

CT 영상에서 치아와 턱의 3차원 모델 생성을 위한 contour 기반 알고리즘

최원준^o 채옥삼^o
경희대학교 컴퓨터공학과
jella@dreamwiz.com^o, oschae@khu.ac.kr

Contour based Algorithm for Generating 3D Models of Teeth and Jaw from CT Images

Wonjun Choi^o Oksam Chae^o
Dept. of Computer Science, Kyung-Hee Univ.

요 약

CT, MRI와 같은 의료 영상을 3차원 재구성을 통해 3차원으로 가시화하는 기술은 의료 분야에서 진단과 진료에 많이 활용되고 있다. 이는 의사에게 정확한 진단과 시술에 대한 확신을 환자에게는 시술에 대한 이해와 신뢰를 심어준다. 치아의 경우 치과 진료가 개개의 치아에 이루어진다는 점을 고려하면 개개의 치아가 개별적으로 모델링 되어 3차원 상에 가시화 되어야 한다. Contour 기반 알고리즘은 2차원 단면 데이터로부터 고속 렌더링과 높은 품질의 3차원 모델 생성이 가능하다. 본 논문에서는 CT에서 추출한 치아 contour 데이터로부터 삼각형 패치를 생성하고, 어금니의 분기 문제를 해결하는 3차원 치아 모델 생성을 위한 contour 기반 알고리즘을 제안한다.

1. 서 론

최근 인체의 장기나 뼈의 2차원 단면을 나타내는 CT, MRI와 같은 의료 영상을 컴퓨터 그래픽스 기술을 이용하여 3차원으로 복원하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이렇게 3차원 재구성을 통해 가시화하는 기술은 여러 의료 분야에서 진단과 진료에 사용되고 인공 관절 제작에 활용된다. 이러한 3차원 가시화는 의사에게 정확한 진단과 시술에 앞서 시뮬레이션해 봄으로서 시술에 대한 확신을 주고 환자에게 시술에 대한 이해와 신뢰를 심어줄 수 있다.

CT 영상으로부터 3차원 치아 모델을 생성하기 위해서는 크게 두 단계를 거친다. 먼저 관심 영역인 개별 치아를 분할하여 추출한 다음, 3차원 치아 모델 생성을 위한 알고리즘을 수행한다.

먼저, CT 영상에서 분할은 최적 임계화 방안[1]을 사용하여 CT영상을 분할하였다. 3차원 재구성은 뇌, 내부 장기, 고관절 등 하나의 객체로 표현이 가능한 대상의 연구가 많이 이루어 졌다. contour 기반 알고리즘은 단면을 나타내는 정보(contour)가 형상을 나타내는 특징점들로 표현될 때, 이들 사이에서 삼각형 패치(triangular patch)를 생성하여 그 물체의 3D 형상을 실제모양과 비슷하게 재구성하는 알고리즘이다.

Meyers[2]는 contour 기반 알고리즘 과정에서 발생하는 문제를 4가지로 분류하여 해결하는 방법을 제안하였다. Tiling problem에 해당하는 삼각형 패치 생성을 위해 Keppel[3], Fuch[4] 등이 제안한 최적의 방법(optimal method)과 Christiansen[5], Cook[6], Ganapathy[7]

등이 제안한 경험적인 방법(heuristic method)이 있다.

contour 기반 알고리즘의 가장 까다로운 문제인 branching problem에 대해서도 여러가지 연구가 진행되었다. 이에 관련된 연구로는 Meyers[2], Ekoule[8]등이 제안한 방법이 있다. Meyers등이 제안한 방법은 여러 개의 contour로부터 합성된 contour를 생성하는 것이다. Ekoule는 두 슬라이스의 중간 레벨 위치에 연결될 여러 개의 contour들로부터 하나의 새로운 윤곽선을 생성하여 서로 연결하는 방법이다. 이 방법은 전자의 방법 보다, 실제 모양에 더 가까운 결과를 나타낸다.

