

Herramientas para la Triangulación y Registrado Inicial de Modelos 3D a Partir de Nubes de Puntos

M. España, J.J. Moreno, D. Martín y P. Cano

Grupo de Investigación en Informática Gráfica. Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos.
Universidad de Granada

Abstract

Presentamos un sistema para el tratamiento de datos adquiridos mediante escáner láser 3D, cuyo objetivo es la obtención de modelos tridimensionales de manera semiautomática. El sistema, que preserva el histórico de operaciones sobre las mallas desde la adquisición de éstas, consta de dos herramientas software.

La primera herramienta se encarga de triangular la nube de puntos obtenida del escáner, consiguiendo mallas más correctas mediante la aplicación de diversos criterios de bondad sobre la triangulación obtenida.

Una vez obtenida la malla se pasa al proceso de registrado mediante un procedimiento interactivo en el que las mallas son simplificadas para una más fácil selección de los puntos.

El resultado final es un método que sirve para el desarrollo de software para gestión de modelos escaneados que no precisan de alta especialización del usuario final, evitando además el uso masivo de recursos hardware típico de este tipo de aplicaciones.

Categories and Subject Descriptors (according to ACM CCS): I.3.5 [Informática Gráfica]: Modelado 3D, escáner láser 3D, triangulación, registrado

1. Introducción

Es notable el auge que la generación de modelos 3D a partir de objetos reales está tomando en campos tan dispares como la paleontología, la arquitectura, la medicina, la industria o el arte, con la tendencia común de aumentar la calidad del modelo 3D obtenido. El número de puntos a tratar crece considerablemente, ya sea por el elevado detalle con que se toman las muestras o por las dimensiones del objeto real a representar, lo que dificulta el manejo de la nube de puntos obtenida e implica, tradicionalmente, métodos de adquisición distintos.

Actualmente los modelos 3D se generan utilizando métodos manuales o semi manuales (estereoscopia, dibujo sobre una fotografía del modelo, o modelado 3D sobre fotografías [FJZ05]). Estos métodos requieren mucho tiempo y esfuerzo para su elaboración, lo que hace que el proceso sea lento y costoso.

La forma más eficiente y fiable de generar estos modelos de objetos reales es mediante el uso de escáner láser. Estos escáneres, no obstante, devuelven el modelo representado por una nube muy densa de puntos, que corresponde con

puntos de la superficie del elemento que se desea reproducir. Esta enorme densidad conlleva una considerable pérdida en rendimiento de las aplicaciones software convencionales, e impide extraer las características relevantes del modelo.

El proceso a llevar a cabo parte de la adquisición de los modelos mediante un escáner láser 3D que genera nubes de puntos e imágenes de intensidad asociadas. Estas nubes se procesan para obtener mallas de triángulos que representen el modelo, intentando compensar los errores debidos a no tener una línea de visión clara o demasiado alejada del objeto a escanear. A continuación las mallas se alinean en un proceso que se denomina registrado y que se divide en dos fases: registrado inicial y registrado fino. De esta manera se tiene una composición de partes del modelo real que lo representen por completo. Llegados a este punto, las mallas pueden fusionarse en un única malla, obteniendo dicho modelo 3D (vectorial).

Frente al software existente, planteamos un sistema con el que conseguimos agilizar el proceso de obtención de las mallas iniciales a partir de los datos proporcionados por el escáner mediante la optimización de las herramientas para

el formato de dichos datos. Se define también una estructura de ficheros que preserva el histórico de operaciones sobre las mallas, conservando todo la información generada desde el inicio del proceso y minimizando el espacio requerido en disco, puesto que no se guarda redundantemente la geometría y topología de cada malla nueva generada, que es lo habitual en este tipo de software. Por otro lado, la disponibilidad de toda la información desde el inicio del proceso es de gran utilidad en procesos como el registrado fino y la fusión.

2. Trabajos relacionados

En este campo, uno de los trabajos más importantes es el proyecto Michaelangelo [LPC*00], en el que se generó un modelo digital de la famosa escultura de David formado por 8 millones de polígonos, partiendo de un volumen de datos capturados de 2 billones de polígonos. En el campo de la digitalización de edificios, podemos encontrar trabajos como [CRAS07] y [BPEH*02].

El tratamiento de nubes de puntos obtenidas mediante escáner láser (terrestre y aéreo) para el reconocimiento de superficies ha sido tratado en [VGSR04], donde se abordan métodos de segmentación, de crecimiento, mediante voxels, métodos iterativos y la aplicación de la transformada de Hough a un espacio tridimensional.

