

Geometría Computacional para Visualización: El marco UvaCAD *

Pérez-Moneo Agapito, Juan Diego Finat Codes, Javier †

Resumen

Existen una cantidad considerable de aplicaciones y de bibliotecas sobre Geometría Computacional, Visión Computacional e Informática Gráfica, pero ninguna biblioteca que integre en un mismo contexto de Visualización Avanzada las diferentes funcionalidades, incluso bajo un mismo entorno de programación. El modelado e implementación de una herramienta universal es difícilmente alcanzable, incluso restringiendo el ámbito de aplicaciones. El problema que se aborda en este artículo es el desarrollo de una plataforma común para integrar información procedente de imagen y de rango (láser 3d, típicamente) para la generación de modelos 3d precisos. Con el propósito de proporcionar un soporte para los desarrolladores que les permita crear herramientas y aplicaciones usando diferentes librerías, mejorando la interoperabilidad entre diferentes utilidades, se desarrolla UvaCad (Utilidad de Visualización Avanzada Con Ayuda al dibujo). UvaCad es una herramienta desarrollada dentro del grupo MoBiVa-LFA de Universidad de Valladolid dentro del proyecto MAPA (Modelos y Algoritmos del Patrimonio Arquitectónico). UvaCad integra diferentes librerías de Geometría y Visión Computacional y diversas librerías genéricas matemáticas. Las aplicaciones más relevantes conciernen a la Documentación 3D, Análisis y Visualización Avanzada del Patrimonio, incluyendo herramientas de navegación, consulta y soporte para la generación de informes.

1 Contexto

La cantidad de aplicaciones sobre Geometría Computacional y Visión Computacional que pueden encontrarse en la red es muy elevada; sus formatos de entrada y salida son también muy heterogéneos. Aunque estas herramientas son muy útiles y algunas de ellas muy desarrolladas, la interoperabilidad presenta importantes deficiencias. En ocasiones, no es posible reutilizar herramientas que presentan propósitos similares y, cuando son compatibles, el tiempo requerido para la reutilización de herramientas es muy elevado.

Para los propósitos de la aplicación se requiere minimizar el tiempo de desarrollo de un interfaz de visualización apropiado, la comprensión de la librería y el coste de integración con otras librerías de visualización y análisis para entornos 3D, con una especial atención a edificios y entornos urbanos.

Incrementar la eficiencia manteniendo la precisión afecta a la definición y gestión de estructuras de datos asociadas a objetos espaciales, al desarrollo de modelos que puedan aprovechar de forma óptima las estructuras de datos y a la implementación de algoritmos bajo un marco común. Los objetivos y requisitos con los que se empezó a desarrollar la herramienta UvaCad (Utilidad de Visualización Avanzada con Ayuda al Dibujo) afectan sobre todo a la precisión del modelo. Se requiere una herramienta con propiedades ligadas a

- *Gestión de la memoria:* lectura y manipulación de grandes nubes de puntos (de diez a varios cientos de millones de puntos)
- *Visualización:* Visualizar y editar (operaciones sobre) nubes de puntos a diferentes resoluciones en un tiempo muy reducido

*Utilidad de Visualización Avanzada con Ayuda al Dibujo.

†Grupo de investigación Reconocido MOBIVAP. Universidad de Valladolid

- *Modelado*: Generar modelos navegables con estructuras continuas superpuestas de tipo topológico combinatorio ó continuo (superficies texturadas)
- *Análisis* compatible con herramientas de diseño convencionales (CAD)
- *Integración*: Una herramienta que permita integrar herramientas ligadas a Procesamiento de Imagen (Reconstrucción 3d, Reconocimiento) e Informática Gráfica (VR / AR)
- *Reutilización*: Integración de herramientas procedentes de proyectos ya existentes como herramientas del UvaCad.
- *Usabilidad*: distribuir a investigadores y clientes y por la tanto fácil de usar.

Las librerías que tiene integradas UvaCad en la versión actual son las siguientes: OpenCV (Open Source Computer Vision Library), CGAL (Computational Geometry Algorithms Library), VTK(Visualization Toolkit) y otras librerías matemáticas como MatLab.

