

Tipo de artículo: Artículo original
Temática: Procesamiento de Imágenes
Recibido: 13/05/2015 | Aceptado: 05/11/2015

Módulo de filtrado y segmentación de imágenes médicas digitales para el proyecto Vismedic

Model filtering and segmentation of digital medic images for Vismedic project

Adrián Peña-Peñate ^{1*}, Luis Guillermo Silva Rojas ¹, Rubén Alcolea Núñez ¹

¹ Vertex. Departamento de Práctica Profesional. Universidad de las Ciencias Informáticas. Carretera a San Antonio de los Baños, km 2 ½, Torrens, Boyeros, La Habana, Cuba. CP.: 19370. {lgsilva, ralcolea}@uci.cu

* Autor para correspondencia: appenate@uci.cu

Resumen

El avance tecnológico de los dispositivos de exploración radiológica para la obtención de imágenes médicas digitales y el avance de los sistemas de cómputo, permite mejorar la calidad de visualización a través de algoritmos de filtrado y segmentación. Permitiendo seleccionar estructuras anatómicas de interés de las imágenes médicas digitales para un mejor diagnóstico clínico. En el presente trabajo se propone un módulo que encapsula varias técnicas de filtrado y segmentación de imágenes médicas digitales utilizando la biblioteca *Insight Segmentation and Registration Toolkit* (ITK), con el objetivo de mejorar la calidad de la visualización de las imágenes. Para desarrollar este trabajo se utiliza el lenguaje de modelado UML, la herramienta *CASE Visual Paradigm*, el lenguaje programación C++, como marco de desarrollo Qt y como entorno de desarrollo QT Creator. El módulo propuesto se independiza de las etapas de Reconstrucción y Visualización de estructuras tridimensionales del proyecto Vismedic, a través de la transformación de los datos adquiridos para su procesamiento y su devolución en el mismo tipo de dato que se recibió. Como resultado se obtuvo una aplicación con una interfaz de comunicación común que brinda la posibilidad de agregar nuevos algoritmos de filtrado y segmentación para extender la aplicación sin modificar otras etapas de la visualización de las imágenes médicas digitales. Se realizaron comparaciones entre los algoritmos de filtrado y segmentación incorporados en la solución en cuanto a la calidad de la imagen final que se obtiene.

Palabras clave: DICOM, filtro, ITK, pre-procesamiento, segmentación.

Abstract

Technological advancement devices for obtaining radiological examination of digital medical images and advancement of computer systems, improves display quality through filtering and segmentation algorithms. Allowing select anatomical structures of interest of digital medical images for better clinical diagnosis. In this paper a module that encapsulates various filtering techniques and segmentation of digital medical images using the Insight Segmentation and Registration Toolkit (ITK) library, with the aim of improving the quality of the display of these images is proposed. To develop this work, the modeling language UML used the CASE tool Visual Paradigm, the C++ programming language, such as Qt development framework, as development and QT Creator. The proposed module is independent from the steps of Reconstruction and Visualization of three-dimensional structures of Vismedic project, through the transformation of the acquired data for processing and returning in the same type of data that was received. As an application result was obtained with a common communication interface that provides the ability to add new filtering and segmentation algorithms to extend the application without modifying other stages of the visualization of digital medical images. Comparisons between filtering and segmentation algorithms incorporated in the solution in terms of the quality of the final image obtained was performed.

Keywords: DICOM, filter, ITK, pre - processing, segmentation.

Introducción

En los últimos años la tecnología ha tenido un avance circunstancial en todas las esferas de la sociedad. Una de estas esferas es la medicina, donde los médicos han podido diagnosticar a los pacientes mediante dispositivos de exploración radiológica, tales como Tomografía Axial Computarizada (TAC) e imágenes por Resonancia Magnética (RM), con la obtención de imágenes de zonas pertenecientes al interior del cuerpo del paciente de forma menos invasiva a las tradicionales, con importante información clínica. El avance de estas tecnologías y los sistemas de cómputo, permite mejorar la calidad de la visualización de las imágenes médicas adquiridas. Actualmente se emplean técnicas para reducir el ruido producido durante la adquisición de imágenes, realzar zonas específicas y segmentar las imágenes en diferentes partes. Algunas de estas técnicas han sido desarrolladas por organizaciones académicas y comerciales, encapsulándolas en bibliotecas de clases, un ejemplo lo constituye la biblioteca de código abierto (*open source*) ITK, que se especializa en el procesamiento, segmentación y registro de imágenes (Kitware, Inc, 2011).

En la facultad 5 de la Universidad de la Ciencias Informáticas (UCI), específicamente en el Centro Vertex Entornos Interactivos 3D, se desarrolla el proyecto de Visualización Médica (Vismedic) desde el año 2008. En dicho proyecto se desarrollan aplicaciones para la visualización y análisis tridimensional de datos médicos, obtenidos de las

modalidades de adquisición de imágenes TAC y RM. Una de las etapas más importantes en la visualización médica es la identificación correcta de las estructuras anatómicas de interés, tema que se conoce en la bibliografía como “segmentación de imágenes”.

