

Estación de trabajo para registro 3D y fusión de imágenes para la planificación de radioterapia.

M. Luna Serrano^{1,2}, B. Rodríguez Vila^{1,2}, F. del Pozo Guerrero^{1,2}, E. J. Gómez Aguilera^{1,2}

¹ Grupo de Bioingeniería y Telemedicina (GBT), Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, {mluna, brvila, fpozo, egomez} @gbt.tfo.upm.es

² Centro Investigación Biomédica en Red en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BNN), Madrid, España

Resumen

Este trabajo presenta una estación de trabajo para registro tridimensional y fusión de imágenes orientada a la ayuda en la planificación y monitorización de terapias de radiación externa. El concepto de radioterapia adaptativa propone la realización de una planificación del tratamiento en cada una de las sesiones a las que acude el paciente, lo que supondría un decremento importante en la radiación que afecta a los tejidos sanos circundantes al tumor y por tanto, una mejora significativa en la evolución de estos pacientes. Para reducir el tiempo que conlleva la delineación manual de los volúmenes de interés en la realización de una nueva planificación en cada sesión, la herramienta en la que se debe basar la radioterapia adaptativa es el registro tridimensional deformable de estudios CT para radioterapia. El prototipo que se presenta en este artículo permite el registro de imágenes DICOM mediante algoritmos no rígidos, su visualización, la comparación cualitativa de los resultados mediante fusión de imágenes, selección de regiones de interés en las imágenes y el almacenamiento de resultados en formato DICOM, visualizables por cualquier otro lector. El empleo de esta estación de trabajo, en combinación con algoritmos de reconstrucción tridimensional y segmentación automática desarrollados dentro del grupo, supone una gran ayuda en los procesos previos de la planificación radioterápica.

1. Introducción

El cáncer es un término muy amplio, abarca más de 200 tipos de tumores. Se trata de la segunda causa de muerte más frecuente, por detrás de las enfermedades cardiovasculares [1]. Los tipos de cáncer más comunes en hombres son el cáncer de pulmón seguido del cáncer de próstata, colón y recto. Y en mujeres, el cáncer de pulmón, de mama, de colón y recto.

Para la aplicación de la radiación externa se pueden emplear diversas técnicas, entre las que cabe destacar la radioterapia tridimensional ajustada (3D-CRT) y radioterapia de intensidad modulada (IMRT) (ver Fig. 1). Estas técnicas permiten la aplicación de mayores dosis de radiación en el tejido canceroso reduciendo la dosis en los tejidos sanos circundantes, ajustando las curvas de isodosis.

Antes de empezar con el tratamiento propiamente dicho, es preciso realizar una planificación del mismo. En el paso inicial de la planificación se programan los volúmenes a tratar para estimar la distribución de la dosis de radiación en los mismos, aplicando unos amplios márgenes de seguridad para intentar corregir las posibles deformaciones y traslaciones que puedan sufrir los

órganos de la región donde se encuentre el tumor (ver Fig. 2).

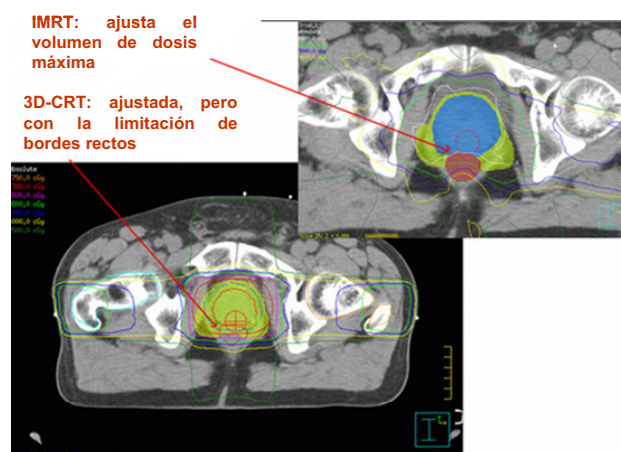


Figura 1. Técnicas de radioterapia y curvas de isodosis obtenidas

Actualmente, el proceso de delineación de los contornos de interés, proceso inicial de la planificación, se realiza manualmente, con lo que conlleva una gran cantidad de tiempo de trabajo por parte del especialista.

