



Universidad
Zaragoza

Trabajo fin de Grado en Ingeniería Electrónica y
Automática

Adquisición de endoscopias en alta calidad

Autor

ALEXANDRO DELGADO LLAMAS

Director

JOSÉ MARÍA MARTÍNEZ MONTIEL

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2019

Resumen

El trabajo se enmarca dentro del proyecto de investigación “DPI2017-91104-EXP: SLAM Visual Deformable para Endoscopia”, que tiene como objetivo realizar mapas 3D de las cavidades intracorpóreas y localizar la cámara del endoscopio a partir del flujo de vídeo de un endoscopio estándar. Un primer paso de la investigación es la grabación de secuencias de vídeo correspondientes a endoscopias reales para validar los algoritmos desarrollados. Para maximizar el rendimiento de los algoritmos se van a realizar grabaciones de vídeo de alta calidad y se van a almacenar mediante compresión sin pérdidas.

Además de registrar vídeo de alta calidad, es necesario anonimizar los vídeos para preservar la identidad de los pacientes que acceden a que las grabaciones de sus exploraciones sean empleadas en la investigación. Estos requisitos están lejos de los que ofrecen los sistemas de grabación comerciales.

El objetivo del proyecto es el diseño y la implementación de este sistema grabador que llamaremos *EndoStore*. El alcance cubre el diseño y montaje de un equipo de adquisición y el desarrollo del *software* en C++ empleando las bibliotecas estándares de OpenCV para visión por computador y Tesseract para el reconocimiento de texto.

Se ha construido un prototipo que se ha montado y probado tanto en los laboratorios de la EINA como en el Hospital Clínico Lozano Blesa (HCLB) de Zaragoza. La conexión del sistema de adquisición con el endoscopio permite la grabación con una mínima interferencia sobre el procedimiento médico que se esté llevando a cabo. A partir de los resultados se ha realizado el diseño definitivo del sistema de adquisición.

Índice

1. Introducción	5
1.1. Metodología: enfoque y herramientas	6
1.2. Objetivos y problemas abordados	6
2. Sistema de adquisición: EndoStore	8
3. Adquisición de las imágenes	10
3.1. Estructura de una imagen	10
3.1.1. Imagen original	10
3.1.2. Imagen del endoscopio	10
3.1.3. Datos de la endoscopia	10
3.1.4. Guardado de las imágenes	11
3.2. Captura de datos del paciente mediante OCR	11
3.3. Compresión sin pérdidas de las imágenes	12
3.4. Anchos de banda	13
3.4.1. Tarjeta de adquisición - computador	13
3.4.2. Computador - disco de almacenamiento	14
4. Almacenamiento de las imágenes en disco	15
4.1. Almacenamiento temporal en la memoria del computador	15
4.2. Lugar y modo de almacenamiento de las imágenes	16
4.3. Del SSD al HDD	17
4.4. Del HDD a la nube	18
5. Análisis de prestaciones	19
5.1. Especificaciones técnicas del computador experimental	19
5.2. Tiempos de cómputo y estimación del <i>framerate</i>	19
5.3. Número de imágenes en el <i>buffer</i>	20
5.4. Requerimientos del <i>software</i> y especificaciones de diseño	21

6. Diseño final del sistema de adquisición	23
6.1. Versiones finales del <i>software</i>	23
6.2. Diseño final del equipo	25
6.2.1. Presupuesto estimado	26
6.3. <i>Driver</i> utilizado y código del <i>software</i>	27
7. Conclusiones	28
A. PNT de conexionado y puesta en marcha	29
B. PNT de adquisición con EndoStore-Doctor	31
C. PNT de adquisición con EndoStore-Engineer	32
C.1. PNT de adquisición simple	32
C.2. PNT de adquisición de calibración	33
D. PNT de almacenamiento en la nube	34
Bibliografía	35
Lista de Figuras	38
Lista de Tablas	39

Agradecimientos

El Trabajo fin de Grado se ha llevado a cabo con el apoyo financiero del Ministerio de Economía y Competitividad del Estado Español mediante el proyecto "DPI2017-91104-EXP: SLAM Visual Deformable para Endoscopia".

Agradecimiento al Servicio de Endoscopias del Hospital Clínico Lozano Blesa de Zaragoza, en particular al Dr. Carlos Sostres, por la formación en endoscopia y por la asistencia durante la experimentación.

Agradecimiento a Richard Elvira por el asesoramiento en la implementación del sistema de adquisición.

Agradecimiento a Pablo Salmerón por el asesoramiento en el diseño definitivo del sistema de adquisición.

Capítulo 1

Introducción

Una endoscopia es un procedimiento médico de diagnóstico en el que se introduce dentro del paciente una cámara mediante un instrumento en forma de tubo, conocido como endoscopio, para la examinación de una cavidad corporal. En el caso de este trabajo, las endoscopias que son objeto de estudio son las endoscopias digestivas, gastroscopias y colonoscopias concretamente.

Habitualmente, en las exploraciones que se realizan en un hospital el médico observa la imagen del endoscopio en un monitor y cuando percibe una anomalía o una imagen útil para el diagnóstico toma una captura que se almacena en la base de datos del hospital. Normalmente suelen tener también la opción de grabar la intervención, pero acaban teniendo como resultado grabaciones de baja calidad y poco manejables con el equipo disponible en el hospital debido al tamaño que suelen ocupar. En este trabajo se ha elaborado un sistema de adquisición de endoscopias en alta calidad, al que se ha llamado EndoStore, con el fin de almacenar en disco las grabaciones de varias intervenciones sin pérdidas.

Se busca hacer procesado computerizado de las imágenes para hacer estimaciones de la estructura geométrica de la cavidad observada y la posición relativa del endoscopio respecto del mapa. Estos procesamientos son sensibles a los artefactos de la compresión con pérdidas, por lo que se busca hacer una adquisición y un almacenamiento sin pérdidas.

A partir de estas grabaciones se podrán desarrollar otros proyectos que necesitan estas imágenes, como por ejemplo la reconstrucción 3D del interior del organismo a mayor calidad o la aplicación de métodos de aprendizaje automático en los que es necesario disponer de grandes conjuntos de datos.

Además, este sistema estará adaptado para adquirir, en función de la situación, dos tipos de secuencias: de endoscopia y de calibración. Las secuencias de endoscopia son las grabaciones rutinarias y, cuando se precise, se podrá adquirir una secuencia de calibración para el endoscopio, con un patrón ArUco de 6×6 en cartulina.

1.1. Metodología: enfoque y herramientas

Para determinar las especificaciones técnicas del computador final, en primer lugar se realiza un prototipo sobre un ordenador portátil para, finalmente, con los resultados obtenidos plantear el diseño definitivo. De esta forma, la metodología seguida queda reflejada en los siguientes puntos:

1. Diseño y construcción de un prototipo sobre un computador portátil para poder hacer un análisis de las prestaciones.
2. Desarrollo de un *software* de adquisición en C++ empleando las bibliotecas estándares de OpenCV para visión por computador y Tesseract para reconocimiento de texto.
3. A partir del prototipo, realización del diseño definitivo, que quedará instalado en el Hospital Clínico, incluyendo la calibración previa de un endoscopio concreto en alguna de las pruebas realizadas.

1.2. Objetivos y problemas abordados

Los objetivos son:

1. Captura de imágenes de alta resolución y almacenamiento con compresión sin pérdidas.

Las imágenes que se van a guardar serán comprimidas, puesto que son imágenes que, de otra forma, ocuparían bastante espacio. No obstante, la compresión es sin pérdidas, dado que se busca no perder nada de información con respecto a la imagen visualizada en cada endoscopia.

2. Anonimización de las secuencias.

En vista de que la imagen que se recibe del procesador de vídeo del equipo de endoscopia contiene información del paciente, se procede a separar la imagen del endoscopio y los datos de la exploración, de modo que la secuencia grabada sólo contiene la imagen del endoscopio y, por tanto, es anónima, necesario para asegurar la protección de datos.

3. Creación de una base de datos textual que relaciona secuencias y pacientes.

A los datos que aparecen en la imagen de la endoscopia se les aplica inicialmente un reconocimiento óptico de caracteres. Cada secuencia tendrá un número identificativo en un fichero de texto donde se irán almacenando los datos de cada

paciente. Este fichero será únicamente accesible desde el hospital, respetando así la confidencialidad.

4. Jerarquización de almacenamiento.

Cada secuencia es almacenada en un inicio en el SSD del computador. Dado que este tipo de discos no suelen disponer de mucho espacio, la secuencia se mueve al HDD auxiliar, con mucha más capacidad de almacenamiento. Por último, se dispone de almacenamiento ilimitado en el Google Drive de la Unizar, por lo que las secuencias son almacenadas en última instancia allí.