Respecto al registrado inicial de dos superficies de triángulos, el enfoque más exitoso para resolver este problema ha sido el algoritmo ICP ([BM92], [CM92] y [Zha94]), en el que pares de puntos candidatos se identifican en el área de solapamiento de dos mallas y un procedimiento de optimización calcula la transformación rígida que reduce la distancia entre los dos conjuntos de puntos. Este proceso se repite hasta que se satisface cierto criterio de convergencia.

Generalmente se obtienen mínimos locales, pero dependiendo de la configuración inicial se pueden obtener mínimos globales. En este punto es muy útil el uso de texturas para discriminar esa correcta inicialización.

Variaciones del algoritmo difieren en cómo las parejas de puntos coincidentes candidatas son identificadas, cuáles son usadas en el cálculo de la transformación rígida y en el tipo de optimización a utilizar [BR02]. Véanse los trabajos de Bels y McKay [BM92], Chen y Medioni [CM92], Zhang [Zha94] y Dorai et al. [DWJ97].

3. Almacenamiento de mallas

Con el fin de optimizar la gestión del gran volumen de información proporcionado por el dispositivo de adquisición se ha desarrollado un método de almacenamiento que diversifica la información según el fin para la que ésta se utilice, y minimiza el espacio que ésta, y toda la nueva información que se genera a lo largo del ciclo de vida de la generación del modelo 3D, ocupa en disco.

Cada malla se almacena en un directorio independiente,

compuesto por un conjunto de ficheros de texto plano, la mayoría en formato PLY, que almacenan diversos aspectos de los modelos parciales y del proceso de construcción de modelo completo. Con una correcta separación de toda la información manejada se consiguen evitar redundancias, se ahorra espacio de disco y se ayuda a mantener un histórico de las operaciones realizadas sobre cada malla original. Además, se consigue que cada aplicación maneje sólo los datos estrictamente necesarios para su tarea correspondiente en la obtención del modelo 3D.

4. Módulo de triangulación

El objetivo de este módulo es la obtención de una superficie formada por triángulos a partir de los puntos obtenidos mediante un escáner 3D: el Callidus CP 3200.

El programa está adaptado especialmente para el tratamiento de los datos proporcionados por este escáner, pero obviamente, puede ser usado con cualquier nube de puntos siempre y cuando se adapten los datos proporcionados por el dispositivo para el formato específico del sistema.

El escáner realiza un barrido vertical y otro horizontal obteniendo una rejilla bidimensional de profundidades. Los puntos consecutivos de la rejilla son considerados los mejores candidatos para la formación de cada triángulo. Sin embargo, dada la resolución del dispositivo de captura, pueden existir discontinuidades en la superficie real capturada y un triángulo plano no la representaría de manera fiable. Por ello, de manera similar a la expuesta por [RST94], se usan varios criterios para descartar triángulos que con un alto grado de probabilidad no se ajustan a la superficie real.

4.1. Criterios de triangulación

El módulo usa tres criterios para el descarte de triángulos:

- Que la superficie de cada triángulo no supere un límite dado, ya que los triángulos demasiado grandes son probablemente incorrectos.
- La proporción entre las aristas del triángulo debe ser próxima a la unidad para evitar triángulos excesivamente deformados.
- Que el ángulo formado por la normal al triángulo y el vector que va desde la posición del escáner hasta el centro del triángulo no supere un valor determinado. Esto permite eliminar caras que, de existir en la realidad, no habrían podido ser captadas por el dispositivo debido a la orientación de dichas caras.

En la figura 1, que corresponde a la captura de un dolmen, podemos comprobar la diferencia entre realizar una triangulación sin descartes y otra aplicando un ángulo máximo entre el escáner y el triángulo de 80°. A la izquierda se presenta la nube de puntos. En el centro se observa como aparecen triángulos incorrectos en diversas zonas, como la entrada del dolmen. A la derecha vemos como el criterio del ángulo elimina estos triángulos.

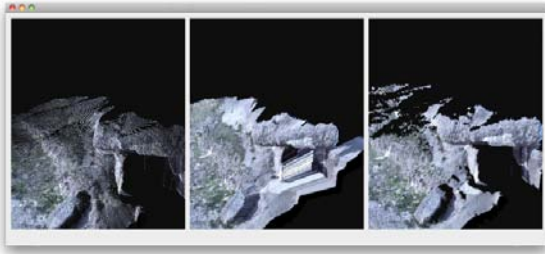


Figure 1: Ejemplo de triangulación usando criterios de des-carte.

