



UNIVERSIDAD DE GRANADA

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA EN INFORMÁTICA

3DCurator

Sistema gráfico de ayuda al diagnóstico e intervención de
esculturas mediante datos médicos volumétricos

Autor

Francisco Javier Bolívar Lupiáñez

Director

Francisco Javier Melero Rus



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍAS INFORMÁTICA Y DE
TELECOMUNICACIÓN

Granada, 3 de septiembre de 2017



3DCurator

Sistema gráfico de ayuda al diagnóstico e intervención de
esculturas mediante datos médicos volumétricos

Autor

Francisco Javier Bolívar Lupiáñez

Director

Francisco Javier Melero Rus

3DCurator: Sistema gráfico de ayuda al diagnóstico e intervención de esculturas mediante datos médicos volumétricos

Francisco Javier Bolívar Lupiáñez

Palabras clave: informática gráfica, renderizado de volúmenes, tomografía computarizada, escultura policromada de madera, conservación y restauración, restaurador de arte

Resumen

Lala

3DCurator: Graphic system to aid the diagnosis and intervention of sculptures using volumetric medical data

Francisco Javier Bolívar Lupiáñez

Keywords: Computer Graphics, Volume Rendering, Computed Tomography, Polychromed Wood Sculpture, Conservation-Restoration of Cultural Heritage, Art Curator

Abstract

Lala

Yo, **Francisco Javier Bolívar Lupiáñez**, alumno de la titulación Máster en Ingeniería Informática de la **Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicación**, con DNI 75926571Y, autorizo la ubicación de la siguiente copia de mi Trabajo Fin de Máster en la biblioteca del centro para que pueda ser consultada por las personas que lo deseen.

Fdo: Francisco Javier Bolívar Lupiáñez

Granada a 3 de septiembre de 2017.

D. **Francisco Javier Melero Rus**, Profesor del Área de Lenguajes y Sistemas Informáticos del Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Universidad de Granada.

Informa:

Que el presente trabajo, titulado *3DCurator, Sistema gráfico de ayuda al diagnóstico e intervención de esculturas mediante datos médicos volumétricos*, ha sido realizado bajo su supervisión por **Francisco Javier Bolívar Lupiáñez**, y autorizamos la defensa de dicho trabajo ante el tribunal que corresponda.

Y para que conste, expiden y firman el presente informe en Granada a 3 de septiembre de 2017.

El director:

Francisco Javier Melero Rus

Agradecimientos

Lala

Índice general

| | |
|--|-----------|
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Tomografía Computarizada | 2 |
| 1.1.1. Historia | 2 |
| 1.1.2. Generaciones | 2 |
| 1.2. Esculturas de madera policromadas | 7 |
| 1.2.1. Historia | 7 |
| 1.2.2. Maderas más utilizadas | 7 |
| 1.2.3. Defectos de la madera | 7 |
| 1.2.4. Proceso de tallado | 9 |
| 1.3. Estado del arte | 9 |
| 1.4. Motivación | 11 |
| 2. Especificación de requisitos | 13 |
| 3. Planificación | 15 |
| 4. Análisis | 17 |
| 5. Diseño | 19 |
| 5.1. Arquitectura del software | 19 |
| 5.2. Diagrama de paquetes | 20 |
| 5.3. Diagramas de clases | 20 |
| 5.3.1. <i>Chart</i> | 21 |
| 5.3.2. <i>Core</i> | 21 |
| 5.3.3. <i>Documentation</i> | 22 |
| 5.3.4. <i>GUI</i> | 23 |
| 5.3.5. <i>Interactor</i> | 25 |
| 5.3.6. <i>Segmentation</i> | 25 |
| 5.3.7. <i>Util</i> | 25 |
| 5.3.8. <i>Widget</i> | 26 |
| 6. Implementación | 27 |
| 7. Ejemplos | 29 |

| | |
|---|-----------|
| 8. Conclusiones y trabajos futuros | 31 |
| Bibliografía | 34 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| 1.1. Primera generación de aparatos de tomografía computarizada [13] | 3 |
| 1.2. Segunda generación de aparatos de tomografía computarizada [13] | 3 |
| 1.3. Tercera generación de aparatos de tomografía computarizada [13] | 4 |
| 1.4. Cuarta generación de aparatos de tomografía computarizada [13] | 4 |
| 1.5. Cuarta generación de aparatos de tomografía computarizada [13] | 5 |
| 1.6. Diferencias entre TC helicoidal multicorte (B) y monocorte (A) [19] | 6 |
| 1.7. Equipo TC con doble fuente [19] | 6 |
| 1.8. Obtención de datos volumétricos de una escultura posteriormente examinada | 11 |
| 5.1. Diagrama de paquetes de 3DCurator | 20 |
| 5.2. Diagrama de clases del paquete <i>Chart</i> | 21 |
| 5.3. Diagrama de clases del paquete <i>Core</i> | 22 |
| 5.4. Diagrama de clases del paquete <i>Documentation</i> | 23 |
| 5.5. Diagrama de clases del paquete <i>GUI</i> | 24 |
| 5.6. Diagrama de clases del paquete <i>Interactor</i> | 25 |
| 5.7. Diagrama de clases del paquete <i>Segmentation</i> | 25 |
| 5.8. Diagrama de clases del paquete <i>Util</i> | 26 |
| 5.9. Diagrama de clases del paquete <i>Widget</i> | 26 |

Índice de cuadros

| | |
|--|----|
| 5.1. Arquitectura del software | 20 |
|--|----|

Capítulo 1

Introducción

Este trabajo de fin de máster es una continuación del trabajo de fin de grado que realicé en el que se desarrolló un *software* (3DCurator) para visualizar un conjunto de datos volumétricos, en formato DICOM, de esculturas de madera policromada.

Con este *software*, los expertos en la materia como restauradores o historiadores del arte podían inspeccionar el interior de las esculturas sin dañarlas para un posterior proceso de estudio, restauración y/o conservación.

