

APLICACIONES DE LA INSTRUMENTACION VXI EN EL CAMPO DE LA ACUSTICA. DISEÑO DE UN ANALIZADOR DE TERCIO DE OCTAVA EN TIEMPO REAL

Ref. PACS: 4358

Alberto Martín, Mariano Ruiz, Juan Manuel López y Manuel Recuero

Instituto Universitario de Investigación del Automóvil
Dpto. Sistemas Electrónicos y de Control
Universidad Politécnica de Madrid
Ctra. Valencia KM.7 Madrid 28031
e-mail: amartin@sec.upm.es

RESUMEN

A one-third octave real time analyzer with VXI interface (VXI: VME eXtension for Instrumentation) has been developed in a C size board conforming to VXI 1.4 specification. The analyzer is made up of two blocks. The first one implement a message based VXI interface and the second the digital processing itself based in a 40MHz TMS320C31. The VXI interface has been gifted with a real time operating system (RTOS) and a *software* parser for building a SCPI (Standard Command for Programmable Instruments) translator. Different algorithms based in multi-rate filter banks and spectral estimation have been implemented and tested in order to solve the one-third-octave filtering problem.

INTRODUCCION

Actualmente el *bus* GPIB (IEEE-488) se ha convertido en un estándar de facto dentro de la instrumentación programable. Esto hace que cualquier equipo de laboratorio de medianas prestaciones incluya un *interface* de este tipo. Sin embargo éste presenta unas limitaciones considerables en cuanto a la velocidad de transferencia de información que es capaz de intercambiar entre los diferentes instrumentos que están conectados al *bus*. Esta limitación hace que este *bus* no sea idóneo para aplicaciones donde se requiera manejar una gran cantidad de información en tiempo real. Para soslayar estos inconvenientes existen en el mercado otros *buses* cuya velocidad de trasferencia permite que se puedan utilizar en aplicaciones en tiempo real. Uno de estos *buses* es el conocido como VXI (1)(2) (*Vme eXtension for Instrumentation*) que surgió en 1987 como una ampliación al *bus* VME (2) (*Versa Module Eurocard*) respaldado por las compañías líderes del mercado de instrumentación programable en esos momentos (Tektronix, Hewlett-Packard, Colorado Data Systems, Racal-Dana y Wavetek). Este *bus* años después se normalizó como IEEE-1155.

Las ventajas de este tipo de instrumentación se pueden resumir en:

Arquitectura Plug&Play, lo que permite configurar sistemas de forma automática.
Protocolos de comunicación definidos por la norma tanto de bajo como alto nivel. En estos últimos la comunicación con el controlador se realiza utilizando un protocolo de comunicaciones denominado WSP (*Word*



Serial Protocol). Este proporciona las normas básicas para la comunicación serie de los diferentes comandos de alto nivel que soporta el instrumento. Actualmente los fabricantes de diferentes instrumentos implementan los comandos de acuerdo a la normativa SCPI (*Standard Commands for Programmable Instrumentation*) de forma que dispositivos de diferentes fabricantes se puedan intercambiar entre si.

Protocolos específicos para el disparo y la comunicación a alta velocidad entre los módulos que se sitúan de forma adyacente en un chasis. Por ejemplo un analizador de espectros y un disco duro. Los instrumentos no disponen de teclado ni display y su control se realiza desde un ordenador conectado al sistema.

Los principales inconvenientes de los sistemas VXI son:

Elevado costo aunque actualmente esta disminuyendo.

Disponibilidad de instrumentos. Actualmente se encuentran fácilmente instrumentos clásicos en formato VXI tales como osciloscopios, digitalizadores, multímetros, matrices de conmutación, generadores de onda, etc. Por otra parte es difícil encontrar instrumentación específica para el campo de la acústica tales como analizadores de FFT, sistemas DSP o sonómetros.

Para desarrollar un instrumento VXI a medida es necesario realizar un considerable esfuerzo aunque existen herramientas *hardware* y *software* que lo simplifican (3).

