
퍼지 알고리즘을 이용한 관상동맥의 협착부위 검출

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

Detection of coronary artery stenosis using Fuzzy algorithm

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

요 약

관상동맥 성형술과 관상동맥 우회술은 심근경색의 치료를 위해서 널리 이용되고 있는 방법이다. 특히 이 시술을 위해서 혈관의 협착 부위를 정확히 진단하는데 많은 어려움이 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서 여러 연구자들에 의해서 에지 추출을 이용한 혈관의 협착부위를 검출하는 연구가 진행되고 있다. 그러나 이러한 방법들은 혈관의 구조나 영상의 질에 따라 그 성능의 차이가 발생한다. 따라서 본 연구는 이러한 문제점을 개선하기 위해 새로운 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 다중 샘플링과 쓰레쉬홀드, 퍼지 알고리즘을 이용한 혈관의 분기점과 끝점, 협착 부위를 검출하는 방법으로 구성되어 있다. 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 다양한 혈관조영영상을 사용하였으며 그 결과 제안된 알고리즘에 의한 혈관의 분기점 및 끝점, 협착 부위 검출에 효과적이었다.

ABSTRACT

Coronary angioplasty and coronary artery bypass graft, both are for the treatment of myocardial infarction widely used methods. For these procedures, there are especially difficulties in stenosis of blood vessels to diagnose accurately. To remedy this problem, by several researchers by using edge detection to detect stenosis of blood vessels has been studying. However, the results of using these methods vary depend on the vascular structure and the quality of the image. In this study, to improve these problems, the new algorithm is proposed. The proposed algorithm consists of methods to detect bifurcation of blood vessels and its ending point by using multi sampling, threshold and fuzzy algorithm. To evaluate the performance of the proposed algorithm, angiography was used for the different results of the blood vessels of the proposed algorithm, and the result was effective in detecting bifurcation of blood vessels and its ending point.

키워드

관상동맥 성형술, 관상동맥 우회술, 심근경색, 퍼지 알고리즘

Key word

coronary angioplasty, coronary artery bypass graft, myocardial infarction, fuzzy algorithm

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

접수일자 : 2011. 05. 16
심사완료일자 : 2011. 06. 14

I. 서 론

의학과 과학기술의 발전에도 불구하고 최근 우리나라에서도 점차 서구화되어가는 식생활과 생활습관, 과중한 스트레스 및 음주와 흡연 등의 원인으로 관상동맥(Coronary Artery) 질환이 점차 증가하고 있는 추세이다. 동맥경화로 인해 관상동맥에 협착이 발생되면 심근(myocardium)에 혈류를 원활히 공급하지 못하기 때문에 국소적으로 심근 허혈(myocardial ischemia) 및 심근 경색(myocardial infarction)으로 인한 심근 괴사를 일으키게 된다[1]. 이때 관상동맥의 구경이 70% 이상 폐쇄되어 심근에 국소 빈혈을 초래할 수 있는 경우와 협심증을 앓은 지 1년 이내이면서 약물로 조절되지 않는 대상자를 치료하기 위해서 가장 기본적으로는 재관류술(revascularization)을 시행하여 말초 혈액순환을 증가시키는 것이 필요하다.

재관류술을 위해서는 중재적 요법에 의한 관상동맥 성형술(Percutaneous Transluminal Coronary Angiography, PTCA), 수술에 의한 관상동맥 우회술(Coronary Artery bypass Graft, CABG)이 대표적이다. 최근에는 스텐트의 발전과 더불어 중재적 요법이 증가하고 있으며 일부 상황에서는 우회술의 시행도 훌륭한 결과를 나타내고 있다[2]. 관상동맥 성형술을 위해서는 관상동맥 조영술을 시행하면서 혈관의 협착 부위에 스텐트를 정확히 위치시켜야 하며 관상동맥 우회술을 위해서는 폐쇄된 혈관 부위 이하에 대체혈관을 연결하여 심장에 원활한 혈류를 공급해주어야 한다. 따라서 관상동맥 조영술을 시행 시 시술자는 혈관의 경로를 주의 깊게 관찰하는 것이 필요하다.

이러한 시술자의 어려움을 해결하기 위해서는 혈관의 경로를 정확하게 파악하여 협착이나 폐쇄 부위를 검출할 수 있는 시스템이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 혈관의 분기점과 끝점을 검출하는 알고리즘을 제안한다. 혈관의 분기점과 끝점 검출은 고도의 혈관 협착부위나 폐쇄되어 있는 혈관의 지점을 시술자에게 알려주기 위한 것으로서 시술자로 하여금 관상동맥 성형술을 시행할 것인지 관상동맥 우회술을 시행할 것인지에 대한 빠른 판단과 함께 초래될 수 있는 진단적 오류를 최대한 줄이기 위한 것이다.

