

레이블링 기반 탐색 알고리즘을 이용한 CT 영상에서 간 영역 분할 기법

임성재¹, 정용연², 호요성¹

¹광주과학기술원, ²전남대학교 의과대학
전화 : 062-970-2263

Labeling-based Search Algorithm for Liver Segmentation in CT Images

Seong-Jae Lim¹, Yong-Yeon Jeong², Yo-Sung Ho¹

¹Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)

²Chonnam National University Medical School

E-mail : {sjlim, hoyo}@gist.ac.kr, yjeong@chonnam.ac.kr

Abstract

In this paper, we propose a new algorithm for automatic segmentation of the liver in CT images. In order to simplify its processing, we investigate the intensity distribution of several samples of the liver and adjacent muscle while exploiting a priori medical information. The proposed scheme utilizes recursively morphological filtering with region labeling and clustering to detect the search range for the liver boundary and the initial liver contour. Then, we segment the final liver contour using the labeling-based search algorithm based on local features of the liver contour. This algorithm produces a gradient image within the search range to search the contour of the liver.

I. 서론

간(liver)은 인체에서 중요한 장기 중 하나로 동양에서는 간 세포암이, 서양에서는 전이암이 흔한 장기로 방사선과 의사들에게 높은 관심을 갖는 장기 중 하나이다. 현재 컴퓨터 단층 촬영(computed tomography, CT)과 자기 공명 영상(magnetic resonance imaging, MRI)은

간암 진단을 위한 정확한 비침습 방법으로 사용되고 있다. 그러나, 이러한 의료 영상은 방사선과 의사에 의해 관독되므로 체계적이지 못한 탐색 패턴, 영상에 구조적 잡음 존재, 수많은 양의 영상 데이터 및 임상 정보의 해석 등의 이유로 효율적이고 정확하지 못한 관독 결과를 나타낼 수 있다. 그러므로, 최근에는 방사선과 의사가 질환의 진단을 정확하고 일관적이며 효율적으로 진행할 수 있도록 보조하는 컴퓨터 보조 진단(computer-aided diagnosis, CAD) 시스템이 개발되고 있다.

그러나 유방(breast)이나 폐(lung)의 CAD는 많은 연구가 이루어졌으나 간 CT의 CAD는 연구가 미흡하다 [1]. 간 CT의 CAD 연구가 미미한 이유는 CAD 시스템에서 필수적이며, 가장 기초 단계인 간 영역의 자동 분할이 어렵기 때문이다. 즉, CT에서 간 영역은 근접해 있는 주변의 다양한 기관과 경계가 모호하고, 명암 값이 유사하며, 사람마다 간의 형태가 일정하지 않기 때문이다. 또한, 간 CT가 갖는 PVE(partial volume effect) 특징이 이웃한 기관과의 경계를 더욱 모호하게 하기 때문이다.

본 논문은 복부 CT 영상에서 간에 대한 의학적 사전 지식과 반복적 수리 형태학 필터에 기반을 둔 레이블링 기반 탐색 알고리즘을 이용하여 간 영역을 자동으로 분할하는 알고리즘을 제안한다.

II. 제안된 간 영역 분할 기법

간은 주로 근육과 위 기관과 근접해 있으며, 그들과 명암 값이 유사하여 직접적인 간 추출 기법들은 **fault positive/negative** 오류를 발생시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위해 영상 단순화 과정, 반복적 형태학적 필터를 이용한 탐색 영역 검출 및 초기 간 경계 검출 과정, 마지막으로 레이블링 기반 탐색 알고리즘을 이용한 윤곽선 기반 분할 과정으로 구성된 새로운 분할 기법을 제안한다.

그림 1은 제안된 알고리즘의 전체 블록도이다.

