



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE BOGOTÁ

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIDAD DE POSGRADOS

PRESENTACIÓN PROPUESTA

TESIS DE MAESTRÍA: TRABAJO FINAL DE ESPECIALIZACIÓN:

1. PROPONENTE: Andrea del Pilar Rueda Olarte

CÓDIGO: 299663

2. PROGRAMA: Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación

3. DIRECTOR PROPUESTO: Eduardo Romero, Ph.D.

DEPARTAMENTO: Departamento de Imágenes Diagnósticas, Facultad de Medicina

ASESORES:

4. TÍTULO: Deformaciones no Paramétricas 3D y su Aplicación a la Morfometría de Estructuras Anatómicas

ÁREA: Ciencias de la Computación

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Procesamiento de Imágenes y Computación Gráfica

5. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Las deformaciones de superficies 3D han sido exploradas en los últimos 20 años, en aplicaciones tales como la animación computarizada, el modelamiento de materiales y los análisis de estructuras anatómicas. La primera referencia a este tipo de problemas la constituye el obtener una representación plana de una superficie curva, como por ejemplo una esfera. Este problema fue estudiado por Gauss hacia 1828, y su conclusión fue que, debido a la diferencia

entre las curvaturas Gaussianas¹ de la superficie curvada y su representación en el plano, no era posible solucionarlo de manera totalmente exacta.

Los estudios en esta área inician hacia 1988 con los modelos deformables, aquellos en los que un contorno bidimensional o una superficie tridimensional se hacen evolucionar hasta que toman la forma de otro contorno o superficie objetivo. Los campos de acción en los cuales se aplican este tipo de modelos cubre desde el reconocimiento de patrones, animación computarizada, simulación de cirugías, y la segmentación de imágenes, entre otras [28]. También se utilizan diferentes representaciones para generar desde líneas 3D deformables hasta volúmenes deformables. Los modelos deformables fueron introducidos por Kass *et al.* en 2D [22] y extendidos al caso 3D por Terzopoulos *et al.* [35].

Los modelos para deformar superficies reseñados en la literatura más reciente pueden clasificarse en tres tipos primordiales: Modelos que aplanan una superficie, modelos que suavizan la geometría de la superficie y métodos de mapeo de superficies; como se muestra en la figura 1.

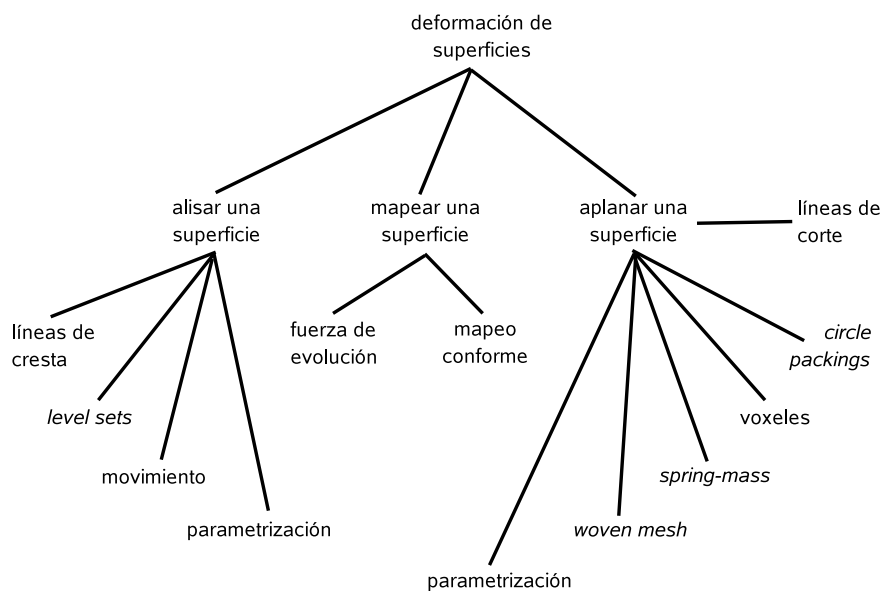


Figura 1: Clasificación somera de los métodos para deformar superficies

¹**Curvatura:** es básicamente la cantidad por la que un objeto geométrico se desvía de ser plano. En superficies, se encuentran las *curvaturas principales*, κ_1 y κ_2 , que indican la curvatura mínima y máxima en un punto de la superficie; la *curvatura media*, que es el promedio de las curvaturas principales y la *curvatura Gaussiana*, que es el producto de κ_1 y κ_2 .