En este trabajo de fin de máster se llevarán a cabo distintas tareas de desarrollo que se integrarán a 3DCurator así como un estudio teórico más completo del proceso de obtención de datos volumétricos en los objetos que abarcan el campo de estudio en cuestión.

Las tareas de desarrollo que se integrarán con el *software* desarrollado se dividen en tres bloques:

- **Pre-procesamiento de datos:** Se estudiarán los distintos filtros disponibles para ver cuáles ofrecen mejores resultados en la tarea de reducción de ruido.
- **Subdivisión de piezas de madera:** Las esculturas suelen estar formadas por distintas piezas de madera. Se estudiará la forma de segmentarla probando, en primer lugar, los algoritmos ya existentes utilizados principalmente en medicina. Si ninguno ofrece los resultados que esperamos, se pasará a desarrollar uno propio.
- **Herramientas de documentación:** Se incluirán herramientas para ayudar a los usuarios en la tarea de documentación permitiendo, por ejemplo, incluir distintas anotaciones en puntos de interés.

Además de las librerías que ya se utilizaron: VTK [9] (visualización), Qt [6] (GUI) y Boost [1] (XML); se utilizarán las librerías ITK [4] y OpenCV

[5] para el análisis de imágenes y la visión por computador respectivamente. Haciendo uso de CMake [2] para pre-compilarlas todas juntas.

Antes de empezar a profundizar en aspectos técnicos se realizará una introducción al proceso de obtención de datos volumétricos usando una Tomografía Computarizada así como de los objetos que se quieren analizar con esta técnica de obtención de datos: las esculturas de madera policromada.

1.1. Tomografía Computarizada

1.1.1. Historia

La tomografía computarizada (TC) es una técnica de obtención de imágenes muy utilizado en el campo de la medicina para, por ejemplo, localizar y ver el tamaño de tumores.

Sus orígenes se remontan a los años 60 cuando en 1967 Goodfrey Newblod Hounsfield propuso la elaboración del que llamó escáner EMI, base para desarrollar el Tomógrafo Axial Computarizado (TAC). El objetivo era *“crear una imagen tridimensional de un objeto tomando múltiples mediciones del mismo con la misma fuente de rayos X desde diferentes ángulos y utilizar un ordenador que permita reconstruir a partir de cientos de ‘planos’ superpuestos y entrecruzados”* [20].

Cuatro años más tarde, en 1971, se realizó con éxito el primer escáner cerebral usando este tomógrafo. En 1972 se instaló permanentemente en el hospital donde realizaron las pruebas y al año siguiente ya era solicitado por hospitales alrededor de todo el mundo.

1.1.2. Generaciones

El sistema de tomografía computarizada ha pasado por cuatro generaciones [19]:

Primera generación

La adquisición de datos en la primera generación se basaba en la geometría del haz de rayos X paralelo y traslación-rotación en un tubo de rayos X y un solo detector (Figura 1.1). El haz de rayos X se colimaba en dimensiones de 2 x 13mm. Estos 13mm correspondían al grosor del corte. Se tomaba una medida por cada 160 rotaciones durante 180 traslaciones dando un total de 28.800 medidas. El proceso era lento, tardaba unos 5 minutos, y el movimiento del paciente afectaba muy negativamente a la calidad de la

imagen, por lo que su uso se veía reducido al escaneo de zonas que podían mantenerse inmóviles como la cabeza.

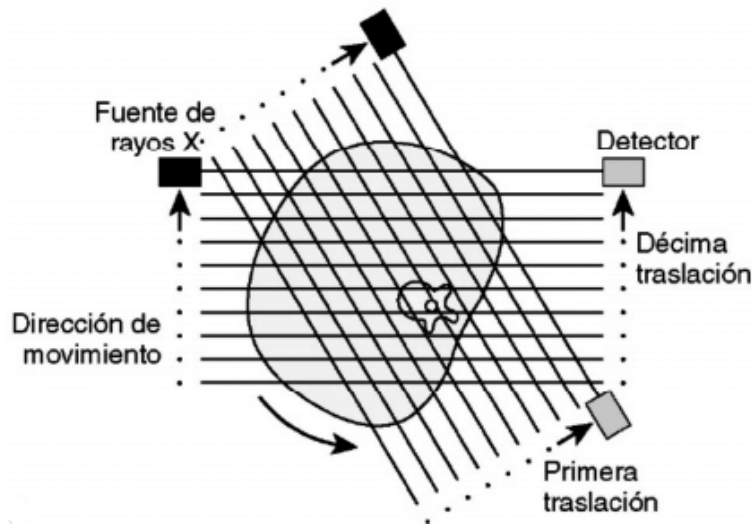


Figura 1.1: Primera generación de aparatos de tomografía computarizada [13]

Segunda generación

En esta segunda generación se aumentó el número de detectores (de 5 a 30) por lo que se vio disminuido el tiempo de la exploración a unos 18 segundos (Figura 1.2).

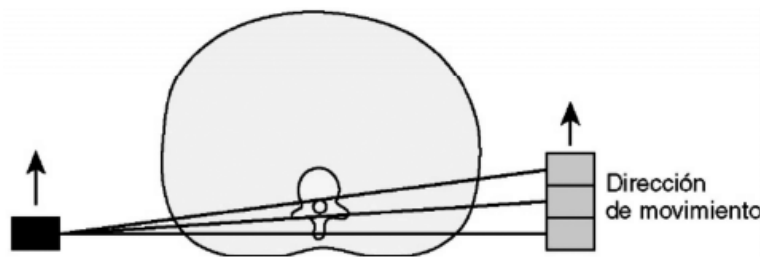


Figura 1.2: Segunda generación de aparatos de tomografía computarizada [13]

Tercera generación

La tercera generación supuso un gran cambio y se ha convertido en la configuración estándar utilizada en la mayoría de los sistemas de escáner. Se utiliza una geometría de haz en abanico de gran angular (50° a 55°), un arco

de detectores y un tubo de rayos X. Estos elementos giran 360° alrededor del paciente (Figura 1.3). El número de detectores se encuentra entre 600 y 900. Con este sistema el tiempo de barrido oscila entre 3 y 10 segundos.

