

Un módem español de transmisión de datos de alta velocidad en HF

Iván A. Pérez Álvarez, IDeTIC. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC); Santiago Zazo, Universidad Politécnica de Madrid (UPM); Cte. Ingeniero Javier Bermejo Higuera, Instituto Tecnológico 'La Marañosa'.

Palabras clave: Comunicaciones HF, nuevas modulaciones, mejora calidad de voz, mejora en velocidad de transferencia.

Metas tecnológicas relacionadas: MT 6.2.1.; MT 6.2.2.

Introducción, contexto y perspectivas en defensa

En la actualidad, existe una necesidad expresada por las FFAA de comunicaciones HF (ionosféricas) que permitan comunicaciones a muy larga distancia, sin necesidad de desplegar infraestructura de repetición entre extremos, que además ofrezcan una calidad de voz aceptable, con cierta velocidad de transmisiones de datos y con un enlace estable y permanente.

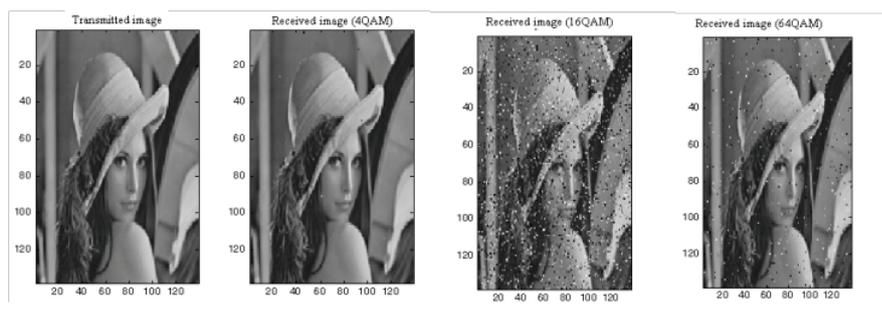


Fig. 1. Transmisión de una fotografía a distintas velocidades. (Fuente propia)

La ionosfera es una infraestructura de repetición natural que presenta una fiabilidad cuestionable. Por ello, se plantea la necesidad de mejorar la disponibilidad del canal de forma automática y transparente para el usuario con el fin de conseguir una tecnología en HF para comunicaciones con suficientes prestaciones (calidad, velocidad) que puedan sustituir en ciertas aplicaciones con bajos requerimientos de ancho de banda a las comunicaciones por satélite.

En este sentido los grupos de investigación de GAPS en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) e IDeTIC en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) llevan más de 15 años trabajando en

comunicaciones en la banda de HF. Si inicialmente los desarrollos tenían una orientación civil en el ámbito aeronáutico, en un plazo muy breve se puso de manifiesto el interés para nuestras Fuerzas Armadas, siendo este enfoque el que ha dirigido nuestra actividad en los últimos años. La base fundamental de estos desarrollos es el uso de principios de SDR (*Software Defined Radio*) que mejoran indudablemente las prestaciones de las comunicaciones HF y garantizan la interoperabilidad con el resto de las redes de Defensa. Hemos de indicar que esta transmisión de datos es perfectamente integrable con un sistema de encriptado.

Como primer paso, la transmisión de voz digital interactiva con una supresión total del molestísimo ruido del enlace analógico y con un grado de inteligibilidad equivalente a una conversación telefónica despertó gran interés en los tres ejércitos tal como se puso de manifiesto en la publicación "Romper las barreras del retardo en HF: una idea hecha realidad" en el Boletín de Observación Tecnológica en Defensa, N.º 18, páginas 43 - 45, 1.º trimestre 2008.

Posteriormente, la transmisión de datos de alta velocidad tomó todo el protagonismo introduciendo elementos innovadores como es el uso de modulaciones modernas, diversidad de antena y de canal convirtiendo el enlace habitual percibido como inestable y de baja velocidad de transmisión en un nuevo paradigma con comunicaciones fiables, permanentes y de alta velocidad. En este tiempo, hemos de agradecer a las FFAA su colaboración permitiendo que estos sistemas hayan sido probados en sus instalaciones tanto fijas como móviles definiendo de forma coordinada las pruebas de interés así como la propia funcionalidad de los equipos.

