

GENERACIÓN DE DATOS ASTERIX CAT 240 MEDIANTE FPGA

Nélida Gálvez¹, Mariano Valdez², and Ricardo Cayssials^{2,3}

¹SIAG, Armada Argentina, Puerto Belgrano, Argentina
nelida.b.galvez@gmail.com

²FRBB - Universidad Tecnológica Nacional, Bahía Blanca,
Argentina

³DIEC- Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina
rcayssials@frbb.utn.edu.ar

Resumen

En este trabajo se describe el diseño e implementación, basado en dispositivos FPGA, de un sistema de procesamiento para la captura y transmisión de video crudo Radar. La comunicación de la información cumple con el protocolo ASTERIX, ampliamente adoptado a nivel mundial, principalmente para el control de tráfico aéreo. En este caso se utiliza la categoría CAT 240, siendo éste el estándar para transferencia de video crudo Radar.

Keywords— Video Radar ASTERIX CAT 240 FPGA.

1. INTRODUCCIÓN

Antes de los años 80, no existía en Europa un formato común para entregar los datos de Radar a los controladores de tráfico aéreo, por lo que no estaba organizado el espacio aéreo, especialmente en las fronteras, donde la situación se complicaba aún más. Teniendo en cuenta el creciente aumento de la aviación civil y militar, surgió la necesidad de establecer un formato común para la transmisión de los datos para todo el continente. En los años 60, Maastricht UAC (MUAC), desarrolló un proveedor de servicio de navegación solamente para cuatro estados, Bélgica, Alemania, Luxemburgo y Holanda, operado por EUROCONTROL [9]. En el año 1984, este mismo organismo, presentó un formato estándar para toda Europa, que fue aprobado en Julio de 1986, dando origen así al protocolo ASTERIX, cuyo nombre proviene de “All purpose STructured Eurocontrol SuRveillance Information eXchange format”(ASTERIX) [3].

Posteriormente, en 1994, se creó la Surveillance Task Force for Radar Data Exchange (STFRDE) para continuar las tareas de mantenimiento. Desde entonces, hasta la fecha, el uso de esta definición se extendió por todo el mundo, brindando una estandarización para el intercambio de datos para Radares primarios, secundarios, monopulsos, modo S y Radar meteorológico, multisensor, links de datos y de monitoreo, SMGCS [3], [6].

Actualmente este protocolo se utiliza para aplicaciones tanto civiles como militares, e incluso para aplicaciones de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN), en inglés NATO (North Atlantic Treaty Organization). Tiene por objetivo la codificación de la información proveniente de Radares, en una trama de datos que se puede transmitir por Ethernet [6]. Esta estandarización facilita el intercambio de datos de vigilancia aérea entre países y dentro del mismo, con una transferencia significativa de información, mediante una representación normalizada. Es además, uno de los códigos abiertos más utilizados mundialmente, que brinda seguridad del control de tráfico aéreo. Tiene además la ventaja de utilizar cualquier medio de comunicación disponible, tales como serie, asincrónico, LAN (TCP/IP, UDP/IP), etc. [11].

Los estándares ASTERIX clasifican un conjunto de tipos de mensajes denominados categorías (CAT). Hasta la última publicación realizada por EUROCONTROL el 4 de Junio de 2024, hay un total de 255 categorías, así por ejemplo, CAT-48, establece el formato para el intercambio de reportes de tracks que determinan posiciones de objetos, como así también CAT-240, se utiliza para distribución de video crudo Radar [10], [6].

Esta estandarización se define por medio del Perfil de Aplicación del Usuario, o del Inglés, User Application Profile (UAP), donde se catalogan todos los ítems de datos, su orden, su longitud, asignación y cualquier requerimiento específico que se necesite establecer para la transmisión e interpretación exitosa de los mensajes [3].

En este trabajo, estos estándares se aplican, en particular, al procesamiento de Video Crudo Radar para la generación de datos mediante protocolo ASTERIX, mediante la categoría CAT 240. El sistema desarrollado utiliza un dispositivo FPGA para organizar el envío, que posteriormente se realizará por medio del protocolo de datagramas de usuario (UDP). El principal objetivo de este desarrollo, es el de brindar a la Armada Argentina un sistema para generación de datos con formato ASTERIX, para captura y transmisión de video crudo Radar estandarizado.

