Módulo IP ICT8x8

ICT Directa e Inversa con Técnica de Pre-escalado

Abril 2012

Especificaciones del Producto

LACETEL, Instituto de Investigación y Desarrollo de Telecomunicaciones.

Autor: Ing. Armando Barrera
Dirección: Ave. Independencia #34515, 1ro de Mayo, Boyeros, La Habana, Cuba.
Tel: +(53) 7 683-2814
Fax: +(53) 7 649-5828
E-mail: armando@lacetel.cu
URL: www.lacetel.cu

Características:

- Transformada Entera Bidimensional del Coseno en su forma directa e inversa (2D-ICT, *Integer Cosine Transform*).
- Procesamiento de Bloques de 8x8 elementos.
- Compatible con el estándar de compresión AVS (*Audio Video Coding Standard*), *Part 2*.
- Emplea la Técnica de Pre-escalado de la Transformada Entera (PIT, *Prescaler Integer Transform*).
- Algoritmo implementado en Lenguaje de Descripción de Hardware.
- Incluido método y procedimiento de comprobación (*Test Bench*).

Aplicaciones:

- Núcleo de la Transformada Coseno, en bloques de 8x8 elementos.
- Compresión y descompresión de señales de video, de acuerdo al estándar de codificación AVS.

Descripción General:

La Transformada Coseno es una de las herramientas matemáticas más ampliamente utilizada en aplicaciones de compresión de audio e imágenes.

La Transformada Coseno es una función lineal e invertible que traslada los elementos de entrada del dominio real R^N a un dominio real de igual dimensión, en el cual sus elementos guardan una correlación mínima. Para casos bidimensionales la formulación matemática de la transformada es:

$$F(n)_{xy} = C_x C_y \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(x_{ij}) \cos\frac{(2j+1)y\pi}{2N} \cos\frac{(2j+1)x\pi}{2N}$$

Los algoritmos de compresión MPEG2, MPEG4, H.264 y AVS, entre otros, emplean la propiedad de la

transformada de lograr la decorrelación de los elementos de entrada para eliminar la redundancia espacial presente en las señales de video.

Las imágenes son descompuestas en bloques de 16×16, 8×8 ó 4×4 elementos (según el estándar utilizado). Cada uno de estos bloques es transformado**,** obteniéndose arreglos de matrices donde la mayor parte de la densidad de energía se concentra en pocos coeficientes. Para mantener la ortonormalidad de los bloques tras la manipulación matemática se lleva a cabo un proceso de escalado. Finalmente, se aplica un paso posterior de cuantificación a los coeficientes, siendo mayor el paso de cuantificación para las componentes de altas frecuencias. Debido a que la visión humana es más sensible a las bajas frecuencias este paso permite lograr una compresión de la señal sin que se afecte la percepción de calidad en la imagen resultante.

El proceso de transformación convencional, empleado por MPEG2, MPEG4 y H.264, es el mostrado en la Figura 1.

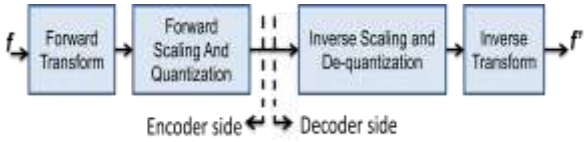

Figura 1 Diagrama en bloques de la Transformada Convencional.

El estándar AVS, emplea la técnica PIT (*Pre-Scaled Integer Transform*) [1]. Esta variante traslada al *Encoder* el proceso de escala inversa, disminuyendo así la complejidad en el lado receptor.

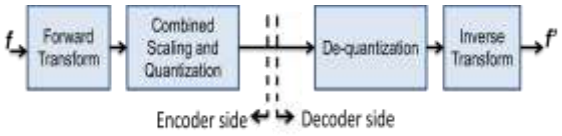

Figura 2 Diagrama en bloques de la Transformada Coseno, aplicando la técnica PIT.

La transformada directa bidimensional, utilizando la Técnica de Pre-escalado se define matemáticamente como:

$$F_{8\times8} = \left[ICT_{8\times8} \times f_{8\times8} \times ICT_{8\times8}^{T}\right] \otimes QSS(QP)$$

Donde $f_{8\times8}$ es la matriz de los elementos de entrada, $QSS(QP)$ es la matriz que combina los pasos de escala y cuantificación, mientras que $F_{8\times8}$ es la matriz de los coeficientes obtenidos al aplicar la transformada [2].

La matriz de transformación utilizada ($ICT_{8\times8}$) es la definida por el estándar AVS [3].

$$[ICT]=\begin{bmatrix} 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 \\ 10 & 9 & 6 & 2 & -2 & -6 & -9 & -10 \\ 10 & 4 & -4 & -10 & -10 & -4 & 4 & 10 \\ 9 & -2 & -10 & -6 & 6 & 10 & 2 & -9 \\ 8 & -8 & -8 & 8 & 8 & -8 & -8 & 8 \\ 6 & -10 & 2 & 9 & -9 & -2 & 10 & -6 \\ 4 & -10 & 10 & -4 & -4 & 10 & -10 & 4 \\ 2 & -6 & 9 & -10 & 10 & -9 & 6 & 2 \end{bmatrix}$$

El proceso de transformación inversa es descrito por la siguiente ecuación:

$$f'_{8\times 8} = ICT^{T}_{8\times 8} \times \left[F_{8\times 8} \otimes Q(QP)\right] \times ICT_{8\times 8}$$

Donde $Q(QP)$ es la matriz de decuantificación, $ICT^{T}_{8\times 8}$ es la transpuesta de la matriz de transformación y $f'_{8\times 8}$ es la matriz de los coeficientes resultantes de la transformada inversa.

