

Transición del estándar MIL-STD-1553B al SpaceWire en los sistemas actuales de manejo de datos satelitales

*Kenny Wu Chik, Lenin A. Luna Díaz

Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (ABAE), Venezuela

*kwu@abae.gob.ve

lluna@abae.gob.ve

Resumen--- El sistema de manejo de datos a bordo (*On Board Data Handling*) de un satélite es aquél que permite manejar grandes volúmenes de datos y encargarse de tareas vitales gracias a los sensores y actuadores conectados a ello como: control de orientación y órbita, control térmico, darle formato a la telemetría, entre otros. Todos estos elementos deben estar conectados a un bus definido con un protocolo de comunicación por el cual se intercambian datos para poder operar y darle al satélite el funcionamiento requerido. Con el rápido crecimiento de la tecnología en el ámbito de la electrónica y el aumento en los niveles de requerimientos técnicos, los estándares de protocolo de comunicación que se venían usando como MIL-STD-1553B, RS-422 y CAN, están siendo desplazados por protocolos desarrollos recientemente como SpaceWire. Éste se está volviendo popular ya que se adapta a los requerimientos actuales de altas velocidades de transferencia de datos, posee facilidad de ser implementado en circuitos integrados actuales, permite la reducción del cableado del bus, entre otros. Debido a lo cual, es importante conocer este estándar y comprender sus ventajas para que sea escogido como el protocolo del bus a implementar en futuras misiones satelitales.

Términos clave – Sistema de manejo de datos a bordo, protocolo de comunicación, MIL-STD-1553B, SpaceWire.

Abstract--- An On Board Data Handling (OBDH) system of a satellite is the one in charge of managing huge amounts of data and do vital tasks using sensors and actuators connected to it like: attitude and orbit control, thermal control, telemetry formatting, among others. All these sensors, actuators and equipments must be connected to a defined bus with a communication protocol so they can exchange data to operate and make the satellite does its required functions. Taking in account the fast development in electronic technology and the increasing technical requirement levels, the communication protocol standards that were using like MIL-STD-1553B, RS-422 and CAN are being substituted recently by new standards like SpaceWire. This standard is becoming popular because it satisfies the actual requirements of high data transfer speed, easy implementation on current integrated circuits, reduces the bus harness, among others. That is why it is important to understand this standard and its advantages so it will be chosen as the bus protocol for future satellite missions.

Keywords- On Board Data Handling system, communication protocol, MIL-STD-1553B, SpaceWire.

I. INTRODUCCIÓN

La función de la mayoría de los satélites puestos en órbita sirven para capturar datos y crear una colección de datos para el mundo, en este sentido, un satélite no es más que una máquina de procesamiento de datos. Estos datos son obtenidos mediante los sensores, procesados por la computadora de a bordo, almacenados y luego enviados por telemetría hacia el segmento terreno. Por lo tanto, el manejo de datos es el elemento central de un satélite, el cual, es conocido como subsistema OBDH por sus siglas en inglés de *On Board Data Handling* (Manejo de datos a bordo).

Para que lo anterior suceda, todos los equipos y sensores del satélite deben estar conectados entre sí ya sea por un medio inalámbrico o físico y debe existir un protocolo que rija todas estas comunicaciones para que todos los datos puedan ser transmitidos y entregados correctamente. Era común utilizar el popular protocolo MIL-STD-1553B para el bus principal y RS-422 para conexiones punto a punto en donde se requería mayor velocidad de transferencia. A pesar de que esta configuración es fiable, con el avanzar de los años, la tecnología y las necesidades, han surgido nuevos requerimientos en cuanto a la velocidad de transferencia de datos, facilidad de integración de unidades, flexibilidad de diseño, reducción de costos de las pruebas y verificación, reducción de masa, entre otros. Debido a lo anterior, la ESA (*European Space Agency*) desarrolló el protocolo SpaceWire que no solamente busca proveer enlaces de altas velocidades sino también incrementar la confiabilidad y tolerancia a fallas. Además el protocolo puede ser implementado fácilmente en una FPGA (*Field Programmable Gate Arrays*), la cual está siendo también muy usada actualmente ya que permite integrar mayor cantidad de funciones y algoritmos con menor cantidad de componentes electrónicos. Y es por todo esto que el SpaceWire se ha vuelto popular y en los últimos años ha sido el protocolo escogido para los buses de los satélites y proyectos espaciales como el telescopio espacial James Webb, la sonda *Lunar Reconnaissance Orbiter* (LRO), la sonda LCROSS, el satélite Geoestacionario Operacional Ambiental (GOES-R de su nombre en inglés), entre otros.