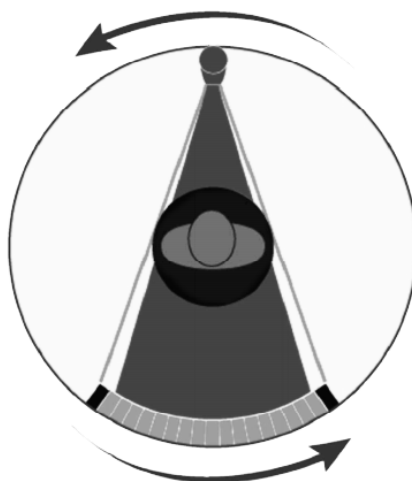


Figura 1.3: Tercera generación de aparatos de tomografía computarizada [13]

Cuarta generación

La cuarta generación es muy parecida a la tercera solo que añade una configuración de giro estacionario (Figura 1.4).

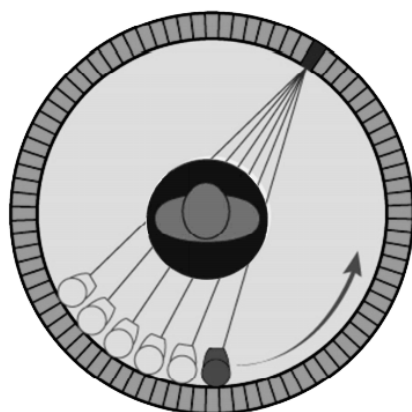


Figura 1.4: Cuarta generación de aparatos de tomografía computarizada [13]

Nuevas tecnologías

- **TC helicoidal (TCH):** Hasta finales de los años 80, los aparatos de TC adquirían los datos en cortes según un método conocido como exploración axial (de ahí el nombre de TAC). Con los sistemas de tipo helicoidal los datos se obtienen de forma continua mientras se avanza la mesa a través del *gantry* haciendo que el tubo de rayos X describa una trayectoria helicoidal (Figura 1.5).

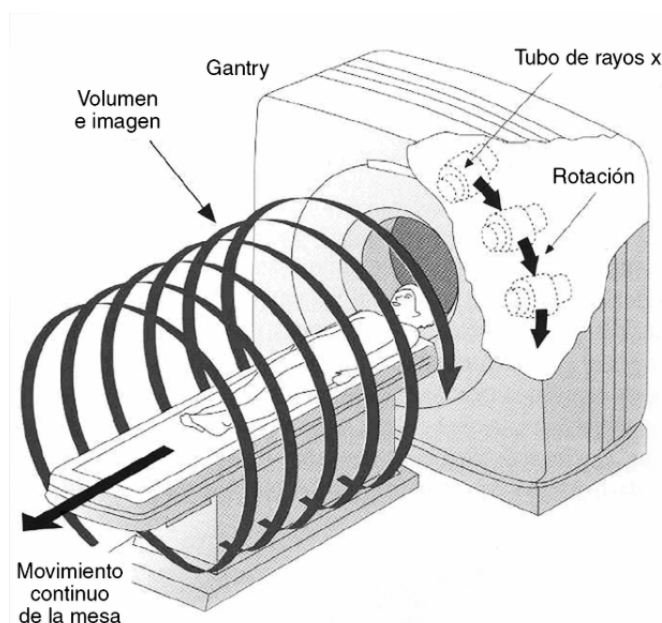


Figura 1.5: Cuarta generación de aparatos de tomografía computarizada [13]

- **TC helicoidal multicorte (TCM):** En el lugar donde había una fila de detectores, se colocan múltiples filas. Los primeros tenían 4 filas contiguas, pero posteriormente se ha pasado a alrededor de 16 y 64 filas (Figura 1.6). Por cada rotación se estudia un mayor volumen aumentando así la velocidad de rotación y por tanto los tiempos de exposición obteniendo imágenes de mayor calidad.

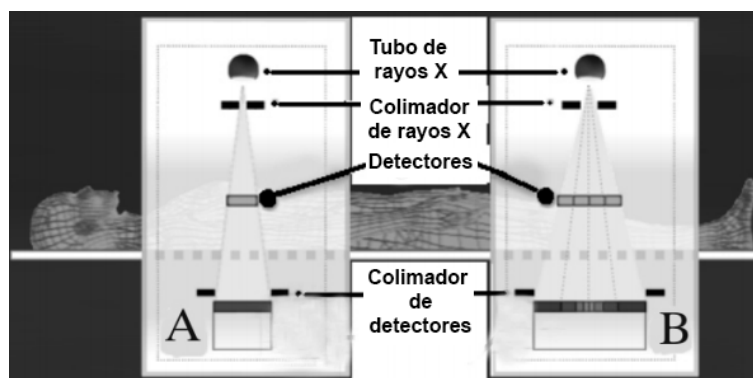


Figura 1.6: Diferencias entre TC helicoidal multicorte (B) y monocorte (A) [19]

- **TC de doble fuente (TCED):** Es uno de los equipos más novedosos pues permiten realizar estudios con diferentes espectros de rayos X. Utilizan dos tubos de rayos X colocados de forma perpendicular en el *gantry* (Figura 1.7). Se obtiene por tanto una resolución temporal equivalente a un cuarto del tiempo de rotación del *gantry*.



Figura 1.7: Equipo TC con doble fuente [19]

1.2. Esculturas de madera policromadas

1.2.1. Historia

El tallado es el método de elaboración de esculturas más antiguo conocido. Se ha tallado en distintos materiales (madera, piedra, marfil...). Pero la madera, por condiciones como su ligereza o la facilidad de ensamblado entre distintas piezas, ha sido uno de los materiales más utilizados.

Se conoce que desde el Antiguo Egipto ya se realizaban esculturas de madera pero es a partir del siglo XI cuando comienza su proliferación. Y desde este momento comienzan a producirse mejoras en las técnicas y herramientas utilizadas durante el proceso del tallado [19].

