

CODIA: Componente de Despliegue de Imágenes Astronómicas en Tiempo Real para el Telescopio Jürgen Stock del Observatorio Astronómico Nacional de Llano del Hato

Iván Vivas, Andrés Arcia-Moret, Domingo Hernández y Carmen Rodríguez

Resumen — El CODIA es una parte del sistema que controla la cámara electrónica digital instalada en el telescopio *Jürgen Stock* del Observatorio Astronómico Nacional (OAN). El CODIA despliega en tiempo real las imágenes de un $1/16^{\text{avo}}$ del mosaico de 16 dispositivos de carga acoplada (CCD) que componen la cámara (un sensor a la vez). Está diseñado con una arquitectura Cliente-Servidor, donde el Cliente-CODIA recibe del servidor los valores numéricos enteros que representan la intensidad lumínica de una fila de píxeles de una imagen del espacio. Esta transferencia se realiza a través de *Sockets* que utilizan el protocolo de transporte TCP. El CODIA captura las líneas de datos y luego construye, procesa y despliega una por una las filas de la imagen digital a través de su Interfaz Gráfica de Usuario (IGU). El CODIA fue desarrollado en lenguaje C++, utilizando elementos proporcionados por la biblioteca Qt.

Palabras claves — Análisis de Rendimiento, Despliegue de Imágenes Astronómicas, Procesamiento de Imágenes Digitales, TCP/IP.

I. INTRODUCCIÓN

Generalmente los sistemas de información contienen subsistemas de menor relevancia, y estos a su vez, pueden ser componentes de sistemas más amplios denominados supersistemas, compuestos por las organizaciones que los

Artículo recibido el 27 de Enero de 2012. Este artículo fue financiado por el Centro de Investigaciones de Astronomía (CIDA).

I.V. y C.R. están con el Centro de Investigaciones de Astronomía (CIDA), Sector La Hechicera, Edif. CIDA, Mérida, Estado Mérida, Venezuela. Tlf: +58-274-2450106. E-mail: ievivas@cida.ve, rodriguez@cida.ve.

A.A.M. y D.H. están con la Universidad de Los Andes, Sector La Hechicera, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Sistemas, Mérida, Estado Mérida, Venezuela. Tlf: +58-274-2402981, Fax: +58-274-2402979. E-mail: andres.arcia@ula.ve, dhh@ula.ve.

A.A.M. está con el Grupo de Investigación en Redes y Sistemas Distribuido (RESIDE). Sector La Hechicera, Facultad de Ingeniería, Postgrado en Computación, Mérida, Estado Mérida, Venezuela. Tlf: +58-274-2402811, Fax: +58-274-2402811.

D.H. está con El Grupo de Investigación en Ingeniería de Datos y Conocimiento (GIDyC). Sector La Hechicera, Facultad de Ingeniería, piso 3, ala Sur. oficinas 3S07 y 3S08, Mérida, Estado Mérida, Venezuela. Tlf: +58-274-2402685, Fax: +58-274-2402979.

contienen y utilizan. Este es el caso del CODIA, el cual está dentro de una organización dedicada a la investigación científica de la Astronomía en Venezuela. El Centro de Investigaciones de Astronomía (CIDA), es la institución más importante en el país en lo que a investigación astronómica se refiere. El CIDA está encargado de administrar el OAN, ubicado cerca de Apartaderos en el Estado Mérida. El OAN cuenta con cuatro telescopios: un telescopio doble astrógrafo, un telescopio reflector, un telescopio refractor y un telescopio *Schmidt*; este último, llamado telescopio *Jürgen Stock* (el más importante de los cuatro), tiene una cámara electrónica digital (cámara QUEST¹) de tipo CCD, instalada en el año 1998.

El sistema de la cámara QUEST cuenta con elementos electrónicos y de *software* que permiten controlar la adquisición, almacenamiento y procesamiento las imágenes digitales astronómicas. Por medio de una IGU llamada Panel de Control o “Programa *Observe*”, se manejan los parámetros necesarios para realizar una observación. El CODIA es un complemento a este programa, el cual permite el despliegue de las imágenes de los 16 sensores CCD’s (un sensor a la vez) que componen la cámara QUEST, en observaciones hechas en modo rastreo o *driftscan*². El CODIA está diseñado con una arquitectura Cliente-Servidor; el Cliente-CODIA recibe del servidor los valores numéricos enteros que representan la intensidad lumínica de una fila de píxeles de una imagen del espacio. Esta transferencia se hace de forma fiable y ordenada a través de *Sockets* que utilizan el protocolo de transporte TCP quien es parte de la pila protocolar del sistema operativo QNX, usado en CODIA.

El sistema captura las líneas de datos y luego construye, procesa y despliega una por una las filas de la imagen digital a través de CODIA. El procesamiento digital de la imagen es necesario, pues para que sean útiles, las imágenes astronómicas deben ser de alto contraste. Por lo tanto, este debe realizarse y así mejorar la apariencia visual, tal que permita detectar visualmente estrellas débiles en brillo. La técnica de realce del contraste utilizada en CODIA es una modificación del Método de Expansión Lineal [1].

En el sistema, el despliegue en tiempo real y la adaptación a las condiciones del cielo, permiten una evaluación visual preliminar de la calidad de las imágenes astronómicas.

¹ Siglas en ingles de *Quasar Equatorial Survey Team*: Equipo de Estudio de Quasares Ecuatoriales.

² Una de las dos modalidades para hacer observaciones con el telescopio Stock.

Además de minimizar el tiempo de reacción del observador para resolver problemas que surjan durante una observación puesta en marcha. El tiempo de observación es un factor crítico, ya que en el OAN, más del 60% de las noches del año están nubladas y se debe maximizar el número de imágenes útiles capturadas durante una noche despejada. Además, el CODIA crea un ambiente ideal de trabajo en un observatorio astronómico, ya que el usuario puede observar por pantalla el cielo que el telescopio está captando en un momento preciso, que a pesar de la granularidad de tiempo del sistema, podríamos decir que se puede observar en “tiempo real”.

