RECONSTRUCCIÓN DE OBJETOS DE FORMA LIBRE A PARTIR DE IMÁGENES DE RANGO EMPLEANDO UNA RED DE PARCHES NURBS

John Willian Branch Bedoya, M.Sc

Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de Doctor en Ingeniería - Sistemas.

Director
Prof. Flavio Prieto Ortiz, Ph.D

Co-Director
Prof. Pierre Boulanger, Ph.D

Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín
Facultad de Minas
Programa de Doctorado en Ingeniería – Sistemas

Medellín, Colombia
2007

RECONSTRUCCIÓN DE OBJETOS DE FORMA LIBRE A PARTIR DE IMÁGENES DE RANGO EMPLEANDO UNA RED DE PARCHES NURBS

John William Branch Bedoya, M.Sc

Comité Doctoral

Prof. Robert Bob Fisher, PhD
University of Edinburgh, Edinburgh, UK.

Prof. Humberto Loaiza Correa, PhD
Universidad del Valle. Cali, Colombia.

Prof. José Gildardo Osorio Gallego, PhD
Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Medellín, Colombia.

Prof. Pierre Boulanger, PhD
University of Alberta, Alberta, Canada.

Prof. Flavio Prieto Ortiz, PhD
Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales, Manizales, Colombia.

Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín
Facultad de Minas
Programa de Doctorado en Ingeniería – Sistemas

Medellín, Colombia
2007

Tabla de Contenido

Lista de Figuras

Lista de Tablas

Lista de Algoritmos

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN.

La reconstrucción 3-D es el proceso mediante el cual, objetos reales, son reproducidos en la memoria de un computador, manteniendo sus características físicas (dimensiones, volumen y forma).

El problema de la representación y reconstrucción de formas tridimensionales ha recibido una enorme atención en investigaciones de visión en la última década. El interés surge debido a que la teoría de formas tiene aplicaciones en una amplia variedad de campos, a saber: diseño geométrico asistido por computador, automatización de manufactura, mapeo de terrenos, conducción de vehículos, arqueología, restauración de obras de arte, vigilancia, entre otros. Pero además de cualquier aplicación práctica, el problema tiene mucho interés matemático y científico.

Encontrar un método útil y general para una representación mecanizada de formas ha resultado ser un problema no trivial. Los métodos que usan especificaciones numéricas están usualmente limitados en cuanto a generalidad. Estos son altamente precisos, pero comunmente están restringidos a un dominio específico. La reconstrucción de superficies es un problema importante en sí mismo y con frecuencia es usado como una fase intermedia en el objetivo global de representación y reconocimiento de objetos 3-D.

La reconstrucción se puede abordar desde el punto de vista de la interpolación o desde el punto de vista de la aproximación. La interpolación exige que la superficie generada pase por todos los puntos, pero si los datos contienen algún tipo de ruido adherido durante el proceso de adquisición, registro e integración, es más adecuada una superficie aproximada [40].

Esta tesis está enfocada a la representación de superficies de objetos de forma libre mediante aproximación; para lo cual no se tiene ninguna información *a priori* de la superficie (como su forma u orientación); sólo las coordenadas tridimensionales de los puntos.

1.1 Motivación.

Con el incremento en la resolución de los dispositivos de escaneo, el conjunto de datos producido por estos, es cada vez más complejo, alcanzando millones de puntos para un único modelo. Ya que un objeto tridimensional no puede ser observado desde un solo punto de vista, se hace necesario el escaneo de dichos objetos desde múltiples vistas para combinarlas usando un método de registro. introduciendo anomalías en las regiones de intersección. Aún con todas estas vistas registradas de un mismo objeto, pueden existir problemas de oclusión y reflectancia que pueden causar huecos en la reconstrucción, dejando un modelo incompleto de la superficie. También, los datos escaneados están siempre contaminados con ruido, debido a las limitaciones en el proceso físico de medición. El ruido puede presentarse como valores atípicos o en forma de pequeñas desviaciones de los puntos muestreados a partir de la superficie real. De esta manera, se requiere un pre-procesamiento para obtener un modelo de superficie válido a partir de un conjunto de medidas físicas, manteniendo las características esenciales del modelo después del paso de suavizado.

