

치과 치료 기간 단축을 위한 효율적인 거리 영상 융합 방법

계 희 원[†]

Efficient Merging of Range Images to Reduce Dental Treatment Time

Heewon Kye[†]

ABSTRACT

The fourth industrial revolution is a phenomenon where productivity is improved in each field by the convergence of IT technology and existing industries. In the dental treatment process, prosthetic treatment time is drastically shortened through AI and expert software. Oral imaging, prosthesis design, and prosthesis manufacturing are performed continuously, so the treatment can be completed in a few hours. In this paper, we introduce the research trend of multimedia technology in the prosthetic process. We also propose a new method for accelerating the fusion of surface data during the optical impression. Proposed method enables high-speed optical impression and accelerates the overall automated production process of dental prosthesis.

Key words: Prosthetic Treatment, Range Image Merging, Mesh Fusion

1. 서 론

4차 산업혁명은 제조업과 정보통신기술을 융합하여 작업 경쟁력을 제고하는 차세대 산업혁명을 가리키는 용어이다. 증기기관으로 대표되는 1차 산업혁명, 대량생산이 본격화된 2차 산업혁명, 컴퓨터와 인터넷 등 IT기술이 태동한 3차 산업혁명을 지나, 정보화 생산 IT기술을 이용하여 제조업을 혁신하는 4차 산업혁명은 인공지능, 3D 프린팅, 바이오 기술 등이 해당한다[1-3].

4차 산업혁명은 산업 전반에 확산되고 있으며, 기존 제조 방식이 첨단 IT 기술을 이용하여 혁신되고 있다. 본 연구에서는 대표적인 4차 산업혁명의 대상 기술 중 하나인 의료 기술, 특히 치과 치료 기술에서 4차 산업혁명이 어떻게 활용되고 있는지 살펴본다.

기존의 치아 복원 절차는 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 치과 보철의 예를 들면, 환자는 구강 내의 치아 상황을 플라스틱 재질을 이용해서 본을 뜬다. 이 본을 이용해서 치아에 적합한 보철물(크라운 또는 인레이)을 세라믹 등의 재질로 기공소에서 제작한다. 그리고 완성된 보철물은 병원으로 전달되고 환

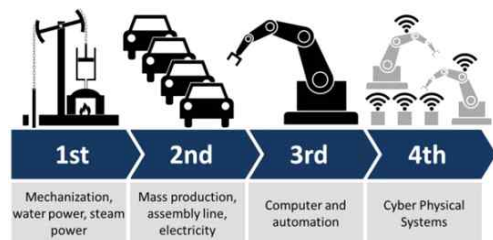


Fig. 1. The 4th industrial revolution[1].

* Corresponding Author : Heewon Kye, Address: (136-792) 116 Samseongyoro-16 Gil Seongbuk-Gu, Seoul, Korea, TEL : +82-2-760-8014, FAX : +82-2-760-4346, E-mail : kuei@hansung.ac.kr

Receipt date : Jan. 16, 2017, Approval date : Jan. 20, 2017
[†] School of Computer Engineering, Hansung University
* This Research was financially supported by Hansung University.

자에게 삽입, 접촉되어 치료를 마치게 된다. 이 과정은 몇 주에 걸쳐 진행되기 때문에 환자는 그 기간 동안 임시 치아를 장착하는 등 고통을 겪게 된다. 그러나 이 과정이 CAD / CAM 이 결합된 방식으로 혁신되어 전체 시술이 몇 시간으로 단축되고 환자는 당일 병원 방문으로 모든 치료를 마칠 수 있게 되는 것이다.

본 연구는 상기 각 과정에서 멀티미디어 기술이 어떻게 사용되는지 살펴보고, 다양한 각도에서 촬영한 표면 데이터를 융합하는 과정에서 속도 향상 기법을 제안한다. 본 논문의 공헌은 다음과 같다.

1. 치과 치료의 과정에서 IT 기술 연구 동향을 소개
2. 고속 표면 데이터 융합 방법 제안

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 2장에서는 치과 보철물을 자동으로 제작하는 방법의 연구 동향에 대해 설명하고 3장에서 보철물 자동 제작의 한 단계인 표면 데이터 융합의 고속화 방법을 설명한다. 4장에서 실험 결과를 제시하고 5장에서 결론을 내린다.

2. 치과 보철물 자동 제작 연구동향

2.1 개요

치과 보철물 자동 제작의 일반적 과정은 Fig. 2와 같다. 우선 치아 수복에 필요한 현재 환자 데이터를 얻는 과정으로 데이터 채득(data acquisition) 혹은 광학 인상(optical impression) 작업을 수행한다. 다음으로 크라운이나 인레이와 같은 보철물을 생성하기 위해 소프트웨어로 보철물의 모양을 제작하는 과정을 수행한다. 이는 일종의 CAD(Computer-Aided Design) 과정이라 할 수 있다. 마지막으로, 이렇게 생성된 데이터를 이용하여 실제 보철물을 제작하는데 이 단계는 일종의 CAM(Computer-Aided Manufacturing) 과정이 적용된다[4]. 이후 각 과정에 대해 상세히 설명한다.

