

## **SIMULADOR DE SISTEMAS DIGITALES DE PRECISIÓN FINITA**

T. SANSALONI, J. VALLS, G. MORENO

*Departamento de Ingeniería Electrónica. Escuela Politécnica Superior de Gandía. Universidad Politécnica de Valencia. Ctra. Nazaret-Oliva sn. 46730-Grao de Gandía. España.*

*En este artículo se presenta un programa simulador de hardware digital de precisión finita. Esta herramienta es fundamental para evaluar la respuesta real de la implementación hardware de sistemas digitales puesto que permite determinar si la precisión elegida es suficiente para una aplicación dada. Las ventajas de este sistema son su versatilidad (permite la construcción de módulos a medida) y su fácil manejo (dispone de un entorno gráfico donde el usuario conecta bloques predefinidos), lo que facilita la evaluación de los efectos de precisión finita en los sistemas digitales de forma rápida y sencilla.*

### **1. Introducción**

La implementación práctica de procesadores digitales de señal a medida (Custom Digital Signal Processor, CDSP) está limitada por el número de bits que pueden ser utilizados en los cálculos matemáticos internos y por la precisión con que se almacenan los valores utilizados. Los efectos de precisión finita son un factor importante en la implementación de sistemas de procesado digital de las señales. La limitación de la precisión del cálculo (redondeo en las multiplicaciones y desbordamiento en las sumas) y la limitación de la precisión de los datos (cuantificación de las señales y de los coeficientes utilizados) afecta al funcionamiento del sistema digital. Las representaciones equivalentes de un mismo sistema (suponiendo cálculos internos con precisión infinita) no producen los mismos resultados cuando se utiliza precisión finita. Además, la precisión finita no sólo afecta los resultados obtenidos sino que condiciona las prestaciones del sistema (área ocupada y velocidad de operación).

Habitualmente la simulación de sistemas digitales se realiza con herramientas que no emulan la operación con precisión finita. Hoy en día no se cuenta con herramientas que permitan hacer este tipo de simulación por lo que los diseñadores de hardware deben implementar sus propias funciones de precisión finita para testear sus circuitos.

### **2. Objetivos**

El simulador que se presenta pretende ser una herramienta de fácil utilización y versátil que ayude a los diseñadores de hardware digital a evaluar los efectos de precisión finita en sus diseños. Esta herramienta permitirá la comparación entre sistemas implementados con precisión infinita y sistemas de precisión finita elegida por el usuario. Con este programa los alumnos pueden estimar cuántos bits son necesarios para que la función de un sistema se realice adecuadamente.

### 3. Descripción del Simulador

Este programa dispone de un entorno gráfico para la descripción de los circuitos a estudiar con un acceso sencillo a los distintos menús. Con el menú de componentes podemos tanto introducir y eliminar componentes en el área de trabajo, como definir sus propiedades.

Es posible conectar distintos elementos entre sí para formar sistemas mayores y simular su funcionamiento. Todos los elementos son de precisión finita siendo necesario definir su precisión: precisión de los datos de entrada y salida, precisión de la operación, etc. (figura 1).

El simulador incluye librerías de componentes donde además de encontrar operadores básicos como la suma, multiplicación tanto real como compleja se hallan otros módulos como *Butterflies* de radix 2 y 4, filtros FIR en distintas formas, etc.

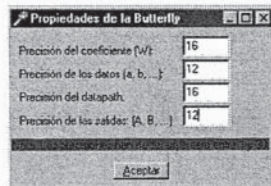


Figura 1: Atributos del componente Butterfly

La simulación puede realizarse paso a paso (procesado muestra a muestra) o de forma completa (procesado continuo de todas las muestras) de acuerdo con lo señalado en el menú de ejecución. El programa dispone de funciones para entrada y salida de datos desde/a fichero y de un entorno gráfico para la representación de datos. Este entorno permite visualizar y almacenar señales en diferentes puntos del sistema. Los proyectos realizados con este simulador pueden guardarse en un fichero (file.sim) y leerse del mismo.

El menú opciones permite controlar la configuración del programa (cambiar el color de fondo de la aplicación, cambiar los colores de los componentes, cambiar la distancia para que un enlace se una a un nodo,...). Permite también visualizar u ocultar la barra de herramientas del simulador diseñada para agilizar su manejo.

#### Librerías de Circuitos

El programa cuenta cuatro librerías, dos de ellas de módulos básicos: librería de módulos genéricos y librería de operadores aritméticos y otras dos librerías de módulos predefinidos más específicos: librería de filtros FIR y librería de Butterflies.

En la *librería de módulos genéricos* encontramos los puertos de entrada/salida de datos: *In*, *Coefficientes*, *Out*, que constituyen las herramientas para leer y escribir datos desde/a fichero. Los módulos conversores binario a decimal y decimal a binario (*CBD* y *CDB*) gestionan la conversión del formato de los datos de acuerdo con la precisión especificada por el usuario. El componente gráfico (*Graf*) permite indicar los puntos del circuito cuyas señales se desea visualizar.

Los principales *operadores aritméticos*: suma, multiplicación y complemento a dos se hallan recogidos en la librería del mismo nombre. El operador inversor (*Inv*) realiza el complemento a dos del dato de entrada. El módulo *Sumador* ejecuta la suma con signo/sin signo de números reales o complejos de acuerdo con las opciones elegidas. El *Multiplicador* realiza la multiplicación con signo/sin signo, de números reales o complejos.

