

X-선 혈관조영영상에서 기울기 정보와 최대 빈도수를 이용한 카테터 자동 분할

백정아[○] 이민진 홍헬렌

서울여자대학교 미디어학부

jung-a@swu.ac.kr minjin@swu.ac.kr hlhong@swu.ac.kr

Automatic Segmentation of the Catheter in X-ray Angiography Images using Gradient Information and Mode

Jung A Baek[○] Min Jin Lee Helen Hong

Division of Multimedia Engineering, Seoul Women's University

요 약

본 논문은 X-선 혈관조영영상에서 기울기 정보 및 최대 빈도수를 이용한 카테터 자동 분할 방법을 제안한다. 제안방법은 세 단계로 이루어진다. 첫째, 분할하고자 하는 카테터 관심영역을 설정하고, 영상의 대조대비를 높이기 위한 밝기값 스트레칭을 수행한다. 둘째, 카테터 후보 경계점을 추출하기 위하여 카테터 방향을 고려한 경계 강조 마스크를 영상에 적용한다. 셋째, 카테터 후보 경계점에서 기울기가 크고 최대 빈도수 직경을 갖는 카테터 경계점을 추출하고 이들을 선형 보간하여 최종 카테터 경계를 분할한다. 제안 방법의 평가를 위하여 육안 평가 및 전문가가 수동 분할한 결과와 본 제안방법을 적용하여 얻은 중복 영역 비율과 평균 거리 차이를 측정하여 정확성 평가를 수행하였고, 수행시간을 측정하였다. 실험 결과 중복 영역 비율은 $93.9\% \pm 2.7\%$, 평균 거리 차이는 0.116-픽셀, 수행시간은 평균 0.011초로 측정되었다.

1. 서 론

심혈관계 질환 중 관상동맥 폐색(occlusion)이나 협착(stenosis)으로 인한 관상동맥 질환 진단보조 및 치료 계획 수립을 위하여 관상 동맥의 구조 및 정량 측정이 중요하다. 일반적으로 관상 동맥의 구조 및 정량 측정을 위하여 X-선 혈관조영영상을 사용하는데 영상에서의 혈관 두께와 실제 혈관 두께 사이의 비율 측정을 위한 척도가 필요하다. 이 때, 카테터는 영상에서 혈관과 같은 거리 상에 위치해 있으므로 실제 카테터 직경과 영상에서 분할된 카테터 직경간 비율을 이용하여 실제 혈관 두께와 영상에서의 혈관 두께 사이 비율을 산정할 수 있다[1]. 따라서, X-선 혈관조영영상에서 카테터를 정확하게 분할하는 것이 필수적이다. 그러나 X-선 혈관조영영상에서의 카테터는 그림 1과 같이 배경과 밝기값이 유사하고, 주변으로 지나가는 혈관이 존재하므로 자동으로 정확하게 분할하는데 한계가 있다.

X-선 혈관조영영상에서 카테터를 분할하는 기존연구는 다음과 같다. L. Nagy[2] 등은 기하학 외곽선 검출 기법을 적용하여 카테터의 초기 경계를 분할한 후, 템플릿 매칭 기법을 적용하여 최종 카테터의 경계를 분할하였다. Carmen Molina[3] 등은 ridge 검출을 사용하여 초기 경계를 분할하고, 영상을 이진화한 후, 활성외곽성모델 기법을 적용하여 카테터 경계를 분할하였다. 이와 같은 방법의 경우, 사전에 카테터의 기하학 정보를 알고 있어야 하며, 주변 배경 및 혈관과 밝기값이 유사한 경우 정확성이 낮아지는 문제가 있다.

본 논문에서는 영상에서의 기울기 정보와 최대 빈도수를 이용하여 X-선 혈관조영영상에서 카테터를 자동으로 정확하게 분할하는 방법을 제안한다. 우선, 밝기값 스트레칭을 통하여 영상의 대조대비를 높인 후, 경계 강조 마스크를 이용하여 카테터의 후보 경계점을 추출하고, 후보 경계점의 최대 빈도수 직경을 이용하여 카테터의 경계 및 직경을 자동 분할한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 관심 영역 내의 기울기 정보와 최대 빈도수를 이용한 X-선 혈관조영영상에서의 카테터 자동 분할 방법을 설명하고, 3장에서 육안 평가와 정확성 평가를 통한 실험 및 분석 결과를 제시하며, 4장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