La radioterapia adaptativa supone la replanificación de las dosis aplicadas en cada una de las sesiones, de tal forma que los márgenes de seguridad puedan adaptarse mucho mejor a la situación de los volúmenes a tratar en el momento del tratamiento. Sin embargo, el tiempo necesario actualmente para la realización de cada planificación hace prohibitiva esta técnica si no se hace uso de ayudas en el tratamiento de imágenes, tanto en la forma de algoritmos automáticos de registro como de delineación o segmentación.



Figura 2. Imagen CT con los órganos de riesgo contorneados y los márgenes de seguridad marcados.

En el estado del arte se han encontrado diversas estaciones de trabajo muy versátiles como 3D Slicer [2] o MedicalStudio [3], orientadas a la planificación quirúrgica, que ofrecen multitud de opciones de procesamiento de imágenes médicas. Sin embargo, se ha optado por la realización de este prototipo como base para la creación de una aplicación clínica orientada a la radioterapia mediante la integración de algoritmos de procesamiento de imagen médica (reconstrucción tridimensional y delineación automática) propios del grupo de investigación [4].

El objetivo de este artículo es el diseño de un prototipo para una estación de trabajo que permite no sólo la comparación entre distintos métodos de registro no-rígido sino también el seguimiento, visualización, comparación, selección de determinadas regiones de interés, fusión y registro de imágenes para el seguimiento longitudinal de tratamientos en pacientes y la comparación entre individuos. Este prototipo es una versión inicial que, en conjunción con los algoritmos de reconstrucción tridimensional y segmentación automática, ofrecerá una gran ayuda en los procesos iniciales de planificación.

2. Material y métodos.

Para el diseño del prototipo se han empleado algoritmos disponibles en la librería de tratamiento de imágenes médicas ITK [5] desarrollada en C/C++ mientras que la interfaz de usuario se ha realizado en Fluid/FLTK, que permite un diseño muy gráfico e intuitivo de una interfaz gráfica de usuario.

2.1. Registro de imágenes

El registro de imágenes consiste en la obtención de una determinada transformación geométrica que permite poner en concordancia espacial dos imágenes: la imagen referencia (imagen de sesión) y la imagen modelo (imagen de planificación) [6].

Debido a que hay estructuras anatómicas en las zonas de interés que no sufren grandes traslaciones pero si padecen enormes deformaciones, se ha utilizado la combinación de técnicas de registro rígido y registro deformable. Mediante el registro rígido se alinean las estructuras óseas, de tal forma que los resultados obtenidos al aplicar después el registro deformable mejoran. El objetivo principal del registro deformable es la generación de un mapa de desplazamientos obtenido a partir de las relaciones locales entre las dos imágenes a registrar.

En la estación de trabajo se han usado tres métodos de registro deformable automáticos disponibles en la librería ITK y ampliamente utilizados y validados: Free Form Deformation (FFD), Demons y Finite Element Model (FEM). De tal forma que el usuario puede elegir entre cualquiera de los tres.

- El FFD [7] deforma el objeto modificando el espacio en el que se encuentra en lugar de modificar el objeto directamente. Se modela la deformación del objeto mediante la definición de una malla tridimensional uniforme de puntos de control. Estos se desplazarán

con el fin de optimizar una métrica de similitud, proporcionando de esta manera una parametrización de la transformación.

- El algoritmo Demons [8] supone que los bordes de un objeto situado en la imagen referencia puede ser simulado como una membrana semipermeable con *demons* distribuidos a lo largo del contorno y que la imagen móvil es una red deformable cuyos vértices se modelan como partículas internas o externas. Cada *demons* actúa localmente situando el modelo deformable de partículas perpendicular al contorno, y la dirección en la que actúan depende de si la partícula es interna o externa.
- El algoritmo FEM[9] trata de encontrar soluciones de ecuaciones diferenciales parciales tomando en cuenta las deformaciones elásticas que se producen en la imagen fuente con respecto a la imagen referencia.