En la *librería de filtros FIR* se recogen sus distintas estructuras: FIR Forma Directa (*FD*), FIR Forma Inversa (*FI*), FIR Simétrico Forma Directa (*FSD*), FIR Simétrico Forma Inversa (*FSI*), FIR Antisimétrico Forma Directa (*FAD*) y FIR Antisimétrico Forma Inversa (*FAI*). Estos filtros son parametrizables: es posible elegir el número de etapas de los mismos y la precisión con que se realizan sus operaciones.

La *librería de Butterflies* incluye los componentes Butterfly con radix 2 y radix 4 con diezmado en el tiempo (*BF2T*, *BF4T*) y diezmado en la frecuencia (*BF2F*, *BF4F*). En estos módulos es posible definir la precisión de los datos de entrada, de salida y de las operaciones internas.

#### Ayuda del Programa

El programa cuenta con un menú de ayuda que tiene como objeto mostrar al usuario la correcta utilización del programa, la comprensión de cada una de sus opciones, y el funcionamiento y caracterización de cada uno de sus componentes. También muestra la estructura interna de los operadores de las librerías de filtros FIR y de las distintas Butterflies.

#### 4. Ejemplo

En la Figura 2 se muestra el esquema de un filtro FIR de 40 etapas en forma directa. Con este circuito se quiere eliminar el ruido de la señal de entrada. La señal de entrada es un tono de 100 Hz al que se ha superpuesto un ruido de 750 Hz (Figura 3.b). El filtro es un filtro paso bajo con una frecuencia de corte de 200 Hz.

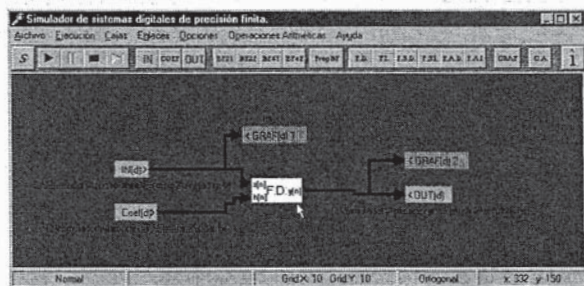


Figura 2. Filtro FIR en forma directa.

Para el filtro mencionado se ha definido una precisión de 16 bits tanto para la cuantificación de los coeficientes, de la entrada y la salida (Figura 3.a.). Se han realizado dos simulaciones variando la precisión de las operaciones internas; en un primer caso se considera una

precisión interna de 16 bits y en el otro una precisión de 5 bits. Una precisión interna de N bits implica que tras cualquier operación interna de multiplicación, suma, etc., el resultado será truncado a N bits. Se ha elegido que cuando el simulador detecte situaciones de 'overflow' (desbordamiento) no las resuelva.

En las figuras se muestra la señal de entrada con el ruido (Figura 3.b.), la salida del filtro cuando se opera con una precisión interna de 16 bits (Figura 3.c.) y la salida del filtro cuando se elige una precisión de 5 bits (Figura 3.d.). A partir de los resultados es posible concluir que en este caso una precisión interna de 5 bits es insuficiente para resolver la aplicación.

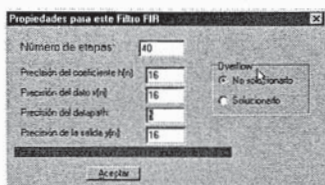


Figura 3.a. Atributos del filtro FIR.

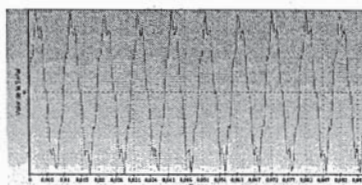


Figura 3.b. Señal de entrada con ruido.

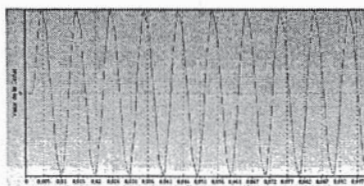


Figura 3.c. Señal de salida cuando la precisión interna utilizada es de 16 bits.

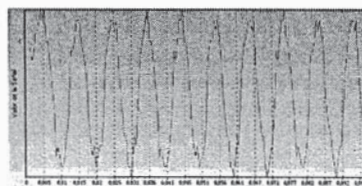


Figura 3.d. Señal de salida cuando la precisión interna utilizada es de 5 bits.

## 5. Conclusiones

Este sistema facilita el modelado de sistemas digitales de precisión finita y permite evaluar las características de distintos sistemas de acuerdo con la precisión elegida para la realización de los cálculos internos y para la cuantificación de las señales que intervienen en los mismos. Con este simulador se pueden variar rápidamente los parámetros del circuito y analizar los resultados de su simulación en un tiempo más corto.

El programa ayuda a:

- Estimar la precisión necesaria para almacenar los datos de entrada y de salida.
- Estimar la precisión requerida en los cálculos internos.

## Referencias

- [1] C. Burrus, Sidnet et al., "Ejercicios de tratamiento de la señal utilizando Matlab V.4". Prentice Hall, 1998.