

Técnicas estereo-fotométricas para la digitalización a escala micrométrica

Stereo-photometric techniques for scanning micrometer scale

Rocio Cachero, Carlota Abello

Dogram S.L., Parque Tecnológico de Asturias, Edificio CEEI, 33428. Spain

Resumen

Presentamos una nueva metodología basada en la combinación de técnicas fotogramétricas y estereo-fotométricas que permite la creación de réplicas virtuales con relieve a escala micrométrica, alcanzando una resolución geométrica de hasta 7 micras. Los detalles más finos de la textura obtenida por métodos fotométricos se trasladan también al relieve de la malla para lograr una impresión 3D de calidad por métodos de fabricación aditiva. Estos resultados abren nuevas posibilidades para la reproducción virtual y física de piezas arqueológicas que requieran una gran fidelidad y resolución geométrica.

Palabras Clave: RÉPLICA VIRTUAL, RÉPLICA FÍSICA, ESTEREO-FOTOMÉTRICA, ESCALA MICROMÉTRICA, IMPRESIÓN 3D.

Abstract

This paper describes a new methodology based on the combination of photogrammetric and stereo-photometric techniques that allows creating virtual replicas reproducing the relief in micrometric scale, with a geometric resolution until 7 microns. The finest details of the texture obtained by photogrammetric methods are translated to the relief of the mesh to provide quality 3D printing by additive manufacturing methods. These results open new possibilities for virtual and physical reproduction of archeological items that need a great accuracy and geometric resolution.

Key words: VIRTUAL REPLICA, PHYSICAL REPLICA, STEREO-PHOTOMETRIC, MICROMETRIC SCALE, 3D PRINTING.

1. INTRODUCCIÓN

La digitalización geométrica de bienes del patrimonio cultural ha tenido una gran evolución técnica en los últimos años. Actualmente las técnicas de digitalización sin contacto, como el láser escáner (Fig. 1) o la fotogrametría de objeto cercano, son frecuentemente utilizadas para la digitalización

de elementos del patrimonio arqueológico de diversos tamaños, desde pequeños restos arqueológicos hasta grandes excavaciones. Estas técnicas permiten la creación de modelos digitales reproduciendo la geometría y el color aparente en forma de texturas fotográficas (RGB) aplicadas de forma estática.

Sin embargo existen aún limitaciones para conseguir una documentación exhaustiva del detalle fino de la forma del objeto. Alcanzar un nivel de reproducción indistinguible a simple vista del original requeriría una resolución muy elevada, en la escala micrométrica, tanto para la geometría como para la apariencia y el color, lo que implica también una gran cantidad de información que no es fácil de manejar y visualizar en tiempo real.

En los sistemas pasivos (fotogrametría y escáner láser) se usan métodos fotográficos para capturar la forma y un mapa de color, aunque este último depende fuertemente de la iluminación existente. Si está fija respecto a la pieza, se mezclarán la apariencia propia del objeto con las sombras, reflejos y variaciones producidas por la iluminación. Cuando por el contrario se hace girar la pieza respecto al punto de iluminación, en lugar de mover el scanner o la cámara fotográfica, las sombras y reflejos varían significativamente durante la toma de datos, produciendo a veces resultados impredecibles. En el mejor de los casos se obtendrá una textura suavizada mate o plástica, indistintamente de cuál sea la apariencia de los materiales originales.

Algunos escáneres activos cuentan con múltiples láseres de diferentes longitudes de onda (rojo, verde, azul), y pueden operar sin iluminación ambiental. Sin embargo el color obtenido así es también una limitada aproximación mate de la apariencia original y presenta además frecuentes fallos metaméricos. Por otra parte, en los sistemas de luz blanca estructurada el color es registrado bajo la iluminación del propio proyector del dispositivo, aunque este siempre presenta una incidencia casi frontal. Esto impide la captura de respuesta aparente especular y limita cualquier percepción de relieve.

A consecuencia de estas limitaciones la apariencia superficial que se obtiene usando las técnicas existentes resulta a menudo muy diferente de la pieza original. Cuando se visualizan las réplicas virtuales en tres dimensiones, incluyendo movimiento y/o cambiando la iluminación, las superficies se muestran con falta de detalle y una apariencia

sintética, uniformemente mate o de plástico coloreado. El resultado es semejante a envolver el modelo con una fotografía estática del objeto real, pero en un material uniforme y suavizado, perdiendo por tanto toda la riqueza y variedad de aspecto de los materiales originales.

