

Automatic Detection of the Middle Tooth Crown Part for Full Automatic Tooth Segmentation in Dental CT Images

Chan-Woo Lee*, Ok-Sam Chae**

Abstract

In this paper, we propose the automatic detection method which find the middle part of tooth crown to start individual tooth segmentation. There have been many studies on the automation of individual tooth segmentation, but there are still many problems for full automation. Detection of middle part of tooth crown used as initial information for individual tooth segmentation is closely related to performance, but most studies are based on the assumption that they are already known or they can be represented by using a straight line. In this study, we have found that the jawbone curve is similar to the tooth alignment curve by spatially analyzing the CT image, and propose a method to automatically detect the middle part of tooth crown. The proposed method successfully uses the jawbone curves to successfully create a tooth alignment curve that is difficult to detect. As the middle part of tooth crown is in the form of a tooth alignment curve, the proposed method detects the middle part of tooth crown successfully. It has also been verified by experiments that the proposed method works well on real dental CT images.

▶ Keyword: Tooth Segmentation, Computed Tomography, Tooth Panorama Image, Middle Tooth Crown part, Full Automatic Tooth Segmentation

1. Introduction

치과 분야에서 치아 질병의 진단, 치료계획, 시뮬레이션, 교정치료, 최근 들어서는 임플란트 치료 까지 X-ray 영상이 오랫동안 사용되어 왔다. X-Ray 이후에는 CT(Computed Tomography) 영상을 이용한 영상 진단, 치료를 위한 시뮬레이션 그리고 3D CAD(Computer Aided Design) 기술을 이용한 치아 제작 등이 이루어져 왔다. [1][2][3]

이러한 X-Ray 영상 및 CT 영상을 활용한 구체적인 활용으로 AM(Ante Mortem) 과 PM(Post Mortem) 데이터를 이용한 사후 신원확인을 위한 용도로 사용되어 왔다. 이러한 경우는 갑작스러운 사고 또는 사체의 부패 등으로 인해 신원을 확인 할 방법이 없는 경우 사용하였다. 미국의 911 사고 희생자들의 경우 20%, 태국의 쓰나미 희생자들의 75%가 X-Ray 의 AM과 PM 데이터를 이용하여 신원을 확인 하였고, DNA를 통해 신원을 확인한 것은 0.5% 밖에

되지 않았다. 이러한 AIDS(Automated Dental Identification System)의 목적은 X-Ray 디지털화 된 영상의 자동 검색 및 매칭이다. 즉 신원확인을 위한 Best Candidate Matching이 이 시스템의 목적이다. 이 시스템의 최고의 성능으로서 Best matching 과 검색 시간 감소는 치아 Segmentation 알고리즘의 성능이 좋으면 좋을수록 성능이 좋다.[4][5]

치과 및 교정 치료를 위하여 CAD 및 CT 영상이 도입된 이후 전통적으로 치과 의사들이 매뉴얼로 진행하던 치료 준비 및 치료가 효과적이고 효율적인 진단 및 치료 계획을 세울 수 있도록 자동화 되어져 왔다. 이렇게 도입된 기술들은 치과 의사들을 반복되는 작업 및 정확하고 정밀한 치료 계획 등을 세우는 데 있어 많은 부담을 덜 수 있도록 도움을 주었다.[6][7]

그러나 많은 부담을 덜 수 있게 하였음에도 불구하고 환자의

• First Author: Chan-woo Lee, Corresponding Author: Ok-Sam Chae

*Chan-Woo Lee (cwlee@rhinhospital.com), Dept. of Computer Science and Engineering, Kyunghee University

**Ok-Sam Chae (oschae@khu.ac.kr), Dept. of Computer Science and Engineering, Kyunghee University

• Received: 2018. 03. 09, Revised: 2018. 03. 11, Accepted: 2018. 03. 22.

치아 스캐닝을 통해 디지털 치아 모델을 얻은 후에 치과 의사는 먼저 디지털화 된 치아 모델들로부터 치아를 정확하게 분리하는 작업이 필요하다. 그 과정에서 숙련된 의사와 그렇지 못한 의사 사이의 결과는 많이 차이가 났다. 그리고 각각의 치아를 분리한 후에 각각의 정확한 치아의 위치가 결정된다. 그 후 치과 의사는 교정할 치아(Orthodontic Feature)를 측정하고 치료 계획을 위한 절차를 시뮬레이션 한다.[8] 이러한 전반적인 절차는 치아의 분리(Segmentation)가 중요한 부분을 차지하는데 완전 자동화 보다는 부분적으로 자동화 되어 있고 알고리즘의 성능에 따라 자동화의 완성도가 결정된다.

완전 자동화를 위한 문제점을 살펴보면, 첫 번째 치아의 파노라마 영상이 있어야 하는데 환자 치아의 디지털 데이터 얻은 후에 완전 자동화를 위해서는 여러 단계가 있는데 영상에서 치아의 분리, 다양한 부정교합이 나타나더라도 안정되게 치아 영상에서 치열궁을 찾는 과정, 그리고 그 치열궁을 기준으로 파노라마 영상을 생성하는 과정 등이 있다. 기존 연구들에서 자동으로 치열궁을 찾고 파노라마 영상 생성을 자동화 하는 연구들이 있어왔다. [9][10][11][12][13] 그러나 문제는 파노라마 영상에서의 영상에서는 이마저도 자동화가 어려운 상황이다.

