

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 026 524**

51 Int. Cl.:

G06F 17/14 (2006.01)

G10L 21/00 (2013.01)

G10L 19/02 (2013.01)

G10L 19/022 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.12.2011** **E 18203003 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.04.2025** **EP 3518121**

54 Título: **Método y dispositivo de procesamiento de señales**

30 Prioridad:

10.01.2011 CN 201110004032

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:

11.06.2025

73 Titular/es:

CRYSTAL CLEAR CODEC, LLC (100.00%)
Pennzoil Place 700 Milam Street, Suite 1300
Houston, TX 77002, US

72 Inventor/es:

ZHANG, DEMING;
LI, HAITING;
ANISSE, TALEB y
XU, JIANFENG

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 3 026 524 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método y dispositivo de procesado de señales

- 5 La presente solicitud reivindica prioridad de la solicitud de patente china n.º 201110004032.5, presentada en la Oficina de Patentes de China el 10 de enero de 2011 y titulada "SIGNAL PROCESSING METHOD AND DEVICE".

Campo de la invención

- 10 La presente invención se refiere al campo de las tecnologías del procesado de señales digitales, y en particular, a un método y un dispositivo de procesado de señales.

Antecedentes de la invención

- 15 En el campo de las comunicaciones digitales, la transmisión de voz, imágenes, audios y vídeos está sujeta a un requisito de aplicación muy amplio, tal como las comunicaciones de telefonía celular, las audio/videoconferencias, emisiones de televisión y el entretenimiento multimedia. Para reducir los recursos ocupados durante el almacenamiento o la transmisión de señales de audio/vídeo, aparecen tecnologías de codificación con compresión de audio/vídeo. Durante el desarrollo de las tecnologías de codificación con compresión de audio y vídeo aparecen muchas ramificaciones técnicas diferentes, entre las cuales, debido a las características de compresión deseadas, se aplica ampliamente una técnica de transformación de una señal de un dominio en el tiempo a un dominio en la frecuencia y, a continuación, de ejecución de un procesado de codificación, y a la misma se le hace referencia también como técnica de codificación en el dominio de la transformada.

- 25 En la técnica de codificación en el dominio de la transformada existen muchos métodos para transformar la señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, donde las transformadas de tiempo-frecuencia, tales como la transformada de Fourier (Transformada de Fourier Discreta, DFT), la Transformada de Coseno Discreta (*Discrete Cosine Transform*, DCT), la Transformada de Seno Discreta (*Discrete Sine Transform*, DST) y la Transformada de Coseno Discreta Modificada (*Modified Discrete Cosine Transform*, MDCT), encuentran diversas aplicaciones, especialmente en campos tales como el análisis de espectro, la codificación de imágenes y la codificación de voz. La señal que ha experimentado la transformada de tiempo-frecuencia puede codificarse con compresión a través de una tecnología de cuantificación, y también puede codificarse utilizando otros métodos de codificación paramétrica de audio, alcanzando así el objetivo de la compresión de los datos.

- 35 No obstante, llevar a cabo una transformada directa y una transformada inversa DCT-IV ó MDCT directamente según fórmulas de transformadas dará como resultado una complejidad computacional y un volumen de almacenamiento elevados y, por lo tanto, proporcionar un método de transformada del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia con un volumen de almacenamiento reducido se convierte en una necesidad urgente.

- 40 El documento CN 101 930 425 A describe un método de procesado de señales del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia que comprende las siguientes etapas: preprocesar datos en el dominio del tiempo; efectuar una prerrotación sobre los datos preprocesados usando factores de rotación; efectuar una transformada de Fourier discreta de N/4 puntos sobre los datos después de la prerrotación; y efectuar una posrotación sobre los datos después de la transformada de Fourier discreta usando los factores de rotación.

- 45 El documento EP 2 290 938 A1 divulga un método de procesado de señales del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia que incluye: preprocesar datos en el dominio del tiempo; prerrotar los datos preprocesados usando un factor de rotación $a \cdot W_N^{n \cdot 0.5}$; llevar a cabo una transformada de Fourier discreta (DFT) de N/4 puntos sobre los datos prerrotados; y posrotar los datos transformados mediante la DFT usando un factor de rotación $b \cdot W_N^{k \cdot 0.5}$ para obtener datos en el dominio de la frecuencia.

- 50 La enmienda 2 "New Annex B on superwideband scalable extension for ITU-T G.718 and corrections to main body fixed-point C-code and description text" de la Recomendación G.718 de la ITU-T, con fecha del 19 de marzo de 2010, describe en la sección B.6.3 una transformada al dominio de la MDCT.

Sumario de la invención

- 60 Las formas de realización de la presente invención tienen como finalidad proporcionar un método de procesado de datos, para reducir el volumen de almacenamiento del procesado de las transformadas del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia durante una codificación de audio/vídeo.

La presente invención queda definida por las reivindicaciones independientes.

- 65 Según un primer aspecto de la invención, se proporciona un método de procesado de datos llevado a cabo por un aparato eléctrico que comprende un codificador de audio o un decodificador de audio usado para implementar una

Transformada de Coseno Discreta de tipo 4, DCT-IV, del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, comprendiendo el método:

- ajustar por rotación [del inglés, *twiddling*] datos de entrada, para obtener datos ajustados por rotación;
- prerrotar los datos ajustados por rotación usando un factor de rotación simétrico, en donde el factor de rotación es $a \cdot W_{4L}^{2p+1}$, en donde a es una constante, $p = 0, \dots, \frac{L}{2} - 1$, y

$$W_{4L}^{2p+1} = \cos \frac{2\pi(2p+1)}{4L} - j \sin \frac{2\pi(2p+1)}{4L};$$

- llevar a cabo una Transformada Rápida de Fourier, FFT, de $L/2$ puntos sobre los datos prerrotados, en donde L es la longitud de los datos de entrada;
- posrotar los datos que han experimentado la transformada FFT usando un factor de rotación simétrico, en donde el factor de rotación es $b \cdot W_{4L}^{2q+1}$, en donde b es una constante, $q = 0, \dots, \frac{L}{2} - 1$, y

$$W_{4L}^{2q+1} = \cos \frac{2\pi(2q+1)}{4L} - j \sin \frac{2\pi(2q+1)}{4L};$$

- obtener datos de salida;
- donde, antes de la obtención de los datos en el dominio de la frecuencia, el método incluye además: una etapa de llevar a cabo una compensación por rotación fija utilizando un factor de compensación por rotación

$$W_N = e^{-j \frac{2\pi}{N}}$$

fija; y a y b son constantes, N es la longitud de los datos en el dominio del tiempo, y

Un método de procesamiento de señales del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo según otra forma de realización de la presente invención incluye:

preprocesar datos en el dominio de la frecuencia, para obtener datos preprocesados;

prerrotar los datos preprocesados usando un factor de rotación $c \cdot W_N^{k+0.5}$;

llevar a cabo una Transformada Rápida de Fourier de $N/4$ puntos sobre los datos prerrotados;

en el que el método comprende además:

- llevar a cabo una compensación por rotación fija una o más veces usando uno o más factores de compensación por rotación fija, respectivamente, dicho uno o el producto de dichos varios factores de compensación fija es W_{8L}^{-3} o un valor aproximado del mismo,

en el que por lo menos uno de entre el uno o más factores de compensación por rotación fija de la compensación por rotación fija de una o más veces es una expansión en series de Taylor.

Ventajosamente, por lo menos uno de entre el uno o más factores de compensación por rotación fija de la compensación por rotación fija de una o más veces es una expansión en series de Taylor de primer orden.

Ventajosamente, la compensación por rotación fija se lleva a cabo por lo menos una vez después de la etapa de llevar a cabo la FFT y antes de la etapa de posrotación.

Ventajosamente, la compensación por rotación fija se lleva a cabo una vez usando como factor de compensación por rotación fija una primera expansión en series de Taylor de primer orden de W_{8L}^{-3} , a saber $1 + j\left(\frac{3\pi}{4L}\right)$.

Ventajosamente, el producto de a y b es igual a $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{L}}$.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un aparato eléctrico que comprende un codificador de audio o un decodificador de audio usado para implementar una Transformada de Coseno Discreta

de tipo 4, DCT-IV, del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, estando configurado el aparato eléctrico para llevar a cabo cualquiera de los métodos según el primer aspecto de la invención.

5 Según un tercer aspecto de la invención, se proporciona un producto de programa de ordenador que comprende un programa de ordenador, el cual tiene código de *software* para ordenar a un *hardware* que lleve a cabo cualquiera de los métodos según el primer aspecto de la invención.

10 En la presente invención, los factores de rotación utilizados en las etapas de prerrotación y posrotación presentan simetría, con lo cual se reduce el volumen de almacenamiento de los datos. Al mismo tiempo, la FFT puede acelerar la velocidad de la transformada y reducir la complejidad computacional.

Breve descripción de los dibujos

15 Para describir más claramente las soluciones técnicas de la presente invención, se presentan a continuación brevemente los dibujos adjuntos para describir formas de realización de la presente invención. En principio, los dibujos adjuntos en la siguiente descripción son solamente algunas formas de realización de la presente invención.

20 La figura 1 es un diagrama de flujo esquemático de una forma de realización de un método de transformada DCT-IV del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia proporcionado en la presente invención;

La figura 2 es un diagrama de flujo esquemático de otra forma de realización de un método de transformada DCT-IV del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia proporcionado en la presente invención;

25 La figura 3 es un diagrama de flujo esquemático de otra forma de realización de un método de transformada DCT-IV del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia proporcionado en la presente invención;

La figura 4 es un diagrama de flujo esquemático de una forma de realización de un método de transformada MDCT del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia proporcionado en la presente invención;

30 La figura 5 es un diagrama de flujo esquemático de una forma de realización de un método de transformada MDCT del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo proporcionado en la presente invención;

35 La figura 6 es un diagrama de flujo esquemático de otra forma de realización de un método de transformada MDCT del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia proporcionado en la presente invención;

La figura 7 es un diagrama de flujo esquemático de otra forma de realización de un método de transformada MDCT del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo proporcionado en la presente invención;

40 La figura 8 es un diagrama estructural esquemático de una forma de realización de un dispositivo de procesamiento de señales proporcionado en la presente invención;

La figura 9 es un diagrama estructural esquemático de una forma de realización de un dispositivo de procesamiento de señales del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia proporcionado en la presente invención; y

45 La figura 10 es un diagrama estructural esquemático de una forma de realización de un dispositivo de procesamiento del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo proporcionado en la presente invención.

Descripción detallada de las formas de realización

50 A continuación se describen de manera clara y completa las soluciones técnicas de la presente invención en referencia a los dibujos adjuntos. Es evidente que las formas de realización que se describirán son solamente una parte, más que la totalidad de las formas de realización de la presente invención.

55 En el campo del procesamiento de señales digitales, los códecs de audio y los códecs de vídeo se aplican ampliamente en diversos aparatos electrónicos, tales como teléfonos móviles, dispositivos inalámbricos, asistentes personales de datos (PDA), ordenadores de mano o portátiles, dispositivos de navegación/receptores de GPS, cámaras, reproductores de audio/vídeo, videocámaras, grabadoras de vídeo y aparatos de monitorización. En general, el aparato electrónico incluye un codificador de audio o decodificador de audio, pudiéndose implementar el codificador o decodificador de audio directamente mediante un chip o circuito digital, tal como un DSP (procesador de señal digital), o pudiéndose implementar con códigos de *software* que controlan un procesador para ejecutar un proceso de los códigos de *software*.

65 Por ejemplo, se dispone de un codificador de audio. El codificador de audio en primer lugar lleva a cabo un procesamiento de encuadre sobre una señal de entrada, para obtener 20 ms de datos en el dominio del tiempo por trama; lleva a cabo un procesamiento de enventanado sobre los datos en el dominio del tiempo, para obtener una señal enventanada; lleva a cabo una transformada del dominio de la frecuencia sobre la señal en el dominio del tiempo

enventanada, por ejemplo, una transformada MDCT o una transformada DCT-IV para transformar la señal de una señal en el dominio del tiempo a una señal en el dominio de la frecuencia; lleva a cabo un procesamiento de división de banda sobre la señal en el dominio de la frecuencia, para obtener la señal en el dominio de la frecuencia de banda dividida; calcula energía de cada señal de subbanda, lleva a cabo una codificación de cuantificación sobre la energía de subbanda y la transmite a un decodificador; seguidamente, lleva a cabo una asignación de bits autoadaptativa basándose en un efecto de enmascaramiento auditivo según la energía de subbanda cuantificada, para obtener el número de bits para la codificación de cuantificación de cada subbanda; y finalmente lleva a cabo un procesamiento de normalización sobre puntos de frecuencia en cada subbanda, lleva a cabo a través de una técnica de cuantificación vectorial, en concordancia con el número asignado de bits para codificación, una cuantificación vectorial sobre los puntos de frecuencia de la subbanda que han experimentado el procesamiento de normalización, para obtener un índice de libro de códigos cuantificado vectorialmente, lo codifica y a continuación lo transmite al decodificador. Después de recibir un flujo continuo de código comprimido transmitido desde el codificador, el decodificador busca un índice de libro de códigos de energía de cada señal de subbanda a partir del flujo continuo de código según una etapa de decodificación correspondiente y obtiene un valor de cuantificación de la energía de cada señal de subbanda; adopta una técnica de asignación de bits congruente con la del codificador en concordancia con los valores de cuantificación, para obtener el número de bits asignados para cada subbanda; en concordancia con el número de bits asignados para cada subbanda y el índice de libro de códigos de cuantificación vectorial de cada subbanda que se adquiere a partir del flujo continuo de código, obtiene un coeficiente de normalización del dominio de la frecuencia después de la cuantificación de cada subbanda; lleva a cabo un procesamiento de desnormalización sobre el coeficiente de normalización del dominio de la frecuencia después de la cuantificación de cada subbanda en concordancia con el valor de cuantificación de la energía de cada señal de subbanda, para obtener una señal en el dominio de la frecuencia, completa; transforma la señal del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo adoptando una transformada inversa correspondiente a la transformada utilizada por el codificador sobre la señal en el dominio de la frecuencia obtenida a través de decodificación, y postprocesa la señal en el dominio del tiempo para obtener una señal compuesta, es decir, una señal de salida del decodificador. Al método de procesamiento de señales del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia también se le puede hacer referencia como transformada directa, y al método de procesamiento de señales del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo también se le puede hacer referencia como transformada inversa.

