

Visualización de superficies de terrenos en tres dimensiones / Visualization of land surfaces in three dimensions

Yusnier Valle Martínez / Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba / yvm@uci.cu

Abstract *This paper presents a new technique based on the combination of the **quadtree** spatial data structure and the **bitree** subdivision for real-time visualization of height fields. We propose to model the surface by means of quadtrees, and to extract the multiresolution **triangulation** to visualize by means of the bitree criterion to each quadrant of the structure. This combination, at the same time that considerably reduces the amount of polygons to send to the graphical system for its **visualization**, eliminates the limitation imposed by restricted quadtrees on the levels of division between neighboring quadrants in the structure.*

Antecedentes La tendencia a crear modelos digitales de terrenos utilizando quadtrees sobre mallas regulares ha resultado ser altamente eficaz, en gran medida por la gran eficiencia y flexibilidad de estas estructuras. (Pajarola, 2002) hace un análisis detallado de varios modelos que se basan en esta técnica, como es el caso del quadtree restringido (RQT) descrito por el propio autor en (Pajarola, 1998), por (Lindstrom et al., 1996), (Lindstrom et al., 2002), y (Rottger et al., 1998). (Abásolo et al., 2000), (Duchaineau et al., 1997), (Evans et al., 2001) y (De Floriani et al., 2002) proponen el criterio de triangulación conocido como “bitriangle” o “bitree”, modelos muy eficientes que toman como patrón base un triángulo que es dividido recursivamente adicionando el punto medio de su diagonal hasta lograr la exactitud deseada.

La restricción de balance impuesta por los quadtrees ha sido ampliamente analizada, debido principalmente a que para eliminar posibles discontinuidades en la triangulación se necesitan polígonos adicionales, cuando uno de los objetivos principales es la utilización de la menor cantidad posible de estos. Los modelos basados en quadtrees no restringidos (NRQT) introducidos por (Pérez et al., 2004) dividen cada cuadrante independientemente de sus vecinos, permitiendo extraer triangulaciones de manera sencilla sin la necesidad de incluir polígonos adicionales para tratar discontinuidades en la superficie. En general, el problema fundamental consiste en proporcionar modelos que resalten distintos niveles de detalles en los terrenos de acuerdo a las características del relieve

del mismo; empleando algoritmos de acceso espacial, actualización, triangulación y visualización eficientes; y relativamente sencillos de implementar.

Objetivos Los modelos digitales de terrenos constituyen un elemento importante en una amplia gama de aplicaciones, desde Sistemas de Información Geográfica, video juegos, hasta simuladores de vuelo, etc. En muchos casos el terreno no constituye el elemento más importante en una simulación, de ahí la importancia de lograr que su representación sea lo más eficiente posible.

El objetivo fundamental de este documento es proponer una técnica, que denominaremos QBT (Quadtree-Bitree Triangulation), de visualización de superficies de terrenos en tres dimensiones con distintos niveles de resolución (Level of Detail), que utilice un quadtree (de Berg et al., 1997) para la representación espacial de los datos, así como el criterio bitree (Abásolo et al., 2000) para la triangulación de cada cuadrante a visualizar. Análogamente a la propuesta de (Pérez et al., 2004), cada cuadrante de la estructura es dividido independientemente de sus vecinos, razón por la cual se elimina la restricción de balance del quadtree impuesta por varias técnicas de visualización.

Construcción del quadtree El proceso de construcción de un quadtree se realiza a partir de un conjunto arbitrario C de puntos en el plano, que conforman una malla rectangular regular representada



mediante una matriz M de dimensiones $2^n + 1 \times 2^n + 1$ (n entero no negativo). El término regular de la malla viene dado por el hecho de que existen dos enteros positivos j y k , tal que la distancia entre cualesquiera dos puntos consecutivos en una misma fila o columna de la malla es j y k respectivamente. De esta forma, el valor de las coordenadas de cualquier punto vendría dado por $(j*f, k*c)$, donde f y c son la fila y la columna respectivamente en M del punto en cuestión. El cuadrante base almacenado en la raíz del quadtree está determinado por los puntos en las posiciones $(2^n, 0)$, $(0, 0)$, $(0, 2^n)$, $(2^n, 2^n)$ en M . El proceso de división comienza tomando el punto medio $(2^{n-1}, 2^{n-1})$ de la malla y creando cuatro cuadrantes. Cada uno de ellos a su vez es recursivamente dividido en cuatro hasta alcanzar la precisión deseada (Figura 1).