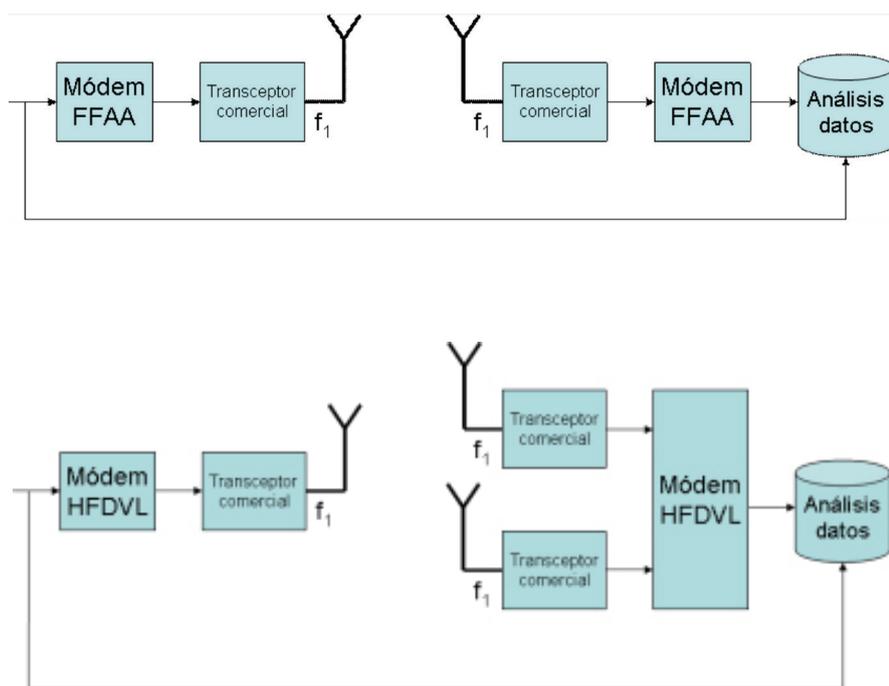


Fig. 2. Esquema de pruebas del módem comercial (arriba) y HFDVL (abajo). (Fuente propia)

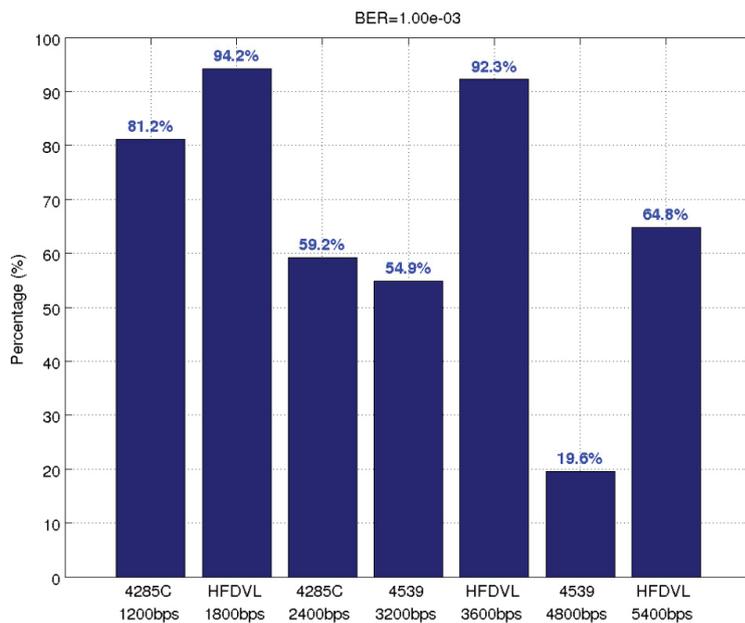


Fig. 3. Disponibilidad: HFDVL y formas de onda 4285-C y 4539 en BER=10⁻³ (izda) y velocidades nominal y media de transmisión por tramas (100 bits) (dcha). (Fuente propia)

de protección de errores muy potentes y también el uso de entrelazados de más memoria que permite la distribución más uniforme de los errores en lugar de su aparición en ráfagas (en los intervalos en los que el canal de transmisión sea adverso) con lo que se mejoran las prestaciones de los codificadores sustancialmente. Por otro lado, también se requieren tasas de error mucho más bajas que la transmisión de voz para tener una calidad satisfactoria por lo que la selección del codificador de canal es esencial. Hoy en día, los códigos que ofrecen las mejores prestaciones son los turbo códigos y los códigos LDPC (*Low Density Parity Check*). Entre estos dos tipos de códigos, los códigos LDPC irregulares son los mejores en términos de BER (*Bit Error Rate*), por lo que se han elegido para el módem de datos. En cuanto a los turbo códigos, las prestaciones son similares a LDPC tal como se indica en la literatura especializada pero supone una mayor complejidad en cuanto a su implementación por lo que han sido descartados en este escenario. La tabla 1 muestra los distintos modos de funcionamiento del módem en modo datos, donde se puede observar que la velocidad mínima del sistema es de 1.800 bps y la máxima de 8.640 bps:

La figura 1 muestra el resultado de una transmisión secuencial sin retransmisiones de una fotografía a distintas velocidades con un LDPC de tasa 1/2. Es notable observar que durante la transmisión de la 16-QAM el canal era más hostil que en el caso de la 64-QAM.

