

X-선 혈관 조영 영상에서 불균일 조명 보정과 Hessian 행렬 고유치를 이용한 심혈관 자동 분할

김혜련, 강미선, 김명희*

*이화여자대학교 컴퓨터학과

e-mail : newhrkim@ewhain.net, Mesun@ewhain.net, mhkim@ewha.ac.kr

Automatic Segmentation of Coronary Vessel in X-ray Angiography using Non-uniform Illumination Correction and Eigenvalue of Hessian Matrix

Hye-Ryun Kim, Mi-Sun Kang, Myoung-Hee Kim*

*Dept. of Computer Science & Engineering, Ewha-Womans University

요 약

본 논문에서는 X-선 혈관 조영 영상 내 심혈관의 추출 방법을 제안 한다. 본 방법은 불균일 조명 보정 필터를 사용함으로써 X-선 영상 내에서 나타나는 일정하지 않은 contrast, 낮은 명암도 및 불균일 조명 문제를 해결한다. 또한 영상의 지역적인 밝기 값의 변화의 특징을 고려하면서 분할 대상영역의 각 픽셀들의 2 차 미분(second partial derivation)을 행렬의 요소(element)로 갖는 Hessian 행렬의 고유치(eigenvalue)를 영역확장의 문턱치 결정에 이용하여 전역적인 밝기값(intensity)만을 사용하는 분할의 단점을 보완하였다.

1. 서론

심혈관 질환은 우리나라 사망원인 2 위이고 세계적으로 주요한 사망원인으로 꼽히고 있다[1]. 심혈관 질환은 혈관 내 지질이 축적돼 좁아진 혈관을 혈소판 덩어리인 혈전이 막아 혈관이 점진적으로 막히게 되는 병을 말한다. 이러한 병을 치료하기 위해서는 혈관 내에 스텐트(stent)를 삽입하여 좁아진 혈관을 넓혀 주거나 우회로 시술로 새로운 혈관을 연결해주는 시술을 진행한다. 이러한 시술에는 X-선 혈관 조영 영상을 사용하는데 시술을 정확하게 하기 위해서는 조영 영상에서의 혈관 인식을 빠르고 정확하게 하는 것이 중요하다. 그러나 심혈관은 심장의 박동, 호흡에 따라 끊임 없이 움직이고 혈관을 타고 흐르는 조영제의 양이 항상 일정하지 않기 때문에 혈관의 contrast가 일정하지 않는다는 단점이 있다. 이러한 이유로 조영 영상에 혈관을 분할하는데 명암도가 낮은 혈관(low-contrast vessels) 과 같은 혈관일지라도 영상 밝기가 균일하지 못하다(Non-uniform illumination)는 어려움이 있다[2].

일반적으로 심혈관을 분할하는 연구는 원 영상에서 바로 혈관을 분할 하기보다 분할이 용이하도록 이미지를 개선 시킨 후(vessel enhancement) 분할하는 과정(vessel segmentation)을 거친다. 이미지를 개선 하는 방법으로는 노이즈 모델을 이용한 알고리즘[3], 배경을 삭제하거나 약하게 하는 구간적 정규화(piecewise normalization)[4], 정합(registration)[5]을 이용한 방법이

있다. 혈관을 분할하는 방법으로는 패턴인식을 이용한 방법[6][7], 모델 기반 방법[8][9], 트래킹을 이용한 방법[10][11] 등이 있다.

본 논문에서는 불균일 조명 보정필터와 Hessian 행렬 고유치를 이용하여 X-선 혈관 조영 영상에서 심혈관을 분할하는 방법을 제안한다. 우선 히스토그램 기반 불균일 조명필터를 이용하여 혈관의 조명을 높인 후, Hessian 행렬의 고유치값을 이용하여 각각의 픽셀들이 혈관일 확률(vesselness)을 구하고, vesselness 값을 기준으로 추출된 후보픽셀들을 레이블링한 후 같은 영역에 속한 픽셀 수를 이용하여 혈관을 자동 분할한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 불균일 조명 보정필터, Hessian 행렬의 고유치 값 이용방법 및 혈관 추출방법을 설명한다. 3 장에서는 실험 및 결과를 제시하고 마지막으로 4 장에서는 결론 및 향후 연구방향을 기술한다.