2.2 데이터 획득

치아 데이터의 획득 방법은 크게 표면 데이터를 사용한 방식과 볼륨 데이터를 사용한 방식으로 구분

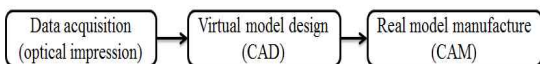


Fig. 2. Automatic production process of dental prostheses.

할 수 있다. 표면 데이터는 광학 스캐너로 치아 치아들의 표면을 삼각형 메시로 구성하는 방법이다. 한편 볼륨 데이터는 일정한 공간을 삼차원 격자 또는 배열로 나누고, 각 격자 위치가 비어 있는지 채워져 있는지 계산하여 데이터를 입력하는 방법이다.

Fig. 3은 삼각법과 광학 스캐너를 이용하여 물체의 위치를 측정하는 방법을 나타내고 있다. 발생된 레이저는 기울어진 거울(deflector)을 이용하여 굴절되고 물체에 맺히게 된다. 이를 영상 검출기를 이용하여 촬영하고 영상에 맺힌 점의 위치를 측정하면, 거울의 회전 각도를 알고 있으므로 물체에 맺힌 한 점의 공간상의 위치를 계산할 수 있게 된다. 거울의 회전 각도를 변경하면서 상기 과정을 반복하면 물체의 개략적인 형태를 측정할 수 있게 된다[5].

한편, 물체가 거울 반사를 하게 되면 물체 표면의 법선벡터에 따라 반사광이 다른 곳에 맺히게 될 수 있으므로, 구강 내부에 인체에 무해한 이산화 티탄(titanium dioxide, TiO₂) 가루를 고르게 뿌려 반사를 일정하게 한다[6]. 이러한 방법 외에도 공초점 레이저 현미경(confocal laser scanner microscopy) 방식[7]이나 활성 파면 샘플링(active wavefront sampling and devices) 방법[8] 등 치아를 촬영하는 다양한 방법이 존재한다.

상기 과정에서 얻은 데이터는 하나의 고정된 위치에서 관찰할 때, 보이는 물체의 표면 정보이다. 물체가 치아와 같이 복잡한 형태인 경우, 검출기를 고정된 상태로 측정해 얻은 데이터에는 치아의 일부 정보만이 포함되어 있다. 치아의 전체를 파악하기 위해 관찰 방향을 바꾸어가며 여러 데이터를 획득하는 과

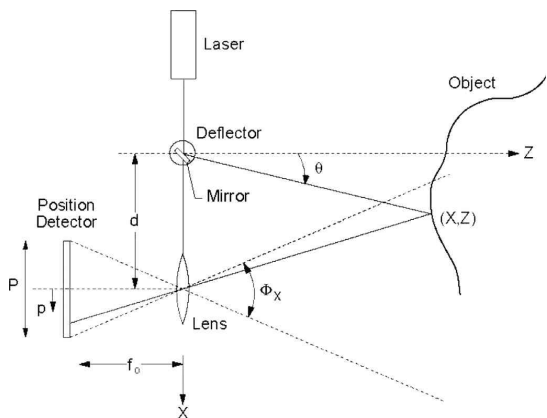


Fig. 3. 2D active triangulation method[5].

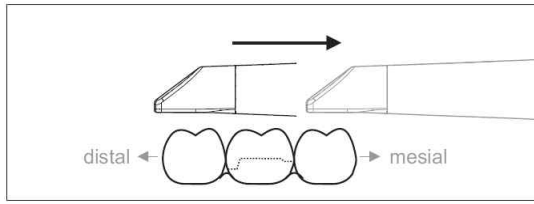


Fig. 4. Surface data acquisition[9].

정이 필요하다. Fig. 3에서 주어진 시스템을 소형화하여 검출기를 제작하고 Fig. 4와 같이 검출기를 이동하면서 반복 촬영하면 데이터를 연속적으로 획득할 수 있다.

그러나 과도한 반복 촬영은 촬영 시간이 길고 환자를 고통스럽게 한다. 각 촬영마다 검출기의 이동과 회전을 크게 하면 촬영 횟수를 줄여 전체 촬영 시간을 절약할 수 있다. 다만, 촬영 영상간의 데이터 겹침의 정도가 줄어, 영상 결합 시 정밀도가 감소하는 문제를 극복해야 한다.