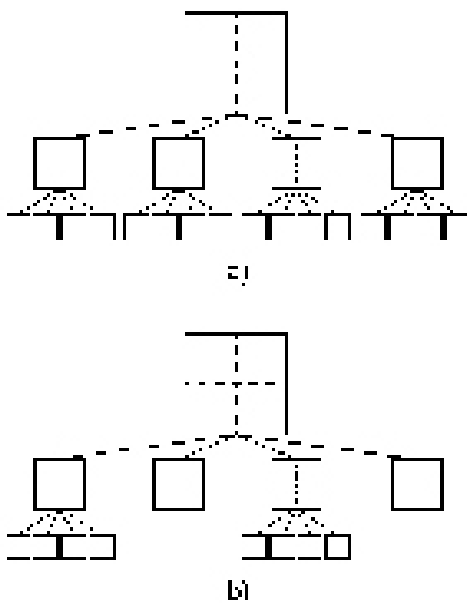


Figura 1 . Quadtree: a) completo, b) podado.

Selección de cuadrantes a visualizar Diversos son los criterios a tener en cuenta para controlar la simplificación geométrica de los modelos, permitiendo la extracción de triangulaciones con diferentes niveles de resolución. El criterio utilizado en nuestro caso está basado en términos de la distancia Euclidiana ((Abásolo et al., 2000), (Lindstrom et al.,

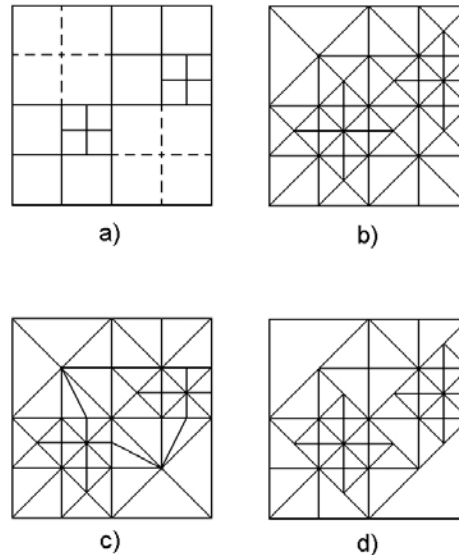


Figura 2 Posibles triangulaciones sobre un quadtree

1996), (Lindstrom et al., 2002), (Pajarola, 1998), (Pérez et al., 2004)), donde el modelo simplificado se encuentra dentro de una distancia determinada con respecto al de máxima resolución. De esta forma un cuadrante C de un nodo puede sustituir los cuadrantes C_h de sus hijos si el error de visualización de C con respecto a cada C_h se encuentra dentro de un margen (umbral) predeterminado, (Figura 1 b).

Quando hacemos uso de una ecuación de proyección isotrópica (Pérez et al., 2004), el error proyectado es el mismo en todas las direcciones alrededor de la posición del observador, sin tener en cuenta la dirección de visualización. Este efecto se puede amortiguar aplicando distintos niveles de calidad de visualización dentro y fuera del área del modelo situada en el rango de visión del observador (View Frustum).

Triangulación Un quadtree se encuentra balanceado (de Berg et al., 1997) si cualesquiera dos cuadrantes vecinos difieren en a lo sumo un factor de dos en sus dimensiones, (Figura 2 a). Una variante de triangulación aplicada a un quadtree balanceado procede dividiendo cada cuadrante C en ocho triángulos, dos por cada arista, a menos que el vecino por la arista en cuestión posea dimensiones mayores o iguales que



C , (Figura 2 b). Como resultado de la restricción de balance impuesta sobre el quadtree para la aplicación de esta técnica, la selección de un cuadrante para visualizar provoca un efecto cascada en sus vecinos correspondientes, razón por la cual puede resultar necesaria la introducción de cuadrantes adicionales para eliminar posibles grietas en la superficie a visualizar. La propuesta de triangulación aplicada a quadtrees no restringidos expuesta en (Pérez et al., 2004) elimina la restricción de balance requerida por la variante anterior, resultando en mallas triangulares simplificadas con menor cantidad de triángulos, (Figura 2 c).