Puede observarse que, en cualquier caso, la tasa de error es muy baja por lo que esta estrategia de modulación/codificación no sólo es muy adecuada en transmisiones en radiodifusión sino que es la clave de la eficiencia en cuanto a la velocidad real que se garantiza, cuando se combina con mecanismos de retransmisión tipo ARQ (*Automatic Repeat Request*).

Sin embargo, el aspecto más destacado de los últimos años ha sido la colaboración del Ministerio de Defensa mediante el proyecto del Programa COINCIDENTE de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) de título “Desarrollo, implementación y prototipado de una forma de onda español en HF para la transmisión de voz digital y datos en el ámbito de Defensa (MDEF-HFDVL)”, que ha posibilitado la construcción de una plataforma hardware específica y el desarrollo de aplicaciones como el correo electrónico, mensajes cortos y transmisión de ficheros cumpliendo con los principios del STANAG 5066¹. Ha nacido así el Sistema HFDVL (*HF Data+Voice Link*) basado en el módem HFDVL. Todo ello abre la puerta a un futuro en el que probablemente estos equipos puedan cubrir las necesidades de comunicación a larga distancia de nuestras FFAA.

Fundamentos del módem de datos HFDVL

Se describirán a continuación aquellos aspectos más significativos que diferencian al módem de datos frente al de voz que ya fue descrito en la publicación de 2008 de este mismo Bo-

letín. Este aspecto es muy importante porque hemos desarrollado un nuevo módem a partir de los conceptos de la SDR de manera que las formas de onda están compuestas por módulos que pueden ser reaprovechados en una gran medida. Se respeta por tanto la estructura de trama OFDM (*Orthogonal Frequency Division Modulation*) con 73 portadoras en una canalización estándar de 2,7 kHz cumpliendo con la norma MIL-STD-188-141C, siendo 60 de datos con pilotos intercalados de forma uniforme para la estimación e interpolación de canal incluyéndose ahora constelaciones 16 y 64-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) además de la 4-QAM ya existente.

El principal aspecto diferenciador con el caso de voz digital es que la transmisión de datos no requiere interactividad por lo que se puede asumir latencia de varios segundos. Este aspecto es fundamental en el diseño ya que posibilita el uso de códigos

Codificación	Tasa de codificación	Velocidad neta de transmisión [bits/seg]		
		QPSK	16QAM	64QAM
LDPC	1/2	1800	3600	5400
	4/5	2880	5760	8640

Tabla 1: Velocidades de transmisión netas del módem de datos HFDVL. (Fuente propia)

¹ STANAG 5066 PROFILE FOR HIGH FREQUENCY (HF) RADIO DATA COMMUNICATIONS.

Procesado multicanal en espacio/frecuencia

Si bien es cierto que la modulación OFDM con el potente codificador incorporado proporcionaba por sí misma una mejora de prestaciones muy notable frente a diseños convencionales monoportadora, sin embargo la fiabilidad de la comunicación estaba lejos de lo habitualmente esperado en otras bandas. La razón fundamental es que la comunicación ionosférica presenta fluctuaciones importantes de potencia de señal recibida o bien incrementos puntuales de interferencia que provocan que los enlaces se interrumpían con cierta frecuencia.

Tomar conciencia de este problema nos indujo a plantearnos una estrategia complementaria que robusteciera el sistema frente a estos desvanecimientos: la explotación de una fuente de diversidad a nivel de señal. Es decir, si una transmisión se realiza por canales independientes bien porque se reciba por antenas separadas o por canales de frecuencias alejadas es muy poco probable que todas simultáneamente sufran este tipo de desvanecimiento. La combinación óptima de estos canales se percibe por el usuario como si se transmitiera por un canal estable por lo que se eliminan notablemente las interrupciones de la transmisión. En nuestros experimentos se concluyó que la diversidad espacial es muy importante recibiendo por antenas que incluso no necesitan estar muy alejadas (decenas de metros) pero sí es deseable que tengan diagramas de radiación bien diferenciados como, por ejemplo, disponer de polarizaciones distintas. En la sección de pruebas mostraremos de forma concluyente esta mejora de prestaciones.