II. BASES TEÓRICAS

A. Subsistemas de la Cámara QUEST

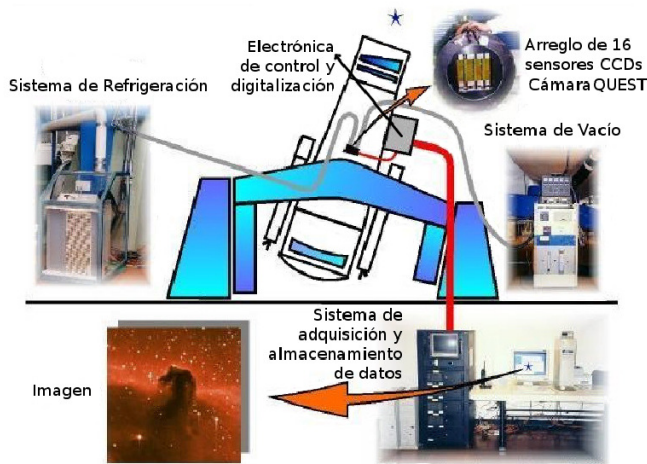


FIG. 1: Sistema de la Cámara QUEST

La cámara QUEST de 67.1 Megapíxeles, consiste principalmente en un mosaico de 16 sensores CCD's. Sin embargo, el sistema completo de la cámara está compuesto por un conjunto de subsistemas que se describen brevemente a continuación:

II.A.1. Sensores CCD's: La cámara QUEST consta principalmente de un conjunto de 16 sensores CCD's de 2048 x 2048 píxel-sensores³ de 15 μm , dispuestos en columnas o “dedos móviles” con cuatro sensores cada uno. Esta movilidad permite adaptar los dedos a diferentes niveles de declinación⁴. Los sensores están instalados en la zona focal del telescopio (ver Fig. 1). Un juego de filtros puede ser montado sobre los detectores, lo que permite eliminar (filtrar) determinadas longitudes de onda, dejando pasar sólo aquellas necesarias para un estudio determinado.

II.A.2. Electrónica de Control y Digitalización (ECD): Está compuesto por un conjunto de 32 tarjetas electrónicas, de las cuales, 16 son tarjetas digitales y las otras 16 son analógicas/digitales. Las tarjetas están instaladas en un bastidor de forma cúbica ubicado en la zona externa del

telescopio (ver Fig. 1). Estas tarjetas se utilizan para sincronizar y leer los 16 detectores de la cámara QUEST. Cada CCD está controlado por dos tarjetas: una digital y otra analógica/digital. La tarjeta digital es la que se encarga de generar y distribuir las señales de temporización necesarias para la operación de los CCD's. La tarjeta analógica/digital es la encargada de recibir la señal analógica de los CCD's, de procesarla y de enviarla al sistema de adquisición de datos.

II.A.3. Refrigeración y Vacío: Estos subsistemas se ubican cerca del telescopio (ver Fig. 1) y permiten reducir los niveles de ruido térmico⁵ que pueden saturar una imagen en pocos segundos. A mayor temperatura mayor ruido térmico y viceversa. Por lo tanto, para reducir el ruido térmico es necesario enfriar todo el conjunto de CCD's a valores muy bajos de temperatura. Esto se logra con un sistema criogénico de lazo cerrado [2], con el cual se puede llegar a temperaturas inferiores a los -80°C . Pero al disminuir la temperatura a valores tan bajos, el vapor de agua que se encuentra en el aire se condensa sobre las superficies frías, así que para evitar los problemas de condensación, las líneas que transportan el líquido refrigerante a la cámara se encuentran al vacío.

II.A.4. Adquisición y Almacenamiento de Datos (AAD): Este subsistema está compuesto por una red de computadoras que describe una topología de árbol en una configuración 4-2-1. Su distribución actual consta de siete computadoras, de las cuales cuatro son para la adquisición de datos, dos para el almacenamiento de datos y una para la interfaz del usuario. Este subsistema se describe con más detalle en la sección III.

B. Tipos de Observación

Antes de hablar sobre los tipos de observación que se pueden realizar con el telescopio *Jürgen Stock*, es necesario saber cómo es el movimiento de los astros en el cielo, ya que el telescopio y la cámara QUEST se deben adaptar a este movimiento para poder realizar una correcta observación astronómica.

Movimiento Sideral: Se refiere al movimiento impropio de una estrella producido por el movimiento de rotación de la Tierra. Este desplazamiento aparente, describe una trayectoria distinta mientras el astro está más alejado del ecuador celeste⁶.

El movimiento de estrellas que está sobre el ecuador celeste, describirías trayectorias en línea recta en sentido Este-Oeste; pero a medida que las estrellas se encuentren más alejadas del ecuador celeste, sus trayectorias describen arcos cuyos radios decrecen mientras más cercanos estén de los polos celestes. Justo en los polos, el desplazamiento aparente del astro sería nulo.

Ahora se explica cómo se deben adaptar el telescopio y la cámara QUEST para realizar una observación del cielo en sus dos modalidades:

II.B.1. Modo Guiado o Apuntado: Es la técnica tradicional de observación; consiste en apuntar con el telescopio a un sector

³ Elementos fotosensibles dispuestos en cuadrícula; al caer los fotones (luz) sobre ellos, liberan electrones los cuales son cuantificados (efecto fotoeléctrico).

⁴ La declinación (δ) y la ascensión recta (α), son coordenadas utilizadas por los astrónomos para ubicar lugares en el cielo.