En este artículo se describe un analizador VXI en tercio de octava en tiempo real implementado con un *interface* basado en mensajes y un procesador digital de señal (TMS320C31). Este instrumento se ha desarrollado de manera flexible para facilitar su uso a investigadores, integradores e ingenieros de sistemas de test. En la figura 1 se muestra la fotografía del instrumento desarrollado. En la figura se pueden apreciar dos elementos distintos: el bloque de *interface* con el *bus* VXI y el sistema de procesamiento digital de la señal. En los apartados siguientes se presentan las características de cada uno de estos bloques así como del algoritmo implementado para realización del filtrado en tercio de octava.

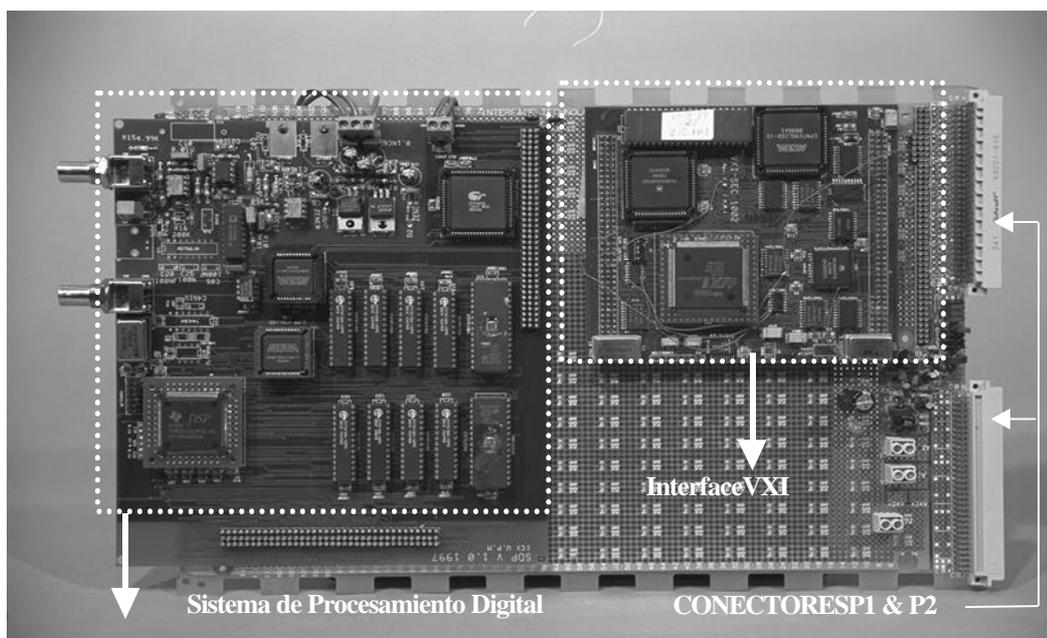


Figura 1: Analizador en tercio de octava VXI.



INTERFACE VXI BASADO EN MENSAJES.

El *interface* se ha implementado utilizando un ASIC de la firma Interface Technology el cual implementa las funciones de comunicaciones de bajo nivel con el *bus* VXI. Para controlar el circuito integrado anterior se utiliza un microprocesador MC68000. El microprocesador ejecuta las rutinas necesarias para implementar las comunicaciones con el controlador del sistema mediante el protocolo WSP, la decodificación de los comandos implementados según la normativa SCPI, así como la comunicación con el módulo de procesado digital de la señal. Para realizar el *software* que ejecuta el microprocesador, primeramente se ha desarrollado un pequeño *Kernel* de un sistema operativo en tiempo real. Utilizando las funciones que soporta este *Kernel* se ha desarrollado la aplicación que realiza el control del instrumento. La aplicación y el núcleo del sistema operativo se ha desarrollado en macroensamblador del 68000.

En la figura 2 se muestra diagrama de bloques de la tarjeta diseñada.