En este paper, se describirá primeramente las características de los estándares MIL-STD-1553B y RS-422 y sus desventajas por las cuales impulsó el desarrollo del protocolo SpaceWire para adaptarse a las necesidades actuales. Se mostrarán sus características, equipo para prueba, sus arquitecturas, consideraciones a tomar en cuenta, entre otros, para que pueda ser escogido como el protocolo de comunicación en futuras misiones satelitales.

II. MIL-STD-1553B Y RS-422

El MIL-STD-1553B es una revisión del estándar militar MIL-STD-1553 ampliamente usado en proyectos espaciales y ha sido la

base para el diseño de proyectos de manejo de datos y comandos. El estándar describe los métodos de comunicación correspondiente a las capas físicas y de enlace. Los datos se transmiten en cables trenzados y apantallados. El bus posee una arquitectura de redundancia doble y una tasa de error extremadamente bajo de una palabra por cada 10 millones resultando una confiabilidad de casi 1. La comunicación es half duplex, operando a 1Mbps y pueden interconectarse hasta 31 terminales remotas usando un método de comando y respuesta.

Debido a que el protocolo se basa en una topología de bus compartido, los equipos deben compartir el medio de transmisión a través de multiplexación por división de tiempo, esto resulta en crear un esquema de tiempo real determinístico para la agrupación de datos. De acuerdo al estándar, al bus se conecta un Controlador de Bus (BC), los demás equipos que se consideran como Terminales Remotas (RT) y Monitores de Bus (BM), los cuales se recomiendan para su integración y pruebas pero no son indispensables. Se diseño para soportar redundancia por lo cual la configuración más común es tener un bus principal y otro en redundancia caliente. El BC es capaz de detectar errores en las transmisiones debido a que los mensajes poseen un tiempo de sincronización e incluyen paridad, en este caso, el BC normalmente realiza uno o más intentos en el bus antes de cambiar automáticamente al bus redundante. [1]

A pesar de que es ideal para aplicaciones de control y comandos, el estándar MIL-STD-1553B no es ideal para transferencias de grandes cantidades de datos. Con una velocidad de reloj de 1MHz para el bus, la velocidad de transferencia está limitada a solamente unos cientos de kilobits por segundo en un uso práctico. Debido a esto, para los enlaces punto a punto entre equipos o instrumentos que generan grandes cantidades de datos se utiliza el protocolo serial RS-422 ya que permitía alcanzar velocidades de hasta 10Mbps.[2]

El estándar RS-422 fue desarrollado en 1978 para circuitos con interfaz de voltaje digital balanceado y sólo describe las características eléctricas. La interfaz consiste de un transmisor y un receptor por lo cual cada enlace que se requería colocar debía constar de ellos en ambas terminales, aumentando considerablemente la cantidad de componentes. Este estándar es solamente ventajoso por su simplicidad de ser implementado y permitir transmitir datos a altas velocidades para esa época.

III. ESTÁNDAR SPACEWIRE

La tecnología SpaceWire se ha desarrollado y crecido debido a las necesidades de las aplicaciones en el proceso de manejo de datos a bordo. Uno de los principales objetivos del SpaceWire es el soporte de la compatibilidad de equipos y reuso tanto a nivel de componente y subsistema. En principio, un sistema de manejo de datos a bordo desarrollado para un instrumento óptico, por ejemplo, puede ser usado por un instrumento radar desconectando el sensor óptico y conectando el radar. Las unidades de procesamiento, unidades de memoria masiva y sistemas de telemetría de enlace de bajada desarrolladas para una misión pueden ser fácilmente usadas en otra misión, reduciendo el costo de desarrollo, mejorando la confiabilidad y más importante incrementando la cantidad de trabajo científico que puede ser alcanzado con un presupuesto limitado.

Una red SpaceWire permite la transmisión de información a una tasa de alta velocidad entre 2Mbps/s hasta 400Mbps/s desde una unidad a otra. Las conexiones SpaceWire son asincrónica, full-duplex, punto a punto y de tipo serial. Codifica los datos usando dos pares de señales en diferencia en cada dirección (codificación ds con LVDS de *Low Voltage Differential Signaling*, que permite bajo consumo), haciendo un total de ocho cables de señales. El metro de cable posee una masa de 87g aproximadamente. [3]

La integración y pruebas de sistemas complejos a bordo también es soportado por SpaceWire con los equipos de soporte en tierra conectándolos directamente en el sistema de manejo de datos a bordo. El monitoreo y prueba puede ser llevado a cabo a través de una interfaz en el sistema de manejo de datos a bordo.

