



Docencia basada en proyectos en laboratorio de Procesado Digital de Señal

Rafael González Ayestarán
Universidad de Oviedo, España

Resumen

El campo del Procesado Digital de Señal constituye una herramienta fundamental dentro del ámbito profesional de la Ingeniería de Telecomunicación. Aunque este campo es por sí mismo susceptible de un desarrollo profesional completo, dentro de los planes de estudios de grado o máster en telecomunicación suele concebirse como una herramienta y no como un fin, resultado en muchos aspectos un tema árido para los estudiantes. Se presenta en este trabajo un proyecto de conversión de las prácticas de laboratorio de una asignatura para mostrar a los estudiantes las potencialidades profesionales de este campo de trabajo sin perder la consolidación de contenidos como herramientas para otras asignaturas o campos propios de esta ingeniería. Para ello, se han convertido las prácticas de laboratorio, tradicionalmente muy académicas, en pequeños proyectos reales que, resultando más atractivos para los estudiantes y cercanos al mundo real, siguen manteniendo el mismo fondo instrumental que permite adquirir las capacidades necesarias para el currículo completo del ingeniero.

Palabras clave: *prácticas de laboratorio; proyectos; aplicaciones reales; telecomunicación.*

1. Introducción

En el desarrollo académico del profesional de la Ingeniería de Telecomunicación (graduado, máster, ingeniero, etc.) desempeña un papel importante el ámbito de trabajo denominado Procesado Digital de Señal. Aunque este campo es reconocido internacionalmente como ámbito profesional por sí mismo, en los estudios de Telecomunicación es una herramienta fundamental para el desarrollo de técnicas propias de esta ingeniería, pero en escasas ocasiones adquiere un carácter finalista en los planes de estudios. La mayoría de temarios contienen las técnicas y



herramientas que serán necesarias en asignaturas posteriores, pero en pocos casos se plantean las aplicaciones finales del propio campo de trabajo.

En el caso de la Universidad de Oviedo (UNIOVI), el plan de estudios del Grado en Ingeniería en Tecnologías y Servicios de Telecomunicación incluye la asignatura Procesado de Señal, que se imparte durante el segundo cuatrimestre del tercer curso. El temario de la asignatura está establecido por la memoria de verificación del título, y a su vez deriva de la Orden Ministerial CIN/352/2009, de 9 de febrero de 2009, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico de Telecomunicación. En este temario, lógicamente, juegan un papel preponderante las herramientas básicas necesarias para el desarrollo de soluciones de telecomunicación.

1.1 Problemática y proyecto de transformación

La satisfacción mostrada por los estudiantes con la asignatura se muestra elevada cada curso, según las encuestas desarrolladas por la Unidad Técnica de Calidad (UNIOVI, 2017). Sin embargo, conversaciones informales con los alumnos revelan que el potencial atractivo de los contenidos queda enmascarado por el carácter no aplicado del temario. Un síntoma de ello es la paulatina reducción del número de estudiantes interesados realizar su Trabajo Fin de Grado en esta rama, en muchos casos por no considerarla siquiera susceptible de constituir un proyecto por sí misma, sino únicamente como herramienta de soporte para otras temáticas. Por ello, el profesorado desarrolló en 2019 un plan para la renovación metodológica de la asignatura, que entre otros aspectos pretendía mostrar al alumnado aplicaciones reales del propio procesado de señal, finalistas, que permitiesen mostrar el posible desempeño profesional en este campo.

En el curso académico 2019-2020 se acometió una transformación de las prácticas de laboratorio hacia una enseñanza basada en pequeños proyectos coordinados con las clases expositivas. Dichos proyectos se diseñaron para sustituir a las prácticas anteriores impartiendo los mismos contenidos, pero orientados hacia la aplicación real. Finalizado el curso, se realizaría una evaluación mediante encuesta del grado de satisfacción, y análisis de los resultados académicos obtenidos.

2. Metodología

El uso de técnicas de procesamiento de señal se realiza en su inmensa mayoría mediante la programación de algoritmos en sistemas digitales de uno u otro tipo. Por ello, para reproducir las condiciones de trabajo reales, las prácticas se desarrollan con ordenador, de forma individual o en pequeños equipos (2-3 alumnos) dependiendo de la complejidad de cada proyecto. Para la implementación y uso de los algoritmos se hace uso del software matemático MatLab, de la empresa Mathworks, con una licencia de tipo académico contratada por la Universidad de Oviedo para sus estudiantes.