La adquisición de datos *3D* se realiza por medio de escáneres tridimensionales, que proporcionan nubes densas de puntos, con una densidad que depende de la precisión que se necesite. La adquisición de datos *2D* se realiza por medio de cualquier tipo de cámara digital. El crecimiento de la funcionalidad de la herramienta UvaCad, ha sido posible por el esfuerzo realizado en torno a

- análisis de problemas y modelado de soluciones,
- diseño e implementación de algoritmos para su tratamiento computacional,
- una realimentación constante manifestada por los clientes y adaptación a sus necesidades.

Por ello, UvaCad es una herramienta que está modificándose de forma permanente, por la contribución de varios "creadores", adaptándose a las peticiones y sugerencias manifestadas por clientes y usuarios en las diferentes aplicaciones que se desarrollan.

2 UvaCad

2.1 Estructura

La estructura interna del Framework UvaCad sigue la metodología estándar MVC (Modelo - Vista - Controlador). Esta metodología de diseño de aplicaciones informáticas divide la aplicación en tres partes muy diferenciadas. La primera de todas es el modelado de los datos con su estructura de datos asociadas. La sección Vista se refiere a todas las interfaces en las cuales el usuario puede interactuar con el programa y por último la parte Controlador es aquella que gestiona las acciones del usuario en el programa, es decir, interaccionan el modelo de datos con la vista.

A continuación se expondrá con un poco mas de detalle cada una de estas partes.

2.2 Características técnicas

La herramienta UvaCad ha sido desarrollada íntegramente en C++ y con librerías no propietarias. Esto nos permite utilizar la herramienta en diferentes entornos de trabajo, tanto en sistemas Windows como en sistemas Linux, Mac... El uso de UvaCad en sistemas multi-procesador es uno de los objetivos principales del grupo de investigación.

2.3 Modelado de datos y gestión de la memoria

Se han utilizado diversas estructuras de datos en la aplicación. Podemos diferenciar dos modelos de datos, uno para las imágenes y otro para las nubes de puntos. El sistema UvaCad no utiliza sistemas de almacenamiento en disco, esto es, la potencia de la herramienta depende del sistema hardware en el que se está ejecutando. Aunque no existe un almacenaje en disco, la cantidad de información manipulable en memoria con los ordenadores actuales no hacen de esto un impedimento para un funcionamiento correcto de la aplicación.

Tanto para las imágenes como para las nubes de puntos, se ha elegido la representación de color RGB (Red - Green - Blue). La elección de esta representación ha sido porque una gran mayoría de las aplicaciones de visualización utilizan este sistema y si utilizáramos otra representación la transformación de esta a RGB supondría muchas operaciones por cada punto o pixel.

La representación de las imágenes en UvaCad es una simple matriz (ancho x alto x 3), este sistema de datos permite encontrar de forma inmediata un píxel determinado sin necesidad de realizar ningún tipo de operación alguna.

El modelo de datos 3D se descompone en dos partes: un array de puntos con tres coordenadas x , y , z y tres canales de color R, G y B; y un modelo en octree. Un octree es una estructura de datos en árbol usada principalmente para ordenar el espacio tridimensional según un orden triplemente lexicográfico asociado a células contiguas correspondientes a un sistema de planos triplemente ortogonal. Cada nodo del octree se representa como un cubo. Cada nodo tiene 8 hijos (oct - tree) distribuidos como las células de un octante asociado a 3 planos mutuamente ortogonales. Los 8 hijos pueden particionar su propia información como si fueran el nodo padre. Esta organización jerárquica del espacio 3D es muy útil para el desarrollo de esquemas de tipo hereditario.

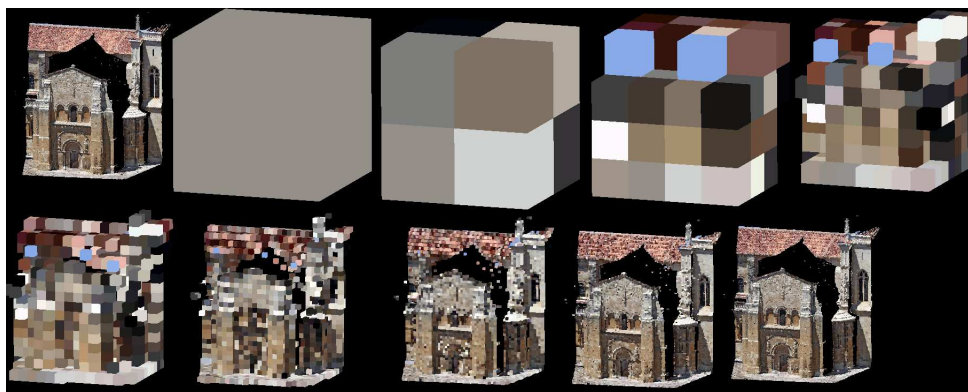


Figura 1: Niveles del árbol octree.

