

치아의 기하학적 특성 찾기

장진호¹, 김병오², 유관화^{1,2}

¹충북대학교 컴퓨터 그래픽 연구실, ²덴탈 그래픽

Finding the Geometric Features of a Tooth

Jinho Jang¹, Byung-Oh Kim², Kwan-Hee Yoo^{1,2}

¹Computer Graphics Society Lab. Chungbuk University, ²Dental Graphic Corporation

요약

최근 몇 년간 의학 분야에서는 인체의 해부학적 구조를 컴퓨터 그래픽스 기술을 통해 컴퓨터로 재구성하려는 시도에 많은 관심이 쏟아졌다. 이러한 관심은 치과 치료분야 예에서도 이루어져 왔는데, 컴퓨터 그래픽스를 이용한 치과 치료에도 많은 응용 분야가 있다. 자료를 측정한다거나, 시각적으로 3차원의 영상을 보여준다거나, CAD-CAM 기술을 이용하여 의치의 틀이나 금형등을 제작할 수도 있다. 본 논문은 이러한 다양한 응용에 기반 기술이 될 수 있는 치아의 기하학적 특성을 정의 하고, 이것을 찾기 위한 여러 가지 방법을 실험 해보고, 더 낫은 방법을 제시하고자 한다.

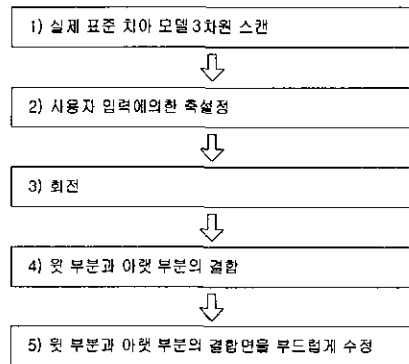
1. 서론

최근 몇 년간 의학분야에서는 해부학적(anatomic) 조직들을 디지털화하고, 이것을 컴퓨터 그래픽 처리를 통해 면(surface)으로 재구성(reconstruction)하는 방법에 대한 관심 증대돼 왔다. 이런 해부학적 조직의 재구성은 치과 치료에도 다양한 응용분야를 갖고 있다. 전통적으로, 치과에서 자료를 측정하기 위해서는 임상적으로 눈을 통해 직접 비교하는 방법이 가장 많이 쓰였다. 하지만, 컴퓨터를 통해서 자료를 디지털화하고, 이것을 정확하게 측정할 수 있다. 또한 이것을 시각적으로 3차원으로 보여줄 수도 있고, 치아 표면의 마모도 측정이나, CAD-CAM 기술을 이용한 자동화된 인공치아 제조, 의치의 틀(impression)이나 금형(die)을 제작할 때 정확도를 측정하는 등 다양하게 응용될 수 있다.

치과 치료중 상당수가 인공 치아의 착용을 요구한다. 현재 이런 인공 치아 제작은 치과 기공사에 의해 수작업으로 이루어지고 있다. 그래서 인공치아에 오차가 발생할 확률이 높고, 제작 기간 역시 평균 2~3일을 요한다. 더구나 숙련되기 위해서는 수년간의 경험이 요구된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 컴퓨터 그래픽 기술을 기반으로 한 인공 치아를 재건하는 연구[2][6]가 진행되고 있다.

인공 치아 재건 시스템의 과정은 [그림. 1]에 간단하게 나타나 있다[6]. 각각을 살펴보면 1) 먼저, 환자 치아의 본을 뜬 석고 모형을 제작한다(기존의 치과에서 진행되었던 과정이다). 2) 그런 다음, 이 석고 모형을 3차원 스캐너로 입력 받고, 이를 모델링하게 된다. 3) 모델링된 치아 데이터에서 치아의 기하학적인 특성 정보들-능선(ridge), 교두(cusp), 피(pit), 열구(fissure), 변연(margin) 등-을 추출해 낸다. 4) 추출된 특성 정보를 이용해 인공치아의 내관을 제작한다. 5) 또한,

내관 위에 씌우게 될 외관(실제 치아의 겉모양)을 제작한다. 6)마지막으로, 제작된 내관과 외관의 모형을 3차원 출력기로 깎아내면 인공치아가 완성된다.



