

USE OF DIGITAL IMAGES FOR THREE-DIMENSIONAL RECONSTRUCTION OF MECHANICAL COMPONENTS

Cavas-Martínez, F.; Pérez-Sánchez, C.A.; Adrián-Sáez, J.; Cañavate, F.J.F.; Nieto, J.;
Fernández-Pacheco, D.G.

Universidad Politécnica de Cartagena

The obtaining of a three-dimensional reconstruction from two-dimensional images presents a significant problem in several scientific fields. However, the high cost of the actual laser scanner systems leads to search other alternatives that permit to obtain a three-dimensional reconstruction with certain accuracy and economic cost. This work presents three alternatives for the three-dimensional reconstruction of the surface of different objects. Based on the fundamentals of the stereoscopic vision, the three-dimensional representation of an object is obtained from several photographs taken from different positions. For this purpose, the reconstruction methods using the software applications Patch Multi-View Stereo (PMVS), Microsoft Photosynth and Autodesk 123D Catch are analyzed and compared. These methods permit to take into consideration the geometric and photometric information of the analyzed object, which permits to obtain a representation of the characteristic parameters of the object very close to the visual perception of the object in the reality.

Keywords: *Photometry; Geometric modelling; PMVS; Photosynth; 123D Catch*

EMPLEO DE IMÁGENES DIGITALES PARA RECONSTRUCCIÓN TRIDIMENSIONAL DE COMPONENTES MECÁNICOS

La obtención de una reconstrucción tridimensional a partir de imágenes bidimensionales es un problema importante en diferentes campos científicos. Sin embargo, el elevado precio de los actuales sistemas de escaneado láser hace preciso buscar otras técnicas que permitan obtener una reconstrucción tridimensional con cierta calidad y con un coste económico. Este trabajo presenta tres alternativas para la reconstrucción tridimensional de la superficie de distintos objetos. Basándose en los fundamentos de la visión estereoscópica, a partir de imágenes fotográficas tomadas desde distintas posiciones se obtiene la representación tridimensional del objeto. Para ello se analizan y comparan los métodos de reconstrucción mediante las aplicaciones Patch Multi-View Stereo (PMVS), Microsoft Photosynth y Autodesk 123D Catch. Estos métodos permiten tomar en consideración la información geométrica y fotométrica del objeto analizado, lo que permite obtener una representación de los parámetros característicos del objeto muy próxima a la percepción visual del objeto en la realidad.

Palabras clave: *Fotometría; Modelado geométrico; PMVS; Photosynth; 123D Catch*

Correspondencia: francisco.cavas@upct.es

1. Introducción

La existencia de nuevas tecnologías está permitiendo la creación de productos en 2D/3D con una precisión y detalle geométrico altísimos. De hecho, en el campo de la ingeniería, la construcción de modelos detallados 3D para diferentes tipos de representación y documentación se está demandando cada vez más. Por este motivo, la investigación en este campo se está dirigiendo de forma paulatina hacia el estudio de metodologías que sean capaces de mejorar el rendimiento de las técnicas actuales y reducir el tiempo empleado en cada fase. Estas técnicas deberían ser precisas y rápidas durante la adquisición de los datos, así como portables y económicas. Una opción son las técnicas basadas en imágenes, las cuales, a través de algoritmos SFM (Structure from Motion) de visión por computador son capaces de reducir el tiempo de cómputo tanto para la orientación de las imágenes como para la reconstrucción 3D (Vergauwen & Van Gool, 2006; Barazzetti et al., 2011; Doneus et al., 2011;).

La aproximación mediante SFM permite orientar una enorme cantidad de imágenes sin tener conocimiento de ningún parámetro de la cámara o de la geometría a modelar (Barazzetti, Scaioni & Remondino, 2010). La orientación de las imágenes se determina de forma automática identificando aquellos puntos con características comunes mediante operadores de interés. Uno de los operadores de interés más usado en visión por computador es el operador SIFT (Scale Invariant Feature Transform), el cual permite hallar correspondencias entre imágenes tomadas desde distintas posiciones, con escalas diferentes y distintas iluminaciones.

