

TECNICAS DE SIMPLIFICACION DE MODELOS TOPOGRAFICOS

María V. Cifuentes^{a,b}, Juan P. D'Amato^{a,c}, Cristian García Bauza^{a,b}, Marcelo Vénere^{a,d}

^aPLADEMA, Universidad Nacional del Centro, 7000 Tandil, Argentina,
([cifuentes](mailto:cifuentes@exa.unicen.edu.ar),[jpdamato](mailto:jpdamato@exa.unicen.edu.ar),[crgarcia](mailto:crgarcia@exa.unicen.edu.ar),[venerem](mailto:venerem@exa.unicen.edu.ar))@exa.unicen.edu.ar)
^b Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires
^c Consejo Nacional de Investigaciones Científicas
^d CNEA

Palabras Clave: Modelos Topográficos, Simplificación de mallas, GIS

Resumen. Se presenta en este trabajo un conjunto de algoritmos que reducen la cantidad de polígonos utilizados para representar superficies extensas. Se emplea como indicador de error la curvatura local, y se presentan distintas versiones de aplicación de este criterio, como por ejemplo, el campo visual del observador y máscaras binarias.

1 INTRODUCCION

El tratamiento interactivo de grandes superficies topográficas tiene importantes aplicaciones en geografía, defensa, y juegos computacionales, entre otros, siendo normal hoy utilizar modelos con decenas o incluso centenas de millones de celdas.

En este trabajo se proponen distintos algoritmos que permiten reducir la cantidad de polígonos utilizados para representar estos modelos, sin perder calidad en la imagen generada. Para ello se utiliza una representación jerárquica basada en un quadtree con restricciones y templates en cada terminal del árbol para generar la triangulación final de la superficie.

En primera instancia como indicador de cuales sectores pueden ser simplificados y cuales no, se utiliza la curvatura local. De esta forma los lugares con baja curvatura pueden ser simplificados sin perder calidad, lo cual en general permite reducir la cantidad de polígonos en un factor diez y este factor es aún mayor si se tolera una cierta pérdida [1].

Se presenta también una modificación al algoritmo, en el que se incluye el concepto de la posición del observador donde la malla poligonal cambia dinámicamente cada vez que el observador se mueve. Finalmente se expone un criterio que introduce el campo de visión de un observador inmerso en la escena. Este campo consiste en una máscara binaria generada con técnicas de Ray Casting, la cual es utilizada para evaluar regiones de mayor y menor simplificación.

2 SIMPLIFICACIÓN DE MODELOS TOPOGRAFICOS

2.1 Metodología para la simplificación poligonal

La metodología de simplificación poligonal de superficies extensas se basa en la transformación del campo de alturas original en un campo cuadrado de longitud de lado $L/2k$, donde k identifica el nivel de refinamiento y L el tamaño del dominio [2]. El algoritmo subdivide al nodo raíz (*breadth first*) hasta que se cumpla con un cierto criterio de tolerancia. Posteriormente se construye una jerarquía de mallas con complejidades diferentes organizadas en un *quadtree* (árbol cuaternario). Finalmente la multimalla resultante debe conformarse adecuadamente para eliminar huecos.

La última operación puede realizarse de varias maneras. En el presente caso se genera un *quadtree* restringido a cuadrantes adyacentes difiriendo en no más de un nivel jerárquico, tal como define [3]. Los huecos remanentes en las uniones de este último tipo se resuelven usando un diccionario de soluciones estándar [4]. La triangulación que se obtiene en esta manera presenta sólo cuatro tipos de triángulos, de excelente calidad.

2.2 Simplificación básica utilizando indicador de curvatura

El primer indicador guía de la simplificación de mallas es la curvatura del terreno. La curvatura local compara la desviación de la geometría intrínseca de la superficie respecto a la geometría del plano. La idea del criterio es que una región con alta curvatura debe ser modelada con más densidad de triángulos que una región relativamente más plana. De esta forma los lugares con baja curvatura pueden ser simplificados sin perder calidad visual.

