

Design and Implementation of 2D Image-Based Implant Placement Guide System

Minwoo Kang[†] · Jiwoo Shin[†] · Seongmin Lee^{††} · Soungjun Yoon^{†††} · Jinman Jung^{††††}

ABSTRACT

Accurate placement of prosthetics represents a critical aspect of dental implant surgery. However, it heavily depends on the dentist's decision and visual obstructions caused by various factors can lead to errors during the procedure. This paper proposes a 2D image-based real-time implant placement guiding system that predicts the implant position using 2D surgical video without the need for preoperative oral scans or 3D model generation. In the initial phase of the surgical video, two segmentation models are employed to measure prior statistics of the occlusal and incisal surfaces for each tooth. Subsequently, a single segmentation model is used to separate the occlusal and incisal surfaces, and the implant placement is predicted and guided based on the axis and length of adjacent teeth as well as the center of the prosthesis to be implanted. The system was designed and implemented using a dental phantom model, which replicates the oral structure of an actual human. The algorithm's average execution time for guiding implant placement on 10 images was measured to be 12.14 ms, demonstrating its feasibility for real-time application in surgical video.

Keywords : Segmentation, Implant, Real-Time Implant Guide System, Tooth Structure, 2D Video

2D 영상 기반의 임플란트 식립 가이드 시스템 설계 및 구현

강민우[†] · 신지우[†] · 이성민^{††} · 윤성준^{†††} · 정진만^{††††}

요약

치과 임플란트 수술에서 정확한 위치에 보철물을 식립하는 것이 중요하나 이는 치과의사의 판단에 의존하며, 다양한 요인에 의한 시야 방해로 인해 임플란트 수술의 오류가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 사전 구강 스캔이나 3D 모델 생성 없이 2D 수술 영상을 통해 임플란트 식립 위치를 예측하는 2D 영상 기반 실시간 임플란트 식립 가이드 시스템을 제안한다. 수술 영상 초반 두 가지의 세그멘테이션 모델을 사용하여 각 치아 내 교합면과 절단면의 사진통계를 측정한다. 이후 하나의 세그멘테이션 모델을 사용하여 교합면과 절단면을 분리하고, 인접치의 치축과 치아길이, 식립될 보철물의 중심을 계산하여 임플란트 식립 위치를 예측하고 가이드한다. 실제 사람과 동일한 구강 구조를 가진 인체 치아 모형인 치아 팬텀을 활용하여 시스템을 설계 및 구현하였으며, 10장의 이미지에 대한 임플란트 식립 위치 가이드 알고리즘의 작동시간은 평균 12.14ms로 측정되어 실시간 영상에서의 적용이 가능함을 확인하였다.

키워드 : 세그멘테이션, 임플란트, 실시간 임플란트 식립 가이드 시스템, 치아 구조, 2D 영상

1. 서론

세계적으로 고령화의 가속화와 치과 질환의 증가로 인해 치과 임플란트의 필요성과 중요성이 상승하고 있으며 이에 따

른 치과 임플란트 식립 수술 또한 점차 증가하는 추세이다[1]. 임플란트 식립 수술은 구강 내 손상된 치아를 대체하기 위해 치아 발치 후 인공치근을 삽입하는 과정으로 이루어진다. 이는 적절한 위치에 임플란트를 식립할 수 있는 고도의 정밀성이 요구되나, 식립 과정은 치과의사의 시야에 전적으로 의존한다. 환자의 개구량 한계에 따라 시야가 적절하게 확보되지 않을 수 있으며, 발치 과정에서 발생하는 연조직의 출혈에 의한 시야의 방해와 인접 치아에 의한 착시 등 다양한 요인에 의해 임플란트의 식립 위치와 방향의 오류가 발생할 수 있다. 구강 X-Ray나 CBCT를 통해 인접 치아의 위치와 방향을 확인할 수 있지만, 실제 수술 환경에서의 시야 확보 문제의 해결은 어렵다. 임플란트가 최적의 위치에 식립되지 않는 경우 임플

※ 본 연구는 2023년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임 [RS-2023-00277597]. 또한, 본 연구는 2024년 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학사업의 연구결과로 수행되었음(2022-0-01057).

