

X-ray 영상에서 개선된 허프 변환을 이용한 척추만곡도 측정

정향수 · 김광백

신라대학교 컴퓨터공학과

Measurement of Spinal Curvature by Using Enhanced Hough Transform on X-ray Imaging

Hyang su Jeong · Kwang Beak Kim

Dept. of Computer Engineering, Silla University

E-mail : jhs940119@gmail.com, gbkim@silla.ac.kr

요 약

본 논문에서는 X-ray 영상에서 척추 영역을 추출 및 분석하여 척추만곡도를 자동으로 측정하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 X-ray 영상에서 어깨뼈와 골반뼈 등과 같이 필요 없는 영역을 제거한 ROI(Region of Interest) 영역을 추출하고, 추출된 ROI 영역에서 척추 에지를 검출하기 위해 가우시안-라플라시안(Laplacian of Gaussian) 필터를 적용하여 척추 에지를 검출한다. 추출된 척추 영역을 척추의 Apex를 기준으로 Above Apex와 Below Apex 영역으로 구분하고 허프 변환(Hough Transform) 기법을 적용하여 두 영역에 대한 (r, θ) 허프 공간을 구한다. (r, θ) 허프 공간에서 척추만곡도 측정에 필요한 수평 직선만을 검출하기 위하여 수직 직선을 나타내는 교점들의 영역을 제거하여 척추만곡도 측정에 필요한 영역을 추출한다. 제안된 척추 추출 방법을 다양한 X-ray 영상을 대상으로 실험한 결과, 전문가가 척추만곡도를 효과적으로 측정하고 분석할 수 있는 척추 영역이 추출된 것을 확인할 수 있었다.

키워드

척추 영역, 척추만곡도, Above Apex, Below Apex, 허프 변환

I. 서 론

최근 척추측만증의 발생률은 점차 증가하고 있다[1]. 척추측만증은 성장이 빠른 사춘기에 잘 나타나는 질병으로 조기 발견을 위한 여러 가지 검사법이 실시되고 있다. 대표적인 검사법으로 배부굴곡상태에서의 육안 관찰법, 측만 각도계 측정법, X-ray 등이 있다[2]. X-ray 검사는 척추측만증의 진단과 치료 과정에서 가장 기본적이고 중요한 검사법으로 측만증의 심한 정도와 어떤 형태의 측만증인지 분석할 수 있다. X-ray 검사법에서 척추만곡도를 측정하는 데는 Cobb's angle 측정법[3]이 사용된다. Cobb's angle 측정법은 척추 전장 X-ray에서 Apex의 양쪽 끝에 위치하는 척추 마디에 평행선을 긋고 각각의 선에서 직각이 되는 선을 이루는 각도를 측정하는 방법이다. Cobb's angle은 측정자, 측정 방법 그리고 측정할 때 마다 10도 정도의 오차가 발생할 수 있기 때문에 측정값이 10도 이하인 경우에는 측만증이라고 진단하지 않는다[4].

따라서 본 논문에서는 촬영된 척추 전장 X-ray

영상을 컴퓨터를 통하여 획득한 후, 획득한 영상에서 일관성 있는 척추만곡도 측정을 위하여 척추 영역을 추출하는 방법을 제안한다.

II. ROI 영역 추출 및 에지 검출

X-ray 영상에서 어깨뼈와 골반뼈 등과 같이 필요 없는 영역을 제거한 ROI(Region of Interest) 영역을 추출한다. 어깨뼈와 골반뼈 등, 필요 없는 영역을 제거한 ROI 영역은 척추 이외에 척추에 연결된 갈비뼈와 미세한 잡음들이 존재한다. 이러한 잡음을 제거하기 위하여 추출한 ROI 영역의 밝기를 감소시켜 잡음을 제거한 후에 척추 영역만을 추출한다. 잡음이 제거된 척추 영역에서 척추의 에지를 검출하기 위하여 영교차의 특성을 가진 2차 미분을 이용한 에지 검출기를 적용한다. 대표적인 2차 미분 연산자인 라플라시안 연산은 잡음에 민감하기 때문에 가우시안 함수와 라플라시안 연산을 합한 가우시안-라플라시안(Laplacian of Gaussian) 연산을 적용한다.

척추 영역에 미세한 잡음이 많은 X-ray 영상에서는 캐니 에지 검출 기법을 적용하여 척추 마디 주변의 잡음을 효과적으로 제거한 후에 에지를 검출한다. 그림 1과 같은 영상에 가우시안 스무딩 마스크를 적용하여 잡음을 제거한다.

