

# Segmentation of Arterial Vascular Anatomy around the Stomach based on the Region Growing Based Method

Jiwoo Kang, Doyoung Kim, Sanghoon Lee

Department of Electrical and Electronic Engineering, College of Engineering, Yonsei University, Seoul, Korea

**Purpose** The region growing has a critical problem that it often extract vessels with unexpected objects such as a bone which has a similar intensity characteristics to the vessel. We propose the new method to extract arterial vascular anatomy around the stomach from the CTA volume without the post-processing.

**Materials and Methods** Our method, which is also based on the region growing, requires the two seed points from the use. It automatically extracts perigastric arteries using the adaptive region growing method and it does not need any post-processing.

**Results** The three region growing based methods are used to extract perigastric arteries - the conventional region growings with restrict and loose thresholds each and the proposed method. The 3D visualization from the result of our method shows our method extracted the all required arteries for gastric surgery.

**Conclusion** By extracting perigastric arteries using the proposed method, over-segmentation problem that unexpected anatomical objects such as a rib or backbone are also segmented does not occurs anymore. The proposed method does not need to sensitively determine the thresholds of the similarity function. By visualizing the result, the preoperative simulation of arterial vascular anatomy around the stomach can be possible.

**Key Words** Medical image processing · Segmentation · Arterial vascular anatomy · Perigastric vascular anatomy · Computed tomography angiography.

**Received:** November 21, 2014 / **Revised:** November 22, 2014 / **Accepted:** December 7, 2014

**Address for correspondence:** Sanghoon Lee

Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University, 50 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul 120-749, Korea

**Tel:** 82-2-2123-2767, **Fax:** 82-2-313-2879, **E-mail:** slee@yonsei.ac.kr

## 서 론

최근 영상처리기술의 비약적인 발달로 이미지로부터 매우 정밀하게 물체 분할이 가능하게 되었다 (1-3). 의료 영역에서도 마찬가지로 X-ray, CT (Computed Tomography), MRI (Magnetic Resonance Imaging), PET (Positron Emission Tomography), SPET (Single Photon Emission computed Tomography) 등 다양한 모달리티로 촬영된 의료 영상의 분할을 통해 혈관, 장기, 뼈 등의 관심영역의 정밀한 추출이 가능하게 되었으며, 이 기술들은 의료 영상의 정합 및 자동 진단 등의 다양한 의료적 목적으로 사용되고 있다. 하지만 의료 영상의 활용 분야가 진단, 수술 시뮬레이션 및 리허설 등으로 확장됨에 따라 단순 이미지로부터가 아닌 3차원 볼륨 상에서 분할 기술들을 이용한 혈관 및 장기 추출 등에 대한 수요가 증가하고 있다. 3차원 의료 볼

륨으로부터 장기, 혈관 등을 추출하기 위해서 영역 확장 (Region-growing) 기법이 가장 널리 사용되고 있다 (4-8). 이는 기존 2차원 의료 영상에서 특정 해부학적 개체를 추출하기 위해서 많이 사용되던 Snake (9), Level Set (10-12) 등의 기법과는 달리 영역 확장 기법은 그것의 특징상 고차원으로 확대되기가 쉽다. 또한 고차원으로 확장되면 차원에 맞는 초기 값들을 입력 받아야만 하는 타 분할기법과는 달리 영역 확장 기법은 3차원으로 확장되더라도 관심 영역 중 한 점의 초기점 (Seed)만을 받아 개체를 추출 가능하다. 영역 확장 기법은 초기점에서 시작해서 인 근 복셀 (Voxel)로 확장해나가며, 더 이상 지금까지 확장된 영역과 특성이 비슷한 이웃 복셀이 없을 때까지 진행된다. 이러한 특성 때문에 영역을 확장해나가면서 노이즈나 비슷한 특성을 지닌 장기를 만났을 경우 추출하길 원하지 않았던 개체까지 분할할 수 있어, 보통 후 처리 (Post Processing)가 필요한 기법이다.