† 준회원 : 인하대학교 전기컴퓨터공학과 석사과정

†† 비회원 : 인하대학교 전기컴퓨터공학과 석사과정

††† 비회원 : 주식회사 네오텍스 대표

†††† 정회원 : 인하대학교 컴퓨터공학과 부교수

Manuscript Received : October 11, 2024

Accepted : October 21, 2024

* Corresponding Author : Jinman Jung(jimjung@inha.ac.kr)

란트 보철물의 파절 및 나사와 보철물의 결합이 불안정해져 구강 내 보철물 흔들림이 발생할 수 있으며 임플란트 주변 잇몸 및 치조골에 염증 및 출혈이 발생하는 부작용이 나타날 수 있기 때문에 정확한 위치의 임플란트 식립이 요구된다.

기존의 임플란트 수술 가이드를 위한 연구인 정적 임플란트 가이드[2]나, AR 기반 구강악안면 수술 내비게이션 시스템 [3-4]의 연구가 존재하지만, 이는 다양한 공간적, 시간적 제약이 존재하거나 실시간 성능을 제공하지 못하며, 사전 과정 없이 2D 영상만을 이용하여 실시간 임플란트 식립 가이드를 달성하기 어렵다.

본 논문에서는 구강 스캔을 통한 3D 모델 생성과 같은 사전 과정 없이 2D 영상만을 사용하여 실시간으로 임플란트 식립 위치와 방향을 예측할 수 있는 2D 영상 기반 실시간 임플란트 식립 가이드 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 각 치아의 교합면과 절단면의 탐지와, 이에 기반한 임플란트 식립 가이드 두 가지 단계로 진행된다. 교합면과 절단면 탐지 단계에서는 두 가지의 세그멘테이션 모델을 수술 영상 초기에 활용한다. 각 치아에서 차지하는 교합면과 절단면의 사전통계를 측정하고 이후 영상에서는 각 치아의 사전통계만큼을 분할한다. 이를 교합면과 절단면으로 구분하며 인접치의 치축 및 협면의 길이를 구한다. 임플란트 식립 가이드 단계에서는 인접치의 교합면과 절단면을 기반으로, 예상되는 보철물의 교합면과 절단면의 중심을 예측하고 인접치의 치축의 방향과 협면의 길이에 따른 임플란트 식립 위치를 계산하여 가이드한다.

제안한 기법을 구현한 시스템의 실험 환경은 AMD Ryzen 5 5600X CPU와 RTX 3060 GPU를 탑재한 Windows PC에서 수행되었다. 실제 사람과 동일한 구강 구조를 가진 인체 치아 모형인 치아 팬텀에 제안한 기법을 구현 및 적용하였다. 각 이미지의 임플란트 식립 위치 가이드 알고리즘의 평균 작동 시간은 12.14ms로, 적은 시간 내에 임플란트 식립 위치를 특정할 수 있으며, 실시간 영상에서의 적용이 가능함을 확인하였다. Fig. 1은 구강 데이터 수집 및 제안한 임플란트 식립 가이드 시스템을 적용하는 환경이다.

2. 관련 연구

치과 임플란트 수술 시 올바른 위치에 임플란트를 식립하기 위한 다양한 연구가 진행되었다. [2]는 임플란트 식립 위치 가이드를 위한 정적 내비게이션 기법과 동적 내비게이션 기법을 비교한 연구이며, [3]은 동적 내비게이션을 사용한 매복과 임치를 제거한 사례를 다룬다. 정적 내비게이션 기법은 환자의 구강 스캔 데이터나 CT 등의 3D 영상에 기반한 고정 가이드를 제작하여 환자에게 부착하는 방식이며, 이는 정밀한 임플란트 수술을 보장하지만 수술 도중 계획을 변경할 수 없고 가이드 제작에 많은 시간과 비용이 발생한다. 동적 내비게이션 기법은 광학 추적 시스템을 이용하여 수술 부위를 모니터링하고 가이드하는 기법으로, 이는 기술 습득의 어려움이 존



Fig. 1. Environment for Implant Surgery

재하며 장비의 의존성이 크다는 단점이 존재한다.

