

AULA INVERTIDA PARA LA MEJORA Y ACTUALIZACIÓN DE PRÁCTICAS DE PROCESADO DIGITAL DE AUDIO Y ACÚSTICA CON RASPBERRY PI-3

A. Mínguez Olivares, D. Simón Zorita, F.J. Tabernero Gil,
J. Grundman Isla y L.P. García Morales

Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones
E.T.S. Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación
Universidad Politécnica de Madrid

antonio.minguez@upm.es, franciscoj.tabernero@upm.es, lino.garcia@upm.es
jorge.grundman@upm.es, danilo.simon@upm.es

Resumen. *En este proyecto de innovación educativa se pretende cambiar el formato de desarrollo de algunas de las prácticas de laboratorio de las asignaturas de Procesado Avanzado, Ingeniería de Audio I y II del Grado en Ingeniería de Sonido e Imagen así como de la asignatura Control de Ruido del Máster de Acústica de la Universidad Politécnica de Madrid, utilizando técnicas de Aula Invertida de manera que el alumno sea capaz de implementar en una tarjeta Raspberry Pi-3 (con una tarjeta de sonido acoplada) las aplicaciones que actualmente se están realizando de forma simulada, de manera que pueda interactuar en tiempo real con las mismas y pueda obtener verdaderos prototipos/aplicaciones de ingeniería. Tales aplicaciones incluyen distintos efectos de sonido (ecualizadores, ecos, reverberadores, flangers, chorus, compresores, puertas de ruido, cambios de tono, etc.), limpieza de ruido en señales de audio, controladores activos de ruido (zonas acústicas de silencio), y otros desarrollos similares.*

Palabras clave: aprendizaje orientado a proyectos, aula invertida *flipped classroom*, calidad en la enseñanza, elaboración material docente, Grado, Máster, Moodle.

1. Introducción

Los resultados académicos de las asignaturas a las que va dirigido este proyecto son actualmente muy satisfactorios, con tasas de rendimiento superiores al 80% en los últimos cinco cursos académicos, favorecidos en gran parte al tratarse de asignaturas optativas con una temática enfocada al mundo real, con aplicaciones específicas, donde las prácticas de laboratorio suponen un porcentaje superior al 50% de la carga crediticia. Además, los grupos de alumnos de estas asignaturas no suelen ser numerosos, 30 alumnos como máximo, y por lo general tienen una buena predisposición al aprendizaje, sobre todo en el entorno del laboratorio.

Normalmente, estas prácticas de laboratorio se realizan de forma simulada a través de un software de programación de alto nivel, MATLAB. El alumno pone en práctica (implementa y desarrolla algoritmos) los conocimientos explicados previamente en clases magistrales, con la ayuda de procedimientos expuestos en “guiones de prácticas”. Sin embargo, esta forma de enfocar el laboratorio puede mejorarse y optimizarse dando un paso adelante, pasando de la simulación a la implementación en un dispositivo electrónico y testar el funcionamiento físicamente en tiempo real. Hoy en día existen distintas plataformas de bajo coste, asequibles para los alumnos, de amplia difusión en el mercado y con una capacidad de desarrollo multidisciplinar, no sólo en el

ámbito del procesado digital de señales de audio y acústicas. Tal es el caso de la tarjeta Raspberry Pi-3 [1].

En este proyecto se pretende, por tanto, cambiar el formato de desarrollo de estas prácticas de laboratorio de manera que el alumno sea capaz implementar en la tarjeta Raspberry Pi-3 (con una tarjeta de sonido estéreo acoplada a ella) las aplicaciones de procesado que actualmente se están viendo de forma simulada, de manera que puedan interactuar en tiempo real con las mismas y puedan obtener verdaderos prototipos/aplicaciones de ingeniería. Tales aplicaciones incluyen distintos efectos de sonido (ecualizadores, ecos, reverberadores, *flangers*, *chorus*, compresores, puertas de ruido, cambios de tono, etc.), limpieza de ruido en señales de audio, controladores activos de ruido acústico (zonas acústicas de silencio), y otros desarrollos similares.

Este cambio en la implementación de las prácticas del laboratorio supone añadir una motivación extra al alumno ya que este no sólo puede ver como es capaz de implementar e interactuar físicamente con la aplicación objeto de estudio sino que también puede añadir mejoras de ámbito multidisciplinar con la propia temática de la asignatura: diseño electrónico de pequeños *gadgets*, programación y automatización de los mismos, control remoto de la aplicación a través de internet, o cualquier otra funcionalidad de las muchas que ofrece la tarjeta Raspberry Pi-3.

