

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 721 023**

51 Int. Cl.:

H04N 19/12 (2014.01)

H04N 19/88 (2014.01)

H04N 19/147 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.11.2014 PCT/FR2014/053069**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.06.2015 WO15079179**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.11.2014 E 14814981 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.02.2019 EP 3075155**

54 Título: **Procedimiento de codificación y de decodificación de imágenes, dispositivo de codificación y de decodificación de imágenes y programas de ordenador correspondientes**

30 Prioridad:

29.11.2013 FR 1361822

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

26.07.2019

73 Titular/es:

**ORANGE (100.0%)
78, rue Olivier de Serres
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**PHILIPPE, PIERRICK y
VORWERK, HENDRIK**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 721 023 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

Procedimiento de codificación y de decodificación de imágenes, dispositivo de codificación y de decodificación de imágenes y programas de ordenador correspondientes

5 Campo de la invención

La presente invención está relacionada, de manera general, con el campo del tratamiento de imágenes y, más precisamente, con la codificación y con la decodificación de imágenes digitales y de secuencias de imágenes digitales.

10 La codificación/decodificación de imágenes digitales se aplica, en concreto, a unas imágenes procedentes de al menos una secuencia de vídeo que comprende:

- 15 - unas imágenes procedentes de una misma cámara y que se suceden temporalmente (codificación/decodificación de tipo 2D),
- unas imágenes procedentes de diferentes cámaras orientadas según unas vistas diferentes (codificación/decodificación de tipo 3D),
- unas componentes de textura y de profundidad correspondientes (codificación/decodificación de tipo 3D),
- 20 - etc...

La presente invención se aplica de manera similar a la codificación/decodificación de imágenes de tipo 2D o 3D.

La invención puede, en concreto, pero no exclusivamente, aplicarse a la codificación de vídeo implementada en los codificadores de vídeo actuales AVC y HEVC y sus extensiones (MVC, 3D-AVC, MV-HEVC, 3D-HEVC, etc.) y a la decodificación correspondiente.

Técnica anterior

30 Los codificadores de vídeo actuales (MPEG, H.264, HEVC, ...) utilizan una representación por bloques de la secuencia de vídeo. Las imágenes se recortan en bloques, que son susceptibles de recortarse de forma recursiva. Luego, cada bloque se codifica por predicción intraimágenes o interimágenes. De este modo, algunas imágenes se codifican por predicción espacial (predicción intra), otras imágenes se codifican, igualmente, por predicción temporal (predicción inter) con respecto a una o varias imágenes de referencia codificadas-decodificadas, con la ayuda de una compensación de movimiento conocida por el experto en la técnica.

35 Para cada bloque se codifica un bloque residual, también llamado residual de predicción, correspondiente al bloque original disminuido en una predicción. Los bloques residuales se transforman con la ayuda de una operación matemática de transformación, luego, se cuantifican con la ayuda de una operación matemática de cuantificación, por ejemplo, de tipo escalar. Se obtienen unos coeficientes al final de la etapa de cuantificación. A continuación, se examinan en un orden de lectura que depende del modo de codificación que se ha elegido. En la norma HEVC, por ejemplo, el orden de lectura depende de la predicción realizada y puede efectuarse en el orden "horizontal", "vertical" o "diagonal".

45 Al final del examen anteriormente citado, se obtiene una lista monodimensional de coeficientes. Los coeficientes de esta lista se codifican, entonces, en forma de bits por una codificación entrópica cuya finalidad es codificar los coeficientes sin pérdida.

En lo que se refiere a la operación de transformación matemática anteriormente citada, las transformaciones de tipo bloque son las más utilizadas, ya que reúnen tres criterios importantes:

- 50 - son unas transformadas de bloque, de este modo, es fácil manipular los bloques independientemente los unos de los otros,
- son eficaces para compactar la información en el campo de frecuencia, allí donde opera la operación de reducción de velocidad,
- 55 - se aplican con la ayuda de algoritmos rápidos que aseguran una complejidad algorítmica limitada.

En el campo de la codificación de vídeo, las transformadas discretas de coseno, DCT (abreviatura inglesa de "Discrete Cosine Transform") o las transformadas discretas de seno, DST (abreviatura inglesa de "Discrete Sine Transform"), se priorizan por su rapidez de ejecución. En particular, se aplican de forma separable en pocas operaciones y disponen de aplicaciones bien adaptadas para el tratamiento en procesador de coma fija.

Los bits obtenidos después de codificación entrópica se inscriben en una señal o flujo de datos que está destinada a transmitirse al decodificador.

65

De forma conocida de por sí, una señal de este tipo comprende:

- los coeficientes cuantificados contenidos en la lista anteriormente citada,
- unas informaciones representativas del modo de codificación utilizado, en particular:
 - el modo de predicción (predicción intra, predicción inter, predicción por defecto que realiza una predicción para la que no se transmite ninguna información al decodificador (en inglés "skip"));
 - unas informaciones que precisan el tipo de predicción (orientación, imagen de referencia, ...);
 - el tipo de recorte del bloque;
 - el tipo de transformada, por ejemplo, DCT 4x4, DCT 8x8, etc...
 - las informaciones de movimiento, en caso necesario;
 - etc.

Una vez que el decodificador ha recibido el flujo, la decodificación se hace imagen por imagen y para cada imagen, bloque por bloque. Para cada bloque, se leen los elementos correspondientes del flujo. La cuantificación inversa y la transformación inversa de los coeficientes de los bloques se efectúan para producir el residual de predicción decodificado. Luego, se calcula la predicción del bloque y se reconstruye el bloque añadiendo la predicción al residual de predicción decodificado.

La técnica de codificación/decodificación convencional que acaba de describirse permite, ciertamente, unas mejoras de las prestaciones de codificación. Según el contexto de vídeo, permite, en concreto:

- una mejora de la calidad de las imágenes para una velocidad dada del residual utilizado para transmitir las imágenes,
- una reducción de la velocidad de transmisión de las imágenes para un criterio de calidad de imágenes previamente fijado.

No obstante, unas prestaciones de codificación de este tipo no están actualmente optimizadas y tienen como objetivo todavía ser mejoradas, en particular, desde el punto de vista de la minimización del coste velocidad/distorsión o bien de la elección del mejor compromiso eficacia/complejidad, que son unos criterios que el experto en la materia conoce bien. Se conoce por el documento francés FR 2 899 744 un procedimiento de codificación que utiliza una transformación por bloques de píxeles. En este procedimiento, se definen unas permutaciones de píxeles para unos tamaños de bloques.

Objeto y sumario de la invención

Uno de los objetivos de la invención es remediar unos inconvenientes del estado de la técnica anteriormente citado.

Para tal efecto, un objeto de la presente invención se refiere a un procedimiento de codificación de al menos una imagen recortada en bloques.

El procedimiento de codificación según la invención es destacable por que, para un bloque corriente a codificar, implementa las etapas de:

- predicción del bloque corriente con la ayuda de al menos un bloque predictor,
- determinación de un bloque residual de datos representativo de la diferencia entre el bloque predictor y el bloque corriente,
- selección, según un criterio de prestación de codificación predeterminado, de un par de operaciones matemáticas que comprenden una operación de permutación y una operación de transformación de entre respectivamente una pluralidad de operaciones de permutación y una pluralidad de operaciones de transformación,
- aplicación de la operación de permutación del par seleccionado a los datos del bloque residual determinado,
- aplicación de la operación de transformación del par seleccionado a los datos permutados,
- codificación de los datos procedentes de la operación de transformación aplicada.

Una disposición de este tipo tiene como ventaja que mejora significativamente las prestaciones de compresión de la señal de datos a transmitir al decodificador, por una mejor elección del compromiso eficacia/complejidad. En otros términos, las prestaciones de codificación son mejores que las obtenidas en la técnica anterior promediando a la vez una sencillez de implementación de las etapas de codificación y una complejidad limitada en la decodificación.

Según un modo de realización particular, la pluralidad de operaciones de transformación contiene una transformada discreta de seno.

La elección de una transformada DST permite ventajosamente optimizar las prestaciones de codificación, pero, igualmente, reducir los recursos de cálculos.

Según una primera variante, la elección de una transformada DST de entre la pluralidad de operaciones de transformación disponibles se impone en la codificación, lo que simplifica la etapa de selección de una transformada.

5 Según una segunda variante, la pluralidad de operaciones de transformación contiene una sola operación de transformación que es una transformada DST. Esta segunda variante tiene como ventaja que el codificador no está necesariamente obligado a transmitir al decodificador el índice asociado a la transformada DST, en el caso, por supuesto, en que este índice ya está disponible en el decodificador. Por este hecho, el coste de señalización de las informaciones de codificación se encuentra por ello reducido eficazmente.

10 Según otro modo de realización particular, el criterio predeterminado es la minimización del coste velocidad-distorsión del bloque corriente a codificar.

La elección de un criterio de este tipo optimiza la selección del par permutación-transformada.

15 Según otro modo de realización particular, la operación de permutación seleccionada consiste en desplazar poco a poco los datos del bloque residual determinado, de conformidad con una operación de trasposición de los datos de dicho bloque residual.

20 Este tipo de permutación tiene como ventaja que es particularmente sencillo desde un punto de vista calculatorio.

Los diferentes modos o características de realización anteriormente citados pueden añadirse, independientemente o en combinación, los unos con los otros, a las etapas del procedimiento de codificación tal como se ha definido más arriba.

25 La invención se refiere, igualmente, a un dispositivo de codificación de al menos una imagen recortada en bloques.

Un dispositivo de codificación de este tipo es destacable por que comprende, para un bloque corriente a codificar:

- 30 - un módulo para predecir el bloque corriente con la ayuda de al menos un bloque predictor,
- un módulo para determinar un bloque residual de datos representativo de la diferencia entre el bloque predictor y el bloque corriente,
- un módulo para seleccionar, según un criterio de prestación de codificación predeterminado, un par de operaciones matemáticas que comprenden una operación de permutación y una operación de transformación de entre respectivamente una pluralidad de operaciones de permutación y una pluralidad de operaciones de transformación,
- 35 - un módulo de permutación para aplicar la operación de permutación del par seleccionado a los datos del bloque residual determinado,
- un módulo de transformación para aplicar la operación de transformación del par seleccionado a los datos permutados,
- un módulo de codificación para codificar los datos suministrados por el módulo de transformación.

40 Un dispositivo de codificación de este tipo es adecuado, en concreto, para implementar el procedimiento de codificación descrito anteriormente.

45 La invención también se refiere a un procedimiento de decodificación de una señal de datos representativa de al menos una imagen recortada en bloques.

Un procedimiento de decodificación de este tipo es destacable por que comprende, para un bloque corriente a decodificar, las etapas de:

- 50 - determinación, en la señal de datos, de datos representativos de un bloque residual corriente asociado al bloque corriente a decodificar,
- determinación de al menos un bloque predictor del bloque corriente a decodificar,
- determinación de un par de operaciones matemáticas que comprenden una operación de transformación y una operación de permutación,
- 55 - aplicación de la operación de transformación del par de operaciones determinado a los datos representativos de un bloque residual corriente,
- aplicación de la operación de permutación del par determinado a los datos obtenidos a continuación de la aplicación de la operación de transformación,
- reconstrucción del bloque corriente con la ayuda del bloque predictor determinado y de los datos procedentes de la operación de permutación aplicada.

60

Según un modo de realización particular, la etapa de determinación del par de operaciones matemáticas implementa las siguientes etapas:

- 65 - lectura, en la señal de datos, de una información representativa del par de operaciones de permutación y de transformación seleccionado en la codificación del bloque corriente a decodificar,

- determinación de las operaciones de permutación y de transformación respectivamente inversas de las operaciones de permutación y de transformación del par asociado a la información leída.

5 Un modo de realización de este tipo se implementa cuando la cantidad de los datos que señalan el par de operaciones de permutación y de transformación transmitido está menguada, lo que tiene como consecuencia que no se permite que el decodificador encuentre él mismo el par de operaciones de permutación y de transformación que se ha seleccionado en la codificación.

10 Según otro modo de realización particular, la etapa de determinación del par de operaciones matemáticas consiste en:

- aplicar a los datos representativos del bloque residual corriente una pluralidad de pares de operaciones matemáticas que comprenden una operación de transformación seguida de una operación de permutación, eligiéndose las operaciones de transformación y de permutación de entre respectivamente una pluralidad predeterminada de operaciones de transformación y una pluralidad predeterminada de operaciones de permutación,
- reconstruir una pluralidad de bloques respectivamente a partir de la pluralidad de pares aplicada,
- seleccionar un bloque reconstruido de entre la pluralidad de bloques reconstruidos, por maximización de un criterio de coherencia aplicado a la pluralidad de bloques reconstruidos.

20 Otro modo de realización de este tipo se implementa cuando el decodificador es capaz de encontrar él mismo el par de operaciones de permutación y de transformación que se ha seleccionado en la codificación.

25 Este otro modo de realización permite una reducción del coste de señalización más importante que la obtenida en el modo de realización anterior, ya que el índice de la operación de permutación y/o el índice de la operación de transformación que se han seleccionado en la codificación no se transmiten obligatoriamente en la señal de datos recibida en el decodificador.

30 Según otro modo de realización particular, la operación de transformación determinada o seleccionada es una transformada discreta de seno.

