

	ALGORITMO DE TRIANGULACIÓN ACELERADO PARA CREAR OBJETOS 3D	CIENCIA DE LOS ORDENADORES
ARTICULO INVESTIGACION	Jesús Antonio Álvarez-Cedillo, Fernando Martínez-Piñón, Jacobo Sandoval-Gutiérrez y Teodoro Álvarez-Sánchez	Informática

ALGORITMO DE TRIANGULACIÓN ACELERADO PARA CREAR OBJETOS 3D ACCELERATED TRIANGULATION ALGORITHM TO CREATE GRAPHIC 3D OBJECTS

Jesús Antonio Álvarez-Cedillo^{1,2}, Fernando Martínez-Piñón¹, Jacobo Sandoval-Gutiérrez³, Mario Aguilar Fernández² y Teodoro Álvarez-Sánchez⁴
¹Instituto Politécnico Nacional, CIITEC, Cerrada de Cecati s / n, Santa Catarina, Azcapotzalco, 02250 Azcapotzalco, CDMX
²Instituto Politécnico Nacional, UPIICSA, Av. Té 950, Col. Granjas México, CP 08400, City Hall. Iztacalco, CDMX
³Universidad Autónoma Metropolitana, Av. De las Garzas # 10, El panteón, 52005 Lerma de Villada, MEX
⁴Instituto Politécnico Nacional, CITEDI, Instituto Politécnico Nacional 1310, Tijuana, BC, MEXICO

Recibido: 13/May/2020 - Revisado: 19/May/2020 - Aceptado: 02/Oct/2020 - DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/NT9789>

TO CITE THIS ARTICLE:
 ALVAREZ-CEDILLO, Jesus Antonio, MARTINEZ-PIÑÓN, Fernando, ALVAREZ-SANCHEZ, Teodoro et al. ACCELERATED TRIANGULATION ALGORITHM TO CREATE GRAPHIC 3D OBJECTS. DYNA New Technologies, Enero-Diciembre 2020, vol. 7, no. 1, [18 p.].
 DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/NT9789>

<p>ABSTRACT:</p> <p><i>It shows a new three-dimensional reconstruction technique is presented, for the creation of surfaces from two overlapping polygons with different depths, based on the problem addressed by Gill Barequet and Amir Waxman. The presented reconstruction takes two polygons with three-dimensional spatial positions, superimposes on the two-dimensional plane, performs an arbitrary local triangulation, generates each vertex and faces, and returns the triangulation to the three-dimensional plane. This technique assumes high speed by avoiding interpolation processes and assumes an O (n) complexity. All the algorithms made use the same data structures, the same coding and all the programs were coded in the ANSI C language. For their correct implementation the following hardware configurations were used; Computer CPU using 5th generation Intel Core i7 processor Core i7-5775C 4-Core 3.3GHz; Core i7-5775C 4-Core 3.3GHz with three NVIDIA 9800 GTS cards interconnected with an SLI bus and an Adapteva Epiphany-V64 embedded system. The range of applications where this algorithm can be used is very diverse, including areas such as visual computing, video games, generation of geographic surfaces, geosciences and spatial processes.</i></p> <p>Keywords: Graphic computation, fast triangulation, 3D reconstruction, triangulation by interpolation</p>	<p>RESUMEN:</p> <p>Se muestra una nueva técnica de reconstrucción tridimensional, para la creación de superficies a partir de dos polígonos superpuestos con diferentes profundidades, basada en el problema abordado por Gill Barequet y Amir Waxman. La reconstrucción presentada toma dos polígonos con posiciones espaciales tridimensionales, se superpone en el plano bidimensional, realiza una triangulación local arbitraria, genera cada vértice y caras, y devuelve la triangulación al plano tridimensional. Esta técnica asume alta velocidad al evitar los procesos de interpolación y asume una complejidad O (n). Todos los algoritmos realizados utilizaron las mismas estructuras de datos, la misma codificación y todos los programas fueron codificados en el lenguaje ANSI C. Para su correcta implementación se utilizaron las siguientes configuraciones hardware; CPU de computadora con procesador Intel Core i7 de quinta generación Core i7-5775C 4-Core 3.3GHz; Core i7-5775C 4-Core 3.3GHz con tres tarjetas NVIDIA 9800 GTS interconectadas con un bus SLI y un sistema embebido Adapteva Epiphany-V64. La posibilidad de aplicaciones donde se puede utilizar este algoritmo es muy diverso, incluyendo áreas como computación visual, videojuegos, generación de superficies geográficas, geo ciencias y procesos espaciales.</p> <p>Palabras Clave: Computación gráfica, triangulación rápida, reconstrucción 3D, triangulación de Triangulación por interpolación</p>
---	--

	ALGORITMO DE TRIANGULACIÓN ACELERADO PARA CREAR OBJETOS 3D	CIENCIA DE LOS ORDENADORES
ARTICULO INVESTIGACION	Jesús Antonio Alvarez-Cedillo, Fernando Martínez-Piñón, Jacobo Sandoval-Gutiérrez y Teodoro Álvarez-Sánchez	Informática

1.INTRODUCCION

La reconstrucción 3D es el proceso por el cual los objetos reales se reproducen en la memoria de un ordenador, manteniendo sus características físicas (dimensiones, volumen y forma). Dentro de la visión artificial, hay muchas técnicas de reconstrucción y métodos de mallado 3D, cuyo objetivo principal es obtener un algoritmo que sea capaz de conectar el conjunto de puntos representativos del objeto en forma de elementos de superficie, ya sean triángulos, cuadrados o cualquier otra forma geométrica.

Una triangulación de un conjunto de puntos es un conjunto finito de bordes, dibujados en el espacio para que se dibujen tantos bordes como sea posible sin cruzarse entre sí. Como consecuencia, todas las caras del gráfico son triángulos [10,12,13]. En otras palabras, dado un conjunto S de puntos en el plano, una triangulación de S es un gráfico geométrico máximo sin cortes en S.

El peso de la triangulación es la suma de los pesos de todos sus bordes, donde normalmente, se trata de la distancia euclidiana entre sus dos vértices [16,19]. Existen varios algoritmos para obtener triangulaciones de un conjunto de puntos, donde cada uno explore, maximiza o minimiza la característica única de la triangulación. Por ejemplo, que maximice el ángulo mínimo de todos los triángulos resultantes (algoritmo de triangulación de interpolación).

Una triangulación de peso mínimo (MWT) es aquella en la que la suma de los pesos de sus bordes es la mínima posible. Si queremos minimizar la longitud del borde máximo de una triangulación, obtenemos una triangulación MLT [20,21].

Se utilizan diferentes algoritmos de triangulación para resolver problemas de la vida real, como el modelado de terrenos mediante estructuras poliédricas. Por ejemplo, el cálculo de la distancia mínima utilizando GPS para determinar la zona de influencia. Otro ejemplo típico es buscar la triangulación mínima de polígonos, para ayudar a mejorar la seguridad en una habitación utilizando una cantidad menor de cámaras.

Debido a que el cálculo de MWT es un problema NP-Duro [40],[41], una triangulación se puede dividir en pequeñas piezas independientes, y un algoritmo que resuelve el problema se puede aplicar a cada pieza (esta estrategia se llama dinámica de programación).

