

# VOZ DIGITAL INTERACTIVA SOBRE ENLACE IONOSFÉRICO\*

H. Santana-Sosa, I. Raos<sup>†</sup>, I. Pérez-Álvarez, S. Zazo<sup>†</sup>, E. Mendieta-Otero

Dpto de Señales y Comunicaciones. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. España.

<sup>†</sup>ETS Ingenieros de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid. España

Teléfono: +34-928457362, e-mail: [ivan@dsc.ulpgc.es](mailto:ivan@dsc.ulpgc.es)

**Abstract- Though data communications in HF band have been present for more than twenty years, voice communications, which require interactivity, have relied exclusively on analog techniques due to large delays introduced by interleavers and codecs. This paper presents a system whose purposes are to provide interactive digital voice communication and high data rates over ionospheric links. The desing uses several novel techniques as MC-CDMA which is cosidered as a real option for the fourth generation of terrestrial mobile systems (4G).**

## I. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal del presente diseño ha sido el desarrollo de un sistema de comunicaciones en la banda de HF que permitiera la transmisión de voz digital con un ancho de banda aproximado de 3Khz, a través de enlaces ionosféricos. La interactividad es por lo tanto base irrenunciable del diseño. Se ha demostrado que las estructuras monoportadoras no son adecuadas debido a su dependencia de poderosos sistemas de codificación y matrices de entrelazado grandes con retardos de varios segundos. Por otro lado, los sistemas OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) utilizan técnicas muy robustas ante canales cuyo principal inconveniente sea la comunicación multitrayecto. La combinación de técnicas de éstas características junto con esquemas de espectro ensanchado (CDMA, Code Division Multiple Access) proporcionan un módem extremadamente robusto sin necesidad de utilizar códigos y entrelazados con su inherente retardo. Utilizando estos medios, hemos sido capaces de diseñar un sistema de alta tasa binaria con la posibilidad de proporcionar comunicación interactiva.

### A. Estado del Arte

Desde hace algunos años, una gran parte de la tecnología OFDM ha sido desclasificada, permitiendo así, la aplicación de esta técnica a necesidades de entornos civiles. La mayor parte de las actuales aplicaciones se basan en el standard MIL-STD-188-110A [1] o bien en el estándar STANAG 4285 [2].

Diversos sistemas han sido analizados por C. Cook [3] y también por E.E. Johnson [4], estudiando gran cantidad de

parámetros como longitud de entrelazado, robustez ante el ruido impulsivo, comportamiento ante la interferencia cocanal, relación entre potencia medio y potencia de pico, especificaciones de los equipos y problemas de sincronismo temporal-frecuencial. De dichos estudios se puede extraer como primer dato significativo para nuestro sistema, que el mejor rendimiento que se le presume a los módem monoportadora es debido al uso de potentes esquemas de codificación que se ajustan óptimamente a sistemas con un entrelazado largo. Sin embargo, en la ausencia de entrelazados, los sistemas multiportadoras proporcionan una mayor robustez. De hecho, las características de los sistemas monoportadoras los hacen incompatibles para la transmisión de voz interactiva, concluyéndose de ésta manera que los sistemas multiportadora son la única solución aceptable para la transmisión de voz digitalizada interactiva con retardos aceptables.

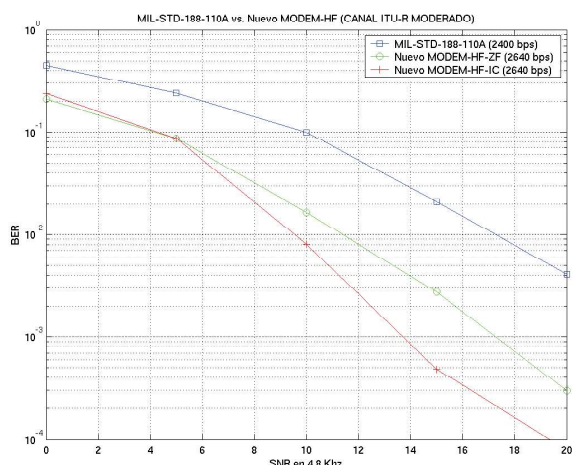
La Organización Internacional de Aviación Civil (OACI) ha desarrollado recientemente el sistema HF DL (High Frequency Data Link), descrito en [5], que establece una comunicación de datos en la banda de HF entre estaciones terrenas y aeronaves con una tasa binaria de hasta 1800 bps. La capa física se basa principalmente en el estándar militar MIL-STD-188-110A que usa una sola portadora junto con una codificación y entrelazado variable con un retardo de varios segundos.

El módem descrito en el estándar MIL-STD-188-110A, que en sus apéndices describe también dos sistemas multiportadora, soporta tasas binarias que se sitúan entre 75 y 2400 bps. La transmisión utiliza un codificador convolucional con una modulación 8-PSK junto con matrices de entrelazado variable. Para alcanzar 2400 bps no utiliza ninguna codificación, por lo que éste régimen sólo puede ser alcanzado en condiciones muy benévolas. Este módem ha de ser considerado como uno de los primeros sistemas militares para la comunicación interactiva en la banda de HF desclasificados y por lo tanto ha de ser tomado como sistema de referencia.