[4-6]은 증강현실(AR) 및 동적 내비게이션 시스템을 결합하여 치과 임플란트 수술에 적용한 연구이며, AR 디바이스를 통해 식립 위치와 X-Ray 등 환자의 다양한 정보가 제공된다. 이를 통한 정밀한 수술이 가능하나 복잡한 컴퓨팅 작업을 AR 디바이스에서 처리하기 때문에 하드웨어 성능으로 인한 지연이 발생하는 한계점이 존재한다. [7-8]은 치과 임플란트 수술 시 환자의 치아나 잇몸에 광학 마커를 부착하고, 광학 추적 시스템을 통해 환자와 수술 기구의 위치를 실시간으로 추적하는 동적 내비게이션을 수술에 적용하였다. 마커를 통한 환자의 미세한 움직임을 추적하여 실시간으로 동적 내비게이션에 반영할 수 있기 때문에 높은 신뢰성을 보여주지만, 사용되는 광학 추적 장치에 대한 의존성이 높다는 제약과 장시간 마커를 부착하고 있는 환자에게 불편감을 초래할 수 있는 단점이 존재한다.

[9]은 환자에게 부착하는 마커 없이 자동으로 3D 이미지를 등록하는 증강 현실 내비게이션 시스템에 관한 연구이다. 스테레오 카메라를 이용하여 환자와 수술 도구를 추적하고, 3D 이미지를 수술 부위에 오버레이하여 치근, 신경 등을 시각적으로 확인할 수 있다. 광학 스테레오 카메라와 스테레오 추적 시스템을 사용하여 마커가 사용되지 않는 증강현실 내비게이션 시스템을 구현하였지만, 스테레오 카메라에 대한 설정이 필요하며 단안 카메라로 이를 수행하는 경우 더 많은 시간이 소요된다. [10]은 구강과 악안면 수술에서 비마커 기반 내비게이션 시스템을 제안한 연구이다. 환자의 CT 모델과 실시간 수술 장면을 대응시키는 방식의 이미지 등록 기법을 사용하여 환자의 마커 부착 없이도 환자의 치아 형태 정보를 이용하며, 스테레오 카메라 및 3D 재구성을 통해 마커가 부착된 수술도구의 위치를 정확하게 파악한다. 이는 기존 마커 기반 시스템의 한계를 극복할 수 있지만, 스테레오 카메라의 캘리브레이션과 3D 모델의 정렬 등 초기 설정의 복잡성이 존재하는 단점을 지닌다. 본 논문에서는 구강 스캔 3D 모델 생성 등의 사전 프로세싱이 필요하지 않고 장비에 대한 의존성이 존재하지 않는 2D 영상 기반의 임플란트 식립 가이드 프로그램을 설계 및 구현한다.

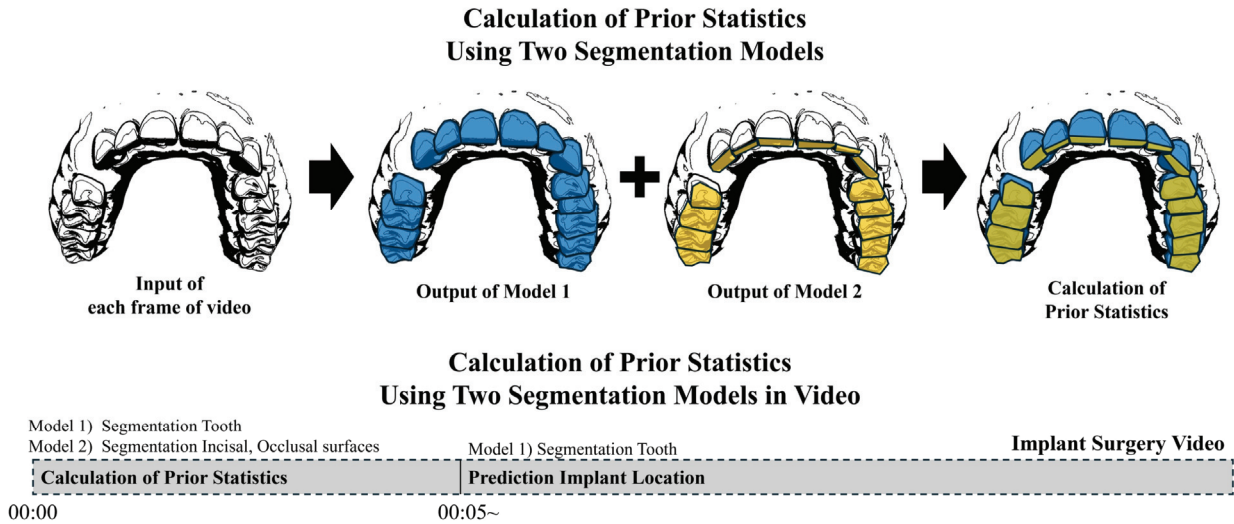


Fig. 2. Procedure for Calculation Prior Statistics from Oral Images with Two Segmentation Models

