

Asignación del color en modelos tridimensionales.

Vicente Domínguez, Ricardo Chacón y Antonio Adán

3D Visual Computing and Robotics Lab. Universidad de Castilla La Mancha, Ciudad Real. España

Resumen

Hoy en día los sensores tridimensionales de última generación proporcionan información geométrica con un alto grado de precisión. En el proceso de construcción de un modelo digital, la información colorimétrica es añadida a través de cámaras de color, externas o integradas en el propio sensor 3D. Así, se obtiene una información completa (geometría+color) para cada toma de la escena. Sin embargo, la fusión de información de color desde distintos puntos de vista es un problema que los sistemas digitalizadores actuales no resuelven satisfactoriamente. El presente trabajo se centra en el desarrollo de algoritmos que permitan obtener modelos digitales 3D completos, dedicando especial atención al problema de integración de texturas para diferentes posiciones del sensor 3D.

Palabras Clave: LASER SCANNER, DIGITALIZACIÓN 3D, MODELOS TRIDIMENSIONALES, FUSIÓN DE COLOR.

Abstract

Nowadays, current three-dimensional sensors provide geometric information with a high degree of accuracy. The colorimetric information is provided through a color camera which can be inserted or not into the 3D sensor, so that the whole information (points + color) is available for each scan of the scene. However, the integration of color information from different scanner positions is an issue which has not been satisfactorily solved in the current digitalization systems. This work focuses on developing techniques which obtain a complete 3D digitalization (geometry + color) from different scans of the scene, paying particular attention to the texture merging.

Key words: LASER SCANNER, 3D DIGITALIZATION, 3D MODELS, COLOR MERGING.

1. INTRODUCCIÓN.

En la última década, la demanda de profesionales y público en general sobre formación e información de técnicas digitales aplicadas al Patrimonio Arqueológico es una realidad que necesita una respuesta a corto plazo. Pasar de los sistemas tradicionales a los nuevos sistemas computarizados implica una renovación de las antiguas técnicas sobre papel y entornos bidimensionales hacia entornos tridimensionales con multitud de opciones de manipulación y visualización de la información. Así, los modelos digitales en general, y los modelos tridimensionales en particular, ofrecen un amplio abanico de posibilidades en diversos campos de aplicación (registro digital, animaciones por computador, realidad virtual, realidad aumentada, etc) que nos permiten establecer una interacción usuario-computador con la escena digitalizada.

Dentro de este marco de renovación hacia técnicas computarizadas de registro del patrimonio, la digitalización 3D está tomando cada vez más protagonismo en el campo museístico y arqueológico. La reconstrucción digital 3D ofrece múltiples ventajas: fiabilidad y precisión en el registro de la pieza o escena, reducción del tiempo de registro, ausencia de contacto físico, etc. Además de la geometría del objeto digitalizado, se obtiene la información de color, con lo que se consigue una representación tridimensional que es una copia exacta e imperecedera de la escena.

En el proceso de construcción de un modelo digital tridimensional, la integración de la textura desde diferentes posiciones del sensor 3D sobre el modelo geométrico, juega un papel transcendental en el proceso de reconstrucción integral. Aunque en la última década se han propuesto algunas soluciones a este problema, desafortunadamente no hay soluciones definitivas.

Algunos de los trabajos que tratan problemas de fusión de color son referenciados a continuación. En (VAN GOOL 2002) se discuten diversos desarrollos de síntesis de texturas y los modelos de texturado multivista. En (AGATHOS 2003) se presenta un método de fusión de texturas que corrige la discontinuidad existente en la zona de solape al tomar varias imágenes influenciadas por los cambios de iluminación. En (VANDEN 2003) se produce una inserción de texturas detectando puntos característicos en la imagen que definen a su vez zonas sobre las que se efectuará solapes de textura. Por su parte, Callieri *et al.* presentan un constructor de texturas en (CALLIERI 2003). Se aplica correlación cruzada e interpolación de las imágenes de entrada directamente sobre el espacio de textura, logrando evitar discontinuidades entre secuencias adyacentes. Por último, en (PARK 2005) se presenta un método en el que de forma simultánea se realiza el relleno de huecos y se reconstruye la textura asociada.