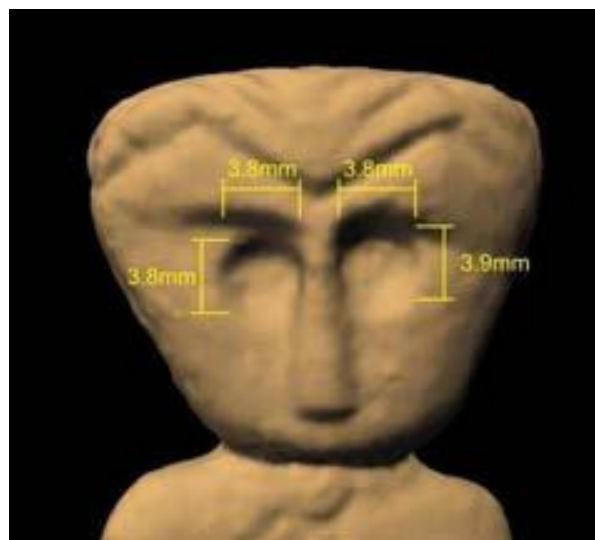


Figura 1. Ejemplo de modelo virtual obtenido por técnicas de láser escáner (MOZAS et al. 2011).

Esta incapacidad para reproducir la apariencia superficial en las réplicas virtuales o reales se debe a que la textura de color o RGB capturada es estática y no puede por tanto reproducir adecuadamente la respuesta dinámica de los diferentes materiales originales a la luz. La correcta apreciación de los materiales y los detalles finos en una observación de la réplica requiere que la superficie reaccione de la manera adecuada cuando se muevan simultáneamente la fuente de luz y/o el observador, mostrando brillos, reflejos o sombreado del relieve fino. Para ello se debería registrar y reproducir la función distribución de reflectancia bidireccional (BRDF) en cada punto, lo que permitirá determinar el color aparente dinámicamente, dependiendo de los ángulos de observación e iluminación (MARTOS y RUIZ, 2013).

Este estudio presenta las capacidades de una nueva metodología de trabajo que combina técnicas de fotogrametría de objeto cercano con técnicas estereo-fotométricas para obtener una aproximación efectiva de la BRDF en forma de mapa de normales. Esta está destinada a

umentar la precisión hasta la escala micrométrica en el modelado del relieve, siendo capaces de reproducir la forma de detalles realmente finos que se pierden frecuentemente en la digitalización mediante otras técnicas.

La pieza objeto de estudio es un diente de cetáceo con un bisonte grabado, perteneciente al Museo Arqueológico de Asturias. Fue hallado en la cueva de las Caldas, (Oviedo) y data del 20.000-18.000 a.C.

Las reducidas dimensiones de la pieza, de 7 cm de longitud, la finura de sus grabados y el material ligeramente reflectivo y traslucido, marfil, suponen una dificultad técnica para lograr la reproducción fiel de su geometría (Fig. 2).



Figura 2. Fotografía original de la pieza. Dimensiones 7x3x1 cm. con unos 12 cm³ de volumen y 40 cm² de superficie.

2. METODOLOGÍA

La digitalización tridimensional se realiza utilizando técnicas fotogramétricas, mediante la toma exhaustiva de fotografías desde ángulos diferentes. La pieza se situó en un soporte, diseñado específicamente para la tarea, en dos posiciones diferentes (Fig. 3) para garantizar el recubrimiento de la totalidad de su geometría. Este soporte descansa sobre una plataforma cerámica giratoria, situada en el interior de una cabina con iluminación controlada.

Se realizaron un total de 180 fotografías, con cada posición cubierta por 90 imágenes realizadas en intervalos de aproximadamente

16°, distribuidas en cinco anillos a diferentes alturas. La cámara utilizada fue una Canon EOS 600D con una lente fija de 60 mm de focal.



Figura 3. Pieza situada sobre soporte en dos posiciones diferentes para su digitalización.

A partir de la documentación gráfica obtenida se completa el trabajo en oficina que incluye el procesamiento, la restitución tridimensional por métodos fotogramétricos y la preparación de un modelo digital inicial en formato STL.

La primera aproximación de la geometría se realiza de forma automática utilizando métodos de Structure from Motion (SfM) (JANCOSEK y PAJDLA, 2011; WU et al. 2011). Este método calcula la posición relativa las cámaras realizando una calibración fina de la lente por *Bundle Adjustment* y la geometría de la escena obteniendo un total de 92.700 puntos de forma simultánea y automática.

En una segunda fase se obtuvo una reconstrucción densa de la pieza y una superficie de 8 millones de polígonos mediante el método Patch-based Multi-View Stereo (PMVS) (FURUKAWA y PONCE, 2010).

Estos dos pasos del proceso se repitieron para las dos posiciones de la pieza obteniendo finalmente dos superficies (Fig. 4).

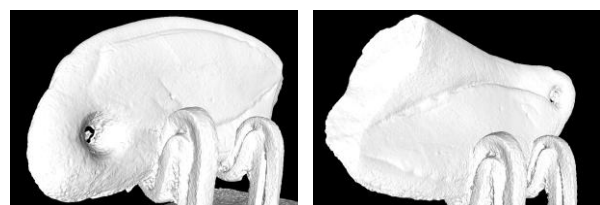


Figura 4. Superficies obtenidas de forma automática por los métodos SfM y PMVS para las dos posiciones.