영역 확장 기법을 통해 CTA 영상으로부터 대동맥에서 초기점을 잡아 복부 인근의 혈관을 추출할 때에도 영상에서 값 (Intensity)의 특성이 비슷한 갈비뼈, 척추까지 추출되어 이를 제거해주는 후처리 과정이 필수적이다. 본 논문에서는 사용자로부터 두 점을 초기점으로 입력 받고 영역 확장 기법에 근간하여 후처리가 필요 없이 복부 근처의 모든 필수 혈관들을 자동으로 추출하는 방법을 연구하였다. 이러한 추출한 복부 근처의 동맥 혈관들을 3차원으로 가시화하였으며, 이는 환자 특이적으로 다른 구조를 지닌 혈관의 구조 (Vascular Anatomy)를 한눈에 파악할 수 있어 교육 및 임상에 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

## 방 법

### 1. Adaptive Region Growing Method

영역 확장 기법은 영상처리 분야에서 가장 널리 이용되는 분할 알고리즘이다. 이는 영역확장 기법은 초기점을 입력 받아 인근 픽셀 또는 복셀 (Voxel)로 확장해나가며, 더 이상 지금까지 확장된 영역과 특성이 비슷한 이웃이 없을 때까지 진행된다 (Fig. 1, 2). 이웃 복셀과의 유사도를 계산하는 것은 유사도 함수 (Similarity Function)에 의해 결정되며, 유사도 함수는 개체를 추출하는 데 있어 매우 큰 역할을 할 수 있다. 가장 단순한 형태의 유사도 함수는 초기점과 값 (Intensity)의 크기 차이가 작을수록

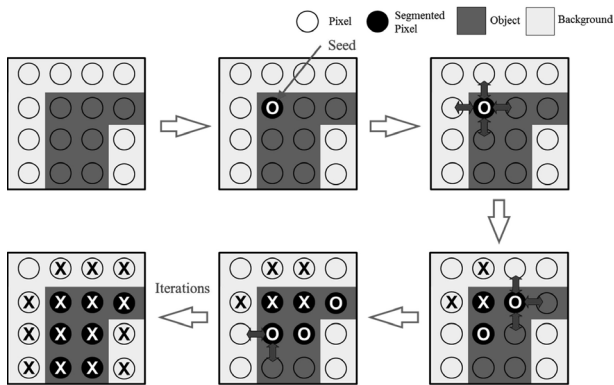


Fig. 1. 영역 확장 기법의 진행 원리.

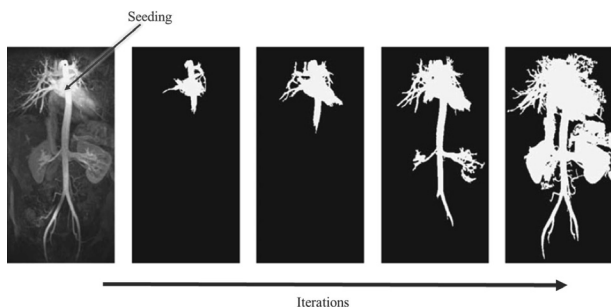


Fig. 2. 영역 확장 기법의 진행 과정 (14).

유사하다고 판단한다. 본 연구에서는 볼륨의 데이터 값만을 이용하는 단순한 형태의 유사도 함수가 아닌 데이터 값의 차분을 사용하며, 표준편차를 이용하여 통해 데이터 값과 차분 값 중 더 정확한 척도가 될 수 있는 수치에 가중하여 정의한 유사도 함수를 사용하였다 (13).