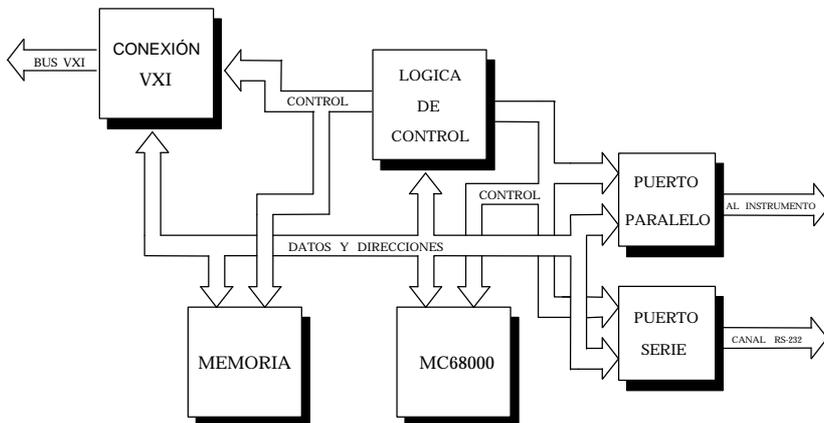


Figura 2. Arquitectura del *interface*.

En el se pueden apreciar diferentes bloques:

Lógica de control, supervisa el correcto funcionamiento del circuito. Está formado por un dispositivo de lógica programable (EPM7064 de *Altera*) que implementa la decodificación y las señales de control necesarias para el *interface* del microprocesador con los diferentes circuitos del sistema. Además incorpora circuitería adicional tal como un *watch-dog*. Microprocesador, implementado por un MC68000 de *Motorola*, el cual se encarga de realizar el control y gestión de las operaciones del *interface*. Conexión VXI, formado por un ASIC IT9010M el cual implementa el protocolo *hardware* con el *bus* VXI.

Memoria, contiene el código de la aplicación y los datos necesarios para la misma.

Puerto Paralelo, formado por registros que permiten realizar la conexión con el instrumento.

Puerto serie, dota al *interface* de un puerto de comunicaciones serie RS-232. Esta constituido por una DUART 68681, así como los circuitos de adaptación de niveles TTL-RS232. Las características que presenta este módulo son:

Características VXI.

Espacio de direccionamiento A16.

Capacidad de transferencia de datos D16.

Asignación de dirección lógica de forma estática o dinámica.

Nivel de interrupción VXI programable.

Envío de *Response* y *Event* mediante *signal* o mediante interrupción.



Capacidad de ser maestro de *bus*.
Detección de violación de *Read Ready* y *Write Ready*.
Características hacia el Instrumento.
Bus de datos de 8 bits.
Cinco líneas de direcciones.
Línea de interrupción del instrumento.
Línea de validación de datos.
Características del canal serie RS-232.
Velocidad de transmisión programable por *software*.
Control de flujo *software* (XON y XOFF) o por *hardware* (CTS y RTS).

La tarjeta se implementado sobre un circuito impreso de seis capas y unas dimensiones de 117 x 130 mm. La tarjeta se conecta al instrumento mediante dos conectores de pines con un paso de 0,1”.

SISTEMA DE PROCESAMIENTO DIGITAL.

Características *Hardware*

Este sistema esta basado en un procesador digital de la señal de Texas Instruments TMS320C31 trabajando a 40MHz. Las principales elementos que componen el sistema son:

Un bloque de conversión A/D y D/A basado en convertidores sigma-delta de 16 bits con frecuencia de muestreo de hasta 51.2KHz.

Un bloque formado por el DSP y los elementos de memoria necesarios (64 Kx32 SRAM, 512 K x 16 EPROM).

Un bloque formado por una FIFO de 4K x 16 y un registro de configuración y estatus que permite la comunicación bidireccional con el *interface* VXI.

Solución *Software*.

