

COMPONENTE DE SOFTWARE PARA LA COMPRESIÓN DE IMÁGENES MÉDICAS DICOM

G. Matos, H. Blanco

Centro de Biofísica Médica
Patricio Lumumba s/n, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba
gmatos81@gmail.com

RESUMEN

Se presenta una herramienta de software (biblioteca) desarrollada en C++ para la compresión, con o sin pérdida de información, y descompresión de imágenes médicas multimodales utilizando codificadores JPEG de la biblioteca DICOM: DCMTK. El principal objetivo de la herramienta es contribuir al aprovechamiento del espacio disponible en dispositivos de almacenamiento de imágenes médicas en instituciones de salud cubanas. Se realizaron pruebas de compresión y descompresión de imágenes y se demuestra la no pérdida de información al utilizar codificadores JPEG Lossless. Igualmente se prueba la factibilidad de que esta biblioteca pueda ser empleada por sistemas PACS, específicamente servidores de archivo DICOM.

Palabras claves: *compresión de imágenes, DICOM, PACS, almacenamiento de imágenes.*

ABSTRACT

It's presented a C++ based software component or library, iMagis Compress, for lossless / lossy compression – decompression of medical images using JPEG coders from the DICOM library, DCMTK. iMagis Compress' main goal is to make an efficient use of hard disk available space placed on Cuban's healthcare facilities. Several image lossless compression / decompression tests were made. The preservation of medical image information, using JPEG lossless coders, is demonstrated. The integration of iMagis Compress with others PACS components such as DICOM storage servers is demonstrated too.

Keywords: *Images compression, DICOM, PACS, images storage.*

1. INTRODUCCIÓN

Los grandes volúmenes de datos (imágenes, reportes, y señales) que generan los modernos equipos de imágenes médicas, han impuesto nuevos retos a los servicios imagenológicos. Uno de los retos más importantes consiste en el aprovechamiento de las capacidades de almacenamiento para imágenes médicas a través de los sistemas PACS.

Los PACS son sistemas de hardware y software, integrados por una red digital, encargados de:

- Almacenar imágenes provenientes de equipos imagenológicos como:
 - Tomógrafos computarizados (CT)
 - Resonadores magnéticos (MR)
 - Ultrasonidos y eco cardiógrafos (US), entre otros.
- Transmitir imágenes y datos asociados (reportes, señales biomédicas) hacia estaciones de diagnóstico, y servidores de imágenes, entre otros.
- Visualizar imágenes de diferentes modalidades (CT, MR, US, etc.) [5]

El almacenamiento de las imágenes médicas, a través de los PACS, puede realizarse utilizando técnicas de compresión con o sin pérdida de información [4]. La compresión de las imágenes está en función de las capacidades, tecnologías e intereses de cada institución médica en particular. Comprimir las imágenes médicas contribuye al aprovechamiento del espacio disponible en dispositivos de almacenamiento, mejorar la velocidad de transferencia de estos datos a través de redes digitales de comunicación y crear condiciones para construir grandes bases de datos imagenológicas con fines investigativos y docentes.

Cuba ha incursionado en la aplicación de sistemas PACS, utilizando desde el año 2000 hasta la fecha el software iMagis® en el Sistema Nacional de Salud [2] [3]. Este sistema, compatible con el estándar mundial para el intercambio de imágenes médicas, DICOM [6], y desarrollado por el Centro de Biofísica Médica, recibe, visualiza, procesa y almacena imágenes provenientes de diversos equipos médicos, utilizando dos modos de trabajo: no comprimido y comprimido. En el último caso emplea técnicas de compresión con pérdida a través de codificadores JPEG, preservando el 80% de la información y que afectan la calidad diagnóstica de las imágenes. La utilización de técnicas de compresión con pérdida fue motivada por el pobre desarrollo de Redes de Área Global en el país, para finales de los 90, que dificultaba la transferencia de imágenes de gran tamaño [2].

