Deformaciones no Paramétricas 3D Aplicadas a la Morfometría de Estructuras Anatómicas

Tesis de Maestría

Andrea del Pilar Rueda Olarte
Director: Eduardo Romero, Ph.D.

Seminario de Investigación III
Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación

Septiembre 11, 2006

Introducción
Deformación de Superficies

Modelos deformables
Un contorno 2D o una superficie 3D se hacen evolucionar hasta que toman la forma de otro contorno o superficie objetivo

Deformación de superficies aplicada a:

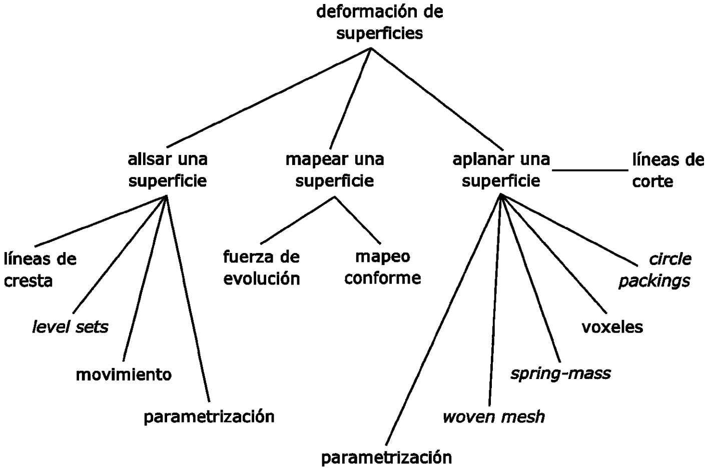
- reconocimiento de patrones
- animación computarizada
- simulación de cirugías
- segmentación de imágenes
- análisis de materiales

Introducción

Clasificación de los Métodos

- **Aplanar una superficie:** Se busca determinar una parametrización o alguna transformación que permita tomar la superficie 3D y convertirla en una superficie plana (algunas veces se introducen cortes en la superficie)
- **Alisar una superficie:** Generalmente se aplica una transformación que permita mantener la topología (forma) de la superficie 3D pero que reduzca al máximo los posibles picos o valles que pueda tener esta superficie
- **Mapear una superficie:** Se determina una parametrización en donde cada punto de la superficie 3D se correlaciona con otro punto de una superficie más sencilla (como una esfera o una elipsoide)

Introducción
Clasificación de los Métodos



Introducción

Modelos Deformables en Medicina

- Representaciones 3D: facilitan la visualización y análisis de características funcionales y anatómicas
- Establecer mediciones sobre superficies se complica cuando éstas son muy complejas
- En Medicina, el área con mayor aplicación de modelos para deformación de superficies es el análisis de estructuras cerebrales (David Van Essen y Bruce Fischl)

Identificación del Problema

- Morfometría: ayuda a la cuantificación del diagnóstico
  - cuando estas medidas se toman, se hacen de forma manual
- Realizar mediciones sobre superficies complejas requiere considerar cambios en la curvatura, en los ángulos, etc. para asegurar la precisión
- **Aproximación:** deformar hasta simplificar la geometría pero sin modificar las métricas

Objetivos

Objetivo General

Formular, implementar y validar un modelo que deforme superficies 3D y cuya principal restricción es que preserve métricas tales como áreas y longitudes. Este modelo facilitará el desarrollo de estudios morfométricos.

Objetivos

Objetivos Específicos

- Revisar la literatura existente y determinar los principales modelos
- Estudiar las métricas, determinar su comportamiento y escoger las más convenientes
- Deformar superficies con dos modelos: uno con consideraciones físicas y otro con consideraciones variacionales; y validar los modelos propuestos con respecto a la preservación de medidas
- Desarrollar una aplicación para visualizar el proceso de simplificación de la superficie, y calcular las medidas en la superficie original y en la simplificada

Metodología

1. Exploración e implementación de modelos recientes
2. Determinación de las medidas
3. Modelo físico de deformación
4. Modelo variacional de deformación
5. Validación de los modelos
    - precisión
    - costo
    - eficiencia
    - confiabilidad
    - eficiencia relativa
6. Cálculo de las medidas
7. Aplicación de visualización (de forma paralela)

Metodología

Exploración Inicial

Se revisó e implementó el método planteado por Fischl *et al.* [1], actualizando iterativamente la posición de los puntos de acuerdo a fuerzas radiales y de suavizado

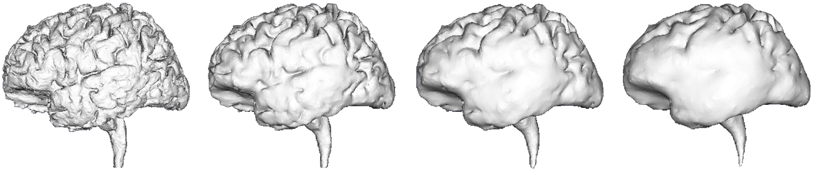
$$\mathbf{x}_k(t+1) = \mathbf{x}_k(t) + F_S(t) + \lambda_R F_R(t)$$

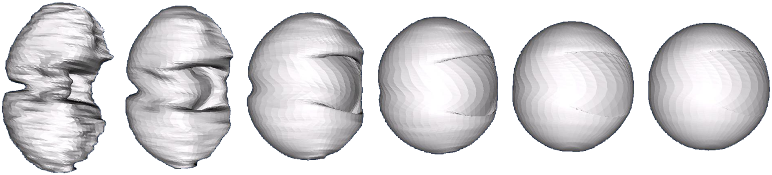
$$F_S = \frac{1}{N_k} \sum_{j \in N_k} (\mathbf{x}_j - \mathbf{x}_k) - \frac{1}{V} \sum_{i}^{V} \sum_{j \in N_i} (\mathbf{n}_i \mathbf{n}_i') \cdot (\mathbf{x}_j - \mathbf{x}_i)$$

$$F_R = (R_k - \mathbf{x}_k)$$

Metodología

Exploración Inicial





Metodología
Método Físico

Se formuló un modelo de deformación de acuerdo a las características físicas del problema, el cual posteriormente se validará sobre curvas 2D y se extenderá al caso 3D. El movimiento de los puntos se gobierna por una ecuación de fuerzas

$$m\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + F_R = \frac{\partial}{\partial x}\left[\tau\left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^3\right)\right]$$

Metodología

Método Variacional

Se formuló un modelo variacional basado en la conservación local del área. Éste se validará directamente sobre superficies 3D. El movimiento de los puntos se gobierna por una ecuación de velocidad

$$\dot{x} = v_i - \frac{v_i \cdot k_i}{|k_i|^2} k_i$$

siendo

$$k_i = \sum_j \nabla_i s(x_i, x_j, x_{j+1})$$

Referencias

B. Fischl, A. Liu y A. Dale.
Automated Manifold Surgery: Constructing Geometrically Accurate and Topologically Correct Models of the Human Cerebral Cortex
IEEE Trans. on Medical Imaging, 20(1), 2001.