⁵ Es la agitación de electrones que se produce porque los CCD's no sólo liberan electrones al incidir luz, sino que también lo hacen por efecto de la temperatura.

⁶ Es la proyección del ecuador terrestre en el espacio.

del cielo y seguir su movimiento sideral. Esto se logra gracias a un motor eléctrico que impulsa el movimiento de giro del telescopio. En este modo el obturador de la cámara se abre y se mantiene así durante un tiempo predeterminado. Una vez que transcurre el tiempo de exposición, se cierra el obturador y la imagen fija del cielo que se formó sobre los CCD's se transfiere al computador, es decir, los CCD's se leen después de realizar una exposición. En esta modalidad se recomienda posicionar paralelamente los dedos de la cámara QUEST. Una observación en modo guiado crea una imagen por cada detector CCD, es decir, se obtienen 16 imágenes digitales.

II.B.2. Modo Rastreo o Driftscan: A diferencia del modo guiado, en el Modo Rastreo el telescopio permanece orientado a una posición fija y el cielo se “desplaza” por encima de él. El obturador permanecerá abierto durante la observación. Una sola observación en esta modalidad puede durar toda la noche, ya que los detectores se leen de forma continua, pero por cada 2048 filas del CCD leídas, se genera una imagen digital. El CODIA está diseñado para trabajar en esta modalidad.

Para que los objetos observados preserven su forma real, se deben cumplir simultáneamente dos condiciones [3]:

- Las trayectorias de los astros deben ser rectilíneas y ocurrir, en promedio, sobre una fila de píxel- sensores del CCD. Por esta razón, los dedos se deben mover para que se adapten lo mejor posible al movimiento sideral del astro.
- La lectura de las filas de píxel-sensores de los detectores CCD's, se debe realizar a una frecuencia sincronizada con la velocidad lineal de los astros, es decir, una frecuencia de lectura que es función del movimiento sideral de la estrella y de la declinación del telescopio. En promedio esta frecuencia es de 14,5 Hz.

C. Proceso de Obtención de Datos

El proceso comienza con la selección del tipo de observación y otros parámetros a través del Programa *Observe*. De forma general, para cualquiera de los dos tipos de observaciones, la obtención de la imagen comienza con la apertura del *obturador* de la cámara, dispositivo que permite la entrada de luz a los CCD's. Luego, comienza la fase de recolección de carga eléctrica en la cual los fotones (luz) interactúan con los átomos de silicio (componente del CCD) y liberan electrones (efecto fotoeléctrico); estos electrones son acumulados en paquetes cargados que se trasladan uno por uno a un amplificador, que luego se encarga del proceso de cuantificación; este proceso consiste en medir la carga de cada paquete y generar un voltaje proporcional a la cantidad de luz que se recibió cada píxel-sensor. El proceso de mover los paquetes cargados debe repetirse una y otra vez hasta leer todo el arreglo de píxel-sensores del detector.

La señal de salida del sensor CCD es el voltaje generado por el amplificador. Esta señal analógica es convertida en señal digital a través de la tarjeta analógica/digital que es parte del subsistema de ECD (ver conexiones azules en la Fig. 2). Luego, la señal digital es transferida al subsistema Adquisición

de Datos; este subsistema está compuesto de cuatro computadores (PC1, PC2, PC3 y PC4 de la Fig. 2), donde cada uno recibe las señales digitales de un dedo de la cámara QUEST, es decir, cada computador recibe los datos de cuatro sensores CCD's. En estas computadoras se construye la imagen digital, utilizando el formato de archivo “FITS”. Como estas computadoras tienen poca capacidad de almacenamiento, entonces los datos son transferidos a otras dos computadoras con más espacio de disco duro que componen el subsistema de Almacenamiento de Datos (PC5 y PC6 de la Fig. 2). Los datos de PC1 y PC2 son almacenados en PC5 y los de PC3 y PC4 en PC6. Estas conexiones se pueden apreciar mucho mejor en la Fig. 2. Las computadoras PC1-PC7 utilizan el sistema operativo QNX⁷ y no han sufrido ninguna modificación desde su instalación; tienen las mismas características de hardware y software desde entonces, sólo difieren en sus funciones dentro del sistema.

Finalmente, para poder observar la imagen astronómica, es necesario transferirla a PC7. Este computador tiene instalado el programa *Observe* y otros programas para el análisis de la calidad de la imagen. Adicionalmente, al finalizar la jornada de observación, los datos (imágenes digitales astronómicas) son transferidos en su totalidad a PC7 y a un disco duro externo de gran capacidad, el cual se utiliza para trasladar los datos a la sede del CIDA en la ciudad de Mérida para su posterior uso en investigaciones científicas.

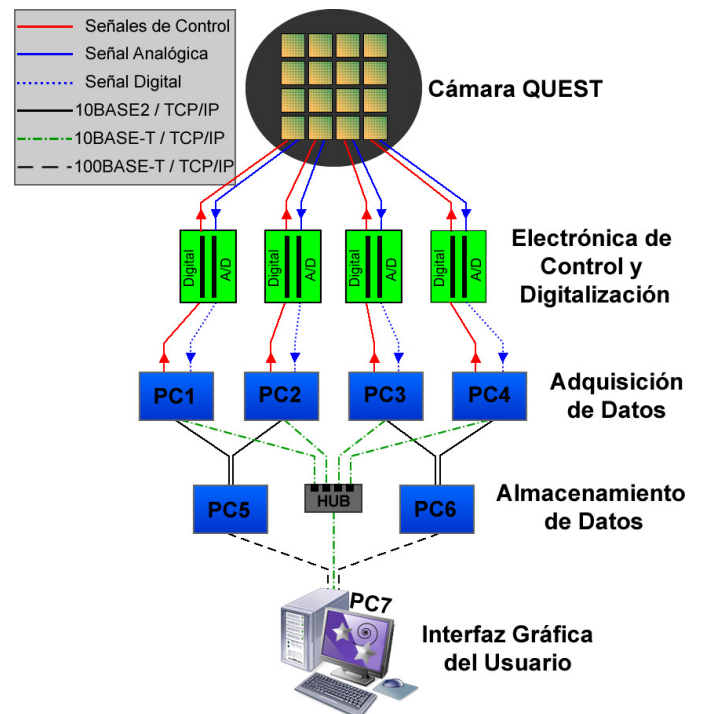


FIG. 2: Diagrama de Conexiones del Sistema de la Cámara QUEST⁸

⁷ Es un sistema operativo privativo poco conocido, hecho especialmente para aplicaciones de tiempo real, en un ambiente de programación UNIX.

