

Tecnologías ópticas aplicadas a la visualización y presentación 3D de patrimonio.

Caso práctico de la Virgen del Rebollet de Oliva

Luis Granero ¹, Francisco Díaz², Francisco Millet³, Rubén Domínguez¹, Yolanda Sanjuan⁴

¹ AIDO. Departamento de Ingeniería. Paterna, Valencia. España

² AIDO. Laboratorio de Metrología. Paterna, Valencia. España

³ AIDO. Departamento de Audiovisuales. Paterna, Valencia. España

⁴ UPV Bellas Artes. Valencia. España

Resumen

En el presente artículo se presentará un caso práctico de diferentes tecnologías ópticas al estudio y análisis de obras de arte. Se presentarán los resultados de la captura de la geometría la imagen de la Virgen del Rebollet mediante tecnología de digitalización 3D basada en proyección de patrones, así como la captura de su colorimetría mediante la proyección de patrones RGB, proceso integrado dentro del proceso general de digitalización 3D. Así mismo se mostrarán los resultados del proceso final de presentación 3D, mediante el uso de sistemas de visión estereoscópica, tan de moda en la actualidad para aplicaciones de ocio, y que son un nuevo elemento de difusión y análisis de obras de arte.

Palabras Clave: DIGITALIZACIÓN 3D, VISIÓN ESTEREOSCÓPICA, PROYECCIÓN DE PATRONES, PROYECCIÓN DE PATRONES RGB

Abstract

This article will present an application case of different optical technologies to the study and analysis of artworks. It will present the results of the capture of the geometry of a statue of the "Virgen del Rebollet" using 3D digitizing technology based on the fringe pattern projection technique, as well as the colorimetric capture via using the RGB pattern projection technique, a process that is integrated in the general process of 3D digitizing. Also, it will be presented the results of the final process for the 3D presentation, using stereoscopic vision systems, that are actually well-known due to its increasingly use for entertainment applications, that are a innovative element for the diffusion and analysis of artworks.

Key words: 3D DIGITIZING, STEREOSCOPIC VISION, PATTERN PROJECTION, RGB PATTERN PROJECTION

1. PRESENTACIÓN DE LA OBRA DE ESTUDIO

El origen de la Virgen del Rebollet se remonta a la época de la reconquista, siglo XIII. Después de la conquista de la ciudad de Valencia, el rey Jaime I entrega al almirante Carròs el castillo de Rebollet (la Font d'En Carròs) y dicho caballero construye en este recinto, una iglesia para depositar en ella una escultura de una Virgen que siempre llevaba consigo en las batallas, a la que se bautizó con el nombre de la Virgen del Rebollet. Esta talla ha sido objeto de disputa entre los pueblos de Oliva y la Font d'en Carròs por su custodia, siendo necesario la intervención de las más altas instancias políticas, eclesiásticas y aristocráticas para su resolución.

Se trata de una de las tallas más antigua de la Comunidad Valenciana, datada del siglo XI. Durante toda su historia se ha visto sometida a diversos ataques bélicos salvándose del fuego en más de una ocasión. Aparte de esto, el desgaste que supone el paso del tiempo ha dado pie a diversas actuaciones de restauración.

A lo largo de los últimos años, se han realizado minuciosas actuaciones de restauración sobre la madera y pigmentación de la talla con el fin de preservarla y mantenerla en su estado original. Con la llegada de las nuevas tecnologías y el desarrollo de la informática gráfica, surge la posibilidad de obtener una réplica virtual de la propia obra mediante el uso de las técnicas de digitalización 3D a color, lo que abre la puerta a la posibilidad de generar una referencia de la obra para, en futuras restauraciones, poder disponer de datos precisos de la talla para poder recuperar su aspecto original.

2. TECNOLOGÍAS UTILIZADAS

Para la ejecución del estudio realizado sobre la imagen de la Virgen del Rebollet, se combinaron 2 tipos de actividades: la captura y la presentación. Para el proceso de captura se utilizaron las técnicas de digitalización 3D combinadas con la captura de patrones RGB. Por otro lado, el proceso de presentación se basó en las técnicas de generación de imagen sintética para visualización 3D.