5. Diseño e implementación de un prototipo sobre computador portátil.

Para hacer algunas pruebas y primeras medidas del software en el hospital se realiza un prototipo del sistema sobre un computador portátil de la EINA.

6. Realización del diseño definitivo.

Una vez analizadas las prestaciones del software sobre el portátil, se procede a la realización del diseño final del computador que se instalará en el hospital.

7. Redacción de los PNT.

Un PNT (Procedimiento Normalizado de Trabajo) es un documento que describe de forma específica la secuencia de operaciones e instrucciones que se deben aplicar para un fin concreto. Se añaden como anexos los PNT de conexionado, de adquisición y de almacenamiento en la nube.

Capítulo 2

Sistema de adquisición: EndoStore

El sistema de adquisición EndoStore (figura 2.1) consta esencialmente de un computador en donde se ejecuta el software, una tarjeta de adquisición, que sirve de enlace entre el procesador de vídeo del endoscopio y el computador, y un disco de estado sólido (en inglés: solid-state drive, SSD) para almacenar las grabaciones de las endoscopias. El almacenamiento está jerarquizado. El almacenamiento secundario es en un disco duro convencional (en inglés: hard disk drive, HDD) y el almacenamiento definitivo es en el Google Drive.

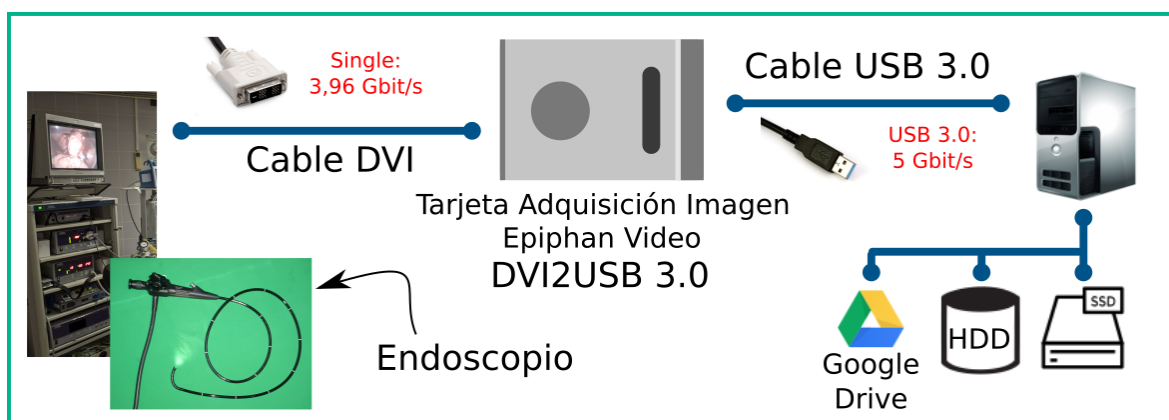


Figura 2.1: Esquema de conexionado del sistema de adquisición EndoStore

Imagen del endoscopio: Wikimedia Commons [1]

Las características de cada componente terminarán limitando las prestaciones del sistema de adquisición. Como se verá más adelante, estas limitaciones son principalmente la velocidad de transferencia de datos y el tamaño disponible de almacenamiento.

Se propone utilizar la tarjeta DVI2USB 3.0 de Epiphan [2] para la captura de vídeo, con entrada de vídeo de tipo DVI y salida USB 3.0. La entrada DVI será conectada a una de las salidas DVI de que dispone el equipo de endoscopia utilizado en el hospital. Esta tarjeta tiene como salida una conexión USB 3.0, por lo que el computador a utilizar empleará este tipo de conexión para la transferencia de las imágenes de la

tarjeta.

En cuanto al equipo de endoscopia que se va a utilizar en el Hospital Clínico Universitario Lozano Blesa de Zaragoza, en una de las salas de endoscopias digestivas, se compone de un procesador de vídeo, el EVIS EXERA III CV-190 de Olympus [3], una fuente de luz EVIS EXERA III CLV-190 [4] conectada al procesador de vídeo y a la cual es conectado el endoscopio, EVIS EXERA III GIF-H190 [5] para el caso de las gastroscopias. El procesador de vídeo tiene una salida DVI, pero se conecta al monitor OEV262H [6] mediante conexión SDI. Para conectar la tarjeta de nuestro sistema de adquisición con el equipo de endoscopia nos valemos de la correspondiente salida DVI del procesador de vídeo.

Para imágenes de 1920×1080 píxeles (RGB24) y una velocidad de 60 FPS la transmisión de datos es de 2,78 Gbit/s, por lo que un cable DVI de tipo **Single Link** es suficiente.

Con relación al computador que se va a emplear, a la espera de no tener ningún cuello de botella en la escritura de las imágenes para almacenar las secuencias de vídeo, se propone desde un primer momento la elección de un SSD para tener una velocidad de transferencia de datos lo suficientemente elevada y asegurarse así de que el flujo de imágenes no se ve interrumpido. Asimismo, puesto que los SSD no suelen disponer de tamaños muy grandes de almacenamiento y para la adquisición en alta calidad se precisa de ellos, se propone utilizar un HDD auxiliar para que, terminada la endoscopia, se envíe la secuencia del SSD a este disco. Además, las secuencias se almacenarán de forma definitiva en el Google Drive ilimitado de la Universidad de Zaragoza.

Para hacer las primeras pruebas del sistema en el hospital se utiliza un portátil con un SSD para almacenar las secuencias y analizar las prestaciones para proceder a realizar el diseño definitivo.

Capítulo 3

Adquisición de las imágenes

3.1. Estructura de una imagen

3.1.1. Imagen original

La imagen que aparece en el monitor OEV262H (figura 3.1), que es la misma que el procesador de vídeo lleva a la tarjeta, tiene 1920 píxeles de ancho y 1080 de alto y se compone de dos partes: una con la imagen del endoscopio y otra con los datos del paciente y la intervención.

3.1.2. Imagen del endoscopio

La imagen del endoscopio tiene una relación de aspecto (proporción entre el ancho y la altura) de 4:3 y se sitúa a la derecha de la imagen del monitor, que tiene relación de 16:9. Por tanto, si el alto de la imagen del monitor es de 1080 píxeles, la imagen del endoscopio es de 1440×1080 píxeles (4:3), aprovechando al máximo el tamaño disponible en el monitor.

3.1.3. Datos de la endoscopia

A la izquierda de la imagen del endoscopio queda entonces una imagen de 480×1080 píxeles en la cual aparecen los datos del paciente y el número de identificación de la endoscopia sobre fondo negro. Cada vez que se da paso a un paciente para iniciar una exploración, previamente se ha establecido en el computador del hospital la información del paciente correspondiente y, de forma automática, se envía esta información al equipo de endoscopias y el procesador de vídeo actualiza los datos del paciente, apareciendo la nueva información en el monitor.

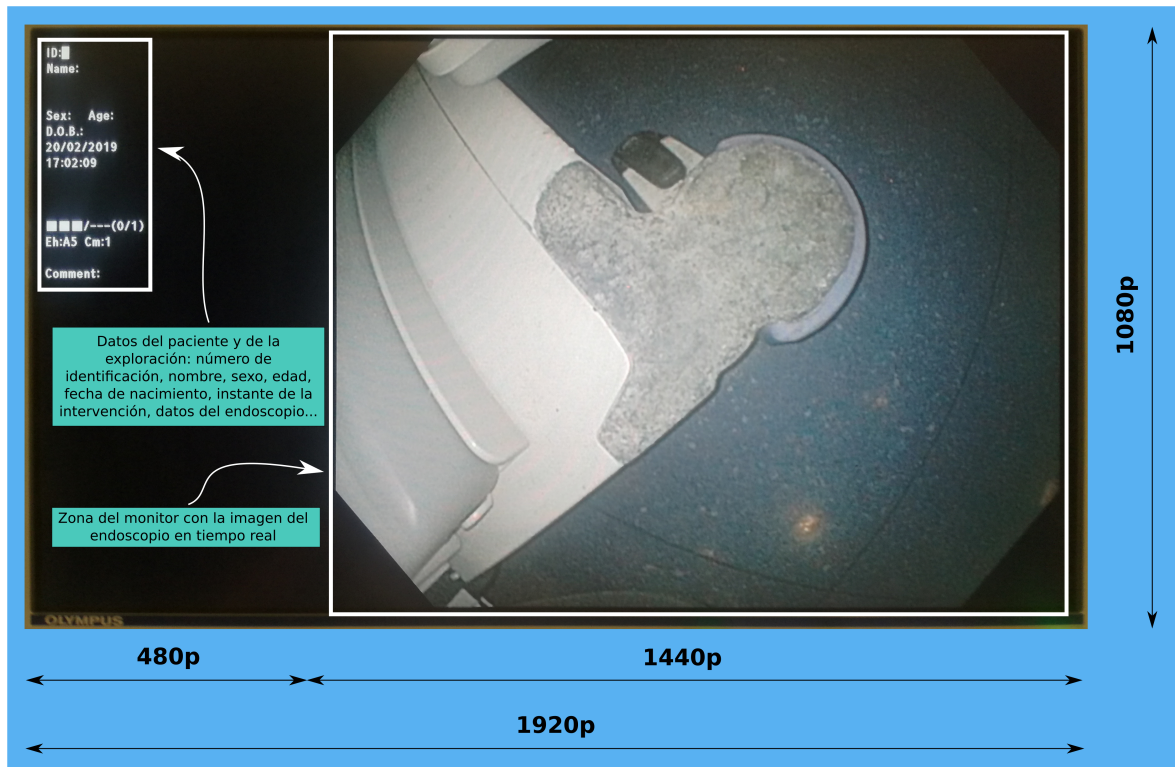


Figura 3.1: Distribución de los elementos que aparecen en la imagen que envía el procesador de vídeo al monitor OEV262H