En este trabajo de investigación, se abordarán diferentes estrategias para obtener un nuevo modelo de triangulación y una aproximación de las triangulaciones aplicadas a las rebanadas 2D para generar un modelo 3D. La reconstrucción 3D de una superficie, ya sea poliédrica o de forma libre, a partir de un conjunto de secciones transversales paralelas consecutivas, tiene muchas aplicaciones y, por lo tanto, es un tema de investigación actual y un problema completamente sin resolver.

El problema actual se presenta generalmente como un conjunto de sectores que contienen contornos y que representan algún tipo de datos: un objeto volumétrico, líneas geográficas, altura, sectores de RMN, tomografía computarizada. El problema se puede definir formalmente de la siguiente forma:

Dado un conjunto de n cortes consecutivos L_0, L_1, \dots, L_{n-1} , cada uno compuesto de contornos simplemente cerrados, y se encuentra en el plano (x, y, z_i) para una constante $z_i, 0$, la construcción de la superficie límite S de un objeto O, donde $S(x, y, z) = L_i$. Esta solución no está bien definida y, por lo tanto, hay infinitas soluciones, y se debe establecer una heurística para limitar el problema a una única solución. Esta reconstrucción plantea algunos problemas específicos que se abordarán:

1. Correspondencia: Cómo hacer coincidir los vértices de los diferentes sectores para crear un conjunto coherente no intersecante de la malla. Este problema también implica la ramificación (correspondencia de uno a varios) y el tratamiento de las diferencias geométricas.
2. Superficies óptimas: Cree la mejor superficie, en términos subjetivos, pero bien definida para cada solución.
3. Robustez: Será un método automático sin suposiciones o consideraciones en los sectores de entrada que se van a generar utilizando tomografía..

	ALGORITMO DE TRIANGULACIÓN ACELERADO PARA CREAR OBJETOS 3D	CIENCIA DE LOS ORDENADORES
ARTICULO INVESTIGACION	Jesús Antonio Alvarez-Cedillo, Fernando Martínez-Piñón, Jacobo Sandoval-Gutiérrez y Teodoro Álvarez-Sánchez	Informática

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La mayor parte del trabajo realizado hasta la fecha sobre este tema ofrece soluciones para reconstrucciones lineales entre dos sectores adyacentes. Sólo unas pocas primeras obras [3, 4, 8] ofrecen una solución al problema en toda su generalidad.

Obras recientes [6, 25] sugieren el uso de nuevos métodos, utilizando esqueletos poligonales, llamados esqueletos lineales (presentados en [1]), con el fin de resolver el problema de reconstruir una superficie con múltiples contornos de geometría arbitraria. Los documentos [6, 29] basan sus soluciones en este esqueleto para crear un algoritmo de reconstrucción general, pero no imponen restricciones a la entrada. Utilizan el algoritmo de esqueleto lineal ofrecido por [14]. En [18], se ideó un método para la interpolación de curvas utilizando un volumen gráfico global, donde el usuario puede modificar los parámetros para mejorar los resultados.

Parece que todos los métodos que tienen en cuenta sólo dos rebanadas adyacentes a la vez pueden crear resultados bastante irregulares y no visualmente agradables, incluso cuando la diferencia o diferencias entre un sector y sus vecinos son más pequeñas. Este problema se agrava ya que estas diferencias son muy significativas para superar este problema. En [5], se ofrece una solución lineal, teniendo en cuenta las pendientes de los triángulos de las capas vecinas. El trabajo más reciente utiliza el dataset y los métodos como solución para crear una superficie lisa [9, 11, 17, 24, 28], que proporciona los medios para que coincidan con las curvas adyacentes.

Con el fin de crear una superficie lisa para una reconstrucción dada, algunas obras utilizan técnicas de suavizado de malla [28, 29], algunas obras ofrecen construir superficies ISO o una representación volumétrica directamente [11, 24], o una superficie implícita [2]. Otras obras en la literatura son más genéricas y utilizando técnicas de interpolación de forma libre, otros autores mostraron un gran número de estudios utilizando técnicas más antiguas [22]. Algunos de estos métodos (por ejemplo, [9, 17]) generan superficies de forma libre. Otro método que resuelve el problema mediante utiliza la interpolación local [15], en la que se utiliza una superficie de contorno para cada par de sectores, creando cavidades adecuadas dentro del volumen delimitado por esta superficie.

Otros autores han considerado un enfoque diferente para crear superficies lisas, de estimación directa de la correspondencia tangente alcanzada, que esdejar de ser general y fácil de implementar.

2.1 PROPUESTA DE SOLUCIÓN

La hipótesis de la presente propuesta consiste en el desarrollo de una nueva técnica de triangulación basada en el trabajo reportado por GILL BAREQUET y AMIR VAXMAN [1], sin interpolación, adaptada a las necesidades de aplicaciones informáticas intensivas en Hardware especializado basado en la gestión de sectores 2D para hacer un modelo 3D. En este sentido, el objetivo final es ofrecer una solución:

1. Obtiene un modelo realista visualmente satisfactorio para el ojo humano.
2. Proporcione un modelo basado en líneas físicas reales para crear triángulos en la triangulación.
3. Reducir la complejidad computacional del proceso. Para lo anterior, se desarrollarán las siguientes actividades:
 1. Evaluar el problema de la triangulación y la triangulación de imágenes bidimensionales.
 2. Determinar un algoritmo de triangulación paralela
 3. Evalúe el problema de las imágenes bidimensionales y tridimensionales de triangulación superficial basadas en mallas.

3. TRIANGULACIÓN

El peso de la triangulación es la suma de los pesos de todos sus bordes, donde por lo general es la distancia euclidiana entre sus dos vértices [7].

	ALGORITMO DE TRIANGULACIÓN ACELERADO PARA CREAR OBJETOS 3D	CIENCIA DE LOS ORDENADORES
ARTICULO INVESTIGACION	Jesús Antonio Alvarez-Cedillo, Fernando Martínez-Piñón, Jacobo Sandoval-Gutiérrez y Teodoro Álvarez-Sánchez	Informática

Algunos algoritmos reportados en la literatura permiten obtener triangulaciones de un conjunto de puntos utilizando diferentes técnicas para explorar, maximizar o minimizar los parámetros de la triangulación. Algunos trabajos muestran el algoritmo de triangulación de interpolación que es un muy común en la visión por ordenador. Otros algoritmos de triangulación se utilizan para resolver problemas de la vida real, como el modelado del terreno utilizando estructuras poliédricas, programando la ruta de traducción de un dron (RPA) en el espacio o en la mejora de los modelos 3D.

3.1 TEORÍA DE LA TRIANGULACIÓN

En la teoría de la triangulación, se ha demostrado que cada polígono admite una triangulación y se establecen algunas propiedades básicas de la misma.

La clasificación de los diferentes tipos de triangulación es la siguiente:

a) Triangulación de una nube de puntos: Dado un conjunto S de puntos en el plano, una triangulación de S es una descomposición de la envolvente convexa de S en triángulos cuyos vértices son de S y de tal manera que cada par de triángulos de la descomposición tiene sus interiores separados [2].

Dado un conjunto S de puntos en el plano, una triangulación de S es un gráfico geométrico máximo sin cortes en S . Del mismo modo, una triangulación de una nube de puntos en el plano se define como una partición del cierre convexo en triángulos.

b) Triangulación de un polígono: en geometría, la triangulación de un polígono o área poligonal es una partición de un área en un conjunto de triángulos.

