

해부학적 지식에 기반한 악안면 기형수술 예측 시스템

김영인* 박정현** 김수균* 김창현*
고려대학교 컴퓨터학과* , 연세대학교 치과대학 구강악안면외과**
{yikim, nicesk, chkim}@cgvr.korea.ac.kr* , park8764@yumc.yonsei.ac.kr**

Anatomy Based Maxillofacial Surgery Planning System

Young-In Kim* Jung-Hyun Park** Soo-Kyun Kim* Chang-Hun Kim*
Dept. of Computer Science & Engineering, Korea University*
Dept. of Oral & Maxillofacial Surgery, Dental College, Yonsei University**

요 약

본 논문은 악안면 기형 환자의 해부학적 구조를 기반으로 하여 임상적으로 타당한 수술 결과 영상을 생성하는 방법을 제시한다. 이 방법은 환자의 평면 방사선 사진으로부터 환자의 경조직과 연조직의 외곽선을 추출하고, 이를 바탕으로 연조직 이동량 예측 함수를 이용함으로써 환자의 해부학적 특성을 고려한 가상 수술을 수행한다. 예측 함수는 경조직 특징점 8개의 이동량에 따른 연조직 특징점 10개의 변화량을 함수로 만든 것으로, 100명의 임상 결과를 바탕으로 도출한 것이다. 또한 환자의 평면 방사선 사진과 특징 부위의 외곽선, 그리고 환자의 외형 사진을 쉽게 정합하는 인터페이스를 제공함으로써, 환자의 가상 수술 후 결과를 평면 방사선 사진 및 측면 사진으로 표현하는 특징이 있다.

1. 서론

가상수술 예측 시스템은 환자의 데이터를 이용하여 수술 계획 단계에서 미리 가상의 수술 결과를 보여주는 시스템이다. 이러한 시스템들은 컴퓨터 단층 촬영기(CT), 자기 공명 장치(MRI) 영상, 또는 환자의 정면과 측면 사진 등을 사용하여 환자와 관련한 정보를 얻고 이를 처리, 가공하여 모의 수술을 시술한다.

디지털 카메라로 촬영한 여러 장의 사진을 이용하는 모의 수술 시스템은 수작업만으로 연조직이 변화될 형태를 짐작한다. 이는 환자의 골격 및 근육의 해부학적 구조를 고려하지 않은 것으로 정확한 수술 결과의 예측이 불가능하다.

CT, MRI 영상을 이용한 가상수술 시뮬레이터[6]는 환자의 3차원 정보를 가시화 함으로써 보다 사실적인 결과 영상을 생성한다. 그러나 데이터의 입력과 처리를 위해서 고가의 장비와 처리비용이 요구되고, 수술계획을 담당하는 임상들이 직접 다루기에는 복잡하다는 단점이 있다. 또한 과학적으로 계측한 3차원 임상 데이터의 부재로 인하여, 임상 수술 자료에 기반한 신뢰성 있는 가상 수술 예측 시스템의 구현이 불가능하다.

따라서 구강 악안면 외과에서는 평면 방사선 사진과 측

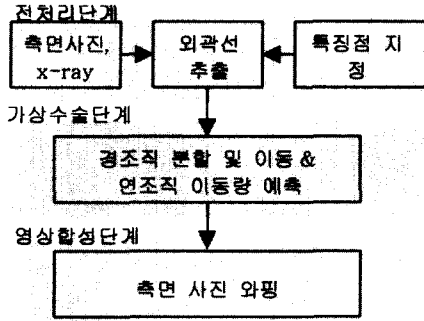
면사진을 이용하는 paper surgery 형태로 수술계획을 수립하는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 이러한 paper surgery 과정을 전산화하여, 환자의 해부학적 구조를 기반으로 하여 임상적으로 타당한 수술 결과 영상을 생성하는 방법을 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서 시스템의 구성을 설명하고, 3절에서 경조직 이동량에 따른 연조직 이동량 예측 함수에 관해 설명한다. 4절에서 결과를 제시하고 실제 수술결과 사진과 비교한다. 마지막으로 5절에서 결론과 향후과제를 논한다.

2. 시스템 구성

본 시스템은 크게 세 부분으로 구성된다. 첫 번째 단계는 가상수술을 위한 준비 단계이다. 환자의 평면 방사선 사진으로부터 연조직과 경조직의 외곽선을 추출한 뒤, 이를 디지털 카메라로 촬영한 측면 사진과 일치하도록 정렬시켜 놓는다. 두 번째 단계는 가상 수술 단계이다. 추출된 경조직의 외곽선을 실제 시술과정과 같이 원하는 크기대로 잘라내고, 이를 임상들의 판단에 의거하여 일정한 방향과 회전각을 주어 이동한다. 경조직의 수술이 끝나면,

100명의 임상 결과를 바탕으로 하여 만든 연조직 이동량 예측함수를 이용하여 연조직의 외곽선을 변형한다. 마지막 단계는 결과 이미지 생성 단계이다. 가상 수술결과 변형된 연조직의 외곽선을 따라 환자의 측면 사진을 합성한다. 전체적인 시스템 개요도는 [그림 1]과 같다.