4.2. Resultados

En la tabla 1 mostramos algunos de los tiempos obtenidos con nuestra triangulación usando los tres criterios de eliminación simultáneamente. La ejecución fue realizada sobre una máquina Intel Core 2 Duo T8300 2.4 GHz con 3GB de memoria RAM y sistema operativo Ubuntu Linux 2.6.22-14-generic 1 SMP.

Table 1: Tiempos de triangulación

Vértices	Triángulos	Tiempo(s)
102.964	187.356	6
347.491	657.084	19.83
176.263	333.056	10.49
327.618	638.032	18.7

5. Módulo de registrado

En este proceso se usan únicamente las nubes de puntos obtenidas del escáner, evitando propagar posibles errores generados en el proceso de triangulación mencionado anteriormente. El algoritmo implementado es la versión simplificada del método de Horn [Hor87], usado para encontrar la relación entre dos sistemas de coordenadas en base a pares de puntos presentes en ambos sistemas. Partiendo de una malla que se considera fija y de otra que se considera móvil o flotante, se busca obtener una transformación geométrica que cambie el sistema de coordenadas de la malla flotante para hacerlo corresponder con el sistema de coordenadas de la malla fija. Para ello el usuario debe seleccionar tres puntos en cada una de las mallas, teniendo como condicionante el que cada punto de la malla fija se relaciona con el correspondiente de la malla móvil. Con el objetivo de facilitar esta selección se reduce el conjunto de puntos haciendo uso del algoritmo de simplificación de líneas de Douglas-Peucker [DP73].

El objetivo de este método es mantener aquellos puntos que tienen una mayor importancia en la forma de la curva, eliminando el resto. El algoritmo funciona de la siguiente manera. Dados los dos puntos extremos, P_0 y

P_n de la secuencia de n puntos que se va a simplificar $P_1, P_2, P_3, \dots, P_{n-1}$ y dado un factor de distancia d , se calculan, para cada punto, la distancia del punto a la recta $P_0 - P_n$, obteniendo $d_1, d_2, d_3, \dots, d_{n-1}$. Se busca el máximo de estas distancias y se comprueba si es mayor que d . Si es mayor, el punto correspondiente a dicha distancia se mantiene y se convierte en lo que se llama un punto ancla P_a , y se llama recursivamente al procedimiento con $P_0 - P_a$ y $P_a - P_n$. Sino se eliminan todos los puntos entre P_0 y P_n .

De esta manera se ve muy simplificada la selección para el usuario. De una nube compuesta por 247324 puntos podemos pasar a otra de 4099 puntos. En la figura 2 tenemos un ejemplo del registrado haciendo uso de dicha simplificación.

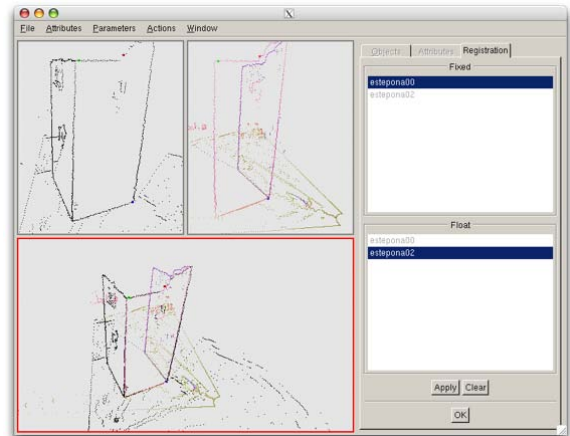


Figure 2: Proceso de registrado.

5.1. Método aplicado

Cada una de las dos triadas de puntos se puede considerar como un sistema de coordenadas. El objetivo es buscar la transformación que hace que la triada de la malla móvil encaje con la triada de la malla fija. Para ello se aplican los siguientes pasos:

- Se calculan los centroides de cada triada.
- Se colocan los centroides en el origen del sistema de coordenadas.
- A partir de cada triada se calcula un plano. Hay que orientar un plano respecto al otro mediante un giro sobre la línea de intersección de ambos planos.
- Una vez los dos planos están orientados, sólo queda realizar un giro. Ya que el ajuste puede no ser exacto, se realiza por mínimos cuadrados.

Este conjunto de transformaciones se aplica a la malla móvil y la coloca en el sistema de coordenadas de la malla fija.