Más precisamente, la triangulación es una división del área en un conjunto de triángulos que cumplen las siguientes condiciones:

1. La unión de todos los triángulos es igual al polígono original
2. Los vértices del polígono original
3. Cualquier par de triángulos es desarticulado o comparte sólo un vértice o un lado [23].

La triangulación codiciada y la triangulación de interpolación se aproximan, pero no devuelven el resultado exacto de un MWT [41].

c) Triangulación de peso mínimo (MWT): La triangulación de peso mínimo (MWT) es una triangulación completa con el menor peso posible. El problema de calcular el MWT de un conjunto de puntos en el plano ha recibido una atención significativa, especialmente cuando el peso es la distancia euclidiana entre los bordes. Es un problema con la complejidad de NP-duro, y tratar de encontrar una triangulación MWT de fuerza bruta está fuera de cuestión: un gráfico con 10 puntos puede tener hasta 2000 triangulaciones diferentes.

3.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE POLÍGONOS

Un polígono P es una secuencia ordenada de puntos.

$$p = 1, \dots, pn \leq 3 \quad (1)$$

que son los vértices P y el conjunto de segmentos de línea de p a $p + 1$, donde

$$i = 1, \dots, n \leq 1 \quad (2)$$

se llaman caras de P .

	ALGORITMO DE TRIANGULACIÓN ACELERADO PARA CREAR OBJETOS 3D	CIENCIA DE LOS ORDENADORES
ARTICULO INVESTIGACION	Jesús Antonio Alvarez-Cedillo, Fernando Martínez-Piñón, Jacobo Sandoval-Gutiérrez y Teodoro Álvarez-Sánchez	Informática

3.3 DEFINICIÓN 1 DE UN POLÍGONO

P se denomina simple si dos caras no consecutivas no se intersecan. Un polígono divide el plano en dos regiones definidas, una región interna y una región externa. El término polígono se utiliza para denotar polígonos simples junto con su interior. El algoritmo 1 muestra la prueba de concepto de un polígono.

```

1 [Begin]
2 Save the P edges such as T edges
3 if n = 3 then exit
4 if n = 4 then find[pi, pj]
5 p = p1, p2 where pi = {
6   p1,
7   `2,...pi,pj,..pn}
8 p2={p1,p....,pj}
9
10 repeat until in p1 and p2 vertex where n vertex=3
11 [end]
12

```

Algoritmo 1: Verificación de un polígono

Complejidad (en el peor de los casos): $O(n^2)$

3.4 DEFINICIÓN DE VISIBILIDAD

Deje que x, y sean dos puntos arbitrarios de un polígono P . Se dice que x puede ver un y si y sólo si el segmento cerrado está contenido en P , es decir: $XY \subseteq P$

$$XY \subseteq P \quad (5)$$

Se dice que x se puede ver a y , si y sólo si,

$$XY \subseteq P \wedge xy \cup Fr(P) \subseteq P \quad (6)$$

donde, cabe destacar, el borde de $Fr(P)$

Definición de la Diagonal Deje que a y b sean dos vértices de un polígono, se dice que ab es una diagonal de P , si y sólo si, a y b son visibles entre sí. $PPab$

Un polígono se denomina ortogonal si todos sus bordes son paralelos al eje X o al eje Y . Ambas definiciones se muestran en la Figura 1.

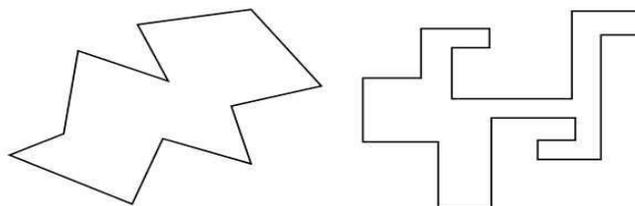


Figura 1: Un polígono simple y un polígono ortogonal.

	ALGORITMO DE TRIANGULACIÓN ACELERADO PARA CREAR OBJETOS 3D	CIENCIA DE LOS ORDENADORES
ARTICULO INVESTIGACION	Jesús Antonio Alvarez-Cedillo, Fernando Martínez-Piñón, Jacobo Sandoval-Gutiérrez y Teodoro Álvarez-Sánchez	Informática

Un gráfico se representa como un conjunto de elementos V llamados los vértices de G , junto con un conjunto de pares de vértices de G llamados los bordes de G . Sólo hay dos vértices de G y uno de ellos llamados los pares adyacentes, es un elemento de G .

El grado de un vértice es el número de vértices de G al lado v de G de $[19,26]$.

El gráfico es plano si se puede dibujar en el plano de forma que los puntos del plano representen sus vértices, y cada uno está representado por una curva de puntos de unión simples que representan y dos aristas de solo se intersecan en sus extremos. La Figura 2 muestra dos gráficos, el primero es plano y el segundo no.

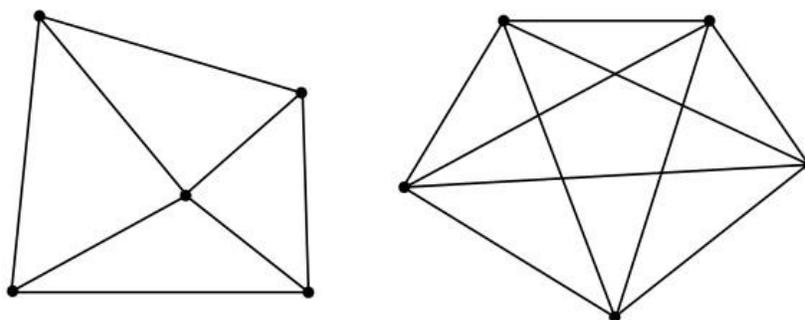


Figura 2: dos gráficos con cinco vértices.

La ruta de acceso de un gráfico es una secuencia de vértices ordenada. de tal manera que y son abyacentes en G , v_1, \dots, v_k, v_1

$$i = 1, \dots, k - 1, k \geq 2 \quad (7)$$

Un círculo de G es un camino junto con el borde v_1, \dots, v_k

$$v_k, v_1, k \geq 3 \quad (8)$$

Un gráfico está conectado si en cada par de vértices u, v de G , existe una ruta donde comienza en u y termina en v ; de lo contrario se desconecta. $G(V, E)$

Un gráfico es un árbol si está conectado y no tiene ciclos.

Una triangulación de un polígono es una partición de un conjunto de triángulos con interiores desarticulados incluso de tal manera que los bordes de los triángulos son los bordes o las diagonales de los cuales se unen pares de vértices.

5. GILL BAREQUET Y AMIR VAXMAN TRIANGULACIÓN ALGORITMO

El algoritmo tomado como referencia para realizar una reconstrucción 3D de sector realiza los pasos siguientes:

1. Lectura de la secuencia de sectores de insumos;
2. Cálculo de la superposición de cada par de cortes consecutivos: Las celdas de la diferencia simétrica se identifican en este proceso;
3. Si la estructura del esqueleto y los términos que lo componen coinciden. Se crea un gráfico de coincidencia, en el que todas las conexiones (arcos) están entre un segmento en sí mismo o en sus sectores adyacentes;
4. Se impone una orientación en la superficie en la que las caras no son necesariamente planas;

	ALGORITMO DE TRIANGULACIÓN ACELERADO PARA CREAR OBJETOS 3D	CIENCIA DE LOS ORDENADORES
ARTICULO INVESTIGACION	Jesús Antonio Alvarez-Cedillo, Fernando Martínez-Piñón, Jacobo Sandoval-Gutiérrez y Teodoro Álvarez-Sánchez	Informática

5. Los planos tangentes de la superficie buscada y se calculan se calculan a partir del diagrama de flujo en los vértices.

