

SLD253 MÓDULO DE RECONSTRUCCIÓN MULTIPLANAR PARA ESTUDIOS DE TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA

SLD253 MULTIPLANAR RECONSTRUCTION MODULE FOR COMPUTERIZED AXIAL TOMOGRAPHY

Ing. Arnel Ledo Ramírez¹, Ing. Yasmany Gonzalez Yera²

1 Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba, aledo@uci.cu, Fomento #287^a e/ Aricochea y Cables, Holguín.
Holguín.

2 Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba, aygonzalez@uci.cu

RESUMEN: Los estudios de Tomografía Axial Computarizada (TAC) son una potente herramienta para el diagnóstico de numerosas enfermedades. La reconstrucción multiplanar permite generar otros planos anatómicos del cuerpo humano a partir de estos cortes axiales y obtener mediante técnicas de proyecciones una mejor visualización de diferentes tipos de tejidos y órganos posibilitando un análisis más profundo y eficiente. El problema científico de esta investigación consiste en la incorporación de técnicas de reconstrucción multiplanar para la asistencia por computadora al diagnóstico de estudios de Tomografía Axial Computarizada en el área de radiología en hospitales cubanos y venezolanos. Para el desarrollo del módulo se realizó un estudio de los principales sistemas existentes en el mundo y las necesidades de los especialistas radiólogos que utilizarán el mismo. Se utilizó como metodología de desarrollo el Proceso Unificado del Rational (RUP por sus siglas en inglés) y como lenguaje de modelado el Lenguaje Unificado de Modelado (UML por sus siglas en inglés) en su versión 2.1. En la creación de diagramas fue usada la herramienta Enterprise Architect en su versión 7.5. La aplicación fue desarrollada utilizando el Framework .Net 4.0, el lenguaje de programación C# y el patrón arquitectónico MVVM. En este artículo se especifican las principales funcionalidades del módulo, con el objetivo de brindar nuevas herramientas a la altura de las tecnologías actuales y proveer a los especialistas de nuevos instrumentos para realizar un mejor diagnóstico por imágenes.

Palabras clave: Reconstrucción Multiplanar, vóxel, plano, tomografía, proyección, DICOM, PACS, MPR

ABSTRACT: Computed Tomography (CT) is a powerful tool for the diagnosis of many diseases. Generally the axial analysis generated by this technique is insufficient for a display of some specific regions from a viewpoint suitable. Multiplanar reconstruction can generate other anatomical planes of the human body from these axial and projection techniques to obtain a better view of different types of tissues and organs enabling further analysis and efficient. The scientific problem of this research is the incorporation of multiplanar reconstruction techniques for computer-assisted diagnosis of Computed Tomography studies in the field of radiology in Cubans and Venezuelans hospitals. For the module development was performed a study of the major systems in the world and the needs of specialist radiologists who use the same. Rational Unified Process (RUP) was used as the development methodology, Unified Modeling Language 2.1 (UML) as a modeling language. Enterprise Architect version 7.5 was used for creating diagrams and Microsoft Visual Studio 2010 for the implementation of the application. The application was developed using the Framework .Net 4.0, C# programming language and MVVM architectural pattern. This article specifies the main features of the module, with the aim of providing new tools to match current technologies and provide to specialists new tools for better imaging diagnosis.

Keywords: Multiplanar reconstruction, voxel, plane, CT, projection, DICOM, PACS, MPR.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el desarrollo de la informática médica ha acarreado consigo nuevos equipos disponibles para lograr un mejor análisis del paciente, haciendo indispensable contar con herramientas especializadas capaces de interactuar con los mismos para la obtención de diagnósticos más precisos.

Entre las herramientas más conocidas para lograr estos resultados se encuentran los sistemas de archivo y transmisión de imágenes. Los PACS¹ son sistemas computarizados para el almacenamiento digital de las diferentes modalidades de imágenes médicas entre las que se encuentran: medicina nuclear(NM), tomografía computarizada(CT), mamografía(MG), ultrasonido(US), entre otras, y para la transmisión de estas a estaciones de visualización dedicadas o entre estas a través de una red informática. Para ello se hace uso del estándar DICOM², estándar reconocido mundialmente, pensado para el manejo, almacenamiento, impresión y transmisión de imágenes médicas. Uno de los componentes fundamentales de los sistemas PACS son las estaciones de visualización, que se encargan del procesamiento y visualización de las imágenes generadas por los equipos, brindando a los especialistas radiólogos herramientas que benefician la obtención de un correcto diagnóstico.