Son varias las aplicaciones que han recurrido al empleo del SFM, como por ejemplo aplicaciones de código abierto como Patch-Based Multi-View Stereo (PMVS), el cual ha sido empleado con éxito por algunos autores para la reconstrucción de objetos 3D (Ahmadabadian et al., 2013; He & Yue, 2013; Yang et al., 2013). Sin embargo, se ha demostrado que el algoritmo empleado por el PMVS puede ser mejorado para obtener resultados más precisos (Wu et al., 2010; Shi, Guo & Hu, 2011; Yuan & Lu, 2013).

Dentro de este campo existen varios servicios web 3D que permiten en muy poco tiempo y sin ningún tipo de conocimiento especial la reconstrucción de modelos 3D a partir de imágenes, además de estar disponibles en la web de forma totalmente gratuita. La empresa Microsoft® desarrolló el software Photosynth que permite obtener una nube de puntos de un objeto 3D a partir de varias imágenes digitales tomadas desde varios ángulos y bajo determinadas condiciones (Nilosek, Walli & Col, 2009; Hwang, Weng & Tsai, 2012; Rosnell & Honkavaara, 2012). Otra de las aplicaciones que ha demostrado su eficacia es Autodesk 123D Catch, la cual se ha usado con éxito para la reconstrucción de terrenos (Rekittke, Paar & Ninsalam, 2012; Santamaría & Sanz, 2013), de elementos arqueológicos (Brutto & Meli, 2012; Gonizzi Barsanti, Remondino & Visintini, 2012), de elementos de restauración (Butnariu, Girbacia & Orman, 2013), de estructuras arquitectónicas (Cervera et al., 2012; Opitz et al., 2012; Santagati & Inzerillo, 2013; Santagati, Inzerillo & Di Paola, 2013), de rostros humanos (Venkatesh, Ganeshkar & Ajmera, 2012) o incluso de arte rupestre (Lerma et al., 2014).

En el presente trabajo se han tomado varias fotografías de algunas piezas mecánicas y se han introducido en las herramientas PMVS, Photosynth y 123D Catch, analizando posteriormente los resultados obtenidos y comparando la reconstrucción 3D proporcionada por cada herramienta.

2. Materiales y métodos

El estudio se realizó sobre tres objetos mecánicos diferentes (Fig. 1): un primer objeto constituido por una única pieza (tornillo), un segundo objeto formado por varias piezas

(cortador de tuberías) y un tercer objeto más complejo donde existen multitud de elementos diferenciados por distintos colores (turbo de vehículo al que se le ha realizado un corte para su mejor visionado). Para el estudio se utilizaron dos entornos distintos con diferente iluminación. La cámara utilizada fue una OLYMPUS LENS 5.0 WIDE OPTICAL ZOOM 5.0-25.00mm 1:3.9-5.9.

Figura 1. Objetos mecánicos que se quieren modelar en 3D



Para la toma de las imágenes se siguió el protocolo recomendado por Autodesk, llevando a cabo los siguientes pasos:

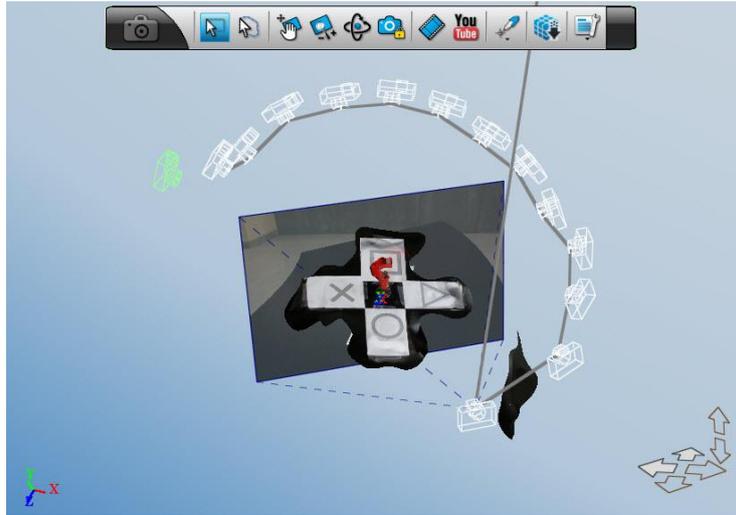
- Sobre el soporte de cada pieza se colocaron unos carteles con cuatro símbolos de referencia distintos, lo cual ayuda al software en las tareas de orientación de la pieza (Fig. 2).