El principio y el final del procedimiento se muestran en la Figura 3.

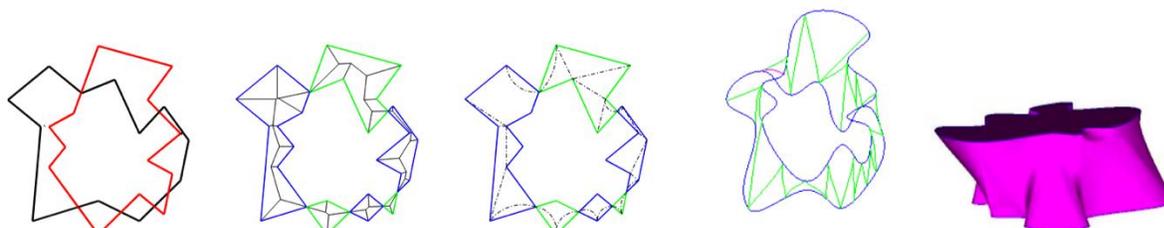


Figura 3: Triangulación de Gill Barequet y Amir Vaxman [2], proceso general, comienza con el cálculo de la superposición y termina con el objeto gráfico convertido en un polígono

El problema abordado en tu investigación se centra en particular en la triangulación inicial de su proceso, que no garantiza un modelo realista visualmente satisfactorio para el ojo humano. En sus trabajos publicados, se presenta el ejemplo que se muestra en la Figura 4 y la Figura 5.

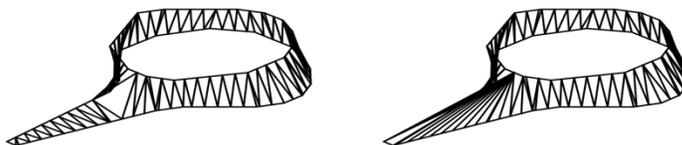


Figura 4: Ejemplo de triangulación por Gill Barequet y Amir Vaxman [3].

	ALGORITMO DE TRIANGULACIÓN ACELERADO PARA CREAR OBJETOS 3D	CIENCIA DE LOS ORDENADORES
ARTICULO INVESTIGACION	Jesús Antonio Alvarez-Cedillo, Fernando Martínez-Piñón, Jacobo Sandoval-Gutiérrez y Teodoro Álvarez-Sánchez	Informática

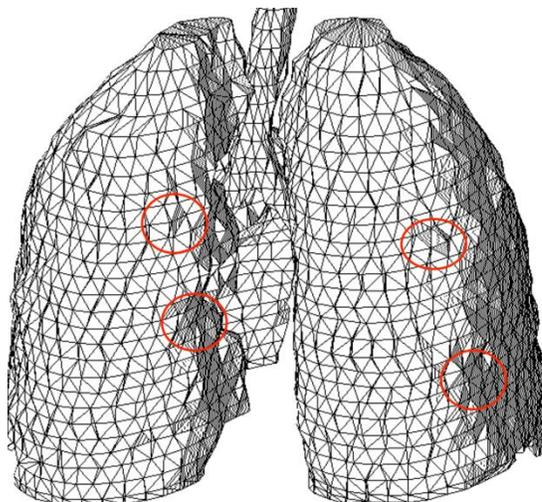


Figura 5. Trabajo final sobre la triangulación reportado en la literatura por Gill Barequet y Amir Vaxman [4]. Se observan áreas marcadas en un círculo rojo que no garantizan un modelo realista visualmente satisfactorio para el ojo humano.

En la Figura 5, se muestran las diferentes triangulaciones, el proceso para hacer un polígono correcto requiere otros tipos de procesamiento que consumen mucho tiempo. Aunque el trabajo presentado es muy relevante, tomaremos ambos ejemplos para desarrollar nuestra propuesta.

4. ALGORITMO DE TRIANGULACIÓN ACELERADA

Sobre la base de la búsqueda de una solución rápida a la solución al problema de la triangulación, cabe señalar que los primeros pasos de la investigación se realizaron utilizando instancias de prueba del problema, lo que condujo a las primeras versiones de algoritmos. Por lo tanto, los esquemas de los algoritmos que se describirán a continuación corresponden a sus últimas actualizaciones. Estos diseños han hecho posible obtener resultados de muy alta calidad en la resolución de instancias reales del problema.

Como se ha indicado anteriormente, todos los algoritmos utilizan las mismas estructuras de datos y utilizan la misma codificación para las soluciones. Todos los programas estaban codificados en el lenguaje ANSI C.

Para su correcta implementación, se utilizó un ordenador con el sistema operativo Ubuntu 20.04 en las siguientes configuraciones:

1. CPU de ordenador con la 5a generación del procesador Intel Core i7 Core i7-5775C 4-Core 3.3 GHz;
2. Core i7-5775C 4-Core 3.3GHz con tres tarjetas NVIDIA 9800 GTS interconectadas con un bus SLI
3. Sistema integrado Adapteva Epiphany-V64.

El hardware se muestra en las figuras 6 y 7..

	<p>ALGORITMO DE TRIANGULACIÓN ACELERADO PARA CREAR OBJETOS 3D</p>	<p>CIENCIA DE LOS ORDENADORES</p>
<p>ARTICULO INVESTIGACION</p>	<p>Jesús Antonio Alvarez-Cedillo, Fernando Martínez-Piñón, Jacobo Sandoval-Gutiérrez y Teodoro Álvarez-Sánchez</p>	<p>Informática</p>

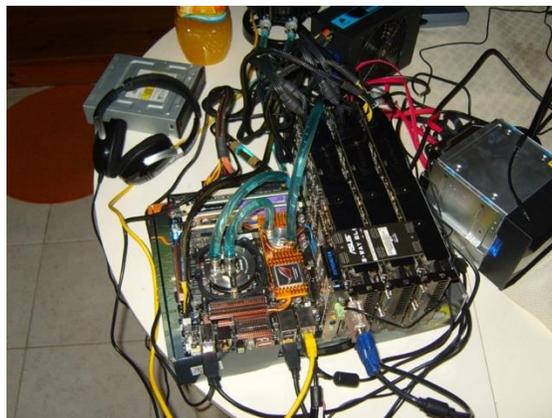


Figura 6: Hardware utilizado para las primeras pruebas, sistema SLI con 3 tarjetas Nvidia 9800 GTS.



Figura 7: Hardware utilizado para las segundas pruebas con Epiphany-IV64.

La implementación en serie se llevó a cabo en la tarjeta Core i7-5775C 4-Core 3.3GHz, la primera prueba paralela utilizó el sistema SLI con 3 tarjetas Nvidia 9800 GTS y en la tercera prueba paralela la tarjeta Epiphany-IV64.

Las características técnicas de cada tarjeta se muestran en la Tabla 1.