APLANAR UNA SUPERFICIE

El objetivo de estos métodos es el de obtener representaciones planas de una superficie curvada, es decir, que todos los puntos de la superficie 3D puedan ser ubicados en un plano 2D respetando las relaciones de vecindad. Este es el primer problema que se consideró en deformación de superficies, dada su similitud con el problema de elaborar mapas. La solución a este problema, presentada en [31], está básicamente limitada por la poca aplicación de la geometría diferencial y el poco poder de cómputo de los computadores en esa época; puede considerarse una aproximación muy primitiva pero válida por ser la pionera. Entre los desarrollos más recientes se incluyen: parametrizaciones [13], método de *circle packings* [18, 19], basado en voxeles [14], modelo *spring-mass* [26, 37] y modelo *woven mesh* [36].

La cantidad de puntos de la superficie original se conserva en la representación en el plano, pero las distancias, ángulos y áreas se afectan significativamente entre más compleja y curva sea la superficie. En esas situaciones se considera un elemento adicional, las líneas de corte, que ayudan a corregir la distorsión en las métricas, garantizando que la representación plana corresponderá de mejor forma con la superficie inicial. En algunas aproximaciones iniciales, estas líneas de corte las podía estimar el usuario de forma manual. Ya más recientemente, Wang *et al.* presentan en [38] un método para automatizar esta labor.

ALISAR UNA SUPERFICIE

Con los modelos que suavizan la geometría de la superficie se obtiene una representación alisada, que conserva la forma 3D pero elimina los picos y valles demasiado pronunciados. El proceso de suavizado puede generar una superficie con menos puntos, con lo que se reduce el espacio en disco que ocupa la representación y el tiempo de procesamiento de la misma. Algunas de las aproximaciones más relevantes en este campo corresponden a: parametrizaciones [23, 24, 32], aproximación por *level sets* [17, 34], estimación de la velocidad [30] y líneas de cresta [33].

MAPEAR UNA SUPERFICIE

Con la aplicación de los métodos de mapeo de superficies se busca proyectar todos los puntos de la superficie 3D en otra de geometría más simple y con las mismas características topológicas, la cual generalmente corresponde a una esfera o una elipsoide. El que este método pueda utilizarse se justifica con la aplicación de la geometría de superficies de Riemann, con la que se puede afirmar que cualquier superficie sin hoyos o intersecciones consigo misma

puede mapearse de forma conforme en una esfera, y cualquier porción de la superficie puede mapearse en un disco [15]. El objetivo principal de estos métodos es determinar un mapa conforme entre la superficie y la esfera, pero varían las formas de llegar a este mapeo. Se pueden encontrar métodos que aplican elementos finitos [1, 15], así como el mapeo conforme por mínimos cuadrados [21, 25], aplicaciones de la geometría diferencial [39] y determinación de una fuerza de expansión [10].

MODELOS DEFORMABLES EN MEDICINA

La visualización y análisis de las características funcionales y anatómicas de algunas estructuras se puede facilitar con modelos tridimensionales obtenidos por segmentación a partir de imágenes de tomografía o resonancia magnética. La determinación de longitudes y áreas en estas superficies puede dificultarse debido a la intrincada geometría de algunas estructuras anatómicas, como la corteza cerebral, órganos huecos como el colon, etc.

Con base en los métodos de deformación de superficies se construyen paquetes de *software* que permiten a los profesionales de la salud analizar de una manera más precisa y segura las estructuras anatómicas de sus pacientes, así como establecer comparaciones entre ellas. Utilizando los métodos para aplanar superficies se pueden analizar vasos sanguíneos con el fin de detectar y visualizar patologías como estenosis² y pólipos³ [41], así como el interior del estómago [29].

Dentro de la medicina, el área con mayor número de publicaciones sobre deformación de superficies es la relativa a las estructuras cerebrales, debido a la importancia de la corteza cerebral en los análisis morfométricos. La aplicación de estos métodos permite la identificación de cambios en los surcos del cerebro debidos a tumores u otras patologías. También facilitan la visualización de las diferentes áreas funcionales del cerebro [8, 12], así como la determinación de distancias y otras medidas. En el área de análisis de las propiedades funcionales y estructurales de la corteza cerebral se destacan los trabajos de David Van Essen *et al.* ([3, 5–9, 16, 20]) y Bruce Fischl *et al.* ([4, 10–12]). En estos trabajos se busca el desarrollo de un conjunto de herramientas computacionales que faciliten a los profesionales de la medicina el uso de métodos de visualización y análisis basados en la superficie cortical. Algunas de las herramientas desarrolladas por estos investigadores son SureFit⁴, Caret⁵ y SuMS⁶, las cuales permiten al usuario realizar diversos análisis sobre superficies de la corteza

²Estrechez de un conducto u orificio.

