



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación y Mejora de la Calidad Docente

Convocatoria 2014

Nº de proyecto: 18

Título: Receptor Software de bajo coste e Interfaz Computerizada para el Estudio
Práctico de las Comunicaciones Radioeléctricas

Nombre del responsable del proyecto: Alberto Antonio Del Barrio García

Centro: Facultad de Informática

Departamento: Arquitectura de Computadores y Automática

1) Objetivos propuestos en la presentación del proyecto:

En la asignatura de “Teoría de la Comunicación”, perteneciente al nuevo Grado en Ingeniería Electrónica de Comunicaciones, se explican las bases matemáticas de las transformaciones y procesos que aparecen en las comunicaciones analógicas y digitales. Debido a la naturaleza abstracta de los mismos, los alumnos tienden a perder el interés o les resulta difícil comprender en su totalidad sus potenciales aplicaciones en el mundo real.

La enseñanza tradicional de las comunicaciones inalámbricas y, en particular, la Teoría de la Comunicación sobre las que se basan, se ha centrado en el carácter teórico/matemático de la misma. Si bien dicha materia puede estudiarse con el apoyo de simulaciones computacionales, los alumnos carecen de la experiencia práctica que permite observar el conjunto de señales radioeléctricas del espectro que les rodea, así como experimentar con la variación de los parámetros de dichas comunicaciones (lo que se traduce directamente en un cambio perceptible en la información transmitida).

Así, en este proyecto se ha desarrollado una plataforma de bajo coste de Software Defined Radio (SDR, Receptor Radio Software) que consta de una componente hardware y otra software, ambas libres. El uso de la interfaz software nos ha permitido modificar distintos parámetros de transmisión de la señal (filtrado de armónicos, frecuencia de muestreo, demodulador, etc.) y estudiar su impacto en la calidad de la señal mediante la síntesis audible a través del altavoz del PC.

En particular, los objetivos perseguidos con la realización de este proyecto son los siguientes:

- Desarrollo de un entorno capaz de recibir comunicaciones inalámbricas con modulación AM y FM en la banda de interés comercial.
- Implementación de una interfaz gráfica que muestre las señales capturadas y que permita al usuario estudiar las propiedades temporales, frecuenciales, energéticas y estadísticas de las mismas.
- Implementación de diversas transformaciones de señal sobre las mismas (filtrados, sobremuestreos, amplificaciones selectivas, etc.) sobre las señales presentadas en pantalla, de tal forma que el resultado compararse con la señal original.
- Llevar la señal de salida a un altavoz para que puedan comprobarse de forma auditiva los efectos de las acciones aplicadas sobre las señales.
- Acoplar las prácticas propuestas en la ficha docente con el uso del sistema planteado, de tal forma que sea posible comparar los resultados obtenidos vía simulación con Matlab con respecto a los resultados reales obtenidos con la herramienta experimental.
- Facilitar la explicación de conceptos de naturaleza abstracta gracias a la utilización del entorno propuesto.
- Facilitar el aprendizaje del alumnado por medio del conocimiento empírico proporcionado por el sistema planteado.
- Generación de algunas publicaciones de carácter educativo basadas en el sistema propuesto.
- Formar al alumnado en el uso y diseño de sistemas de comunicaciones experimentales con elevado carácter práctico.

2) Objetivos alcanzados una vez finalizado el proyecto

En general, podemos considerar que hemos alcanzado todos los objetivos marcados, salvo la aplicación del material didáctico desarrollado y su impacto en el aprendizaje de los alumnos, ya que deberá probarse en el curso académico siguiente. De la misma manera, la publicación de carácter educativo no se ha conseguido todavía, al carecer de datos reales sobre la satisfacción del alumnado con la plataforma.

Sin embargo, todos los objetivos de carácter técnico sí que han sido alcanzados. A continuación enumeramos los hitos del proyecto:

- Se ha desarrollado una plataforma hardware/software para el estudio de las señales en el espectro que va desde los pocos kHz hasta los 6 GHz. Hay que remarcar que inicialmente el objetivo marcado fue cubrir dicho espectro tan solo hasta los 300 MHz.

- Dicha plataforma consta de un componente de hardware libre: el HackRF. Este hardware pertenece a un proyecto que está siendo financiado por una campaña kickstarter, y que ya ha recaudado más de \$600.000.

- La interfaz software que permite la comunicación con el HackRF es la suite de aplicaciones gnuradio, también libre. Hay que destacar que hemos conseguido integrar gnuradio en una distribución linux de carácter general, como es Ubuntu.

- Desarrollo de manuales de instalación del entorno: requisitos previos, paquetes necesarios e integración de los mismos.

- Detección e integración de la plataforma hardware por medio del sistema operativo.

