

Three-Dimensional Object Reconstruction

Reconstrucción Tridimensional de Objetos

Miller Gómez Mora ¹

Leonardo Flórez Valencia ²

Fecha de recepción: 30 de noviembre de 2011

Fecha de aceptación: 18 de enero de 2012

Abstract

Tridimensional object reconstruction is achieved by obtaining the object's representation in the computer memory maintaining the volume and shape features. This is known as three-dimensional model. Depending on the mathematical and conceptual formulation, these models can be classified into three types: geometric models, solid models and volumetric models. The development of these models offers a set of tools that allow us to study the properties of objects that one want to represent and display the information contained on these objects. This facilitates the observer to understand and interpret the information as well as to manipulate and simulate the real object on the computer model. This article aims to review the context in which three-dimensional objects reconstruction is developed. We want to establish an overview of terminology to exhibit and raise the problems that arise in this area.

Keywords: computer graphics; 3D reconstruction; volume modeling; volume visualization.

1 Ingeniero de sistemas, Universidad Técnica de Geografía (CEI). Especialista en Teleinformática y Magister en ciencias de la información y las comunicaciones, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Estudiante del doctorado en ingeniería, Universidad Javeriana de Bogotá. Profesor tiempo completo de la Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Emails: mgomez@udistrital.edu.co, miller.gomez@javeriana.edu.co.

2 Ingeniero de sistemas, Universidad de los Andes. Magister en ciencias de la computación, Universidad de los andes. PhD. En imágenes y sistemas, Universidad INSA Lyon Francia. Profesor tiempo completo del departamento de sistemas, Universidad Javeriana de Bogotá. Email: florez-l@javeriana.edu.co.

Resumen

La reconstrucción de un objeto tridimensional se logra mediante la obtención de su representación en la memoria de un computador manteniendo sus características de volumen y forma, lo que se conoce como modelo tridimensional. Dependiendo de la formulación matemática y conceptual, estos modelos se pueden clasificar en tres tipos: Modelos geométricos, Modelos de sólidos y Modelos de volúmenes. Con el desarrollo de estos modelos se ofrece un conjunto de herramientas informáticas que permiten estudiar las propiedades de los objetos que se representan, visualizar la información contenida en estos objetos de forma que se facilite al observador el comprender e interpretar dicha información así como simular la manipulación del objeto real sobre el modelo computacional. En este artículo se presenta el contexto en el que se desarrolla el modelado volumétrico. Se quiere establecer una visión general que permita exponer la terminología y plantear los problemas que se presentan en este ámbito.

Palabras claves: computación gráfica; reconstrucción tridimensional; modelado de volúmenes; visualización volumétrica.

1. Introducción.

En el área de la computación gráfica, los modelos tridimensionales son representados en el computador mediante una estructura lógica de datos, que almacena la información referente al objeto, y un algoritmo que permite que el usuario interactúe con dicha información. Dependiendo de la formulación matemática y conceptual, estos modelos se pueden clasificar en tres tipos: Modelos geométricos, Modelos de sólidos y Modelos de volúmenes.

El modelo geométrico es útil para representar principalmente la información geométrica del modelo tridimensional. Esta representación, aunque es sencilla, no es muy útil ya que no se puede determinar, por ejemplo, si un punto está o no en el interior del objeto lo

que hace muy difícil realizar operaciones con este tipo de modelos. Sin embargo, este modelo hace parte integral tanto del modelo de sólidos como del modelo de volúmenes.

En la sección II se describen los métodos de representación de objetos sólidos. Los modelos de este tipo permiten establecer claramente las propiedades que se requieren para el modelado de objetos reales y que permiten, en algunos casos y con alguna extensión adicional, representar la falta de homogeneidad que persiguen los modelos de volumen.

En la sección III se presenta los principales elementos que se requieren a la hora de establecer un determinado modelo de volumen.

En la sección IV se presenta las dos grandes estrategias utilizadas para abordar la visuali-

zación de volúmenes: la visualización directa de volúmenes y la visualización mediante extracción de isosuperficies. Finalmente, en la sección VI se concluye con algunas sugerencias para trabajos futuros.