6. Conclusiones y trabajo futuro

Las herramientas presentadas en este artículo, junto con el sistema de ficheros propuesto, permiten realizar el proceso de generación de modelos tridimensionales a partir de escaneos parciales de una manera sistemática y sin pérdida de información a lo largo del proceso. La arquitectura del sistema convierte este proceso en un conjunto de tareas disjuntas pero interconectadas, permitiendo la reconstrucción del proceso completo y, posibilitando la integración de herramientas específicas para cada tarea, que pueden ser optimizadas de manera independiente. La correcta definición del proceso como un conjunto de entradas y salidas es la base de este sistema.

La herramienta de triangulación aplica varios criterios para eliminar un posible ruido introducido en el proceso de triangulación automático de los puntos.

También se propone una herramienta que facilita el proceso de registrado manual mediante la simplificación las de nubes de puntos, destacando aquellos puntos que realmente son importantes en el modelo y ocultando información que aporta poco al proceso.

El siguiente paso en el proyecto es el desarrollo de una herramienta de fusión, que se encargará de generar una única malla como combinación de varias mallas registradas con el software presentado en este artículo. Por otro lado, se generará una herramienta encargada de realizar un registrado fino a partir del registrado inicial obtenido con el programa de registrado actual. Adicionalmente, la triangulación puede ser ampliada añadiendo nuevos criterios que complementen a los existentes y el registrado inicial propuesto puede ser optimizado.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología y los fondos FEDER, a través del proyecto TIN2007-67474-C03-02 y por la Consejería de innovación Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía a través del proyecto de excelencia TIC-401.

References

- [BM92] BESL P. J., MCKAY N. D.: A method for registration of 3D shapes. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 14, 2 (1992), 239–256.
- [BPEH*02] BERARDIN J., PICARD M., EL-HAKIM S. F., GODIN G., VALZANO V., BANDIERA A., LATOUCHE D.: Virtualizing a byzantine crypt by combining high-resolution textures with laser scanner 3d data. In *Proceedings of VSM 2002* (2002), pp. 3–14.
- [BR02] BERNARDINI F., RUSHMEIER H.: The 3D model acquisition pipeline. *Computer Graphics Forum* 21, 2 (2002), 149–172.
- [CM92] CHEN Y., MEDIONI G.: Object modelling by registration of multiple range images. *Image Vision Comput.* 10, 3 (1992), 145–155.
- [CRAS07] CODER P. O., RUBIO M. A. M., ALVAREZ J. A. P., SANTAMARÍA H. S.: Modelo 3D con láser escáner combinando texturas de alta resolución: el teatro de gavle (suecia) y la puerta de alfonso vi de toledo. *Mapping*, 115 (2007), 52–58.
- [DP73] DOUGLAS D. H., PEUKER T. K.: Algorithms for reductions of the numer of points required to represent a digitised line or its caricature. *The Canadian Cartographer* 2, 10 (September 1973), 112–122.
- [DWJ97] DORAI C., WENG J., JAIN A. K.: Optimal registration of object views using range data. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 19, 10 (1997), 1131–1138.
- [FJZ05] FRUEH C., JAIN S., ZAKHOR A.: Data processing algorithms for generating textured 3d building facade meshes from laser scans and camera images. *Int. J. Comput. Vision* 61, 2 (2005), 159–184.
- [Hor87] HORN B. K. P.: Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions. *Journal of the Optical Society of America A* 4 (April 1987), 629–642.
- [LPC*00] LEVOY M., PULLI K., CURLESS B., RUSINKIEWICZ S., KOLLER D., PEREIRA L., GINZTON M., ANDERSON S., DAVIS J., GINSBERG J., SHADE J., FULK D.: The digital michelangelo project: 3D scanning of large statues. In *Siggraph 2000, Computer Graphics Proceedings* (2000), Akeley K., (Ed.), ACM Press / ACM SIGGRAPH / Addison Wesley Longman, pp. 131–144.
- [RST94] RUTISHAUSER M., STRICKER M., TROBINA M.: Merging range images of arbitrarily shaped objects. In *CVPR94* (1994), pp. 573–580.
- [VGSR04] VOSSELMAN G., GORTE B., SITHOLE G., RABBANI T.: Recognising structure in laser scanner point clouds. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 4 (2004), 33–38.
- [Zha94] ZHANG Z.: Iterative point matching for registration of free-form curves and surfaces. *Int. J. Comput. Vision* 13, 2 (1994), 119–152.