El siguiente paso fue eliminar manualmente el soporte de las dos geometrías y superponer las dos posiciones mediante Iterative Closest Point (IPC) (RUSINKIEWICZ y LEVOY, 2001). Este algoritmo realiza una transformación entre nubes de puntos minimizando la diferencia entre los puntos comunes a las dos mallas que han sido seleccionados previamente (Fig. 5).

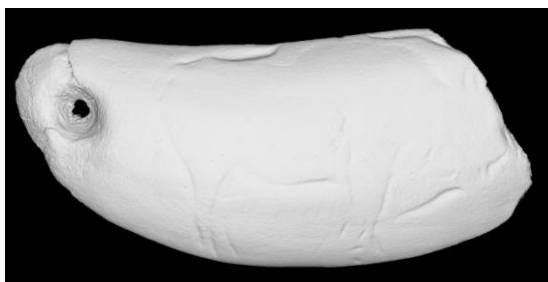


Figura 5. Superficie de la pieza, resultado de la unión de las dos posiciones.

Esta malla es parametrizada en coordenadas UV usando herramientas de código abierto como Meshlab y Blender. Cada una de las imágenes individuales es así proyectada, mapeada y combinada sobre la superficie curva en un sistema de coordenadas comunes. También se prepara un mapa de textura de relieve que contiene los valores de elevación y del vector normal de la superficie en cada punto de la textura, obtenidos mediante métodos estereofotométricos. Cada pixel en el mapa es asociado con un valor de profundidad, dado por la primera intersección entre el centro de proyección de la cámara y el punto del pixel correspondiente, más un pequeño desplazamiento basado en la pendiente del mapa de normales.



Figura 6. El mapa de normales y el mapa de relieve fino permiten apreciar todos los detalles existentes en la pieza original.

3. RESULTADOS

Al finalizar el proceso descrito se obtiene un modelo tridimensional que representa fielmente la geometría de la pieza original alcanzando una precisión de hasta 7 micras de resolución. En el proceso se generan 64 millones de polígonos en una malla regular cerrada que se reducen a 1,7 millones de polígonos en una malla optimizada (Fig. 7) para la impresión por técnicas de fabricación aditiva.



Figura 7. Malla optimizada de 1,7 millones de polígonos.

Finalmente el modelo resultante se imprimió en resina XHD translúcida (Fig. 7) con un espesor de capa de 16 micras, siendo esta la máxima resolución alcanzable actualmente por este tipo de técnicas. La translucidez de la resina intenta emular la translucidez interna del marfil de la pieza original, en preparación para cuando la pieza sea recubierta por el restaurador. Los detalles superficiales finos solo se pueden apreciar correctamente observando la luz reflejada de forma oblicua.



Figura 8. Réplica física impresa en resina XHD translúcida con un espesor de capa de 16 micras.

4. CONCLUSIONES

La metodología descrita demuestra las capacidades de la combinación de técnicas fotogramétricas y estereo-fotométricas para la obtención de réplicas tanto virtuales como físicas. Es capaz de reproducir los detalles más finos de la superficie hasta una escala de 7 micras, consiguiendo por primera vez un nivel de similitud con el original inalcanzable mediante otras técnicas como el escáner láser.

Esto supone un gran avance en la digitalización de las piezas arqueológicas, aumentando su

puesta en valor para su conservación y su difusión tanto en medios digitales como físicos.

RECONOCIMIENTOS

Este estudio ha sido realizado en colaboración con el equipo de Dogram y el Museo Arqueológico de Asturias y parcialmente financiado por el Instituto de Desarrollo Económico del Principado de Asturias y la Unión Europea (IDEPA) a través del programa FEDER.

REFERENCIAS

FURUKAWA, Y. & PONCE, J. (2010): “Accurate, dense, and robust multi-view stereopsis”, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 32, n.º 8, pp. 1362–1376.

JANCOSEK, M. & PAJDLA, T. (2011): “Multi-view reconstruction preserving weakly-supported surfaces”, in *Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE Conference on*. IEEE, 2011, pp. 3121–3128.

MARTOS, A. y RUIZ, B. (2013): “Realistic virtual reproductions. Image-based modelling of geometry and appearance” *Digital Heritage International Congress 2013*.

MOZAS CALVACHE, A. T., PÉREZ GARCÍA, J.L., BARBA COLMENERO, V. y LÓPEZ ARENAS, A. (2011): “Estudio geométrico de piezas arqueológicas a partir de un modelo virtual 3D”, en *VAR journal*, vol. 2, n.º 3, pp. 109-113.

RUSINKIEWICZ, S. & LEVOY, M. (2001): “Efficient Variants of the ICP Algorithm” *Third International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling (3DIM 2001)*.

WU, C., AGARWAL, S., CURLESS, B. & SEITZ, S. M. (2011): “Multicore bundle adjustment,” in *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2011 IEEE Conference on*. IEEE, pp. 3057–3064.