본 논문은 다중 샘플링(multi sampling)과 엔트로피

(entropy) 기반 쓰레쉬홀드(threshold), 퍼지 알고리즘을 이용하여 특징 점들의 패턴을 인식하여 혈관의 분기점과 끝점을 검출하는 방법으로 구성하였다. 여기에서 다중 샘플링과 엔트로피 기반 쓰레쉬홀드는 혈관 이외의 주변 배경 영상을 제거하고 분리하여, 쓰레쉬홀드 값을 자동으로 추정하기 위한 것이다. 또한 퍼지 알고리즘을 이용하여 마스크의 분산에서의 소속도 즉, 혈관의 특징점을 추출하여 분기점을 검출하고, 특징점을 연결한 픽셀들의 집합에서 혈관의 끝점을 검출한다. 이러한 제안된 방법의 성능을 평가하기 위해 실제 환자의 관상동맥 조영영상을 사용하였다.

II. 분기점과 끝점, 협착 부위 추출

본 연구에서는 재관류술을 위해서 보다 정확하고 빠른 판단을 위해 퍼지 추론[7]~[10]을 이용한 혈관의 분기점과 끝점을 검출하는 영상처리 기법을 제안한다. 제안된 알고리즘의 처리과정은 그림 1과 같다. 이 영상 처리의 과정은 첫 번째 단계에서 관상동맥 조영영상 $O(x,y)$ 을 입력받아 관상동맥 조영영상에서 주변의 배경 영상을 제거하는 과정을 식 (1)에서와 같이 수행하였다. 다중 샘플링은 미세혈관과 백색 잡음의 특성을 가지고 있는 폐 부분의 픽셀을 제거하기 위한 것이다.

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

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

두 번째 단계에서는 식(1)로 부터 출력된 영상 $U_n(x,y)$ 으로부터 배경 영상과 혈관 영상을 분리하기 위해 참고문헌 [3], [4], [5]에서 제안된 회전 정합 필터와 로컬 엔트로피 쓰레쉬홀드 기법을 사용하였다. 이 기법은 L의 혈관 세그먼트의 길이를 토대로 생성된 식 (2)의 커널을 이용하여 정합 필터링을 하였다.

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

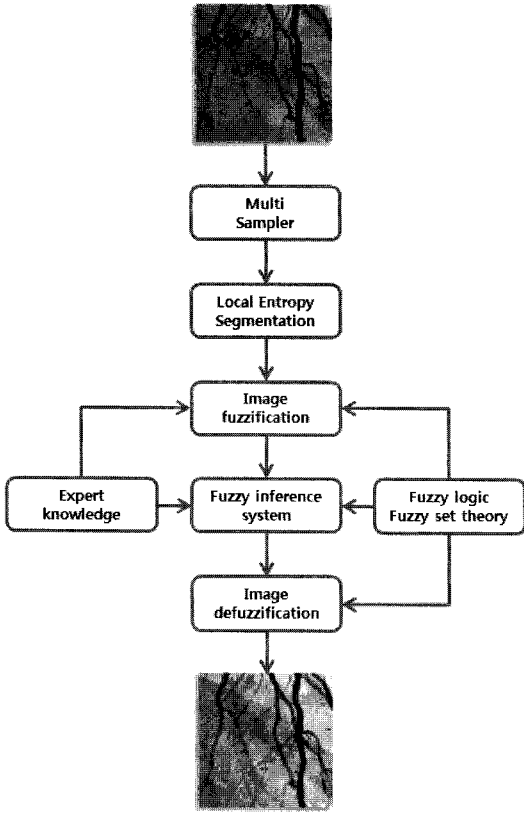


그림 1. 제안된 혈관 분기점 및 끝점 검출기법
Fig. 1. Proposed method to detecting bifurcation of blood vessels and ending point.