Figura 2. Símbolos de referencia para la captura de la pieza



- Se tomaron varias fotografías del entorno de la pieza desde una de las esquinas de la habitación y desde el centro. Esto es especialmente necesario en el caso de la herramienta 123D Catch, donde la detección del entorno es crucial para la etapa de reconocimiento. Sin embargo, en el caso de las herramientas PMVS y Photosynth estas fotografías no son requeridas para la reconstrucción.
- Por último, se realizaron fotografías alrededor de la pieza cada 30° abarcando los 360° y desde dos alturas distintas: a nivel de la pieza y en un ángulo de 30° (Fig. 3). En total fueron tomadas 24 fotografías por cada pieza.

Figura 3. Muestra de las cámaras detectadas por el programa 123D Catch



Las imágenes obtenidas fueron posteriormente introducidas en los tres programas de reconstrucción 3D: 123D Catch, Photosynth y PMVS. Estas tres herramientas están basadas en el método de reconstrucción 3D MVS (Multi-View Stereo), el cual emplea una triangulación pasiva y utiliza un mapa de profundidades generado a partir de pares de imágenes para calcular la posición de las cámaras.

2.1. Autodesk 123D Catch

Empleando como recursos la aproximación fotogramétrica y algoritmos de visión artificial, 123D Catch permite reconstruir parámetros internos de la cámara digital y de posición en el espacio de puntos homólogos a partir de correspondencias entre secuencias de imágenes fotográficas. A través de la correspondencia píxel-píxel, podemos encontrar todas las coordenadas 3D de los puntos del escenario y reconstruir el modelo poligonal.

Figura 4. Corrección de errores de modelado en 123D Catch



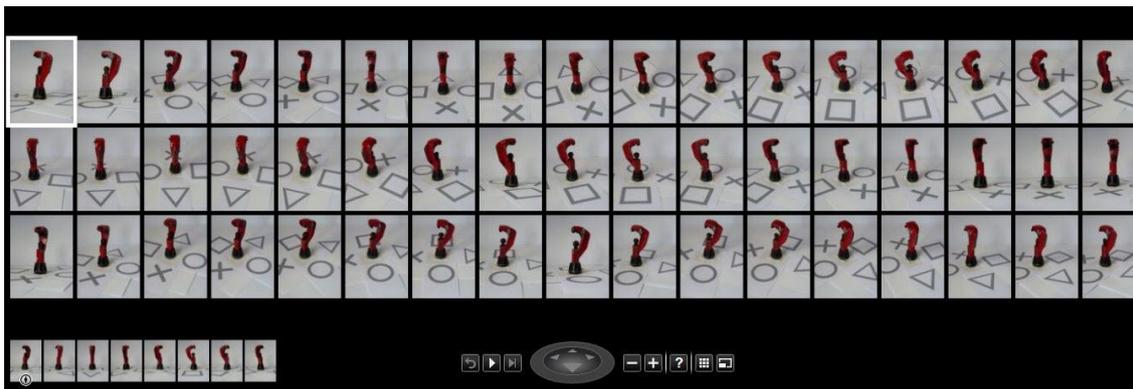
La interfaz de Autodesk 123D Catch es simple e intuitiva y no se requiere de hardware especial, ya que el proceso se realiza en servidores remotos gestionados por la propia empresa, y no de forma local. Una vez creado el proyecto con el juego de fotografías por cada pieza (de las cuales el propio programa descarta aquellas que no considera válidas), éste es enviado a los servidores de Autodesk, recibiendo posteriormente un aviso por email

que incluye un enlace para visionar el resultado del modelo 3D reconstruido. 123D Catch permite, además, corregir mediante la unión manual de puntos sueltos pequeños errores del modelado como ruido o huecos sin rellenar (Fig. 4). Tras corregir estas imperfecciones, el proyecto puede ser enviado de nuevo para generar un nuevo modelo 3D mejorado. El resultado final puede exportarse como capturas de fotos y en formato de vídeo. De forma adicional, pueden utilizarse aplicaciones complementarias más precisas para corregir defectos en la calidad de la malla generada, como huecos o ruido (p.ej. Meshlab). La aplicación se encuentra disponible para Windows, Mac e incluso para dispositivos con iOS.

