
관상동맥 조영술을 위한 카테터 삽입 경로 추출

김성후* · 이주원** · 김주호* · 이한욱* · 정원근*** · 이건기****

Insertion Path Extraction of Catheter for Coronary Angiography

Sung-Hu Kim* · Ju-won Lee** · Joo-Ho Kim* · Han-Wook Lee* · Won-Geun Jung*** · Gun-Ki Lee****

요 약

관상동맥 조영술은 관상동맥 협착을 검사하거나 치료를 하는데 널리 사용되고 있다. 특히, 카테터를 혈관에 삽입 시, 시술자는 혈관에 손상을 주지 말아야 하는 어려움을 가지고 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 최근 여러 연구자들이 혈관 영상의 에지 추출 기반 방법과 최적의 쓰레쉬홀드 기법 등에 관하여 많은 연구를 진행하고 있다. 그러나 이러한 방법들은 영상의 선명도와 화질에 따라서 그 성능의 차이가 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 개선하기 위해 새로운 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 다중 샘플링과 보간법, 쓰레쉬홀드, 오검출 제거 등으로 구성되어 있다. 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 다양한 혈관 조영 영상을 사용하였으며, 그 결과, 제안된 기법이 카테터의 삽입 경로를 추출하는데 효과적이었다.

ABSTRACT

Coronary angiography technology is usually used for examining or treating coronary artery stenosis. Especially, when a cardiologist inserts catheter into the heart blood vessel, the catheter path detection system is needed because the cardiologist has difficulty in not damaging vessel. Recently, to reduce this difficulty, many searchers have been working for the various image processing technologies, such as vessel edge detection, optimal threshold method, etc. However the results of these searches are showing different performances depend on the contrast and quality of images. Therefore, this study for the coronary angiography suggests a novel algorithm to avoid these problems. The suggested algorithm consists of multi-sampling, interpolation, threshold method, and fault points elimination. To evaluate the performance of the proposed method, we used several angiographic images in experimentation, and we found that the proposed method is effective for detecting the catheter insertion path.

키워드

관상동맥 조영술, 엔트로피 쓰레쉬홀드, 카테터, 혈관 추출

Key word

Coronary angiography, Entropy threshold, Catheter, Vessel extraction

* 정회원 : 경상대학교 전자공학과
** 중신회원 : 안동과학대학 의료공학과
*** 정회원 : 한국국제대학교 전기에너지공학과
**** 정회원 : 경상대학교 전자공학과 (교신저자, gklee@gnu.ac.kr)

접수일자 : 2011. 02. 22
심사완료일자 : 2011. 03. 10

I. 서 론

심장혈관 조영술(cardiac angiography) 또는 관상동맥 조영술(coronary angiography)은 경피적 경로를 통해서 좌측 또는 우측의 관상동맥 기시부에 카테터를 위치시킨 후, 이를 통해 조영제를 주입하면서 여러 각도에서 관상동맥의 해부학적 모양을 촬영하는 진단적 검사법이다[1][5]. 특히, 관상동맥 조영술은 검사를 시행하면서 동시에 치료를 위한 방법으로 카테터(catheter)를 통해 스텐트(stent) 또는 풍선을 삽입하여 치료를 할 수 있어 심도관 검사들 중 가장 핵심이 되는 검사로 자리 잡았다[2]. 조영술에 있어 혈관에 카테터 또는 스텐트를 삽입 시 가장 주의해야 할 점은 혈관에 손상을 주지 말아야 하며 만약 혈관의 손상이나 과열시에는 위험한 상황이 발생한다. 따라서 관상동맥 조영술을 시행함에 있어서 기술자는 혈관의 경로를 주의 깊게 관찰해야 한다. 이러한 기술자의 어려움을 해결하는 방안은 혈관의 경로를 정확하게 지시하는 시스템이 필요하다.