로컬 엔트로피에서는 배경 영상으로부터 혈관의 추출을 위해 쓰레쉬홀드 처리를 한다. 이는 영상의 픽셀 농도가 서로 독립되지 않기 때문에 그레이 레벨 공간으로 분포된 효과적인 엔트로피 기반의 쓰레쉬홀드 처리를 한다. 이 처리과정은 식 (3)에서 식 (5)로 이루어진다.

$$P_{ij}^A = \frac{p_{ij}}{\sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^s p_{ij}} \quad (3)$$

$$P_{ij}^C = \frac{P_{ij}}{\sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=s+1}^{L-1} p_{ij}} \quad (4)$$

$$H_T = -\frac{1}{2} \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^s P_{ij}^A \log_2 P_{ij}^A - \frac{1}{2} \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=s+1}^{L-1} P_{ij}^C \log_2 P_{ij}^C \quad (5)$$

여기서 p_{ij} 는 그레이 레벨 i 와 j 의 공동발생 확률이다. 식 (5)로부터 H_T 는 배경과 혈관을 분리하는데 있어 최적의 쓰레쉬홀드 값을 제공한다.

세 번째 단계에서는 일반적으로 사용되고 있는 참고 문헌 [6]에서 제안한 골격처리기법을 이용하여 처리하였다.

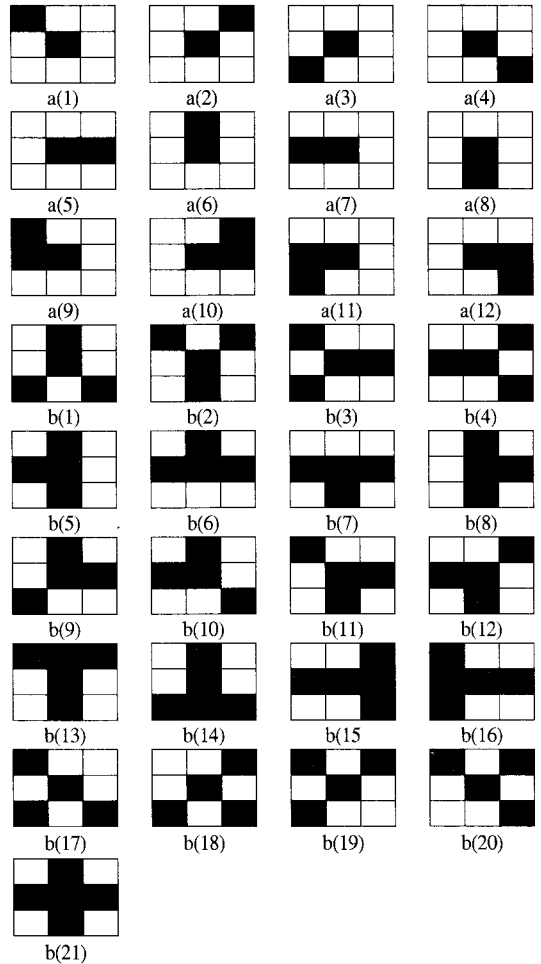


그림 2. 퍼지 시스템에 사용된 검출 규칙
Fig. 2. Detection systems used in the fuzzy rules

네 번째 단계에서는 골격치리기법을 이용한 영상 M 을 일정한 크기로 마스크화하여 8개의 방향으로 나누어 퍼지 추론시스템에 입력하고, 그 추론결과로 분기점과 끝점을 추출하였다. 여기서 사용된 입력의 퍼지 소속 함수는 8개의 각 입력에 따른 2개의 소속함수로 중심점 0 (언어적변수 : black)과 1(언어적 변수: white)에서 폭이 ± 0.1 인 삼각형 구조이다. 그리고 출력은 1개의 출력으로 입력 소속함수와 동일한 폭을 가지고 중심점 -1, 0, 1을 가진 삼각형 구조이다. 출력 소속함수의 언어적인 변수는 "None", "Branch", "End"로 구성하였다.

퍼지 추론을 위한 규칙(식 (6))은 커널 패턴 영상에 따라 분기점과 끝점을 분류하도록 하였으며, 본 연구에서 사용된 추론 커널 패턴은 그림 3과 같다. 그림 2에서 a(1)~a(12)는 끝점("End") 추론을 위한 커널이며, 그림 2의 b(1)~b(21)는 분기점("Branch")을 추론하기 위한 커널이다. 그리고 이들 마스크이외의 입력 패턴들은 "None" 출력을 하도록 설정하였다.

$$\begin{aligned} \text{if } a\text{패턴 then } y \text{ is 'End'} \\ \text{if } b\text{패턴 then } y \text{ is 'Branch'} \\ \text{else } y \text{ is 'None'} \end{aligned} \quad (6)$$

다섯 번째 단계는 식 (7)과 같이 무게 중심법을 사용하여 비퍼지화 처리를 하도록 하였다.