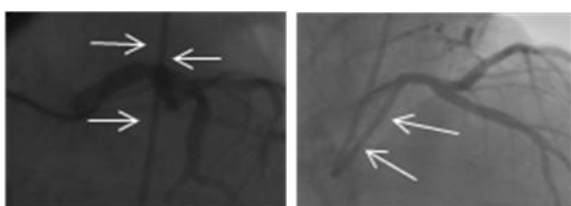


그림 1. X-선 혈관조영영상에서의 카테터

2. 관심 영역 내 기울기 정보와 최대 빈도수를 이용한 카테터 자동 분할

그림 2는 본 논문에서 제안하는 카테터 자동 분할 방법의 순서도를 나타낸다. X-선 혈관조영영상에서 카테터 주변 배경과 유사한 밝기값으로 인한 분할의 한계점을 극복하고, 카테터 주변을 지나가는 혈관의 영향력을 최소화 하기 위하여 영상의 기울기 정보와 직경의 최대 빈도수를 사용하여 카테터를 자동 분할한다.

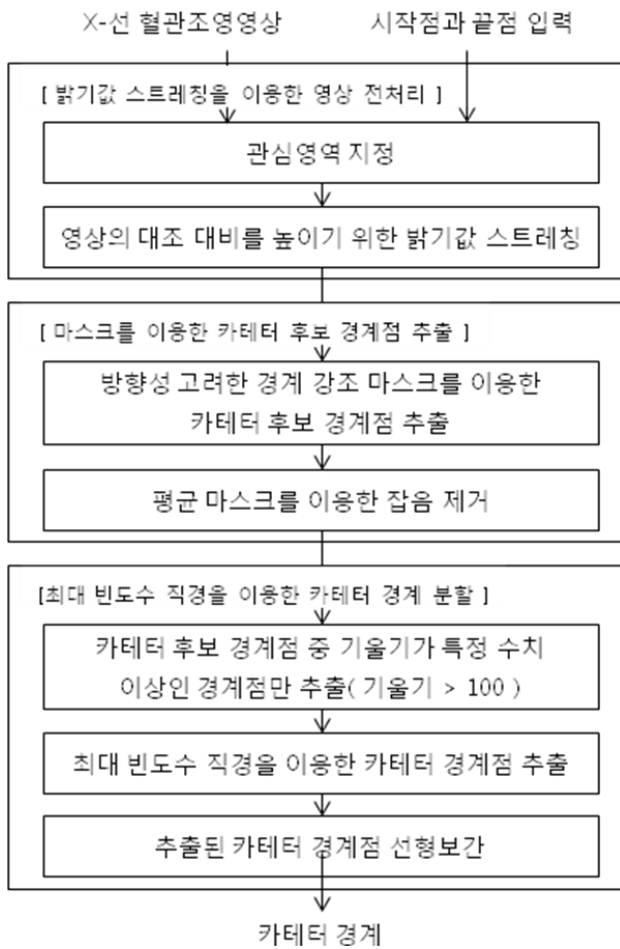


그림 2. 카테터 자동 분할 순서도

2.1 밝기값 스트레칭을 이용한 영상 전처리

X-선 혈관조영영상에서의 카테터 영역과 배경의 밝기값 대조대비 낮으므로 밝기값 대조대비를 높여 카테터 분할이 용이하도록 밝기값 스트레칭을 이용한 영상 전처리 방법을 제안한다.

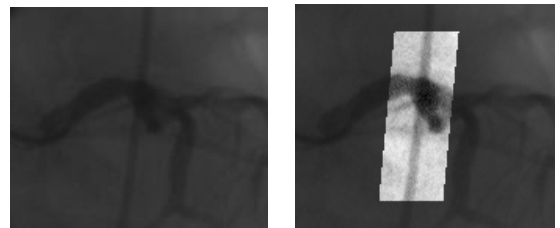
먼저, 분할하고자 하는 카테터를 사용자로부터 시작점과 끝점으로 입력 받아 관심 영역을 설정한다. 이때, 시작점과 끝점을 이은 직선을 기준으로 좌우 20-픽셀이 포함되도록 관심 영역을 설정한다. 관심영역

내에서 밝기값 스트레칭을 사용하여 영상의 밝기값 대조대비를 높인다. 식 1은 영상의 최소 밝기값과 최대 밝기값을 사용하여 관심영역 내에서 밝기값 스트레칭을 적용한 식이다.

$$contrast_img[x][y] = \frac{original_img[x][y] - Low}{High - Low} \times 255 \quad (식 1)$$

이 때, High는 영상의 최대 밝기값을 의미하고, Low는 영상의 최소 밝기값을 의미한다.