Este artículo, es organizado de la siguiente manera: En la Sección I se da una breve introducción al tema con una reseña histórica. En las secciones II y III, se analiza el formato y estructura del protocolo ASTERIX para transmisión de datos crudos Radar. En la Sección IV se describen los principios básicos de las señales provenientes de un Radar. En las secciones V, VI y VII, se brindan detalles del formato de la trama, de la implementación del sistema sobre un dispositivo FPGA, con el detalle los bloques implementados y el resultado de las pruebas realizadas. Finalmente se agregan en la sección VIII las conclusiones y en la sección IX, los agradecimientos por los aportes recibidos.

2. ESTADO DEL ARTE

Teniendo en cuenta que el protocolo ASTERIX, es ampliamente aplicado a nivel global para intercambiar información proveniente de Radares, según se describe en [6], por lo tanto, es motivo de investigación por múltiples autores y organizaciones con el fin de realizar aportes científicos y mejoras tecnologías que permitan su implementación de un modo eficiente para las aplicaciones de tiempo real donde será utilizado.

Algunos ejemplos se detallan a continuación, en [14] se propone un método para integrar los datos de la aviación civil ASTERIX en video vigilancia aeroportuaria. En [15] se trabaja sobre la categoría CAT 015, que habitualmente se emplea en varios tipos de Radares de vigilancia, independientes y no cooperativos, tales como monoestáticos, multiestáticos giratorios, etc. para el intercambio pasivo de datos de un Radar de ubicación coherente [7].

Así mismo, en [16] se realiza un estudio sobre el protocolo CAT 240, para indicar que tiene campos de utilización que a veces requieren ser configurados con parámetros específicos de la aplicación. El componente que se propone en este trabajo está parametrizado para las diferentes configuraciones de los Radares a los que van a ser aplicados, fuertemente basados en la naturaleza analógica de la época en que fueron diseñados. El diseño propio del componente propuesto, permite una eficiente y flexible adecuación de diferentes tecnologías de diseño, incrementando la vida útil del equipamiento existente.

3. ESTRUCTURA GENERAL DEL MENSAJE ASTERIX CAT 240

En esta sección, se describe el formato de los mensajes del protocolo ASTERIX CAT 240 para la transmisión de video de un Radar giratorio, hacia una consola de representación local o remota [3]. El Video Radar (VR) consiste en un flujo de celdas, agrupadas por radiales, que corresponden al mismo acimut, ordenadas por rango creciente y que son transmitidas por acimut creciente.

3.1. Bloque de Datos

El bloque de datos es considerado la unidad elemental de información. Contiene uno o más registros con datos correspondientes a la misma categoría del protocolo. Según se puede apreciar en la Fig.1, un bloque de datos, está compuesto por:

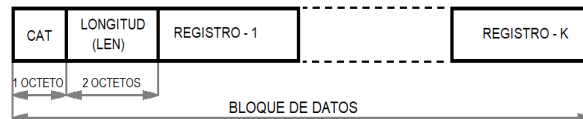


Figura 1: Estructura de un mensaje ASTERIX.

- Un campo de un octeto, en el que se indica la categoría de los datos que se transmiten.
- Un indicador de longitud de campo de dos octetos (LEN), en el que se indica la longitud total (en octetos) del bloque de datos, lo que incluye también a los campos CAT y LEN.
- Uno o más Registros que contienen los datos de la categoría correspondiente, cuya longitud es la de un bloque de datos. Esta longitud es variable pero su tamaño siempre es múltiplo de un octeto.

3.1.1. Registro

Según se puede apreciar en la Fig.2, el registro, está formado por los siguientes sub-bloques:

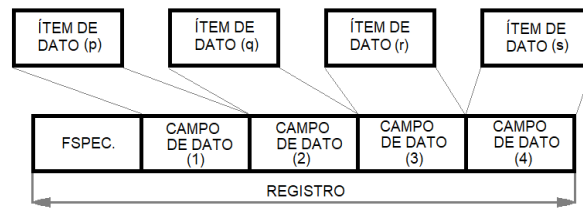


Figura 2: Registro.

- Una especificación de campo (FSPEC) que tiene longitud variable, donde cada uno de sus bits indica la presencia (bit establecido en uno) o ausencia (bit establecido en cero) de un campo de datos definido.
- Un número variable de campos de datos. Cada Campo de datos está asociado solamente con un elemento de datos, tal como lo define la UAP.
- Identificación de la fuente, presente en cada registro.
- Longitud de un Registro, está implícita en su estructura y siempre es un múltiplo de un octeto.