La variante de triangulación que proponemos es la aplicación de la técnica expuesta en (Abásolo et al., 2000) a cada cuadrante de la estructura, (Figura 3)

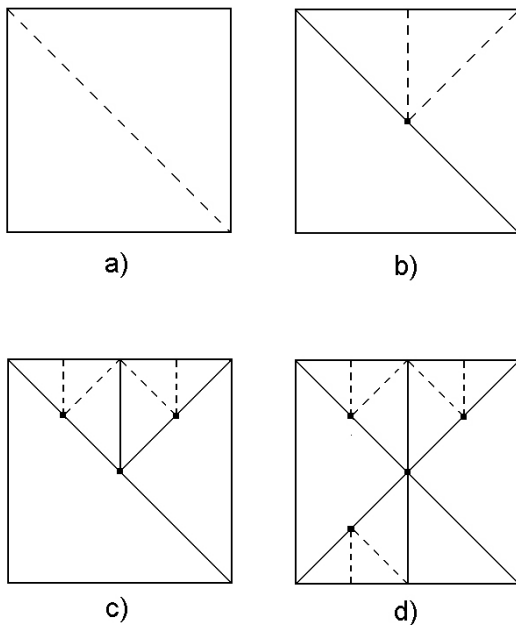


Figura 3 Posibles triangulaciones sobre un quadtree.

Cada cuadrante se divide en dos triángulos, adicionando una de sus diagonales, (Figura 3 a). Si alguno de sus cuadrantes vecinos presenta un mayor nivel de división, se añade el punto medio de la diagonal y se traza una recta hasta el punto medio de la arista en cuestión, (Figura 3 b). El proceso continúa mientras sea necesario,(

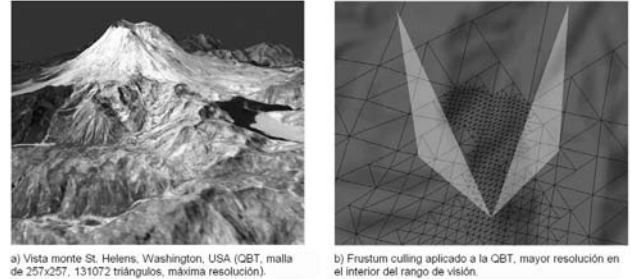


Figura 4 Superficies visualizadas mediante la triangulación quadtree-bitree.

Figura 3 c), d). La Figura 2 d muestra una posible triangulación de un quadtree según el criterio bitree.

Visualización Con el objetivo de que el proceso de visualización se realice de la forma más eficiente posible, resulta indispensable minimizar la cantidad de vértices a enviar al sistema gráfico para su procesamiento. Varias estrategias son comunes en trabajos precedentes, tal es el caso de la formación de cadenas vértices de forma tal que para visualizar N triángulos, no sean necesarios $3N$ vértices, sino solo $N+2$ (triangle strip).

En (Abásolo et al., 2000) se propone una estrategia de optimización del proceso de visualización de un bitree siguiendo el criterio descrito anteriormente. En nuestro caso se realiza un recorrido por la estructura, donde los nodos seleccionados según la precisión requerida son triangulados y visualizados independientemente.

Conclusiones En el documento ha sido presentada una nueva técnica para modelar y visualizar superficies de terrenos interactivamente y en tiempo real. La Figura 4 muestra dos vistas obtenidas aplicando el criterio propuesto, observándose que en el área comprendida en el rango de visión del observador el nivel de detalle es superior que en el resto de la superficie, (Figura 4 b).

La Tabla 1 muestra una comparación realizada entre la técnica QBT propuesta en este documento y las basadas en quadtrees restringidos. Puede observarse que para un mismo grado de aproximación la RQT introduce mayor cantidad de polígonos para prevenir la aparición de grietas en la superficie.



Tabla 1 Comparación entre técnicas de visualización.

