

골단판 자동 추출 및 통계적 기법을 이용한 뼈 나이 자동 측정

손 상 혁, 장 석 환, *신 재 훈, 김 회 율
한양대학교 전자통신컴퓨터 공학부, *한양대학교 서울병원 소아과
전화 : 02-2290-0561 / 핸드폰 : 011-631-8701

Automatic Segmentation of Epiphyseal Region and Automatic Bone Age Estimation using Statistical Method

Abstract

본 논문에서는 디지털 X-ray 영상에서 자동으로 손가락의 골단판을 추출하는 알고리즘과 이를 이용한 자동 뼈 나이 측정 방법을 제안한다. 골단판은 뼈의 골화 정도 및 성장 정도에 따라 변화되기 때문에 뼈 나이 평가 시스템에 적합하며 많이 사용된다. 골단판을 자동으로 추출하는 알고리즘을 이용해 골단판을 추출하고 영상인식 분야에서 사용되는 eigen analysis를 사용하여 뼈 나이를 자동으로 측정하였다.

I. 서론

뼈 나이 평가는 소아 방사선의학에서 자주 사용하는 진료 과목 중 하나로 뼈의 골화 정도, 내분비선 장애 등을 쉽게 알아볼 수 있는 진료 방법이다. 이러한 뼈 나이 평가는 소아가 정상적으로 발육하고 있는지 알아볼 수 있다. 뼈 나이 평가는 환자의 왼쪽 손을 촬영한 X-ray 영상을 판독자가 직접 육안으로 판독하여 뼈 나이를 평가한다.

뼈 나이 평가에서 판단의 기준으로 사용되는 매칭 방법은 크게 두 가지로 분류 할 수 있다. 첫째 방법으

로, 판독자의 76%가 사용하고 있는 atlas 매칭 방법이 있다 [1]. atlas 매칭 방법은 왼쪽 손목 전체 영상의 나이별 표준 영상을 수록한 뼈 나이 판별 지침서를 기준으로 환자의 X-ray 영상과 atlas 패턴 그룹을 비교하기 때문에 간단하게 뼈 나이를 평가할 수 있다. 그러나 판독자의 훈련 정도에 따라 뼈 나이 평가 결과가 3개월에서 6개월 정도의 차이를 보일 수 있다 [3]. 두 번째 방법으로 TW2 매칭 방법이 있다 [2]. TW2 매칭 방법은 atlas 매칭 방법과 유사한 방법으로 뼈 나이를 평가하지만, 판별 기준이 영상 전체가 아니라 성장판을 기준으로 16개 부분의 뼈를 기준으로 한다는 점이 다르다. TW2 매칭 방법은 atlas 방법보다 세밀한 평가를 할 수 있는 장점이 있지만, 각 뼈를 판독해야 하는 만큼 판독 시간이 오래 걸린다는 단점 때문에 많이 사용되지 않는다. 그러나 컴퓨터를 사용해 자동으로 뼈 나이를 평가하는 시스템 개발에는 각 뼈를 평가하는 TW2 매칭 방법이 전체 영상을 평가하는 atlas 매칭 방법보다 더 적합한 것으로 판단되어 TW2 기반의 뼈 나이 자동 측정 방법에 관하여 많은 연구가 진행되어 왔었다 [3][4][5][6].

본 논문에서는 엄지손가락을 제외한 나머지 4개 손가락의 골단판을 추출하며, 추출된 골단판의 통계적 특성을 분석하기 위해 eigen analysis를 이용하여 뼈 나이를 자동으로 측정하는 방법을 제안한다.

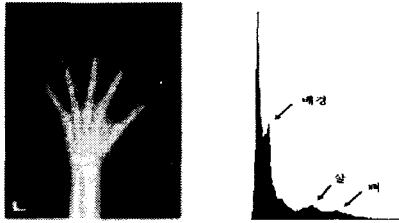
II. 본론

본 논문은 골단판 영역의 자동 추출 방법과 뼈 나이 자동 측정 방법을 제안한다. 먼저 골단판 추출 방

법에 대해 간략하게 설명하고 통계적 기법을 이용한 뼈 나이 측정 방법에 대해서 설명하도록 하겠다.

2.1 골단판 추출

뼈 나이 평가를 위해 촬영된 왼쪽 손목 부분의 X-ray 영상은 그림 1(a)와 유사한 형태로 촬영한다. 그림 1(b)의 Histogram을 보면 영상의 구성요소가 배경, 살, 뼈로 이루어져 있음을 알 수 있다.



(a) X-ray 영상 (b) Histogram
그림 1. X-ray 영상과 전역 Histogram

본 논문에서 제안하는 골단판 자동 추출 알고리즘은 다음의 그림 2과 같다.

