

LABORATORIO DE PROCESADORES DE SEÑAL

Francisco Giménez de los Galanes, Miguel A. Berrojo, Santiago Aguilera

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S.I. Telecomunicación
Dpto. de Ingeniería Electrónica
Ciudad Universitaria, 28040 Madrid

Tfno: (91)549 57 62
Fax: (91) 336 73 23
e-mail: GALANES@die.upm.es

RESUMEN

Presentamos una triple experiencia en la enseñanza de procesadores de señal en el laboratorio. La motivación del curso no es que el alumno aprenda procesamiento de señal ni arquitecturas hardware, sino ponerlo en contacto con un equipo de desarrollo para que, solventando pequeños problemas, adquiera la metodología de trabajo que requiere un técnico de I+D en este campo.

1. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de tecnologías basadas en microprocesadores necesita del apoyo del trabajo en el laboratorio. El caso de los procesadores de señal (DSP's) no es diferente, sobre todo cuando el objetivo es que el alumno adquiera un conocimiento mayor que el de la arquitectura del procesador a nivel descriptivo, que le permita tener una visión completa del proceso de desarrollo de un producto basado en DSP's. Nuestra experiencia en este campo viene del trabajo con tres grupos de alumnos, con perfiles diferentes de formación y diferentes grados de motivación.

2. MEDIOS DISPONIBLES

El equipo básico del que se dotaron cada uno de los puestos del laboratorio es de un ordenador PC compatible AT-286 o superior que incorporaba una tarjeta VISHA, desarrollada en este Departamento, y el software de desarrollo.

Este equipo resulta atractivo puesto que se trata de un puesto versátil, que con un hardware específico muy reducido, se puede destinar a prácticas de distinta índole: prácticas sobre el ensamblador del 80x86, sobre recursos del MS-DOS, tarjeta gráfica, ...

Hardware

En cuanto al PC, el máximo requerimiento es que tenga bus ISA, necesario para conectar la tarjeta VISHA de proceso de señal. No obstante, es conveniente que sea lo más rápido posible, que disponga de al menos 40 Mbytes de disco duro y tarjeta gráfica VGA. El interés de la tarjeta gráfica reside en que trabajando con señales, éstas se puedan mostrar como curvas y no como una sucesión incomprensible de datos. Si se usa Windows™, basta con la configuración mínima que Windows™ exija.