2.2. Microsoft Photosynth

La aplicación Photosynth se basa en el modelado de imágenes a través de la reconstrucción de la geometría espacial mediante la búsqueda de puntos característicos para igualar y unir imágenes, restaurar la posición de la cámara, consultar las coordenadas de disparo y los sistemas de navegación para proporcionar a los usuarios visualizar su propia ubicación de la imagen. El proceso de reconstrucción de geometría espacial se divide en tres etapas principales: i) los puntos de extracción de características, ii) los puntos característicos coincidentes, y iii) el restablecimiento de la posición de la cámara. Los dos primeros pasos se basan en el algoritmo SIFT (Scale-Invariant Feature Transform), el cual se encarga de extraer características distintivas de las imágenes. El tercer paso está fundamentado en el SFM (Structure From Motion), que es el proceso de búsqueda de la estructura tridimensional de un objeto mediante el análisis de señales de movimiento locales a través del tiempo.

Figura 5. Selección de fotografías para la reconstrucción 3D en Photosynth



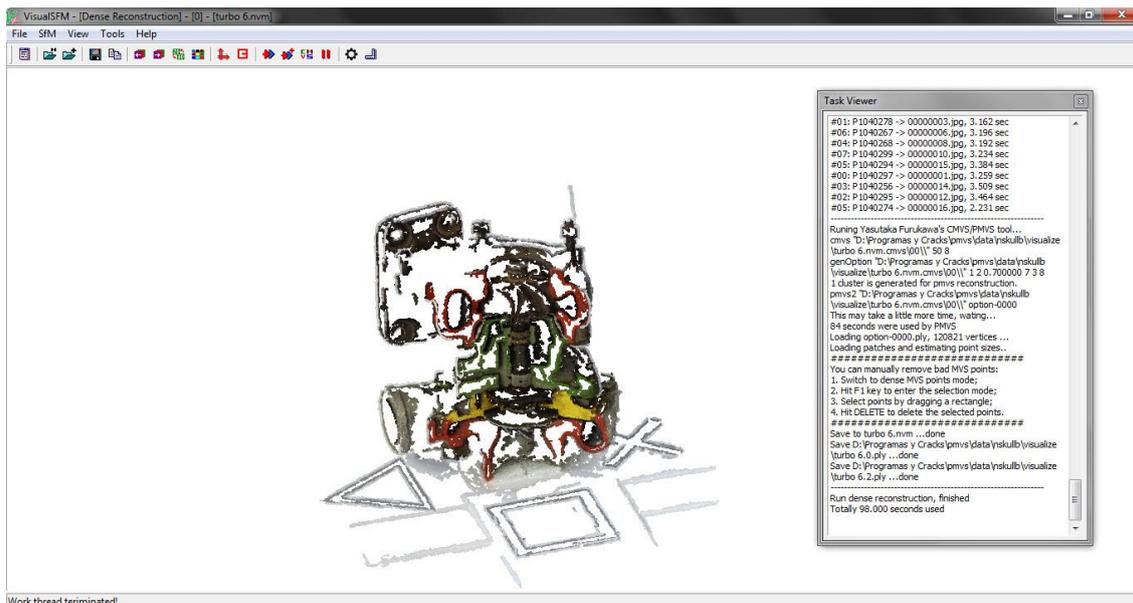
El proceso de reconstrucción con Photosynth se pudo realizar en poco tiempo, tardándose aproximadamente 30 minutos en obtener el resultado final. Para el envío de las imágenes se puede usar tanto la propia web del programa (photosynth.net) como un software que proporciona la web para realizar el proceso desde el propio PC. El procedimiento es bastante sencillo, bastando con seleccionar las fotos realizadas (Fig. 5). Al acabar el proceso se obtiene vía web la información del objeto 3D mostrado como nube de puntos. Esta información se puede exportar usando la herramienta software SynthExport, el cual proporciona archivos .PLY, .VRML, .OBJ y .X3D, los cuales son importables mediante los programas de diseño Rhinoceros, AutoCad, CATIA y SolidWorks. El empleo de estos programas permite en una posterior etapa editar el objeto y analizar sus propiedades físicas, entre otras.

