

# LABORATORIO DE PROCESADO DIGITAL DE SEÑAL DE APLICACION DIDACTICA

Fernando A. Beltrán, Isabel García

Centro Politécnico Superior de Ingenieros  
Area de Tecnología Electrónica  
C/ María de Luna 3. 50015 Zaragoza

Tfno.: (976) 51 92 78

Fax: (976) 51 29 32

e-mail: beltran@etsii.unizar.es

## RESUMEN

*En este trabajo se recoge la experiencia de la concepción y puesta en marcha de un Laboratorio de Procesado Digital de Señal de orientación eminentemente didáctica realizado en el Area de Tecnología Electrónica de la Universidad de Zaragoza, con objeto de potenciar de manera atractiva para el alumno la comprensión de los conceptos fundamentales de esta disciplina.*

## 1. INTRODUCCION

El procesado digital de señal es una disciplina que tradicionalmente, a la hora de ser impartida en carreras universitarias, conlleva una base teórica notable, y que reclama un esfuerzo de imaginación para hacer llegar a los alumnos los conceptos que se desprenden de las expresiones matemáticas.

Como apoyo al soporte teórico de la asignatura, el objetivo de este trabajo es plantear un laboratorio de procesado digital de señal que complemente las explicaciones "de pizarra" y ayude al alumno a comprender mejor los contenidos que se le desean transmitir.

Este trabajo se fundamenta en experiencias similares desarrolladas en diferentes Universidades de Europa y EE.UU., que pueden encontrarse en [1], [2], [3], y otras que han dado lugar a la edición de libros como [4], [5], [6] y [7]. En todas ellas se pueden encontrar descripciones de laboratorios en los que, básicamente, se cuenta con un ordenador personal compatible, algún paquete software específico para procesado digital de señal y, de forma menos general, algún tipo de tarjeta para adquisición y tratamiento de señales basada en DSP (Procesador Digital de Señal). El trabajo que aquí se presenta añade a todo lo enunciado la posibilidad de emplear herramientas de desarrollo propias de DSPs como nuevo elemento didáctico de laboratorio.

Este trabajo se organiza de la siguiente manera: en el apartado 2 se realiza una descripción de los recursos con que cuenta el laboratorio, tanto hardware como software; en el apartado 3 se

describen aspectos didácticos, como el tipo de prácticas que se proponen, los contenidos, y los elementos de laboratorio que intervienen en la realización de cada una de ellas; en el apartado 4 se comenta la metodología propuesta al alumno para la realización de las prácticas; en el apartado 5 se comenta el estado actual del laboratorio (con las restricciones que plantea a priori), y en el apartado 6 se recoge la bibliografía.

## 2. DESCRIPCION DEL LABORATORIO

Para el trabajo en este laboratorio el alumno tiene a su disposición diferentes herramientas de trabajo como son:

- Un ordenador compatible AT 386.
- Un paquete software llamado DSPlay, de la firma Burr-Brown, el cual permite realizar experimentos de procesado de señal y visualizar resultados en el ámbito puramente de la simulación, trabajando con el ordenador. Este paquete permite experimentar sin tener que manejar lenguajes de programación o hardware específico, focalizando así la atención sobre los conceptos propios del Procesado Digital de Señal.
- Herramientas de desarrollo de DSPs, concretamente un simulador y un emulador del TMS320C25 de Texas Instruments, con compilador de C, ensamblador y linkador.
- Tarjeta de Interface Analógica (AIB, Analog Interface Board, de Texas Instruments), la cual incorpora conversores A/D y D/A de 16 bits, filtro anti-aliasing y de reconstrucción de frecuencia de corte reconfigurable, conectores de entradas y salidas para señal de audio y zócalos para conectar DSPs de primera y segunda generación de Texas Instruments (TMS3201x y TMS320C2x).
- Equipamiento de laboratorio convencional: generador de señales, osciloscopio, fuente de alimentación, etc.

## 3. ASPECTOS DIDACTICOS

Como se ha visto en el apartado anterior, el alumno dispone de herramientas muy diversas para realizar diferentes experimentos o prácticas.

