

APLICACIONES DE PROCESADO DE AUDIO SOBRE SISTEMAS BASADOS EN dsPIC's

B. García, J. Vicente

Dpto. de Telecomunicaciones. Universidad de Deusto. Bilbao

El recurso docente que se presenta permite el diseño y programación de sistemas de procesado digital de señal en tiempo real sobre tarjetas con dsPIC's. Se ha integrado en un CD, un hardware y un libro el conjunto de herramientas necesarias que incluyen una aplicación de diseño y simulación de sistemas, el software de comunicación con la tarjeta sobre la que se cargará el programa que va a correr en tiempo real, la teoría de los dsPIC así como las bases matemáticas necesarias para los algoritmos.

1. Introducción

La formación de los Ingenieros de Telecomunicación e Informáticos incluye el estudio de los sistemas de procesado digital sobre señales tan presentes en nuestro entorno como la voz o las imágenes en formato electrónico. Para ello, el primer paso es estudiar la teoría matemática que soporta el análisis y diseño de los sistemas en tiempo discreto contemplando desde las primeras etapas de muestreo hasta aplicaciones de procesado de audio más habituales pasando por las transformadas matemáticas de Fourier y z aplicadas en sistemas FIR e IIR. A partir de estos conocimientos, es conveniente hacer uso de los simuladores sobre ordenadores personales que permiten diseñar los algoritmos que el alumno aplicará sobre la voz o el audio a partir de unas especificaciones previas así como modificar los coeficientes de los filtros resultantes para estudiar en profundidad dichos sistemas. Por otro lado, de cara a la formación integral de los estudiantes, resulta importante que prueben las simulaciones antes descritas sobre sistemas en tiempo real basados en DSP's (Procesadores Digitales de Señal). Para todo esto, existen multitud de aplicaciones, libros y tarjetas sobre las que trabajar pero todas ellas inconexas. Surge, por tanto, la necesidad de integrar todo este proceso para facilitar el aprendizaje del alumno desde la teoría hasta la práctica pasando por las simulaciones en PC. Además, consideramos fundamental que los DSP's con los que se trabaje sean sencillos de utilizar e integrar en diseños de PCB's realizados por los alumnos por lo que se han elegido los dsPIC's [1]. De esta manera, no sólo aprenden a trabajar en tiempo real sobre un hardware comprado sino que pueden implementar sus algoritmos sobre las tarjetas que ellos mismos diseñen, monten y prueben lo cuál favorece el aprendizaje integral, autónomo y significativo del alumno.

2. Objetivos

El objetivo general que se persigue es desarrollar un recurso docente que integre todos los conocimientos teórico-prácticos necesarios para el diseño, simulación e implementación de sistemas de procesado digital de señales aplicados a entradas y salidas de audio. Esto se conseguirá a través de una serie de objetivos específicos como son el dominio de:

- Los conocimientos teóricos de transformadas matemáticas z y de Fourier (DTFT, DFT, FFT)
- Las herramientas de simulación de filtros FIR e IIR [2] así como de los procesados específicos de audio incluyendo los efectos musicales
- La implementación sobre los dsPIC's de prácticas y proyectos tanto en una tarjeta de desarrollo básica como en un diseño específico realizado por el alumno.

3. Microcontroladores de señal dsPIC

El dispositivo seleccionado para la implementación de sistemas digitales de procesamiento de señal fueron los microcontroladores de señal dsPIC, de la empresa Microchip.

Los dsPIC nacieron después de que los DSP hayan sido desarrollados durante años por otras empresas. En su diseño han participado expertos y especialistas de muchas áreas. Los dsPIC se han aprovechado de la experiencia acumulada por otros fabricantes.

Microchip, fabricante de los dsPIC, los ha bautizado con el nombre de DSC (Digital Signal Controller), que puede ser traducido como Controlador Digital de Señal.

Un DSC es un potente microcontrolador de 16 bits al que se le han añadido las principales capacidades de los DSP. Es decir, los DSC poseen todos los recursos de los mejores microcontroladores embebidos de 16 bits conjuntamente con las principales características de los DSP, permitiendo su aplicación en el extraordinario campo del procesamiento de las señales analógicas y digitalizadas.