2.2. Secuencia de procesos

Las imágenes que se emplean para la realización de la planificación son generalmente imágenes de tomografía computerizada o imágenes de resonancia magnética.. En nuestro caso se han utilizado series de 40 cortes de tomografía computerizada, de 512 x 512 píxeles cada uno, con unas dimensiones de vóxel de 0.936x0.936x3 cm.

Siendo el tiempo de cálculo uno de los principales requisitos que debe cumplir la herramienta, se ha implementado un registro multiresolución, aumentando al mismo tiempo la efectividad, robustez y rapidez de nuestra aplicación. Para ello se divide la imagen volumétrica en diversas imágenes con distintos niveles de resolución.

El proceso general que se lleva a cabo para el alineamiento final de las imágenes está compuesto de diversas fases (ver Fig. 4):

1. Segmentación de estructuras óseas: en las imágenes de CT esta segmentación se puede llevar a cabo simplemente mediante una correcta umbralización. Este proceso es transparente al usuario y se realiza en todos los casos.

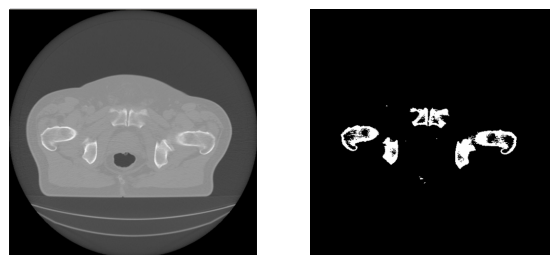


Figura 3. Segmentación mediante umbralización.

2. Registro rígido de las estructuras óseas de las dos imágenes: la transformación obtenida se aplicará a las imágenes originales del CT obteniendo un marco de referencia común en los dos casos. Como en el punto anterior, este proceso es transparente al usuario y se realiza en todos los casos.

3. Multirresolución: creación de las pirámides de imágenes en los dos casos. En este punto es el usuario el que tiene la libertad de elegir el número de niveles de multirresolución que necesite, teniendo en cuenta el algoritmo de registro que vaya a usar y el tiempo de cómputo disponible.
4. Registro no-rígido de las estructuras elásticas: en imágenes de tórax, abdomen y/o pelvis las deformaciones pueden ser muy significativas, por lo que no todos los algoritmos de registro serán capaces de modelarlas. Por esta razón se han seleccionado tres algoritmos diferentes, de manera que el usuario pueda seleccionar el más adecuado en cada caso.

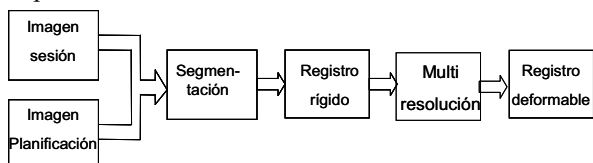


Figura 4. Esquema de procesamiento.

La transformación global generada en este proceso puede ser aplicada a las imágenes de la planificación original de manera que, en combinación con algoritmos de reconstrucción tridimensional y delineación automática, se obtenga una primera aproximación que sirva de ayuda a la planificación de la sesión diaria, o incluso una aproximación de la dosis real que ha recibido cada punto anatómico para la monitorización del tratamiento.

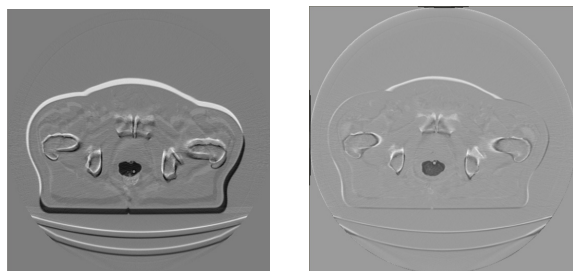


Figura 5. Imagen diferencia antes y después del proceso de registro

3. Diseño de la aplicación

En este apartado se pretende describir someramente la aplicación y al mismo tiempo resaltar algunas de sus limitaciones y trabajos futuros a realizar.

3.1. Formato de imagen

En la actualidad este prototipo trabaja con imágenes DICOM, permitiendo cargar todos los cortes de un estudio tomográfico mediante la selección de su directorio. Al mismo tiempo, la imagen registrada se puede almacenar en formato DICOM, permitiendo la visualización de los resultados en cualquier otro lector de archivos.