유사도 함수  $f_{cc}$ 는 크게 볼륨의 데이터 값을 기반의 유사도 함수  $f_{ca}$ 와 차분 값의 기반의 유사도 함수  $f_{cb}$ 의 가중치 합으로 구성되어 있다.

$$f_{cc} = pf_{ca} + (1-p)f_{cb}$$

이 때  $f_{ca} = |v - v_s| / \sigma_v$ ,  $f_{cb} = |g - g_s| / \sigma_g$ ,  $v$ 는 현재 픽셀의 데이터 값,  $v_s$ 는 초기 복셀의 데이터 값,  $\sigma_v$ 는 초기 복셀 26개의 이웃 표준편차,  $g$ 는 현재 픽셀의 차분 값,  $g_s$ 는 초기 복셀의 차분 값,  $\sigma_g$ 는 초기 복셀 26개의 이웃 차분 값의 표준편차,  $p$ 는  $p = \sigma_g / (\sigma_v + \sigma_g)$ 이다. 결국 가중치  $p$ 는 표준편차가 작은 유사도 함수에 높은 가중치를 주고, 표준편차가 큰 유사도 함수에 낮은 가중치를 주어 결과적으로 더욱 신뢰성 있는 유사도 함수를 구성한다.

### 2. Segmentation of Perigastric Arterial Anatomy

영역 확장 기법의 유사도 함수의 기준 (Thresholding)가 너무 낮을 경우에는 일부 혈관들이 추출되지 않으며, 너무 높을 경우에는 추출하고 싶은 혈관 외의 요소들이 추출될 수 있다. 따라서 적절한 기준을 잡아주는 것이 중요하다. CTA로 촬영된 동맥 부 영상의 경우 주위 간, 위 등의 장기와 혈관의 대비는 매우 크다. 따라서 충분한 크기의 유사도 함수의 기준을 잡아도 장기까지 추출되는 경우는 사실상 드물다. 하지만, 영역 확장 기법에 기반하여 복부 근처의 혈관을 추출할 때에 혈관과 데이터 값의 특

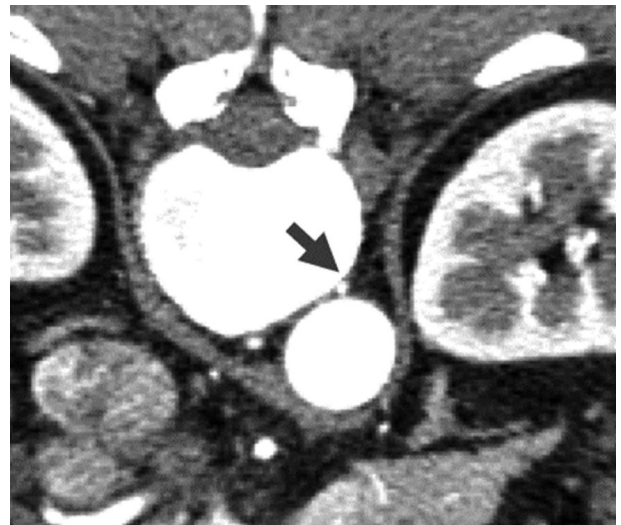


Fig. 3. 대동맥에서 나온 미세혈관이 척추와 대동맥을 연결해주고 있다. 실제로 구조적으로는 분리되어있으나, 영상의 해상도 노이즈 등에 의해서 매우 작은 틈을 통해서 복셀이 서로 연결된다.

장이 비슷한 갈비뼈나 척추와 같은 해부학적 개체가 같이 추출되는 문제가 있다. 이는 실제 혈관과 이러한 개체는 사실상 분리되어 있으나 혈관과 매우 근접하게 붙어있는 볼륨상 일부 영역에서 작은 틈을 통해 확장해나가게 되기 때문이다 (Fig. 3). 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 Celiac Trunk 분기 전 후의 대동맥 위의 임의의 한 점씩 총 두 점을 입력 받는다. 두 점을 입력 받으면 각각의 슬라이스에서 2차원 기반의 영역 확장 기법을 수행한다. 분할되어 얻어진 두 영역에 확장 (Dilatation) 연산을 수행한 후 두 영역의 복셀 값들을 최소값 (보통은 0)으로 치환해준다. 이후 두 시드의 중간 점을 초기 점으로 하여 앞에서 제안한 3차원 영역 확장 기법을 통해 분할을 수행할 경우 불필요한 대동맥으로 새지 않고 Celiac Trunk부터 영역 확

