

Few-shot Instance Segmentation 기반 치아 방향 추정 및 정량 분석

정예슬
국민대학교 소프트웨어융합대학원

Shley0527@gmail.com

Tooth Orientation Estimation and Quantitative Analysis using Few-Shot Instance Segmentation

Jung Yeseul
Kookmin University

요 약

본 논문은 소량의 라벨링된 치과 엑스레이 이미지를 활용하여 개별 치아의 방향성을 자동으로 분석하는 시스템을 제안한다. Mask R-CNN 기반의 Detectron2 모델을 통해 치아를 instance segmentation 한 뒤, 각 치아 마스크에 PCA를 적용하여 주축 방향을 계산하고 이를 수직 기준 각도로 환산하여 시각화 및 통계 분석을 수행하였다. 실험 결과, 대다수 치아는 수직에 가까운 각도를 유지하는 것으로 나타났으며 일부 치아에서의 기울기 차이는 해부학적 배열 특성 또는 분할 오차로 해석될 수 있다.

I. 서 론

임플란트 수술에서 치아의 식립 방향은 보철물의 안정성뿐만 아니라 장기적인 생존율에도 깊은 영향을 미친다 [1]. 인접 치아의 주축과 유사한 방향으로 임플란트를 심는 경우 교합의 안정성을 높이고 주위 조직의 손상 가능성을 줄일 수 있다. 그러나 현재 실제 현장에서는 이와 같은 방향 정보를 수치로 명확히 제공하기 어려워, 대부분 의사의 경험에 의존하는 경향이 있다 [2].

최근 딥러닝 기술이 치과 영상 분석 분야에 도입되며, 충치 탐지, 치아 분류, 병변 인식 등 다양한 과제에서 높은 성능을 보이고 있다. 특히 Mask R-CNN 기반의 인스턴스 세분화 기법은 복잡한 치아 경계를 효과적으로 나누는 데 적합하다는 평가를 받고 있으며, Detectron2 프레임워크는 이를 구현하는 데 널리 활용되고 있다. 한편 의료 영상에서 라벨링 데이터 확보가 어렵다는 현실은 few-shot 학습 기반 방법에 대한 수요를 높이고 있다. Li et al. [3]는 global context와 implicit knowledge decoupling을 결합하여 소량의 데이터에서도 안정적인 성능을 보였으며, Jiang et al. [4]는 feature re-weighting을 통해 소수 클래스 불균형 문제를 완화하였다. 또한, Shin et al. [5]의 연구에서는 Bi-Path 구조를 활용한 YOLO 기반의 real-time few-shot 객체 탐지를 제안하여, 실시간 의료 응용 가능성을 보여주었다.

본 연구는 소량의 치과 X-ray 이미지를 기반으로 Detectron2의 Mask R-CNN 모델을 학습하여 개별 치아를 인스턴스 단위로 분할하고, 주성분 분석(PCA)을 통해 각 치아의 주축 방향을 계산하는 방법을 제안한다. 계산된 방향은 수평축과의 기울기 각도로 변환되며, 이를 정량화해 전체 치아 배열의 방향성을 히스토그램 형태로 시각화하고 분석하였다. 제안된 파이프라인은 최소한의

라벨링 데이터로도 임상에 유의미한 방향 정보를 제공할 수 있다는 가능성을 확인한다.

II. 본 론

2.1 데이터셋 구성

실험에는 직접 수집한 약 10장의 치과 엑스레이 이미지를 사용하였고 MakeSense 온라인 도구를 사용해 수작업으로 개별 치아의 폴리곤 마스크를 생성하였다. 각 이미지에는 평균 20개의 치아가 포함되어 있으며, 생성된 데이터는 COCO 형식으로 변환한 후 Detectron2 학습에 활용하였다. 학습에는 열장의 데이터셋이 사용되었으며, 검증 및 평가는 별도로 구성한 validation 및 test 이미지를 활용하였다.

2.2 모델 학습

Detectron2 프레임워크의 Mask R-CNN 구조를 기반으로 실험을 진행하였다. 백본 네트워크로는 ImageNet에서 사전 학습된 ResNet-50 FPN을 사용하였고, fine-tuning 과정에서는 해당 백본을 고정된 채 상위 계층만 학습하였다. 모델은 총 4000 iteration 동안 학습되었으며, 학습률은 초기값 0.00025에서 3000 iteration 이후 감소되도록 설정하였다. 배치 크기는 2로 설정하였고, 최적화는 SGD 알고리즘을 기반으로 모멘텀 0.9, weight decay 0.0001 값을 사용하였다. 소량 데이터 환경을 고려하여 수평 반전(RandomFlip)과 밝기 변화(Random Brightness) 등의 데이터 증강 기법을 적용하였으며, 학습에는 오직 train 세트만 활용되었고, 추론과 시각화는 별도의 test 세트에 대해 수행되었다.