3.1.4. Guardado de las imágenes

- El tamaño de la imagen que se va a almacenar es un factor crítico en cuanto al espacio disponible en el disco, por lo que se almacena sólo la imagen del endoscopio.
- Los datos del paciente son confidenciales. No aparecen en las secuencias grabadas.
- Se hace una captura inicial en cada exploración para tener los datos en ella.
- Además, se realiza un reconocimiento óptico de caracteres (en inglés: optical character recognition, OCR) para guardar los datos de cada intervención en un fichero de texto a modo de base de datos.

Únicamente en el hospital se tiene acceso tanto a las capturas iniciales como al fichero de texto con los datos. Son por tanto confidenciales.

3.2. Captura de datos del paciente mediante OCR

Dado que tan sólo tenemos acceso a la imagen del monitor del hospital y resulta de interés guardar los datos de cada paciente asociados a cada exploración, utilizamos

un OCR para hacerlo, de modo que se tienen: el número de la secuencia, la ID de la exploración, el apellido y nombre del paciente, el sexo, la edad, la fecha de nacimiento y el instante del inicio de la exploración. Así, queda constancia de a qué exploración pertenece cada secuencia que se almacena.

Se propone utilizar el OCR Tesseract [7], un software libre, bastante preciso y compatible con el idioma español. Originalmente desarrollado por Hewlett-Packard, Tesseract fue liberado como código abierto en 2005 y desde 2006 es desarrollado por Google y distribuido bajo licencia Apache de versión 2.0 (<http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>).

Para utilizar esta herramienta es necesario incluir la librería de procesamiento y análisis de imagen Leptonica [8]. Por consiguiente, para utilizar este OCR se necesita:

- **tesseract/baseapi.h**: API (application programming interface) para desarrolladores en lenguaje C++.
- **leptonica/allheaders.h**: librería de Leptonica.

En esencia, al OCR se le pasa una imagen con un texto y devuelve el texto en una secuencia de caracteres [9]. Para facilitar la detección, para cada campo de texto se recorta esa parte de la imagen y se le pasa al OCR habiéndola transformado previamente en una imagen binaria, donde el texto se diferencie claramente del entorno (sencillo en el caso de la imagen que envía el procesador de vídeo del equipo de endoscopia).

Las versiones utilizadas en el computador portátil son:

- **Tesseract**: tesseract 4.1.0-rc1-255-g332a1.
- **Leptonica**: leptonica-1.78.0.

3.3. Compresión sin pérdidas de las imágenes

Para grabar las imágenes del endoscopio sin perder información se requiere hacerlo con compresión sin pérdidas. Se plantea guardar en un directorio cada imagen que envía la tarjeta en formato PNG, que es un formato de compresión de imagen sin pérdidas.

Para evaluar este método de almacenamiento, a partir de una imagen extraída a partir de la tarjeta (1440 × 1080 píxeles, RGB24) y comprimida con formato PNG, se muestran el tamaño ocupado (en MB) y el factor de compresión en la siguiente tabla (tabla 3.1), donde el factor de compresión representa el porcentaje de tamaño que ocupa el archivo comprimido respecto al archivo original:

Tipo de compresión	Sin compresión	PNG
Tamaño ocupado (MB)	4,45	2,58
Factor de compresión	100,00	57,93

Tabla 3.1: Evaluación de la compresión con formato PNG

A pesar de que hay otros formatos con los que es más rápida la escritura y lectura, se elige el formato PNG como método de compresión para las secuencias del endoscopio, ya que la compresión es mayor. Además, no se contempla guardar en formato de vídeo por la simplicidad que ofrece la lectura de imágenes individuales de cara a otros proyectos que necesiten estas secuencias y puedan tener problemas de compatibilidad con el códec de vídeo utilizado.

3.4. Anchos de banda

En las imágenes que se van a tomar cada píxel ocupa tres *bytes*, ya que son imágenes RGB y, por tanto, tienen tres canales.

Un factor a tener en cuenta cuando se pretende capturar una consecución de imágenes con una cámara es el número de fotogramas por segundo (FPS). Éste es un factor bastante restrictivo, ya que marca la velocidad de transferencia de datos para la lectura de imágenes en la adquisición.

Por consiguiente, el ancho de banda (AB) viene determinado por los FPS (*framerate*, f) y por el número de canales (c) y de columnas (n_c) y filas (n_f) de píxeles de la imagen:

$$AB = n_c \times n_f \times c \times f \quad (3.1)$$

El número de bytes por unidad de tiempo será por tanto una limitación a tener en cuenta para la elección del equipo que se va a utilizar para el sistema de adquisición.

Como se detalla en la sección 3.1, la lectura de vídeo se realiza con imágenes de 1920×1080 píxeles, mientras que la escritura de vídeo, en disco, es con imágenes de 1440×1080 píxeles, por lo que la velocidad de lectura del sistema y la de escritura no serán las mismas, además del factor de compresión que se aplica en el archivo almacenado.

3.4.1. Tarjeta de adquisición - computador

Entre la tarjeta de adquisición y el computador, de acuerdo con la ecuación 3.1, las velocidades de transferencia de lectura son las siguientes (tabla 3.2), donde al número de FPS se le ha asignado el valor estimado que la tarjeta de adquisición es capaz de

dar (capítulo 5) y los 50 FPS a los que envía la señal de vídeo el procesador del equipo de endoscopia, así como la mitad de éstos, 25 FPS:

cols.	filas	FPS	MB/s	GB/min	TB/h
1920	1080	50	296,63	17,38	1,02
1920	1080	36	213,57	12,51	0,73
1920	1080	25	148,32	8,69	0,51

Tabla 3.2: Velocidades de transferencia de lectura

En cuanto a estas velocidades de lectura, la tarjeta de adquisición necesita que el ancho de banda en la comunicación con el computador sea de más de 213,57 MB/s. La tarjeta se comunica con el computador a través de una conexión USB 3.0, cuya velocidad de transferencia de datos teórica máxima es de 625 MB/s, siendo de unos 400 MB/s la velocidad real de aplicación.

3.4.2. Computador - disco de almacenamiento

Entre el computador y el disco de almacenamiento, según el factor de compresión estimado para imágenes PNG, las velocidades de de escritura, es decir, cuánto espacio en disco se necesita para un tiempo determinado de grabación, son las siguientes (tabla 3.3):

cols.	filas	FPS	Factor de compresión	MB/s	GB/min	TB/h
1440	1080	50	0,58	128,88	7,55	0,44
1440	1080	36	0,58	92,79	5,44	0,32
1440	1080	25	0,58	64,44	3,78	0,22

Tabla 3.3: Velocidades de transferencia de escritura

Respecto a la escritura, dado que la compresión es elevada y la imagen grabada es más pequeña, se consiguen velocidades bastante más bajas en relación con las de lectura. Por tanto, escribir en disco cuesta aproximadamente la mitad de espacio del que se necesitaría de acuerdo con el ancho de banda de lectura.

Capítulo 4

Almacenamiento de las imágenes en disco

4.1. Almacenamiento temporal en la memoria del computador

La velocidad de lectura que ofrece la tarjeta de adquisición para imágenes de 1920×1080 (RGB 24) es de 30 FPS de acuerdo con las especificaciones técnicas que indica Epiphan [10], por lo que se lee una imagen cada 33 ms aproximadamente (en la práctica se comprueba que para este tipo de imágenes incluso llega a tardar menos, unos 28 ms). Para escribir una imagen de 1440×1080 (RGB 24) con formato PNG se necesitan bastante más de 33 ms, por lo que si se pretende hacer secuencial la lectura y escritura de una imagen no se asegurarían los FPS de lectura reales al perderse imágenes durante la escritura. Es por esto que la solución tomada pasa por abordar el problema como varios *threads* concurrentes, lectura y escritura de imágenes, adaptando así el llamado *problema del productor-consumidor* (figura 4.1).