[그림1] 시스템 개요도

2.1 전처리 단계

2.1.1 반 자동화된 외곽선 추출

평면 방사선 사진에서 임상가의 외곽선을 추출해내는 것은 많은 노력과 시간이 요구되는 작업이다. 이러한 수작업을 줄이기 위한 방안으로 기본 원형을 이용한 반자동 외곽선 추출법을 제안한다. 8개의 경조직 특징점과 10개의 연조직 특징점을 평면 방사선 사진 위에 설정하면[그림2], 이러한 특징점의 위치에 기반하여 외곽선 기본 원형이 결정된다. 이 기본 원형을 부분적으로 수정하여 최종적인 환자의 경조직과 연조직 외곽선이 생성된다.[그림3]



[그림2] x-ray 사진위에 경조직과 연조직의 특징점을 설정

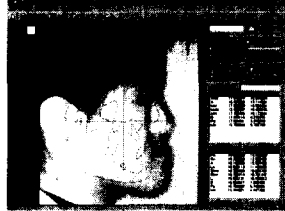


[그림3] 설정된 특징점을 기준으로 추정된 경조직과 연조직 전체 외곽선

2.1.2 윤곽선과 측면사진의 정합

가상 수술결과를 사실적으로 표현하기 위하여 환자의 측면 사진을 사용한다. 평면 방사선 사진은 환자의 골

격의 실제 크기와 일대일 대응이므로, 디지털 카메라로 촬영한 환자의 측면 사진의 크기와 위치를 조절하여 평면 방사선 사진에서 추출한 환자의 외곽선과 일치시킨



[그림4] 외곽선과 정합하기 위하여 측면사진 이동



[그림5] 외곽선과 측면사진을 정합

다. [그림4]에서 측면 사진과 외곽선을 일치하는 과정을 보인다.

2.2 가상 수술 단계

임상 수술에서 악안면 기형부위는 경조직을 절단하고 이를 이동하여 교정한다. 본 가상수술 시스템에서는 환자의 평면 방사선 사진에서 추출한 경조직의 외곽선을 이용하여 실제와 유사한 과정으로 가상 수술을 한다. 본 시스템에서 추출한 경조직은 6개의 기본 그룹으로 구성된다. 임상 수술에서 절단되는 부위에 해당하는 경조직 외곽선을 선택한 후, 원하는 방향과 크기로 초기 그룹을 분할한다. 분할된 경조직 외곽선을 임상경험을 바탕으로 회전 및 이동하면, 경조직의 특징점들의 이동량을 예측 함수의 인수로 하여 연조직 특징점들의 이동량이 결정된다. [그림 6]은 가상수술 예를 보인다.

2.3 영상 합성 단계

수술 결과를 사실적으로 보여주기 위하여, 디지털 카메라로 촬영한 환자의 측면 사진을 가상수술 후 이동한 연조직의 외곽선을 기반으로 변형하게 된다. 환자의 측면 사진과 환자의 외곽선 그림에 델라니 삼각화[3]를 적용하여 영상 영역을 분할하고, 변형된 연조직과 경조직의 외곽선에 따라 분할 영역을 재 조정하여 예측 영상을 생성한다. [그림7] 에 분할된 영상 영역을 보인다



[그림6] 하악골의 절단과 이동



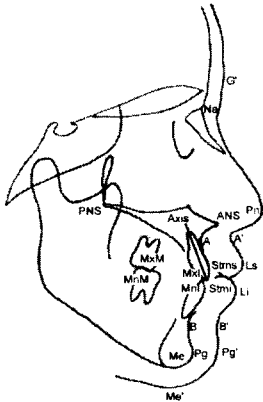
[그림7] 측면 사진 영역의 삼각화

3. 연조직 이동량 예측함수

일반적으로 사람의 근육 움직임을 선형 시스템으로 모델링 할 수 없다. 즉, 경조직의 움직임에 의한 연조직의 움직임은 비선형 방정식으로 구성되었다고 가정하여야 한다. 경조직의 움직임에 대한 연조직의 운동 방정식을 세우기 위하여 다음과 같은 가정을 하였다.

- 1) 변형량은 힘의 방향과 평행한 방향으로 가장 크게 나타난다.
- 2) 프와송 비에 의해 힘의 방향과 수직인 방향으로 변형이 발생된다.
- 3) 운동방정식을 2차로 가정한다.