2.4 Visualización

Según el informe de la NSF de 1987, la *Visualización Avanzada* es una forma de cálculo: Transforma datos simbólicos en geométricos, proporcionando a investigadores y desarrolladores la posibilidad de *observar* y *medir* los efectos de simulaciones y cálculos. Por ello, la visualización ofrece un método para ver aspectos ocultos, enriqueciendo el proceso de descubrimiento científico a través de métodos visuales (interfaces adaptados al contexto y al usuario). La visualización científica afecta a herramientas de modelado (escalar, vectorial, tensorial), de representación (Informática Gráfica, CAD/CAM) y de interacción (Realidad Virtual y Aumentada) en entornos a diferentes escalas. Asimismo, la enorme complejidad de datos y las limitaciones en la percepción para la interpretación y la interacción en entornos complejos, impone restricciones sobre las metodologías y los entornos de operación.

UvaCad está orientado hacia aplicaciones de Visualización Avanzada en Arquitectura y Urbanismo. Tiene dos formas de visualización, orientadas hacia entornos 2D y 3D. Cada uno de estos

tiene asociados diferentes funcionalidades (herramientas y operaciones) a realizar sobre sus datos. Las herramientas de Visualización 2d se apoyan en librerías de Geometría Computacional y de Visión Computacional, la mayor parte en C++. Actualmente, las herramientas de visualización más características de UvaCad están relacionadas con el tratamiento de la información 3D basadas en nubes de puntos.

Las operaciones que se pueden realizar con una nube de puntos son entre otras:

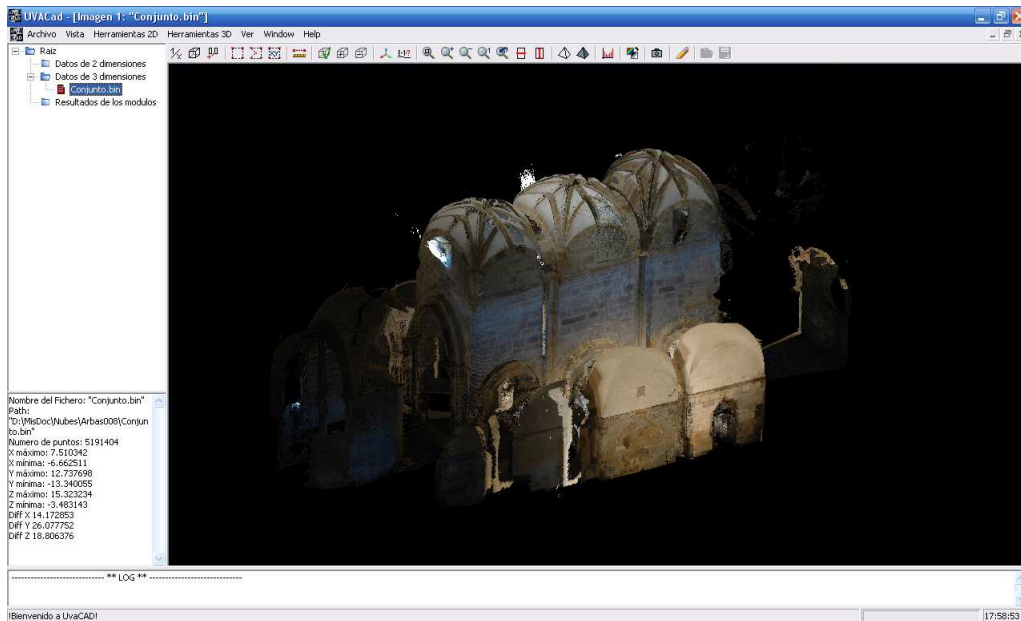


Figura 2: Visualización de una nube de puntos en UvaCad.