3.1.2. Campos de Datos

La longitud de los campos de datos de la categoría CAT 240 del protocolo ASTERIX puede ser fija o variable, según se puede apreciar en la Fig.3:

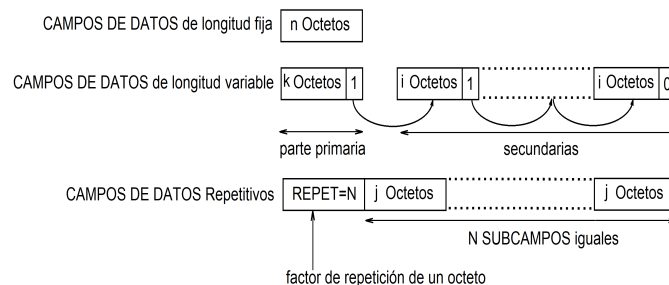


Figura 3: Tipos de Campos de Datos.

- Los campos de datos de longitud fija, tienen, como su nombre lo indica, un número fijo de octetos.
- Los campos de datos de longitud extendida, son de longitud variable, contienen una parte principal de longitud predeterminada, a continuación un conjunto de partes secundarias, que también son de longitud predeterminada. La parte secundaria que sigue a continuación, se indica mediante el establecimiento de uno de los bits menos significativos (LSB) del último octeto de la parte anterior (ya sea la parte primaria o una parte secundaria). Este bit, reservado para ese propósito, se denomina *Indicador de extensión de campo*, del Inglés Field Extension Indicator (FX).

- Campos de Datos de longitud Explícita, inician con un indicador de longitud de un octeto, que indica la longitud total del campo en octetos, e incluye al *indicador de longitud*.
- Campos de Datos Repetitivos, de longitud variable, contiene un *Indicador de Repetición de Campo*, del Inglés Field Repetition Indicator (REP), de un octeto, e indica la presencia de N subcampos consecutivos, donde cada uno tiene la misma longitud predeterminada.
- Campos de Datos Compuestos, estos campos, son de longitud variable, contienen un subcampo, seguido por subcampos de datos. El primer subcampo indica la presencia o ausencia de los subsiguientes subcampos de datos.

4. DESCRIPCIÓN Y PRINCIPIOS DEL PROTOCOLO ASTERIX CAT 240

Al transmitir VR, se envían dos tipos de datos [1]:

- Un compendio de la información de video, que contiene un conjunto de caracteres en ASCII, cuyo objetivo es entregar un flujo de meta datos, por medio de una etiqueta.
- Un conjunto de celdas de video crudo Radar: cuyo objetivo es el de proporcionar un flujo de celdas con datos de video crudo Radar.

4.1. Bases

En [2] se establecen los siguientes principios del protocolo:

- *UAP*. Para este protocolo, se define una única UAP.
- *Bloque de Datos*, está compuesto de acuerdo a las Fig. 1 y Fig. 2, donde el Campo de Dato contiene las muestras de VR.
- *Items de Datos*. Los mensajes se componen de Items de Datos, los cuales se ordenan de acuerdo al Número de Referencia de Campo o del Inglés, Field Reference Number (FRN), en la UAP asociada. Al enviar cada ítem, siempre se transmiten en el registro con los bits de FSPEC en ‘uno’.
- *Administración del tiempo*. Debe coincidir con el tiempo de transmisión de la información. Cada radial tiene su propia indicación de tiempo. Las unidades se encuentran especificadas en ICAO Annex 5 [12].
- *Bits no utilizados*. Es recomendable que los bits que no se utilizan se coloquen en cero.
- *Definiciones y direccionamiento*. Con el objetivo de evitar ambigüedades, se diseñó un modelo abstracto y simple, para conceptos tales como sensores o sistemas. Por ejemplo: en la Categoría 240, un *Sistema* se refiere a un dispositivo que entrega o recibe datos en ASTERIX y los códigos: (a) Código de Identificación de Sistema ó del Inglés System Identification Code (SIC). (b) Código de Área del Sistema ó del Inglés System Area Code (SAC). SAC/SIC. Estos códigos, se asignarán por convención a todos los sistemas, para direccionarlos en forma correcta.