Los métodos de reconstrucción 3-D, son utilizados para convertir una nube de puntos en una representación de superficie. Desafortunadamente, muchos de estos métodos no describen analíticamente el modelo, ya que sólo se utilizan representaciones que aproximan la superficie, como las mallas triangulares o los diagramas de Voronoi. Otras, por el contrario, utilizan funciones implícitas como lo son las funciones de base radial, las cuales aún no son estándares en la industria. Por el contrario, las superficies NURBS, aunque son un estándar en la industria, poseen el inconveniente de no ser aptas para las representaciones de superficies complejas, ya que para su renderizado es necesario de una base cuadrada regular de puntos. Esto es complicado de obtener en modelos complejos, por lo tanto, se hace necesario el desarrollo de métodos robustos que den una descripción analítica del objeto, que manejen eficientemente grandes cantidades de datos y que preserven los detalles finos de la superficie a reconstruir.

1.2 Planteamiento del Problema.

El diseño geométrico asistido por computador (CAD) y los sistemas de manufactura asistidos por computador (CAM), se usan en numerosas industrias para diseñar y crear objetos físicos a partir de modelos digitales. Sin embargo, el problema inverso de inferir una descripción digital a partir de un objeto físico existente ha recibido menos atención. Nos referimos a este problema como ingeniería inversa. Hay varias propiedades de un objeto 3-D que pueden ser recuperadas, tales como: su forma, color y propiedades del material. Esta tesis cubre el problema de recuperar la forma 3-D, también llamada reconstrucción de la superficie. La meta de la reconstrucción de superficie puede ser enunciada como sigue:

> " Dado un conjunto de puntos de muestra X, que se asume están sobre o cerca a una superficie desconocida S, crear un modelo de superficie S' que aproxime a S " [57].

Esta tesis examina el problema de reconstrucción de superficies de manera general, considerando algunas características acerca de la muestra X y la superficie desconocida S. En el problema de reconstrucción general que consideramos, los puntos X puede ser ruidosos y no se asume ninguna estructura y ninguna información adicional al interior de ellos. La superficie S puede tener un tipo topológico arbitrario, incluyendo fronteras, y puede contener características arbitrarias de forma como pliegues y esquinas presentes en la superficie. Ya que los puntos X pueden provenir de un muestreo ruidoso, no intentamos interpolarlos, pero en su lugar, encontraremos una superficie que los aproxime. Claro está, un procedimiento de reconstrucción no puede garantizar que S se recupere exactamente, ya que sólo se dá información de S a través de un conjunto de puntos finitos. La superficie reconstruida S' debe tener el mismo tipo topológico que S, y ser en todas partes cercana a S. En esta tesis, evaluaremos el método de reconstrucción considerando casos donde la superficie S sea conocida y pueda compararse visual y cuantitativamente con la reconstrucción.

1.3 Trabajos Previos.

Una amplia gama de algoritmos para reconstrucción de superficies han sido propuestos en la literatura recientemente [3,6,57]. Estos métodos se pueden dividir en dos categorías: métodos de interpolación y métodos de aproximación.

Métodos de interpolación

Esta clase de algoritmos tratan de obtener una superficie, interpolando un conjunto P de datos muestreados. Estas aproximaciones son apropiadas para conjuntos de datos libres de ruido.

Diferentes aproximaciones han sido realizadas, produciendo algoritmos basados en la triangulación de Delaunay. Eldesbruner y Mucke [44], pioneros en esta clase de algoritmos, introducen un algoritmo basado en formas alfa. Este algoritmo selecciona triángulos Delaunay basados en el radio de la circunferencia vacía más pequeña. Ellos extendieron esta noción a formas alfa pesadas, en los cuales pueden ser afectados de un peso escalar para tratar con muestreos no uniformes.