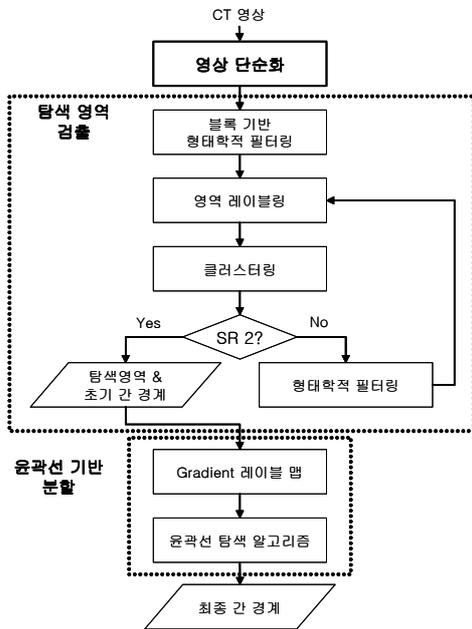


그림 1. 알고리즘 블록도

2.1 영상 단순화

간 영역은 일반적으로 복부 CT 영상의 좌측에 위치하고 있으며 간 영역이 갖는 일반적인 평균과 표준편차가 사람마다 큰 차이가 없이 균질성을 보인다. 그래서, 영상의 단순화를 위해서 간의 위치와 휘도 정보 같은 간 CT가 갖는 의학적 사전 지식을 이용한다.

먼저, 512x512 크기의 복부 CT 영상을 겹치지 않는 64x64 크기의 블록들로 나누고, 관심영역을 그림 2와 같이 설정한다. 이렇게 설정된 관심영역에 수동 분할한 여러 샘플들의 명암 값 분포를 분석하여 결정된 간 영

역의 평균과 표준편차를 이용하여 다중 레벨 이치화를 수행한다 [2].

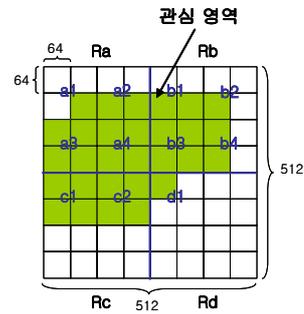


그림 2. 관심 영역

2.2 탐색 영역 검출

정확한 간 경계를 찾기 위해 단순화된 영상에 수리 형태학적(mathematical morphology) 필터를 이용하여 탐색 영역을 검출한다. 이것은 수리 형태학이 객체 지향적인, 즉 분할 지향적인 특징인 크기, 모양, 대조(contrast), 연결성 등을 효율적으로 처리할 수 있기 때문이다. 영역 검출을 위해 영상 $f(x,y)$ 에 대해 다중 크기 구조요소(multiscale structuring element) $B_n(l,m)$ 으로 침식과 팽창 연산을 수행한다. 식 (1)은 침식 연산을 나타내고, 식 (2)는 다중 크기 구조요소를 이용한 침식 연산을 나타낸다.

$$(f \otimes B_n)(x, y) = \min\{f(x+l, y+m) | (l, m) \in B_n\} \quad (1)$$

$$(f \otimes mB_n)(x, y) = \underbrace{\{((f \otimes B_n) \otimes B_n) \dots \otimes B_n\}}_{m \text{ times}}(x, y) \quad (2)$$

즉, 5x5와 3x3 크기의 다중크기 구조요소를 사용하여 m번의 연산을 수행한다.

첫 번째 탐색 영역을 설정하기 위해 적당한 차수의 다중크기 형태학적 열림(opening) 연산을 수행하여 이치화 영상에서 간 주변의 흩어진 다른 기관들과 조직들을 제거하고, 영역 레이블링과 k-means 클러스터링을 사용하여 간의 크기를 유지하며 1차 간 영역을 검출한다. 마지막으로 식 (3)과 같이 다른 차수의 침식연산과 팽창연산을 수행하므로 첫 번째 탐색 영역을 설정한다.

$$(f \circ iB_n)(x, y) = ((f \otimes iB_n) \oplus (i+j)B_n)(x, y) \quad (3)$$

두 번째 탐색 영역은 첫 번째 탐색 영역에서 검출

된 간 영역에 해당되는 원 영상에 다중크기 형태학적 닫힘(closing) 연산과 영역 레이블링, k-means 클러스터링을 수행하여 2차 간 영역을 검출한다. 이는 첫 번째 탐색 영역을 찾는 과정에서 손실된 간 영역을 복구하기 위한 것으로 식 (4)와 같이 다른 차수의 팽창과 침식 연산을 수행함으로 두 번째 탐색 영역을 설정한다.

$$(f \bullet iB_n)(x,y) = ((f \oplus iB_n) \otimes (i+j)B_n)(x,y) \quad (4)$$

최종 탐색 영역은 첫 번째 탐색영역에서 두 번째 탐색 영역을 뺀 영역이 된다.

