

가상 임플란트 시술 소프트웨어: Dental-1

이용구, 김영민, 제진아, Carmine Pontecorvo, 송영기, 송호성, 최은백
삼성 SDS, lygu@samsung.co.kr
삼성 SDS, jinara7@samsung.co.kr
삼성 SDS, jaie94@samsung.co.kr
삼성 SDS, carmine@sds.samsung.co.kr
삼성 SDS, elcid@samsung.co.kr
삼성 SDS, hsong@sds.samsung.co.kr
삼성 SDS, eunpaek@samsung.co.kr

Implant Simulation Software: Dental-1

Yong-Gu Lee, Youngmin Kim, Jinah Je, Carmine Pontecorvo, Youn-g-Ki Song, Hosung Song, Eunpaek Choi
Samsung SDS Information Technology R&D Center Product Development Team

ABSTRACT

Titanium implants have been widely used with long-term success for the rehabilitation of totally and partially edentulous (without teeth) patients. The implant is directly inserted to the jawbones and the healing process on the bone-implant interface provides a tight integration between these heterogeneous substances. The success of implantation lies on the quality of the bones around the implant that can be quite spongy, especially for edentulous patients.

Dental-1 reconstructs 3D jawbones from 2D CT(Computed Tomography) images. A virtual implant can then be inserted into this reconstructed jawbone. This enables a surgeon to examine the possible consequences for a planned implant surgery.

Key Words : Implant, Bone Density, Virtual Surgery, Segmentation, Marching Cubes, Triangle Decimation, DICOM.

1. 서 론

치아의 손상정도가 심해서 더 이상 복원을 하기 어려울 경우 기존 치아를 제거한 후 인공 치아로 대체하는 수술이 보편화되고 있다. 이런 수술에서는 인공 치아를 지지하는 임플란트(implant)를 턱뼈에 삽입해야 한다. 이때 의사가 임플란트를 정교한 위치와 방향으로 시술하지 않는다면 임플란트가 충분한 지지력을 줄 수 없거나 신경관을 손상하여 안면마비를 일으키게 된다. 임플란트 시술의 성공성 여부는 환자의 턱뼈에 대해서 얼마나 정확하게 알고 있는가가 관건이다. 현재 턱뼈에 대해서 가장 정확하게 아는 방법은 CT (Computed Tomography) 촬영을 하는 것이다.

CT는 해당 물체를 여러 방향에서 투영하여 촬영한 후 계산에 의해 합성하여 단면의 이미지를 얻어내는 방법을 말한다. 일반적으로 치과에서의 CT는 아래

턱 또는 위턱 중 한 쪽만 촬영하게 되는데 1mm 간격으로 45 장 정도를 얻게 된다. Fig. 1 에서는 환자의 두상에 대한 X-ray 를 보여주고 있다.

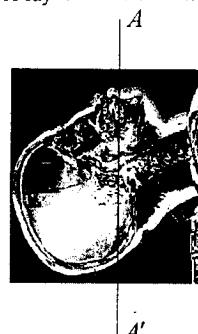


Fig. 1. 환자에 대한 CT 촬영 단면

그림에서 AA'은 CT 월영 단면의 위치를 나타내고 있고 Fig. 2는 그 단면에서 얻어진 이미지를 나타내고 있다.

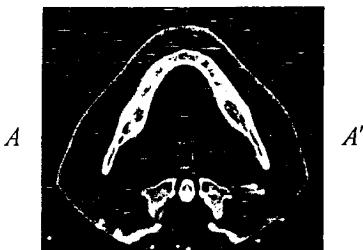


Fig. 2. CT 월영 단면

이러한 이미지를 전술한 바와 같이 여러 장을 얻게 된다. 턱뼈의 복잡한 3차원적인 형상을 때문에 Fig. 2와 같이 척추에 수직한 단면만으로는 임플란트가 턱뼈에 어떻게 삽입되는 가를 알기 어렵다. 이 때문에 일반적인 치과용 CT 소프트웨어들은 턱뼈를 다른 각도로 잘라볼 수 있는 기능을 제공한다. 가장 보편적인 방법으로는 사용자가 주어진 단면 이미지에다가 포물선을 그리면 CT 소프트웨어가 이 곡선에 수직한 단면에 해당하는 이미지를 얻어내는 것이다. Fig. 3은 포물선과 그것에 수직한 단면들을 도시하고 있고 Fig. 4에서 수직단면에 해당하는 이미지를 보여주고 있다.