2. Modelado de Sólidos

En un modelo de sólidos se almacena información tanto geométrica como topológica lo que permite determinar las propiedades de los objetos de forma concisa y precisa. Sin embargo, se debe tener en cuenta que en este tipo de modelos se considera el interior del objeto de forma homogénea lo que no suele ser válido en muchas aplicaciones científicas principalmente.

2.2 Representación de Sólidos

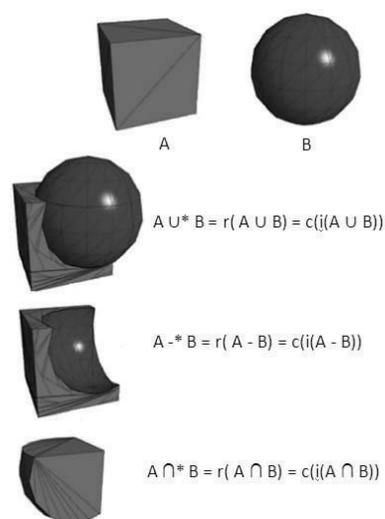
Se puede considerar al Espacio Euclidiano Tridimensional E^3 como una abstracción adecuada del espacio real en el que se encuentran los objetos que se quiere modelar. Al representar los objetos sólidos dentro de este espacio Euclidiano, se pueden modelar estos como subconjuntos de E^3 . Según este enfoque, se puede considerar a un sólido como un subconjunto S cerrado y acotado de puntos en el espacio Euclidiano el cual, según [1], debe cumplir las condiciones de Rigidez, Representación finita y Regularidad. Un conjunto regular y acotado se denomina r -set (conjunto regular), pero esta definición de r -set no establece restricciones en cuanto a que el conjunto sea conexo y no pueda presentar huecos o túneles (agujeros que lo atravesaran completamente).

Los r -sets no son algebraicamente cerrados bajo el conjunto de operaciones algebraicas tradicional. Para cumplir la propiedad de regularidad se ha establecido un conjunto de operaciones booleanas regularizadas [2], el

cual proporciona un resultado correcto realizando la clausura del interior del conjunto resultado de la operación booleana clásica, es decir, al aplicarse a dos sólidos siempre se obtiene un sólido. Estas operaciones se pueden observar en la figura 1.

Para representar computacionalmente un sólido se puede tomar dos estrategias: expresar el r -set incluyendo su interior y frontera como en el caso de las representaciones constructivistas (C-Rep) o, utilizar solamente una expresión de frontera (B-Rep). En el segundo caso es posible utilizar un modelo matemático en tanto que el interior de un sólido es homogéneo y no se almacena información sobre este. Haciendo uso de esta alternativa se representa un objeto 3D mediante una superficie (modelo 2D).

Figura 1. Resultado de aplicar operaciones regularizadas de Unión, Intersección y Diferencia entre los sólidos A y B. Estas operaciones fueron creadas usando lightgl.js.



Las condiciones que tiene que cumplir una superficie para representar un sólido son:

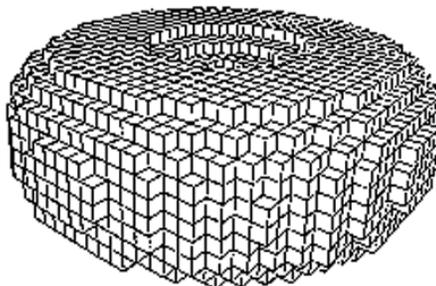
debe ser cerrada y completa, no debe intersecar consigo misma y debe delimitar el interior y el exterior unívocamente. Una superficie que cumpla estas condiciones se denomina frontera del sólido. Los modelos basados en frontera suelen implementarse en el computador mediante poliedros. Entre sus ventajas tenemos que el espacio que se requiere para su almacenamiento es mínimo y el tiempo para realizar una transformación de carácter geométrico es un proceso fácil y rápido. Sin embargo, como ya se ha mencionado, este tipo de modelos no permite almacenar directamente información sobre el interior del objeto.

Así mismo, en [1] se establece una clasificación de las representaciones adecuadas para modelar el interior de los sólidos en dos grandes clases: Modelos por descomposición y Modelos constructivos.

