제 26 회 한국정보처리학회 추계학술발표대회 논문집 제 13 권 제 2 호 (2006. 11)

골단판 위치의 통계적 특성을 이용한 골단판 자동추출

변재욱, 이종민, 김회율
한양대학교 전자통신컴퓨터공학과
e-mail : jubyun@vision.hanyang.ac.kr

Automatic Segmentation of Epiphyseal Using Statistical Properties of Epiphyseal Location

Jae-Uk Byun, Jong-Min Lee, Whoi-Yul Kim
Dept. of Electronics and Computer Engineering, University

요 약

뼈 나이 평가는 소아 뼈의 골화정도, 내분비선 장애 등을 쉽게 알아 볼 수 있어 소아 방사선 의학에서 자주 사용되는 방법이다. 뼈 나이 평가를 위해서는 골단판과 손마디 뼈의 길이 넓이 등 뼈 정보가 필요하기 때문에 골단판 영역의 추출이 선행되어야 한다. 하지만 골단판의 성장이 많이 진행되어 손마디 뼈 부분과 붙어 있는 경우 골단판 추출이 어려운 점이 있다. 본 논문에서는 골단판 성장 여부와 상관없이 다양한 나이의 디지털 X-ray 영상에서 손가락의 골단판을 추출하는 알고리즘을 제안한다. 손가락 경계선의 레이블링 처리를 이용하여 정확한 손가락 영역을 추출하고 골단판 위치의 통계적 특성을 사용하여 골단판의 후보 지역을 생성한다. 그리고 골단판 영역에서는 손가락 영상의 수직 투영 미분값이 크기 때문에 후보 지역 내에서 수직 투영 미분값의 변화량으로 골단판의 위치를 정확하게 추출한다. 다양한 나이에 대해 실험해 본 결과 제안한 방법은 골단판의 성장 여부와 상관없이 골단판과 손가락 뼈가 붙은 곳에서도 골단판의 통계적 특성을 사용해 정확한 골단판 영역을 추출할 수 있었다.

1. 서론

뼈 나이 평가는 소아 방사선 의학에서 자주 사용되는 진료 과목 중 하나로서 뼈의 골화정도, 내분비선 장애 등을 쉽게 알아볼 수 있다. 판독의는 평가된 뼈 나이와 실제 나이를 비교함으로써 소아가 정상적으로 발육하고 있는지를 판단하게 된다. 뼈 나이 평가는 환자의 왼쪽 손을 촬영한 X-ray 영상을 판독의가 직접 육안으로 판독하는 것으로 이루어진다. 육안으로 판단하는 방법에는 Greulich와 Pyle이 제안한 atlas를 이용하는 방법[1]과 Tanner와 Whitehouse가 제안한 TW2 방법[2]이 있다. 하지만 이 방법은 판독의의 경험과 능력에 따라서 평가 결과가 달라지게 되는 문제점이 있어서 현재 객관적인 뼈 나이 평가를 위한 다양한 방법이 개발되었다.

TW2를 기반으로 하여 컴퓨터를 사용해 자동으로 뼈 나이를 판단하는 방법에는 Pietka의 논문[3][4][5], 한양대에서 제안한 PCA를 이용한 방법[6]등이 있다. Pietka 논문에서 소개한 방법은 X-ray영상에서 뼈 나이 측정을 위해서 골단판과 손마디 끝부분 뼈에서 16개의 부분들을 개별적으로 측정하여 측정 결과에 대한 점수를 합산하여 평가하는 방법이다. 그리고 의사가 측정한 뼈 나이와의 평균 오차가 가장 작은 PCA 방법은 입력 X-ray영상에서 Boundary Tracing과 Zero-Crossing 방법을 사용해 골단판 영역을 추출하고 이를 이용해서 뼈 나이를 측정한다. 그리고 뼈 나이 측정을 위한 판단 기준을 만들기 위해서 뼈 나이를 대표할 수 있는 영상들을 모아서 고유 분석을 수행하여 고유 벡터를 계산한다. 하지만 이 방법은 표준 영상의 고유 벡터와 입력 영상의 고유 벡터의 유클리디언 거리를 계산하기 때문에 추출된 골단판 영상 내에서 골단판의 위치가 정렬되어야 한다는

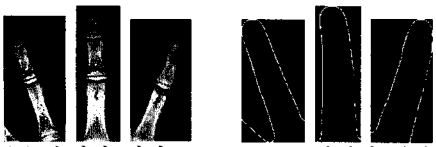
제한을 가지고 있다.

위의 논문에서와 같이 뼈 나이를 측정하기 위해서는 나이 판별의 대상이 되는 골단판 부분의 정확한 추출이 선행되어야 한다. 하지만 뼈 나이를 측정하는 논문[3][4][6]에서 사용하는 방법은 뼈의 성장이 많이 이루어져 골단판과 손 마디 뼈가 붙게 되는 경우에 골단판의 위치를 정확하게 찾지 못한다. 부정확한 골단판을 대상으로 뼈 나이를 측정하는 것은 불가능하기 때문에 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 골단판 영역의 정확한 추출이 필요하다.