Por un lado, los paquetes software tipo DSPlay permiten un trabajo mucho más agradable al alumno que otro tipo de software estrictamente de cálculo matemático. En DSPlay, por ejemplo, los sistemas se construyen gráficamente, por medio de diagramas de bloques. La función de cada bloque puede especificarse fácilmente a través de menús que recogen tanto primitivas de carácter general (generadores de señal, funciones aritméticas y trigonométricas) como funciones de alto nivel propias del procesado digital de señal: convoluciones, filtros digitales FIR e IIR, analizadores espectrales tipo FFT, DFT, etc.

Además, este tipo de software suele ser interactivo, de manera que el alumno puede visualizar resultados a medida que va construyendo el sistema, obteniendo así una visión inmediata del comportamiento del mismo.

Empleando el paquete DSPlay se han propuesto pues una serie de prácticas como son:

- Generación de señales y convolución.
- Transformada z, funciones de transferencia, ceros y polos, respuesta frecuencial.

- FFT, DFT y convolución circular.

- Diseño de filtros IIR por los métodos de Invarianza Impulsional y Transformación Bilineal (filtros Butterworth, Chebyshev tipo I y tipo II, y elípticos).

- Diseño de filtros FIR con ventanas (rectangular, Hamming, Hanning, Barlett, Blackman y método Kaiser).

- Diseño de filtros FIR con otros métodos: por muestreo de la respuesta frecuencial deseada, y filtros óptimos con rizado constante (método Parks-McClellan).

Otra aportación conceptual importante es pensar que en la mayoría de aplicaciones en tiempo real, va a ser un DSP (Procesador Digital de Señal) el que realice el tratamiento sobre la señal. Así pues, otra serie de prácticas están orientadas al conocimiento y manejo de las herramientas de desarrollo para este tipo de procesadores. Dos de las sesiones se realizan sobre el simulador de un DSP (TMS320C25 de Texas Instruments). Para estas prácticas se aprovecha la facilidad con que se puede diseñar un filtro digital con el programa DSPlay. Se puede configurar el filtro deseado eligiendo entre las diversas opciones de los menús (Parks-McClellan FIR, Window FIR, Butterworth IIR, Chebyshev IIR, paso alto, paso bajo, paso banda, rechazo de banda), y especificando al final los parámetros fundamentales del mismo, como son frecuencia de muestreo, frecuencia de corte, ganancia y orden del filtro. Una vez calculado el filtro, se pueden guardar los coeficientes en ficheros con formato ASCII para ser transferidos, por ejemplo, al simulador del DSP. De la misma manera, se pueden generar con DSPlay señales (o suma de señales) que sirvan de entrada al simulador, dada la sencillez con que esto puede hacerse (p. ej., para generar una señal sinusoidal sólo debemos introducir tres datos: frecuencia, amplitud y desfase inicial). La señal de salida resultante del procesamiento puede ser igualmente transferida al programa DSPlay para su visualización.

El manejo del simulador permite al alumno un primer contacto con un DSP, pudiendo conocer en todo momento parámetros relevantes como el tiempo de ejecución, el contenido de los registros, inspeccionar y modificar zonas de memoria de programa y de datos, ejecutar el programa paso a paso, realizar trazas, poner puntos de ruptura, etc. Las prácticas que se ha previsto realizar en el simulador son: en primer lugar, dado un fichero con una suma de señales de diferentes frecuencias, realizar un filtrado paso bajo y un filtrado paso alto de las mismas, visualizando los resultados en la pantalla del ordenador. A partir de estos ficheros resultantes, la segunda práctica consiste en realizar sobre el simulador la FFT de ambos ficheros, y comprobar las componentes espectrales de ambas señales, verificando si corresponden a la suma de señales original, una vez eliminada una determinada banda de frecuencias.