두 번째로 중요한 것은 개별치아를 식별하여 초기 Contour를 설정하는 과정이 필요하다. CT(Computer Tomography) 영상에서 개별치아를 분리하는 과정은 상당히 도전적인 과제이다. Segmentation을 통해 개별 치아를 분리하기 어려운 점으로 1) 치근의 잠재적인 위치와 방향의 기준을 제공하기 위해서 치아와 치조골의 3D 모델에서 치아의 치근을 정렬할 필요가 있다. 그런데 어금니 같은 경우 치아의 뿌리인 치근이 3 갈래로 갈라지기 때문에 그 치아의 뿌리가 어느 치아에 속해 있는지 구분하는 것이 중요한 요소이고 연속된 CT 영상들에서 개별치아의 Contour를 찾기는 쉽지 않다. 2) 인접해 있는 치아가 크라운 부분에서 서로 붙어 있기 때문에 개별적으로 치아가 분리되는 일은 아주 어려운 일이다. 3) 치근과 치조골이 CT 이미지 상에서 유사한 Intensity를 가지고 있고, 서로 인접되어 있어 개별 치아를 분리하기가 어려운 점이 많다. 4) 치아의 부정 교합이 심할 경우 치아의 교정 치료에서 강제로 치아를 제거하고 치아를 이동 시키는 경우가 발생하는데 이러한 경우 파노라마 영상에서 개별적인 치아가 식별이 안 될 경우 어떤 치아를 제거하고 어떻게 치아를 움직일 것인가를 계획하고 또한 이러한 상황을 고객에게 설명하기가 어려운 점이 많다.

이러한 어려움에도 불구하고 개별 치아를 분리하는 연구들이 있어 왔다. Gao의 연구[10]는 CT 영상에서 자동화된 치아 분리를 수행한다. 이때 가장 치아가 뚜렷하게 분리되어 있는 그림 1의 치관 중단 부분에서 개별 치아가 차지하고 있는 영역을 찾고 이를 기반으로 치아가 서로 인접한 치관 중단 부분과 치조골에 의해 분리가 어려운 치근 중단 부분을 분리한다. Gao의 방법에 Integral Intensity Profile 통한 치아의 간격 정보를 추가하여 CT 영상에서 개별 치아를 분리하는 연구도[14][15][16] 수행되었다. 최근에는

Radon Transform을 이용하여 치조골과 개별 치아를 분리하는 방법도 제안되었다[17]. 그러나 이와 같은 기존 연구는 치아 분리가 비교적 수월한 치관 중단 부분으로부터 시작하고 치관 중단 부분은 이미 주어진 것으로 가정하고 시작한다. 따라서 수동으로 초기 치관 중단 부분을 시작점으로 설정해 주는 것이 필요하다. 이는 기존 자동화된 개별 치아 분리방법들의 완전 자동화를 불가능하게 하는 큰 걸림돌이 되었다.

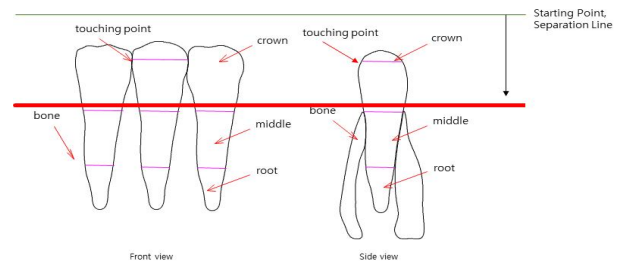


Fig. 1. The position of the middle tooth crown part, indicated by the red line, is located between the crown and the root border.

또한 CT(Computer Tomography) 영상에서 치아를 분리할 때 치관 중단 부분에서 초기 치아 윤곽선을 분리하고 이를 기반으로 치관상단과 치근의 윤곽선을 추출하기 때문에 치아 분리가 뚜렷하게 나타나는 치관 중단 부분을 정확하게 검출하는 방법은 개별 치아 분리 성능에 중요한 영향을 미친다.

그리고 기존에 CT 영상을 이용한 많은 연구들은 크게 두 갈래로 나타나는데 CT 영상에서 자동으로 파노라마 영상을 생성하는 연구 [9][10][11][12]와 파노라마 영상으로부터 개별 치아를 식별하는 연구[14][15][16] 등이 있었다. 그러나 치관 중단을 정확하게 자동으로 찾아 주는 연구는 그 중요성에도 불구하고 거의 수행되어 있지 않다.