장이 시작된다 (Fig. 4). 이러한 특성은 Celiac Trunk 분기 바로 전후의 대동맥에서는 앞서 제기한 불필요한 장기로 영역이 새지 않는다는 사실에 기반한 것이며, 이는 실험을 통해 검증하였다. 이러한 실험적인 검증에 기반한 간단한 아이디어를 통해 불필요한 해부학적 개체를 추출하지 않으며 영역 확장 기법의 기준을 정할 때에도 충분히 느슨하게 정할 수 있어 두 개의 초기 점만으로 완벽하게 복부 근처의 주요 혈관들을 추출해낼 수 있다.

## 결 과

우리는 총 10개의 CTA 영상 Set에 대해서 모두 동일한 방식으로 두 개의 Seed를 입력 받고, 추출된 혈관들을 확인하였다.

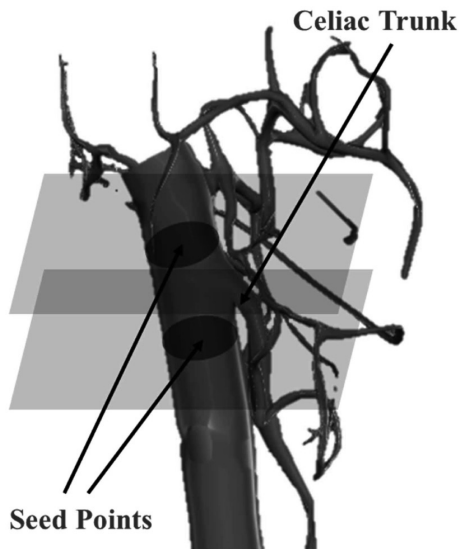


Fig. 4. 복부 주위 혈관을 추출하기 위한 초기 값. Celiac Trunk의 분기가 시작되기 전 후의 CTA슬라이스에서 대동맥 위의 임의의 한 점이 초기 값이 된다.



Fig. 5. 영역 확장 기법의 기준치를 엄격하게 잡았을 때의 결과 (Set 2).

Table 1. 기존의 영역 확장 기법을 통했을 경우 주요 복부 근처 혈관 추출 여부

Vessel Set	Celiac trunk	CHA	PHA	LHA	RHA	GDA	LGA	RGA	GEA	ASPSA	SpA
1	○	○	○	○	○	○	○	○	X	X	○
2	○	○	○	○	X	○	○	X	X	X	○
3	○	○	○	X	○	○	○	X	X	X	○
4	○	○	○	○	X	○	○	○	X	X	○
5	○	○	○	X	○	○	X	X	○	X	○
6	○	○	○	○	X	○	○	X	X	○	○
7	○	○	○	X	X	○	○	X	X	X	○
8	○	○	○	○	○	○	○	○	X	X	○
9	○	○	○	X	X	○	○	X	X	X	○
10	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Total	10	10	10	6	5	10	9	3	2	2	10

○ : 검출, X : 미검출

대상이 되는 혈관은 Celiac Trunk 분기 이후의 주요 혈관들이며, 이 혈관들은 위 수술을 진행함에 있어서 반드시 필요한 모든 동맥 혈관이다 (15-18). 이러한 대상혈관은 Celiac Trunk, CHA (Common Hepatic Artery), PHA (Proper Hepatic Artery), LHA (Left Hepatic Artery), RHA (Right Hepatic Artery), GDA (Gastro-duodenal Artery), LGA (Left Gastric Artery), RGA (Right Gastric Artery), GEA (Gastro-epiploic Artery), ASPDA (Anterior Superior Pancreaticoduodenal Artery), SpA (Splenic Artery)이며, 추출 결과를 Marching Cube와 등위면 렌더링 기법에 기반하여 3차원으로 가시화하여 혈관의 추출 유무를 확인하였다 (19). 기존 기술과의 비교를 위해 현재 현장에서 가장 널리 사용되는 단순 영역 확장 기법을 통해 동맥부 복부 근처 혈관을 추출하여 3차원으로 가시화하고 검출된 혈관을 표로 정리하였다 (Fig. 5, 6, Table 1).

