

Automatic Individual Tooth Region Separation using Accurate Tooth Curve Detection for Orthodontic Treatment Planning

Chan-woo Lee*, Ok-sam Chae**

Abstract

In this paper, we propose the automatic detection method for individual region separation using panorama image. Finding areas that contain individual teeth is one of the most important tasks in automating 3D models through individual tooth separation. In the conventional method, the maxillary and mandibular teeth regions are separated using a straight line or a specific CT slide, and the tooth regions are separated using a straight line in the vertical direction. In the conventional method, since the teeth are arranged in a curved shape, there is a problem that each tooth region is incorrectly detected in order to generate an accurate tooth region. This is a major obstacle to automating the creation of individual tooth models. In this study, we propose a method to find the correct tooth curve by using the jawbone curve which is very similar to the tooth curve in order to overcome the problem of finding the area containing the existing tooth. We have proposed a new method to accurately set individual tooth regions using the feature that individual teeth are arranged in a direction similar to the normal direction of the tooth alignment curve. In the proposed method, the maxillary and mandibular teeth can be more precisely separated than the conventional method, and the area including the individual teeth can be accurately set. Experiments using real dental CT images demonstrate the superiority of the proposed method.

▶ Keyword: Tooth Segmentation, Computed Tomography, Tooth Panorama Image, Tooth Region Separation

1. Introduction

최근 치과 의사들에 의해 치과 교정 수술들을 준비하기 위해서 Orthodontic Computer Aided Design이 폭넓게 사용되어 오고 있다. 이들 CAD 시스템들은 하드웨어와 컴퓨터 그래픽스 기술 발달로 기존 수작업으로 진행되었던 계획 진단을 효과적으로 진행할 수 있게 되었다. 또한, 이들 시스템은 진단에 정확한 정보를 제공할 수 있는 장점 때문에 반복적인 작업으로부터 치과 의사를 자유롭게 만들 수 있을 뿐 아니라 정확한 치료 계획을 세우는 것을 가능하게 한다[1][2].

일반적으로 치과의사는 교정 계획을 수립하기 위해 환자의 치아를 스캐닝하고 디지털 모델을 생성하고 CAD 치과 교정 시스템에서 치아를 정확하게 분리하는 작업을 수행한다. 디지털

모델을 이용하여 치아를 개별 분리하는 과정을 통해 개별 치아의 위치가 정확히 결정되면 치과의사는 교정치료 계획을 세우기 위한 시뮬레이션을 통한 치과 교정 계획을 수립할 수 있다. 그러나 이러한 치아 개별 분리 작업은 어렵고 시간이 오래 걸리는 문제점이 있다. 또한, 치근같이 겹으로 나타나지 않은 치아의 기하학적 모양은 정확하게 알 수 없으므로 겹으로 드러난 모양을 기반으로 조정하고 특수하게 처리되곤 했다.

최근에는 치과용 CT(Computed Tomography)의 발전과 함께 치아의 3D 영상 가시화와 치과 교정치료를 위한 많은 정보를 치과용 CT에서 얻을 수 있게 되었다. 치과용 CT를 이용하면 겹으로 드러난 치아뿐 아니라 치근같이 드러나지 않은 치아의 정보도 알

• 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. 04. 06, Accepted: 2018. 04. 13.

수 있으므로 CT 영상을 이용한 개별 치아 분리를 통해 개별 치아의 3D 모델을 자동으로 만드는 여러 연구가 수행되었다 [4][5][9][10]. 이와 같은 자동 치아 분리는 대부분 개별 치아 영역을 미리 알고 있다는 가정 또는 파노라마 영상을 이용하여 자동으로 개별 치아 영역을 생성하여 개별 치아의 윤곽선을 찾는다. 자동화된 치아 개별 분리 방법에서 개별 치아의 영역을 찾는 것은 매우 중요한 작업 중 하나이다. 이때 파노라마 영상은 모든 치아와 치조골의 잠재적인 위치와 방향의 기준을 제공하기 때문에 개별적인 치아 식별 또는 영역을 구분하기 위해 좋은 정보를 제공한다[3][4][5]. 따라서 많은 방법이 파노라마 영상을 이용하여 개별 치아 영역을 자동으로 찾고 그 영역을 기반으로 치아의 윤곽선을 찾아 개별 치아 분리를 수행한다.

그러나 파노라마 영상을 사용하여 개별 치아 식별 또는 영역을 구분하는 기존 방법들은 몇 가지 문제점이 있다. 첫 번째로 치아의 배열은 Fig. 1과 같이 곡선 형태를 보이지만 특정 CT 슬라이스 또는 직선으로 위쪽 치아와 아래쪽 치아를 구분한다 [4][6][7][8]. 이는 정확한 치아 영역을 자동으로 검출하는데 큰 문제점으로 작용한다. 또한, 위 치아와 아래 치아를 구분하는 직선 또는 슬라이스에 수직인 선을 이용하여 치아 영역을 구분한다. 하지만 치아 배열이 곡선 형태이기 때문에 직선 또는 슬라이스에 수직인 선으로 정확한 치아 영역을 구분하기에는 한계가 있다.