En el proyecto Vismedic, desde su fundación, se han desarrollado aplicaciones como el Visualizador 2D y el Visualizador 3D, en los cuales se han implementado algoritmos de filtrado y segmentación de imágenes, que se ejecutan antes de realizar el proceso de visualización. Actualmente, resulta engorroso el proceso de adición de nuevos algoritmos de filtrado y segmentación, debido que, al introducir un nuevo algoritmo, es necesario modificar los algoritmos de visualización existentes en el proyecto Vismedic. Las deficiencias antes mencionadas, ocasionan reiterados atrasos en el cronograma del proyecto y disminuyen la capacidad de respuesta a la hora de adicionar nuevos requisitos funcionales. Es por lo antes expuesto que se propone implementar un módulo de filtrado y segmentación de imágenes médicas digitales, que brinde una interfaz de comunicación común, para los algoritmos empleados en el proyecto Vismedic, que permitirá adicionar nuevos algoritmos de filtrado y segmentación de imágenes sin necesidad de modificar el código de los algoritmos de visualización, lo que permitirá aumentar la extensibilidad del proyecto Vismedic.

Metodología computacional

Imagen Digital

La imagen digital es la representación bidimensional de una imagen empleando bits, unidad mínima de información compuesta por dígitos binarios (0 y 1), que se emplea a instancias de la informática o cualquier dispositivo digital (Rodríguez-Alonso, 2011). Se puede definir matemáticamente como una función bidimensional $f(x,y)$, donde f y los valores de (x,y) son cantidades finitas y discretas (Kitware, Inc, 2011), que representan, el valor específico de un píxel dentro de la imagen (Gonzalez, y otros, 2002).

Una imagen digital puede ser representada por una matriz $f(x,y)$ de tamaño $M \times N$ de la siguiente forma:

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$

Los elementos de la matriz (píxeles), en una imagen monocromática (niveles de gris) típica son del orden 2^8 o 256 niveles de grises, de tal manera que, $f(x,y)$ puede estar en el rango de 0 a 255, donde el 0 representa el negro y 255 el blanco, por tanto, pueden ser representados como caracteres en la mayoría de los lenguajes de programación.

Imagen médica digital

Las imágenes médicas digitales se obtienen a partir de realizar procesos, y aplicar un conjunto de técnicas con el fin de crear imágenes del cuerpo humano o parte de este; aprovechando sus características químicas y físicas con propósitos clínicos (procedimiento médico que busca diagnosticar, relevar o examinar enfermedades) o para la ciencia médica (González-Zaldivar, 2010).

Para la adquisición de imágenes médicas se destacan las modalidades TAC y RM. La TAC, es una exploración radiológica con rayos X, para ayudar al médico especialista a realizar un diagnóstico. Se denomina “axial”, porque con la TAC, se obtienen cortes transversales de una región u órgano específico del cuerpo, de forma perpendicular a un eje longitudinal (Adserá-Bertran, 2009). A diferencia de las radiografías convencionales, que solo ofrecen una imagen plana, con la TAC, se obtiene un conjunto de imágenes en forma de finos cortes (Adserá-Bertran, 2009). La RM es una técnica no invasiva que se utiliza para obtener información sobre la estructura y composición del cuerpo a analizar (González-Zaldivar, 2010). Es utilizada principalmente en medicina, para observar alteraciones en los tejidos, detectar cáncer u otras patologías. A diferencia de la TAC, no usa radiación ionizante, sino campos magnéticos, para alinear la magnetización nuclear de núcleos de hidrógeno del agua en el cuerpo.

Pre-procesamiento

Al digitalizar una imagen en ocasiones se introduce ruido o se degrada la imagen, lo que provoca pérdida de calidad. En el caso de las imágenes médicas se pueden ver afectadas por la respiración del paciente o por implantes metálicos en huesos o dientes, por citar algunos ejemplos. Por este motivo antes de hacer cualquier análisis, es fundamental mejorar la calidad de las imágenes (Preim, y otros, 2007). Reducir el ruido presente en las imágenes conduce a la obtención de áreas más homogéneas que pueden ser delineadas con menor esfuerzo, eliminando información que no se considera relevante, aunque se puede comprometer la detección de pequeños elementos importantes (Preim, y otros, 2007). Generalmente la mejora de la calidad de la imagen se hace en la etapa de pre-procesamiento, etapa que antecede al proceso de segmentación. El algoritmo o técnica de pre-procesamiento que se empleará dependerá del tipo de análisis que se vaya a realizar. Dentro de las técnicas más utilizadas se encuentran los algoritmos de suavizado, reducción de ruido, detección de bordes y técnicas híbridas (Gonzalez, y otros, 2002).