2.1.1 Representación por descomposición espacial

La noción de sólido abstracto recogida en los modelos matemáticos hace que los objetos sólidos se vean como conjuntos de puntos continuos. Al ser imposible almacenar en el computador todo el conjunto de puntos que constituye el sólido se opta por discretizar el espacio ocupado por éste. De esta forma, el sólido se representa descomponiendo el espacio que ocupa en un conjunto de celdas, manteniendo información topológica relativa a cada una de ellas, ver figura 2.

Figura 2. Subdivisión espacial total de un toroide.



La clase de celdas utilizadas y la forma en la que se combinan determina las diferentes estrategias llevadas a cabo para su representación. No obstante, las distintas estrategias tienen un requisito en común, las celdas deben ser disyuntas o tener solamente caras y/o aristas y/o vértices en común. Es decir, deben formar un recubrimiento espacial del sólido sin solapamientos entre celdas, o lo que es lo mismo, una partición espacial.

Debido a la gran cantidad de datos que se suelen manejar cuando se representa un modelo tridimensional, en el que haya que tener en cuenta la topología algebraica, lo usual es utilizar un algoritmo que determine qué partes del modelo son visibles y qué partes son ocultas para el observador. De tal forma que solamente se tratan computacionalmente aquella que el usuario está observando en ese momento. Con este fin se utilizan diferentes métodos de subdivisión espacial entre los más utilizados se tiene Bintree, binary space partition (BSP) [3] y Octrees [4].

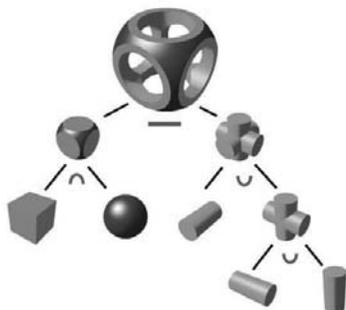
2.1.2 Representaciones constructivas C-Rep.

Como se ha visto en la sección anterior, los esquemas de descomposición espacial presentan la característica común de que las

celdas forman una partición del sólido abstracto definido como conjuntos de puntos discretos. En las representaciones constructivas, también conocidas como geometría sólida constructiva (CSG), se utilizan unos objetos simples llamados primitivas que permiten representar los conjuntos de puntos mediante operadores booleanos regularizados y transformaciones rígidas aplicadas sobre ellos. Para definir las primitivas se utilizan conjuntos de semiespacios, que a su vez suelen venir definidos mediante superficies implícitas, $F(x,y,z)=0$. De esta forma, la superficie divide el espacio en dos porciones. $F(x,y,z) \geq 0$ y $F(x,y,z) < 0$.

Las primitivas vienen definidas normalmente por el resultado de la intersección del conjunto de semiespacios asociados. Las representaciones están formados por árboles binarios, los nodos no terminales representan operaciones que pueden ser transformaciones rígidas u operaciones booleanas regularizadas: unión, intersección o diferencia. Los nodos terminales pueden representar las primitivas que permita el esquema de representación o bien los argumentos de las transformaciones globales, ver figura 3.

Figura 3. Ejemplo de un árbol binario para una representación constructiva utilizando operaciones regularizadas, creado en POV-Ray.



Debido a la estructura de la representación, estos esquemas se diferencian de las representaciones por descomposición espacial en que no se mantienen de forma explícita las características geométricas y topológicas del objeto representado. Para realizar operaciones sobre el objeto es necesario evaluar el árbol de la representación ya que sus distintos nodos son los que especifican la forma del objeto final [6]. En cuanto a las propiedades, el esquema es no ambiguo y conciso pero no es único. La ventaja que presenta es que se puede garantizar la validez de las representaciones de forma automática utilizando operaciones de combinación que aseguren la clausura del objeto resultado de la aplicación de dichas operaciones [1].