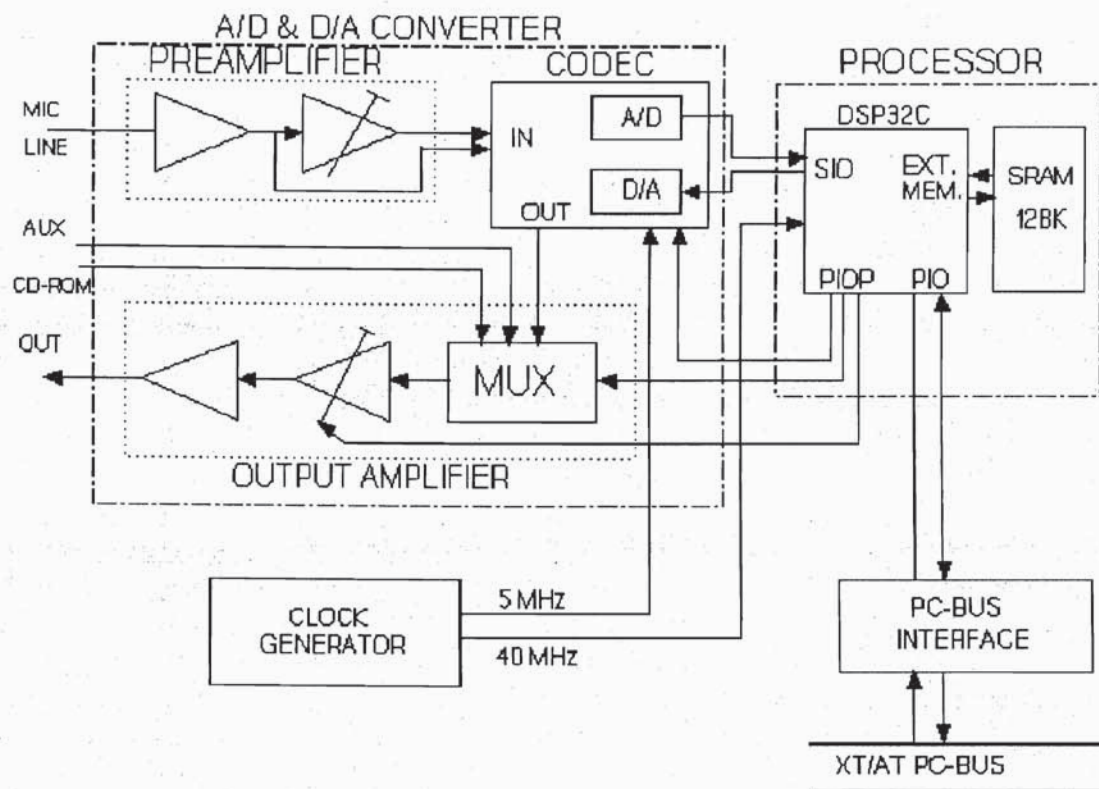


Figura 1. Esquema de la tarjeta de proceso de señal VISHA.

La tarjeta VISHA es una tarjeta que se conecta en el bus del PC, desarrollada en el Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica de Madrid. Sus principales características son (ver Figura 1):

- Procesador de señal DSP32C de AT&T. Es un procesador en punto flotante con arquitectura Von Neuman modificada, que trabaja a 40 MHz. Fundamentalmente consta de dos unidades aritméticas: una en punto fijo (CAU) y otra en punto flotante (DAU), que trabajan en paralelo, un puerto serie y un puerto paralelo bidireccionales (que se pueden gestionar mediante DMA), 4 Kbytes de memoria interna (0 wait states) y puede direccionar hasta 16 Mbytes de memoria externa.

- b) Conversor TLC32044 de Texas Instruments. Es un conversor digital/analógico y analógico/digital de bajo coste, de 14 bits lineales, programable y que incluye los circuitos de *sample & hold* y los filtros de reconstrucción y *antialiasing*.
- c) 128 Kbytes de memoria RAM estática externa (1 *wait state*).
- d) Conectores JACK 3,5 mm.: dos de entrada (micrófono y línea) y dos de salida (altavoz y auriculares).
- e) Configurable en el mapa de entradas y salidas del PC, mediante microinterruptores.
- f) Bajo coste. Aproximadamente una tercera parte del precio de otro producto equivalente.
- g) Expansión de memoria (VISHA4M). Hay una versión de esta tarjeta en la que la memoria estática externa es de 4 Mbytes (1 *wait state*).

Esta tarjeta, aparte de las puramente didácticas, presenta múltiples posibilidades y ventajas. Hay que destacar el software que se ha desarrollado en este departamento, sobre todo en los campos del análisis de señales de voz [1] y de tecnologías de rehabilitación [2][3].

Software

El conjunto de herramientas software del que se dotaron los puestos del laboratorio, consta de compiladores/ensambladores que generan código tanto para el PC como para el DSP y unas librerías de rutinas básicas (de nuevo para el PC y el DSP) de manejo de los recursos de la tarjeta.

Los compiladores de código 80X86 que se usaron fueron Turbo C 2.0 y Borland C++ 3.1, tanto para DOS como para Windows™. Se prefirieron estos frente a las versiones de Microsoft por la comodidad que aporta su entorno integrado, ya sea en tareas de compilación y enlazado como de depuración.

Para generar código para el DSP32C, AT&T proporciona un compilador de lenguaje C (d3cc), un ensamblador (d3asm), un enlazador (d3lnk), un simulador (d3sim), y librerías de rutinas matemáticas y de proceso de señal, que permiten la implementación de filtros, FFT's,... de una forma cómoda.