35 Según otro modo de realización particular, la operación de permutación del par de operaciones determinado consiste en desplazar poco a poco los datos obtenidos como continuación a la aplicación de la operación de transformación del par determinado, de conformidad con una operación de trasposición de estos datos.

Los diferentes modos o características de realización anteriormente citados pueden añadirse, independientemente o en combinación, los unos con los otros, a las etapas del procedimiento de decodificación tal como se ha definido más arriba.

40 Correlativamente, la invención también se refiere a un dispositivo de decodificación de una señal de datos representativa de al menos una imagen recortada en bloques.

Un dispositivo de decodificación de este tipo es destacable por que comprende, para un bloque corriente a decodificar:

- un módulo para determinar, en la señal de datos, unos datos representativos de un bloque residual corriente asociado al bloque corriente a decodificar,
- un módulo para determinar al menos un bloque predictor del bloque corriente a decodificar,
- un módulo para determinar un par de operaciones matemáticas que comprenden una operación de transformación y una operación de permutación,
- un módulo de transformación para aplicar la operación de transformación del par determinado a los datos representativos del bloque residual corriente,
- un módulo de permutación para aplicar la operación de permutación del par determinado a los datos transformados,
- un módulo de predicción para reconstruir el bloque corriente con la ayuda del bloque predictor determinado y de los datos suministrados por el módulo de permutación.

55 Un dispositivo de decodificación de este tipo es adecuado, en concreto, para implementar el procedimiento de decodificación anteriormente citado.

60 La invención se refiere también a un programa de ordenador que incluye unas instrucciones para implementar uno de los procedimientos de codificación y de decodificación según la invención, cuando se ejecuta en un ordenador.

Este programa puede utilizar cualquier lenguaje de programación y estar en forma de código fuente, código objeto o de código intermedio entre código fuente y código objeto, tal como en una forma parcialmente compilada o en cualquier otra forma deseable.

65

La invención tiene como propósito, igualmente, un soporte de registro legible por un ordenador en el que está registrado un programa de ordenador, incluyendo este programa unas instrucciones adaptadas para la implementación de uno de los procedimientos de codificación o de decodificación según la invención, tales como se describen más arriba.

5 La invención tiene como propósito, igualmente, un soporte de registro legible por un ordenador en el que está registrado un programa de ordenador, incluyendo este programa unas instrucciones adaptadas para la implementación del procedimiento de codificación o de decodificación según la invención, tales como se describen más arriba.

10 El soporte de registro puede ser cualquier entidad o dispositivo capaz de almacenar el programa. Por ejemplo, el soporte puede incluir un medio de almacenamiento, tal como una ROM, por ejemplo, un CD ROM o una ROM de circuito microelectrónico o también un medio de registro magnético, por ejemplo, una llave USB o un disco duro.

15 Por otra parte, el soporte de registro puede ser un soporte transmisible tal como una señal eléctrica u óptica, que puede encaminarse mediante un cable eléctrico u óptico, por radio o por otros medios. El programa según la invención puede descargarse, en particular, en una red de tipo Internet.

20 De manera alternativa, el soporte de registro puede ser un circuito integrado en el que está incorporado el programa, estando el circuito adaptado para ejecutar o para utilizarse en la ejecución del procedimiento de codificación o de decodificación anteriormente citado.

25 El procedimiento de decodificación, el dispositivo de codificación, el dispositivo de decodificación, los programas de ordenador y los soportes de registro correspondientes anteriormente citados presentan al menos las mismas ventajas que las conferidas por el procedimiento de codificación según la presente invención.

Breve descripción de los dibujos

Otras características y ventajas se pondrán de manifiesto con la lectura de un modo de realización preferente descrito con referencia a las figuras en las que:

- 30
- la figura 1 representa las etapas del procedimiento de codificación según la invención,
 - la figura 2 representa un modo de realización de un dispositivo de codificación según la invención,
 - la figura 3A representa una tabla que contiene diferentes pares permutación-transformación que se utilizan en el caso de un bloque 4x4,
 - 35 - las figuras 3B y 3C representan una tabla que contiene diferentes pares permutación-transformación que se utilizan en el caso de un bloque 8x8,
 - la figura 4 representa un modo de realización de un dispositivo de decodificación según la invención,
 - la figura 5 representa las principales etapas del procedimiento de decodificación según la invención,
 - la figura 6A representa un primer modo de realización de la etapa de determinación del par de operaciones de permutación y de transformación implementada en el procedimiento de decodificación de la figura 5,
 - 40 - la figura 6B representa un segundo modo de realización de la etapa de determinación del par de operaciones de permutación y de transformación implementada en el procedimiento de decodificación de la figura 5.

Descripción detallada de la parte de codificación

45 En este momento, se va a describir un modo de realización de la invención, en el que se utiliza el procedimiento de codificación según la invención para codificar una imagen o una secuencia de imágenes según un flujo binario cercano al que se obtiene por una codificación de acuerdo con, por ejemplo, la norma HEVC.

50 En este modo de realización, el procedimiento de codificación según la invención se aplica, por ejemplo, de manera con software o material por modificaciones de un codificador inicialmente de acuerdo con la norma HEVC. El procedimiento de codificación según la invención se representa en forma de un algoritmo que incluye unas etapas C1 a C15 tales como se representan en la figura 1.

55 Según el modo de realización de la invención, el procedimiento de codificación según la invención se aplica en un dispositivo de codificación CO representado en la figura 2.

60 Como se ilustra en la figura 2, un dispositivo de codificación de este tipo comprende una memoria MEM_CO que comprende una memoria tampón MT_CO, una unidad de tratamiento UT_CO equipada, por ejemplo, con un microprocesador μ P y pilotada por un programa de ordenador PG_CO que implementa el procedimiento de codificación según la invención. En la inicialización, las instrucciones de código del programa de ordenador PG_CO se cargan, por ejemplo, en una memoria RAM (no representada) antes de ejecutarse por el procesador de la unidad de tratamiento UT_CO.

65 El procedimiento de codificación representado en la figura 1 se aplica a cualquier imagen corriente de una secuencia SC de imágenes a codificar.

5 En el curso de una etapa C1 representada en la figura 1, se procede, de forma conocida de por sí, al particionado de una imagen corriente IC_j que pertenece a la secuencia SC de imágenes $IC_1, \dots, IC_j, \dots, IC_N$ ($1 \leq j \leq N$), en una pluralidad de bloques $B_1, B_2, \dots, B_u, \dots, B_s$ ($1 \leq u \leq s$) de tamaño dado, siendo unos valores de tamaño típicos 64×64 , 32×32 o 16×16 píxeles. Una etapa de particionado de este tipo se implementa por un módulo de software de particionado MP_CO representado en la figura 2, módulo que está pilotado por el microprocesador μP de la unidad de tratamiento UT_CO.

10 Es conveniente señalar que, en el sentido de la invención, el término "bloque" significa unidad de codificación (del inglés "coding unit"). Esta última terminología se utiliza, en concreto, en la norma HEVC, por ejemplo, en el documento "Recommendation ITU-T H.265 / Norme ISO/IEC 23008-2".

15 En particular, una unidad de codificación de este tipo reagrupa unos conjuntos de píxeles de forma rectangular o cuadrada, también llamados bloques, macrobloques, o bien unos conjuntos de píxeles que presentan otras formas geométricas.

20 De manera preferente en la invención, los bloques a codificar son particularmente de tamaño múltiple de potencia de 2, por ejemplo, de tipo 4×4 y 8×8 . No obstante, la invención se aplica, igualmente, más generalmente, a unos bloques de tamaño $M \times M$ ($M=16, 32$ o 64). Unos bloques $P \times M$ y $M \times P$ son utilizables, igualmente, con P y M tomando su valor en el conjunto 2, 4, 8, 16, 32 y 64.

25 Dichos bloques $B_1, B_2, \dots, B_u, \dots, B_s$ están destinados a codificarse según un orden de examen predeterminado, que es, por ejemplo, del tipo de exploración por trama. Esto significa que los bloques se codifican los unos después de los otros, de la izquierda hacia la derecha, luego, hacia abajo.

30 Por supuesto, son posibles otros tipos de examen. De este modo, es posible recortar la imagen IC_j en varias subimágenes llamadas porciones y aplicar independientemente un recorte de este tipo sobre cada subimagen. Es posible, igualmente, codificar no una sucesión de líneas, como se ha explicado más arriba, sino una sucesión de columnas. Es posible, igualmente, examinar las líneas o columnas en un sentido o en el otro

35 Por otra parte, cada bloque puede ser dividido él mismo en subbloques que son ellos mismos subdivisibles.

40 En el curso de una etapa C2 representada en la figura 1, el codificador CO selecciona como bloque corriente un primer bloque a codificar B_u de la imagen IC_j , tal como, por ejemplo, el primer bloque B_1 .

45 En el curso de una etapa C3 representada en la figura 1, se procede a la predicción del bloque corriente B_u por unas técnicas conocidas de predicción intra y/o inter. Para tal efecto, el bloque B_u se predice con respecto a al menos un bloque predictor de conformidad con un modo de predicción seleccionado de entre una pluralidad de modos de predicción predeterminados.

50 Un bloque predictor de este tipo es, por ejemplo, un bloque de píxeles que ya se ha codificado o bien codificado, luego, decodificado o no. Un bloque predictor de este tipo se almacena previamente en la memoria tampón MT_CO del codificador CO, tal como se representa en la figura 2.

55 Al final de la etapa C3 de predicción, se obtiene un bloque predictor óptimo BP_{opt} como continuación a una puesta en competición de dichos modos de predicción predeterminados, por ejemplo, por minimización de un criterio velocidad-distorsión que el experto en la materia conoce bien. El bloque BP_{opt} se considera como una aproximación del bloque corriente B_u . Las informaciones relativas a esta predicción están destinadas a inscribirse en una señal o flujo de datos a transmitir a un decodificador. Unas informaciones de este tipo comprenden, en concreto, el tipo de predicción (inter o intra) y, llegado el caso, el modo de predicción seleccionado, el tipo de particionado del bloque corriente si este último se ha subdividido, el índice de imagen de referencia y el vector de movimiento utilizados en el caso en que se ha seleccionado un modo de predicción inter. Estas informaciones se comprimen por el codificador CO.

60 En el curso de una etapa C4 representada en la figura 1, se procede a la comparación de los datos relativos al bloque corriente B_u a los datos del bloque predictor BP_{opt} . Más precisamente, en el curso de esta etapa, se procede convencionalmente al cálculo de la diferencia entre el bloque predictor obtenido BP_{opt} y el bloque corriente B_u .

65 Un conjunto de datos de residuo, llamado bloque residual Br_u se obtiene, entonces, al final de la etapa C4.

Las etapas C3 y C4 se implementan por un módulo de software de codificación predictiva PRED_CO representado en la figura 2, módulo que está pilotado por el microprocesador μP de la unidad de tratamiento UT_CO.

En el curso de una etapa C5 representada en la figura 1, se procede a la selección, según un criterio predeterminado, de un par de operaciones matemáticas que comprenden una operación de permutación OP_m^* y una operación de transformación OT_n^* de entre respectivamente una pluralidad de operaciones de permutación $OP_0, OP_1, \dots, OP_m, \dots, OP_{K-1}$, con $0 \leq m \leq K-1$ y $0 \leq m^* \leq K-1$ y una pluralidad de operaciones de transformación $OT_0, OT_1, \dots, OT_n, \dots, OT_{L-1}$, con $0 \leq n \leq L-1$ y $0 \leq n^* \leq L-1$. La pluralidad de operaciones de permutación y de transformación se almacena en una memoria dedicada MD_CO del codificador CO de la figura 2.

Una etapa C5 de este tipo se implementa por un módulo de software de cálculo CÁL_CO representado en la figura 2, módulo que está pilotado por el microprocesador µP de la unidad de tratamiento UT_CO.

5 La pluralidad de operaciones de transformación OT₀, OT₁,..., OT_n,..., OT_{L-1} comprende una o varias transformadas de tipo 1D.

Por transformada 1D, se entiende una transformada discreta de tamaño MxM que opera sobre unos vectores de tamaño M. Para tal efecto:

- 10
- se aplica una primera operación de transformación vector por vector sobre un bloque de tamaño MxM,
 - se aplica una operación de trasposición sobre el bloque transformado,
 - se aplica una segunda operación de transformación sobre el bloque obtenido después de trasposición, igualmente, vector por vector.

15 Esta transformada 1D descansa sobre unas bases expresadas en forma trigonométrica, tales como lo son las transformadas discretas de seno (DST) o discretas de coseno (DCT). De manera preferente, las transformadas que pertenecen a la pluralidad de transformadas OT₀, OT₁,..., OT_n,..., OT_{L-1} son unas transformadas DCT del tipo II, III y IV y unas transformadas DST del tipo IV, VI y VII que se describen en el documento "Relationship between DCT-II, DCT-VI, AND DST-VII TRANSFORMS", Reznik ICASSP 2013.

20 De entre estas transformadas, la DCT de tipo II, de tipo III y la DST de tipo VII y de tipo IV son particularmente interesantes por su capacidad para hacer la señal de residuo compacta en el campo de frecuencia.