El estándar SpaceWire ofrece variedad de ventajas por encima de las demás tecnologías de comunicación y extiende el concepto de enlaces seriales a sistemas modulares basados en redes de a bordo.

Sus principales ventajas son:

- facilita la construcción de sistemas de manejo de datos a bordo de alto desempeño,
- ayuda a reducir costos de integración,
- facilita la compatibilidad entre subsistemas de manejo de datos,
- fomenta el reuso de equipos de manejo de datos en diferentes misiones,
- y su baja complejidad de implementación lo que implica un uso de menor número de compuertas lógicas haciendo que sea fácil de implementar en una FPGA.

SpaceWire fue diseñado primordialmente para ser usado en aplicaciones espaciales, sirvió primeramente como interfaz entre los instrumentos y la memoria masiva para el almacenamiento a bordo de la telemetría del satélite. Ganó popularidad por su simple circuitería, bajo consumo y baja tasa de error. Ahora es ampliamente usado en los subsistemas de la plataforma satelital para enviar telecomandos.

Este protocolo permitió cambiar la manera clásica de sistemas de manejo de datos a bordo basados en un solo procesador a una arquitectura modular para una computación robusta (MARC, *Modular Architecture Robust Computing*). MARC provee un alcance unificado y robusto para los sistemas de manejo de datos en los satélites.

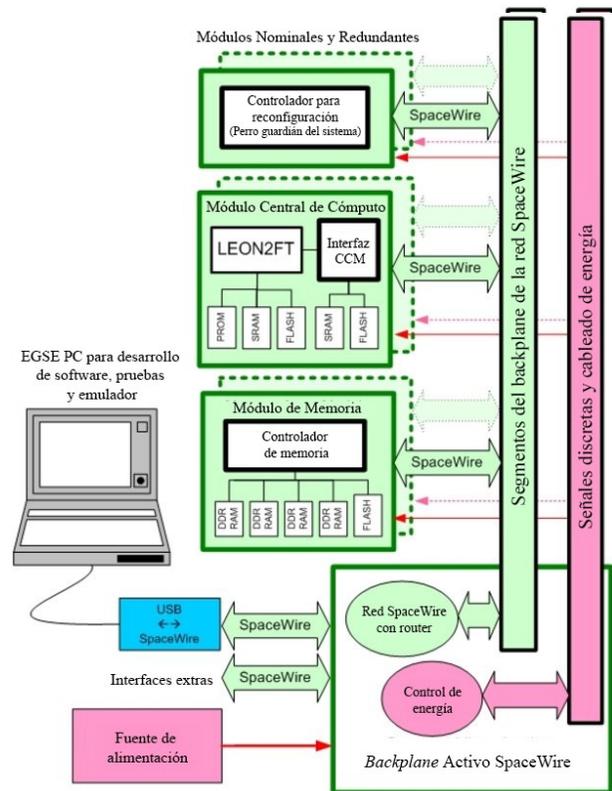


Fig. 1 Sistema de arquitectura modular utilizando SpaceWire. [4]

MARC es un desarrollo innovador de hardware de la SEA (*Systems Engineering & Assessment Ltd*, empresa británica que provee servicios de ingeniería y diseño de software para agencias gubernamentales, industria y academias) para unificar los sistemas de procesamiento de futuros satélites para crear sistemas basados en redes SpaceWire escalables, tolerantes a fallas, con alta capacidad y robustas, para aplicaciones de manejo de datos.

En el diseño mostrado en la Fig. 1 se identifica lo siguiente:

- Arquitectura MARC compuesta por un *backplane* SpaceWire que contiene un router SpaceWire 10X al cual se le conectan módulos de memoria masiva con tecnologías comerciales DDR (*Double Data Rate*) y FLASH, procesador LEON2FT y módulo de reconfiguración; y su fuente de alimentación.
- Una computadora EGSE (*Electrical Ground Support Equipment*) con herramientas de desarrollo, control y pruebas para la inyección de fallas.
- Una interfaz USB a SpaceWire para conectar la computadora EGSE al *backplane*.