본 논문에서는 완전 자동화된 개별 치아 분리와 정확한 치아 Segmentation을 완성하기 위한 수단으로서 치관 중단을 자동으로 찾아내는 방법을 제안 하였다. 치관 중단을 자동으로 찾기 위해 우선 CT 치아 영상에서 치관 중단 부분이 나타나는 특성을 구조적으로 분석 했고 분석 결과 치아의 공간적 배열이 턱뼈에서 나타는 곡선과 유사함을 발견 했고 이를 이용하여 빠르고 안정적으로 치관 중단을 검출 했다. 그리고 실험 결과를 통해 제안된 방법으로 찾아낸 치관 중단 영역이 이웃 치아와 인접하거나 치조골이 나타나지 않는 결과를 보여줌으로써 그 성능과 완전 자동화된 개별 치아 분리에 대한 잠재력을 입증 할 수 있었다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어있다. II장에서 치관 중단 부분을 정확하게 찾기 위한 특징을 분석을 설명하고, III장에서는 제안된 치관 중단 부 검출 방법을 설명한다. IV장에서는 실제 치과용 CT 영상을 이용하여 제안된 방법의 치관 중단 부 검출 실험을 수행했고 결과를 논의했다. 마지막으로 V장에서는 제안된 방법의 결론을 기술했다.

II. Spacial Characteristics Analysis of Middle Tooth Crown Part

치아의 배열은 사람마다 차이를 가지고 있고 그림 2와 같이 일직선이 아닌 곡선 형태로 배열되어 있다. CT 영상에서 각 치아의 치관의 중단에 해당하는 영역도 치아의 배열과 같이 곡선 형태로 존재하고 있다. 하지만 기존의 방법들은 곡선 형태의 치아 배열 특징을 고려하지 않고 특정 CT 슬라이스를 치관 중단에 걸쳐 있다고 전제하고 자동화된 치아 분리 작업[10]을 수행한다. 이는 사람이 직접 특정 CT슬라이스를 선택한다 해도 정확한 치관 중단을 나타내지 못하는 문제점을 가지고 있다.

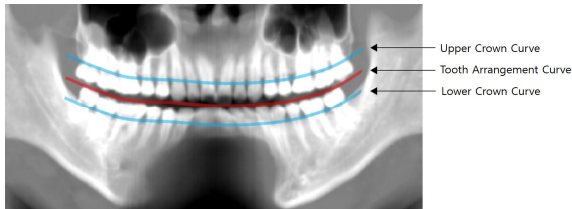


Fig. 2. Curve-like tooth curve, not straight

위에서 언급한 치아 배열 곡선은 개인 차이가 크게 발생하고 복잡한 치아 구조로 인해 치아 파노라마 영상이나 CT영상에서 직접 찾기란 매우 어려운 작업이다. 하지만 본 연구에서는 치아와 치조골의 구조를 분석하면서 Fig. 3과 같이 턱뼈가 이루는 곡선이 치아 배열 곡선과 매우 유사함을 발견 했다. 치과용 CT 영상에서 턱뼈는 단단한 구조(Hard tissue)로 나타나고 턱뼈 앞부분과 아래 부분에는 턱뼈 이외에 다른 단단한 구조가 없기 때문에 쉽게 검출이 가능하다. 또한 그림 3을 보면 턱뼈는 가늘고 좁게 나타나기 때문에 큰 오류 없이 턱뼈를 곡선 하나로 표현 할 수 있는 장점이 있다. 이와 같은 턱뼈 곡선은 대부분의 경우 기준 정보로 사용이 가능하다. 예를 들어 모든 사람은 턱뼈 위쪽에는 치조골 및 치아가 존재하고 턱뼈 뒤쪽에는 척추가 존재한다. 이는 턱뼈를 기준으로 다른 조직의 위치를 예측 할 때 매우 유용하게 사용될 수 있다.

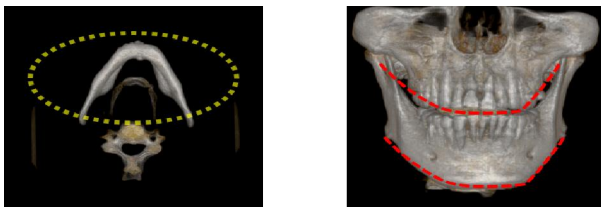


Fig. 3. Examples showing that the features of the jawbone and the jawbone curve are very similar to the tooth array curves

III. The Proposed Method

본 논문에서는 치과용 CT영상에서 각 치아의 치관의 중단에

해당되는 슬라이스를 찾는 방법을 제안한다. 이때 치관 중단에 해당하는 슬라이스를 성공적으로 찾기 위해 3가지 사전 조건이 필요하다. 첫 번째는 CT 영상은 치아를 포함하는 치과용 CT영상을 대상으로 한다. 두 번째는 턱뼈의 구조를 사용하여 대략적인 치아 배열 곡선을 그리기 때문에 CT 영상에는 턱뼈가 반드시 포함되어야 한다. 세 번째는 위 치아와 아래 치아를 구분하기 위한 조건으로 Bite-Open이 필요하다. Bite-Open이란 환자가 치과용 CT를 촬영할 때 단층촬영용 플레이트를 입에 물고 촬영을 하기 때문에 Fig. 4와 같이 환자의 입이 약간 벌어지는 현상을 말한다. 대부분의 치과용 CT는 턱뼈를 완벽하게 포함하고 있고 단층촬영용 플레이트를 입에 물고 촬영하기 때문에 위 세 가지 조건을 만족한다. 따라서 본 연구에서는 위 세 가지 조건을 적극 활용하여 치아마다 치관 중단을 포함하는 CT 슬라이스를 각각 찾는다.

