

치아 재건을 위한 Conus 내관 모델링

엄성권¹, 김병오², 유재수¹, 유관희¹

¹충북대학교 컴퓨터 그래픽 연구실, ²영락 병원 치과

Conus Crown Modeling for Teeth Reconstruction

Eom Sung-Kwon¹, Kim Byung-Oh², Yoo Jae-Soo¹, Yoo Kwan-Hee¹

¹Computer Graphics Society Lab. Chungbuk University, ²Young-Nak Hospital Dental Department

요약

수공으로 이루어지는 치아 재건을 3차원 모델링을 통하여 좀더 정확하고 빠르게 제작하는데 있어 Conus 내관을 정확히 모델링하는 것은 매우 중요하다. Conus 내관을 모델링하기 위해 치과 의사가 만든 구강의 석고 모형으로부터 얻은 3차원 정보에서 실제 치아와 의사가 갈아낸 부분과의 경계인 변연(margin)을 정확히 찾아야한다. 본 논문에서는 변연을 찾기위한 방법으로 면의 노말 벡터(normal vector)와 치아의 기준 벡터와의 각도의 변화량을 이용하는 방법을 제시한다. 또한 변연으로부터 컴퓨터로 Conus 내관을 제작하는 방법을 소개한다.

1. 서론

치과 치료중 상당수가 인공 치아의 착용을 요구한다. 현재 이런 보철물 제작은 치과 기공사에 의해 수작업으로 이루어지고 있어 그 오차가 발생할 확률이 높으며, 제작 기간 역시 평균 2~3일을 요한다. 더구나 숙련되기 위해서는 수년간의 경험이 요구된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 컴퓨터 그래픽에 기반한 치과 시술연구가 곳곳에서 진행중이다. 치과에서 상실된 치아 위에 인공치아를 씌우는 과정에서 Conus 내관이라는 중간 보철물을 먼저 씌우고 그 위에 Conus 외관을 씌우는 경우가 많이 있는데, 이때 Conus 내관을 제작하는데 있어서 보철물의 유지력을 위해 4°, 6° 또는 8°의 기울기를 주고, 삭제된 치아 표면과 Conus 내관의 내면을 0.025mm 정도의 틈새를 주는 것이 적당하다[1].

치아 보철물을 모델링 하기 위한 직접적 연구는 아직 없다. 일본의 Tosiyasu Kunii 박사가 주도하는 IDCS(Intelligent Dental Care System)라는 치아 재건을 위한 세라믹 보철물 제작, 진단 등을 컴퓨터화 하고자 하는 프로젝트가 있는데, 치아 보철물을 모델링 하는데 없어서는 안될 중요 기하학적 속성 정보를 찾는 연구결과를 제시 하였다[2,3]. 이 연구는 턱 관절 운동에 따른 치아 교합면을 생성하고자 했다. Kunii 박사의 또 다른 연구로 기하학적 객체로부터 능선(ridge), 골짜기(ravine) 등을 singularity를 이용하여 찾고자 하였다[4,5]. 능선이란 기하 물체의 국부적으로 가장 높은 지점을 연결한 능선을 말하며, 골짜기는 국부적으로 가장 작은 값을 갖는 점들의 집합이다. 이중 골짜기는 치과에서 말하는 변연(margin)을 찾을 때 사용할 수 있을 것이다. 즉 원래의 치아와 치과의사가 갈아낸 치아영역과의 경계를 변연이라 하는데, 전체 치아 모델중 singularity가 발생하는 지점을 변연으로 본 것이다. 그러나 해부학적으로 무수히 많은 변수를 가진 구강구조에서는 이것을 항상 적용하기가 쉽지 않다. 왜냐하면 사람이 치아를 갈아낼

때 늘 정확하게 깎을 수 없고, 또한 3D 스캐너(scanner)로 읽어 들일 때 경계지점을 항상 인식하지는 않으므로 singularity를 항상 보장할 수 없다.