Fig. 3. 턱뼈 길이 방향의 포물선

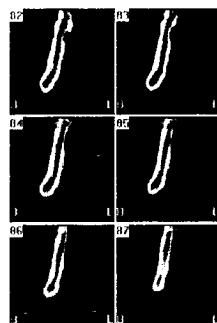


Fig. 4. 턱뼈의 수직 단면

3 차원적인 형상을 Fig. 2 및 Fig. 4와 같은 평면화된 단면으로만 본다는 것은 인간의 직관에 맞지 않기 때문에 올바른 시술을 하기가 어렵다.

척추에 수직한 단면으로 여러 이미지를 얻어내면 해당 턱뼈의 형상을 완벽하게 재구성해 낼 수 있는데 이를 *marching cubes*[1]라고 한다. Dental-1은 이 기법을 턱뼈에 적용하여 턱뼈의 형상을 재구성해주고 나아가서 가상 현실 기법을 이용하여 임플란트를 가상 턱뼈에 시술을 해본 후 완성한 시술이 안전한 가를 검증할 수 있는 기능을 제공한다.

2. 개발 내용

Dental-1은 환자의 턱뼈 CT(Computed Tomography) 이미지로부터 3D 턱뼈 모델을 재구성해내고 이 모델에 대해 가상으로 임플란트를 삽입해 봄으로써 주어진 시술 위치와 방향에 따른 수술 부작용을 미리 검증하는 기능을 제공한다. 구체적으로 다음과 같은 기능들이 있다.

2.1 Dicom Interface

DICOM[2,3] (Digital Imaging Communications in Medicine)이란 가장 널리 쓰이고 있는 의료 영상 통신의 표준 규약이다. DICOM은 ACR(American College of Radiology)과 NEMA(National Electrical Manufacturer's Association)을 주축으로 다수의 장비 생산 업체 및 학제의 협동으로 개발되었다. DICOM은 이미지 표준과 통신 프로토콜 등을 정의하고 있다. Dental-1은 DICOM 형태로 저장된 이미지 파일을 읽어드릴 수 있다. 차후에 DICOM 이미지를 네트워크 상에서 온라인으로 제공하는 DICOM 이미지 서버에서도 이미지를 받을 수 있도록 한다.

2.2 CT Navigator

CT 이미지는 몸통의 길이 방향에 수직한 방향으로 얻게 된다. 이런 이미지들을 적층하면 원삼차원 형태를 복원할 수 있고 비스듬한 임의의 방향으로 이미지를 재구성할 수도 있다. 본 기능은 적층된 이미지를 보여줄 뿐만 아니라 원래의 CT 이미지와 수직한 두 방향으로 이미지를 재구성하여 보여준다.

2.3 경조직 재구성

CT란 대상 물체 주위를 일정 각도씩 회전하면서 X-ray를 조사하여 얻은 여러 이미지들을 이용하여 내부 해당 점의 밀도 값을 계산해 내는 방법을 말한다. X-ray는 밀도가 높은 곳에서는 그렇지 않은 곳보다 흡수가 많이 된다. 따라서 CT 이미지에서 값이 큰 부분(CRT에서는 값이 큰 부분을 일반적으로 보다 밝은 색으로 보여준다)은 밀도가 큰 뼈(경조직) 부위이고 그렇지 않은 부분은 공기, 그리고 중간 값에 해당하는 부분은 인체의 연조직이다. Dental-1이 관심을 갖는 부분은 경조직인데 이 부분만 따로 떼어내서 형상복원을 해야만 한다. 문제는 경조직과 연조직은 정확하게 두 부분으로 나누어 지지 않고 중간

지에 해당하는 천이 구역을 갖는다. 경조직과 연조직을 구분하는 값을 *threshold value* 라고 하며 이런 절차를 *thresholding* 이라고 한다. Thresholding은 사용자가 하게 되는데 Dental-1은 사용자의 선택을 보조하기 위해 이미지를 향상하는 방법(image enhancement) 및 사용자가 선택한 threshold value를 CT 이미지에 적용하여 선택된 경조직을 조감할 수 있는 기능을 제공한다.

선택된 경조직의 경계에 해당하는 면을 marching cubes 알고리즘으로 계산한다. 이때 계산된 면은 삼각형으로 얻게 되는데 컴퓨터가 처리하는 응답 속도를 빠르게 하기 위해 *data regioning*, *data simplification* 기능을 이용하여 관심 영역을 축소하던지 계산한 삼각형 수를 줄인다.