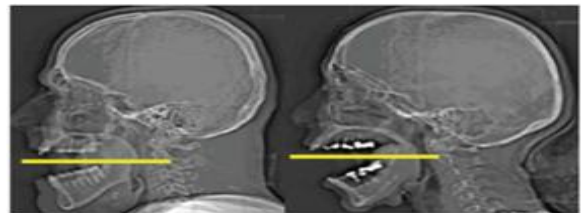


Fig. 4. A Bite-Open Example that occurs due to plate worn when it took tomography Imaging

제안된 방법은 우선 치과용 CT 영상에서 치아가 포함되는 영역을 근사적으로 설정하고 치아와 같은 딱딱한 조직(Hard Tissues)과 피부, 지방 같은 연조직(Soft Tissues)을 분리한다. 턱뼈는 딱딱한 조직이고 턱뼈 앞부분과 밑 부분에 턱뼈 이외에 다른 딱딱한 조직이 없기 때문에 쉽게 턱뼈 위치를 찾고 3차원 턱선 곡선을 적합(Fitting) 할 수 있다. 그 다음 Bite-Open 조건에 따라 위 치아와 아래 치아를 분리하는 영역을 찾고 파노라마 영상을 생성한다. 파노라마 영상에서 턱선 곡선을 치아 배열 곡선으로 적합하고 위 치아와 아래 치아 방향으로 치아 배열 곡선을 이동하여 치관 중단 부에 해당하는 위치를 찾는다. 이와 같은 제안된 방법의 수행 과정은 Fig.5에서 간략하게 볼 수 있다.

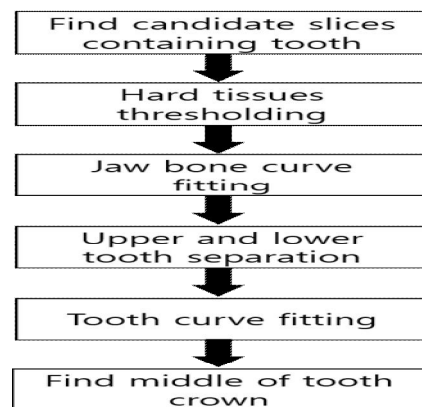


Fig. 5. Proceedings of the Proposed Method for finding the position of the middle tooth crown part in Dental CT Images

1. CT Slice Candidate Detection Including Jawbone

치과용 CT 영상은 대부분 DICOM(Digital Image and Communications in Medicine) 포맷을 사용하여 저장된다. 이 DICOM 포맷은 영상 데이터 뿐 아니라 환자의 정보, 촬영 날짜, 촬영기기, 좌표계 방향 같은 추가적인 데이터를 헤더 파일에 포함하고 있다. 여기에서 각 슬라이스 마다 제공되는 DICOM 헤더(0020,0032)를 읽어 슬라이스의 왼쪽 상단의 좌표 값 (x_{tl}, y_{tl}, z_{tl}) 을 읽는다. DICOM 포맷은 기본적으로 RCS(Reference Coordinates System) 좌표계를 사용하기 때문에 z_{tl} 값이 작으면 환자의 발에 가깝고 크면 머리에 가까운 슬라이스가 된다. 또한 제공되는 좌표 값은 mm 단위를 가지기 때문에 치과용 CT 슬라이스 포함범위를 실측 크기와 유사하게 설정할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 z_{tl} 값이 제일 작은 슬라이스에서 턱뼈와 치아를 충분히 포함하는 8cm 이하의 차이를 가지는 슬라이스를 치관 중단 영역을 찾기 위한 슬라이스로 설정 했다.

2. Separation of Soft and Hard Tissue from CT Images

치과용 CT 영상은 일반적으로 공기, 연 조직(피부, 지방 등), 딱딱한 조직(턱뼈, 치아 등)을 포함한다. Otsu가 제안한 threshold 방법[19]은 영상이 두 개의 분류로 나뉘져 있을 때 좋은 결과를 보여준다. 하지만 치아 CT영상은 에어 포켓, 연한 조직 딱딱한 조직과 같이 3가지 분류를 가지기 때문에 Otsu 방법을 그대로 적용하면 비교적 면적이 작은 딱딱한 조직이 연한 조직과 같은 분류로 분류되어 딱딱한 조직만 분리 하는데 한계가 있다. 본 연구에서는 에어 포켓 부분의 CT Number 값이 0보다 작은 값이 나타나는 특징을 이용하여 0보다 큰 CT Number 값만 대상으로 Otsu가 제안한 threshold 방법을 적용한다. 0보다 큰 CT Number는 값은 에어 포켓 부분이 제거된 연한 조직(Soft Tissue)과 딱딱한 조직(Hard Tissue)만을 포함하기 때문에 영상이 두개의 분류로 나뉘져 있을 때 좋은 결과를 보여주는 Otsu의 threshold 방법으로 딱딱한 조직을 효과적으로 분류가 가능하다. 본 연구에서는 딱딱한 조직과 다른 조직을 분리한 영상을 생성하기 위해서 딱딱한 조직에는 255의 밝기 값을 설정하고 딱딱한 조직이 아닌 곳은 0의 밝기 값을 그림 6과 같이 설정한다. 모든 대상 슬라이스에 이와 같은 분리 과정을 적용하여 딱딱한 조직과 다른 조직을 분리한 볼륨을 생성한다.