Entre los numerosos equipos médicos que existen en la actualidad se encuentra el Tomógrafo Axial Computarizado (TAC), que desde el descubrimiento de los rayos X, ha sido una de las más valiosas contribuciones al campo de diagnóstico por imágenes médicas.[1]

La reconstrucción multiplanar o reformateo multiplanar, es el proceso mediante el cual a partir de imágenes de cortes axiales o transversales de tomografía son generados los demás planos o cortes anatómicos del cuerpo, de esta forma se pueden obtener imágenes en planos coronales, sagitales, oblicuos o curvos, combinarlos logrando su representación en 3D, y realizar distintas modalidades de proyecciones sobre el volumen de datos.

¹ Picture Archiving and Communication System (PACS)

² Digital Imaging and Communication in Medicine(DICOM).

La proyección de intensidades no es una técnica de reconstrucción tridimensional, sino más bien una proyección de los datos tridimensionales a una imagen bidimensional que simula una imagen 3D. La Máxima Proyección de Intensidades (MIP) permite realzar las estructuras con mayor atenuación a lo largo de varios cortes simultáneamente, lo cual permite una visualización muy rápida y efectiva de estructuras densas (vasos contrastados, huesos, etc.).

Con el objetivo de brindar nuevas herramientas a la altura de las tecnologías actuales y proveer a los especialistas de nuevos instrumentos para realizar un mejor diagnóstico por imágenes, se decidió realizar una nueva versión del sistema alas PACS. Por razones de incompatibilidad en cuanto a tecnologías utilizadas, la necesidad de explotar y ampliar las herramientas que brinda la reconstrucción multiplanar y solucionar los errores detectados en el sistema existente, se asume la tarea de implementar un módulo de MPR integrado al nuevo visor de imágenesmédicas. El mismo debe constituir unaherramienta indispensable para el diagnóstico de imágenes de tomografía en las estaciones de visualización.

El objetivo fundamental del artículo es desarrollar un módulo de reconstrucción multiplanar para el visor de imágenes médicas del sistema alas PACS 2.9.3 y describir las principales funcionalidades con las que cuenta el mismo.

2. CONTENIDO

2.1 Tomografía Axial Computarizada

La Tomografía Axial Computarizada es una de las técnicas de diagnóstico por imágenes más utilizadas en la actualidad, debido principalmente a su habilidad de generar gran cantidad de información volumétrica en un reducido período de tiempo, la alta resolución de las imágenes generadas y la capacidad de crear vóxeles isotrópicos, lo que permite la obtención de reconstrucciones tridimensionales y multiplanares.

Un equipo de TAC o tomógrafo está compuesto por un anillo en el que se introduce el paciente, un emisor y un receptor de rayos X tras las paredes del anillo, y un ordenador que analiza

los datos obtenidos por el detector. Para emitir los rayos X se utiliza un pequeño acelerador de partículas: se aceleran electrones y se hacen impactar contra un objetivo de metal. Cuando los electrones chocan contra el metal y frenan bruscamente, la energía cinética que tenían se emite en forma de radiación electromagnética (fotones). A la salida del cañón de rayos X, que emite un cono de radiación, se coloca una pantalla de plomo con una rendija muy fina. Lo que la atraviesa es, por tanto, una especie de “rodaja” del cono, con forma de abanico fino. No todos los fotones atraviesan el cuerpo y llegan al otro lado del anillo: algunos son absorbidos. Los que atraviesan material más denso son absorbidos más frecuentemente, mientras que los que pasan por zonas blandas son candidatos más probables a llegar al otro extremo. Al otro lado del paciente se encuentra un detector de rayos X el cual registra una línea de fotones de rayos X que inciden. Algunos puntos de la línea son más brillantes que otros, dependiendo de dónde exista hueso, cartílago, aire, agua, etc.

Todos estos datos son pasados a una computadora, que no hace más que revertir el proceso físico para reconstruir la sección completa. El resultado es una imagen bidimensional de esa sección del objeto. Luego se mueve el anillo una pequeña distancia a lo largo del eje y se repite todo el proceso para obtener otro corte del cuerpo un poco más abajo.[2]

Los equipos de tomografía se usan en el diagnóstico de muchas dolencias, entre ellas:

- La TAC de la cabeza se utiliza, para identificar hemorragias cerebrales y tumores.
- En los pulmones, se emplean para identificar enfisemas, fibrosis y tumores.
- En el abdomen, sirve para identificar cálculos renales, apendicitis, pancreatitis, etc.
- En los miembros se utiliza para obtener imágenes detalladas de fracturas complejas, sobre todo en articulaciones.