Un aspecto importante de MARC es que permite que el diseño sea expandido a un sistema calificado totalmente para el espacio sin ningún cambio en la arquitectura. Además, también cumple el estándar ECSS-E-ST-40C de software calificado y Servicios de Interfaz a Bordo Satelital (SOIS, *Spacecraft Onboard Interface Services*) [5].

El potencial para las aplicaciones con MARC son extremadamente extensas, abarcando satélites con plataforma modesta y requerimientos de instrumento hasta instrumentos generadores de datos a altas velocidades montados en satélites que forman múltiples formaciones.

Las aplicaciones son [4]:

- Control y transferencia de datos de la plataforma.
- Procesamiento de la carga útil y manejo de datos en satélites científicos.
- Misiones en el espacio profundo que requieren alto nivel de autonomía.
- Sistemas robóticos planetarios.
- Múltiples o complejas cargas útiles.

Cabe destacar que los protocolos que pueden ser usado en conjunto con SpaceWire son diversos mientras cumplan con lo establecido en los estándares [1][6]. La ESA impulsa y creó normativas para los dos siguientes protocolos: RMAP [7] y CCSDS [8]. Ambos pueden operar en conjunto en un mismo SpaceWire ya que las funciones que provee cada una son distintas.

A. RMAP

Remote Memory Access Protocol (RMAP) tiene como objetivo proveer la lectura y escritura de las memorias desde un nodo remoto SpaceWire, pero su diseño soporta un gran rango de aplicaciones ya que accede a la mayoría de los dispositivos como si fuese una memoria, por lo cual, también puede ser usado para configurar switches, cambiar sus parámetros de operación, cambiar la información de la tabla de ruteo, monitorear sus estado, configurar y leer el estado de los nodos de la red, descargar software en un controlador, entre otros.

En todas las operaciones de lectura y escritura, el origen no necesitan esperar una respuesta del destino. Esto significa que varias operaciones de lectura y escritura pueden ser realizadas en cualquier momento. No existe un mecanismo de tiempo agotado para respuestas faltantes por lo cual debe ser implementado por el usuario en caso de necesitarlo.

El protocolo RMAP permite que todas las operaciones y respuestas sean transferidas de forma transparente a través de la subred entre un usuario y el controlador de memoria, por lo cual no hay limitantes en su acceso como en el modelo SOIS donde existe solamente un usuario quien puede realizar las operaciones. Este modelo se presenta en la Fig. 2.

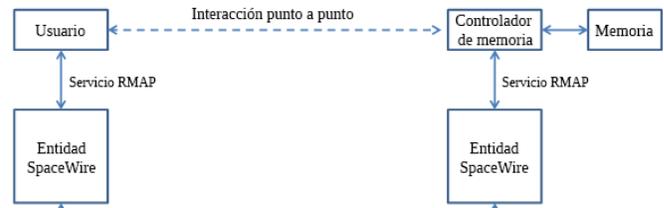


Fig. 2. Modelo RMAP [7].

B. CCSDS

El protocolo para la transferencias de paquetes CCSDS (*Consultative Committee for Space Data Systems*) se diseñó para encapsular un paquete CCSDS en un paquete SpaceWire, transferirlo desde un nodo hasta un destino a través de la red, extraerlo del paquete SpaceWire y pasarlo a un aplicación de usuario del destino.

Este protocolo provee la capacidad de transferir paquetes CCSDS entre equipos de una red SpaceWire. Los paquetes CCSDS pueden ser tamaño fijo o variable dependiendo de la necesidad y ser transmitidos en intervalos variables. El contenido del paquete es responsabilidad de la aplicación del usuario y no es verificado por el protocolo de transferencia de paquetes CCSDS.

El principal objeto del protocolo es proveer servicios de transferencia de datos, esto se llama punto de acceso de servicio. Un punto de acceso de servicio es identificado por una dirección y cada usuario del servicio es también identificado por una dirección.

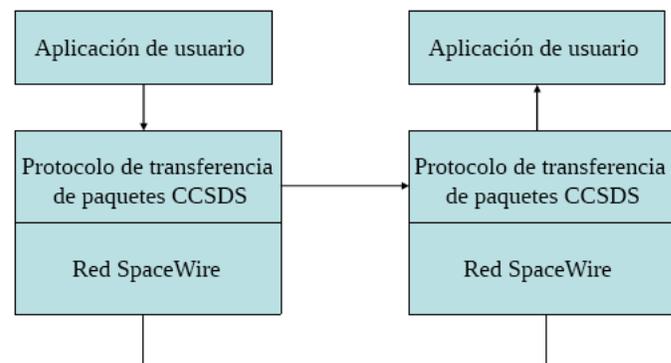


Fig. 3. Modelo del protocolo de transferencia de paquetes CCSDS [8].