⁸ Nótese que el diagrama sólo incluye las conexiones de 4 CCD's (por razones de espacio), aunque realmente cada CCD está conectado a dos tarjetas para el control y digitalización de las señales.

D. La Imagen Digital Generada por la Cámara QUEST

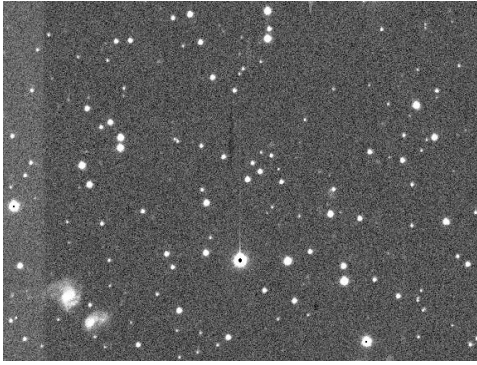


FIG. 3: Imagen Digital Astronómica Generada por un CCD de la Cámara QUEST

La Cámara QUEST genera imágenes digitales (ver Fig. 3) con las siguientes características:

- Imagen de tipo *raster* o mapa de bits.
- Imagen en escala de grises.
- Imagen con una profundidad de color de 16 bpp, es decir, 65.536 tonalidades de grises.
- La profundidad de color está representada en color directo, es decir, no se utiliza una tabla de colores sino que cada valor está almacenado directamente en el píxel.
- El formato de archivo es FITS, el cual es un formato sin compresión muy popular en la comunidad astronómica.

III. ARQUITECTURA Y COMUNICACIÓN DEL SISTEMA DE LA CÁMARA QUEST

A. Arquitectura del Software del Sistema de la Cámara QUEST

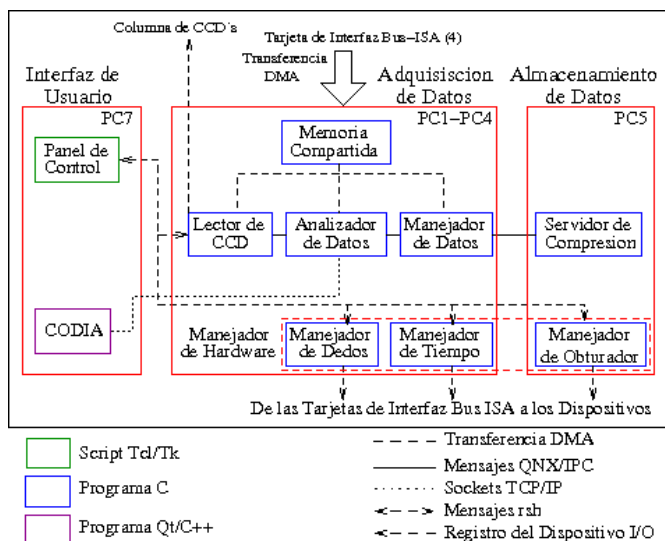


FIG. 4: Arquitectura del Software del Sistema de la Cámara QUEST

La Figura 4 muestra los módulos del sistema y muestra las interacciones entre ellos, los protocolos usados para el intercambio de información, dónde se efectúa el mapeo de memoria y las llamadas a los dispositivos de entrada y salida. En esta arquitectura se exponen 10 módulos [4] que agrupan los programas necesarios para que el sistema alcance los objetivos planteados al inicio del proyecto QUEST. Estos módulos están distribuidos en los siete computadores interconectados por redes Ethernet, mostrados en la Fig. 2.

Inicialmente, la transferencia de datos que se hace desde la ECD hasta el subsistema AAD, se realiza por medio de cable coaxial hasta las tarjetas controladoras de los CCD's que están integradas en las PC1-PC4. Estas tarjetas tienen un *bus ISA* que realiza transferencias de datos por medio de Acceso Directo a Memoria (DMA). Cada uno de estos buses accede a la memoria para leer o escribir independientemente del procesador principal.

El Módulo Lector CCD (MLC) inicia el controlador de los detectores y los Módulos Analizador y Manejador de Datos (MAD y MMA). El MAD tiene elementos para ejecutar diversos análisis y estadísticas de los datos en tiempo real. El MMA se encarga de recibir cada una de las líneas de datos para construir la imagen FITS. Estos 3 módulos que funcionan en las PC1-PC4, hacen uso de memoria compartida para el intercambio de datos. Los Manejadores de Dedos y Obturador permiten controlar estos dispositivos mecánicos y adaptarlos a las necesidades del observador. El Servidor de Compresión sirve para comprimir las imágenes digitales y generar archivos con extensión "*FITS.ENC*".

Finalmente, en PC7 se encuentra el Panel de Control o programa *Observe* que permite iniciar y establecer todos los parámetros de la observación. El CODIA también funciona en este computador y recibe los datos desde las PC1-PC4 a través de *Sockets TCP/IP*. Este proceso se detalla a continuación.