획득한 데이터들은 Fig. 5와 같이 하나의 표면 메시 데이터로 종합된다. 종합된 데이터의 정밀도는 대체로 0.1mm 이내이고, 0.05mm정도까지 정확성이 높은 경우도 있다. 더 높은 정확도를 위해 레이저의 파장이 짧은 청색광을 사용하는 경우도 있다[10]. 관련 연구[6]에서 디지털 방법과 전통적인 아날로그 방법을 15개 이상의 논문을 통해 비교하였는데, 어떤 경우는 디지털 방법이 우수하고, 어떤 경우는 아날로그 방법이 우수한 것으로 측정되어 어떤 쪽이 더 우수하다고 볼 수 없었다. 아날로그 방법과 디지털 방법 모두 임상적으로 받아들일 수 있는 수준으로 측정되었다.

2.3 가상 모델의 설계

가상 모델 설계는 기존 치아의 정보를 바탕으로 인공치아의 위치와 삽입방향, 가공 정보를 계산하는 단계이다. 기존 치아는 데이터 획득 전에 준비(preparation)

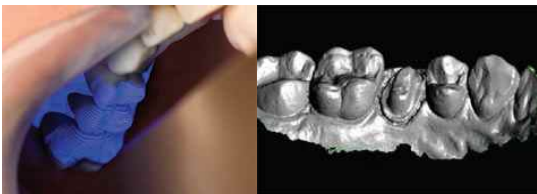


Fig. 5. Data acquisition results[10].

단계)단계에서 손질된다. 즉, 임상의는 내원한 환자의 손상된 치아를 물리적으로 삭제하고 다듬어 인공치아를 삽입하기 편리하도록 매끈한 형태로 만든다. 예를 들어 Fig. 5의 우측에 가운데 치아가 크라운을 삽입하기 적합하도록 매끈하게 정돈되어 있다.

각 치아에는 나름의 번호가 부여되어 있다. 예를 들어 상악의 앞니는 11번에서 시작하여 입 안쪽으로 들어가며 어금니는 17번, 사랑니는 18번이 부여되어 있다. 좌우 대칭으로 21번에서 28번까지 번호가 부여되며, 아래턱의 치아도 마찬가지로 31-38번, 41-48번의 번호가 부여되어 있다. 임상의는 치료할 치아의 번호를 알고 있으므로 치아 데이터베이스에 저장되어 있는 표준 치아 모델을 읽어 올바른 위치에 옮기는 과정을 수행한다.

인공치아의 삽입 위치, 회전 방향, 크기 결정은 수작업으로 이루어지기도 하며 주변 치아와 충돌하지 않도록 자동으로 계산하여 결정할 수도 있다. 정확하게 위치한 표준 인공치아 모델에서 기존 치아의 영역을 제거하면 실제 제작할 치아 모델을 얻을 수 있고 이를 바탕으로 실제 치아를 제작한다.

2.4 실제 치아 모델 제작

모델의 제작은 밀링 기계(milling machine)를 이용하여 세라믹이나 레진 블록을 깎아 제작하게 된다. 가상 모델이 표면 데이터로 주어져 있으므로 블록을 조각하듯 경계를 확정한다. 이렇게 완성된 실제 치아 모델은 실제 치아와 비슷하도록 착색 과정을 거쳐 완성된다. 결과물은 시멘트 또는 접착제로 환자에게 삽입되어 치료가 완료된다.

최근에는 3D 프린터를 이용하여 실제 치아 모델을 제작하는 시도가 존재한다. 아직 3D 프린터 제작은 견고함과 정밀도 측면에서 밀링 기계를 이용한 방식에 비해 뒤쳐져 있다. 특히 3D 프린터 제품은 표면이 매끈하지 않은 점이 단점으로 지적되어 수작업으로 후처리를 하는 것이 일반적이다. 그러나 3D 프린터의 성능이 계속 발전하고 있기 때문에 향후 이용범위가 증가할 것으로 예상된다.

3. 다중 촬영 표면 데이터의 결합 방법

3.1 일반적 메시 결합

본 절에서는 2.2절의 데이터 획득 과정을 자세하게 설명한다. 이미 서술한 바와 같이, 한 시점에서

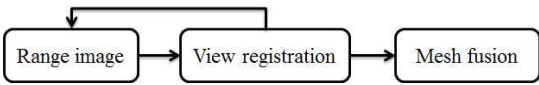


Fig. 6. Flowchart for mesh merging.

촬영한 영상은 치아의 일부분만을 포함하고 있기 때문에, 다양한 위치와 각도에서 여러 번 촬영하여 하나의 종합된 데이터를 생성해야 한다. 각각의 촬영 데이터를 얻어 기존 촬영 데이터와 좌표계를 일치시키고, 일치된 좌표계에서 데이터를 하나로 융합하는 과정이 필요하다. Fig. 6에 이 과정을 나타내었으며, 각 과정을 자세히 설명하면 다음과 같다.