Este protocolo puede se ilustra en la Fig. 3. El protocolo de transferencia de paquetes CCSDS provee un servicio de transferencia de datos unidireccional desde una aplicación fuente de usuario a una sola aplicación destino de usuario a través de una red SpaceWire.

La ESA provee en su estándar ECSS-E-ST-50-53C las siguientes características [8]:

- Servicio de transferencia de datos unidireccional.
- Comunicación asíncrona.
- Servicio sin confirmación.
- Servicio incompleto, no garantiza la completación del servicio y tampoco provee un mecanismo de retransmisión.
- Formato SDU.

- No mantiene la secuencia de los paquetes.

IV. TRANSICIÓN DE MIL-STD-1553B A SPACEWIRE

SpaceWire ofrece flexibilidad significativa para los diseñadores de sistemas de comunicación ya que soporta tanto arquitecturas sincronicas como asincronicas. En el diseño de un sistema de comunicación, es importante entender la naturaleza de los datos que se producen. Si los datos se generan a un ritmo constante, entonces se necesita una comunicación sincronicas, de lo contrario, si los datos se generan por pulsos o a intervalos irregulares, entonces es mejor una comunicación asincronicas. SpaceWire ofrece la ventaja de soportar arquitecturas híbridas con ambos tipos de comunicación.

SpaceWire incluye la capacidad de enviar señales de baja latencia llamadas códigos de tiempo. En sistemas prácticos, esto puede ser usado para sincronización con una precisión de unos microsegundos. Códigos de tiempo pueden ser usados para dividir los datos en divisiones de tiempo discreto para implementar multiplexación por división de tiempo similar al MIL-STD-1553B.

Para aumentar la confiabilidad se debe aplicar redundancia, para la cual, SpaceWire ofrece varias opciones. En la Fig. 4 se muestran algunas. La primera opción es incluir un router en el sistema. Esta estructura permite un bloque extremadamente versátil que puede ser usado para construir una variedad de topologías en redundancia. La segunda es para sistemas pequeños que consiste en simplemente agregar enlaces redundantes, de esta forma es fácil adaptarse a los dispositivos programables modernos. Una tercera opción es usar una capa física redundante que consiste en cambiar a un enlace redundante en caso de producirse una falla, de forma similar a la conmutación automática del bus provisto por MIL-STD-1553B.

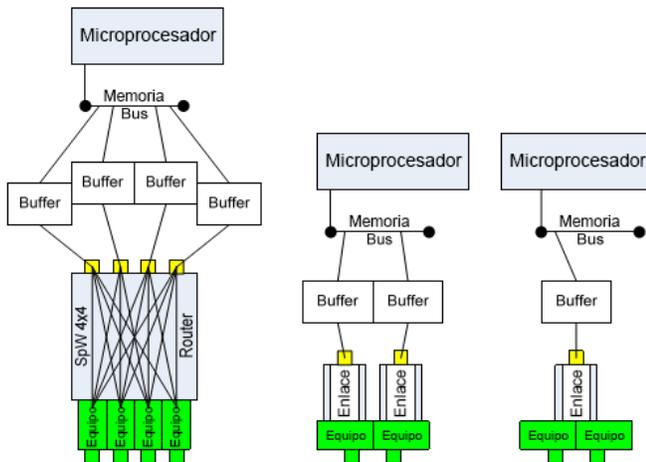


Fig. 4. Opciones de redundancia en redes SpaceWire [2].

