

ND6007UNLP

UNIVERSIDADE: Universidad Nacional de La Plata

AUTOR: Sergio D. Baron

CODISEÑO HARDWARE-SOFTWARE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LÍNEAS DE RETARDO, ECUALIZADORES Y REVERBERADORES

RESUMEN

El codiseño de hardware software es una técnica que permite definir formalmente, prototipar e implementar sistemas muy eficientemente. En este trabajo vemos su aplicación al procesamiento digital del sonido. Utilizando una herramienta de diseño reconocida y versátil como es Ptolemy, hemos identificado la aptitud de modelos computacionales que encajan perfectamente a la hora de hacer procesamiento digital de audio. El modelo computacional SDF (Synchronous DataFlow) permite describir algoritmos estáticamente programados en los cuales el flujo de los datos es siempre el mismo. El procesamiento digital de audio para la generación de efectos, ecualización y síntesis de sonido es fundamentalmente lineal y estático, por lo tanto el dominio SDF es adecuado para describir este tipo de sistemas. El estudio se completa mediante la evaluación de las líneas de retardo, ecualizadores y reverberadores digitales, como algoritmos implementables. Por último veremos la capacidad de dividir nuestros diseños en ASICs utilizando VHDL y software para su implementación real y las ventajas que esto trae.

Palabras clave: Vhdl, Ptolemy, Hardware Software Co-Design

Palavras-chave: Vhdl; Ptolemy; Co-Diseño Hardware Software

1 INTRODUCCION

La mayoría de los aparatos de consumo masivo en telecomunicaciones de voz, reproducción musical, broadcasting, síntesis de sonido y producción de fonogramas, entre otros, utilizan alguna forma de procesamiento digital de la señal sonora. Dicho esto, nos encontramos que existe una demanda importante para el procesamiento digital de audio, y por lo tanto, existen numerosas técnicas y soluciones en este campo.

Muchas de estas aplicaciones son implementadas finalmente en algún tipo de circuito integrado, ya sea re-programable o tipo full-custom.

Veremos aquí que las aplicaciones más populares en el procesamiento digital de audio se componen de algunos pocos elementos comunes a todas ellas, y que las técnicas de co-diseño nos permitirán su implementación efectiva y optimizada en muchos casos.

2 ALGUNAS APLICACIONES DE PROCESAMIENTO DE AUDIO

Siendo muy amplia la gama de aplicaciones donde se requiere procesamiento del audio se pondría pensar que los bloques fundacionales del DSP en audio son muchos, sin embargo no es así.

En las telecomunicaciones de voz, excluyendo los vocoders, generalmente se usan dos aplicaciones de dsp: la cancelación de eco y la ecualización de frecuencias. La cancelación de eco se hace mediante el uso de líneas de retardo que compensan retardos y feedbacks que hay en los canales de comunicaciones y mediante interferencia destructiva anulan el eco. Los ecualizadores se utilizan para mejorar las características de respuesta en frecuencia del canal y mejorar la inteligibilidad de la voz.

En la reproducción de audio, como por ejemplo los reproductores de CD, auto radios, etc. se utilizan ecualizadores en todos ellos y en los equipos de alto costo se incluyen efectos de ambiente como eco y reverberancia.

En la síntesis de sonido, actualmente todo el proceso se realiza mediante DSP. Especialmente la síntesis por modelización física [1], los medios de producción sonora son implementados mediante filtros, líneas de retardo y otros elementos de procesamiento digital del sonido.

En el mundo de la producción de fonogramas ya hace muchos años que todo el tratamiento del sonido se realiza mediante medios digitales, siendo los artefactos mas utilizados, la reverberancia, ecualización y modulación dinámica de la amplitud del sonido.

Podemos decir entonces que si nos abocamos al estudio de los métodos de ecualización, retardo y reverberancia del sonido, estaremos abarcando las aplicaciones mas importantes.

3 LÍNEAS DE RETARDO, ECUALIZACIÓN Y REVERBERADORES

3.1 LÍNEAS DE RETARDO

Las líneas de retado no hacen otra cosa que tomar muestras por una punta y entregarlas sin modificación alguna por la otra M -muestras retasadas. A pesar de su simplicidad, son el bloque fundacional de los otros dos algoritmos que veremos a continuación. Una línea de retardo se puede representar como se ve en la figura 1.