$$y_0 = \int y \cdot \mu_{\bar{B}^+}(y) dy / \int \mu_{\bar{B}^+}(y) dy \quad (7)$$

끝으로 협착부위는 식 (8)과 같이 끝점 좌표에서 L 거리 반경으로 픽셀점의 값이 역치(Th_1, Th_2)보다 큰 수를 계수하여 협착부위(S)를 검출 하도록 하였다.

$$\begin{aligned} S = (\sum I(x,y) > Th_1) > Th_2 \\ x = x_{ep} + L \sin(\theta), \quad y = y_{ep} + L \cos(\theta) \end{aligned} \quad (8)$$

III. 실험 및 결과

본 연구에서 제안된 혈관의 분기점 및 끝점 검출 알고리즘의 성능평가를 위해서 실제 환자 중에서 정상인 환자의 영상1과 혈관의 협착이 있는 환자의 혈관 조영영상 2, 3을 토대로 성능을 평가하였다.

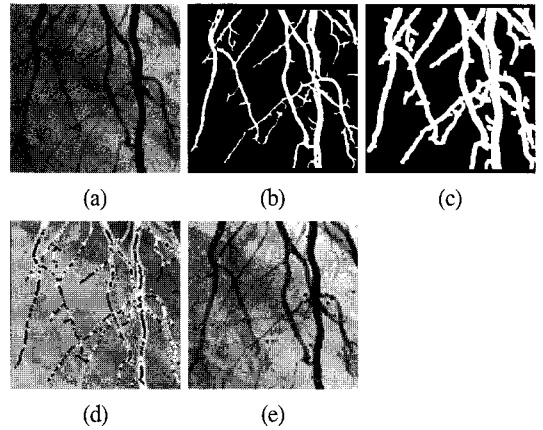


그림 3. 제안된 알고리즘에 의한 영상 1의 처리 결과
(a) 원 영상 (b) 세그먼트된 영상 (c) 팽창 영상
(d) 특징점 인식 영상 (e) 분기점 및 끝점 검출 영상
Fig. 3. The proposed algorithm, the result of processing by the image 1 (a)Original image (b)Segmented image (c)Dilation image (d)Imaging recognition feature points (e)Image bifurcation and endpoint detection

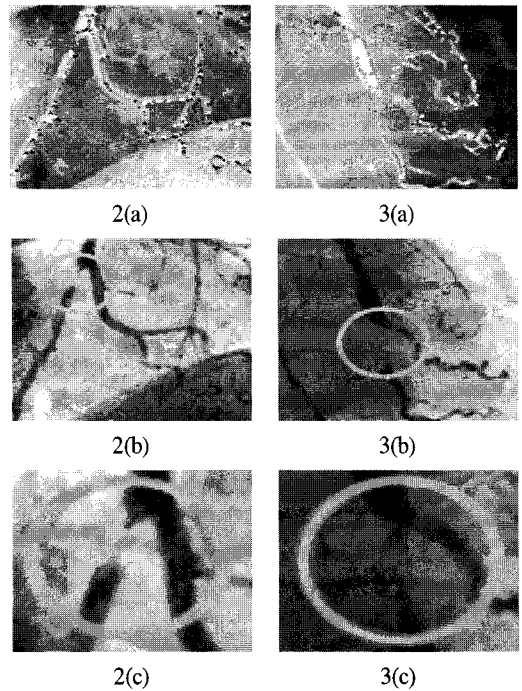


그림 4. 협착 부위 검출 결과
2(a)(b)(c) 영상, 3(a)(b)(c) 영상
Fig. 4. The detection results of images 2(a)(b)(c) Image, 3(a)(b)(c) Image

그 결과 각각의 단계에서 출력된 영상은 그림 3와 같다. 그림 3에서 원 영상(그림 3(a))을 다중 샘플링 한 후 로컬 엔트로피 쓰레쉬홀드에 의한 세그멘테이션 결과를 그림 3의 (b)에 나타내었다. 그림 3의 (c)는 곱 연산과 팽창 처리(모든 원소가 1인 5×5 마스크 이용)를 한 결과 영상이다.