본 논문에서는 기존에 파노라마 영상을 이용한 치아 영역 검출 방법이 직선 또는 특정 슬라이스를 사용하여 위, 아래 치아를 구분하고 수직인 선을 이용하여 치아를 구분하기 때문에 생기는 문제점을 극복하는 새로운 방법을 제안한다. 제2장은 치아 배열이 공간적으로 곡선을 형성하고 있어 직선으로 위 치아와 아래 치아를 구분 할 수 없고, 턱선과 치아배열곡선이 유사함을 이용하여 곡선 형태로 접근이 되어야 함을 제안하고 있다. 제3장에서는 개별치아 영역을 분리하는 방법을 제안하였다. 치아와 턱뼈를 포함하는 영역을 찾아서 Soft Tissue와 Hard Tissue를 분리하고 턱뼈 곡선을 찾아 Fitting하고, 위 치아와 아래 치아를 분리한다. 이 분리선을 이용하여 치아 배열 곡선을 Fitting하고 이 곡선에 법선을 그리고 법선에 나타나는 Intensity 값이 적은 영역을 찾아 개별 치아 영역을 분리한다. 제 4장에서는 3장에서 제안한 방법을 실험한 결과를 보여주고 있다. 그리고 5장에서는 결론으로 개별치아 분리 및 3D 모델링을 하기 위한 중간 과정으로 개별 치아 영역 분리를 자동화 하는 방법을 실제 CT 이미지들에서 입증하였다.

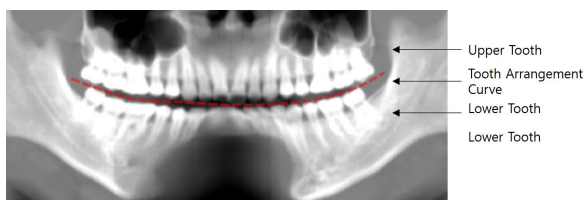


Fig. 1. Curved type dental curve

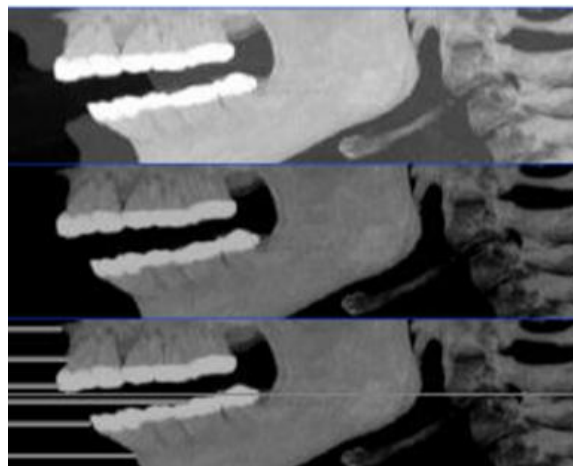


Fig. 2. Side view of teeth. The straight line can not divide the upper teeth and lower teeth[11]

II. Spacial Characteristics Analysis of Dental Arrangements

사람마다 치아 배열은 다양한 형태를 가지고 있지만 Fig.1과 2에서 보듯이 치아 배열은 일직선 형태가 아니라 곡선 형태로 배열되어 있다. 따라서 위, 아래 치아를 나누기 위해서는 직선이나 특정 슬라이스를 이용하는 것보다 곡선 형태로 나누는 것이 필요하다. 위, 아래 치아를 구분하는 곡선을 바로 검출하는 것은 치아의 구조가 복잡하므로 매우 어려운 작업이다. 하지만 본 연구에서는 치아 위, 아래 치아를 구분하는 곡선은 턱뼈 아래쪽 곡선과 매우 유사함을 Fig.3 과 같이 발견했다. 이는 치아가 턱뼈와 같은 치조골에 붙어 있기 때문이다.

치과용 CT 영상에서 턱뼈는 대표적인 골 조직 중 하나로 단단한 조직(Hard tissue)이다. 그리고 턱뼈 앞부분과 아랫부분은 턱뼈 이외의 다른 단단한 조직이 없고 가늘고 좁은 형태로 나타난다. 이와 같은 특징은 턱뼈를 Fig. 3과 같이 하나의 곡선 형태로 표현할 수 있고 다른 아래 치아는 턱뼈에 단단하게 결합하여 있으므로 기준정보로 사용할 수 있다. 따라서 턱뼈 아래쪽 곡선을 찾을 수 있다면 개별 치아의 영역을 구분할 때 매우 유용한 치아 배열 곡선을 쉽게 검출할 수 있다. 또한, Fig. 1의 파노라마 영상을 보면 치아 배열 곡선의 법선 방향으로 치아가 기울어져 배치되어 있다. 따라서 치아 배열 곡선 법선 방향을 기준으로 치아가 구별되는 영역을 찾았다면 기존 직선 또는 특정 슬라이스를 기준으로 찾는 방법보다 정확하게 개별 치아 영역을 찾을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 턱뼈의 골조직의 공간적 특성을 이용하고 치아 배열 곡선의 법선 방향으로 치아가 배열되어 있는 특징을 적극 수용하여 III장에서 개별 치아 영역 분리 방법을 제안한다.