그림 3은 X-선 혈관조영영상에서 밝기값 스트레칭을 적용한 결과로 그림 3(a)는 밝기값 스트레칭을 적용하지 않은 원 영상이고, 그림 3(b)는 관심영역을 산정하고 영역 내 밝기값 스트레칭을 적용한 결과를 나타낸다. 밝기값 스트레칭 적용 후, 영상의 밝기값 대조대비가 증가하여 카테터 경계가 이전보다 명확해진 것을 알 수 있다.



(a) X-선 혈관조영영상

(b) 관심영역 내 밝기값 스트레칭 결과

그림 3. 밝기값 스트레칭 적용 결과

2.2 마스크를 이용한 카테터 후보 경계점 추출

카테터 경계를 분할하기 위하여 기울기 정보를 이용한 마스크를 영상에 적용하는 경우, 기존 소벨 마스크는 x축 및 y축 기울기를 모두 고려하여 경계를 검출하기 때문에 주변 잡음의 영향을 많이 받는 한계점이 있다. 이를 해결하기 위하여 거의 한 방향성을 갖는 카테터의 특성을 이용하여 카테터의 기울기를 고려한 한 방향의 경계 강조 마스크를 이용하여 카테터 후보 경계점을 추출하는 방법을 제안한다.

먼저, 시작점과 끝점을 이은 직선의 기울기를 산정하여 방향성 있는 경계 강조 마스크를 생성한다. 생성된 세로 또는 가로 방향의 경계 마스크를 이용하여 카테터의 후보 경계점을 추출한 후, 평균값 마스크를 이용하여 검출된 잡음을 제거한다.

그림 4는 방향성 있는 경계 강조 마스크와 평균값 마스크를 나타낸다.

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

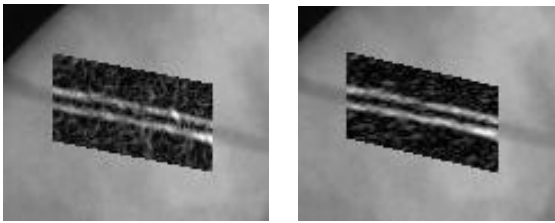
-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

1	1	1
1	1	1
1	1	1

(a) 가로방향 경계 강조 마스크 (b) 세로방향 경계 강조 마스크 (c) 평균값 마스크

그림 4. 방향성 있는 경계 강조 마스크 및 평균값 마스크

그림 5는 카테터 방향성을 고려한 경계 강조 마스크 적용 결과로 그림 5(a)는 x 및 y축 방향을 모두 고려한 기존 소벨 마스크 적용 결과로 카테터 주변 부위의 유사 밝기값으로 인하여 잡음이 함께 검출된 것을 알 수 있다. 그림 5(b)는 방향성을 고려한 경계 강조 마스크를 적용한 결과로 가로 방향성을 고려한 경계 강조 마스크를 적용함으로써 주변 잡음의 영향을 덜 받으면서 카테터 경계가 검출됨을 알 수 있다.



(a) 소벨 마스크 적용 결과 (b) 방향을 고려한 경계 강조 마스크

그림 5. 방향성을 고려한 경계 강조 마스크 적용 결과

2.3 최대 빈도수 직경을 이용한 카테터 경계 분할

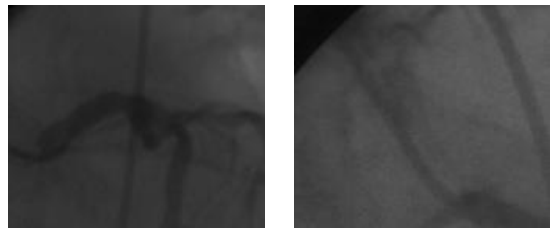
방향성을 고려한 경계 강조 마스크를 적용한 후에도 X-선 혈관조영영상에서 카테터 주변을 지나가는 혈관이나 제거되지 않은 잡음의 의해서 카테터 경계부위를 정확하게 분할하는데 한계가 있다. 따라서, 일정 직경을 갖는 카테터 특성을 고려하여 최대 빈도수 직경을 이용한 경계 분할 방법을 제안한다.

먼저, 방향성을 고려한 경계 강조 마스크를 이용하여 추출된 카테터 후보 경계점들은 실제 카테터 경계보다 굵게 잡혀있기 때문에 기울기 값이 특정 수치 이상인 카테터 경계점을 추출한다. 이 때, 기울기 임계값은 실험적으로 얻어진 수치인 100이상의 범위를 설정한다. 검출된 기울기가 특정 수치 이상인 카테터 경계점들의 직경을 계산한 후 분할된 카테터 경계점들의 최대 빈도수 직경을 구한다. 마지막으로 최대 빈도수의 직경을 갖는 카테터의 경계점을 추출하고, 이 경계점들을 선형 보간 하여 최종 카테터 경계를 분할한다.