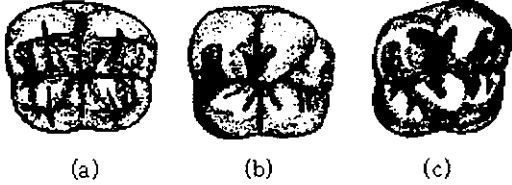
[그림 1] 인공치아 제작 과정

본 논문은 이 과정에서 3단계에 해당하는 치아의 기하학적 특성을 찾는 데 관한 것이다.

2. 치아의 주요 기하학적 특성

주요한 치아의 기하학적 특성으로는 능선(ridge), 교두(cusp), 피트(pit), 열구(fissure), 변연(margin) 등을 들 수 있다. 이 중 변연은 치과의사가 환자 치아의 일부를 깎아 낼 때, 깎여진 부분과 그렇지 않은 부분의 경계를 말한다. 나머지 특성들은 치아가 원래 갖고 있는 특성들이다.

교두란 치아 교합면에서 봉우리처럼 튀어나온 부분이다. 능선은 교두로부터 내려오는 부분이고[그림 2. (a)], 열구는 불규칙하게 오목한 함몰 부위를 말한다[그림 2.(b)], 피트는 이 열구 중 가장 깊고 작은 점 모양의 측 들어간 부분이다 [그림 2.(c)].



[그림 2] 치아의 기하학적 특성 (a) 교두와 능선 (b) 열구 (c) 피트

3. 관련 연구

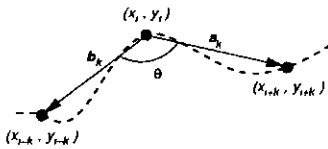
기하 모델의 기하학적인 특성을 찾기 위한 몇 가지 방법들이 기존에 제시되었다. 주로, 곡선이나 곡면의 곡률(curvature)값을 찾는 것을 주목적으로 한다. 하지만, 곡률은 2차 이상 미분 가능한 곡선이나, 곡면에 대해서만 정의되기 때문에, 곡면 모델(polygonal model)에서는 원칙적으로 정확 구해 질 수 없다. 이에 몇 가지 곡률 근사(approximation)방법들이 제시되었다.

3.1 곡선기반 곡률 근사

Rosenfeld[11]가 제시한 인접점들간의 사이각을 이용한 방법이 있다. 인접점들간의 사이각은 다음과 같이 곡률의 근사 값으로 사용될 수 있다.[그림 3]

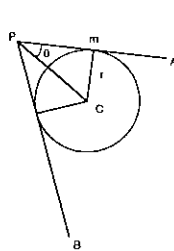
$$C_k = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{a_k \cdot b_k}{a_k b_k} \right)$$

그러면 곡률값(c_k)은 0부터 1사이의 값을 갖게 된다.



[그림 3] 인접점들간의 사이각

다음으로 Greg Turk[9]가 제시한 방법이 있다. 이 방법은 곡선의 곡률을 곡률반경(radius of curvature)으로 나타낼 수 있다는 데 착안한 방법이다. 먼저, 2차원의 경우에서 생각해 볼 수 있다. [그림 4]와 같이 점 P가 있고, 인접한 점 A와 B가 있다고 하자. 이럴 경우 내부 원의 반지름(r) 분의 1을 곡률로 추정(estimate)할 수 있다. \overline{PA} 에 가운데 지점(m)에서 \overline{PA} 와 직교하는 직선과 \overline{PB} 에 직교하는 직선을 생각할 수 있다. \overline{PB} 에 직교하는 부분의 P점에서의 길이는 \overline{Pm} 의 길이와 같다고 할 때 :



[그림 4] 곡률 반경

$$r = \tan(\theta) |P-A|/2$$

이다. 이것을 3차원으로 확장한다. 3차원에서의 \overline{PC} 는 점

P에서의 법선벡터(normal vector)로 대신한다. 이때 점 P에 근접해 있는 점이 n 개라 하고, 이들과의 변들을 PQ_1, PQ_2, \dots, PQ_n 라하면, 각각에서의 반지름 r 을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$r_i = \tan(\theta_i) |P-Q_i|/2$$

이 중에서 가장 작은 r_i 를 점 P에서의 곡률반경으로 정한다.