하나의 촬영 영상(range image)은 치아의 부분 데이터이고 삼각형 메시(triangle mesh) 또는 점들의 집합(point cloud)이며(Fig. 9 참고) 본 연구는 삼각형 메시지를 기준으로 설명한다. 촬영 영상은 다음과 같은 물리적 특징을 갖는다. 첫 번째, 입상의가 촬영 장비를 손으로 들고 움직이므로 측정된 데이터는 절대적인 좌표가 아니며 측정 센서를 기준으로 하는 상대적인 좌표이다. 두 번째, 획득한 일부 영역에는 측정 오차로 인해 삼각형이 생성되지 않는 구멍(hole)이 존재한다. 세 번째, 삼각형의 법선벡터와 측정 센서의 측정 방향 사이의 각도가 커지면, 삼각형이 생성된 경우라도 좌표의 오차가 커져 신뢰할 수 없다. 이제 여러 메시의 좌표를 서로 일치시켜야 하며, 두 개의 메시지를 일치시키는 작업을 반복하여 수행한다.

메시의 관찰 정합(view registration)은 두 개의 메시가 최대한 일치하도록 둘 사이의 좌표계 변환을 얻는 과정이다. 보통 ICP(Iterative Closest Point) 알고리즘[11, 12]을 사용하여 두 메시지를 구성하는 정점 사이의 거리를 최소화한다. 한 메시지를 구성하는 각 점이 다른 메시와 이루는 거리를 계산하여 그 거리가 작게 되도록 수치적으로 이동과 회전을 반복한다. 이동과 회전 변환이 반복에 의해 수렴하게 되면 반복을 종료하게 된다.

관찰 정합을 마치고 나면 각 메시는 서로 동일한 좌표계에 위치하도록 변경되며, 서로 보완하여 구멍을 제거하게 된다. 정합된 메시는 삼각형들이 중첩되어 겹쳐진 상태이기 때문에, 메시 융합(mesh fusion) 과정을 거쳐 하나의 단일한 메시로 재구성 되어야 한다[13]. 이 과정은 두 메시 사이의 결합 과정을 반복 수행하여 이루어진다.

기존 메시 M_f 과 새로 결합될 메시 M_{new} 를 융합한다고 가정하자. 겹쳐진 부분을 검사(overlap test)하여 겹쳐진 부분 메시지를 각각 C_f, C_{new} 라고 하면, $C_f \subseteq M_f$ 이고, $C_{new} \subseteq M_{new}$ 이다. 이때 두 메시에서 각각 중첩된 부분을 제거하고 상대적으로 더 정밀한 부분을 추가한다.

만약 하나의 메시가 다른 메시에 비해 전체적으로 정밀하다면, 더 정밀한 메시가 존재하지 않는 공간에만 덜 정밀한 메시지를 구성하는 삼각형을 하나씩 붙여 나갈 수 있다[13]. 그러나 메시지를 구성하는 삼각형마다 우수함의 정도가 다르므로, 이러한 가정은 수정되어야 한다. 겹쳐진 부분 메시 C_f, C_{new} 중 더 우수한 메시지를 $Better(C_f, C_{new})$ 라는 연산기호로 정의하면 겹쳐진 메시는 M 은 식 1과 같다. 이러한 연산 과정은 Fig. 7에 제시하였다.

$$M = (M_f - C_f) \cup (M_{new} - C_{new}) \cup Better(C_f, C_{new}) \quad (1)$$

그리고 겹침 검사의 연산 횟수는 식 2와 같다. 이때, $Tri(M)$ 는 메시 M 에 속한 삼각형의 개수이다. 하나의 메시지를 구성하는 각 삼각형에 대해, 상대편 메시에서 겹치는 영역이 있는지 검사해야 하고, 다른 메시지를 구성하는 삼각형에서도 마찬가지로 작업을 수행해야 한다.

$$complexity = Tri(M_f) \times \log(Tri(M_{new})) + Tri(M_{new}) \times \log(Tri(M_f)) \quad (2)$$

여러 메시에 대해 융합 과정을 각각 수행하면, 결과적으로 모든 메시가 겹치지 않은 상태로 존재하게 된다. 다만, 각 메시들은 서로 겹치지 않도록 조각이

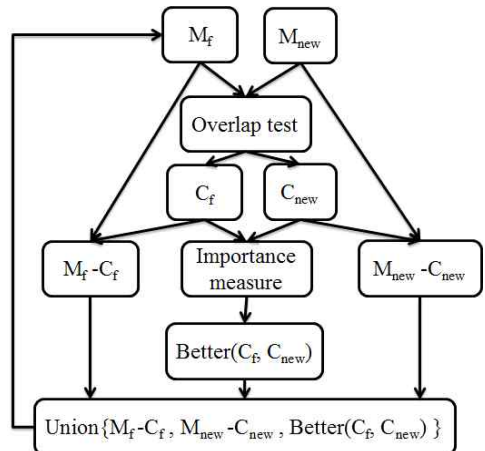


Fig. 7. Flowchart for conventional mesh fusion.