일반적인 역학에서 힘에 의해 응력이 발생하고 응력에 의해 변형량이 결정된다. 이때 응력과 변형량의 관계는 매우 복잡하지만 3차 이상은 매우 작으므로 무시하는 것이 일반적이다. 이와 같은 사실에 기반하여 2차의 연조직 이동량 방정식을 완성하였다. [그림 8]에 함수의 입력 변수인 경조직 특징점과 출력 변수인 연조직 특징점을 나타내었다. 예측함수는 100명의 임상 수술 결과를 토대로 작성한 것이다.



경조직 : A(ANS), B(A)
C(Mx1), D(MxM), E(Mni1),
F(B), G(Pg), H(Me)

연조직 : A'(Pn), B'(Sn),
C'(A), D'(Ls), E'(Stms),
F'(Stmi), G'(Li), H'(B'),
I'(Pg'), J'(Me')

$$A = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \wedge H = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

$$A' = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \wedge J' = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

[그림8] 예측함수의 입력 및 출력 변수

연조직 A의 x축 움직임에 대한 운동 방정식은 다음과 같다.

$$A'_x = [\alpha_1 \quad \Lambda \quad \alpha_{16}] \begin{bmatrix} A_x^2 \\ A_x \\ H_x^2 \\ H_x \end{bmatrix} + [\beta_1 \quad \Lambda \quad \beta_{16}] \begin{bmatrix} A_y^2 \\ A_y \\ H_y^2 \\ H_y \end{bmatrix} \quad (식1)$$

동일한 방법으로 A의 y축 및 B', B'', C', C', A', H'에 대해서도 동일하게 식이 구성된다. A'에 대한 α_i, β_i 를 구하는 방법은 다음과 같다.

$$D_{nx1} = Z_{nxm} \Delta A_{mx1} \quad (식2)$$

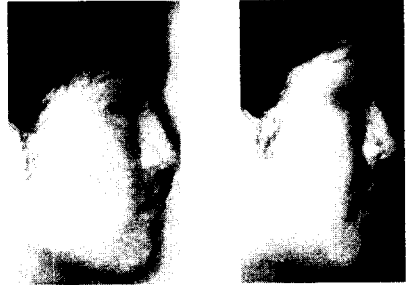
$$D_{nx1} = \begin{pmatrix} Y_1 - f(x_1) \\ \Lambda \\ Y_1 - f(x_n) \end{pmatrix}, \quad Z_{nxm} = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial a_1} \Lambda & \frac{\partial f_1}{\partial a_m} \\ \Lambda & \Lambda \\ \frac{\partial f_n}{\partial a_1} \Lambda & \frac{\partial f_n}{\partial a_m} \end{pmatrix}, \quad \Delta A_{mx1} = \begin{pmatrix} \Delta a_0 \\ \Lambda \\ \Delta a_m \end{pmatrix}$$

$$f(x) = a_1 x + \Lambda + a_n x^n, \quad n: \text{데이터개수}, m: \text{미지수개수}$$

Y_i : 측정값, x_i : 입력값, a_i : 미지수

4. 실험 결과 및 비교분석

본 시스템은 400MHz에서, Visual C++6.0, Open Inventor 2.5.2를 사용하여 구현하였다. 하악골을 수직으로 절단하여 악안면을 교정하는 환자의 가상 수술 결과 사진과, 실제 수술 결과 사진을 [그림9]에 보인다.



[그림9] 모의 수술 결과(좌)와 실제 수술 결과 사진(우)

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 환자의 해부학적 구조를 기반으로 예측 함수를 사용하여, 임상적으로 타당한 수술 결과 영상을 생성하는 방법을 제시하였다. 악안면 기형수술 이외의 수술이 추가되어야 하며, 3차원 모델로의 확장과 관련된 연구도 진행할 예정이다.

6. 참고 문헌

- [1] 김문기, "한국인 하악골 전돌증 환자에서 상악골 후부 상방 이동과 하악골 후방 이동의 동시 이동시 악안면 연조직 변화에 대한 연구", 연세대학교 대학원 치의학과 석사논문, 1997.
- [2] Arei Kaufman, Daniel Cohen, and Roni Yagel, "Volume Graphics", IEEE, 51-60, 1993.
- [3] F. P. Preparata and M. I. Shamos, Computational Geometry: An Introduction, Springer-Verlag, 1985.
- [4] Jane Wilhelms, "Animals with Anatomy", IEEE Computer Graphics and Applications, 21-30, 1997.
- [5] Lee, Y., Terzopoulos, D., and Waters, K. "Realistic face modeling for animation", In Computer graphics, ACM SIGGRAPH, pp55-62, 1995 R.M. Koch, M.H.Gross, F.R.Carls, "Simulating Facial Surgery Using Finite Element Models", ACM SIGGRAPH, 1996.
- [6] R.M. Koch, M.H.Gross, F.R.Carls, "Simulating Facial Surgery Using Finite Element Models", ACM SIGGRAPH, 1996.
- [7] Zienkiewicz and Taylor, "The Finite Element Method", 4th Ed.