이에 최근 혈관 추출에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 주로 혈관 조영 영상의 에지 추출 기반 방법[3]과 쓰레쉬홀드 기법[4] 등이 이용되고 있다. 그러나 이러한 방법들은 영상의 선명도와 화질에 따라서 그 성능이 현저하게 차이가 나며, 주변의 뼈나 근육 등의 배경 영상에 의해 혈관 추출의 오류를 범하고 혈관 중심을 추출하기 위해 혈관의 쓰레쉬홀드 값과, 혈관의 시작점과 끝점을 지정하여야 하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 단점을 개선하기 위해 다중 샘플링과 양

선형 보간법, 엔트로피(entropy) 기반 쓰레쉬홀드, 골격화, 혈관 궤적 추출 등의 방법으로 구성하였다. 여기서 다중 샘플링(multi sampling)과 양선형 보간법(bilinear interpolation)은 혈관 이외의 주변 배경 영상을 제거하기 위한 것이며, 엔트로피 기반의 쓰레쉬홀드는 자동으로 쓰레쉬홀드 값을 추정하기 위한 것이다. 이러한 제안된 방법의 성능을 평가하기 위해 실제 환자의 관상동맥 조영 영상을 사용하였다.

II. 제안된 카테터 삽입 경로 추출

본 연구에서 관상동맥 조영술을 위해 보다 안정적인 카테터 삽입 경로를 추출하는 영상 처리 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘의 처리 과정은 그림 1과 같다. 이 영상 처리 과정을 세부적으로 설명하면, 첫 번째 단계에서는 $X \times Y$ 크기의 관상동맥 조영 영상 $O(x,y)$ 를 입력 받아 관상동맥 조영 영상과 주변 배경(미세혈관, 갈비뼈, 폐 등)을 분리하는 과정을 수행하였다. 이 분리 과정은 식(1)의 n -간격 다채널 다중 샘플링과 식(2)의 양선형 보간법으로 이루어져 있으며, 다중 샘플링은 미세혈관과 백색 잡음 특성을 가지고 있는 폐부분의 픽셀을 제거하기 위한 것이다.

$$U_n(x,y)_{n=2,3,\dots} = \begin{cases} O(x,y) & x/n=0, y/n=0 \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

$$x=1,2,\dots,X, \quad y=1,2,\dots,Y$$

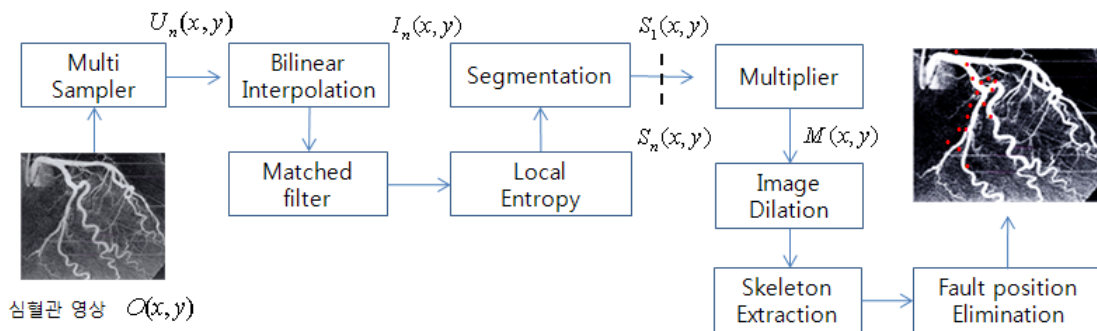


그림 1. 제안된 카테터 삽입 경로 추출기법
Fig. 1. Proposed method to extract catheter insertion path.

$$I_n(x, y) = (1 - \beta)\{v_{00} + \alpha(v_{01} - v_{00})\} + \beta\{v_{10} + \alpha(v_{11} - v_{10})\} \quad (2)$$

식(2)에서 $v_{00}, v_{01}, v_{10}, v_{11}$ 는 x, y 와 인접한 4개의 픽셀 값이며, α 와 β 는 현재 픽셀의 위치 x, y 와 인접 픽셀 간의 가로와 세로의 거리이다.