Se estructuran sesiones semanales de dos horas en el laboratorio, aunque normalmente los estudiantes disponen de medios que les permiten continuar el trabajo fuera de estas sesiones.

Para la evaluación de cada práctica, se ha establecido una jornada de presentaciones en que cada equipo muestra los desarrollos del proyecto realizado, abriendo un debate con todos los compañeros y el profesorado de la asignatura. Del desempeño en la presentación y debate, así como de los resultados obtenidos, se extrae la calificación del proyecto. Cabe destacar que esta parte de la asignatura ha representado tradicionalmente un 30% de la calificación final. Con la transformación propuesta se ha considerado oportuno incrementarlo hasta el límite establecido en la memoria de verificación (40%) y solicitar un incremento de este margen con la intención de establecerlo, al menos, en un 50% de la calificación final, o incluso más si se observan buenos resultados en la adquisición de competencias.

3. Rediseño de las prácticas

Se presenta a continuación la comparativa entre las prácticas de cursos anteriores, los contenidos de estas, y las nuevas prácticas en formato de pequeños proyectos, así como la temporización prevista para ellas.

Tabla 1. Prácticas anteriores al curso 19-20

Título	Descripción	Contenidos principales	Horas
Traslación de señales en frecuencia	Se experimenta con la manipulación de señales y su Transformada de Fourier tratando de desplazar su contenido frecuencial.	Representación de señales en el dominio temporal y frecuencial. Manipulación de señales muestreadas en el dominio frecuencial. Exponencial compleja. Filtrado digital.	4
Muestreo, diezmado e interpolación	Representación discreta de señales continuas y experimentación con las	Teorema de muestreo. Representación digital de señales. Diezmado e interpolación.	4



	muestras para observar las implicaciones del muestreo; manipulación del muestreo para generar o descartar muestras nuevas.	Aliasing.	
Simulación de filtros digitales	Se emplea la expresión matemática de diferentes filtros digitales para comprobar su respuesta y verificar diferentes formas de implementación con señales de prueba.	Filtrado digital.	2
Análisis espectral	Representación de la densidad espectral de potencia de señales aleatorias, empleando para ello técnicas de enventanado y comprobando sus consecuencias.	Estimación espectral no paramétrica. Enventanado y diferentes ventanas: resolución, niveles de lóbulos secundarios. Convolución frecuencial. Sesgo, resolución espectral.	4
Codificación de voz	Desarrollo de un codificador de voz real, así como del decodificador/sintetizador. Trabajo concebido en forma de proyecto.	Señales de voz. Estimación de parámetros. Predicción lineal y análisis de redundancia. Extracción de residuos. Autocorrelación y estima de la autocorrelación. Síntesis de voz. Modelado de la voz. Codificación de datos. Compresión.	6

Tabla 1. Prácticas desarrolladas para el curso 19-20

Título	Descripción	Contenidos principales	Horas
Procesado de audio y música digital	Estudio de las propiedades de la señal de audio digitalizada para su manipulación generando música digital sintética. Se genera música a partir de señales completamente sintéticas y a partir de notas musicales de un instrumento.	Teorema de muestreo. Representación digital de señales. Aliasing. Representación de señales en el dominio temporal y frecuencial. Manipulación de señales muestreadas en el dominio frecuencial. Exponencial compleja.	4
Procesado forense de imágenes	Se generan dos sistemas: uno para modificar la resolución de imágenes, y otro para la detección de imágenes falsas, de las partes modificadas de una imagen, y la identificación	Teorema de muestreo. Representación digital de señales. Diezmado e interpolación. Aliasing. Filtrado digital. Autocorrelación y correlación cruzada.	8



	de la cámara con que se han tomado algunas fotos.		
Codificación de voz	Desarrollo de un codificador de voz real, así como del decodificador/sintetizador. Trabajo concebido en forma de proyecto.	Señales de voz. Estimación de parámetros. Predicción lineal y análisis de redundancia. Extracción de residuos. Autocorrelación y estima de la autocorrelación. Síntesis de voz. Modelado de la voz. Codificación de datos. Compresión.	6
Desarrollo de un radar Doppler	Diseño e implementación de un radar capaz de detectar blancos en movimiento y la velocidad de éstos. Se emplean medidas reales y se procesan en el ordenador.	Estimación espectral no paramétrica. Eventanado y diferentes ventanas: resolución, niveles de lóbulos secundarios. Convolución frecuencial. Sesgo, resolución espectral.	2