La característica más significativa de la DCT, como transformada espacial, es la de presentar compactación de la energía, lo cual da como resultado que un sistema de codificación basado en la DCT disfrute del rendimiento de compresión deseado. En la compresión de datos de audio y vídeo se utiliza frecuentemente una DCT de tipo 4 (DCT-IV). Una fórmula de la transformada DCT-IV es:

$$y(k) = \sum_{n=0}^{L-1} \tilde{x}(n) \cos \left[\left(n + \frac{1}{2} \right) \left(k + \frac{1}{2} \right) \frac{\pi}{L} \right] \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1$$

donde k es un entero de 0 a L-1. Se puede observar que llevar a cabo la transformada directa y la transformada inversa DCT-IV directamente en concordancia con la fórmula de la transformada dará como resultado una complejidad computacional y un volumen de almacenamiento elevados. La transformada DCT-IV se aplica ampliamente en el campo de las comunicaciones en tiempo real, especialmente en la codificación de audio, con lo que la reducción del volumen de almacenamiento del método de transformada DCT-IV se convierte en una necesidad urgente.

Haciendo referencia a la figura 1, se utiliza un método de procesamiento de señales proporcionado en una forma de realización de la presente invención para implementar la transformada DCT-IV del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia durante un procedimiento de codificación, con el fin de reducir el volumen de almacenamiento en la transformada. El método incluye las siguientes etapas:

S101: Ajustar por rotación datos en el dominio del tiempo, para obtener datos ajustados por rotación.

Se supone que $\tilde{x}(n)$ son datos que requieren una transformada DCT-IV, y los datos pueden ser datos que hayan experimentado etapas de preprocesado tales como un enventanado. Ajustar por rotación los datos $\tilde{x}(n)$, para obtener datos ajustados por rotación $z(p)$;

$$z(p) = \tilde{x}(2p) + j \cdot \tilde{x}(L-1-2p), \quad p = 0, 1, 2, \dots, \frac{L}{2}-1$$

S102: Prerrotar los datos ajustados por rotación utilizando un factor de rotación simétrico, donde el factor de rotación es $a \cdot W_{4L}^{2p+1}$, $p = 0, 1, 2, \dots, L/2-1$, y a es una constante.

Prerrotar los datos ajustados por rotación $z(p)$, donde el factor de rotación es $a \cdot W_{4L}^{2p+1}$ $p = 0, 1, 2, \dots, L/2-1$

$$W_{4L}^{2p+1} = \cos \frac{2\pi(2p+1)}{4L} - j \sin \frac{2\pi(2p+1)}{4L}; p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1, \text{ y } a \text{ es una constante.}$$

W_{4L}^{2p+1} en el factor de rotación también se puede expresar de la siguiente forma:

$$5 \quad W_{4L}^{2p+1} = \cos \frac{2\pi(2p+1)}{4L} - j \sin \frac{2\pi(2p+1)}{4L}; p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$$

que cumple las condiciones de $\cos \frac{2\pi(2(\frac{L}{2}-1-q)+1)}{4L} = \cos \frac{2\pi(L-(2q+1))}{4L} = \sin \frac{2\pi(2q+1)}{4L}, q = 0, 1, 2, \dots, L/4 - 1$ y

$$\sin \frac{2\pi(2(\frac{L}{2}-1-q)+1)}{4L} = \sin \frac{2\pi(L-(2q+1))}{4L} = \cos \frac{2\pi(2q+1)}{4L}, q = 0, 1, 2, \dots, L/4 - 1$$

, y por lo tanto, en la implementación específica, solo se necesita almacenar una de una tabla de datos de coseno

$$10 \quad a \cdot \cos \frac{2\pi(2p+1)}{4L}, p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1 \quad \text{o una tabla de datos de seno} \quad a \cdot \sin \frac{2\pi(2p+1)}{4L}, p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$$

S103: Llevar a cabo una Transformada Rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform*, FFT) de L/2 puntos sobre los datos prerrotados.

S104: Posrotar los datos que han experimentado la transformada FFT utilizando un factor de rotación simétrico, donde el factor de rotación es $b \cdot W_{4L}^{2q+1}, q = 0, \dots, L/2 - 1$, y b es una constante.

20 Posrotar los datos que han experimentado la transformada FFT, donde el factor de rotación es $b \cdot W_{4L}^{2q+1}, q = 0, \dots, L/2 - 1$, es decir, q es un entero entre 0 y L/2-1.

$$W_{4L}^{2q+1} = \cos \frac{2\pi(2q+1)}{4L} - j \sin \frac{2\pi(2q+1)}{4L}, q = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$$

, y b es una constante.

W_{4L}^{2q+1} en el factor de rotación también puede expresarse de la siguiente forma:

$$25 \quad W_{4L}^{2q+1} = \cos \frac{2\pi(2q+1)}{4L} - j \sin \frac{2\pi(2q+1)}{4L}, q = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$$

y por lo tanto, en la implementación específica, solo se necesita almacenar una de una tabla de datos de coseno

$$b \cdot \cos \frac{2\pi(2q+1)}{4L}, q = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1 \quad \text{o una tabla de datos de seno} \quad b \cdot \sin \frac{2\pi(2q+1)}{4L}, q = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$$

de L/2 puntos.

30 Cuando un producto de las constantes a y b de los dos factores de rotación en la transformada directa y el producto de las constantes c y d de los dos factores de rotación en la transformada inversa es igual a 2/L, los datos de salida de la transformada directa se usan directamente como datos de entrada de la transformada inversa, y el resultado de la transformada inversa puede lograr una reconstrucción perfecta, es decir, una restauración para obtener los datos anteriores a la transformada directa. En general, en las operaciones reales no es necesario implementar la reconstrucción perfecta. Para implementar la reconstrucción perfecta, se seleccionan valores de las constantes a y b siempre que el producto del producto de a y b en la transformada directa y el producto de c y d en la

transformada inversa sea igual a 2/L. En una forma de realización, el producto de a y b es igual a $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{L}}$, por ejemplo,

$$a = b = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{L}}$$

se puede seleccionar $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{L}}$, y de esta manera, después de la prerrotación y la posrotación, solo se necesita

$$40 \quad \text{almacenar una tabla de datos de coseno} \quad \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{L}} \cos \frac{2\pi(2p+1)}{4L}, p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1 \quad \text{de L/2 puntos.}$$

S105: Obtener datos en el dominio de la frecuencia.

45 La parte real de los datos posrotados se expresa como y(2q), que es la frecuencia de numeración impar de los datos en el dominio de la frecuencia; y el número opuesto de la parte imaginaria de los datos posrotados se expresa como y(L-1-2q), que es la frecuencia de numeración par de los datos en el dominio de la frecuencia.

$$\begin{cases} y(2q) = \text{Re}\{\bar{Z}(q)\}, \\ y(L-1-2q) = -\text{Im}\{\bar{Z}(q)\}, \end{cases} \quad q = 0, \dots, L/2-1$$

donde
$$\bar{Z}(q) = W_{2L}^q \sum_{p=0}^{L/2-1} \{W_{8L}^{4p+1} z(p)\} W_{L/2}^{pq}, \quad p, q = 0, \dots, L/2-1$$
 son los datos posrotados.

5 La fórmula de la transformada DCT-IV original es equivalente a:

$$y(k) = \sum_{n=0}^{L-1} \tilde{x}(n) \cos \left[\left(n + \frac{1}{2} \right) \left(k + \frac{1}{2} \right) \frac{\pi}{L} \right], \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1.$$

$$\begin{cases} y(2q) = \text{Re}\{\bar{Z}(q)\}, \\ y(L-1-2q) = -\text{Im}\{\bar{Z}(q)\}, \end{cases} \quad q = 0, \dots, L/2-1$$

10 donde,

$$\bar{Z}(q) = W_{2L}^q \sum_{p=0}^{L/2-1} \{W_{8L}^{4p+1} z(p)\} W_{L/2}^{pq}, \quad p, q = 0, \dots, L/2-1$$

$$z(p) = \tilde{x}(2p) + j\tilde{x}(L-1-2p), \quad p = 0, \dots, L/2-1, \quad W_N = e^{-j\frac{2\pi}{N}},$$

15 esto se puede reescribir como:

$$\bar{Z}(q) = W_{4L}^{-1} * W_{4L}^{2q+1} \sum_{p=0}^{L/2-1} \left\{ W_{8L}^{-1} z(p) * W_{4L}^{2p+1} \right\} W_{L/2}^{pq}, \quad p, q = 0, 1, 2, \dots, L/2-1$$

20 donde, para simplificar el cálculo, puede considerarse que W_{4L}^{-1} es aproximadamente 1, y puede considerarse que W_{8L}^{-1} es aproximadamente 1.

$$\begin{cases} y(2q) = \text{Re}\{\bar{Z}(q)\}, \\ y(L-1-2q) = -\text{Im}\{\bar{Z}(q)\}, \end{cases} \quad q = 0, 1, 2, \dots, L/2-1$$

25 donde

$$z(p) = \tilde{x}(2p) + j\tilde{x}(L-1-2p), \quad p = 0, 1, 2, \dots, L/2-1$$

$$W_{4L}^{2q+1} = \cos \frac{2\pi(2q+1)}{4L} - j \text{sen} \frac{2\pi(2q+1)}{4L}, \quad q = 0, 1, 2, \dots, L/2-1$$

30
$$W_{4L}^{2p+1} = \cos \frac{2\pi(2p+1)}{4L} - j \text{sen} \frac{2\pi(2p+1)}{4L}, \quad p = 0, 1, 2, \dots, L/2-1$$

El factor de rotación W_{4L}^{2q+1} es simétrico, es decir, W_{4L}^{2q+1} cumple

$$\cos \frac{2\pi(2(\frac{L}{2}-1-q)+1)}{4L} = \cos \frac{2\pi(L-(2q+1))}{4L} = \text{sen} \frac{2\pi(2q+1)}{4L}, \quad q = 0, 1, 2, \dots, L/4-1$$

35

$$\text{sen} \frac{2\pi(2(\frac{L}{2}-1-q)+1)}{4L} = \text{sen} \frac{2\pi(L-(2q+1))}{4L} = \cos \frac{2\pi(2q+1)}{4L}, \quad q = 0, 1, 2, \dots, L/4-1$$

De modo similar, el factor de rotación W_{4L}^{2p+1} también cumple la simetría.

40 En esta forma de realización, los factores de rotación utilizados en las etapas de prerrotación y posrotación

presentan simetría. Durante la implementación, solo es necesario almacenar para W_{4L}^{2p+1} una tabla de coseno de $L/2$ puntos o una tabla de seno de $L/2$ puntos, con el fin de reducir el volumen de almacenamiento de los datos. Al mismo tiempo, el uso de la FFT puede acelerar la velocidad de la transformada DCT-IV y reducir la complejidad computacional. Además, la omisión de la etapa de rotación fija puede reducir adicionalmente la complejidad computacional en la situación en la que la transformada cumple la característica de reconstrucción.

En otra forma de realización, antes de la obtención de los datos en el dominio de la frecuencia, el método incluye además una etapa de llevar a cabo una compensación por rotación fija utilizando un factor de compensación por rotación fija. En la fórmula de la transformada, la compensación por rotación fija y otras operaciones se encuentran en relación multiplicativa, con lo que la compensación por rotación fija se puede llevar a cabo una o más veces en concordancia con la propiedad conmutativa de la multiplicación, y el orden de ejecución de la compensación por rotación fija puede ser cualquiera antes de la obtención de los datos en el dominio de la frecuencia.

En una forma de realización, W_{8L}^{-3} se utiliza para llevar a cabo la compensación por rotación fija una vez; y la etapa de llevar a cabo la compensación por rotación fija se puede llevar a cabo antes o después de la prerrotación, y también se puede llevar a cabo antes o después de la posrotación. Cuando la compensación se ejecuta una vez,

el factor de compensación por rotación fija puede ser W_{8L}^{-3} . Para reducir adicionalmente la complejidad computacional, se pueden utilizar algunos valores aproximados para sustituir W_{8L}^{-3} con el fin de llevar a cabo la compensación por rotación fija. $W_{8L}^{-3} = e^{-j\frac{2\pi(-3)}{8L}} = e^{j\frac{3\pi}{4L}}$, y por lo tanto, la aproximación puede llevarse a cabo

con una expansión en series de Taylor, por ejemplo, como valor aproximado de W_{8L}^{-3} se utiliza un resultado de la expansión en series de Taylor de primer orden $1 + j\left(\frac{3\pi}{4L}\right)$, donde $1 + j\left(\frac{3\pi}{4L}\right)$ representa un número complejo cuyas partes real e imaginaria son 1 y $\left(\frac{3\pi}{4L}\right)$, respectivamente.

En otra forma de realización, cuando la compensación por rotación fija se lleva a cabo dos veces, los factores de compensación por rotación fija pueden ser W_{8L}^{-1} y W_{4L}^{-1} , y también pueden ser valores aproximados de los mismos. El factor de compensación de la compensación por rotación fija llevada a cabo por primera vez puede ser cualquiera de W_{8L}^{-1} y W_{4L}^{-1} , y el factor de compensación de la compensación por rotación fija llevada a cabo por

segunda vez puede ser el otro de W_{8L}^{-1} y W_{4L}^{-1} . La compensación por rotación fija llevada a cabo por primera vez se puede llevar a cabo antes o después de la prerrotación, y la compensación por rotación fija llevada a cabo por segunda vez se puede llevar a cabo antes o después de la posrotación. Para reducir adicionalmente la complejidad computacional, se pueden utilizar algunos valores aproximados, tales como una expansión en series de Taylor, para sustituir W_{8L}^{-1} o W_{4L}^{-1} con el fin de llevar a cabo la compensación por rotación fija. Por ejemplo, como valor

aproximado de W_{8L}^{-1} se utiliza el resultado de la expansión en series de Taylor de primer orden $1 + j\left(\frac{\pi}{4L}\right)$, y como valor aproximado de W_{4L}^{-1} se utiliza el resultado de la expansión en series de Taylor de primer orden $1 + j\left(\frac{\pi}{2L}\right)$.