두 번째 단계에서는 식(2)로부터 출력된 다채널의 영상 $I_n(x, y)$ 으로부터 배경 영상과 혈관 영상을 분리하기 위해 참고문헌 [6][7][8]에서 제안된 회전 정합 필터와 지역 엔트로피 쓰레쉬홀드 기법을 사용하였다. 이 기법은 L의 혈관 세그먼트의 길이를 토대로 생성된 식(3)의 커널을 이용하여 정합 필터링하며,

$$f(x, y) = -\exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right), \text{ for } |y| \leq L/2 \quad (3)$$

지역 엔트로피에서는 배경 영상에서 혈관을 추출하기 위해 알맞은 쓰레쉬홀드 처리를 한다. 이는 이미지 픽셀 농도가 서로 독립되지 않기 때문에 그레이 레벨 공간으로 분포된 효과적인 엔트로피 기반의 쓰레쉬홀드 처리를 한다. 이 처리과정은 식(4)에서 식(6)으로 이루어진다.

$$P_{ij}^A = \frac{p_{ij}}{\sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^s p_{ij}} \quad (4)$$

$$P_{ij}^C = \frac{P_{ij}}{\sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=s+1}^{L-1} p_{ij}} \quad (5)$$

$$H_T = -\frac{1}{2} \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^s P_{ij}^A \log_2 P_{ij}^A - \frac{1}{2} \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=s+1}^{L-1} P_{ij}^C \log_2 P_{ij}^C \quad (6)$$

여기서 p_{ij} 는 그레이 레벨 i 와 j 의 공동발생 확률이다. 식(6)으로부터 H_T 는 배경과 혈관을 분류하는데 있어 최적의 쓰레쉬홀드 값을 제공한다.

세 번째 단계에서는 지역 엔트로피 기반의 역치 처리된 세그먼트 영상 $s_n(x, y)$ 에서 공통된 영상을 추출하

여 배경이 제거된 영상을 얻는 과정이다. 이 과정은 식(7)과 같이 곱셈 처리하였다.

$$M(x, y) = \prod_{n=1}^N s_n(x, y) \quad (7)$$

네 번째 단계에서는 식(7)의 영상 처리에서 발생된 홀 현상을 제거하기 위해 5×5 마스크 B 를 토대로 한 팽창을 식(8)과 같이 처리하였다.

$$M \oplus B = z[(\hat{B})_z \cap M \neq \emptyset] \quad (8)$$

최종적으로 골격처리는 일반적으로 사용되고 있는 참고문헌 [9][10]에서 제안한 기법을 이용하여 처리하였으며, 여기서 출력된 골격 영상 $P(x, y)$ 에 잘못 검출된 혈관 좌표를 제거하기 위해 식(9), 식(10)과 같이 골격 좌표에 해당하는 원 영상의 픽셀 값을 추출하여, 평균값 T_p 을 배경 영상의 분리점이라고 가정하고 역치로 설정하여 최종 카테터 삽입 경로 벡터 C_p 를 추출하였다.

$$T_p = 1/N \sum_{i=1}^N P(x, y) \quad (9)$$

$$x = 1, 2, \dots, X, \quad y = 1, 2, \dots, Y$$

$$C_p = \{x, y, P(x, y) < T_p\} \quad (10)$$

$$x = 1, 2, \dots, X, \quad y = 1, 2, \dots, Y$$

III. 실험 및 결과

본 연구에서 제안한 카테터 경로 추출 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 실제 환자 3명의 혈관 조영 영상을 토대로 성능을 평가를 하였고, 그 결과 각각의 단계에서 출력된 영상은 그림 2와 같다. 그림 2에서 원 영상(그림 2(a))의 샘플링은 n 을 2, 4, 8로 설정하여 다중 샘플링과 양선형 보간 처리를 하였다. 샘플링 과정에서 과도한 샘플링 간격을 설정하면 영상에서 혈관을 감지하지 못하는 문제점을 보였으나, 작은 수의 샘플링 간격을 설정하면 제안된 알고리즘의 성능에 영향을 주지 않았다. 정합