난 상황이다. 조각난 메시들을 하나로 연결하기 위해 메시 사이의 틈새를 삼각형으로 연결하여 메꾸면 메시 융합이 완성된다. 조각난 각 메시의 경계 정점(vertex)을 순회하며 이웃한 메시의 가까운 경계 정점과 순차적으로 간선(edge)을 생성하면 틈새 부분에 삼각형이 생성되고 전체가 단일한 하나의 메시로 재구성된다.

메시 융합 단계에서 다른 접근 방법으로는 볼륨 기반 합성이 있다. 여러 각도에서 촬영한 각 메시지를 하나의 볼륨 데이터에 겹쳐 투사하여 확률 밀도 볼륨 데이터를 구축하고, 볼륨 데이터에서 메시 추출 알고리즘을 사용하면 최종적으로 단일한 메시지를 얻을 수 있다. 이 방법은 메시에서 겹친 부분의 연산을 확률 모델 합산으로 계산하므로 연산이 간단하다. 대신 볼륨 데이터의 용량 한계로 인해 볼륨 해상도가 충분히 높지 않다는 한계가 있어[13], 추출한 메시의 경계 부분이 무디어지는 단점이 존재한다. 후 처리(post-processing)를 적용하여 경계 부분을 날카롭게 다듬는 방법을 수행[14, 15]할 수 있으나, 그 과정에서 오차가 발생한다. 게다가 볼륨 데이터의 해상도보다 얇은 조직의 추출이 불가능해지는 단점도 존재한다.

3.2 제안하는 효율적 반복 메시 융합

앞의 3.1절에서 설명한 일반적 메시 융합은 입력 메시의 수가 증가할수록 효율이 감소하는 문제가 있다. 식 (1)에서 두 메시의 융합 방법을 계산하였는데, 만약 융합할 메시가 여러 개라면 Fig. 7의 과정을 반복해서 수행해야 한다. 메시들이 융합하여 누적된 결과가 M_f 로 입력되고 새로운 메시가 M_{new} 로 입력되어 매 번 메시 융합 연산을 수행하게 된다. 총 메시의 수가 N 개라면 Fig. 7의 수행 횟수는 $N-1$ 회 이다.

문제는, 반복 횟수가 증가할수록 누적된 M_{new} 의 크기가 증가하여 M_f , M_{new} 의 겹침 검사에 수행비용이 계속 증가하고, 겹쳐지는 데이터의 C_f , C_{new} 의 크기도 넓어지게 된다는 것이다. 그 결과 메모리 소모량과 연산 시간이 크게 증가한다.

본 연구는 3.1절에서 설명한 바와 같이, 측정 센서의 측정 방향과 각 삼각형의 법선 벡터 사이의 각이 클수록 삼각형의 신뢰도가 낮다는 점에 착안하였다. 각 메시지를 신뢰할 수 있는 부분과 덜 신뢰하는 부분으로 나누고 융합 순서를 변경하여 효율성을 높이는

새로운 방법을 제안한다.

$$\begin{aligned} X' &= \{t | t \in M \wedge |normal(t) \cdot dir_{camera}(M)| > T\} \\ X &= X' \text{ opening TRIANGLE} \\ Y &= M - X \end{aligned} \quad (3)$$

우선 각 입력 메시 M 을 구성하는 각각의 삼각형 t 에 대해, 식 3의 조건을 바탕으로 M 의 부분집합 메시 X 또는 Y 에 소속시킨다. 이때, X' 는 메시 M 의 부분집합으로, M 에서 중요한 삼각형의 집합이다. 메시에 속하는 각 삼각형의 법선벡터 $normal(t)$ 와 메시지를 추출한 센서의 측정방향인 $dir_{camera}(M)$ 의 내적을 삼각형의 중요도 값으로 정의한다. 두 벡터가 나란한 경우 중요도 값이 커지므로, 본 연구는 삼각형의 중요도 값이 사용자 정의값 T 보다 크면 중요한 삼각형으로 판단하였다. 이 중요도 값을 각 삼각형마다 전처리 과정에서 미리 저장하여 부분 메시 생성 과정에 적용하였다.

이 X' 의 경계가 부드럽게 수정될 경우 메시 연결에 효과적이므로 영상 처리에서 사용하는 열림(opening) 연산을 메시에 적용하여 경계가 매끄러운 부분 메시 X 를 생성하였다. 이를 바탕으로 덜 중요한 삼각형의 집합 Y 를 생성한다.

