

# HERRAMIENTA SOFTWARE PARA EL ESTUDIO DE LA PROBABILIDAD DE ERROR DE BIT EN SENSORES INALÁMBRICOS

Francisco Javier Díaz Jiménez

Alejandro Martínez Sala

María Victoria Bueno Delgado

Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones  
Universidad de Politécnica de Cartagena

Fjavier.diaz@upct.es

Alejandro.martinez@upct.es

Mvictoria.bueno@upct.es

**Abstract-** This paper presents *DIGCOMStudio*, a software tool programmed in MATLAB which allows the study of error rate in low power digital communication devices. These kinds of devices are supposed to be used as transceivers in wireless sensor networks. *DIGCOMStudio* supposes an excellent tool in order to feed the transmitter and analyze the demodulated signal. It generates base-band digital signals according to the parameters specified by the user. Then it compares them with the received signal and estimates the error rate. It also supposes a didactical scenario easy to use when studying and analyzing the properties of such communications.

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de prototipos para el estudio del comportamiento real y rendimiento de las redes inalámbricas (WSN's) [1] resulta muy costoso. Los protocolos diseñados para WSN, en la mayoría de las ocasiones, se evalúan por medio de simulaciones. Para el desarrollo de los protocolos WSN es necesario realizar asunciones de la capa radio, introduciendo modelos exactos para la evaluación de parámetros como la sensibilidad, cobertura e interferencias. Por tanto, para poder introducir parámetros realistas en las simulaciones WSN es necesario realizar campañas de medidas que permitan obtener dichos valores.

Las redes de sensores inalámbricas (WSN's) están formadas por dispositivos de transmisión digital de baja potencia que trabajan a velocidades lentas condicionadas a requisitos de bajo consumo y baja potencia. Los dispositivos hardware de estas características deben ser verificados en términos de probabilidad de error de bit. Para ello es necesario estimular y procesar la entrada y salida de los *transceivers*.

En este artículo se presenta la herramienta software *DIGCOMStudio*, implementada en MATLAB y diseñada específicamente para estudiar la probabilidad de error de bit en los sistemas de comunicaciones digitales que trabajan a baja potencia como son las redes de sensores entre otros.

Para llevar a cabo las medidas de probabilidad de error de bit, la herramienta *DIGCOMStudio* utiliza la tarjeta de

sonido de un PC estándar a modo de convertidor analógico/digital.

Para un transmisor y un receptor dado, la salida del convertidor AD/DA estará conectada al transmisor de baja potencia, mientras que la entrada se conectará al receptor. Se comparará la señal emitida con la recibida y se estimará la probabilidad de error de bit.

Para lograr la continuidad de las operaciones de la herramienta y obtener resultados en tiempo real, se utilizan técnicas de sincronización apropiadas. En cuanto a las limitaciones en velocidad de muestreo de las tarjetas de sonido estándar, *DIGCOMStudio* permite utilizar otros dispositivos AD/DA compatibles con MATLAB (p.e PCI-6035E de *National Instruments*).

Dada su sencillez, *DIGCOMStudio* se presenta como una excelente herramienta didáctica para el estudio práctico de sistemas de comunicaciones digitales en general y en particular para el estudio de los dispositivos usados como nodos en redes de sensores inalámbricas.

El resto del artículo que se presenta se estructura de la siguiente manera: En la sección II se comentan las consideraciones *hardware* previas. En la sección III se describe el desarrollo del software. La sección IV hace referencia al interfaz de usuario de la herramienta desarrollada. La sección V describe las pruebas realizadas y los resultados obtenidos. Por último, en la sección VI se incluyen las conclusiones.

## II. CONSIDERACIONES HARDWARE

Se pretende estudiar la tasa de error entre *transceivers* de baja potencia usados como nodos en redes de sensores inalámbricas. Para ello se utiliza un *transceiver* CC1000 [2] de *Chipcon*. Este dispositivo destaca por sus características de bajo consumo y baja potencia, parámetros vitales en redes de sensores inalámbricas. Permite modular en FSK sobre las banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) y SRD (*Short Range Device*) en 315, 433, 868 y 915 MHz.

Los parámetros configurables en el *transceiver* son: frecuencia, separación en frecuencia entre símbolos BFSK, tipo de señalización (NRZ o Manchester), velocidad (de 600 a 76800 baudios), potencia en transmisión (de -20 dBm a 5dBm) y configuración del receptor (modo normal o modo bajo consumo). Para llevar a cabo las pruebas, en todos los

casos se decide trabajar en la frecuencia de 868.2972 MHz que se encuentra ubicada dentro de la banda ISM europea.