Implementar un algoritmo de análisis en tercio de octava en tiempo real es una tarea bastante compleja. Las diferentes soluciones que se han implementado están basadas en el uso de bancos de filtros digitales y técnicas de estimación espectral (4)(5). Los algoritmos de estimación espectral que se han testeado son: Barlett, Welch, Blackman-Tukey, Yule-Walker, Burg, mínima varianza, ULSM, Pisarenko y MUSIC. Los estimadores parámetros como Yule-Walker, Burg y ULSM fueron descartados porque la estimación es solamente válida cuando la frecuencia de entrada coincide con alguna de las frecuencias de interes que los algoritmos analizan. Los algoritmos basados en autovalores y autofunciones tales como el de Pisarenko y MUSIC se han descartado debido a su escasa resolución, elevado tiempo de computo y la necesidad de conocer a priori el número de componentes frecuenciales de la señal a analizar. Por otra parte los estimadores no parámetros como Barlett, Welch y Blackman-Tukey se han comportado de forma más apropiada para implementar el análisis en tercio de octava.

Teniendo en cuenta el *hardware* disponible los mejores resultados se han obtenido utilizando el estimador de Welch. Con el sistema desarrollado es posible implementar un análisis en tiempo real de la norma ANSI S1.11 en su versión restringida. El algoritmo utilizado ha sido:

Calcular sobre un buffer de 4096 muestras (51200Hz) el algoritmo de Welch obteniendo una resolución espectral de 50Hz. Seguidamente se diezma por un factor de 4 para obtener un nuevo buffer de 1024 muestras al que se le aplica de nuevo el algoritmo de Welch obteniéndose así una resolución de 25Hz.

Calcular la distribución en potencia en tercio de octava de acuerdo a la norma ANSI S1.11.



Otra solución para realizar el analizador en tercio de octava es utilizar técnicas de filtrado digital (6). Esta solución consiste en un banco de filtros centrados cada uno de ellos en una frecuencia de acuerdo a las especificadas en la norma. A continuación se presentan dos alternativas para resolver de forma eficiente este problema. El primero de ellos esta basado en un diezmando recursivo por un factor de 2. La idea básica consiste en filtrar el mínimo número de muestras posible en cada octava. Por lo tanto si en la primera octava se necesita una frecuencia de muestreo F_s en la siguiente octava la frecuencia de muestreo será $F_s/2$. Esto implica que si en la banda original se tienen que procesar un número N de muestras en la siguiente se procesarán solamente $N/2$. Si este proceso se expande al resto se llega al esquema mostrado en la figura 3. El número total de operaciones es aproximadamente el doble de las realizadas en el cálculo de la primera octava.

