

Generación de Mallas para la Visualización de Estructuras Tubulares

Marco Antonio Caballero Guerrero¹, M. Elena Martinez-Perez² y Alejandro Aguilar Sierra³

¹ Facultad de Ciencias, UNAM

² Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, UNAM

³ Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM

Paper received on 09/08/10, Accepted on 20/09/10.

Resumen: El presente trabajo propone y describe un sencillo método de reconstrucción de estructuras tubulares, utilizando líneas y mallas de triángulos para generar el modelo tridimensional. Debido a que en el cuerpo humano encontramos numerosos ejemplos de éste tipo de estructuras, sobretodo el sistema vascular, la visualización médica exige aplicaciones que permitan detectar cambios anormales en el grosor de los tubos, ángulos de bifurcación, entre otras características geométricas, diagnosticando posiblemente la presencia de alguna enfermedad de importancia. Así, presentamos los primeros pasos en la generación de una malla que reproduzca adecuadamente la naturaleza de los tubos, resolviendo particularmente las zonas de bifurcación.

1 Introducción

Hoy en día, las aplicaciones por computadora encaminadas a la detección y tratamiento de enfermedades requieren imprescindiblemente la reconstrucción tridimensional de modelos del cuerpo humano, o bien, de órganos específicos que faciliten el análisis médico, permitiendo tener diagnósticos más acertados. De esta forma, la disciplina de la visualización encuentra en tales tareas un extenso campo de trabajo, en el que médicos y especialistas demandan de forma creciente sistemas avanzados que interpreten fiel y claramente los datos procesados. Por tanto, resulta de importancia el uso de métodos y esquemas apropiados para su representación, entre otras, la generación de modelos 3D mediante mallas.

Dentro de las estructuras del cuerpo humano más comunes se encuentran las tubulares, cuyos modelos y técnicas de mallado han sido discutidos ampliamente en la literatura. Así, diversos trabajos han propuesto representar los tubos mediante geometrías elípticas y cilíndricas, tal es el caso de La Cruz *et al.* [2004], en donde describen las superficies de este tipo empleando dimensión, orientación y densidad específicos del interior y exterior del tubo; además las secciones elípticas de cruce son modeladas mediante un punto elegido como centro (x_0, y_0) , dimensiones del radio (r_x, r_y) y coeficientes de densidad interna y externa.

Por su parte, Barratt *et al.* [2004] muestran la reconstrucción de bifurcaciones de la arteria carótida, donde las superficies son representadas por esquemas geométri-

cos, definidos a través de elipses en sentido transversal a la dirección vertical del tubo, así como el uso de curvas *splines* paramétricas.

Otros más como Yim *et al.* [2001], además de definir un sistema paramétrico de coordenadas tubulares, llevan a cabo un procedimiento de mezcla de vértices al fusionar estructuras para mantener espacio entre los vértices y evitar autointersecciones en la superficie. No obstante, algunos autores han optado por el uso de otro tipo de superficies en vez de curvas elípticas y cilindros; como referencia, se encuentra la concatenación de conos truncados propuesta por Hanh *et al.* [2001], donde emplean voxels para generar una estructura de tipo árbol que represente el esqueleto del vaso, suprimen aquellas ramas menos relevantes cuya longitud esté por debajo de cierto umbral definido y generan una bifurcación con el mismo ángulo de abertura para cada rama hija si tal bifurcación tiene un comportamiento simétrico. Por otra parte, Li *et al.* [2007] deciden aproximar el esqueleto tubular a través de curvas NURBS, para posteriormente cubrir el volumen correspondiente extendiendo círculos deformables, cuyos radios varían de acuerdo a la posición de los puntos de control a lo largo de la curva.

De esta manera, ya sea mediante uno de los procesos citados, o algún otro semejante, puede notarse que, generar modelos para reconstruir y visualizar adecuadamente los tubos, facilitarían en buena medida el diagnóstico médico. Siguiendo tal idea, el presente trabajo describe los primeros pasos en la generación de una malla para visualizar estructuras tubulares, en particular, de vasos retinales.