4.2. Estructura de los Mensajes

En la Tabla 1, se describe la lista de ítems presentes para los dos tipos de mensajes (resumen de video o celdas de video) donde ‘M’ corresponde a obligatorio, ‘O’ a opcional y ‘X’, a nunca presente [5].

¹ El ítem I240/040 ó I240/041 debe estar presente en cada Mensaje de Video.

² El ítem I240/050 ó I240/051 ó I240/052 debe estar presente en cada mensaje de video.

Cada Ítem de dato se describe a continuación:

1. **Ítem de Datos I240/000: Tipo de Mensaje.** Este Ítem de dato, se usa para lograr un manejo más conveniente de los mensajes por parte del receptor, al definir el tipo de transacción. Se encuentra en todos los mensajes ASTERIX. Su longitud es de un octeto fijo.
2. **Ítem de Datos I240/010: Identificador de Fuente de Datos.** Este ítem identifica el sistema del cual provienen los datos. Tiene una longitud de dos octetos fijos. Los bits menos significativos (8/1) se reservan para el SIC. Los bits más significativos (16/9) se reservan para el SAC.
3. **Ítem de Datos I240/020: Encabezado de Registro de Video.** Contiene un identificador de secuencia de mensaje. Tiene una longitud de cuatro octetos fijos y es utilizado por la aplicación del usuario para detectar mensajes perdidos.
4. **Ítem de Datos I240/030: Resumen de Video.** Este ítem contiene una cadena en ASCII, con texto libre cuyo objetivo es el de definir un flujo de meta datos. Es repetitivo, comienza con un Indicador de repetición de campo, del Inglés Field Repetition Indicator (REP) de un octeto, lo sigue por lo menos un subcampo con un caracter (CHAR) en ASCII de un octeto.
5. **Ítems de Datos I240/040 y I240/041: Encabezado de Video Nano y Femto respectivamente.** Estos ítems definen un grupo de celdas de video pertenecientes a un radial de video. Todas las celdas son del mismo tamaño en rango y acimut y se encuentran consecutivas en rango. Tienen una longitud de doce octetos fijos. Para I240/040, el bit menos significativo, del Inglés Least Significant Bit (LSB) es $LSB = 10^{-9}$ s. Para I240/041, $LSB = 10^{-15}$ s. Ambos Ítems de Datos se describen del siguiente modo:
 - Bits 96/81 (START_AZ) Acimut inicial del grupo de celdas $LSB = 360/2^{16}$, Rango: [0;360]
 - Bits 80/65 (END_AZ) Acimut final del grupo de celdas $LSB = 360/2^{16}$, Rango: [0;360]
 - Bits 64/33 (START_RG) Rango de inicio del grupo de celdas expresado en número de celdas. Donde ‘0’ es la ubicación del Radar sin cesgo.
 - Bits 32/1 (CELL_DUR) Duración de la celda de video en nano-segundos.
6. **Ítem de Datos I240/048: Resolución de Celdas de Video e Indicador de Compresión de Datos.** Este Ítem de dato, define la resolución en bits que se utiliza para definir la amplitud de la señal de VR en todas las celdas, además, tiene un indicador de compresión de datos. Tiene una longitud fija de dos octetos:
 - Bit 16 (C) Indicador de compresión: 0 → sin compresión, 1 → con compresión.
 - Bits 15/9 (Spare): sin función definida.

- Bits 8/1 (RES): Resolución, se utiliza para definir la amplitud de la señal de video en todas las celdas del grupo de video.

7. **Ítem de datos I240/049, Octetos de Video y Contadores de Celdas de Video:** Este ítem de datos, es de longitud fija de cinco octetos. En el mismo se indica el número de octetos válidos, o sea, se refiere a los octetos no vacíos que son utilizados para definir la amplitud de la señal de video y el número de celdas válidas en el grupo de video.

- Bits 40/25 (NB_VB): Cantidad de octetos válidos en alguno de los siguientes ítems (el que se encuentre presente) → I240/050, I240/051 ó I240/052.
- Bits 24/01 (NB_CELLS): Cantidad de celdas válidas en alguno de los siguientes ítems (el que se encuentre presente) → I240/050, I240/051 ó I240/052.
- Bits 8/1 (RES): Resolución, se utiliza para codificar la amplitud de la señal de video en todas las celdas del grupo de video.