2.2 Modelado implícito.

Este enfoque de modelado es apto tanto para el modelado de sólidos como para el modelado de volúmenes. Se basa en la aplicación de funciones implícitas. Esta forma de expresar funciones permite asignar un valor a cualquier punto del espacio en el que se esté trabajando (3D en este caso $f(x,y,z)$). A partir de este hecho, se puede definir una superficie implícitamente estableciendo una condición $f(x,y,z)=0$ (o un volumen mediante la condición $f(x,y,z) \geq 0$). La función f no describe explícitamente la superficie (o el volumen) pero implica su existencia. Por consiguiente, la función f permite caracterizar un volumen.

Muchos tipos de funciones proporcionan un valor distinto de cero para un punto p , y este valor es proporcional a la distancia entre p y la superficie $f(x,y,z)=0$. El modelado implícito usa esta propiedad y utiliza funciones de distancia. Las funciones de distancia calculan una distancia euclidiana a un conjunto de primitivas de generación de campo, como por ejemplo, puntos, líneas o polígonos.

3. Modelado de volúmenes

La principal característica que diferencia al modelado de volúmenes frente al modelado de sólidos se sustenta en que en los modelos volumétricos se almacena, además de información geométrica y topológica, datos que describen el volumen del objeto por medio de la representación de una o más de las propiedades contenidas en el interior de dicho objeto. Algunas de las fuentes más comunes que proporcionan los valores de propiedad que posteriormente serán utilizados para construir las representaciones volumétricas son Microscopia confocal [7], simulación de fenómenos físicos, muestreo de objetos definidos de forma continua [8] (voxelización [9]) y las imágenes médica [10]. Normalmente estos datos se denominan datasets a diferencia de los r-sets utilizados para manipular objetos sólidos.

Un modelo de volumen puede ser visto como el proceso de modelado de datos volumétricos, así mismo se puede considerar como una generalización (en dimensión) del modelado de superficies o se puede ver como el medio para proporcionar la entrada al proceso de renderización volumétrica [11]. En cualquier caso los esquemas de representación de volumen deben establecer una correspondencia entre los conjuntos de puntos mediante una relación trivaluada cuya variable independiente sea una posición en el espacio 3D y cuya variable dependiente sea un escalar, una tupla de escalares, o un vector, que represente dicha propiedad.

3.1 Representación de volúmenes.

El desarrollo de dispositivos de captura y medición que permiten el muestreo de una determinada propiedad de objetos del mundo real, ha generado la necesidad de establecer representaciones computacionales que

permitan trabajar con tales datos. Junto a estos dispositivos, la simulación de fenómenos físicos mediante métodos numéricos proporciona, de la misma forma, otro amplio conjunto de datos volumétricos denominados datasets.

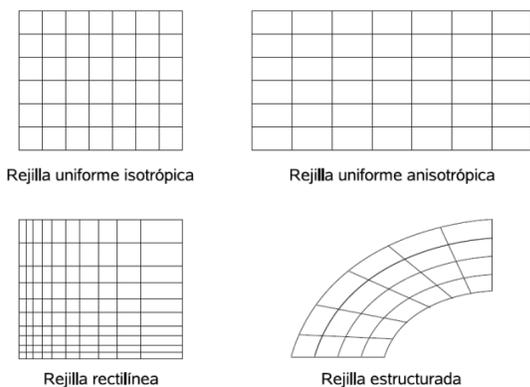
Con el objetivo de establecer una representación volumétrica, se obtienen las coordenadas de un número, normalmente elevado, de puntos y se mide algún valor de propiedad en cada una de estos, muestreando todo el volumen ocupado por el objeto de interés. Este conjunto de muestras, posición y valor, podría considerarse como una representación computacional. Sin embargo, para evitar la ambigüedad de esta representación es necesario dotar de significado topológico a la colección de muestras.

El modelo comúnmente utilizado se basa en utilizar celdas para especificar la topología de la representación, y las coordenadas de las muestras para especificar la geometría. De esta forma se consiguen representaciones completas a partir de los conjuntos de puntos muestreados. Las coordenadas mantienen información de los datos conocidos y las celdas permiten interpolar entre puntos, permitiendo establecer un valor de propiedad para todo el dominio de interés (volumen) de la relación trivaluada. Las celdas se definen especificando una secuencia ordenada de puntos, esta secuencia ordenada especifica las relaciones de conectividad, la cual determina la topología de la celda. Las coordenadas de dichos puntos especifican la geometría de cada celda.