La actual renovación y adquisición de modernos equipos imagenológicos en Cuba ha incrementado la necesidad de potenciar el aprovechamiento de las capacidades disponibles para el almacenamiento de imágenes médicas. Entre estos equipos están:

- Tomógrafos Computarizados mono-corte: "Shimadzu" (Japón).
- Tomógrafos Computarizados multicorte-corte: "Sensation Cardiac", "Definition" (SIEMENS-Alemania) y Brilliance (PHILIPS-Holanda).
- Resonadores Magnéticos "Magnetom CI" (SIEMENS-Alemania) y Panorama (PHILIPS-Holanda).
- Eco-cardiógrafos 3D (PHILIPS-Holanda) [1]

Según la cantidad diaria promedio de estudios imagenológicos que se realizan en modalidades de tomografía computarizada (40 estudios) y resonancia magnética (23 estudios) [7], cada institución de salud necesita aproximadamente:

- 43.0 GB de capacidad para el almacenamiento de imágenes de MR en 1 año.
- 91.2 GB de capacidad para el almacenamiento de imágenes de CT mono-corte en 1 año.
- 1.4 TB de capacidad para el almacenamiento de imágenes de CT multi corte en 1 año.

Estas cifras se alejan de las capacidades de almacenamiento actuales en instituciones de salud cubanas que oscilan como promedio entre 80 y 160 Giga Bytes.

Este trabajo presenta un componente de software desarrollado en C++ para la compresión de imágenes médicas DICOM compatibles con las siguientes características:

- Alto nivel de portabilidad. Puede ser utilizado por sistemas PACS desarrollados para Windows y Linux.
- Maneja solicitudes de compresión y descompresión de imágenes de forma simultánea.
- Utiliza codificadores JPEG con y sin pérdida de información para la compresión de imágenes.

2. METODOLOGÍA

Para la construcción del componente o biblioteca de software, iMagis Compress, destinada a la compresión de imágenes médicas multimodales se utilizaron las siguientes herramientas de modelación y programación:

- Herramienta para el análisis y modelación de sistemas: Rational Rose Enterprise.

- Ambiente para el desarrollo de interfaces y aplicaciones de software: Visual Studio 6.0 y Visual C++ 6.0
- Biblioteca DICOM para el manejo de imágenes y codificaciones de compresión JPEG: DCMTK.

La lógica para el diseño e implementación de la biblioteca estuvo basada en la metodología del Proceso Unificado de Software de Rational: RUP (Rational Unified Process). Caracterizada por el modelado y programación orientados por Casos de Usos, Centrado en la arquitectura, Iterativo e Incremental.

La biblioteca desarrollada, iMagis Compress, fue integrada al servidor de archivo (PACS), iMagis Server® para la realización de pruebas de compresión.

Para la validación de la biblioteca de compresión desarrollada se emplearon:

- Dos sistemas de software de referencia:
 - Herramienta para el registro de imágenes de la DCTMK: dcmqrldx. [9].
 - Estación para la visualización de imágenes médicas: eFilm Workstation 2.0.
- Dos paquetes de imágenes médicas de prueba:
 - 631 imágenes de tomografía axial computarizada (CT).
 - 493 imágenes de Resonancia Magnética (MR).

A cada una de las imágenes médicas de cada paquete (CT, MR) se le realizaron las siguientes operaciones:

1. Creación de una copia.
2. Envío de la imagen, a través de una LAN a 100 Mbps, utilizando la herramienta "storescu" de la biblioteca DCMTK.
3. Recepción de la imagen por el servidor iMagis Server y traspaso de la imagen al componente desarrollado, iMagis Compress.
4. Compresión JPEG Lossless (sin pérdida), de la imagen, a través del componente desarrollado.
5. Medición de la velocidad de compresión.
6. Medición de la razón de compresión. Comparación respecto a al estado del arte (3:1). [10]
7. Verificación de la corrección del archivo generado (imagen DICOM en formato comprimido).
8. Verificación de la calidad diagnóstica de las imágenes comprimidas.