Evidentemente, debido a la propiedad conmutativa de la multiplicación, la compensación por rotación fija se puede llevar a cabo tres o más veces, y el producto de los factores de compensación puede ser W_{8L}^{-3} , o al menos un factor de compensación es un valor aproximado de al menos un factor cuyo producto es W_{8L}^{-3} . El factor de la compensación por rotación fija también puede ser 1.

En esta forma de realización, se añade la etapa de compensación por rotación fija, de manera que se garantiza que los datos obtenidos después de la transformada sean congruentes con los datos obtenidos después de la transformada DCT-IV original, con lo cual se mejora la precisión de la transformada DCT-IV.

Adicionalmente, la transformada inversa de la DCT-IV tiene etapas sustancialmente iguales a las de la transformada directa, exceptuando solamente que en la transformada inversa, los datos en el dominio de la

frecuencia en primer lugar se ajustan por rotación, los datos en el dominio del tiempo se obtienen después de la transformada final y las constantes a y b de los factores de rotación se cambian a las constantes c y d.

5 Haciendo referencia a la figura 2, se utiliza un método de procesamiento de señales proporcionado en una forma de realización de la presente invención para implementar la transformada DCT-IV del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia durante un procedimiento de codificación, para reducir el volumen de almacenamiento en la transformada. El método incluye las siguientes etapas:

10 S201: Ajustar por rotación datos en el dominio del tiempo, para obtener datos ajustados por rotación.

Se supone que $\tilde{x}(n)$ son datos que requieren una transformada DCT-IV, y los datos pueden ser datos que hayan experimentado etapas de preprocesado tales como un enventanado. Ajuste por rotación de los datos $\tilde{x}(n)$, para obtener datos ajustados por rotación $z(p)$;

$$15 \quad z(p) = \tilde{x}(2p) + j \cdot \tilde{x}(L-1-2p), \quad p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$$

S202: Prerrotar los datos ajustados por rotación utilizando un factor de rotación simétrico, donde el factor de rotación es $a \cdot W_{4L}^{2p+1}$, $p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$, y a es una constante.

20 Prerrotar los datos ajustados por rotación $z(p)$, donde el factor de rotación es $a \cdot W_{4L}^{2p+1}$, y $p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$. $W_{4L}^{2q+1} = \cos \frac{2\pi(2q+1)}{4L} - j \sin \frac{2\pi(2q+1)}{4L}$, $q = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$, y a es una constante.

W_{4L}^{2p+1} en el factor de rotación también se puede expresar de la siguiente forma:

$$25 \quad W_{4L}^{2p+1} = \cos \frac{2\pi(2p+1)}{4L} - j \sin \frac{2\pi(2p+1)}{4L}, \quad p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$$

que cumple las condiciones de $\cos \frac{2\pi(2(\frac{L}{2}-1-q)+1)}{4L} = \cos \frac{2\pi(L-(2q+1))}{4L} = \sin \frac{2\pi(2q+1)}{4L}$, $q = 0, 1, 2, \dots, L/4 - 1$ y

$\sin \frac{2\pi(2(\frac{L}{2}-1-q)+1)}{4L} = \sin \frac{2\pi(L-(2q+1))}{4L} = \cos \frac{2\pi(2q+1)}{4L}$, $q = 0, 1, 2, \dots, L/4 - 1$, y por lo tanto, en la implementación específica, solo se necesita almacenar una de una tabla de datos de coseno $a \cdot \cos \frac{2\pi(2p+1)}{4L}$, $p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$.

30 o una tabla de datos de seno $a \cdot \sin \frac{2\pi(2p+1)}{4L}$, $p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$ de $L/2$ puntos.

S203: Llevar a cabo una compensación por rotación fija por primera vez.

Se lleva a cabo la compensación por rotación fija sobre los datos prerrotados, y el factor de compensación por

35 rotación fija es W_{8L}^{-1} . Para reducir adicionalmente la complejidad computacional, se pueden utilizar algunos valores

aproximados, tales como una expansión en series de Taylor, con el fin de sustituir W_{8L}^{-1} para llevar a cabo la compensación por rotación fija. Por ejemplo, para llevar a cabo la compensación por rotación fija se utiliza como

valor aproximado de W_{8L}^{-1} el resultado de la expansión en series de Taylor de primer orden $1 + j \left(\frac{\pi}{4L} \right)$.

40 S204: Llevar a cabo una transformada FFT de $L/2$ puntos sobre los datos que han experimentado la compensación por rotación fija.

S205: Llevar a cabo la compensación por rotación fija por segunda vez.

45 Los datos que han experimentado la transformada FFT se multiplican por W_{8L}^{-1} para llevar a cabo la compensación por rotación fija, o los datos que han experimentado la transformada FFT se multiplican por un valor aproximado de W_{8L}^{-1} para llevar a cabo la compensación por rotación fija, y el valor aproximado se puede obtener utilizando la

expansión en series de Taylor de W_{8L}^{-1} , por ejemplo, como valor aproximado de W_{8L}^{-1} se utiliza el resultado de la expansión en series de Taylor de primer orden $1 + j \left(\frac{\pi}{2L} \right)$.

50

S206: Posrotar los datos que han experimentado la compensación por rotación fija utilizando un factor de rotación simétrico, donde el factor de rotación es $b \cdot W_{4L}^{2q+1}$, $q = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$, $W_{4L}^{2q+1} = \cos \frac{2\pi(2q+1)}{4L} - j \sin \frac{2\pi(2q+1)}{4L}$, $q = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$, y b es una constante.

5 W_{4L}^{2q+1} en el factor de rotación también puede expresarse de la siguiente forma:

$$\sin W_{4L}^{2q+1} = \cos \frac{2\pi(2q+1)}{4L} - j \sin \frac{2\pi(2q+1)}{4L}, q = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1,$$

10 y por lo tanto, en la implementación específica, solo se necesita almacenar una de una tabla de datos de coseno $b \cdot \cos \frac{2\pi(2q+1)}{4L}$, $q = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$ o una tabla de datos de seno $b \cdot \sin \frac{2\pi(2q+1)}{4L}$, $q = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$ de L/2 puntos.

15 Para implementar la reconstrucción perfecta, se seleccionan valores de las constantes a y b siempre que el producto del producto de las constantes a y b de los dos factores de rotación en la transformada directa y el producto de las constantes c y d de los dos factores de rotación en la transformada inversa sea igual a 2/L. En una

forma de realización, el producto de a y b es igual a $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{L}}$, y el producto de c y d también es igual a $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{L}}$. En otra forma de realización, el producto de a y b es igual a 1, y el producto de c y d es igual a 2/L. En otra forma de realización, se selecciona $a = b = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{L}}$ y, de esta manera, después de la prerrotación y la posrotación, solo se

necesita almacenar una Tabla de datos de coseno $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{L}} \cos \frac{2\pi(2p+1)}{4L}$, $p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$ de L/2 puntos.

20 S207: Obtener datos en el dominio de la frecuencia que han experimentado la transformada.

25 La parte real de los datos posrotados se expresa como $y(2q)$, que es la frecuencia de numeración impar de los datos en el dominio de la frecuencia; y el número opuesto de la parte imaginaria de los datos posrotados se expresa como $y(L-1-2q)$, que es la frecuencia de numeración par de los datos en el dominio de la frecuencia.

$$\begin{cases} y(2q) = \text{Re}\{\bar{Z}(q)\} \\ y(L-1-2q) = -\text{Im}\{\bar{Z}(q)\} \end{cases}, q = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$$

30 donde $\bar{Z}(q) = W_{4L}^{-1} * W_{4L}^{2q+1} \sum_{p=0}^{L/2-1} \left\{ W_{8L}^{-1} z(p) * W_{4L}^{2p+1} \right\} W_{L/2}^{pq}, p, q = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$, o

$\bar{Z}(q) = (1 + j \frac{\pi}{2L}) * W_{4L}^{2q+1} \sum_{p=0}^{L/2-1} \left\{ (1 + j \frac{\pi}{4L}) * z(p) * W_{4L}^{2p+1} \right\} W_{L/2}^{pq}, p, q = 0, \dots, L/2 - 1$, que son los datos posrotados.

35 Cabe señalar que la etapa de llevar a cabo la compensación por rotación fija utilizando W_{8L}^{-1} se puede llevar a cabo no solo después de la prerrotación, y también se puede llevar a cabo antes de la prerrotación, y la etapa de

llevar a cabo la compensación por rotación fija utilizando W_{4L}^{-1} se puede llevar a cabo no solo antes de la posrotación, y también se puede llevar a cabo después de la posrotación. Adicionalmente, en la fórmula de la transformada, la compensación por rotación fija llevada a cabo dos veces y otras operaciones se encuentran en

40 relación multiplicativa, con lo que es aplicable la propiedad conmutativa de la multiplicación y, por lo tanto, la etapa de llevar a cabo la compensación por rotación fija utilizando W_{8L}^{-1} se puede intercambiar con la etapa de llevar a cabo la compensación por rotación fija utilizando W_{4L}^{-1} .

En esta forma de realización, se efectúan las etapas para llevar a cabo la compensación por rotación fija realizada

dos veces, de manera que se garantiza que los datos de entrada de la transformada FFT sean congruentes con los datos de entrada de la FFT en la transformada DCT-IV original, y también se garantiza que los datos obtenidos después de la transformada sean congruentes con los datos obtenidos después de la transformada DCT-IV original, con lo cual se mejora la precisión de la transformada DCT-IV.

Adicionalmente, la transformada inversa de la DCT-IV tiene etapas sustancialmente iguales a las de la transformada directa, exceptuando solamente que en la transformada inversa, en primer lugar se ajustan por rotación los datos en el dominio de la frecuencia, los datos en el dominio del tiempo se obtienen después de la transformada final y las constantes a y b en los factores de rotación se cambian a las constantes c y d.

Haciendo referencia a la figura 3, se utiliza un método de procesamiento de señales proporcionado en una forma de realización de la presente invención para implementar una transformada DCT-IV del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia durante un procedimiento de codificación, con el fin de reducir el volumen de almacenamiento en la transformada. El método incluye las siguientes etapas:

S301: Ajustar por rotación los datos en el dominio del tiempo, para obtener datos ajustados por rotación.

Se supone que $\tilde{x}(n)$ son datos que requieren una transformada DCT-IV, y los datos pueden ser datos que hayan experimentado etapas de preprocesado tales como un enventanado. Se ajustan por rotación los datos $\tilde{x}(n)$, para obtener datos ajustados por rotación $z(p)$;

$$z(p) = \tilde{x}(2p) + j \cdot \tilde{x}(L-1-2p), p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$$

S302: Prerrotar los datos ajustados por rotación utilizando un factor de rotación simétrico, donde el factor de rotación es $a \cdot W_{4L}^{2p+1}$, $p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$, y a es una constante.

Prerrotar los datos ajustados por rotación $z(p)$, donde el factor de rotación es $a \cdot W_{4L}^{2p+1}$, y $p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$.

$$W_{4L}^{2p+1} = \cos \frac{2\pi(2p+1)}{4L} - j \sin \frac{2\pi(2p+1)}{4L}, p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$$

, y a es una constante.

W_{4L}^{2p+1} en el factor de rotación también se puede expresar de la siguiente forma:

$$\sin W_{4L}^{2p+1} = \cos \frac{2\pi(2p+1)}{4L} - j \sin \frac{2\pi(2p+1)}{4L}, p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1,$$

que cumple las condiciones de $\cos \frac{2\pi(2(\frac{L}{2}-1-q)+1)}{4L} = \cos \frac{2\pi(L-(2q+1))}{4L} = \sin \frac{2\pi(2q+1)}{4L}, q = 0, 1, 2, \dots, L/4 - 1$ y

$$\sin \frac{2\pi(2(\frac{L}{2}-1-q)+1)}{4L} = \sin \frac{2\pi(L-(2q+1))}{4L} = \cos \frac{2\pi(2q+1)}{4L}, q = 0, 1, 2, \dots, L/4 - 1$$

y, por lo tanto, en la implementación específica, solo se necesita almacenar una de una tabla de datos de coseno $a \cdot \cos \frac{2\pi(2p+1)}{4L}$, $p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$ o una tabla de datos de seno $a \cdot \sin \frac{2\pi(2p+1)}{4L}$, $p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$ de $L/2$ puntos.

S303: Llevar a cabo una Transformada Rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform*, FFT) de $L/2$ puntos sobre los datos prerrotados.

S304: Llevar a cabo una compensación por rotación fija.

Los datos que han experimentado la transformada FFT se multiplican por W_{8L}^{-3} para llevar a cabo la compensación por rotación fija, o los datos que han experimentado la transformada FFT se multiplican por un valor aproximado de W_{8L}^{-3} para llevar a cabo la compensación por rotación fija, y el valor aproximado se puede obtener utilizando la expansión en series de Taylor de W_{8L}^{-3} , por ejemplo, como valor aproximado de W_{8L}^{-3} se utiliza el resultado de la expansión en series de Taylor de primer orden $1 + j \left(\frac{3\pi}{4L} \right)$.

S305: Posrotar los datos que han experimentado la compensación por rotación fija utilizando un factor de rotación simétrico, donde el factor de rotación es $b \cdot W_{4L}^{2q+1}$, $q = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$.

$$W_{4L}^{2p+1} = \cos \frac{2\pi(2p+1)}{4L} - j \sin \frac{2\pi(2p+1)}{4L}, p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$$

, y b es una constante.