- Obtención de nubes de puntos más pequeñas y acotadas, a través del pegado de nubes ó de procedimientos interactivos de selección realizados sobre la nube de puntos inicial.
- Depuración de las nubes de puntos, borrando puntos erróneos o partes de la nube de puntos que no interesan.
- Visualización de mallas triangulares y cuadrangulares superpuestas a las nubes de puntos.
- Fusión de información 2D y 3D, mediante operaciones proyectivas elementales (secciones y proyecciones ortogonales) en relación con planos dominantes
- Generación de foto-alzados (ortofotos) asociados a planos dominantes para facilitar el dibujo automático.
- Coloreado de puntos 3D mediante la reproyección de fotos sobre la nube de puntos
- Muestreos de la nube de puntos atendiendo a diferentes criterios: fuerza bruta (decimación) ó procedimientos adaptativos a propiedades geométricas (orientación local, profundidad) ó radiométricas (función de intensidad).
- Extracción automática de contornos en 2d (ligados a proyecciones sobre planos dominantes) y reproyección a contornos 3d.

2.5 Herramientas y utilidades

UvaCad es una herramienta modular y escalables, es decir, permite ir introduciendo nuevas herramientas al sistema sin tener que modificar la estructura general de la aplicación.

Estos módulos incluidos en la herramienta son los que permiten la interacción de los desarrolladores con las librerías de geometría y visión computacional que están disponibles actualmente en UvaCad. Con estas herramientas, es posible operar y trabajar las nubes de puntos con un mismo programa sin necesidad de migrar información de un programa a otro. Muchas de estas herramientas, se han desarrollado en relación con necesidades detectadas por parte de los clientes.

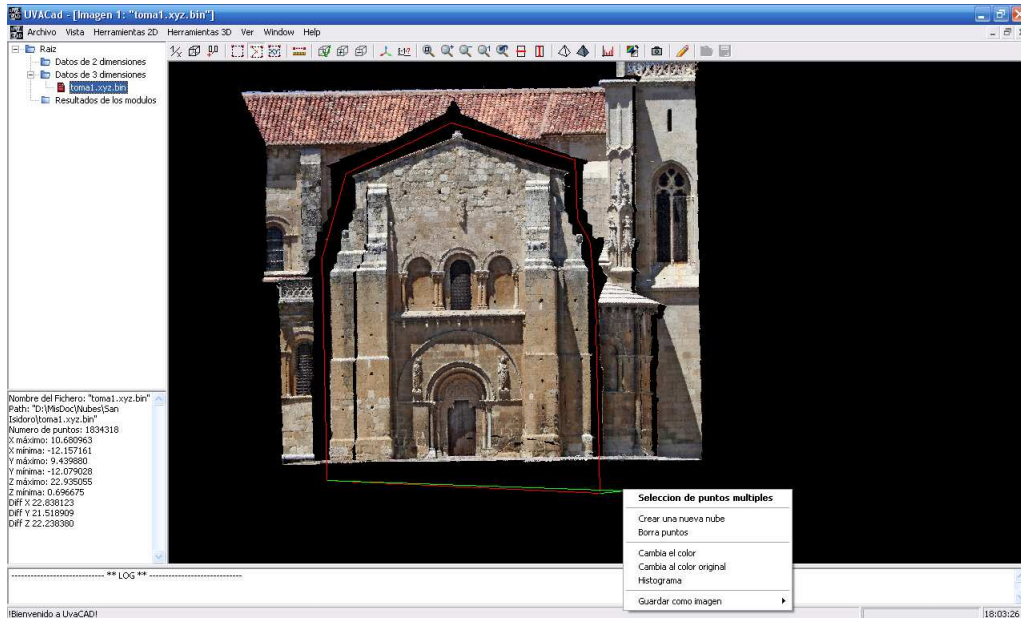


Figura 3: Interacción del usuario con UvaCad.

Se ha realizado una división de las herramientas en cuatro grandes grupos, dependiendo a que tipo de datos podrían ser aplicados. Por ello tendremos herramientas solo para imágenes (Datos $2D$), para datos $3D$, para datos híbridos ($2D$ ó $3D$) y para la fusión de la información $2D$ con la $3D$.

Las herramientas que se pueden utilizar tanto para $3D$ como para $2D$ son las siguientes:

- **Convertor de RGB a un color binario:** Esta herramienta permite transformar el color de un punto $3D$ o un píxel de una imagen a un color binario (1: blanco y 0: negro) mediante la elección interactiva de un umbral.
- **Convertor de RGB a escala de grises:** Esta herramienta es muy similar a la anterior pero convierte el color de un punto $3D$ o de un píxel a escala de grises.
- **Calculo del histograma:** Esta herramienta calcula el histograma de frecuencias en los tres canales RGB y en escala de grises. Permite el borrado, la creación de una nueva imagen (ó nube de puntos) o el cambio de color de una de una selección del histograma de frecuencias de algún canal.

