

워터셰드 변형을 이용한 폐 영상 분할

김희숙⁰, 탁정남^{*}, 이귀상^{*}, 김수형^{*}, 홍성훈^{**}

^{*}전남대학교 전산학과, ^{**}전남대학교 전자정보통신공학부

{tina0226⁰, tak0315}@hanmail.net, {gslee^{*}, shkim^{*}, hsh^{**}}@chonnam.ac.kr

Lung image segmentation by watershed transform

Hyesuk Kim⁰, Jeongnam Tak, Guesang Lee, Soohyung Kim, Sunghoon Hong

^{*} Dept. of Computer science, Chonnam national University

^{**} Dept. of Electronics Computer & Information Engineering, Chonnam national University

요 약

현재 의료 영상을 이용한 신속하고 정확한 진단과 치료를 위하여 각 기관별로 영상을 분할하는 방식이 기본적으로 사용되고 있다. 본 논문에서는 워터셰드(Watershed) 알고리즘을 이용하여 해부학적 기관 중 폐 영역을 분할하는 방식을 제안한다. 초기에 소벨 에지 마스크(Sobel Edge Mask)를 이용하여 윤곽선을 강조하여 워터셰드 알고리즘을 적용하였을 경우 과다 분할되는 문제점이 발생한다. 이를 해결하기 위하여 제거(Opening) 연산과 채움(Closing) 연산을 이용하여 마커(Marker) 정보를 추출하여 워터셰드 알고리즘을 재적용하여 폐 영역 이미지를 분할하였다. 본 논문에서 제안한 마커 정보를 이용한 워터셰드 재적용 방식은 폐 영역을 효율적이고 정확하게 추출한다.

1. 서 론

최근 의학 진단과 치료 분야에서 영상 분할(Image segmentation) 기법이 이미지 분석 및 시각화 시스템의 중요한 부분으로 이용되고 있다. 특히 의료 영상 분야에서 CT 검진 영상으로부터 혈관, 폐, 뇌, 뼈 등의 영역을 분리하는 기법으로 영상 분할 방식이 이용되고 있다. 영상 분할 방식으로 얻어진 각 기관의 이미지들은 실제로 신속한 의학 진단 및 치료에 도움을 줄 수 있어 의료 영상 분야에서 이미지 분석과 시각화 시스템의 중요한 부분으로 인식되고 있다. 본 논문은 해부학적 기관 중에서 폐 부분을 대상으로 영상을 분할하는 것을 목적으로 한다.

영상 분할이란 영상을 밝기, 색상, 텍스처, 모션 등의 특징 값을 이용하여 유사한 영역으로 나누는 것을 의미한다 [1]. 의료 영상 분야에서 영상 분할은 주로 임계치(threshold)를 이용한 방식과 워터셰드(watershed) 알고리즘을 이용한 방식이 사용될 수 있다.

임계치를 이용한 방식의 경우, 각 기관의 이미지 픽셀 값을 기반으로 히스토그램을 생성하여 각 기관별 임계치를 측정한다. 각 기관별로 측정된 임계치 부분만을 획득하여 이미지를 분할하는 방식이다. 예를 들면 폐의 경우는 CT 영상으로부터 -200 ~ -700 HU(Houns Field), 물은 0 HU, 기도는 -800 ~ -1000 HU 정도의 임계치에서 각 해당 기관의 영상을 분할하여 얻게 되는 방식이다. 임계치를 이용하여 폐 영상을 획득하였을 경우, 폐 안의 작은 종양, 중요한 혈관 등이 폐 영상의 임계치 값과 다르기 때문에 폐 영역으로 인식이 되지 못하고 작은 구멍으로 존재하게 된다. 폐 안의 작은 구멍들을 해결하기 위해 다시 레이블링하고 채워넣어야 하는 단점이 있다. [2]

워터셰드 알고리즘을 이용한 방식의 경우, 영상의 기

울기(gradient)정보를 이용하여 영역을 구분하는 방식으로 약간의 잡음(noise)이나 지역적인 텍스처에 의해 영역이 과다 분할(over segmentation)될 수 있다는 단점이 있다. [3]

본 논문에서는 폐 영역을 분할하기 위하여 상호작용하는 워터셰드 방식을 이용한다. 이 때 과다 분할의 단점을 해결하기 위하여 마커 정보를 이용하여 제거(Opening) 연산과 채움(Closing) 연산을 사용하여 해결한다.