본 논문에서는 치아의 3차원 모델 생성에 적합한 contour 기반 알고리즘을 제안한다. 치아 CT에서 추출한 contour 데이터에서 삼각형 패치를 생성하고 어금니에서 발생하는 branching 문제를 해결한다. 논문의 구성은 2장에서 치아 contour 추출과 제안한 알고리즘을 기술한다. 3장에서는 실험결과 및 분석, 4장에서는 결론을 제시한다.

2. 3차원 치아 모델 생성 알고리즘

서론에서 기술한 기존 알고리즘들은 일반적이거나, 이상적인 경우를 다루거나, 뇌, 고관절, 내장기관 등의 비교적 크기가 크게 나타나는 대상을 다룬다. 그러나 이러한 알고리즘들은 CT 상에서 매우 작게 나타나는 치아의 3차원 모델 생성에는 적합하지 않다. 치아 모델 생성 과정은 contour 데이터 추출, 전처리, 삼각형 facet 생성, 후처리 등의 여러 단계를 거치며 그림1.은 제안한 알고리즘의 흐름도이다.

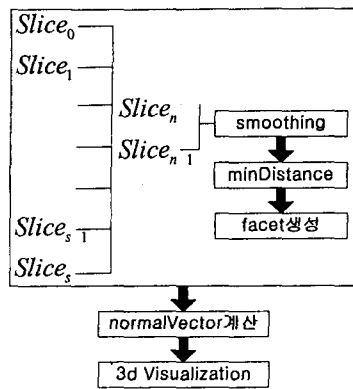


그림1. 제안한 알고리즘의 흐름도

2.1 치아 contour 추출

CT에서 관심영역의 추출을 위한 다양한 알고리즘 (threshold, region-growing, watershed, snake등)이 있다. 이러한 기존의 영상 분할 방법의 경우 개별 치아를 분리해야 하는 경우 문제가 된다. 개별 치아 모델 생성을 위해서는 개별 치아 분할은 필수적이며 이를 위해 최적 임계화 방안[1]을 사용하여 CT 영상을 분할하였다. 그림2.은 입력 받은 의료영상 표준인 16비트 DICOM[9] CT영상에서 8비트로 정규화 과정을 거친 영상(a)과 치아를 분할한 결과이다(b).

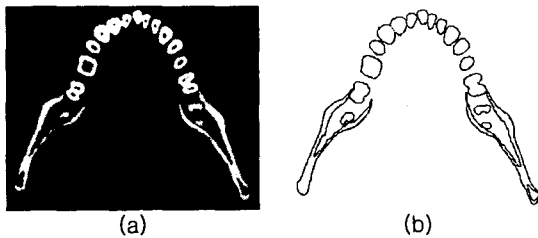


그림2. (a) 16비트 CT영상에서 정규화된 8비트 영상
(b) 치아 분할 결과

2.2 3차원 치아 모델 생성

contour 기반 재구성 알고리즘의 중요한 두가지는 contour 사이에 삼각형 패치를 생성하는 문제와 하나의 contour가 복수개의 contour와 연관되는 문제이다. 그림 3은 앞의 두가지 문제를 그림으로 나타낸 것이다.

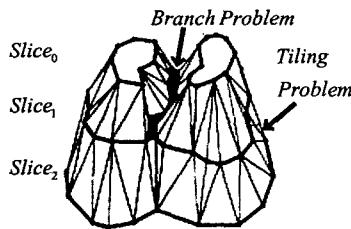


그림3. contour 기반 알고리즘의 주요 문제.

치아에서 contour가 나타나는 형태는 하나의 contour에서 하나의 contour로 연결되는 1:1 대응과 하나의 contour에서 2개의 contour로 대응되는 1:2 대응이 있다. 인접한 슬라이스의 두 contour가 1:1 대응 관계인 경우 두 contour C_k, C_{k+1} 는 다음과 같이 정의된다.

$$C_k = \{V_{k,0}, V_{k,1}, \dots, V_{k,n-1}, V_{k,n}, V_{k,n+1}, \dots, V_{k,m}\}$$

$$C_{k+1} = \{V_{k+1,0}, V_{k+1,1}, \dots, V_{k+1,i-1}, V_{k+1,i}, V_{k+1,i+1}, \dots, V_{k+1,j}\}$$

C_k, C_{k+1} 에서 삼각형 패치가 생성되는 과정은 다음과 같다.