La estructura que presentan los puntos especifica las relaciones que presentan las celdas y los puntos, y permite clasificar el tipo de representaciones utilizadas. Las representaciones se pueden caracterizar atendiendo a si su estructura es regular o irregular. Una

representación es regular si existe una relación matemática única entre los puntos y las celdas. Si los puntos presentan una estructura regular, entonces la geometría de la representación es regular. Si la relación topológica entre celdas es regular, entonces la topología de la representación es regular. Los datos que presentan una estructura regular pueden ser representados implícitamente, con el consiguiente ahorro de memoria y tiempo de procesamiento. Por el contrario, los datos que presentan una estructura irregular deben ser representados explícitamente. En la figura 4 se presentan algunas de las representaciones basadas en celdas o rejillas más comúnmente usadas.

Figura 4. Representaciones 2D basadas en celdas o rejillas



3.2 Funciones de interpolación

Las representaciones basadas en celdas mantienen solamente valores de propiedad en los puntos, independientemente de que estos hayan sido suministrados por aparatos de medida o hayan sido muestreados a partir de representaciones continuas. A menudo es necesario determinar el valor de propiedad en posiciones distintas a los puntos, por lo que se hace necesario interpolar los valo-

res de propiedad situados en los puntos mediante funciones de interpolación. Las funciones de interpolación permiten calcular el valor de propiedad en cualquier punto situado en el interior de una celda con base en el valor de propiedad de los puntos de la celda.

Para calcular el valor de propiedad de un punto p contenido en una celda constituida por los puntos p_i es necesario disponer de: los valores de propiedad asociados a cada punto, las coordenadas paramétricas del punto p en la celda y la función de interpolación escogida para el tipo de celda. De esta forma, la función de interpolación es una combinación lineal de los valores de propiedad en los puntos p_i de la celda que presenta la siguiente forma general: $v = \sum_{(i=0:n-1)} W_i v_i$

Donde v es el valor de propiedad en la posición (x,y,z) de la celda, v_i es el valor de propiedad asociado al punto p_i y W_i es el peso asociado al punto p_i . Los pesos (funciones de interpolación) son funciones de las coordenadas paramétricas $W_i = W(r, s, t)$ del punto p .

Debido a que es primordial mantener el valor de propiedad asociado a los puntos de la celda, cuando el punto p coincide con cualquier punto p_i es necesario que el valor de propiedad calculado coincida con el del punto. Para ello, se impone la siguiente restricción adicional a los pesos.

$$W_i = 1, W_j = 0 \text{ cuando } p = p_i \wedge i \neq j$$

Para dotar de coherencia al valor calculado en el interior de las celdas, adicionalmente se necesita que d no sea menor que el mínimo valor de propiedad asociado a los p_i ni mayor que el máximo. Por consiguiente, los pesos también deben satisfacer la siguiente restricción: $\sum W_i = 1, 0 \leq W_i \leq 1$.

Un ejemplo de la utilización de funciones de interpolación se puede hallar en [12] donde se utilizan funciones de base radial para la reconstrucción y representación de objetos 3D. EL autor concluye que debido a los métodos rápidos para el ajuste y la evaluación de RBFs es posible modelar grandes conjuntos de datos, que consta de millones de puntos de superficie, con una sola RBF, una tarea que antes era imposible de desarrollar.

3.3 Operaciones sobre representaciones discretas de volumen

En esta sección se presenta una clasificación general del tipo de operaciones que se llevan a cabo sobre representaciones discretas de volumen [13], de las cuales, las dos primeras pueden ser adaptadas a modelos de sólidos.

3.3.1. Operaciones geométricas:

Estas operaciones modifican la geometría del dataset manteniendo inalterada su topología. Normalmente se trata de modificar las coordenadas de las muestras mediante transformaciones rígidas de rotación, traslación o escalado. Además, las operaciones de modelado que alteran la forma del dataset forman parte de esta categoría.