El productor, la tarea de lectura de imágenes, va introduciendo en un *buffer* cíclico, para reducir el tiempo de procesamiento, las imágenes que recibe de la tarjeta de adquisición y varios consumidores, tareas de escritura en disco de las imágenes, van extrayendo del buffer las imágenes y las escriben en el directorio correspondiente.

Puesto que el tiempo de escritura suele ser mayor a 28 ms y en ocasiones puede llegar a alcanzar 100 ms o más, se necesitan entre tres y cuatro tareas de escritura para que el buffer no crezca hasta llegar a agotar la memoria disponible por el computador. Esto queda reflejado al establecer un tamaño máximo para el buffer, ya que ese número de imágenes queda traducido en espacio ocupado en memoria. Se ha seleccionado un tamaño máximo de 500, correspondiente a unos 3 GiB.

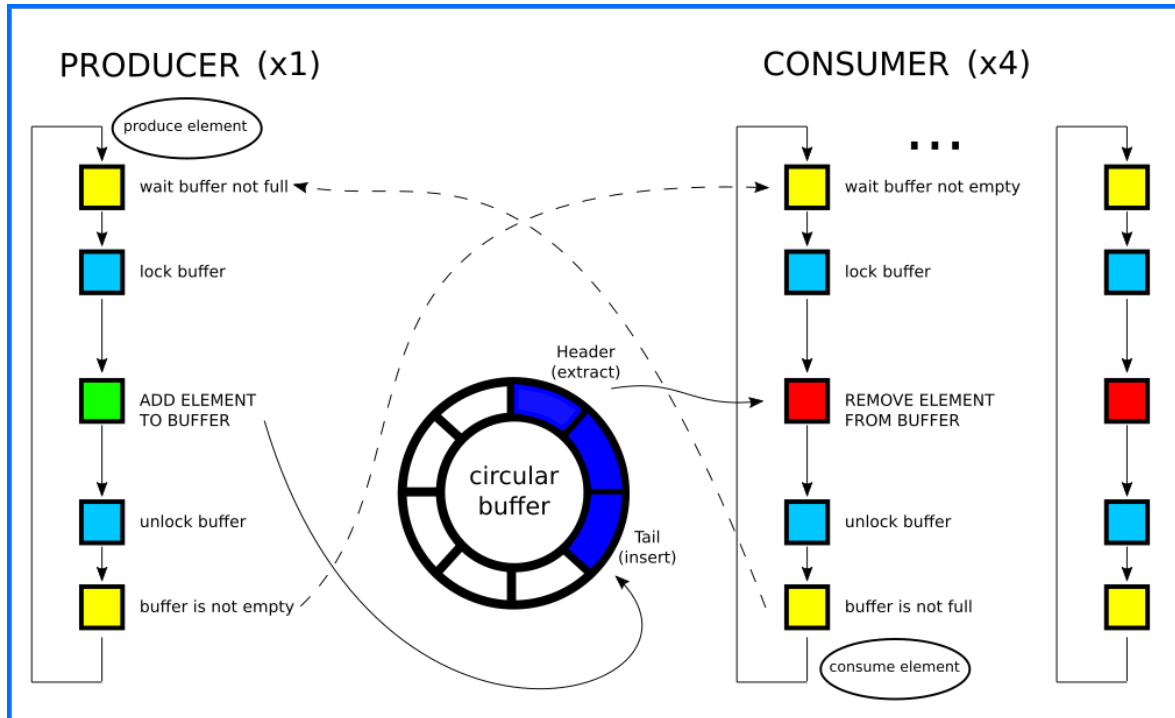


Figura 4.1: Esquema del problema del productor-consumidor

Cuando uno de los threads accede al buffer, para escribir en él o para leer de él, éste se bloquea y se libera cuando el thread ya no requiere de él. Productor y consumidor dependen del estado de llenado del buffer. Por ejemplo, no puede ocurrir que un consumidor lea un elemento del buffer cuando éste está vacío.

Por otro lado, aunque la tarea de lectura de imágenes está condicionada a si el buffer no está lleno, en el caso del sistema de adquisición interesa que éste nunca llegue a estarlo, ya que eso supondría que la tarea entraría en espera y eso produciría que se perdiera un número importante de imágenes. Con tres o cuatro threads de escritura y sus tiempos de cómputo el buffer no llega a llenarse. Por consiguiente, el número de tareas de escritura se fija en cuatro, de modo que el buffer sólo llega a tener una imagen como máximo, como se verá en el capítulo 5 (sección 5.2).

4.2. Lugar y modo de almacenamiento de las imágenes

Las tareas de escritura guardan las imágenes en el SSD. En esta unidad se encuentra una estructura de directorios organizada (figura 4.2) según la cual las imágenes del endoscopio se almacenan en la carpeta *SecuenciasEndoscopiaLozanoBlesa/Sequences*. Aquí, en función del número de secuencia, se crea una carpeta *HLB_00001* (si la secuencia fuera la primera) que contiene otras dos: *Frames*, para grabaciones simples, y *CalibrationFrames*, para grabaciones de calibración.

La información confidencial se almacena en un directorio diferente, *VideoIdentificationKey*. Para las carpetas que contienen las secuencias simple y de calibración se han elegido las siglas HLB, en referencia al Hospital Lozano Blesa, seguidas del número identificativo de la exploración, que aparece en el fichero de texto **datos_pacientes.txt** relacionando los datos del paciente en cuestión, en *VideoIdentificationKey*. Junto a este mismo fichero de texto se tiene una carpeta *FirstFrameEachSequence* en la que se guardan tanto las imágenes iniciales con la información del paciente como los ficheros de texto de forma individual.

La ruta específica en la que se encuentra la carpeta *SecuenciasEndoscopiaLozanoBlesa* aparece en un fichero de configuración YAML. El fichero se llama **parametros_sistema_adquisicion.yaml** e incluye parámetros como las áreas de reconocimiento para el OCR y las rutas principales del sistema de adquisición: SSD y HDD.

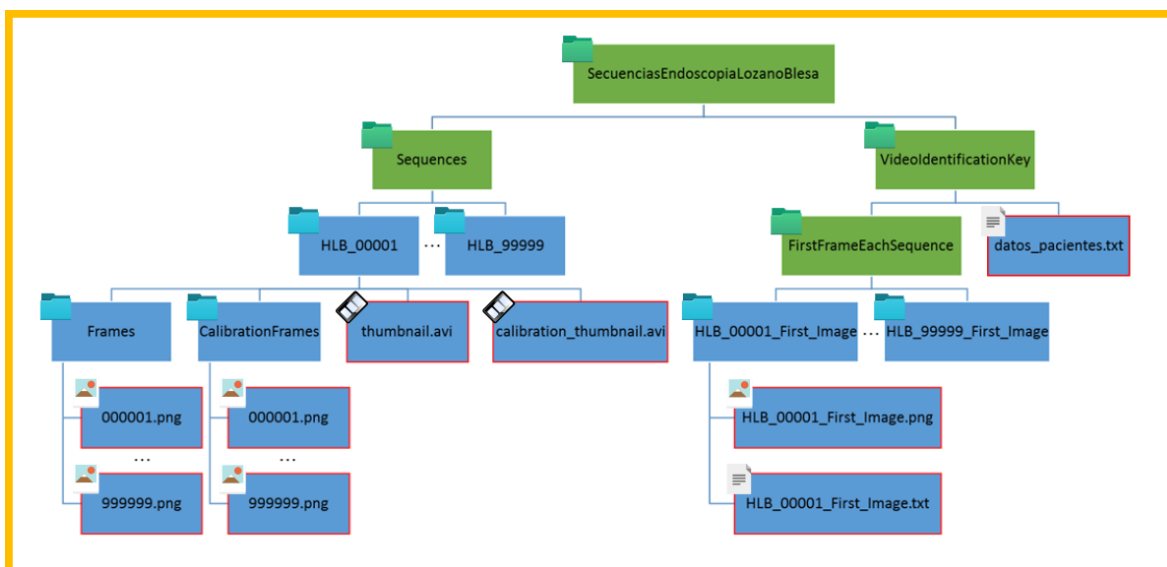


Figura 4.2: Estructura de directorios con la que trabaja el sistema de adquisición

Imágenes de los iconos: Wikimedia Commons [11][12][13][14][15]

En la figura 4.2 aparecen en verde aquellas carpetas que por defecto deben estar en el computador, es decir, son carpetas que no crea el sistema de adquisición por sí mismo. Por otro lado, un contorno de color rojo indica que el elemento se trata de un archivo y no de una carpeta.