Uniendo adecuadamente las capacidades de un DSP con un potente microcontrolador de 16 bits, el DSC reúne las mejores características de los dos campos y marca el comienzo de una nueva era del control embebido.

4. El libro de texto

Los autores del libro, profesores de la Facultad de Ingeniería ESIDE de la Universidad de Deusto y especializados en la enseñanza, investigación y desarrollo de proyectos con todo tipo de procesadores digitales, han querido recoger, ordenar y exponer didácticamente todos los conceptos teóricos y prácticos que rodean a los dsPIC. Para conseguir este objetivo han dividido el libro en dos partes: Teoría y Práctica.

La parte teórica consta de 26 capítulos que analizan detalladamente la arquitectura, la programación y los periféricos de los dsPIC. Los cuatro primeros capítulos presentan a los DSP y a los dsPIC, ponen de relieve sus diferencias con los microcontroladores y los microprocesadores, enumeran las aplicaciones y los algoritmos típicos que se emplean y, finalmente, describen los modelos y las características de la familia dsPIC30F que comercializa actualmente Microchip.

Los capítulos 5, 6, 7 y 8 de la parte teórica se destinan a la arquitectura, el modelo de programación, las instrucciones DSP y el Motor DSP, respectivamente. La memoria de datos, la memoria de programa y las interrupciones son los temas que desarrollan los tres siguientes capítulos, es decir el 9, 10 y 11. Los tres siguientes capítulos merecen un comentario especial que exponen el repertorio de instrucciones y su manejo. Así, el primero de ellos, contempla el modo de direccionamiento, el formato y el juego completo de instrucciones de los dsPIC30F; el siguiente, o sea el 13, contiene una extensa colección de ejemplos y programas de aplicación de las instrucciones, mientras que el capítulo 14 se dedica a la simulación y depuración de programas didácticos utilizando las herramientas que Microchip pone a disposición de los usuarios libremente.

Desde el capítulo 15 al 26 se explica de forma pormenorizada el funcionamiento, la programación y las características de todos los recursos y periféricos complementarios que pueden encontrarse en los dsPIC30F como las puertas de E/S, temporizadores, conversores A/D, módulos de captura, módulos de comparación, PWM, I2C, DCI, CAN, QEI, etc..

Los contenidos de la segunda parte del libro dedicada a las aplicaciones prácticas se estructuran en siete capítulos. Cada uno de ellos consta de dos secciones: la dedicada a los conocimientos teóricos y la centrada en las aplicaciones que los necesitan.

A lo largo del primer capítulo se estudiará la forma de capturar las señales de audio ya que las características de la tarjeta de desarrollo sobre la que se realizarán las prácticas tiene un conversor A/D o CODEC óptimo frecuencialmente para este tipo de aplicaciones. La captura y tratamiento de estas señales vienen condicionadas por el hecho de que son analógicas y para poder ser sometidas a técnicas de tratamiento digital de señal, deben ser convertidas al formato digital. Este proceso supondrá la discretización tanto en tiempo como en amplitud para lo cuál se estudiará la base matemática que soporta dichas operaciones para, posteriormente, implementar sobre los dsPIC's los programas de captura y conversión de datos.

El segundo capítulo de la parte práctica está enteramente dedicado a los "osciladores". Éstos elementos permiten generar señales sinusoidales e intervienen tanto en el proceso de modulación de la señal con objeto de trasladar el mensaje frecuencialmente a una banda más adecuada para su transmisión desde la emisora de radio o televisión hasta nuestras casas, como en el demodulación de la misma para que la voz del locutor de radio o las imágenes de televisión sean correctamente recibidas.

El tercer capítulo se dedica a describir y diseñar sistemas utilizando la teoría de las ecuaciones en diferencias de coeficientes constantes (EDCC) donde aparecen una combinación de entradas y salidas retardadas ponderadas por unos coeficientes. Se aprenderá a implementar sistemas tan habituales en el ámbito de la música como los generadores o canceladores de eco.

