



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: Procesamiento de Imágenes y Computación Gráfica

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Ciencias de la Computación

5. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Las deformaciones de superficies 3D y sus posibles aplicaciones han sido ampliamente exploradas en los últimos 20 años. Sin embargo, la primera referencia a este tipo de problemas la constituye el obtener una representación plana de una superficie curva, como por ejemplo una esfera, el cual fue estudiado por Gauss hacia 1828. Él lo consideró un problema sin solu-

ción exacta, debido a la diferencia entre las curvaturas Gaussianas¹ de la superficie curvada y su representación en el plano.

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. De acuerdo a lo presentado por Montagnat *et al.* en su revisión de los modelos deformables [26], 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. 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 [21] y extendidos al caso 3D por Terzopoulos *et al.* [33].

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.

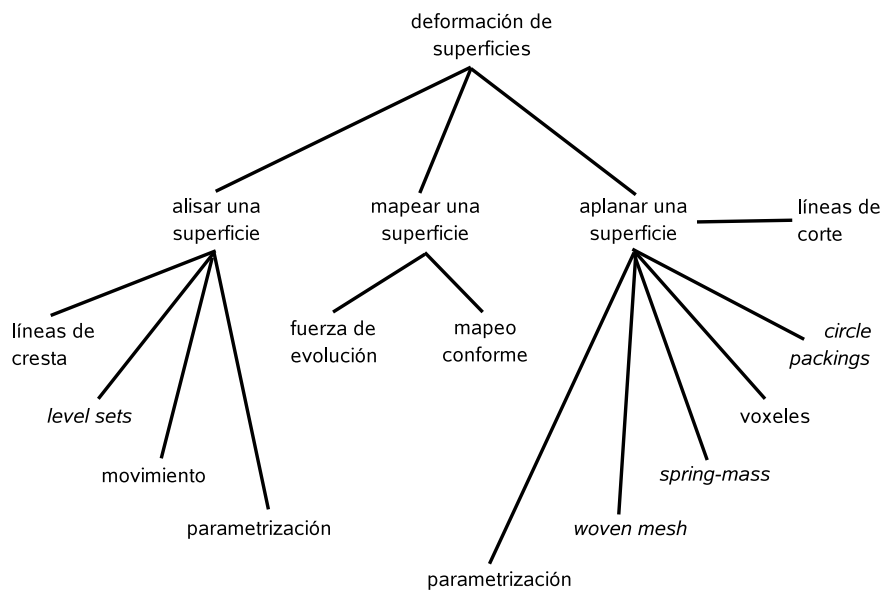


Figura 1: Clasificación somera de los métodos para deformar superficies

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

Este es el primer problema que se consideró en deformación de superficies, dada su similitud con el problema de elaborar mapas, cuyo objetivo es el de obtener representaciones planas de una superficie curvada. La solución a este problema, presentada en [29], 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 [12], método de *circle packings* [17, 18], basado en voxeles [13], modelo *spring-mass* [25, 35] y modelo *woven mesh* [34].

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 [36] 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 básica 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 [22, 23, 30], aproximación por *level sets* [16, 32], estimación de la velocidad [28] y líneas de cresta [31].

MAPEAR UNA SUPERFICIE

Con la aplicación de los métodos de mapeo de superficies se busca proyectar 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 [14]. 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, 14], así como el mapeo conforme por mínimos cuadrados [20, 24], aplicaciones de la geometría diferencial [37] y determinación de una fuerza de expansión [9].

MODELOS DEFORMABLES EN MEDICINA

El campo donde se concentran la mayor parte de las aplicaciones de los modelos de deformación de superficies es la medicina. En base a estos métodos 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, aplicación presentada por Zhu *et al.* en [38]; así como el interior del estómago, de acuerdo a lo presentado por Mori *et al.* en [27].

Dentro de la medicina, el área con mayor número de publicaciones sobre deformación de superficies es la relativa a las estructuras cerebrales, puesto que la corteza cerebral es considerada la superficie más compleja del cuerpo humano, en cuanto a geometría y topología se refiere. 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, 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.* ([2, 4–8, 15, 19]) y Bruce Fischl *et al.* ([3, 9–11]). 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 cerebral y aplicar operaciones como suavizado, transformaciones geométricas, proyecciones, aplanado y otras deformaciones.

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>

6. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

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.

La morfometría, es decir, el estudio cuantitativo de las estructuras anatómicas, puede ser un elemento básico en la cuantificación 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. 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. 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] 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.
- [3] Anders M. Dale, Bruce Fischl, and Martin I. Sereno. Cortical surface-based analysis I: Segmentation and surface reconstruction. *NeuroImage*, 9:179–194, 1999.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Michael S. Floater. Parametrization and smooth approximation of surface triangulations. *Computer Aided Geometric Design*, 14:231–250, 1997.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] John Harwell, David Van Essen, Donna Hanlon, and James Dickson. Integrated software for surface-based analyses of cerebral cortex. *NeuroImage*, 13:148, 2001.
- [16] 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.
- [17] Monica K. Hurdal and Ken Stephenson. Cortical cartography using the discrete conformal approach of circle packings. *NeuroImage*, 23:s119–s128, 2004.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.

- [21] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos. Snakes: active contour models. *International Journal of Computer Vision*, 1:321–331, 1988.
- [22] Andrei Khodakovsky, Nathan Litke, and Peter Schröder. Globally smooth parameterizations with low distortion. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 22:350–357, 2003.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] J. Montagnat, H. Delingette, and N. Ayache. A review of deformable surfaces: topology, geometry and deformation. *Image and Vision Computing*, 19:1023–1040, 2001.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] A. Sheffer and E. de Sturler. Parameterization of faceted surfaces for meshing using angle-based flattening. *Engineering with Computers*, 17:326–337, 2001.
- [31] G. Stylianou and G. Farin. Crest lines for surface segmentation and flattening. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 10:536–544, 2004.
- [32] 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.
- [33] D. Terzopoulos, A. Witkin, and M. Kass. Constraints on deformable models: recovering 3D shape and nonrigid motion. *Artificial Intelligence*, 36:91–123, 1988.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 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.

- [37] 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.
- [38] Lei Zhu, Steven Haker, and Allen Tannenbaum. Area-preserving mappings for the visualization of medical structures. In *MICCAI 2003*, pages 277–284, 2003.

8. FECHA: 29 de marzo de 2006