2.3.1 Image Enhancement

Contrast enhancement : CT 이미지는 한 픽셀 당 16비트를 저장함으로써 65536 가지의 값을 저장할 수 있다. 이에 반해 IBM PC 모니터는 그레이 레벨로 256 가지의 명도 값만 표시할 수 있다. 65536 가지의 값을 256 색으로 보여주게 되면 이미지의 식별도가 떨어지게 된다. CT 이미지의 모든 부분을 보여주기에는 256 색이 부족하지만 관심 영역을 중요한 경조직으로만 한정하면 훨씬 적은 색으로도 효과적으로 나타낼 수 있다. 이런 방법을 *contrast enhancement* 라고 한다.

Thresholding : 경조직과 연조직을 분리하는 값. 이 값 이하의 것들은 모두 0으로 만든다.

2.3.2 Marching Cubes

Volume data set에서 같은 값을 가지는 경계면을 추출한다. 결과적으로 경조직의 경계면을 구하게 된다.

2.3.3 Data Regioning

CT Region Selector : CT 이미지들을 적층하면 박스 모양이 되는데 이 전체에 대해 경조직을 계산하지 않고 보다 작은 박스로 관심 영역을 제한 할 수 있다.

Lump Selector : 경조직은 해부학적으로 서로 연결되지 않을 수 있고 *threshold value* 값에 따라 연결되어 있는 것이 떨어진 상태로 계산 될 수도 있다 (이런 경우를 원치 않다면 *threshold value*를 증가해 연결된 형태로 만들 수도 있다). 각각의 연결되지 않은 경조직 덩어리들을 *lump* 라고 한다. 본 기능은 연결된 *lump*들을 보여주고 선택한 *lump* 만 3D로 재구성할 수 있도록 한다. 계산량을 줄이기 위해 *lump*는 3D 상에서 계산하지 않고 2D 상에서 하게 된다. 즉 3D 상에서 26-neighborhood로 연결된 경조직을 계산하는 방식을 간략화 하여, 동일 위치상(CT 이미지 여러장을 적층 했을 때, 적층 방향으로 동일 선상에 놓여 있는 픽셀들)에 있는 CT 이미지의 픽셀 값들을 더하여 대표가 되는 한 장의 CT 이미지를 계산한 다음 2D 상에서 8-neighborhood로 계산하게 된다. 여기서 26-neighborhood란 복셀에 면, 모서리, 꼭지점으로 연결된 이웃 복셀들을 말하며 8-neighborhood

는 픽셀에 모서리 및 꼭지점으로 연결된 이웃 픽셀들을 말한다.

2.3.4 Data Simplification

Connectivity algorithm : Lump를 구하기 위해서 bone의 연결상태를 3D 상에서 26-neighborhood로 분석한 후 부피가 가장 큰 lump 외 다른 lump들을 소거한다.

Automatic artifact removal : 구강 내 금속 물질이 있는 경우 CT 이미지에 간섭 현상이 일어나게 되는데 이런 이미지를 자동으로 보정해 준다. 즉 번쩍임을 제거한다.

Triangle decimation (edge based) : 실시간 렌더링 시 화면의 응답시간을 향상시키기 위해 그리고자 하는 삼각형들의 수를 줄이는 것이 필요하다. 특히 거의 병면상에 놓인 삼각형들을 병합하여 적은 수의 삼각형들로 만든다. 삼각형의 수를 줄이는 방법으로는 꼭지점을 공유하는 삼각형들을 소거한 후, 남는 구멍을 보다 적은 수의 삼각형으로 채우는 *vertex-based decimation*[4,5] 과 모서리를 공유하는 두 삼각형에서 모서리를 소거하여 두 삼각형 경계를 포함하는 삼각형을 생성하는 *edge-based decimation*[6]이 있는데 Dental-1에서는 후자 기능을 제공한다.

2.4 Bone Density Visualization

골 밀도가 약한 부위에 시술이 되지 않게 하기 위해 뼈 내부 골 밀도의 분포를 색 분포도로 시각화 한다. 특히 임플란트가 턱뼈에 잘 결합하기 위해서는 삽입한 임플란트 표면 주위의 골 밀도가 높아야 하는데[7,8] 이를 위해 턱뼈의 시술 위치에 삽입한 상태의 임플란트 표면의 골 밀도를 색 분포도로 시각화 한다[9].