Por nuestra parte, hemos desarrollado las siguientes librerías:

- VISHA: Rutinas para ejecutar desde el DSP que ocultan los detalles de programación de bajo nivel de la tarjeta (registros del TLC32044 donde se programan la frecuencia de muestreo, la frecuencia de corte de los filtros, configurar los puertos serie y paralelo del DSP, el control de los accesos por DMA ,...).
- IOVISHA: Éstas son las rutinas que permiten acceder a la memoria de la tarjeta desde el PC (carga del programa a ejecutar, paso de parámetros, depuración,...) y que

se pueden usar no sólo desde programas en DOS sino también desde múltiples aplicaciones en Windows™. Se han escrito en lenguaje C, pero se pueden utilizar también bajo C++. Si se necesitaran en otro lenguaje de alto nivel (MODULA2, Pascal,...) podrían traducirse fácilmente puesto que el flujo de control es muy simple.

3. MÉTODOS

La práctica introductoria consiste en la resolución de un problema simple utilizando lenguajes de alto nivel. Esta metodología nos permite presentar los aspectos básicos de estas tecnologías sin perdernos en los detalles de un lenguaje ensamblador complicado, como es el del DSP32C, que aparte de la complicación inherente a todo ensamblador (mnemónicos, modos de direccionamiento, etc.) exige un riguroso control del orden y los tiempos de ejecución de cada instrucción debido a las latencias originadas por el uso del cuádruple *pipe-line*. Por ser un problema simple, se asegura también que las soluciones serán parecidas y que cada pareja deberá enfrentarse a problemas semejantes.

A partir de la primera práctica, el desarrollo del laboratorio depende mucho del grupo de alumnos.

Experiencia inicial

La experiencia inicial fue un cursillo de formación destinado a un grupo de cinco ingenieros técnicos en el que se les introducía al mundo de los DSP's en forma de laboratorio intensivo. La duración de este curso fue muy corta, dos días, en los que se impartió la arquitectura del DSP32C y de la tarjeta que lo soporta, así como las técnicas de desarrollo y programación.

Las prácticas realizadas eran forzosamente cortas y simples:

1) Comunicación PC-DSP32C. Se incluyen dos apartados: en el primero se trata de transferir datos al DSP para que éste devuelva un valor calculado a partir de éstos (media, mediana,...) y un segundo apartado en el que se utilizaba la tarjeta como un generador de tonos que suponía manejar el conversor digital/analógico, los diferentes canales de atenuación,...

2) Procesado simple de señales en tiempo real, ecos y reverberaciones. El programa del DSP actúa como un generador de ecos y reverberaciones simples, cuyos parámetros se controlan desde el PC de manera dinámica. Esta es una práctica con una gran aceptación porque con poca programación se consiguen efectos muy vistosos.

Esta experiencia nos sirvió para detectar los puntos más importantes que debería cubrir una práctica dirigida: aquellos que son exclusivos del desarrollo sobre DSP's (sincronización de dos procesos, desarrollo en tiempo real,...) y aquellos que son exclusivos del DSP específico que se está usando (compiladores, lenguaje ensamblador, arquitectura,...).

Fue un curso en el que no había conocimiento teórico previo. Resultó más informativo que formativo, porque los profesionales que asistieron no necesitaban usar estas tecnologías para resolver sus problemas específicos.

Segundo grupo

Los alumnos poseían un alto nivel de formación electrónica (F.P. o ingeniería técnica), pero un nivel de programación bastante bajo. Esto produjo problemas en el seguimiento del laboratorio resultando un bajo aprovechamiento del mismo. Debido a las características funcionariales del alumnado (profesores de F.P. en un curso de reciclaje), la motivación también era baja.

Este laboratorio se impartió en el entorno de un curso de proceso de señal de seis semanas de duración, con lo que los conocimientos teóricos no les eran ajenos, aunque la duración del apartado dedicado a DSP's fue de tres días (incluyendo los laboratorios y la preparación). El temario fue básicamente el mismo que el de la experiencia inicial, aunque poniendo mayor énfasis en las herramientas de desarrollo.