B. Comunicación Cliente – Servidor: Sockets

Ahora que se identifica la trayectoria de los datos, faltaría determinar los procesos que actúan en la transferencia de datos. Entonces, ¿Cuáles son los programas Cliente y Servidor? El programa Cliente es el que recibe los datos de la imagen digital; en otras palabras, el programa cliente es el CODIA, que está instalado en PC7. El programa Servidor se encuentra en el MAD y se llama *scroll.c*. Este programa manda una por una las líneas de datos de la imagen digital procedente de la Memoria Compartida. Este programa era utilizado por un antiguo programa de despliegue llamado *XDrift* [5], que dejó de funcionar por incompatibilidad con actualizaciones en el sistema operativo que se hicieron en años recientes en el computador PC7.

La comunicación entre Cliente y Servidor se hace a través de *Sockets* que permiten el intercambio de cualquier flujo de datos de manera fiable y ordenada. El tipo de *Socket* que utiliza el CODIA es de flujo, y utiliza el protocolo de transporte TCP. Ese flujo de datos viene dado por la lectura, línea por línea, de cada CCD.

Entonces, ¿Qué propiedades tiene una línea de datos? Particularmente, cada píxel tiene un valor numérico que representa la intensidad lumínica (cuentas) del fragmento del

cielo capturado por el detector; a ese valor, se le asigna el tipo de dato *unsigned short int (ushort)*, de 2 Bytes (16 bits) de tamaño y cuyo rango de valores es: [0, 65.535]. Entonces, al multiplicar: 2 bytes/píxel * 2048 píxeles = 4096 bytes por cada línea de datos, que se debe transferir a través del *Socket* a una frecuencia predeterminada.

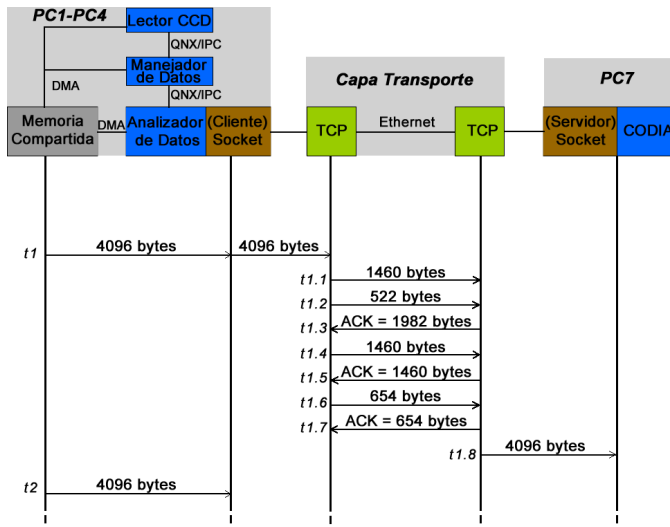


FIG. 5: Diagrama Temporal de Segmentos TCP

La figura 5 muestra que la línea de datos que captura el programa servidor es fragmentada en cuatro segmentos (en el módulo TCP de la Capa Transporte⁹), ya que sobrepasa la MTU¹⁰ de 1500 bytes. Los tamaños de los segmentos TCP suman 4096 bytes. Cada segmento recibido por el programa Cliente (CODIA) es almacenado temporalmente en un *buffer* hasta que el tamaño total de la línea (4096 bytes) es alcanzado. Luego, el CODIA despliega la línea a través de su IGU.

IV. ARQUITECTURA Y FUNCIONAMIENTO DEL CODIA

A. Arquitectura del CODIA

En resumen, el CODIA recibe líneas de datos del programa servidor, las cuales contienen valores enteros que representan la intensidad de la luz de cada píxel-sensor de un CCD. Luego, realiza varias tareas para poder visualizar de manera aceptable la imagen digital. El *software* despliega la imagen captada por un detector a la vez, pero la IGU tiene un panel con el que se puede cambiar la captura del CCD y así abarca los 16 sensores CCD's de la cámara QUEST. La lectura, proceso y despliegue de la imagen digital se hace línea por línea, ya que el CODIA está diseñado para desplegar observaciones hechas en modo *drift scan*.

El Componente está escrito en Lenguaje C++, utilizando elementos de interfaz gráfica y de procesamiento de imágenes digitales de la biblioteca *Qt*. Se utilizó como ambiente de desarrollo el *Qt Creator*, el cual es un Entorno de Desarrollo Integrado (EDI), que facilita la escritura, visualización y

compilación del código fuente.

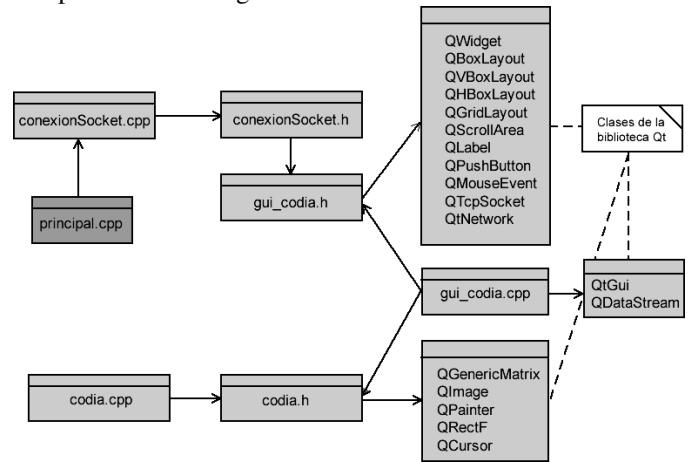


FIG. 6: Diagrama de Dependencias del CODIA

La estructura del CODIA se muestra en la Fig. 6, donde observamos las dependencias entre las diferentes clases que se desarrollaron para realizar todas las tareas que se describen en la siguiente sección. El software utiliza básicamente tres clases que se describen a continuación:

- Clase “*conexionSocket*”: Contiene funciones que establecen la conexión con el *Socket* emisor del programa servidor. Después de establecida la conexión, los segmentos capturados son almacenados en un *buffer* hasta que se completan los 4096 bytes de la línea de datos.
- Clase “*gui_codia*”: Se encarga de generar la interfaz gráfica a partir de clases propias de la biblioteca *Qt*. Esta clase hace uso de la clase “*codia*” para poder desplegar la imagen digital.
- Clase “*codia*”: Contiene funciones que se encargan de construir y procesar la imagen digital a partir de las líneas de datos recibidas por el *Socket*.