DIGITALIZACIÓN 3D

AIDO cuenta con un laboratorio de Metrología Dimensional Óptica en el que dispone de diferentes sistemas de captura tridimensional. Para la ejecución del proceso de captura geométrica se ha empleado un sistema de digitalización 3D basado en la proyección de patrones. Esta técnica está basada en la proyección de franjas de luz-sombra sobre el objeto de estudio y el análisis de su deformación. Estas franjas están codificadas, lo que permite crear una correspondencia entre cada pixel en la imagen y cada código proyectado en la red de franjas. Las técnicas de proyección de patrones se pueden clasificar en tres tipos diferentes:

- Técnicas de multiplexado
- Técnicas de vecindad espacial
- Técnicas de codificación directa

Las técnicas más extendidas son las técnicas de multiplexado, y dentro de estas existen tres diferentes subtipos:

- Técnicas binarias
- Técnicas de códigos n-arios
- Técnicas de codificación gris y desplazamiento de fase

Las técnicas más extendidas en el ámbito comercial y el de investigación, y las más usadas para el desarrollo de sistemas de digitalización 3D, son las técnicas binarias.

El esquema básico de este tipo de sistemas de digitalización es el siguiente:

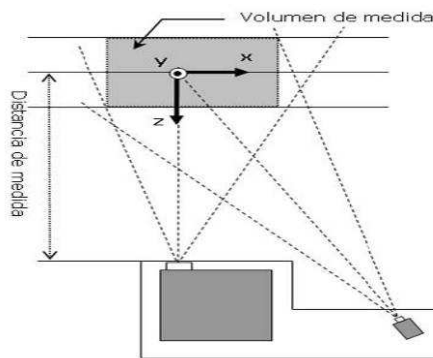


Figura 1. Esquema de un sistema de digitalización

El sistema de digitalización dispone de un elemento de proyección de patrones que emite las franjas y cámara monitoriza la deformación que estas sufren al proyectarse sobre las superficies que conforman el objeto a digitalizar. En estos sistemas, es vital conocer la posición relativa de la cámara y el proyector, tanto la distancia a la que se encuentran como el ángulo que forman, siendo imprescindible que el objeto a digitalizar se posicione, dentro de un rango de distancias, en la zona de intersección de los ejes ópticos de ambos elementos.

Con el sistema configurado, el proceso de medida se basa en que el sistema de proyección proyecte sobre el objeto unas franjas de luz-oscuridad de ancho variable en el tiempo, empezando por dos franjas, una de luz y otra de oscuridad, y cada una de estas se vaya dividiendo a su vez en otras dos franjas, hasta alcanzar un número determinado de zonas de luz-oscuridad. Posteriormente, este último patrón se desplaza para conseguir los detalles finos.

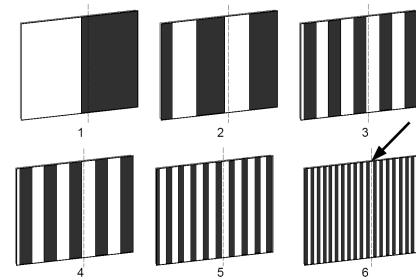


Figura 1. Secuencia de patrones

La cámara dispuesta en ángulo con el proyector captura la deformación de estas franjas y, mediante un análisis de Fourier de esta deformación, genera un conjunto de coordenadas tridimensionales que constituirán la nube de puntos de digitalización.

Un dato importante sobre estos sistemas es la estabilidad que presentan en la medida; al emplear una luz policromática (luz blanca) para la captura, no presenta ningún tipo de preferencia cromática, además, de eliminar efectos inherentes a la radiación monocromática, como pueda ser el efecto Speckle.

Además, este tipo de sistemas son ideales para la digitalización de superficies policromáticas, ya que no aparece el típico efecto escalón que suele ser común en sistemas basados en otro tipo de tecnologías como el láser.