W_{4L}^{2q+1} en el factor de rotación también se puede expresar de la siguiente forma:

$$W_{4L}^{2p+1} = \cos \frac{2\pi(2p+1)}{4L} - j \sin \frac{2\pi(2p+1)}{4L}, p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$$

5

y por lo tanto, en la implementación específica, solo se necesita almacenar una de una tabla de datos de coseno $b \cdot \cos \frac{2\pi(2q+1)}{4L}$, $q = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$ ó una tabla de datos de seno $b \cdot \sin \frac{2\pi(2p+1)}{4L}$, $q = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$ de $L/2$ puntos.

- 10 Para implementar la reconstrucción perfecta, se seleccionan valores de las constantes a y b siempre que el producto del producto de las constantes a y b de los dos factores de rotación en la transformada directa y el producto de las constantes c y d de los dos factores de rotación en la transformada inversa sea igual a $2/L$. En una

forma de realización, el producto de a y b es igual a $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{L}}$. En otra forma de realización, se selecciona $a = b = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{L}}$, de esta manera, después de la prerrotación y la posrotación, solo se necesita almacenar una Tabla de datos de

- 15 coseno $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{L}} \cos \frac{2\pi(2p+1)}{4L}$, $p = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$ de $L/2$ puntos.

S306: Obtener datos en el dominio de la frecuencia.

- 20 La parte real de los datos posrotados se expresa como $y(2q)$, que es la frecuencia de numeración impar de los datos en el dominio de la frecuencia; y el número opuesto de la parte imaginaria de los datos posrotados se expresa como $y(L-1-2q)$, que es la frecuencia de numeración par de los datos en el dominio de la frecuencia.

$$\begin{cases} y(2q) = \text{Re}\{\bar{Z}(q)\} \\ y(L-1-2q) = -\text{Im}\{\bar{Z}(q)\} \end{cases}, q = 0, 1, 2, \dots, L/2 - 1$$

- 25 donde $\bar{Z}(q) = W_{8L}^{-3} * W_{4L}^{2q+1} \sum_{p=0}^{L/2-1} \left\{ W_{4L}^{2p+1} \right\} W_{L/2}^{pq}, p, q = 0, \dots, L/2 - 1$

$$\bar{Z}(q) = W_{4L}^{2q+1} \sum_{p=0}^{L/2-1} \left\{ W_{8L}^{-3} * W_{4L}^{2p+1} \right\} W_{L/2}^{pq}, p, q = 0, \dots, L/2 - 1$$

o

$$\bar{Z}(q) = (1 + j \frac{3\pi}{4L}) * W_{4L}^{2q+1} \sum_{p=0}^{L/2-1} \left\{ z(p) * W_{4L}^{2p+1} \right\} W_{L/2}^{pq}, p, q = 0, \dots, L/2 - 1$$

o

30

$$\bar{Z}(q) = W_{4L}^{2q+1} \sum_{p=0}^{L/2-1} \left\{ (1 + j \frac{3\pi}{4L}) * z(p) * W_{4L}^{2p+1} \right\} W_{L/2}^{pq}, p, q = 0, \dots, L/2 - 1$$

o

, que son los datos posrotados.

- 35 La etapa de llevar a cabo la compensación por rotación fija en la forma de realización se puede llevar a cabo no solo antes de la posrotación, sino que también se puede llevar a cabo antes de la prerrotación o antes de la transformada FFT o después de la posrotación. En la fórmula de la transformada, la compensación por rotación fija y otras operaciones se encuentran en relación multiplicativa, con lo que también es aplicable la propiedad conmutativa de la multiplicación.

- 40 En esta forma de realización, se añade la etapa de llevar a cabo la compensación por rotación fija, de manera que se garantiza que los datos obtenidos después de la transformada sean congruentes con los datos obtenidos después de la transformada DCT-IV original, con lo cual se mejora la precisión de la transformada DCT-IV.

La transformada inversa de la DCT-IV tiene etapas similares a las de la transformada directa, exceptuando

solamente que, en la transformada inversa, se introducen datos en el dominio de la frecuencia y se da salida a datos en el dominio del tiempo. Por lo tanto, en la forma de realización anterior, se construye entonces una forma de realización de la transformada inversa de DCT-IV cuando los datos de entrada y los datos de salida se cambian, respectivamente, a datos en el dominio de la frecuencia y datos en el dominio del tiempo. Adicionalmente, la transformada inversa y la transformada directa de DCT-IV pueden presentar órdenes diferentes de llevar a cabo la compensación por rotación fija. Por ejemplo, en la transformada directa, la compensación por rotación fija se lleva a cabo después de la posrotación, y en la transformada inversa, la compensación por rotación fija se lleva a cabo antes de la prerrotación.

En la codificación de audio/vídeo, también se aplica ampliamente la transformada MDCT ya que la misma adopta una técnica de cancelación de solapamiento en el dominio del tiempo (TDAC) para aliviar el "efecto límite" [de inglés, "boundary effect"]. Una fórmula de la transformada MDCT es:

$$X_k = A \sum_{n=0}^{N-1} y_n \cos \left[\frac{2\pi}{N} \left(n + \frac{1}{2} + \frac{N}{4} \right) \left(k + \frac{1}{2} \right) \right] \quad k = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} - 1$$

, donde A es un factor de normalización y A es una constante. Se puede observar que llevar a cabo la transformada directa y la transformada inversa MDCT directamente en concordancia con la fórmula de la transformada dará como resultado una complejidad computacional y un volumen de almacenamiento elevados, especialmente para la transformada MDCT de un punto más grande. La transformada MDCT se aplica ampliamente en el campo de las comunicaciones en tiempo real, especialmente en la codificación de audio, con lo que proporcionar un método de transformada MDCT rápido se convierte también en una necesidad urgente.

Haciendo referencia a la figura 4, se utiliza un método de procesamiento de señales proporcionado en una forma de realización de la presente invención para implementar una transformada MDCT del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia durante un procedimiento de codificación, con el fin de reducir el volumen de almacenamiento en la transformada. El método incluye las siguientes etapas:

S401: Preprocesar datos en el dominio del tiempo, para obtener datos preprocesados.

Se supone que y_n son datos que requieren una transformada MDCT, y los datos pueden ser datos que hayan experimentado etapas de procesamiento tales como un enventanado. Ajustar por rotación los datos y_n , para obtener datos ajustados por rotación un:

$$u_n = (z_{2n} + jz_{N/2-1-2n}) \quad n = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$$

donde:

$$\begin{cases} z_{n+N/4} = y_n - y_{N/2-1-n} \\ z_{N/4-1-n} = -y_{N-1-n} - y_{N/2+n} \end{cases} \quad n = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$$

o pueden representarse como:

$$\begin{cases} z_n = -y_{n+N/4} - y_{N/4-1-n} & n = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1 \\ z_n = y_{n-N/4} - y_{N/4-1-n} & n = N/4, N/4 + 1, \dots, N/2 - 1 \end{cases}$$

S402: Prerrotar los datos preprocesados utilizando un factor de rotación simétrico, donde el factor de rotación es $a \cdot W_N^{n+0.5}$, y $n = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$.

Prerrotar los datos ajustados por rotación un, donde el factor de rotación es $a \cdot W_N^{n+0.5}$, y $n = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$.

$$W_N^{n+0.5} = e^{-j \frac{2\pi}{N}(n+0.5)} = \cos\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right) - j \sin\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right)$$

, y a es una constante.

$$W_N^{n+0.5}$$

en el factor de rotación también se puede expresar de la siguiente forma:

$$W_N^{n+0.5} = \cos\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right) - j \sin\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right),$$

$$\cos\left(\frac{2\pi}{N}(n+0.5)\right) = \sin\left(\frac{2\pi}{N}\left(\frac{N}{4}-1-n+0.5\right)\right)$$

que cumple las condiciones de

$$\sin\left(\frac{2\pi}{N}(n+0.5)\right) = \cos\left(\frac{2\pi}{N}\left(\frac{N}{4}-1-n+0.5\right)\right)$$

y por lo tanto, en la implementación específica, solo se

5 necesita almacenar una de una tabla de datos de coseno $a \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{N}(n+0.5)\right)$, $n = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{4}-1$ ó una
 a $\sin\left(\frac{2\pi}{N}(n+0.5)\right)$, $n = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{4}-1$ de N/4 puntos.

S403: Llevar a cabo una compensación por rotación fija por primera vez.

10 Llevar a cabo la compensación por rotación fija sobre los datos prerrotados, y el factor de compensación por
 rotación fija es $W_N^{-0.375}$. Para reducir adicionalmente la complejidad computacional, se pueden utilizar algunos
 valores aproximados, tales como una expansión en series de Taylor, con el fin de sustituir $W_N^{-0.375}$ para llevar a
 cabo la compensación por rotación fija. Por ejemplo, como valor aproximado de $W_N^{-0.375}$ para llevar a cabo la
 15 compensación por rotación fija se utiliza el resultado de la expansión en series de Taylor de primer orden $1 + j\left(\frac{3\pi}{4N}\right)$.

S404: Llevar a cabo una transformada FFT de N/4 puntos sobre los datos que han experimentado la compensación
 por rotación fija.

S405: Llevar a cabo la compensación por rotación fija por segunda vez.

20 Los datos que han experimentado la transformada FFT se multiplican por $W_N^{-0.375}$ para llevar a cabo la
 compensación por rotación fija, o los datos que han experimentado la transformada FFT se multiplican por un valor
 aproximado de $W_N^{-0.375}$ para llevar a cabo la compensación por rotación fija, y el valor aproximado se puede obtener
 utilizando la expansión en series de Taylor de $W_N^{-0.375}$, por ejemplo, como valor aproximado de $W_N^{-0.375}$ se utiliza el
 25 resultado de la expansión en series de Taylor de primer orden $1 + j\left(\frac{3\pi}{4N}\right)$.

S406: Posrotar los datos que han experimentado la compensación por rotación fija utilizando un factor de rotación
 simétrico, donde el factor de rotación es $b \cdot W_N^{k+0.5}$, y $k = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{4}-1$.

$$W_N^{n+0.5} = e^{-j\frac{2\pi}{N}(n+0.5)} = \cos\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right) - j \sin\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right), \text{ y } b \text{ es una constante.}$$

30 $W_N^{k+0.5}$ en el factor de rotación también se puede expresar de la siguiente forma:

$$W_N^{n+0.5} = \cos\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right) - j \sin\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right),$$

35 y por lo tanto, en la implementación específica, solo se necesita almacenar una de una tabla de datos de coseno
 $a \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{N}(n+0.5)\right)$, $n = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{4}-1$ o una tabla de datos de seno
 $a \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{N}(n+0.5)\right)$, $n = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{4}-1$ de N/4 puntos.

S407: Obtener datos en el dominio de la frecuencia.

40

La parte real de los datos posrotados se expresa como X_{2k} , que es la frecuencia de numeración impar de los datos en el dominio de la frecuencia; y el número opuesto de la parte imaginaria de los datos posrotados se expresa como $X_{N/2-1-2k}$, que es la frecuencia de numeración par de los datos en el dominio de la frecuencia.

- 5 Los datos en el dominio de la frecuencia, es decir, el espectro final, son X_k , $k = 0, 1, 2, \dots, N/2 - 1$, que se pueden expresar como:

$$X_{2k} = \text{Re} \left\{ W_N^{-0.375} \cdot b \cdot W_N^{k+0.5} \sum_{n=0}^{N/4-1} u_n \cdot W_N^{-0.375} \cdot a \cdot W_N^{n+0.5} W_{N/4}^{nk} \right\} \quad k = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$$

$$X_{N/2-1-2k} = -\text{Im} \left\{ W_N^{-0.375} \cdot b \cdot W_N^{k+0.5} \sum_{n=0}^{N/4-1} u_n \cdot W_N^{-0.375} \cdot a \cdot W_N^{n+0.5} W_{N/4}^{nk} \right\} \quad k = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$$

10

o

$$X_{2k} = \text{Re} \left\{ \left(1 + j \left(\frac{3\pi}{4N} \right) \right) \cdot b \cdot W_N^{k+0.5} \sum_{n=0}^{N/4-1} u_n \cdot \left(1 + j \left(\frac{3\pi}{4N} \right) \right) \cdot a \cdot W_N^{n+0.5} W_{N/4}^{nk} \right\} \quad k = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$$

$$X_{N/2-1-2k} = -\text{Im} \left\{ \left(1 + j \left(\frac{3\pi}{4N} \right) \right) \cdot b \cdot W_N^{k+0.5} \sum_{n=0}^{N/4-1} u_n \cdot \left(1 + j \left(\frac{3\pi}{4N} \right) \right) \cdot a \cdot W_N^{n+0.5} W_{N/4}^{nk} \right\} \quad k = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$$

15

Cabe señalar que la etapa de llevar a cabo la compensación por rotación fija por primera vez utilizando $W_N^{-0.375}$ se puede llevar a cabo no solo después de la prerrotación, sino que también se puede llevar a cabo antes de la prerrotación, y la etapa de llevar a cabo la compensación por rotación fija por segunda vez utilizando $W_N^{-0.375}$ se puede llevar a cabo no solo antes de la posrotación, sino que también se puede llevar a cabo después de la posrotación.

20

En la fórmula de la transformada, la compensación por rotación fija y otras operaciones se encuentran en relación multiplicativa, con lo que es aplicable la propiedad conmutativa de la multiplicación, la compensación por rotación fija se puede llevar a cabo una o más veces, y el orden de ejecución de la compensación por rotación fija puede ser cualquiera antes de la obtención de los datos en el dominio de la frecuencia. El producto de los factores de compensación es $W_N^{-0.375}$ ó un valor aproximado de al menos un factor cuyo producto es $W_N^{-0.375}$.

25

En esta forma de realización, la adopción de los factores de rotación que presentan simetría puede reducir el volumen de almacenamiento; el volumen de almacenamiento del método antes de la mejora es $N/2$ puntos y el volumen de almacenamiento del método después de la mejora es $N/4$ puntos. Se añade la etapa de llevar a cabo una compensación por rotación fija, con lo cual se mejora la precisión de la transformada MDCT, de manera que se garantiza que los datos obtenidos después de la transformada sean congruentes con los datos obtenidos después de la transformada MDCT original.