En este trabajo se presenta una nueva estrategia de actuación para llevar a cabo una reconstrucción digital 3D completa de piezas escultóricas o escenarios arqueológicos, dedicando especial atención la etapa de mezclado e integración de texturas

sobre la geometría completa de la pieza. La Figura 1 a) muestra el resultado de reconstrucción tridimensional del teatro romano de Segóbriga (Cuenca, España) utilizando un procedimiento de mezclado de color del propio scanner y el mismo modelo después de utilizar un algoritmo propio de fusión. La Figura 1 b) muestra un esquema de las fases principales del proceso de reconstrucción digital: toma de datos, obtención del modelo completo geométrico (MGC) y asignación de color sobre el MGC).

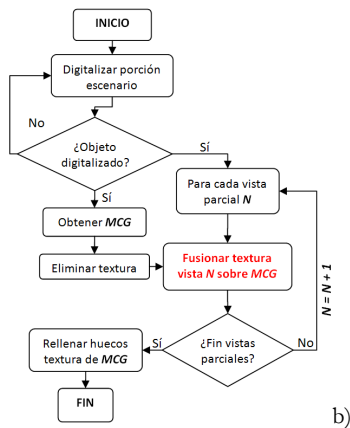


Figura 1. a) Asignación de color con software convencional (arriba) y a través del método propuesto (abajo). b) Fases principales del proceso de reconstrucción digital.

2. ESTRATEGIA DE ACTUACIÓN.

2.1 TOMA DE DATOS.

La etapa de toma de datos comienza con una planificación previa del objeto o escenario a digitalizar. La planificación comienza con el estudio de la zona en la que se encuentra el objeto o escenario, determinando si es posible acceder a él con el equipo y si es factible su digitalización. Una vez estudiado el entorno se procede al estudio del objeto o escenario con el fin de determinar las mejores posiciones de digitalización, teniendo en

cuenta que el conjunto de posiciones debe cumplir las siguientes exigencias:

- Minimizar el número de tomas.
- Minimizar la oclusión y pérdida de datos.
- Asegurar un solapamiento mínimo entre tomas.

Además, es necesario planificar los cambios de iluminación en la escena, cuando se trabaja en entornos exteriores, así como los tiempos requeridos en cada toma. La Figura 2 ilustra un ejemplo de planificación realizado sobre el escenario de un teatro romano.

Una vez terminada la planificación, se obtiene un conjunto de tomas o vistas parciales del escenario a través del escáner láser, cada una de ellas con su información correspondiente de geometría (conjunto de coordenadas x, y, z de cada punto 3D) y textura (componente RGB de color para cada punto) que cubren toda la geometría del objeto o escena digitalizada (Fig. 3). Existen ciertos escáneres láser que proporciona la indexación de facetas triangulares construida sobre los puntos 3D.

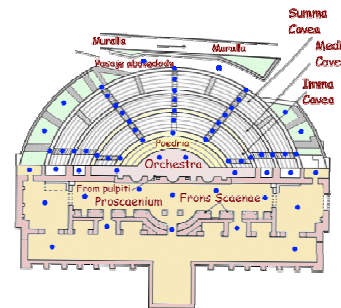


Figura 2. Planificación de la digitalización del teatro Romano de Segóbriga (Cuenca, España). En azul los puntos donde posicionar el escáner láser.

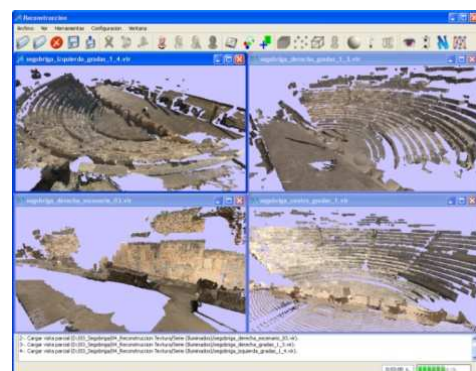


Figura 3. Ejemplo de cuatro vistas parciales del Teatro Romano de Segóbriga.