Las herramientas que podemos utilizar únicamente para imágenes son las siguientes:

- **Generador de contornos en línea:** Pasa la imagen seleccionada por el filtro de Canny.
- **Depuración de la imagen:** Este filtro fue diseñado para solucionar el problema de "sal y pimienta".
- **Generador de contornos de color:** Pasa la imagen seleccionada por un conjunto de filtros de Visión Computacional para generar contornos dependiendo de los contrastes de color de la imagen.
- **Erosión:** Reduce el tamaño de las regiones de una imagen

- Dilatación: Aumenta el tamaño de las regiones de una imagen.
- Suavizado de imágenes: Aplica un filtro de suavizado a la imagen y calcula los bordes de esa imagen.
- Rectificación de una foto: Rectifica una foto de forma semi-automática.

Para las herramientas 3D se han desarrollado los siguientes módulos:

- Cortador de la nube de puntos: Con esta herramienta podemos obtener las plantas de edificios en cualquiera de los 3 ejes del espacio x , y y z
- Convierte la nube de puntos a DXF: Realiza la transformación de nubes de puntos a un formato compatible con los programas CAD
- Eliminación de la redundancia: En el solapamiento de varias tomas tomadas con los escáneres permite identificar y eliminar los puntos redundantes.
- Transformaciones euclídeas: Este módulo permite girar y trasladar la nube de puntos hasta la localización deseada.
- Selección y supresión de color determinado: El análisis de propiedades estructurales puede requerir la eliminación de regiones irrelevantes (vegetación, objetos móviles, etc). Este módulo facilita las operaciones de limpieza.
- Reducción de puntos: Decimación conservando la geometría del objeto. Selección inteligente de puntos según la significación.

La implementación de un mapa de octrees permite subdividir regularmente la nube de puntos, hasta que el tamaño de la célula sea menor o igual al establecido por el usuario.

- *Conversión gráfica*: Convierte puntos a formato VRML. La visualización avanzada (incluyendo herramientas de consulta interactiva) de objetos arquitectónicos ó urbanísticos es muy útil para el cliente. Esta herramienta convierte la nube de puntos en VRML utilizando diferentes escalas asociadas al atributo LOD (nivel de detalle).
- Mapas de profundidad: Esta herramienta proporciona información de la profundidad de la nube de puntos y permite obtener información estructural (desplomes en fachadas, agujeros, etc)
- Triangulación: Esta herramienta implementa una versión del algoritmo de Fortune para la obtención de la triangulación de Delaunay de una nube de puntos proyectada en un plano. Una vez obtenida la triangulación, se recupera la coordenada tridimensional y se eliminan posibles errores de triangulación.
- Descomposición en Tetraedros de nubes de puntos: Esta herramienta calcula a través de una implementación de un algoritmo de α -formas la descomposición en tetraedros de la nube de puntos.
- Depuración de las nubes de puntos: Con esta herramienta se depuran triángulos o tetraedros que por algún tipo de error de la nube de puntos no se corresponde con la realidad.

Existen otros módulos o herramientas pero que actualmente están en desarrollo, destacamos por ejemplo la vectorización 3D de las juntas para la fachada de un edificio (incluyendo delineación automática de piedras, p.e.), obtención de primitivas geométricas básicas (planos y cuádricas dominantes) en edificios, clasificación de texturas en imágenes, segmentación geométrica automática basada en primitivas básicas 3d, etc.

3 Fusión de información 2D y 3D

Un módulo importante mencionado más arriba afecta a la fusión de la información 3D y la 2D. En este módulo se han desarrollado dos herramientas, el coloreador de nubes de puntos y la reconstrucción 3D a partir de dos vistas. La complejidad de estas dos aplicaciones hace necesario el desarrollo de interfaces visuales a mayores de las ofrecidas por UvaCad, pero nunca perdiendo la integridad de la aplicación.