이제 기존 메시 M_f 과 융합할 메시 M_{new} 를 분해한 X_{new} , Y_{new} 를 융합하는 과정을 Fig. 8에 나타내었다. 더 중요한 부분 메시들인 X 를 먼저 융합해 나간다. X 에 포함된 각 삼각형은 모두 중요하고 정밀하므로, 시간 순서로 먼저 결합된 삼각형에 우선권을 주어도 결과 영상에 손상이 없다. 그 결과 Fig. 8의 왼쪽과 같이 융합 과정이 단순하고 효율적으로 변경된다. 이후 중요한 메시가 모두 융합되었으므로 이 결과에 덜 중요한 메시 Y 를 순차적으로 결합해 나간다. 이미 중요한 정보가 모두 반영되었으므로, 덜 중요한 정보 역시 시간순서로 결합해도 결과 영상을 손상시키지 않는다.

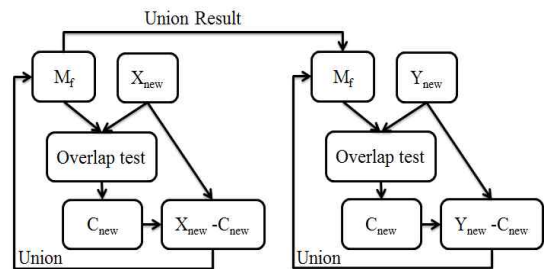


Fig. 8. Flowchart for proposed mesh fusion method.

제안 방법의 겹침 검사(overlap test)는 매우 간단하다. X 또는 Y에 소속된 각 삼각형의 좌표를 기존 누적된 메시 M_f 에 대응하여 근처에 점이 있는지 판단한다. 따라서 M_f 에 대해 k-d 트리를 생성하고 삼각형의 좌표와 크기를 대입하면 두 부분 메시에 대해 평균적인 겹침 검사의 횟수는 식 4와 같이 되어 기존의 식 2에 비해 효율적이다. 특히 누적이 진행될수록 많은 크기를 가진 M_f 에 대해 log함수가 적용되므로 매우 효율적이 된다.

$$\begin{aligned} complexity &= Tri(X_{new} + Y_{new}) \times \log(Tri(M_f)) \\ &= Tri(M_{new}) \times \log(Tri(M_f)) \end{aligned} \quad (4)$$

4. 실험 결과 및 고찰

이번 장에서는 치아 보철물 자동 제작 과정에서 Fig. 2의 첫 번째 단계인 데이터 획득 과정을 실제 데이터를 이용하여 설명한다. 그리고 본 연구에서 제안하는 효율적 반복 메시 융합의 결과를 제시한다. 프로그램의 구현과 실험은 Intel i7을 장착한 노트북 컴퓨터에서 Visual studio를 이용하여 C++로 작성, 수행되었다.

본 연구에서는 Fig. 9와 같이 주어진 치아 모델을 다른 위치에서 11회 촬영하여 부분 메시지를 획득하였

다. 각 부분 메시는 치아의 일부분을 반영하고 있으며, 카메라의 각도에 따라 데이터를 획득할 수 없거나 오차가 심한 부분은 구멍으로 처리되었다.

각 부분 메시는 각각 상대적인 좌표만을 저장하고 있으므로 메시 정합을 통해 좌표를 일치시켜야 한다. Fig. 10은 3.1절에서 설명한 바와 같이 ICP 알고리즘을 적용하여 좌표계를 정합한 결과이다. 관찰의 편의성을 위하여 각 부분 메시마다 다른 색상을 부여하여 단순 가시화 하였다. Fig. 10에서 나타난 바와 같이 각 부분 메시들이 상호 보완하여 대부분의 구멍이 제거되었다. 그러나 겹쳐진 영역이 넓게 존재하며, 하나의 영역에 지나치게 많은 삼각형이 겹쳐 있어서 메모리 사용량이 많고 가시화 속도가 느리다. 특히, 실제 가상 모델 디자인 단계에서 수치적으로 데이터를 측정할 수 없으므로 표면 융합이 필요하다.

본 연구에서 제안한 메시 융합 알고리즘을 이용하여 하나의 메시로 결합한 결과는 Fig. 11과 같다. 하나의 전체 데이터는 단일 메시로 표현되었으며 이를 확인하기 위해 메시의 경계 에지를 붉은색으로 표시하였다. 조각난 메시 사이의 경계는 공간 메우기(gap filling)방법[16]으로 연결하였다. 마지막 단계로, 입력 데이터에 존재하지 않는 구멍들을 임의로 채워야 한다[17]. 본 연구에서는 구멍을 둘러싸는 정점을 연

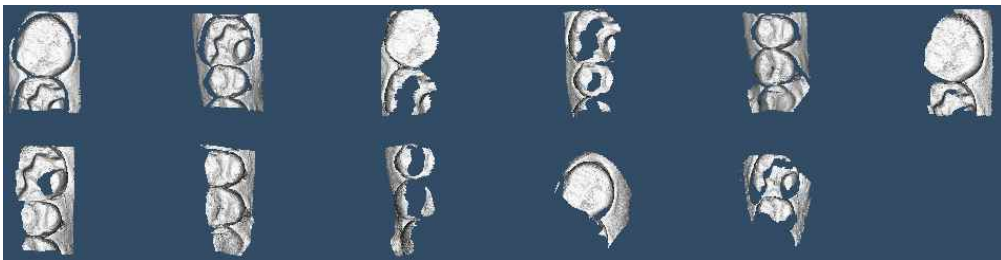


Fig. 9. Partial meshes from range images.