본 논문에서는 골단판 영역을 정확하게 추출하기 위해서 다음 방법을 제안한다. 입력 영상에서 손가락 부분만을 정확히 추출한다. 그리고 골단판 위치의 통계적 특성을 사용하여 골단판의 후보 지역을 생성한다. 후보 지역 내의 골단판이 위치하는 부분에서 수직 투영 미분값의 큰 것을 이용해 골단판의 위치를 정확히 추출한다.

2. 손가락 추출

골단판 추출 전 단계인 손가락 윤곽 추출 알고리즘은 PCA를 이용한 뼈나이 측정 논문에 있는 방법을 사용한다[6]. 이 방법은 원본 영상에서 배경 영상을 제거한 손바닥 영상을 추출하고 손바닥 영상의 경계선 영상을 생성한다. 그리고 손가락 끝점과 사이점을 검출하기 위해 경계선 기울기의 Zero-Crossing 지점을 추출하여 이 점들을 포함하는 가장 큰 사각형 영상을 추출한다. 그림 1은 손가락 윤곽 추출 영상을 보여준다.



(a) 손가락 영상 (b) 경계선 영상

그림 1. 추출된 손가락 윤곽 영상

골단판 추출의 전단계인 손가락 추출 단계에서는 그림 1(b)의 첫 번째 그림과 같이 다른 손가락의 경계선이 포함되어 있을 경우 경계선의 기울기 계산에 오차가 생기게 된다. 이를 해결하기 위해서 손가락 경계선 영상을 레이블링 처리하여 레이블 중에서 가장 많은 픽셀을 가지고 있는 것에 대해서만 경계선의 각도를 계산한다. 경계선의 각도는 해당 레이블에 속하는 픽셀로 오차가 가장 작은 수식(1)의 1차 다항식을 계산하여 얻게 된다.

$$S_r = \sum_{i=1}^{n} e_i^2 = \sum_{i=1}^{n} (y_i - a_0 - a_1 x_i)^2 \qquad (1)$$

이때 x_i, y_i는 픽셀의 좌표, a_0, a_1는 1차 다항식의 계수이고 e_i 는 오차를 지칭한다. S_r을 최소로 하는 a_1 기울기를 수식(2)로 구하여 영상을 회전시킨다.

$$a_1 = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \qquad (2)$$

이때 n은 해당 레이블에 속하는 픽셀의 총 개수이다. 그림 2는 손가락 윤곽 영상에서 기울기를 변환하여 손가락 부분만을 가진 영상을 보여준다.

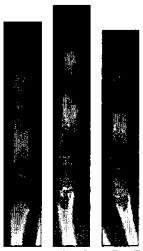


그림 2. 손가락 추출 결과

3. 골단판 위치의 통계적 특성 사용

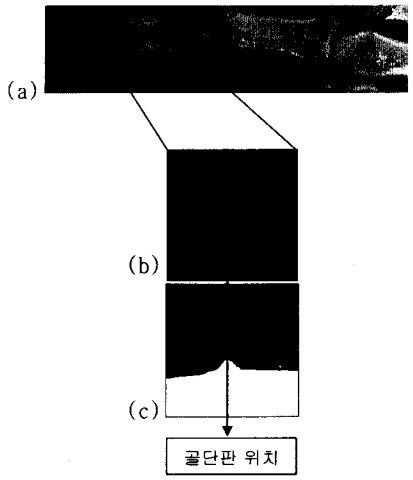
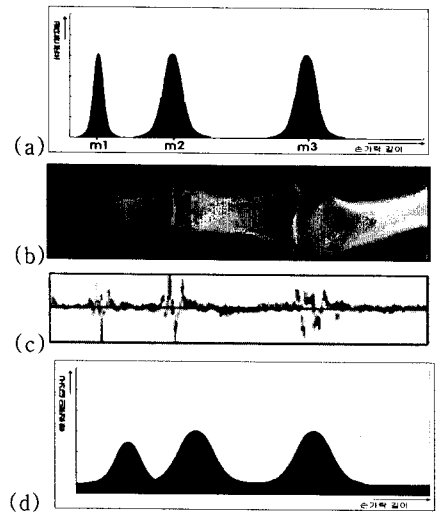


그림 3. 골단판 영상의 특성

그림 3(a)와 같이 골단판의 성장이 많이 이루어져 골단판 부분에서 경계선이 불분명하고 픽셀값의 변화량도 적을 때에는 정확한 골단판 추출이 불가능하다. 하지만 그림 3(b)와 같이 골단판 부분의 특성상 손마디 뼈에서 골단판으로 이어지는 부분에는 손가락의 뼈의 폭이 좁아지게 된다. 그렇기 때문에 픽셀의 수직 투영값은 골단판 부분에서 작아지게 되고 이러한 골단판의 특성을 사용한다. 그림 3(c)는 그림 3(b) 영상의 픽셀값을 수직투영하고 이를 미분한 뒤 왼쪽 끝부터 오른쪽 끝까지 차례로 전후 일정 간격내의 미분값의 합을 나타낸다. 이와 같이 미분값의 합이 최대가 되는 지점은 손가락 영상 내에서 골단판

지점이 된다.