1. C_k 의 모든 점에서 C_{k+1} 의 점의 최소 거리인 점을 찾는다.
2. C_k 의 시작점 $V_{k,0}$ 부터 $V_{k,m}$ 까지 3과정을 반복한다.
3. C_k 의 연속된 두 점 $V_{k,n}, V_{k,n+1}$ 과 두 점의 최소거리 점이 C_{k+1} 의 $V_{k+1,i}, V_{k+1,i+m}$ 일 때,
 $m=1$ 인 경우 네 점 사이에서 삼각형 facet 생성
 $m>1$ 인 경우 $V_{k+1,i+m}$ 과 $V_{k,n}, V_{k,n+1}$ 의 거리를 비교하여 거리가 가까운 쪽으로 삼각형 facet 생성
4. $V_{k,m}, V_{k,0}$ 에 대해 과정 3을 수행한다.

위의 과정을 수행하면 1:1로 대응되는 두 contour가 모두 삼각형 패치로 연결되게 된다.

치아 중에서 branching이 발생하는 치아는 어금니이며, 치근이 시작되는 부분에서 두 방향으로 분기가 시작된다. Branching 문제의 해결을 위해 두 슬라이스의 중간 레벨 위치에 새로운 보간 contour를 생성하여 연결하는 방법을 사용하였다. 하지만, 기존의 보간 contour 생성 방법은 치아 CT에서 크기가 작고, 세밀한 간격으로 나타나는 치아 분할 데이터에 적합하지 않다.

인접한 두 슬라이스의 contour $C_{k-1}, C_{k,1}, C_{k,2}$ 에서 보간 contour를 생성하고, 삼각형 facet을 연결하는 과정은 다음과 같다.

1. $C_{k,1}, C_{k,2}$ 의 모든 점에서 C_{k-1} 에 최소 거리인 점을 찾는다.
2. C_{k-1} 의 점을 순회하면서 과정 1에서 결정된 최소 거리인 두점의 중점을 계산하여 모두 $C_{(k-1+k)/2}$ 에 저장한다.
3. C_{k-1} 과 $C_{k-1+k/2}$ 을 연결하고 $C_{k-1+k/2}$ 과 $C_{k,1}, C_{k,2}$ 을 연결한다.
4. 과정2에서 최소거리 점의 contour가 $C_{k,1} \rightarrow C_{k,2}, C_{k,2} \rightarrow C_{k,1}$ 인 네 점을 연결한다.

위의 과정을 수행하면 1:2로 대응되는 contour들이 모두 삼각형 패치로 연결되며 분기 문제가 해결된다. 그림4은 보간 contour 부분과 어금니 전체의 wireframe을 나타낸다. 보간 contour 부터 분기가 시작되며, 실제 치아에 가까운 모델링 결과가 나타난다.

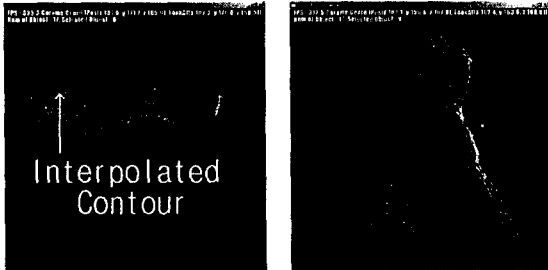
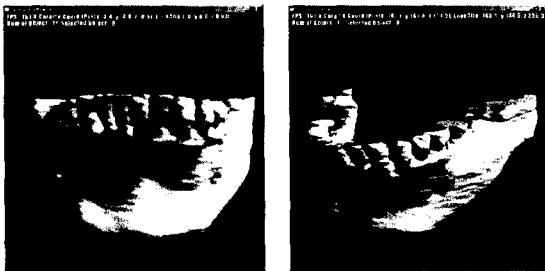