4.3. Del SSD al HDD

Como la cantidad de espacio disponible en el SSD es bastante limitada (capítulo 6) cuando se termina la grabación de una secuencia se mueve al HDD conectado al computador, con mucha más capacidad de almacenamiento. Cuando se finaliza la gra-

bación de una secuencia, ésta se envía al disco duro y no se puede grabar otra si la anterior no se ha enviado.

Se ha probado con el computador portátil, que tiene un SSD, y un HDD externo, con conexión USB 3.0. De forma estimada, se necesitan 22 segundos por cada minuto grabado para enviar la secuencia al HDD. Por ejemplo, para una grabación de 15 minutos se necesitarían unos 5,5 minutos para enviar la secuencia al HDD. Teniendo en cuenta que los discos duros que se elegirán para el diseño definitivo serán algo más rápidos y que entre paciente y paciente hay un tiempo de espera, puede ser suficiente para que la secuencia se envíe.

No obstante, en el caso del computador final, en ningún caso la espera para que la secuencia se envíe al HDD supondrá retrasar una exploración. En ese caso, no se grabaría la exploración siguiente.

4.4. Del HDD a la nube

De forma adicional, cada semana de grabación, se intercambiará el HDD conectado del hospital por otro del mismo tipo y las secuencias almacenadas se subirán en el Google Drive de la Universidad de Zaragoza, que dispone de almacenamiento ilimitado, siguiendo la misma estructura de directorios. Una vez que una secuencia es trasladada al Drive, se subirá también un archivo de vídeo **thumbnail.avi** de alta compresión que represente la secuencia grabada en imágenes, pudiéndose reproducir directamente desde la cuenta del Drive. Por otra parte, si se ha realizado también una secuencia de calibración, se subirá también un archivo **calibration_thumbnail.avi**. Las instrucciones para realizar este almacenamiento se detallan en el anexo D.

Capítulo 5

Análisis de prestaciones

Para poder evaluar las prestaciones del sistema se hace una medición de los tiempos de cómputo que se requieren para el procesamiento de las imágenes. Además, deben quedar reflejadas aquellas consideraciones que se han tenido en la implementación del software y que se corresponden con limitaciones de diseño para el computador final.

5.1. Especificaciones técnicas del computador experimental

El computador utilizado para realizar las pruebas del software es un modelo portátil de Toshiba: Satellite P50-A-12Z. Sus especificaciones técnicas más importantes se muestran en la siguiente tabla (tabla 5.1):

Sistema operativo	ubuntu 16.04 LTS 64-bit
Disco	SSD - 227,8 GB
Procesador	Intel® Core™ i7-4700MQ CPU @ 2.40GHz × 8
Memoria	7,7 GiB
Gráfica	Intel® Haswell Mobile
Comunicaciones	2 × USB 3.0

Tabla 5.1: Especificaciones del computador portátil

5.2. Tiempos de cómputo y estimación del *frame-rate*

Los tiempos de cómputo se obtienen de la grabación experimental de mil imágenes enviadas a través de la salida DVI de un computador del laboratorio, tabla 5.2, y se diferencian en dos: tiempos de lectura de la tarjeta y tiempos de escritura de imágenes.

En cuanto a los de lectura de la tarjeta, se puede ver que el mínimo tiempo de captura de imagen, 3,51 ms, es bastante pequeño, por lo que en algún momento la

tarjeta apenas ha tenido que esperar a recibir una nueva imagen debido a que cuando terminó su ciclo de lectura anterior ya tenía la siguiente disponible.

Respecto a los tiempo de escritura, el tiempo máximo de compresión y escritura en disco es bastante grande, 457,59 ms, dato atípico si se tiene en cuenta el tiempo medio y su desviación estándar. Es probable que, en algún momento, por la ocupación de las CPU y su reparto de trabajo de las tareas de escritura hacia otras se haya incrementado el tiempo de alguna imagen.

Tiempos (ms)	<u>Lectura de la tarjeta</u>			<u>Escritura de imágenes</u>	
	Captura de imagen	Inserción en el buffer	Ciclo de lectura de una imagen	Compresión + escritura	Extracción del buffer
Mínimo	3,51	0,71	6,31	64,53	0,73
Máximo	32,14	6,39	33,19	457,59	3,98
Medio	25,97	1,77	27,76	80,84	1,08
Desviación estándar	2,68	1,16	2,55	26,66	0,42

Tabla 5.2: Tiempos de cómputo del software

Con relación a los tiempos de procesamiento del buffer, inserción de imágenes en la lectura y extracción en la escritura, tienen poca incidencia para el resto del software al ser del orden del milisegundo.

Para la estimación del framerate (tabla 5.3) se utiliza el tiempo acumulado de lectura, es decir, la suma de los tiempos de ciclo de lectura de cada imagen:

Número de imágenes	1000
Tiempo acumulado (s)	27,76
Framerate estimado (FPS)	36,02

Tabla 5.3: Framerate estimado de la lectura de imágenes

5.3. Número de imágenes en el *buffer*

En cuanto al número de imágenes en el buffer durante una grabación, se puede ver en la tabla 5.4 que con cuatro tareas de escritura se consigue que el buffer no contenga más de una imagen, por lo que no existe peligro de pérdida de imágenes. Aun en el caso de que momentáneamente los tiempos de escritura aumentasen, el buffer tiene espacio suficiente para que no se llegue al máximo de 500.

Número de imágenes leídas para la medida	1000
--	------

Tamaño del buffer (número de imágenes)			
Mínimo	Máximo	Medio	Desviación estandar
0	1	0,98	0,15

Tabla 5.4: Medida del número de elementos en el buffer durante la grabación de una secuencia

5.4. Requerimientos del *software* y especificaciones de diseño

Los requerimientos del software, junto con las especificaciones que imponen, son los siguientes:

– Disco:

Se necesita un SSD para garantizar la velocidad y la acción simultánea de los cuatro threads de escritura. Tamaño de 256 GB en adelante. Una gastroscopia suele durar unos 7 minutos y cada semana suelen hacerse unas 50, lo que para la velocidad de escritura del EndoStore supone unos 2 TB de almacenamiento, por lo que el HDD auxiliar deberá ser de 2 TB en adelante. Las colonoscopias en cambio suelen llevar de 15 a 30 minutos, por lo que sería más idóneo decidirse por discos de 4 TB. Se necesitan dos discos HDD con conexión externa al computador para intercambiarlos cada semana de grabación.

– Procesador:

Dado que el software mantiene seis threads en paralelo (uno para lectura de imágenes, cuatro para escritura y uno para la GUI, interfaz gráfica de usuario) es necesario un procesador con seis o más núcleos, preferible a partir de ocho.

– Memoria:

Como se ha indicado en la sección 4.1, se requiere almacenar de forma temporal en la memoria del computador las imágenes que envía el thread de lectura. A pesar de que experimentalmente sólo llega a haber una imagen en memoria, se establece un tamaño máximo de 500 para el buffer que almacena las imágenes, lo que se corresponde con unos 3 GiB. Por tanto, la memoria del computador deberá ser de 4 GiB en adelante.

– Comunicaciones:

El computador final requiere como mínimo de una conexión USB 3.0 para la tarjeta DVI2USB 3.0 y otra USB 3.1 para el HDD, para aumentar la velocidad.

En la siguiente tabla (tabla 5.5) se esquematizan estos requerimientos:

Disco	SSD	≥ 256 GB
	HDD	$2 \times \geq 4$ TB
Procesador	≥ 6 núcleos	
Memoria	≥ 4 GiB	
Comunicaciones	USB 3.0	≥ 1
	USB 3.1	≥ 1