3. 개발 환경 및 프로그램 구조

3.1 개발 환경

개발 환경	HW	IBM PC PII 200MHz 128 MB
	SW	Windows 95/NT 3D-MasterSuite MFC Win32 Visual C++
실행 환경	HW	IBM PC PII 200MHz 64 MB
	SW	Windows 95/NT 3D-MasterSuite

3.2 프로그램 구조

Dental-1의 프로그램 구조는 Fig.5와 같다. 크게 CT data를 얻는 CT data interface, CT data를 적층 해보여주는 CT Navigator, 관심 CT data 영역을 정의할 수 있는 CT Region Selector, 그리고 가상 임플란트를

턱 뼈에 삽입해 볼 수 있는 임플란트 시뮬레이션 (implant simulation)으로 이루어져 있다.

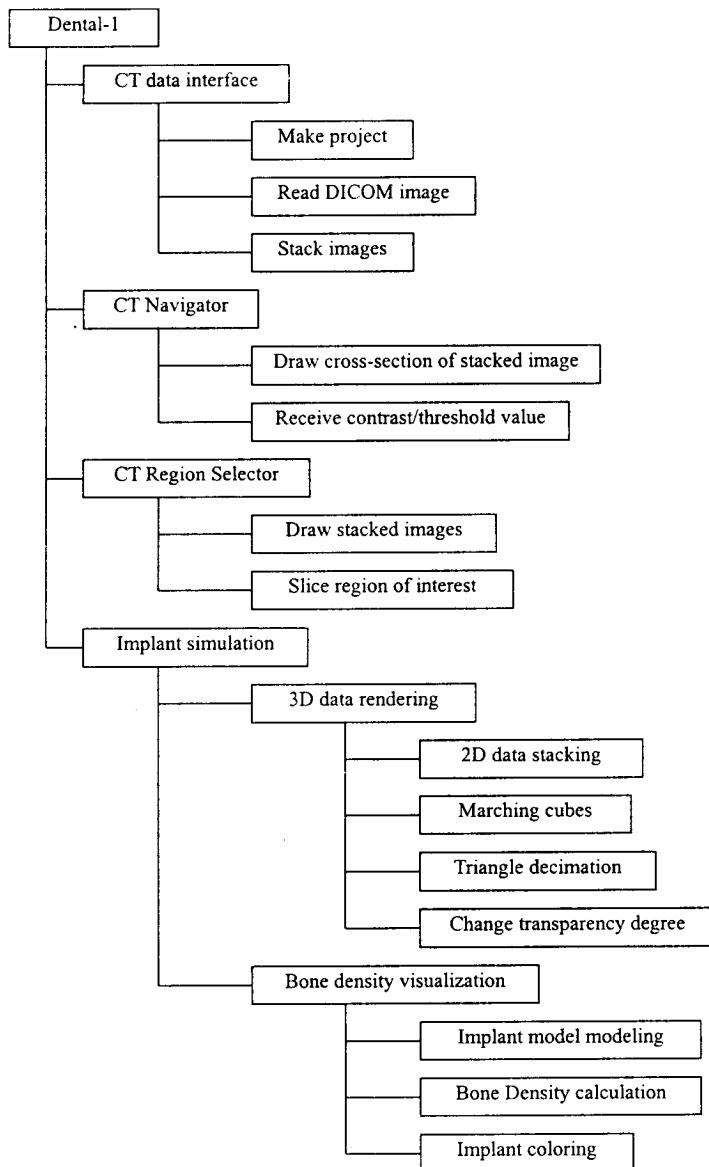


Fig. 5. 프로그램 구조

4. 실행 예

4.1 CT Navigator

CT Navigator 화면은 다음과 같다. 원하는 부분의 cross-sectional image를 보려면 우측 상단의 화살표 버튼을 마우스로 선택한 후, 노란색 선상에 나타나는 하얀 점을 마우스로 드래그 한다.

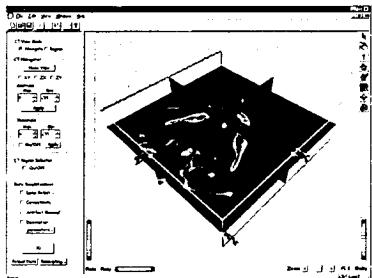


Fig. 6. CT Navigator

4.2 CT Region Selector

CT Region Selector 화면은 다음과 같다. 우측 상단의 화살표 버튼을 마우스로 선택한 후, 모서리 선상에 나타나는 하얀 점을 마우스로 드래그하여 원하는 영역을 선택할 수 있다. 입방체 표면에 사각형으로 색칠이 된 세 면적들을 그것들에 수직한 방향으로 스위프(sweep) 했을 때 동시에 교차하는 6 면체 내부만 3D로 복원한다.

