

혈관 윤곽의 자동적 식별을 위한 방향성 기반의 적응적 추적 알고리즘

박석일, 이종실, 구자일, 홍승홍
인하대학교 전자공학과

Adaptive Tracking Algorithm Based on Direction Field for Automated Identification of Vessel Contour

S. I. Park, J. S. Lee, J. Y. Koo, S. H. Hong
Dept. of Electronic Engineering, Inha University

Abstract

This paper presents vessel contour for extracting features and segmentating narrow blood vessels down to a diameter of two pixels in digital subtraction angiographic image. We present a new tracking algorithm for contour, mainly blood vessels in DSA image, and extracting properties such as their intensities, diameters, and center lines by exploiting spatial continuity. The proposed algorithm comes to detect blood vessel's boundary using difference edge detector one of homogeneity operator and find a next centerline position by direction vector of edge information. This algorithm enhanced variation of vessel's diameter compared to Sun's tracking algorithm and lessened to compute as direction vector decide adaptively entire vessel's direction field.

The processed images are intended to support radiologists in diagnosis, radiation therapy planning, and surgical planning. The algorithm should be useful for automating angiographic analyses of blood vessels.

서 론

혈관조영술은 명암도 향상 물질인 조영제(dye) 등을 투여하여 혈관과 심장의 방사선 영상을 가시화 하는 투과 의료 영상 기법이다[1][2]. 디지털 혈관 조영술에서 X선은 영상 증폭기(image intensifier)를 통하여 가시광으로 변환되고 아날로그 비디오 카메라를 통하여 획득된다[3]. 이런 DSA(Digital Subtraction Angiography)영상을 통하여 의사들이 환자의 상태를 진단하게 된다. 과거에는 의사가 수동적이고 주관적으로 진단했으나 현재는 디지털 신호처리와 병행하여 컴퓨터의

눈부신 발전으로 심혈관 정보 추출은 자동적이고 객관적인 검출이 가능해졌다[4]. DSA영상의 감산(subtraction)기법은 영상의 움직임을 검출하거나, 주위 배경으로부터 원하는 영상을 검출할 때 사용하는 기법으로, 마스크(mask)영상과 입력영상의 차신호를 검출하므로써 처리하는 기법이다. 의료의 경우 대표적으로 조영제를 투입하여 혈관을 관찰하는 DSA에 응용되며, 또한 두 영상간의 시간차를 알 수 있다면 동적 운동의 속도를 계산할 수 있으므로 혈류의 분석 등 특별한 응용을 할 수 있다.

혈관의 윤곽을 식별하는 방법으로는 크게 두가지로 나눌 수 있다. 하나는 스캐닝(scanning)에 의한 방법과 추적법(tracking)이 있다. 스캐닝법은 enhancement와 detection 처리로 에지(edge)나 리지(ridge)를 추출하는데 전체적 영상의 enhancement는 마스크 오퍼레이션에 의해 이루어지며 문턱치 검출로 인해 특징점을 추출할 수 있다. 또 혈관의 중심점을 혈관의 세그먼트로 레이블링(labeling)하는 기법이 있다. 반대로 추적법은 영상에서 이미 알고 있는 정보에서 시작해서 혈관의 공간 연속성을 기반으로 혈관의 구조를 인식하거나 영상의 특징점을 추출하는 기법이다[5].

이 연구의 목적은 관상 동맥영상에서 동맥윤곽을 식별하기 위한 자동적이며, 주위 잡음에 대해 강인성을 가지고 정확성을 가지는데 중점을 두고 있다. 이것은 혈관의 중심선(centerline), 폭(width), 방향(direction), 밀도(intensity)등이 연속하다는 개념에서 시작된다.