Algunos filtros para la reducción de ruido

El filtro Gaussiano implementa máscaras que intentan imitar una función gaussiana la forma $G(x, y) = e^{-(x+y)^2/2\sigma^2}$ donde (x, y) son las coordenadas de la imagen y sigma (σ) una desviación estándar de la probabilidad de distribución asociada. Este es el único parámetro del filtro Gaussiano y es proporcional al área de los vecinos más cercanos en que opera este filtro (Carrillo-Tovar, y otros, 2010). Los píxeles más lejanos al centro del operador tienen menor influencia y aquellos con una diferencia mayor de tres valores de sigma a partir del centro tienen una influencia insignificante. Este filtro tiene el inconveniente de que además de remover el ruido, empaña la imagen ocasionando pérdida de los detalles más finos (Carrillo-Tovar, y otros, 2010).

El filtro Promediador se basa en reemplazar cada píxel que se analiza por el promedio del nivel de gris de la vecindad. El resultado es una imagen con reducción en las transiciones agudas de los niveles de gris, donde uno de los usos más significativos es la reducción de detalles irrelevantes o regiones que sean más pequeñas que la máscara. Sin embargo, este tipo de filtro tiene el efecto indeseado de suavizar también los bordes, que son características generalmente deseadas (Carrillo-Tovar, y otros, 2010).

El filtro de la Mediana su objetivo es la reducción del desenfoque de los bordes por medio de la sustitución del valor de gris del píxel analizado por la mediana de los valores de sus vecinos más cercanos, evaluados por el tamaño de la máscara aplicada. Tiene la ventaja de no ser afectado por píxeles individuales ruidosos y presenta una fácil implementación. Se usa comúnmente como un sólido método para la reducción de ruido (Pertusa-Grau, 2011). Este filtro es particularmente eficaz contra el ruido de sal y pimienta. En otras palabras, es robusto a la presencia de niveles de gris en los valores atípicos. Se calcula el valor de cada píxel de salida, como la mediana estadística de la zona de valores en la vecindad del píxel de entrada correspondiente (Ibáñez, y otros, 2005).

El filtro Umbral Binario se utiliza para transformar una imagen, en una imagen binaria, mediante el cambio de los valores del píxel. El usuario define la intensidad de los umbrales superior e inferior, y los valores de intensidad para cuando el píxel se encuentre dentro y fuera del umbral. Para cada píxel en la imagen de entrada, el valor del píxel se compara con los umbrales inferior y superior (Ibáñez, y otros, 2005). Si el valor del píxel, está dentro del rango definido por [inferior, superior], al píxel de salida se le asigna el valor de intensidad definido para el umbral. De lo contrario a los píxeles de salida se les asigna el valor de intensidad definido para los píxeles que se encuentran fuera del umbral. La umbralización se aplica comúnmente como la última operación de una tubería de segmentación (Ibáñez, y otros, 2005).

El filtro de Detección de Bordes *Canny* se utiliza para la detección de bordes, ya que es una de las soluciones para satisfacer las limitaciones de sensibilidad, localización y robustez frente al ruido (Ibáñez, y otros, 2005). El propósito de *Canny* era descubrir el algoritmo óptimo de detección de bordes (Acharya, y otros, 2005). Para que un detector de bordes pueda ser considerado óptimo debe marcar el mayor número real en los bordes de la imagen como sea posible (Acharya, y otros, 2005), los bordes de marca deben estar lo más cerca posible del borde de la imagen real (Acharya, y otros, 2005) y el borde de una imagen sólo debe ser marcado una vez, y siempre que sea posible, el ruido de la imagen no debe crear falsos bordes (Acharya, y otros, 2005). Para satisfacer estos requisitos *Canny* utiliza el cálculo de variaciones, una técnica que encuentra la función que optimiza un funcional indicado. La función óptima en el algoritmo de *Canny* es descrita por la suma de cuatro términos exponenciales, pero se puede aproximar por la primera derivada de una gaussiana (Acharya, y otros, 2005).

Segmentación de imágenes

La segmentación es la tarea de descomponer los datos de la imagen en estructuras significativas que son relevantes para tareas específicas (Preim, y otros, 2007). Se encarga de asignarle índices a cada elemento de la imagen para representar su membresía a una estructura en particular. Existen diferentes enfoques de la segmentación dependiendo del nivel de automatización de los algoritmos utilizados (Pereira Barzaga, 2012). El reconocimiento de los elementos de las imágenes es una tarea de alta complejidad, que usualmente muestra los mejores resultados al ser realizada por los humanos (Preim, y otros, 2007). Sin embargo, la delineación de los mismos es una tarea que requiere una precisión esencial, mejor obtenida con la utilización de medios computacionales. El nivel al que se realiza esta subdivisión depende de la aplicación en particular (Preim, y otros, 2007). En la mayor parte de los casos, una buena segmentación dará lugar a buenos resultados de la aplicación que se esté desarrollando, por lo que se debe poner todo el esfuerzo posible en esta etapa.