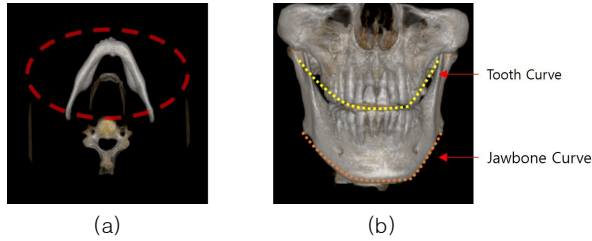


Fig. 3. Show the similarity between jawbone curve and tooth array curve (a) Axial image include teeth and jawbone (b) An example showing that the jawbone has a narrow and narrow shape and that the curve of the lower jaw is very similar to the tooth array curve

III. The Process of separating individual tooth region

본 논문에서는 치과용 CT 영상으로부터 재구성된 파노라마 영상에서 각 치아가 차지하는 영역을 구분하는 방법을 제안한다. 이때 개별 치아의 영역을 정확하게 구별하기 위해서 치아 배열 곡선과 턱뼈 아래쪽 곡선이 매우 유사한 형태를 보여주기 때문에 우선 턱뼈 아래쪽 곡선을 찾는다. 턱뼈 아래쪽 곡선을 치아 위치까지 이동하기 위해서는 위, 아래 치아를 구분하는 대략적인 위치를 알아야 한다. 본 논문에서는 CT 영상 촬영 시 환자의 입에 플레이트를 물고 촬영하기 때문에 입이 약간 벌어지는 Fig.3 과 같은 Bite-Open 현상을 이용하여 위, 아래 치아를 구분하는 대략적인 위치를 찾는다.

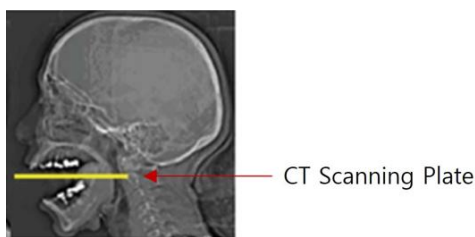


Fig. 4. A Bite-Open Example that occurs due to plate worn when it took tomography Imaging

이후 파노라마 영상을 생성하고 턱뼈 곡선을 위, 아래 치아를 구분하는 위치로 이동하여 파노라마 영상의 면에 사영하면 파노라마 영상에서 위, 아래 치아를 나누는 대략적인 치아 배열 곡선이 생성된다. 대략적인 치아 배열 곡선을 정확한 치아 곡선으로 정합하고 정합된 곡선의 법선 방향으로 개별 치아 구분선 후보를 생성한 다음 구분선 후보가 지나는 밝기값이 가장 작은 선을 선택하여 치아 영역을 찾는다. 이와 같은 방법은 기존 직선 또는 특정 슬라이스를 이용하여 위, 아래 치아를 구분하는 방법보다 정확하게 위, 아래 치아를 구분할 수 있는 장점과 치

아 배열이 치아 배열 곡선의 법선 방향에서 많이 벗어나지 않은 특징을 수용할 수 있으므로 기존 방법보다 정확한 개별 치아 영역 분리가 가능한 장점이 있다.

제안된 방법은 Fig.5 와 같이 우선 치과용 CT 영상에서 치아가 포함되는 슬라이스를 근사적으로 설정하고 딱딱한 조직(Hard tissues)과 연 조직(Soft tissue)을 분리한다. 그 뒤 딱딱한 조직으로부터 턱뼈 곡선을 찾고 Fig. 4와 같은 Bite-Open 현상을 이용하여 위, 아래 치아의 대략적인 구분 위치를 찾는다. 그 뒤 파노라마 영상을 생성하고 파노라마 영상에서 정확한 치아 배열 곡선을 턱뼈 곡선을 이용해서 정합한다. 마지막으로 치아 배열 곡선의 법선 방향으로 치아 영역 구분 선을 생성하고 구분 선에 해당하는 밝기값의 합이 가장 작은 값을 가지는 선을 선택하여 개별 치아 영역을 찾는다.

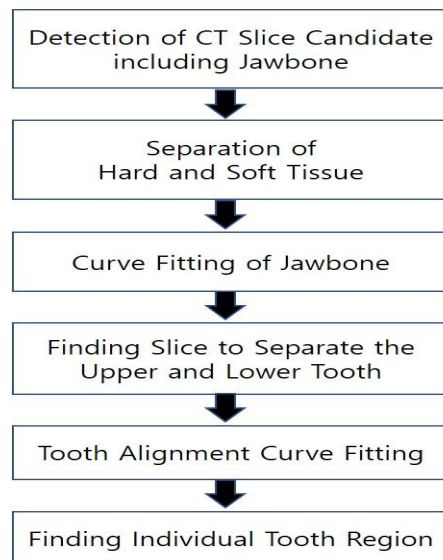


Fig. 5. Process of proposed method for finding individual teeth area in dental CT Images