1.2.2. Maderas más utilizadas

Dependiendo del tipo de escultura se utilizan maderas blandas o duras. Si la escultura es más pequeña y contiene más detalles se utilizará un tipo de madera más dura.

No obstante, en la elección también tiene mucha influencia la situación geográfica al utilizarse maderas autóctonas [19]:

- **Italia:** Álamo y chopo.
- **Francia:** Nogal y castaño.
- **Países Bajos:** Roble y encina.
- **España:** Pino de Flandes, cedro de la Habana, castaño, tejo, álamo, nogal, ciprés, boj, pino silvestre y algunos frutales como el peral.

Además de la madera, una escultura de madera policromada, puede contener varios materiales como el estuco o el metal de los clavos utilizados.

1.2.3. Defectos de la madera

Entre los defectos de la madera se pueden encontrar [19]:

Grietas o fendas

Según la UNE-EN 844-9 se denomina grieta o fenda a “toda separación de las fibras (raja o hendidura) en dirección longitudinal”. Según su origen, pueden ser de distintos tipos:

- **Acebolladuras o *colainas*:** Hay una discontinuidad entre los anillos de crecimiento.
- **Superficiales o de desecación:** Producidas por el calor, provocan un deterioro en las zonas externas del tronco del árbol dejando la madera desprotegida. Provocan grietas en sentido longitudinal.
- **De heladura:** Producidas por una helada dañan la superficie e interior del tronco. Provocan grietas radiales.
- **De viento:** Originadas por la acción de un fuerte viento. Provocan grietas longitudinales y transversales.

Además de estos procesos naturales, se pueden producir grietas durante procesos como el secado que provocan una separación de las fibras.

Fibras reviradas y entrelazadas

Las fibras se encuentran normalmente orientadas en paralelo al eje principal del tronco, pero en ocasiones pueden presentar nudos que alteran la dirección de éstas.

Nudos

La UNE 56.521 define nudo como “anomalía local de la estructura de la madera producida por la parte inferior de una rama que va quedando englobada en el tronco a medida que se producen los crecimientos de este”. Existen distintos tipos:

- **Adherente, vivo, fijo o sano:** Definido por la UNE 56.521 como “aquel cuyos tejidos son solidarios con los de la madera que los rodea debido a ser formado por una rama viva”.
- **Suelto, saltadizo, muerto o seco:** Definido por la UNE 56.521 como “aquel en que los tejidos de la rama que lo producen no son solidarios con los de la madera que los rodea y suelen separarse”.

Núcleos de resina

Son cavidades entre los anillos de crecimiento producidos frecuentemente por nudos.

Factores de deterioro de tipo biótico

Además de las alteraciones que ya presenta la madera, existen otros factores que también influyen como la humedad y la temperatura o el ataque de insectos xilófagos y hongos.

Los insectos xilófagos se nutren de madera seca y favorecen a su desarrollo una humedad relativa y temperaturas no muy bajas. Estos producen daños rompiendo las fibras de la madera.

Los hongos son microorganismos que pueden desarrollarse en la superficie o en el interior de la madera, haciendo que pierda humedad, reduciendo su tamaño y deformándose. Existen tres tipos distintos de degradación tras un ataque de hongos: pudrición blanca, parda o seca y blanda.

1.2.4. Proceso de tallado

El proceso de tallado se podría definir como una técnica sustractiva en la que a partir de una pieza se obtiene una forma concreta.

Un método puede ser utilizar un único bloque de madera. En ocasiones ahuecado por el reverso para contrarrestar fuerza y movimiento de la madera, y, en cierto modo, aligerando el peso.

A partir del siglo XVI empieza a utilizarse con más frecuencia otro método en el que a partir de un bloque principal se ensamblan diferentes piezas generando un bloque más grande, denominado embón, con la forma y el tamaño de la imagen a esculpir. A partir de éste se comienza el tallado.

A partir del Barroco se mejora esta técnica realizando ensamblados en hueco para evitar el posterior ahuecado [19].

1.3. Estado del arte

Como ya se ha comentado anteriormente, este trabajo es la continuación del trabajo fin de grado que realicé. Durante este trabajo fin de grado resolví el problema de la visualización de datos volumétricos de esculturas de madera policromada [11]. Pero no realizaba ningún pre-procesamiento, tan solo se visualizaban permitiendo explorar la escultura en su interior. Toda la información que obtenía el experto que usase el programa debía ser anotada a mano a parte pues tampoco se proporcionaba funcionalidad para almacenar esta información para poder ser rescatada posteriormente.

Este trabajo se divide en tres bloques: pre-procesamiento, documentación y segmentación.

Los dos primeros están incluidos en la mayoría de los programas dispo-

nibles en la web de visualización de datos volumétricos. Tales como AMILab [15], RadiAnt [7], Slicer [12] o el usado por María Francisca en su estudio [19] OsiriX [18] en el que me he inspirado para realizar mi implementación. Todas estas herramientas son muy completas, pero los resultados obtenidos al visualizar los datos volumétricos de esculturas de madera policromadas dejaban mucho que desear y el gran número de funciones específicas para la medicina los hacen complejos de más, y es que por esta razón surgió la idea de crear un software específico de visualización de datos volumétricos de esculturas.

El tercer bloque, el de la segmentación, es totalmente novedoso pues no hay ningún tipo de segmentación específica para separar distintos trozos de madera. Sin embargo, antes de programar un algoritmo específico habría que probar con los que ya hay disponibles que además son muy usados en el campo de la medicina.

Existen varias aproximaciones para llevar a cabo la segmentación en datos volumétricos. Pueden clasificarse en:

- Segmentación manual
- Segmentación semi-automática
- Segmentación basada en umbrales (*thresholding*)
- Segmentación basada en crecimiento de regiones (*region-growing*)
- Segmentación basada en bordes (*edge*)

La segmentación manual la podríamos descartar automáticamente. Pese a que es un método que siempre se puede aplicar, tener a una persona recortando manualmente las distintas piezas corte por corte puede ser muy costoso en cuanto a tiempo.