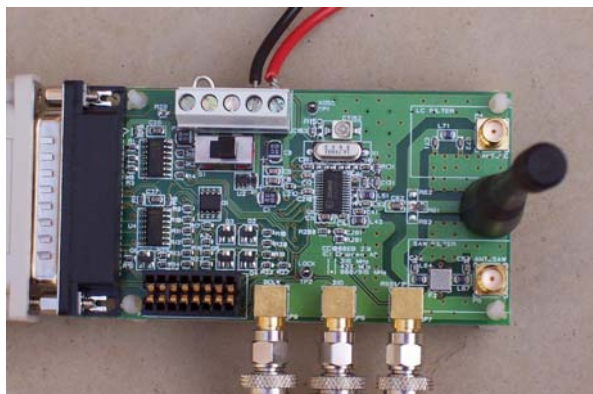


Fig 1. Placa de desarrollo CC1000DK

El estudio de la tasa de error de bit en el *transceiver* CC1000 se realiza empleando la placa de desarrollo CC1000DK [3]. Este hardware incluye el paquete *software* SmartRF que permite configurar fácilmente el *transceiver* CC1000 vía interfaz RS-232.

La placa de desarrollo CC1000DK tiene una entrada llamada DIO (Digital I/O) por la que se introducen las señales digitales en banda base que se quieren transmitir. Si la placa de desarrollo es configurada en modo recepción DIO ofrece la señal digital en banda base ya demodulada.

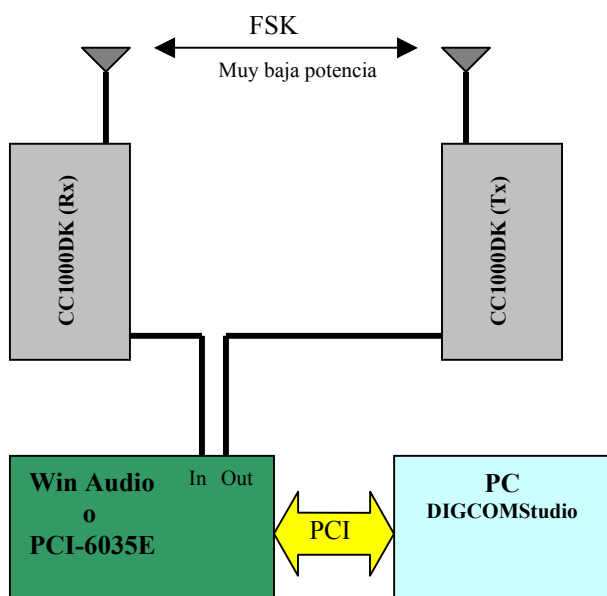


Fig 2. Entorno de pruebas

*DIGCOMStudio* ha sido implementado para atacar la entrada DIO del *transceiver* con una señal digital en banda-base configurable según los parámetros especificados por el usuario. La señal demodulada por el receptor es capturada también por *DIGCOMStudio* que la sincroniza y la compara con la señal emitida con el fin de calcular el número de bits erróneos tras el enlace inalámbrico. La figura 2 muestra esquemáticamente la situación de cada uno de los dispositivos en la configuración bajo estudio.

A modo de convertidores AD/DA, como se comentó anteriormente, se presentan dos alternativas. Por un lado el uso de una tarjeta de sonido de PC con las limitaciones que ello conlleva en cuanto a ancho de banda. Por otro lado el uso de un dispositivo más avanzado como puede ser la tarjeta 6035E de *National Instruments* [4]. Ampliaciones a otros dispositivos compatibles con MATLAB son también posibles.

### III. DISEÑO DEL SOFTWARE

El software se divide en tres módulos básicos: generación de señales en banda base, recepción de señales en banda base y la etapa de sincronización, detección y cálculos.

La funcionalidad de la etapa de transmisión es la de generar una señal en banda base acorde con la configuración establecida por el usuario. Esta señal ataca la salida del dispositivo AD/DA seleccionado después de haber sido configurado conforme a los parámetros especificados. Para facilitar al receptor las tareas de sincronización se establecen los primeros 40 bits a modo de secuencia de entrenamiento siempre fija.

La etapa de recepción se encarga de buscar y detectar señales en banda base acorde con la configuración establecida por el usuario. Esta etapa adquiere datos del dispositivo AD/DA correspondiente.