³Tumor benigno, blando, que se desarrolla en las cavidades de una mucosa.

⁴<http://brainvis.wustl.edu/resources/surefitnew.html>

⁵<http://brainmap.wustl.edu/resources/caretnew.html>

⁶<http://sumsdb.wustl.edu:8081/sums/index.jsp>

cerebral y aplicar operaciones como suavizado, transformaciones geométricas, proyecciones, aplanado y otras deformaciones.

6. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La morfometría, es decir, el estudio cuantitativo de las estructuras anatómicas, constituye un elemento básico en la especificación de los diagnósticos de la condición de un paciente, pues permite determinar y hacer un seguimiento a los cambios en la forma de estas estructuras [2, 27, 40]. Las mediciones, cuando se realizan, se obtienen de forma manual, por lo cual son susceptibles a errores humanos y a pérdida de precisión.

Existen paquetes de *software* que permiten realizar mediciones exactas sobre superficies lisas y sencillas; sin embargo, el realizar este tipo de mediciones en superficies más complejas e intrincadas es más difícil, pues es necesario considerar factores tales como el cambio en los ángulos, en las curvaturas, etc. que determinan la precisión de las mediciones. Para resolver este problema, una aproximación posible es deformar la superficie inicial de forma que su geometría se simplifique, y poder aplicar los algoritmos de medición para superficies sencillas. Sin embargo, el proceso de deformación de estas superficies se puede hacer de diferentes maneras, por medio de aplanamientos, alisados o mapeos; los cuales pueden introducir cambios grandes o pequeños en la métrica de la superficie de acuerdo a sus características geométricas y topológicas.

7. OBJETIVO GENERAL

Formular un modelo para deformación de superficies 3D que preserve las métricas para facilitar el desarrollo de estudios morfométricos

7.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar los modelos variacionales de deformación de superficies
- Determinar la precisión de las medidas en función de la curvatura
- Formular, validar e implementar un modelo físico para deformación de superficies
- Desarrollar una aplicación que permita visualizar el proceso de simplificación de la superficie, así como calcular las medidas en la superficie original y en la simplificada

8. METODOLOGÍA

1. Exploración inicial: El desarrollo del proyecto requiere una fase inicial de exploración, análisis e implementación de algunos de los modelos para deformación de superficies reseñados en la literatura más reciente. Esto permite evaluar el comportamiento de las medidas en las superficies simplificadas y determinar las características de la solución esperada.
2. Definición de la precisión de las medidas: Cualquier método para simplificar una superficie 3D es incapaz de preservar de forma exacta todas las posibles medidas a la vez. De esta forma, es necesario determinar la precisión de cada una de las medidas en función de magnitudes objetivas como la curvatura.
3. Modelo físico de deformación: Para definir el comportamiento de la superficie durante este proceso, se propondrá un modelo de deformación basado en las características físicas del problema. Luego, es necesario ajustar este modelo para preservar las métricas establecidas en la etapa anterior. Por último, el comportamiento del nuevo modelo debe validarse con curvas 2D simples para verificar la preservación del conjunto de medidas y proceder a su implementación.
4. Cálculo de las medidas: La implementación del modelo debe complementarse con procedimientos que calculen el valor de las medidas escogidas sobre la superficie simplificada. Éstos pueden implementarse aprovechando las facilidades proveídas por la librería que se utilice para procesar la superficie.

Durante el transcurso del proyecto, y de forma paralela, se desarrollará una aplicación que permita la visualización de la superficie 3D y del proceso de deformación de la misma, y que además ofrezca al usuario la funcionalidad para el cálculo del conjunto de métricas. Éstas deben calcularse tanto en la superficie original como en la simplificada, para efectos de validación del modelo. La metodología de desarrollo de *software* escogida para la implementación de esta herramienta es la construcción de prototipos de forma evolutiva, con lo que se espera que, en cada etapa del proyecto, el aplicativo provea la funcionalidad básica para la validación y pruebas.

9. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

- Recolección de información y elaboración de un estado del arte

- Exploración de modelos recientes
 - Elección de los modelos más representativos
 - Implementación de los modelos
 - Validación del comportamiento de los modelos con respecto a la preservación de métricas específicas (longitudes, áreas)
- Definición de la precisión de las medidas
 - Definición de todas las posibles medidas que pueden calcularse sobre una superficie 3D
 - Cálculo de la precisión de cada métrica en función de la curvatura de la superficie
- Formulación del modelo físico
 - Planteamiento del nuevo modelo con preservación de métricas
 - Validación del modelo
 - Implementación del modelo
- Implementación de los procedimientos para el cálculo de métricas
- Desarrollo de la aplicación de visualización
 - Análisis de requerimientos
 - Diseño
 - Implementación del prototipo inicial
 - Integración del modelo físico
 - Integración de los procedimientos de cálculo de métricas
 - Pruebas y validación
- Documentación
 - Escritura del documento de tesis
 - Elaboración de artículos

10. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Referencias

- [1] Sigurd Angenent, Steven Haker, Allen Tannenbaum, and Ron Kikinis. On the Laplace-Beltrami operator and brain surface flattening. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 18:700–711, 1999.
- [2] J. P. A. Baak and J. Oort. *A Manual of Morphometry in Diagnostic Pathology*. Springer, 1983.
- [3] G.J. Carman, H.A. Drury, and D.C. Van Essen. Computational methods for reconstructing and unfolding the cerebral cortex. *Cerebral Cortex*, 5:506–517, 1995.
- [4] Anders M. Dale, Bruce Fischl, and Martin I. Sereno. Cortical surface-based analysis I: Segmentation and surface reconstruction. *NeuroImage*, 9:179–194, 1999.
- [5] H.A. Drury, M. Corbetta, G. Shulman, and D.C. Van Essen. Mapping fMRI activation data onto a cortical atlas using surface-based deformation. *NeuroImage*, 7:S728, 1998.
- [6] H.A. Drury, D.C. Van Essen, C.H. Anderson, C.W. Lee, T.A. Coogan, and J.W. Lewis. Computerized mappings of the cerebral cortex: a multiresolution flattening method and a surface-based coordinate system. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1:1–28, 1996.
- [7] D. C. Van Essen and H. A. Drury. Structural and functional analyses of human cerebral cortex using a surface-based atlas. *The Journal of Neuroscience*, 17:7079–7102, 1997.
- [8] David C. Van Essen, Heather A. Drury, James Dickson, John Harwell, Donna Hanlon, and Charles H. Anderson. An integrated software suite for surface-based analyses of cerebral cortex. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 8:443–459, 2001.
- [9] David C. Van Essen, Heather A. Drury, Sarang Joshi, and Michael I. Miller. Functional and structural mapping of human cerebral cortex: Solutions are in the surfaces. *Neuroimaging of Human Brain Function*, 95:788–795, 1998.
- [10] Bruce Fischl, Arthur Liu, and Anders M. Dale. Automated manifold surgery: Constructing geometrically accurate and topologically correct models of the human cerebral cortex. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 20:70–80, 2001.
- [11] Bruce Fischl, Martin I. Sereno, and Anders M. Dale. Cortical surface-based analysis II: Inflation, flattening, and a surface-based coordinate system. *NeuroImage*, 9:195–207, 1999.
- [12] Bruce Fischl, Martin I. Sereno, Roger B.H. Tootell, and Anders M. Dale. High-resolution intersubject averaging and a coordinate system for the cortical surface. *Human Brain Mapping*, 8:272–284, 1999.
- [13] Michael S. Floater. Parametrization and smooth approximation of surface triangulations. *Computer Aided Geometric Design*, 14:231–250, 1997.
- [14] R. Grossmann, N. Kiryati, and R. Kimmel. Computational surface flattening: A voxel-based approach. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24:433–441, April 2002.
- [15] Steven Haker, Sigurd Angenent, Allen Tannenbaum, Ron Kikinis, Guillermo Sapiro, and Michael Halle. Conformal surface parameterization for texture mapping. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 6:181–189, 2000.