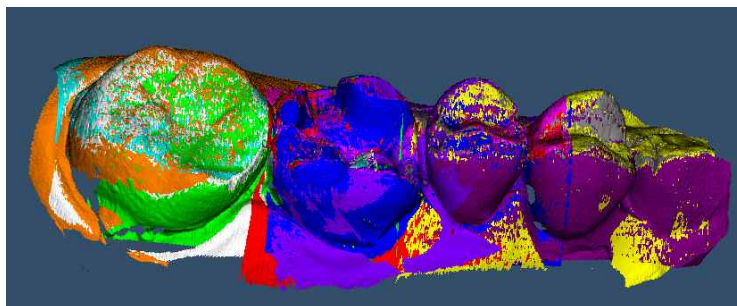


Fig. 10. Registration result using ICP algorithm.

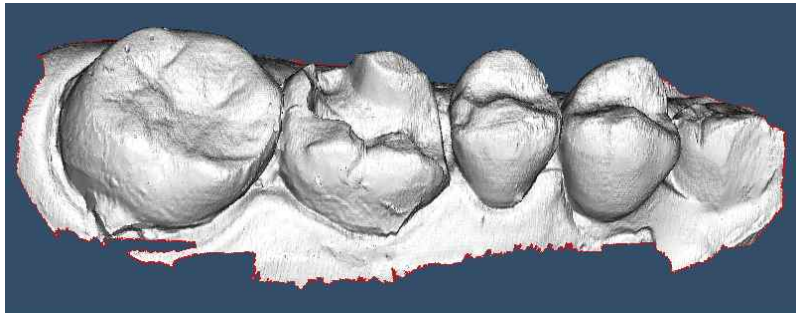


Fig. 11. Result image of proposed mesh fusion algorithm.



Fig. 12. Image comparison of proposed method(a) and conventional method(b).

결하는 삼각형을 다수 생성하여 구멍을 채웠다. 그 결과, Fig. 10에 존재하는 구멍들이 Fig. 11에서는 제거된 것을 확인할 수 있다.

본 연구에서 제안한 고속 융합 방법과 기존 방법을 비교한 결과 영상을 Fig. 12에 확대하여 나타내었다. 원으로 표시한 바와 같이 왼쪽의 제안 방법이 기존 방법에 비해 다소 날카로운 영상을 출력하나 큰 차이는 없는 것으로 파악된다. 이후 보철물의 제작을 위해 기존 치아 표면을 부드럽게 변경하는 후처리가 적용되면 그 차이는 더욱 줄어들 것으로 보인다.

본 연구의 제안 방법을 통해 속도가 얼마나 향상되었는지 측정하여 Table 1에 제시하였다. 총 11장의 메시 데이터를 부분적으로 결합하며 소요되는 시간을 측정하였다. 제안 방법은 기존 방법에 비해 대략 2-3배 향상된 처리 결과를 보인다. 3.2절의 식 4에서 예측한 바와 같이, 메시 데이터의 수가 많아질수록 성능 향상의 정도가 커지는 것을 확인할 수 있다. 특히 기존 방법은 11장의 데이터를 모두 융합하는데 약 50초의 오랜 시간이 걸리는데 비해 본 연구가 제안한 방법은 16초 정도로 임상적으로 사용하기에 적합하다.

Table 1. The performance for proposed method and conventional method.

Number of meshes	Algorithm		Performance improvement
	Proposed (sec)	Conventional [13] (sec)	
3	5.16	12.26	2.37x
5	8.06	21.54	2.67x
7	11.38	31.88	2.80x
11	16.31	50.24	3.08x

5. 결 론

새롭게 대두되고 있는 4차 산업혁명에는 전문가 소프트웨어와 인공지능을 기존 산업과 결합하여 제조와 서비스의 생산성을 혁신적으로 증가시키는 것에 목적이 있다. 본 연구에서는 4차 산업혁명의 대표적인 응용 사례로서 치과 보철 치료 방법을 소개하였다. 기존 치료 방법은 환자의 치아에 본을 뜨고 수작업으로 크라운, 인레이와 같은 인공치아를 제작하여 환자에게 식립하였다. 따라서 치료에 몇 주가 소요되어 환자에게 큰 불편을 주었다. 새로운 방법은 광학 스캐너로 환자의 치아를 촬영하면, 치아 모델 제작

소프트웨어가 자동으로 치아 모델을 완성한다. 인공 치아 제작 기계는 모델 데이터를 자동으로 전송받아 인공치아를 제작하므로 단 몇 시간 만에 환자의 치료가 끝나게 된다. 본 연구는 보철 제작 과정에서 이러한 혁신적인 산업 모델의 기술적 개괄과 연구 동향을 소개하였다.