Pruebas de verificación del módem de datos HFDVL

Para la verificación y comparación de las prestaciones de nuestro módem con formas de onda estándares se ha contado muy especialmente con la colaboración de las FFAA, permitiéndonos usar sus instalaciones. Destaca la campaña de pruebas específicas en los meses de junio-julio de 2011 porque se estableció una prueba sistemática de una semana completa a lo largo de todo el día para extraer estadísticas de prestaciones del módem HFDVL (en recepción con

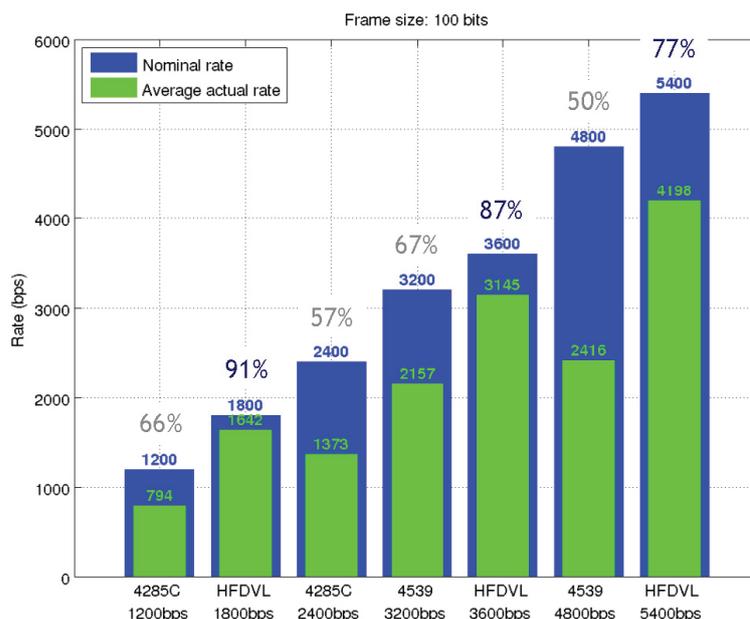


Fig. 3. Disponibilidad: HFDVL y formas de onda 4285-C y 4539 en BER=10-3 (izda) y velocidades nominal y media de transmisión por tramas (100 bits) (dcha). (Fuente propia)

MÓDEM	FORMA DE ONDA	VELOCIDAD (bps)
Harris RF-5710/RF-5710A	4285-C, entrelazado largo	1200
Harris RF-5710/RF-5710A	4285-C, entrelazado largo	2400
Harris RF-5710A	4539, entrelazado medio	3200
Harris RF-5710A	4539, entrelazado medio	4800
Sistema HFDVL	4QAM, entrelazado largo, LDPC 1/2	1800
Sistema HFDVL	16QAM, entrelazado largo, LDPC 1/2	3600
Sistema HFDVL	64QAM, entrelazado largo, LDPC 1/2	5400

Tabla 2: Formas de onda usadas en las pruebas

dos antenas) y un par de módems comerciales habitualmente usados por las FFAA que corresponden a la norma STANAG 4285² y la STANAG 4539³ porque es previsible que también se use de forma habitual en un futuro próximo. El escenario escogido contempla una única estación transmisora CIGAPAL ubicada en Almatriche (Gran Canaria) perteneciente a la Armada y varias estaciones recepto-

ras en la península: VIGÍA (Madrid) y JMOVA (Zaragoza) del EA y Bermeja (Madrid) de la Armada. La tabla 2 resume las características de las distintas formas de onda que se evaluaron y compararon:

Los diagramas de bloques de la figura 2 representan de forma esquemática los despliegues realizados destacándose que se usaron exclusivamente los transceptores comerciales disponibles en las estaciones.

Una vez realizadas las pruebas exhaustivas, se muestra en la figura siguiente los resultados en términos de fiabilidad del enlace (porcentaje del tiempo que se puede mantener una cierta tasa de error) y en términos de

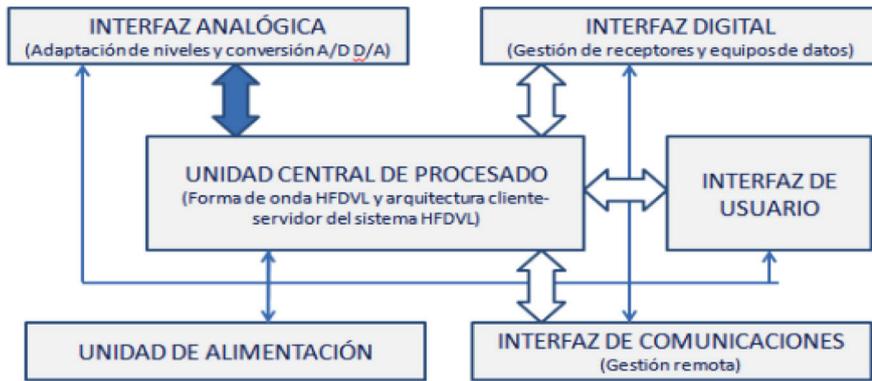


Fig. 4. Arquitectura de la plataforma HW del Sistema HFDVL. (Fuente propia)

la velocidad de transmisión real (bits recibidos correctamente) frente a la velocidad nominal. Se puede observar que el sistema HFDVL muestra un comportamiento muy robusto para su modo más lento (1.800 bps) con una disponibilidad superior al 90%. Adicionalmente, es especialmente notable que estas prestaciones se mantienen en el modo a 3.600 bps también con una disponibilidad superior al 90%. En el modo más rápido a 5.400 bps también es bastante robusto pudiendo ser usado en torno al 65% del tiempo.

