

Reconstrucción de objetos 3D mediante técnicas SFM y obtención de texturas hiperespectrales

Francisco Díaz-Barrancas^{1*}, Halina Cwierz¹, P. J. Pardo¹, A. L. Pérez² y
M. I. Suero²

¹ *Departamento de Ingeniería de Sistemas Informáticos y Telemáticos, Universidad de Extremadura, Centro Universitario de Mérida, C/Santa Teresa de Jornet 38, Mérida E06800, España*

² *Departamento de Física, Universidad de Extremadura, Facultad de Ciencias, Avda. de Elvas s/n, Badajoz E06071, España*

<http://grupoorion.unex.es>

1. Introducción

El avance tecnológico sigue su progreso inexorable desde que en los años 50 del siglo XX se inventase el transistor y diera comienzo la era digital. Este progreso lo podemos apreciar en muchos aspectos de la vida cotidiana, como en nuestras capacidades de comunicación, nuestras capacidades de cómputo e incluso, en aspectos lúdicos como televisión, cine, videojuegos, etc. Una de las últimas vueltas de tuerca de este avance tecnológico ha sido la generalización del uso del mundo 3D en entornos digitales. No ya pensando únicamente en la visualización de contenidos 3D, sino en el diseño de todo tipo de productos en entornos 3D, desde muebles o vehículos hasta videojuegos o películas. Esta forma de diseño 3D nativo se ha visto complementada con la aparición de dispositivos que permiten capturar el mundo real y digitalizarlo en 3D, como escáneres 3D. Estos dispositivos están en constante evolución y han avanzado mucho de los primeros escáneres láser que obtenían la nube de puntos en blanco y negro hasta los actuales, mucho más sencillos, que utilizan técnicas de imagen e iluminación estructurada para la determinación de la nube de puntos y una textura de color RGB asociada. Recientemente, ha surgido una nueva técnica que permite digitalizar objetos 3D reales mediante la captura de múltiples imágenes del mismo objeto desde distintos ángulos. Este tipo de técnicas, basadas en cálculos fotogramétricos, generan igualmente la nube de puntos del objeto 3D y una textura de color RGB y sirven para todo tipo de objetos pequeños o grandes.

En todos los casos anteriores, las coordenadas espaciales XYZ generadas, conforman la nube de puntos 3D, y se complementan con información adicional de color en forma de textura de color RGB en el mejor de los casos. El espacio de color RGB se utiliza para representar el color de los objetos 3D; sin embargo, esta opción no es la más apropiada si se busca la máxima fidelidad en la reproducción del color del objeto en el mundo digital con respecto a la apariencia visual del objeto en el mundo real.

Para obtener una correcta representación de un objeto en el mundo digital, conservando la misma apariencia visual que en el mundo real se presentan como fundamentales una correcta captura y representación del color materia, el brillo (gloss), la textura y la transparencia. Para una correcta captura se han desarrollado gonio-espectro-fotómetros que permiten obtener la Función de Distribución Bidireccional de Reflectancia espectral (spectral Bidirectional Reflectance Distribution Function, sBRDF) de los distintos materiales [1]. Sin embargo, realizar una captura gonioespectrofotométrica de un objeto completo es una tarea costosa en tiempo, dinero y cantidad de datos generados.

El objetivo de este trabajo es centrarnos en la caracterización del color-materia del objeto y determinar la textura hiperespectral asociada a la nube de puntos de un objeto 3D. Para ello, desarrollamos un software que realiza la captura de objetos 3D mediante técnicas de reconstrucción con varias vistas (*Multi-View Images*), utilizando imágenes proporcionadas por una cámara hiperespectral, lo que nos permite asociar una curva de reflectancia espectral a cada punto XYZ obtenido de la reconstrucción 3D.

* e-mail: frdiaz@unex.es

2. Metodología

En este trabajo se utilizaron varios equipos de hardware y varios elementos de software. A continuación, se describen detalladamente junto a los pasos realizados en el trabajo para conseguir el resultado final.

Hardware

El primer paso de este trabajo de investigación ha sido el desarrollo de un sistema de captura de objetos reales en 3D basado en imágenes tomadas por una cámara hiperespectral *Cubert UHD 285* que proporciona con cada toma un cubo hiperespectral de 1000 x 1000 píxeles y 125 canales espectrales definidos entre 450 y 950 nm con una resolución espectral de 4 nm. Esta cámara también proporciona una imagen JPG en escala de grises de la misma resolución.