3.3.2. Operaciones topológicas:

Existe dos operaciones principales de este tipo: La primera es determinar la dimensión topológica de una celda en donde dada una celda C_i de dimensión topológica d , la celda está compuesta implícitamente por celdas frontera de dimensión topológica $d-1, d-2, \dots, 0$. En nuestro caso, normalmente trabajamos con $d=3$ y las dimensiones menores se corresponden con caras, aristas y vértices. Este tipo de operaciones devuelve información sobre el número de celdas de dimensión menor que

forman la frontera de la celda, así como una lista ordenada de los vértices que definen cada una de las celdas de menor dimensión. La segunda operación es acceder a celdas vecinas lo que permite recabar información topológica sobre adyacencia de celdas. Las operaciones típicas son determinar las celdas vecinas a una celda u obtener una lista de todas las celdas que contienen un punto determinado. De forma análoga las operaciones de modelado forman parte de esta categoría.

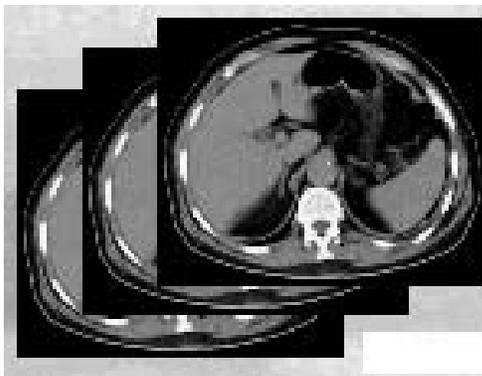
3.3.3. Operaciones sobre propiedades:

Estas operaciones transforman los valores de propiedad y crean nuevos valores de propiedad a partir de los datos de entrada. La estructura del dataset no se ve alterada por este tipo de operaciones. Las técnicas de correspondencia de color (color mapping) mediante tablas de color o funciones de transferencia son un ejemplo típico de este tipo de operaciones. Las técnicas de extracción de isosuperficies también pueden ser consideradas en este tipo de operaciones, aunque puedan hacer uso de operaciones topológicas.

4. Visualización volumétrica

La visualización es la operación que permite procesar las representaciones de volumen con el objetivo de obtener imágenes. Los primeros trabajos sobre visualización de volúmenes trabajaban slice a slice. La idea clave era extraer los contornos que delimitan el objeto de interés sobre cada uno de los slice y posteriormente unir esos contornos mediante polígonos para obtener una aproximación de la superficie de frontera [14], [15]. El problema se conoce como reconstrucción de objetos 3D a partir de series de secciones transversales, ver figura 5.

Figura 5: Reconstrucción de objetos 3D a partir de series de secciones transversales



En [16] se presentó el algoritmo cuberille, que permite evitar el paso de detección de contornos en cada slice. En este trabajo se considera que las muestras voxels forman un conjunto de cubos que no se solapan. El algoritmo de detección de superficies produce una aproximación a la superficie a visualizar utilizando las caras de los cubos. A diferencia de los primeros métodos, este garantiza la continuidad de la superficie extraída.

A finales de los 80 y principio de los 90 varios trabajos abordan la visualización de volúmenes usando para ello una aproximación de superficies definidas implícitamente llevada a cabo mediante triángulos. Estas isosuperficies se pueden extraer bien a partir de los datasets o bien a partir de expresiones analíticas. Junto a esta estrategia surge otra forma de visualizar volúmenes que sigue un camino más directo, evitando el paso intermedio de generación de primitivas poligonales.

La aplicación de diferentes tonalidades (shading) a las imágenes generadas por computador les proporciona un grado de realismo extra. En la generación de imágenes a partir de representaciones volumétricas se utiliza a menudo el valor gradiente para aproximar la

normal a la superficie de cara a utilizar un modelo iluminación. El modelo de Phong [17] se usa ampliamente tanto para la extracción de isosuperficies como en la visualización directa

4.1 Visualización directa de volúmenes

La visualización directa de volúmenes (direct volumen rendering) genera imágenes directamente a partir del dataset sin la necesidad de extraer previamente una representación poligonal. Estas técnicas utilizan un modelo óptico para establecer una correspondencia entre valores de las muestras y determinadas propiedades ópticas como el color y la opacidad. Durante el proceso de generación de imágenes, las propiedades ópticas se acumulan a lo largo del rayo de visión para formar una imagen de datos. Los valores asociados a posiciones distintas a las muestras se obtienen mediante la interpolación de elementos de volumen vecinos. Los parámetros ópticos pueden venir especificados por los valores de las muestras, o pueden calcularse aplicando funciones de transferencia sobre los datos, ver figura 6.