35

Una fórmula original de transformada rápida MDCT basada en una FFT de $N/4$ puntos es:

$$X_{2k} - jX_{N/2-1-2k} = A \cdot W_N^{k+0.125} \sum_{n=0}^{N/4-1} \left\{ \overset{\text{posrotación}}{u_n W_N^{n+0.125}} \right\} \overset{\text{DFT } N/4 \text{ puntos}}{W_{N/4}^{nk}} \quad k = 0, \dots, N/4 - 1$$

40

esto se puede reescribir como:

$$X_{2k} - jX_{N/2-1-2k} = A \cdot W_N^{k+0.125} \sum_{n=0}^{N/4-1} \left\{ \overset{\text{posrotación}}{u_n W_N^{n+0.125}} \right\} \overset{\text{DFT } N/4 \text{ puntos}}{W_{N/4}^{nk}} \quad k = 0, \dots, N/4 - 1$$

donde,

45

$$W_N^{k+0.5} = e^{-j \frac{2\pi}{N} (k+0.5)} = \cos \left(\frac{2\pi(k+0.5)}{N} \right) - j \sin \left(\frac{2\pi(k+0.5)}{N} \right), k = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$$

$$W_N^{k+0.5} = e^{-j\frac{2\pi}{N}(k+0.5)} = \cos\left(\frac{2\pi(k+0.5)}{N}\right) - j\sin\left(\frac{2\pi(k+0.5)}{N}\right), k = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$$

Es sencillo demostrar que el factor de rotación modificado presenta la característica de simetría, es decir, $W_N^{k+0.5}$ cumple:

$$\cos\left(\frac{2\pi}{N}(n+0.5)\right) = \sin\left(\frac{2\pi}{N}(N/4 - 1 - n + 0.5)\right);$$

$$\sin\left(\frac{2\pi}{N}(n+0.5)\right) = \cos\left(\frac{2\pi}{N}(N/4 - 1 - n + 0.5)\right).$$

De modo similar, $W_N^{k+0.5}$ también cumple dicha simetría.

La característica de simetría se puede utilizar para reducir el volumen de almacenamiento. Durante la implementación, solo se necesita almacenar para $W_N^{k+0.5}$ una tabla de coseno de N/4 puntos o una tabla de seno de N/4 puntos, la compensación por rotación fija de $W_N^{-0.375}$ se lleva a cabo antes de llevar a cabo la transformada FFT de N/4 puntos, y la compensación por rotación fija de $W_N^{-0.375}$ se lleva a cabo después de llevar a cabo la transformada FFT de N/4 puntos. Se puede demostrar que la transformada se ha reconstruido por completo.

Para reducir adicionalmente la complejidad computacional, se pueden utilizar algunos valores aproximados, tales como una expansión en series de Taylor, con el fin de sustituir $W_N^{-0.375}$ para llevar a cabo la compensación por rotación fija. Por ejemplo, como valor aproximado de $W_N^{-0.375}$ puede usarse el resultado de la expansión en series de Taylor de primer orden $1 + j\left(\frac{3\pi}{4N}\right)$.

Haciendo referencia a la figura 5, se utiliza un método de procesamiento de señales proporcionado en una forma de realización de la presente invención para implementar una transformada MDCT del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo durante un procedimiento de codificación, con el fin de reducir el volumen de almacenamiento en la transformada. El método incluye las siguientes etapas:

S501: Ajustar por rotación datos en el dominio de la frecuencia, para obtener datos ajustados por rotación.

La variable intermedia obtenida después del ajuste por rotación de los datos es $X_{2k} + jX_{N/2-1-2k}$, donde $k = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$.

S502: Perrotar los datos ajustados por rotación utilizando un factor de rotación simétrico.

Perrotar los datos ajustados por rotación $X_{2k} + jX_{N/2-1-2k}$, donde el factor de rotación es $c \cdot W_N^{k+0.5}$, y $k = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$. $W_N^{n+0.5} = e^{-j\frac{2\pi}{N}(n+0.5)} = \cos\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right) - j\sin\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right)$, y c es una constante.

S503: Llevar a cabo una compensación por rotación fija por primera vez.

Llevar a cabo una compensación por rotación fija sobre los datos perrotados, donde el factor de compensación por rotación fija es $W_N^{-0.375}$. Para reducir adicionalmente la complejidad computacional, se pueden utilizar algunos valores aproximados, tales como una expansión en series de Taylor, con el fin de sustituir $W_N^{-0.375}$ para llevar a

cabo la compensación por rotación fija. Por ejemplo, para llevar a cabo la compensación por rotación fija se utiliza como valor aproximado de $W_N^{-0.375}$ el resultado de la expansión en series de Taylor de primer orden $1 + j\left(\frac{3\pi}{4N}\right)$.

5 S504: Llevar a cabo una transformada FFT de N/4 puntos sobre los datos que han experimentado la compensación por rotación fija.

S505: Llevar a cabo la compensación por rotación fija por segunda vez.

10 Los datos que han experimentado la transformada FFT se multiplican por $W_N^{-0.375}$ para llevar a cabo la compensación por rotación fija, o los datos que han experimentado la transformada FFT se multiplican por un valor aproximado de $W_N^{-0.375}$ para llevar a cabo la compensación por rotación fija, y el valor aproximado se puede obtener utilizando la expansión en series de Taylor de $W_N^{-0.375}$, por ejemplo, como valor aproximado de $W_N^{-0.375}$ se utiliza el resultado de la expansión en series de Taylor de primer orden $1 + j\left(\frac{3\pi}{4N}\right)$.

15 S506: Posrotar los datos que han experimentado la compensación por rotación fija utilizando un factor de rotación simétrico.

Posrotar los datos después de la rotación fija, donde el factor de rotación es $d \cdot W_N^{n+0.5}$, y $n = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$.

20 $W_N^{n+0.5} = e^{-j\frac{2\pi}{N}(n+0.5)} = \cos\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right) - j\sin\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right)$, y d es una constante.

S507: Obtener datos en el dominio del tiempo.

Se obtienen datos en el dominio del tiempo \hat{x}_n , $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$.

25
$$\begin{cases} \hat{x}_{2n+N/2} = \text{Re}\{u_n\} \\ \hat{x}_{N-1-2n} = -\text{Re}\{u_n\} \end{cases} \quad n = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$$

$$\begin{cases} \hat{x}_{N/4-1-2n} = \hat{x}_{N/4+2n} = \text{Im}\{u_n\} \\ \hat{x}_{2n-N/4} = \hat{x}_{N/4-1-2n} = \text{Im}\{u_n\} \end{cases} \quad \begin{matrix} n = 0, 1, 2, \dots, N/8 - 1 \\ n = N/8, N/8 + 1, \dots, N/4 - 1 \end{matrix}$$

30 donde
$$\begin{cases} u_n = y_{n+N/8} \\ u_{n+N/8} = y_n \end{cases} \quad n = 0, 1, 2, \dots, N/8 - 1$$

Cabe señalar que, para implementar la reconstrucción perfecta, se seleccionan valores de las constantes a, b, c y d siempre que el producto del producto de a y b en la transformada directa y el producto de c y d en la transformada

inversa sea igual a 4/N. En esta forma de realización, se selecciona $a = b = c = d = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt[4]{N}}$ y, por lo tanto, solo se

35 necesita almacenar una tabla de datos de coseno $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt[4]{N}} \cos\left(\frac{2\pi}{N}(k+0.5)\right)$, $k = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$ de N/4 puntos.

40 De modo similar, la etapa de llevar a cabo la compensación por rotación fija por primera vez utilizando $W_N^{-0.75}$ se puede llevar a cabo no solo después de la prerrotación, sino que también se puede llevar a cabo antes de la prerrotación, y la etapa de llevar a cabo la compensación por rotación fija por segunda vez utilizando $W_N^{-0.375}$ se puede llevar a cabo no solo antes de la posrotación, sino que también se puede llevar a cabo después de la posrotación. Debido a la propiedad conmutativa de la multiplicación, la compensación por rotación fija también se

puede llevar a cabo tres o más veces, y el producto de los factores de compensación es $W_N^{-0.75}$ ó un valor aproximado de al menos un factor cuyo producto es $W_N^{-0.75}$.

5 En esta forma de realización, se adoptan las etapas de compensación por rotación fija llevada a cabo dos veces, con cual se mejora la precisión de la transformada MDCT, de manera que se garantiza que los datos obtenidos después de la transformada sean congruentes con los datos obtenidos después de la transformada MDCT original.

10 Haciendo referencia a la figura 6, se utiliza un método de procesamiento de señales proporcionado en una forma de realización de la presente invención para implementar una transformada MDCT del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia durante un procedimiento de codificación, con el fin de reducir el volumen de almacenamiento en la transformada. El método incluye las siguientes etapas:

S601: Preprocesar datos en el dominio del tiempo, para obtener datos preprocesados.

15 Se supone que y_n son datos que requieren una transformada MDCT, y los datos pueden ser datos que hayan experimentado etapas de procesamiento tales como un enventanado. Se ajustan por rotación los datos y_n , para obtener datos ajustados por rotación un:

$$u_n = (z_{2n} + jz_{N/2-1-2n}) \quad n = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$$

20 donde:

$$\begin{cases} z_{n+N/4} = y_n - y_{N/2-1-n} \\ z_{N/4-1-n} = -y_{N-1-n} - y_{N/2+n} \end{cases} \quad n = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$$

25 o se pueden representar como:

$$\begin{cases} z_n = -y_{n+3N/4} - y_{3N/4-1-n} & n = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1 \\ z_n = y_{n-N/4} - y_{3N/4-1-n} & n = N/4, N/4 + 1, \dots, N/2 - 1 \end{cases}$$

30 S602: Perrotar los datos preprocesados utilizando un factor de rotación simétrico, donde el factor de rotación es $a \cdot W_N^{n+0.5}$, y $n = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$.

Perrotar los datos ajustados por rotación un, donde el factor de rotación es $a \cdot W_N^{n+0.5}$, y $n = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$.

$$W_N^{n+0.5} = e^{-j\frac{2\pi}{N}(n+0.5)} = \cos\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right) - j\sin\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right) \text{ y } a \text{ es una constante.}$$

35 $W_N^{n+0.5}$ en el factor de rotación también puede expresarse de la siguiente forma:

$$W_N^{n+0.5} = \cos\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right) - j\sin\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right),$$

$$\cos\left(\frac{2\pi}{N}(n+0.5)\right) = \sin\left(\frac{2\pi}{N}\left(\frac{N}{4}-1-n+0.5\right)\right)$$

que cumple las condiciones de y

$$\sin\left(\frac{2\pi}{N}(n+0.5)\right) = \cos\left(\frac{2\pi}{N}\left(\frac{N}{4}-1-n+0.5\right)\right)$$

40 y por lo tanto, en la implementación específica, solo

necesita almacenarse una de una tabla de datos de coseno $a \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{N}(n+0.5)\right)$, $n = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$ ó una

tabla de datos de seno $a \sin\left(\frac{2\pi}{N}(n+0.5)\right)$, $n = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$ de $N/4$ puntos.

S603: Llevar a cabo una compensación por rotación fija.

Se lleva a cabo la compensación por rotación fija sobre los datos prerrotados, donde el factor de compensación por rotación fija es $W_N^{-0.75}$. Para reducir adicionalmente la complejidad computacional, se pueden utilizar algunos valores aproximados, tales como una expansión en series de Taylor, con el fin de sustituir $W_N^{-0.75}$ para llevar a cabo la compensación por rotación fija. Por ejemplo, como valor aproximado de $W_N^{-0.75}$ para llevar a cabo la compensación por rotación fija se utiliza el resultado de la expansión en series de Taylor de primer orden $1 + j\left(\frac{3\pi}{2N}\right)$.

S604: Llevar a cabo una transformada FFT de N/4 puntos sobre los datos que han experimentado la compensación por rotación fija.

S605: Posrotar los datos que han experimentado la transformada FFT utilizando un factor de rotación simétrico.

Se posrotan los datos que han experimentado la transformada FFT, donde el factor de rotación es $b \cdot W_N^{n+0.5}$, y

$$W_N^{n+0.5} = e^{-j\frac{2\pi}{N}(n+0.5)} = \cos\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right) - j\sin\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right), \text{ y } b \text{ es una constante.}$$

$W_N^{n+0.5}$ en el factor de rotación también se puede expresar de la siguiente forma:

$$W_N^{n+0.5} = \cos\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right) - j\sin\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right)$$

y por lo tanto, en la implementación específica, solo se necesita almacenar una de una tabla de datos de coseno

$a \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{N}(n+0.5)\right)$, $n = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{4}-1$ ó una tabla de datos de seno $a \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{N}(k+0.5)\right)$, $k = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{4}-1$ de N/4 puntos.

S606: Obtener datos en el dominio de la frecuencia.

La parte real de los datos posrotados se expresa como X_{2k} , que es la frecuencia de numeración impar de los datos en el dominio de la frecuencia; y el número opuesto de la parte imaginaria de los datos posrotados se expresa como $X_{\frac{N}{2}-1-2k}$, que es la frecuencia de numeración par de los datos en el dominio de la frecuencia.

Los datos en el dominio de la frecuencia, es decir, el espectro final, son X_k , $k = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2}-1$, que se pueden expresar como:

$$X_{2k} = \text{Re}\left\{b \cdot W_N^{k+0.5} \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} u_n \cdot W_N^{-0.75} \cdot a \cdot W_N^{n+0.5} W_{\frac{N}{4}}^{nk}\right\} \quad k = 0, \dots, \frac{N}{4}-1$$

$$X_{\frac{N}{2}-1-2k} = -\text{Im}\left\{b \cdot W_N^{k+0.5} \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} u_n \cdot W_N^{-0.75} \cdot a \cdot W_N^{n+0.5} W_{\frac{N}{4}}^{nk}\right\} \quad k = 0, \dots, \frac{N}{4}-1$$

o

$$X_{2k} = \text{Re}\left\{b \cdot W_N^{k+0.5} \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} u_n \cdot \left(1 + j\left(\frac{3\pi}{2N}\right)\right) \cdot a \cdot W_N^{n+0.5} W_{\frac{N}{4}}^{nk}\right\} \quad k = 0, \dots, \frac{N}{4}-1$$

realización

$$X_{\frac{N}{2}-1-2k} = -\text{Im}\left\{b \cdot W_N^{k+0.5} \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} u_n \cdot \left(1 + j\left(\frac{3\pi}{2N}\right)\right) \cdot a \cdot W_N^{n+0.5} W_{\frac{N}{4}}^{nk}\right\} \quad k = 0, \dots, \frac{N}{4}-1$$

Cabe señalar que, en la forma de realización, la etapa de llevar a cabo la compensación por rotación fija se puede llevar a cabo después de la prerrotación o se puede llevar a cabo antes de la prerrotación, y también se puede llevar a cabo antes de la posrotación o después de la prerrotación. En la fórmula de la transformada, la

compensación por rotación fija y otras operaciones se encuentran en relación multiplicativa, con lo que también es aplicable la propiedad conmutativa de la multiplicación.