25 Unas transformadas de este tipo son, por ejemplo, de tamaño 4x4, 8x8 etc.

Como variante, las transformadas utilizadas pueden ser de tipo alterno, es decir, que una transformada de un primer tipo y que una transformada de un segundo tipo se aplican respectivamente sobre las líneas y sobre las columnas del bloque residual corriente Br_u cuyos datos se han permutado previamente, como se describirá esto más abajo en la descripción.

30 Según esta variante, las transformadas anteriormente citadas también pueden ser rectangulares. Para un bloque residual corriente Br_u de forma rectangular, la transformada de línea tendrá un tamaño diferente de la transformada de columna.

35 Es conveniente señalar que la combinación de la transformada de línea y de la transformada de columna puede aplicarse directamente al bloque residual corriente Br_u.

40 En el campo de la codificación/decodificación de vídeo, con vistas a permitir una aplicación en procesadores de coma fija, se aproximan unas transformadas de este tipo, es decir, que los valores reales se aproximan por unos números racionales. Por lo tanto, no se encuentran exactamente las transformadas en sentido estricto, sino en forma aproximada.

45 De este modo, por ejemplo, en el caso de una transformada DST VII de tamaño 4, esta última puede expresarse según la ecuación:

$$S_{i,k} = \frac{2}{3} \text{sen} \left[\pi \cdot \frac{(2k+1)(i+1)}{9} \right] \text{ con } 0 \leq i < 4 \text{ y } 0 \leq k < 4$$

50 Entonces, se obtiene la siguiente matriz 4x4 de coeficientes, con i que evoluciona según las columnas y k que evoluciona según las líneas:

0,2280	0,4285	0,5774	0,6565
0,5774	0,5774	0,0000	0,5774
0,6565	0,2280	0,5774	0,4285
0,4285	0,6565	0,5774	0,2280

Dichos valores de coeficiente de más arriba pueden representarse, igualmente, en forma de fracciones de la siguiente forma, lo que permite una aplicación eficaz en coma fija:

29/128	55/128	74/128	84/128
74/128	74/128	0	-74/128
84/128	-29/128	-74/128	55/128
55/128	-84/128	74/128	-29/128

55

La pluralidad de operaciones de permutación $OP_0, OP_1, \dots, OP_m, \dots, OP_{K-1}$ comprende una o varias operaciones de permutación. En el sentido de la invención, una operación de permutación, cuyo un ejemplo se representa más abajo, se define en forma de una matriz que contiene únicamente unos 1 y unos 0. En el ejemplo representado de más abajo, una matriz de permutación de este tipo se aplica a un conjunto E_{EN} de coeficientes sucesivos, por ejemplo, en número de dieciséis para un bloque de tamaño 4×4 , de índices respectivos $l_0, l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7, l_8, l_9, l_{10}, l_{11}, l_{12}, l_{13}, l_{14}, l_{15}$.

5

E_{SO}	matriz de permutación														E_{EN}	
l_3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	l_0
l_2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	l_1
l_1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	l_2
l_0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	l_3
l_7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	l_4
l_6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	l_5
l_5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	l_6
l_4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	l_7
l_{11}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	l_8
l_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	l_9
l_9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	l_{10}
l_8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	l_{11}
l_{15}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	l_{12}
l_{14}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	l_{13}
l_{13}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	l_{14}
l_{12}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	l_{15}

Al final de la operación de permutación de más arriba, se obtiene un conjunto E_{SO} de índices permutados $l_3, l_2, l_1, l_6, l_7, l_6, l_5, l_4, l_{11}, l_{10}, l_9, l_8, l_{15}, l_{14}, l_{13}, l_{12}$. Una operación de permutación de este tipo tiene como ventaja que no genera complejidad calculatoria al nivel del codificador CO de la figura 2, puesto que se trata justo de una redirección de los índices.

10

Más precisamente en el curso de la etapa C5 anteriormente citada, se procede a la elección del par permutación-transformación a utilizar que optimiza las prestaciones de codificación del bloque corriente B_u a codificar. Una elección de este tipo puede efectuarse según varias formas.

15

Según un modo de realización, el criterio de elección predeterminado utilizado en la etapa C5 es el criterio velocidad-distorsión que el experto en la materia conoce bien que consiste en medir una ponderación de la distorsión después de cuantificación con el coste de transmisión de las muestras cuantificadas. Típicamente, para un par permutación OP_m - transformación OT_n considerado, el criterio $J_{m,n}$ se expresa de la siguiente forma:

20

$$J_{m,n}(\lambda) = \|x - OP_m^t OT_n^{-1} [X_{m,n}]\|^2 + \lambda \cdot R([X_{m,n}]),$$

donde:

25

- λ es un operador lagrangiano de ponderación que regula la restricción de velocidad de transmisión,
- $()^t$ es el operador matricial de trasposición,
- OT_n^{-1} representa la transformación inversa,
- $I_{X_{m,n}}$ representa la aproximación de $X_{m,n}$ realizada según el operador de cuantificación, siendo $X_{m,n}$ el resultado de la transformación del bloque corriente B_u a codificar por el par de operaciones OT_n, OP_m considerado.
- $R()$ es una función que calcula la velocidad necesaria para transmitir los valores cuantificados.

30

La función R puede obtenerse por codificación completa de las informaciones, es decir, pasando por el recuento de las informaciones necesarias para la transmisión de los valores cuantificados y codificados o por una estimación de la velocidad, por ejemplo, que puede apoyarse en un cálculo de la suma de los valores absolutos de los valores cuantificados o en un recuento de los valores cuantificados en cero.

35

A continuación de una comparación entre los diferentes valores obtenidos para $J_{m,n}$, se opta por el valor más escaso calculado por el módulo de cálculo $CÁL_CO$ de la figura 2. Un valor de este tipo se anota como J_{m^*,n^*} y se asocia a un par de operaciones permutación OP_{m^*} - transformación OT_{n^*} considerado.

40

En un modo de realización simplificado de la invención, la pluralidad de operaciones de permutación comprende, por ejemplo, dos permutaciones OP_0 y OP_1 , mientras que la pluralidad de operaciones de transformación comprende una

sola transformación OT_0 , por ejemplo, la DST de tipo VII. Para tal efecto, en el curso de la etapa C5 anteriormente citada, se calculan solo dos criterios de velocidad-distorsión, a saber:

- 5 - el criterio $J_{0,0}$ que depende de la permutación OP_0 y de la transformación OT_0 ,
- y el criterio $J_{1,0}$ que depende de la permutación OP_1 y de la transformación OT_0 .

El módulo de cálculo CÁL_CO de la figura 2 compara los dos criterios $J_{0,0}$ y $J_{1,0}$, opta por el que tiene el valor más escaso y asocia un índice m^*,n^* a este valor. De este modo, si $J_{0,0} < J_{1,0}$, entonces $m^*,n^*=0$, si no $m^*,n^*=1$.

- 10 Según una variante del modo de realización de la etapa de selección C5 anteriormente citada, esta última puede efectuarse conjuntamente con la búsqueda del bloque predictor óptimo $B_{\text{ópt}}$ durante la etapa de predicción C3 anteriormente citada. Más precisamente, para cada modo de predicción considerado, se determina un par permutación-transformación como que minimiza el criterio velocidad-distorsión $J_{m,n}$ anteriormente citado. De esta forma, las informaciones de velocidad durante la estimación del criterio $J_{m,n}$ tienen en cuenta la transmisión del modo de predicción. De este modo, todas las combinaciones predicción / permutación-transformación se evalúan para optar por la que minimiza el criterio velocidad-distorsión.
- 15

Una variante de este tipo también puede ampliarse tomando en cuenta diferentes tamaños posibles del bloque corriente. El interés de un particionado en subbloques del bloque corriente puede decidirse teniendo en cuenta el criterio velocidad-distorsión, por toma en cuenta de los pares permutación-transformación disponibles.

20

Unos ejemplos de pares de transformación-permutación se representan con referencia a las figuras 3A, 3B y 3C.

- 25 En el ejemplo de la figura 3A, una tabla T1 contiene los pares de transformación-permutación que están destinados a aplicarse a un bloque residual corriente Br_u de tamaño 4×4 y de índices de píxel sucesivos l_0 a l_{15} .

En el ejemplo de las figuras 3B y 3C, una tabla T2 contiene los pares de transformación-permutación que están destinados a aplicarse a un bloque residual corriente Br_u de tamaño 8×8 y de índices de píxel sucesivos l_0 a l_{63} .

- 30 Con referencia a la figura 3A, la tabla T1 comprende, por ejemplo, 28 permutaciones P_0 a P_{27} . La primera columna de la tabla T1 que lleva por título "Índice de píxel" indica el número del índice de píxel considerado (entre 0 y 15) en el bloque residual corriente Br_u . Las columnas siguientes están asociadas cada una a una permutación particular (P_0 a P_{27}), llamándose la permutación P_0 permutación "identidad", ya que no tiene ningún efecto sobre el orden de los índices de píxeles. Para una permutación dada, cada índice de píxel indicado por la columna "Índice píxel" se sustituye por el número del índice de píxel indicado por el valor correspondiente en la columna seleccionada.
- 35

Cada columna P_0 a P_{27} se asocia a una transformada particular de tipo DST o DCT según la permutación considerada, indicándose dicha transformada particular en la última línea de la tabla T1.

- 40 Con referencia a las figuras 3B y 3C, la tabla T2 comprende, por ejemplo, 29 permutaciones P_0 a P_{28} . La primera columna de la tabla T2 que lleva por título "Índice de píxel" indica el número del índice de píxel considerado (entre 0 y 63) en el bloque residual corriente Br_u . Las columnas siguientes están asociadas cada una a una permutación particular (P_0 a P_{28}), llamándose la permutación P_0 permutación "identidad", ya que no tiene ningún efecto sobre el orden de los índices de píxeles. Para una permutación dada, cada índice de píxel indicado por la columna "Índice píxel" se sustituye por el número del índice de píxel indicado por el valor correspondiente en la columna seleccionada.
- 45

En el ejemplo de las figuras 3B y 3C, cada permutación se asocia a una misma transformada de tipo DCT.

- 50 Las permutaciones indicadas en las tablas T1 y T2 se establecen por aprendizaje. Para tal efecto, las permutaciones proceden de transformaciones geométricas sencillas: inversión del orden de columnas/líneas, desplazamiento de bloques, desplazamiento de líneas o de columnas.

55 Algunas permutaciones se determinan por su sencillez de implementación, en el sentido en que las transformaciones consideradas están ligeramente afectadas cuando la relación interpíxel no se modifica, es decir, que después de permutación, cada píxel permanece cercano a sus vecinos antes de permutación. Una permutación que se prioriza es, por ejemplo, un operador de trasposición que desplaza poco a poco los datos del bloque de píxeles, según un sentido predeterminado. Se consideran otras permutaciones.

60 Por ejemplo, en la tabla T1 representada en la figura 3A:

- la permutación P_1 es un operador espejo del bloque de píxeles, invirtiéndose los índices de píxeles los unos con respecto a los otros por medio de una simetría vertical,
 - la permutación P_4 permite invertir los índices de píxeles por trasposición, es decir, simetría diagonal, con respecto a un ángulo de 45° que comparte el bloque residual Br_u .
- 65

Las diferentes permutaciones se han aprendido por un estudio de las propiedades intrínsecas de los bloques residuales. Según la potencia lumínica del residual medio por píxel, los píxeles se reordenan para que sean compatibles con una transformación particular. Se conoce en el estado de la técnica que la DCT es apropiada para codificar unos residuales que tienen un perfil de luminosidad constante, es decir, que el bloque residual tiene una luminosidad relativamente uniforme por píxel. La DST tiene un perfil apropiado para unos bloques residuales que tienen menos luminosidad en los píxeles situados arriba del bloque (por ejemplo, índices l_0 a l_3 en la figura 3A) y a la izquierda (por ejemplo, índices l_0 a l_{12} en la figura 3A).

De este modo, en particular, en la tabla T1 de la figura 3A, las permutaciones se establecen según la transformación indicada en la última línea.

La permutación "identidad" P_0 forma parte de las permutaciones por las que se opta, cuando el bloque residual B_{ru} tenga una forma compatible con la transformación asociada. En cambio, cuando el bloque residual es incompatible con la transformación asociada, entonces, el criterio velocidad-distorsión $J_{m,n}$ anteriormente citado tendrá un valor bastante más escaso con otra permutación que no sea la permutación P_0 .

Por supuesto, son posibles otras configuraciones de pares permutación-transformación y algunas se mencionarán más adelante en la descripción.

En el curso de una etapa C6 representada en la figura 1, se procede a la aplicación de la operación de permutación OP_{m^*} de dicho par de operaciones seleccionado a los datos del bloque residual corriente B_{ru} , para producir un bloque permutado B_{pu} .

La etapa C6 se implementa por un módulo de software MPER_CO de permutación, tal como se representa en la figura 2, módulo que está pilotado por el microprocesador μP de la unidad de tratamiento UT_CO.

En el curso de una etapa C7 representada en la figura 1, se procede a la aplicación de la operación de transformación OT_{n^*} de dicho par de operaciones seleccionado a los datos del bloque permutado B_{pu} , para producir un bloque transformado B_{tu} .