1. Detection of CT Slice Candidate including Jawbone

CT 영상은 일반적으로 DICOM(Digital Image and Communications in Medicine) 포맷을 사용하여 저장 또는 전송된다. DICOM 포맷은 기본적으로 RCS(Reference Coordinates System) 좌표계를 사용하고 일반적인 영상 파일 포맷과 다르게 촬영기기, 성별, 나이, 촬영 날짜, 환자의 촬영 방향 같은 추가적인 정보를 헤더 정보로 포함하고 있다. 이 헤더 정보 중 (0020, 0032)에 해당하는 헤더 정보는 슬라이스의 왼쪽 위의 좌표값을 mm 단위로 제공한다. 본 연구에서는 (0020, 0032) 헤더에서 제공하는 왼쪽 위의 좌표값 (x_{lt}, y_{lt}, z_{lt}) 을 이용하여 턱뼈가 포함된 CT 슬라이스 후보를 검출한다. RCS 좌표계를 따르면 z_{lt} 값은 환자의 발에 가까우면 작은 값을 가지고 크면 큰 값을 가지게 된다. 본 연구에서는 턱뼈가 대략 8cm 정도의 높이를 가진다고 가정하고 z_{lt} 값이 제

일 작은 슬라이스로부터 8cm 이하의 차이를 가지는 모든 슬라이스를 턱뼈가 포함된 CT 슬라이스 후보로 검출했다.

2. Separation of Hard and Soft Tissue

CT 영상은 일반적으로 공기, 피부와 지방과 같은 연한 조직, 턱뼈와 치아 같은 딱딱한 조직을 포함한다. 공기가 가장 작은 값을 가지고 그다음 연한 조직이 작은 값을 가지고 딱딱한 조직은 큰 값을 가지게 된다. 이와 같은 3가지 분류 중 딱딱한 조직만 분류하기 Otsu가 제안한 threshold 방법[11]을 사용한다. Otsu의 방법은 클래스 내 분산과 클래스 간 분산비를 최대로 하여 적응 임계값을 계산하기 때문에 영상이 두 가지 분류를 가지는 경우 좋은 결과를 보여준다. 하지만 CT 영상은 3가지 분류를 하므로 그대로 사용하면 좋은 결과를 얻을 수 없다. 본 연구에서는 공기에 해당하는 영역에서 CT Number가 항상 0보다 작은 값을 가지는 특징을 이용하여 0보다 작은 값을 가지는 픽셀을 제외하고 나머지 픽셀을 히스토그램에 누적하여 Otsu의 방법을 적용했다. 이와 같은 방법으로 모든 슬라이스의 적응 임계값을 찾고 분리된 딱딱한 조직은 255의 밝기값을 설정하고 나머지 영역은 0으로 설정하여 이진화된 볼륨을 생성한다.

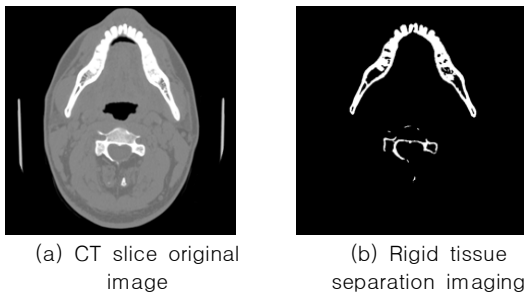


Fig. 6. Separation process of Rigid tissue from original image

3. Fitting of Jawbone Curve

턱뼈는 치과용 CT 영상에서 크고 확실하게 나타나는 조직 중 하나이며 아랫부분과 윗부분에 턱뼈를 제외하고는 다른 딱딱한 조직이 거의 존재하지 않는다. 본 연구에서는 이와 같은 특징에 기반 턱뼈 곡선을 발쪽에 가까운 아래쪽 슬라이스부터 위로 찾고 얼굴 앞쪽에서 뒤쪽으로 찾는다.

턱뼈 곡선을 만들기 위해 여러 개의 3차원 점을 저장할 수 있는 배열 $J_s(i)$ 를 CT 슬라이스 x축 크기만큼 생성한다. 각 x축 위치에서 얼굴 아래쪽부터 위로 z축을 이동하고 얼굴 앞쪽에서 뒤쪽으로 y축을 이동하면서 처음으로 만나는 딱딱한 조직의 위치를 $J_s(i)$ 에 저장한다. 이때 딱딱한 조직을 만나지 않으면 표본에서 제외할 수 있도록 표시를 하고 후에 제외한다. 이와 같은 방식으로 모든 x축 위치의 값을 계산하면 그림 6과 같은 대략적인 턱뼈 곡선이 생성되게 된다. 거친 대략적인 곡선을 좀 더 치아 배열 곡선과 유사하게 만들어 주기 위해 본 연구에서는 대략적인 턱뼈 곡선을 4차 식 곡선으로 적합하여 부드러운 곡선으로 Fig. 7과 같이 생성했다.