8. **Ítem de datos I240/050 Bloque de video de bajo volumen de datos:** Este ítem, es repetitivo e inicia con un Indicador de Repetición de Campo (REP). Lo sigue por lo menos, un bloque de video de cuatro octetos.

- Bits 40/33 (REP): Indica el número de bloques de video que siguen a continuación.
- Bits 32/1 (BLOQUE DE VIDEO): Amplitud de la señal de video de las celdas en el grupo. Se decodifican de acuerdo a la resolución definida en el Ítem I240/048.

Notas:

- Se debe tener en cuenta que la primera celda en el bloque, siempre corresponde a la más cercana al sensor y las siguientes, van en orden ascendente.
- La fórmula que se utiliza para obtener el rango, en metros, de la celda en la posición deseada (NU_CELL) dentro del conjunto de datos, es la siguiente: $D = CELL_DUR[seg] * (START_RG + NU_CELL - 1) * c / 2$, donde c es la velocidad de la luz y su valor se toma como $c = 299,792,458$ metros/seg.

9. **Ítem de dato I240/051, Bloque de Video, de Volumen Medio de Datos:** Este ítem inicia con un Indicador de Repetición de Campo (REP) de un octeto y a continuación, lo sigue por lo menos un bloque de sesenta y cuatro octetos. Es repetitivo y contiene un grupo de celdas del mismo tamaño en acimut y rango, consecutivas en rango. Se utiliza para transmitir volumen medio de datos (hasta 1.6320 bytes).

- Bits 520/513 (REP): Indica la cantidad de bloques de video que siguen a continuación.
- Bits 512/1 (BLOQUE DE VIDEO): Contiene la amplitud de la señal de video de las celdas de rango en el grupo. Se decodifican según la resolución definida en el Ítem I240/048.

Notas: Ídem Ítem de datos I240/050.

10. **Ítem de dato I240/052, Bloque de Video, de Volumen Alto de Datos:** Este ítem de datos es repetitivo. Se utiliza para transmitir un volumen alto de datos (hasta 65024 bytes). Contiene un grupo de celdas del mismo tamaño en

N° Ítem Dato	Ref de	Descripción	001 - Resumen de Video	002 - Video
I240/000		Tipo de Mensaje	M	M
I240/010		Identificador de Fuente de Datos	M	M
I240/020		Encabezado de Registro de Video	X	M
I240/030		Resumen de Video	M	X
I240/040		Encabezado de Video Nano	X	O ¹
I240/041		Encabezado de Video Femto	X	O ¹
I240/048		Resolución de Celdas de Video e Indicador de Compresión de Datos	X	M
I240/049		Octetos de Video y Contadores de Celdas de Video	X	M
I240/050		Bloque de Video de Bajo Volumen de Datos	X	O ²
I240/051		Bloque de Video de Volumen Medio de Datos	X	O ²
I240/052		Bloque de Video de Alto Volumen de Datos	X	O ²
I240/140		Hora del Día	O	O

Tabla 1: Items de Datos Estándar de Categoría 240.

acimut y rango, consecutivas en rango. Comienza con un Indicador de Repetición de Campo (REP) de un octeto, y va seguido de al menos un bloque de doscientos cincuenta y seis octetos.

- Bits 8200/8193 (REP): Indica el número de bloques de video que siguen a continuación.
- Bits 8192/1 (BLOQUE DE VIDEO): Amplitud de la señal de video de las celdas en el grupo, decodificadas de acuerdo a la resolución definida en el Ítem I240/048.

Notas: Ídem Ítem de datos I240/050.

11. **Ítem de dato I240/140, Hora del Día:** Este ítem es opcional. Indica el tiempo absoluto expresado en *Coordinated Universal Time* (UTC).

5. Señales provenientes del Radar

Las señales provenientes del Radar nos brindan las referencias que permiten representar el video crudo en forma polar en la consola de visualización. Estas señales son la de VR y las de sincronismos [13], según se describe brevemente a continuación:

- **Heading Mark o Marca Norte (HM/NM):** Esta señal se define como un nivel lógico. De acuerdo a su configuración, puede indicar que la antena alcanza la posición norte (NM), o en el caso de un Radar marítimo, indica la proa de la embarcación (HM).
- **Trigger (TG):** Nos permite conocer la distancia a la que se encuentran los objetos o ecos que aparecen en la consola del Radar. A esta distancia se la denomina rango. La Frecuencia de Repetición de Pulsos (FRP), es una característica de cada sistema Radar, y se mide en pulsos por segundo, o Hz.
- **Bearing Increment (BI):** Consiste en un tren de pulsos proveniente de un dispositivo electromecánico para indicar la posición angular de la antena del Radar. Generalmente tiene resoluciones de 2048, 4096 ó 8192 pulsos por revolución de antena.
- **VR:** Es una señal analógica de tensión, que indica la información de los ecos Radar inmersos en clutter marino. Se captura por medio de un Conversor Analógico Digital (ADC), cuya velocidad mínima de muestreo dependerá del ancho del pulso de TG.

Tanto las señales de sincronismo como la de VR, se utilizan para completar los ítems del protocolo, de este modo, por ejemplo, la llegada de un pulso de HM/MN, BI, y/o de TG modifican los ítems de Datos I240/040 y I240/041. Si se produce un TG, entonces se transmite la trama actual y el rango se pone en cero para comenzar una nueva trama. Si se produce un HM, se transmite la trama actual y se pone en cero el azimut para comenzar una nueva trama. Si se produce un BI, se transmite la trama actual y se incrementa el azimut para comenzar una nueva trama. Por otro lado, las muestras de VR provenientes del ADC, se cargan en alguno de los siguientes ítems de datos I240/050, ó I240/051, ó I240/052. Luego de cargar los campos correspondientes, se forma la trama de datos que se transmite por Ethernet para su procesamiento y visualización.

6. Trama de datos para protocolo ASTERIX

Una trama de datos al ser transmitida por Ethernet, está precedida por un preámbulo y un delimitador de trama de inicio, que forman parte del paquete de Ethernet en la capa física. Cada trama comienza con un encabezado que contiene las direcciones MAC de origen y destino como sus dos primeros campos. En su parte central, van los datos de carga útil, incluidos los encabezados de otros protocolos (por ejemplo, el Protocolo de Internet). La trama finaliza con una secuencia de verificación de trama, que se trata de una verificación de redundancia cíclica de 32 bits y se utiliza para detectar si los datos se corrompen en el tránsito.

Para esta implementación, la trama de datos a enviar por Ethernet, está conformada por los siguientes ítems, de acuerdo al protocolo, según se describe en la sección 4:

- **Ítem de Datos I240/000:** Tipo de Mensaje.
- **Ítem de Datos I240/010:** Identificador de Fuente de Datos.
- **Ítem de Datos I240/020:** Encabezado de Registro de Video.
- **Ítem de Datos I240/041:** Encabezado de Video Femto.

- **Ítem de Datos I240/048:** Resolución de Celdas de Video e Indicador de Compresión de Datos.
- **Ítem de Datos I240/049:** Octetos y Contadores de Celdas de Video.
- **Ítem de Datos I240/051:** Bloque de Video de Volumen Medio de Datos.

7. Implementación sobre un dispositivo FPGA

Para conformar la trama de datos con formato ASTERIX que será enviada por Ethernet desde el dispositivo FPGA, se acondicionaron todas las entradas provenientes del sistema Radar y se dispuso de una interfaz física compatible con 1Gbps Ethernet. En la Fig. 4, se puede observar el diagrama en bloques de la implementación realizada sobre un dispositivo FPGA. En una primera etapa, se adquieren las señales de sincronismo y la de VR mediante un ADC. Debe considerarse que la velocidad de conversión determinará la duración de la celda ASTERIX (parámetro CELL_DUR del protocolo). Si bien, de acuerdo a las características del ADC disponible, la frecuencia de muestreo puede configurarse hasta 150 millones de muestras por segundo (MSPS), en las pruebas realizadas se estableció una tasa de captura de muestras de 16,66 MSPS, que corresponde a una resolución de celda de aproximadamente 18 metros. Para elegir la velocidad de muestreo, es muy importante tener en cuenta que el tiempo transcurrido entre cada muestra, sea menor que el ancho del pulso de TG, para no perder información de retornos provenientes de objetos de interés.

Las señales de sincronismo, como así también la de VR ingresan a un bloque de Adquisición y Composición de Datos, según se detalla en Fig. 4, obteniendo a la salida de este bloque un conjunto de muestras, listas para armar la trama de datos ASTERIX.