3. 임플란트 식립 위치 가이드 알고리즘 설계

본 논문에서 제안하는 임플란트 식립 위치 가이드 알고리즘은 두 단계로 진행된다. 발치부의 인접치 기준면을 설정하기 위해 각 치아에서의 교합면과 절단면 영역 탐지 단계와, 탐지된 교합면과 절단면을 기반으로 임플란트 식립 위치를 계산하고 2D 영상 내에서 가이드하는 임플란트 식립 위치 가이드 단계로 이루어진다.

3.1 각 치아의 교합면 및 절단면 영역 분할

2D 영상에서 구강 이미지 내 치아는 다양한 구성요소로 이루어져 있다. 치아의 종류는 크게 앞니와 송곳니, 어금니로 이루어져 있으며, 각 치아는 다시 교합면과 절단면, 협면 등으로 나누어진다. 교합면과 절단면이란 상악과 하악이 맞닿는 면을 기준으로, 앞니와 송곳니는 절단면이며 어금니의 경우 교합면으로 정의한다. 치아가 볼과 입술 쪽에 닿는 면은 협면으로, 혀에 닿는 면을 설면이라고 정의한다.

일반적으로 구강 이미지 내 각 치아를 세그멘테이션 모델을 통해 분할한다면 각 치아는 주로 절단면과 교합면, 협면의 구성성분이 합쳐져 분할된다. 발치부의 인접치 기준면을 설정하기 위해 교합면과 절단면, 협면의 분할이 필요하지만, 텍스처가 매우 매끈하며 곡면 형태인 치아의 특성상 이들의 경계는 명확하지 않다. 따라서 각 치아에서 이를 정확하게 분리하는 것은 매우 어렵다.

세그멘테이션 모델 훈련 시 경계가 비교적 명확한 각 치아를 분리하는 모델은 높은 성능의 달성이 가능하지만, 경계가 명확하지 않은 교합면과 절단면을 분리하는 모델은 높은 성능을 달성하기 어렵다.

따라서 안정적으로 교합면과 절단면을 분할하고자, 본 논문에서는 사전통계 기반의 치아 내 교합면 및 절단면 분할 기

법을 제안한다. 사전통계란 임플란트 수술 영상의 초기에 각 치아의 교합면과 절단면의 면적 비율이 어느 정도인지를 사전에 기록한 비율이다. 이를 위해 상악치아 및 하악치아를 분리하는 세그멘테이션 모델과, 상악치아 및 하악치아 각각의 교합면과 절단면을 분리하는 세그멘테이션 모델을 사용하여, 수술 초기에 각 치아의 교합면과 절단면이 보이는 구강을 충분히 촬영하여 사전통계를 기록한다. Fig. 2는 두 가지의 모델을 사용하여 임플란트 식립 수술 영상에서 사전통계를 측정하는 과정을 보여준다. 이후 각 치아의 교합면과 절단면을 사전통계에 기반하여 치아를 세그멘테이션하는 단일 모델로 분할한다. Fig. 3은 탐지된 각 치아 세그멘테이션에서 교합면과 절단면을 분할하는 기법을 보여준다. (a)와 같이 탐지된 각 치아 세그멘테이션의 무게중심점을 구하고 이를 기반으로 한 Basis-Spline(B-Spline) 곡선을 구한다. (b)와 같이 B-Spline 곡선 위 각각의 무게중심점의 접선을 구하고, 치아 세그멘테이션과 두 교점을 가지는 법선을 계산한다. 구강 이미지에서 각 치아의 절단면과 교합면은 주로 설측에 분포한다는 점에 근거하여, 사전통계와 법선에 기반한 교합면과 절단면을 분할할 수 있다. p 는 사전통계로, 각 치아의 교합면 또는 절단면의 평균 분포 확률이다. (c)는 각 치아의 분할된 교합면과 절단면을 나타낸다. 만약 발치부의 양 옆에 치아가 존재한다면, 발치부 다음 치아의 세그멘테이션에는 협면 외에 근심면이 추가로 존재하기 때문에 이를 분할해야 한다. (b)에서 교합면과 협면을 나누는 직선과 사전통계를 기반으로 근심면을 추가로 분할한다. (d)는 각 치아의 높이 및 치축을 구하는 과정이다. 교합면과 협면을 나누는 선분의 중심과 협면의 중심을 지나 협면 세그멘테이션 끝에 도달하는 선분 L 을 치축으로 정의한다. 본 논문에서는 이와 같은 기법을 통해 각 치아의 교합면과 절단면 분할 및 치축을 구하는 방법을 제시한다.