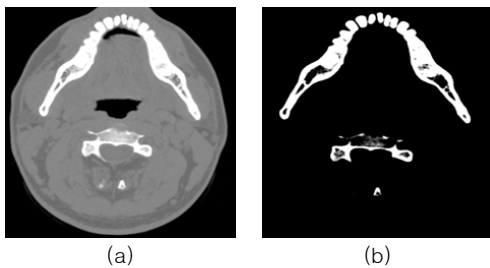


Fig. 6. (a) Before separation, CT Slide b) After separation, set 255 brightness value in the hard tissue and 0 brightness value in soft tissue

3. Jaw Curve Fitting

턱뼈 밑 부분에는 턱뼈 이외의 딱딱한 조직이 거의 없다. 따라서 이와 같은 특징을 이용하여 CT 슬라이스가 발쪽에 가까운 슬라이스부터 머리 쪽에 가까운 슬라이스 순서로 턱뼈 영역에 해당하는 점을 찾는다. 또한 턱뼈 앞부분에도 턱뼈 이외의 딱딱한 조직이 거의 없기 때문에 앞부분부터 딱딱한 조직이 존재하는 지를 찾는다. 본 연구에서는 턱뼈 곡선의 대략적인 샘플을 만들기 위해 우선 3차원 점 여러 개를 저장할 수 있는 배열 $C(i)$ 를 CT 슬라이스의 가로 크기를 만큼 초기화 한다. DICOM 포맷의 RCS 좌표계 정의에 따라 X축이 오른쪽에서 왼쪽, Y축이 뒤쪽에서 앞쪽, Z축이 발쪽에서 머리 쪽이기 때문에 Z 축 값은 최솟값에서 최댓값으로 증가하면서(밑에서부터 찾음) Y축 최댓값에서 최솟값으로 감소하면서(얼굴 앞쪽에서부터 찾음) 각 X축 값에 해당하는 딱딱한 조직을 찾는다. 일단 하나의 딱딱한 조직을 찾으면 나머지 연산은 무시하고 다음 X축 값으로 넘어간다. 딱딱한 조직이 없는 경우에는 딱딱한 조직이 없다는 정보를 할당하여 나중에 사용하지 않도록 한다. 이와 같은 과정을 모든 X축 값에 수행하면 턱뼈에 해당하는 대략적인 라인이 생성되게 된다.

검출된 턱뼈의 대략적인 라인은 Fig. 7(a)과 같이 부드럽지 않은 거친 곡선을 가진다. 따라서 본 연구에서는 부드러운 곡선을 생성하기 위해 검출된 대략적인 턱뼈 라인의 Y축 값과 Z축 값에 대해 각각 다음과 4차식 곡선으로 표현한다.

$$y = \alpha_{y1}x^4 + \alpha_{y2}x^3 + \alpha_{y3}x^2 + \alpha_{y4}x + \alpha_{y5} \quad (1)$$

$$z = \alpha_{z1}x^4 + \alpha_{z2}x^3 + \alpha_{z3}x^2 + \alpha_{z4}x + \alpha_{z5}$$

여기서 $(\alpha_{y1}, \alpha_{y2}, \dots, \alpha_{y5})$ 는 Y축 값 4차식 곡선을 $(\alpha_{z1}, \alpha_{z2}, \dots, \alpha_{z5})$ 는 Z축 값 4차식 곡선을 나타낸다. 본 연구에서는 대략적인 라인의 점을 표본으로 최소 자승법(Least square method)을 사용하여 계수를 계산했다. Fig. 7(b)은 곡선을 부드럽게 적합(Fitting)한 결과를 보여준다.

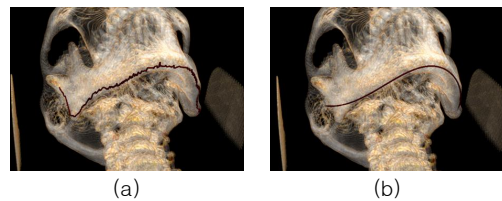


Fig. 7. (a) Jawbone line example detected approximately (b) Jawbone curve fitting using detected jawbone line approximately

4. Separation of Upper and Lower Part of Tooth

본 연구에서는 치과용 CT를 촬영할 때 단층촬영용 플레이트를 입에 물고 촬영을 하는 그림 4와 같은 Bite-Open 조건을 전제로 한다. 이는 특정 CT 슬라이스에서 치아가 거의 나타나