3.1 Coloreador de nubes de puntos

Para la obtención de las nubes de puntos se utilizan dispositivos escáneres que proporcionan información del objeto. Existen varios tipos de escáner dependiendo de la información que obtienen; tenemos escáneres que obtienen solo información 3D (x, y y z), otros que obtienen la información de posición 3D más un valor de intensidad en la escala de gris para cada punto; hay otros escáneres que obtienen la información 3D mas el canal RGB. Estos últimos escáneres tienen integrado una cámara fotográfica y es la que proporciona el color del punto. Hasta hace poco, las cámaras de algunos escáneres no eran de muy buena calidad y proporcionaban fotos pequeñas y de baja calidad.

Es necesario desarrollar una herramienta que coloree la nube de puntos con fotos tomadas anterior o posteriormente a la adquisición de los datos 3D. De este modo, es posible obtener completar información parcial capturada con el láser, incorporar información 2D a la 3D capturada bajo condiciones diferentes (capturas nocturna y diurna), y evaluar pérdidas de material detectables a partir de fotografías antiguas.

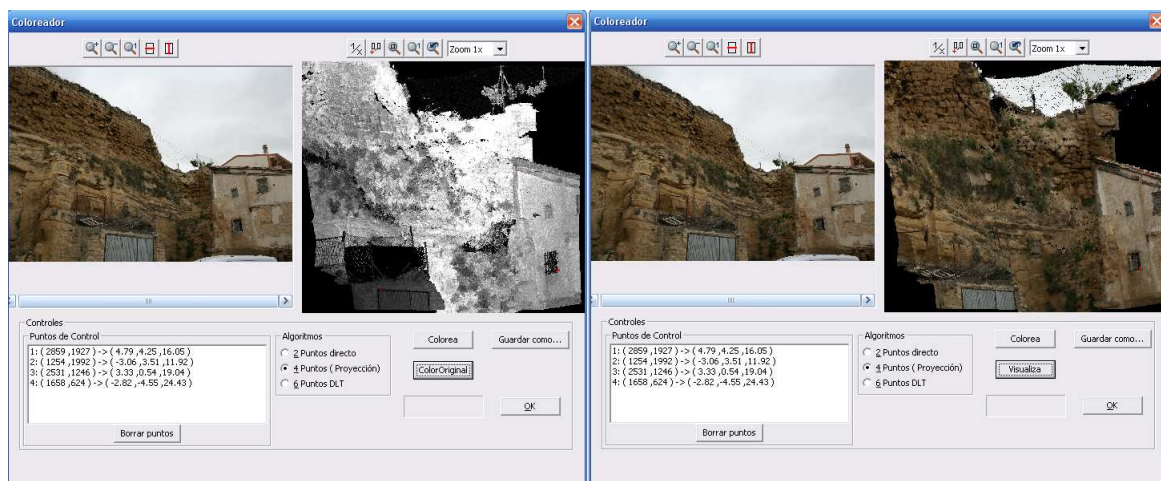


Figura 4: Coloreado de puntos.

Para integrar la información de imagen y de range, se seleccionan puntos homólogos entre la imagen y (una visualización de) la nube de puntos con una localización (posición y orientación) relativa similar. Dependiendo de la localización relativa se tienen algoritmos de reproyección de dos (misma localización), cuatro (pequeña línea base) y seis puntos (vistas oblicuas) [3]

3.2 Reconstrucción 3D

La Reconstrucción 3D es un tópico importante de la Visión Computacional para la generación y gestión de entornos 3d con un relativamente bajo coste, incluyendo aplicaciones de Realidad Virtual ó Aumentada para la inmersión interactiva en entornos complejos. Asimismo, existen objetos arquitectónicos con importantes daños recientes ó inaccesibles, para los que sin embargo existe material fotográfico significativo.

La reconstrucción 3D consiste en recuperar la geometría de un objeto a través una ó más imágenes. Actualmente, se están desarrollando herramientas de reconstrucción 3D a partir de dos vistas y a partir de una vista. El paso siguiente es la reconstrucción a partir de secuencias de video. Esta