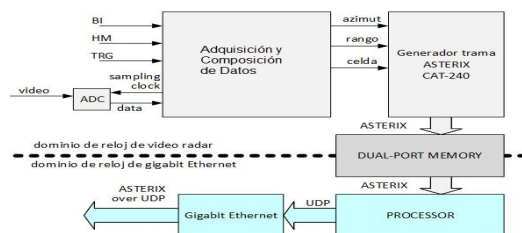


Figura 4: Diagrama en bloques de la implementación realizada sobre un dispositivo FPGA.

El ADC provee 14 bits por muestra, por lo que de acuerdo al protocolo ASTERIX, se implementa en Resolución Muy Alta (VHR, Very High Resolution), según lo que se especifica en el Ítem de dato I240/048, o sea, el formato de las muestras contenidas en el bloque de video es de 2 octetos, llevando a cero los bits más significativos. En este trabajo, se consideró un bloque de video de volumen medio de datos, de acuerdo al Ítem de dato I240/051. Las muestras, se ubican en memoria de 32 bits, para armar la trama de datos en el Generador de Trama ASTERIX, que se transfieren a memoria por medio del DUAL-PORT MEMORY, según se describe en la Fig. 4. La incorporación de las señales de sincronismo y de VR, se realiza de forma simultánea, ya que se debe mantener la relación temporal entre éstas, para la posterior representación en consola.

Los procesos de toma de señales de sincronismo y el de toma de VR, trabajan de forma simultánea, evitando de este modo pérdida de información.

Analizando el protocolo ASTERIX, puede observarse que la longitud de la trama puede ser arbitraria. Sin embargo, cuando se desea utilizar el protocolo UDP sobre Ethernet, una trama ASTERIX debe ser fragmentada para ser transmitida si ésta excede la longitud máxima de la trama Ethernet. En el diseño realizado, la longitud máxima de una trama ASTERIX puede ser configurada, pero sin sobrepasar la longitud máxima posible de una trama Ethernet. Esta limitación permite disminuir la carga de procesamiento al no requerir fragmentar tramas y, por otro lado, disminuye la latencia de la comunicación puesto que tramas muy largas requieren ser completadas antes de comenzar su transmisión y defragmentación.

8. Simulaciones

La verificación del diseño consistió en comprobar la correcta generación de trama ASTERIX para las diferentes condiciones de trabajo de los sistemas Radar de navegación. La generación de los escenarios de simulación fueron realizados basados en tests unitarios para generalizar y automatizar la validación del diseño y sus futuras modificaciones y actualizaciones. Se comenzó a describir el código empezando por las señales de entrada, tanto de sincronismo como la de VR, para lo cual se utilizó un simulador de señales Radar. Las características de estas señales son las siguientes:

- TG: Amplitud= 4,20 v, Ancho de pulso= 71,20 ms, Período= 491 μ seg., Frecuencia= 2,037 KHz.
- Bearing Increment: Amplitud= 4,28 v, Ancho de pulso= 1,022 μ s, Período= 488,1 μ seg., Frecuencia= 2,049 KHz.
- HM/MN= Amplitud= 4,24 v, Ancho de pulso= 1,004 μ s, Período= 2 seg. Frecuencia= 0,5 Hz.
- VR: Amplitud= ≤ 2 vp.

La señal de VR, ingresará al ADC, el que puede configurarse para brindar las siguientes velocidades de muestreo: 16,667 MSPS ó 20 MSPS ó 40 MSPS ó 65 MSPS. Para este trabajo, se eligió la de menor valor. Por consiguiente, se utilizaron dos clocks, uno para la FPGA de 100 MHz y otro de 16,667 MHz para el ADC, esto se debe a que la FPGA, debe procesar las muestras más velozmente que la velocidad de toma de muestras.

En la Fig. 5, se aprecia el resultado de enviar 8.033 Bytes de VR simulado. Donde se se pueden observar varios círculos concéntricos, que se formaron por introducir en el bloque de video varios octetos con el valor hexadecimal 0xFF, separados por valores 0x00 que representa los lugares no iluminados.