La etapa C7 se implementa por un módulo de software MT_CO de transformación, tal como se representa en la figura 2, módulo que está pilotado por el microprocesador μP de la unidad de tratamiento UT_CO.

La operación de transformación OT_{n^*} consiste en transformar el bloque permutado B_{pu} del campo espacial hacia el campo de frecuencia en la forma siguiente:

$$X_{Btu} = B \cdot (AX_{Bpu})^t$$

donde:

- X_{Bpu} representa en forma matricial el bloque permutado corriente B_{pu} en el campo espacial,
- X_{Btu} representa en forma matricial el bloque obtenido en el campo transformado,
- B y A representan unas transformadas 1D procedentes de las familias presentadas más arriba.

Señalemos que el resultado de la transformada puede escribirse, igualmente, en forma matemáticamente equivalente:

$$X = Sx$$

donde:

- X y x se presentan, entonces, en forma de vectores,
- S representa una matriz transformada que contiene el cuadrado del número de elementos contenidos en x .

La matriz S se escribe como un producto generalizado de las matrices 1D B y A . En otros términos, la matriz S se forma por construcción de una matriz $M \times M$ (M es el tamaño de las transformadas 1D), construida por repetición de la matriz A por bloques y multiplicación de cada una de las matrices A por un término de la matriz B . Como se ilustra más abajo, para el caso $M=4$, se obtiene, entonces, la matriz S de tipo 16×16 :

$B_{0,0} * A$	$B_{0,1} * A$	$B_{0,2} * A$	$B_{0,3} * A$
$B_{1,0} * A$	$B_{1,1} * A$	$B_{1,2} * A$	$B_{1,3} * A$
$B_{2,0} * A$	$B_{2,1} * A$	$B_{2,2} * A$	$B_{2,3} * A$
$B_{3,0} * A$	$B_{3,1} * A$	$B_{3,2} * A$	$B_{3,3} * A$

En un modo de realización preferente, dicha matriz S es una matriz representativa de una DST.

La operación de permutación OP_m^* consiste en aplicar una permutación sobre las entradas de la matriz X_{Bru} representativa del bloque residual corriente Br_u aplicada a los píxeles de la forma representada más abajo:

Bp_u	matriz de permutación P_m														Br_u	
l_3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	l_0
l_2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	l_1
l_1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	l_2
l_0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	l_3
l_7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	l_4
l_6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	l_5
l_5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	l_6
l_4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	l_7
l_{11}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	l_8
l_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	l_9
l_9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	l_{10}
l_8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	l_{11}
l_{15}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	l_{12}
l_{14}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	l_{13}
l_{13}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	l_{14}
l_{12}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	l_{15}

5 Entonces, se obtiene la relación $X_{Btu} = SOP_{m^*} X_{Bru}$, donde P_m representa una matriz de permutación de los índices de x , lo que tiene como efecto una inversión de las posiciones de píxel.

10 En el curso de una etapa C8 representada en la figura 1, se procede a la cuantificación del bloque Bt_u transformado, según una operación convencional de cuantificación, tal como, por ejemplo, una cuantificación escalar o vectorial. Entonces, se obtiene un bloque Bq_u de coeficientes cuantificados. Una etapa de este tipo se efectúa por medio de un módulo de software de cuantificación MQ_CO tal como se representa en la figura 2, módulo que está pilotado por el microprocesador μP de la unidad de tratamiento UT_CO.

15 En el curso de una etapa C9 representada en la figura 1, se procede a la codificación de los datos del bloque Bq_u de coeficientes cuantificados. En el modo preferente de realización, la codificación efectuada es una codificación entrópica de tipo aritmética o de Huffman que se conoce como tal. La etapa C9 consiste, entonces, en:

- 20 - leer el o los símbolos que están asociados a dicho bloque corriente,
- asociar unas informaciones digitales, tales como unos bits, al(a los) símbolo(s) leído(s).

Una etapa de codificación entrópica de este tipo se implementa por un módulo de software de codificación entrópica MCE representado en la figura 2, módulo que está pilotado por el microprocesador μP de la unidad de tratamiento UT_CO. El módulo de codificación entrópica MCE es, por ejemplo, de tipo CABAC ("Context Adaptive Binary Arithmetic Coder" en inglés). Igualmente, puede tratarse de un codificador de Huffman conocido como tal.

30 En el curso de dicha etapa C9, se procede, eventualmente, a la codificación del índice m^*, n^* del criterio J_{m^*, n^*} por el que se opta en la etapa C5 anteriormente citada. Una etapa de este tipo es necesaria, cuando el decodificador no es capaz de encontrar esta información.

Si m^*, n^* debe transmitirse al decodificador, entonces, se expresa, por ejemplo, sobre un código binario de longitud fija.

35

Si, por ejemplo, deben señalizarse cuatro valores de pares permutación-transformación: 0, 1, 2, 3,

- el valor 0 se asocia, por ejemplo, al código 00,
- el valor 1 se asocia, por ejemplo, al código 01,
- 5 - el valor 2 se asocia, por ejemplo, al código 10,
- el valor 3 se asocia, por ejemplo, al código 11.

Como variante, el índice m^*, n^* puede expresarse con la ayuda de un código de longitud variable.

10 En el caso, por ejemplo, de los cuatro valores de pares permutación-transformación: 0, 1, 2, 3 a señalar:

- el valor 0 se asocia, por ejemplo, al código 0,
- el valor 1 se asocia, por ejemplo, al código 10,
- el valor 2 se asocia, por ejemplo, al código 110,
- 15 - el valor 3 se asocia, por ejemplo, al código 111.

Según un modo prioritario de realización, la transmisión del índice m^*, n^* se separa en dos indicadores:

- un marcador que señala el primer bit de los códigos de más arriba,
- 20 - y un elemento de sintaxis complementario que indica en forma binaria los pares permutación-transformación menos probables.

El marcador se codifica ventajosamente con la ayuda de un codificador aritmético separado de la codificación del número de par por el que se opta. Se utiliza un codificador de tipo CABAC preferentemente, con un contexto particular según el tamaño de la subdivisión del bloque corriente. De este modo, es posible obtener una reducción significativa del coste de este marcador cuando este último se emplea muy frecuentemente en un estado dado, es decir, que su probabilidad de estar en '0' o en '1' es muy elevada.

De este modo, según este modo prioritario:

- el valor 0 se asocia, por ejemplo, al marcador posicionado en 0,
- el valor 1 se asocia, por ejemplo, al marcador posicionado en 1 con complemento 0,
- el valor 2 se asocia, por ejemplo, al marcador posicionado en 1 y complemento 10,
- el valor 3 se asocia, por ejemplo, al marcador posicionado en 1 y complemento 11.

Según otro modo de realización prioritario, el índice m^*, n^* se transmite únicamente por medio de un marcador. Este modo prioritario es aplicable en el caso en que una sola transformada, por ejemplo, DST, se aplica y en que dos operaciones de permutación OP_0 y OP_1 pueden aplicarse en combinación con la DST. Entonces, el par permutación-transformación SOP_0 o SOP_1 seleccionado en la etapa C5 anteriormente citada se señalará por un bit. Según una convención dada a título de ejemplo:

- la selección del par SOP_0 se representa por un bit en '1',
- la selección del par SOP_1 se representa por un bit en '0'.

45 En este modo de realización prioritario, se utiliza un codificador de tipo CABAC preferentemente, con un contexto particular según el tamaño de la subdivisión del bloque corriente. De este modo, es posible obtener una reducción significativa del coste de este marcador cuando este último se emplea muy frecuentemente en un estado dado, es decir, que su probabilidad de estar en '0' o en '1' es muy elevada.

50 En el caso en que pueden seleccionarse más de dos pares permutación-transformación, se utilizará un código de longitud fija o variable.

Según otro modo de realización posible, se procede, en el curso de la etapa C9, a una codificación parcial del valor del índice m^*, n^* . Como se describirá esto más adelante en la descripción, un modo de realización de este tipo es posible, cuando el decodificador es capaz de encontrar él mismo todo o parte del índice m^*, n^* .

Como variante, este otro modo de realización puede combinarse, igualmente, con la señalización implementada en el modo de realización prioritario descrito anteriormente.

60 Según una configuración particular dada a título de ejemplo:

- en el caso en que una sola transformada S, por ejemplo, DST, se aplica y en que una operación de permutación OP_0 se aplica en combinación con la DST, entonces, el par permutación-transformación SOP_0 seleccionado en la etapa C5 anteriormente citada se señalará por un bit en '0',

- en el caso en que una sola transformada S, por ejemplo, DST, se aplica y en que unas múltiples operaciones de permutación pueden aplicarse en combinación con la DST, entonces, el par permutación-transformación seleccionado en la etapa C5 anteriormente citada se señalará por un bit en '1'.

5 Al final de la etapa de codificación C9, entonces, se suministra una señal o flujo de datos F que contiene el conjunto de los datos codificados del bloque de coeficientes cuantificados B_{qu} y, eventualmente, la totalidad o una parte del índice m^*, n^* codificado. Un flujo de este tipo se transmite, a continuación, por una red de comunicación (no representada), a un terminal distante. Este incluye el decodificador DO representado en la figura 4. De forma conocida de por sí, el flujo F comprende, además, algunas informaciones codificadas por el codificador CO, tales como el tipo de predicción (inter o intra) y, llegado el caso, el modo de predicción seleccionado, el tipo de particionado del bloque si este último se ha particionado, el índice de imagen de referencia y el vector de movimiento utilizados en el modo de predicción inter.

15 En el curso de una etapa C10 representada en la figura 1, se procede a la descuantificación del bloque B_{qu} según una operación convencional de descuantificación, que es la operación inversa de la cuantificación efectuada en la etapa C8. Entonces, se obtiene un bloque de coeficientes descuantificado BD_{tu} .

20 Una etapa de descuantificación de este tipo se efectúa por un módulo de software de cuantificación inversa Ma^{-1}_{CO} , tal como se representa en la figura 2, módulo que está pilotado por el microprocesador μP de la unidad de tratamiento UT_{CO} .

25 En el curso de una etapa C11 representada en la figura 1, se procede a la aplicación de la operación de transformación $OT^{-1}_{n^*}$, inversa de la operación de transformación OT_{n^*} , a los datos del bloque de coeficientes descuantificado BD_{tu} , para producir un bloque permutado decodificado BD_{pu} .

La etapa C11 se implementa por un módulo de software Mr^{-1}_{CO} de transformación, tal como se representa en la figura 2, módulo que está pilotado por el microprocesador μP de la unidad de tratamiento UT_{CO} .

30 En el curso de una etapa C12 representada en la figura 1, se procede a la aplicación de la operación de permutación $OP^{-1}_{m^*}$, inversa de la operación de permutación OP_{m^*} , a los datos del bloque permutado decodificado BD_{pu} , para producir un bloque residual decodificado BD_{ru} .

35 La etapa C12 se implementa por un módulo de software $MPER^{-1}_{CO}$ de permutación, tal como se representa en la figura 2, módulo que está pilotado por el microprocesador μP de la unidad de tratamiento UT_{CO} .

40 En el curso de una etapa C13 representada en la figura 1, se procede a la construcción del bloque decodificado BD_u añadiendo al bloque predictor BP_{opt} obtenido en la etapa C3 anteriormente citada el bloque residual decodificado BD_{ru} . Debe señalarse que este último bloque es el mismo que el bloque decodificado obtenido al final del procedimiento de decodificación de la imagen IC_j que se describirá más adelante en la descripción. El bloque decodificado BD_u se almacena, entonces, en la memoria tampón MT_{CO} de la figura 2, con el fin de utilizarse por el codificador CO como bloque predictor de un bloque siguiente a codificar.

45 Una etapa de este tipo se implementa por un módulo de software de codificación predictiva inversa $PRED^{-1}_{CO}$ representado en la figura 2, módulo que está pilotado por el microprocesador μP de la unidad de tratamiento UT_{CO} .

En el curso de una etapa C14 representada en la figura 1, el codificador CO comprueba si el bloque corriente B_u que acaba de codificarse es el último bloque de la imagen IC_j .

50 Si el bloque corriente es el último bloque de la imagen IC_j , en el curso de una etapa siguiente C15 representada en la figura 1, se pone fin al procedimiento de codificación.

55 Si este no es el caso, se procede de nuevo a la etapa de selección C2 del bloque siguiente a codificar de conformidad con el orden de examen de exploración por trama anteriormente citado, luego, se reiteran las etapas C3 a C14 para este bloque siguiente seleccionado.

Las etapas de codificación que acaban de describirse más arriba se implementan para todos los bloques $B_1, B_2, \dots, B_u, \dots, B_s$ a codificar de la imagen corriente IC_j considerada.

60 Configuraciones particulares de pares permutación-transformación

Otras configuraciones posibles de pares permutación-transformación se van a mencionar en este momento más abajo a título de ejemplos suplementarios.

65 Según un modo de realización, en lugar de utilizar el conjunto de las permutaciones y de las transformaciones presentadas más arriba, en concreto, en relación con las figuras 3A a 3C, se propone restringir este conjunto.

ES 2 721 023 T3

De este modo, para unos bloques de tamaño 4x4, por ejemplo, se proponen más abajo diferentes compromisos, según el número de pares permutación-transformación.

5 Para tal efecto, se determina un modo 1+Y que define un número de pares permutación-transformación diferentes a utilizar.