(a) 손가락 영역에서 골단판 분포
(b) 손가락 영역의 수직투영 (c) 수직투영 미분
(d) 구간 내에서 수직투영 미분의 합
그림 4. 손가락에서 골단판의 위치

그림 4(a)는 손가락의 길이가 정규화된 321개의 손가락 샘플 내에서 3개의 골단판의 위치분포를 나타낸다. 그림 4(b), (c)는 각각 손가락 영역에서 수직 투영 값과 수직투영 미분값을 보여준다.

$$s_j = \sum_{j-w}^{j+w} \Box p_j \qquad (3)$$

그리고 그림 4(d)는 손가락 시작점부터 끝점까지 s_j 값을 나타낸다. 이때 $\Box p_j$는 손가락 영역 내에서 픽셀의 수직투영 미분값, j는 손가락 내의 수평좌표, w는 미분값을 더하게 되는 구간의 크기를 나타낸다. 그림 4(a)와 그림 4(d)은 3개의 골단판이 위치하는 부근에서 각각 가우시안 분포의 형태를 띄게 된다. 그림 3(a)와 같이 골단판의 성장이 많이 진행되어 골단판과 손가락 끝 부분이 붙어 골단판 위치를 찾기 어려운 것을 해결하기 위해 손가락 영역에서 골단판의 분포와 손가락 영역 내 수직투영 미분값과 같은 골단판 위치의 통계적 특성을 사용한다. 먼저 정상적인 성장 상태를 보이는 각 연령별 손 영상에서 손가락 영상 내의 골단판 위치로 후보 지역을 구성한다. $m1$, $m2$, $m3$는 손가락 영역 내에서 세 골단판의 평균 위치를 나타낸다.

그림 4(a), (c)를 보면 골단판의 평균 위치 부분에서는 수평 투영 미분값들이 큰 것을 알 수 있다. 그리고 그림 4(d)를 보면 알 수 있듯이 손가락 시작점에서부터 끝점까지 전후 픽셀의 수직투영 미분값을 더하게 되면 골단판이 위치하는 부분에서 그 값이 가장 크게 되는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 특성을 이용해서 우선 골단판 위치의 평균 지역을 골단판의 후보 지역으로 지정한다. 손가락의 전체 길이를 d로 정의했을 때, 첫 번째 골단판의 위치는 $(m1 \pm \sigma_1)$*d, 두 번째 골단판의 위치는 $(m2 \pm \sigma_2)$*d, 세 번째 골단판의 위치는 $(m3 \pm \sigma_3)$*d를 후보 지역으로 지정한다.

$$epi_j^k = \arg\max_j \{ \sum_{m_k-3\sigma_k}^{m_k+3\sigma_k} s_j \} \quad (k = 1,2,3) \qquad (4)$$

epi_j는 손가락 영역 내에서 골단판의 위치, k는 첫 번째부터 세 번째 골단판을 지칭한다. 손가락 영역에서 epi_j의 값이 최대가 되는 지점을 해당 골단판의 위치로 판단한다. 그림 5는 골단판 검색 결과를 보여준다.

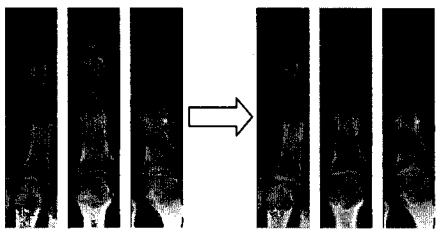
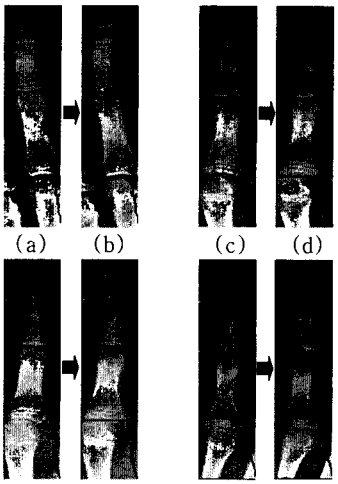