그리고, 임상과의 진료시간을 단축하고 정밀한 데이터를 얻기 위한 기술적 연구가 계속되고 있다. 본 논문에서 제안한 효율적 반복 메시 융합 방법을 활용하여, 기존 방법에 비해 2~3배 빠른 속도로 부분 메시 데이터를 융합할 수 있다. 향후 융합 정밀도에 대한 정량적 분석을 수행하고 퍼지논리를 이용하여 융합 정밀도를 향상시키는[18] 방법을 연구할 예정이다.

REFERENCE

- [1] WEF, *The Future of Jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution*, Global Challenge Insight Report, 2016.
- [2] J. Kim, *In the Era of the Fourth Industrial Revolution, Seeking Strategic Responses to Future Social Change*, KISTPEP InI, Vol. 15, pp. 45-58, 2016.
- [3] P. Jang, "2016 Davos Forum: What is Our Strategy for The Forthcoming Fourth Industrial Revolution," *Science & Technology Policy*, Vol. 26, No. 2, pp. 12-15, 2016.
- [4] Y. Huh, "What is CEREC," *Journal of Korean Academy of Digitalized Dentistry*, Vol. 2, No. 1, pp. 86-93, 2011.
- [5] S. Logozzo, E.M. Zanetti, G. Franceschini, A. Kilpelä, and A. Mäkynen, "Recent Advances in Dental Optics-Part I : 3D Intraoral Scanners for Restorative Dentistry," *Optics and Lasers in Engineering*, Vol. 54, pp. 203-221, 2014.
- [6] J. Choi, Y. Lim, W. Lee, J. Han, and S. Lee, "Review of Recent Developments for Intraoral Scanners," *Journal of Dental Rehabilitation and Applied Science*, Vol. 3, No. 2, pp. 112-125, 2015.
- [7] J.B. Pawley, *Handbook of Biological Confocal Microscopy*, Springer US, NewYork, 2006.
- [8] J. Ng , D. Ruse, and C. Wyatt, "A Comparison of the Marginal Fit of Crowns Fabricated with Digital and Conventional Methods," *The Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol. 112, No. 3, pp. 555-560, 2014.
- [9] Sirona Dental CAD/CAM System CEREC AC Operating Instructions for the Acquisition Unit, <http://manuals.sirona.com/home.HomeDmsDocument.download.html?id=3688> (accessed Jan., 03, 2017).
- [10] N.S. Birnbaum, H.B. Aaronson, C. Stevens, and B. Cohen, "3D Digital Scanners: a High-tech Approach to more Accurate Dental Impressions," *Inside Dentistry*, Vol. 5, No. 4, pp. 70-74, 2009.
- [11] P. Besl and H. McKay, "A Method for Registration of 3d Shapes," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 14, No. 2, pp. 239-256, 1992.
- [12] S. Rusinkiewicz and M. Levoy, "Efficient Variants of the ICP Algorithm," *Proceeding of Third International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling*, pp. 1-8, 2001.
- [13] D. Kongevold, *Merging Meshes from Different 3D Scanners*, Master's Thesis of Norwegian University of Science and Technology, 2013.
- [14] R. Fan and X. Jin, "Controllable Edge Feature Sharpening for Dental Applications," *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, Vol. 2014, pp. 9, 2014.
- [15] J. Shen, S. Zhang, Z. Chen, Y. Zhang, and X. Ye, "Mesh Sharpening Via Normal Filtering," *Journal of Zhejiang University-Science A*, Vol. 10, No. 4, pp. 546-553, 2009.
- [16] H. Hügli and T. Jost, "A Match and Merge Method for 3D Modeling from Range Images," *Proceeding of International Conference on Signal Processing*, pp. 1-4, 2002.
- [17] P. Hu, C. Wang, B. Li, and M. Liu, "Filling Holes in Triangular Meshes in Engineering," *Journal of Software*, Vol. 7, No. 1, pp. 141-148,

2012.

- [18] H. Cho and H. Kye, "The Clip Limit Decision of Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization for X-ray Images using Fuzzy Logic," Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 18, No. 7, pp. 806-817, 2015.



계 희 원

1999년 서울대학교 전산학과
학사
2001년 서울대학교 전기컴퓨터공
학부 석사
2005년 서울대학교 전기컴퓨터공
학부 박사

2007년~현재 한성대학교 컴퓨터공학부 부교수
관심분야: 의료영상처리, 볼륨 가시화, 실시간 렌더링