En el estándar SpaceWire se crearon especificaciones de una norma del encabezado de los paquetes para proveer una forma de multiplexar y demultiplexar paquetes de diferentes protocolos de alto nivel. Uno de las dos formas de trabajar con SpaceWire la cual es RMAP opera de forma similar en el mecanismo de respuesta y comando. Provee mecanismos para conocer y verificar transferencia de datos. También incorpora un código de detección de errores a través de código de redundancia cíclica (CRC). Cuando RMAP se usa en combinación de enlaces redundantes, emula la operación del MIL-STD-1553B con buses redundantes. [2]

V. SPACEWIRE EGSE

Una de las pruebas a los equipos de manejo de datos a bordo es que el equipo de prueba pueda simular el funcionamiento de los instrumentos o equipos que se conectan al equipo en prueba. Estas simulaciones deben responder como los instrumentos reales a los comandos y enviar los respectivos datos. Cuando se diseñan equipos de prueba para simular una unidad con interfaz SpaceWire, lo común es conectar una tarjeta de interfaz SpaceWire a una computadora corriendo un sistema operativo de tiempo real y escribir un complejo software que imita el comportamiento real del instrumento, lo cual resulta una tarea tediosa y que consume tiempo. Es por ello, que en la actualidad ya existen equipos diseñados para simular instrumentos SpaceWire en tiempo real con retardos de microsegundos como el SpaceWire EGSE.

El SpaceWire EGSE (Fig. 5) es una unidad de prueba y desarrollo creado por la empresa británica STAR-Dundee. Se configura usando un lenguaje diseñado especialmente para aplicaciones SpaceWire. El lenguaje permite el envío de paquetes en secuencias predefinidas en momentos específicos a una velocidad específica. Una vez que el código haya sido compilado y cargado al equipo, el mismo opera independientemente del software resultando en un funcionamiento en tiempo real.



Fig. 5 Vista frontal del equipo SpaceWire EGSE [9].

El equipo posee las siguientes principales características [9]:

- Simula tráfico SpaceWire de casi cualquier instrumento u otro equipo de vuelo en tiempo real.
- Genera secuencias sofisticadas de paquetes con variaciones de contenido de la carga útil, sincronización y velocidad de transferencia.
- Almacena paquetes predefinidos en la memoria para simular cargas útiles que generan gran cantidades de datos.
- Monitorea cadenas de paquetes recibidos y da respuestas a secuencias previamente programadas.
- Interactúa con equipos externos a través de los disparadores externos.
- Notifica al software local de cambios de estados y eventos.
- Soporta la generación de código de tiempo.
- La velocidad del enlace puede ser cambiada instantáneamente, con alta resolución, permitiendo una simulación muy cercana a un equipo SpaceWire.
- Altamente configurable usando lenguaje intuitivo.

El equipo consiste de dos interfaces SpaceWire para transmitir y recibir tráfico como se ve en la Fig. 5, cuatro disparadores externos (tres de entrada y una de salida) para conectarse con equipos externos, posee 128Mbyte de memoria para el almacenamiento de las definiciones del paquete, dos conectores lógicos Mictor para indicar el estado del equipo y una conexión USB para conexión a computadora. El estado de las interfaces SpaceWire, disparadores externos y puerto USB son indicados a través de LEDs. El software

del equipo posee cuatro componentes: un compilador, el configurador, el API código C y una interfaz gráfica.

Lo compacto y poderoso del lenguaje de codificación del SpaceWire EGSE combinado con la capacidad del hardware para operar independientemente del software significando en tiempo real, hacen posible simular equipos SpaceWire en tiempo real en un poco más de un día. Este rápido desarrollo hace que el SpaceWire EGSE sea una atractiva alternativa a los equipos EGSE tradicionales [10].

VI. SPACEFIBRE

A pesar de lo innovador y reciente del SpaceWire, ya existen entidades desarrollando mejoras para incrementar las características del mismo como lo es SpaceFibre.

Las limitantes del SpaceWire son:

- La velocidad de transferencia está limitada por el *jitter* y *skew* entre las señales *data* y *strobe* (codificación *data-strobe*).
- La longitud máxima es de 10m, la cual, generalmente es suficiente para aplicaciones satelitales pero para lanzadores, estaciones espaciales y EGSEs puede requerir mayores longitudes.
- Un cable contiene 4 pares trenzados con una masa de 87g/m, por lo cual unir varios enlaces para aumentar las velocidades de transferencia puede suponer un aumento significativo en masa.
- No provee aislamiento galvánico por lo cual posee requerimientos EMC (*Electromagnetic Compatibility*) para conexiones entre cajas eléctricas.
- No posee modo de ahorro de energía en la capa de enlace.

Por lo tanto, SpaceFibre busca mejorar estas limitaciones manteniendo las siguientes características del SpaceWire:

- Simplicidad.
- Su implementación requiere bajo número de compuertas.
- Ruteo de agujeros negros.
- Comunicación bidireccional, full duplex.
- Ruteo adaptado por grupos, esto permite que cuando dos o más salidas deseen enviar datos a un mismo destino, los datos sean empaquetados como uno solo para ser enviado por una salida permitiendo que la otra pueda ser usada para enviar datos a otro destino.
- Comparte el ancho de banda.
- Detección de fallas.
- Distribución por código de tiempo.