B. Funcionamiento del CODIA

Las tareas que realiza el CODIA se observan en el diagrama de flujo de la Fig. 7. Se debe acotar que el diagrama resume las tareas del CODIA para darle una perspectiva más amplia y así facilitar su entendimiento. Aunque el algoritmo parezca sencillo, dentro de cada tarea se realizan una serie de pasos adicionales que se explican a continuación:

IV.B.1. Leer una línea de la fuente: La fuente se refiere al programa Cliente que se encuentra instalado en las PC1-PC4. Se recuerda que la línea de datos (de 4096 bytes de tamaño) es fragmentada y llega al *Socket* del CODIA en cuatro segmentos. Cada segmento es almacenado temporalmente en un *buffer* hasta que el número de bytes recibidos es igual a 4096. En este caso, el *buffer* es un vector de tipo *ushort* con 2048 elementos de longitud. Cuando el vector está lleno, entonces se almacena en una matriz de números enteros de tipo *ushort*, que representa la matriz de datos de la imagen digital, donde cada celda simboliza la intensidad lumínica o *cuentas* de cada píxel-sensor de un CCD, y cuyo rango corresponde al de una imagen de 16 bpp de profundidad de color.

⁹ Una de las siete capas del Modelo OSI (*Open System Interconnection*).

¹⁰ Siglas en inglés de *Maximum Transfer Unit*.

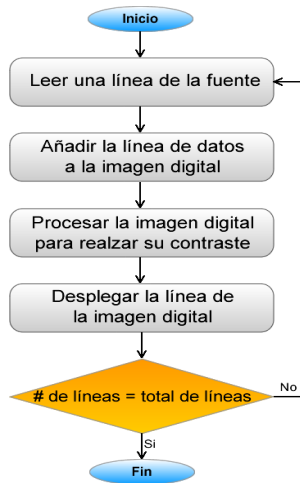


FIG. 7: Diagrama de Flujo Básico del CODIA

IV.B.2. Añadir la línea de datos a la imagen digital: Para construir una imagen digital utilizando la biblioteca *Qt*, se utiliza la clase *QImage*. Esta clase provee de una estructura para la imagen digital que permite acceso directo a los datos de los píxeles y puede utilizarse para la visualización a través de otras clases. Para la construcción de la imagen, se debe asignar previamente un formato a la imagen digital. Desafortunadamente, *QImage* aún no ofrece un formato de 16 bpp en escala de grises. Entonces, para poder desplegar la imagen utilizando *QImage*, se deben reescalar los datos a un formato que soporte esta clase.

Una opción viable es reescalar los datos de 16 bpp a 8 bpp ($2^8 = 256$ niveles de gris), utilizando un formato de 8 bpp en color directo bajo el Modelo RGB. Pero, ¿Cómo se representa la escala de grises en el Modelo RGB? Para representarla, se debe cumplir con la condición (1):

$$\text{Valor en R} = \text{Valor en G} = \text{Valor en B} \quad (1)$$

Entonces, para que cada canal pueda tener 2^8 niveles de color, se debe utilizar un formato de 24 bpp de profundidad de color, ya que cada componente de una imagen de 24 bpp posee 8 bits. Pero como se debe cumplir con la condición anterior, esta imagen de 24 bits no posee 2^{24} colores, sino que tiene 2^8 tonalidades de grises.

Luego del reescalamiento, se construye la imagen digital utilizando la clase *QImage*. Esta imagen se inicializa con dimensiones de 2048 píxeles de ancho y valor n de alto; donde n es el número de líneas totales que la observación en modo rastreo leerá. Cada línea de datos leída es añadida a esta estructura de imagen digital y se almacena para ser procesada en el siguiente paso.

IV.B.3. Procesar la imagen digital para realzar su contraste: Las imágenes astronómicas tienen la particularidad de ser imágenes de alto contraste, es decir, poseen objetos muy brillantes (astros) en un fondo muy oscuro (fondo de cielo). Si se despliega una imagen astronómica sin realzar su contraste, o sea, sin transformar los valores de los píxeles, entonces se obtendría una imagen como la de la Fig. 8(a), en la que sólo los objetos muy brillantes son apreciables en un fondo de cielo totalmente negro.



FIG. 8(a): Imagen astronómica desplegada sin realce de contraste

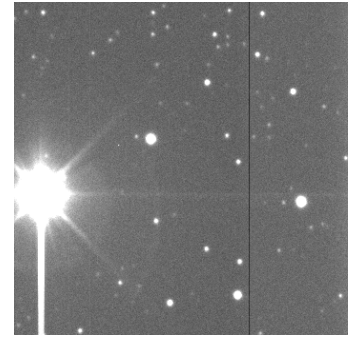


FIG. 8(b): Imagen astronómica transformada con el método de Expansión Lineal Modificada

Para atacar este problema existen varias técnicas o algoritmos de transformación de la imagen, diseñados para mejorar o realzar el contraste. El utilizado por el CODIA es una modificación del algoritmo de Expansión Lineal [1].