Por último, para aproximar al alumno a lo que es un sistema real, se propone una práctica con el emulador, procesando en tiempo real señales capturadas a través de la tarjeta AIB (Analog Interface Board). En esta práctica se realiza un procesamiento digital sobre una señal de audio muestreada a 44.1 kHz (en concreto, se realiza una ecualización a la señal original). La señal de audio se introduce a la tarjeta por medio de un micrófono, y la señal procesada se escucha a través de un amplificador. La ecualización se realiza sobre cinco bandas, pudiendo asignar a cada banda una ganancia de hasta 12 dB, o una atenuación de hasta 48 dB. Al principio del trabajo el alumno especifica la ganancia o atenuación deseada en cada banda (esto se traduce en la modificación de los coeficientes de los filtros empleados). El programa es transferido a emulador, y al ser ejecutado puede escucharse el efecto de la ecualización deseada sobre una señal real de audio. Recordamos que la tarjeta AIB incorpora conversores A/D y D/A de 16 bits y filtros anti-aliasing y de reconstrucción de frecuencia de corte reconfigurable por medio de la modificación de los valores de una serie de resistencias. Para poder implementar este tipo de efecto acústico ha sido necesario modificar la tarjeta AIB, incorporando a la misma 64

keywords de memoria RAM estática de alta velocidad (25 ns. de tiempo de acceso), de manera que el DSP trabaja a 40 MHz. sin estados de espera. El emulador (XDS/22) incorpora todas las posibilidades del simulador, pero permite el trabajo en tiempo real sobre el sistema final diseñado en base a un DSP. El alumno trabaja así con señales reales y puede visualizar los resultados sobre el osciloscopio (y comprobarlos acústicamente como en el ejemplo que se propone).

En la siguiente tabla (Tabla 1) se resumen las diferentes prácticas propuestas y las herramientas empleadas en cada una de ellas.

Título de la práctica	Herramientas empleadas
Generación de señales y convolución.	DSPlay
Transformada z, funciones de transferencia, ceros y polos, respuesta frecuencial.	DSPlay
FFT, DFT y convolución circular.	DSPlay
Diseño de filtros IIR.	DSPlay
Diseño de filtros FIR con ventanas.	DSPlay
Diseño de filtros FIR con otros métodos.	DSPlay
Filtrado con simulador.	DSPlay y simulador
FFT con simulador.	DSPlay y simulador
Ecuación en tiempo real.	Emulador, AIB.

Tabla 1. Prácticas propuestas en el Laboratorio.

#### 4. METODOLOGIA

Paralelamente al esfuerzo empleado en la selección y preparación de los experimentos a realizar en el ámbito del laboratorio de DSP, se ha elaborado un manual que va a servir de guía al alumno para la realización de los mismos. Este manual incluye, para cada una de las prácticas, un breve explicación de los objetivos a cubrir, junto con una introducción teórica, con referencias a los libros de texto en los que se puede encontrar el desarrollo teórico completo (por ejemplo [8]), una descripción de las herramientas a emplear (para prácticas en las que se emplea una herramienta utilizada en una práctica anterior, se referencia el lugar del manual donde se encuentra esta descripción), una explicación, apoyada en gráficos, de las conexiones que haya que realizar entre equipos (sólo en la última práctica), descripción detallada de la forma de realizar transferencias de ficheros entre los diversos programas, aspecto que presentan las pantallas por las que se debe ir moviendo el alumno, una relación de los problemas más frecuentes con los que se puede encontrar, etc. La finalidad última es que el alumno pueda abordar, sin la presencia permanente del profesor, la realización de los experimentos, sin necesidad de recurrir a información adicional farragosa (como por ejemplo los manuales de las aplicaciones o de los equipos), con excepción del soporte teórico en que se basa cada experimento. El alumno es el que se dosifica el tiempo a emplear en cada práctica, y la cadencia con que las va realizando. En cada práctica se deja además abierta la

posibilidad de que el alumno experimente proponiéndole alternativas al trabajo realizado, dejando que sea él mismo quien saque conclusiones de los resultados que debería obtener en las alternativas planteadas. Además de este manual, pensado para ser el único texto empleado, el alumno dispone en el laboratorio de todos los textos de apoyo necesarios [9], [10], [11], [12], [13].