9. Análisis del aprovechamiento del espacio de almacenamiento.

La verificación de la corrección del formato de imagen DICOM comprimida, generada por la herramienta desarrollada, se realizó cargando las imágenes con los sistemas de referencia: "dcmqrldx" y "eFilm Workstation 2.0".

La verificación de la calidad diagnóstica de las imágenes comprimidas se realizó descomprimiendo todas las imágenes, previamente comprimidas, y comparando sus matrices de píxeles con las imágenes originales a través de la diferencia cuadrática media, que se muestra en la ecuación (I)

$$MSE = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{y=1}^{N_2} \sum_{x=1}^{N_1} (f(x, y) - g(x, y))^2 \quad (I)$$

3. RESULTADOS

La figura 1 representa el modelo de distribución de la herramienta desarrollada en C++.

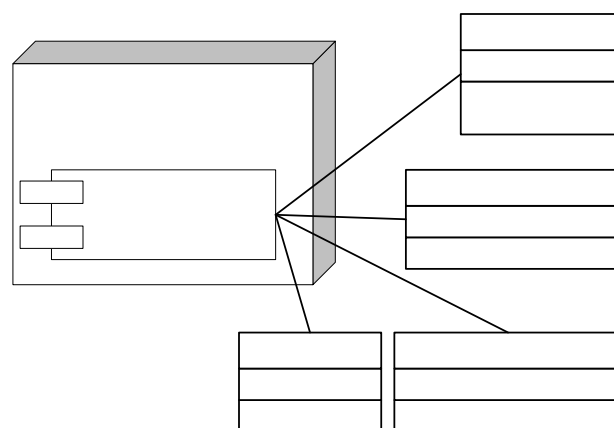


Fig. 1. Vista general del componente: iMagis Compress y las principales clases que implementa.

La figura 2 muestra en detalles las principales clases que componen a iMagis Compress y sus correspondientes interacciones.

La tabla I ilustra los datos obtenidos a partir de las operaciones de compresión y descompresión de 2 paquetes de imágenes, de CT y MR.

El tiempo de saturación de las capacidades de almacenamiento sin comprimir y utilizando compresión sin pérdida, JPEG Lossless, a través del componente iMagis Compress, es mostrado en la tabla II.

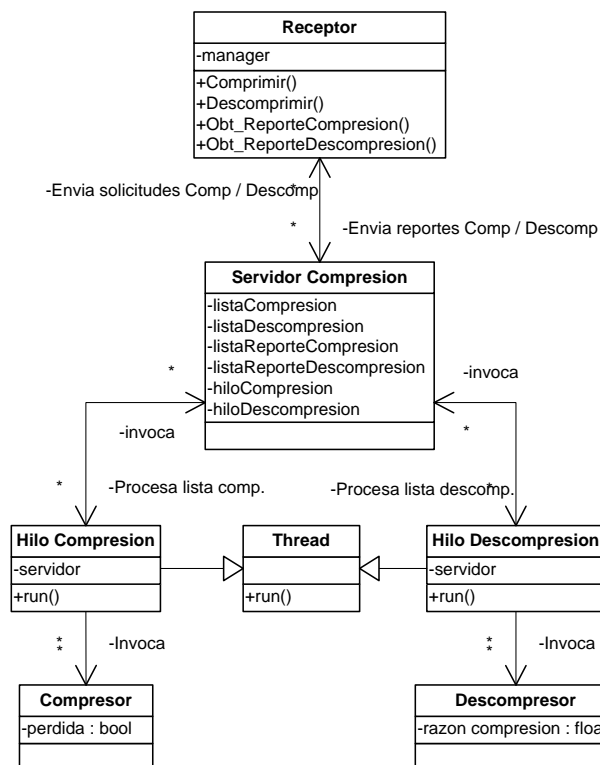


Fig. 2. Diagrama de clases que representan las principales funcionalidades de la biblioteca iMagis Compress.