2.3. Patch-Based Multi-View Stereo (PMVS)

El proceso realizado por PMVS es más complejo que el usado por PhotoSynth, ya que avanza más en la reconstrucción del objeto en sí. Entre los algoritmos que utiliza PMVS se encuentra la detección de funciones mediante el algoritmo SIFT, el emparejamiento de

elementos por características mediante ANN (Aproximated Nearest Neighbors), el cálculo de la matriz fundamental de posiciones y orientaciones de la cámara, el método de triangulación para la reconstrucción de coordenadas 3D y la captura y emparejamiento de características de las imágenes mediante los filtros de Harris y de Diferencia de Gaussianas. Debido a su complejidad, el proceso de reconstrucción de PMVS es más lento y necesita más recursos que el de Photosynth. Es necesario además un visualizador de los resultados independiente al programa, llamado VisualSFM, igualmente gratuito y disponible en la web del desarrollador.

Figura 6. Resultado de reconstrucción del turbo de un vehículo en PMVS



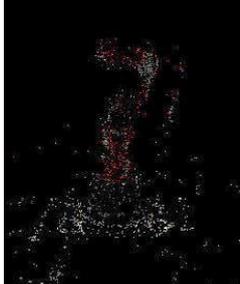
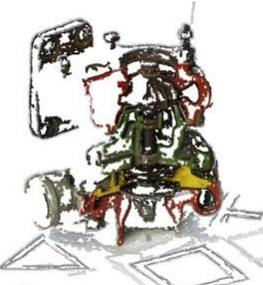
El empleo del programa PMVS, sin embargo, permite obtener algo más de información, ya que en lugar de proporcionar únicamente una nube de puntos como en el caso de Photosynth, ofrece una visión de mayor calidad creando texturas a partir de la nube de puntos. En contraprestación necesita de mayor tiempo para realizar un proceso completo (variando además en función de la complejidad de la pieza). Su uso es menos intuitivo que en PhotoSynth, ya que se deben importar las imágenes obtenidas, realizar un “matching” para ver la relación entre imágenes, reconstruir la nube de puntos a partir de dicho “matching” y, tras obtener la nube de puntos, se debe realizar un “Dense Reconstruction” para hallar las texturas y obtener la pieza final, cuyo resultado es ostensiblemente mejor que el de PhotoSynth (Fig. 6). En cuanto a los ficheros de salida, PMVS crea archivos con extensión .PLY y .NVM con mucha más información que los proporcionados por PhotoSynth (datos individuales de cada punto de la nube incluyendo su color, su posición y el ángulo de la cámara desde el que fue capturado). Estos ficheros también podrán importarse mediante cualquier software de diseño gráfico, principalmente Rhinoceros, CATIA, SolidWorks, AutoCad y MeshLab, pudiendo editar nuestra pieza a elección.

3. Resultados

El estudio se realizó tomando fotografías de tres piezas mecánicas distintas: un turbo de un vehículo, un cortador de tuberías y un tornillo. Estas fotografías se emplearon para la reconstrucción tridimensional utilizando los programas PMVS (sustentado sobre VisualSFM para visualizar los datos manejados), Photosynth y 123D Catch en un PC equipado con un procesador Intel Core 2 Duo 2,5 Ghz, 4 Gb Ram y SO Windows 7 64bits.

Dado que los objetos mecánicos analizados están compuestos por piezas con caras curvas, la comparativa realizada de las tres herramientas de reconstrucción 3D nos ofrece un resumen del potencial de cada aplicación. Una representación de los resultados alcanzados se puede apreciar en la Tabla 1, donde a simple vista se puede comprobar que el software 123D Catch ofrece una mayor calidad en el modelo 3D final. Se puede apreciar además que realiza una reconstrucción completa de la pieza, aunque con ciertas imperfecciones. Con el software PMVS obtenemos unos resultados aceptables que no son del todo buenos a la hora de aplicar texturas, proceso que Photosynth ni siquiera lleva a cabo, quedándose en una nube de puntos como paso final.