CAPTURA DE PATRONES RGB

Para la captura de la colorimetría del objeto, en vez de trabajar con los métodos estándar de captura de imagen de tipo fotográfico, se ha trabajado con un sistema de proyección de patrones de color. Este método, similar en fundamento al anterior de proyección de patrones, se basa en la proyección de los patrones básicos del espectro colorimétrico (los tres patrones RGB) y el análisis de la imagen del objeto de trabajo obtenido con cada uno de estos patrones. Por comparación entre los patrones de calibración del sistema y los obtenidos en la lectura se obtienen valores RGB de la pieza en cada uno de los píxeles de lectura, generando un mapeado RGB de la pieza. Dado que la lectura RGB se realiza desde la misma cámara de lectura geométrica, lo que se obtiene una correspondencia uno a uno entre los píxeles de geometría y las coordenadas colorimétricas, lo que se traduce en una correspondencia uno a uno entre los puntos geométricos y los puntos de color. Esto se traduce en un alineamiento perfecto entre geometría y color, eliminando ambigüedades y/o desfases entre cada uno de los conjuntos de datos, obteniendo una alineación limpia y sin defectos.

VISUALIZACIÓN ESTEREOSCÓPICA

La estereoscopia es el método de visión que utiliza el cerebro y que aprovecha la distancia inter-ocular para dar profundidad, tamaño y distancia a los objetos visualizados entre sí. Para generar la imagen estereoscópica de forma artificial se han de generar imágenes espacialmente desfasadas simulando esta separación. En este desfase, se han de tener en cuenta tanto aspectos de paralaje como de convergencia, para una correcta visualización, así como de congruencia, evitando diferencias colorimétricas, de brillo o de contraste entre ambas imágenes.

Para trabajar con mallas poligonales, el trabajo se basa en la generación de 2 cámaras virtuales en las que la posición relativa

de estas cámaras coincide con la de los ojos de una persona, convergiendo sus ejes ópticos en un punto, llamado punto de convergencia. Dependiendo de donde este situado el punto de convergencia con respecto al objeto 3D se tendrán distintos valores de paralaje. El paralaje nos indica la separación de las dos imágenes en el plano de proyección, y dependiendo de su valor positivo o negativo visualizaremos el objeto dentro o fuera de la pantalla. La paralaje define la separación que deben de tener dos imágenes, y no debe exceder de $1,5^\circ$ (aproximadamente), ya que la separación entre las mismas llegaría a un punto crítico y no se visualizarían correctamente.

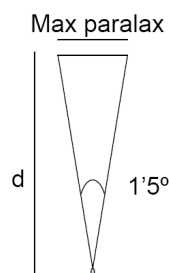


Figura 3: Paralaje máxima

En el caso concreto tratado, para generar las imágenes estereoscópicas se ha utilizado la configuración de ejes convergentes. Dependiendo de la situación del punto de convergencia se producirán distintos paralajes en el plano de la pantalla. Por tanto diferentes paralajes producirán distintas profundidades en proyección del objeto 3D. Situando el objeto en el punto de convergencia el paralaje es nulo, es decir el objeto se situará sobre el plano de la pantalla.

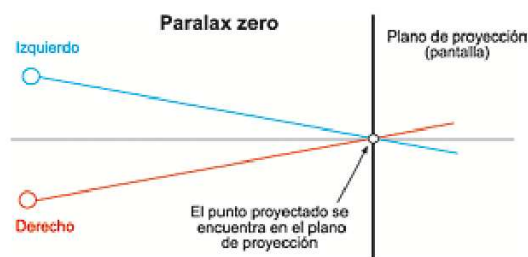


Figura 5: Convergencia y paralaje

Mientras que si se mueve por delante del objeto se producirá una paralaje negativa (se tendrá la sensación de que el objeto sobresaldrá de la pantalla) y si lo hace por detrás, la paralaje será positiva (la sensación será de que el objeto está por detrás). Modificando los parámetros de paralaje y convergencia, sin aproximarlos a sus valores críticos, el objeto 3D se verá con mayor o menor relieve en la pantalla.

La generación y posterior visualización de objetos escaneados en formato estereoscópico aporta una visualización mucho más inmersiva y real del objeto, una forma mucho más detallada de presentar el objeto 3D.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

CALIBRACIÓN

El paso previo a toda captura geométrica mediante un sistema de digitalización 3D es la calibración del mismo, más si cabe teniendo en cuenta que también se realizó captura de color. Este proceso de calibración es vital para el proceso de captura y para todas las actividades que se realicen a continuación, ya que determina las prestaciones del sistema de medida. En este caso concreto, la calibración generó los siguientes parámetros de trabajo:

- Área de escaneado: 340x260x200 mm
- Precisión: $\sim 25 \mu\text{m}$
- Resolución: $250 \mu\text{m}$

DIGITALIZACIÓN 3D A COLOR

El proceso de digitalización se realizó apoyado en la tecnología MML de posicionamiento relativo de capturas mediante el uso de marcadores ópticos, con un funcionamiento similar al de los sistemas de digitalización basados en proyección de patrones.. Esto permite la composición automática de las diferentes tomas de la digitalización de de la Virgen sin necesidad de actuar sobre la imagen, evitando su posible daño o deterioro.