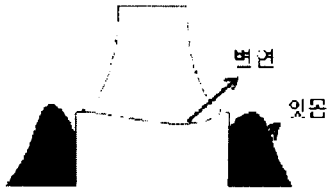
본 논문에서는 엄성권 등[6]이 제안한 컴퓨터를 이용한 치아 재건시스템에서 가장 필수적인 단계인 Conus 내관을 모델링할 때, 원래치아와 치과의사가 갈아낸 치아와의 경계인 변연을 찾는 두 가지 방법, 즉 면의 노말 벡터(normal vector)와 치아의 기준 벡터와의 각도의 변화량을 이용하는 방법과 B-스플라인 커브(B-spline curve)의 기울기 변화량을 이용하는 방법을 제시하고, 찾아진 변연 정보로부터 Conus 내관을 제작하는 과정을 설명한다.

2. 변연(margin) 찾기

Conus 내관을 모델링 하기 위해서는 먼저 변연을 찾아야 하는데, Conus 내관은 바로 이 변연에서부터 시작되어 구성되기 때문이다. 변연이란 <그림1>에서처럼 실제치아와 치과의사가 갈아낸 부분과의 경계부분을 말한다[1]. 우선 <그림 2>에서처럼 변연을 찾기 위해 본 연구에서는 환자 구강구조의 석고모형으로부터 3D 스캐너를 이용하여 환자 치아의 정보를 얻어냈다. 이 자료들은 수만에 이르는 점의 정보이므로 이들 모두를 다루는 것은 많은 계산량을 요구한다.

따라서 <그림 3>과 같이 치료 대상이 되는 치아와 그 주변 잇몸 정보를 얻어내면 계산 량이 줄어들게 된다. 즉 계산의 대상이 되는 범위를 좁히는 것이다. 이후 실제적 Conus 내관의 구성은 이 분리된 정보를 이용한다.

본 연구에서는 변연을 찾기 위해 두 가지 방법을 적용하고 그 오차 정도를 측정 해 보았다.



<그림 1> 변연



<그림 2> 입력된 3차원 치아 정보

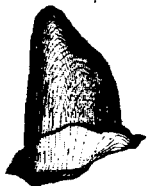
2.2 B-스플라인 커브의 기율기 변화량 이용 방법

본 연구에 사용된 스캐너는 라인 단위 스캔을 하기 때문에 일련의 점들의 라인으로 이루어진 3차원 정보를 얻는다. 이들 정보를 이용하여 B-스플라인 커브를 구성하였는데, 치아 표면이 스캔할 때의 오차, 그리고 치아 표면의 불규칙적 구성 때문에 단순히 인접한 점들의 기율기 비교를 통해서 원하는 정보를 얻을 수 없다. 따라서 이런 불규칙적인 점들의 정보를 이용하여 B-스플라인 커브를 구성하였다. B-스플라인 커브는 볼록도(convexity)를 만족시키는 특성이 있으므로 치아 표면의 미세한 변화들을 보정할 수 있다. 이렇게 얻어낸 B-스플라인 커브에서 커브를 이루는 인접한 점들의 기율기를 측정하여 기율기가 급변하는 지점을 변연의 일부로 보았다. 그러나 이것은 스플라인 커브상의 변연 이지 원래 정보의 변연이라고 말할 수는 없을 것이다. 따라서 원래 치아 좌표 중 스플라인 커브상의 변연을 이루는 점의 좌표와 가장 가까운 것을 변연으로 취한다.

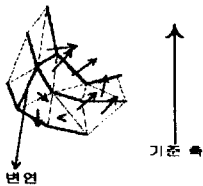
이와 같은 방법으로 치아를 이루는 모든 점들의 라인을 스플라인 커브로 변환하여 변연에 대한 정보를 얻은 뒤 원래 치아 좌표 중 스플라인 커브상의 변연과 가장 가까운 것들을 모아 변연으로 정한다. 그러나 이 방법을 사용하면 스캐너가 라인 단위 입력을 하므로 치아의 양 가장자리부분은 거의 수평이어서 변연을 찾기가 어렵다. 따라서 다른 라인으로부터 치아 주변을 탐색하면서 변연을 찾는다.