Teoría de Operación:

El módulo **ICT8x8** realiza el proceso completo de transformación directa e inversa de los elementos de entrada organizados en matrices de 8×8.

Los 64 elementos de cada matriz son recibidos en serie en forma de filas, ver *Figura 3*.

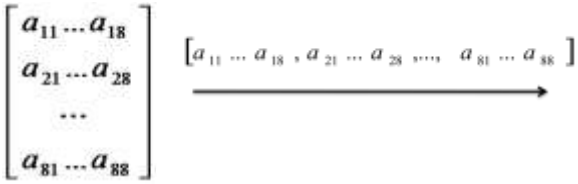

Figura 3 Matriz de 64 elementos recibida en serie en el sentido de filas.

El proceso de transformada directa es implementado con una arquitectura en *pipeline*, de manera que la transformación de cada matriz es segmentada en procesos independientes**,** ejecutados de forma escalonada, obteniendo un mejor aprovechamiento de los recursos del sistema.

Una vez obtenidos los coeficientes resultantes de la transformación directa, mientras se reciben los datos correspondientes al próximo bloque**,** se comienza la decuantificación y la transformación inversa de los coeficientes obtenidos.

El mecanismo para la obtención de la transformada inversa emplea el concepto de Aritmética Distribuida, realizando en paralelo las sumas de productos**,** para obtener en 8 ciclos de reloj la transformada inversa de la matriz original.

Interfaz

Las señales de interfaz del módulo aparecen en la Figura 4 y se describen en la Tabla 1.

Figura 4 Diagrama de interfaces del Módulo **ICT AVS**

Descripción Funcional

Cuando el estado de *RDY* es '1', se indica que el elemento en la entrada *f_in* es válido y este se lee en cada frente de subida de *CLK*.

Cada elemento $f_{i\times j}$ recibido es multiplicado por los elementos de la matriz $ICT_{j\times i}$ correspondiente**,** para obtener la multiplicación y el escalado matricial de $f_{8\times 8} \times ICT_{8\times 8}^{T}$, en el siguiente frente de reloj se ejecuta la multiplicación y el re-escaldo de $ICT_{8\times 8} \times (f_{8\times 8} \times ICT_{8\times 8}^{T})$.

En el bus *F_out* se obtienen las filas de la matriz de los elementos transformados 80 ciclos de reloj después de recibido el primer elemento $f_{i\times j}$, siendo el elemento 0 el correspondiente a la columna 1. La señal *DONE1* se lleva a '1' cuando se dispone de datos válidos en la salida *F_out*. En el bus ***f'_out*** se obtienen los

Señal	Dirección	Descripción
CLK	Entrada	Reloj del sistema, activo en el frente de subida.
f_in	Entrada	Datos de entrada, elementos de la matriz f.
QP	Entrada	Paso de cuantificación.
RDY	Entrada	*RDY*='1' Dato válido en la entrada *f_in*, *RDY*='0' Dato no válido en la entrada *f_in*.
F_out	Salida	Bus de Datos de salida, fila de la matriz de los coeficientes resultado de la transformada de coseno. Disponible 16 ciclos de reloj después de recibir el último elemento de la matriz.
f'_out	Salida	Bus de Datos de salida, fila de la matriz de los coeficientes resultado de la transformada de coseno inversa. Disponible 24 ciclos de reloj después de recibir el último elemento de la matriz.
DONE1	Salida	*DONE1*='1' Indica que los datos en el bus de la salida *F_out* son válidos.
DONE2	Salida	*DONE2*='1' Indica que los datos en el bus de la salida *f'_out* son válidos.

Tabla 1 Descripción de las señales de interfaz

coeficientes correspondientes a la transformada inversa de los coeficientes obtenidos en el bus *F_out*. La señal *DONE2* se lleva a '1' para indicar que los datos en *F_out* son válidos.

Verificación

El funcionamiento del módulo fue validado mediante simulaciones funcionales y análisis temporales, utilizando las herramientas proporcionadas por *Xilinx*.

Las simulaciones funcionales fueron comparadas con el resultado de una función equivalente**,** realizada en MatLab**,** al aplicarle los mismos elementos de entrada.

Figura 5 Validación del diseño.

Referencias:

[1] Overview of AVS-Video: tools, performance and complexity. Lu-Yu, Feng Yi, Jie Dong, Cixun Zhang.

[2] The Technique of Pre-Scaled Integer Transform. Ci-Xun Zhang, Jian Lou, Lu Yu, Jie Dong, Wai-Kuen Cham.

[3] GB/T 20090.2-2006 Information technology-Advanced coding of audio and video-Part 2: Video.