Método de Expansión Lineal Modificada (MELM): Esta técnica hace uso del histograma de la imagen digital, el cual representa la frecuencia con la que los valores de intensidad lumínica (o niveles de grises) se repiten en la imagen; pero si estos valores son considerados como variables aleatorias en el intervalo $[0,1]$, entonces su histograma representaría su Función de Densidad de Probabilidad (FDP) [6]. La FDP es una función que describe la densidad de la probabilidad en cada punto del espacio. La FDP debe pertenecer a una Distribución de Probabilidad, pero, ¿a cuál?

Se utilizó el fondo del cielo como referencia para este estudio, ya que siempre abarca la gran mayoría del área de una imagen astronómica. Se puede demostrar que el fondo del cielo se distribuye Normalmente.

Entonces, en el Método de Expansión Lineal original, los datos se reescalan entre el mínimo y el máximo del histograma de la imagen; pero en el MELM, los extremos de este intervalo serán calculados utilizando los parámetros de la distribución Normal. Se sabe que en una curva Normal, más del 95% de la probabilidad se encuentra entre: $\mu \pm 2\sigma$, donde μ es la media y σ la desviación estándar. Por lo tanto, los nuevos intervalos de reescalamiento son: $z_1 = \mu - 2\sigma$ y $z_2 = \mu + 2\sigma$, obteniendo así la función de transformación que se observa en la ecuación (2):

$$f(x_{i,j}) = \begin{cases} 0 & \forall x \in [0; z_1) \\ \frac{255}{z_2 - z_1}(x - z_1) & \forall x \in [z_1; z_2] \\ 255 & \forall x \in (z_2; 255] \end{cases} \quad (2)$$

Donde $x_{i,j}$ representa el píxel en la posición $[i, j]$ de la imagen digital. Finalmente, al transformar la imagen astronómica con este método, se obtiene una imagen de salida como la mostrada en la Fig. 8(b), la cual presenta una mejora del contraste bastante considerable en comparación con la imagen sin transformar. Se detallan estrellas con brillos débiles que en la Fig. 8(a) eran imperceptibles. Es una imagen que ofrece una visualización muy aceptable, por lo tanto, el CODIA usa este método para el despliegue de las imágenes astronómicas.

IV.B.4. Desplegar la línea de la imagen digital: Para el despliegue de las imágenes, se diseñó una IGU que despliega la imagen digital línea por línea, es decir, se anexa una línea de 2048 píxeles, una debajo de la otra, mostrando sólo las últimas 512 líneas de la observación en modo rastreo. El despliegue logra un efecto de “desplazamiento” del cielo, que se puede apreciar de mejor forma en el video, cuyo enlace es:

<http://www.youtube.com/watch?v=A5WryrM2NAk>.

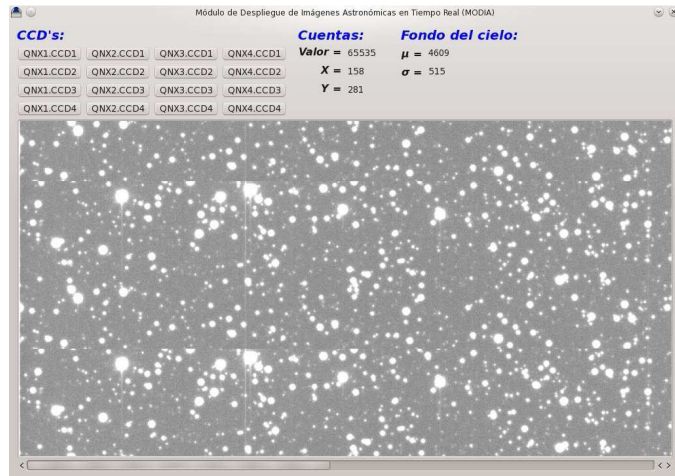


FIG. 9: Interfaz Gráfica de Usuario del CODIA

Adicionalmente, la IGU posee un panel en la parte superior de la ventana que tiene tres secciones (ver Figura 4.15), que a continuación se explican:

- **CCD's:** Esta sección está compuesta por 16 botones que representan a los 16 detectores de la cámara QUEST, de manera que el observador pueda escoger la imagen de cualquier detector, una a la vez. Cada botón manda un mensaje al programa servidor a través del *Socket*; el mensaje contiene la etiqueta del CCD.
- **Cuentas:** Ofrece información del valor de las cuentas (intensidad lumínica) de un píxel en particular de la imagen que se está desplegando. Esto se logró utilizando los eventos del *mouse* que ofrece la clase *QMouseEvent* de la biblioteca *Qt*.
- **Fondo del Cielo:** Suministra información estadística del Fondo del Cielo, tal como la media μ y la desviación estándar σ , que son de mucha utilidad para el observador, ya que es información cuantitativa de las condiciones del cielo.

V. ANÁLISIS DE RENDIMIENTO

Aunque la ubicación del OAN, cerca del ecuador celeste, ofrece una gran ventaja frente a otros observatorios del mundo, las condiciones meteorológicas no son buenas. Cerca del 60% de las noches del año están nubladas, por lo tanto se debe aprovechar al máximo las noches despejadas, que por lo general son en la temporada que comprende los meses entre Noviembre y Marzo.

Un problema crítico de pérdida de tiempo, era la verificación de las imágenes cuando una observación en modo

rastreo estaba en progreso (sin el CODIA). La transferencia de las 16 imágenes desde las PC5-PC6 hasta PC7 podía durar hasta 8 minutos en promedio. Si había algún error en las imágenes, se debían hacer las correcciones necesarias y volver a transferir las 16 imágenes para una nueva verificación, perdiendo así más de 15 minutos de tiempo observable. Con la introducción del CODIA, se logró reducir considerablemente este factor de pérdida de tiempo.

