

# **FUNDAMENTOS, ESTRUCTURA Y PROGRAMACIÓN DE LOS PROCESADORES DIGITALES DE SEÑAL. FAMILIA TMS320C3X DE TEXAS INSTRUMENTS.**

*Sergio Gallardo, Javier Lillo, Sergio Toral, Federico Barrero*

*Universidad de Sevilla. sgallardo@gte.esi.us.es*

## **RESUMEN**

Este trabajo resume y presenta las principales características y contenido de una nueva obra, recientemente publicada, relacionada con el procesador digital de señal (DSP) TMS320C3x de Texas Instruments. La obra describe, de forma detallada, el comportamiento interno del DSP (CPU, gestión de la memoria, conflictos asociados a la segmentación, periféricos internos, etc.), su programación y va acompañada de interesantes ejemplos prácticos para la asimilación de los conceptos descritos.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El procesamiento digital de señal es una ciencia que podemos clasificar como “dominante” en nuestra sociedad y como tal, se ha convertido en objeto de estudio en las Escuelas de Ingeniería de Telecomunicación. Constituye la base de lo que conocemos como electrónica de consumo, multimedia, telefonía IP, telefonía sin hilo de tipo digital, procesamiento de imágenes (especialmente con fines médicos) y, actualmente, se empieza a utilizar en automoción y en aplicaciones domésticas (domótica). Sin duda, gran parte de “culpa” por este espectacular desarrollo ha sido debido a la aparición de los procesadores digitales de señal o DSPs.

Un DSP es un microprocesador que posee una CPU de gran potencia y que está preparado para la realización del mayor número de operaciones aritméticas en el menor tiempo posible. Los DSP son similares a otros microprocesadores y microcontroladores que se encuentran en el mercado con la salvedad de que su circuitería interna ha sido optimizada para la realización de funciones tales como el filtrado, la correlación, el análisis espectral, etc., de una señal digital de entrada al sistema. Esta característica es la que le confiere al DSP, en el entorno de las telecomunicaciones y de la tecnología de la información, la importancia que tiene.

Inicialmente, los DSP disponían de un mercado reducido (sólo se empleaban en sistemas que requerían una elevada potencia de cálculo, como ocurre en instrumentación electrónica de precisión, osciloscopios digitales, etc.) aunque, con la revolución y expansión relacionada con las telecomunicaciones, esta tendencia ha cambiado claramente. Las aplicaciones basadas en DSPs son innumerables y cada día van surgiendo más posibilidades cubriendo, en la actualidad, prácticamente todos los campos de la industria (telecomunicaciones, control, instrumentación, análisis de imagen y voz, automóvil, medicina, etc.).

En la Escuela de Ingenieros de Telecomunicación de Sevilla, el estudio de los sistemas electrónicos digitales se ha enfocado hacia el análisis de la estructura,

funcionamiento y aplicaciones de los DSPs. Así, en los planes recientemente aprobados, se imparte, en tercer curso, una asignatura obligatoria denominada “Complemento de Sistemas Electrónicos Digitales”, centrada en el análisis de una de las familias de procesadores digitales de señal más extendida, la TMS320C3x de Texas Instruments. El libro que se presenta en este trabajo cubre el análisis y diseño de sistemas digitales complejos, basados en el TMS320C3x, con una clara orientación a su aplicación en el tratamiento de señales digitales. El destinatario es un alumno de Ingeniería de Telecomunicación al que se presupone unas nociones elementales sobre sistemas digitales basados en microprocesador y procesamiento digital de señal.

## **2. LOS DSPS EN LAS ESCUELAS SUPERIOR DE INGENIERÍA**

Actualmente, la tecnología avanza a un ritmo vertiginoso. En los últimos quince años la potencia de los ordenadores personales se ha incrementado por un factor de 1000 y, es de esperar, que en los próximos quince continúe a un ritmo similar. Los avances tecnológicos han revolucionado la ciencia y la tecnología y un buen ejemplo de ello lo constituyen los procesadores digitales de señales (DSPs). Así, si a finales de los años ochenta, la enseñanza de los DSPs formaba parte de los cursos de post-graduado, una década más tarde forman parte de las enseñanzas universitarias y constituyen unan herramienta básica para muchos científicos e ingenieros.