제한한 알고리즘의 핵심이 되는 경계검출은 변형된 Difference Operator를 이용하여 혈관의 특징점들을 구한다. 이 Operator는 Homogeneity Operator의 종류로서 계산량이 적다는 장점이 있다. 실제로 알고리즘에 적용하면 탐색영역을 1°씩 변화시켜 오퍼레이터를 적용하므로 계산량이 적어진다. 추적 알고리즘은 다음 중심점을 결정하

기 위해 전단계의 에지정보를 이용해 방향벡터를 구하고 다시 합벡터를 취한다. 그러므로 전체 혈관의 윤곽에 따라 중심선을 결정한다. 이는 중심선 방향이 뺄어짐에 따라 계속 보정해야 하는 기존의 알고리즘을 개선한 것이다.

경계 검출(edge detection)

혈관의 윤곽을 검출하기 위한 경계점 검출은 Homogeneity Operator로 3×3 window의 중심점으로부터 주변의 8개의 화소들을 각각 감산을 하여 각각의 차이의 절대치의 최대값을 결정한다. 하지만 Homogeneity Operator의 변형인 Difference Edge Detector는 전체 화소에 4개의 감산만 필요하므로 연산이 빠른 장점을 가지고 있다[8].

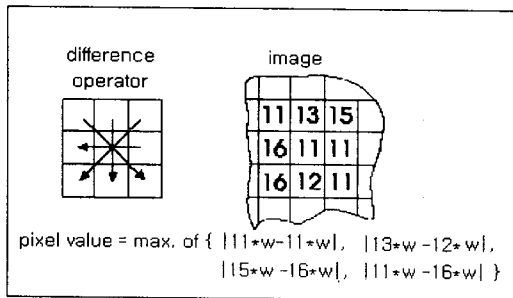


그림 1. 가중치를 적용한 Difference Edge Detector
Fig. 1. Difference Operator with weight(w).

경계검출의 연산처리는 그림1에서 보는바와 같이 Difference Edge Detector를 약간 변형하여 사용하였다. 즉, 각 화소에 일정한 가중치(Weight)를 주어 주위 화소들의 변화부분을 극대화시킴으로서 변화부분에서 연산결과 최대값에 대한 평균치에 해당하는 점을 특징점(edge)으로 보았다. 본 실험에서는 가중치를 2배로하여 주변화소의 Difference Operator의 결과값이 큰 차이가 나도록 했다.

그림 2는 연산처리된 결과값들과 그 결과값들의 차이를 그래프로 나타내었다. 이 그래프에서 보는바와 같이 구하고자 하는 경계점의 기준값을 구하기 위해 배경화소와 혈관내부의 화소를 위의 오퍼레이터를 사용해서 경계점의 기준값을 검색하였다. 실제로 이 그래프는 혈관과 주변화소를 y축(x축은 일정)으로 탐색하면서 연산한 결과값들이다. 그리고 경계점은 혈관의 중심점을 중심으로 탐색영역을 1°씩 증가시켜서 Difference Edge Detector로 계산한다. 그러므로 탐색영역에서만 연산이 이루어지므로 계산량이 적어진다.

혈관의 외부와 내부의 Operator 차이가 그래프에서 보는 바와 같이 60~70 사이의 범위와 그밖의 주변화소의 크기와 현저한 차이가 있는 것을

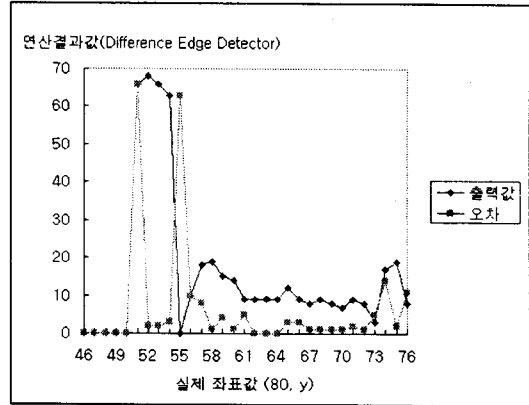


그림 2. 혈관의 Difference Operator를 취한 결과값과 경계검출 특성값 검출.

Fig. 2. Relation of difference operator value and edge detection.