Por lo tanto, podemos concluir que la ganancia de disponibilidad de cualquiera de los modos del HFDVL es significativamente mayor que en los sistemas comerciales, al menos en las condiciones en las que se han realizado las pruebas. Ello indica que podemos hablar de una siguiente generación de sistemas con velocidades nominales altas (3.600 bps) que pueden operar casi en cualquier canal (90%). Tal como hemos indicado anteriormente, la combinación multiantena juega un papel muy importante en la consecución de estas prestaciones. En este caso hemos dispuesto sólo de dos antenas, por lo que es previsible que estas prestaciones sean mejorables si se utilizara un mayor número de ellas. Para facilitar la comparación entre las distintas formas de onda, también se muestran todas ellas (ordenadas crecientemente por su velocidad nominal), con la velocidad real media.

En la figura 3 se comprueba cómo las dos velocidades reales medias mayores se obtienen con la forma de onda del HFDVL a 3.600 y 5.400 bps. A éstas les sigue la forma de onda 4.539 a 3.200 y 4.800 bps, con velocidades

medias muy parecidas entre sí, pero bastante alejadas de sus valores nominales. Posteriormente se encuentra la del HFDVL a 1.800 bps, con una velocidad real media muy cercana a la nominal y, por último, las formas de onda 4.285-C a 1.200 y 2.400 bps.

Proyecto COINCIDENTE

El proyecto COINCIDENTE, en conjunción con la cofinanciación obtenida desde el Programa de Investigación y Desarrollo en Cooperación del CDTI, supone el impulso definitivo para convertir el sistema HFDVL en una realidad como producto operativo. Para ello, los grupos de investigación realizan una alianza comercial con la empresa MM CICOM Telecomunicaciones S.L. de tal forma que sea posible presentarse a ambos programas de financiación y definir unos objetivos industriales y comerciales para el sistema. Entre estos objetivos estuvieron el definir y desarrollar una plataforma HW-SDR para soportar todas las necesidades operativas del sistema, desarrollar todo un sistema de interfaz de usuario y canales de entrada/salida de información estándar y, finalmente, como gran reto a nivel de aplicación, desarrollar la norma STANAG 5066 (modo ARQ) integrándola en el sistema y ofertando servicios de transferencia de ficheros, mensajería corta (SMS) y HFMail.

a) Plataforma HW del sistema HFDVL

Los módulos principales que componen la plataforma HW-SDR que soporta al sistema HFDVL son los que se muestran en la figura 4. Se compone de:

- Una unidad central de proceso donde se combinan tecnologías CPU de propósito general con unidades

FPGA. La tarjeta CPU de propósito general actúa como núcleo de procesamiento y la FPGA se encarga de las tareas de la entrada y salida de señal en banda base hacia las distintas radios HF del sistema.

- Un módulo de interfaz analógica que permite la gestión simultánea y transparente al usuario de hasta 4 señales HF. Esta interfaz gestiona las señales audio hacia y desde los transceptores, permite adaptar los niveles de señal en grandes rangos y realizar filtrados programables. También es la encargada de la gestión de los PTT.
- Un módulo de interfaz digital para el control de los sistemas radio, hasta un número de 8.
- Un módulo de interfaz de comunicaciones basado en red Ethernet y USB. En el caso Ethernet permite la gestión remota del sistema, como la capacidad de envío y recepción de ficheros vía red, o como puerta de enlace a los servicios ofrecidos por la aplicación STANAG 5066, como puede ser el HFMail. En el caso USB, permite tanto el envío de ficheros como la grabación de los recibidos.
- Finalmente incorpora una unidad de alimentación, tanto para unidades móviles como fijas, y una interfaz de usuario basada exclusivamente en una pantalla táctil.