Figura 6: Visualización directa de volúmenes, creada usando VTK



Muchos trabajos han mejorado el rendimiento de los algoritmos de visualización directa mediante la utilización de técnicas de aceleración hardware. Este campo de trabajo se conoce como visualización de volumen basada en texturas.

4.2 Aproximación de Superficies Definidas Implícitamente

La idea de esta estrategia se basa en aproximar mediante una representación poligonal (normalmente una malla de triángulos) una isosuperficie definida a partir de una representación de volumen. Una superficie definida implícitamente está formada por todos los puntos $x \in \mathbb{R}^3$ tales que $p(x) = c$ siendo $p: \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}$ un campo escalar y $c \in \mathbb{R}$ una constante. La superficie resultante se denomina c -superficie. El campo puede estar representado mediante una función continua o como un conjunto de valores muestreados y una función de interpolación por partes, correspondiendo cada parte con una celda de la representación.

Los dos primeros trabajos que abordaron el problema de la extracción de isosuperficies fueron [18], [19]. Ambos métodos utilizan una rejilla uniforme de celdas cúbicas del mismo tamaño. Sin embargo, a pesar de ser posterior el algoritmo Marching Cubes de Lorensen es el que más amplia repercusión ha tenido.

Se puede estudiar la aproximación poligonal a la isosuperficie considerando su correctitud topológica y el grado de precisión alcanzado con relación a la isosuperficie definida sobre el volumen. La forma cúbica, escogida mayoritariamente para las celdas, puede presentar problemas de ambigüedad topológica, lo cual puede provocar la aparición de agujeros en las superficies extraídas. Los métodos que abordan la solución a este problema se ba-

san en asegurar la consistencia topológica a la hora de elegir el sistema de polígonos que aproximan a la isosuperficie, e incluso, asegurar la correctitud topológica que es la fidelidad a la geometría de la superficie, bien sea $f(P_i) = 0$ en representaciones continuas, o $F(P_i) = c$ en representaciones discretas.

5. Discusión y Conclusiones.

Se ha mostrado el marco de referencia en el cual se realiza la investigación sobre la reconstrucción tridimensional de objetos, centrándose en el establecimiento del marco formal y propiedades adecuadas para el modelado de volúmenes, junto con las principales estrategias de representación.

En la realización de este trabajo se ha podido evidenciar que ha habido una considerable investigación sobre el desarrollo de técnicas para la visualización volumétrica, pero muy poco en el modelado de los datos como tal. Esto es algo sorprendente ya que los beneficios potenciales de los modelos de volumen son enormes, además de proporcionar un medio para visualizar los datos, permite la generación de modelos jerárquicos y de multi-resolución que son de gran utilidad para un análisis eficiente, así mismo, el modelo de volumen puede servir como base matemática para subsecuentes simulaciones de ingeniería y análisis requerido para el diseño y fabricación.

Uno de los métodos para la representación de modelos de volumen es mediante la utilización de *funciones de base* donde se asume una forma general del modelo de volumen que incluye coeficientes y funciones de base en donde los datos volumétricos u otras consideraciones se utilizan para seleccionar los coeficientes de forma genérica al modelo. La pregunta de investigación para una aplicación en particular entonces sería ¿cómo seleccionar las funciones de base? y luego

¿cómo seleccionar el método de cálculo de los coeficientes del modelo de volumen?