2. 본 론

2.1 워터셰드 알고리즘 소개

워터셰드 알고리즘의 원리는 원 영상에서 기울기(gradient)를 구하면 그레이 레벨이 높은 값과 낮은 값을 갖게 되는데 이와 같은 기울기를 지형적인 의미로 보고 영상을 분석하는 방식이다. 또한 워터셰드 알고리즘은 기울기 영상의 최소값에 구멍이 있다고 가정하고 구멍을 통해서 조금씩 물이 올라 차기 시작하여 다른 웅덩이에 합쳐지려 할 때에 댐이 만들어져 합쳐지지 못하도록 만든다. 이런 댐들로 이루어진 선을 워터셰드 선이라고 표현하고, 워터셰드 선 안에 포함된 이미지를 분할하는 방식이다.

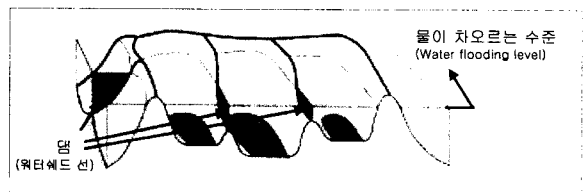


그림 1. 침식(immersion)을 이용한 워터셰드 형태

2.2 워터셰드 변형을 이용한 폐 영역 분할

본 논문에서 사용된 워터셰드 알고리즘은 Vincent와 Soille에 의해 제안된 Immersion 방식의 워터셰드 알고리즘을 기초로 한다.[4] 폐 영역을 분할하기 위하여 6 단계의 알고리즘을 수행하였다.

▶1단계 - 이미지를 읽어들이는 단계

CT 촬영으로부터 획득한 영상을 그레이 영상으로 변환한 후 이미지를 읽어 들인다.

▶2단계 - 초기 영상 분할

워터셰드 적용을 정확하게 하기 위하여 소벨 에지 마스크 (sobel edge mask)를 사용하여 폐 영역의 외곽선은 기울기 값이 높고, 폐 영역의 내부는 기울기 값이 낮게 나타나도록 유도하여 폐의 외곽선을 명확하게 한다. 소벨 에지 마스크는 윤곽선 검출의 가장 대표적인 미분 연산자로서 다음과 같은 특징을 갖는다.

- ① 2차 미분 연산자이며 x축, y축으로 각각 한번에 미분하게 되어 있다.
- ② 2차 미분 연산자에 해당하는 마스크의 행렬 형태는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

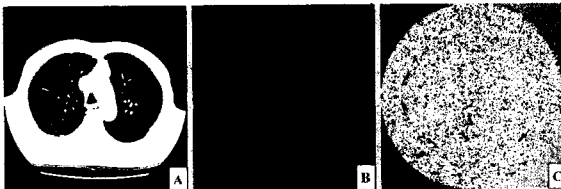
Gx 미분 연산자

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

Gy 미분 연산자

- ③ 기울기의 크기는 $G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$ 이다. (단, G_x 는 x축 편미분, G_y 는 y축 편미분)
- ④ 프로그램의 간결성을 위하여 기울기의 크기를 $G = |G_x| + |G_y|$ 로 사용되었다.

위의 소벨 마스크를 적용한 후 워터셰드 알고리즘을 적용하여 초기 영역을 분할하였다. 이 때 과다 영상 분할 (over segmentation)이 발생한다.



[A] 최초의 CT 영상
[B] 소벨 에지 마스크 적용 후 영상
[C] 워터셰드 적용 후 영상

그림 2. 1단계와 2단계 적용 후 영상

▶3단계 - 전경 객체 마커 추출 단계

위의 과다 영상 분할의 문제점을 해결하기 위하여 제거(Opening)와 채움(Closing)연산을 이용하여 이미지의 객체들을 비교적 평탄하게 재구성하여 전경 객체의 마커

를 추출한다.