Tabla 5.5: Requerimientos para el diseño del computador

Capítulo 6

Diseño final del sistema de adquisición

6.1. Versiones finales del *software*

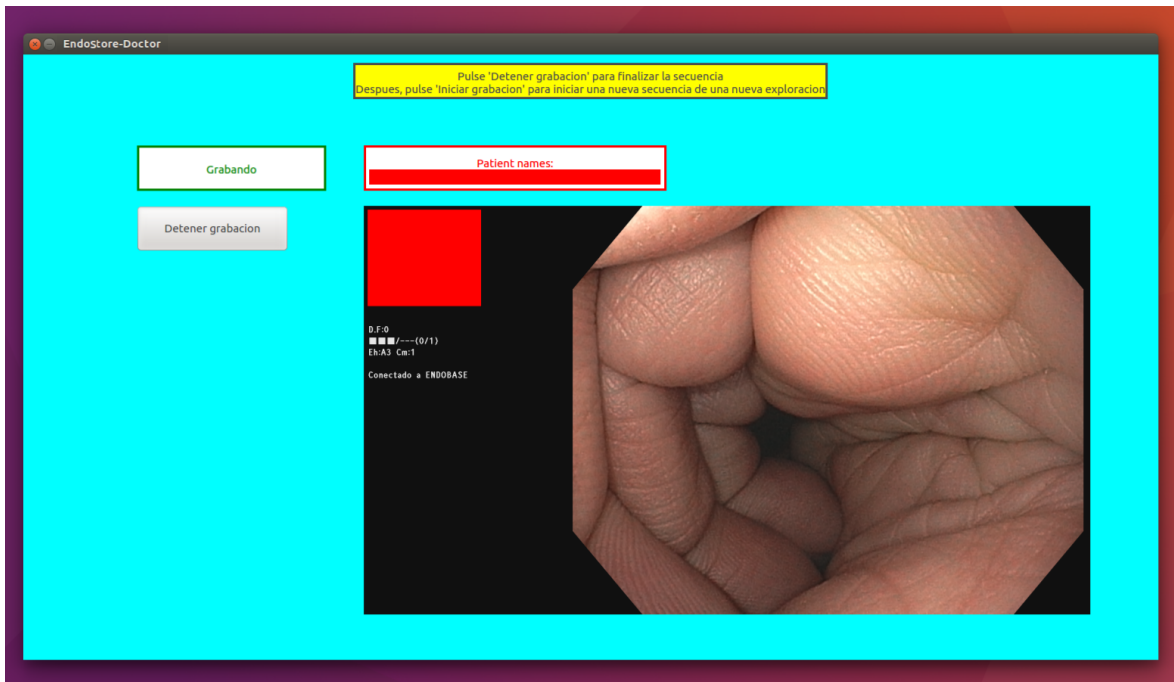
El software se divide en dos versiones diferenciadas:

– **EndoStore-Doctor:**

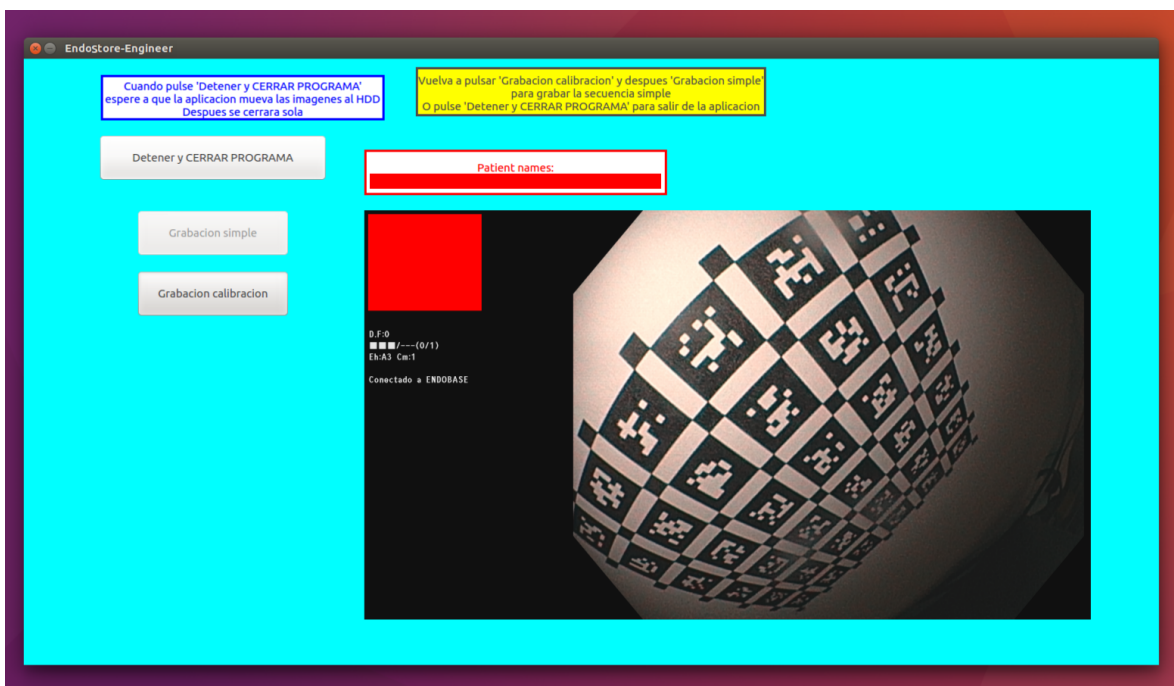
Orientada al personal médico, esta versión está planteada para estar ejecutándose siempre en el computador, siempre que no se quiera utilizar la otra versión. Consta únicamente de un botón (figura 6.1a): *Iniciar grabacion/Detener grabacion*. Cada vez que el botón es pulsado se empieza una nueva secuencia, apareciendo a la derecha de la interfaz el nombre del paciente y la imagen de la tarea de lectura. El modo de utilización de esta versión del software está redactado en el anexo B.

– **EndoStore-Engineer:**

Esta versión se plantea para personal más técnico. Cada nueva exploración, debe ejecutarse de nuevo la aplicación de adquisición, que consta de una interfaz con tres botones (figura 6.1b): *Grabacion simple*, *Grabacion calibracion* y *Detener y CERRAR PROGRAMA*. A la derecha de la interfaz aparece el nombre del paciente y durante una grabación se muestra la imagen que se está leyendo. El modo de utilización de esta versión del software está redactado en el anexo C. Esta versión está destinada para aquellas situaciones que requieren de una calibración del endoscopio y es necesario grabar una secuencia de este tipo.



(a) EndoStore-Doctor: toma de prueba mostrando la palma de una mano



(b) EndoStore-Engineer: toma de calibración

Figura 6.1: Capturas de la interfaz de las versiones del software con la información del paciente ocultada

6.2. Diseño final del equipo

De acuerdo con los requerimientos del software, sección 5.4, y sin contravenirlos, se ha elegido como computador final un Lenovo ThinkCentre M920q.

En la siguiente tabla se muestran las especificaciones [16] más relevantes:

Modelo	10RSCTO1WW	
Sistema operativo	Windows 10 Home 64	
Disco	Unidad de estado sólido M.2 de 512 GB PCIe, Opal, TLC	
Procesador	Procesador Intel Core i7-8700T	
Memoria	DDR4 de 4 GB 2666 MHz SoDIMM	
Gráfica	Tarjeta gráfica integrada	
Comunicaciones	USB 3.1 de 2. ^a generación	× 3
	USB 3.1 de 1. ^a generación	× 2
	USB 3.1 de 1. ^a generación tipo C	× 1
	HDMI	× 1
Dimensiones	Ancho	37 mm
	Alto	179 mm
	Profundidad	183

Tabla 6.1: Detalles de configuración del ThinkCentre M920q de Lenovo

Los 512 GB de almacenamiento del disco de estado sólido se traducen en una grabación almacenable en el HDD de una exploración de hasta una hora y media aproximadamente. Cabe resaltar también que el sistema operativo que se utilizará para ejecutar el software de adquisición es Ubuntu.

Por otro lado, junto con el computador se utilizarán dos discos duros internos insertados en una caja con conexión USB 3.1 para que la conexión sea externa, intercambiándose un disco con otro cada semana de grabación. El HDD elegido es un BarraCuda de Seagate. Las características [17] más relevantes son las siguientes:

Modelo	ST4000LM024
Capacidad de almacenamiento	4 TB (\simeq 12 h de grabaciones)
Interfaz	SATA a 6 Gb/s
Ancho × profundidad × altura	69,85 mm × 100,35 mm × 15 mm

Tabla 6.2: Detalles de los discos BarraCuda de Seagate

Las cajas que se usarán para conectar los discos duros al computador son unas StarTech. Sus principales características [18] son:

Modelo	S251BU31315
Cantidad de unidades para insertar	1
Interfaz	USB 3.1 Gen 2 - 10 Gbit/s
Ancho × profundidad × altura	75 mm × 12 cm × 2,1 cm

Tabla 6.3: Algunas características de las cajas StarTech

La caja admite unidades de disco duro con altura máxima de 15 mm, por lo que los discos BarraCuda son compatibles.

Para la visualización del equipo se utilizará una pantalla táctil con el fin de facilitar la manejabilidad en el hospital. La pantalla elegida es el monitor táctil 1002L de Elo Touch Solutions. Algunas de sus características [19] se muestran en la figura 6.4.