Algunas técnicas de segmentación

La técnica de Conectar Umbral se basa en un intervalo de valores de intensidad definidos por el usuario. Este intervalo está acotado por los valores inferior y superior que definen el umbral que se utiliza en la segmentación. El algoritmo de crecimiento de la región incluye los píxeles cuyas intensidades están dentro del intervalo $I(\mathbf{X}) \in [\text{inferior}, \text{superior}]$ (Ibáñez, y otros, 2005). Dentro de los valores que necesita esta técnica se encuentra "paso de tiempo", que debe ser suficientemente pequeño para asegurar la estabilidad numérica. Esta condición asegura que cada contorno no se mueva de una posición en la rejilla de cada paso de tiempo. El paso de tiempo es típicamente especificado por el usuario (Kitware, Inc, 2011).

Segmentación *Otsu* es una técnica que tiene como criterio clasificar píxeles, para minimizar el error de clasificación errónea. La meta es encontrar un umbral que clasifica la imagen en dos grupos, algo semejante, sería minimizar el área bajo el histograma para un grupo, que difiere, en el lado del umbral de otro grupo (Ibáñez, y otros, 2005).

El filtro Conectar Vecindad es una variante cercana del Conectar Umbral. Por un lado, el Conectar Umbral acepta un píxel en la región si su intensidad, está en el intervalo definido por valores de intensidad del umbral proporcionado por el usuario. El Conectar Vecindad, por otro lado, sólo aceptará un píxel si todos sus vecinos tienen intensidades que se ajustan en el intervalo. El tamaño de la vecindad, a considerar alrededor de cada píxel, se define según el radio de número entero que proporciona el usuario. La razón para considerar las intensidades locales, en lugar, de considerar sólo la intensidad del píxel actual, es que las estructuras pequeñas tienen menos probabilidades de ser aceptada en la región. Es posible que desee jugar con el valor del radio y ver cómo afecta a la suavidad de los bordes de objetos que se segmentaron, el tamaño de la región segmentada y la cantidad de los costos de tiempo de cálculo.

Visual Paradigm

Herramienta de modelado desarrollado para asistir el proceso de Ingeniería de Software, este se encuentra basado en UML y soporta el ciclo de vida completo del desarrollo de software, además cuenta con funcionalidades más avanzadas que las presentes en el *Rational Rose*, lo que permite agilizar considerablemente el trabajo (Rojas-Silva, 2011). Sus principales características son las siguientes: presenta licencia gratuita y comercial, soporta aplicaciones web, disponible en varios idiomas, fácil de instalar y actualizar, compatible entre versiones, entorno gráfico amigable para el usuario y disponible en múltiples plataformas (Windows/Linux/Mac OS X).

Lenguaje de Unificado de Modelado (UML)

UML es un lenguaje de modelado visual que se usa para especificar, construir, documentar y visualizar artefactos de un sistema de software. El mismo está compuesto por diversos elementos gráficos que se combinan para conformar diagramas. Su objetivo es visualizar, especificar, construir y documentar los artefactos que se crean durante el proceso de desarrollo (Rojas-Silva, 2011). Este lenguaje de modelado está pensado para usarse con todos los métodos de desarrollo, etapas del ciclo de vida, dominios de aplicación y medios. El lenguaje de modelado pretende unificar la experiencia pasada sobre técnicas de modelado e incorporar las mejores prácticas actuales en un acercamiento estándar. UML incluye conceptos semánticos, notación, y principios generales. Tiene partes estáticas, dinámicas, de entorno y organizativas (Rojas-Silva, 2011). La especificación de UML no define un proceso estándar, pero está pensado para ser útil en un proceso de desarrollo iterativo. Pretende dar apoyo a la mayoría de los procesos de desarrollo orientados a objetos.

Framework (Marco de trabajo) de desarrollo

Para la creación de la interfaz gráfica de usuario (GUI) se utilizó el *framework QT*, este permite la portabilidad de la aplicación hacia diferentes sistemas operativos y facilita en gran medida el desarrollo de nuevos componentes gráficos (Rojas-Silva, 2011). Entre sus principales características se encuentran: con el mismo código base, permite desplegar el sistema en múltiples plataformas, producir aplicaciones de alto rendimiento con apariencia nativa, la concentración de los desarrolladores en la producción de código y no en las particularidades del sistema operativo, acceso total al código fuente para su revisión y modificación.

Lenguaje de programación C++

Como lenguaje de programación se utilizó C++, lenguaje que se utiliza en la mayoría de las aplicaciones de realidad virtual que hace uso eficiente del paradigma de Programación Orientada a Objetos (Rojas-Silva, 2011). Permite un excelente control de la memoria y una buena administración de los recursos de la computadora. Dentro de las principales ventajas que presenta el lenguaje C++ se encuentran: *diffusion* al ser uno de los lenguajes más empleados en la actualidad, posee gran número de usuarios y tiene una excelente bibliografía, versatilidad ya que C++ es un lenguaje de propósito general, se puede emplear para resolver cualquier tipo de problema, portabilidad por ser estandarizado, por tanto, el mismo código fuente puede ser compilado en diferentes plataformas, eficiencia ya que es uno de los lenguajes más rápidos en tiempo de ejecución, herramientas por tener existir una gran cantidad de compiladores, depuradores y bibliotecas de clases basadas en este lenguaje.