Para Y=0, el modo 1+0 define un par que comprende una transformación y una permutación "identidad" P₀.

10 Para Y>0, el modo 1+Y define varios pares formados a partir de una combinación de una pluralidad de transformaciones y de una pluralidad de permutaciones.

A título de ejemplos:

- 15 - para Y=1, el modo 1+1 es un modo que define dos pares posibles de transformación y de permutación, donde se proponen dos transformaciones diferentes: un par formado por una permutación "identidad" P₀ y por una transformación DST y otro par formado por una permutación "identidad" P₀ y por una transformación DCT,
- para Y=2, el modo 1+2 es un modo que define tres pares posibles de transformación y de permutación, donde se proponen dos transformaciones diferentes y tres permutaciones P₀, P₁, P₂ diferentes, de forma que se constituyan los tres pares permutación-transformación siguientes: P₀-DST, P₁-DST, P₂-DCT.

20 Los modos 1+0, 1+1 y 1+2 anteriormente citados ofrecen diferentes compromisos de complejidad que permiten reducir el número de transformaciones a utilizar, que reduce, por este hecho, el número de pares a comprobar durante la codificación para seleccionar el mejor par permutación-transformación.

25 De este modo, en el modo 1+1, en el curso de la etapa de selección C5 representada en la figura 1, solo las transformaciones DCT y DST necesitan compararse de conformidad con el criterio velocidad-distorsión J_{m,n}, puesto que se propone una sola permutación posible.

30 En el modo 1+2, en el curso de la etapa de selección C5 anteriormente citada, solo necesitan compararse tres criterios velocidad-distorsión, puesto que existen tres pares permutación-transformación según un modo de este tipo.

El almacenamiento de las permutaciones también puede reducirse en el caso en que el número de pares permutación-transformación es limitado.

35 Un conjunto de compromiso según el número de pares permutación-transformación puesto a disposición en el codificador CO y según el tamaño de los bloques se representa más abajo.

40 El modo P₀+dst, es decir, un enfoque puramente dst, se pone en competición con un conjunto de pares permutación-transformación basados en otras transformaciones, tales como la DCT, por ejemplo.

Número de pares permutación-transformación para los bloques de tamaño 4x4

Modo	1+1		1+2		1+3		1+4		1+8		1+16	
	Perm	Transf.	Perm	Transf.	Perm	Transf.	Perm	Transf.	Perm	Transf.	Perm	Transf.
0	P ₀	dst	P ₀	dst	P ₁	dst	P ₀	dst	P ₀	dst	P ₀	dst
1	P ₀	dct	P ₁	dst	P ₂₇	dst	P ₂	dst	P ₅	dst	P ₁₁	dst
2			P ₂	dct	P ₆	dst	P ₁	dst	P ₆	dst	P ₁₂	dst
3							P ₃	dct	P ₇	dst	P ₁₃	dst
4							P ₄	dct	P ₁	dst	P ₁₄	dst
5									P ₈	dct	P ₁₅	dst
6									P ₉	dct	P ₁₆	dst
7									P ₃	dct	P ₁₇	dst
8									P ₁₀	dct	P ₁₈	dst
9											P ₁₉	dct
10											P ₂₀	dct
11											P ₂₁	dct

ES 2 721 023 T3

Modo	1+1		1+2		1+3		1+4		1+8		1+16	
	Perm	Transf.	Perm	Transf.								
12											P ₂₂	dct
13											P ₂₃	dct
14											P ₂₄	dct
15											P ₂₅	dct
16											P ₂₆	dct

Número de pares permutación-transformación para los bloques de tamaño 8x8

Modo	1+2		1+3		1+4		1+8		1+16	
	Perm	Transf.	Perm	Transf.	Perm	Transf.	Perm	Transf.	Perm	Transf.
0	P ₀	dct	P ₀	dct	P ₀	dct	P ₀	dct	P ₀	dct
1	P ₁	dct	P ₃	dct	P ₅	dct	P ₅	dct	P ₉	dct
2	P ₂	dct	P ₄	dct	P ₆	dct	P ₈	dct	P ₁₀	dct
3			P ₅	dct	P ₇	dct	P ₉	dct	P ₁₁	dct
4					P ₈	dct	P ₁₆	dct	P ₁₂	dct
5							P ₁₇	dct	P ₁₃	dct
6							P ₁₈	dct	P ₁₄	dct
7							P ₂₂	dct	P ₁₅	dct
8							P ₂₃	dct	P ₁₉	dct
9									P ₂₀	dct
10									P ₂₁	dct
11									P ₂₂	dct
12									P ₂₄	dct
13									P ₂₅	dct
14									P ₂₆	dct
15									P ₂₇	dct
16									P ₂₈	dct

5 De este modo, la codificación del bloque corriente se mejora eficazmente proponiendo al codificador CO una pluralidad de pares permutación-transformación diferentes.

10 Igualmente, es posible combinar los tamaños de los pares permutación-transformación. Por ejemplo, puede realizarse un muy buen compromiso de complejidad y calidad reteniendo el modo 1+2 para los bloques 4x4 y el modo 1+8 para el modo 8x8. El codificador CO elige, entonces, la mejor transformada 4x4 de entre las propuestas, asimismo para el tamaño 8x8, por minimización del criterio velocidad-distorsión. La elección combinada puede realizarse durante la elección de la partición del bloque corriente. A título de ejemplo, más abajo se presentan las combinaciones siguientes con sus prestaciones asociadas en cuanto a reducción de la velocidad de transmisión para una calidad de imagen dada:

Combinación	Modo 4x4	Modo 8x8	Prestación
0	1+2	P ₀ + dct	-0,76 %
1	1+4	P ₀ + dct	-0,78 %
2	1+8	P ₀ + dct	-0,86 %

Combinación	Modo 4x4	Modo 8x8	Prestación
3	1 + 16	P ₀ + dct	-0,80 %
4	1+2	1+2	-0,72 %
5	1+2	1+4	-0,78 %
6	1+2	1+8	-1,09 %
7	1+2	1 + 16	-0,92 %
8	P ₀ + dst	1+2	-0,10 %
9	P ₀ + dst	1+4	-0,24 %
10	P ₀ + dst	1+8	-0,37 %
11	P ₀ 0 + dst	1 + 16	-0,41 %

En particular, se obtiene una reducción de velocidad de un 1,09 % con la ayuda de la combinación 6 que utiliza el modo 1+2 para los bloques 4x4 y el modo 1+8 para los bloques 8x8. Esta reducción de velocidad es absolutamente significativa en codificación de vídeo, en concreto, para una técnica de escasa complejidad.

5 En el caso en que el codificador CO de la figura 2 no necesite transmitir la totalidad del índice m*,n* del criterio J_{m*,n*}, se obtienen unas prestaciones de codificación incrementadas, como se representa más abajo:

Modo 4x4	Prestación
1+2	-4,36 %
1+4	-6,13 %
1+8	-8,28 %
1+16	-10,35 %

10 Descripción detallada de la parte de decodificación

En este momento, se va a describir un modo de realización del procedimiento de decodificación según la invención, en el que el procedimiento de decodificación se aplica de manera de software o material por modificaciones de un decodificador inicialmente de acuerdo con la norma HEVC. El procedimiento de decodificación según la invención se representa en forma de un algoritmo que incluye unas etapas D1 a D12 tales como se representan en la figura 5.

15 Como se ilustra en la figura 4, el decodificador DO según este modo de realización de la invención comprende una memoria MEM_DO que comprende una memoria tampón MT_DO, una unidad de tratamiento UT_DO equipada, por ejemplo, con un microprocesador μP y pilotada por un programa de ordenador PG_DO que implementa el procedimiento de decodificación según la invención. En la inicialización, las instrucciones de código del programa de ordenador PG_DO se cargan, por ejemplo, en una memoria RAM antes de ejecutarse por el procesador de la unidad de tratamiento UT_DO.

20 El procedimiento de decodificación representado en la figura 5 se aplica a cualquier imagen corriente de una secuencia SC de imágenes a decodificar.

25 Para tal efecto, se identifican unas informaciones representativas de la imagen corriente IC_j a decodificar en una señal o flujo de datos F recibida en el decodificador, tal como se suministra a continuación del procedimiento de codificación de la figura 1.

30 Con referencia a la figura 5, en el curso de una etapa D1, se procede a la identificación en dicho flujo F de los residuales cuantificados B_{q1}, B_{q2},..., B_{qu}, ...B_{qs} (1≤u≤S) asociados respectivamente a los bloques B₁, B₂,...,B_u,..., B_s codificados anteriormente de conformidad con el examen de exploración por trama anteriormente citado, de conformidad con el procedimiento de codificación de la figura 1.

35 Una etapa de identificación de este tipo se implementa por un módulo de identificación MI_DO de análisis de flujo, tal como se representa en la figura 4, estando dicho módulo pilotado por el microprocesador μP de la unidad de tratamiento UT_DO.

Dichos residuales cuantificados $Bq_1, Bq_2, \dots, Bq_u, \dots, Bq_s$ están destinados a decodificarse según un orden de examen predeterminado, que es, por ejemplo, secuencial, es decir, que dichos residuales están destinados a decodificarse el uno después del otro de conformidad con el orden de exploración por trama en el que se han codificado.

5 Por supuesto, son posibles otros tipos de exámenes que no sean el que se acaba de describir más arriba y dependen del orden de examen elegido en la codificación, cuyos ejemplos se han mencionado anteriormente.

De manera preferente en la invención, los bloques a decodificar son particularmente de tamaño múltiple de potencia de 2, por ejemplo, de tipo 4x4 y 8x8. No obstante, la invención se aplica, igualmente, más generalmente, a unos bloques de tamaño $M \times M$ ($M=16, 32$ o 64). Unos bloques $P \times M$ y $M \times P$ son utilizables, igualmente, con P y M tomando su valor en el conjunto 2, 4, 8, 16, 32 y 64.

Por otra parte, cada bloque puede ser dividido él mismo en subbloques que son ellos mismos subdivisibles.

15 En el curso de una etapa D2 representada en la figura 5, el decodificador DO de la figura 4 selecciona como bloque corriente un primer bloque residual cuantificado Bq_u .

En el curso de una etapa D3 representada en la figura 5, se procede a la predicción del bloque corriente B_u a decodificar por unas técnicas conocidas de predicción intra y/o inter. Para tal efecto, el bloque B_u a decodificar se predice con respecto a al menos un bloque predictor de conformidad con un modo de predicción seleccionado de entre una pluralidad de modos de predicción predeterminados.

En particular, el modo de predicción seleccionado se lee directamente en el flujo F en el caso en que el codificador CO de la figura 2 ha señalado este modo al decodificador DO de la figura 4.

25 Un bloque predictor de este tipo es, por ejemplo, un bloque de píxeles que ya se ha decodificado o no. Un bloque predictor de este tipo se almacena previamente en la memoria tampón MT_DO del decodificador DO, tal como se representa en la figura 4.

Al final de la etapa D3 de predicción, se obtiene un bloque predictor óptimo BP_{opt} de acuerdo con el modo de predicción seleccionado. El bloque BP_{opt} es una aproximación del bloque corriente B_u a decodificar. Las informaciones relativas a esta predicción se leen en el flujo de datos F. Unas informaciones de este tipo comprenden, en concreto, el tipo de predicción (inter o intra), el tipo de particionado del bloque corriente si este último se ha subdividido, el índice de imagen de referencia y el vector de movimiento utilizados en el caso en que se ha seleccionado un modo de predicción inter. Estas informaciones se decodificarán ulteriormente de forma convencional.

35 La etapa D3 se implementa por un módulo de software de decodificación predictiva PRED_DO representado en la figura 4, módulo que está pilotado por el microprocesador μP de la unidad de tratamiento UT_DO.

En el curso de una etapa D4 representada en la figura 5, se procede a la decodificación de los datos del bloque Bq_u residual cuantificado, para producir un bloque residual cuantificado decodificado BDq_u . En el modo preferente de realización, la decodificación efectuada es una decodificación entrópica de tipo aritmética o de Huffman que se conoce como tal. La etapa D4 consiste, entonces, en:

- leer el o los símbolos que están asociados a dicho bloque corriente a decodificar,
- 45 - asociar unas informaciones digitales, tales como unos bits, al(a los) símbolo(s) leído(s).

Una etapa de decodificación entrópica de este tipo se implementa por un módulo de software de decodificación entrópica MDE representado en la figura 4, módulo que está pilotado por el microprocesador μP de la unidad de tratamiento UT_DO. El módulo de decodificación entrópica MDE es, por ejemplo, de tipo CABAC. Igualmente, puede tratarse de un decodificador de Huffman conocido como tal.

En el curso de una etapa D5 representada en la figura 5, se procede a la descuantificación del bloque residual cuantificado Bq_u según una operación convencional de descuantificación, que es la operación inversa de la operación de cuantificación efectuada en la etapa C7 de la figura 1. Entonces, se obtiene un bloque descuantificado decodificado BDt_u .

Una etapa de descuantificación de este tipo se efectúa por un módulo de software de cuantificación inversa MQ^{-1}_{DO} , tal como se representa en la figura 4, que está pilotado por el microprocesador μP de la unidad de tratamiento UT_DO.