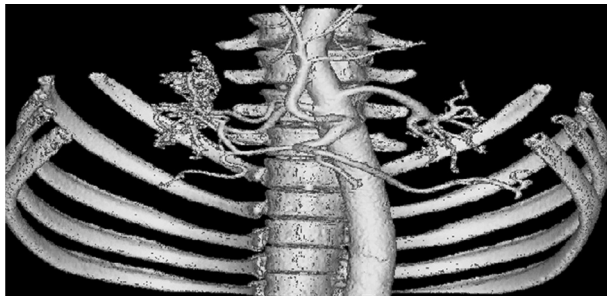


Fig. 6. 영역 확장 기법의 기준치를 높게 잡았을 때의 결과 (Set 2).



Fig. 7. 제안된 알고리즘을 통해 복부 주위의 혈관을 추출했을 때의 결과 (Set 2).

본 논문에서 제안하는 방법으로 혈관을 추출한 경우 또한 같은 방식으로 가시화하고 대상 혈관 검출여부를 정리하였다 (Table 2, Fig. 7).

## 고찰

기존 영역 확장 기법을 통해 혈관을 추출하였을 때 엄격한 기준치를 사용할 경우 일부 혈관을 검출하지 못하는 것을 확인할 수 있다. 반대로 물론 느슨한 기준치를 사용하였을 경우 대부분의 혈관이 검출되긴 하였으나 척추, 갈비뼈 등 불필요한 해부학적 개체가 추출되어 3차원으로 가시화 할 경우 추출된 혈관을 파악하는데 어려움이 있다. 엄격한 기준치와 느슨한 기준치 사이의 적절한 기준치를 찾는 방법이 있지만, 이 방법은 대상 CTA에 영상에 특성에 따라 판이하게 달라지기 때문에 사람의 상호작용이 많이 필요하다. 더욱이 실험한 대다수 (80%)의 대상 영상이 적절한 중간 값이 존재하지 않았다. 본 논문에서 제안한 방법을 사용해서 혈관을 추출하였을 경우 모든 Set의 CTA 영상에서 위 수술을 위한 복부 필수 동맥 혈관을 빠짐없이 확인하였으며, 혈관과 유사한 데이터 값을 지닌 불필요한 갈비뼈나 척추 등은 전혀 검출되지 않음을 확인하였다.

## 결론

우리는 Celiac Trunk 전후의 슬라이스에서 두 개의 초기 점만을 입력 받아, 영역 확장 기법에 근간한 분할 방법을 통해 위 수술에 필요한 필수 복부근처의 혈관을 추출하는 방법을 제안하였다. 이 방법을 사용할 경우 단순하게 영역 확장 기법을 통해 혈관을 추출할 때 일어날 수 있는 갈비뼈, 척추와 같은 불필요한 해부학적 개체의 추출을 방지할 수 있었다. 또한 유사도 함수의 기준 값을 민감하게 잡아주지 않아도 되어 반복적인 결과 확인

Table 2. 주요 복부 근처 혈관 추출 여부

Vessel Set	Celiac trunk	CHA	PHA	LHA	RHA	GDA	LGA	RGA	GEA	ASPDA	SpA
1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Total	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

○ : 검출, X : 미검출

을 통한 상호작용을 필요로 하지 않는다. 이 방법은 실험한 모든 경우에 대해서 잘 동작하였으며, 위 수술에 필요한 필수 혈관들을 완벽하게 추출하였다. 이 방법을 통해서 환자 특이적으로 다른 구조를 지닌 혈관의 구조를 한눈에 파악할 수 있어 교육 및 임상에 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

## Acknowledgements

본 논문은 대한민국 정부에 의한 ETRI R&D 프로그램 [14ZC1400, 환자특이적 수술 플래닝 기반실감 리허설 기술 개발] 지원 사업의 연구 결과로 수행되었음.