2 Método de mallado 3-D

Comúnmente, la geometría vascular observada aparece constituida por un cuerpo central rodeado de ramificaciones periféricas, o bien, todo un esquema arborescente de ramas y bifurcaciones, donde el estudio médico se enfoca en detectar aquellas zonas a lo largo de los tubos que presentan anomalías, distinguiendo, en ocasiones, ciertos cambios peculiares en el grosor y/o bifurcación de los mismos. Con tal observación, la construcción de la malla debe reproducir lo más exacto y real posible la superficie tubular, además de considerar cómo están dispuestos los valores de entrada para adaptarlos correctamente al método elegido.

Para ello, el punto de partida son los datos numéricos extraídos con el sistema RISA (*Retinal multiScale System Analysis*) [Martínez-Perez et al., 2007] y posteriormente reconstruidos en 3D [Martínez-Perez y Espinosa-Romero, 2004], los cuales están dispuestos en una colección de archivos de texto, cada uno de ellos conteniendo un listado de cinco columnas n_{ki} , x_i , y_i , z_i , r_i , donde la terna (x_i, y_i, z_i) , $i=1, \dots, N$ corresponde a un punto P_i en R^3 con radio r_i (valor promedio para un número finito de puntos), cuya etiqueta n_{ki} es el identificador de los puntos P_i del segmento k en el árbol vascular, donde $k=1, \dots, M$, con M el número de segmentos del árbol (Figura 1).

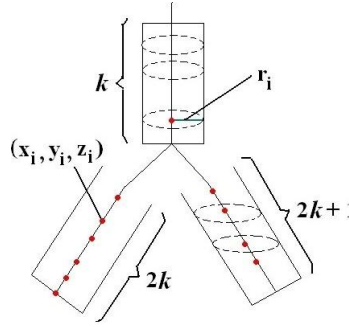


Figura 1. Representación interna de los datos procesados. Los puntos en rojo indican algunos de los puntos P_i de la lista. Las etiquetas (identificadores) de los segmentos se representan bajo la regla $[k, 2k, 2k+1]$, donde k indica el identificador para el primer segmento antes de la bifurcación, y $2k, 2k+1$ son las etiquetas de las ramas hijas de la bifurcación.

2.1 Obtención de puntos de la malla

Con base en la idea de curvas paramétricas y cilindros, proponemos construir la malla proporcionando una colección de vértices y utilizando las primitivas necesarias de la biblioteca gráfica *OpenGL*, sobre el lenguaje de programación *C++* para el trazado de las líneas entre dichos puntos.

Primeramente, se tomó el listado arriba descrito para generar puntos sobre la circunferencia paramétrica C_i determinada por el punto P_i y el valor r_i (centro y radio de la circunferencia, respectivamente), tal que:

$$C_i(t) = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid X^2 + Y^2 = r^2, t \in [0, 2\pi]\},$$

$$\text{donde} \quad \begin{cases} X = x_i + r_i * \cos(t) \\ Y = y_i + r_i * \sin(t) \end{cases}$$

(1)

Como vemos, la coordenada z_i del punto solo es considerada para determinar la posición del plano XY sobre la que se coloca la circunferencia, de modo que tales círculos consisten en secciones transversales al eje Z . Así, una vez conseguidos los vértices (los cuales son obtenidos en tiempo de ejecución), se realiza una inspección sobre los datos de **entrada** seleccionados previamente para determinar el primero y el último puntos del segmento k en turno (véase Figura 1).

2.2 Trazado de líneas

En esta parte del proceso se unen los puntos mediante `GL_LINES_STRIP`⁴ trazando las circunferencias transversales al eje Z (Figura 2(a)). Asimismo, para generar el cuerpo cilíndrico se trazan líneas o mallas de triángulos (`GL_LINES` y `GL_TRIANGLE_STRIP`, respectivamente, según determine el usuario) entre dos círculos siempre y cuando los identificadores `nk` de las entradas correspondientes pertenezcan al mismo segmento `k` (Figura 2(b)).