지 않으면서 위 치아와 아래 치아를 나누는 특징을 보여준다. 따라서 이와 같은 슬라이스를 찾아 치아 상단과 하단을 분리한다. 정확하게 치아가 나타나지 않는 슬라이스를 찾기 위해 우선 딱딱한 조직 분리 영상에 턱뼈 곡선 해당하는 X-Y 영역을 Fig.8과 같이 Cropping을 수행한다. 다음 모든 슬라이스에서 Crop된 영상에서 딱딱한 조직의 크기를 계산하고 히스토그램을 만들고 히스토그램 Smoothing을 위해 1x5 Gaussian kernel을 [7, 26, 41, 26, 7] 반복적으로 5번 이상 적용한다. 치아의 치관 상단이 포함된 슬라이스는 딱딱한 영역이 가장 많이 포함되고 상단과 하단 치아 사이에 분리하는 슬라이스의 위치가 나타나기 때문에 극댓값을 찾고 가장 큰 누적을 갖는 극댓값 위치 2개를 남겨 준다. 최종적으로 두 극댓값 사이에서 가장 작은 값을 보이는 슬라이스를 상단 하단 치아 분리 슬라이스로 선택한다.

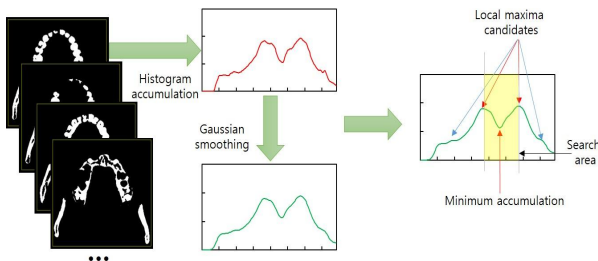


Fig. 8. The process of finding CT slide which separate the upper and lower tooth

5. Tooth Arrangement Curve Fitting

본 연구에서는 제안한 방법으로 찾은 턱뼈 곡선은 치아 배열 곡선과 매우 유사한 모양을 나타낸다. 따라서 턱뼈 곡선을 기반으로 정확한 치아 배열 곡선을 찾는다. 우선 Han Bing의 방법[18]를 사용하여 치과용 CT영상으로부터 파노라마 영상을 Fig. 9와 같이 생성한다. 다음으로 턱뼈 곡선을 상단 하단 치아 분리 슬라이스까지 Z축 이동을 수행하고 생성된 파노라마 영상 Curve plane에 사영을 수행한다. 사영된 치아 배열 곡선은 대략적으로 위 치아와 아래 치아를 분리하면서 치아 배열과 유사한 곡선을 나타낸다. 이때 정확한 분리는 나타나지 않기 때문에 파노라마 영상 왼쪽 오른쪽의 1/4을 잘라내고 곡선의 위아래 조절 범위를 위아래 상단 하단 치아 분리과정에서 찾았던 극댓값으로 그림 9와 같이 설정한다.

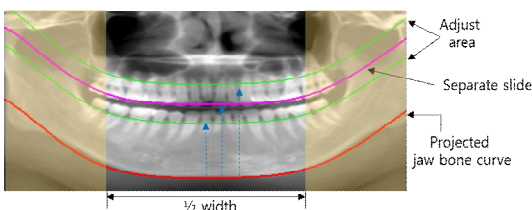


Fig. 9. Setting process of Panoramic image and jawbone curve and adjustment range

사영된 턱뼈 곡선 각 점을 설정된 범위 내 최솟값을 가지는

위치로 Fig. 10과 같이 조절 한다. 마지막으로 조절된 곡선을 턱뼈 곡선 적합 때와 같이 4차식으로 부드럽게 Fitting해 주면 치아가 배열되는 곡선을 Fig. 10과 같이 적합 할 수 있다. 이와 같은 치아 배열 곡선은 상단 하단 치아를 분리하는 위치에 존재하게 된다.

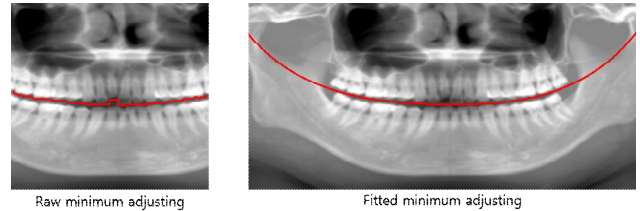


Fig. 10. Panoramic image and jawbone curve and adjustment range be set

6. Prediction of Middle Part of Crown

치과용 CT에서 환자의 치관 중단은 치아 배열 곡선에 걸쳐 존재하기 때문에 치아 배열 곡선을 위 아래로 이동하면 최종 적으로 치관 중단 영역을 예측 할 수 있다. 본 연구에서는 치아 배열 곡선을 위 아래로 1cm 까지 이동 범위를 설정한다. 치아 배열 곡선을 이동 범위 까지 위로 1픽셀씩 아래로 1픽셀씩 각각 이동하면서 곡선에 걸쳐 있는 파노라마 영상의 밝기 값을 누적하여 Fig.11과 같이 히스토그램을 만든다.