그림 5. 후보 지역 내 검색 결과

4. 실험 결과

본 논문에서 제안한 방법의 성능을 확인하기 위하여 골단판의 성장 여부와 관계없이 1살부터 17살까지 남아의 왼쪽 손 X-ray 영상 326개의 골단판 추출을 하였다. 그리고 골단판 추출의 성능을 측정하기 위하여 Zero-Crossing방법과 실험 결과를 비교하였다. 제안한 방법은 손가락 영상의 일정 구간에서 반복적으로 수직투영 미분값의 합을 구하기 때문에 처리 속도를 감안하여 Zero-Crossing방법에서 찾은 골단판 위치가 후보지역에서 벗어난 경우에 적용하였다. 골단판 후보지역은 손가락 영상 322개를 가지고 생성하였다. 샘플 데이터는 소아과에서 촬영된 X-ray 영상을 사용하였다.

그림 6과 같이 손가락 영역에서 수직투영 미분값이 큰 값을 가지는 골단판 위치는 Zero-Crossing방법으로도 잘 찾았으나 그림 6(e)의 손가락 영상에서 세 번째 골단판 부분 같은 경우에는 미분값이 작기 때문에 Zero-Crossing방법으로는 위치 측정이 불가능 했다. 본 논문에서 제안한 방법에서는 후보지역 내에서 수직투영 미분값의 합이 최대가 되는 지점을 측정해 골단판의 위치를 정확하게 추출하였다. 그림 6(b), (d), (f), (h)는 통계적 특성을 사용해서 골단판을 찾은 그림을 보여준다.



(a),(c),(e),(g) Zero-Crossing 방법
(b),(d),(f),(h) 통계적 특성을 사용한 방법
그림 6. 골단판 검색 결과

표 1은 Zero-Crossing방법과 제안된 방법의 골단판 추출 성공률을 계산한 것이다. Zero-Crossing방법은 골단판의 성장이 많이 진행되어 골단판과 손가락 뼈 사이가 붙은 부분에 대해서는 골단판 추출이 실패했기 때문에 적은 성공률을 보였다. 하지만 제안된 방법에서는 후보지역 내에서 수직투영 미분값이 거의 변화가 없고 육안으로도 골단판 위치 판별이 불가능한 영상을 제외하고는 정확한 추출 결과를 보였다.

표 1. 골단판 추출 성공률

	전체	성공	실패	성공률
통계적 특성	966	919	47	95.1 %
Zero-Crossing	966	801	165	82.9 %

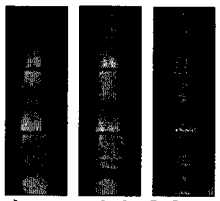


그림 7. 골단판 추출 결과

V. 결론

본 논문에서는 골단판 성장 여부와 상관없이 골단판과 손가락 뼈 사이가 붙어 있는 다양한 나이의 X-ray영상에서 골단판을 추출하기 위해 골단판 위치의 통계적 특성을 사용하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 Labeling 방법을 사용하여 손가락 영역을 정확하게 추출하고 손가락 영역에서 골단판이 위치하는 후보지역 내에서 수직투영 미분값의 합을 계산하였다. 그리고 미분값의 합이 최대가 되는 지점에서 골단판을 추출해 내었다. 이는 Zero-Crossing만을 사용하기 때문에 미분값의 크지 않은 영역에서는 골단판을 찾지 못하는 문제를 해결하였다. 실험 결과 제안한 방법은 다양한 나이의 X-ray 영상에서 골단판의 성장여부에 상관없이 골단판 추출을 하였다.

참고문헌

[1] W. W. Greulich and S. I. Pyle, Radiographic Atlas of Skeletal Development of Hand Wrist, 2nd ed. Stanford, CA: Standford Univ. Press, 1971.

[2] J. M. Tanner and R. H. Whitehouse, Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW2 Method). London, U.K.: Academic, 1975.

[3] E. Pietka, A. Gertych, S. Pospiech, Fei Cao, H.K. Huang and V. Gilsanz, "Computer-Assisted Bone Age Assessment: Image Preprocessing and Epiphyseal/ Metaphyseal ROI Extraction," IEEE Transaction on Medical Image, vol. 20, no. 8, pp. 715-729, August 2001.

[4] E. Pietka, Sylwia Pospiech-Kurkowskaa, Arkadiusz Gertycha, Fei Caob, "Integration of computer assisted bone age assessment with clinical PACS," Computerized Medical Imaging and Graphics 27, pp. 217–228, 2003

[5] E. Pietka, Lotfi Kaabi, M. L. Kuo. "Feature Extraction in Carpal-Bone Analysis," IEEE Transactions on Medical Imaging vol. 12. No. 1, 1993.

[6] 황재문, 장석환, 신재훈, 김회율, "컴퓨터 비젼 기법을 이용한 자동 뼈 나이 측정 시스템" 신호처리 합동학술대회 제 15 권 1 호, 2004 년