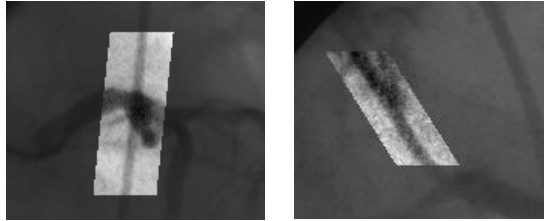
3. 실험 및 결과

본 실험은 2.4GHz CPU와 2GB 메모리를 장착한 PC에서 수행하였고, 사용자 인터페이스는 FLTK를 사용하였으며 영상 분할을 위한 구현은 C++로 개발하였다. 실험데이터는 X-선 혈관조영영상 15장을 사용하였으며, 영상의 크기는 512X512 영상해상도를 가진 8-비트 영상이다. 결과 분석을 위하여 육안 평가, 전문가가 수동으로 분할한 결과와 제안방법간의 정확성 평가와 수행 시간 평가로 나누어 실험하였다.

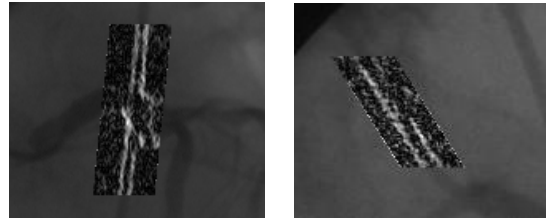
3.1 육안 평가



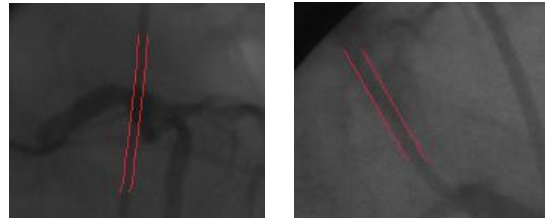
(a) 원본영상



(b) 카테터 강화 영상



(c) 방향을 고려한 경계 강조 마스크 적용 결과



(d) 제안된 방법의 자동 분할 결과

그림 6. 제안 방법을 적용한 자동 분할 결과

그림 6은 제안 방법으로 카테터를 자동 분할한 결과를 나타낸다. 그림 6(a)는 X-선 혈관조영영상이고, 그림 6(b)는 밝기값 스트레칭을 적용하여 밝기값 대조대비를 높인 카테터 강화 영상이고, 그림 6(c)는 카테터 후보 경계점 추출을 위해 방향을 고려한 경계 강조 마스크 적용 결과 영상을 나타내며, 그림 6(d)는 제안한 방법으로 카테터를 자동 분할한 영상이다.

그림 6(d)의 왼쪽 그림을 보면 카테터 주변으로 지나가는 혈관이 있는 경우에도 카테터 경계가 정확히 분할됨을 알 수 있고, 그림 6(d)의 오른쪽 그림을 보면 영상의 밝기값 대조대비가 낮고 주변에 잡음이 있는 경우에도 카테터 경계가 견고하게 분할됨을 알 수 있다.

3.2 정확성 평가

정확성 평가를 위하여 전문가가 수동 분할한 결과와 본 제안방법을 적용하여 얻은 자동 분할 결과 간의 중복 영역 비율과 평균 거리 차이를 측정한다. 중복 영역 비율은 식 2와 같이 제안방법과 수동 분할한 결과 간 중복 영역 비율로 측정한다.

$$\Omega = \frac{TP}{TP + FP + TN} \times 100(\%) \quad (\text{식 } 2)$$

이 때, TP(True Positive)는 제안방법과 수동 분할이 모두 이루어진 영역이고, FP(False Positive)는 제안방법은 분할되었지만 수동분할이 이루어지지 않은 영역을 나타낸다. FN(False Negative)은 수동 분할은 이루어졌지만 제안방법은 분할이 이루어지지 않은 영역이다. 중복영역 비율의 수치는 0부터 100사이의 값을 가지며, 100에 가까울수록 정확하게 분할 되었음을 의미한다.

그림 7은 15개 관심영역에 대한 중복 영역 비율을 나타내며, 두 영역의 중복 영역 비율은 93.9%±2.7%로 측정되었다.