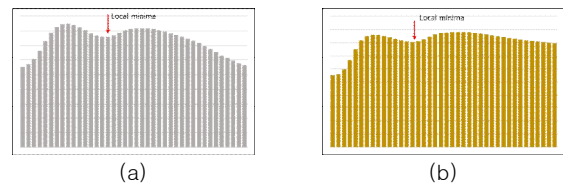


Fig. 11. (a) Upward movement and tooth alignment Curve brightness value accumulation, (b) Downward movement and tooth alignment Curve brightness value accumulation

히스토그램은 치아가 없는 영역에서 작은 값을 가지고 치관 중단 부분에서 큰 값을 가고 치관 중단 부에서 작은 값을 가지는 모양을 보여준다. 그리고 다시 치조골이 포함되는 부분부터 값이 증가하게 된다. 이와 같은 특성을 고려하여 히스토그램의 값 중 극솟값(Local Minima)을 찾아 치아가 뚜렷하게 구별되는 치관 중단 영역을 찾는다.

IV. Experiment Result

본 논문에서 제안된 방법의 성능을 측정하기 위해 실험을 수행했다. 치과용 CT영상을 대상으로 턱뼈 곡선, 치아 배열 곡선, 치관 중단을 찾고 실제 치관 중단 곡선에 걸쳐 있는 CT 슬라이스를 확인하여 치아가 인접하지 않고 분리 되었는지를 확인하는 정성적 평가를 수행했다.

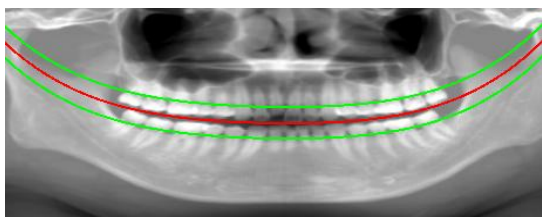


Fig. 12. As a result of the detection of the middle tooth crown part, the red line represents the tooth alignment curve, and the green line represents the curve passing through the detected middle tooth crown part section.

Fig.12는 실제 제안된 방법을 이용하여 검출된 치관 중단부에 해당하는 곡선을 보여준다. 검출된 곡선은 치조골 윗부분의 치관 중단 부분을 정확하게 지나가는 것을 알 수 있다. 이와 같이 검출된 치아 배열 곡선과 치관 중단 부분 곡선은 실제 자동화된 CT 영상 치아 분리에서 위 치아와 아래 치아를 구분하기 위한 기준 및 뚜렷하게 구분되는 치관 중단 부분의 시작 위치를 결정할 수 있는 중요한 정보를 제공 할 수 있다. 검출된 치관 중단 부분에 해당하는 슬라이스가 실제 개별 치아가 잘 분리 되어 있는 영역인지 확인하기 위해 치관 중단 곡선과 가장 가까운 거리를 가지는 CT 슬라이스를 찾아서 Fig13과 같이 확인 했다. 여기서 CT슬라이스에 포함된 치아가 잘 구분되는 형태를 보여줄을 볼 수가 있다.

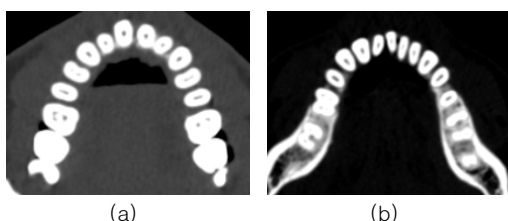


Fig. 13. A CT slice with the closest distance to the crown stop curve. (a) CT Slice which matched closely with the upper middle tooth crown part, (b) CT Slice which matched closely with the lower middle tooth crown part

V. Conclusions

치아가 인접하여 분리가 어려운 치관 상단과 치조골로 인하여 분리가 어려운 치관 부분과 다르게 치관 중단 부는 비교적 치아가 뚜렷하게 구분되어 있어 개별 치아 분리에 초기화 정보로 많이 사용된다. 하지만 대부분의 연구는 치관 중단 부를 이미 알고 있다고 가정하거나 일직선 형태로 검출하기 때문에 정확한 검출이 어려웠다. 본 연구에서는 턱뼈 곡선이 치아 배열 곡선과 유사하다는 정보를 기반으로 새로운 치관 중단 영역을 자동으로 검출하는 방법을 제안 했다. 제안된 방법은 턱뼈 곡선을 이용하여 성공적으로 치아 배열 곡선을 생성 했다. 치아 배열 곡선은 상단 하단을 분리하면서 치아 배열 모양을 대표 할 수 있기 때문에 이를 활용하여 개별 치아가 뚜렷하게 분리되는 치관 중단 영역을 성공적으로 찾을 수 있었다. 또한, 실험을 통해 실제 치과용 CT영상에서 제안된 방법이 잘 동작함을 입증 했다.