Conexión táctil	USB		
Conexión de vídeo	HDMI		
Relación de aspecto	16:10		
Resolución nativa	1280 × 800		
Otras resoluciones soportadas	640 × 480 @ 60Hz		
	800 × 600 @ 60Hz		
	1024 × 768 @ 60Hz		
	1280 × 800 @ 60Hz		
	1920 × 1080 @ 60Hz		
Diagonal de la pantalla	10,1 pulgadas		
	Dimensiones del monitor	Ancho	254,6 mm
		Alto	177,3 mm
		Profundidad	29 mm
Alimentación	USB táctil		
	Adaptador de alimentación		

Tabla 6.4: Algunas especificaciones del monitor 1002L de Elo Touch Solutions

6.2.1. Presupuesto estimado

Consultando varias fuentes, el presupuesto aproximado, sin contar ningún tipo de descuento, sería el siguiente:

	Cantidad	Precio unitario	Precio total
<i>ThinkCentre M920q</i>	× 1	790,87 €	790,87 €
<i>Disco duro BarraCuda</i>	× 2	169,34 €	338,68 €
<i>Monitor táctil 1002L</i>	× 1	336,13-400,00 €	336,13-400,00 €
<i>Caja StarTech</i>	× 2	35,95 €	71,90 €
			1.537,58-1.601,45 €

Tabla 6.5: Presupuesto aproximado del equipo

6.3. *Driver* utilizado y código del *software*

El *driver* que se ha utilizado para la tarjeta de adquisición y que proporciona Epiphan es:

- **Ubuntu 16.04 x86 64bit: vga2usb 3.30.2.10 para 4.4.0-57-generic**

Todo el código desarrollado se encuentra en un repositorio de GitHub privado de la Universidad de Zaragoza para consulta y posible modificación:

`https://github.com/UZ-SLAMLab/Endostore.git`

Capítulo 7

Conclusiones

Como resultado de este trabajo, se ha conseguido desarrollar un sistema de adquisición de imagen en alta calidad para endoscopias. El desarrollo del software y las características de cada componente han impuesto finalmente los requerimientos para la realización del diseño del equipo de adquisición.

El sistema de adquisición EndoStore es capaz de almacenar grandes secuencias de imágenes pertenecientes a exploraciones de endoscopia. La conexión con el equipo de endoscopia es directa, de modo que no se interfiere en el procedimiento médico. De igual manera, el sistema es capaz de anonimizar las secuencias sin que la información de los paciente quede expuesta.

Por otra parte, el software no se plantea sólo para adquisición de endoscopias, sino también para secuencias de calibración de los endoscopios utilizados, ya que para ciertas aplicaciones es necesario conocer los parámetros de calibración de la cámara.

Como líneas futuras de trabajo, se espera utilizar, una vez adquirido el equipo restante, el sistema EndoStore para continuar con proyectos de validación experimental sobre endoscopia médica como un sistema de SLAM deformable, así como otros métodos de aprendizaje automático que necesitan grandes conjuntos de datos.

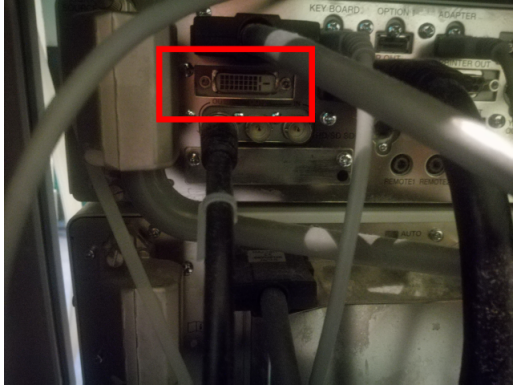
Además, cualquier posible línea de mejora del software de adquisición orientada a su perfeccionamiento queda abierta. Asimismo, el diseño del equipo no es inamovible, por lo que variaciones en el diseño que faciliten el objetivo final del sistema de adquisición o la adición de componentes con el mismo propósito serán siempre objeto de interés.

Anexo A

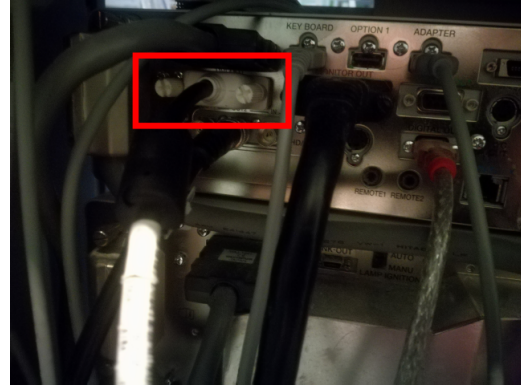
PNT de conexionado y puesta en marcha

Este procedimiento indica los pasos que debe seguir la persona encargada de realizar el conexionado del EndoStore, el sistema de adquisición.

Componentes necesarios	
Tarjeta DVI2USB 3.0 de Epiphan	
Cable DVI: Single Link	
Cable USB 3.0 proporcionado por Epiphan junto con la tarjeta	
Computador con entrada USB 3.0	
Procesador de vídeo EVIS EXERA III CV-190 o un procesador de vídeo con salida DVI (imagen de 1920 × 1080 píxeles)	
Pasos para el conexionado	
Conecte uno de los extremos del cable DVI con la salida DVI del procesador de vídeo EVIS EXERA III CV-190	
Conecte el otro extremo del cable DVI con la entrada DVI de la tarjeta DVI2USB 3.0	
Introduzca el conector macho de tipo B del cable USB 3.0 en la salida USB 3.0 de la tarjeta DVI2USB 3.0	
Introduzca el conector macho de tipo A del cable USB 3.0 en la entrada USB 3.0 del computador	
Puesta en marcha de la aplicación EndoStore-Doctor	
Conecte el computador a la red eléctrica y enciéndalo	
Compruebe que en el monitor OEV262H del equipo de endoscopia se muestra la imagen del endoscopio	
Ejecute la aplicación EndoStore-Doctor	



(a) Salida DVI del procesador de vídeo EVIS EXERA III CV-190: sin cable DVI conectado



(b) Salida DVI del procesador de vídeo EVIS EXERA III CV-190: con cable DVI conectado



(c) Tarjeta DVI2USB 3.0: con cables DVI y USB 3.0 conectados

Figura A.1: Conexiones del EndoStore

Anexo B

PNT de adquisición con EndoStore-Doctor

Este procedimiento indica los pasos que debe seguir el personal médico encargado de grabar secuencias de endoscopia.

1. Compruebe que en el monitor OEV262H del equipo de endoscopia se muestran la imagen del endoscopio y los datos del paciente cuya exploración va a realizarse.
2. Pulse *Iniciar grabacion* para comenzar la grabación de la secuencia. La imagen que está leyendo la aplicación aparecerá en la interfaz (figura 6.1a), al igual que el nombre del paciente durante la grabación. Encima del botón un mensaje indicará *Grabando*.
3. Pulse *Detener grabacion* para finalizar la grabación de la exploración. Encima del botón el mensaje seguirá indicando *Grabando* porque se está enviando al disco duro la secuencia, por lo que para grabar otra secuencia habrá que esperar a que indique *Sin grabar*.
4. No cierre la aplicación.
5. Para grabar otra exploración, asegúrese de que encima del botón se indica *Sin grabar* y siga de nuevo los puntos de este procedimiento.

Anexo C

PNT de adquisición con EndoStore-Engineer

Este procedimiento indica los pasos que debe seguir el personal técnico encargado de grabar secuencias de simples y de calibración.

C.1. PNT de adquisición simple

1. Si la aplicación EndoStore-Doctor está ejecutándose, ciérrela.
2. Compruebe que en el monitor OEV262H del equipo de endoscopia se muestran la imagen del endoscopio y los datos del paciente cuya exploración va a realizarse.
3. Ejecute la aplicación EndoStore-Engineer.
4. Pulse *Grabacion simple* para comenzar la grabación de la imagen del endoscopio durante la exploración.
5. Para dejar de grabar la imagen del endoscopio, pulse de nuevo *Grabacion simple*.
6. Si no va a realizar una grabación de calibración para esta exploración, pulse *Detener y CERRAR PROGRAMA* y la aplicación se cerrará. Antes de cerrarse moverá la secuencia al HDD, por lo que habrá que esperar.
7. Si va a realizar una grabación de calibración para esta exploración, siga los puntos del PNT de adquisición con calibración, sección C.2.
8. Para grabar otra exploración, siga de nuevo los puntos de este procedimiento.

Una vez terminada la sesión de grabación, dejar en funcionamiento la aplicación EndoStore-Doctor.