Los métodos de segmentación basada en umbrales [17] se basan en definir un umbral en los valores escalares de cada vóxel para diferenciar las distintas partes del volumen. Estos no nos son útiles pues las distintas piezas de madera suelen ser del mismo material y coincidir en estos valores de densidad.

Los métodos de segmentación basada en crecimiento de regiones que utilizan umbrales [14] tampoco nos van a servir pues las distintas piezas de madera se encuentran juntas. Otros métodos de segmentación basada en regiones como la transformación divisoria (*watershed*) [10] tampoco nos van a servir pues se definirían muchas cuencas debido a los anillos que presentan los cortes de la madera y si se empiezan a inundar para obtener regiones más grandes obtendremos un resultado similar al que obtenemos con el de crecimiento de regiones con umbrales.

Los métodos de segmentación basados en bordes como el *livewire* [16] podrían resultar efectivos pues el borde que separa dos piezas de madera es visualmente diferenciable. No obstante, este método necesita de una supervisión humana y, aunque sea más preciso y rápido que una segmentación manual, se debería seguir realizando corte a corte.

Como vemos, ninguno de los métodos que no requieren de supervisión humana son efectivos a la hora de resolver nuestro problema. Es por ello que, definitivamente, hay que desarrollar uno propio.

1.4. Motivación

La exploración interna de una escultura mediante los datos obtenidos con una TC 1.8 son mucho más completos que los obtenidos con otras técnicas como las radiografías tradicionales [19]. La necesidad de una herramienta con la que poder visualizar estos datos se vio satisfecha con 3DCurator [11], sin embargo, se trataba de un software todavía incompleto pues no contaba con técnicas de pre-procesamiento ni documentación como otros software del mercado especializados en visualizar datos médicos.

La extracción de los distintos trozos de madera que forman parte de la escultura podrán ayudar enormemente a su estudio por separado además de poder ser extraídos en un formato como el STL para ser imprimidos en 3D.



Figura 1.8: Obtención de datos volumétricos de una escultura posteriormente examinada

Capítulo 2

Especificación de requisitos

Este capítulo es una Especificación de Requisitos Software para el software que se va a realizar siguiendo las directrices dadas por el estándar IEEE830 [3].

2.1. Introducción

2.1.1. Propósito

Este capítulo de especificación de requisitos tiene como objetivo definir las especificaciones funcionales y no funcionales para el desarrollo de un software que permitirá pre-procesar datos DICOM obtenidos al someter a una escultura de madera policromada a una TC para que posteriormente los usuarios puedan realizar labores de documentación al explorar la figura así como realizar una segmentación de los distintos trozos de madera que la componen.

Capítulo 3

Planificación

Lala

Capítulo 4

Análisis

Lala

Capítulo 5

Diseño

En este capítulo se mostrarán los diagramas arquitectónico, de paquetes y de clases de la aplicación.

Estos diagramas UML han sido generados con la aplicación StarUML [8] y están disponibles en la rama de diseño del repositorio del proyecto alojado en GitHub: <https://github.com/fblupi/3DCurator/tree/design> por si es necesario verlos a mayor tamaño.

5.1. Arquitectura del software

El software está íntegramente escrito en C++ a excepción de las interfaces gráficas que usan un formato específico basado en XML.

Se hace uso a nivel hardware tanto de la CPU como de la GPU usando OpenGL como librería gráfica de bajo nivel pese a no programar directamente con esta librería. En su lugar se utiliza la librería gráfica de alto nivel VTK que abstrae de la complejidad de OpenGL.

Para gestionar la interfaz de usuario se utiliza Qt que permite una buena integración con VTK.

Se usan también, como librerías adicionales, ITK para aplicar algoritmos de filtros a los volúmenes, OpenCV para los algoritmos de visión por computador y Boost para la gestión de ficheros XML.

Para generar el proyecto pre-compilando todas estas librerías citadas anteriormente, así como para hacerlo multiplataforma y poder compilarlo en cualquier sistema operativo se usa CMake.

| | | | | | |
|--------------------------|--------|-----|-----|--------|----|
| Librerías de alto nivel | Boost | VTK | ITK | OpenCV | Qt |
| Librerías de bajo nivel | OpenGL | | | | |
| Lenguaje de programación | C++ | | | | |
| Nivel Hardware | CPU | | GPU | | |

Cuadro 5.1: Arquitectura del software

5.2. Diagrama de paquetes

En el siguiente diagrama (Figura 5.1) se muestran las dependencias entre los distintos paquetes cuyas clases se detallarán en el siguiente apartado.

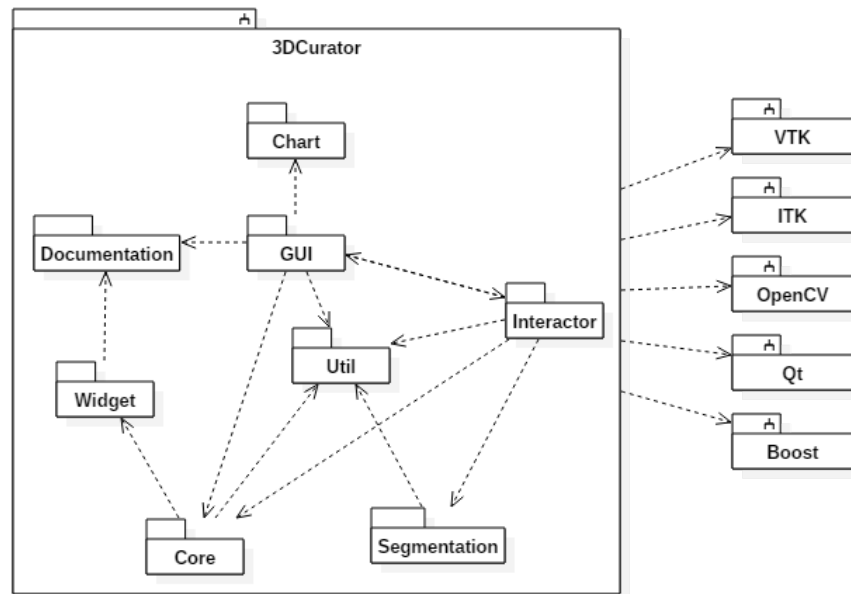


Figura 5.1: Diagrama de paquetes de 3DCurator

5.3. Diagramas de clases

Se presentan las distintas clases de los distintos módulos que contiene 3DCurator.