- Desarrollo de una práctica inicial para comprender las características del entorno y componentes básicos hardware/software que es necesario conocer.

- Desarrollo de una práctica de demodulación AM, que permita el estudio de las señales de frecuencia media.

- Desarrollo de una práctica de demodulación FM, que permita el estudio de las señales de muy alta frecuencia.

- Sintonización de varias emisoras de radio por medio de las prácticas anteriormente mencionadas.

- En el manual desarrollado se incluyen ideas para que los alumnos desarrollen sus propias aplicaciones con el entorno gnuradio, trabajando con datos en tiempo real capturados por el HackRF.

3) Metodología empleada en el proyecto

La metodología seguida en este proyecto ha seguido los siguientes pasos:

- Estudio del mercado para evaluar diversas plataformas hardware que pudieran satisfacer nuestros requisitos técnicos: rangos de frecuencia, integración con el software, etc. y estuvieran en consonancia con el presupuesto recibido.
- Estudio del software libre disponible para trabajar con diversas plataformas hardware.
- Compra del material seleccionado: HackRF, antena monopolo, adaptador para bajas frecuencias y componentes electrónicos de apoyo.
- Diseño del entorno hardware/software.
- Test de interconexionado del hardware con el software. Para este propósito, inicialmente se trabajó con una distribución linux derivada de Gentoo (Pentoo), adaptada al procesamiento de señales por medio de HackRF.
- Dados los problemas de rendimiento de pentoo, optamos por migrar una distribución linux con más soporte, como es Ubuntu.
- Integración del HackRF con Ubuntu y gnuradio. Para ello fue necesario instalar los paquetes de OsmocomSDR, así como una de las últimas versiones de gnuradio. Dicha instalación no es trivial, ya que las versiones de gnuradio capaces de funcionar con gnuradio todavía no están integradas en el gestor de paquetes apt-get.
- Desarrollo de aplicaciones sencillas con gnuradio para redactar un manual que ilustre cómo usar los bloques más significativos disponibles en el catálogo de la aplicación. Dicha tarea fue bastante compleja, ya que gnuradio no está muy bien documentado.
- Desarrollo de una práctica de demodulación AM. Dicha práctica recibe las señales procedentes del HackRF, las filtra, demodula y amplifica. Además, muestra en tiempo real la señal de entrada y de salida.
- Desarrollo de una práctica de demodulación FM. Análogamente a la práctica de demodulación AM, se construyó un demodulador FM, compuesto por bloques similares.

4) Recursos humanos

Este proyecto ha contado con 3 profesores doctores. Todos ellos tienen experiencia en el procesamiento de la señal y el desarrollo de sistemas empuotrados.

- Alberto A. Del Barrio es un joven Doctor cuya tesis está relacionada con la síntesis de benchmarks de procesamiento de la señal. Es revisor frecuente de la revista Digital Signal Processing, situada en el primer cuartil y con un JCR=1.918. Actualmente es profesor y coordinador de la asignatura de Máster en Informática denominada Sistemas Empotrados Distribuidos. Además, ha impartido las siguientes asignaturas relacionadas: Laboratorio de Tecnología de Computadores (Ing. en Informática), Laboratorio de Tecnología y Estructura de Computadores (Ing. Técnica de Sistemas), Laboratorio de Electrónica II (Lic. en Físicas) y Laboratorio de Computación Científica (Lic. en Físicas).

- José Luis Ayala es Doctor Ingeniero de Telecomunicación, con doble especialidad en el área de Microelectrónica y de Procesado Digital de la Señal. Es el profesor coordinador y responsable de la implantación de la asignatura de "Teoría de la Comunicación" en la UCM, así como el coordinador de segundo curso del Grado de Ingeniería de Sistemas Electrónicos de Telecomunicación. Adicionalmente, ha impartido docencia del área de comunicaciones inalámbricas en la Universidad San Pablo CEU ("Teoría de la Comunicación") y la Universidad Europea de Madrid (Sistemas de Telecomunicación), así como docencia de primer, segundo y tercer ciclo de la titulación de Ingeniero de Telecomunicación en la UPM, y de la titulación de Ingeniero en Informática de la UCM.