Por su parte la etapa de sincronización, detección y cálculos realiza la sincronización de la entrada y la salida del dispositivo AD/DA, detecta símbolos y compara ambas señales en tiempo real para calcular el número de bits erróneos. En esta etapa se distinguen dos estados que determinan la sincronía de los dispositivos: El estado *UnLock* indica que las señales no están sincronizadas. Una vez detectado el inicio de secuencia y tras conseguir la sincronización se pasa a estado *Lock*. En este estado se realizan los cálculos referidos al número de bits erróneos en la comunicación. Una tasa de error en el último minuto por encima del 55% fuerza a un cambio de estado, regresando al estado *UnLock*.

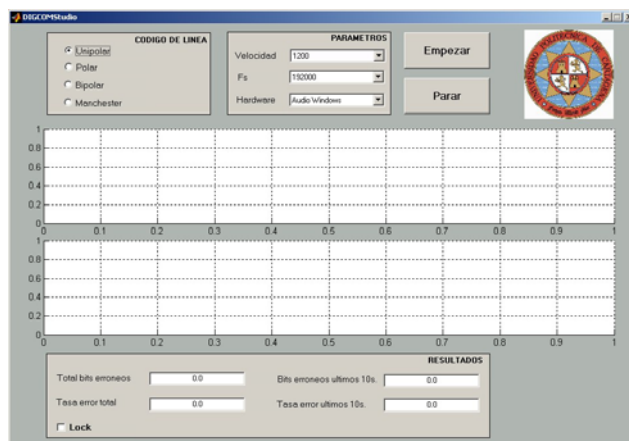


Fig 3. Interfaz gráfica *DIGCOMStudio*

### IV. INTERFAZ DE USUARIO

La interfaz gráfica de *DIGCOMStudio* se presenta con dos zonas diferenciadas. En la parte superior de la interfaz,

la zona de configuración de parámetros de transmisión. En la parte central de la interfaz, la zona de *display* de resultados (figura 3).

Para llevar a cabo la configuración de dispositivos, el primer paso consiste en elegir el tipo de dispositivo hardware elegido como convertidor AD/DA. Existen dos posibilidades: tarjeta de sonido estándar y dispositivo NI-6035E. Una vez seleccionado el dispositivo AD/DA se debe realizar la configuración de los parámetros del dispositivo. El usuario puede elegir múltiples frecuencias de muestreo en función de las frecuencias de trabajo del hardware (p.e. hasta 48 kHz en el caso de las tarjetas de sonido y hasta 200 kHz en el caso de la tarjeta de NI). Otro de los parámetros configurable presentados en la interfaz es la velocidad binaria de la señal que se desea transmitir. El cociente entre los dos parámetros comentados marcará el número de muestras por bit. También es posible seleccionar un código de línea para la configuración del dispositivo: unipolar, polar, bipolar o Manchester (figura 4). De acuerdo a la configuración establecida, la herramienta DIGCOMStudio genera una señal aleatoria obteniendo muestras a la velocidad de muestreo especificada en la configuración.

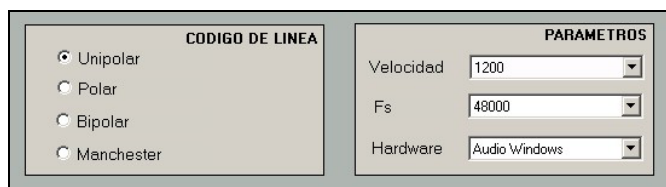


Fig 4. Parámetros de generación de señal

El *display* de resultados se divide en dos partes: la zona gráfica y la zona de datos. En la zona gráfica se muestran siempre los primeros 100 bits de cada 2 segundos de señal en transmisión y en recepción. En la zona de datos aparece el número total de bits erróneos desde el inicio de la sincronización y el número de bits erróneos en los últimos 10 segundos. También se muestran las tasas de error asociadas a los valores obtenidos (figura 5).

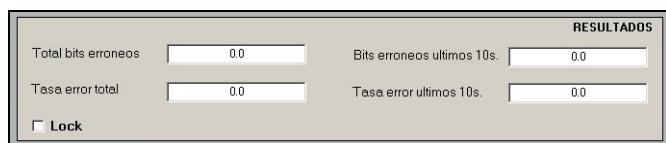


Fig 5. *Display* de resultados

En el *display* de resultados se incluye información acerca de la sincronización, *Lock* o *UnLock*. Cuando la sincronización pasa al estado *Lock* los resultados referentes a las tasas de error de bit comienzan a ser válidos.