Las capturas de imágenes se realizaron en una cabina de luz *GTI Minimatcher* equipada con un simulador de iluminante D50. También hemos utilizado una cámara digital, modelo *Qimaging Retiga Exi*, que proporciona imágenes en color RGB con muy bajo ruido y una resolución de 1,4 megapíxeles.

El escenario utilizado para la captura de imágenes con la cámara hiperespectral es el que podemos apreciar en la Fig. 1.



Figura 1: Escenario utilizado para la reconstrucción del objeto 3D.

Para una correcta captura del objeto, se ha desarrollado y automatizado una plataforma motorizada. La plataforma permite girar los objetos y realizar las capturas automáticamente desde diferentes ángulos de visión. Esta plataforma giratoria está conectada a un microcontrolador *arduino* que la controla mediante un software propio que hemos desarrollado y un motor paso a paso.

Software

Para la reconstrucción 3D del objeto se han utilizado técnicas de *Structure-From-Motion*, que permiten obtener la nube de puntos asociada a un objeto 3D utilizando imágenes tomadas desde distintos puntos de vista. En concreto, hemos utilizado el software CMVS-PMVS desarrollado por el Dr. Yasutaka Furukawa [2], cuyo código fuente está disponible para la comunidad científica ya que es una iniciativa *Open Source*. Sobre este software hemos realizado una modificación que permite procesar los cubos hiperespectrales asociados a cada captura realizada por la cámara hiperespectral y permite almacenar las reflectancias espectrales promedio correspondientes a cada píxel del objeto que deseamos reconstruir.

Para visualizar el objeto capturado, hemos utilizado el software *Meshlab*, en el que podemos definir una superficie de malla 3D y eliminar los puntos que producen ruido en el objeto.

Procedimiento de reconstrucción 3D

El primer paso en el procedimiento de reconstrucción 3D consiste en capturar un objeto 3D real. Esto se ha realizado tomando varias imágenes hiperespectrales con nuestra cámara hiperespectral. También hemos tomado imágenes con nuestra cámara RGB. Esto nos permitirá hacer comparaciones futuras de los

resultados obtenidos. En total, hemos obtenido 36 capturas digitales tomándolas cada 10 grados. La figura 1 muestra una imagen del escenario montado para la toma de imágenes.

En segundo lugar, es necesario obtener las características y la concordancia de las imágenes. Este es un paso previo a la reconstrucción del objeto 3D y este paso se realizó a través del software *Visual SFM*. De esta manera, generamos el archivo SIF de cada imagen, necesario para llevar a cabo la reconstrucción del objeto.

Parámetros de refinamiento y visualización

Este paso previo a la reconstrucción es el más importante y crítico de nuestro procedimiento, y es posible optimizarlo ya que hay muchos parámetros susceptibles de ser modificados. La Tabla 1 muestra los valores optimizados de los diferentes parámetros utilizados por nuestro sistema en la reconstrucción.

Parámetros	Valor óptimo	Valor inicial
Level	0	1
Csize	2	2
Threshold	0.80	0.70
Wsize	30	4
MinImagenNum	4	2
MaxAngle	10	10
Quad	2.0	2.0

Tabla 1: Parámetros de optimización en la reconstrucción

Finalmente, hemos obtenido un archivo de salida que contiene una lista de puntos que conforman una versión virtual del objeto real en 3D. Cada punto se describe por sus coordenadas espaciales XYZ, los valores cromáticos RGB y su espectro de reflectancia. Ahora es necesario relacionar cada punto perteneciente a la superficie del objeto en una malla triangular 3D y eliminar otros puntos ruidosos. Para esta tarea hemos empleado *Meshlab*, un software de código abierto para el procesamiento y edición de mallas triangulares 3D. Con *Meshlab* es posible definir una malla 3D para la superficie del objeto y visualizar los resultados obtenidos de la reconstrucción densa.