- Román Hermida Correa es Doctor en Ciencias Físicas y cuenta una experiencia docente de más de 35 años en la UCM (16 de ellos en la Facultad de Ciencias Físicas y el resto en la Facultad de Informática), contando con seis quinquenios de evaluación docente favorable. A lo largo de su trayectoria ha participado activamente en el diseño de Planes de Estudios, y de manera muy particular en las dos últimas renovaciones de los de la Facultad de Informática, como Subdirector de Estudios (para los planes implantados en 1998) y como Decano (para los planes implantados en 2010). Además ha participado de forma destacada en el diseño de los laboratorios de la nueva Facultad de Informática, destacando el Laboratorio de Estructura de Computadores, donde participó no sólo en el diseño de los contenidos docentes, sino también en el diseño y fabricación de la electrónica necesaria. Igualmente, se ha responsabilizado de la implantación de los primeros laboratorios de diseño basado en FPGAs y de circuitos integrados, tanto en la Facultad de Físicas como la de Informática. Esta doble visión como técnico y como gestor educativo se consideró importante para el correcto desarrollo de esta propuesta y el aprovechamiento docente de sus resultados.

- Además, se ha contado con la colaboración de varios alumnos de la asignatura Teoría de la Comunicación: Victor Manuel Maroto, José Pedro Manzano y Álvaro Villarín.

5) Desarrollo de las actividades

Las tareas del proyecto se han desarrollado con cierto retraso con respecto al cronograma original, aunque tal y como se ha comentado anteriormente todos los objetivos técnicos se han cubierto satisfactoriamente. Dicho retraso se debe fundamentalmente a unos problemas en la producción del hardware HackRF, según nos informaron los proveedores. Hasta mediados de septiembre no fue posible empezar su integración con el software.

Pese a este imprevisto, hemos cumplido con los objetivos básicos marcados inicialmente, dejando para el futuro próximo su aplicación a la asignatura “Teoría de la Comunicación”, a impartir en el curso 2015/16, y alguna publicación docente que dé a conocer el desarrollo de la plataforma planteada y los resultados académicos obtenidos.

A continuación, vamos a listar los recursos materiales en los que se ha basado este proyecto, que son los siguientes:

- HackRF One Software Defined Radio.
- Una antena telescópica.
- El módulo Upconverter (para trabajar con la banda de alta frecuencia).
- Adaptadores macho/hembra para la antena.
- Componentes electrónicos de apoyo.

Además, se han utilizado los ordenadores personales de todos los componentes del proyecto. Para aumentar la potencia del hardware disponible, se mejoró uno de los equipos disponibles en el grupo con un disco duro interno de 2 TB, uno externo de 1 TB y 8 GB de RAM. De esta manera, se crearon varias máquinas virtuales capaces de trabajar con el HackRF y se permitió el almacenamiento de los datos producidos tras el procesamiento de las señales captadas por el HackRF. Por último, se ha utilizado una regrabadora DVD para difundir los resultados.

Todos los ordenadores utilizados han contado con una instalación de Ubuntu y de gnuradio, adecuadamente integrada con los paquetes de Osmocom, para poder trabajar conjuntamente con el HackRF. Además, tal y como se mencionó, inicialmente se trabajó también con la distribución Pentoo.

Por último y para concluir, enumeraremos los resultados obtenidos tras este proyecto, que son los siguientes:

- Una plataforma hardware (HackRF) capaz de captar señales analógicas en el rango que va desde los pocos kHz hasta los 6 GHz.
- Una interfaz software integrada con la plataforma hardware, y desarrollada sobre una distribución Linux con amplio soporte, como es Ubuntu.
- Manuales de instalación del entorno y comunicación con el HackRF.
- Material didáctico para realizar 3 prácticas en el siguiente curso de “Teoría de la Comunicación”:
 - Una práctica básica, explicando los componentes básicos del entorno.
 - Una práctica sobre demodulación AM.
 - Una práctica sobre demodulación FM.
- Material multimedia consistente en:
 - Fotos de la plataforma.
 - Vídeos didácticos para crear un demodulador capaz de recibir una emisora de radio.

6) ANEXO I: Relación de gastos para los que se ha utilizado la subvención del Vicerrectorado

- Componentes electrónicos (304.75€)
- Disco duro 2TB SATA, 7200 rpm (99.22€)
- Disco duro 1TB 2.5" USB 3.0 (71.39€)
- Regradora DVD USB (30.25€)
- 2 x Memoria RAM 4 GBDDR3 1333 MHz (94.38€)

TOTAL: 599.99€

Hay que comentar que el HackRF, la antena y el UpConverter fueron comprados con dinero perteneciente al proyecto TEC2012-33892, cuyo IP es José Luis Ayala Rodrigo, miembro de este proyecto. Este hecho se debió a dos motivos principalmente: por un lado el único distribuidor de la plataforma HackRF es extranjero y no emite factura proforma, ni se encuentra entre los distribuidores habituales de la UCM. Y por otro lado, el montante total ascendía a \$428.70, que equivale a más del 50% del presupuesto (límite que podíamos gastar en material inventariable). Cualquier otra alternativa habría supuesto retrasarnos en el desarrollo del proyecto, y por ello optamos por esta vía.