2.2 OBTENCIÓN DEL MODELO GEOMÉTRICO COMPLETO (MGC).

Una vez terminada la toma de datos se llevan a cabo las etapas de registro geométrico de tomas, limpiado el ruido y mezcla de

color, para finalmente obtener un modelo tridimensional completo de la escena digitalizada.

El alineamiento o registro de las diferentes digitalizaciones se ha llevado a cabo utilizando conocidos algoritmos de alineamiento de objetos 3D (*Iterative Closest Point* (RUSINKIEWICZ 2001)). En su versión asistida, se realiza primeramente una transformación aproximada basada en la identificación de, al menos, 3 puntos en ambas superficies. Esto es suficiente para colocar las superficies suficientemente acopladas y respecto del sistema de referencia de la primera vista. A continuación, se realiza mediante un proceso iterativo un refinamiento en el acoplamiento de superficies utilizando un algoritmo ICP.

La limpieza de ruido se realiza debido a los posibles errores producidos por el propio escáner durante el proceso de digitalización. Así, para tomas en exteriores, se generan una nube de puntos en el espacio vacío (Fig. 4-a). En digitalización de interiores, el ruido proviene de posibles triangulaciones incorrectas entre puntos (Fig. 4-b).

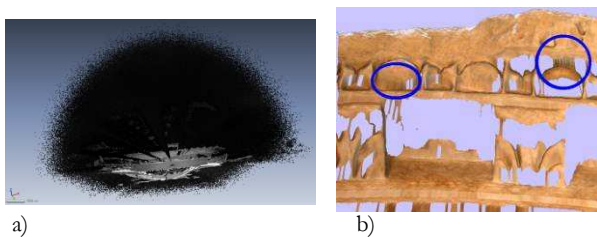


Figura 4. Ruido provocado por el escáner. a) puntos negros producidos en exteriores. b) triangulaciones incorrectas producidas por un escáner de interiores.

Una vez registradas todas las geometrías parciales, se realiza un fusinado de todas ellas, obteniéndose una única nube de puntos y, posteriormente, se define un modelo de malla triangular (*Meshing*). De esta manera se tiene el MGC (modelo geométrico completo), donde toda la información de las vistas parciales es sintetizado en una única estructura de datos. Tras construir el MGC, es posible realizar diversas operaciones de refinamiento, como las de suavizado y el rellenado de huecos, útiles para obtener un buen modelo geométrico final.

2.3. ASIGNACIÓN DE COLOR SOBRE EL MGC.

Partiendo del MGC, se establece un procedimiento secuencial en el que se va integrando el color en MGC a medida que una nueva vista parcial, con su información de color propia, aparece. La Figura 5 muestra un esquema del procedimiento de asignación de color. Podemos dividir éste en cuatro fases.

1. Búsqueda de cercanía.
2. Corrección de textura.
3. Mezclado o fusión de textura.
4. Rellenado de huecos de textura.

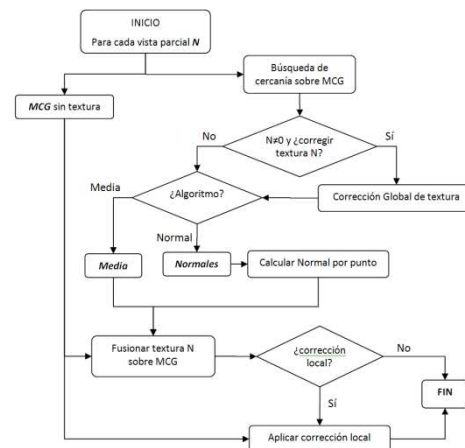


Figura 5. Fases principales del proceso de asignación de color sobre el MGC.

2.3.1 BÚSQUEDA DE CERCANÍA.

En la primera fase se establece una correspondencia de cercanía entre los puntos de la vista parcial, alineados en el sistema de referencia universal, y los puntos del MGC (Fig. 6).

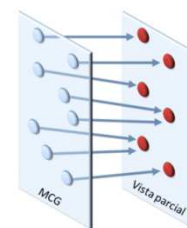


Figura 6. Búsqueda de correspondencia de cercanía entre puntos 3D.