3.2 곡면기반 곡률 근사

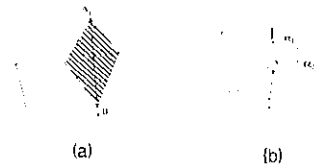
[10]에서는 변에서의 평균곡률(mean curvature)과 점에서 가우스 곡률(gaussian curvature)을 근사하였다. 변의 평균곡률은 다음과 같이 정의된다.

$$C_E = \theta \times \frac{L_E}{A}$$

여기서, θ 는 변에 맞닿은 두 면의 법선벡터가 이루는 각도이고, L_E 는 \overline{AB} 의 길이이다. 그리고 A 는 그림의 빗금 쳐진 부분으로 각 삼각형 넓이의 1/3이다. 하지만, 본 논문에서 쓰인 자료구조에는 변이 정의되어 있지 않다. 따라서 각 정점별로 인접하는 변들을 계산해서, 각 변의 curvature를 구한 다음, 이들을 평균하여 점의 평균 곡률 값으로 사용하였다.

점(vertex)의 가우스 곡률은 다음과 같이 정의된다. N_v 는 점 v 에 인접한 면들의 개수이다.

$$K_v = \frac{2\pi - \sum a_i}{N_v}$$



[그림 5] 곡면의 곡률 근사 (a) 평균 곡률 (b) 가우스 곡률

본 논문에서는 위의 방법들과 더불어 다각형 모델에서 평균 곡률을 근사하기 위한 방법을 제시한다. 또한 기존 방법들과의 차이를 살펴보고자 한다.

4. 제안 방법

본 논문에서 석고 모형의 3차원 스캐너를 통해 점들의 집합을 입력받아 삼각분할법(triangulation)을 통해 면을 구하였다.

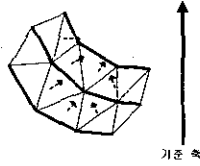
4.1 곡선기반 곡률 근사

가. 면의 법선벡터(normal vector)

이 방법은 특히 변연을 찾기 위한 방법으로, [그림. 6]과 같이 각 면의 법선벡터와 기준 축이 이루는 사이각으로 치아의 특성을 정의하였다. 하지만, 이 방법은 변연을 찾을 때는 효율적이지만, 그 밖에 다른 특성을 찾기에는 무리가 있는 방법이다.

나. B-Spline 곡선의 곡률

앞에서 언급되었듯이, 본 논문에서 사용된 3차원 스캐너



[그림 6] 면의 법선 벡터를 이용한 방법

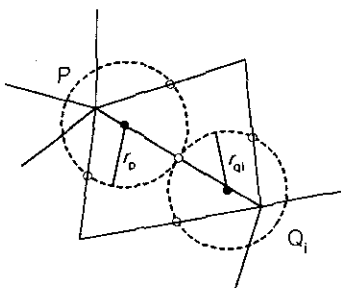
는 접촉식 스캐너이다. 이 스캐너는 직접 모형의 표면에 닿기 때문에 비교적 정확한 데이터를 얻어내지만, 가끔 스캐너의 접촉부위가 모형의 표면에서 튀겨되는 문제점이 있다. 따라서 이러한 부분의 보정이 필요하게 되었다. 이를 위해, B-Spline 곡선을 사용하였다. 본 논문에서의 자료 구조는 grid형태의 점 데이터를 line단위로 저장하게 된다. 그리고, 하나의 line마다 B-Spline 곡선을 생성한다. B-Spline은 볼록도(convexity)를 만족하는 특성이 있기 때문에 데이터의 튀는 오류를 어느 정도 보정할 수 있다. 생성된 B-Spline 곡선의 곡률을 구해서 치아의 특성 정보를 추출하였다. 그렇지만, B-Spline은 근사곡선이기 때문에 실제 데이터를 구하기 위해서, B-Spline 곡선에서의 점과 가장 가까운 점을 선택하였다.

4.2 곡면기반 곡률근사

본 논문에서 새로이 제안하는 방법으로 다각형 모형의 평균곡률을 근사하는 방법이다. [그림. 7]에서와 같이 점P의 평균 곡률을 구한다고 할 때, 인접하는 점 Qi가 있다고 하자. 여기서 변 PQi의 평균 곡률을 $E_i = (r_p + r_{qi})/2$ 로 계산할 수 있다. 여기서 r_p 는 점P의 인접한점 Qi-1, Qi, Qi+1가 있을 때, 이들 각각의 변의 중심점들을 연결하는 원의 반지름이다. 마찬가지로, r_{qi} 는 점 Qi에 인접한점 P, Qi-1, Qi+1에 이르는 변의 중심점들이 이루는 원의 반지름이다. 따라서 각각의 정점의 평균 곡률은 다음과 같다.

$$P_k = \frac{\sum_{i=0}^n E_i}{n}$$

여기서 n은 인접한 점들의 개수다.