Tabla I.
Datos de las operaciones de compresión y descompresión realizadas por iMagis Compress

	Paquete 1	Paquete 2
Objetos Comprimidos	imágenes CT	493 imágenes MR
Tiempo de Compresión	215 segundos	110 segundos
Velocidad de Compresión	2.9 imágenes/segundo	2.6 imágenes/segundo
Razón de Compresión	2.5 : 1	2.6 : 1

Tabla II.

Saturación de los espacios de almacenamiento, sin comprimir y comprimiendo sin pérdida a través de iMagis Compress.

	Sin compresión	Compresión – sin pérdida (con iMagis Compress)
Saturación MR (Disco 80 GB)	1.9 años	4.9 años
Saturación MR (Disco 160 GB)	3.8 años	9.9 años
Saturación CT monocorte (Disco 80 GB)	10.6 meses	2.2 años
Saturación CT monocorte (Disco 160 GB)	1.8 años	4.5 años
Saturación CT multicorte (Disco 80 GB)	4.1 semanas	3 meses
Saturación CT multicorte (Disco 160 GB)	8.2 semanas	6.2 meses

4. DISCUSIÓN

La biblioteca o componente de software fue diseñada e implementada utilizando una arquitectura por capas, representadas por las clases Receptor (Interfaz), Servidor de Compresión (Negocio), y Compresión / Descompresión (Datos). Esta arquitectura facilita el cambio de la interfaz y/o algoritmos de compresión si afectar la lógica de funcionamiento.

La composición y funcionamiento de estas clases es:

- Receptor: Brinda al “cliente” una interfaz que posibilita establecer solicitudes de compresión y descompresión de imágenes, además de suministrar reportes construidos luego del proceso de compresión / descompresión con los detalles de estas operaciones (razón de compresión, ruta y nombre del archivo comprimido).
- Servidor de Compresión: Es el controlador y coordinador de todas las operaciones de compresión y descompresión de imágenes. Maneja cuatro colas correspondientes a:
 - Solicitudes de compresión
 - Solicitudes de descompresión
 - Resultados de la compresión
 - Resultados de la descompresión

Adicionalmente controla a dos clases activas (hilos) nombradas: “Hilo compresión” e “Hilo

descompresión" para la ejecución "simultánea" de operaciones de compresión y descompresión.

- Compresor y Descompresor: Realiza el trabajo de comprimir y/o descomprimir las imágenes según haya sido especificado por la solicitud (con o sin pérdida). Construye reportes relacionado con el proceso de compresión o descompresión de las imágenes.

Los resultados obtenidos de las pruebas de compresión y descompresión de imágenes, ilustrados en la tabla I, muestran que fueron comprimidas 631 imágenes, en 215 segundos, para una velocidad de compresión de 2.9 imágenes por segundo. La razón de compresión para el caso de tomografía posibilita archivar 5 imágenes comprimidas por cada 2 no comprimidas. A pesar de ser una compresión sin pérdida, la razón de compresión obtenida es muy buena teniendo considerando la alta frecuencia de generación de imágenes de CT en instituciones de salud. La velocidad promedio fue de 2.7 imágenes por segundo, y por tanto conserva la velocidad de respuesta del servidor PACS, iMagis Server®, frente a otras solicitudes de red.

El proceso de compresión de imágenes de resonancia magnética presentó un mejor balance respecto a la razón de compresión, 2.6:1, posibilitando almacenar 13 imágenes comprimidas por cada 5 no comprimidas. La velocidad de compresión fue de 2.6 imágenes por segundo y tampoco afectó el desempeño del servidor iMagis Server®. Este desempeño posibilita la utilización de iMagis Compress en cualquier servidor de archivo DICOM compatible o alguna otra aplicación PACS, implementadas en C++.