제거 연산은 침식(Erosion)연산으로 객체의 축소를 수행하여 미세한 잡음을 제거하고 다시 팽창(Dilation)을 수행하여 원 영상의 크기를 유지하는 기법이다. 채움 연산은 팽창 연산으로 객체의 확장을 수행하여 작은 구멍들을 채우고 침식 연산으로 다시 원 영상의 크기로 축소하는 기법이다. [5]

침식 연산의 수식은 아래의 식(1)과 같이 표현되며 물체의 외각 픽셀을 축소시키는 역할을 한다.

$$A \ominus B = \{Z \mid (B)_z \subseteq A\} \quad \text{식 (1)}$$

B에 의한 A의 침식은 z에 의해 전이되 B가 A내에 포함되는 모든 점 z의 집합이다. 아래의 그림은 침식 작용이 적용된 영상을 표현하고 있다. 원 영상과 침식된 영상을 0(검정색)과 1(흰색)로 표현한 것으로 2진 형태의 영상을 보여주고 있다. 원 영상에서 침식작용이 되었을 때는 영상의 외각 한 픽셀의 흰색(1) 부분이 검정색(0)으로 대체되었음을 알 수 있다.

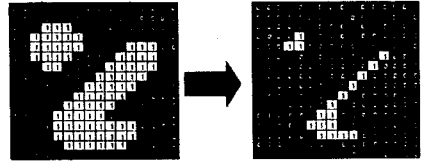


그림 3. 침식 연산 적용의 예

팽창 연산은 물체의 외각 픽셀을 확장시키는 역할을 한다. B에 의한 A의 팽창을 식(2)와 같이 표기한다.

$$A \oplus B = \{z \mid (\hat{B})_z \cap A \neq \phi\} \quad \text{식 (2)}$$

아래의 그림은 팽창 연산의 특징을 표현하고 있다. 팽창 연산은 떨어져 있던 객체를 붙여주는 역할을 하는 특징을 나타낸다. 즉, 먼 거리를 갖는 객체들끼리는 붙지 않지만 가까운 거리의 객체들은 흰색 픽셀의 확장으로 두 영역이 연결된다.

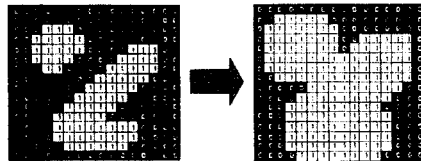
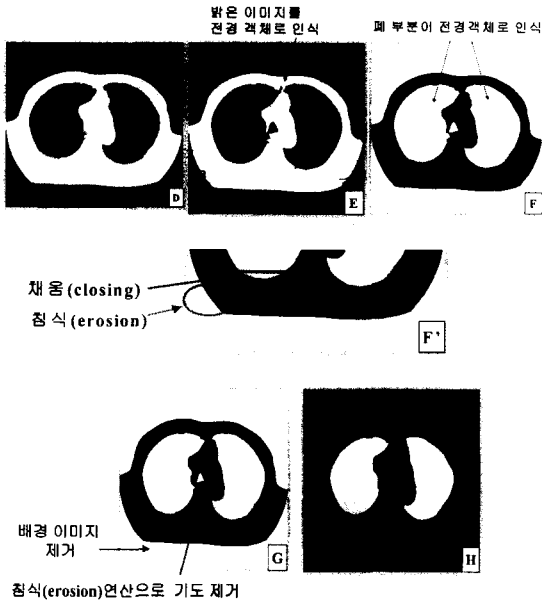


그림 4. 팽창 연산 적용의 예

본 단계에서는 폐 영역에 관한 해부학적인 지식을 전제로 컴퓨터와의 상호작용을 통하여 제거 연산과 채움 연산을 적절히 사용하여 전경 객체 마커를 추출하였다. 그러나 밝은 이미지를 객체로 인식하기 때문에 폐가 아닌 폐를 둘러싸고 있는 조직이 전경 객체의 마커로 획득된다. 그러므로 전경 객체에 해당하는 결과를 역(inverse)으로 바꾸어 폐가 전경 객체로 인식될 수 있도록 하고, 상호작용을 통하여 채움 연산과 침식 연산으로 잡음을 제거하고 폐 영역을 명확하게 추출한다. 이어서 배경 부분의 픽셀을 제거하고 상호작용으로 침식 연산을 통해 기도를 제거한다.