De esta manera se consigue que los alumnos que pasen por el laboratorio tengan una visión más completa del Procesado Digital de Señal, y lo que también es importante, se hayan familiarizado con los diferentes equipos y con el manejo del software, aprendiéndolo de manera paulatina y progresiva.

## 5. RESULTADOS Y RESTRICCIONES

El laboratorio propuesto se encuentra, en el momento de redactar este resumen, en fase de puesta a punto, con todo el equipamiento dispuesto y a falta de completar el manual del alumno. Se han escogido y preparado una serie de experimentos diferentes, definidos en función de lo que aportan al alumno para complementar las clases teóricas. Este tipo de laboratorio, en principio, está pensado para un número reducido de alumnos, incluyéndolo en la docencia de estudios de tipo Postgrado o Magister para las correspondientes asignaturas de Procesado Digital de Señal (por ejemplo, en el Magister de Bioingeniería impartido en la Universidad de Zaragoza). La restricción se encuentra, obviamente, en que al disponer de un solo conjunto de herramientas, no es posible de momento planificar calendarios de prácticas para grupos de elevado número de alumnos. También se va a plantear la recomendación de realizar todo el conjunto de experimentos a los estudiantes de Ingeniería Industrial o de Telecomunicación que vayan a realizar su Proyecto Fin de Carrera en el campo del Procesado Digital de Señal. Es obvio que el seguimiento por parte del profesor del aprovechamiento del alumno es sencillo cuando los grupos son pequeños. Por otro lado, si se propone a un alumno futuro colaborador o futuro proyectando la realización de las prácticas, al ser él el primer interesado en aprender a manejar las diferentes herramientas no suele ser necesario hacer ningún tipo de seguimiento.

Si se consigue una mejor dotación de equipamiento para poder multiplicar las herramientas de trabajo del laboratorio, se podría pensar el incluir el conjunto de prácticas en asignaturas de últimos años para los estudios de Ingeniería mencionados, haciendo así más extensivo el empleo de este laboratorio. En este caso sería oportuno idear alguna manera efectiva de realizar seguimiento o evaluar al alumno, como por ejemplo, por medio de guiones a entregar al finalizar cada sesión.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] O. Alkin, L. Foster, M. Akbeg, T. Barton. "Applied Digital Signal Processing Concepts in A Laboratory Environment". IEEE Frontiers in Education Conference Proceedings. pp 357-362. 1989.
- [2] R. Chassaing. "The Need for a Laboratory Component in DSP Education". Digital Signal Processing 93, pp 74-75. 1993.
- [3] IEEE Signal Processing Magazine. Monográfico sobre DSP Education. Octubre 1992.
- [4] A. Kamas, E. A. Lee. "Digital Signal Processing Experiments". Prentice Hall. 1989.
- [5] D. L. Jones, T. W. Parks. "A Digital Signal Processing Laboratory Using the TMS32010". Prentice Hall. 1989.

- [6] B. A. Hutchins, T. W. Parks. "A Digital Signal Processing Laboratory Using the TMS320C25". Prentice Hall. 1990.
- [7] R. Chassaing, D.W. Horning. "Digital Signal Processing with the TMS320C25" Wiley. 1990.
- [8] A.V. Oppenheim, R.W. Schafer. "Discrete-time Signal Processing". Prentice-Hall. 1989.
- [9] Texas Instruments. "Second Generation TMS320. User's Guide". 1990.
- [10] Texas Instruments. "TMS320 Fixed-Point DSP Assembly Language Tools. User's Guide". 1990.
- [11] Texas Instruments. "XDS/22 TMS320C2x Emulator. User's Guide". 1989.
- [12] K.S. Lin. "Digital Signal Processing Applications with the TMS320 Family" Vol 1. Prentice-Hall. 1987.
- [13] Texas Instruments. "Digital Signal Processing Applications with the TMS320 Family. Theory, Algorithms and Implementations". Vol. 3. 1990.