Como se explicó en la sección II.B.2., la frecuencia de lectura de las líneas del CCD, en promedio es de 14.5 Hz , que es aproximadamente igual a 0.07 s/línea ó 141 s/cuadro (1 cuadro = 2048 líneas). En otras palabras, el tiempo que transcurre entre t_1 y t_2 de la Fig. 5 es de $\sim 0.07 \text{ s}$. Este tiempo no puede cambiar ya que la frecuencia es función del movimiento sideral de la estrella y de la declinación del telescopio. Entonces, para poder observar con el CODIA una parte de la imagen que sea lo suficientemente grande como para concluir que la observación tiene o no errores, se debe esperar ~ 18 segundos que es lo que se tarda en desplegar 256 líneas (1/4 parte de un cuadro). Minimizando así, casi 50 % del tiempo de observación perdido cuando surgen errores en una observación puesta en marcha.

Por otra parte, en la Fig. 5 también observamos que la segmentación (tamaño de los paquetes) es desorganizada, y en consecuencia, poco eficiente en la transferencia. El tiempo que transcurre entre $t_{1.1}$ y $t_{1.7}$ es de 0.04 s en promedio. Nótese que el primer segmento alcanza el MSS (1460 bytes) y el segundo es de menor tamaño (522 bytes), luego el tercer segmento vuelve a alcanzar el MSS y el cuarto es de menor tamaño (654 bytes). Aunque los segmentos se envían y reciben de forma fiable y ordenada gracias al protocolo de transferencia TCP, la segmentación puede ser optimizada, es decir, que los segmentos sean del máximo tamaño posible. Queda como trabajo futuro el estudio de técnicas en la Capa Aplicación, que mejoren el proceso de transferencia a nivel de la Capa Transporte.

VI. CONCLUSIONES

El CODIA sirve como herramienta de evaluación visual preliminar para la calidad de las imágenes que se toman en modo rastreo con el telescopio *Jürgen Stock*, desde la perspectiva de un detector a la vez. Pero además arroja información cuantitativa de las condiciones del cielo, como son la media y la desviación estándar del Fondo del Cielo. También cuenta con una utilidad interactiva a través del *mouse* de la computadora, en la que se puede hacer clic sobre la imagen y obtener el valor de la cuenta de un píxel específico, ofreciendo una ventaja para las observaciones de calibración y pruebas de ingeniería. En resumen, el CODIA crea un ambiente ideal de trabajo en un observatorio astronómico, ya que ofrece un conjunto de utilidades que dan información en tiempo real, que logra minimizar el tiempo de reacción del observador para atacar problemas que puedan surgir en una observación en proceso, evitando la espera en la transferencia de imágenes FITS desde el subsistema AAD hasta PC7.

Otro logro, es el desarrollo de una versión adicional del

CODIA (CODIA 512) que despliega una imagen redimensionada a 512 píxeles de ancho, tal como funcionaba el antiguo programa de despliegue llamado *XDrift*. Esta versión fue solicitada por el Departamento Técnico del CIDA, ya que consideraron importante poseer un programa de despliegue que funcione sin modificar el software original que controla la cámara QUEST.

Una parte muy interesante en el desarrollo del proyecto fue el procesamiento en tiempo real de una imagen digital astronómica. Las imágenes del cielo nocturno tienen la particularidad de ser de alto contraste (objetos brillantes sobre un fondo muy oscuro) y en las que el Fondo del Cielo cubre la mayor área de la imagen, lo que dificultó encontrar un algoritmo que realzara el contraste de manera aceptable. Por esta razón, se propuso el MELM en base a estadística, con el que se obtuvieron buenos resultados. Este método adapta el contraste a diferentes condiciones del cielo, tomando siempre como referencia los datos del Fondo del Cielo.

El desarrollo del CODIA es un ejemplo de que las necesidades de software por parte de la Organización han cambiado con el pasar del tiempo. La importancia de conseguir una independencia tecnológica, tanto en software como en hardware, es vital para futuros trabajos relacionados con el telescopio *Jürgen Stock*, que se recuerda, es el instrumento más importante del OAN. En el CIDA, hay varios proyectos en progreso para lograr ese objetivo: el más importante de ellos es el desarrollo de la electrónica que controlará la nueva cámara de sensores CCD's, recientemente adquirida por la institución. Otro proyecto significativo es el la migración del software original que controla la cámara, desde el sistema operativo *QNX* a *Linux*. Particularmente, el CODIA puede seguir creciendo y transformarse en una herramienta de análisis completo de la calidad de las imágenes astronómicas. Para lograr ese objetivo, la aplicación debe tener algoritmos que calculen el *seeing* y la *elipticidad* (son parámetros utilizados en astronomía para denotar la calidad de la imagen astronómica) en la imagen que se despliega en tiempo real. Además, con el análisis hecho en la sección V, se pueden aplicar técnicas para la optimización en la segmentación a nivel de la capa de transporte, lo que permitiría la viabilidad en el despliegue de más de una imagen a la vez, o idealmente, desplegar las imágenes de los 16 sensores CCD's de la cámara QUEST al mismo tiempo.

- [5] Baltay C. et al. "A Large-Area CCD Camera for the Schmidt Telescope at the Venezuelan National Astronomical Observatory". The Astronomical Society of the Pacific. Vol. 114, pp. 780–794, 2002.
- [6] Gonzalez, R.. "Digital Image Processing". New Jersey: Prentice Hall. 2001.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Kumar M. "Digital Image Processing". No publicado. 2005.
- [2] Snyder, J. et al. "QUEST Camera I: A 67 Megapixel CCD Camera Optimized for Driftscan Quasar Discovery". Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, Vol 3355, pp 635-645.
- [3] Downes J. "Estudio Observacional de la Formación de Objetos Subestelares". Tesis de Doctorado. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela, 2011.
- [4] Rodríguez C. "Estudio y Modificación del Sistema de Adquisición, Almacenamiento y Procesamiento de Imágenes Astronómicas del Telescopio *Jürgen Stock*". Tesis de Maestría en Computación. Universidad de Los Andes, 2007.