3.2. Visualización

En la pantalla principal (ver Fig. 6) se muestran todas las utilidades de visualización, permitiendo ver los cortes axiales, sagitales o coronales (según elección) de la imagen referencia, la imagen modelo y la imagen registrada. Para la evaluación visual subjetiva del resultado del registro está disponible un modo de visualización que permite fusionar la imagen referencia con la imagen registrada, de tal modo que las diferencias entre ambas queden resaltadas en tonos de color, significativamente diferente de las regiones comunes que se representan en tonos de gris.

3.3. Ventana de registro

En esta ventana lo que se permite es la selección del algoritmo de registro deseado y la modificación de sus parámetros más significativos, de manera que se puedan probar distintas opciones según el caso individual. También se permite la modificación de los niveles de multirresolución necesarios.

3.4. Selección de región de interés

Esta herramienta permite seleccionar sobre la imagen referencia una región de interés rectangular sobre la que centrar el registro, que se aplica sobre todos los cortes de la imagen referencia y de la imagen modelo registrada rígidamente, de manera que el tamaño de la imagen se reduce, reduciendo al mismo tiempo considerablemente el tiempo de ejecución (secciones 4 y 5 en la Fig. 6).

3.5. Evaluación clínica

Las implementaciones utilizadas de los algoritmos seleccionados han sido ampliamente testados y validados [10].

La usabilidad de la interfaz gráfica ha sido validada por expertos en radiofísica del Hospital de La Princesa, y se encuentra actualmente en fase de integración en el proceso clínico.

3.6. Mejoras y trabajos futuros

El prototipo que ha presentado es una etapa inicial que requiere mejoras para su uso óptimo en la rutina clínica:

- Módulo de evaluación: se debe ofrecer una nueva ventana que represente distintas métricas de evaluación cuantitativa y tiempo de cálculo para la comparación de los algoritmos.
- Lectura de otros formatos: actualmente sólo se pueden leer imágenes DICOM, pero es necesario poder trabajar con las imágenes con los contornos de los órganos de interés, a ser posible en formato DICOM-RT.
- Integración de algoritmos de reconstrucción tridimensional y de delineación automática creados por los autores, que permitirán la delineación automática de las estructuras de interés.