SpaceFibre es un enlace serial de alta velocidad que está siendo desarrollado por la Universidad de Dundee para la ESA, con el fin de ser usado en sistemas de manejo de datos de carga útiles generadores de grandes cantidades de datos. SpaceFibre es capaz de operar sobre fibra óptica y cable de cobre y soporta velocidades hasta de 2Gbit/s pudiendo alcanzar en un futuro a 5Gbit/s. Pretende complementar las capacidades del estándar SpaceWire mejorando la velocidad de transmisión de datos en diez veces, reduciendo la masa del cableado en cuatro veces y proveyendo aislamiento galvánico.

SpaceFibre se puede considerarse como una mejora del estándar SpaceWire por lo cual son compatibles y poseen muchas características similares. La interfaz SpaceFibre está diseñada para ser implementada eficientemente, requiriendo menor cantidad de compuertas lógicas. Además, SpaceFibre utiliza el mismo protocolo de empaquetamiento del SpaceWire, permitiendo conectar fácilmente equipos SpaceWire y redes SpaceFibre de alta velocidad.

El propósito de SpaceFibre es soportar cargas útiles generadores de alta cantidad de información, por ejemplo, radar de apertura sintética e instrumentos ópticos hiper espectrales. Provee comunicación robusta y de largo alcance para aplicaciones de lanzamiento y soporta aplicaciones aeroespaciales con limitantes determinístico a través del uso de canales virtuales. SpaceFibre habilita una infraestructura a bordo común para ser usada en diferentes misiones resultando reducción de costos y reusabilidad. [11]

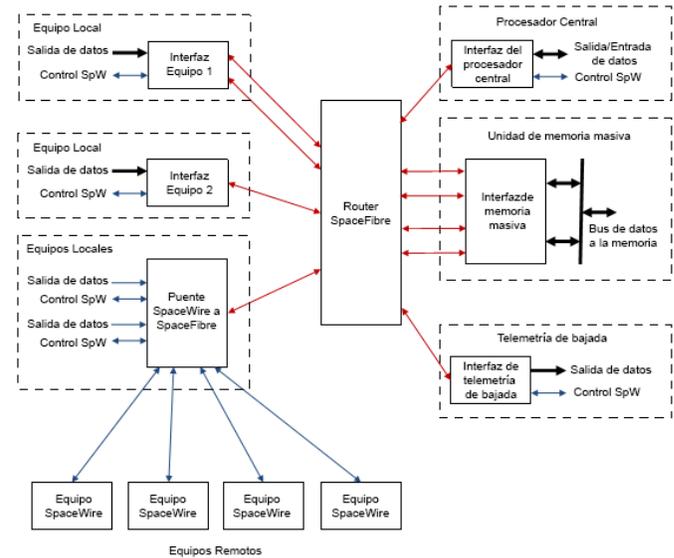


Fig. 6 Red de manejo de datos con SpaceFibre [11].

Una arquitectura que integra el uso de SpaceWire y SpaceFibre es la que se muestra en la Fig. 6. El instrumento 1 y 2 son equipos que generan información a altas velocidades. Se muestran cuatro instrumentos con interfaz SpaceWire, en vez de conectar todos directamente al router, se coloca un Puente SpaceWire a SpaceFibre que permite multiplexar varios enlaces SpaceWire en un solo enlace SpaceFibre. Este enlace único permite el ahorro significativo de masa si tiene que extenderse por varios metros, comparado a tener enlaces separados. El procesador de control se encarga de configurar y controlar todos los equipos de manejo de datos a bordo a través del envío y recepción de información a través del Router SpaceFibre que se encuentra conectado a todos los equipos. El procesador solo necesita una pequeña cantidad de ancho de banda para poder operar sin importar el resto del tráfico que fluye por la red.

Y la misma empresa ya desarrolló un equipo para realizar las pruebas llamado STARFire el cual es similar al SpaceWire EGSE.

VII. CONCLUSIONES

En este paper se describen las características del estándar MIL-STD-1553B y sus limitaciones en cuanto a las necesidades actuales en el diseño satelital y de esta forma presentar el estándar SpaceWire para promover su uso, el cual fue diseñado para ajustarse a requerimientos actuales como la velocidad de transmisión de datos, la disminución de equipos y cableado en consecuencia la disminución de masa, posibilidad de ser implementado en dispositivos electrónicos actuales, entre otros.