	ALGORITMO DE TRIANGULACIÓN ACELERADO PARA CREAR OBJETOS 3D	CIENCIA DE LOS ORDENADORES
ARTICULO INVESTIGACION	Jesús Antonio Alvarez-Cedillo, Fernando Martínez-Piñón, Jacobo Sandoval-Gutiérrez y Teodoro Álvarez-Sánchez	Informática

Tabla 1: Características técnicas del hardware utilizado utilizado

Hardware	Características técnicas
Tarjeta Core i7-5775C 4-Core 3.3GHz	Número de núcleos 4 Número de hilos 8 Frecuencia básica del procesador de 3,30 GHz Frecuencia turbo máxima 3,70 GHz Caché 6 MB Velocidad del autobús 5 GT / s
Sistema SLI con 3 tarjetas Nvidia 9800 GTS	No. de transistores 754 millones Frecuencia base 600 MHz Memoria 0,5 GB GDDR3 a 1,8 GHz Tasa de textura 84.00 GTexel / s , Velocidad de píxeles 24.00 GPixel / s Potencia de cálculo 0,34 TFLOP x 125 W
Tarjeta Epiphany-IV 64	64 núcleos de CPU RISC de alto rendimiento Frecuencia de funcionamiento de 800 MHz 102 GFLOPS de alto rendimiento 1.6 TB / s ancho de banda de memoria local Consumo máximo de potencia de chip de 2 voltios Full-programación ANSI-C / C ++

4.1 ALGORITMO PROPUESTO

Nuestro algoritmo propuesto debe, en primer lugar, verificar que se garantiza visualmente que la triangulación es correcta para el ojo humano, para ello debe ser detectado si hay un ángulo convexo o cóncavo en la comparación de los puntos.

Hay tres casos concretos para analizar en un polígono:

1. Polígonos cóncavos: sin ángulos convexos, dadas dos secuencias de $p = a, b$ puntos, $cUq = \{a, d, c\}$ que componen el polígono. Los puntos se atraviesan con sector, en sentido contrario a las agujas del reloj, que forma un polígono irregular con ángulos cóncavos. $qUp = \{a, d, c, b\}q(-CW)$

	ALGORITMO DE TRIANGULACIÓN ACELERADO PARA CREAR OBJETOS 3D	CIENCIA DE LOS ORDENADORES
ARTICULO INVESTIGACION	Jesús Antonio Álvarez-Cedillo, Fernando Martínez-Piñón, Jacobo Sandoval-Gutiérrez y Teodoro Álvarez-Sánchez	Informática

La Figura 8 muestra el polígono cóncavo y su triangulación final, que es correcta desde cualquier punto con los puntos anteriores.

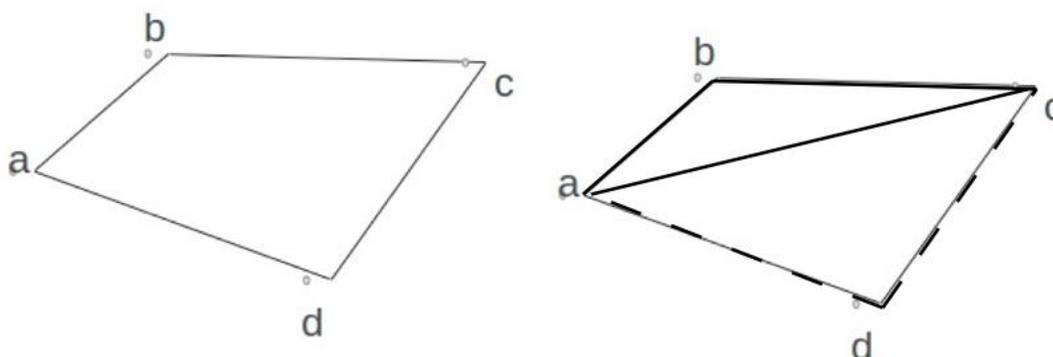


Figura 8: Polígono cóncavo. Derecha: Polígono original. Izquierda: Triangulación final

2. Polígonos con convexidad: con 1 ángulo convexo interno: Dadas dos secuencias de puntos $p = a, b, c, d, e$ y $q = \{c, d, e, b\}$ que componen el polígono. Los puntos se atraviesan con sector, en sentido contrario a las agujas del reloj, que forma un polígono irregular con ángulos convexos. Figura $qUp = \{a, b, c, d, e\}q(-CW)$ la triangulación es visualmente correcta si los triángulos resultantes se crean a partir de ese vértice.

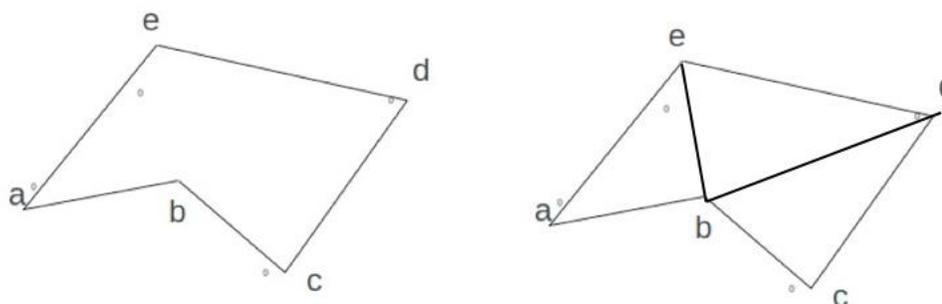


Figura 9 Polígono con convexidad. Derecha: Polígono original. Izquierda: Triangulación final

	ALGORITMO DE TRIANGULACIÓN ACELERADO PARA CREAR OBJETOS 3D	CIENCIA DE LOS ORDENADORES
ARTICULO INVESTIGACION	Jesús Antonio Alvarez-Cedillo, Fernando Martínez-Piñón, Jacobo Sandoval-Gutiérrez y Teodoro Álvarez-Sánchez	Informática

3. Polygons con una convexidad más: Dadas dos secuencias de puntos y siguientes que componen el polígono. Los puntos se atraviesan con el corte q, en sentido contrario a las agujas del reloj, que forma un polígono irregular con ángulos convexos. $p = \{a, b, c, d, e\}$ $q = \{e, f, g, a\}$ $q \cup p = \{a, b, c, d, e, f, g\} (-CW)$

Figura 10, la triangulación es visualmente correcta al fijar los puntos de triangulación en esas convexidades.

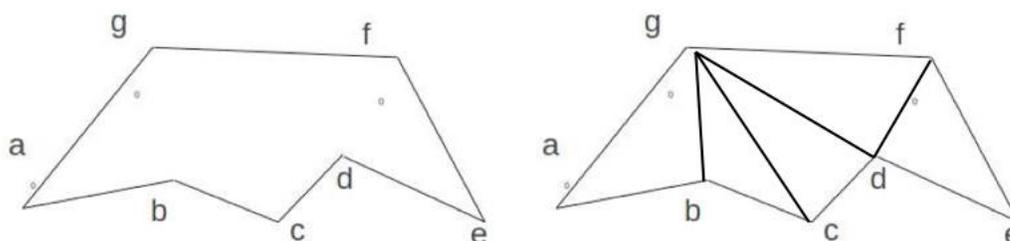


Figura10: Polígono con más de una convexidad. Derecha: Polígono original. Izquierda: Triangulación final

La Figura 11 muestra el procedimiento de triangulación para los tres casos.