A nivel SW la plataforma HW-SDR es gestionada completamente por un sistema SuSE Linux Enterprise que aglutina el control de las comunicaciones, soporta los sistemas de gestión de usuario y lo más relevante de todo, soporta el conjunto de formas de ondas, modos de trabajo y protocolos de alto nivel. En la figura 5 se muestra una vista general de la plataforma así como un detalle de las capacidades de conexionado trasero. El sistema tiene unas dimensiones de 130 mm de ancho, 110 mm de alto y 250 mm de fondo. En la parte frontal dispone de pantalla táctil, 2 entradas USB, la conexión Ethernet, una salida VGA y el interruptor de operación. En la parte trasera dispone de los 8 canales de control para radios, las 4 líneas de señal de audio+PTT de las radios, la señal de audio+PTT del operador, el conector de alimentación (permitiendo alimentaciones de 24/48 VDC y 110-240 VAC) y el interruptor general del sistema.

b) Descripción de las aplicaciones soportadas: voz, datos modo noARQ continuo y datos modo STANAG 5066 ARQ

El Sistema HFDVL ofrece al usuario múltiples modos de trabajo, todos ellos integrados completamente en la plataforma actual. Antes de dar un breve repaso a cada uno de ellos y sus características más relevantes hay que destacar que el usuario puede interactuar con el Sistema HFDVL en dos modos: local y remoto (vía Ethernet). Ambos modos son idénticos, de hecho es exactamente la misma aplicación la que visualiza y manipula el usuario en modo local (directamente sobre la plataforma HW) y en modo remoto (en su PC). Esto permite una total gestión y uso de todas las capacidades del sistema, incluida las comunicaciones de voz, desde cualquier punto de la red en la que esté conectado el módem. El ancho de banda consumido en el modo remoto es muy reducido, permitiendo el uso completo del sistema desde redes muy limitadas y remotas. Las aplicaciones soportadas son:

- Voz: el sistema permite establecer comunicaciones digitales e interactivas de voz con una calidad muy notable, similar a la de una conversación telefónica. En el modo voz el usuario puede conmutar en cualquier momento al modo analógico si lo desea y retornar a modo digital posteriormente. El usuario puede interactuar desde una consola o bien directamente con un sistema de pulsador conectado al sistema. En este modo el módem trabaja a una velocidad fija de 2.460 bps siguiendo una forma de onda propia OFDM-CDM muy robusta y que garantiza total confidencialidad sin necesidad de encriptado adicional.
- Datos No-ARQ continuo: es el modo base del sistema HFDVL que se apoya en la modulación OFDM y codificación LDPC ya comentadas. En este modo, conocido también como modo *broadcasting* o radiodifusión, el sistema transmite en sentido unidireccional, sin esperar contestación por parte de los sistemas receptores. A diferencia de los estándares que trabajan en modo paquete, el sistema lo hace en modo continuo, lo que, conjuntamente con las velocidades elevadas de transmisión de que dispone, le permite incrementar



Fig. 5. Vistas general y trasera del Sistema HFDVL. (Fuente propia)

de forma notable la velocidad real de transferencia ya que no existen tiempos muertos de parada y re-sincronización necesario en modo paquete. En este modo el sistema ofrece dos servicios posibles: el de SMS (mensajes cortos) o el de transferencia de ficheros. Para cada uno de ellos el usuario tiene varias opciones de interactuar:

- o SMS: en modo local dispondrá de un teclado y ratón conectado al frontal del equipo (puertos USB), y en modo remoto podrá enviar y recibir SMS desde su propia consola.
- o Ficheros: con el interfaz en modo local puede cargar y descargar ficheros desde dos puntos diferentes: por un lado desde los puertos USB, sería una operativa completamente local; y por otro, depositando y recogiendo los ficheros desde las carpetas de red que exporta el sistema, sería por tanto una operativa remota de gestión de ficheros. En modo remoto, ejecutando la interfaz de usuario en su propio PC, puede navegar por su sistema de ficheros enviando y recibiendo directamente desde y en el disco.
- Datos ARQ con la STANAG 5066: en este modo el sistema realmente se comporta como un nodo de una red STANAG 5066 gestionando el envío y recepción de información de una forma totalmente autónoma al usuario. En este modo, el sistema ofrece al usuario tres servicios, o mejor dicho tres *Service Access*

Points (SAP según la terminología de la STANAG 5066) que son: SMS, transferencia de ficheros y HFMail. Los tres servicios son simultáneos y, por tanto, se pueden estar enviando SMS, correos y ficheros al mismo tiempo, e incluso a nodos diferentes de la red. Así mientras, por ejemplo, estamos manteniendo una conversación vía SMS con una unidad en vuelo podemos estar al mismo tiempo recibiendo un correo electrónico con ficheros adjuntos procedentes de una unidad desplegada en una determinada zona del área de operaciones. Todo el proceso de gestión es transparente al usuario una vez se define, configurando la gestión de la red STANAG 5066. Para el servicio HFMail el sistema no requiere de ningún sistema propietario fuera del Sistema HFDVL, siendo completamente compatible con los sistemas estándares SMTP de gestión de correo existentes en el mercado. En la figura 6, se muestra al sistema HFDVL trabajando en modo ARQ. A la derecha se muestra una captura en modo local en una de las pantallas de información, en concreto, de la evolución de SNR (con una situación estable de enlace entre 10 y 13 dB). A la izquierda se muestra una captura de pantalla trabajando en modo remoto donde se aprecia una conversación de SMS, una recepción de fichero (foto en color), y de fondo un cliente de correo *Thunderbird* y una carpeta de ficheros transmitidos y recibidos.