Tercer grupo

Este laboratorio se desarrolló en forma de prácticas especiales de la asignatura Laboratorio de Sistemas Digitales II, del 5º curso del presente plan de estudios. Este grupo asistía a clases teóricas sobre procesadores especiales y DSP's. Tras la práctica introductoria, se les pedía un proyecto pequeño y definido, a desarrollar en su mayor parte en lenguaje de alto nivel, con alguna pequeña rutina en ensamblador, cuando era necesario. Este grupo presentó una rápida adaptación, consiguiendo buenos resultados en general. El carácter voluntario de las prácticas especiales aumentó la motivación del grupo.

En este caso, el tiempo dedicado es sustancialmente mayor. El laboratorio está disponible durante todo el cuatrimestre de la asignatura, de modo que los alumnos pueden adecuarse por sí mismos según los resultados que van obteniendo.

Tras la práctica inicial, de contacto con los DSP's, que es básicamente la misma que empleamos en los grupos anteriores, el tipo de proyectos que se desarrollaron fueron por ejemplo, un reverberador completo, programable, capaz de emular salas complejas, programas de diseño de filtros digitales con implementación de los mismos en tiempo real, reconocimiento de vocales en tiempo real,...

Las dificultades surgen en gran medida de la complejidad de los algoritmos que hay que programar más que del propio uso del DSP y de sus herramientas. En esta línea, el hecho de proporcionar las librerías VISHA e IOVISHA supone un gran avance puesto que se pueden manejar todos los recursos con funciones de alto nivel (C o C++).

4. CONCLUSIONES

Como primera conclusión debemos exponer la necesidad de una formación previa en aspectos como la programación en lenguajes de alto nivel y bastante detalle de microprocesadores y lenguajes ensambladores de propósito general. La formación teórica en procesadores de señal no es necesaria, aunque resulta conveniente.

Todos los grupos presentaron en general una actitud positiva hacia el laboratorio ya que en las prácticas introductorias eran capaces de conseguir resultados muy llamativos con relativamente poco esfuerzo, sobre todo utilizando lenguajes de alto nivel y funciones que oculten los detalles más problemáticos.

Como contrapartida, los resultados reales de formación no fueron tan uniformes. El tercer grupo, tras las prácticas introductorias, presentó un alto nivel de formación en el que los problemas fundamentales se habían presentado y resuelto. Sin embargo, los dos primeros grupos seguían planteándose dudas sobre el uso y la aplicabilidad de lo presentado en el laboratorio, resultado achacable en cierta medida al poco tiempo del que se disponía para la realización de la práctica y la asimilación de los conceptos implicados.

Ninguno de los grupos llega a un completo conocimiento de los detalles más escabrosos de la programación del DSP32C. Los primeros, porque disponen de un tiempo limitado para la realización de la práctica y por tanto, los objetivos deben recortarse y porque además había que superar las características del grupo. En el grupo de alumnos de prácticas especiales, es raro encontrar una aplicación que se pueda resolver en el tiempo de un laboratorio (unos tres meses) y que presente unos condicionantes de tiempo real tan restrictivos que obliguen a una completa optimización del código.

Aun así, creemos que la experiencia es positiva, sobre todo porque introduce al alumno en un campo de gran porvenir, que está en pleno crecimiento, sobre todo en el dominio multimedia.

5. REFERENCIAS

- [1] M.A. Berrojo et al.. "A PC Graphic Tools for Speech Research Based on a DSP Board". *Proc. of ICLSP'92*, Vol 2. pp. 1633-36. 1992.
- [2] S. Aguilera et al. "Impaired persons facilities based on a multi-modality speech processing system". *Proc. of ESCA Workshop on Speech and Language Technology for Disabled Persons*, pp. 129-132. 1993.
- [3] J.F. Mateos et al. "A PC card for the rehabilitation of deficient auditive people". *Proc. EUSIPCO'90*, pp. 1175-1178. 1990.