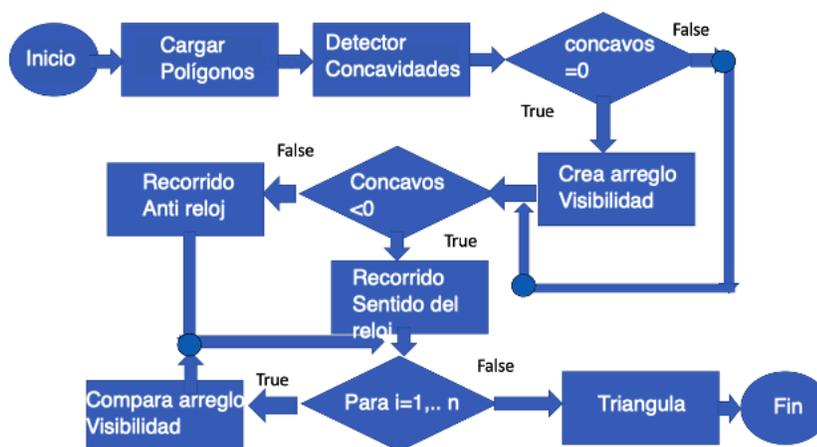


Figura 11: Propuesta de triangulación

5. RESULTADOS

Se realizaron dos pruebas comparando casos individuales con la triangulación por interpolación utilizada en la obra de referencia y una reconstrucción final comparada en el trabajo final de Gill Barequet y Amir Waxman[2].

Por último, el rendimiento de los programas en las plataformas de hardware utilizadas [31,33].

	ALGORITMO DE TRIANGULACIÓN ACELERADO PARA CREAR OBJETOS 3D	CIENCIA DE LOS ORDENADORES
ARTICULO INVESTIGACION	Jesús Antonio Alvarez-Cedillo, Fernando Martínez-Piñón, Jacobo Sandoval-Gutiérrez y Teodoro Álvarez-Sánchez	Informática

PRUEBA 1: ÁNGULOS CONVEXOS OCULTOS POR DOS CÓNCAVIDADES

Este programa fue modificado para poder gestionar dos capas y observar ambas triangulaciones en la misma pantalla gráfica. Para probar el algoritmo, se definió el polígono original que aparece en la Tabla 2.

Se utilizó el archivo .poly:

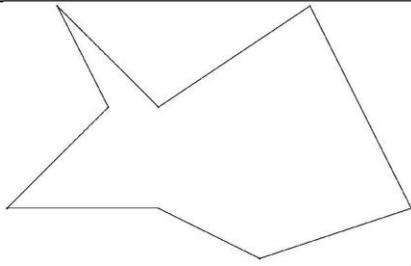
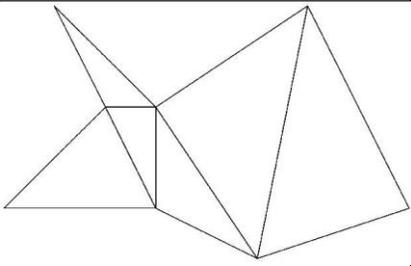
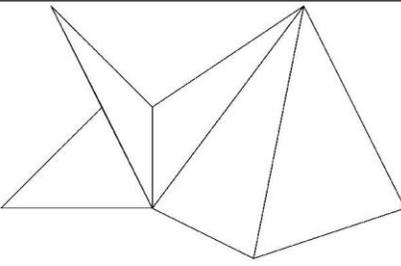
```

0 2 0 1
1 <Ocho puntos>
1 1 2 1
2 2 3 1
3 4 3 1
4 5 4 1
5 6 5 1
6 7 6 1
7 7 8 1
8 1 8 1
0 <Sin opciones adicionales>

```

La Tabla 2 muestra las triangulaciones obtenidas.

Tabla 2. Comparación del algoritmo propuesto con triangulación por interpolación.

Polígono original	Triangulación de interpolación	Algoritmo propuesto
		

PRUEBA 2: CASO ESPECIAL

Para probar el algoritmo, se definió el polígono del polígono original que aparece en la Tabla 3. Tiene tres concóvidades, una concidad aislada y una concidad continua.

Dado el siguiente archivo .poly

El contenido del archivo .poly es el siguiente:

```

0 2 0 1
1 1 1
1 1 2 1

```

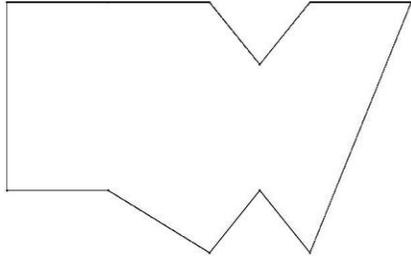
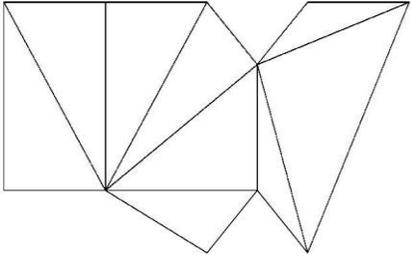
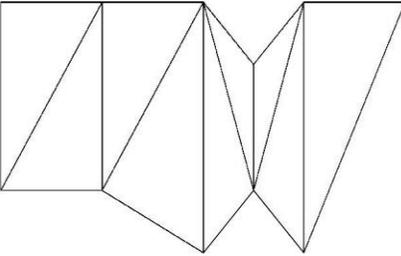
	ALGORITMO DE TRIANGULACIÓN ACELERADO PARA CREAR OBJETOS 3D	CIENCIA DE LOS ORDENADORES
ARTICULO INVESTIGACION	Jesús Antonio Alvarez-Cedillo, Fernando Martínez-Piñón, Jacobo Sandoval-Gutiérrez y Teodoro Álvarez-Sánchez	Informática

2 2 3 1
 3 4 3 1
 4 4 5 1
 5 6 5 1
 6 7 6 1
 7 7 8 1
 8 9 8 1
 9 10 9 1
 10 11 10 1
 11 1 11 1

0 <No hay opciones adicionales>.

La Tabla 3 muestra las triangulaciones obtenidas.

Tabla 3. Comparación del algoritmo propuesto con triangulación por interpolación.

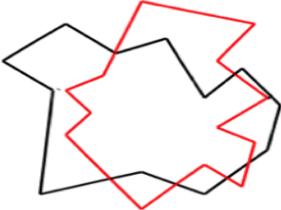
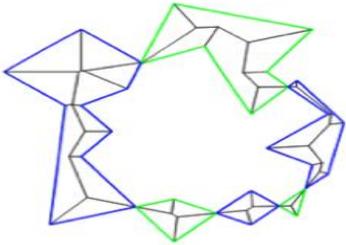
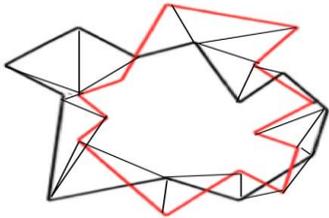
Polígono original	Triangulación de interpolación	Algoritmo propuesto
		

PRUEBA 3: RECONSTRUCCIÓN 3D

El algoritmo propuesto se aplicó al ejemplo propuesto por los autores que inspiraron esta obra, que contiene la triangulación que se muestra en la Tabla 4.

	ALGORITMO DE TRIANGULACIÓN ACELERADO PARA CREAR OBJETOS 3D	CIENCIA DE LOS ORDENADORES
ARTICULO INVESTIGACION	Jesús Antonio Alvarez-Cedillo, Fernando Martínez-Piñón, Jacobo Sandoval-Gutiérrez y Teodoro Álvarez-Sánchez	Informática

Tabla 4. Comparación del algoritmo propuesto con la triangulación por triangulación. de interpolación en una reconstrucción 3D.

Polígono original	Triangulación de interpolación	Algoritmo propuesto
		

Finalmente tomando la información obtenida de la base de datos de imágenes pulmonares públicas ELCAP La base de datos utilizada para la reconstrucción se compone de un conjunto de imágenes de 50 tomografías computarizadas pulmonares completas saludables. Tienen un espesor de corte de 1,25 mm [34,35,36,37].