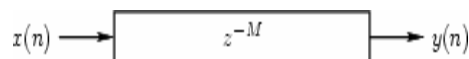


Fig. 1. Línea de retardo de M muestras

La ecuación que la representa es la siguiente:

$$y(n) = x(n - M), \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

donde $x(n) = 0$ para $n < 0$.

3.2. Ecuación.

En su expresión mas simple un ecualizador en un filtro pasabanda acoplado a una etapa de ganancia. Este filtro puede ser implementado mediante un filtro de Respuesta Finita al Impulso (FIR). Un filtro FIR se puede implementar como se ve en la figura 2. Podemos ver más sobre filtros FIR en [2].

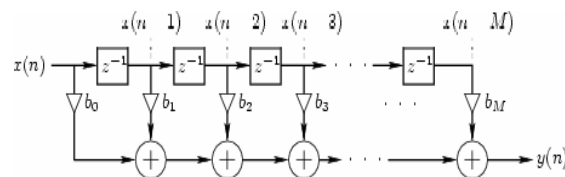


Fig. 2. Filtro FIR.

La ecuación diferencial es la siguiente:

$$y(n) = b_0x(n) + b_1x(n - 1) + b_2x(n - 2) + b_3x(n - 3) + \dots + b_Mx(n - M)$$

y la función de transferencia:

$$H(z) = b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2} + b_3z^{-3} + \dots + b_Mz^{-M} = \sum_{m=0}^M b_m z^{-m} \triangleq B(z)$$

Ya podemos ver que un filtro FIR se implementa fundamentalmente con líneas de retardo, bloques de ganancia y realimentaciones.

Para realizar un ecualizador de múltiples bandas habrá que tener tantos filtros como bandas se deseen, cada uno con su frecuencia centrada en la frecuencia de esa banda.

3.3. REVERBERACIÓN

La reverberación es el efecto que escuchamos cuando una fuente sonora se reproduce en un espacio acústico el cual entrega al oyente además del sonido directo de la fuente, varias reflexiones indirectas y de diferente retraso que además poseen distintas repuestas pasabajos.

Por lo tanto una de las tantas formas de implementar un reverberador artificial es mediante una matriz de líneas de retardo, cada una acoplada a un filtro FIR.

4 CARACTERÍSTICAS DE LOS ALGORITMOS DE LÍNEA DE RETARDO, ECUALIZACIÓN Y REVERBERANCIA

Analizaremos aquí las posibilidades de implementación de estos algoritmos.

Como vemos en el punto anterior todos comparten las siguientes cualidades:

- Invariantes en el tiempo.
- Lineales.

Estas características son importantes al momento de elegir un modelo computacional que los describa. En la elección correcta de este modelo

5 DISEÑO DE LOS ALGORITMOS USANDO PTOLEMY

El entorno de diseño Ptolemy [3][4] permite implementar sistemas usando diferentes semánticas, las cuales son interpretadas a través de los dominios. Los dominios a su vez, se asocian a modelos de computación, que son los que se encargan de definir su comportamiento.

5.1 DOMINIO SDF

El dominio SDF (Synchronous Data Flow), es muy utilizado en el campo del procesamiento de señales. Como en casi todos los dominios de Ptolemy, el programa se especifica con un conjunto de bloques y arcos conectores llamado “grafo orientado”. Los bloques son los que producen el procesamiento y los conectores son buffers de interconexión. Dada la especificación de un diseño en SDF, es muy fácil saber como se implementa el algoritmo, ya que es lineal y que cada bloque posee un número limitado de entradas y salidas. Otra ventaja es que el dominio SDF describe a los retardos muy simplemente mediante la inserción de un “diamante” en un arco conector (ver figura 3).

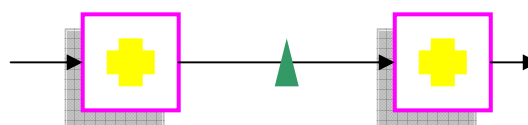


Fig 3. Dos estrellas de operaciones aritméticas unidas por un retardo

5.2 IMPLEMENTACIÓN DE LOS ALGORITMOS USANDO EL DOMINIO SDF

Hemos visto que los algoritmos de procesamiento de audio que nos interesan son lineales e invariantes en el tiempo. El dominio SDF y su representación mediante grafos son particularmente eficaces al implementar algoritmos con estas características.

La invariancia en el tiempo nos permitirá implementar los bloques de procesamiento en forma estática y dará la ventaja de poder elegir entre una realización en software (C o C++) o Hardware (VHDL) del bloque.