Proceso Unificado de Desarrollo (RUP)

Se utiliza como metodología de desarrollo de software el Proceso Unificado de Desarrollo (RUP). Esta robusta metodología unifica los mejores elementos de las metodologías anteriores y está preparada para guiar el desarrollo de prácticamente todo tipo de proyectos (Jacobson, y otros, 2000). Su diseño orientado a objetos facilita la comprensión a alto nivel para su posterior implementación usando este paradigma de programación (Jacobson, y otros, 2000). Se propone utilizar el patrón Estrategia, que se utiliza para organizar una familia de algoritmos, de manera que compartan una interfaz y se puedan utilizar indistintamente (Vélez-Serrano, y otros, 2011). En este patrón, los objetos de la clase de contexto que acceden a la familia de algoritmos los hacen de forma abstracta, sin importarles el algoritmo específico que se está utilizando.

Métodos teóricos

- **Histórico – Lógico:** Mediante este método se analizará la evolución y desarrollo de los algoritmos de filtrado y segmentación de imágenes médicas digitales y sus elementos más importantes.

- **Analítico – Sintético:** Se usará para analizar la información de las técnicas existentes para el filtrado y segmentación de imágenes.
- **Modelación:** Se empleará para realizar una representación simplificada de la realidad a través de diagramas de clases, de flujo y de componentes.

Métodos empíricos:

- **Consulta de fuentes de información:** Método empírico utilizado para la consulta de las fuentes bibliográficas durante la investigación.
- **Observación:** Se empleará para constatar los resultados visuales alcanzados y determinar la influencia de estos sobre el rendimiento de la computadora.

Resultados y discusión

Se seleccionaron varias técnicas de filtrado y segmentación para adicionar al módulo, y observar los resultados de calidad de visualización de los algoritmos de la biblioteca ITK. Las técnicas seleccionadas fueron las siguientes: Umbral Binario, Umbral General, Promedio, Detección de Bordes *Canny*, Conectar Umbral, Segmentación *Otsu* y Conectar Vecindad. Las técnicas antes mencionadas fueron seleccionadas ya que son técnicas bases para la reducción de ruido y el procesamiento de las imágenes digitales médicas, por las características mencionadas con anterioridad.

En el módulo se utiliza un volumen abstracto que es el que recibe cada una de las interfaces de los algoritmos, según sea necesario, se debe de convertir al tipo de dato que utilice cada técnica específica. En la solución propuesta se emplea la biblioteca ITK, por lo que antes de utilizar cada algoritmo en concreto, se convierte este volumen al tipo de datos que emplea ITK. Una vez que se convierten los valores de los píxeles de la imagen, al tipo de dato con el que trabaja el algoritmo que se seleccionó, se introducen los parámetros que necesita la técnica de filtrado o de segmentación en cuestión. Después de aplicar el algoritmo se devuelve una imagen con los tipos de datos que emplea el algoritmo, por lo que se transforma la imagen al tipo de dato del volumen abstracto, que fue el que recibió la interfaz del algoritmo. En la Figura 1 se representa el flujo del módulo para una mejor comprensión.

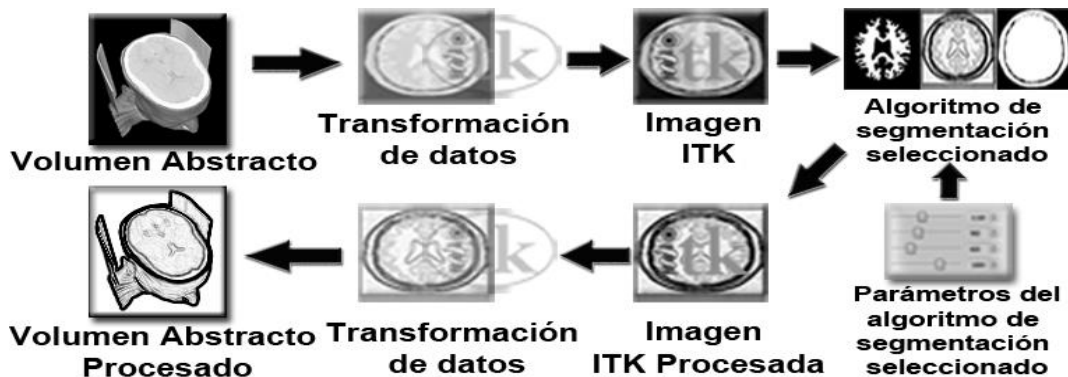


Figura 1. Flujo de datos del módulo propuesto

Para encapsular los algoritmos en el módulo y tener la posibilidad de agregar nuevas técnicas de filtrado y de segmentación, se emplea el patrón Estrategia que se muestra en la