Hasta aquí hemos generado los cilindros de cada segmento sin considerar la zona de bifurcación que hay entre ellos. Para resolver la malla en esta región, de manera preliminar, unimos los vértices finales de la rama padre con los vértices iniciales de cada una de las ramas hijas, sin considerar, por ahora, las posibles intersecciones y superposiciones generadas entre líneas de la malla (Figura 2(c)).

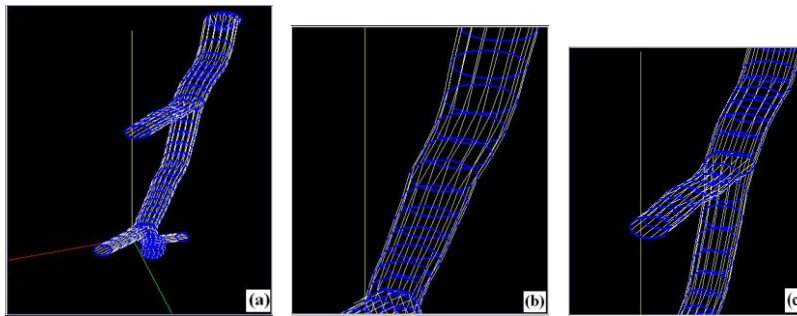


Figura 2. Visualización tridimensional de estructura tubular. (a) Representación 3-D del vaso (el eje Z en color amarillo), (b) región del cuerpo tubular (las circunferencias en color azul, la malla en color blanco y (c) bifurcación, obsérvese la malla que une los segmentos.

3 Resultados

Utilizando el método anterior, se realizó la ejecución del programa con algunos archivos de puntos generados por RISA [Martínez-Pérez et al., 2007], [Martínez-Pérez y Espinosa-Romero, 2004]. Moviendo la posición de la cámara para observar los detalles más relevantes, vemos en la Figura 3 una representación tubular aceptable, donde la malla parece suave, debido a la relativa simetría de la estructura. La Figura 3(a) muestra la malla usando `GL_LINES` entre circunferencias, mientras que

⁴ `GL_LINES_STRIP` es una de las primitivas básicas de *OpenGL*.

en Figura 3(b) empleamos GL_TRIANGLE_STRIP rellenando el volumen de la superficie.

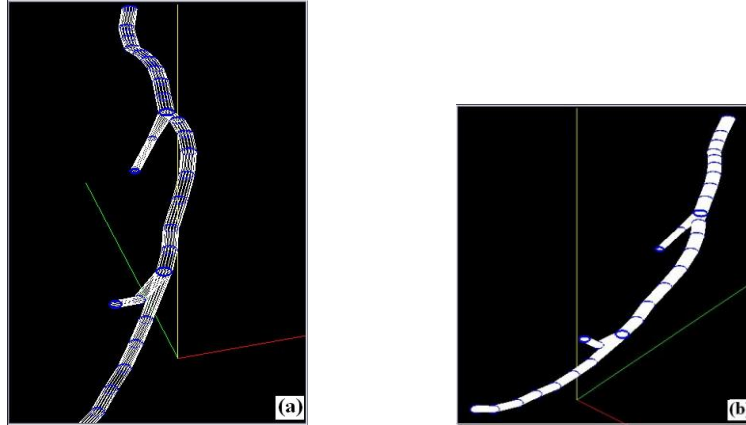


Figura 3. Reconstrucción tubular apropiada, favorecida por la simetría de los puntos centrales del esqueleto. (a) Malla trazada con GL_LINES y (b) malla trazada con GL_TRIANGLE_STRIP vista desde otro ángulo.

Nótese que en las regiones donde el vaso mantiene una dirección uniforme la malla está mejor definida. En cambio, en la Figura 4 en algunas ramas próximas a una bifurcación, las circunferencias se encuentran más separadas tanto horizontal como verticalmente (Figura 4(a)). Esto claramente dificulta el correcto trazado del tubo, pues si realizamos la triangulación entre dos circunferencias contiguas donde se presente este problema, obtenemos una superficie con volumen reducido y casi completamente plana (Figura 4(b), (c)).