5 Haciendo referencia a la figura 7, se utiliza un método de procesamiento de señales proporcionado en una forma de realización de la presente invención para implementar una transformada MDCT del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo durante un procedimiento de codificación, con el fin de reducir el volumen de almacenamiento en la transformada. El método incluye las siguientes etapas:

10 S701: Ajustar por rotación datos en el dominio de la frecuencia, para obtener datos ajustados por rotación.

La variable intermedia obtenida después del ajuste por rotación de los datos es $X_{2k} + jX_{N/2-1-2k}$, donde $k = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$.

15 S702: Perrotar los datos ajustados por rotación utilizando un factor de rotación simétrico.

Se perrotan los datos ajustados por rotación $(X_{2k} + jX_{N/2-1-2k})$, donde el factor de rotación es $e \cdot W_N^{k+0.5}$, y

$$W_N^{k+0.5} = e^{-j\frac{2\pi}{N}(k+0.5)} = \cos\left(\frac{2\pi(k+0.5)}{N}\right) - j\sin\left(\frac{2\pi(k+0.5)}{N}\right)$$

$k = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$, y c es una constante.

20 S703: Llevar a cabo una compensación por rotación fija.

Se lleva a cabo la compensación por rotación fija sobre los datos perrotados, donde el factor de compensación por rotación fija es $W_N^{-0.75}$. Para reducir adicionalmente la complejidad computacional, se pueden utilizar algunos valores aproximados, tales como una expansión en series de Taylor, con el fin de sustituir $W_N^{-0.75}$ para llevar a cabo la compensación por rotación fija. Por ejemplo, como valor aproximado de $W_N^{-0.75}$ para llevar a cabo la compensación por rotación fija se utiliza el resultado de la expansión en series de Taylor de primer orden $1 + j\left(\frac{3\pi}{4N}\right)$.

30 S704: Llevar a cabo una transformada FFT de N/4 puntos sobre los datos que han experimentado la compensación por rotación fija.

S705: Posrotar los datos que han experimentado la transformada FFT utilizando un factor de rotación simétrico.

Se posrotan los datos que han experimentado la transformada FFT, donde el factor de rotación es $d \cdot W_N^{n+0.5}$, y

$$W_N^{n+0.5} = e^{-j\frac{2\pi}{N}(n+0.5)} = \cos\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right) - j\sin\left(\frac{2\pi(n+0.5)}{N}\right)$$

$n = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$, y d es una constante.

S706: Obtener datos en el dominio del tiempo.

Se obtienen datos en el dominio del tiempo \hat{x}_n , $n = 0, 1, 2, \dots, N - 1$.

$$\begin{cases} \hat{x}_{2n+N/2} = \text{Re}\{u_n\} \\ \hat{x}_{N-1-2n} = -\text{Re}\{u_n\} \end{cases} \quad n = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$$

$$\begin{cases} \hat{x}_{N/4-1-2n} = \hat{x}_{N/4+2n} = \text{Im}\{u_n\} \\ \hat{x}_{2n-N/4} = \hat{x}_{3N/4-1-2n} = \text{Im}\{u_n\} \end{cases} \quad \begin{matrix} n = 0, 1, 2, \dots, N/8 - 1 \\ n = N/8, N/8 + 1, \dots, N/4 - 1 \end{matrix}$$

$$\begin{cases} u_n = y_{n \cdot N/2} \\ u_{n+N/2} = y_n \end{cases} \quad n = 0, 1, 2, \dots, N/8 - 1$$

Cabe señalar que, para implementar la reconstrucción perfecta, se seleccionan valores de las constantes a, b, c y

d siempre que el producto del producto de a y b en la transformada directa y el producto de c y d en la transformada

inversa sea igual a $4/N$. En esta implementación, se selecciona $a = b = c = d = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt[4]{N}}$ y, por lo tanto, solo se necesita

almacenar una tabla de datos de coseno $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt[4]{N}} \cos(\frac{2\pi}{N}(k + 0.5))$, $k = 0, 1, 2, \dots, N/4 - 1$ de $N/4$ puntos.

5 De modo similar, en la forma de realización, la etapa de llevar a cabo la compensación por rotación fija se puede llevar a cabo después de la prerrotación o se puede llevar a cabo antes de la prerrotación, y también se puede llevar a cabo antes de la posrotación o después de la prerrotación. En la fórmula de la transformada, la compensación por rotación fija y otras operaciones se encuentran en relación multiplicativa, con lo que también es aplicable la propiedad conmutativa de la multiplicación.

10 Aquellos con conocimientos habituales en la materia deben comprender que la totalidad o una parte del proceso del método según las formas de realización de la presente invención se puede implementar con un programa de ordenador que dé órdenes a *hardware* pertinente. El programa puede almacenarse en un medio de almacenamiento legible por ordenador. Cuando se ejecuta el programa, se llevan a cabo los procesos de los métodos según las formas de realización de la presente invención. El medio de almacenamiento puede ser un disco magnético, un disco óptico, una Memoria de Solo Lectura (*Read-Only Memory*, ROM) o una Memoria de Acceso Aleatorio (*Random Access Memory*, RAM).

20 Haciendo referencia a la figura 8, que está en correlación con la forma de realización del método anterior, una forma de realización de un dispositivo de procesamiento de señales de la presente invención incluye:

una unidad de ajuste por rotación 801, configurada para ajustar por rotación datos de entrada, con el fin de obtener datos ajustados por rotación;

25 una unidad de prerrotación 802, configurada para prerrotar los datos ajustados por rotación utilizando un factor de rotación simétrico, donde el factor de rotación es $a \cdot W_{4L}^{2p+1}$, $p = 0, \dots, L/2 - 1$, y a es una constante;

30 una unidad de transformada 803, configurada para llevar a cabo una Transformada Rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform*, FFT) de $L/2$ puntos sobre los datos prerrotados, donde L es la longitud de los datos de entrada;

35 una unidad de posrotación 804, configurada para posrotar los datos que han experimentado la transformada FFT utilizando un factor de rotación simétrico, donde el factor de rotación es $b \cdot W_{4L}^{2q+1}$, $q = 0, \dots, L/2 - 1$ y b es una constante; y

una unidad de salida 805, configurada para obtener datos de salida.

40 El dispositivo de procesamiento de señales se puede utilizar para implementar una transformada DCT-IV del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia o del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo en el procedimiento de codificación/decodificación; en la transformada directa, los datos de entrada son datos en el dominio del tiempo y los datos de salida son datos en el dominio de la frecuencia; y en la transformada inversa, los datos de entrada son datos en el dominio de la frecuencia y los datos de salida son los datos en el dominio del tiempo.

45 En otra forma de realización, el dispositivo de procesamiento de señales incluye además: una unidad de compensación por rotación fija, configurada para llevar a cabo una compensación por rotación fija utilizando un factor de compensación por rotación fija.

50 En una forma de realización, la unidad de compensación por rotación fija está configurada para llevar a cabo una compensación por rotación fija por lo menos una vez, y el producto de un factor de compensación por rotación de la compensación por rotación fija de por lo menos una vez es W_{8L}^{-3} .

55 En otra forma de realización, la unidad de compensación por rotación fija está configurada para llevar a cabo una compensación por rotación fija por lo menos una vez, y el factor de compensación por rotación de la compensación por rotación fija de por lo menos una vez es una expansión en series de Taylor de primer orden de por lo menos un factor cuyo producto es W_{8L}^{-3} .

Para cumplir con la reconstrucción, el producto de a y b puede ser igual a $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt[4]{L}}$, y en una forma de realización, por

ejemplo, $a = b = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{L}}$.

Una forma de realización de un dispositivo de procesamiento de señales del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia proporcionado en la presente invención se utiliza para implementar la transformada MDCT del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia en el procedimiento de codificación, con el fin de reducir el volumen de almacenamiento en la transformada. Haciendo referencia a la figura 9, el dispositivo de procesamiento de señales incluye:

una unidad de preprocesado 901, configurada para preprocesar datos en el dominio del tiempo, con el fin de obtener datos preprocesados;

una unidad de prerrotación 902, configurada para prerrotar los datos preprocesados utilizando un factor de rotación $a \cdot W_N^{k+0.5}$;

una unidad de transformada 903, configurada para llevar a cabo una Transformada Rápida de Fourier de N/4 puntos sobre los datos prerrotados;

una unidad de posrotación 904, configurada para posrotar los datos que han experimentado la Transformada de Fourier Discreta usando un factor de rotación $b \cdot W_N^{k+0.5}$, con el fin de obtener datos en el dominio de la frecuencia; donde, el dispositivo incluye además:

una unidad de compensación fija 905, configurada para llevar a cabo una compensación por rotación fija usando un factor de compensación por rotación fija; donde a y b son constantes, N es la longitud de los datos en el

dominio del tiempo, y $W_N = e^{-j\frac{2\pi}{N}}$.

En una forma de realización, la unidad de compensación por rotación fija está configurada para llevar a cabo una compensación por rotación fija por lo menos una vez, y el producto de un factor de compensación por rotación de la compensación por rotación fija de por lo menos una vez es $W_N^{-0.25}$.

En otra forma de realización, la unidad de compensación por rotación fija está configurada para llevar a cabo una compensación por rotación fija por lo menos una vez, y el factor de compensación por rotación de la compensación por rotación fija de por lo menos una vez es una expansión en series de Taylor de primer orden de por lo menos un factor cuyo producto es $W_N^{-0.25}$.

Una forma de realización de un dispositivo de procesamiento de señales del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo proporcionado en la presente invención se utiliza para implementar la transformada MDCT del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo en el procedimiento de codificación, con el fin de reducir el volumen de almacenamiento en la transformada. Haciendo referencia a la figura 10, el dispositivo de procesamiento de señales incluye:

una unidad de ajuste por rotación 1001, configurada para ajustar por rotación datos en el dominio de la frecuencia, con el fin de obtener datos ajustados por rotación;

una unidad de prerrotación 1002, configurada para prerrotar los datos ajustados por rotación utilizando un factor de rotación $c \cdot W_N^{k+0.5}$;

una unidad de transformada 1003, configurada para llevar a cabo una Transformada Rápida de Fourier de N/4 puntos sobre los datos prerrotados;

una unidad de posrotación 1004, configurada para posrotar los datos que han experimentado la Transformada Rápida de Fourier usando un factor de rotación $d \cdot W_N^{k+0.5}$; donde, el dispositivo incluye además:

una unidad de compensación fija 1005, configurada para llevar a cabo una compensación por rotación fija usando un factor de compensación por rotación fija; donde c y d son constantes, N es dos veces la longitud

de los datos en el dominio de la frecuencia, y $W_N = e^{-j\frac{2\pi}{N}}$.

En una forma de realización, la unidad de compensación por rotación fija está configurada para llevar a cabo una compensación por rotación fija por lo menos una vez, y el producto de un factor de compensación por rotación de

la compensación por rotación fija de por lo menos una vez es $W_N^{-0.25}$.

5 En otra forma de realización, la unidad de compensación por rotación fija está configurada para llevar a cabo una compensación por rotación fija por lo menos una vez, y el factor de compensación por rotación de la unidad de compensación por rotación fija de por lo menos una vez es una expansión en series de Taylor de primer orden de por lo menos un factor cuyo producto es $W_N^{-0.25}$.

10 Los circuitos, módulos y bloques lógicos ejemplificativos de la descripción correlacionados con las formas de realización dadas a conocer en la especificación se pueden construir o implementar utilizando los siguientes dispositivos: un procesador universal, un procesador de señal digital (DSP), un circuito integrado de aplicación específica (ASIC), una matriz de puertas programables in situ (FPGA) u otros dispositivos lógicos programables, lógica de transistores o puertas discretas, componentes de *hardware* discretos o cualquier combinación diseñada para implementar las funciones de la parte anterior del texto. El procesador universal puede ser un microprocesador, aunque alternativamente, el procesador también puede ser cualquier procesador, controlador, 15 microcontrolador o máquina de estados convencional. El procesador se puede construir en forma de una combinación de dispositivos informáticos, por ejemplo, una combinación de un DSP y un microprocesador, una combinación de múltiples microprocesadores, una combinación de uno o más microprocesadores y un núcleo de DSP, o una cualquiera de otras configuraciones de este tipo.