Para la optimización del proceso de digitalización, un aspecto clave antes de empezar es el ajuste de los diferentes elementos de los que consta el sistema de digitalizador y la realización de tests de pruebas de las condiciones ambientales de trabajo (iluminación). Entre estos elementos, es muy importante ajustar la posición del diafragma y los elementos de polarización para evitar posibles brillos en la pieza, además de la selección de los valores apropiados de multi-exposición. Con el diafragma se ajusta la cantidad de luz que la cámara recibe y, por tanto controlamos la saturación que esta pueda sufrir durante el proceso de digitalización. En el caso de piezas policromadas, pueden generarse zonas en las que falte información, es por ello por lo que se recurre a multiexposiciones sobre dichas zonas. El último elemento a ajustar es la posición de los polarizadores, de la cámara y del proyector, elementos clave a la hora de eliminar brillos sobre el objeto a digitalizar. Estos elementos eliminan total o parcialmente (en función de la posición en que se sitúen) una de las dos componentes ortogonales de la luz, lo que se traduce en una disminución progresiva, y proporcional, de los brillos presentes en el objeto y que generan errores en la lectura que hace de la cámara.

Mediante el ajuste de estos elementos permite una óptima digitalización del objeto sobre el que se esté trabajando, con independencia de su origen o aplicación para la que se está trabajando. Tras este ajuste, el siguiente paso es la propia digitalización. Dado que se requería que la digitalización fuese a color, es importante destacar que todas las partes en que se dividió el trabajo se debieron realizar exactamente en las mismas condiciones de iluminación normalizada, con el fin de que estas no influyeran en el resultado final.

El proceso de digitalización se realizó en dos partes; en un primer paso se realizó la digitalización de la parte frontal y los laterales, con la ayuda de dos sistemas de posicionamiento que permitían cubrir cerca de los 360 grados. En un segundo paso se procedió a la digitalización de la parte trasera junto con, de nuevo, las zonas laterales izquierda y derecha. Esto permitió la obtención de regiones comunes en ambas partes que permitieron la alineación definitiva de ambos grupos. Cada una de las partes implicó la captura de entre 15 y 20 tomas, lo que, teniendo en cuenta que el sistema es capaz de capturar 1.400.000 puntos por toma, se tradujo en una nube definitiva de más de 8 millones de puntos, que fue reducido, voluntariamente, en el proceso de

mallado a una malla poligonal definitiva de 2.000.000 puntos y 3.500.000 polígonos, sin olvidar que dichos puntos contienen información geométrica y colorimétrica.

POST-PROCESADO

A partir de los datos obtenidos en el proceso anterior de digitalización, se realizó el procesado final de la información obtenida. En este apartado se incluyen todas las herramientas propias del optimizado de malla poligonal, incluyendo las reducciones necesarias para que el fichero definitivo pueda ser abierto por la aplicación subsecuente que deba trabajar con él. En este caso concreto, el proceso se limitó a realizar operaciones de rellenado de los agujeros que quedaron durante el proceso de captura, bien por ser zonas no importantes bien por ser demasiado pequeñas para ser apreciadas durante el proceso de captura.



Figura 7: Resultado final

Además, y dado que la aplicación posterior (la generación de imágenes estereoscópicas, no puede administrar mallas poligonales demasiado grandes, se realizó una segunda reducción de la malla de la Virgen a un 35%. Esto permitió que los programas posteriores pudieran importar el archivo y procesarlo, evitándose problemas de capacidad de memoria y tiempos de procesado que ralentizaran la generación de la imagen definitiva.