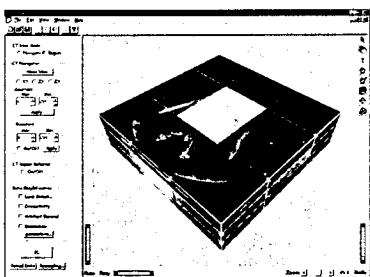


Fig. 7. CT Region Selector

4.3 Implant Simulation

Implant Simulator에서 볼 수 있는 화면이다. 다음은 그 초기화면이다. 아직 시술 전인 상태이므로, 임플랜트에 색이 입혀져 있지 않다.



Fig. 8. 가상 시술 초기화면

다음은 임플랜트를 아래터에 시술하기 위해 마우스로 이동시키고 있는 화면이다. 임플랜트를 선택하기 위해서는 우선 우측 상단에 있는 화살표 모양의 버튼을 마우스로 선택하여야 한다.



Fig. 9. Implant 를 이동 중인 화면

시술하고자 하는 부위에 임플랜트가 삽입된 모습은 다음과 같다. 마우스를 이용하여 임플랜트를 이동시켰다.

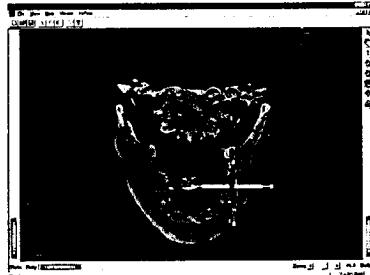


Fig. 10. Implant 를 원하는 부위에 시술한 상태

Fig.10의 상태에서 마우스로 화면을 한 번 클릭하면 임플랜트가 시술 된 부위의 골 밀도가 계산이 되고, 해당하는 색상으로 매핑(mapping)되어 임플랜트에 입혀진다. 다음은 색상이 입혀진 임플랜트를 꺼내어

골 밀도를 보는 화면이다. 이 상태에서 다시 마우스로 화면을 한 번 클릭하면 임플란트에 입혀진 색상이 지워진다.



Fig. 11. 골 밀도가 입혀진 Implant 와 아래 턱

다음은 골 밀도가 입혀진 Implant 만 확대해 본 그림이다.

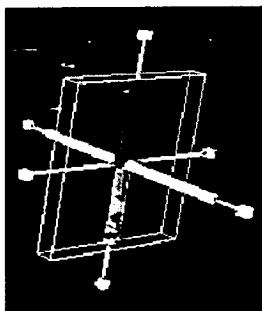


Fig. 12. 골 밀도가 입혀진 Implant

5. 결 론

Dental-1은 평면적인 이미지에서부터 벗어나 입체적으로 시술 상황을 시각화하고 가상으로 임플란트를 턱뼈에 결합시켜 볼 수 있는 치과 전용 시뮬레이션 소프트웨어이다. 현재 Dental-1은 시각화 기능만 있으나 차후 RP 기술을 이용 턱뼈 실물 제작까지 추구할 계획이다. 이를 위해서는 Marching Cubes 적용 후 나타나는 모델의 구멍들을 보정하는 작업[10] 등이 필요할 것이다.

참고문헌

1. William E. Lorensen, Harvey E. Cline, "Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm," Computer Graphics, Vol. 21, No. 4, 1987
2. "Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) Part 1: Introduction and Overview," National Electrical Manufacturers Association, 1997
3. Bill Bennett and Julie McIntyre, "Understanding DICOM 3.0," Kodak Health Imaging Systems, Inc. 1993
4. 공창환, 김창현, "LOD Rendering 과 전송을 위한 Mesh 의 Multiresolution 표현," 한국 CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집 pp. 177-182
5. William J. Shroeder, Jonathan A. Zarge, William E. Lorensen, "Decimation of Triangle Meshes," Computer Graphics, Vol. 26 No. 2, pp. 65~70, July 1992
6. Michael Garland, Paul S. Heckbert, "Surface Simplification Using Quadric Error Metrics," Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, pp. 209~216, 1997
7. Stephen L. G. Rothman, "Dental Applications of Computerized Tomography," Quintessence Publishing Co. Inc. 1998
8. Jörg Thomas Lambrecht, "3-D Modeling Technology in Oral and Maxillofacial Surgery," Quintessence Publishing Co. Inc. 1995
9. Yong-Gu Lee and Youngmin Kim "Direct Visualization of Bone Density on Implant Screws," *patent processing*, Samsung SDS, 1998
10. 방철배, 김영호, 강석호, "인체 모형 제작을 위한 STL 파일 생성기법 개발," 한국 CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집 pp. 436-441