Aplicando el algoritmo propuesto, se obtuvo la reconstrucción 3D que se muestra en la Figura 12.

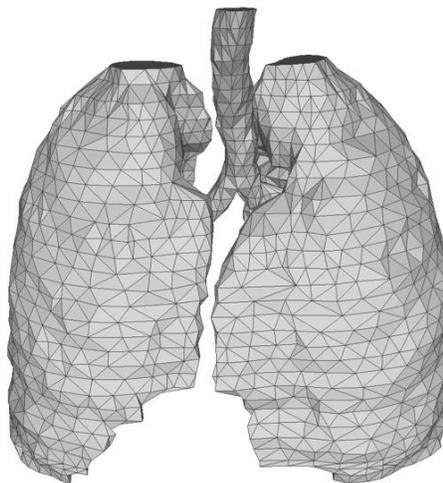


Figura 12: Reconstrucción 3D de un pulmón utilizando el algoritmo propuesto

RENDIMIENTO DEL PROGRAMA EN EL HARDWARE PROPUESTO

En las arquitecturas de equipos, la aceleración es un número que mide el rendimiento relativo de dos sistemas que procesan el mismo problema. Representa la mejora en la velocidad de ejecución de una tarea en dos arquitecturas con recursos diferentes.

	ALGORITMO DE TRIANGULACIÓN ACELERADO PARA CREAR OBJETOS 3D	CIENCIA DE LOS ORDENADORES
ARTICULO INVESTIGACION	Jesús Antonio Alvarez-Cedillo, Fernando Martínez-Piñón, Jacobo Sandoval-Gutiérrez y Teodoro Álvarez-Sánchez	Informática

Es un parámetro de medición establecido por la ley de Amdahl, que se centró en el procesamiento paralelo. Al aplicar la aceleración como variable de medición, se obtuvieron los datos mostrados en la Figura 13 y la Tabla 5.

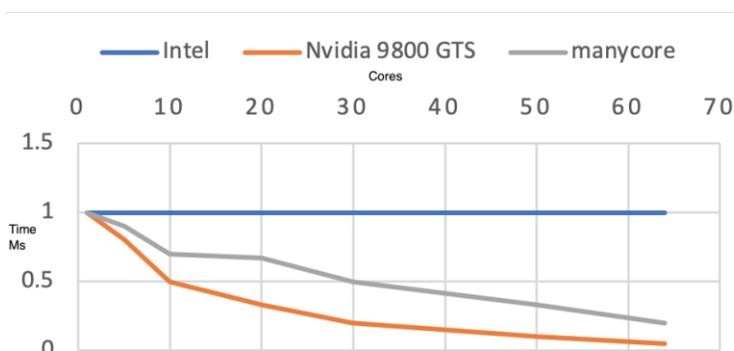


Figura 13: Tiempo de ejecución del núcleo en milisegundos contra el número de núcleos con diferentes configuraciones

Tabla 5. Tabla de rendimiento en milisegundos.

CORAZONES	INTEL	NVIDIA 9800 GTS	MANYCORE
1	1	1	1
5	1	0.8	0.9
10	1	0.5	0.7
20	1	0.33	0.67
30	1	0.2	0.5
50	1	0.1	0.33
64	1	0.05	0.2

7. CONCLUSIONES

Se puede concluir que aunque la triangulación es un proceso de recursos muy exigente, es posible acelerar este proceso para hacerlo con velocidades de hasta 0,2 milisegundos. La mayoría de las implementaciones gráficas aprovechan al máximo la triangulación, y en esta propuesta utilizando algoritmos paralelos, es posible minimizar el tiempo. Los autores significativos y prominentes trabajan en este campo con triangulaciones de interpolación; sin embargo, aunque la tecnología ha avanzado mucho, un algoritmo que presenta mayor velocidad para realizar una reconstrucción 3D siempre será apreciado [38,39].

La triangulación en busca de que sea visualmente correcta permite evaluar el algoritmo por un ojo experto y también permite abordar un problema de reconstrucción 3D de sectores con resultados óptimos [40]. Se ha desarrollado un algoritmo que resuelve triangulaciones generalizadas, incluso casos excepcionales como el caso de las conc reconzas, su implementación en aceleradores

	<p>ALGORITMO DE TRIANGULACIÓN ACELERADO PARA CREAR OBJETOS 3D</p>	<p>CIENCIA DE LOS ORDENADORES</p>
<p>ARTICULO INVESTIGACION</p>	<p>Jesús Antonio Alvarez-Cedillo, Fernando Martínez-Piñón, Jacobo Sandoval-Gutiérrez y Teodoro Álvarez-Sánchez</p>	<p>Informática</p>

gráficos están destinadas a ayudar a resolver estos problemas con aproximaciones cercanas a la en tiempo real. Como trabajo futuro, se desarrollará como una biblioteca para CUDA, C, PYTHON y NODEJS.