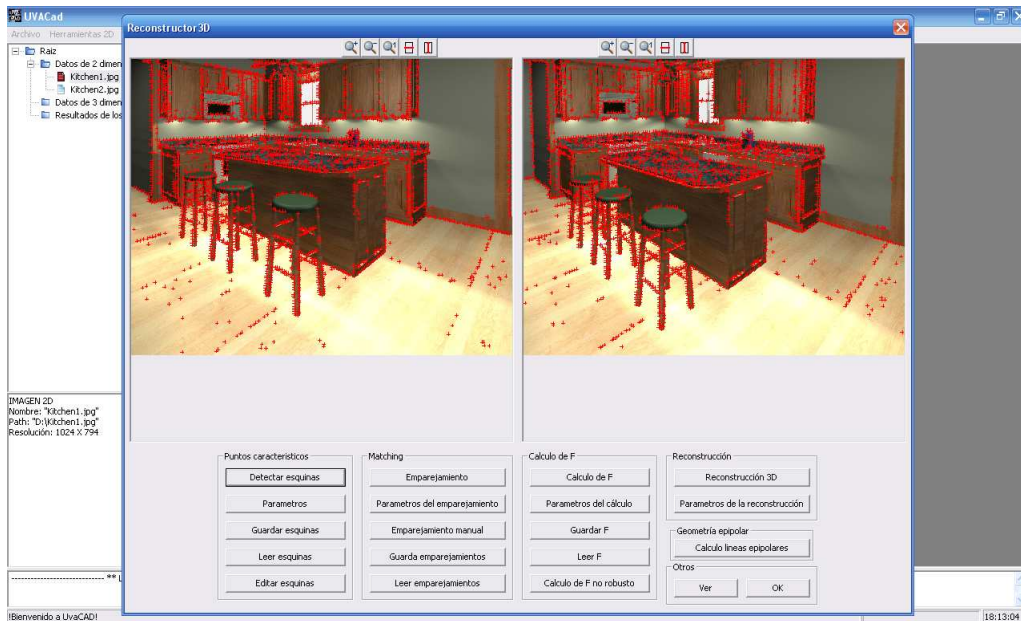


Figura 5: Reconstrucción 3D.

herramienta permite de forma semi-automática realizar las fases de la reconstrucción 3D a partir de dos vistas.

- *Extracción de hechos característicos* (junturas, puntos salientes) presentes en cada una de las imágenes. El algoritmo SUSAN proporciona una solución rápida y eficiente.
- *Puesta en correspondencia*: Cálculo de puntos homólogos entre dos imágenes. Este algoritmo a través de parámetros proporcionados por el usuario, busca por similitud de color y posición de puntos homólogos
- Búsqueda de Inliers y Outliers. Se ha implementado el algoritmo de RANSAC (RANDOM SAMPLE CONSENSUS) [2] adaptativo. Los algoritmos de búsqueda de la matriz fundamental implementados para el RANSAC han sido el algoritmo de 7 puntos, Algoritmo de 8 puntos y el algoritmo no-lineal.[4]
- Cálculo de la matriz fundamental a través del algoritmo no-lineal y de los inliers.
- Cálculo de las matrices de proyección $P1$ y $P2$
- Obtención de la geometría 3D por medio de una triangulación.

4 Conclusiones

UvaCad es una herramienta que realiza el tratamiento de datos 2D y 3D de forma sencilla y rápida por parte del cliente. Por parte de los desarrolladores, UvaCad proporciona un marco que integra diferentes librerías de Geometría y visión computacional y a través de interfaces sencillas se pueden acceder y utilizar a ellas para el desarrollo de aplicaciones complejas relacionadas con el tratamiento de información 2d .