20 Se describen solamente algunas formas de realización de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Método de procesamiento de datos llevado a cabo por un aparato eléctrico que comprende un codificador de audio o un decodificador de audio usado para implementar una Transformada de Coseno Discreta de tipo 4, DCT-IV, del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, comprendiendo el método:

- ajustar por rotación (101) datos de entrada, para obtener datos ajustados por rotación;
- perrotar (102) los datos ajustados por rotación usando un factor de rotación simétrico, en el que el factor de rotación es $a \cdot W_{4L}^{2p+1}$, en el que a es una constante, $p = 0, \dots, \frac{L}{2} - 1$, y

$$W_{4L}^{2q+1} = \cos \frac{2\pi(2q+1)}{4L} - j \sin \frac{2\pi(2q+1)}{4L};$$

- llevar a cabo (103) una Transformada Rápida de Fourier, FFT, de $L/2$ puntos sobre los datos perrotados, en el que L es la longitud de los datos de entrada;
- posrotar (104) los datos que han experimentado la transformada FFT utilizando un factor de rotación simétrico, en el que el factor de rotación es $b \cdot W_{4L}^{2q+1}$, en el que b es una constante, $q = 0, \dots, \frac{L}{2} - 1$, y

$$W_{4L}^{2q+1} = \cos \frac{2\pi(2q+1)}{4L} - j \sin \frac{2\pi(2q+1)}{4L};$$

- obtener (105) datos de salida;

en el que el método comprende además:

- llevar a cabo una compensación por rotación fija una o más veces usando uno o más factores de compensación por rotación fija, respectivamente, dicho uno o el producto de dichos varios factores de compensación fija es W_{8L}^{-3} o un valor aproximado del mismo,

en el que por lo menos uno de entre el uno o más factores de compensación por rotación fija de la compensación por rotación fija de una o más veces es una expansión en series de Taylor.

2. Método según la reivindicación 1, en el que por lo menos uno de entre el uno o más factores de compensación por rotación fija de la compensación por rotación fija de una o más veces es una expansión en series de Taylor de primer orden.

3. Método según la reivindicación 1 o 2, en el que la compensación por rotación fija se lleva a cabo por lo menos una vez después de la etapa de llevar a cabo la FFT y antes de la etapa de posrotación.

4. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la compensación por rotación fija se lleva a cabo una vez usando una primera expansión en series de Taylor de primer orden de W_{8L}^{-3} , a saber $1 + j \left(\frac{3\pi}{4L} \right)$ como factor de compensación por rotación fija.

5. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el producto de a y b es igual a $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{L}}$.

6. Aparato eléctrico que comprende un codificador de audio o un decodificador de audio usado para implementar una Transformada de Coseno Discreta de tipo 4, DCT-IV, del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, estando el aparato eléctrico configurado para llevar a cabo cualquiera de los métodos según las reivindicaciones 1 a 5.

7. Producto de programa de ordenador que comprende un programa de ordenador, que tiene un código de *software* para ordenar a un *hardware* que lleve a cabo cualquiera de los métodos según las reivindicaciones 1 a 5.