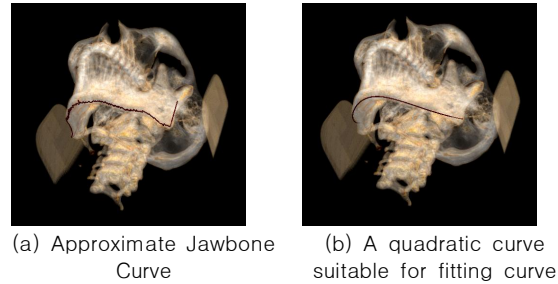


Fig. 7. The process to get jawbone curve and fitting

4. Finding Slice to separate the Upper and Lower Tooth

본 연구에서는 Fig. 4와 같이 CT 촬영 시 환자가 입에 플레이트를 물기 때문에 발생하는 Bite-Open을 활용하여 위, 아래 치아의 구분 슬라이스를 찾는다. Bite-Open이 발생하는 영역의 슬라이스는 치아가 슬라이스에서 거의 나타나지 않기 때문에 상대적으로 다른 슬라이스 보다 포함되는 딱딱한 조직의 크기가 작아지게 된다. 따라서 이와 같은 특징을 검출하여 위, 아래 치아 구분 슬라이스를 찾는다. 우선 다른 조직에 따라서 방해받지 않기 위해서 턱뼈 곡선의 x-y 영역만큼 이진화된 볼륨을 그림 7과 같이 잘라낸다.

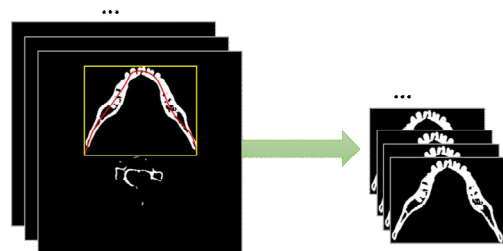


Fig. 8. A binarized volume cut out of the x-y region of the jawbone curve

잘라낸 각 슬라이스의 딱딱한 조직의 숫자를 계산하고 이를 이용하여 슬라이스 별로 딱딱한 조직의 숫자를 나타내는 히스토그램을 생성한다. 크기가 커지는 턱뼈의 특성상 누적되는 딱딱한 조직이 점점 증가하고 치아와 치조골이 모두 포함되는 영역에서 가장 큰 값을 가지게 된다. 위 치아와 아래 치아 모두 이와 같은 특징을 보이기 때문에 치아와 치조골이 포함되어 가장 많은 딱딱한 조직을 가지는 두 개의 극댓값이 히스토그램에 존재하게 된다. 두 극댓값 사이에 우리가 찾고자 하는 위, 아래 치아 구분 슬라이스가 존재하고 치아가 없으므로 딱딱한 조직의 크기가 가장 작은 값을 가지게 된다. 이와 같은 특징을 기반으로 히스토그램에서 구분 슬라이스를 찾는다. 우선 두 개의 극댓값을 찾기 이전에 오류로 인해 나타나는 문제점을 해결하기 위해 1차원 Gaussian smoothing을 5번 반복하여 그림 8과 같이 수행한다. 이때 안정적인 smoothing을 위해 1x5 [7, 26, 41, 26, 7]을 가지는 Gaussian kernel을 사용했다.

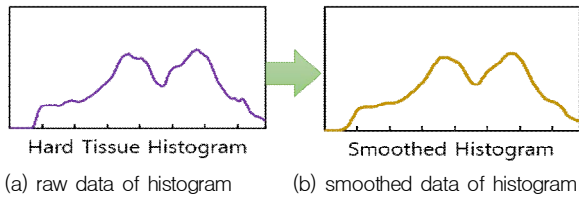


Fig. 9. Histogram smoothing to remove the histogram that accumulated the size of hard tissue and the histogram of maximum value error

그다음 히스토그램에서 극댓값을 모두 찾는다. 그중 가장 큰 극댓값 2개를 우리가 찾으려는 치아와 치조골이 포함되어 가장 많은 딱딱한 조직이 포함된 슬라이스로 결정하고 이 슬라이스 사이에 가장 작은 값을 가지는 슬라이스를 Fig. 10과 같이 찾는다. 이와 같은 방법으로 결정된 슬라이스는 Bite-Open으로 가장 적은 딱딱한 조직이 포함된 슬라이스를 나타내면서 위, 아래 치아를 분리하는 대략적인 위치를 나타낸다.

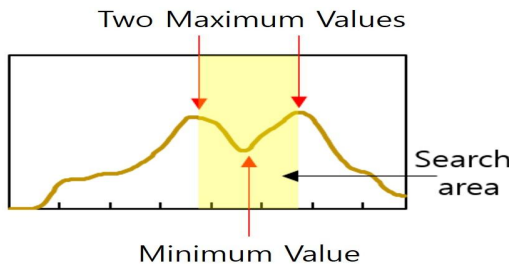


Fig. 10. Finding the upper and lower tooth separation slides using maximum values

5. Tooth Alignment Curve Fitting

제안된 방법을 이용해서 찾고 적합한 턱뼈 곡선은 치아 배열 곡선과 매우 유사한 형태를 보여준다. 또한, 제안된 방법을 통해 위, 아래 치아를 분리하는 대략적인 위치를 찾았다. 이 두 가지 정보를 기반으로 찾기 어려운 정확한 치아 배열을 찾는다. 우선 기존 파노라마 영상 생성 방법의 하나인 Han Bing의 방법[12]을 사용하여 파노라마 영상을 Fig. 11과 같이 생성한다.