En tres dimensiones, Amenta *et al.* [1] presentan un algoritmo que selecciona un subconjunto P de triángulos Delaunay como superficie de salida. Ellos definen una condición de muestreo bajo la cual la salida del algoritmo es homeomórfica a la superficie del objeto geométrico original.

Amenta *et al.* [2], dan una versión del algoritmo de Amenta-Bern con una prueba simple y muestran que la superficie resultante es homeomórfica a la superficie original.

Dey y Goswami [38] presentan un algoritmo robusto de reconstrucción de superficies, llamado "*Cocone*", el cual es capaz de manejar ruido en el conjunto de datos muestreado.

Basados en geometría diferencial, Gopi *et al.* [50] proponen un algoritmo que proyecta el vecindario de cada punto al interior de un plano tangente estimado. Posteriormente, calculan la triangulación de Delaunay del vecindario proyectado y luego se devuelven a 3-D. Este algoritmo es muy rápido, pero requiere de superficies con pequeñas variaciones en la normal.

Otras estrategias usan algoritmos de fronteras de avance. El algoritmo de "*ball pivoting*" de Bernardini *et al.* [7], está conceptualmente basado en una forma alfa y consiste en dejar rodar una bola sobre el conjunto de datos. Este es apropiado para conjuntos de datos grandes, pero es extremadamente dependiente del tipo de muestreo. Basados en la triangulación de Delaunay, Boyer y Petitjean [17] proponen un algoritmo incremental sobre una triangulación en 3-D, a partir de interpolantes regulares. Cohen-Steiner y Da [30] desarrollan otro algoritmo incremental basado en la triangulación de Delaunay, que produce resultados satisfactorios cuando el modelo tiene características finas, muestreo irregular y un gran conjunto de datos.

Basados en la función de distancia, Boissonnat y Calzals [15] desarrollan un algoritmo que reconstruye una superficie interpolante lineal por pedazos usando el vecindario natural de cada muestreo. Este algoritmo ha probado que la superficie lineal reconstruida es homeomórfica a la superficie desconocida y también que el conjunto de polos converge al eje medio.

Métodos de Aproximación.

Estos métodos, en lugar de construir una superficie por pedazos interpolan los puntos muestreados, construyendo un polinomio o superficie implícita cerca de un conjunto de puntos muestreados.

Un trabajo pionero fue presentado por Hoppe [57], el cual propuso un algoritmo que localmente estima una función de distancia con signo definida en $\mathbb{R}^3$ que retorna la distancia al punto más cercano en la superficie. La distancia es negativa en puntos interiores a la superficie y positiva en los puntos exteriores. Ellos usan como estimativo de esta función la distancia al punto más cercano en los puntos de entrada. La superficie de salida es una poligonización del conjunto cero de la función de distancia estimada.

Las Funciones de Base Radial han sido propuestas por varios autores [22, 94, 107]. Carr *et al.* [22], presentan un función de base radial polinómica que puede ajustar conjuntos de datos compuestos de millones de puntos y de topología arbitraria. En este método los huecos y la superficie son ajustados suavemente.

Levin [67], propuso un método denominado los Mínimos Cuadrados Móviles para aproximar superficies suaves. Este método introduce un paradigma diferente basado en un procedimiento de proyección. Dada una superficie S y un conjunto de puntos P en o cerca de una superficie S, una superficie aproximante S' es definida por un operador Ψ como el punto estacionario de Ψ, esto es $S = \{x \in \mathbb{R}^3 \mid \Psi(x) = x\}$. El operador Ψ, es definido por un procedimiento de dos pasos. Primero, dado un punto x, un marco de referencia local es calculado por el ajuste de un hiperplano $H = \{x \mid n \cdot x - D = 0\}$ minimizando la función de error de mínimos cuadrados pesada en el vecindario de las muestras. Segundo, una función polinomial $p(x, y)$ de dos variables es ajustada a los datos, tomando el hiperplano H como dominio de referencia.

1.4 Objetivos.

1.4.1 General.

Reconstruir objetos de forma libre a partir de imágenes de rango empleando una red de parches NURBS.