5.3.1. *Chart*

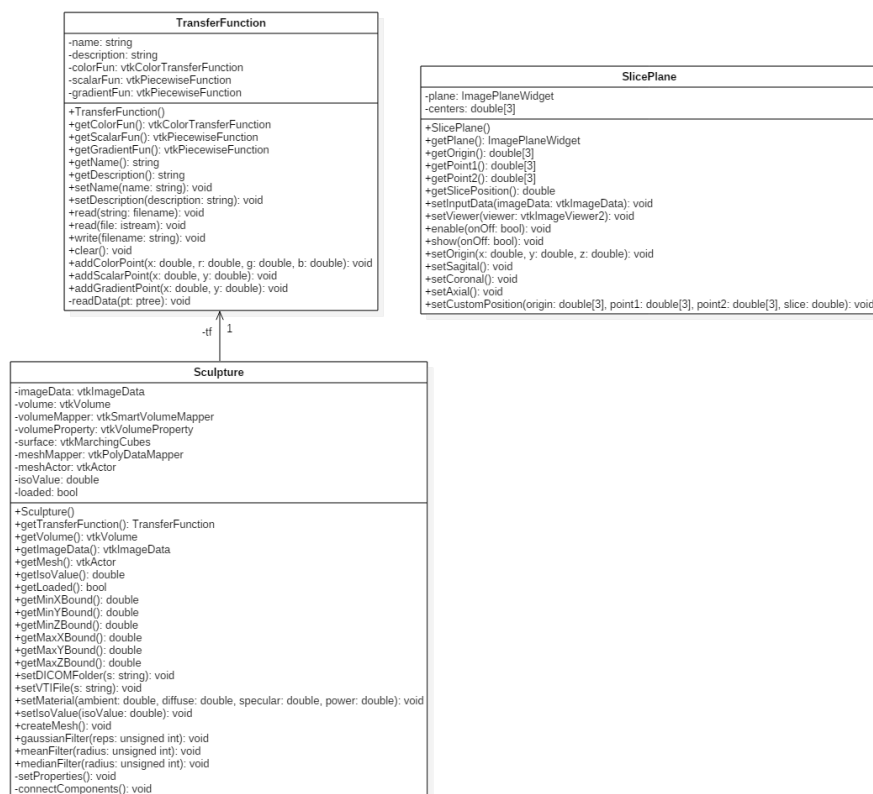
Este módulo contiene las clases auxiliares para controlar las gráficas utilizadas para visualizar y editar la función de transferencia:



Figura 5.2: Diagrama de clases del paquete *Chart*

5.3.2. *Core*

Este es el módulo principal de 3DCurator. Contiene las clases que gestionan los datos del volumen (*Sculpture*), la función de transferencia (*Transfer Function*) y plano de corte (*SlicePlane*):

Figura 5.3: Diagrama de clases del paquete *Core*

5.3.3. Documentation

En este módulo se encuentra la clase que almacena los distintos elementos utilizados para la documentación:

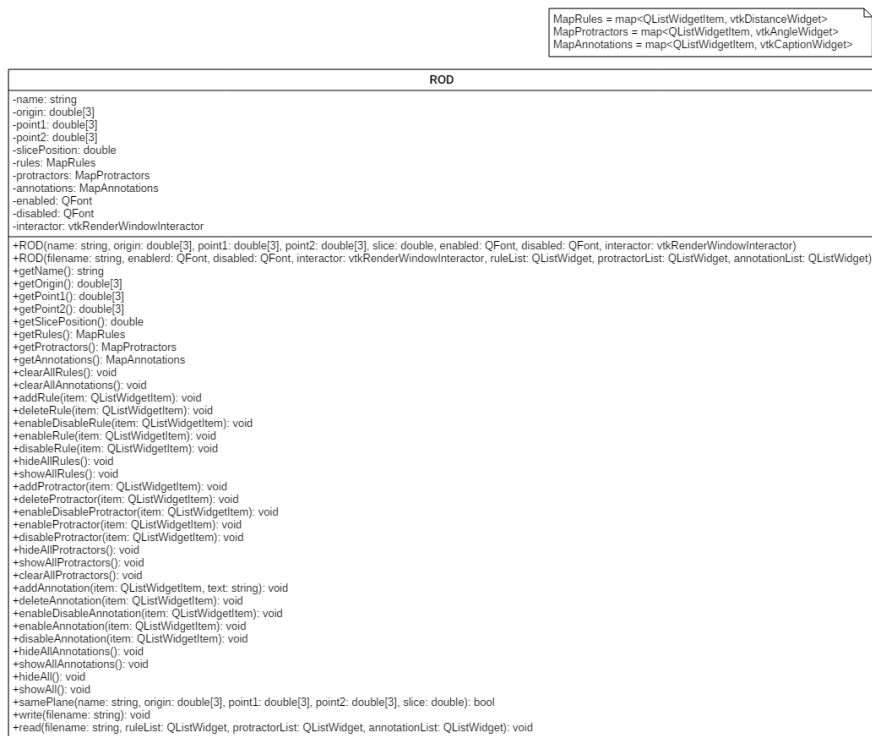
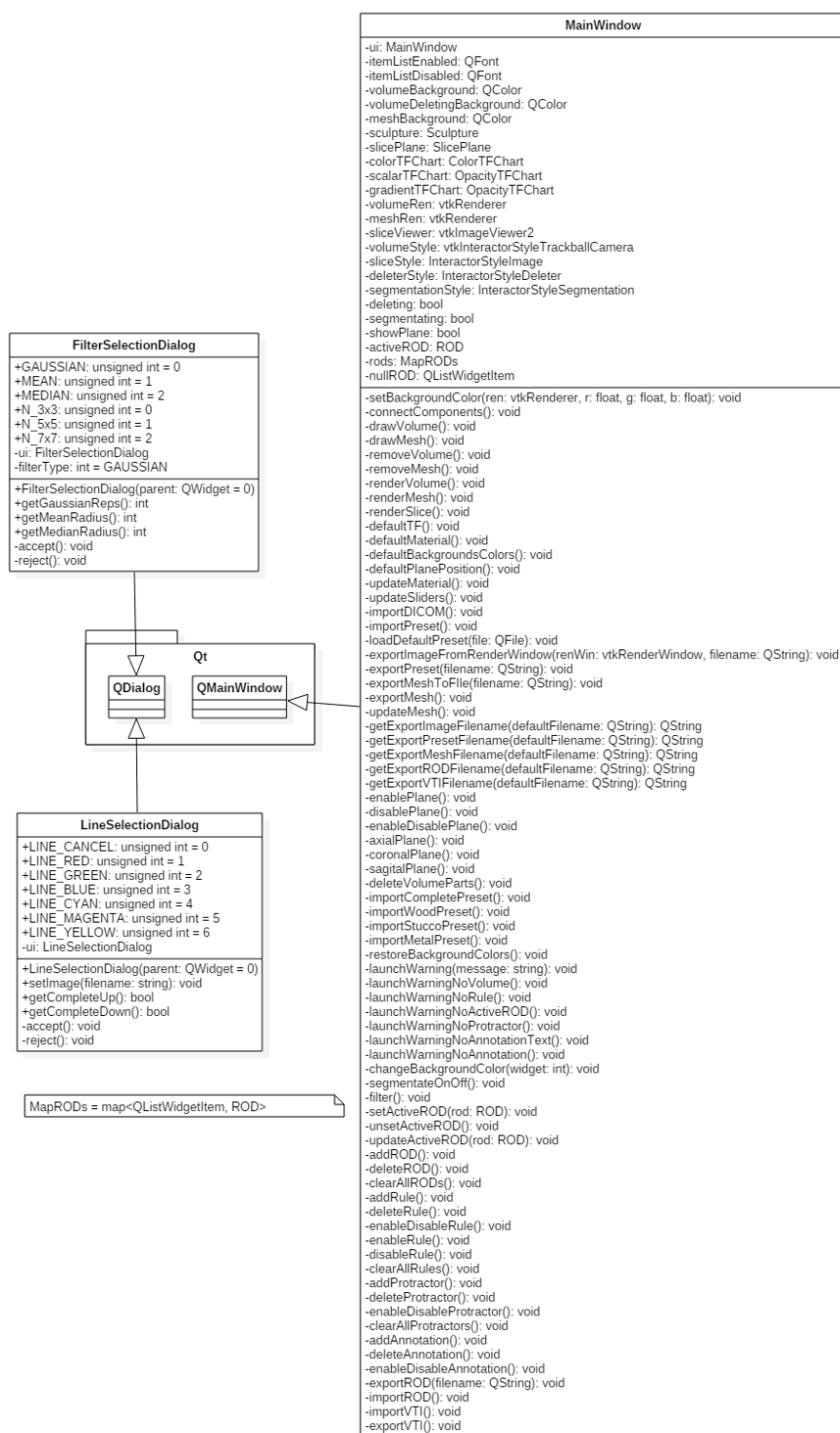


Figura 5.4: Diagrama de clases del paquete *Documentation*

5.3.4. GUI

Este módulo contiene las distintas clases que gestionan las ventanas de la GUI:

Figura 5.5: Diagrama de clases del paquete *GUI*

5.3.5. *Interactor*

Este módulo contiene los distintos interactuadores con las ventanas de visualización:

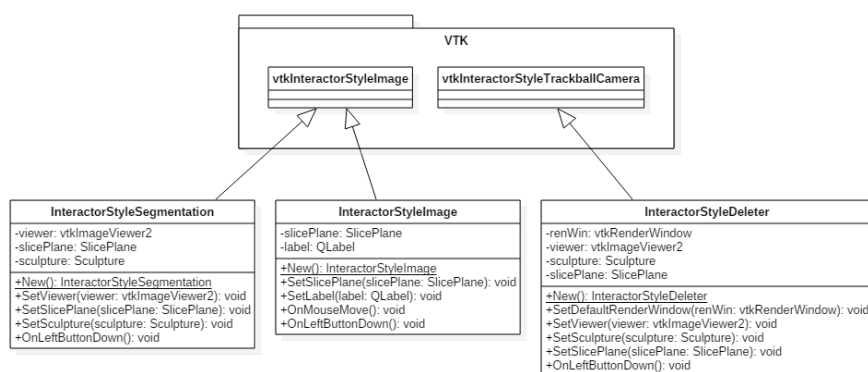


Figura 5.6: Diagrama de clases del paquete *Interactor*

5.3.6. *Segmentation*

En este módulo se encuentran las clases utilizadas para realizar segmentaciones en el volumen:

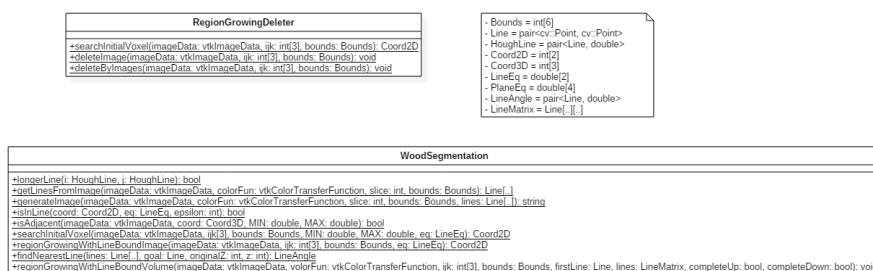
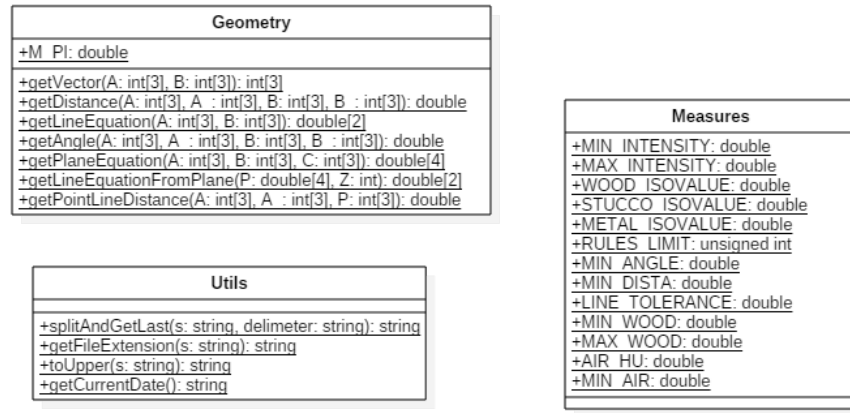


Figura 5.7: Diagrama de clases del paquete *Segmentation*

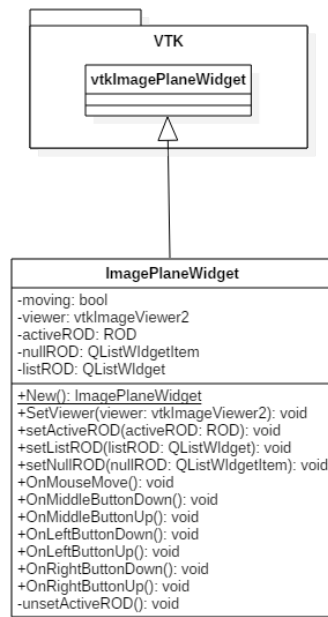
5.3.7. *Util*

Este módulo contiene funciones utilizadas frecuentemente por distintos módulos del programa:

Figura 5.8: Diagrama de clases del paquete *Util*

5.3.8. Widget

Este módulo contiene el *widget* personalizado de VTK que se utiliza:

Figura 5.9: Diagrama de clases del paquete *Widget*

Capítulo 6

Implementación

Lala

Capítulo 7

Ejemplos

Lala

Capítulo 8

Conclusiones y trabajos futuros

Lala

Bibliografía

- [1] Boost. <http://www.boost.org/>.
- [2] Cmake. <https://cmake.org/>.
- [3] Especificación de requisitos según el estándar de iec 830. <https://www.fdi.ucm.es/profesor/gmendez/docs/is0809/ieee830.pdf>.
- [4] Itk. <https://itk.org/>.
- [5] Opencv. <http://opencv.org/>.
- [6] Qt. <https://www.qt.io/>.
- [7] Radiant dicom viewer. <https://www.radiantviewer.com/>.
- [8] Staruml. <http://staruml.io/>.
- [9] Vtk. <http://www.vtk.org/>.
- [10] Serge Beucher and Christian Lantuéjoul. Use of watersheds in contour detection. 1979. https://www.researchgate.net/publication/230837989_Use_of_Watersheds_in_Contour_Detection.
- [11] Francisco Javier Bolívar and Francisco Javier Melero. 3dcurator: A 3d viewer for cts of polychromed wood sculptures. In Alejandro Garcia-Alonso and Belen Masia, editors, *Spanish Computer Graphics Conference (CEIG)*. The Eurographics Association, 2016. <http://dx.doi.org/10.2312/ceig.20161311>.
- [12] Andriy Fedorov, Reinhard Beichel, Jayashree Kalpathy-Cramer, Julien Finet, Jean-Cristophe Fillion-Robin, Sonia Pujol, Christian Bauer, Dominique Jennings, Fiona Fennessy, Milan Sonka, John Buatti, Stephen Aylward, James Miller, Steve Pieper, and Ron Kikinis. 3d slicer as an image computing platform for the quantitative imaging network. *Elsevier*, pages 1323–41, November 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mri.2012.05.001>.

- [13] Robert Iván García Zavaleta. La historia y las generaciones de la tomografía computarizada. 2014. https://issuu.com/ivangz/docs/la_historia_de_la_tomografia_y_sus_.
- [14] Robert M Haralick and Linda G Shapiro. Image segmentation techniques. *Computer vision, graphics, and image processing*, 29(1):100–132, 1985. <http://dx.doi.org/10.1117/12.948400>.
- [15] Karl Krissian, Francisco Santana-Jorge, Daniel Santana-Cedrés, Carlos Falcón-Torres, Sara Arencibia, Sara Illera, Agustín Trujillo, Claire Chalopin, and Luis Alvarez. Amilab software: Medical image analysis, processing and visualization. In *MMVR*, pages 223–237, January 2012. http://researchgate.net/publication/221853670_AMILab_software_medical_image_analysis_processing_and_visualization.
- [16] Eric N Mortensen and William A Barrett. Intelligent scissors for image composition. In *Proceedings of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 191–198. ACM, 1995. <http://dx.doi.org/10.1145/218380.218442>.
- [17] Nobuyuki Otsu. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 9(1):62–66, 1979. <http://dx.doi.org/10.1109/TSMC.1979.4310076>.
- [18] Antoine Rosset, Luca Spadola, and Osman Ratib. Osirix: An open-source software for navigating in multidimensional dicom images. *Journal of Digital Imaging*, pages 205–216, September 2004. <http://dx.doi.org/10.1007/s10278-004-1014-6>.
- [19] María Francisca Sarrió Martín. *Aplicación de la tomografía computarizada médica para el análisis y estudio en escultura policromada en madera*. November 2015. <http://hdl.handle.net/10251/61986>.
- [20] J. Gonzales Vasquez. *Manual Práctico de Tomografía*. 2011. https://www.academia.edu/10780497/MANUAL_PRACTICO_DE_TOMOGRAFIA.