Sea P el conjunto de puntos de MGC y P_p el conjunto de puntos de la vista parcial. Para cada punto p_k de P se busca el punto más cercano en P_p , que cumpla una condición de umbral de distancia mínima. Esta distancia mínima exigida está fijada por la longitud promedio entre puntos P de MGC. Como resultado obtendremos un conjunto de puntos de la vista parcial asociados al MGC, denotado como P_{MGC} .

2.3.2 CORRECCIÓN DE TEXTURA.

Para la primera iteración (correspondiente a la primera vista parcial) el color es íntegramente copiado en MGC (Fig. 7) (ver 2.3.3) pero, para las siguientes iteraciones, se acomete una fase de modificación de color a priori antes de realizar un algoritmo de mezcla.

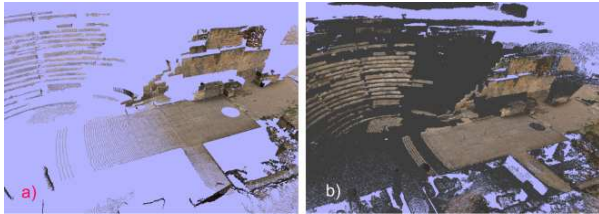


Figura 7. Integración de color en MCG. a) primera vista parcial. b) Integración de la primera vista sobre el MCG.

En esta fase, la información de color de la vista parcial es corregida en función del color en la parte de solapamiento en MCG. Se establece una transformación $T_{MCG} = Z * T_P$ para los puntos solapados en color, siendo T_{MCG} las componentes RGB de los puntos P_{MCG} asociados en MCG y T_P las componentes de color de los puntos correspondientes de la vista parcial (Fig. 8). La matriz de transformación Z es calculada y finalmente aplicada a todos los puntos de la vista parcial, modificando así su color.

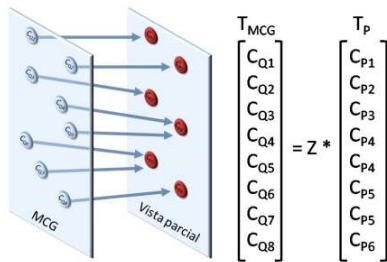


Figura 8. Corrección de color de la vista parcial.

En la figura 9 a) y b) se muestra la vista parcial antes y después del proceso de corrección de textura, mientras que la figura 9 c) muestra el MCG con la textura actual, la cual se toma como base para obtener la matriz de transformación Z .

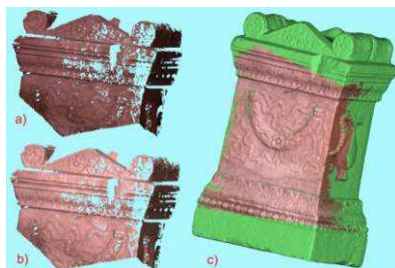


Figura 9. Ejemplo de corrección de color. a) Vista parcial antes de ser corregida. b) Vista a) tras ser corregida. c) color acumulado en el MCG.

2.3.3 FUSIÓN DE TEXTURA.

Para la fase de mezclado de color, se utiliza la dirección normal a cada punto P en la vista parcial y el ángulo de oblicuidad α (Fig. 10).

Supongamos que se dispone de un modelo de malla de la escena. Se calcula la dirección normal N_c de cada uno de los polígonos H de la malla y, para cada punto P , se halla el conjunto de polígonos CH de los que forma parte el punto P . El vector normal en P es definido como el promedio de las normales N_c en el conjunto CH . En caso de utilizar una nube de puntos sin una topología establecida, la normal se calcula aproximando un plano T en la vecindad del punto, mientras que el sentido se obtiene teniendo en cuenta la posición del escáner P' con respecto a T .

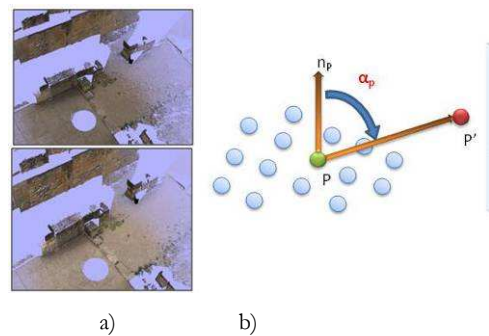


Figura 10: Cálculo de vectores normales para cada punto de la vista parcial. a) Resultado antes y después de calcular los vectores normales. b) ángulo de oblicuidad.