Desarrollos actuales. HF de banda ancha

Para finalizar este artículo, creemos conveniente dar unas pinceladas sobre la que sin duda se consolidará como la siguiente generación de módems y radios en HF: *el sistema HF de banda ancha*. Si indudablemente en numerosas aplicaciones es necesaria una mayor velocidad de transmisión, debemos mostrar un cierto escepticismo respecto a que el módem descrito por la norma MIL STD 188-110 C (capa física) sea la solución más eficaz. Aunque apenas se dispone de información relativa a prestaciones, resulta muy poco verosímil que en condiciones normales de transmisión puedan usarse constelaciones tan densas como 256-QAM por lo que debemos ser muy prudentes en cuanto a la verosimilitud de las velocidades prometidas por la norma. Ello se debe a que esta forma de onda sigue siendo monoportadora, por lo que va a sufrir un desvanecimiento selectivo muy significativo (mucho más severo que en banda estrecha) que requerirá de operaciones de igualación muy complejas, e igualmente se va a ver mucho más afectada por la multitud de interferencias existentes en la banda HF. Por otro lado, en su diseño se insiste en usar códigos convolucionales que, como ya hemos indicado, ofrecen peores prestaciones que los LDPC o Turbo Códigos. Adicionalmente, la combinación multiantena se complica notablemente en este caso. Desde un punto de vista de disponibilidad espectral tampoco está claro que en general se tenga acceso a 24 kHz seguidos por lo que se va a exigir cierta redistribución del espectro. Y para finalizar, un aspecto de enorme impac-

to presupuestario: se necesitarán nuevos transceptores/amplificadores de banda ancha por lo que los equipos antiguos son incompatibles.

Bajo nuestra perspectiva, hemos demostrado que OFDM es una modulación robusta y eficiente en banda estrecha (3 kHz), que, combinada con potentes codificadores y explotando adecuadamente la diversidad espacial, proporciona al usuario una percepción de canal estable y permanentemente disponible. Estas características la hacen también especialmente atractiva en banda ancha por varias razones:

- La igualación es igual de sencilla que en banda estrecha (desvanecimiento plano por portadora).
- Admite una granularidad total pudiéndose transmitir un número arbitrario de portadoras permitiendo, por tanto, gran flexibilidad en cuanto al ancho de banda.
- No requiere de transmisiones contiguas en ancho de banda sino que pueden seleccionarse distintas subbandas transmitiéndose distintos bloques de portadoras donde haya disponibilidad espectral o por donde se perciba que el canal es más favorable.
- Pueden ser transmitidas por un transceptor de 24 kHz, o bien por otro de ancho de banda mucho mayor, si se desea potenciar la transmisión en bloques de portadoras bien separadas. Por otro lado, pueden ser utilizados varios transceptores convencionales de 3 kHz en paralelo

(alimentando distintas antenas) por lo que puede proporcionar multiplexación frecuencial sin necesidad de adquirir nuevos transceptores.

- La combinación multiantena va a resultar igualmente eficiente.

Todas estas modificaciones son posibles con un esfuerzo razonable gracias al concepto SDR en el que se basa el Sistema HFDVL y que puede ser combinado con los principios de la radio cognitiva para seleccionar de forma dinámica los canales más favorables transmitiéndose velocidades muy superiores a las actuales de forma transparente para el usuario que percibe un canal de alta disponibilidad y calidad.

Conclusiones

El resultado del proyecto MDEF-HFDVL permitirá al Ministerio de Defensa mejorar muy notablemente el uso que hace de sus instalaciones actuales para la transmisión en HF, aprovechando y sin tener que cambiar los diferentes tipos del parque de transceptores de HF que dispone. Los equipos del demostrador del sistema HFDVL garantizan plena capacidad de integración con el resto de los sistemas radio existentes, transceptores y antenas. No debe en ningún caso interpretarse como un sistema alternativo a otros módems comerciales sino una opción más a usar a su conveniencia en escenarios de comunicaciones exclusivos para nuestras FFAA.

Se han cumplido de forma clara todos los objetivos inicialmente planteados con el proyecto e incluso, en algunos casos superados; en concreto, los siguientes:

- Integración del módem de voz en la plataforma y realización de las pruebas de verificación y validación para comprobación de su correcto funcionamiento: se ha obtenido una calidad en la transmisión de voz similar a la obtenida con telefonía móvil, con la agradable sensación de interactividad. Esta calidad, especialmente notable por la ausencia de ruido, va a facilitar las comunicaciones de defensa donde la voz sigue siendo muy importante en escenarios como la ayuda a la navegación de nuestras aeronaves, comunicaciones buque-tierra, comunicaciones terrestres y el enlace remoto desde misiones muy alejadas.