2.1 면의 노말 벡터 변화량 이용 방법

우리는 3차원 스캐너를 통해 치과의사가 만든 석고 모형을 3차원 정보로 만들었다. 그러나 3차원 스캐너는 보이는 부분만을 스캔하기 때문에 얻은 정보를 변환할 필요가 있다. 더욱이 라인(line) 단위로 치아 모형을 스캔하므로 얻어진 3차원 정보는 라인 단위의 점들로 구성된다(그림 3). 점들의 집합으로 구성된 3차원 정보 그 자체만으로 원하는 변연 정보를 얻기란 쉽지 않다. 따라서 우리는 입력된 3차원 정보에 보다 더 많은 특성을 주기 위해 인접한 두 라인 상에 존재하는 이웃한 세 점을 선택한 후 삼각분할법(triangulation)을 통하여 면(face)을 구성하였다[7]. 분명 구성된 면은 노말 벡터(normal vector)를 갖는다. N_i 를 구성된 면 F_i 의 노말 벡터라 하자(그림 4참조). 치아 평면에 수직인 벡터를 기준 벡터로 선정하고 이를 B_i 라 하자.



<그림 3>



<그림 4>

2.3 오차 비교

지금까지 논의한 방법으로부터 찾아진 변연은 각 라인 단위의 두 점으로 나타난다. 라인 k에 대해 찾아진 변연을 나타내는 두 점을 P_{k1} 과 P_{k2} 라 하고, 이상적인 변연의 두 점을 Q_{k1} 과 Q_{k2} 라 하자. 우리는 이들 두 방법이 얼마나 정확한 변연을 찾는지를 측정하기 위해 모든 라인 상에 찾아진 변연과 이상적인 변연의 거리의 합 (M_1)과 모든 라인 상에 찾아진 변연과 이상적인 변연의 거리의 차가 최대인 값 (M_2)을 고려하였다. 분명 변연을 찾은 가장 이상적인 방법은 $M_1 = M_2 = 0$ 가 되게 하는 방법인 것이다. 그러나 해부학적으로 무수히 많은 변수를 가진 구강 구조에서는 본 논문에서 제안한 두 방법이 이상적인 변연을 찾으면 보장을 할 수는 없는 것이다.

$$M_1 = \sum_{k=0, n} (\|P_{k1} - Q_{k1}\| + \|P_{k2} - Q_{k2}\|)$$

$$M_2 = \text{Max}(\|P_{k1} - Q_{k1}\| + \|P_{k2} - Q_{k2}\|)$$

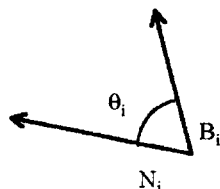
본 논문에서 제안한 두 가지 방법이 어느 정도 정확한 변연 정보를 찾는지를 측정하기 위해 우리는 <그림 2>의 다섯 개의 치아에 대해 적용하여 보았다. <표1>이 다섯 개의 치아에 대해 두 방법을 적용한 결과의 평균 오차를 보여 주고 있다. <표

<표 1> 변연 찾기 방법에 따른 오차 비교

오차측도	M1	M2
면의 노말벡터 변화량	17.55585	2.55874
B-스플라인커브 기율기 변화량	22.18775	2.97675

$$\theta_i = \cos^{-1} \left(\frac{N_i \cdot B_i}{\|N_i\| \times \|B_i\|} \right)$$

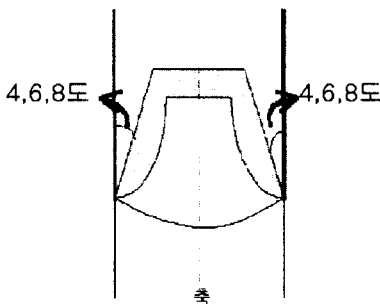
$$\|\theta_i - \theta_j\| \geq d, d \text{는 주어진 값}$$



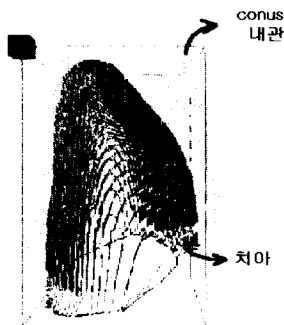
1>에서 보는 것처럼 B-스플라인 커브상의 기울기 변화량을 이용하는 방법보다는 면의 노말 벡터의 변화량을 이용하는 것이 오차율이 적음을 알 수 있다.