2. 심혈관 자동 분할 과정

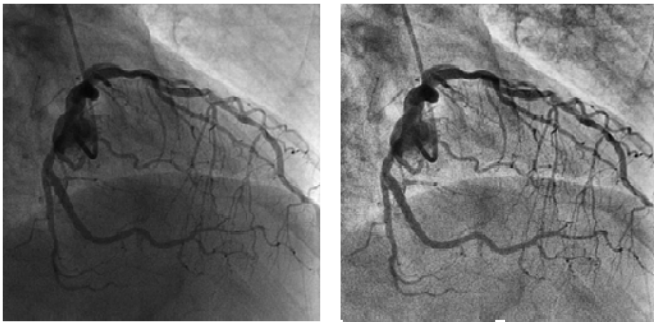
2.1 불균일 보정 필터

불균일 보정필터는 히스토그램 평활화(histogram equalization)을 기반으로 X-선 혈관 조영 영상 내 불균일한 명암도를 갖는 혈관영역의 문제를 해결한다. 히스토그램 평활화를 전역적 기법으로 사용하게 되면 나타날 수 있는 영상의 over-enhancing 을 방지하기 위하여 비용함수(cost function)로 수식화하여 영상을

개선하는 Modification Framework-Histogram Smoothing 방법을 사용한다(MF-HS)[12].

MF-HS 방법은 출력 영상의 over-enhancing 을 막는 장점을 가지고 있으나, 전역적인 알고리즘이기 때문에 영상의 세부 영역 개선 정도가 미약하여 이를 향상시키기 위하여 지역적 변환함수 보간 기법을 적용한다[13].

그림 1 는 X-선 혈관 조영 영상에서 불균일 보정필터를 적용한 결과로 그림 1(a)는 불균일 보정필터를 적용하지 않는 원영상이고 그림 1(b)는 불균일 보정필터를 적용한 결과를 나타낸다. 필터 적용 후, 혈관의 밝기값이 균일해진 것을 알 수 있다[14].



(a) 원영상 (b) 불균일 보정필터 적용 결과

그림 1. 불균일 보정필터를 적용한 결과

2.2 Hessian 행렬 고유치 기반 vesselness 측정

Hessian 행렬에서 고유치와 고유벡터는 각 픽셀과 인접한 픽셀 사이의 지역적 밝기값(intensity)변화를 분석하는데 유용하다. Hessian 행렬은 영상 I 의 각 픽셀들의 2 차 미분(second partial derivatives)으로 이루어진 행렬을 말하며 영상 I 와 가우시안 커널의 2 차미분값(partial second order derivatives of a Gaussian Kernel)과의 컨볼루션으로 얻어진다.

$$H = \begin{bmatrix} I_{xx} & I_{xy} \\ I_{yx} & I_{yy} \end{bmatrix} \quad I_{xx} = \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} \quad (1)$$

2 차원 영상의 Hessian 행렬은 두개의 고유치 λ_1, λ_2 를 가진다. 기하학적으로 λ_1 은 튜브방향을 따르는 작은 곡률(curvature)에 대한 정보를 제공하고 λ_2 는 튜브의 수직방향에 대한 큰 곡률에 대한 정보를 제공한다 [15]. 즉, Hessian 행렬의 고유치 값은 테이블 1 에 보여주는 것 같이 어떤 패턴에 속하여 있는지 알려준다.

표 1. 고유치 값에 따른 가능한 패턴들 (H=high, L=low, N=noisy, +/-: 고유치값의 부호)

λ_1	λ_2	Orientation pattern
N	N	No preferred direction,
L	H-	Tubular structure(bright)
L	H+	Tubular structure(dark)
H-	H-	Blob-like structure(bright)
H+	H+	Blob-like structure(dark)

이러한 정보를 이용해서 각 픽셀이 혈관일 확률(vesselness)을 측정하게 된다[15][16]. 본 논문에서 사용되는 vesselness 는 아래 식(2)와 같다. 다양한 크기의 혈관을 강화하기 위해서 다규모(multiscale)로 접근하기도 한다.

$$V = \begin{cases} 0 & \text{if } \lambda_2 > 0, \\ \exp\left(-\frac{\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^2}{2\beta^2}\right)\left(1 - \exp\left(-\frac{\sqrt{\lambda_1^2 + \lambda_2^2}}{2c}\right)\right) & \text{if } \lambda_2 < 0, \end{cases} \quad (2)$$

2.3 Vesselness 를 이용한 심혈관 분할

Hessian 행렬 고유치 기반 vesselness 값이 문턱치(thresholding)에 사용되어 혈관일 확률이 높은 픽셀들을 후보 픽셀로 선정한다. 후보 픽셀들 중 실제 혈관의 경우 가늘고 길게 연결되어 있기 때문에 연결된 픽셀들을 8-이웃 연결을 고려하여 레이블링한다.