5 Referencias bibliográficas

Referencias

- [1] R. Hartley A. Zisserman. Multiple View Geometry in computer vision. *Ed. Cambridge*, 2000
- [2] M. A. Fischeler R. C. Bolles. Random sample consensus: A paradigm form model fitting with application to image analysis and automated cartography. *Comm. Assoc. Comp. Mach.*, 24(6):381-395, 1981
- [3] J.Tordable: "Coloreador de nubes de puntos 3D", PFC Ingeniería Informática, Valladolid 2006.
- [4] Torr, P. H. S. Outlier Detection and Motion Segmentation, Phd Thesis *Dept. of Engineering Science, University of Oxford*,1995
- [5] J.I.SanJosé, J.Finat, L.Fuentes, J.J.Fernández-Martin, J. Martínez: Ordering criteria for information management in 3d laser surveying of small urban spaces *Revista: The Intl. Archives of the photogrammetry , remote sensing and spatial information sciences Volumen: "Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" Vol. XXXVI, Part: 5/W.17 Editores: Sabry El-Hakim, Fabio Remondino, Lorenzo Gonzo Indice de Impacto: 0.389 ISSN: 1682-1777*,2005
- [6] J.Finat, J.J. Fernández-Martin, J.I.SanJosé, J.Martinez and J.D.Pérez-Moneo. Laser-based three-dimensional GIS form small historical urban zones. Challenges and results *Libro: Heritage Protection. Construction Aspects ISBN: 953-954218-1-2 Páginas: 553-560 Editores: J.Radic, V.Rajcic and R.Zarnic Publicado por: Secon HDGK, Dubrovnik, Croacia.*,2006
- [7] J.I.SanJosé, J.J. Fernández-Martin, J.Finat, J.Tordable , J.D. Pérez-Moneo and J.Martinez: Risk Analysis and Diagnosis of Damaged Structures in Historical Buildings: Strategies for Assessment and Intervention *Libro: Heritage Protection. Construction Aspects ISBN: 953-954218-1-2 Páginas: 87-94 Editores: J.Radic, V.Rajcic and R.Zarnic Publicado por: Secon HDGK, Dubrovnik, Croacia.*,2006
- [8] J.Fernández-Martín, J.I.San José, M.Gonzalo, J. Martínez y J.Finat: Multi-scale 3d surveying for conservation tasks: A pilot case for the fusion of range-scanning on Archaeological Sites *Revista: The Intl. Archives of the Photogrammetry , remote sensing and spatial information sciences Volumen: " International Cooperation to Save the World's Cultural Heritage s" Vol. XXXVI, Part: 5/C 34 Editores: Prof. Sergio Dequal Indice de Impacto: 0.389 ISSN: 1682-1750 Páginas: 808-812*,2005
- [9] J.I.San José, J.Finat, J.Fernández-Martín, J. Martínez L.Fuentes, y M.Gonzalo. Urban Lasermetry. Problems and results for surveying urban historical centres. Some pilot cases of Spanish Plaza Mayor *Revista: The Intl. Archives of the Photogrammetry , remote sensing and spatial information sciences Volumen: " International Cooperation to Save the World's Cultural Heritage " Vol. XXXVI, Part: 5/C 34 Editores: Prof. Sergio Dequal Indice de Impacto: 0.389 ISSN: 1682-1750 Páginas: 523-528*,2005
- [10] J. Martínez, J.Finat, L.Fuentes, M.Gonzalo, A.Viloria: A coarse-to-fine curved approach to 3d surveying of ornamental aspects and sculptures in façades *Revista: The Intl. Archives of the photogrammetry , remote sensing and spatial information sciences Volumen: "International Cooperation to Save the World's Cultural Heritage" Vol. XXXVI, Part: 5/C 34 Editores: Prof. Sergio Dequal Indice de Impacto: 0.389 ISSN: 1682-1750 Páginas: 441-446*,2005
- [11] .J.Fernández-Martin, J.I.SanJosé, J. Martínez y J.Finat: Multiresolution surveying of Complex Façades: A comparative analysis between digital Phtogrammetry and 3d laser scanning *Revista: The Intl. Archives of the photogrammetry , remote sensing and spatial information sciences Volumen: "International Cooperation to Save the World's Cultural Heritage" Vol. XXXVI, Part: 5/C 34 Editores: Prof. Sergio Dequal Indice de Impacto: 0.389 ISSN: 1682-1750 Páginas: 271-276*,2005
- [12] D.G.Aguilera, J.Gómez-Lahoz, J.Finat: A new method for vanishing points detection in 3d reconstruction from a single view *Revista: The Intl. Archives of the photogrammetry , remote sensing and spatial information sciences Volumen: "Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" Vol. XXXVI, Part: 5/W.17 Editores: Sabry El-Hakim, Fabio Remondino, Lorenzo Gonzo Indice de Impacto: 0.389 ISSN: 1682-1777*,2005

- [13] J.Finat, M.A.Iglesia, J.J.Fernández-Martin, J. Martínez, J.I.Sanjosé, A.Tapia: The roman theatre of Clunia: hybrid strategies for applying virtual reality on laser scanning 3d files *Revista: The Intl. Archives of the photogrammetry , remote sensing and spatial information sciences Volumen: "Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" Vol. XXXVI, Part: 5/W.17 Editores: Sabry El-Hakim, Fabio Remondino, Lorenzo Gonzo Indice de Impacto: 0.389 ISSN: 1682-1777,2005*