Error (%)	Número de Triángulos	
	QBT	RQT
15	1725	2286
11	3017	4180
8	4896	6401
6	7300	9687
4	13454	17467
3	17676	21755
2	25973	32463
1	60673	72059

Si por una parte se ha logrado minimizar la cantidad de primitivas a visualizar con respecto a la RQT, disminuir el tiempo de obtención de la triangulación de la estructura en la QBT resulta de crucial importancia. Como trabajo futuro queda pendiente la introducción de la estrategia propuesta en (Abásolo et al., 2000), o alguna otra semejante, que contribuya en este sentido.

Otro aspecto a destacar sin dudas lo constituye el expuesto en (Stewart, 1997) sobre visibilidad jerárquica en superficies de terreno. La diferencia en niveles de detalle entre las áreas ubicadas dentro y fuera del rango de visión del observador, (Figura 4 b), sin dudas deviene en aumento de las velocidades de visualización, pero en un relieve accidentado se localizan áreas, incluso dentro del rango de visión, que no son visibles porque son ocultas por otras regiones. En un trabajo posterior nos proponemos aplicar esta clase de algoritmos en nuestra propuesta, con el objetivo de detectar estas áreas y disminuir de esta forma la cantidad de polígonos a visualizar.

Reconocimientos Agradecemos al señor Mariano Pérez del Instituto de Robótica de la Universidad de Valencia por proporcionarnos su artículo "Visualization of Large Terrain Using Non-restricted Quadtree Triangulations".

Referencias Abásolo, M. J., de Giusti, A.,

Blat, J.: 2000, *A hierarchical triangulation for multiresolution terrain models*, The Journal of Computer Science and Technology (JCS&T), Special Issue on Computer Science Research: State of the Art 1, 3. de Berg, M., van Kreveld, M., Overmars, M., Schwarzkopf, O.: 1997, *Computational Geometry: Algorithms and Applications*, Quadtrees: Non-Uniform Mesh Generation, Springer-Verlag, pp. 289-304. / De Floriani, L., Magillo, P.: 2002, *Triangle-based Multi-Resolution Models for Height Fields, Curve and Surface Fitting*: Saint-Malo, A. Cohen, J.-L. Merrien, L.L. Schumaker (eds.), Nashboro Press, Brentwood, TN, USA, 2003, pp. 97-106. / Duchaineau, M. A., Wolinsky, M., Sigeti, D. E., Miller, M. C., Aldrich, C., Mineev-Weinstein, M. B.: 1997, *ROAMing terrain*: real-time optimally adapting meshes, IEEE Visualization, pp. 81-88. / Evans, W. S., Kirkpatrick, D. G., Townsend, G.: 2001, *Right-triangulated irregular networks*. Algorithmica 30, 2, pp. 264-286. / Lindstrom, P., Koller, D., Ribarsky, W., Hodges, L., Faust, N., Turner, G.: 1996, *Real-time continuous level of detail rendering of height fields*, Proceedings of SIGGRAPH '96, pp. 109-118. / Lindstrom, P., Pascucci, V.: 2002, *Terrain Simplification Simplified*: A General Framework for View-Dependent Out-of-Core Visualization, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Volume 8, Issue 3, pp. 239-254. / Pajarola, R. B.: 1998, *Large scale terrain visualization using the restricted quadtree triangulation*, IEEE Visualization '98, D. Ebert, H. Hagen, and H. Ily Rushmeier, Eds., pp. 19-26. / Pajarola, R.: 2002, *Overview of quadtree based terrain triangulation and visualization*, Technical report uci-ics tr 02-01. / Perez, M., Olanda, R., Fernandez, M.: 2004, *Visualization of large terrain using non-restricted quadtree triangulations*, Computational Science and Its Applications - ICCSA, H. Springer Berlin, Ed., pp. 671-681. / Roettger, S., Heidrich, W., Slussallek, P., Seidel, H-P.: 1998, *Real-Time Generation of Continuous Levels of Detail for Height Fields*, Proc. 6th Int. Conf. in Central Europe on Computer Graphics and Visualization, pp. 315-322. / Stewart, A. J.: 1997, *Hierarchical visibility in terrains*, Eurographics Rendering Workshop, pp. 217-228.

Keyword: *Quadtrees; bitrees; triangulation; multiresolution; visualization.*