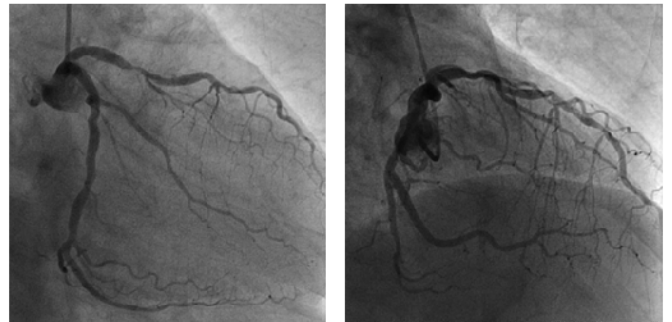
심혈관 질환이 있는 경우 X-선 혈관 조영 영상에서 조영제가 지나가지 못하므로 이미지 상에는 끊어져 보인다. 그러므로 레이블링 된 영역 중에 픽셀수가 가장 많은 영역만 찾는 것 보다 일정한 수 이상의 픽셀 수를 가진 영역을 혈관으로 보는 것이 더 정확하게 혈관을 분할할 수 있다. 그러므로 레이블링 한 영역중 일정픽셀 이상의 영역만을 혈관으로 분할한다.

3. 실험 결과

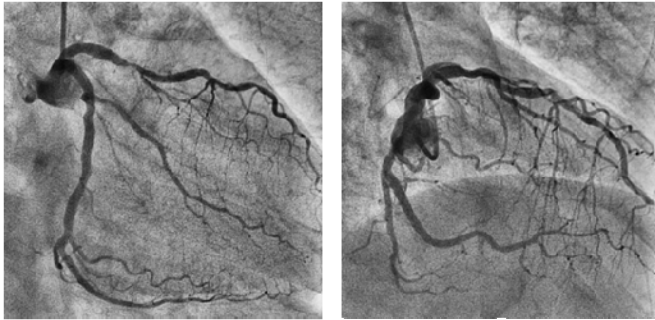
본 실험에서 vesselness 계산에 사용된 계수 β 는 0.5, c 는 15 이다. 일반적으로 심혈관 시술시 직경 1.5~2mm 의 혈관을 고려하므로 사용된 scale 은 3 이다. 최종단계에서 혈관으로 고려되는 픽셀 수로는 2500 을 사용했다.

영상분할 알고리즘은 구현은 C++로 하였고, 실험 데이터는 X-선 혈관 조영 영상 30 장을 사용하였으며, 영상의 크기는 512x512 영상해상도를 가진 8-비트 영상이다.

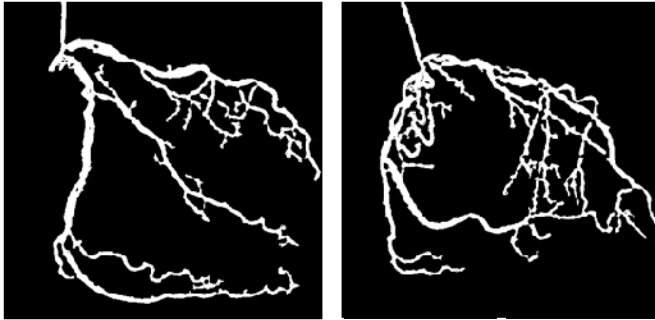
다음 그림 2 는 본 논문에서 제시한 알고리즘을 이용하여 영상분할을 수행한 것이다.



(a) 원영상



(b) 불균일 보정필터 적용 결과



(c) 분할 결과

그림 2. 제안 방법을 적용한 자동분할 결과

4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 심혈관 폐색증 환자의 진단 및 시술을 위한 Image-guided PCI (Percutaneous Coronary Intervention) 수술에 사용될 수 있도록 X-선 혈관 조영 영상에서 심혈관을 분할하는 알고리즘을 제안하였다. 먼저 혈관의 밝기값의 대조도를 높이고 일정한 범위의 밝기 값을 가지도록 불균일 보정필터를 사용하였다. 이 필터링은 배경과 혈관 사이에 밝기값의 차이를 크게 하므로 추후에 이어지는 Hessian 행렬 고유치 기반 vesselness 측정이 원영상에서 구하는 것보다 훨씬 효과적이다. 또한 Hessian 행렬의 고유치는 혈관의 지역적 기하학적 특징(local geometric features)을 이용한 것으로 심혈관 분할 시 밝기값과 복합적으로 사용하였다. 또한 이 알고리즘은 인터랙션을 요하지 않으므로 자동화 분할이 가능하다.

