

## Small Animal PET 영상에서의 기울기 크기 기반 3차원 영역확장 분할 알고리즘\*

이유부<sup>1\*</sup>, 김경민<sup>2</sup>, 천기정<sup>3</sup>, 김명희<sup>1</sup>

<sup>1</sup>이화여자대학교 컴퓨터학과

<sup>2</sup>원자력의학원 방사선의학연구센터 핵의학연구소

<sup>3</sup>원자력의학원 원자력병원 핵의학과

basilia@ewhain.net\*, {kmkim, larry}@kcch.re.kr, mhkim@ewha.ac.kr

### Segmentation Algorithm using 3D Region Growing Based on Gradient Magnitude in Small-Animal PET Images

Yu-Bu Lee<sup>1\*</sup>, Kyeong Min Kim<sup>2</sup>, Gi-Jeong Cheon<sup>3</sup>, Myoung-Hee Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Computer Science & Engineering, Ewha Womans University

<sup>2</sup>Nuclear Medicine Laboratory, Korea Institute of Radiological and Medical Sciences

<sup>3</sup>Dept. of Nuclear Medicine, Korea Cancer Center Hospital

#### 요 약

본 논문에서는 기울기 크기 기반의 3차원 영역확장 알고리즘을 사용하여 small animal PET(Positron Emission Tomography) 영상으로부터 종양을 분할하는 연구를 수행하였다. 픽셀 값의 범위가 다양하고 저해상도의 특성을 갖는 PET 영상으로부터 대상영역을 정확하게 분할하기 위해서 전처리(preprocessing) 과정으로 영상 픽셀값의 분포를 펼쳐줌으로써 영상의 가시화를 높이는 히스토그램 스트레칭(histogram stretching) 기법을 적용하고 대상영역과 픽셀값이 유사한 인접영역과의 경계를 찾기 위해 가우시안의 1차 미분 함수를 사용하여 계산된 기울기 크기(gradient magnitude) 기반의 3차원 영역확장(region growing) 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 영역확장의 결과에 가장 큰 영향을 미치는 적절한 동질성 기준의 선택으로 대상영역의 분할을 성공적으로 수행하여 일반적인 영역확장의 단점을 보완하였다.

#### 1. 서 론

최근 분자영상(molecular imaging)은 영상의학과 분자생물(molecular biology), 화학 및 비주얼 컴퓨팅(visual computing)의 발전을 기반으로 그 연구가 급속하게 진전하고 있다 [1]. 분자영상은 세포 내에서 일어나는 여러 분자수준의 변화 즉, 유전자의 발현, 생화학적 현상, 생물학적 변화들을 영상으로 평가하는 기법이다 [2]. 분자영상은 질병의 발병 시 해부학적 변화가 나타나기 전에 먼저 나타나는 생화학적 변화, 분자 유전학적 변화를 영상화함으로써 질병을 초기에 진단하여 적절한 치료를 가능하게 한다 [3]. 특히 small animal PET(Positron Emission Tomography) 영상은 동물 모델을 대상으로 외부에서 주입된 유전자가 목표 장기나 조직에서 발현되는 것을 관찰하기 위해 특정 분자나 유전자에 작용하는 방사성 추적자를 사용하여 비침습적으로 영상화하는 핵의학 영상법으로 종양의 진행 정도를 모니터링(monitoring)하는 연구에

널리 이용되고 있다 [4]. 하지만 대부분의 임상 전문가는 종양 분할을 위해 볼륨 영상으로부터 각 2차원 영상들을 수동으로 분할하는 작업을 수행하고 있다. 수동적인 작업은 많은 시간이 요구되며 분할의 정확성이 결여되는 단점을 가진다.

다양한 분할 기법들이 의료영상과 분자영상으로부터 대상영역을 분할하기 위해서 연구되고 있다. 특히 종양분할을 위한 기법으로 fuzzy c-means, fuzzy k-means [5, 6]와 같은 클러스터링(clustering) 방법과 변형모델(deformable models) [7]이 제안되었다. 그러나 이러한 기법들은 계산비용이 높고 대상영역과 인접영역의 픽셀 값이 비슷한 경우에 정확한 경계를 찾는 데 어려움이 있다.

본 논문에서는 픽셀 값의 범위가 다양하고 저해상도의 특성을 갖는 PET 영상에서의 종양분할을 위해 히스토그램 스트레칭(histogram stretching) 기법을 사용한 전처리 과정과 가우시안 1차 미분 (first-order Gaussian derivative)을 이용한 기울기 크기(gradient magnitude) 기반의 3차원 영역확장(region growing) 알고리즘을 제

\* 본 연구는 부분적으로 한국과학기술연구원 실시간분자영상사업과 과학기술부 국가지정연구실(NRL) 지원사업에 의해 수행되었음.

안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 넓은 범위의 픽셀값을 갖는 영상의 가시화를 높이기 위해 사용된 전처리(preprocessing) 과정을 설명하고 3장에서는 중앙분할을 위해 본 논문에서 제안하는 3차원 영역확장 알고리즘에 대해 설명한다. 4장에서는 논문에서 구현한 시스템의 개발환경과 구현결과를 보여준다. 마지막으로 5장에서는 결론과 향후 연구에 대해서 알아본다.