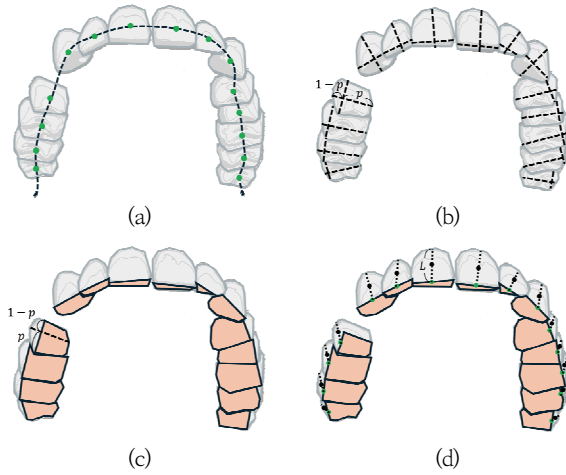


Fig. 3. The Process of Dividing the Occlusal and Incisal Surfaces of the Teeth

3.2 임플란트 식립 위치 예측 및 가이드 알고리즘

각 치아 세그멘테이션에서 분할된 교합면과 절단면을 기반으로 발치부의 임플란트 식립 위치를 예측하는 알고리즘을 제안하며, 이는 단일 발치가 존재하는 환자에 대해 작동한다. 발치부 인접치의 정보를 기반으로 발치부에 식립될 임플란트의 교합면 또는 절단면의 중심을 계산하고 식립 방향과 위치를 계산하는 방식으로 동작한다. 발치부의 위치에 따라 식립 위치 예측 기법을 다르게 적용한다.

1) 치아 사이에 발치부가 존재하는 경우

두 개의 인접치의 정보를 활용하여 임플란트 식립 위치를 계산한다. 인접치들의 분할된 교합면 또는 절단면과, 이들의 중심을 잇는 선분은 두 개의 교점을 생성하고, 두 교점의 중심을 보철물의 예상되는 교합면 또는 절단면의 중심으로 계산한다. 이 점에서 인접치들의 치축의 기울기와 길이의 평균을 사용하여 잇몸 방향으로 선분을 잇는다. 선분의 끝을 예상되는 임플란트 식립 위치로 계산한다. 단 Fig. 4와 같이 어금니의 경우 교합면의 중심에서 밑면의 중심까지의 길이와 협면의 높이가 크게 다르기에, 앞니를 제외한 치아는 인접치의 치축 길이 평균의 1/2만큼만 사용한다. Fig. 5에서 치아 사이에 발치부가 존재하는 경우 사용되는 식립 위치 예측 알고리즘을 보여준다. (a)는 어금니가 발치부인 경우를, (b)는 앞니가 발치부인 경우를 보여준다.

2) 치아의 끝에 발치부가 존재하는 경우

치아 양 끝단의 임플란트 식립 위치를 예측하기 위해 직전 치아의 교합면의 중심에서 이어지는 선분을 그려 예상되는 보철물의 교합면 중심을 파악하여야 한다. 치의학적으로 각각의 어금니는 직선상에 존재하는 경우가 많기 때문에 식립되는 보철물 또한 이와 같이 존재한다고 가정한다. 사전통계로 분할