Figura 2 cómo queda representado en el módulo, donde la clase *ProcessImage*, es la interfaz global que agrupa a las interfaces de *Filters* y *Segmentation*, a su vez estas son las interfaces generales de los algoritmos en concreto. Las interfaces y las clases concretas tienen un constructor, un destructor y un método *execute* que es donde se implementará el algoritmo con sus detalles específicos, teniendo como parámetro un volumen abstracto (*AbstractVolume*) y como salida el volumen procesado. En el constructor de las interfaces se generaliza la entrada de parámetros ya que algunos de los algoritmos lo necesitan. Otro aspecto que se tuvo en cuenta en el desarrollo del módulo propuesto, fue brindar al programador la posibilidad de agregar nuevos algoritmos de filtrado y segmentación sin la necesidad de modificar el resto de la aplicación.

Para agregar nuevos algoritmos de filtrado y de segmentación, solo se tienen que agregar nuevas clases concretas, e interfaces que necesite el algoritmo en cuestión al *plugin* correspondiente, con el fin de gestionar los parámetros de las técnicas que lo requieran. De este modo se agiliza el proceso de agregar nuevas funcionalidades de procesamiento de imágenes digitales ya que no se tiene que tener conocimiento del funcionamiento de las restantes etapas del proyecto.

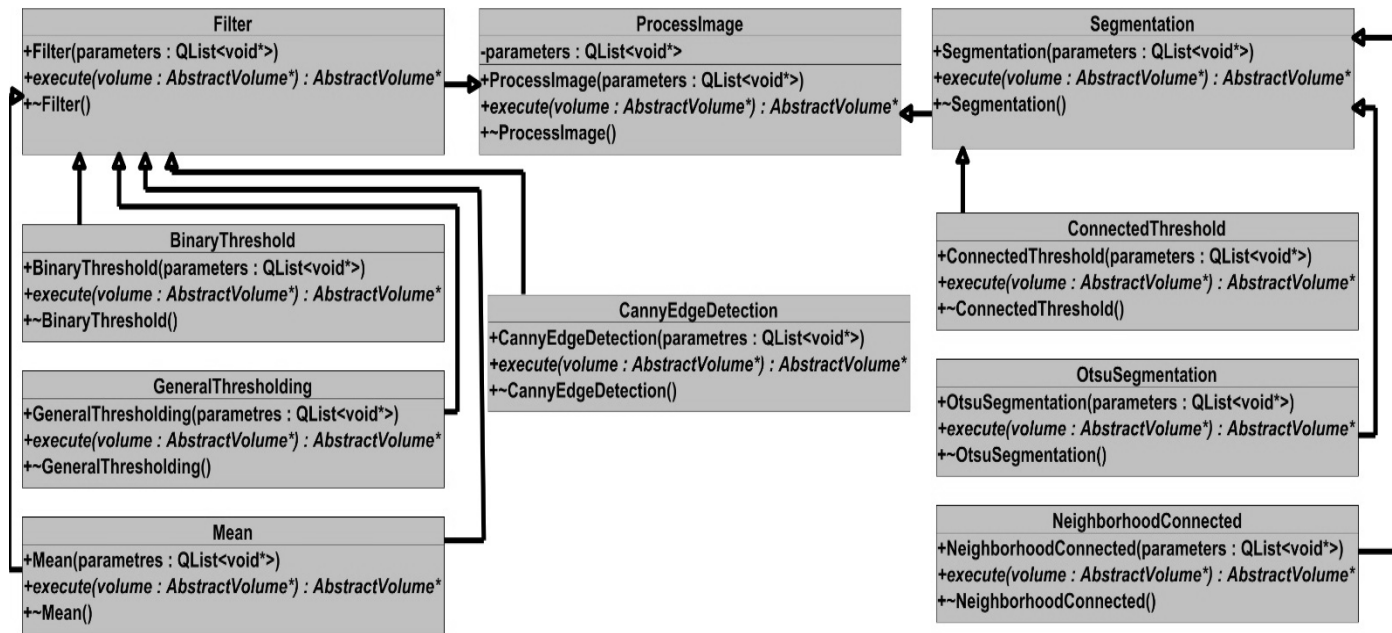
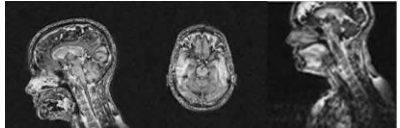


Figura 2. Representación del Patrón Estrategia en el módulo

Para la realización de las pruebas se utilizaron imágenes médicas en formato DICOM obtenidas a través de las modalidades de adquisición de imágenes de TAC y RM. A continuación, se presenta la descripción de las imágenes de prueba utilizadas.