La linealidad servirá para permitir que el *scheduler* de Ptolemy tome libremente los bloques y los ejecute en paralelo, para así poder optimizar la velocidad de funcionamiento del sistema. En proyectos de DSP la velocidad de procesamiento es la cualidad mas buscada.

5.2.1 Implementación de un reverberador artificial en Ptolemy

Siendo el dominio SDF muy utilizado en el procesamiento en señales, la distribución de Berkeley ya cuenta con bloques de procesamiento muy sofisticados, como ser filtros FIR. Usando esta característica diseñamos un reverberancia elemental utilizando líneas de retardo y filtros FIR para simular un pequeño espacio acústico. Esta implementación se basa en proveer al oyente de múltiples replicas de la fuente del sonido, cada una retrasada en el tiempo en distintos periodos y filtrada por un pasabajos. La implementación puede verse en la figura 4.

Al procesar un archivo sonoro mediante el reverberador implementado, conseguimos con éxito simular el espacio acústico buscado. La diferencia de retardo entre las distintas líneas de retardo (delay1....delay5) es de sólo algunos milisegundos, como sucede en un espacio acústico real. Los filtros pasabajos simulan la absorción de los materiales contra los que el sonido rebota y la absorción del aire, ambos dos efectos son pasabajos.

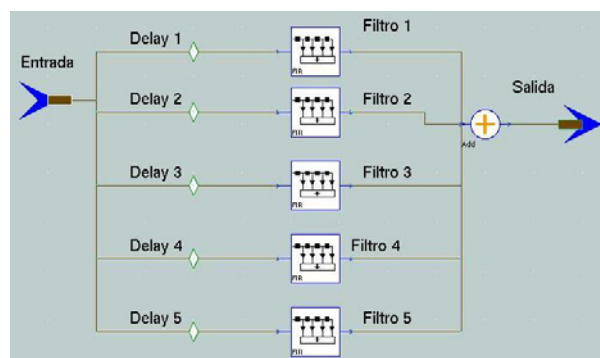


Figura 4. Reverberador artificial en Ptolemy

6 DIVISIÓN DE LOS DISEÑOS EN HARDWARE Y SOFTWARE

Como hemos visto anteriormente, un pequeño conjunto de algoritmos de procesamiento de audio es utilizado en un gran número de aplicaciones prácticas. Muchas de estas aplicaciones se materializan en artefactos de consumo masivo, donde el costo de los materiales y la practicidad en el desarrollo son factores fundamentales. Siendo así muy escasos los recursos de procesamiento disponibles en estos artefactos.

Tanto los filtros FIR, como las reverberaciones, utilizan masivamente sumas y multiplicaciones, que son operaciones que un procesador de DSP realiza fácilmente, pero que en un microprocesador de uso general son muy costosas en términos computacionales.

Aquí esta una de las motivaciones principales del uso del codiseño en el procesamiento de audio. Al ser estáticos e invariantes en el tiempo, los algoritmos (o parte de los algoritmos) de audio son implementables en hardware programable o en un ASIC usando VHDL, dejando al microprocesador para otras tareas como ser las de entrada y salida, formato de datos, etc.

7 CONCLUSIONES

Hemos compilado una serie de aplicaciones muy utilizadas en el campo del procesamiento de audio y las hemos caracterizado. Usando Ptolemy y el dominio SDF pudimos definir precisamente las ventajas de éste es implementar algunos los algoritmos elegidos.

A partir de las comprobaciones hechas puramente en software poseemos una plataforma de diseños y código que son útiles para la implementación en una plataforma heterogénea donde parte del procesamiento se haga en un microprocesador y parte en hardware programable o un ASIC.

REFERENCIAS

- [1] BARON, Sergio. Síntesis digital de sonido usando dispositivos de lógica programable. In: **IX Workshop de Iberchip**, 2003.
- [2] J. O. SMITH III, Introduction to Digital Filters. Disponível em: <http://www-ccrma.stanford.edu/~jos/filters/>, 2003
- [3] **Ptolemy User's Manual**. Berkeley: University of California. Disponível em: <http://ptolemy.eecs.berkeley.edu>.
- [4] OSIO, SALGUERO, RAPALLINI, BARON. Entorno de Desarrollo Ptolemy. In: **XI Jornadas de Jóvenes investigadores**. La Plata: UNLP/AUGM, 2003.