60 En el curso de una etapa D6 representada en la figura 5, se procede a la determinación de un par de operaciones matemáticas que comprenden una operación de transformación $OT^{-1}_{n^*}$ y una operación de permutación $OP^{-1}_{m^*}$ respectivamente inversas de las operaciones de transformación OT_{n^*} y de permutación OP_{m^*} , estando dicho par de acuerdo con el criterio predeterminado J_{m^*,n^*} por el que se opta en la etapa de selección C5 anteriormente citada de la figura 1.

65 Una etapa D6 de este tipo se implementa por un módulo de software de determinación MDT_DO representado en la figura 4, módulo que está pilotado por el microprocesador μP de la unidad de tratamiento UT_DO.

Como se representa en la figura 6A, en el caso en que el índice m^*,n^* del criterio J_{m^*,n^*} por el que se opta en la etapa C5 anteriormente citada se ha transmitido en su totalidad en el flujo F a continuación de la etapa de codificación C9 de la figura 1, la etapa de determinación D6 consiste en:

- 5
- en el curso de una subetapa D610 representada en la figura 6A, leer este índice en la señal de datos F para encontrar el par de operaciones de permutación OP_{m^*} y de transformación OT_{n^*} asociado al índice leído,
 - en el curso de una subetapa D611 representada en la figura 6A, determinar las operaciones de permutación $OP_{m^*}^{-1}$ y de transformación $OT_{n^*}^{-1}$ respectivamente inversas de las operaciones de permutación OP_{m^*} y de transformación OT_{n^*} del par asociado al índice leído.

10 Unas etapas de este tipo son necesarias cuando el decodificador DO de la figura 4 no es capaz de encontrar él mismo la totalidad del índice m^*,n^* .

Las subetapas D610 y D611 se implementan por un submódulo de software SMDT1_DO representado en la figura 4.

15 En el curso de dicha etapa D6, se procede a la decodificación del índice m^*,n^* .

Más precisamente, el decodificador DO lee, por ejemplo, un código binario de longitud fija para encontrar el valor del par permutación-transformación asociado al criterio J_{m^*,n^*} y asociarle el par permutación inversa-transformación inversa correspondiente.

20 En el caso, por ejemplo, como se ha descrito esto en relación con la etapa C9 anteriormente citada, en que cuatro valores de pares permutación-transformación: 0, 1, 2, 3 son susceptibles de señalarse en el flujo F,

- 25
- si el decodificador DO lee el código 00, atribuye el valor 0 al par permutación-transformación que, en la codificación, se ha asociado al criterio J_{m^*,n^*} ,
 - si el decodificador DO lee el código 01, atribuye el valor 1 al par permutación-transformación que, en la codificación, se ha asociado al criterio J_{m^*,n^*} ,
 - si el decodificador DO lee el código 10, atribuye el valor 2 al par permutación-transformación que, en la codificación, se ha asociado al criterio J_{m^*,n^*} ,
 - si el decodificador DO lee el código 11, atribuye el valor 3 al par permutación-transformación que, en la codificación, se ha asociado al criterio J_{m^*,n^*} .
- 30

35 En una variante que se ha descrito en relación con la etapa C9 anteriormente citada, el índice m^*,n^* destinado a leerse por el decodificador DO se expresa con la ayuda de un código de longitud variable.

En el caso, por ejemplo, como se ha descrito esto en relación con la etapa C9 anteriormente citada, en que cuatro valores de pares permutación-transformación: 0, 1, 2, 3 son susceptibles de señalarse en el flujo F,

- 40
- si el decodificador DO lee el código 0, atribuye el valor 0 al par permutación-transformación que, en la codificación, se ha asociado al criterio J_{m^*,n^*} ,
 - si el decodificador DO lee el código 10, atribuye el valor 1 al par permutación-transformación que, en la codificación, se ha asociado al criterio J_{m^*,n^*} ,
 - si el decodificador DO lee el código 110, atribuye el valor 2 al par permutación-transformación que, en la codificación, se ha asociado al criterio J_{m^*,n^*} ,
 - si el decodificador DO lee el código 111, atribuye el valor 3 al par permutación-transformación que, en la codificación, se ha asociado al criterio J_{m^*,n^*} .
- 45

50 Según un modo prioritario de realización descrito en relación con la etapa C9 anteriormente citada, el índice m^*,n^* destinado a leerse por el decodificador DO comprende dos indicadores:

- un marcador que señala el primer bit del código asociado al par permutación-transformación OP_{m^*} , OT_{n^*} seleccionado en la codificación y
 - un elemento de sintaxis complementario que indica en forma binaria los pares permutación-transformación menos probables.
- 55

En el caso, por ejemplo, como se ha descrito esto en relación con la etapa C9 anteriormente citada, en que cuatro valores de pares permutación-transformación: 0, 1, 2, 3 son susceptibles de señalarse en el flujo F,

- 60
- si el decodificador DO lee el marcador '0', atribuye el valor 0 al par permutación-transformación que, en la codificación, se ha asociado al criterio J_{m^*,n^*} ,
 - si el decodificador DO lee el marcador '1' y el complemento binario '0', atribuye el valor 1 al par permutación-transformación que, en la codificación, se ha asociado al criterio J_{m^*,n^*} ,
 - si el decodificador DO lee el marcador '1' y el complemento binario '10', atribuye el valor 2 al par permutación-transformación que, en la codificación, se ha asociado al criterio J_{m^*,n^*} ,
- 65

- si el decodificador DO lee el marcador '1' y el complemento binario '11', atribuye el valor 3 al par permutación-transformación que, en la codificación, se ha asociado al criterio J_{m^*,n^*} .

Según otro modo de realización prioritario descrito en relación con la etapa C9 anteriormente citada, el índice m^*,n^* destinado a leerse por el decodificador DO está constituido únicamente por un marcador. Este otro modo prioritario es aplicable en el caso en que una sola transformada, por ejemplo, DST, se aplica en la codificación y en que dos operaciones de permutación OP_0 y OP_1 son susceptibles de aplicarse en combinación con la DST.

Para tal efecto,

- si el decodificador DO lee un bit en '1', atribuye el valor de este bit al par permutación-transformación SOP_0 que, en la codificación, se ha asociado al criterio J_{m^*,n^*} ,
- si el decodificador DO lee un bit en '0', atribuye el valor de este bit al par permutación-transformación SOP_1 que, en la codificación, se ha asociado al criterio J_{m^*,n^*} .

En el caso en que son susceptibles de señalarse más de dos pares permutación-transformación en el flujo F, el decodificador DO está adaptado para leer un código de longitud fija o variable.

Según otro modo de realización posible descrito en relación con la etapa C9 anteriormente citada, el índice m^*, n^* no se señala en el flujo F o solamente se señala una parte del índice m^*,n^* en el flujo F.

Como se representa en la figura 6B, en el caso en que el índice m^*,n^* del criterio J_{m^*,n^*} por el que se opta en la etapa C5 anteriormente citada no se ha transmitido en el flujo F a continuación de la etapa de codificación C9 de la figura 1, la etapa de determinación D6 consiste en:

- en el curso de una subetapa D620 representada en la figura 6B, aplicar a los datos representativos del bloque descuantificado decodificado BDt_u una pluralidad de pares de operaciones matemáticas que comprenden una operación de transformación seguida de una operación de permutación, eligiéndose dichas operaciones de transformación y de permutación de entre respectivamente una pluralidad predeterminada de operaciones de transformación $OT^{-1}_0, OT^{-1}_1, \dots, OT^{-1}_n, \dots, OT^{-1}_{L-1}$, con $0 \leq n \leq L-1$ y una pluralidad predeterminada de operaciones de permutación $OP^{-1}_0, OP^{-1}_1, \dots, OP^{-1}_m, \dots, OP^{-1}_{K-1}$, con $0 \leq m \leq K-1$, que están disponibles en la memoria MT_DO del decodificador DO de la figura 4,
- en el curso de una subetapa D621 representada en la figura 6B, reconstruir una pluralidad de bloques respectivamente a partir de dicha pluralidad de pares aplicada,
- en el curso de una subetapa D622 representada en la figura 6B, seleccionar un bloque reconstruido de entre la pluralidad de bloques reconstruidos, por maximización de un criterio de coherencia aplicado a la pluralidad de bloques reconstruidos.

Al final de la subetapa D622, se identifica, entonces, el par de operaciones de transformación y de permutación asociado al bloque reconstruido seleccionado.

Las subetapas D620 a D622 se implementan cuando el decodificador DO de la figura 4 es capaz de encontrar él mismo la totalidad del índice m^*,n^* .

Unas subetapas de este tipo se implementan por un submódulo de software $SMDT2_DO$ representado en la figura 4.

El criterio de coherencia anteriormente citado consiste en medir la coherencia de los píxeles de un bloque reconstruido considerado con respecto a su vecindad. La medición de coherencia puede ser una medición de continuidad entre los píxeles del bloque reconstruido y sus vecinos, por cálculo de una suma de los valores absolutos de las diferencias.

Según también una configuración particular dada a título de ejemplo y que se ha descrito en relación con la etapa C9 anteriormente citada:

- en el caso en que una sola transformada, por ejemplo, DST, es susceptible de aplicarse en la codificación o en la decodificación y en que una operación de permutación OP_0 se aplica en combinación con la DST, si el decodificador DO lee un bit en '0', atribuye el valor de este bit al par permutación-transformación SOP_0 que, en la codificación, se ha asociado al criterio J_{m^*,n^*} ,
- en el caso en que una sola transformada, por ejemplo, DST, es susceptible de aplicarse y en que unas múltiples operaciones de permutación pueden aplicarse en combinación con la DST, si el decodificador DO lee un bit en '1', atribuye el valor de este bit a la pluralidad de pares permutación-transformación posibles, susceptibles de aplicarse en la decodificación y deduce por él mismo cuál es el par que se ha señalado realmente, por ejemplo, con la ayuda de mediciones de coherencia.

La pluralidad de operaciones de permutación $OP^{-1}_0, OP^{-1}_1, \dots, OP^{-1}_m, \dots, OP^{-1}_{K-1}$ corresponde a la inversa de la pluralidad de operaciones de permutación $OP_0, OP_1, \dots, OP_m, \dots, OP_{K-1}$ cuyos unos ejemplos se han citado durante la descripción de más arriba del procedimiento de codificación.

- 5 La pluralidad de operaciones de transformación inversa $OT^{-1}_0, OT^{-1}_1, \dots, OT^{-1}_n, \dots, OT^{-1}_{L-1}$ corresponde a la inversa de la pluralidad de operaciones de transformación $OT_0, OT_1, \dots, OT_n, \dots, OT_{L-1}$, cuyos unos ejemplos se han citado durante la descripción de más arriba del procedimiento de codificación. En el curso de una etapa D7 representada en la figura 5, se procede a la aplicación de la operación de transformación OT^{-1}_n , inversa de la operación de transformación OT_n a los datos del bloque de coeficientes descuantificado BDu , para producir un bloque permutado decodificado BDp_u .
- 10 La etapa D7 se implementa por un módulo de software MT^{-1}_{DO} de transformación, tal como se representa en la figura 4, módulo que está pilotado por el microprocesador μP de la unidad de tratamiento UT_{DO} .
- 15 En el curso de una etapa D8 representada en la figura 5, se procede a la aplicación de la operación de permutación OP^{-1}_m , inversa de la operación de permutación OP_m , a los datos del bloque permutado decodificado BDp_u , para producir un bloque residual decodificado BDr_u .
- 20 La etapa D8 se implementa por un módulo de software $MPER^{-1}_{DO}$ de permutación, tal como se representa en la figura 4, módulo que está pilotado por el microprocesador μP de la unidad de tratamiento UT_{DO} .
- En el curso de una etapa D9 representada en la figura 5, se procede a la reconstrucción del bloque corriente B_u añadiendo al bloque residual corriente decodificado BDr_u el bloque predictor BP_{opt} obtenido en la etapa D3.
- 25 Dicha etapa D9 se implementa por un módulo de software de predicción inversa $PRED^{-1}_{DO}$ representado en la figura 4, módulo que está pilotado por el microprocesador μP de la unidad de tratamiento UT_{DO} .
- El bloque decodificado BD_u se obtiene y almacena, entonces, en la memoria tampón MT_{DO} de la figura 4, con el fin de utilizarse por el decodificador DO como bloque predictor de un bloque siguiente a decodificar.
- 30 En el curso de una etapa D10 representada en la figura 5, dicho bloque decodificado BD_u se escribe en una imagen decodificada corriente IDC_j . Una etapa de este tipo se implementa un módulo de software URI de reconstrucción de imagen tal como se representa en la figura 4, estando dicho módulo pilotado por el microprocesador μP del módulo de tratamiento UT_{DO} .
- En el curso de una etapa D11 representada en la figura 5, el decodificador DO comprueba si el bloque corriente BD_u que acaba de decodificarse es el último bloque contenido en el flujo F .
- 35 Si este es el caso, en el curso de una etapa D12 representada en la figura 5, se pone fin al procedimiento de decodificación.
- Si este no es el caso, se procede, en el curso de la etapa D2, a la selección del bloque residual siguiente a decodificar de conformidad con el orden de examen de exploración por trama anteriormente citado.
- 40 Las etapas de decodificación que acaban de describirse más arriba se implementan para todos los bloques $B_1, B_2, \dots, B_u, \dots, B_s$ a decodificar de la imagen corriente IC_j considerada.
- 45 Ni que decir tiene que los modos de realización que se han descrito más arriba se han dado a título puramente indicativo y en ningún caso limitativo, y que pueden aportarse fácilmente por el experto en la materia unas numerosas modificaciones sin por ello salirse del marco de la invención.
- 50 De este modo, el procedimiento de codificación y/o de decodificación según la invención, en lugar de aplicarse a unos bloques corrientes de tamaño 4×4 u 8×8 , puede aplicarse, igualmente, a unos bloques corrientes que tengan diferentes tamaños posibles, tales como, por ejemplo, 16×16 y 32×32 .