## V. PRUEBAS REALIZADAS

La figura 2 muestra el montaje realizado para ejecutar las pruebas. El entorno elegido para verificar el funcionamiento de todo el sistema ha sido el patio de la Universidad Politécnica de Cartagena. Para realizar el estudio de medidas las placas CC1000DK que actúan como transmisor y receptor se han situado a una distancia de 1 metro, dada las

condiciones de baja potencia de estos dispositivos. Esta distancia permite una correcta recepción en los dispositivos. Mediante la interfaz de la herramienta *DIGCOMStudio* se configuran los parámetros de los dispositivos transmisor y receptor: máxima frecuencia de muestreo que permite el hardware seleccionado (tarjeta de sonido, 48 kHz) y velocidad binaria de 1200 bps, dadas las limitaciones en frecuencia de muestreo de estos dispositivos.

De los primeros resultados obtenidos (figura 6) se aprecia claramente la secuencia de sincronización. Se observa como la etapa de sincronización, detección y cálculos ha sido capaz de convertir la señal muestreada por el hardware AD/DA en recepción en una señal digital según la configuración anterior (código de línea unipolar en este caso, 48 kHz y 1200 bps)

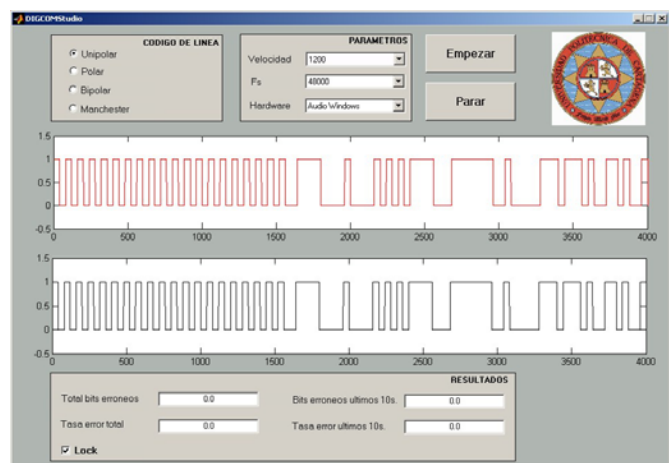


Fig 6. Resultados para una distancia Tx-Rx de 1m

En esta primera prueba no se aprecian bits erróneos, con lo que la tasa de error es de un 0% en todo momento. Se repite la prueba anterior pero, en este caso el transmisor se ha ido alejando del receptor con el fin de obtener medidas de tasa de error mayores a 0. Se interpone una distancia de 25 m entre los dispositivos. Tras 6 minutos de ejecución se obtienen los resultados mostrados en la figura 7. Se observa como en este caso, al superar la distancia que permite una recepción correcta en los dispositivos, aparecen bits erróneos. La tasa de error total acumulada es de 4.02% y la de los últimos 10s del 3.86%. A pesar de la distancia la sincronización ha sido inmediata, estando en estado *Lock* desde el comienzo de la prueba.

Finalmente se realiza una tercera prueba, bajo las mismas condiciones que en las anteriores pero con una distancia entre transmisor y receptor de 50 m. Esta distancia es, en teoría, del orden del alcance máximo de estos dispositivos, con lo que para esta prueba, las tasas de error obtenidas deben tener valores altos. Tras 6 minutos de comunicación se obtiene una tasa de error acumulada del 11.2% y en los últimos 10s de 10.8% (figura 8). Se comprueba como en esta situación, si se interpone entre emisor y receptor una placa metálica a poca distancia del receptor esto lleva inmediatamente al sistema a un estado *UnLock* debido a la extrema debilidad de la señal que llega al demodulador FSK.

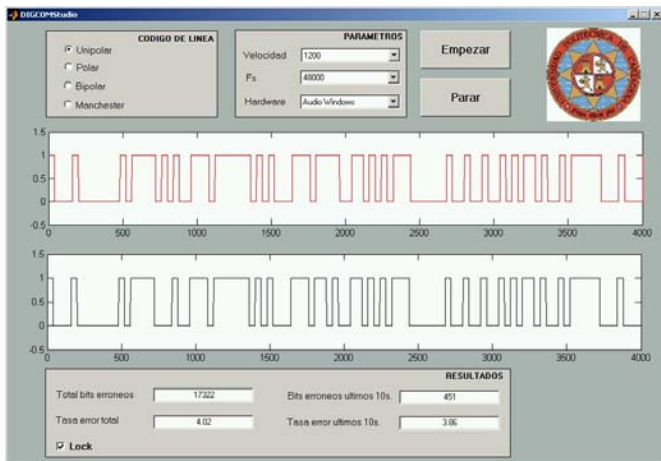


Fig 7. Resultados para una distancia Tx-Rx de 25m

Para efectuar pruebas con velocidades mayores se requiere pasar a dispositivos AD/DA mas sofisticados como las tarjetas NI-6035E que permiten unas frecuencias de muestreo de hasta 200 kHz.