2. 전처리(preprocessing)

small animal PET 영상은 16bit의 자료형을 갖는 영상으로 대상영역 외에 불필요한 배경영역의 픽셀값을 제거하기 위한 전처리가 요구된다. 우선 넓은 범위의 픽셀값을 0-255의 값으로 맵핑하는 전처리 과정을 수행한다. 다음으로 대상영역의 밝기값이 한쪽으로 치우치게 되어 관심영역과 인접 영역의 낮은 명암대비로 인한 문제를 해결하기 위해 히스토그램 스트레칭 기법을 적용한다. 히스토그램 스트레칭은 특정 영역에 영상픽셀의 밝기값이 집중된 경우 영상의 히스토그램을 분석하고 영상 내 픽셀의 최소값과 최대값의 비율을 이용하여 명암대비를 높여주는 기법이다. 다음의 식 (1)은 히스토그램 스트레칭을 위한 공식이다.

$$Stretch(I(x, y)) = \frac{I(x, y) - I(x, y)_{min}}{I(x, y)_{max} - I(x, y)_{min}} \times 255, \quad (1)$$

그림 1은 원영상과 전처리 과정을 수행한 후의 결과 영상이다.

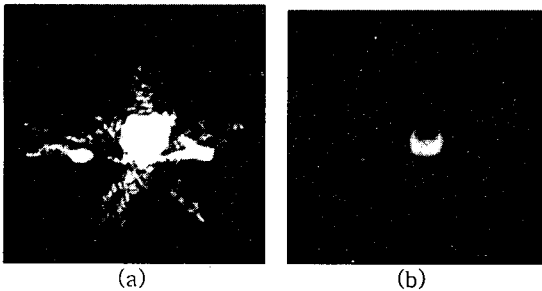


그림 1. 원영상과 전처리 수행결과 영상의 비교  
(a) 원영상 (b) 전처리 수행 결과영상

3. 영역분할

3.1 가우시안의 1차 미분

PET 영상은 영상획득 시 발생하는 신호감쇄(signal attenuation) 와 산란성(scattering)으로 인해 낮은 SNR(signal-to-noise ratio)을 가지는 제약성이 있다. 또한 실험영상은 분할하고자 하는 관심영역인 중앙과 인접한 조직의 픽셀값이 유사하여 그 경계를 찾기가 모호한 특성을 가진다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 잡음에 강하면서 분할하고자 하는 영역과 인접 영역의 경계를 잘 찾아내는 가우시안의 1차 미분을 적용하여 기울기 크기를 구한다 [8]. 가우시안의 1차 미분은 가우시안 미분함수를 영상에 컨볼루션(convolution)하여 두개의 인접 픽셀들의 픽셀값

의 차를 효율적으로 구할 수 있다. 가우시안의 1차 미분은 다음의 식 (2) - (3)을 적용한다.

$$I_i(x, y) = I(x, y) * \frac{\partial G(x, y, \sigma)}{\partial_i} \quad (i = x, y), \quad (2)$$

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp \frac{-(x^2+y^2)}{2\sigma^2} \quad (3)$$

관심영역과 인접영역의 모호한 경계를 찾아내기 위해 가우시안의 1차 미분을 적용한 영상에서 각 픽셀의 기울기 크기를 구하여 그 값을 제안한 영역확장 알고리즘의 동질성 기준(homogeneity criterion)으로 선택한다. 다음의 그림 2는 원영상에 가우시안의 1차 미분을 적용하여 구해진 기울기 영상을 보여준다.

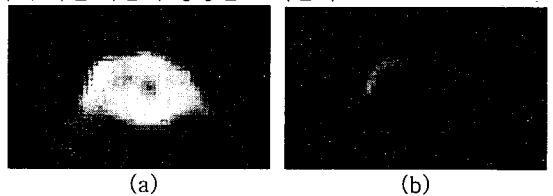


그림 2. 원영상과 기울기 영상  
(a) 원영상 (b) 가우시안 1차 미분을 적용한 기울기영상

3.2 3차원 영역확장

영상 처리와 분석을 위해 분할은 가장 중요한 분야로서 관심영역의 분할을 위해 기울기 연산자(gradient operators), 픽셀값의 문턱치(thresholding), 영역확장 등을 응용한 많은 분할 기법들이 연구되어왔다. 영역확장 방법은 같은 영역 내의 픽셀들이 밝기 값, 텍스처등에 있어 동질성을 갖는다는 특성을 이용하여 초기에 선택된 씨앗점(seed point)을 중심으로 인접한 픽셀들을 조사하여 동질성의 기준(homogeneity criterion)을 만족하는 픽셀들을 하나의 영역으로 확장해 나가는 영상분할 기법이다. 따라서 영역을 확장하기 위해서는 이 동질성 기준값의 적절한 선택이 정확한 분할의 관건이 된다. 특히, 3차원 영역확장 방법에서는 정확하지 않은 복셀(voxel)을 포함하게 되면 영역확장 과정이 반복되면서 다른 슬라이스 영상에 잘못된 영역이 포함되는 오류가 발생하는 단점이 있다. 따라서 본 문서에서 제안한 3차원 영역확장 알고리즘은 동질성의 기준으로 복셀값(voxel value)과 가우시안의 1차 미분을 통해 계산된 기울기 크기의 차이를 고려한다. 기울기 크기의 차이란 씨앗점과 26인접 복셀의 기울기 크기의 차이를 조사하여 임계값을 넘지않는 범위의 복셀값을 가지면 분할영역에 포함시키는 것이다. 제안한 기울기 크기 기반의 3차원 영역확장 알고리즘은 분할하고자 하는 관심영역과 인접한 영역의 경계를 잘 찾아내어 단지 픽셀값만으로 영역을 확장 시 발생하는 초과분할(oversegmentation)의 단점을 해결한다.