알 수 있다. 이 범위내에서 혈관의 연산값의 평균 최대값을 특징점으로 본다. 이렇게 혈관 영상이 대체로 불규칙한 gray level들 속에서 간단한 연산을 이용하여 경계검출의 기준값을 구할 수 있다.

추적 알고리즘(Tracking Algorithm)

혈관의 윤곽을 추적하는데 있어서 중요한 변수는 중심선을 결정하는 것이다. 이를 바탕으로 혈관의 반경 및 경계검출을 한다. 기존의 sun이 제안한 알고리즘은 중심선을 결정하는데 있어서 정합필터(Matched Filter)의 최대 출력을 중심점(centerline point)로 결정하여 중심선의 방향이 비뺄어질 경우 새로 보상을 해주어야 하는 문제점이 있었다. 그에 따른 혈관반경의 변화가 생겨 혈관 윤곽 추적의 정확도를 떨어뜨린다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 중심점을 결정은 전단계의 에지정보를 이용하여 방향벡터를 계산하여 결정한다. 그래서 혈관의 전체적 윤곽을 따라 중심선의 방향이 진행되므로 계산량의 감소와 혈관반경의 변화를 제거하였다.

제 1 단계

혈관의 윤곽을 추적하기 위해서 먼저 마우스로 시작점을 지정한다. 마우스가 지정된 좌표로부터 두 개의 평행한 직선상에 존재하는 경계점을 Difference Edge Detector로 검출한다. 이 때 각각 두 개의 좌표들의 방향벡터를 구해서 다시 벡터 합을 취하면 다음 중심점(centerline point)이 생기게 된다.

$$N_{(x,y)} = C_{1(x,y)} + C_{2(x,y)} \quad (1)$$

제 2 단계

이 중심선을 가지고 90° 회전변환시켜 이동한 점과 이전단계의 중심점에 대한 직선의 방정식에 의해 찾아지는 혈관의 경계는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} n_{1(x,y)} \\ n_{2(x,y)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{1(x,y)} \\ c_{2(x,y)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$E_{1,2}(x,y) = \sum_{i=0}^N \frac{n(x_1,x_2) \cdot m_{slope1} - n(y_1,y_2)}{m_{slope1} - m_{slope2,slope3}} - \sum_{i=0}^N \frac{C(x_1,x_2) \cdot m_{slope2,slope3} - C(y_1,y_2)}{m_{slope1} - m_{slope2,slope3}} \quad (3)$$

이 직선의 기울기를 회전변환하여 탐색영역 θ 를 중심으로 1° 씩 변화할 때마다 Difference Edge의 값들이 최대치를 경계점으로 본다.

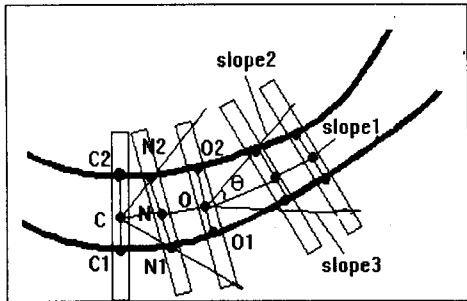


그림 3. 추적 알고리즘 이해도.
Fig. 3. Geometric illustration of tracking algorithm

위의 그림은 혈관의 경계검출 및 반경을 검출하는 본 알고리즘의 이해도를 나타내었다.

제 3 단계

점 C와 점 N2의 연장선을 따라 임의의 외분점을 구하고 위의 과정으로 경계검출을 한다. 외분점은 다음과 같이 주어진다.

$$O \left(\frac{l \cdot E_{x_2} - d \cdot E_{x_1}}{l-d}, \frac{l \cdot E_{y_2} - d \cdot E_{y_1}}{l-d} \right) \quad (4)$$

여기서도 마찬가지로 탐색영역 θ 를 반대로 1° 씩 변화시켜 혈관 외분점에서 안쪽으로 탐색을 한다.