필터는 분산(σ)을 1로 설정하여 회전 마스크 처리를 하였다. 그리고 지역 엔트로피를 기반으로 한 세그멘테이션 결과를 그림 2의 (b),(c),(d)에 나타내었다. 그림 2의 (e)는 곱 연산과 팽창 처리(모든 원소가 1인 5×5 마스크 이용)를 한 결과 영상이며 그림 (f)는 골격 처리를 한 결과 영상이다.

그림 (g)는 최종적으로 라인을 추출한 후, 경로 포인

트를 '●'로 일정 개수를 표시 하였다. 그리고 기타 영상에 대한 성능을 분석하기 위해 해상도와 명암도가 다른 환자 2명의 관상동맥 조영 영상을 추가하여 검출 성능을 평가하였다.

검출 성능의 평가 방법은 총 검출 개수와 잘못 검출된 좌표 수의 백분율 $N_{EP}/N_{TP} \times 100$ 으로 산출한 후 평가하여 표 1에 나타내었다.

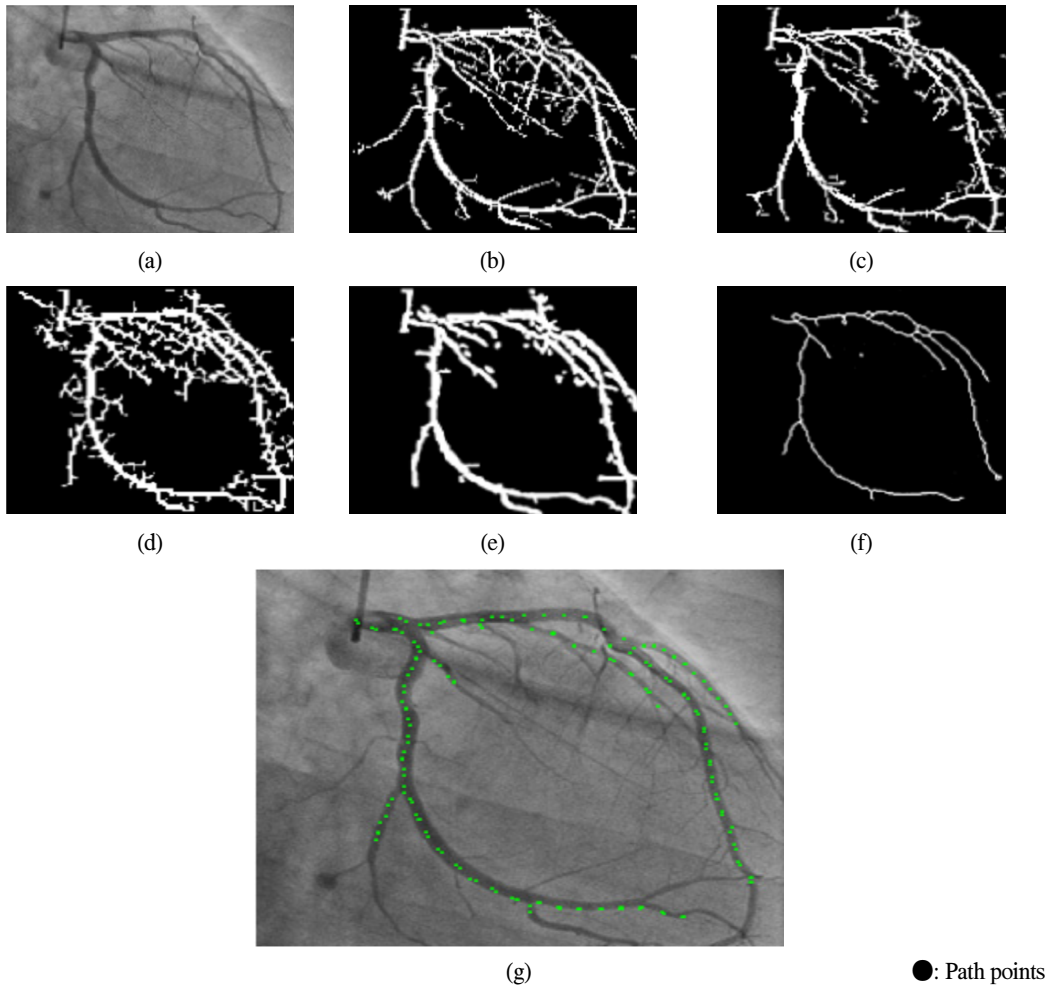


그림 2. 제안된 카테터 삽입 경로 추출 기법의 영상(영상 1)처리 결과

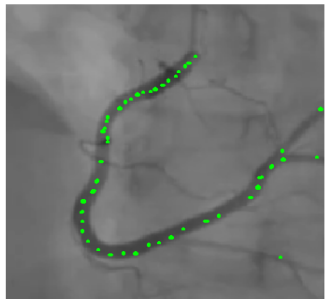
- (a) 원 영상 (b) n=2, 세그먼트된 영상 (c) n=4, 세그먼트된 영상 (d) n=8, 세그먼트된 영상
- (e) 증식과 팽창후의 이미지 (f) 골격화 이미지 (g) 추출된 카테터 삽입 경로

Fig. 2. Results of the proposed method to extract catheter insertion path for image 1.

- (a) Original image (b) n=2, Segmented image (c) n=4, Segmented image (d) n=8, Segmented image
- (e) Image after multiplication and dilatation (f) Skeleton image (g) Extracted catheter insertion path



(a)



(b)

그림 3. 영상 해상도와 화질에 따른 검출 결과
(a) 영상 2 (b) 영상 3

Fig. 3. Detection results for resolution and contrast of the image. (a) Image 2 (b) Image 3

표 1의 결과에서 영상의 대비에 따라서 에러가 증가함을 보였으나, 전체적인 검출 성능이 98.2[%]를 보여 제안된 알고리즘을 관상동맥 조영술에 적용하여 참고 영상으로 사용할 경우, 보다 안정적인 기술이 가능할 것으로 사료된다.

표 1. 검출 성능 평가의 결과
Table 1. Results of detection performances

실험 영상 (해상도, 픽셀 평균, 표준편차)	검출 에러 수 (총 검출 개수)	에러율 [%]
#1 (512x512, 116, 22.4)	2 (139)	1.4
#2 (478x397, 135, 30.5)	5 (174)	2.9
#3 (305x350, 113, 14.3)	1 (140)	0.7
평균 검출 에러	8 (453)	1.8