4. 개발 환경 및 구현 결과

본 논문에서 제안한 알고리즘은 2.4GHz CPU, 522Mbyte RAM 사양의 Pentium IV에서 Visual C++ 을 기반으로 하여 구현되었다. F-18-FLT small animal

PET 영상으로부터 쥐의 거드랑이 종양영역을 분할하기 위해 본 논문에서 제안한 방법을 사용하여 실험하였다. 실험영상은 128\*128 픽셀로 63 슬라이스로 구성된다. 제안한 알고리즘을 실험영상에 적용한 결과는 다음 그림을 통해서 보여준다. 그림 3은 원영상에서 종양을 분할한 결과이다.

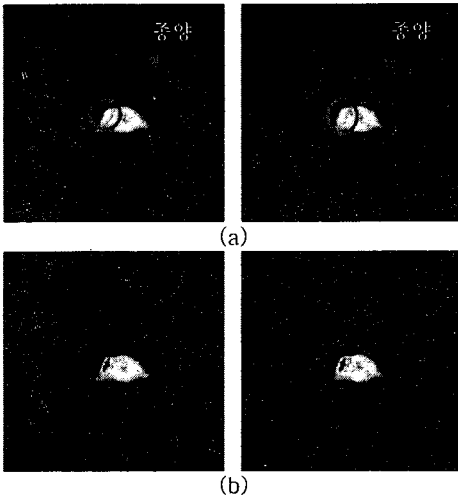


그림 3. 3차원 영역확장 결과  
(a) 원영상 (b) 종양분할 결과

다음 그림 4는 전면영상(coronal image)과 분할된 종양의 볼륨영상을 함께 보여준다.

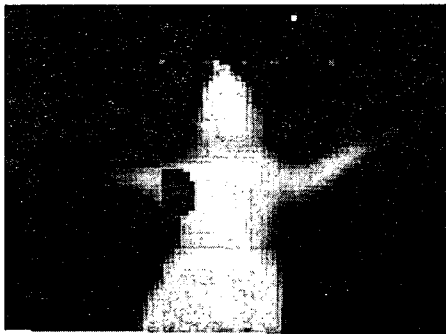


그림 4. 전면영상과 종양볼륨영상

### 5. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 3차원 볼륨 데이터에서 관심영역을 분할하기 위해 영상의 특성을 고려하여 히스토그램 스트레칭을 사용하여 전처리 과정을 수행한 다음 가우시안의 1차 미분을 이용하여 계산된 기울기 크기를 기반으로 한 3차원 영역확장 방법을 제안하였다. 영역확장 시 가장 중요한 요인인 동질성 기준 값의 선택을 위해 사용된 기울기 크기는 픽셀값이 유사한 인접영역과의 정확한 경계를 찾을 수 있도록 하였다. 본 연구의 향후 연구는 분할된 볼륨영역의 정확한 정량적 수치와 형태에 대한 정보를 제공함으

로써 정량적 분석이 가능하도록 하는 연구를 진행하고자 한다.

### 참고 문헌

- [1] M.G. Pomper, "Molecular imaging : An overview", *Academic Radiology*, vol. 8, no. 11, pp.1141-1153, November, 2001.
- [2] 정준기, "분자 핵의학영상 개관", 대한 핵의학회지 38권 2호, 2004.
- [3] R. Weissleder, "Molecular imaging: exploring the next frontier", *Radiology*, vol. 212, no. 3, pp. 609- 614, September 1999.
- [4] S. Surti, J.S. Karp, A.E. Perkins, R. Freifelder, "A-PET: a high sensitivity animal PET camera", *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 50, pp. 1357-1363, October 2003.
- [5] W. Zhu, T. Jiang, "Automation segmentation of PET image for brain tumors", *IEEE Nuclear Science Symposium Conference 2003*, pp. 2627-2629, 2003.
- [6] K.P. Wong, D. Feng, S.R. Meikle, and M.J. Fulham, "Segmentation of dynamic PET images using cluster analysis", *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 49, no. 1, February 2002.
- [7] H. Zhu, F.H.Y. Chan, F.K. Lam, P.W.F. Poon, "A deformable region model for locating the boundary of brain tumor", in *Proc.17th Ann. Conf. IEEE EMBS*, vol. 1, pp. 411-412, 1995