A pesar de todo esto, los estudios de TAC tienen la gran desventaja de que los rayos X emiten radiación ionizante, lo cual hace más probable el desarrollo de tumores, por lo que su uso se evita dentro de lo posible. Una TAC es el equivalente a realizar muchas radiografías, de modo que la dosis de radiación recibida puede llegar a ser bastante alta: desde unos 1,5

mSv³ para una TAC craneal hasta 13 mSv para una TAC del corazón con gran resolución. [2]

2.2 Reconstrucción Multiplanar

El análisis de los cortes transversales generados por los estudios de tomografía en ocasiones es insuficiente para lograr la obtención de un correcto y eficiente diagnóstico o documentar algunos casos clínicos. Debido principalmente a que no permite la visualización de todos los detalles anatómicos al obtenerse una única vista de la región a analizar. Para satisfacer esta limitante, en la actualidad, algunos visores de imágenes médicas, a partir de estudios de TAC crean imágenes bidimensionales no-axiales, utilizando algoritmos matemáticos muy veloces. Este proceso es conocido como Reconstrucción o Reformateo Multiplanar.

Inicialmente se obtienen las imágenes de los cortes transversales y luego, apilando visualmente los cortes, se pueden reconstruir imágenes en plano, sagital o coronal, bien en dirección perpendicular u oblicua, con respecto al eje del paciente. Esta técnica es particularmente útil para evaluar las estructuras óseas, ya que algunas fracturas y alineación de las articulaciones pueden no ser evidentes en cortes axiales.

La reconstrucción multiplanar permite adicionalmente seleccionar una posición anatómica en un plano y ver su correspondencia en los demás planos, dando una excelente percepción tridimensional de la estructura analizada. Cuando las dimensiones de los vóxeles (grosor del corte y la resolución en el plano) son iguales, el volumen de datos se denomina isotrópico; en otro caso anisotrópico. Las reconstrucciones deben ser calculadas a partir de vóxeles isotrópicos ya que si se calculan a partir de vóxeles anisotrópicos, la imagen final presentará una forma en diente de sierra, lo que puede dificultar en gran medida la exclusión de una fractura ósea.[3]

A diferencia de otros tipos de reconstrucciones, la MPR no se basa en las características de atenuación de la radiación, sino que se obtienen las imágenes en función de la interpretación espacial que se hace de la zona explorada. Por

³ Unidad de medida derivada del Sistema Internacional de Unidades para medir la dosis de radiación absorbida por la materia viva. 1000 mSv es equivalente a 1 Sv.

lo que técnicamente la reconstrucción multiplanar no es una reconstrucción tridimensional, sino una deformación geométrica del volumen de datos. Por su facilidad de utilización y cantidad de información suministrada, se encuentra entre las de mayor uso en la práctica diaria.

2.3 Técnicas de proyección

Muchas técnicas han sido desarrolladas para procesar el volumen de datos en estudios de tomografía. Una de ellas es la proyección de intensidades, la cual extrae algún simple parámetro de este y produce una reconstrucción bidimensional, resaltando la estructura deseada, utilizando como base dicho parámetro. (6) La proyección de intensidades permite obtener la visualización de la información más importante de varios cortes al mismo tiempo. Es una forma de proyectar los datos tridimensionales a una imagen bidimensional que simula una imagen 3D.

Los ejemplos de esta técnica más comúnmente usado son la máxima proyección de intensidades (MIP), mínima proyección de intensidades (mIP) y proyección de intensidad media (AvgIP).

La MIP es una técnica de visualización muy popular debido al advenimiento de los TAC multicortes. Al generar cortes delgados (hasta 0.5mm) cada corte tiene una resolución espacial muy alta, pero un corte por sí solo no permite darnos una idea de la configuración tridimensional de la estructura que se está analizando. Las imágenes generadas mediante MIP al detectar vóxeles con mayores valores de densidad permiten a los radiólogos una mejor visualización de la morfología de algunas estructuras como arterias, nódulos, calcificaciones, cuerpos extraños, etc. y reduce significativamente el tiempo requerido para analizar complejas estructuras en distintos planos.