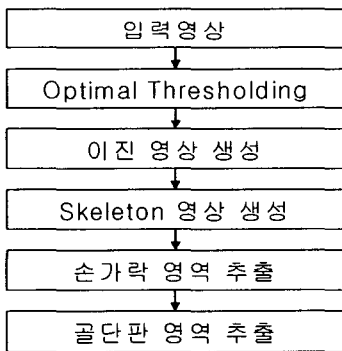
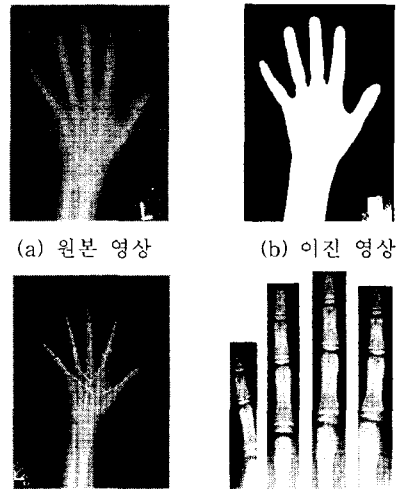


그림 2. 골단판 추출 알고리즘

먼저, 영상에서 손가락 영역을 추출하고 추출된 손가락 영역에서 골단판을 추출한다. 손가락 영역을 추출하기 위해서 입력 영상을 Skeleton 영상으로 변환하여야 하며, Skeleton 영상으로 변환하기 위해서는 입력 X-ray 영상을 이진 영상으로 변환하여야 한다. 이진 영상으로 변환하기 위한 Threshold 값은 입력 영상의 Histogram을 bi-modal이라 가정하고 가우시안 피팅을 하여 2개의 가우시안 곡선이 교차하는 지점의 그레이 값을 Threshold 값으로 사용하였다.

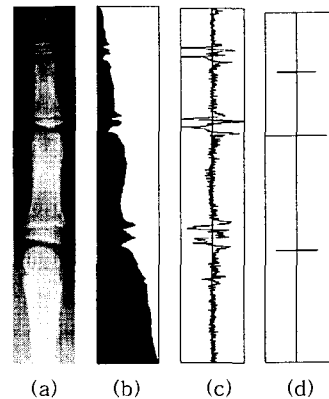
그림 3은 손가락 추출 알고리즘에 따른 영상의 변화를 나타낸 것이다. 그림 3(a)의 원본 영상에서 3(b)

의 이진 영상으로 변환하고 변환된 이진 영상으로부터 세선화 과정을 통하여 그림 3(c)와 같은 Skeleton 영상을 생성한다. 생성된 Skeleton 영상은 손가락의 정보를 가지고 있으므로, 원본 영상의 데이터에서 Skeleton에 해당하는 픽셀 값을 추출하여 그림 3(d)와 같이 손가락 영역을 추출한다.



(a) 원본 영상 (b) 이진 영상
(c) Skeleton 영상 (d) 손가락 추출 결과
그림 3. 손가락 추출 과정

Skeleton 영상으로부터 얻은 손가락 영역에서 골단판 영역을 추출한다. 추출 방법은 그림 4와 같이 손가락 영상의 수직 방향 프로젝션을 취하고, 프로젝션 미분 값의 Zero-Crossing 위치를 검출한다. 여기에서, 검출된 Zero-Crossing 위치를 골단판 영역으로 판단한다.



(a) 원본 영상 (b) 수평 방향 Projection
(c) Projection 미분 (d) 추출된 영역
그림 4. 골단판 영역 검출 결과

그림 5는 검출된 골단판 영역을 일정한 높이와 폭으로 추출한 결과 영상이다.

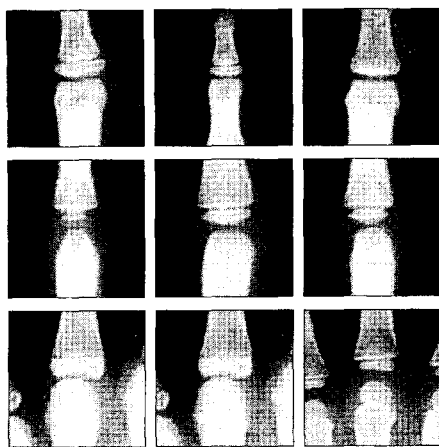


그림 5. 골단판 추출 결과

2.2 뼈 나이 측정

eigen analysis를 하기 위해 앞의 과정에서 추출한 골단판을 이용하여 그림 6과 같은 모델 데이터베이스를 생성한다. 그림 6의 모델 데이터베이스에서 각 영상을 차원이 M^2 인 벡터 $u_i (i = 1, 2, \dots, N)$ 로 놓았을 때 데이터베이스에 있는 영상 벡터의 공분산 행렬 A 는 아래와 같이 정의된다.

$$A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (u_i - c)(u_i - c)^T \quad \dots \text{수식(1)}$$

$$c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i \quad \dots \text{수식(2)}$$

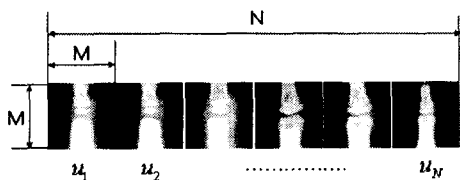
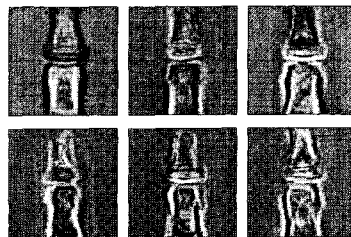


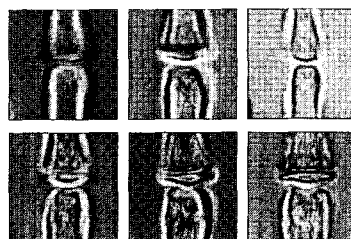
그림 6. 골단판 학습모델

수식(1)을 이용하여 공분산 행렬 A 의 고유벡터와 고유값을 구하고 고유값의 크기가 큰 순서로 고유 벡터를 정렬한다.