Tanto en caso de malla como en el de nube de puntos, el ángulo de oblicuidad en P se define como $\alpha_P = (\vec{n}_P, \vec{PP}')$.

La fusión de color en un punto Q de MGC se realiza mediante una media ponderada del color que tiene asignado en MGC, C_Q , y el correspondiente color del punto asociado P en la vista parcial, C_P . El factor de ponderación es una función lineal del ángulo de oblicuidad. La expresión (1) representa el cálculo del nuevo color asignado a Q en función de los factores de ponderación W_Q y W_P , donde el peso W_Q es, a su vez, actualizado en cada nueva iteración. Las ecuaciones (2) y (3) corresponden a la actualización de normal y ángulo de oblicuidad de Q en el modelo MGC.

$$C_Q = \frac{C_Q W_Q + C_P W_P}{2} \tag{1}$$

$$n_Q = \frac{n_Q W_Q + n_P W_P}{2} \tag{2}$$

$$\alpha_Q = \frac{\alpha_Q W_Q + \alpha_P W_P}{2} \tag{3}$$

2.3.4 RELLENADOS DE HUECOS DE TEXTURA.

Una vez iterado el algoritmo para todas las vistas parciales, obtenemos un modelo de toda la escena en el que pueden aparecer huecos de color. Estos corresponden a puntos 3D a los que no se les ha asociado ningún color en el proceso de fusión. Para cada punto P que es hueco de textura, se le asigna un color a través de una interpolación bilineal por vecindad. En la figura 11 se muestra los huecos de textura y el resultado tras el rellenado.



Figura 11: a) Detalle de huecos de textura en color rojo. b) Modelo geométrico con textura final.

3. CONCLUSIONES Y MEJORAS.

En el presente artículo se ha introducido un algoritmo de asignación de color para modelos tridimensionales generados

AGRADECIMIENTOS

Los trabajos aquí presentados han sido financiados por el Ministerio Español de Ciencia y Tecnología (DPI2009-14024) así como por la Junta de Comunidades de Castilla La Mancha (proyecto PCI08-0052).

BIBLIOGRAFÍA

- AGATHOS, A, FISHER, R.B. (2003): "Colour Texture Fusion of Multiple Range Images", *Proceedings of Four International Conference on 3D Digital Imaging and Modelling*, IEEE Computer Society 2003. pp 139-146. Canada.
- CALLIERI, M., CIGNONI, P, ROCCHINI, C., SCOPIGNO, R. (2003): "Weaver, an Automatic Texture Builder", *Proceedings of Four International Conference on 3D Digital Imaging and Modelling*. IEEE Computer Society 2003. pp 562-565. Canada.
- D. NULL, B., D. SINZINGER D., E. (2006):. *Next Best View Algorithms for Interior and Exterior Model Acquisition*. *International Symposium on Visual Computing*, Nevada
- PARK, S., GUO, X., SHIN, H., QIN, H. (2005): "Shape and Appearance Repair for Incomplete Point Surfaces", *Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Computer Vision*. ICCV 2005, pp. 1260 - 1267, China.
- RUSINKIEWICZ, S., LEVOY, M. (2001): *Efficient variant of the ICP algorithm*, *Proc. of 3rd International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling*, pp. 145-152, Quebec.
- VANDEN WYNGAERD, J., VAN GOOL, L. (2003): "Combining Texture and Shape for Automatic Crude Patch Registration", *Proceedings of Four International Conference on 3D Digital Imaging and Modelling*, IEEE Computer Society 2003. pp 179-186. Canada.
- VAN GOOL, L., VANDERMEULEN, D., KALBERER, G., TUYTELAARS, T., ZALESNY, A. (2002): "Modelling Shapes and textures from Images: New Frontiers", *Proceeding of 1st International Symposium on 3D Data Processing Visualization and Transmission*, IEEE Computer Society 2002. pp 286-294. Italia.