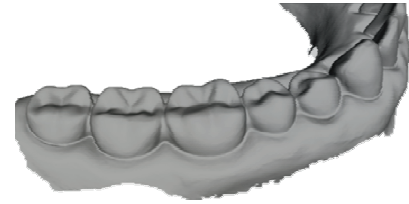


Fig. 4. The Difference of Height in a Molar

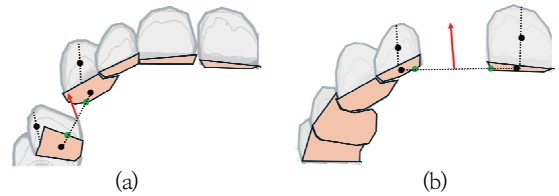


Fig. 5. In Cases Where an Extraction Site is Present Between Teeth

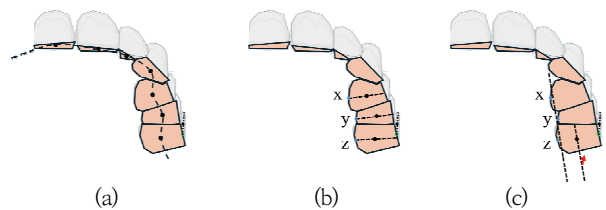


Fig. 6. In Cases Where an Extraction Site is Present at the End of a Tooth

되는 교합면의 특성상 모델의 세그멘테이션 성능에 따른 편차가 존재하기 때문에 상대적으로 변화가 적은 인접치 3개 설측의 각 점을 구하여 평균 기울기를 계산한다. Fig. 6의 (a)는 분할된 교합면과 절단면의 중심으로 B-Spline 곡선을 생성한다. (b)는 인접치 3개에서 곡선 내 교합면 중점에서의 접선의 법선을 그리는 과정이며, 이로 인해 설측면의 교점 x, y, z 가 생성된다. (c)는 인접치의 정보를 사용하여 임플란트 식립 위치를 구하는 과정이다. $\overline{xy}, \overline{yz}$ 기울기의 평균을 사용하여 직전 인접치 교합면의 중점에서 직선을 그린다. 이때 생성되는 두 교점의 거리를 직전 인접치의 너비로 계산하고 식립될 보철물의 너비도 이와 같다고 가정한다. 예상되는 보철물의 교합면 중심을 구하고 임플란트 식립 위치를 예측한다.

4. 실험

본 논문에서 제안한 시스템을 구현하고, 실제 사람과 동일한 구강 구조를 가진 인체 치아 모형인 치아 팬텀을 환자의 구강으로 가정하여 시스템을 적용하였다. Fig. 7은 본 논문에서 제안한 시스템의 적용 결과이며 발치부의 증상을 임플란트 식립 위치로 가이드하는 것을 확인하였다. 정면에서 촬영된 10장의 치아 팬텀 사진에서 작동하는 임플란트 식립 위치 가

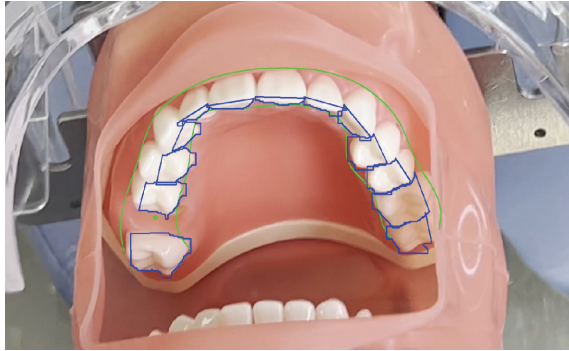


Fig. 7. Implementation of Proposed System

이드 알고리즘의 평균 작동시간은 12.14ms로 나타났다. 실험 결과 본 논문에서 제안하는 시스템은 사전 작업이 필요하지 않고 장비의 의존성이 존재하지 않으면서 실시간으로 임플란트 식립 위치를 예측할 수 있음을 보여준다.

5. 결 론

본 연구에서는 2D 영상 기반의 실시간 임플란트 식립 가이드 시스템을 제안하였다. 기존의 구강 스캔 3D 모델링 기법이나 광학 추적 장치 없이 2D 영상에서 치아의 교합면과 절단면을 효과적으로 분할하고 인접 치아 정보 기반의 임플란트 식립 위치 예측 기법을 제안하였다. 구현 결과 제안된 시스템은 평균 12.14ms의 작동시간이 측정되어, 실시간으로 효과적인 임플란트 식립 위치 예측이 가능함을 확인하였다. 본 연구에서 제안한 시스템은 치과 의사가 시술 중 직면할 수 있는 시야 방해 문제를 해결하고, 정밀한 임플란트 식립을 가능하게 하여 높은 활용 가능성이 존재함을 확인하였다. 향후 연구에서는 임플란트 식립이 필요한 여러 환자의 구강 데이터셋에 본 시스템을 적용하고, 예측한 임플란트 식립 위치와 실제 식립 위치의 오차를 측정하고자 한다.