De todos los sistemas de procesado digital de señal, no hay duda de que son los filtros las aplicaciones de uso más extendido. Los capítulos cuarto y quinto estarán dedicados a estudiar los conocimientos teóricos que permitirán al lector finalizar cada capítulo implementando su propio filtro en la banda que desee, tanto del tipo FIR como IIR. [4]

El dominio del tiempo es muy válido para determinados análisis pero, sin ninguna duda, es el dominio de la frecuencia el que nos aporta la información más relevante tanto sobre las características de un sistema como de una señal en tiempo discreto. En este sentido, en el capítulo seis se estudia e implementa en los dsPIC's la FFT como la herramienta más comúnmente utilizada para representar el comportamiento frecuencial de señales y sistemas.

Las aplicaciones del libro acaban en el capítulo siete dedicado a las técnicas de encriptación de voz realizando una aplicación sobre una grabación de audio que el lector aprenderá tanto a encriptar como al proceso contrario que recupera la señal original.

5. La placa de desarrollo

La elegida para este recurso docente es la dsPICDEM™ 1.1, esta placa proporciona un sistema de desarrollo de aplicaciones de bajo costo, con la que es muy fácil familiarizarse con la arquitectura de 16 bits de los microcontroladores de señal dsPIC.

Las características principales de la placa son las siguientes:

- Un chip dsPIC30F6014A
- Canales de comunicación UARTs, SPI™, CAN y RS-485
- Un codec de banda de voz Si3000 voiceband con conectores de micrófono y altavoces
- Un area de placa universal para incluir componentes propios
- Un LCD de 122 x 32
- Soporte para el grabador/depurador MPLAB® ICD 2

- LEDs, interruptores y potenciómetros.
- Sensor de temperatura
- Potenciómetros digitales para uso de CDA

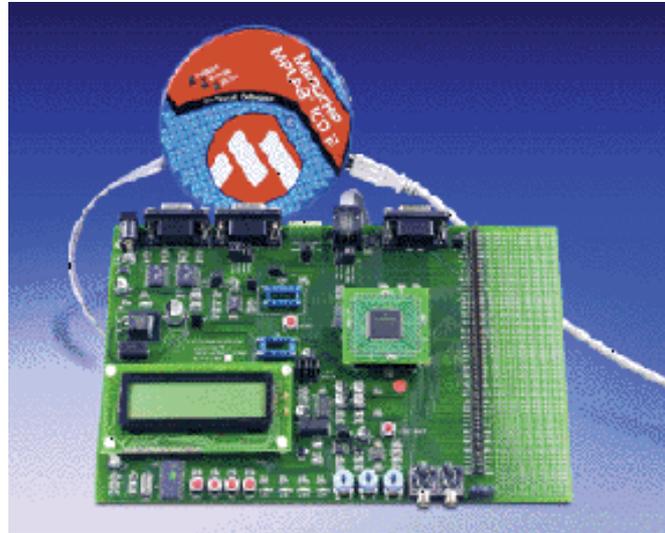


Figura 1. Tarjeta de desarrollo dsPICDEM-1

El elemento más importante de esta placa es el codec Si3000 que es el que permite la captura y digitalización de señales de voz de la entrada de micrófono y la conversión de señales digitales a analógicas para excitar unos altavoces. Todas las actividades planteadas para el estudio de la implementación de sistemas digitales se entran en el codec, ya que es este elemento es el que permite introducir una señal del exterior del sistema y generar una señal analógica como salida del sistema. Siendo implementado el algoritmo de procesado de señal en el dsPIC en el punto intermedio entre la entrada y la salida del codec.