La mínima proyección de intensidades es un método de visualización de las estructuras menos densas en un volumen de datos. El algoritmo es prácticamente idéntico al de MIP, pero en este caso solo los menores valores Hounsfield son representados. Esta técnica logra mejorar la visualización de los espacios de aire, por lo que se utilizan habitualmente en la evaluación de las estructuras pulmonares. También es particularmente útil para analizar el árbol biliar y el conducto pancreático, que son

hipodensas en comparación con el tejido circundante. [4]

La proyección de intensidad promedio es otra de las técnicas de visualización más comúnmente utilizadas. Es un intento de visualizar mayor cantidad de información al mismo tiempo. Genera una imagen que representa el promedio de cada componente de atenuación a lo largo de un rayo trazado que recorre el volumen de datos. Se utiliza para caracterizar estructuras internas de un órgano sólido o de las paredes de estructuras huecas como los vasos sanguíneos o el intestino.

2.4 Materiales y métodos

Para lograr un mejor entendimiento de los procesos de reconstrucción multiplanar en el análisis de estudios de TAC y para el levantamiento de los requisitos se utilizó la observación como método científico, y la entrevista a los especialistas como técnica de obtención de información.

Para el desarrollo del sistema propuesto se utilizaron tecnologías que permiten satisfacer los requerimientos y cubrir de forma eficiente las necesidades de los especialistas. Se tiene en cuenta además que el módulo debe integrarse de forma correcta al visor de imágenes médicas, por lo que debe existir compatibilidad en cuanto a tecnologías, patrones y lenguaje de programación utilizados.

El lenguaje de programación utilizado para la implementación de la solución fue C Sharp (más conocido por C#). C# es un lenguaje orientado a objetos simple, elegante y con seguridad en el tratamiento de tipos, que permite a los programadores de aplicaciones empresariales crear una gran variedad de aplicaciones. C# permite también utilizar código no manejado o punteros, en caso de necesitar trabajar con una dirección de memoria específica, necesitar un poco más de rendimiento o se requiera trabajar con código heredado que necesite que le proporcione la dirección de un fragmento de memoria específico.

Se utilizó Windows Presentation Foundation (WPF) como sistema de representación gráfica, Managed Extensibility Framework (MEF) como biblioteca para crear aplicaciones ligeras y extensibles, permitiendo la integración como plugin al visor de imágenes médicas. Como librería de lectura y procesamiento DICOM se utilizó el framework CALIB. CALIB es un conjunto de librerías que implementan parte del

estándar DICOM 3.0, desarrollada en el Departamento de Software Médico Imagenológico en la Universidad de las Ciencias Informáticas. Entre las ventajas que brinda su uso se encuentra la lectura de archivos DICOM (.dcm), un conjunto de algoritmos para el procesamiento de imágenes médicas y diferentes técnicas de visualización y descompresión de imágenes. El patrón arquitectónico seleccionado fue Model View ViewModel (MVVM) que se caracteriza por separar el modelo de la vista introduciendo una capa abstracta entre ellos, el viewmodel, aprovechando así las capacidades que brinda WPF de enlace a datos y a comandos. Como entorno de desarrollo integrado (IDE) se utilizó Microsoft Visual Studio 2010, acompañada por .NET Framework 4.0. Como herramienta de modelado se utilizó Enterprise Architect 7.5. Esta es una plataforma de modelado, diseño y administración, colaborativa, basada en UML y estándares relacionados; es ágil, intuitivo y extensible. Una solución que permite visualizar, analizar, modelar, probar y mantener un amplio rango de sistemas, software, procesos y arquitecturas. Permite generar código fuente en C#, lenguaje que se utilizará para el desarrollo de la herramienta y puede integrarse mediante plugins al Visual Studio. Se utilizó como metodología de desarrollo el Proceso Unificado de Rational (RUP), método de desarrollo de software flexible que permite a través de su arquitectura configurable seleccionar y desplegar solamente los componentes de procesos necesarios para cada etapa de cada proyecto.[5]

2.5 Integración al visor de imágenes médicas

El módulo de reconstrucción multiplanar se integra al visor de imágenes médicas como un plugin, adicionando sus funcionalidades como una nueva pestaña del visor, posibilitando de esta forma que el mismo brinde a los especialistas las herramientas necesarias para el diagnóstico de estudios de tomografía.

