영상 크기는 512×512 , 픽셀 크기는 0.54~0.7mm, 슬라이스 간격은 2.0mm이며 전체 슬라이스는 136~229장이다.

2. 실험 결과

본 제안방법의 정확성을 평가하기 위하여 육안평가와 임상 의의 수동분할 결과와 제안방법간의 평균대칭표면거리와 중복볼륨오류를 측정하였다. 육안평가는 2차원 분할결과와 3차원 표면렌더링 결과를 통해서 심장, 신장, 위, 그리고 비장과 같은 간과 밝기값이 유사하게 나타나는 주변기관의 경계선에서 정확하게 분할되었음을 알 수 있다 (Fig. 5).

정확성 평가 중 평균대칭표면거리는 두 명의 임상전문가가 수동분할 한 결과와 제안방법을 이용하여 자동 분할 한 결과인 간형상의 표면 거리를 식 1과 같이 측정한다.

$$ASD(A, B) = \frac{1}{N(A)+N(B)} \left(\sum_{s_i \in S(A)} D(s_i, S(B)) + \sum_{s_i \in S(B)} D(s_i, S(A)) \right)$$

$$D(a, b) = \sqrt{(a_x - b_x)^2 + (a_y - b_y)^2} \quad (1)$$

이 때, S (A)는 자동 분할한 표면상의 정점을 나타내고, S (B)

는 수동 분할한 표면상의 정점을 나타내며, N (·)분할된 표면을 구성하는 정점 수를 나타낸다. D (a,b)는 유클리디안 거리이다. 실험 결과 수동분할1, 수동분할2, 자동 분할에 대한 외곽선 간 평균 거리 차이와 표준편차는 수동분할 1 : 자동 분할에서 $0.26 \pm 0.12\text{mm}$, 수동분할2 : 자동 분할에서 $0.24 \pm 0.09\text{mm}$, 그리고 수동분할1 : 수동분할2는 $0.23 \pm 0.05\text{mm}$ 로 측정되었다. 수동분할 간 차이는 0.3mm 이내의 작은 수치로 측정되었으며 자동분할과 수동분할의 차이도 0.3mm 이내의 픽셀 크기보다 작은 수치로 측정되어 제안방법을 통해 정확하게 분할되었음을 알 수 있다. 정확성 평가 중 중복볼륨오류는 두 명의 임상 전문가가 분할 한 결과와 제안방법을 적용한 결과의 볼륨 간 중복비율의 오류를 식 2와 같이 측정한다.

$$\Omega = \left(1 - \frac{A \cap B}{A \cup B} \right) \times 100 \quad (2)$$

이 때, A는 자동분할 결과의 복셀 개수이고, B는 수동분할 결과의 복셀 개수를 나타낸다. 측정된 중복볼륨오류의 평균과 표준편차는 자동분할 : 수동분할1에서 $0.86 \pm 0.45\%$, 자동분

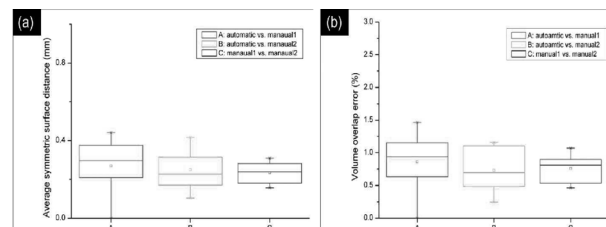


Fig. 6. The accuracy evaluation of segmentation results of the proposed method comparison with the manually outlining results drawn by two radiologists according to symmetric surface distance and volume overlap error. (a) Average symmetric surface distance and (b) volume overlap error.

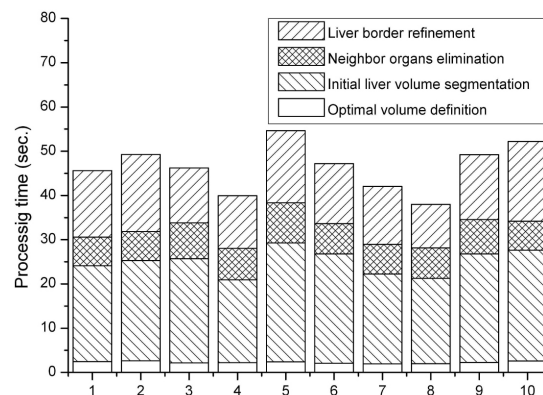


Fig. 7. Processing time per subject of proposed liver segmentation method in each step: optimal volume definition (2.26 sec.), initial liver volume segmentation (22.74 sec.), neighbor organs elimination (7.2 sec.) and liver border refinement (14.23 sec.).

할 : 수동분할2에서 $0.73 \pm 0.33\%$, 그리고 수동분할1 : 수동분할2는 $0.76 \pm 0.21\%$ 측정되었다. 중복볼륨오류 측정 결과 1% 이내의 오류 비율을 나타낸 것으로 제안방법을 통해 정확하게 분할되었음을 알 수 있다 (Fig. 6).

본 실험은 인텔 코어 i7 920 2.6GHZ CPU와 4.0GB 메모리를 장착한 PC에서 수행하였다. 제안방법의 평균 수행시간은 46초 이고, 최적 경계영역 산정 단계에서 2.26초, 초기 간 분할 단계에서 22.74초, 주변기관 제거 단계에서 7.20초 그리고 최종 간 분할 단계에서 14.23초 소요되었다. 최적 경계영역 산정 단계에서는 평균 2초 내외의 가장 짧은 수행시간만을 필요로 했으며, 초기 간 분할 단계에서는 비등방성 확산 필터링의 수행으로 인하여 가장 많은 수행시간을 필요로 했다 (Fig. 7).