La evolución de los propios procesadores ha sido espectacular. Las arquitecturas internas han ido mejorando hasta llegar a sistemas cada vez más complejos y desarrollados. Paralelamente, las herramientas de programación y desarrollo han experimentado una evolución similar. Los fabricantes se afanan en la búsqueda de compiladores y herramientas de depuración que hagan más fácil y amigable el trabajo del diseñador de sistemas electrónicos digitales. El resultado actual se muestra en sistemas de una gran complejidad interna pero con herramientas de desarrollo de un alto nivel de abstracción que permiten que cualquier usuario, con una formación mínima, se encuentre en disposición de trabajar con estos procesadores. Gracias a estas facilidades, el mercado de los procesadores digitales de señales y sus aplicaciones en la industria y las comunicaciones han crecido y crecen a un ritmo exponencial año tras año.

No obstante, la incuestionable ventaja de trabajar con herramientas de desarrollo de alto nivel de abstracción se transforma también en un inconveniente cuando el diseñador pierde la perspectiva de la arquitectura interna y la forma de trabajo de los procesadores. Es decir, cuando el *software* y las *herramientas de desarrollo* hacen transparente al usuario el *hardware* interno del sistema con el que trabaja. El peligro estriba en que el diseñador se convierta en un programador incapaz de comprender las limitaciones o problemas que no sean capaces de resolver las herramientas de desarrollo. Únicamente desde un conocimiento profundo del hardware y, posteriormente, el software de un DSP es posible optimizar el diseño de un sistema digital basado en este tipo de procesadores, aprovechar todas sus capacidades y prestaciones internas o compararlo con otros DSPs existentes en el mercado.

Atendiendo a esta consideración, la presente obra apuesta por una descripción detallada de la arquitectura interna de un procesador digital de señales, la familia TMS320C3x de Texas Instruments, como punto de partida para avanzar en su programación y sus herramientas de desarrollo, y llegar a la realización de aplicaciones concretas muy relacionadas con el procesamiento digital de señal y la enseñanza de las telecomunicaciones.

### 3. ESTRUCTURA DEL LIBRO

El libro se ha estructurado en 8 capítulos agrupados en tres partes más una introducción.

El capítulo 1 se plantea a modo de introducción general. Se presenta al principio una reseña histórica para encuadrar los procesadores digitales de señales dentro del contexto histórico que ha supuesto el desarrollo de la electrónica y los microprocesadores para, a continuación, introducir los diferentes procesadores digitales de señales existentes el mercado y sus prestaciones principales.

La parte I consta de tres capítulos que se encuentran dedicados al estudio de la arquitectura interna de la familia TMS320C3x. En primer lugar, en el capítulo 2, se introduce y desarrolla la arquitectura interna de la CPU, sus registros internos y la estructura interna del pipeline. La organización de la memoria y los accesos a través de los buses son detallados, seguidamente, en el capítulo 3 para, finalmente, completar el estudio del procesador con los periféricos internos de la familia TMS320C3x en el capítulo 4.

La parte II se centra en el software y las herramientas de simulación asociadas al DSP. El capítulo 5 muestra los diferentes tipos de datos, flotantes y enteros, con los que opera la familia TMS320C3x para adentrarse a continuación en sus modos de direccionamiento y su juego de instrucciones. El capítulo 6 introduce el simulador como herramienta para el diseño de aplicaciones software, proponiéndose, al final del capítulo, diversos ejercicios prácticos.

La parte III y última está dedicada al sistema de desarrollo DSK30, con el que es posible realizar y probar pequeñas aplicaciones y prototipos basados en sistemas microprocesadores. Consta de dos capítulos. El primero, capítulo 7, describe exhaustivamente el hardware y software del sistema de desarrollo DSK30 y, finalmente, el capítulo 8 propone diversas aplicaciones prácticas para ser implementadas sobre dicho sistema.

Con este esquema, el propósito del libro es que el lector adquiera una visión completa de un procesador digital de señales concreto, de manera que sea capaz de relacionar el software solución de una aplicación concreta con los elementos que constituyen la arquitectura interna de la CPU y sus periféricos. De este modo conseguirá un dominio completo del sistema a todos los niveles que le permitirá aprovechar plenamente toda la potencia de cálculo del procesador.

### 4. INDICE DEL LIBRO

El índice del libro es el siguiente:

- **Capítulo 1. Introducción.** Reseña histórica. Descripción de un sistema microprocesador: la unidad central de control de procesos (CPU), arquitectura de un sistema microprocesador, modos de direccionamiento de la CPU, interrupciones e inicialización del sistema. Dispositivos provistos de CPU: el DSP. Estructura interna básica de un DSP. Principales aplicaciones y fabricantes de DSPs.