References

- [1] R. A. Bagramian, F. Garcia-Godoy, and A. R. Volpe, "The global increase in dental caries. A pending public health crisis," *American Journal of Dentistry*, Vol.22., No.1, pp.3-8, 2009.
- [2] M. S. Block and R. W. Emery, "Static or dynamic navigation for implant placement—choosing the method of guidance," *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, Vol.74, No.2, pp.269-277, 2016.
- [3] A. Retana, R. W. Emery, and V. Keir, "Removal of impacted supernumerary teeth using a dynamic surgical navigation system: a case report," *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, Vol.77, No.6, pp.1130-1134, 2019.
- [4] G. Pellegrino, C. Mangano, R. Mangano, A. Ferri, V. Taraschi and C. Marchetti, "Augmented reality for dental implantology: a pilot clinical report of two cases," *BMC Oral Health*, 19, pp.1-8, 2019.
- [5] H. Suenaga, A. Sakakibara, A. Taniguchi and K. Hoshi, "Computer-assisted preoperative simulation and augmented reality for extraction of impacted supernumerary teeth: a clinical case report of two cases," *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, Vol.81, No.2, pp.201-205, 2023.
- [6] M. Kivovics, A. Takács, D. Péntzes, O. Németh and E. Mijiritsky, "Accuracy of dental implant placement using augmented reality-based navigation, static computer assisted implant surgery, and the free-hand method: an in vitro study," *Journal of Dentistry*, Vol.119, pp.104070, 2022.
- [7] N. Panchal, L. Mahmood, A. Retana and R. Emery, "Dynamic navigation for dental implant surgery," *Advances in Oral and Maxillofacial Surgery*, Vol. 31, No.4, pp. 539-547, 2019.
- [8] L. Ma, et al. "Augmented reality surgical navigation with accurate CBCT-patient registration for dental implant placement," *Medical & Biological Engineering & Computing*, Vol.57, pp.47-57, 2019.
- [9] J. Wang et al., "Augmented reality navigation with automatic marker-free image registration using 3-D image overlay for dental surgery," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol.61, No.4, pp.1295-1304, 2014.
- [10] D. Li, M. Zhu, S. Wang, Y. Hu, F. Yuan and J. Yu, "A vision-based navigation system with markerless image registration and position-sensing localization for oral and maxillofacial surgery," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol.72, pp.1-11, 2023.



강민우

<https://orcid.org/0009-0003-8453-5925>

e-mail : kmw1204@gmail.com

2024년 인하대학교 컴퓨터공학과(학사)

2024년~현재 인하대학교

전기컴퓨터공학과 석사과정

관심분야 : Intelligent Embedded

Software, Computer Vision



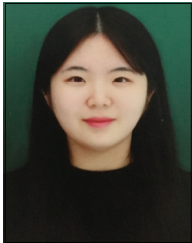
신 지 우

<https://orcid.org/0009-0001-2753-1368>
e-mail : jiwoo@inha.edu
2023년 인하대학교 컴퓨터공학과(학사)
2023년~현 재 인하대학교
전기컴퓨터공학과 석사과정
관심분야 : Intelligent Embedded
Software, AI Mobility



윤 성 준

<https://orcid.org/0000-0001-7028-2662>
e-mail : sounjungy@gmail.com
2000년 서울대학교 재료공학부(학사)
2009년 서울대학교 치의학(석사)
2018년 고려대학교 의학과(박사)
2012년~현 재 미소야 치과 대표원장
2019년~현 재 주식회사 네오텍스 대표
관심분야 : AI & Dental Fusion, Intelligent Implant Guide



이 성 민

<https://orcid.org/0009-0006-9150-589X>
e-mail : seongminlee@inha.edu
2024년 인하대학교 컴퓨터공학과(학사)
2024년~현 재 인하대학교
전기컴퓨터공학과 석사과정
관심분야 : Intelligent Embedded
Software, Computer Vision



정 진 만

<https://orcid.org/0000-0001-7818-9622>
e-mail : jmjung@inha.ac.kr
2008년 서울대학교 컴퓨터공학과(학사)
2014년 서울대학교
전기컴퓨터공학과(박사)
2014년~2021년 한남대학교
정보통신공학과 부교수
2021년~현 재 인하대학교 컴퓨터공학과 부교수
관심분야 : Operating Systems, Embedded Systems, System
Software