9. Conclusiones

Mediante este desarrollo, se implementó un sistema de procesamiento para la captura y transmisión de video crudo Radar, basado en dispositivos FPGA. Se logró conformar un sistema robusto y altamente configurable para la generación de tramas ASTERIX, en su categoría CAT 240. Mediante este desarrollo, será factible implementar este sistema en diferentes Radars analógicos, lo que favorecería a la modernización de equipos, dotándolos de funciones actualizadas y versátiles, permitiendo, así,

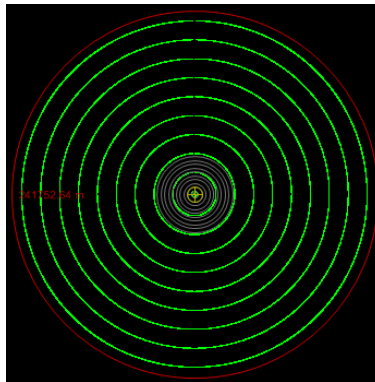


Figura 5: Visualización de las muestras de crudo Radar, simuladas, que se reciben en la Categoría CAT 240.

su adaptación con sistemas modernos, para hacer factible la visualización en cualquier consola digital, con representación de datos Radar.

A futuro, se implementarán otras categorías del protocolo, con el objetivo de obtener reportes de plots y tracks provenientes de diferentes Radares, como así también mensajes, que sean de relevancia para la navegación.

Referencias

- [1] “EUROCONTROL Standard Document for Surveillance Data Exchange - ASTERIX Category 240 Radar Video Transmission”, 2015.
- [2] “EUROCONTROL Standard Document for Surveillance Data Exchange - Category 240- Radar Video Transmission”, 2009.
- [3] “EUROCONTROL Standard Document for Surveillance Data Exchange - Part 1 - All Purpose Structured EUROCONTROL Surveillance Information Exchange (ASTERIX)”, 2012.
- [4] “EUROCONTROL Specification for Surveillance Data Exchange - Part 1 - All Purpose Structured EUROCONTROL Surveillance Information Exchange (ASTERIX)”, 2015.
- [5] “EUROCONTROL Specification for Surveillance Data Exchange ASTERIX Category 240 Radar Video Transmission”, 2015.
- [6] “About the status of the Categories - 04/06/2024”, EUROCONTROL, 2024.
- [7] “EUROCONTROL Specification for Surveillance Data Exchange ASTERIX Part 28 Category 015”, 2024.
- [8] “ASTERIX”. [Online]. Available: <https://wiki.wireshark.org/ASTERIX>, 2020.
- [9] “40 Years of Vision EUROCONTROL MAASTRICHT UAC”. European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL), [Online]. Available: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/article/content/documents/muac/media/2012-muac-story.pdf>, 2011.

- [10] D. Johnson and R. Warren. "Using ASTERIX CAT-240 for Radar Video Distribution - Practical Considerations from Deployed Applications", Cambridge Pixel Ltd, Cambridge, UK. Engineering, Computer Science, 2014.
- [11] E. Morazán Bonilla. "Desarrollo de un Analizador de Protocolo ASTERIX de Eurocontrol". Tesis para optar al título de Ingeniero Electricista de la Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Eléctrica. 2011.
- [12] "International Standards and Recommended Practices - Annex 5 To the Convention of International Civil Aviation - Units of Measurement to be Used in Air and Ground Operations ", International Civil Aviation Organization, 2010.
- [13] N. Gálvez, R. Cayssials, J. Cousseau, A. Campo Kihn, C. Galasso and D. Martínez "Diseno e Implementación de un Extractor de Video Radar y Tracking", 27^o Congreso Argentino de Control Automatico AADECA'20 Virtual, ISBN: 9789874685926, 2020.
- [14] Wu, Min, Xu, Yuanzheng, Yang, Jing, Zhang, Baoli, "A Method of Information Fusion for the Civil Aviation ASTERIX Data and Airport Surface Video Surveillance", Proceedings 9674710, 2021 7th International Conference on Computer and Communications (ICCC), Páginas (868 a 873), doi=(10.1109/ICCC54389.2021.9674710), 2021.
- [15] Rhomadoni, Ali and Suryana, Joko, "Implementing ASTERIX Cat 015 for Passive Coherent Location Radar Data Exchange", Proceedings 10335438, 2023 9th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT), Páginas (1-6), doi=(10.1109/ICWT58823.2023.10335438), 2023.
- [16] Cha Seung-Tae, Jeong Yu-Jun, "Research on Asterix CAT 240 Format Optimization Method according to Display Resolution", J Navig Port Res, volume 46, number 6, pages 509-516, doi 10.5394/KINPR.2022.46.6.509, 2022.