Una idea para seleccionar las funciones de base proviene de la generalización de las funciones de base útiles para los problemas de dimensión inferior (1D y 2D). Por ejemplo, las splines han servido muy bien a la comunidad de modelado de superficies. Entonces la pregunta que surge es ¿cuáles son las funciones de base adecuada para un modelo de volumen basado en splines? Además, si las funciones de base tienen soporte local o global? Y si hay problemas de condicionamiento numérico en el cálculo de los coeficientes? Los problemas relacionados a si es más apropiado la interpolación o la aproximación deben ser igualmente abordado. Con base en este tipo de preguntas se requiere profundizar en el estudio de las funciones de base para la reconstrucción volumétrica de objetos.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo recibido del grupo de investigación COMPUPARALELA de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital y del grupo de investigación TAKINA del departamento de ingeniería de sistemas de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá. Igualmente se agradece a los colegas por sus valiosas críticas y sugerencias

Referencias

- [1] Mäntylä, M., and Sulonen, R. "An introduction to solid modeling". Computer science press 8,1, 45-60, 1988.
- [2] A.G. Requicha and R.B. Tilobe. "Mathematical foundations of constructive solid geometry: General topology of regular closed sets". Technical report, Tech. Memo. 27. Production Automation Project, Univ. Rochester, 1977.
- [3] Thibault, W.C., and Naylor, B.F. "Set operations on polyhedra using binary space trees". Computer Graphics (SIGGRAPH'87 Proceeding) 21, 4, 153-162, 1987.
- [4] Navarro, I., Ayala, D., and Brunet, P. "Extended octree representation of general solids with plane faces: Model structure and algorithms". Computer and Graphics 13, 1, 5-16, 1989.
- [5] S.R. Marschner and R.J. Lobb. "An evaluation of reconstruction filters for volume rendering". In Proceedings viaulization'94, pages 100-107, 1994.
- [6] A.G. Requicha. "Representation of rigid solids: Theory, Methods and Systems". ACM, 12(4): 437-464, 1980.
- [7] Carlos sanchez Martín. "Microscopía confocal". Technical report, servicio de microscopía confocal, 2003.
- [8] S. Wang and A. Kaufman. "Volume-sampled voxelization of geometric primitives". In Visualization'93. Pages 78-84, 1993.
- [9] A. Kaufman and E. Shimony. "3D scan-conversion algorithms for voxel-based graphics". In Proceedings of 1986 Workshop on Interactive 3D Graphics. Pages 51-64, 1986.
- [10] M.R. Styt, G. Frieder, and O. Frieder. "Three-dimensional medical imaging. Algorithms an computer systems". ACM Computing Surveys., 23(4):421-499, 1991.
- [11] G. M. Nielson. Volume Modeling. In: Volume Graphics, M. Chen et al(eds.), Springer, pp. 29-48, 2000
- [12] C. Carr1, R. K. Beatson, J. B. Cherrie. "Reconstruction and Representation of 3D Objects with Radial Basis Functions". ACM SIGGRAPH 2001, Los Angeles, CA, USA. 12-17, 2001.

- [13] W. Schroeder, K.M. Martin, and B. Lorensen. "The visualization toolkit: an object-oriented approach to 3D graphics". 4th Edition. Kitware, Inc, 2006.
- [14] Shiuh-Yung Chen, Wei-Chung Lin, Cheng-Chung Liang and Chin-Tu Chen. "Improvement on dynamic elastic interpolation technique for reconstructing 3D objects from serial cross sections". IEEE Trans. On Medical Imaging. 9(1):71-83, 1990.
- [15] J.M. Oliva, M. Perrin, and S. Conquillart. "3D reconstruction of complex polyhedral shapes from contours using a simplified generalized voronoi diagram". Computer Graphics Forum, 15(3): 397-408, 1996.
- [16] Gabor T. Hernan and Jayaram K. Udupa. "Display of 3D digital images: Computational foundations of medical applications". IEEE Computer Graphics and Applications, 3(5): 39-46, 1983.
- [17] B.T. Phong. "Illumination for computer generated pictures". Communications of the ACM, 18(6): 311-317, 1975.
- [18] Wyvill, C. McPheeters and B.Wyvill. "Data structure for soft objects". The Visual Computer. 2(4): 227-234, 1986.
- [19] William E.Lorensen and Harvey E.Cline. "Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm". SIGGRAPH'87-ACM Computer Graphics, 21(4): 163-169, 1987.