Para llevar a cabo este proyecto se hace uso de las técnicas de aula invertida, es decir, se elaboran y se seleccionan contenidos que el alumno necesita para el desarrollo de la práctica en el laboratorio y que debe estudiar antes de su inicio. De esta forma aprovecha mejor el tiempo en el laboratorio, de una manera más eficiente, desarrollando actividades de aprendizaje muy dirigidas y controladas personalmente por el profesor, e interactuando con el resto de compañeros del grupo en el desarrollo de la aplicación en cuestión. Esta interacción entre alumnos, supervisada y dirigida por el profesor, ayuda a resolver las dudas finales que inevitablemente surgen en la preparación individual de la práctica. Así, el tiempo limitado de una clase de laboratorio no significa necesariamente la finalización de la práctica, sino que sirve para encontrar y solventar las posibles dificultades en el desarrollo de la misma. La práctica puede finalizarse en casa ya que el coste del dispositivo es lo suficiente bajo para que el alumno pueda adquirirlo de forma individual y sacar todo el partido de este en cualquier lugar.

Los objetivos que se pretenden conseguir con este tipo de metodología son:

- Optimizar el tiempo de laboratorio.
- Aumentar la motivación de los alumnos en el desarrollo de las prácticas de laboratorio para obtener mejores resultados académicos.
- Fomentar el estudio de distinta documentación *online* en inglés, en diferentes formatos (*Webinars*, vídeos técnicos en YouTube, tutoriales, presentaciones, páginas web de fabricantes, manuales técnicos, etc.) que permitan al alumno tener una preparación previa al desarrollo de la práctica.
- Mejorar el aprendizaje utilizando herramientas de bajo coste (*Raspberry Pi*) multidisciplinarias para poder así realizar verdaderos prototipos de ingeniería, a diferencia del actual enfoque exclusivo de simulación.
- Promover la realización de material multimedia para la evaluación de las prácticas donde el alumno afiance sus habilidades de comunicación.
- Desarrollar herramientas *online* de tutoría colectiva (foros).
- Implicar al alumno en la evaluación de sus compañeros a través de herramientas *online*.

2. Prácticas de laboratorio

Para el desarrollo de las prácticas se ha utilizado como plataforma *hardware* el conjunto formado por la tarjeta *Raspberry Pi-3* y la tarjeta de sonido *Audioinjector* [2] utilizando el entorno de programación *MATLAB-Simulink* [3]. Este entorno proporciona los recursos necesarios para enlazarnos con la tarjeta *Raspberry* utilizando un software de alto nivel, mediante diagramas de bloques, y además permite al alumno programar códigos específicos de cada aplicación (*System Object*) y ser integrados como un nuevo bloque para ser utilizado por *Simulink*. Por tanto, los alumnos no se limitan a integrar bloques de los que ya dispone *Simulink* sino que tienen desarrollar/programar nuevos bloques de acuerdo con la aplicación concreta de la práctica, lo que les obliga a realizar un estudio previo de todos los detalles de la aplicación que necesitan programar.

Las prácticas que se han desarrollado, utilizando técnicas de aula invertida, han sido las siguientes:

1. Bypass estéreo.
2. Medida de la latencia (retardo entrada-salida) del entorno *hardware*.
3. Efecto de sonido: retardo estéreo.
4. Efecto de sonido: *flanger* estéreo.
5. Efecto de sonido: reverberador de Schroeder.
6. Ecualizador paramétrico de audio (estéreo).
7. Filtrado adaptativo: cancelador de realimentaciones acústicas.
8. Filtrado adaptativo: limpieza de ruido en señales de audio.
9. Control activo de ruido acústico.

La primera de las prácticas permite al alumno familiarizarse con el entorno de trabajo y configurar correctamente tanto *Simulink* como los mezcladores de audio de la tarjeta de sonido *Audioinjector* utilizando el comando *alsamixer* desde la ventana de comandos de la tarjeta *Raspberry*. A continuación (Fig. 1) se muestra un ejemplo de cómo podría ser el diagrama de bloques en el entorno *Simulink*.