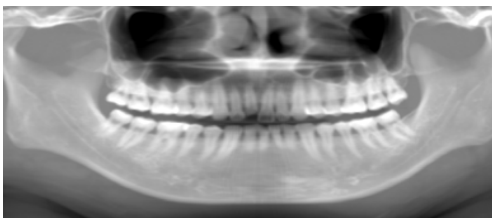


Fig. 11. Example of panoramic images generated using Han Bing's method [12]

파노라마 영상이 생성되었으면 턱뼈 곡선을 파노라마 영상을 생성하기 위해 정의된 Curve plane에 사영한다. 그다음 사용된 곡선의 가장 작은 z 값을 가지는 위치와 위, 아래 치아 분리 슬라이스의 z 위치와의 차이만큼 머리 쪽으로 Fig. 12과 같이 이동시킨다. 이동시킨 커브는 대략 치아 배열 곡선과 유사하

지만 정확하지 않다. 따라서 정확한 치아 배열 곡선을 만들기 위해서 위, 아래 치아 분리 슬라이스를 찾을 때 사용했던 극댓값 2개를 위, 아래 조절 범위로 설정하고 파노라마 영상의 좌, 우에는 치아가 없으므로 대략 파노라마 영상의 1/4 크기만큼 좌우로 잘라내어 좌우 조절 범위를 설정한다.

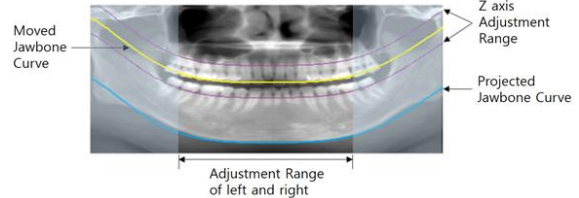


Fig. 12. Panorama of the jawbone curve. Plane projection, translation and z-axis adjustment range

좌우 조절 범위 내 커브의 각 점은 위, 아래 조절 범위 내 가장 작은 밝기값을 가지는 위치로 조절을 수행한다. 이와 같은 방법으로 조절된 커브는 거친 모양을 가지기 때문에 4차 식 곡선으로 적합하여 최종 치아 배열 곡선을 그림 12와 같이 생성한다.

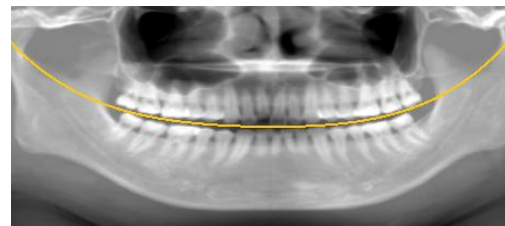


Fig. 13. Final tooth alignment curve with z-axis position adjustment and 4-order curve fitting

6. Finding Individual Tooth Region

치아 배열 곡선은 위, 아래 치아를 정확하게 분리할 수 있는 장점뿐만 아니라 곡선의 법선 방향과 비슷한 방향으로 치아가 배열된 특징을 가진다. 본 연구에서는 위에서 언급한 치아 배열 곡선의 특징을 활용하기 위해 우선 치아 배열 곡선의 각 점마다 법선을 계산하여 생성한다. 위, 아래 치아를 구분하는 슬라이스를 찾을 때 사용한 히스토그램, 최댓값, 최솟값을 다시 활용하여 법선의 크기를 결정한다. 최댓값의 바깥쪽으로 최솟값과 같은 크기의 슬라이스 위치를 계산하고 계산된 위치만큼 치아 배열 곡선의 최솟값을 계산된 위치로 이동시켜 위, 아래 법선의 크기를 Fig. 14와 같이 결정한다.

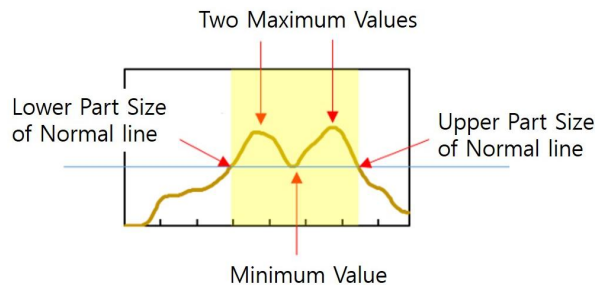


Fig. 14. How to determine the normal size of tooth array curves to find individual tooth areas

다음으로 치아가 정확하게 치아 배열 곡선의 법선을 방향을 나타내지 않기 때문에 치아 배열 곡선을 중심으로 $\pm 10^\circ$ 범위 1° 간격으로 회전시켜 20개의 회전 변화된 법선을 생성한다. 이와 같은 방법을 통해 각 점마다 21개의 법선을 생성하고 이 중 법선이 지나가는 영역의 밝기값의 합을 이용하여 식 1과 같이 히스토그램을 생성한다.