Tabla 1. Casos de prueba con imágenes DICOM

Identificador	Modalidad	Dimensiones	Imágenes
Vistas de un paciente.	RM	512x512	

Durante las pruebas realizadas se aplicaron diferentes filtros, algoritmos de segmentación y combinaciones de estos, con el objetivo de observar el comportamiento de los resultados al cargar diferentes imágenes. A continuación, se muestran los resultados obtenidos con las imágenes seleccionadas.

El filtro Promedio suaviza la imagen en dependencia del radio que el usuario le modifique como parámetro (Gonzalez, y otros, 2011) (Pereira Barzaga, 2012). Esta técnica mejora la calidad de la imagen reduciendo algunos ruidos ocasionados por los equipos de adquisición de imágenes en las terminaciones de los contornos y suavizando los valores de intensidad de los píxeles. En la Figura 3 se puede observar el resultado al aplicar este filtro en una vista axial de un cráneo.

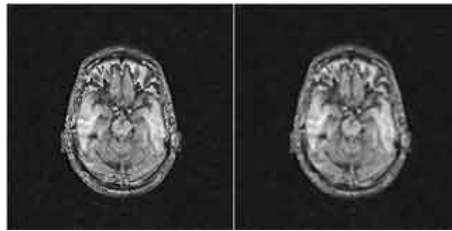


Figura 3. Izquierda: Imagen DICOM original. Derecha: Resultado de aplicar el filtro Promedio

En la

Figura 4 se evidencia el resultado de aplicar el filtro de Umbral Binario con los siguientes valores: valor lateral de salida = 0, valor lateral de entrada = 255, umbral superior = 115 y umbral inferior = 255. En este caso se observa como la intensidad de los píxeles de la imagen se reduce y solo se resaltan algunos elementos de la imagen original. Este resultado se obtiene aplicando solamente el filtro de Umbral Binario, es decir, sin aplicar ninguna combinación de otros filtros.



Figura 4. Izquierda: Imagen DICOM original. Derecha: Resultado de aplicar el filtro Umbral Binario

En la Figura 5 se muestra el resultado de esta técnica de filtrado pero después de aplicar el filtro Promedio. Se ilustra la pérdida de detalles del borde superior de la imagen sagital, por la desventaja que posee el filtro Promedio, al suavizar la intensidad de los píxeles que están en los bordes de los contornos de la imagen sagital original.



Figura 5. Izquierda: Imagen DICOM al aplicar el filtro Promedio. Derecha: Resultado de aplicar el filtro Umbral Binario.

Otro de los filtros que se aplicó es el Umbral General, donde los modos de aplicación dependen de sus valores en particular como se puede apreciar en la Figura 6 se muestra el resultado de aplicar el Modo Arriba del filtro Umbral General en el cual se muestran los píxeles cuyos valores de intensidad están por encima del umbral determinado por

el especialista para resaltar las zonas específicas con las cuales se quiere trabajar. Para este caso se utilizaron los siguientes valores: valor lateral de salida = 255 y umbral arriba = 90.



Figura 6. Izquierda: Imagen DICOM original. Derecha: Resultado de aplicar el filtro Umbral General en Modo Arriba (*Mode Above*).

El filtro Detección de Bordes *Canny* se basa en la detección de los bordes de un grupo de píxeles que se encuentran asociados por su intensidad. En la Figura 7 en la imagen del centro se observa que el resultado del filtro sin aplicar ningún otro filtro de reducción de ruido no es bueno pues es abarcador incluyendo grupos de píxeles que no se centran en las estructuras anatómicas de la imagen DICOM en concreto, sino que están en las partes negras de esta imagen. Sin embargo, este resultado se puede mejorar si se aplican varios filtros de reducción de ruido antes de aplicar el filtro de *Canny*. En la En la Figura 7 en la imagen más a la derecha muestran los resultados aplicando primero el filtro de Umbral General en Modo Debajo con los siguientes parámetros: valor de salida = 0 y umbral debajo = 63 y aplicando después el filtro Promedio se obtiene un resultado más preciso de la detección de bordes de los contornos de mayor interés en la imagen DICOM.

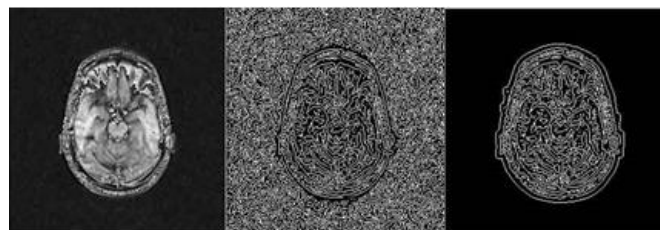


Figura 7. Izquierda: Imagen DICOM original. Centro: Resultado de aplicar solo el filtro de Detección de Bordes *Canny*. Derecha: Resultado combinando filtros.

La técnica de segmentación Conectar Umbral tiene como resultado la selección de un grupo de píxeles a partir de un píxel semilla. En la Figura 8 se observa como se ha seleccionado solo una parte de la imagen teniendo en cuenta los siguientes valores: número de iteraciones = 5, umbral inferior = 100, umbral superior = 180 e índice del píxel semilla (171; 141; 0).