1/273	4/273	7/273	4/273	1/273
4/273	16/273	16/273	16/273	4/273
7/273	26/273	41/273	26/273	7/273
4/273	16/273	16/273	16/273	4/273
1/273	4/273	7/273	4/273	1/273

그림 1. LoG 5×5 마스크.

가우시안 스무딩 필터가 적용된 영상을 x축과 y축에 대하여 각각 미분을 적용한다. 2차원 공간 상에서의 함수 $f(x,y)$ 가 있을 때, 이 함수의 gradient는 식(1)과 같이 벡터 형태로 정의된다.

$$\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right] \quad (1)$$

gradient는 벡터이기 때문에 크기(norm)와 방향(direction) 값을 갖는다. 따라서 벡터의 방향을 이용하여 벡터 방향의 변화 정도를 구할 수 있고, 벡터의 크기는 벡터의 크기 변화 정도를 구할 수 있다. gradient의 크기를 구하기 위하여 식(2)와 같이 계산한다.

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2)$$

방향을 구하기 위하여 식(3)과 같이 삼각함수 arctan를 이용하여 각도 θ 를 계산한다.

$$\theta = \arctan\left(\frac{|G_y|}{|G_x|}\right) \quad (3)$$

최대 벡터의 방향 값을 구하기 위하여 gradient 방향을 네 개의 구역으로 나눈다. 식(2)과 식(3)에서 계산한 gradient의 크기와 방향 값을 고려하여 현재 픽셀의 에지의 밝기 값이 크면 현재의 픽셀 값을 보존하고 그렇지 않으면 제거하여 국지적으로 최대 밝기 값을 가지는 에지를 검출한다.

최대 밝기 값을 구한 ROI 영역에서 잡음도 함께 검출되기 때문에 잡음을 제거하기 위해 최소 밝기 값인 low와 최대 밝기 값인 high를 가지는 두 개의 임계값을 적용하여 제거할 에지와 약한 에지, 강한 에지를 구분한다. low에 해당되는 에지는 제거할 에지로 정의하고 low와 high 사이의 에지는 약한 에지로 정의하여 강한 에지들과

연결될 경우에만 잡음 제거에서 제외한다. high에 해당되는 강한 에지는 모두 비잡음으로 간주하여 잡음 제거에서 제외한다.

III. Above Apex와 Below Apex 검출을 위한 개선된 허프 변환

영상에서 (x,y) 좌표 공간의 픽셀들은 (r,θ) 허프 공간에서 곡선의 형태로 나타나며, (x,y) 좌표 공간에서 같은 직선상에 존재하는 픽셀들의 경우 (r,θ) 허프 공간에서 교점을 가지게 된다. 일반적인 허프 변환 기법에서는 (x,y) 좌표 공간의 픽셀들을 (r,θ) 허프 공간으로 사상(mapping)한다. 이를 통해 구해진 (r,θ) 허프 공간에서 교점을 찾아 직선 성분을 추출한다.

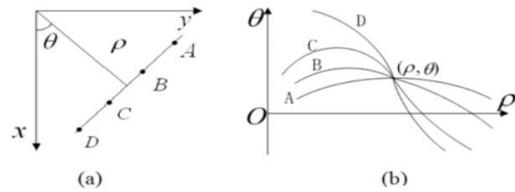


그림 2. 허프 변환 그래프.

그림 2에서 ρ 는 영상의 원점으로부터 검출되는 직선까지의 거리이며, θ 는 x축과 수선사이의 각도이다.

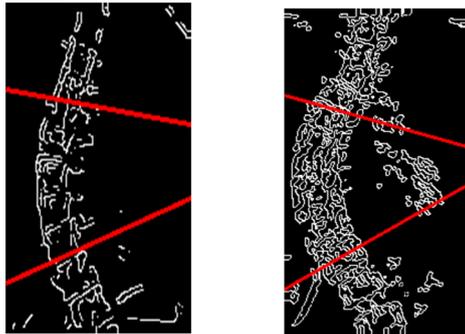
척추 에지 영상에서 Apex를 기준으로 Above Apex와 Below Apex 영역을 나누어 각각의 영역에 허프 변환 기법을 적용하여 (r,θ) 허프 공간을 구한다. 구해진 (r,θ) 허프 공간에서 모든 교점을 검출할 경우 척추만곡도 측정에 불필요한 수직 직선들도 함께 검출된다. 척추만곡도 측정에 필요한 Above Apex와 Below Apex는 척추 마디의 수평 직선을 나타내기 때문에 Above Apex와 Below Apex를 효과적으로 검출하기 위하여 $-35^\circ \sim 35^\circ$ 범위 내에 있는 교점만을 검출한다. 그리고 검출된 직선이 정확하게 Above Apex와 Below Apex를 나타낼 수 있도록 $-35^\circ \sim 35^\circ$ 범위 내에 있는 교점들을 인접한 교점간의 거리와 각도를 구하여 지역 최대값으로 병합하여 Above Apex와 Below Apex를 검출한다.