- [16] John Harwell, David Van Essen, Donna Hanlon, and James Dickson. Integrated software for surface-based analyses of cerebral cortex. *NeuroImage*, 13:148, 2001.
- [17] Gerardo Hermosillo, Olivier Faugeras, and José Gomes. Cortex unfolding using level set methods. Technical report, INRIA: Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, 1999.
- [18] Monica K. Hurdal and Ken Stephenson. Cortical cartography using the discrete conformal approach of circle packings. *NeuroImage*, 23:s119–s128, 2004.
- [19] Monica K. Hurdal, Ken Stephenson, Philip L. Bowers, De Witt L. Sumners, and David A. Rottemberg. Cortical surface flattening: A quasi-conformal approach using circle packings. 2000.
- [20] Mukta Joshi, Jing Cui, Keith Doolittle, Sarang Joshi, David Van Essen, Lei Wang, and Michael I. Miller. Brain segmentation and the generation of cortical surfaces. *NeuroImage*, 9:461–476, 1999.
- [21] Lili Ju, Josh Stern, Kelly Rehm, Kirt Schaper, Monica Hurdal, and David Rottenberg. Cortical surface flattening using least square conformal mapping with minimal metric distortion. *2004 2nd IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: Macro to Nano*, 1:77–80, 2004.
- [22] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos. Snakes: active contour models. *International Journal of Computer Vision*, 1:321–331, 1988.
- [23] Andrei Khodakovsky, Nathan Litke, and Peter Schröder. Globally smooth parameterizations with low distortion. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 22:350–357, 2003.
- [24] Aaron W. F. Lee, Wim Sweldens, Peter Schröder, Lawrence Cowsar, and David Dobkin. MAPS: multiresolution adaptive parameterization of surfaces. In *Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 95–104, 1998.
- [25] B. Levy, S. Petitjean, N. Ray, and J. Malliot. Least squares conformal maps for automatic texture atlas generation. In *Proceedings of ACM SIGGRAPH'02*, 2002.
- [26] J. Li, D. Zhang, G. Lu, Y. Peng, X. Wen, and Y. Sakaguti. Flattening triangulated surfaces using a mass-spring model. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25:108–117, 2005.
- [27] Oberholzer M., Christen H., Oestreicher M., Buser M., Dalquen P., Feichter G., and Ettl R. Prerequisites for the application of statical morphometry in diagnostics. *Verh Dtsch Ges Pathol.*, 74:225–7, 1990.
- [28] J. Montagnat, H. Delingette, and N. Ayache. A review of deformable surfaces: topology, geometry and deformation. *Image and Vision Computing*, 19:1023–1040, 2001.
- [29] Kensaku Mori, Hiroki Oka, Takayuki Kitasaka, Yasuhito Suenaga, and Junichiro Toriwaki. Virtual unfolding of the stomach based on volumetric image deformation. *MICCAI 2004*, 3217:389–396, 2004.
- [30] Jean-Philippe Pons, Renaud Keriven, and Olivier Faugeras. Area preserving cortex unfolding. In *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention MICCAI 2004: 7th International Conference, Saint-Malo, France, September 26-29, 2004. Proceedings, Part I*, pages 376–383, 2004.
- [31] E. L. Schwartz, A. Shaw, and E. Wolfson. A numerical solution to the generalized mapmaker's problem: Flattening nonconvex polyhedral surfaces. *IEEE Transactions in Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11:1005–1008, 1989.

- [32] A. Sheffer and E. de Sturler. Parameterization of faceted surfaces for meshing using angle-based flattening. *Engineering with Computers*, 17:326–337, 2001.
- [33] G. Stylianou and G. Farin. Crest lines for surface segmentation and flattening. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 10:536–544, 2004.
- [34] Tolga Tasdizen, Ross Whitaker, Paul Burchard, and Stanley Osher. Geometric surface smoothing via anisotropic diffusion of normals. In *13th IEEE Visualization 2002 (VIS'02)*, 2002.
- [35] D. Terzopoulos, A. Witkin, and M. Kass. Constraints on deformable models: recovering 3D shape and nonrigid motion. *Artificial Intelligence*, 36:91–123, 1988.
- [36] C.C.L. Wang, K. Tang, and B.M.L. Yeung. Freeform surface flattening based on fitting a woven mesh model. *CAD Computer Aided Design*, 37:799–814, 2005.
- [37] Charlie C.L. Wang, Shana S-F. Smith, and Matthew M.F. Yuen. Surface flattening based on energy model. *Computer-Aided Design*, 34:823–833, 2002.
- [38] Charlie C.L. Wang, Yu Wang, Kai Tang, and Matthew M.F. Yuen. Reduce the stretch in surface flattening by finding cutting paths to the surface boundary. *Computer-Aided Design*, 36:665–677, 2004.
- [39] Yalin Wang, Xianfeng Gu, Tony F. Chan, Paul M. Thompson, and Shing-Tung Yau. Intrinsic brain surface conformal mapping using a variational method. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 5370:241–252, 2004.
- [40] Collan Y. Morphometry in pathology: another look at diagnostic histopathology. *Pathol Res Pract.*, 179(2):189–92, 1984.
- [41] Lei Zhu, Steven Haker, and Allen Tannenbaum. Area-preserving mappings for the visualization of medical structures. In *MICCAI 2003*, pages 277–284, 2003.

11. FECHA: 3 de mayo de 2006