C.2. PNT de adquisición de calibración

1. Si previamente ha realizado una grabación simple y para la misma exploración va a grabar una secuencia de calibración, salte al punto 5 de este procedimiento. En caso contrario, siga con el punto 2.
2. Si la aplicación EndoStore-Doctor está ejecutándose, ciérrela.
3. Compruebe que en el monitor OEV262H del equipo de endoscopia se muestran la imagen del endoscopio y los datos del paciente. Si sólo se va a hacer una secuencia de calibración, sin paciente ni grabación previa, enviar al EVIS EXERA III CV-190 datos ficticios o vacíos.
4. Ejecute la aplicación EndoStore-Engineer.
5. Pulse *Grabacion calibracion* para comenzar la grabación del patrón de calibración con el endoscopio.
6. Para dejar de grabar la imagen del endoscopio, pulse de nuevo *Grabacion calibracion*.
7. Si no va a realizar ninguna grabación simple para esta exploración, pulse *Detener y CERRAR PROGRAMA* y la aplicación se cerrará. Antes de cerrarse moverá la secuencia al HDD, por lo que habrá que esperar.
8. Si va a realizar alguna grabación simple para esta exploración, siga los puntos del PNT de adquisición simple, sección C.1.
9. Para grabar otra secuencia de calibración, siga de nuevo los puntos de este procedimiento.

Una vez terminada la sesión de grabación, dejar en funcionamiento la aplicación EndoStore-Doctor.

Anexo D

PNT de almacenamiento en la nube

Este procedimiento indica los pasos e instrucciones que debe seguir el personal técnico encargado de subir a la nube las exploraciones grabadas.

1. Localizar la carpeta *SecuenciasEndoscopiaLozanoBlesa/Sequences* en el HDD del computador.
2. Acceder al Drive de la Universidad de Zaragoza y acceder a la carpeta */Mi unidad/SecuenciasEndoscopiaLozanoBlesa/Sequences*.
3. Subir en esta carpeta las exploraciones del HDD (*HLB_00001*, *HLB_00002*...).
4. Comprobar que las exploraciones se encuentran en el Drive correctamente.
5. Eliminar las exploraciones del HDD.
6. En el Drive, acceder a la carpeta *VideoIdentificationKey*.
7. Subir en esta carpeta el fichero de texto **datos_pacientes.txt** de la carpeta *VideoIdentificationKey* del HDD.
8. En el Drive, acceder a *VideoIdentificationKey/FirstFrameEachSequence*.
9. Subir aquí las carpetas con la información de los pacientes de *VideoIdentificationKey*, en el HDD (*HLB_00001_First_Image*, *HLB_00002_First_Image*...).
10. Una vez actualizadas las exploraciones en el Drive, subir en éstas (*HLB_00001*...) un vídeo de alta compresión de la exploración, **thumbnail.avi**, a modo de miniatura y que pueda reproducirse desde el Drive. Si la exploración también tiene secuencia de calibración, hacer lo mismo con ella, **calibration_thumbnail.avi**. Seguir la estructura de directorios de la figura 4.2.
11. Repetir de forma periódica, o cuando el HDD se llene, estos pasos.

Bibliografía

- [1] de:Benutzer:Kalumet [CC BY-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)]. A photograph of a flexible endoscope [en línea] (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/90/Flexibles_Endoskop.jpg). Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Flexibles_Endoskop.jpg [Consulta: Junio 2019], 7 November 2004.
- [2] Epiphan Video. DVI2USB 3.0 [en línea]. Disponible en: <https://www.epiphan.com/products/dvi2usb-3-0/> [Consulta: Febrero 2019], sin fecha.
- [3] Olympus. EVIS EXERA III CV-190 [en línea]. Disponible en: <https://www.olympus.es/medical/es/Productos-y-soluciones/Productos/Product/CV-190.html> [Consulta: Febrero 2019], sin fecha.
- [4] Olympus. EVIS EXERA III CLV-190 [en línea]. Disponible en: <https://www.olympus.es/medical/es/Productos-y-soluciones/Productos/Product/CLV-190.html> [Consulta: Febrero 2019], sin fecha.
- [5] Olympus. EVIS EXERA III GIF-H190 [en línea]. Disponible en: <https://www.olympus.es/medical/es/Productos-y-soluciones/Productos/Product/GIF-H190.html> [Consulta: Febrero 2019], sin fecha.
- [6] Olympus. OEV262H [en línea]. Disponible en: <https://www.olympus.es/medical/es/Productos-y-soluciones/Productos/Product/OEV262H.html> [Consulta: Febrero 2019], sin fecha.
- [7] Ray Smith. Tesseract [en línea]. Disponible en: <https://github.com/tesseract-ocr/tesseract> [Consulta: Junio 2019], actualizado por última vez el 17 de junio del 2019.
- [8] Dan Bloomberg. Leptonica [en línea]. Disponible en: <http://www.leptonica.org/> [Consulta: Junio 2019], actualizado por última vez el 21 de marzo del 2019.
- [9] Vaibhaw Singh Chandel. Deep learning based text recognition (ocr) using tesseract and opencv [en línea]. Disponible en: <https://www.learnopencv.com/>

deep-learning-based-text-recognition-ocr-using-tesseract-and-opencv/
[Consulta: Abril 2019], publicado el 6 de junio del 2018.

- [10] Epiphan Video. Epiphan DVI2USB 3.0 technical specifications [en línea]. Disponible en: <https://www.epiphan.com/products/dvi2usb-3-0/tech-specs/> [Consulta: Mayo 2019], sin fecha.
- [11] Copyright (C) 2014 Uri Herrera and KDE Visual Design Group; [LGPL (<https://www.gnu.org/copyleft/lgpl.html>)] others. Icon from the breeze icon theme [en línea] (<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4b/Breezeicons-places-32-folder-green.svg>). Disponible en: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Breezeicons-places-32-folder-green.svg> [Consulta: Junio 2019], 15 May 2014.
- [12] Copyright (C) 2014 Uri Herrera and KDE Visual Design Group; [LGPL (<https://www.gnu.org/copyleft/lgpl.html>)] others. Icon from the breeze icon theme [en línea] (<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cd/Breezeicons-places-32-folder-cyan.svg>). Disponible en: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Breezeicons-places-32-folder-cyan.svg> [Consulta: Junio 2019], 15 May 2014.
- [13] Leoncastro [CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>)]. Icono personal para el formato de archivo txt [en línea] (<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ae/Icon-txt.svg>). Disponible en: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Icon-txt.svg> [Consulta: Junio 2019], 24 October 2016.
- [14] KDE team [GPL (<http://www.gnu.org/licenses/gpl.html>)]. Video icon [en línea] (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dc/Video_icon.svg). Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Video_icon.svg [Consulta: Junio 2019], 24 May 2007.
- [15] Videoplasty.com [CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>)]. Vector icon created in flat design style [en línea] (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bb/Polaroid_Picture_Flat_Icon_Vector.svg). Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Polaroid_Picture_Flat_Icon_Vector.svg [Consulta: Junio 2019], 1 March 2018.

- [16] Lenovo. ThinkCentre M920 Tiny [en línea]. Disponible en: <https://www.lenovo.com/es/es/desktops-and-all-in-ones/thinkcentre/m-series-tiny/ThinkCentre-M920q/p/11TC1MTM92Q> [Consulta: Junio 2019], sin fecha.
- [17] Seagate. BarraCuda [en línea]. Disponible en: <https://www.seagate.com/es/es/internal-hard-drives/hdd/barracuda/> [Consulta: Junio 2019], sin fecha.
- [18] StarTech. Caja StarTech para unidades de disco duro [en línea]. Disponible en: <https://www.startech.com/eu/es/DD/Cajas/caja-de-unidad-usb-3-1-de-5-15mm-de-altura-S251BU31315> [Consulta: Junio 2019], sin fecha.
- [19] Elo Touch Solutions. 1002L 10" Touchscreen Monitor [en línea]. Disponible en: <https://www.elotouch.com/touchscreen-monitors/1002l.html> [Consulta: Junio 2019], sin fecha.

Lista de Figuras

2.1. Esquema de conexionado del sistema de adquisición EndoStore	8
3.1. Distribución de los elementos que aparecen en la imagen que envía el procesador de vídeo al monitor OEV262H	11
4.1. Esquema del problema del productor-consumidor	16
4.2. Estructura de directorios con la que trabaja el sistema de adquisición .	17
6.1. Capturas de la interfaz de las versiones del software con la información del paciente ocultada	24
A.1. Conexiones del EndoStore	30

Lista de Tablas

3.1. Evaluación de la compresión con formato PNG	13
3.2. Velocidades de transferencia de lectura	14
3.3. Velocidades de transferencia de escritura	14
5.1. Especificaciones del computador portátil	19
5.2. Tiempos de cómputo del software	20
5.3. Framerate estimado de la lectura de imágenes	20
5.4. Medida del número de elementos en el buffer durante la grabación de una secuencia	21
5.5. Requerimientos para el diseño del computador	22
6.1. Detalles de configuración del ThinkCentre M920q de Lenovo	25
6.2. Detalles de los discos BarraCuda de Seagate	25
6.3. Algunas características de las cajas StarTech	26
6.4. Algunas especificaciones del monitor 1002L de Elo Touch Solutions . .	26
6.5. Presupuesto aproximado del equipo	26