IV. 실험 및 결과 분석

본 논문에서 개선한 허프 변환을 이용한 척추만곡도 측정 방법을 Intel(R) Core(TM) i5-2500 CPU와 8.00GB RAM이 장착된 PC상에서 Visual Studio 2017로 구현하고 척추 X-ray 영상을 대상으로 실험하였다.

그림 3(a)는 캐니 에지 검출 기법과 제안된 허

프 변환 기법을 적용하여 Above Apex와 Below Apex를 검출한 결과이다. 그림 3(b)는 LoG 필터를 적용하였다. 그러나 LoG 필터가 적용된 ROI 영역에는 잡음이 존재하여 제안된 허프 변환 기법을 적용하여 잡음을 제거한 결과이다. 허프 공간의 교점들을 지역 최대값으로 병합했기 때문에 잡음이 섞인 영역에서도 Above Apex와 Below Apex가 검출되었다.



(a) 척추만곡도 검출 결과 1 (b) 척추만곡도 검출 결과 2
그림 3. 제안된 허프 변환에 의한 Above Apex와 Below Apex 영역 검출 결과.

V. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 척추측만증 환자의 척추 전장 X-ray 영상에서 Cobb's angle 측정 시 일관성 있는 Above Apex와 Below Apex 검출 결과와 측정자의 일관성을 유지하도록 하기 위해 X-ray 영상에서 척추 영역을 추출하여 Above Apex와 Below Apex를 검출하는 방법을 제안하였다.

제안된 방법은 척추 전장 X-ray 영상에서 필요 없는 영역을 제거한 ROI 영역을 추출하고, 척추와 연결되어 있는 갈비뼈 영역을 제거하기 위하여 ROI 영역의 밝기를 감소시켰다. 추출한 ROI 영역에서 척추 에지를 검출하기 위해 LoG 에지 검출 기법과 캐니 에지 검출 기법을 적용하였다. 검출된 척추 영역을 척추의 Apex를 기준으로 Above Apex와 Below Apex 영역을 구분하기 위해 허프 공간을 구하였다. 척추 만곡도 측정에 필요한 수평 직선만을 검출하기 위하여 허프 공간에서 수직 직선을 나타내는 교점들의 영역을 제거하였다. 수직 직선이 제거된 허프 공간의 교점들을 지역 최대값으로 병합하여 척추만곡도 측정에 필요한 Above Apex와 Below Apex를 검출하였다.

제안된 방법을 척추 X-ray 영상을 대상으로 실험한 결과, 대부분의 X-ray 영상에서 Above Apex와 Below Apex가 비교적 정확히 검출되었다. 그러나 척추의 밝기와 척추와 연결된 갈비뼈의 밝기 차이가 매우 적어서 밝기 차이를 이용하여 잡음을 제거하는 과정에서 척추 영역의 일부가 잡음으로 손실되는 경우가 발생하였다.

따라서 향후 연구 과제는 밝기 감소 및 윤곽선 검출 과정에서 손실되는 일부 척추 마디를 복원하여 정확한 척추 윤곽선을 검출할 수 있도록 개선할 것이고 제안된 Above Apex와 Below Apex 검출 방법과 전문의가 측정된 결과와 비교 분석할 것이다.

참고문헌

- [1] I. H. Hyong, H. S. Kim, S. Y. Lee, "The effect of immediate pain and cervical ROM of cervical pain patients on stretching and manipulation," J. Kor. Soc. Phys. Ther., Vol. 21, No.4, pp.1-7, 2009.
- [2] C. G. Lee, Y. T. Jeong, H. C. Kim, H. S. Yoo, "Comparison of Physique, Physical Fitness and Mental Health between Spinal Scoliotic and Normal Students," The Korean Journal of Growth and Development, Vol.14, No.2, pp.87-94, 2006.
- [3] J. Cobb, "Outline for the Study of Scoliosis," Instructional Course Lectures, Vol.5, pp.261-275, 1948.
- [4] 김석, 윤현석, 반효정, 정해찬, 염선규, 진은석, 김한경, "척추 측만증 환자에서의 척추 만곡과 경추 및 요추 전만각, Ferguson각의 상관관계에 대한 고찰," 척추신경추나의학회지, 제5권, 제2호, pp.33-41, 2010.