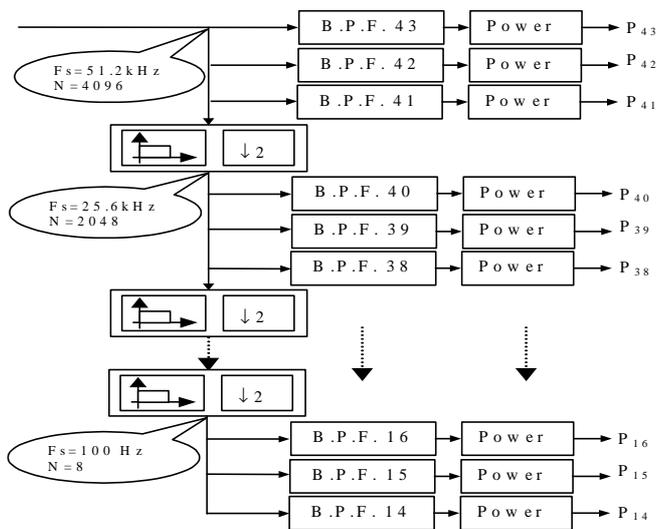


Figura 3: Algoritmo de diezmando recursivo

El problema de este algoritmo es que se utiliza un número distinto de muestras para estimar la potencia en cada una de las octavas analizadas. Como la varianza del estimador depende inversamente del número de muestras la varianza será diferente en cada octava. Esto no es preocupante en las bandas superiores ya que el número de muestras es suficientemente elevado, pero en las bandas inferiores esto representa un serio problema al tener un número pequeño de muestras. Para solucionar esto se propone otra alternativa que aunque es más ineficiente desde el punto de vista del número de operaciones a realizar la calidad de los resultados es mejor. Esto es debido a que con este algoritmo el número de muestras utilizado para estimar la potencia en cada filtro es el mismo consiguiéndose uniformidad en la varianza. En la figura 4 se muestra el esquema de este algoritmo.



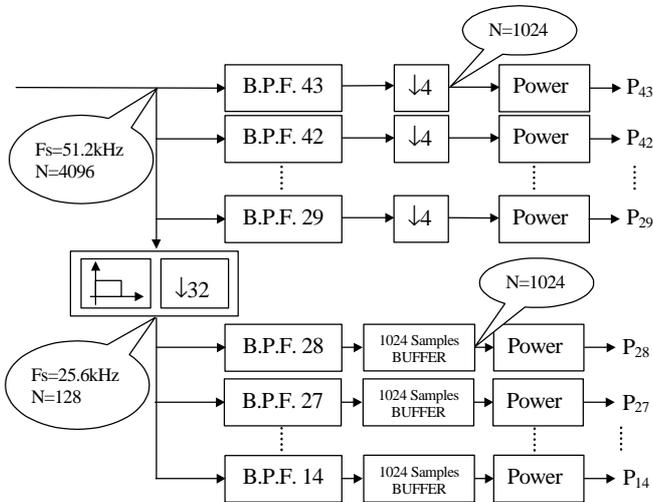


Figura 4: Algoritmo de varianza uniforme

Estos algoritmos se han probado, con unos resultados satisfactorios, en un ordenador personal dotado de una tarjeta de adquisición de datos implementados en lenguaje C utilizando las librerías de procesamiento de señal de Intel SPLIB optimizadas para arquitectura Pentium. En el *hardware* diseñado los algoritmos no funcionan en tiempo real debido a la gran cantidad de operaciones a realizar. Por lo tanto se está trabajando en una nueva versión del *hardware* basada en procesadores de la familia TMS320C6x.

CONCLUSIONES

Las conclusiones más importantes se resumen en:

Se ha realizado un instrumento VXI utilizando un *interface* de propósito general dotado de un sistema operativo en tiempo real y un *parser* de comandos SCPI.

Se ha implementado un analizador en tercio de octava en tiempo real de acuerdo a la norma ANSI S1.11 restringida utilizando un estimador espectral de Welch.

El sistema completo es el primer instrumento VXI dotado de DSP que se puede adaptar a las necesidades específicas de investigadores e integradores de ATE debido a la facilidad para modificar los comandos y los algoritmos.

Se han desarrollado nuevos algoritmos para el análisis en tercio de octava basados en técnicas de bancos de filtros que se implementarán sobre *hardware* basado en TMS320C6x.

BIBLIOGRAFIA

- (1) VXI Consortium. *VME Extension for Instrumentation 1.4*. VXI Consortium 1994.
- (2) Black J. *The System Engineer's Handbook. A guide to building VMEbus and VXIbus systems*, San Diego, Academic Press Inc, 1992.
- (3) Ruiz. M, Martin A. *Hardware modules for Designing VXI custom Instruments in ATEs*, Paris, The European Design and Test Conference User Forum, 1994. Pp. 79-83
- (4) Proakis, J.G. *Digital Signal Processing, Algorithms and Applications*. Prentice Hall, 1997.
- (5) Welch. P.D. *The Use of the Fast Fourier Transform for the Estimation of the Power Spectra*. IEEE Trans. Audio Electroacoustics, Vol. AU-15, Pp. 70-73, June 1970.
- (6) P.P Vaidyanathan.. "Multirate Systems and Filter Banks". Prentice Hall. 1992.