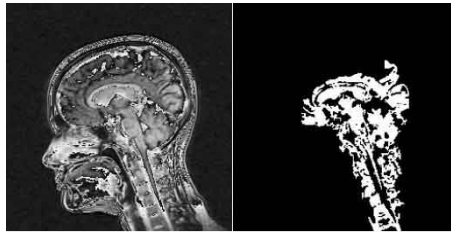


Figura 8. Izquierda: Imagen DICOM original. Derecha: Resultado al aplicar la técnica de segmentación Conectar Umbral.

Conclusiones

Se concluye que las técnicas incorporadas al módulo tienen que combinarse para obtener un resultado de mejor calidad en la etapa de visualización. Así como emplear las técnicas de reducción de ruido antes de aplicar uno o varios algoritmos de segmentación. Con el flujo de trabajo y la arquitectura del módulo propuesto, que implementa una interfaz de comunicación común que permite filtrar y segmentar imágenes médicas en formato DICOM, se evidencia que se pueden agregar nuevos algoritmos de filtrado y segmentación sin necesidad de modificar el resto de la aplicación.

Referencias

- ACHARYA, TINKU Y RAY, AJOY K. 2005. *Image Processing: Principles and Applications*. Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons, Inc, 2005. pág. 425. ISBN: 0471745782, 9780471745785.
- ADSERÁ-BERTRAN, ANTONIO. 2009. Enciclopedia de salud dietética y psicología. [En línea] 2009. [Citado el: 20 de Enero de 2014.] <http://www.encyclopediasalud.com/categorias/cuerpo-humano/articulos/imagen-por-tomografia-axial-computerizada-tac>.
- ALBIS, A, FERNÁNDEZ, D Y NUÑEZ, A. 2011. Medición de la tensión interfacial. Colombia : s.n., 2011, Revista RECITEIA, Vol. 11, págs. 39-40.
- CARRILLO-TOVAR, LUIS CARLOS Y ISLAS-CORDERO, GWENDOLYNE. 2010. Sistema de reconocimiento de objetos mediante imágenes aplicado a un brazo robótico. México : s.n., 2010. Tesis de Nivel Superior.
- GONZALEZ, RAFAEL C Y WOODS, RICHARD E. 2011. *Digital Image Processing*. New Jersey : Pearson Education, 2011. págs. 322-415. ISBN: 0133002322, 9780133002324.
- GONZÁLEZ-ZALDIVAR, ALCIDES. 2010. *Segmentación de Imágenes Médicas, mediante Técnicas de Contornos y Técnicas de Regiones*. La Habana : Universidad Ciencias Informáticas, 2010.
- IBÁÑEZ, LUIS Y CONSORTIUM, INSIGHT SOFTWARE. 2005. *The ITK Software Guide: Updated for ITK Version 2.4*. Francia : Kitware, 2005. pág. 787. ISBN: 9781930934153.

- JACOBSON, IVAR, BOOCH, GRADY Y RUMBAUGH, J. 2000. *El Proceso Unificado de Desarrollo de Software*. Madrid : Addison-Wesley, 2000. págs. 407-418. ISBN: 84-7829-036-2.
- KITWARE, INC. 2011. NLM Insight Segmentation & Registration Toolkit. [En línea] Kitware, 2011. [Citado el: 30 de Septiembre de 2013.] <http://www.itk.org/ITK/project/about.html>.
- PEREIRA BARZAGA, OSVALDO. 2012. *Reconstrucción Tridimensional de Modelos Anatómicos a partir de Imágenes Médicas Digitales*. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana : s.n., 2012. Tesis de Maestría.
- PERTUSA-GRAU, JOSÉ F. 2011. *Técnicas de análisis de imagen, (2a ed.): Aplicaciones en Biología*. València : Universitat de València, 2011. pág. 352. ISBN: 8437082889, 9788437082882.
- PREIM, BERNHARD Y BARTZ, DIRK. 2007. *Visualization in Medicine: Theory, Algorithms, and Applications*. Burlington : Morgan Kaufman. Elsevier Inc., 2007. págs. 83-131. ISBN: 978-0-12-370596-9.
- RODRÍGUEZ-ALONSO, HUGO. 2011. *Captura Digital y Revelado de Raw*. Barcelona : Marcombo, 2011. ISBN: 8426717470, 9788426717474.
- ROJAS-SILVA, LUIS GUILLERMO. 2011. *Visualización directa de volumen para endoscopias virtuales*. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana : s.n., 2011. págs. 45-48. ISBN: 04783-11.
- VÉLEZ-SERRANO, JOSÉ F., Y OTROS. 2011. *Técnicas avanzadas de diseño de software: Orientación a objetos, UML, patrones de diseño y Java*. Madrid : Librería-Editorial Dykinson, 2011. págs. 141-158. ISBN: 978-84-9982-345-4.