## 참고 문헌

1. Sonka M, Vaclav H, Roger B. Image processing, analysis, and machine vision. Cengage Learning, 2014.
2. Felzenszwalb PF, Daniel PH. "Efficient graph-based image segmentation." *International Journal of Computer Vision* 2004;59(2):167-181
3. Zaidi Habib, Issam El Naqa. "PET-guided delineation of radiation therapy treatment volumes: a survey of image segmentation techniques." *European journal of nuclear medicine and molecular imaging* 2010;37(11):2165-2187
4. Gao Y, Jean FM, Norman K, Jose A. "Optimal region growing segmentation and its effect on classification accuracy." *International Journal of Remote Sensing* 2011;32(13):3747-3763
5. Tang J. "A color image segmentation algorithm based on region growing." *Computer Engineering and Technology (ICCET), 2010 2nd International Conference on. Vol. 6. IEEE, 2010.*
6. Mendoza CS, Begoria A, Carmen S, Tomoas G. "Fast parameter-free region growing segmentation with application to surgical planning." *Machine Vision and Applications* 2012;23(1):165-177
7. Kumar M., Kamal KM. "A Texture based tumor detection and automatic segmentation using seeded region growing method." *International Journal of Computer Technology and Applications* 2011;2(4).
8. Qin AK, David AC. "Multivariate image segmentation using semantic region growing with adaptive edge penalty." *Image Processing, IEEE Transactions on* 2010;19(8):2157-2170
9. Kass M, Andrew W, Demetri T. "Snakes: Active contour models." *International Journal of Computer Vision* 1988;1(4):321-331
10. Malladi R, James AS, Baba CV. "Shape modeling with front propagation: A level set approach." *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions On* 1995;17(2):158-175
11. Fedkiw S, Osher R. "Level set methods and dynamic implicit surfaces", 2003
12. Cremers D, Mikael R, Rachid D. "A review of statistical approaches to level set segmentation: integrating color, texture, motion and shape." *International Journal of Computer Vision* 2007;72(2):195-215
13. Huang R, Kwan-Liu M. "Rgvis: Region growing based techniques for volume visualization." *Computer Graphics and Applications, 2003. Proceedings. 11th Pacific Conference on. IEEE, 2003*
14. Dougherty Geoff. *Digital image processing for medical applications.* Cambridge University Press, 2009
15. Kumano S, Tsuda T, Tanaka H, Hirata M, Kim T, Murakami T, et al. "Preoperative evaluation of perigastric vascular anatomy by 3-dimensional computed tomographic angiography using 16-channel multi-detector-row computed tomography for laparoscopic gastrectomy in patients with early gastric cancer." *Journal of Computer Assisted Tomography* 2007;31(1):93-97
16. Laparoscopy MB, Matsuki M, Kani H, Tatsugami F, Yoshikawa S, Narabayashi I, et al. "Preoperative assessment of vascular anatomy around the stomach by 3D imaging using MDCT before laparoscopy-assisted gastrectomy." *American Journal of Roentgenology* 2004; 183(1):145-151
17. Lee SW, Shinohara H, Matsuki M, Okuda J, Nomura E, Mabuchi H, et al. "Preoperative simulation of vascular anatomy by three-dimensional computed tomography imaging in laparoscopic gastric cancer surgery." *Journal of the American College of Surgeons* 2003;197(6): 927-936
18. Miyaki A, Imamura K, Kobayashi R, Takami M, Matsumoto J, Takeda Y. "Preoperative assessment of perigastric vascular anatomy by multidetector computed tomography angiogram for laparoscopy-assisted gastrectomy." *Langenbeck's Archives of Surgery* 2012;397 (6):945-950
19. Rajon DA, Bolch WE. "Marching cube algorithm: review and trilinear interpolation adaptation for image-based dosimetric models." *Computerized Medical Imaging and Graphics* 2003;27(5):411-435