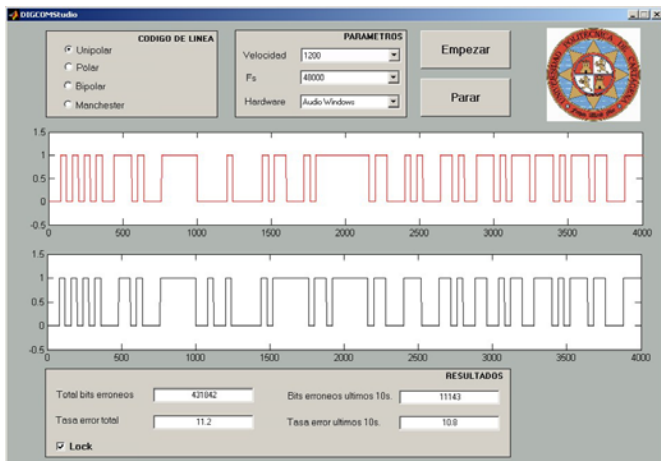


Fig 8. Resultados para una distancia Tx-Rx de 50m

## VI. CONCLUSIONES

*DIGCOMStudio* surge de la necesidad de estimular/procesar la entrada/salida de *transceivers* de bajo consumo y bajo coste utilizados en WSN. Estos dispositivos modulan en FSK la señal en banda base que ataca una de sus líneas de entrada. La herramienta *DIGCOMStudio* ha sido diseñada para generar este tipo de señales y recibir la señal demodulada del receptor correspondiente con el fin de comparar la señal transmitida y recibida para obtener la tasa de error en tiempo real. *DIGCOMStudio* resuelve de forma transparente para el usuario los problemas de sincronización. Los estados *Lock* y *UnLock* informan del estado de esta sincronización entre las señales provenientes de transmisión y recepción. *DIGCOMStudio* permite usar como convertidores AD/DA tarjetas de sonido estándar para PC o dispositivos mas avanzados como el convertidor PCI compatible con Matlab 6035E de *National Instruments*.

Si las necesidades de velocidad de transmisión y por lo tanto las de ancho de banda no son elevadas, como en el

caso de las redes de sensores inalámbricas WSN (velocidades lentas condicionadas por el bajo consumo necesario) entonces las tarjetas de sonido se presentan como una alternativa sencilla y económica. Dada su sencillez en el manejo y la posibilidad de utilizar dispositivos de bajo coste, *DIGCOMStudio* se presenta como una excelente herramienta didáctica para el estudio de tasas de error en sistemas de transmisión de datos sencillos.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado parcialmente por la Consejería de Economía, Industria e Innovación de la Región de Murcia bajo el proyecto de investigación SOLIDMOVIL (2I04SU044) y por la Fundación Séneca bajo el Proyecto Arena (00546/PI/04).

## REFERENCIAS

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci. A Survey on Sensor Networks, {IEEE Communications Magazine}, vol. 40, no. 8, pp. 102--116, 2002.
- [2] Chipcon CC1000 Low Power Radio Transceiver, [http://www.chipcon.com/files/cc1000\\_data\\_sheet\\_2\\_2.pdf](http://www.chipcon.com/files/cc1000_data_sheet_2_2.pdf)
- [3] Chipcon SmartRF CC1000DK Development Kit [http://www.chipcon.com/files/CC1000DK\\_User\\_Manual\\_2\\_11.pdf](http://www.chipcon.com/files/CC1000DK_User_Manual_2_11.pdf)
- [4] Low-Cost E Series Multifunction DAQ 12 or 16-Bit, 200 kS/s, 16 Analog Inputs. [http://www.ni.com/pdf/products/us/4daqsc202-204\\_ETC\\_212-213.pdf](http://www.ni.com/pdf/products/us/4daqsc202-204_ETC_212-213.pdf)