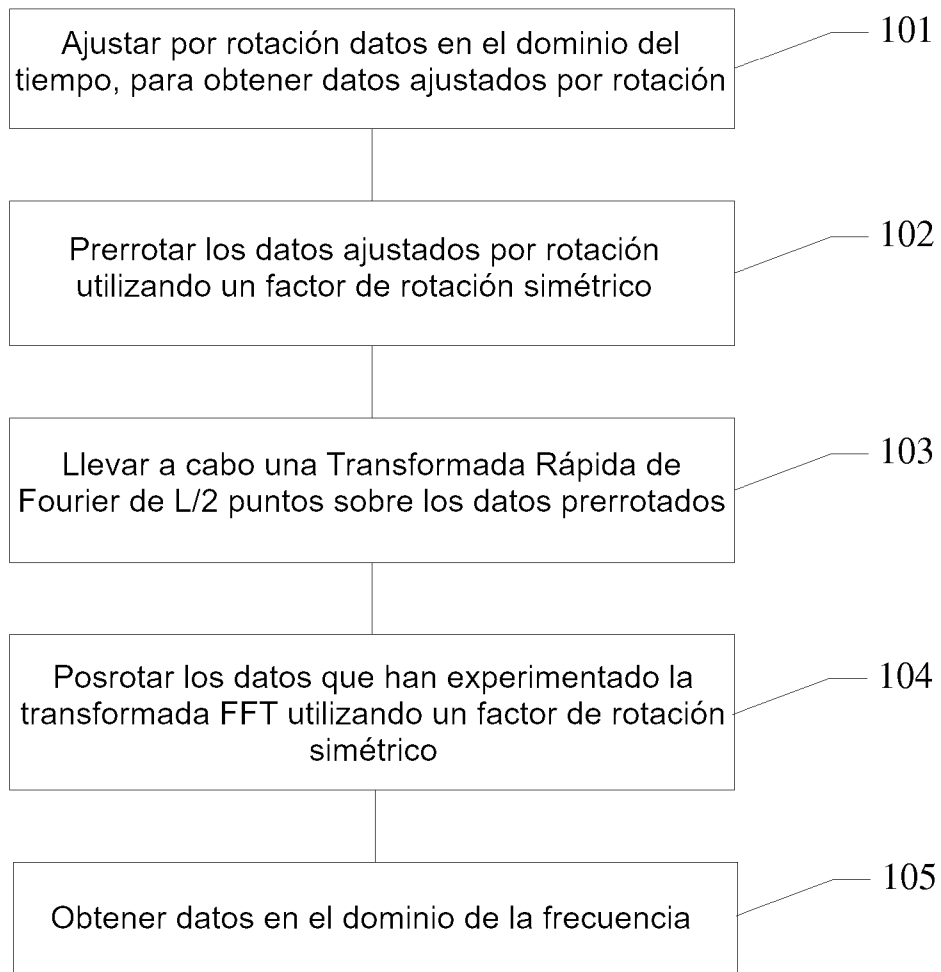


FIG. 1

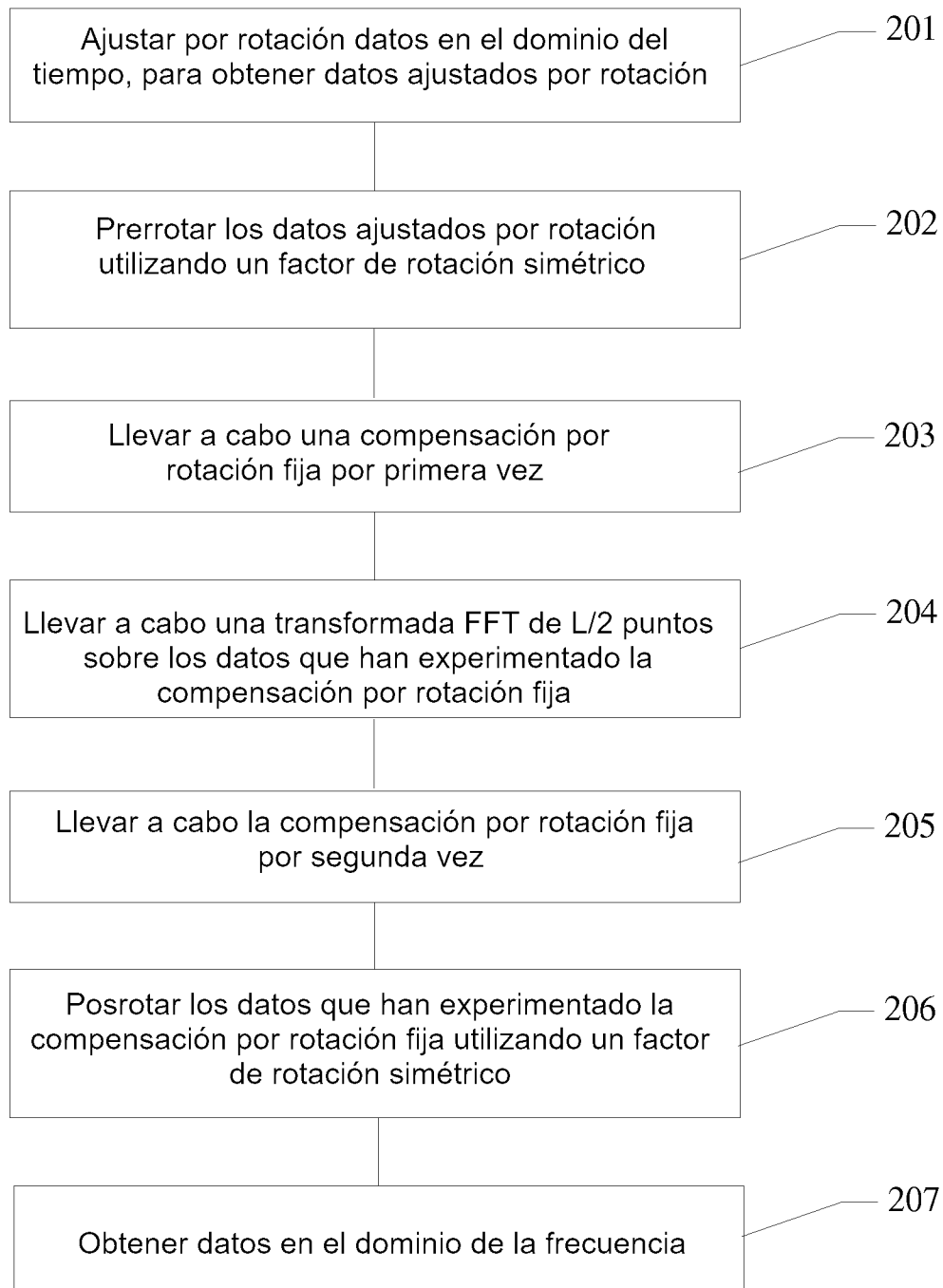


FIG. 2

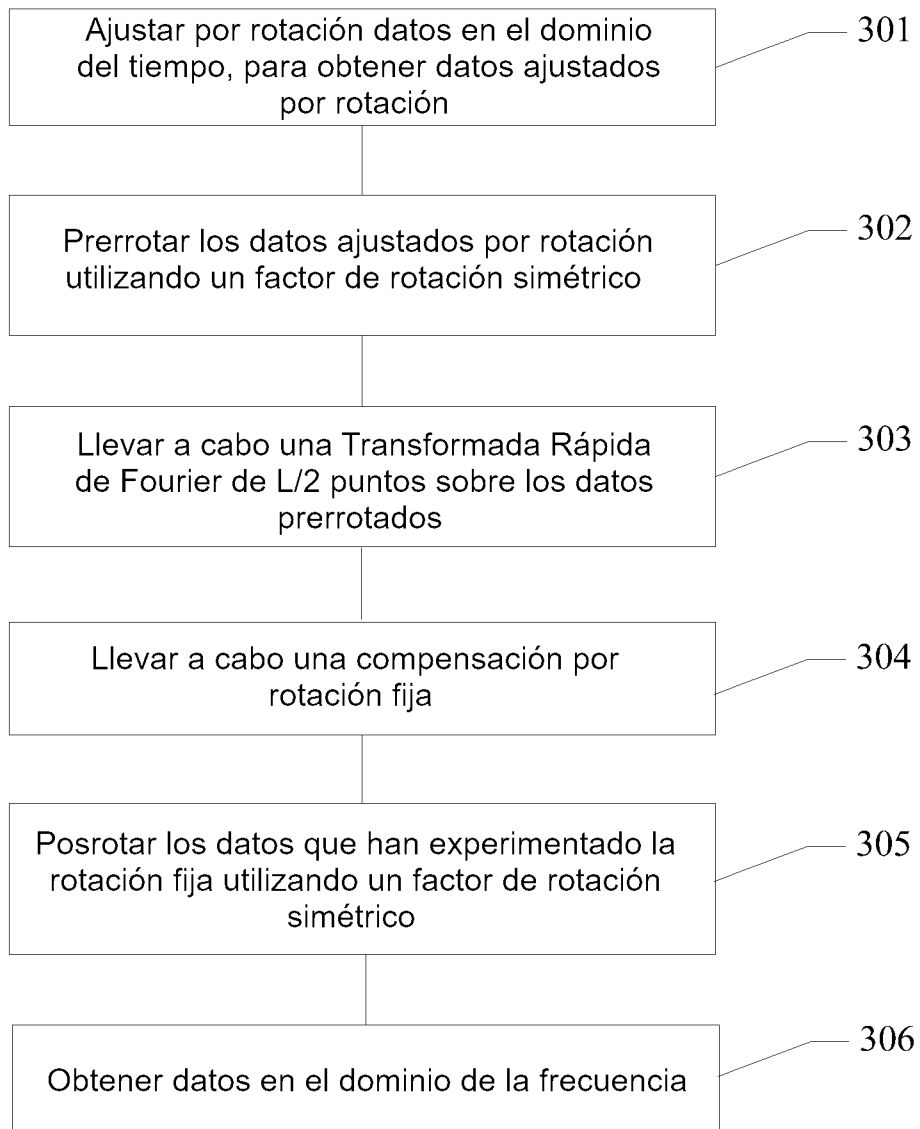


FIG. 3

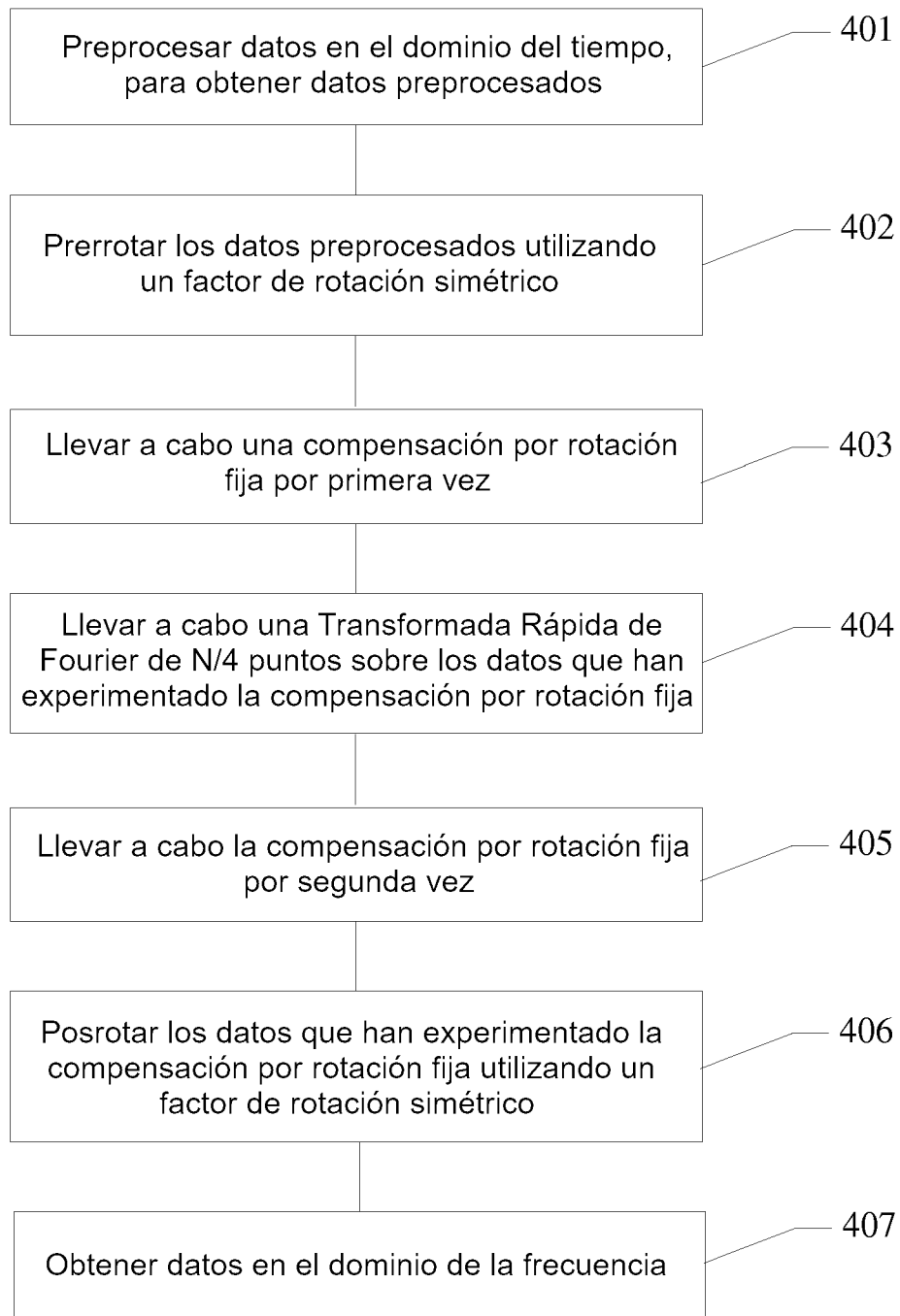


FIG. 4

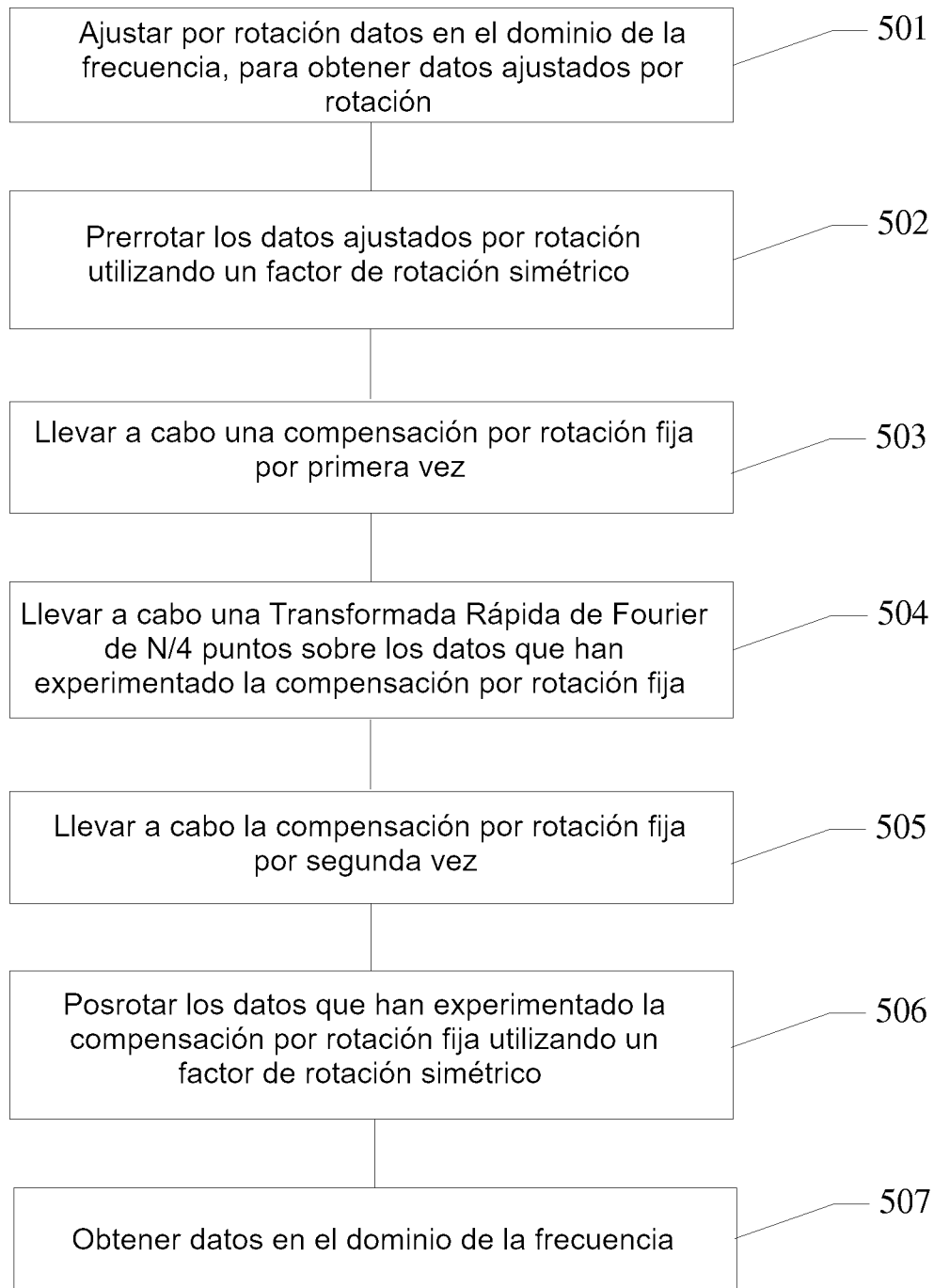


FIG. 5

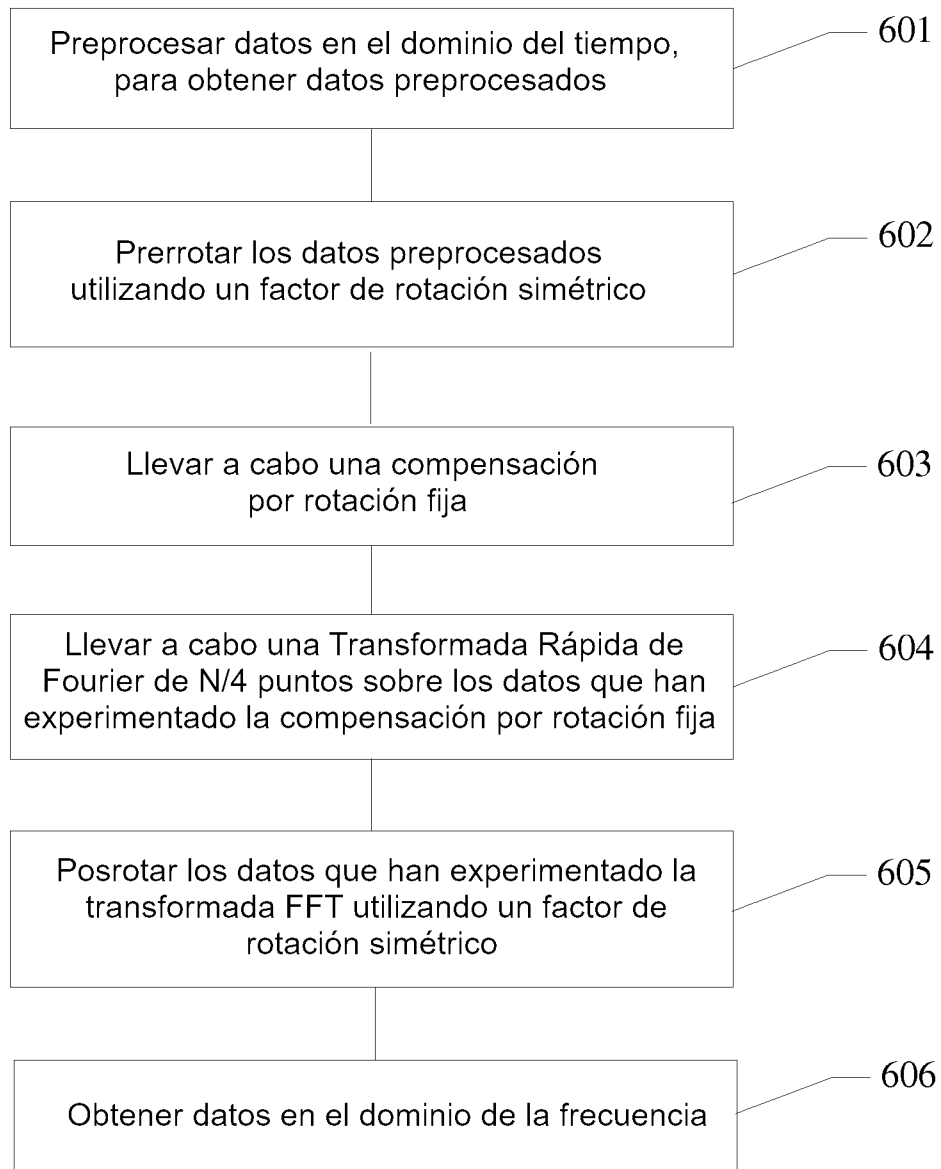


FIG. 6

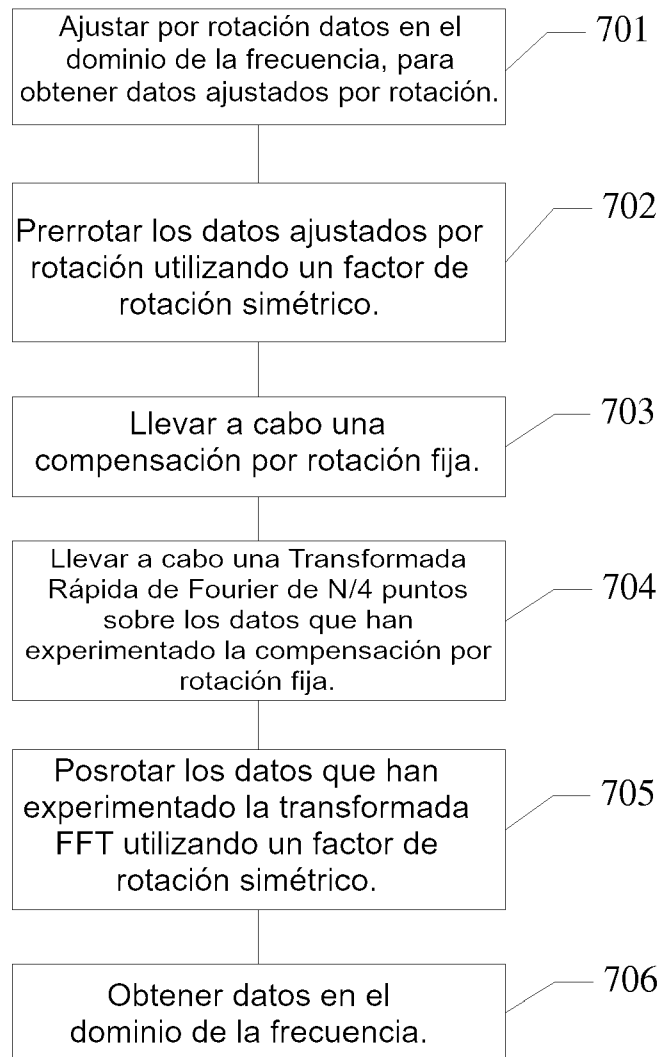


FIG. 7

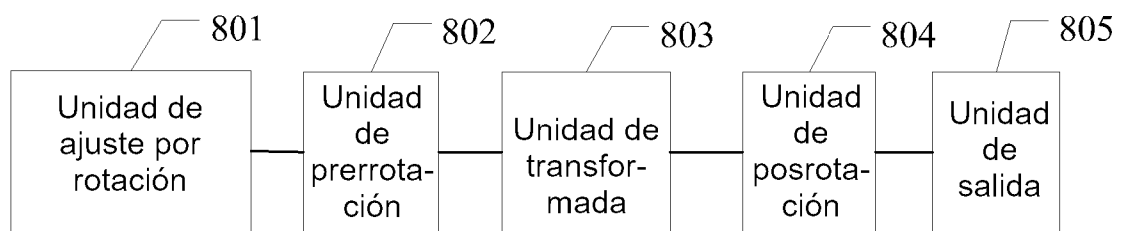


FIG. 8

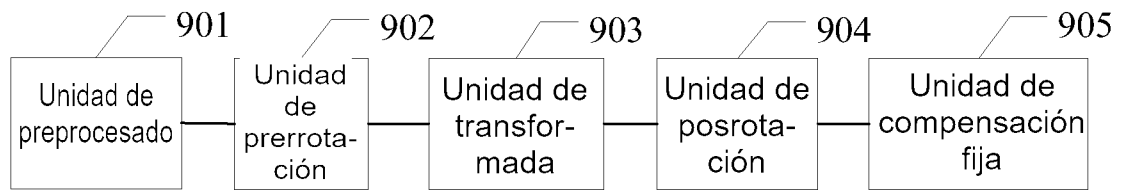


FIG. 9

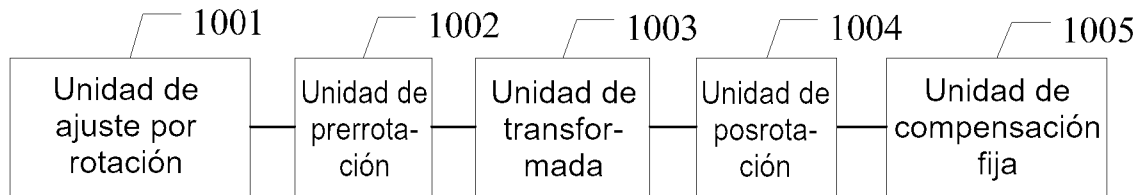


FIG. 10