La técnica de simplificación consiste en dividir en cuatro recurrentemente toda región cuya curvatura acumulada supere un umbral de tolerancia permitido por el usuario (ec. 1), es decir una región será dividida en cuatro subregiones si cumple:

$$\kappa_R = \sum_{i=1}^n \kappa_i \leq T \quad (1)$$

donde κ_R es la suma de las curvaturas locales de la región.

La curvatura local κ se calcula numéricamente mediante un esquema centrado en diferencias finitas sobre el campo de alturas $h_{i,j}$. De acuerdo a este último, el gradiente se calcula como:

$$G_x^{i,j} = \frac{\partial h_{i,j}}{\partial x} = \frac{h_{i+1,j} - h_{i-1,j}}{2\Delta x} \quad \text{y} \quad G_y^{i,j} = \frac{\partial h_{i,j}}{\partial y} = \frac{h_{i,j+1} - h_{i,j-1}}{2\Delta y} \quad (2)$$

donde Δx y Δy representan la distancia entre los pares de puntos vecinos a las coordenadas (i,j) .

De la misma manera, el tensor de curvatura (o matriz Hessiana) κ_{ij} resulta:

$$\kappa_{ij} = \begin{bmatrix} (G_x^{i+1,j} - G_x^{i-1,j}) & (G_y^{i+1,j} - G_y^{i-1,j}) \\ (G_x^{i,j+1} - G_x^{i,j-1}) & (G_y^{i,j+1} - G_y^{i,j-1}) \end{bmatrix} \quad (3)$$

Dado que para los efectos de visualización interesa conocer sólo una curvatura promedio, se utilizó como indicador de curvatura local la suma de los cuadrados de los elementos de κ_{ij} [5], esto es:

$$\kappa_{ij}^2 = (G_x^{i+1,j} - G_x^{i-1,j})^2 + (G_y^{i+1,j} - G_y^{i-1,j})^2 + (G_x^{i,j+1} - G_x^{i,j-1})^2 + (G_y^{i,j+1} - G_y^{i,j-1})^2 \quad (4)$$

El indicador de curvatura definido en (ec. 4) puede pensarse como una norma del tensor de curvatura que mide la distancia de dicho tensor al cero, valor que indica planaridad. Este indicador es consistente en el sentido que está relacionado con la curvatura media y la curvatura gaussiana, de modo que si dicho indicador es cero ambas curvaturas también lo son. La curvatura media se define como el promedio de los autovalores de κ_{ij} y la curvatura gaussiana como su producto.

En la Figura 1 pueden verse los modelos obtenidos para diferentes valores de umbral.

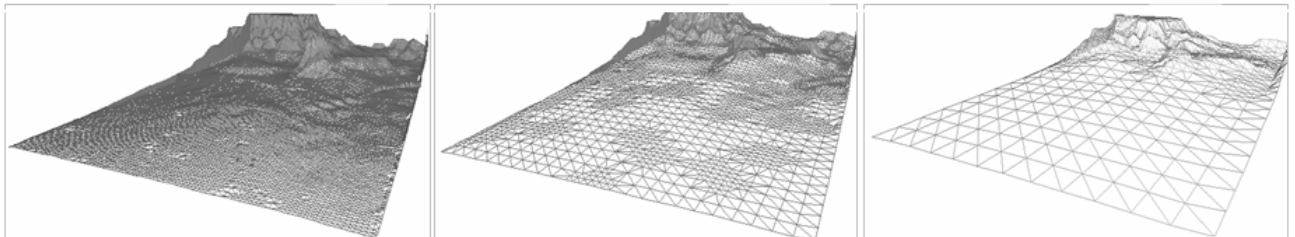


Figura 1 – Representaciones en modo WIRE del MDE correspondiente a la subcuenca del arroyo Santa Catalina simplificadas con distintos valores de umbral.