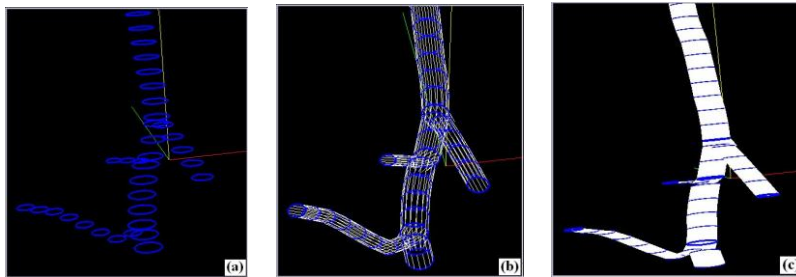


Figura 4. Visualización del trazado de la malla. (a) Circunferencias transversales al eje Z (obsérvese la separación entre circunferencias contiguas), (b) trazado de líneas de la estructura y (c) malla generada con GL_TRIANGLE_STRIP (se distingue una superficie con poco volumen).

4 Conclusión y Trabajo a Futuro

Hemos mostrado un procedimiento que, en términos generales, adapta de manera sencilla los datos que tenemos al modelo tridimensional logrado. Asimismo, la generación de los puntos sobre la malla se consigue fácilmente mediante una parametrización muy simple y poco costosa en cuanto a operaciones aritméticas (Figura 2(a), (b) y Figura 3).

Sin embargo, aunque todavía no se resuelve correctamente las zonas de bifurcación (de modo que evite la superposición de líneas entre segmentos), une los segmentos de forma sencilla y rápida si deseamos tan sólo apreciar la estructura cerrada del tubo (Figura 2(c)). Por otra parte, una desventaja evidente es la disminución del volumen en las regiones donde las circunferencias se encuentran más separadas, lo anterior debido a que se toman los círculos en secciones transversales al eje Z siempre (Figura 4).

Una posible solución a esto último es tomar la línea central del esqueleto formada por los puntos P_i y trazar las circunferencias perpendicularmente a éste. Para solucionar la malla en la zona de bifurcación, podríamos obtener puntos de una esfera central entre los tres segmentos que forman la bifurcación y utilizar técnicas de mado con NURBS para completar el modelo.

Referencias

1. Barratt, D., Ariff, B., Humphries, K., Thom, S., y Hughes, A. (2004). Reconstruction and quantification of the carotid artery bifurcation from 3-D ultrasound images. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, **23**(5), 567–583.
2. Hahn, H., Preim, B., Selle, D., y Peitgen, H.-O. (2001). Visualization and interaction techniques for the exploration of vascular structures. In *Visualization, 2001. VIS'01. Proceedings*, pages 395–578.
3. La Cruz, A., Straka, M., Kochl, A., Sramek, M., Groller, E., y Fleischmann, D. (2004). Non-linear model fitting to parameterize diseased blood vessels. In *Proceedings of the conference on Visualization '04*, pages 393–400, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
4. Li, J., Regli, W. C., y Sun, W. (2007). Mathematical representation of the vascular structure and applications. In *SPM '07: Proceedings of the 2007 ACM symposium on Solid and physical modeling*, pages 373–378, New York, NY, USA. ACM.
5. Martinez-Perez, M. E. y Espinosa-Romero, A. (2004). Retinal blood Vessel 3D Reconstruction from two views. In *4th Indian Conference Vision and Graphics*, págs. 258–263.
6. Martinez-Perez, M. E., Hughes, A.D., Thom, S.A., Bharath, A. A., y Parker, K. H. (2007). Segmentation of blood vessels from red-free and fluorescein retinal images. *Medical Image Analysis*, **11**(1), 47–61.
7. Yim, P., Cebal, J., Mullick, R., Marcos, H., y Choyke, P. (2001). Vessel surface reconstruction with a tubular deformable model. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, **20**(12), 1411–1421.