3. Resultados

Partiendo de los archivos PLY generados desde el software de reconstrucción, es posible visualizar la nube de puntos y definir la malla 3D para representar el objeto en el mundo virtual. En la Fig. 2, observamos tanto la reconstrucción de la nube de puntos (a) como la creación de mallas para las imágenes en escala de grises (b) que hemos realizado con la cámara hiperspectral. Además, hemos realizado las mismas reconstrucciones con las imágenes obtenidas de la cámara RGB, ya que éstas nos servirán para comparar el nivel de calidad de la reconstrucción obtenida con la anterior. En la Fig. 3, observamos tanto la reconstrucción de la nube de puntos (a) como la reconstrucción con la creación de mallas (b) para la cámara RGB.

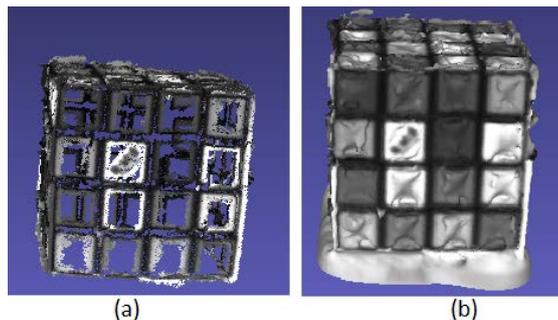


Figura 2: Nube de puntos (a) y creación de mallas con algoritmo de Poisson (b).



Figura 3: Nube de puntos (a) y creación de mallas con algoritmo de Poisson (b) para la cámara RGB.

Por último, a modo de evaluación de resultados de esta técnica, se han calculado las desviaciones típicas de las reflectancias para cada longitud de onda obtenidas del fichero PLY generado al obtener la reconstrucción del objeto, Fig. 4. En el siguiente gráfico se puede ver que el error medio por longitud de onda se mantiene estable entorno a valores del 10 por ciento, valor que se considera más que aceptable si tenemos en cuenta el error cometido por la cámara por un lado y el error que se introduce de la técnica de reconstrucción por otro.

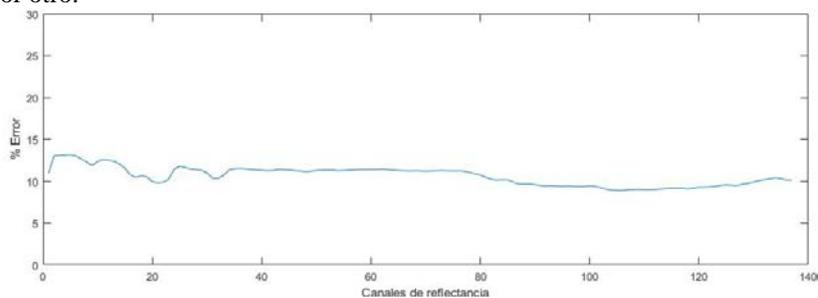


Figure 4: Gráfica con el error en las desviaciones típicas de las reflectancias

4. Conclusiones

En vista de los resultados obtenidos, podemos llegar a la conclusión de que es posible hacer una reconstrucción 3D del objeto utilizando técnicas de *Structure From Motion* a la vez que almacenamos las reflectancias de los puntos obtenidos. Esto nos permitirá en trabajos futuros realizar cambios de fuente luminosa en cualquier escenario virtual que permita representar objetos 3D y obtener una representación fiel del color. Para ello, hemos tenido que modificar gran parte del software que estaba implementado para realizar dicha técnica.

En futuros trabajos, aplicaremos las texturas hiperespectrales obtenidas de los valores almacenados e intentaremos mejorar la calidad de las imágenes hiperespectrales con el objetivo de aumentar la calidad de la reconstrucción tridimensional.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias a las ayudas IB16004 y GR18131 de la Junta de Extremadura, parcialmente financiadas por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

Bibliografía

- [1] A. Ferrero, A. Rabal, J. Campos, F. Martínez-Verdú, E. Chorro, E. Perales, A. Pons y M. Luisa Hernanz, "Variables separation of the spectral BRDF for better understanding color variation in special effect pigment coatings", *JOSA A*, vol. 29, no 6, p. 842-847, 2012.
- [2] Y. Furukawa, J. Ponce, "Accurate, dense, and robust multiview," *IEEE transactions on pattern analysis and machine*, vol. 32, pp. 1362-1376, 2010.