### B. Modulaciones Multiportadora

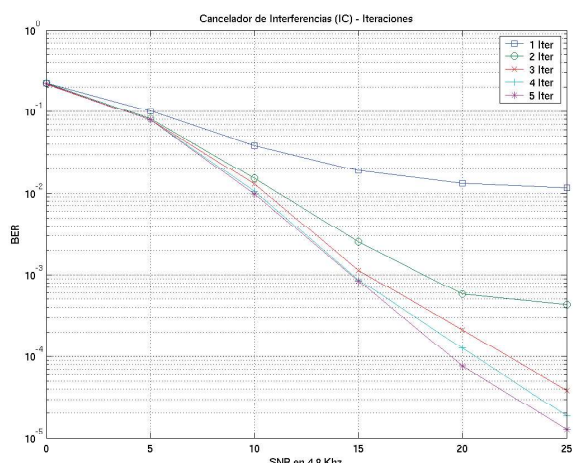
El principal problema a considerar cuando se diseña un módem HF está relacionado con la longitud de la respuesta al impulso, consecuencia de las severas distorsiones que introduce el canal. Como es bien sabido, la reducción de la tasa de transmisión de símbolos repercute en un descenso del ancho de banda de la señal portadora. Por lo tanto, para poder obtener una tasa de transmisión determinada manteniendo regímenes lentos, se habrá de acudir a la

(\*) Este trabajo a sido apoyado por AENA (Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea) en los proyectos 00/49 y 00/50, y parte del proyecto nacional TIC2002-04569.



**Figura 3.** Rendimiento del nuevo módem con y sin IC en comparación con MIL-STD-188-110A

En la figura 4 se muestra el rendimiento del cancelador de interferencias (IC) modificando uno de sus número de iteraciones. Es importante destacar que este valor no se está reduciendo la eficiencia espectral lo más mínimo (no se introduce ningún tipo de redundancia). El único punto crítico que se ve alterado por el aumento de iteraciones es la carga computacional, aunque esta es perfectamente asumible dadas las capacidades de las últimas generaciones de DSPs.



**Figura 4.** Rendimiento del 'Cancelador de Interferencias' (IC) en función del número de iteraciones

Finalmente, se han realizado simulaciones con las que se han realizado pruebas de audio. El sonido fuente se corresponde a diferentes conversaciones entre pilotos y controladores de vuelo capturadas en la banda VHF. Se han llevado a cabo comunicaciones analógicas y digitales utilizando un simulador de HF y el módem aquí presentado con un vocoder MELP, obteniéndose retardos máximos de 125 mseg. en cada uno de los sentidos de una comunicación. Pueden obtenerse muestras de los tests reseñados, y el esquema de pruebas utilizado, en la siguiente dirección de ftp anónimo: <ftp://gic.dsc.ulpgc.es/pub/interactiveHFvoice>

#### IV. CONCLUSIONES Y LINEAS DE TRABAJO FUTURAS

El presente trabajo ha demostrado que la transmisión de voz digitalizada interactiva utilizando la banda de HF es factible. Esto supone un logro significativo especialmente si constatamos el incremento de calidad e inteligibilidad conseguido con respecto a la de comunicaciones HF analógicas. Las claves básicas del sistema son: a) Uso de modulación OFDM; b) Pilotaje distribuido en el tiempo-frecuencia adaptado a canales rápidamente variantes en el tiempo; y c) El uso de potentes técnicas de tratamiento de señales inspiradas en comunicaciones móviles.

Una vez se ha demostrado mediante el uso de simuladores la posibilidad de transmitir voz digital, deben desarrollarse estudios complementarios de gran interés en la línea del trabajo desarrollado: a) Verificación de los resultados obtenidos en enlaces reales; b) Análisis del sistema con constelaciones mayores y haciendo uso de potentes codificadores y largos entrelazados con el objetivo de aumentar la tasa binaria para la transmisión de datos.

#### REFERENCIAS

- [1] Departamento de Defensa de EE.UU., 1991. "Military Standard Interoperability and Performance Standards for Data Modems". MIL-STD Standards.
- [2] NATO STANAG-4285, Edition 1, Amendment 1, 1990, "Characteristics of 1200/2400/3600 bits per second single tone modulators /demodulators for HF radio links" NATO Standardization Agreements.
- [3] Cook, S.C., 1995. "Advances in High Speed HF Radio Modem Design", Proc. Nordic Shortwave Conference (HF 95), Faro, Suecia.
- [4] Johnson, E.E., et al., 1997. "Advanced High Frequency Radio Communications". Artech House Boston, EE.UU..
- [5] Organización Internacional de Aviación Civil, Septiembre 1998. "Standard and Recommended Practices for HF DL".
- [6] Weinstein S.B. and Ebert P.M., Octubre 1971 "Data transmission by Frequency-Division Multiplexing using the Discrete Fourier Transform". IEEE Transac. on Communications Technology, Vol. Com-19, No. 5, pp 628-634.
- [7] Bingham J.A.C., Mayo 1990. "Multicarrier Modulation for Data Transmission: An Idea Whose Time Has Come". IEEE Communications Magazine, pp 5-14.
- [8] Zazo, S and Esteban, E. Marzo 1999. "Comparison of single carrier and multicarrier techniques for the HF DL system". 6º Encuentro del 'Aeronautical Mobile Communication Panel' (AMCP), ICAO, Montreal, Canada.
- [9] Fernández-Getino, et al., 1999 "Novel pilot patterns for channel estimation in OFDM mobile systems over frequency selective fading channels". Proceedings IEEE International Symposium on Personal Indoor, Mobile and Radio Communications, PIMRC'99, Osaka, Japón.
- [10] Raos, I., et al., Junio 2003 "Performance of OFDM-CDMA in HF Channel". Proceedings IEE HF Radio Systems and Techniques, Bath, Reino Unido.
- [11] CCIR, Rc. 520-1, 1982. "On the Use of ionospheric channel simulators in decametric waves". International Telecommunications Union (ITU).
- [12] Borrador para la 'Federal Information Processing Standards Publication', Mayo, 1998. "Analog to Digital Conversion of Voice by 2400 bit/second Mixed Excitation Linear Prediction (MELP)".