REFERENCIAS

- [1] Barequet, G., Goodrich, MT, Levi-Steiner, A., y Steiner, D. 2004. Interpolación de contorno por esqueletos rectos. Modelos gráficos 66, 4, 245260.
- [2] Barequet, G., y Zamansky, A. 2007 Reconstrucción de superficie moviendo contornos, Proc. 9th IASTED Int. En Computer Graphics and Imaging (CGIM), Innsbruck, Austria, págs. 7-14, febrero.
- [3] Oscar Cosido Cobos, Alberto Salcines Menezo, Carlos Loucera Muñecas, Antolin Lorenzana Iban. "INGENIERÍA INVERSA MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA Y SEGMENTACIÓN PARA ESTRUCTURAS INDUSTRIALES". DYNA 93, No. 5 (2018). DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8549>.
- [4] Bajaj, L., Coyle, EJ, y Lin, KN 1996. Reconstrucción arbitraria de la forma de topología a partir de secciones transversales planas. Modelo gráfico y procesamiento de imágenes 58, 6, 524543.
- [5] Barequet, G., y Sharir, M., 1996. Interpolación lineal a por pieza entre sectores poligonales. Visión por ordenador y comprensión de imágenes 63, 2, 251272.
- [6] Barequet, G., Shapiro, D., y Tal, A., 2000. Reconstrucción sensible multinivel de superficies poliédricas a partir de rodajas paralelas. Visual Computer 16, 2 (marzo), 116133.
- [7] Barequet, G., y Zamansky, A. 2007 Reconstrucción de superficie moviendo contornos, Proc. 9th IASTED Int. En Computer Graphics and Imaging (CGIM), Innsbruck, Austria, págs. 7-14, febrero.
- [8] Boissonnat, J.-D., 1988. Reconstrucción de formas a partir de secciones transversales planas. Gráfica de visión por ordenador y procesamiento de imágenes 44, 1, 129.
- [9] Chai, J., Miyoshi, T., y Nakamae, E. 1998. Interpolación de contorno y reconstrucción de superficies de modelos de terreno liso. IEEE VIS, 2733 (octubre).
- [10] Chiyokura, H., y Kimura, F., 1983. Diseño de sólidos con superficies de forma libre. Proc. SIGGRAPH, Computer Graphics 17, 3, 289298.
- [11] Cong, G., y Parvin, B., 2001. Reconstrucción de superficie robusta y eficiente a partir de contornos. Visual Computer 17, 4 (junio), 199208.
- [12] de Berg, M., van Kreveland, M., Overmars, M., y Schwarzkopf, O. 1997. Geometría computacional: Algoritmos y aplicaciones. Springer-Verlag, Alemania.
- [13] Epstein, D., y Erickson, J., 1998. Elevación de techos, ciclos de bloqueo y grupo de juegos: aplicaciones de una estructura de datos para encontrar interacciones en pares. Proc. Th Ann. Symp. en Geometría Computacional, 5867. 1998. Implementación del esqueleto recto. Proclek, S.
- [14] Felkel, P., and Obdriza, Spring Conf. on Computer Graphics, LS Kalos, ed. 210218.
- [15] Gabrielides, NC, Ginnis, AI, Kakkis, PD, Karavelas, MI, 2007. G1 construcción lisa de superficie ramificada a partir de secciones transversales. Diseño asistido por ordenador, 39, 639-651.
- [16] Gregory, JA, 1974. Interpolación suave sin restricciones de torsión. Computer Aided Geometric Design, RE Barnhill y RF Riesenfeld, eds., 7188.
- [17] Hormann, K., Spinello, S., y Schroeder, P. 2003. C1 -reconstrucción continua del terreno a partir de contornos dispersos. Visión, Modelado y Visualización, T. Ertl, B. Girod, G. Greiner, H. Niemann, H.-P. Seidel, E. Steinbach, y R. Westermann, eds., 289297 (noviembre).
- [18] Ju T., Warren J., Carson J., Eichele G., Thaller C., Chiu W., Bello M. y Kakadiaris I. 2005. Construcción de redes de superficie 3D a partir de redes de curvas 2D con aplicación a modelado anatómico. El ordenador visual, edición especial para los gráficos del Pacífico, 21(810):764773.
- [19] Levin, A., 1999. Interpolación de redes de curvas por superficies de subdivisión lisas. 26th Ann. Conf. en Gráficas computarizadas y técnicas interactivas, 5764.
- [20] Longhi, L., 1985. Interpolación de parches entre límites cúbicos. Informe técnico, Univ. de California en Berkeley, Berkeley, CA.
- [21] Loop, CT y DeRose, TD 1989. Una generalización multisólido de superficies Bézier. Transacciones de ACM en Gráficos 8, 3 (julio), 204234.
- [22] Mann, S., Loop, C., Lounsbery, M., Meyers, D., Painter, J., DeRose, T., and Sloan, K. 1992. Un estudio de la conexión de datos dispersos paramétricos utilizando interpoladores triangulares. Diseño de curvas y superficies, H. Hagen, ed., SIAM, 145172.
- [23] Murotani, K., y Sugihara, K. 2002. Interpolación de superficie G1 para datos ubicados irregularmente. Modelado y Procesamiento Geométrico S y Aplicaciones, 187197.
- [24] Nilsson, O., Breen, D., y Museth, K. 2005. Reconstrucción de la superficie a través de la metamorfosis del contorno: un enfoque eulerio con seguimiento de partículas lagrangianas. PROC. IEEE VIS, 407414 (octubre).
- [25] Oliva, J.-M., Perrin, M., y Coquillart, S. 1996. Reconstrucción 3D de formas poliédricas complejas a partir de contornos utilizando un diagrama Voronoi generalizado simplificado. Computer Graphics Forum 15, 3, 397408.
- [26] CWAMV, y Wyvill, B. 1997. Algoritmo para la subdivisión de polígonos basado en normales de vértices. Proc. Computer Graphics International, 312.
- [27] Shirman, LA y Sequin, CH 1987. Interpolación de superficie local con parches de Bézier. Diseño Geométrico Asistido por Ordenador 4, 4 (diciembre), 279295.

	<p>ALGORITMO DE TRIANGULACIÓN ACELERADO PARA CREAR OBJETOS 3D</p>	<p>CIENCIA DE LOS ORDENADORES</p>
<p>ARTICULO INVESTIGACION</p>	<p>Jesús Antonio Alvarez-Cedillo, Fernando Martínez-Piñón, Jacobo Sandoval-Gutiérrez y Teodoro Álvarez-Sánchez</p>	<p>Informática</p>

- [28] Wang, D., Hassan, O., K.Morgan y Weatherill, N. 2006. Efficient reconstrucción de la superficie a partir de contornos basados en la triangulación bidimensional Delaunay. *Int. J. para Métodos Numéricos en Ingeniería* 65, 5 (enero), 734751.
- [29] Yakersberg, E., 2004. Morphing entre formas geométricas utilizando interpolación basada en esqueleto recto. tesis M.Sc, Departamento de Informática, Technion, Haifa, Israel. Barequet, G., and MICHA SHARIR, A. 2008 Piecewise-Linear Interpolation between Polygonal Slices, *COMPUTER VISION AND IMAGE UNDERSTANDING*, Vol. 63, No. 2, marzo, págs. 251272, 1996.
- [30] Zhou Ya, Un nuevo algoritmo para la operación de intersección de polígonos, 2009 Segunda Conferencia Internacional sobre Ingeniería Informática y Eléctrica.
- [31] Tang Liang-liang, He Yuan-jun, A. 2008 A Linear-Time Algorithm for the LineClipping, *Chinese Journal of Computers*, 1999,22(11):1209 1214.
- [32] C. Teutsch, "Model-based Analysis and Evaluation of Point Sets from Optical 3D Laser Scanners", volumen 1. Shaker Verlag, 2007. ISBN: 978-3-8322-6775-9
- [33] Francois Blais, Michel Picard, Guy Godin, Adquisición precisa en 3D de objetos en movimiento libre", *Proceedings. 2o Simposio Internacional sobre Procesamiento, Visualización y Transmisión de Datos 3D*, 2004, págs. 422 a 429.
- [34] Qian Chen, Toshikazu Wada, A light Modulation/Demodulation Method for Real-Time 3D Imaging, "Fifth International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling, 2005, págs. 15-21.
- [35] Brian Curless, "Desde Escaneos de Rango hasta Modelos 3D., *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, Vol. 33, Número 4, noviembre 2000, págs. 38-41.
- [36] Joseph P. Lavelle, Stefan R. Schuet, Daniel J. Schuet, "High-Speed 3D Scanner with Real-Time 3D Processing, "2004 IEEE International Workshop on Imaging Systems and Techniques, 2004, págs. 13-17.
- [37] Katsushi Lkeuchi, "Modeling from Reality" Third International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling, 2001, págs. 117-124.
- [38] Fausto Bernardini, Holly E. Rushmeier: The 3D Model Acquisition Pipeline. *Comput. Gráfico. Foro* 21(2): 149-172 (2002), (pdf).
- [39] Aichholzer, O., Aurenhammer, F., y Hainz, R. 1999. Nuevos resultados en subgráficos MWT. *Inf. Proc. Lett.* 69, 5, 215--219.
- [40] Anagnostou, E., y Comeil, D. 1993. Instancias en tiempo polinómico del problema de triangulación de peso mínimo. *Comput. Teoría de geom.* 3, 5, 247--259.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos las facilidades otorgadas para llevar a cabo este trabajo al Instituto Politécnico Nacional a través de la Secretaría de Investigación y Posgrado. A la Unidad Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas, Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital. Asimismo, al Programa de Fomento al Desempeño de los Investigadores (EDI) y al Programa de Fomento del Desempeño Docente (EDD) y al Programa de Exclusividad SIBE del IPN.