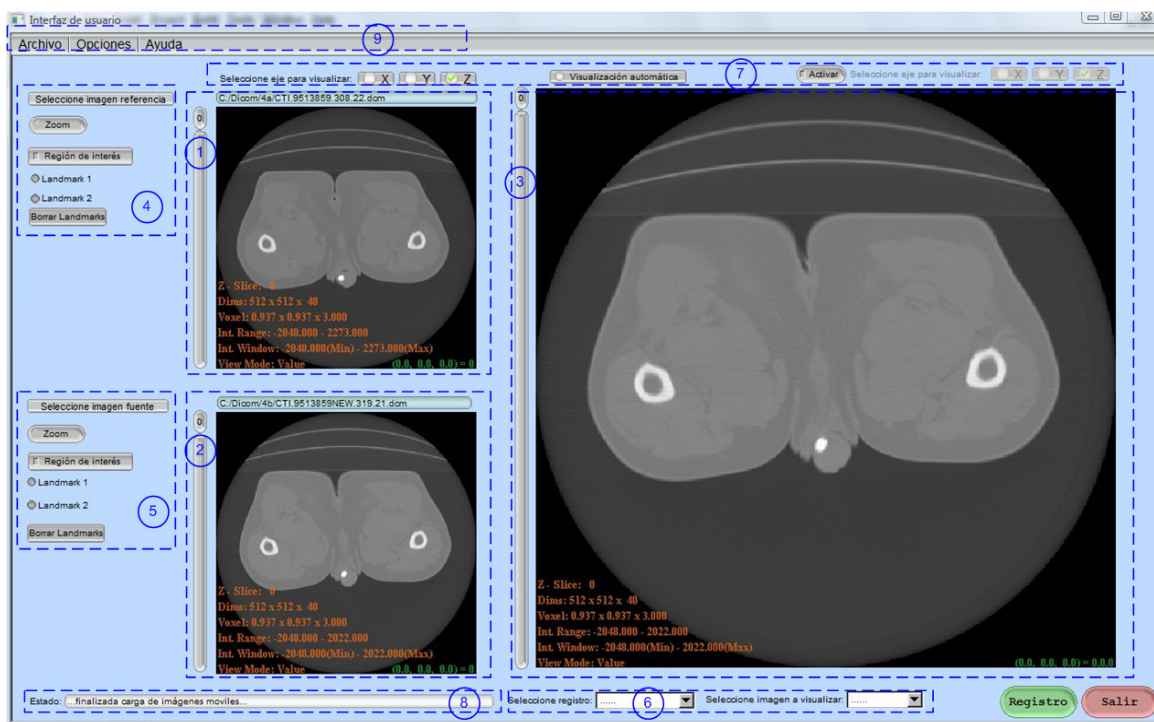


Figura 6. Interfaz gráfica de la aplicación

4. Conclusiones

La radioterapia adaptativa supone una mejora significativa en el tratamiento y seguimiento de pacientes con este tipo de patologías, por lo que el desarrollo de una herramienta que permita realizar sesiones de planificación de forma automática y rápida es importante.

Para automatizar el proceso de delineación de volúmenes de riesgo, de manera que disminuya el tiempo de planificación de cada sesión, son necesarios métodos de registro no-rígido y métodos de delineación automática

En este artículo, se muestra una estación de trabajo de registro no-rígido, que permite la selección entre tres algoritmos diferentes, la visualización y navegación en directorios DICOM, la comparación entre las distintas modalidades de registro implementadas y la selección de regiones de interés en las imágenes.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Servicio de Radiofísica del Hospital Universitario de la Princesa por su colaboración en la realización de este trabajo.

Referencias

[1] Página web de la American Cancer Society.- Cancer Statistics 2008. <http://www.cancer.org> (Consultada: Junio 2008)

[2] D.Gering., A. Nabavi, R. Kikinis, et al. "An integrated visualization system for surgical planning and guidance using image fusion and interventional imaging," in Proc. of the Medical image computing and computer assisted intervention (MICCAI 1999). London, UK: Springer-Verlag, pp. 809–818.

[3] D.G. Trevisan, V. Nicolas, B. Macq, L.P. Bedel. MedicalStudio: a medical component-based framework. Workshop de Imágenes Médicas (WIM), 2007, Recife. Anais do Workshop de Imagens Médicas, 2007.

[4] B.Rodríguez-Vila, F.Gaya, F. del Pozo, F.García-Vicente, E.J.Gomez. A new geometrical method for 3D evaluation of non-rigid registration methods for radiotherapy in prostate cancer. XXII International Congress and Exhibition Computer Assisted Radiology and Surgery, Barcelona (Spain), Junio 2008.

[5] L. Ibáñez, H. Schroeder, L. Ng, J. Cates, the Insight Software Consortium. *The ITK Software Guide. Second Edition. Updated for ITK version 2.4.2005*

[6] D.LG Hill, P.G. Batchelor, M. Holden, D.J Hawkes. *Medical image registration*, Physics in medicine and biology nº46, 2001

[7] Z. Xie, G.E. Farin. *Image Registration Using Hierarchical B-Splines*. IEEE Transactions on visualization and computer graphics, vol 10, nº 1, 2004

[8] B Rodríguez-Vila, J Petterson, M Borga, F García-Vicente, E J. Gómez, H Knutsson. *3D Deformable Registration for Monitoring Radiotherapy Treatment in Prostate Cancer. Proceedings of XV SCIA*, 2007. (ISBN: 9783540730392)

[9] H. Zhong, T. Peters, J.V Siebers. *FEM-based evaluation of deformable image registration for radiation therapy*. Physics in Medicine and Biology, nº52. 2007.

[10] B.Rodríguez Vila, E.J.Gómez Aguilera, F.García Vicente. Evaluación de métodos de registro no-rígido de imágenes CT para la monitorización de terapias de radiación en cáncer de próstata. XXV Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica, Cartagena (España). Mayo 2007. (ISBN 84-612-0369-7) pp 5-9