2.3 치아방향 추정 방법

학습된 인스턴스 세분화 모델의 추론 결과로부터 각 치아의 마스크를 추출한 후, 마스크 내 좌표 정보를 기반으로 해당 치아의 주축 방향을 계산하였다. 이를 위해 먼

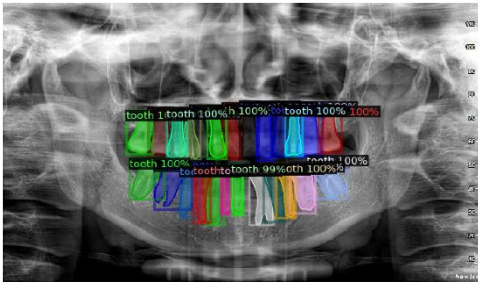
저 각 치아 마스크에서 픽셀 값이 1 인 위치의 (x, y) 좌표를 numpy 배열로 수집하였다. 이후, 해당 좌표에 대해 공분산 행렬을 계산하고 고유값과 고유벡터를 추출하였다. 이때 가장 큰 고유값에 대응하는 고유벡터가 해당 치아 인스턴스의 주축 방향을 나타낸다고 가정하였다. 이 주축 벡터와 수평(x 축) 방향 사이의 기울기 각도는 다음과 같은 수식으로 계산하였다 :

$$\theta = \arctan2(v_x, v_y) \times \frac{180}{\pi}$$

여기서 v_x 와 v_y 는 주축 벡터의 x, y 성분이며, 결과 각도는 수평축 기준의 기울기를 의미하며, 도(degree) 단위로 표현된다. 이 계산을 test 데이터의 모든 치아 인스턴스에 반복 적용하여 각 치아의 방향을 정량적으로 측정하였다. 최종적으로, 전체 치아의 방향 분포를 히스토그램 형태로 시각화함으로써, 대부분의 치아는 수평 기준 ± 3 도 내외의 방향성을 가지며, 일부 외향된 치아나 분할 오류가 발생한 경우 더 큰 각도로 나타남을 확인하였다.

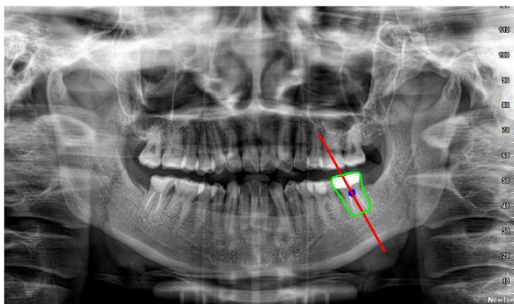
III. 결론

소량의 라벨링 데이터를 기반으로 한 치과 영상의 instance segmentation을 통해 각 치아의 방향성을 정량적으로 추정하는 방법을 제안하였다. Mask R-CNN을 활용해 각 치아를 인스턴스 단위로 분리하고 PCA를 사용해 주축 방향을 계산함으로써 검출 및 치아의 배열 상태까지 수치적으로 표현할 수 있었다.



(그림 1) 치아 세그멘테이션 결과

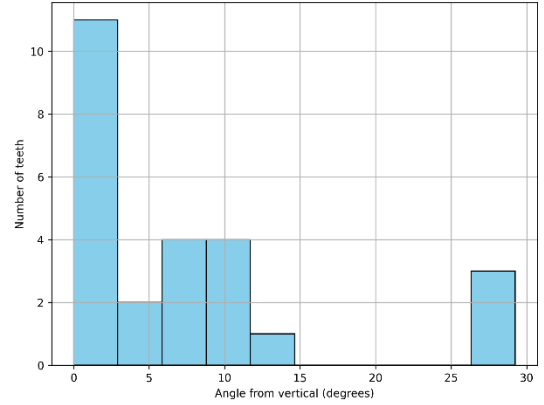
그림 1은 test 이미지에 대해 수행된 instance segmentation 결과를 나타낸다. 전체 치아가 독립적인 인스턴스로 잘 분리되었고, 치아 간 경계가 명확히 구분되어 세그멘테이션의 안정성을 확인할 수 있었다.



(그림 2) PCA 주축 벡터 시각화

그림 2는 세그멘테이션된 각 치아 마스크에 대해 적용된 PCA 기반 주축 벡터를 화살표로 시각화한 결과로, 대부분의 치아에서 계산된 방향 벡터가 실제 시각적 측

과 잘 일치하는 것을 확인하였다. 이는 단순한 중심 추정 이 아니라 방향성까지 정밀하게 반영되었음을 보여준다.



(그림 3) 각도 분포 히스토그램

그림 3은 test 이미지 상의 전체 치아 방향 각도를 히스토그램으로 시각화한 결과로, 대부분의 치아가 수평축 기준 ± 3 도 내외의 방향성을 가지는 반면, 일부 치아는 20도 이상의 큰 기울기를 보였다. 해당 치아는 외향된 제 3대구치로 추정되거나 분할 오류 가능성이 있는 인스턴스로 해석될 수 있다.

이처럼 세그멘테이션과 방향 추정을 결합한 본 방법은 임플란트 식립 방향 결정에 있어 정량적 판단을 지원하는 도구로 활용 가능성을 지닌다. 수치화된 방향 정보는 기존의 주관적 진단 방식에 비해 객관성과 일관성을 제공하며, 자동화된 보조 진단 시스템으로 확장될 수 있다. 향후에는 다양한 해부학적 조건을 반영한 데이터셋을 확보하고, 전체 구강 구조를 고려한 방향 정렬 최적화 및 3D 영상 기반의 고정밀 방향 분석으로 본 연구를 확장할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] Jung, R. E., et al. "Systematic review of the survival rate and the incidence of biological, technical, and aesthetic complications of single crowns on implants." *Clinical Oral Implants Research* 23.S6 (2012)
- [2] Hwang, Jae-Joon, et al. "An overview of deep learning in the field of dentistry." *Imaging Science in Dentistry* 49.1 (2019)
- [3] Li et al., "Few-shot object detection based on global context and implicit knowledge decoupled head," *IET Image Processing*, 2024.
- [4] Jiang et al., "Few-Shot Object Detection via Improved Classification Features," *WACV*, 2023.
- [5] Shin et al., "Bi-Path Combination YOLO for Real-Time Few-Shot Object Detection," 2023.