결 론

본 논문에서는 복부 조영강조 CT영상에서 다단면도의 해부학 정보와 변형모델 기반의 간 자동 분할 기법을 개발하였다. 간의 밝기값과 유사하게 나타나는 주변 기관이 초기 간 영역으로 검출되는 문제점은 다단면도의 해부학 정보를 이용하는 주변기관제거 기법을 통해 해결 할 수 있었고, 주변기관제거 기법 수행 시 간의 일부 영역이 손실되는 한계점을 해결하기 위하여 제안한 간 경계선 보정 단계는 변형모델을 통해 간의 후표면을 부드럽게 보정하였으며, 적합된 변형모델의 곡률정보를 이용하여 손실된 좌엽의 위치를 검출하고 견고하게 분할하였다. 특히 해부학적으로 다양한 형상으로 나타나는 간의 좌엽은 분할차이 누적맵을 이용하여 간 경계선을 보정함으로써 정확하게 분할 할 수 있었다. 제안방법의 정확성 평가 결과 평균대칭표면거리차이는 $0.31 \pm 0.19\text{mm}$ 로 한 개의 픽셀 크기보다 작게 측정되었고, 중복볼륨오류는 0.86 ± 0.45 로 1%이하의 수치가 측정되었다. 또한, 제안방법을 적용한 자동분할의 수행시간은 평균 46초로 1분 이내의 빠른 수렴을 보였다. 본 제안방법은 생체 간 이식술 계획과 방사선 요법을 이용한 간암 치료에 활용될 수 있다.

Acknowledgements

This work was supported by Industrial Strategic technology development program, 10038419, Intelligent image diagnosis and therapy-support system funded by the Ministry of Knowledge Economy (MKE, Korea)

참 고 문 헌

1. L. Massoptier, S. Casciaro, "A new fully automatic and robust algorithm for fast segmentation of liver tissue and tumors from CT scans," *Eur. Radiol.* vol. 18, no. 8, pp. 1658-1665, 2008
2. P. Campadelli, E. Casiraghi, A. Esposito, "Liver segmentation from computed tomography scans: a survey and a new algorithm," *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 45, pp. 185-196, 2009
3. A. H. Foruzan, R. A. Zoroofi, M. Hori, Y. Sato, "A knowledge-based technique for liver segmentation in CT data," *Computerized Medical Imaging and Graphics*, vol. 3, no. 8, pp. 567-587, 2009
4. A. H. Foruzan, R. A. Zoroofi, Hori, Y. Sato, "Liver segmentation by intensity analysis and anatomical information in multi-slice CT images," *Int. J. CARS2009* vol.4, no. 3, pp. 287-297, 2007
5. F. Liu, B. Zhao, P. K. Kijewski, "Liver segmentation for CT images using GVF snake," *Medical Physics* vol. 32, no. 12, pp.3699-3707, 2005
6. L. Rusko, G. Bekes, M. Fidrich, "Automatic segmentation of the liver from multi- and single-phase contrast-enhanced CT images," *Medical Image Analysis*, vol. 13, no. 6, pp. 871-882, 2009
7. D. Furukawa, A. Shimizu, H. Kobatake, "Automatic liver segmentation method based on maximum a posterior probability estimation and level set method," *MICCAI Workshop 3-D Segmentation Clinic: A Grand Challenge*, pp.117-124, 2007
8. E. van Rikxoort, Y. Arzhaeva, B. van Ginneken, "Automatic segmentation of the liver in computed tomography scans with voxel classification and atlas matching," *MICCAI Workshop 3-D Segmentation. Clinic: A Grand Challenge*, pp. 101-108, 2007
9. R. Susomboon, D. S. Raicu, J. Furst, "A hybrid Approach for Liver Segmentation," *MICCAI2009, Grand Challenge*, pp. 151-160, 2009
10. M. Freiman, O. Eliassaf, Y. Taieb, L. Joskowicz, Y. Azraq, J. Sosna, "An iterative Bayesian approach for nearly automatic liver segmentation_algorithm and validation," *Int. J. CARS*, vol. 3, no. 5, pp. 439-446, 2008
11. D. Kainmuller, T. Lange, H. Lamecker, "Shape constrained automatic segmentation of the liver based on an heuristic intensity model," *MICCAI Workshop 3-D Segmentation Clinic: A Grand Challenge*, pp.109-116, 2007
12. T. Heimann, H.-P. Meinzer, and I. Wolf, "A statistical deformable model for the segmentation of liver CT volumes," in *Proc MICCAI Workshop on 3D Segmentation in the Clinic: a Grand Challenge*, 2007, pp. 161-166, 2007
13. J. Liu, J. K. Udupa, "Oriented active shape models," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 28, no. 4, pp. 571-584, 2009
14. X. Zhang, J. Tian, K. Deng, Y. Wu, X. Li, "Automatic liver segmentation using a statistical shape model with optimal surface detection," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 57, no. 10, pp. 2622-2626, 2010
15. A. Wimmer, G. Soza, J. Hornegger, "A generic probabilistic active shape model for organ segmentation," *MICCAI2009* vol. 5765, pp. 26-33, 2009
16. M. G. Linguraru, J. K. Sandberg, Z. Li, J. A. Pura, R. M. Summers, "Atlas-based automated segmentation of spleen and liver using adaptive enhancement estimation," *MICCAI2009*, vol. 5762, pp.1001-1008, 2009
17. M. G. Linguraru, et.al., "Automated liver segmentation using a normalized probabilistic atlas," *Medical Imaging 2009, Proc. of SPIE*, vol.7262, pp. 72622R-72622R-8, 2009
18. P. Perona, J. Malik : "Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 12, no. 7, pp. 629-639, 1990