2.3 Simplificación utilizando generación dinámica

De todas formas, estas reducciones pueden no ser suficientes, por lo cual se incorporó al indicador de error el concepto de dónde está el observador (o cámara) [6], [7]. La idea consiste en que las regiones cercanas al observador o con cambios abruptos de pendiente se modelen con más triángulos por unidad de área que las regiones alejadas o relativamente planas. La malla poligonal resultante no permanece estática, se extrae desde la jerarquía *quadtree* que cambia dinámicamente cada vez que el observador se mueve. Podemos ver un ejemplo de un caso real de uso [5] en la Figura 2.

Básicamente, el algoritmo opera con la superficie descrita mediante una grilla regular con tamaño de celda constante que agrupa valores de curvatura local resultantes de aplicar un esquema centrado de diferencias finitas a los puntos del campo escalar de alturas. La subdivisión de la superficie surge al evaluar el criterio o indicador de error presentado como

$$T \geq \frac{K}{\left(a \frac{d}{D} + 1\right)} \quad (5)$$

donde K es el acumulado de curvatura local en la región, T es la tolerancia permitida por el usuario, a es una constante, d mide la distancia entre el centro de la región y el observador y D es información estable (por ejemplo, la longitud de la diagonal principal del campo de alturas).

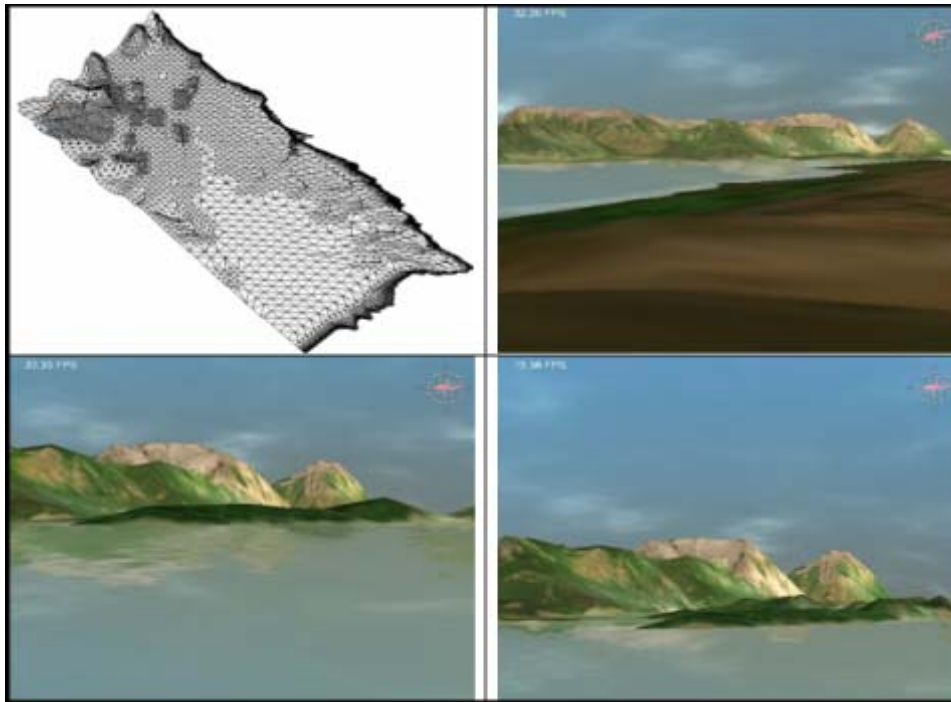


Figura 2 - *MDE* correspondiente al Lago Nahuel Huapi, Bariloche, Arg.(a) Malla irregular de triángulos. Las zonas densas corresponden a regiones cercanas al observador. En (b), (c) y (d) vistas de la navegación con remallado interactivo del modelo.