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de codificación de al menos una imagen (IC_i) recortada en bloques, que comprende, para un bloque corriente (B_u) a codificar, las etapas de:

- 5
- predicción (C3) del bloque corriente con la ayuda de al menos un bloque predictor (BP_{opt}),
 - determinación (C4) de un bloque residual de datos representativo de la diferencia entre el bloque predictor y el bloque corriente,
 - selección (C5), según un criterio de prestación de codificación predeterminado, de un par de operaciones matemáticas que comprenden una operación de permutación (OP_{m*}) y una operación de transformación (OT_{n*}) de entre respectivamente una pluralidad de operaciones de permutación (OP₀, OP₁,..., OP_m,..., OP_{K-1}), con $0 \leq m \leq K-1$ y $0 \leq m^* \leq K-1$ y una pluralidad de operaciones de transformación (OT₀, OT₁,..., OT_n,..., OT_{L-1}), con $0 \leq n \leq L-1$ y $0 \leq n^* \leq L-1$,
 - aplicación (C6) de la operación de permutación (OP_{m*}) de dicho par seleccionado a los datos del bloque residual determinado,
 - aplicación (C7) de la operación de transformación (OT_{n*}) de dicho par seleccionado a los datos permutados,
 - codificación (C9) de los datos procedentes de dicha operación de transformación aplicada.

20 2. Procedimiento de codificación según la reivindicación 1, en el que dicha pluralidad de operaciones de transformación (OT₀, OT₁,..., OT_n,..., OT_{L-1}) contiene una transformada discreta de seno.

3. Procedimiento de codificación según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que dicho criterio de prestación de codificación predeterminado es la minimización del coste velocidad-distorsión del bloque corriente a codificar.

25 4. Procedimiento de codificación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la operación de permutación seleccionada consiste en desplazar poco a poco los datos del bloque residual determinado, de conformidad con una operación de trasposición de los datos de dicho bloque residual.

30 5. Dispositivo (CO) de codificación de al menos una imagen (IC_i) recortada en bloques, que comprende, para un bloque corriente a codificar:

- unos medios (PRED_CO) para predecir el bloque corriente con la ayuda de al menos un bloque predictor (BP_{opt}),
- unos medios (PRED_CO) para determinar un bloque residual de datos representativo de la diferencia entre el bloque predictor y el bloque corriente,
- unos medios (CÁL_CO) para seleccionar, según un criterio de prestación de codificación predeterminado, un par de operaciones matemáticas que comprenden una operación de permutación (OP_{m*}) y una operación de transformación (OT_{n*}) de entre respectivamente una pluralidad de operaciones de permutación (OP₀, OP₁,..., OP_m,..., OP_{K-1}), con $0 \leq m \leq K-1$ y $0 \leq m^* \leq K-1$ y una pluralidad de operaciones de transformación (OT₀, OT₁,..., OT_n,..., OT_{L-1}), con $0 \leq n \leq L-1$ y $0 \leq n^* \leq L-1$,
- unos medios de permutación (MPER_CO) para aplicar la operación de permutación (OP_{m*}) de dicho par seleccionado a los datos del bloque residual determinado,
- unos medios de transformación (MT_CO) para aplicar la operación de transformación (OT_{n*}) de dicho par seleccionado a los datos permutados,
- unos medios de codificación (MCE) para codificar los datos suministrados por dichos medios de transformación (MT_CO).

50 6. Programa de ordenador que incluye unas instrucciones de código de programa para la ejecución de las etapas del procedimiento de codificación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador.

7. Procedimiento de decodificación de una señal de datos (F) representativa de al menos una imagen (IC_i) recortada en bloques, que comprende, para un bloque corriente (B_u) a decodificar, las etapas de:

- determinación (D1), en dicha señal de datos, de datos representativos de un bloque residual corriente asociado al bloque corriente a decodificar,
- determinación (D3) de al menos un bloque predictor (BP_{opt}) del bloque corriente a decodificar,
- determinación (D6) de un par de operaciones matemáticas que comprenden una operación de transformación (OT⁻¹_{n*}) y una operación de permutación (OP⁻¹_{m*}),
- aplicación (D7) de la operación de transformación (OT⁻¹_{n*}) de dicho par de operaciones determinado a los datos representativos de un bloque residual corriente,
- aplicación (D8) de la operación de permutación (OP⁻¹_{m*}) de dicho par determinado a los datos obtenidos a continuación de la aplicación de dicha operación de transformación,
- reconstrucción (D9) del bloque corriente (B_u) con la ayuda de dicho bloque predictor determinado y de los datos procedentes de la operación de permutación aplicada.

65

8. Procedimiento de decodificación según la reivindicación 7, en el que la etapa de determinación (D6) de dicho par de operaciones matemáticas implementa las siguientes etapas:

- 5 - lectura (D610), en dicha señal de datos, de una información representativa del par de operaciones de permutación y de transformación seleccionado en la codificación del bloque corriente a decodificar,
- determinación (D611) de las operaciones de permutación y de transformación respectivamente inversas de las operaciones de permutación y de transformación del par asociado a la información leída.

9. Procedimiento de decodificación según la reivindicación 7, en el que la etapa de determinación (D6) de dicho par de operaciones matemáticas consiste en:

- 15 - aplicar (D620) a dichos datos representativos del bloque residual corriente una pluralidad de pares de operaciones matemáticas que comprenden una operación de transformación seguida de una operación de permutación, eligiéndose dichas operaciones de transformación y de permutación de entre respectivamente una pluralidad predeterminada de operaciones de transformación ($OT^{-1}_0, OT^{-1}_1, \dots, OT^{-1}_n, \dots, OT^{-1}_{L-1}$), con $0 \leq n \leq L-1$ y una pluralidad predeterminada de operaciones de permutación ($OP^{-1}_0, OP^{-1}_1, \dots, OP^{-1}_m, \dots, OP^{-1}_{K-1}$), con $0 \leq m \leq K-1$,
- reconstruir (D621) una pluralidad de bloques respectivamente a partir de dicha pluralidad de pares aplicada,
- seleccionar (D622) un bloque reconstruido de entre la pluralidad de bloques reconstruidos, por maximización de un criterio de coherencia aplicado a la pluralidad de bloques reconstruidos.

10. Procedimiento de decodificación según la reivindicación 8 o la reivindicación 9, en el que dicha operación de transformación determinada o seleccionada es una transformada discreta de seno.

11. Procedimiento de decodificación según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en el que la operación de permutación de dicho par de operaciones determinado consiste en desplazar poco a poco dichos datos obtenidos como continuación a la aplicación de la operación de transformación del par determinado, de conformidad con una operación de trasposición de dichos datos obtenidos.

12. Dispositivo (DO) de decodificación de una señal de datos (F) representativa de al menos una imagen (IC_i) recortada en bloques, que comprende, para un bloque corriente a decodificar:

- 35 - unos medios (MI_DO) para determinar, en dicha señal de datos, unos datos representativos de un bloque residual corriente asociado al bloque corriente a decodificar,
- unos medios (PRED_DO) para determinar al menos un bloque predictor (BP_{opt}) del bloque corriente a decodificar,
- unos medios (MDT_DO) para determinar un par de operaciones matemáticas que comprenden una operación de transformación ($OT^{-1}_{n^*}$) y una operación de permutación ($OP^{-1}_{m^*}$),
- unos medios de transformación (MT⁻¹_DO) para aplicar la operación de transformación ($OT^{-1}_{n^*}$) de dicho par determinado a los datos representativos del bloque residual corriente,
- 40 - unos medios de permutación (MPER⁻¹_DO) para aplicar la operación de permutación ($OP^{-1}_{m^*}$) de dicho par determinado a los datos transformados,
- unos medios de predicción (PRED⁻¹_DO) para reconstruir el bloque corriente (B_u) con la ayuda de dicho bloque predictor determinado y de los datos suministrados por dichos medios de permutación (MPER⁻¹_DO).

13. Programa de ordenador que incluye unas instrucciones para implementar el procedimiento de decodificación según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, cuando dicho programa de decodificación se ejecuta en un ordenador.

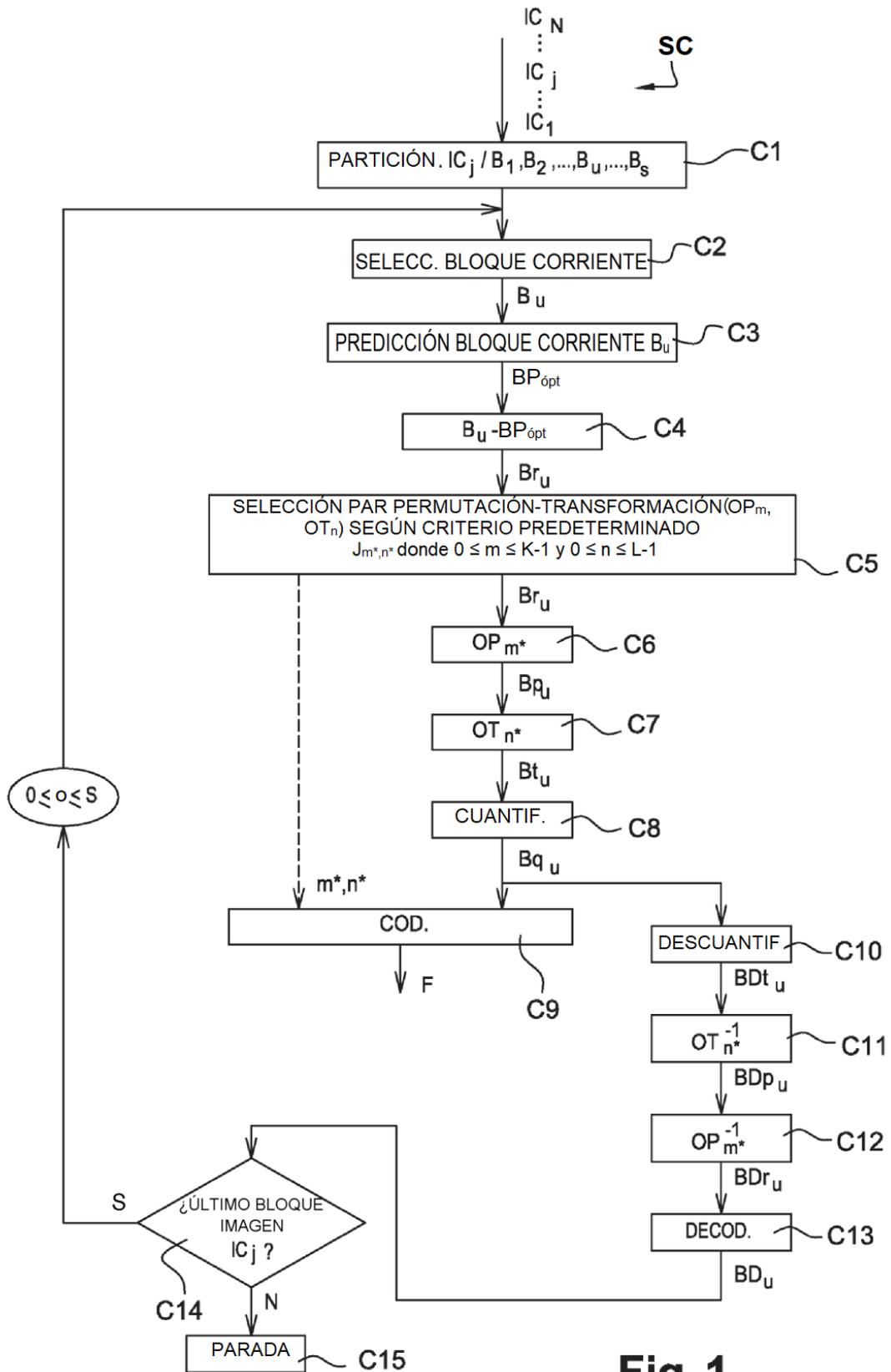
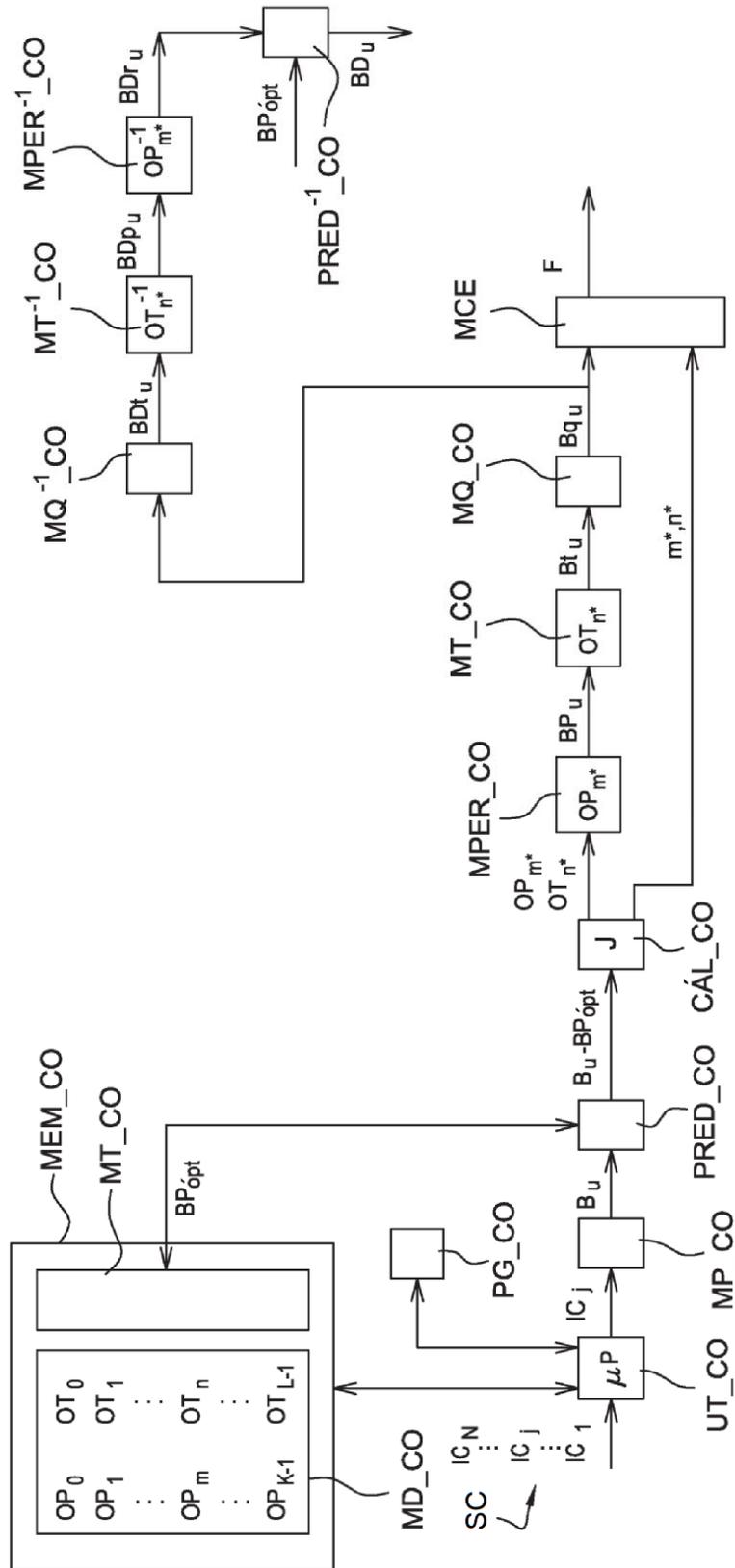
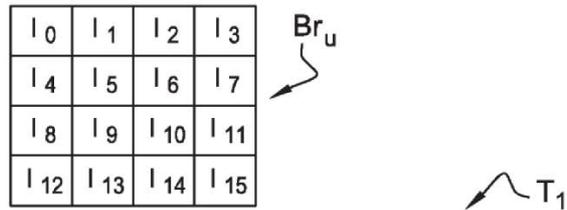