Cada uno de los planos generados puede ser tratado como una imagen nativa obtenida mediante un equipo de TAC, permitiendo su procesamiento mediante los diferentes filtros, paletas de colores, paletas de ancho y centro, así como soporte para las distintas transformaciones espaciales y mediciones.

La reconstrucción es realizada a partir de una serie de tomografía, la misma deberá ser cargada en el visor y estando seleccionada, se puede acceder a las funcionalidades que inician los diferentes tipos de reconstrucciones. La serie se enviará al módulo de MPR, donde se realizará todo el procesamiento sobre el volumen de datos. La visualización de los cortes generados se realiza como un nuevo paciente que aparecerá luego de iniciar la herramienta, para salir de la misma debe cerrarse dicho paciente.

2.6 Resultados y discusiones

Con la utilización del módulo de MPR se brinda a los especialistas radiólogos una herramienta especializada que beneficia la obtención de diagnósticos más eficientes y precisos.

El sistema desarrollado permite obtener una reconstrucción multiplanar estándar generando los tres planos anatómicos del cuerpo, una reconstrucción multiplanar oblicua, una reconstrucción multiplanar curva a partir de cualquiera de dichos planos y una reconstrucción multiplanar 3D. Se puede obtener además la máxima proyección de intensidades (MIP), la mínima proyección de intensidades (minIP) y la proyección de intensidad media (AvgIP) en las vistas axial, coronal y sagital; todas con grosor de proyección variable e intervalo de proyección configurable. Posibilitando además la navegación interactiva a través del volumen de imágenes con cursor 3D sincronizado.

En los planos calculados a partir de las reconstrucciones podrán ser utilizadas las funcionalidades básicas de procesamiento sobre imágenes médicas que brinda el visor de imágenes, entre las que se encuentran los diferentes tipos de mediciones, transformaciones espaciales, filtros, paletas de ancho y centro y paletas de colores.

Para asegurar un correcto resultado en las imágenes generadas se hace uso de un algoritmo de interpolación en cada una de las reconstrucciones.

3. CONCLUSIONES

Al concluir esta investigación se logró desarrollar una herramienta de reconstrucción multiplanar para el análisis de estudios de Tomografía Axial Computarizada. Partiendo de

un estudio de las principales herramientas existentes a nivel mundial y de la versión previa, se identificaron las principales funcionalidades con que cuenta el sistema.

Se escogió MVVM como patrón arquitectónico, C# 4.0 como lenguaje de programación y la tecnología Windows PresentationFoundation. Mediante los cuales se logró obtener un módulo con una arquitectura flexible, un rendimiento superior y un mayor aprovechamiento de los recursos disponibles en las estaciones de visualización.

El sistema cubre los requerimientos especificados. Fueron optimizadas todas las funcionalidades que brinda la versión anterior y se agregaron seis nuevas herramientas. El módulo se integró de forma correcta al visor de imágenes médicas, posibilitando la obtención de diagnósticos más precisos.

Actualmente el sistema se utiliza en Venezuela donde forma parte de un contrato con PDVSA, aportándose a la economía del país, con dicho contrato, más de 4 millones de dólares en ganancias neta.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **Somaskandan, Suthakar.**, *Visualization in 3D Medical Imaging*. 2006.
- [2] **González, Pedro Gómez-Esteban.**, *Tomografías TEP, TAC, RMN y ecografía*. Madrid : s.n., 2008.
- [3] **Ortmann, Agustina Soledad.**, *3D en Tomografía*. Buenos Aires : s.n., 2008.
- [4] **Perandini, Simone, et al.**, "The diagnostic contribution of CT volumetric rendering techniques in routine practice." Verona : Indian Journal of Radiology and Imaging, 2010, Issue 92–97.
- [5] **IBM.**, *IBM Rational Unified Process*. 2007. RAD10971-USEN-00.

5. SÍNTESIS CURRICULARES DE LOS AUTORES

Arnel Ledo Ramírez: Reside en Fomento # 287A, entre Aricochea y Cables, Holguín, Holguín. Su correo electrónico es aledo@uci.cu. Graduado de Ing. en Ciencias Informáticas en el curso 2011-2012. Recién Graduado en Adiestramiento. Se desempeña como desarrollador del Centro de Informática Médica (CESIM), en el Departamento Software Médico Imagenológico (SWMI), en la Universidad de las Ciencias Informáticas.