El chequeo y visualización de las imágenes comprimidas a través de las herramientas "dcmqrdr" y eFilm Workstation fueron 100% exitosas, demostrando la corrección del archivo DICOM comprimido generado por iMagis Compress.

La diferencia matricial entre imágenes descomprimidas de CT y MR (previamente comprimidas) y sus correspondientes originales, fue igual a cero, por tanto también la media de sus cuadrados. De aquí se deriva que las imágenes durante el proceso de compresión no pierden información y no se altera la calidad diagnóstica de las imágenes.

Según las razones de compresión obtenidas para las modalidades de CT y MR, los tiempos de saturación de dispositivos de almacenamiento con capacidades de 80 GB y 160 GB se prolongan en casi tres veces facilitando específicamente los servicios

imagenológicos de tomografía monocorte y resonancia magnética.

En el caso de la tomografía multicorte deben tomarse medidas adicionales para contribuir al aprovechamiento del espacio disponible. Por ejemplo:

- Archivar solamente los casos patológicos, cifra que representa alrededor del 50% de los estudios que se realizan en servicios imagenológicos cubanos [7].
- Archivar solamente las imágenes más significativas de los casos patológicos no interesantes desde el punto de vista científico y docente.

Estas medidas posibilitarían mejorar en poco más del 50% los tiempos de saturación para dispositivos de almacenamiento que recogen estudios de tomografía multicorte.

5. CONCLUSIONES

Los resultados y análisis de los datos obtenidos arrojan las siguientes conclusiones:

- Se obtuvo una herramienta, desarrollada en C++, para la compresión / descompresión simultánea de imágenes médicas DICOM compatibles, nombrada iMagis Compress.
- iMagis Compress, posibilita la compresión de imágenes con o sin pérdida, en este último caso empleando una codificación JPEG Lossless.
- Las imágenes comprimidas o descomprimidas, generadas por iMagis Compress, son correctamente codificadas según el estándar DICOM.
- La velocidad de compresión de iMagis Compress no afectará el desempeño de los servidores de archivo DICOM compatibles que la utilicen.
- Las razones de compresión sin pérdida de iMagis Compress están próximas al estado del arte y representan una garantía para el aprovechamiento del espacio en los dispositivos de almacenamiento de imágenes médicas en instituciones de salud.

REFERENCIAS

- [1] Centro de Control Estatal de Equipos Médicos (CCEM), "Equipos registrados 2004 - 2007", http://www.eqmed.sld.cu/fabrequipospdf/iequiposvignotes2004_2007.pdf
- [2] D. Ronda, O. Ferrer, "iMagis: Sistema para la Transmisión de Imágenes Médicas Multimodales", Memorias del II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica, Habana, 2001.

- [3] H. Blanco, A. Vázquez. "Generalización del sistema PACS, iMagis ". Memorias VII Congreso de Ingeniería Biomédica, Habana, 2007
<http://cencomed.sld.cu/socbio2007/trabajos/pdf/t104.pdf>.
- [4] H. K. Huang, "Image Compression - PACS: Basic Principles and Applications", New York. Wiley-Liss, 1999, pp. 129-176.
- [5] H. K. Huang, "Introduction - PACS: Basic Principles and Applications", New York. Wiley-Liss, 1999, pp. 3-10.
- [6] Herman Oosterwijk, "DICOM Basics Third Edition": OTech Inc., 2005, pp. 189-191.
- [7] Información de Tecnologías de Imágenes Médicas. Dirección Nacional de Registros Médicos y Estadística de Salud, MINSAP, Cuba, Mayo de 2008.
- [8] National Electrical Manufacturers Association, "Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM)", NEMA Standards Publication PS 3, 1994.
- [9] Office DCMTK,
<http://dicom.offis.de/dcmthk.php.en>
- [10] Vittorio Castelli, Lawrence D. Bergman, "Image Databases Search and Retrieval of Digital Imagery": New York. John Wiley & Sons, Inc. 2002, pp. 211-239.