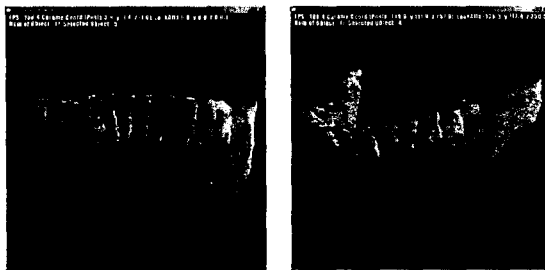
그림4. 생성된 보간 contour와 어금니 모델 wireframe

5. 실험결과 및 분석

실험에 사용된 CT는 슬라이스 간격이 0.67mm 이고 한 픽셀의 크기가 0.4mm인 총 60여장으로 이루어진 하악골과 아랫니를 촬영한 영상이다. 본 논문에서 제시한 알고리즘을 구현하기 위해 MS Visual C++과 3차원 라이브러리인 OpenGL을 사용하였다.



(a)



(b)

그림5. 턱과 아랫니의 3차원 재구성
(a) smooth shading
(b) wireframe

그림5는 치아와 턱뼈의 contour 데이터를 3차원 재구성하여 smooth shading과 wireframe으로 나타낸 모습이다. 턱뼈와 아랫니의 3차원 모델을 생성해본 결과 15개의 3차원 객체가 생성되었다. 또한 턱과 아랫니의 모델이 실제와 매우 유사함을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 치아 CT에서 추출한 contour 데이터로부터 치아 및 턱뼈 모델을 생성하여 3차원 재구성하였다. 치아 CT로부터 추출한 contour에서 3차원 치아 모델을 생성하기 위한 contour 기반 알고리즘을 제안하였으며 실험결과 치아 및 턱뼈의 재구성을 하였다.

실험결과 생성된 3차원 치아 모델은 치과분야의 치아 교정 계획수립, 교정 시뮬레이션, 임플란트 시뮬레이션 등의 치과 치료에 응용할 수 있으며 또한 인공 치아나 보철물 등의 제작을 자동화 및 더욱 정교하게 할 수 있을 것이다. 앞으로 치아 모델의 품질을 높이고 실제 치아와의 오차를 줄이는 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] 허훈, 채옥삼, "적응 최적 임계화 방법의 CT 영상에서의 치아 분리", 한국 멀티미디어 학회 추계학술 발표논문집 제 5 권 2 호, 2002, p89-92
- [2] D. Meyers, S. Skinner, and K.Sloan " Surfaces from contours.," ACM Transactions of Graphics, vol. 11, no. 3, pp. 228-258, July 1992
- [3] Keppel, E. Approximating complex surfaces by triangulation of contour lines. IBM J. Res. Dev.,2-11,19(Jan. 1975)
- [4] Fuchs H., Kedem, Z. M., and Isleton, S. P. Optimal surface reconstruction from planar contours. Commun. ACM 20, 693-702, 10(Oct. 1977)
- [5] H. N. Christiansen and T. W. Sederberg " Conversion of complex contour line definition into polygonal element mosaics," Comput. Graph, vol.20, pp. 693-702, 1978
- [6] Cook, P. N., and Sederberg, T. W. Conversion of complex contour line definition into polygonal element mosaics. Comput. Graph. 187-192, 12, 3(1978)
- [7] Ganapathy, S. and Dennehy, T. G. A new general triangulation method for planar contours. Comput. Graph. 69-75, 16, 3(1982)
- [8] A. B. Ekoule, F. Peyrin, and C. L. Odet " A triangulation algorithm from arbitrary shaped multiple planar contour.," ACM Transaction of Graphics, vol.10, no.2, pp. 182-199, Apr. 1991
- [9] <http://dicom.offis.de>
- [10] 이덕혜, 이탁경, 치아형태학, 고문사, p15-22