A modo comparativo, en la Figura 3 se aprecia la importante reducción poligonal de una dada grilla regular cuadrada de tamaño de celda constante que ha sido simplificada aplicando el criterio de curvatura local (izquierda) y el concepto de ubicación del observador (derecha). Si bien ambas emplean la misma tolerancia T en su generación, es notable la reducción del conjunto de vértices cuando se introduce la posición del punto de vista

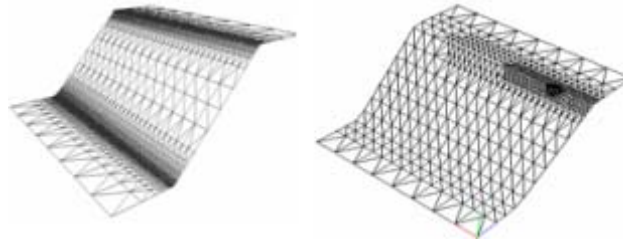


Figura 3: Simplificación Poligonal: criterio de curvatura local (izquierda) y agregando el concepto de ubicación del observador (derecha).

2.4 Simplificación guiada por máscaras

En algunas aplicaciones sucede que ciertos sectores de la superficie permanecen invisibles al observador por lo que resulta redundante su representación detallada. Un ejemplo típico se da en los escenarios navales, donde el observador ubicado en el interior de una embarcación visualiza la costa, que por la lejanía y la perspectiva forzosamente sólo se ve parcialmente. En este contexto es irrelevante el detalle excesivo en aquellas regiones que permanecen ocultas.

En estos casos, el criterio de simplificación de la malla soporte de la representación deberá ser preservar el detalle en las regiones visibles y destinar unos pocos polígonos para la representación de las regiones que permanezcan invisibles (Ver Figura 4). Para lograr este objetivo se propone la construcción automática de una máscara determinada por un indicador de visibilidad de cada punto de la malla. La implementación de la máscara en el proceso de simplificación se realiza introduciendo un factor de corrección en la ec.1, esto es:

$$v_n \kappa_R \leq T \quad (6)$$

donde v_n es un número real que establece la visibilidad del punto espacial desde la perspectiva del observador ($0 \leq v_n \leq 1$).

La máscara de visibilidad puede generarse automáticamente mediante un algoritmo de *ray casting*. En esta técnica se calculan las intersecciones del terreno con rayos salientes de la posición del observador. Para cada rayo, el punto de intersección más cercano al observador será visible ($v_n > 0$), mientras que las demás intersecciones se asignan con $v_n = 0$.

Existen métodos optimizados para el cálculo de las intersecciones de los rayos con los elementos del MDE [8] (triángulos en nuestro caso), que evitan el incremento masivo de los cálculos mediante el ordenamiento inteligente de los elementos. No obstante, aplicar la técnica de *ray casting* no es trivial y a menudo es conveniente que la máscara binaria se construya antes del inicio de la aplicación considerando todas las posibles posiciones del observador. La máscara de visibilidad resultará entonces de aplicar el algoritmo en aquellos puntos que conforman el borde de la zona de movimiento del observador; los puntos interiores no aportan información adicional al tratarse del borde de una superficie y donde el movimiento es plano y de altura constante.

A continuación se listan los pasos principales para generar la máscara de visibilidad.

- *definir la superficie de exploración*
- *en cada punto del contorno de la superficie de exploración*
 - *emitir rayos en todas las direcciones*
 - *obtener la lista de triángulos intersecados*
 - *ordenarlos por la distancia, para eliminar los triángulos ocultos*
 - *asignar el indicador de visibilidad a cada triángulo*