위와 같은 과정을 지정한 끝점좌표에 도달할 때 까지 제안한 알고리즘을 계속 수행한다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 지정한 시작점과 끝점을 알면 위의 3단계 과정에 걸쳐 혈관의 경계 및 반경 검출을 한다. sun이 제안한 방법보

다는 비교적 간단한 알고리즘으로 인해 빠른 연산과 방향성을 고려한 중심선의 정확도를 특징으로 가지고 있다. 그리고 탐색영역 θ 는 그림 2와 같은 특성값을 이용하기 위한 중요한 파라미터로서 혈관의 경계검출을 한다.

실험 및 결과

추적 처리는 디지털 감산 혈관 조영상(Digital Subtraction Angiograms; DSA)에 알고리즘을 적용하였고 영상의 크기는 256×256(256 gray level)인 영상이다.

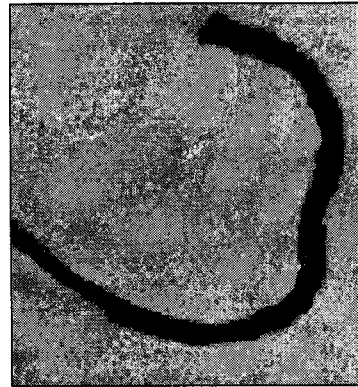


그림 4. (a) 혈관의 원영상
Fig4. Original image of vessel

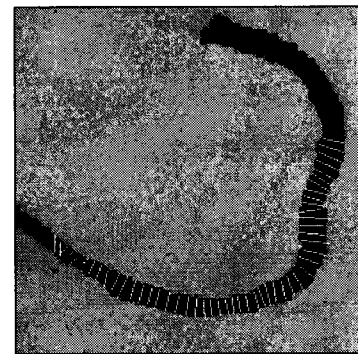


그림 5. 혈관 추적의 결과 영상
Fig 5. Result of tracking algorithm

DSA 영상에서 혈관의 이상 여부를 진단하기 위해서는 혈관 경계를 추출하고 혈관의 직경의 변화를 관찰하여 이상여부를 정량적으로 판정할 수 있게 된다. 본 알고리즘은 마우스로 시작점만 주어지면 방향정보를 이용하여 전체적인 혈관의 윤곽을 따라 자동으로 혈관의 경계를 검출하는 새로운 알고리즘을 제안하였다. Y. Sun이 제안한 알고리즘과 비교하면 혈관의 연속특성에 모순이 되는 중심선 방향을 혈관의 경계가 변화에 따라

지속적으로 보정해주어야 하는 것을 개선하였고 이에 따라 계산량이 줄어드는 효과도 있다. 그리고 경계점 탐색영역에서만 1° 씩 증가 또는 감소시켜 Difference Edge Detector로 연산을 하므로 마찬가지로 연산처리를 줄일 수 있는 장점이 있다. 추후 연구과제로는 혈관의 분기점 처리와 좌심실 DSA영상의 경계검출에 응용 등이다.

참고문헌

- [1] 민병구, 이태수, 박광석, 한만청, "실시간 디지털 혈관조영술에 관한 연구", 전자공학회지, Vol. 22, No. 3, pp 245-250, 1985.
- [2] 의용 영상시스템의 원리와 응용 특별강좌 Lecture Note(고려대), 1995.
- [3] INTEGRIS H3000 Release 1, Philips Medical Systems, 1993.
- [4] 엄경식, "디지털 감산 혈관조영상 처리 시스템의 개발에 관한 연구", 석사학위청구논문, 인하대학교, 1996.
- [5] Ying Sun, "Automated Identification of Vessel Contours in Coronary Arteriograms by an Adaptive Tracking Algorithm", IEEE Trans. Med. Imaging, Vol 8. No. 1, MARCH 1989.
- [6] Robert Kutka and Sebastian Stier, "Extraction of Line Properties Based on Direction Fields", IEEE Trans. Med. Imaging, Vol 15, No 1, FEBRUARY 1996.
- [7] Yuji Itoh, "An Edge-Oriented Progressive Image Coding", IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, Vol 6, No. 2, APRIL 1996.
- [8] Randy Crane, *A Simplified Approach to Image Processing*, Prentice Hall TRT, 1997.