**Primera parte. Estructura interna y funcionamiento de la familia TMS320C3x.**

- **Capítulo 2. La unidad central de control de procesos: CPU.** Los DSPs de Texas Instruments. Descripción general. Elementos de la familia TMS320C3x: TMS320C30, TMS320C31, TMS320C32, TMS320VC33. Manejo de instrucciones: operaciones internas del bus, conflictos en la estructura pipeline. Manejo de datos: registros internos de la CPU.
- **Capítulo 3. Organización de la memoria.** Rango de direcciones. Reset y vectores de interrupción. Periférico de memoria caché. Arranque programado boot-loader: carga desde memoria externa, carga desde puerto serie, boot-loader flexible del TMS320C32. Operaciones externas del bus: diagramas de tiempo y estados de espera, tiempos de ejecución y tiempos de acceso, accesos externos en el TMS320C32, bancos de conmutación programables, peculiaridades en el acceso a periféricos externos.
- **Capítulo 4. Periféricos internos.** Introducción. Entradas-salidas digitales: XF0, XF1. Temporizadores: registros de control y configuración, modos de operación del periférico temporizador, método de configuración. Puertos serie síncronos: registros de control y configuración, modos de operación del periférico puerto serie, método de configuración, modos de operación y protocolo serie síncrono. Controlador DMA: registros de control y configuración, modos de operación y sincronización de los eventos DMA, temporización de las operaciones DMA, método de configuración.

#### **Segunda parte. Descripción del software: diseño y realización de programas.**

- **Capítulo 5. Programación en lenguaje ensamblador.** Introducción. Formato de datos: datos enteros, datos flotantes. Modos de direccionamiento: direccionamiento a registro, directo, indirecto, inmediato corto, inmediato largo y relativo al contador de programa. Pila. Instrucciones.
- **Capítulo 6. SIM3x: Herramienta para la realización y prueba de programas.** Introducción. SIM3x: generación de código máquina, programa ASM30.EXE, programa LNK30.EXE, ejemplo. Ejercicios prácticos: manejo de pila y vectores de interrupción y reset, generación de interrupciones externas, instrucciones en paralelo.

#### **Tercera parte. Programación usando sistemas de desarrollo.**

- **Capítulo 7. Entorno de desarrollo DSK30.** Introducción. Características generales del DSK30: interfaz hardware con el puerto paralelo, interfaz hardware con el convertidor dual AIC. Descripción del software del DSK30: programa DSK3A.EXE, programa DSK3D.EXE.
- **Capítulo 8. Aplicaciones con el DSK30.** Introducción. Ejercicios prácticos: procesamiento de señales de audio, generador de ondas, filtros digitales.

### **5. HERRAMIENTA MULTIMEDIA**

El libro viene acompañado de una aplicación multimedia, (CD-ROM) interactivo. La herramienta sirve de complemento al libro tradicional e integra lecciones teóricas y prácticas. Como norma típica asociada a cualquier material de tipo multimedia, los conceptos se

describen en el CD-ROM mediante la visualización de películas y animaciones, simplificando al máximo el texto. La herramienta se describe en profundidad en [1], [2].

## **6. CONCLUSIONES**

En este artículo se ha presentado una nueva obra, centrada en el estudio y análisis de un procesador digital de señal del fabricante Texas Instruments. Con ella, los autores pretenden rellenar el hueco que existe en el mundo editorial por la carencia de obras publicadas relacionadas con el tema, especialmente en idioma castellano. Se ha pretendido desarrollar una herramienta descriptiva y rigurosa aunque asequible (de ahí que se suministre con un CDROM multimedia), a la vez que práctica para facilitar la asimilación de los conceptos, el aprendizaje y manejo de un sistema digital enfocado hacia los DSPs y la moderna tecnología de computadores.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

[1] C. Capilla, F. Barrero, L. García, “CD-ROM multimedia como método de ayuda a la enseñanza teórica de un DSP”, *5º Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica*, pp. 275-278, Las Palmas de Gran Canaria, Febrero, 2002.

[2] A. González, F. Barrero, L. García, “Laboratorio Virtual de DSPs basado en CD-ROM multimedia”, *5º Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica*, pp. 275-278, Las Palmas de Gran Canaria, Febrero, 2002.