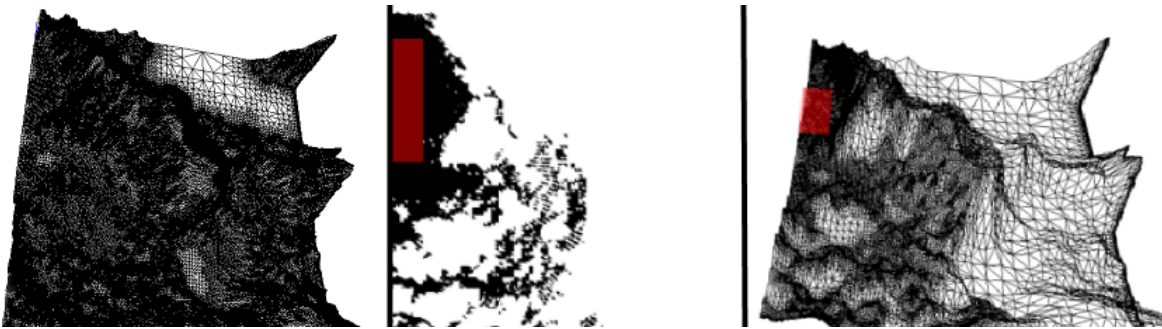


Figura 4 - MDE correspondiente al Lago Nahuel Huapi, Bariloche, Argentina. (a) Malla simplificada de acuerdo a la curvatura local. (b) Máscara generada de acuerdo a la posición del espectador. (c) Simplificación guiada por la máscara generada.

En el algoritmo, el entorno visible de un espectador se determina mediante rayos dirigidos en todas direcciones con una separación angular de $\Delta\alpha$ para el acimut y $\Delta\beta$ para la elevación. Es importante determinar correctamente la tasa de cambio de la orientación del rayo; si se elige un $\Delta\alpha$ muy grande, polígonos muy pequeños o muy alejados nunca serán intersectados por el rayo, tal como sucede en la Figura 5.

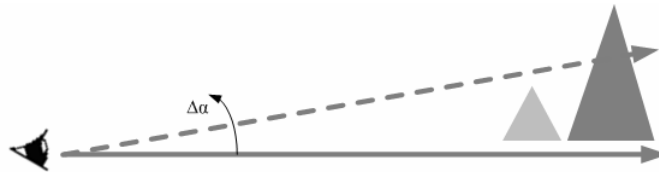


Figura 5: Caso de error en la definición del $\Delta\alpha$ de dos rayos consecutivos

3 CONCLUSIONES

Se han propuesto algoritmos que permiten reducir dinámicamente la cantidad de polígonos utilizados para la representación de modelos de elevación. Las reducciones obtenidas dejan mallas con el 5% al 10% de los polígonos originales lo cual tiene un impacto directo en el costo computacional del proceso de rendering de la imagen.

REFERENCIAS

- [1] Cifuentes, M.V., Vénere, M.J., Clause, A. Un algoritmo para la simplificación poligonal de modelos topográficos digitales. *33ª JAIHO, Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa. Córdoba, 2004.*
- [2] Samet, H. The quadtree and related hierarchical data structures. *Association for Computing Machinery. Computing Surveys*, 16 (2):187-260, June 1984.
- [3] Ibaroudene, D, Demjanenko, V & Acharya, R. Adjacency algorithms for linear octree nodes. *Image and Vision Computing, Butterworth & Co Publishers Ltd.*, 8(2):115-123, May 1990.
- [4] Von Herzen, B. & Barr, A. Accurate triangulation of deformed, intersecting surfaces. *Computer Graphics, SIGGRAPH'87 Proceedings*, pp. 103-110, 1987.
- [5] Cifuentes, M.V., D' Amato, J.P., García Bauza, C., Vénere, M.J. Editor de escenarios para aplicaciones de Realidad Virtual. *34ª JAIHO, Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa. Rosario, Septiembre de 2005.*
- [6] Hoppe, H. (1997) "View-Dependent Refinement of Progressive Meshes". *Computers & Graphics. Proceedings of SIGGRAPH'97*, p.189-198.
- [7] Lindstrom, P., Koller, D., Ribarsky, W., Hodges, L., Faust, N., Turner, G. (1996) "Real-Time, Continuous Level of Detail Rendering of Height Fields". *Computers & Graphics. Proceedings of SIGGRAPH'96.*
- [8] Challenging J., Scalable Parallel Volume Raycasting for Nonrectilinear Computational Grids, *IEEE* pp 87-111, 1993.
- [9] Cifuentes, M.V., D' Amato, J.P., García Bauza, C., Vénere, M.J., Clause, A. Remallado interactivo como método para la navegación eficiente de modelos topográficos. *MECOM 2005. Buenos Aires, Nov. de 2005.*