Como puede observarse en las tablas 1 y 2, se imparten exactamente los mismos contenidos técnicos que en cursos anteriores. Sin embargo, se hace mediante cuatro aplicaciones reales que pueden resultar especialmente atractivas: el procesado de audio y música, las aplicaciones forenses sobre imágenes (detección de cámara, trucado de imágenes, o cambio de resolución), un sistema real de codificación, compresión y generación de voz sintética que ya se venía empleando en curso anteriores con notable aceptación por los estudiantes, y un radar con datos reales capaz de detectar blancos en movimiento y su velocidad.

4. Resultados y encuesta

Se ha planteado la evaluación del rendimiento académico tras la transformación de estas prácticas. No obstante, se dan dos factores significativos:

- La asignatura ya contaba con un alto rendimiento académico, por lo que no es apenas perceptible un cambio en este sentido. En todo caso, no se ha apreciado ninguna caída de rendimiento, lo cual puede resultar por sí mismo un dato positivo. En el curso 19-20 los 18 alumnos matriculados han aprobado en la convocatoria ordinaria mostrando una elevada destreza en las competencias de la asignatura.
- El desarrollo de la asignatura se ha visto condicionado por la situación desencadenada por la declaración del estado de alarma en España el 14 de marzo de 2020. Aunque parte de la asignatura ya se había cursado con normalidad, la docencia telemática ha reducido



las posibilidades de seguimiento individualizado de los alumnos/equipos que estaba prevista.

Con estas premisas, y dado que el rendimiento académico no era un problema detectado en cursos anteriores, sí se hace hincapié en la satisfacción y percepción de los alumnos respecto de la asignatura. Por ello se ha desarrollado una encuesta, presentada a los 18 estudiantes matriculados, y respondida por 16 de ellos, que se resume en los siguientes aspectos principales:

- 1) Satisfacción general con los contenidos de la asignatura. En una escala de 0 a 10 puntos, la satisfacción se eleva hasta una media de 9,93 puntos, superior a las valoraciones de años anteriores en torno a 8,5-9 puntos.
- 2) Satisfacción con los contenidos desarrollados en prácticas: se ha obtenido la notoria calificación de 10 puntos, lo que representa una absoluta satisfacción en los 16 estudiantes que han respondido la encuesta.
- 3) Satisfacción con la metodología de prácticas: de nuevo la calificación media es de 9,93 puntos.
- 4) Interés por desarrollar un Trabajo Fin de Grado en el ámbito concreto del Procesado de Señal: 9,1 puntos. En todo caso, los datos de cursos sucesivos podrán ratificar esta calificación.
- 5) Respuesta libre con comentarios sobre las prácticas: se han obtenidos muchos comentarios extremadamente positivos, indicando explícitamente en muchos casos que las prácticas incentivan el aprendizaje, resultan muy atractivas (“las más atractivas de la carrera”), y facilitan la implicación de los estudiantes en la asignatura. Sí es igualmente cierto que varios estudiantes indican que la carga resultante de trabajo es superior a lo esperado, y concretamente señalan la práctica 2 (Procesado Forense de Imágenes) como especialmente larga y complicada (a pesar de su atractivo). Por ello se considera replantear en cursos sucesivos la carga de trabajo asociada a cada proyecto o el número de estudiantes que conforman los equipos. Además, debe valorarse si el trabajo en laboratorio, imposible en el curso descrito por la situación de alarma y la docencia telemática, puede subsanar estos problemas.

5. Conclusiones

Se ha presentado un proyecto de transformación de prácticas de laboratorio de una asignatura de marcado carácter técnico e instrumental, dotándola de entidad propia y de contenidos reales



y profesionales basados en realización de pequeños proyectos. La opinión de los estudiantes y los resultados muestran que la apuesta es satisfactoria, pero se requiere un análisis exhaustivo de la carga de trabajo real, en condiciones normales de laboratorio no condicionadas por la crisis sanitaria Covid-19 y la docencia telemática, para verificar que no resulta excesiva.

En todo caso, la experiencia ha resultado especialmente satisfactoria logrando una implicación por parte de los estudiantes nunca vista en esta asignatura.

Referencias

Universidad de Oviedo (2017), *Sistema de Garantía Interna de la Calidad*. Recuperado de <http://calidad.uniovi.es/garantiainterna>