IMAGEN ESTEREOSCÓPICA

Una vez obtenida la malla poligonal con puntos de color, se procedió a la obtención de la imagen sintética necesaria para la visualización 3D de la imagen de la Virgen. La ventaja de trabajar con objetos 3D en vez de con imágenes planas es que es más fácil obtener las imágenes desfasadas que se necesitan, ya que,

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de Francisco Borja Millet Peiró, por toda la información histórica tanto de la imagen de la Virgen del Rebollet como del castillo y de la región.

BIBLIOGRAFÍA

GRANERO Luis, DÍAZ Francisco, DOMÍNGUEZ Rubén: "Application of optical techniques in documentation and identification of archaeological rests: the case study of the roman bronze rest found in Lucentum" *Proceedings of the 2009 SPIE Optical Metrology Congress. 14-18 June. Munich, Germany.*

mientras que con cámaras planas el valor de paralaje depende de la posición relativa de las dos cámaras de grabación y es un valor fijo e inamovible (ya que esto implicaría la variación de los ángulos de convergencia de las cámaras), cuando se trabaja con elementos tridimensionales como mallas poligonales, este valor de paralaje se puede modificar a voluntad en el momento que se desee simplemente con modificar en el programa correspondiente estos parámetros a los valores deseados.

4. CONCLUSIONES

INFORMACIÓN GEOMÉTRICA A COLOR

Como se ha comentado, la principal intención a la hora de la digitalización 3D a color de la imagen es la de generar una referencia a la hora de realizar futuras restauraciones de la obra. Es importante remarcar que esta acción, la de la restauración, requiere casi irremediabilmente de la utilización de la digitalización, ya que de esta forma no solo se archiva y mantiene el aspecto de la propia obra, sino que además, toda la información de color posee una correspondencia unívoca con la geometría, algo imposible de conseguir mediante fotografías y todo tipo de réplicas 2D. La digitalización 3D a color permite disponer de una réplica virtual a color de la estatua física que es perfectamente manipulable sin ningún riesgo para el original, además de poder disponer de las herramientas típicas de la informática gráfica, como el zoom y la rotación, lo que permite un acceso total a todas las regiones de la obra y la visualización de hasta el último detalle.

Además, es no invasiva (sin contacto), por lo que no se producen daños en la obra.

IMAGEN ESTEREOSCÓPICA

La imagen estereoscópica es una herramienta de alto íteres comunicativo, ya que permite la visualización 3D de objetos de forma mucho más inmersiva. En este caso concreto, el uso de esta técnica ha permitido mostrar lo útil que puede llegar a ser a la hora del intercambio de información, ya que como colofón a la digitalización, las imágenes estereoscópicas han servido para poder mostrar de forma virtual el objeto sin necesidad de mostrar el original. Esto abre las puertas al uso de las tecnologías virtuales como herramienta para mostrar y divulgar el patrimonio cultural en general sin necesidad de manipular los originales, que son únicos e irremplazables, y que pueden ser así preservados en mayor medida. Además, este tipo de tecnologías permiten combinarse con herramientas de realidad virtual (guantes y entornos) posibilitando a los usuarios el contacto con los objetos digitalizados.

GRANERO Luis, SANCHEZ J, ESTEVE-TABOADA José Juan, HERVÁS Juan: "3D Digitising using Structured Illumination: Application to Mould Redesign" *Proceedings of the 2007 Optical Measurement Systems for Industrial Inspection V Conference*. 18 June. Munich, Germany.

GRANERO Luis, DE GRACIA Vicente: "Técnicas de digitalización tridimensional basadas en luz estructurada" *Proceedings del II Congreso Diseño, Tecnologías e Ingeniería de Producto (2004)*. 5 -7 de Mayo. Valencia, España.

SALVI Joaquim, PAGÉS Jordi, BATLLE Joan: "Patern codification strategies in structures light systems". *Pattern Recognition* 37 (2004).

HUNTLEY Jonathan M: "Automated fringe pattern analysis in experimental mechanics: a review". *J. Strain Anal Eng Des* 1998, 33 (2).

PAGÉS Jordi, SALVI Joaquim, GARCIA Rafael, MATABOSCH Carles: "Overview of coded light projection techniques for automatic 3D profiling". *Proceedings of the 1003 IEEE International Conference on Robotics & Automation*. Taipei, Taiwan. September 14-19, 2003.

MILLET PEIRÓ, FRANCISCO BORJA (2009): "Castillo de Rebollet, historia y Patrimonio".