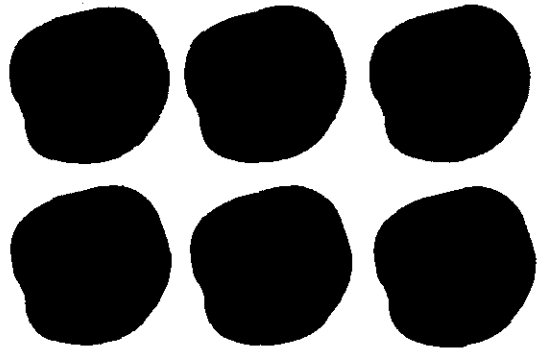


[그림. 7] 제안된 평균 곡률

5. 논의 및 향후 과제

다음 [그림 8]은 몇 가지 곡률 근사 방식들에 따른 곡률 값을 색깔로 바꾸어 출력한 그림들이다. 전체적으로 연구에 대한 부분은 확실히 표시됨을 볼 수 있다. 능선에 대해서는 어느 정도 확인을 할 수 있다. 또한 본 논문에서 제안된 곡률 근사 방법이 다른 방법에 비해 훨씬 부드러운 결과물 나타내는 것을 볼 수 있다. 2차 곡면처럼 부드러운 곡률의

변화를 표시하고 있다. 이로 인해 다른 방법보다 능선의 모습을 훨씬 더 명확히 나타내고 있다.



[그림 8] 곡률근사 (왼쪽 상단부터 차례로) rosenfeld, greg turk andrew 평면, z축과의 각도 비교,인접벡터 사잇각, 제안된 평균곡률

향후과제로는 본 논문에 적용된 치아 모델이 어렵지 하나에만 국한된 것을 모든 치아에 대해 적용하는 문제가 남았다. 또한 치아의 특성을 보다 더 잘 정의할 수 있는 방법이 필요하다. 마지막으로 곡률을 표시함에 있어서, 어떤 정규화된 방법이 아닌 실험에 의한 적절한 수치를 가감한 방법을 사용하였는데, 이를 개선하여 곡률을 표시할 필요가 있다.

6.참고 문헌

[1]우이형 역, "원추관", 신흥인터내셔널, 1988
 [2]Jens Herder, Tosiya L. Kunii 외 2명, A virtual interface to an intelligent dental care system. In Suz Weghorst, Hans B. Sieburg, and Karen S. Morgan, Medicine Meets Virtual Reality: 4, Health Care i Information Age, Future Tools for Transforming M IOS Press and Ohmsha, January 1996.
 [3]Karo Myszkowski, Vladimir V. Savchenko, Tosiya "Computer modeling for the occlusal surface of teeth" 1996
 [4]E. V. Anoshkina, A. G. Belyaev, O. G. Okunev, and Kunii. "Ridges and ravines: a singularity app International Journal of Shape Modeling, 1(1):1--12, 1
 [5]Alexander G. Belyaev, Tosiya L. Kunii 외 2명, "Ridg Ravines on a Surface and Related Geometry of Sk Caustics, and Wavefronts." In R. A. Earnshaw and Vince, editors, CG International 95: Visual Comput Multimedia, Visualization, and Virtual Reality, 311--326. Academic Press, June 1995.
 [6]엄성권 외 3명 "치아제진 시스템을 위한 컴퓨터 모델링 기술", 한국 정보과학회 추계 학술 발표대회, 1999
 [7]엄성권 외 3명 "치아제진 위한 Conus 내관 모델링", 한국 정보과학회 추계 학술 발표대회, 1999
 [8]M.d. Berg, W.v. Kreveld, M. Overmars and O. Schwa Computational Geometry - Algorithms and Appli Springer, 1997
 [9] Greg Turk, "Re-Tiling Polygonal Surfaces", SIGGRA Computer Graphics, Vol.26, No.2 , pp. 55-64.
 [10] Andrew D. C. Smith, "The Folding of the Human From Shape to Function", University of London, Dissertations, 1999
 [11] A. Rosenfeld and E.Johnston. "Angle detection in curves", IEEE Transactions on Computers, 22:875-878,