$$AH(c) = \operatorname{argmin}_i \{t(c, i) : -10 \leq i < 10\} \quad (1)$$

여기에서 $AH(c)$ 는 치아 배열 곡선의 법선 방향을 지나는 픽셀의 누적 밝기값을 나타내는 히스토그램이고 argmin_i 은 i 범위의 값 중 최솟값을 가지는 결과를 계산하는 연산자를 나타내고 $t(c, i)$ 는 치아 배열 곡선의 파노라마 영상의 x 좌표 값 c 에 해당하는 위치에서 회전 각도를 i 를 적용한 법선 방향의 누적 밝기값을 나타낸다. 따라서 $AH(c)$ 의 각 빈은 파노라마 영상의 x축 값을 나타내고 각 빈에 누적된 값은 해당 x축 위치에 나타나는 치아 배열 곡선에서 20개의 회전 변화된 법선 방향 누적 밝기값 중 가장 작은 값을 나타낸다. 본 연구에서는 위, 아래 치아 각각 히스토그램을 생성했다. 생성된 히스토그램은 치아 뿐 아니라 치아 외의 영역을 포함하고 있기 때문에 이를 제거해 주어야 한다. 본 연구에서는 치아가 아닌 영역을 제거하면서 치아의 좌, 우 범위를 결정하기 위해 파노라마 영상의 양 끝 1/4 크기만큼 잘라내고 남은 영역에서는 대략적으로 치아만 포함되어 있다고 가정하고 남은 영역의 히스토그램 밝기값 평균을 계산한다. 그리고 좌, 우 끝에서 중앙 방향으로 이동하면서 평균값보다 큰 값을 가지는 위치를 치아의 좌우 위치로 Fig. 15와 같이 결정한다.

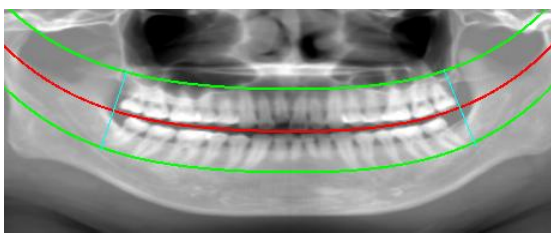


Fig. 15. Top, bottom and left and right positions of teeth and teeth array curve generate normal of each point

좌, 우 치아 영역이 결정되었으면 계산된 히스토그램의 양끝도 좌, 우 치아 영역에 맞게 잘라주어 개별 치아 영역을 찾기 용이하게 Fig. 16과 같이 만들어준다. Fig. 16의 히스토그램을 보면 치아가 구별되는 위치에서 누적된 법선 밝기값은 주변 값보다 작은 값을 가지는 극솟값 형태로 나타나게 된다. 따라서 본 연구에서는 좌우 범위 내에 극솟값을 찾아서 치아를 구분하는 위치를 설정하고 해당 위치의 히스토그램이 누적될 때 최솟값으로 계산된 회전 변화를 적용하여 치아를 구분하는 구분선으로 설정하고 이를 통해 개별 치아 영역을 설정한다. 이와 같은 방법으로 설정된 영역은 치아 배열 곡선과 위, 아래 범위로

좌, 우 범위를 이용하여 영역을 설정해 주어 개별 치아의 영역을 정확하게 설정할 수 있게 된다.

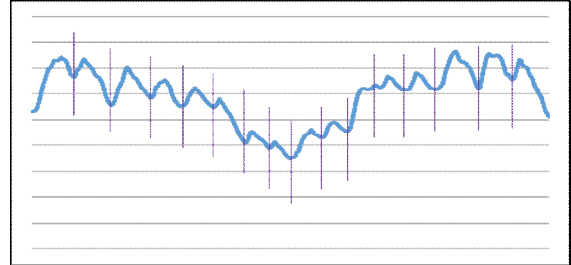


Fig. 16. The histogram result of accumulating the minimum value within the $\pm 10^\circ$ rotation range from the normal of each point in tooth array curve, the minimum value of the position having the extreme value is determined by the tooth division line.

IV. Experiment Result

제안된 방법의 실제 성능을 측정하기 위해 제안된 방법을 치과용 CT 영상에 적용하여 실험을 수행했다. 실제 제안된 방법이 치아 배열 곡선을 정확하게 찾아서 위, 아래 치아를 정확하게 분리할 수 있었는지 위, 아래 치아 범위와 좌우 치아 범위가 정확한지 개별 치아 영역이 정확한지를 확인하는 정성적 평가를 수행했다.

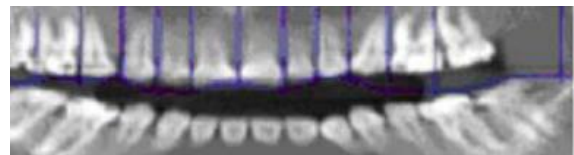


Fig. 17. Hosntalab and Zoroofi 's individual tooth region separation result [6]

그림 17은 Hostalab et. al 이 수평과 수직선을 이용해 개별 치아 영역을 분리한 것이다. 그림에서 보듯이 위 치아는 분리가 되어도 아래 치아는 곡선이 심해 직선으로 나누는 방법을 사용하는 것에는 한계가 있다. 그리고 개별치아영역을 분리하기 위해 $\pm 20^\circ$ 범위를 검색하여 개별 치아 영역 분리 라인을 구한다.