2.3 윤곽선 기반 간 분할

탐색 영역 검출 과정에서의 초기 간 경계를 레이블링 기반 탐색 알고리즘을 이용하여 정제화 시켜 정확한 간 영역을 분할한다. 이를 위해, 경사(gradient) 레이블 맵을 만든다. 실험에 사용된 CT 데이터의 슬라이스 두께가 5mm이기 때문에 PVE가 경계 주변에서 나타난다. 이는 객체의 경계부분에서 점진적인 명암 값 변화를 보임으로 탐색 영역 내에서 각 객체에 대한 isolable 윤곽선을 나타내는 레이블 영상과 같게 된다. 레이블 영상에서 isolable 윤곽선을 강조하기 위해 형태학적 경사 연산을 수행한다. 경사 연산은 레이블 영상에서 객체의 경계부분, 즉 윤곽선 부분을 경사 크기로 강조함으로써 경사 레이블 맵을 구성한다.

경사 레이블 맵에서 간 영역이 갖는 명암 값 분포의 특징을 이용하여 간 경계의 패턴을 세 가지로 구분 지을 수 있다. 간이 낮은 명암 값을 갖는 공기 부분과 접해있는 경우, 높은 명암 값을 갖는 갈비뼈와 신장과 접해있는 경우, 마지막으로 비교적 낮은 명암 값으로 분포된 위와 폐 등과 접해있는 경우이다.

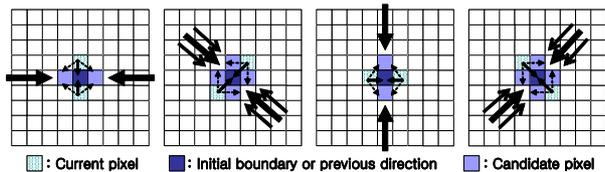


그림 3. 탐색 패턴

윤곽선 변형 기법은 경사 레이블 맵에서 초기 간 경계의 최 하단부부터 시계방향으로 최적의 경로를 찾아나

간다. 그림 3과 같이 현재의 화소에서 나아갈 세 화소를 후보 화소로 설정하고, 각 후보 화소에서 9x9 윈도우 내의 화살표로 표시된 주위 화소들을 고려하여 부분 비용 함수를 이용하여 가장 적은 비용을 갖는 경로를 찾는다.

부분 비용 함수는 식 (5)와 같이 세가지 특징을 갖는 함수로 구성된다.

$$l(p,q) = w_D \cdot f_D(p,q) + w_B \cdot f_B(q) + w_I \cdot f_I(q) \quad (5)$$

각 w 는 특징 함수들의 가중치며, p, q 는 경사 레이블 맵에서 두 이웃하는 화소, 그리고 $l(p,q)$ 는 p 에서 q 로 진행되는 경로의 부분 비용이다 [3].

$f_D(p,q)$ 는 두 화소 사이의 경사 방향 함수이며, $f_B(q)$ 는 초기 경계에 대한 후보 화소의 상태 즉, 경계의 내부 혹은 외부에 위치하는 경우 경계 쪽으로 유도하기 위한 가중 함수이고 $f_I(q)$ 는 화소의 탐색 패턴 성향을 나타내는 함수이다.

III. 실험 결과 및 분석

다양한 환자의 여러 샘플에 대해 실험을 하였고, 모든 샘플은 조영제가 삽입된 문맥기의 CT 영상이다. 다음 그림은 제안된 알고리즘의 각 과정의 결과를 보여준다. 그림 4는 영상 단순화 과정의 다중 레벨 이치화 영상을 나타내며, 이치화를 통해 다른 조직이나 기관을 상당히 제거했음을 알 수 있다. 그림 5는 형태학적 필터를 적용하여 간 영역을 유지하면서 주위 다른 기관이나 조직을 제거한 결과이다.

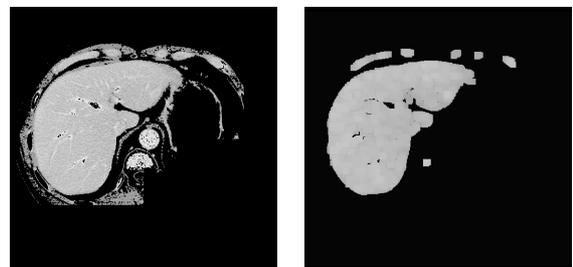


그림 4. 이치화 영상 그림 5. 형태학적 필터링

그림 6은 서로 다른 차수의 형태학적 필터링을 통해 간 경계를 위한 탐색 영역을 나타내며, 두 번째 탐색

영역의 확장으로 그림 7과 같이 윤곽선 변형 알고리즘의 지표를 위한 초기 간 경계를 검출한다.