A través de la tabla I se destaca que las características que ofrece SpaceWire son superiores en comparación con el MIL-STD-1553B y

se adapta claramente a las necesidades que se buscan en los sistemas de manejo de datos en la actualidad.

TABLA I
COMPARACIÓN DE LOS ESTÁNDARES SPACEWIRE Y MIL-STD-1553B

SpaceWire	MIL-STD-1553B
Comunicación full duplex	Comunicación half duplex
Alcanza velocidades de transferencia de 2Mbps hasta 400Mbps	Alcanza velocidades de transferencia hasta 1Mbps
La cantidad de nodos posibles a conectar depende de la topología diseñada	Permite conectar 31 unidades remotas
La arquitectura permite introducir redundancia de forma variada y a necesidad con el uso de subredes y routers	La redundancia consiste en colocar un segundo bus igual al principal en redundancia en caliente.
Usa codificación <i>data-strobe</i> (ds)	Usa codificación Manchester
Incorpora un código de detección de errores a través de CRC	La detección de error es el bit de validación de la codificación Manchester. El diseñador debe implementar códigos adicionales si éste no es suficiente
Utilizar un router SpaceWire es opcional, el cual es recomendable para sistemas satelitales grandes	Un equipo que funciona como Controlador del Bus (BC) es requerido
Consumo de potencia bajo debido a que usa LVDS que implica consumo de corriente constante de 3.5mA y alrededor de 350mV (en modo diferencial)	El voltaje de transmisión es de 6-9V pico a pico, con un transformador acoplado la tensión pico a pico pueden alcanzar 18-27V
Se recomienda una longitud máxima de 10m	El estándar no especifica la longitud máxima, pero ésta depende del grosor del cable y el retardo de la señal transmitida.

Luego, se indicó las características similares que poseen ambos estándares para realizar con mayor facilidad la transición y se muestran varias opciones de topología para la redundancia en redes SpaceWire, así como las características de un equipo comercial para realizar las pruebas usando este protocolo.

Finalmente, como los diseñadores están siempre en la constante búsqueda de mejorar, innovar y solventar lo existente, se menciona un protocolo en actual desarrollo basado en SpaceWire, llamado en SpaceFibre con vista hacia el futuro.

REFERENCIAS

- [1] *Interface and communication protocol for MIL-STD-1553B data bus onboard spacecraft*, ECSS Standard ECSS-E-ST-50-13C, 15 de Noviembre de 2008.
- [2] R. Klar, C. Mangels, S. Dykes y M. Brysch, "Design considerations for adapting legacy system architectures to SpaceWire," en Session: SpaceWire Networks and Protocols, Southwest Research Institute, San Antonio, TX.
- [3] *SpaceWire – Links, nodes, routers and networks*, ECSS Standard ECSS-E-ST50-12C, 31 de Julio de 2008.
- [4] European Space Agency (ESA). (2014, Mayo 1). *Onboard Computer and Data Handling* [En línea]. Disponible: http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering/Onboard_Computer_and_Data_Handling
- [5] A. Senior, P. Ireland, S. Fowell, R. Wand, O. Emam y B. Greene, "Modular Architecture for Robust Computing (MARC)," en Session: Onboard equipment and software.
- [6] *SpaceWire protocol identification*, ECSS Standard ECSS-E-ST-50-51C, 5 de Febrero de 2010.
- [7] *SpaceWire – Remote memory access protocol*, ECSS Standard ECSS-E-ST-50-52C, 5 de Febrero de 2010.
- [8] *SpaceWire – CCSDS packet transfer protocol*, ECSS Standard ECSS-E-ST-50-53C, 5 de Febrero de 2010.
- [9] STAR-Dundee. (2013). *SpaceWire EGSE* [En línea]. Disponible: http://www.star-dundee.com/sites/default/files/SpaceWire%20EGSE_v1.3.pdf
- [10] S. Mudie, M. Dunstan y S.Parkes, "Real-time SpaceWire instrument simulation in a day," en *International Astronautical Congress*, Beijing, China, 2013, pp. 1-7.
- [11] STAR-Dundee. (2013). *SpaceFibre* [En línea]. Disponible: http://star-dundee.com/sites/default/files/SpaceFibre_0.pdf