[D] 영상을 평탄하게 재구성
 [E] 폐 주변의 조직을 전경 객체로 추출
 [F] 폐를 전경 객체로 전환
 [F'] 잡음 제거의 과정
 [G] 배경 이미지 및 기도 제거
 [H] 폐 이미지 추출
 그림 5. 3 단계 적용 후 영상

▶4단계 - 배경 객체 마커 추출 단계

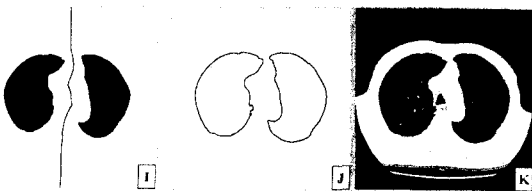
전 단계에서 획득된 왼쪽 폐와 오른쪽 폐에 해당하는 전경 객체의 마커에 워터셰드를 적용하였을 경우 최대 경계 영역인 댁(워터셰드 선)을 확정하기 위하여 배경 마커를 추출한다.

▶5단계 - 최종 워터 셰드 적용 단계

전 단계에서 획득된 전경 마커와 배경 마커를 이용하여 워터셰드 알고리즘을 수행하여 폐 영역 이미지를 분할한다.

▶6단계 : 시각화 단계

원래의 CT영상에 워터 셰드를 이용하여 분할된 폐 이미지를 시각화한다.



[I] 배경 마커 추출
 [J] 워터셰드 재적용
 [K] 분할된 폐 영역의 시각화
 그림 6. 4단계, 5단계, 6단계 적용 후 영상

[K] 분할된 폐 영역의 시각화

그림 6. 4단계, 5단계, 6단계 적용 후 영상

3. 실험 결과 및 결론

현재 의료 영상 분야에서 신속하고 정확한 진단과 치료를 위하여 각 기관별로 영상을 분할하는 방식이 기본적으로 사용되고 있다. 본 논문에서는 워터셰드 알고리즘을 이용하여 해부학적 기관 중 폐 영역을 분할하는 방식을 제안하였다. 초기의 워터셰드 알고리즘을 적용하였을 경우 과다 분할되는 단점을 해결하기 위하여 그림 2의 [A]의 영상을 제거 연산과 채움 연산을 이용하여 마커를 추출하여 워터셰드 알고리즘을 재적용하여 그림 6 [K]와 같은 폐 영역을 분할할 수 있었다. 본 논문에서 제안한 마커 정보를 이용한 워터셰드 적용 방식은 폐 영역의 분할을 효율적이고 정확하게 추출하였다.

향후 폐 영역 뿐만 아니라 뇌, 혈관, 혈관에 포함된 종양등과 같이 비교적 섬세한 부분의 영상 분할까지 확장할 경우 의료 영상을 이용한 진단 및 치료에 크게 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 참고 문헌

[1] M. Sonka, V.Hlavac, and R.Boyle, Image processing, analysis, and machine vision, 2nd ed. PWS publishing, 1998.
 [2] Bin Zheng, Joseph K.Leader, Glenn S. Maitz, Brian E. Chapman, Carl R.Fuhrman, Robert M. Rogers, Frank C.Sciurba, Andrew Perez, Paul Thompson, Walter F.Good, David Gur , " A simple method for automated lung segmentation in X-ray CT image" Proceedings of SPIE Vol. 5032 , pp. 1455-1463, 2003
 [3] K. Haris, SN. Efstratiadis, N. Maglaveras, and AK. Katsaggelos, "Hybrid Image Segmentation Using Watersheds and Fast Region Merging", IEEE Trans Image Proc 7(12): 1684-1699, Dec 1998
 [4] L Vincent and P Soille, "Watersheds in Digital Spaces : An Efficient Algorithm Based on Immersion Simulations", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. 13, no. 6, pp. 583-598, June 1991
 [5] Rafael C. Gonzalez , Richard E.Woods "Digital Image Processing", Pearson Education
 [6] Horst K. Hahn and Heinz-Otto Peitgen , "IWT-Interactive Watershed Transform : A hierarchical method for efficient interactive and automated segmentation of multidimensional grayscale images" Proceedings of SPIE Vol. 5032 , pp. 643-653, 2003