Fig. 5. Vistas general y trasera del Sistema HFDVL. (Fuente propia)



Fig. 6. Sistema HFDVL con STANAG 5066 trabajando en modo local y remoto. (Fuente propia).

módem HFDVL se aconsejan las siguientes:

1. Implementación de la pila de protocolo IP conforme al STANAG 5066.
2. Realización de los trabajos y modificaciones necesarias para la certificación de los módem conforme a las normas MIL-STD-810-G y MIL-STD-461E, lo que permitiría su instalación en vehículos tácticos terrestres (con la configuración actual sólo es factible instalarlo en *shelter*, aeronaves y buques).
3. Sin modificación de la plataforma HW, incorporar un mecanismo de gestión automática del enlace que explote los principios de la radio cognitiva para usar el espectro selectivamente de forma automática para evitar las interferencias y maximizar así las prestaciones.
4. Adaptación del módem HFDVL a la banda de VHF con canalizaciones de 25 kHz y canales de trasmisión más estables, lo que supondría un notable incremento de las velocidades de trasmisión de datos y disponibilidad de los enlaces.
5. Adaptación del módem HFDVL a las futuras generaciones de transceptores de radio de HF con canalizaciones de 25 kHz en vez de los 3 kHz actuales, lo que supondría un notable incremento de las velocidades de trasmisión de datos.

- Integración de un módem de datos para transmisiones síncronas tipo radiodifusión con una única antena y transmitiendo en un solo canal: se ha obtenido velocidades de trasmisión de datos de hasta 5.400 bps muy superior a las velocidades reales actuales en sistemas de HF que no suelen pasar de 700 bps, es decir un 73% superior.
- Integración de la versiones multi-banda/multi-antena del módem de voz digital interactiva y el módem de datos, con capacidad de combinación de señales en recepción. Aumenta notablemente la disponibilidad del enlace en la banda de HF hasta en un 64% frente a un 19,6% de los sistemas de HF actuales, es decir un 300% superior. La recepción con múltiples antenas que incluso pueden estar mucho más próximas si disponen de polarizaciones distintas, proporcionaría comunicaciones estables de alta calidad.
- Desarrollo de tres aplicaciones de usuario: sistema de correo basado en el protocolo HMTP, chat y sistema de transferencia de ficheros en modo ARQ y no-ARQ compatibles con la norma STANAG v1.2 5066 operativas en comunicaciones punto a punto y basadas en conectividad IP. Actualmente a nivel nacional no se tenía hasta ahora una aplicación de este tipo, probada y validada.
- Las características anteriores suponen un paso importante hacia el au-

tomatismo de las comunicaciones HF, reduciendo sustancialmente la necesidad de disponer de operarios de radio especializados.

El desarrollo conseguido con este proyecto pone a nuestras FFAA en la cabeza de una nueva generación de comunicaciones HF donde el enlace está siempre disponible, las velocidades cubren la mayor parte de las necesidades básicas y los retardos dejan de ser significativos en comunicaciones de voz.

En cuanto a las líneas de trabajo a realizar en un futuro para mejorar el

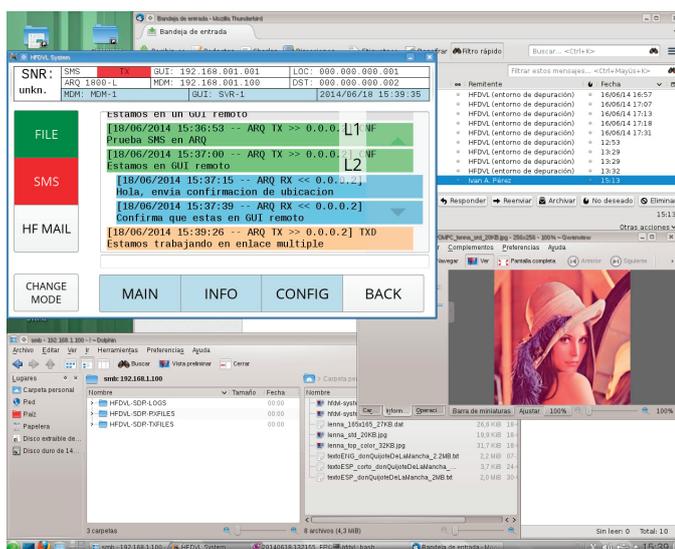


Fig. 6. Sistema HFDVL con STANAG 5066 trabajando en modo local y remoto. (Fuente propia).