IV. 결 론

본 연구에서는 관상동맥 조영술의 시행시에 스텐트 또는 카테터의 삽입 경로를 시술자에게 제공하는 영상 처리 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘의 성능 평가를 위해 실제 환자 3명의 영상으로 실험 및 평가를 한 결과, 98.2[%]의 검출 성능을 보였다. 관상동맥 조영술에 사용되는 카테터의 종류는 매우 다양하며 환자마다 혈관구조 또한 다양하여 카테터의 종류를 선택함에 있어 풍부한 경험이 있는 시술자만이 적절한 카테터를 선택할 수 있다. 따라서 경험이 부족하거나 비정상적인 혈관의 구조에서는 카테터의 삽입에 실패하거나 여러 가지 카테터를 사용하여야 한다. 이러한 경우 환자의 생명이 위험해지고 경제적 부담이 커지게 된다. 따라서 본 연구에서 제안된 기법을 혈관 조영 시스템에 적용하면 위험부담도 줄이고 보다 안정적인 기술이 가능할 것이다. 향후 연구 방향은 혈관의 검출 성능을 향상시키기 위해 혈관과 배경의 대비를 강화시키는 알고리즘 개발이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 이원로, 서정돈, “임상 심장학”, 고려의학, pp. 263-282, 2007.
- [2] 박재형, “심장혈관 영상의학”, 일조각, pp. 236-249, 2008.
- [3] L. Zhou, M. S. Rzeszotarski, L. Singerman, and J. M. Chokreff, “The detection and quantification of retinopathy using digital angiograms”, IEEE Trans. Medical imaging, vol. 13, no. 4, December 1994.
- [4] A. Hoover, V. Kouznetsova, and M. Goldbaum “Locating blood vessels in retinal images by piecewise threshold probing of a matched filter response”, IEEE Trans. Medical imaging, vol. 19, no. 3, March, 2000,
- [5] <http://www.ces.clemson.edu/ahoover>.
- [6] S. Chaudhuri, S. Chatterjee, N. Katz, M. Nelson, and M. Goldbaum, “Detection of blood vessels in retinal images using two-dimensional matched filters”, IEEE Trans. Medical imaging, vol. 8, no. 3, September,

- 1989.
- [7] N. R. Pal and S. K. Pal, "Entropic thresholding", Signal processing, vol. 16, pp.97-108, 1989.
 - [8] T. Chanwimaluang and G. Fan, "Hybrid Retinal Image Registration", IEEE Trans. on Information Technology in Biomedicine, Vol. 10, No. 1, pp129-142, Jan. 2006.
 - [9] Rafael C. Gonzalez, Ricahrd E. Woods, Steven L. Eddins, "Digital Image Processing using Matalb", Pearson Prentice Hall and Info-Tech Corea, pp. 370-371, 2004.
 - [10] Lam, L., Seong-Whan Lee, and Ching Y. Suen, "Thinning Methodologies-A Comprehensive Survey", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol 14, No. 9, September, 1992, page 879, bottom of first column through top of second column.

저자소개



김성후(Seng-Hoo Kim)

2000년 방송통신대학 농학과
농학사
2006년 경남과학기술대학교
컴퓨터공학과 공학석사

2010년 경상대학교 전자공학과 박사과정수료
현재 경상대학병원 영상의학과
※관심분야: 의료영상처리, 자기공명영상



이주원(Ju-Won Lee)

1997년 경남과학기술대학교
전자공학과 공학사
1999년 한국해양대학교
전자통신공학과 공학석사

2003년 경상대학교 전자공학과 공학박사
현재 안동과학대학 의료공학과 교수
※관심분야: 생체신호처리, 영상신호처리, HCI



이한욱(Han-Wook Lee)

1999년 경상대학교 전자공학과
공학사
2001년 경상대학교 전자공학과
공학석사

2009년 경상대학교 전자공학과 공학박사
※관심분야: 생체신호처리 HCI



정원근(Won-Geun Jeong)

1997년 경남과학기술대학교
전자공학과 공학사
2000년 경상대학교 전자공학과
공학석사

2004년 경상대학교 전자공학과 공학박사
현재 한국국제대학교 전기에너지공학과 교수
※관심분야: 신호처리, 시스템



김주호(Joo-Ho Kim)

2010년 경상대학교 전자공학과
공학사
현재 경상대학교 전자공학과
석사과정

※관심분야: 신호처리, 의료영상처리



이건기(Gun-Ki Lee)

1978년 연세대학교 전기공학과
공학사
1980년 연세대학교 전기공학과
공학석사

1990년 연세대학교 전기공학과 공학박사
현재 경상대학교 공학연구원 전자공학과 교수
※관심분야: 신호처리, 의용전자