Tabla 1. Reconstrucciones 3D proporcionadas por las aplicaciones

	Tornillo	Cortador de tuberías	Turbo de vehículo
Pieza Real			
Photosynth			
PMVS			
123D Catch			

De forma más detallada, en la Tabla 2 se muestra una comparación de los resultados obtenidos para cada objeto mecánico usando las tres herramientas software estudiadas. Cabe mencionar que en el caso de Photosynth, se requiere además del programa Synthexport (también gratuito) para obtener los ficheros de salida (.vrml, .x3d, .obj, .ply) de la nube de puntos calculada.

Tabla 2. Comparativa de las tres aplicaciones software

	Photosynth	PMVS	123D Catch
Precio	Gratis	Gratis	Gratis
Interfaz de usuario	Vía web o software dependiente de conexión a internet	Software independiente	Vía web o software dependiente de conexión a internet
Tiempo de procesado (aproximado)	30 minutos	30 minutos	114
Máximo número de imágenes	Ilimitado (mín. 3)	Ilimitado (mín. 3)	70 imágenes
Salida en nube de puntos	Sí	Sí	Sí
Salida en malla 3D	No	Sí	Sí
Salida en textura	No	Sí	Sí
Salida en superficie	No	No	Sí
Formatos de salida nativos	Ninguno*	.ply / .obj / .nvm	.3dp

*: Requiere de software externo (SynthExport)

La Tabla 3 ofrece una valoración de la calidad del proceso realizado para cada una de las aplicaciones.

**Tabla 3. Adecuación del software a los objetivos
(+ Especialmente adecuado, / Moderadamente adecuado, - Inadecuado)**

		Photosynth	PMVS	123D Catch
Elaboración del modelo	Rapidez	+	+	/
	Automatización	+	-	+
	Facilidad de uso	+	-	/
	Difusión pública	+	-	/
Aspectos visuales	Precisión	-	/	+
	Apariencia realista	-	/	+
	Geometrías complejas	-	/	+
	Control de los efectos de luz	-	-	+
	Tratamiento de texturas	-	+	+
	Nube de puntos	+	+	+

4. Conclusiones

Dado el elevado coste de los sistemas de escaneado láser actuales, el empleo de este tipo de técnicas permite obtener una reconstrucción tridimensional con cierta calidad y con un coste muy económico. El presente trabajo permite demostrar las posibilidades de los programas más empleados en la actualidad para la reconstrucción tridimensional de algunas piezas mecánicas a partir de varias fotografías digitales. Estas reconstrucciones permitirían analizar la estructura y características de la pieza, variaciones en sus propiedades físicas, o detectar imperfecciones, entre otros. Sin embargo, el elevado tiempo de cómputo hace preciso buscar la posibilidad de optimizar los procesos de reconstrucción analizados a fin de resultar útil su aplicación en la Mecánica.

Tras haber analizado las tres herramientas de reconstrucción 3D, se puede observar que Autodesk 123D Catch ofrece los mejores resultados y el modelo 3D obtenido es muy fiel a la realidad, seguido de PMVS (el cual resulta complicado de utilizar) y por último, Photosynth, que tan sólo nos ofrece una nube de puntos sin ningún tipo de textura o relleno.