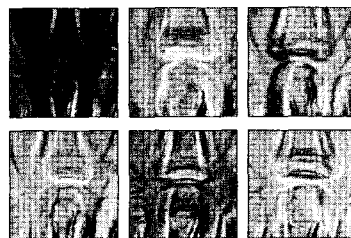
그림 7은 실험에서 사용한 데이터베이스의 공분산 행렬의 고유벡터를 나타낸다.



(a) distal phalanges



(b) middle phalanges



(c) proximal phalanges

그림 7. 실험에 사용된 중지의 골단판 고유벡터

2.3 실험 결과

본 논문에서 제안한 골단판 자동 추출 방법에 의하여 추출된 골단판을 이용하여 뼈 나이를 측정하였다. 고유벡터를 추출하기 위해 1살부터 17살까지 X-ray 영상을 이용하였으며, 고유벡터는 16개를 사용하였다. 표 1에서 보이는 바와 같이 실험은 임상 의사가 판독한 5.8세부터 16세까지 분포하는 영상 14장에 대하여 뼈 나이를 측정하였다. 샘플 데이터는 소아과에서 촬영된 DR 영상을 사용하였고, Pentium3 800Mhz, visual c++ 6.0을 이용하여 실험하였다. 실험 결과 임상 의사가 판독한 뼈 나이 값과 본 논문에서 제안한 방법을 이용한 뼈 나이 측정값의 평균오차는 0.96살로 나타났다.

III. 결론

본 논문에서 제안한 골단판 영역 자동 검출 방법은 그림 2와 같은 형태의 X-ray 영상에서 골단판을 검출할 수 있었다. 그러나 X-ray 영상이 그림 2와 같은 형태가 아니라면 손가락 및 골단판의 검출이 용이하지

않았다. 향후, 본 논문에서 제안한 골단판 추출 알고리즘의 문제점을 개선하고, 뼈 나이 측정을 위한 신뢰성 있는 의료 영상 데이터베이스를 구축할 것이다.

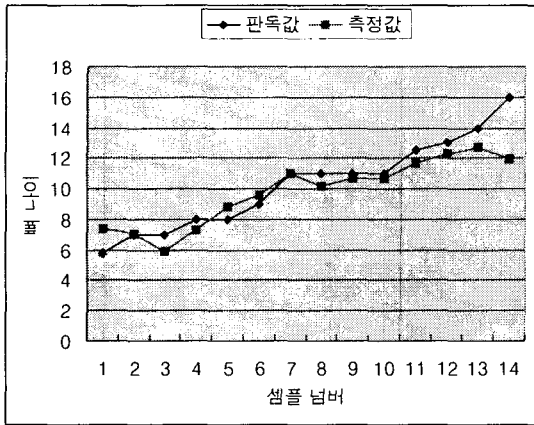


그림 8. PCA 결과

표 1. 임상외과가 판독한 나이와 본 논문에서 제안한 방법에 의해서 자동으로 측정된 나이.

판독 나이 (임상의사)	측정 나이 (자동화)	오차
5.8	7.42	1.62
7	7.09	0.09
7	5.88	1.12
8	7.29	0.71
8	8.83	0.83
9	9.59	0.59
11	10.98	0.02
11	10.17	0.83
11	10.68	0.32
11	10.65	0.35
12.5	11.65	0.85
13	12.31	0.69
14	12.67	1.33
16	11.98	4.02
평균오차		0.96

참고문헌

- [1] W. W.Greulich and S. I. Pyle, Radiographic Atlas of Skeletal Development of Hand Wrist, 2nd ed. Stanford, CA, Stanford Univ. Press, 1971.
- [2] 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, 2001.
- [3] J. M. Tanner and R. H. Whitehouse, Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW2 Method), London, U.K. Academic, 1975.
- [4] E. Pietka, M. F. McNit-Gray, M. L. Kuo "Computer-Assisted Phalangeal Analysis in Skeletal Age Assessment,"IEEE Transactions on Medical Imaging vol. 10. No. 4, pp.616-620. 1991.
- [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] E. Pietka, Sylwia Pospiech-Kurkowska, Arkadiusz Gertych, Fei Cao, "Integration of computer assisted bone age assessment with clinical PACS," Computerized Medical Imaging and Graphics vol. 27, pp. 217-228, 2003.