6. Descripción del recurso docente

Dadas las aplicaciones de audio objeto de estudio, se ha estructurado el aprendizaje según el nivel de complejidad de las herramientas matemáticas necesarias para cada algoritmo o efecto musical sobre el que se va a trabajar. Por ejemplo, para el estudio de la reverberación musical, el alumno recibirá unas clases magistrales apoyadas en un capítulo del libro donde estudiará las ecuaciones en diferencias de coeficientes constantes (EDCC) con ejemplos gráficos incluidos en el CD sobre un simulador para PC. [5] A continuación, en el Laboratorio de Señal y con las indicaciones recogidas en las prácticas del libro [1], cargan sobre una tarjeta con un dsPIC - que se enseña al alumno a comprender y programar de forma integrada junto con la teoría y el simulador - el programa de reverberación que pueden coger del CD y lo aplican sobre una señal que han grabado con el micrófono. La salida de la tarjeta será escuchada por los altavoces. Así se comprobará si el alumno ha conseguido o no el efecto de la reverberación. Además, será importante repetir el proceso con el ajuste de parámetros de las EDCC, simulando un nuevo sistema y programándolo sobre la tarjeta cubriendo todas las fases propias del diseño de un sistema por parte de un Ingeniero de Telecomunicación.

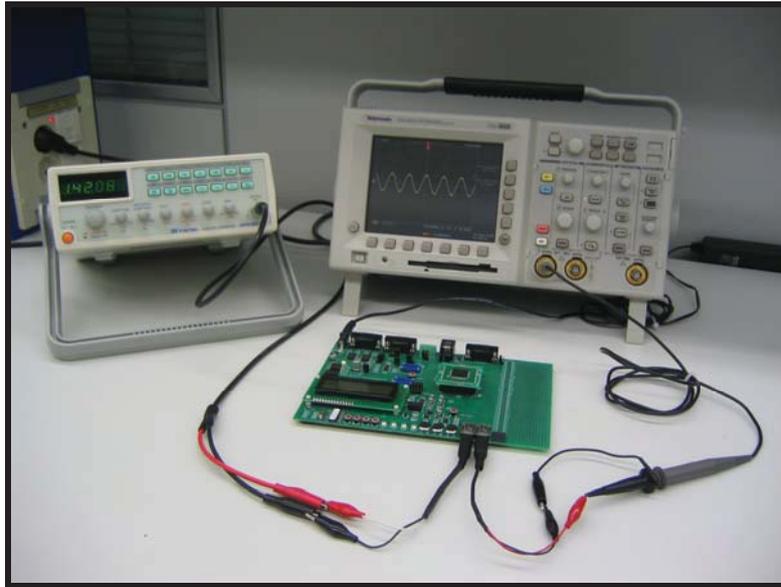


Figura 2. Resultado de un programa grabado en la placa dsPICDEM-1

7. Conclusiones

Las experiencias realizadas con nuestros alumnos de Ingeniería de Telecomunicación avalan que el nivel de aprendizaje e integración de conocimientos ha mejorado mucho respecto a las técnicas clásicas con recursos SW y HW independientes entre sí.

Por otro lado, el número de proyectos fin de carrera que los alumnos han propuesto por propia iniciativa relacionados con el tema de aplicaciones de procesamiento de señal ha aumentado. Esto es un indicador del grado de motivación y seguridad en sí mismos que han adquirido los alumnos.

Nuestro especial agradecimiento a J.M. Angulo e I. Angulo por su excepcional descripción teórica de la arquitectura, funcionamiento e instrucciones de los dsPIC's, así como a los alumnos de Ingeniería de Telecomunicación que han colaborado en la fase de pruebas del recurso docente.

Referencias

- [1] J.M. Angulo, B. García, J. Vicente, I. Angulo, "Microcontroladores avanzados dsPIC", International Thomson Editores, 2005.
- [2] Proakis, Manolakis. "Tratamiento Digital de la Señal", Ed. Prentice Hall
- [3] Vinay K. Ingle and John G. Proakis, "Digital Signal Processing using MATLAB", PWS Publishing Company, 1997.
- [4] Leland B. Jackson, "Digital Filters and Signal Processing", Kluwer Academic Publishers, 1986.
- [5] Udo Zölzer, "Digital Audio Signal Processing", John Wiley & Sons, 1995.