5. Referencias

- Ahmadabadian, A.H., Robson, S., Boehm, J., Shortis, M., Wenzel, K., & Fritsch, D. (2013). A comparison of dense matching algorithms for scaled surface reconstruction using stereo camera rigs. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 78, 157-167.
- Barazzetti, L., Binda, L., Scaioni, M., & Taranto, P. (2011). Photogrammetric survey of complex geometries with low-cost software: Application to the 'G1' temple in Myson, Vietnam. *Journal of Cultural Heritage*, 12, 253-262.
- Barazzetti, L., Scaioni, M., & Remondino, F. (2010). Orientation and 3D modelling from markerless terrestrial images: combining accuracy with automation. *The Photogrammetric Record*, 25, 356-381.
- Brutto, M.L., & Meli, P. (2012). Computer Vision Tools for 3D Modelling in Archaeology. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 1, 1-6.
- Butnariu, S., Girbacia, F., & Orman, A. (2013). Methodology for 3D reconstruction of objects for teaching virtual restoration. *International Journal of Computer Science*, 3, 16–21.
- Cervera, O., Moya, A., Querol, L., Planells, A., Pérez, C., & Montell, R. (2012). Técnicas de modelado tridimensional y su aplicación en la auralización de espacios. *Congreso Iberoamericano de Acústica*. Portugal.
- Doneus, M., Verhoeven, G., Fera, M., Briese, C., Kucera, M., & Neubauer, W. (2011). From deposit to point cloud: a study of low-cost computer vision approaches for the straightforward documentation of archaeological excavations. *XXIIIrd International CIPA Symposium* (pp. 81-88). Prague, Czech Republic.
- Gonizzi Barsanti, S., Remondino, F., & Visintini, D. (2012). Photogrammetry and Laser Scanning for archaeological site 3D modeling – Some critical issues. *2nd Workshop on 'The New Technologies for Aquileia'* (pp. B1–B10). Aquileia, Italy.
- He, Y., & Yue, J. (2013). Research and implementation based on multi-view dense matching by applying CMVS/PMVS. *Journal of Geomatics*, 38, 20-23.
- Hwang, J.T., Weng, J.S., & Tsai, Y.T. (2012). 3D modeling and accuracy assessment- a case study of photosynth. *20th International Conference on Geoinformatics* (pp. 1-6).
- Lerma, J.L., Navarro, S., Seguí, A.E., & Cabrelles, M. (2014). Range-Based Versus Automated Markerless Image-Based Techniques For Rock Art Documentation. *The Photogrammetric Record*, 29, 30-48.
- Nilosek, D., Walli, K., & Col, L. (2009). Aerial scene synthesis from images. *SIGGRAPH 2009: Posters* (pp. Article number 65). New Orleans, LA.

- Opitz, R., Simon, K., Barnes, A., & Fisher, K. (2012). Close-range photogrammetry vs. 3D scanning: Comparing data capture, processing and model generation in the field and the lab. *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*.
- Rekittke, J., Paar, P., & Ninsalam, Y. (2012). Foot soldiers of geodesign. *Digital Landscape Architecture 2012* (pp. 199-210). Berlin, Offenbach: Wichmann Verlag
- Rosnell, T., & Honkavaara, E. (2012). Point cloud generation from aerial image data acquired by a quadcopter type micro unmanned aerial vehicle and a digital still camera. *Sensors*, 12, 453-480.
- Santagati, C., & Inzerillo, L. (2013). 123D Catch: Efficiency, Accuracy, Constraints and Limitations in Architectural Heritage Field. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 2, 263-290.
- Santagati, C., Inzerillo, L., & Di Paola, F. (2013). Image-based modeling techniques for architectural heritage 3d digitalization: limits and potentialities. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-5/W2, 555-560.
- Santamaría, J., & Sanz, F., (2013). 3D LAND MODELLING FROM PHOTOS, VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas. SECH, Madrid, p. 6.
- Shi, L.M., Guo, F.S., & Hu, Z.Y. (2011). An improved PMVS through scene geometric information. *Zidonghua Xuebao/Acta Automatica Sinica*, 37, 560-568.
- Venkatesh, S., Ganeshkar, S.V., & Ajmera, S. (2012). Image-based 3D Modelling: A Simple and Economical Technique to Create 3-D Models of the Face. *International Journal of Health Sciences & Research*, 2, 93-99.
- Vergauwen, M., & Gool, L. (2006). Web-based 3D Reconstruction Service. *Machine Vision and Applications*, 17, 411-426.
- Wu, T.P., Yeung, S.K., Jia, J., & Tang, C.K. (2010). Quasi-dense 3D reconstruction using tensor-based multiview stereo. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2010)* (pp. 1482-1489). San Francisco, CA.
- Yang, M.D., Chao, C.F., Huang, K.S., Lu, L.Y., & Chen, Y.P. (2013). Image-based 3D scene reconstruction and exploration in augmented reality. *Automation in Construction*, 33, 48-60.
- Yuan, Z.H., & Lu, T. (2013). Incremental 3D reconstruction using Bayesian learning. *Applied Intelligence*, 39, 761-771.