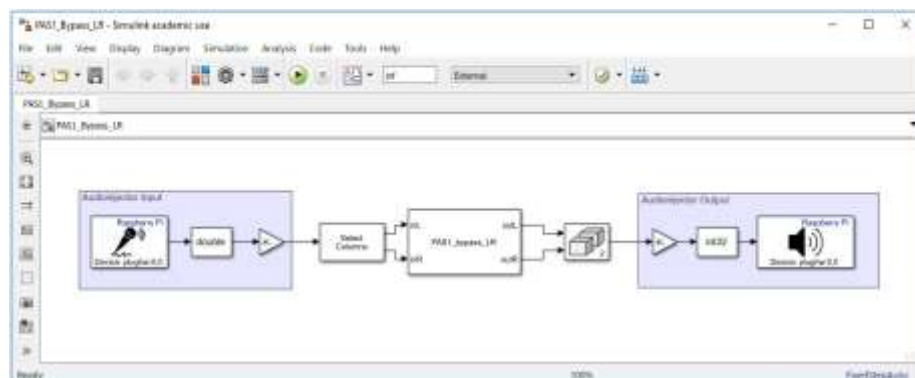


Figura 1. Diagrama de bloques *Simulink* en la práctica Bypass.

En la segunda práctica el alumno tiene que desarrollar un código que le permita medir el retardo (latencia) que introduce todo el entorno *hardware* (*Raspberry* + tarjeta de sonido) implementando un generador de salvas y utilizando los recursos gráficos de representación temporal que ofrece *Simulink*. La tercera práctica es la base para realizar las dos siguientes. El alumno tiene que realizar un retardo en ambos canales de la señal de audio (L-R) mediante un *buffer* circular. La cuarta práctica es una continuación de la anterior en donde el retardo se hace variable de una forma cíclica (efecto *flanger* u otros

similares como vibrato, *chorus*, etc.). La quinta práctica es una composición de retardos realimentados para construir un reverberador según el modelo propuesto por Schroeder. En la sexta práctica se implementa un ecualizador paramétrico formado por tres etapas de frecuencias medias y dos controles de tonos (graves y agudos). Las tres últimas prácticas son algo más complejas y en ellas se desarrollan filtros adaptativos para ser aplicados en la cancelación de realimentaciones acústicas y en la limpieza de ruido en señales de audio. La última práctica es la que más tiempo consume al alumno y puede ser considerada como un aprendizaje basado en proyectos ya que la complejidad supera con mucho al resto de prácticas.

Algunos de los recursos que el alumno dispone antes de realizar la práctica son: videos de elaboración propia que sirven de guía en el desarrollo de la aplicación, *Webinars* relacionados con aplicaciones similares, presentaciones, páginas web de fabricantes, documentación *online* de MATLAB y SIMULINK, videos en YouTube de aplicaciones sobre Raspberry Pi, tutoriales específicos de Raspberry Pi y otros recursos *online* que sirven para desarrollar con éxito la aplicación de cada práctica. Además, un foro integrado por todos los alumnos, y supervisado por el profesor, sirve de marco para el planteamiento de cuestiones, dudas y las formas de resolución encontradas, facilitando en gran medida la labor del profesor en el propio laboratorio.

La evaluación de cada práctica se realiza en dos fases: una previa al desarrollo de esta (control de conocimientos) y otra posterior para determinar el grado de éxito alcanzado. En la primera se elaboran un conjunto de pruebas tipo test evaluadas online (y en tiempo real) en la plataforma Moodle y que estiman el grado de preparación con el que los alumnos llegan al laboratorio. En la segunda son los propios alumnos, a través de rúbricas, quienes evalúan cada una de las prácticas. Cada alumno tendrá que corregir un determinado número de aplicaciones (2-5) de sus compañeros. El trabajo realizado por los alumnos se presenta mediante vídeos de corta duración (no superior a 5 minutos y subido a un canal de YouTube propio de la asignatura) donde se explica y se demuestra el funcionamiento de la aplicación.

3. Conclusiones

Con este proyecto se pretende que la motivación de los alumnos en este tipo de prácticas crezca de forma sustancial. Se añade además un enfoque multidisciplinar, abarcando no solo a las asignaturas de Procesado, Audio y Control de Ruido, objeto del proyecto, sino a otras asignaturas de la carrera, tanto en la temática de acústica/audio como en otras de ámbito más interdisciplinar: electrónica, redes de ordenadores, etc. Los alumnos podrán ser conscientes de su capacidad para poder implementar físicamente los algoritmos que normalmente se encuentran utilizando equipamiento profesional de audio o acústico (mesas de mezclas de audio, estaciones de trabajo de audio -DAW-, equipos de efectos de audio, editores de audio, sonómetros, etc.).

REFERENCIAS

- [1] Tarjeta *Raspberry Pi-3 Modelo B+*.
<https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief.pdf>
- [2] Tarjeta de sonido estéreo *Audioinjector*.
<http://www.audioinjector.net/rpi-hat>
- [3] Soporte de *Simulink* para *Raspberry Pi*.
<https://es.mathworks.com/hardware-support/raspberry-pi-simulink.html>