3. Conus 내관 제작

<그림 5>에서처럼 Conus 내관은 원추 모양의 보철물이다. 내관의 밑면은 변연과 만나는 곳에서부터 시작된다. 또한 Conus 내관의 외면은 치아의 외면과 그 형상이 같아야 한다. 따라서 Conus 내관의 외면의 모양을 치아외면과 같게 하기 위하여 치아 정보를 스케일링하되 치과에서 Conus 내관의 내면과 치아사이의 간격을 0.025mm가 될 것을 요구하므로 치아정보를 0.025mm만큼 스케일한 것을 Conus 내관의 내면으로 취한다. Conus 내관의 표면의 모양은 치아의 표면 모양과 같은 형상을 가져야 하며, 또한 Conus 내관의 물리적 유지력을 강화하기 위해서는 내관외면의 각도가 6도 에 가까워야한다. 이를 위해 찾아낸 변연의 정보만을 복사하여 스케일한 것을 Conus 내관의 바닥면으로 하고 같은 방법으로 복사하여 치아 윗부분으로 올린후 작게 스케일 한 것을 내관의 윗면으로 한 다음, 위아래를 연결한 것을 내관으로 하였다. <그림 6>은 완성된 모습이다.



<그림 5> Conus 내관 경사각



<그림 6> 완성된 Conus 내관

4. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 치아와 잇몸의 경계인 변연을 찾기 위해 두 가지 방법을 제안하였다. 첫번째 방법으로 각 점을 삼각형으로

구성(triangulation)하여 면의 노말 벡터와 기준 벡터와의 각도를 측정하여 그 변화 정도가 급격한 것을 변연으로 하는 것이다. 두 번째 방법에서는 입력받은 3D 좌표 정보로부터 B-스플라인 커브를 구성하여 이로부터 커브상의 점들에서 기울기가 급변하는 부분을 변연으로 찾고 다시 이 커브상의 점과 가장 가까운 실제 좌표를 찾아 이 점을 최종 변연으로 선택하였다. 이 두 방법에서는 B-스플라인 커브의 기울기 변화량에 의한 방법이 좀더 좋은 결과를 보였다. 그리고 우리는 찾아진 변연의 정보를 이용하여 Conus 내관을 구성하기 위한 방법을 제시하였다.

향후 더 연구가 필요한 것은 현재 Conus 내관의 원추형 모양을 위해 임의적 스케일링을 통해 각도를 만들었으나, 보다 물리적으로 안정된 유지력을 갖는 내관을 모델링하기 위해서는 보다 정확한 6도 보정 방법에 대한 연구가 필요하다. 더 나아가 보철물의 최종 목적인 Conus 외관의 모델링 기법 연구가 필요하다. 이들 연구는 현재 진행중이다.

5.참고 문헌

- [1]우이형 역, 원추관, 신홍인태내셔널, 1988
- [2]Jens Herder, Karol Myszkowski, Toshiyasu L. Kunii, and Masumi Ibusuki. A virtual reality interface to an intelligent dental care system. In Suzanne J. Weghorst, Hans B. Sieburg, and Karen S. Morgan, editors, *Medicine Meets Virtual Reality: 4, Health Care in the Information Age, Future Tools for Transforming Medicine*. IOS Press and Ohmsha, January 1996.
- [3]Karo Myszkowski, Vladimir V.Savchenko, Toshiyasu L. Kunii "Computer modeling for the occlusal surface of teeth" *IEEE* , 1996
- [4]E. V. Anoshkina, A. G. Belyaev, O. G. Okunev, and T. L. Kunii. "Ridges and ravines: a singularity approach." *International Journal of Shape Modeling*, 1(1):1--12, 1994.
- [5]Alexander G. Belyaev, Elena V. Anoshkina, Runhe Huang, Toshiyasu L. Kunii "Ridges and Ravines on a Surface and Related Geometry of Skeletons, Caustics, and Wavefronts." In R. A. Earnshaw and J. A. Vince, editors, *CG International 95: Visual Computing - Multimedia, Visualization, and Virtual Reality*, pages 311--326. Academic Press, June 1995.
- [6]엄성권, 김병오, 유재수, 유관희 "치아재건 시스템을 위한 컴퓨터 모델링 기술", 한국 정보과학회 추계 학술 발표대회, 1999
- [7]M.d. Berg, W.v. Kreveld, M. Overmars and O. Schwarzkopf, *Computational Geometry - Algorithms and Applications*, Springer, 1997