향후 연구로는 X-선 혈관 조영 동영상에 대해 효과적인 영상분할에 관해 연구할 것이다. 이 연구는 동영상에서의 모션 예측 및 계산을 이용하여 다중 프레임에서의 영상분할로 심혈관 시술 중에 바로 사용 가능하도록 확장될 수 있다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부 기술혁신사업으로 지원된 연구입니다. 또한 본 연구는 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략기술인력사업으로 수행된 연구결과이며 연구에서 사용된 불균일 보정필터는 이화여자대학교 전자공학과 김정태 교수님 연구실에서 받아 사용되었습니다.

참고문헌

- [1] World Health Organization(WHO), The top ten causes of death - Fact sheet N301, October (2008)
- [2] Maryam Taghizadeh Dehkordi, Saeed Sadri and Alimohamad Doosthoseini "A review of coronary vessel segmentation algorithms", Journal of Medical Signals and Sensors (2011)
- [3] Aach T, Schiebel U, Spekowius G," Digital image acquisition and processing in medical X-ray imaging".J Electron Imaging 8(1) pp.7-22 (1999)
- [4] Kumar MSD, Liyang W, Ram T, Jasjit SS, "DSA image enhancement via multi-resolution motion correction for interventional procedures: a robust strategy," Proceedings of the fifth IASTED international conference: biomedical engineering. ACTA Press, Innsbruck (2007).
- [5] E. H. W. Meijering, K. J. Zuiderveld, and M. A. Viergever, "Image registration for digital subtraction angiography," Int. J. Comput. Vis., vol. 31, no. 2/3, pp. 227-246, (1999).
- [6] Nyström, I., Sanniti di Baja, G., & Svensson, S." Representing volumetric vascular structures using curve skeletons", Proceedings of 11th International Conference on Image Analysis and Processing (2001)
- [7] Guo, D., & Richardson, P. " Automatic vessel extraction from angiogram images", In Computers in Cardiology (1998).
- [8] M. Wilkinson, M. Westenberg," Shape preserving filament enhancement filtering," in: Proc. Int. Conf. on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, LNCS, vol. 2208, pp.770-777(2001)
- [9] S.N.Devi and N. Kumaravel, "Comparison of active contour models for image segmentation in X-ray coronary angiogram images," Journal of Medical Engineering & Technology, Vol. 32, No. 5, pp.408-417 (2008)
- [10] R. Poli, G. Valli,"An algorithm for real-time vessel enhancement and detection," Comput. Meth. Prog. Biomed. 52 pp.1-22 (1996).
- [11] I. Liu and Y. Sun,"Recursive tracking of vascular networking angiograms based on the detection-deletion scheme," IEEE Trans Med. Imag., vol. 12, pp. 334-341,(1993).
- [12] Tarik Arici, Salih Dikbas and Yucel Altunbasak "A histogram modification framework and its application for image contrast enhancement", IEEE Trans. Image Process., vol. 15, pp. 1921-1935 (2009)
- [13] ZhiYu.Chen, Besma R. Abidi, David L.Page and Mongi A.Abidi "Gray-level grouping (GLG): an automatic method for optimized image contrast enhancement-part I: the basic method", IEEE Trans. Image Process., vol. 15, pp. 2290-2302 (2006)
- [14] 이한아, 김정식, 김정태, 김명희, "위상차 현미경 영상을 위한 히스토그램 기반 불균일 조명 보정", 제 23 회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 (2011)
- [15] Alejandro.F. Frangi, Wiro J. Niessen, Koen L. Vincken and Max A. Viergever "Multiscale vessel enhancement filtering", in Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention - MICCAI'98 (1998)
- [16] Yoshinobu Sato, Shin Nakajima, Nobuyuki Shirage, Hideki Atsumi, Shigeyuki Yoshida, Thomas Koller, Guido Gerig and Ron Kikinis "3D multi-scale line filter for segmentation and visualization of curvilinear structures in medical images", in Medical Image Analysis, June (1998)