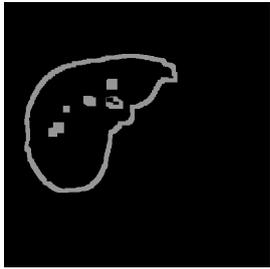


그림 6. 탐색 영역

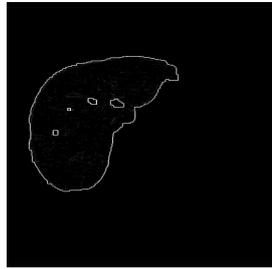


그림 7. 초기 간 경계

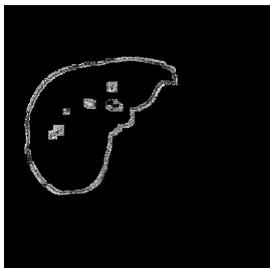


그림 8. 경사 레이블 맵

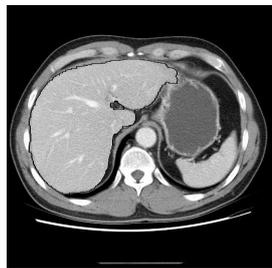


그림 9. 결과 영상

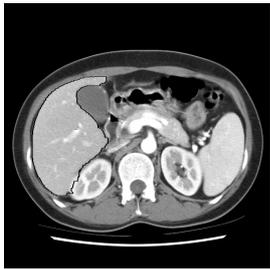


그림 10. 다른 샘플들의 실험 결과

그림 8은 경사 크기로 가중된 경사 레이블 맵을 나타내고, 그림 9는 경사 레이블 맵에서 레이블링 기반 탐색 알고리즘을 수행한 결과 얻은 최종 간 경계를 나타낸다. 그림 10은 다른 샘플들의 실험 결과이다. 제안된 알고리즘은 전문의에 의해 수동 분할된 결과와 exclusive-or 방법으로 비교 평가되었고, 평균 97%의 정확성을 보였다.

IV. 결론

본 논문에서는 사전 지식과 형태학적 필터링의 반복적 사용을 기반한 윤곽선 변형 기법을 사용하여 간 영역을

자동으로 분할하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 관심 영역 내에서 여러 간 샘플들의 명암 값 분포를 분석함으로써 영상을 단순화하였다. 또한, 영역 레이블링과 클러스터링을 수반한 다중 크기 구조요소를 적용한 형태학적 필터를 이용하여 윤곽선 변형 알고리즘을 위한 초기 간 경계와 탐색 영역을 검출하였다. 마지막으로 경사 레이블 맵에서 레이블링 기반 탐색 알고리즘을 사용하여 최종 간 경계를 검출하였다. PVE(partial volume effect)를 고려한 탐색 알고리즘은 경사 크기, 경사 방향, 그리고 명암 값 분포의 패턴 등을 계산하여 최적의 경로를 찾는다. 최종 결과는 전문의가 수동 분할한 결과와 비교하여 거의 오차가 없었으며, 이는 컴퓨터 보조 진단 시스템 (CAD)의 초기 단계로서 효율적인 간 영역 분할 알고리즘이라는 것을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 광주과학기술원(GIST)과 광주과학기술원 실감방송 연구센터를 통한 대학IT연구센터(ITRC), 그리고 교육부 두뇌한국21(BK21) 정보기술사업단의 지원에 의한 것입니다.

References

- [1] B.V. Ginneken, B.M. Romeny and M.A. Viergever, "Computer-Aided Diagnosis in Chest Radiography: A Survey," IEEE Trans. Medical Imaging, vol. 20, no. 12, Dec. 2001
- [2] S.J. Lim, Y.Y. Jeong, and Y.S. Ho, "Automatic Segmentation of the Liver in CT Images Using the Watershed Algorithm Based on Morphological Filtering," Proc. of the SPIE, vol. 5370, Feb. 2004
- [3] E.N. Mortensen, W.A. Brrett, "Interactive segmentation with intelligent scissors," Graphical Models and Image Processing, vol. 60, 1998