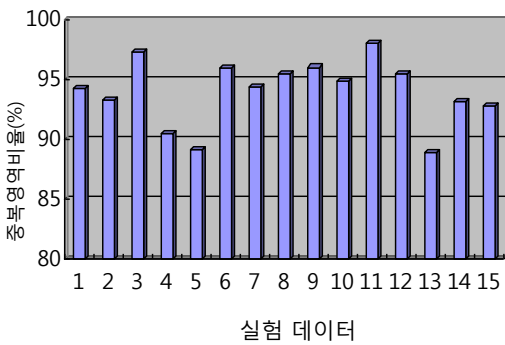


그림 7. 제안방법과 수동분할 간 중복 영역 비율

평균 거리 차이는 식 3과 같이 A와 B를 구성하는 경계점에서 가장 가까운 점들간의 유클리디안 거리를 측정한다.

$$ADD = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N D_i(A, B) \quad (\text{식 } 3)$$

$$D_i(A, B) = \sqrt{(A_x - B_x)^2 + (A_y - B_y)^2}$$

이 때, A는 자동 분할한 경계선 상의 픽셀을 나타내고, B는 수동 분할 한 경계선 상의 픽셀을 나타내며, N은

자동분할 한 경계선 위에 있는 픽셀들의 개수를 나타낸다. D는 자동 분할 한 경계선위의 한 점과 수동 분할 한 경계선위의 한 점 사이의 유클리디안 거리를 나타낸다.

그림 8은 15개 실험데이터에 대해 제안 방법과 수동 분할 결과간의 평균 거리 차이 나타내며, 평균 거리 차이는 0.116-픽셀로 측정되었다.

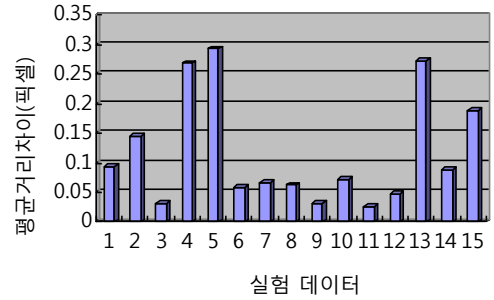


그림 8. 제안방법과 수동분할 경계간의 평균 거리 차이

제안 방법을 적용한 카테터 분할 수행 시간은 15개의 실험 데이터에 대해 평균 0.011초로 측정되었다.

4. 결론

본 논문에서는 X-선 혈관조영영상에서 밝기값 스트레칭을 통한 전처리 후, 기울기 정보와 최대 빈도수를 이용하여 카테터를 자동으로 분할하는 방법을 제안하였다. 밝기값 스트레칭을 적용하여 영상의 밝기값 대조대비를 높임으로 카테터 분할이 용이하도록 한 후, 카테터의 후보 경계점을 추출하기 위하여 방향을 고려한 경계 강조 마스크를 영상에 적용한다. 그리고 정확한 카테터를 분할하기 위해 카테터 후보 경계점에서 기울기가 크고, 최대 빈도수 직경을 갖는 카테터 경계점 만을 추출하여 해당 경계점 간 선형 보간을 수행함으로써 최종 카테터의 경계를 정확하게 분할하였다. 제안 방법의 실험 결과는 전문가의 수동분할과 제안방법을 적용한 분할 결과 간의 중복 영역 비율이 93.9%±2.7%, 평균 거리 차이가 0.116-픽셀, 수행 시간이 평균 0.011초로 측정되었다. 제안방법을 이용하여 자동 분할된 카테터는 X-선 혈관조영영상에서 영상과 실제 혈관 간 비율을 확인할 수 있는 기준으로 사용 될 수 있다.

참고문헌

[1] Donald F. Fortin, Laurence A. Spero, Jack T. Cusma, Leonard Santoro, Robert Burgess, Thomas M. Bashore, "Pitfalls in the determination of absolute dimensions using angiographic catheters as

calibration devices in quantitative angiography”, *The American Journal of Cardiology*, vol.68, no.11, pp.1176–1182, 1991

[2] L. Nagy, L. Szilágyi, “CATHETER CALIBRATION USING TEMPLATE MATCHING LINE”, *Engineering in Medicine and Biology Society, 2001. Proceedings of the 23rd Annual International Conference of the IEEE*, vol.1, pp.387–389, 2001

[3] M. C. Molina, Guido P. M. Prause, Petia Radeva, Milan Sonka, “3D catheter path reconstruction from biplane angiograms”, *Medical Imaging 1998: Image Processing*, vol. 3338, pp.504–512, 1998