그림 3의 (d)는 혈관의 특징점들을 인식한 영상이며, 최종적으로 그림 3의 (e)는 혈관의 분기점 및 끝점을 검출한 영상이다. 혈관의 특징점에 따른 분기점은 '●'로 혈관의 끝점은 '+' 로 표시하였다. 그리고 기타 영상에 대한 성능을 분석하기 위해 해상도와 명암도가 동일한 정상인 환자와 혈관의 협착이 있다고 진단된 다른 환자 3명의 관상동맥 조영영상을 추가하여 검출 성능을 평가하여 그림 4에 나타내었다. 그리고 검출 성능의 평가 방법은 총 분기점 및 끝점의 개수에 대한 검출된 분기점 및 끝점 개수의 백분율 $N_{DP} / N_{TP} \times 100$ 으로 산출한 후 평가하여 표 1에 나타내었다.

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

실험 영상	총 분기점 / 끝점	검출 분기점 / 끝점	검출율 [%]
#1	25 / 17	23 / 15	92.0 / 88.2
#2	14 / 29	13 / 25	92.8 / 86.2
#3	17 / 20	15 / 17	88.2 / 85.0
#4	24 / 27	21 / 23	87.5 / 85.1
#5	17 / 25	15 / 21	88.2 / 84.0
평균	19.4 / 23.6	17.4 / 20.2	89.6 / 85.5

IV. 결론

본 연구에서는 관상동맥의 재관류술을 위해서 혈관의 분기점과 끝점을 검출하여 시술자에게 제공하는 영상처리 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘의 성능 평가를 위해 실제 환자 5명(정상인 환자 2명, 혈관의 협착이 있다고 진단된 환자 3명)의 영상을 토대로 평가를 한 결과, 분기점 및 끝점에 대한 검출율이 89.6%와 85.5%의 성능을 보였다. 하지만 관상동맥의 재관류술을 위해 시행되는 관상동맥 조영술 시에는 환자마다의

다양한 혈관구조로 인해 시술자의 경험만으로는 혈관의 구조 및 병변의 위치를 파악하여 진단하는 것은 어려움이 있다. 이러한 경우에는 제안된 알고리즘을 이용하여 고도의 협착을 보이는 혈관의 분기점과 끝점을 검출함으로써 시술자의 진단을 위한 참고자료로 활용할 수 있을 것이다. 향후 연구 방향으로서는 영상대비에 따른 검출 성능 향상을 위한 알고리즘의 개발 및 협착율을 측정하는 알고리즘의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 서상호, 노형운, 유상신, 권혁문, 김동수, "협착이 발생된 관상동맥의 이식우회로술시 혈액유동해석", 의용생체공학회지, vol. 20, No. 5, pp617-624, 1999.
- [2] 이원로, 서정돈, "임상 심장학", 고려의학, pp738-747, 2007.
- [3] T. Chanwimaluang and G. Fan, "Hybrid Retinal Image Registration", IEEE Trans. on Information Technology in Biomedicine, Vol. 10, No. 1, pp129-142, Jan. 2006.
- [4] 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.
- [5] N. R. Pal and S. K. Pal, "Entropic thresholding", Signal processing, vol. 16, pp97-108, 1989.
- [6] Rafael C. Gonzalez, Ricahrd E. Woods, Steven L. Eddins, "Digital Image Processing using Matlab", Pearson Prentice Hall and Info-Tech Corea, pp. 370-371, 2004.
- [7] J. C. Bezdek, L. O. Hall, L. P. Clarke, "Review of MR image segmentation techniques using pattern recognition", Med. Phys. Vol. 20, No. 4, pp1033-1048, 1993.
- [8] K. S. Chuang, H. L. Tzeng, S. Chen, J. Wu, T. J. Chen, "Fuzzy c-means clustering with spatial information for image segmentation", Computerized Medical Imaging and Graphics Vol. 30 pp9-15, 2006.

- [9] M. S. Yang, Y. J. Hu, K. C. R. Lin, C. L. Lin, "Segmentation techniques for tissue differentiation in MRI of Ophthalmology using fuzzy clustering algorithms", Magnetic Resonance Imaging Vol. 20, pp173-179, 2002.
- [10] Abdallah A. Alshennawy, and Ayman A. Aly, "Edge Detection in Digital Images Using Fuzzy Logic Technique", World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 51, 2009.
- [11] Yao Lin, Jie Tian and Hui Guang He, "Image segmentation via fuzzy object extraction and edge detection and its medical application", Journal of X-Ray Science and Technology, vol. 10, pp95-106, 2002.

저자소개



이주원(Ju-Won Lee)

1997년 경남과학기술대학교
전자공학과 공학사
1999년 한국해양대학교
전자통신공학과 공학석사

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



김성후(Seng-Hoo Kim)

2000년 방송통신대학 농학과
농학사
2006년 경남과학기술대학교
컴퓨터공학과 공학석사

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



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