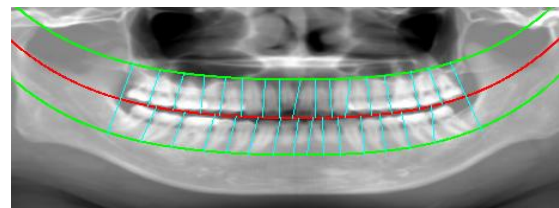


Fig. 18. Individual tooth region detection results using real dental CT images

Fig. 18은 제안된 방법을 실제 치과용 CT 영상에 적용하여 얻은 개별 치아 영역 분리 결과이다. 결과를 보면 검출된 치아 배열 곡선은 실제 위, 아래 치아를 매우 정확하게 구분할 수 있는 것을 보여준다. 또한, 위, 아래 영역도 비교적 정확함을 볼 수 있다. 좌, 우 치아가 아닌 턱뼈에 해당하는 위치가 치아 영역이 아닌 영역으로 잘 검출되었고 비교적 치아 사이사이의 영역을 잘 검출하는 것을 볼 수 있다. 이는 본 연구에서 제안한 방법은 사람이 특정한 슬라이스의 선택을 필요로 하지 않고 자동으로 매우 정확한 치아 배열 곡선을 생성할 수 있고, 치아 배열 곡선이 위, 아래 치아를 매우 정확하게 분리할 수 있는 장점과 치아 배열이 치아 배열 곡선 법선 방향에서 크게 벗어나지 않은 특징을 잘 살렸기 때문으로 판단된다. 그리고 제안된 방법의 한계는 중심에서 끝으로 이동하면서 치아의 모양이 비정상적으로 놓여 있는 경우들에 대해서는 더 정확한 개별치아 영역분리를 위한 최적화를 진행해야 할 것으로 판단한다.

V. Conclusion

개별 치아 분리를 통한 3D 모델 생성 작업의 자동화에 가장 중요한 작업 중 하나는 개별 치아 영역을 설정하는 작업이다. 기존 방법은 치아가 곡선 형태로 배열되어 있음에도 직선 또는 특정 슬라이스를 이용하여 위, 아래 치아를 분리하고 수직 방향의 직선을 사용하여 치아 영역을 분리했다. 이와 같은 방법은 치아가 곡선 형태로 배열되어 있으므로 정확한 치아 영역 분리가 어려웠고 개별 치아 분리를 통한 3D 모델 생성의 자동화에 큰 걸림돌이 되었다. 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 극복하려는 방법으로 턱선과 치아 배열 곡선의 유사성을 이용하여 3차원적으로 턱선을 찾아 Fitting하였고 턱에서부터 코 밑까지 Hard Tissue의 Intensity 누적 히스토그램을 그리고 두 개의 최댓값 사이에 **최솟값**을 위 치아와 아래 치아를 분리하는 지점으로 선정하고, 턱선을 치아 분리 위치까지 이동하여 치아 배열 곡선을 매우 정확하게 찾았고 이를 바탕으로 법선을 그리고 그 법선을 $\pm 10^\circ$ 범위 1° 간격으로 회전시켜 20개의 회전 변화된 법선을 생성한다. 이와 같은 방법을 통해 각 점마다 21개의 법선을 생성하고 이 중 법선이 지나는 영역의 밝기값의 합이 가장 작은 것을 찾아 위 치아, 아래 치아의 모든 법선에서 가장 작은 법선을 찾고 위 치아를 위한 히스토그램과 아래 치아를 위한 히스토그램을 생성한다. 이런 방법으로 개별 치아 영역을 분리한다. 제안된 방법은 실험 결과를 실제 치과용 CT 영상에서 매우 정확하게 개별 치아의 영역을 찾을 수 있음을 보여주고 제안된 방법의 성능을 입증하였다.

REFERENCES

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] O. Nomir and M. Abdel-Mottaleb, "A system for human identification from X-ray dental radiographs," *Pattern Recognition*, vol. 38, pp. 1295-1305, Aug. 2005.
- [4] H. Gao, and O. Chae. "Automatic tooth region separation for dental CT images." *Third International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology*, 2008. ICCIT'08., vol. 1, pp. 897-901. IEEE, Nov. 2008.
- [5] 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 Informatics* Vol. 22 , pp. 194-204, May. 2017.
- [6] Hosntalab, and Zoroofi, "Segmentation of teeth in CT volumetric dataset by panoramic projection and variational level set," *international Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, June. 2008.
- [7] 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
- [8] CJ. Zhou, and M. Abdel-Mottaleb, "Automatic human identification based on dental X-ray images," *Biometric Technology for Human Identification*. pp. 373-380, Apr. 2004.
- [9] 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.
- [10] 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
- [11] H. Akhoondali, R.A. Zoroofi and G. Shirani, "Fully Automatic Extraction of Panoramic Dental Images from CT-Scan Volumetric Data of the Head", *Journal of Applied Sciences*, Vol 9, Issue 11, p. 2106-2114, 2009.

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. 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.