REFERENCES

- [1] O. Nomir and M. Abdel-Mottaleb, "A system for human identification from X-ray dental radiographs," *Pattern Recognition*, vol. 38, Issue8, pp. 1295-1305, Aug. 2005.
- [2] A. K. Jain, H. Chen, "Dental Biometric: Alignment and Matching of Dental Radiographs," *IEEE Trans. Patt. Anal.*, vol. 7, pp. 1319-1326, June. 2005.
- [3] E. H. Said, D. E. M. Nassar, G. Fahmy, and H. H. Ammar, "Teeth segmentation in digitized dental X-ray films using mathematical morphology," *IEEE Trans. on Information Forensics and Security*, vol. 1, no. 2, pp. 178-189, June. 2006,
- [4] E. H. Said, A. Abaza, H. Ammar et al., "Accurate segmentation of digitized dental X-ray records," *Biometrics Symposium, BSYM*, pp. 77-82, Oct. 2008
- [5] G. Fahmy, D. Nassar, E. Haj-Said et al., "Towards an Automated Dental Identification System (ADIS)" , *Biometric Authentication, Lecture Notes in Computer Science*, vol 3072. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 789-796, 2004
- [6] K. Barnfather and P. Brunton, "Restoration of the upper dental arch using Lava™ all-ceramic crown and bridgework," *British dental journal*, vol. 202, pp. 731-735, June. 2007.
- [7] R. B. Bell, "Computer planning and intraoperative navigation in cranio-maxillofacial surgery," *Oral and maxillofacial surgery clinics of North America*, vol. 22, pp. 135-156, Feb. 2010.
- [8] Hao Wang, Zhongyi Li, "Tooth Separation from Dental Model Using Segmentation Field", *Engineering in Medicine and Biology Society(EMBC), IEEE 38th Annual Conference*, pp. 5616-5619, Oct. 2016
- [9] Thitiporn Chanwimaluang, Saowpak Sotthivirat and Wasin Sinthupinyo, "Automated Dental Arch Detection Using Computed Tomography Images" *IEEE, ICSP 2008 Proceeding*, pp 737-740, Dec. 2008.
- [10] Hui Gao and Oksam Chae, "Automatic Tooth Region Separation for Dental CT Images", *IEEE Third 2008 ICCIT*, pp897-901, Nov. 2008.
- [11] Hao Zou and Qiang Tan, "Research of Dental Arch Curve Extraction and Application", *Proceeding the IEEE International Conference on Information and Automation Shenyang China*, pp 455-457, June 2012.
- [12] Vera Sa-ing, Kongyot Wangkaoom and Saowapak S. Thongvigitmanee, " Automatic Dental Arch Detection and Panoramic Image Synthesis from CT Images", *35th Annual International Conference of the IEEE EMBS Osaka, Japan*, pp 6099-6102, July 2013.
- [13] M. Mokhtari, D. Laurendeau, "Feature Detection on 3D

- Images of Dental Imprints”, Proceedings of IEEE Workshop on Biomedical Image Analysis, July. 1994.
- [14] Parinaz Mortahheb, Mehdi Rezaeian, Hamid Soltanian-Zadeh, “Automatic dental CT image segmentation using mean shift algorithm”, 2013 8th Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing(MVIP), pp. 121-126, Sep. 2013
- [15] Hao Wang, Zhongyi Li, “Tooth Separation from Dental Model Using Segmentation Field”, Engineering in Medicine and Biology Society(EMBC), 2016 IEEE 38th Annual Conference, pp. 5616-5619, Aug. 2016
- [16] Mahsa Sepehrian, Ali M. Deylami, Reza A. Zoroofi, “Individual Teeth Segmentation in CBCT and MSCT Dental Images Using Watershed”, Proceedings of 20th Iranian Conference on Biomedical Engineering(ICME 2013), pp. 27-30, Dec. 2013
- [17] Yangzhou Gan, Zeyang Xia, Jing Xiong, Guanglin and Qunfei Zhao, “Tooth and Alveolar Bone Segmentation from Dental Computed Tomography Images”. IEEE Journal of Biomedical and Health Infomatics Vol. 22 , pp. 194-204, Jan. 2018
- [18] Bing, Han, et al. "An automatic method of synthesizing panoramic radiograph by unwrapping dental CT image", Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC), 2011 International Conference on. IEEE, pp. 1094-1096, Jilin, China, Aug. 2011.
- [19] Otsu, Nobuyuki. "A threshold selection method from gray-level histograms", IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, Vol. 9, NO. 1, pp. 62-66, Jan. 1979.

Authors



Chan-Woo Lee received the B.S., M.S. in Physics from Kyunghee University, Korea, in 1992, 1995 and he was Ph.D. Candidate in Computer Science and Engineering from Kyunghee University in 2002. Mr. Lee entered Kyunghee Graduate School in 2000.

He was Ph.D Candidate at Kyunghee University in 2002. He is currently an Adjunct Professor of the Department of Information and Communication at Baekseok University in 2002. He is interested in 3D scanner, image processing, computer vision, signal processing and medical image processing.



Ok-Sam Chae received the M.S. and Ph.D. degrees in Electricity and Computer Engineering from Oklahoma State University, USA, in 1982, and 1986 respectively. Dr. Chae joined the faculty of the Department of Computer Science and

Engineering at Kyunghee University, Seoul, Korea, in 1988. He is currently a Professor in the Department of Computer Science and Engineering, Kyunghee University. He is interested in image processing software standardization, Face and Expression recognition, image restoration, moving object detection and PACS system for dental clinic.