Fig. 1



CO ↗

Fig. 2



Indice Pixel	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27
0	0	3	14	8	0	0	15	0	12	0	4	11	3	3	3	12	14	3	14	13	4	3	3	4	14	12	12	12
1	1	2	13	9	4	4	14	1	8	3	5	10	2	7	0	13	15	2	12	14	1	2	1	5	10	13	15	13
2	2	1	12	10	8	8	13	2	4	2	6	9	1	11	1	14	12	1	13	15	2	1	2	6	6	14	14	14
3	3	0	15	11	12	3	12	3	0	1	3	8	0	15	2	15	13	0	15	12	0	12	7	7	2	15	13	15
4	4	7	10	4	1	1	11	4	13	4	8	15	7	5	7	8	10	4	10	9	8	15	0	8	15	8	8	8
5	5	6	9	5	5	2	10	5	9	7	9	14	11	9	4	4	11	7	8	10	5	14	5	9	11	1	11	9
6	6	5	8	6	9	9	9	6	5	6	10	13	15	10	5	0	8	6	9	11	6	13	6	10	7	2	10	10
7	7	4	11	7	13	7	8	7	1	5	7	12	4	14	6	11	9	5	11	8	3	8	11	11	3	11	9	11
8	8	11	6	0	2	5	7	8	14	8	12	3	6	4	11	9	6	9	6	4	12	11	4	12	13	4	4	4
9	9	10	5	1	6	6	6	9	10	11	13	2	10	8	8	5	7	8	4	5	9	10	9	13	9	9	7	5
10	10	9	4	2	10	10	5	10	6	10	14	1	14	6	9	1	4	11	5	6	10	9	10	14	5	10	6	6
11	11	8	7	3	14	11	4	11	2	9	11	0	8	13	10	7	5	10	7	7	7	4	15	15	1	7	5	7
12	12	15	2	12	3	12	3	12	15	12	0	7	5	0	12	10	2	14	2	0	15	7	8	0	12	0	0	0
13	13	14	1	13	7	13	2	13	11	15	1	7	9	1	13	6	3	13	0	1	13	6	13	1	8	5	3	1
14	14	13	0	14	11	14	1	14	7	14	2	5	13	2	14	2	0	12	1	2	14	5	14	2	4	6	2	2
15	15	12	3	15	15	15	0	15	3	13	15	4	12	12	15	3	1	15	3	3	11	0	12	3	0	3	1	3
Type	dct	dst	dct	dct	dct	dst	dst	dst	dct	dct	dct	dst	dct	dst														

Fig. 3A

I ₀	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆	I ₇
I ₈	I ₉	I ₁₀	I ₁₁	I ₁₂	I ₁₃	I ₁₄	I ₁₅
I ₁₆	I ₁₇	I ₁₈	I ₁₉	I ₂₀	I ₂₁	I ₂₂	I ₂₃
I ₂₄	I ₂₅	I ₂₆	I ₂₇	I ₂₈	I ₂₉	I ₃₀	I ₃₁
I ₃₂	I ₃₃	I ₃₄	I ₃₅	I ₃₆	I ₃₇	I ₃₈	I ₃₉
I ₄₀	I ₄₁	I ₄₂	I ₄₃	I ₄₄	I ₄₅	I ₄₆	I ₄₇
I ₄₈	I ₄₉	I ₅₀	I ₅₁	I ₅₂	I ₅₃	I ₅₄	I ₅₅
I ₅₆	I ₅₇	I ₅₈	I ₅₉	I ₆₀	I ₆₁	I ₆₂	I ₆₃

Br_u



Fig. 3B

T₂



Indice Pixel	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28		
0	0	7	0	7	0	0	0	3	7	0	1	1	6	7	8	24	48	48	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	1	0	1	0	1	9	1	4	0	57	2	2	7	6	9	25	49	49	58	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	9	
2	2	1	2	1	2	18	2	5	1	50	3	3	2	5	10	26	50	50	57	2	2	2	2	2	2	2	4	5	7	2	10
3	3	2	3	2	3	27	3	6	2	43	4	4	3	3	11	27	51	51	56	3	3	3	3	3	3	5	6	3	1	11	
4	4	3	4	3	4	36	4	7	3	36	5	5	4	4	12	28	52	52	0	4	4	4	4	4	4	6	7	4	4	12	
5	5	4	5	4	5	45	5	63	4	29	6	6	5	13	13	29	53	53	1	5	5	5	5	5	5	7	2	5	5	13	
6	6	5	6	5	6	54	6	62	5	22	7	7	0	14	14	30	54	54	2	6	6	6	6	6	6	2	3	6	6	14	
7	7	6	7	6	7	63	7	61	6	15	0	0	1	15	15	31	55	55	3	7	7	7	7	7	7	3	4	2	7	15	
8	8	15	40	15	24	8	24	10	15	8	9	9	14	0	16	6	40	56	50	8	8	9	15	40	8	8	8	8	8	8	
9	9	8	41	8	25	17	25	11	8	1	10	10	15	1	17	9	41	57	49	9	9	10	8	41	9	9	9	11	17		
10	10	9	42	9	26	26	26	12	9	58	11	11	10	2	18	10	42	58	48	10	10	11	9	42	12	13	15	10	18		
11	11	10	43	10	27	35	27	13	10	51	12	12	11	11	19	11	43	59	8	11	11	12	10	43	13	14	11	9	19		
12	12	11	44	11	28	44	28	14	11	44	13	13	12	12	20	12	44	60	9	12	12	13	11	44	14	15	12	12	20		
13	13	12	45	12	29	53	29	15	12	37	14	14	13	21	21	13	45	61	10	13	13	14	12	45	15	10	13	13	21		
14	14	13	46	13	30	62	30	55	13	30	15	15	8	22	22	14	46	62	11	14	14	15	13	46	10	11	14	14	22		
15	15	14	47	14	31	7	31	54	14	23	16	16	9	23	23	15	47	63	12	15	15	8	14	47	11	12	10	15	23		
16	16	23	48	23	32	16	32	17	15	16	17	17	22	8	24	16	0	40	41	18	16	18	22	32	16	16	16	16	16		
17	17	16	49	16	33	25	33	18	16	9	18	18	23	9	25	17	1	41	40	19	17	19	23	33	17	17	17	19	25		
18	18	17	50	17	34	34	34	19	17	2	19	19	18	10	26	18	2	42	16	20	18	20	16	34	20	21	23	18	26		
19	19	18	51	18	35	43	35	20	18	59	20	20	19	19	27	19	3	43	17	21	19	21	17	35	21	22	19	17	27		
20	20	19	52	19	36	52	36	21	19	52	21	21	20	20	28	20	4	44	18	22	20	22	18	36	22	23	20	20	28		
21	21	20	53	20	37	61	37	22	20	45	22	22	21	29	29	21	5	45	19	23	21	23	19	37	23	18	21	21	29		
22	22	21	54	21	38	6	38	23	21	38	23	23	16	30	30	22	6	46	20	16	22	16	20	38	18	19	22	22	30		
23	23	22	55	22	39	15	39	24	22	31	24	24	17	31	31	23	7	47	21	17	23	17	21	39	19	20	18	23	31		
24	24	31	8	31	40	24	40	25	23	24	25	25	30	16	32	0	8	0	32	26	48	27	29	8	24	24	24	24	24		
25	25	24	9	24	41	33	41	26	24	17	26	26	31	17	33	1	9	1	24	27	49	28	30	9	25	25	25	27	33		
26	26	25	10	25	42	42	42	27	25	10	27	27	28	18	34	2	10	2	25	28	50	29	31	10	28	29	31	26	34		
27	27	26	11	26	43	51	43	28	26	3	28	28	27	27	35	3	11	3	26	29	51	30	24	11	29	30	27	25	35		
28	28	27	12	27	44	60	44	29	27	60	29	29	28	28	36	4	12	4	27	30	52	31	25	12	30	31	28	28	36		
29	29	28	13	28	45	5	45	30	28	53	30	30	29	37	37	5	13	5	28	31	53	24	26	13	31	26	29	29	37		
30	30	29	14	29	46	14	46	31	29	46	31	31	24	38	38	6	14	6	29	24	54	25	27	14	26	27	30	30	38		
31	31	30	15	30	47	23	47	39	30	39	24	24	25	39	39	7	15	7	30	25	55	26	28	15	27	28	26	31	39		
32	32	39	16	39	48	32	48	24	39	32	33	33	38	24	0	32	16	8	33	34	56	36	36	16	32	32	32	32	40		
33	33	32	17	32	49	41	49	32	32	25	34	34	39	25	1	33	17	9	34	35	57	37	37	17	33	33	33	33	41		
34	34	33	18	33	50	50	50	33	33	28	35	35	34	26	2	34	18	10	35	36	58	38	38	18	36	37	39	34	42		
35	35	34	19	34	51	59	51	34	34	11	36	36	35	35	3	35	19	11	36	37	59	39	39	19	37	38	35	35	43		
36	36	35	20	35	52	4	52	35	35	4	37	37	36	36	4	36	20	12	37	38	60	32	32	20	38	39	36	36	44		
37	37	36	21	36	53	13	53	36	36	61	38	38	37	45	5	37	21	13	38	39	61	33	33	21	39	34	37	37	45		
38	38	37	22	37	54	22	54	37	37	54	39	39	32	46	6	38	22	14	39	32	62	34	34	22	34	35	38	38	46		
39	39	38	23	38	55	31	55	38	38	47	32	32	33	47	7	39	23	15	31	33	63	35	35	23	35	36	34	39	47		

⋮

↖ T₂

⋮

40	40	47	24	47	56	40	56	16	47	40	41	41	46	32	40	40	24	16	42	42	40	45	43	24	40	40	40	40	40
41	41	40	25	40	57	49	57	40	40	33	42	42	47	33	41	41	25	17	43	43	41	46	44	25	41	41	41	43	49
42	42	41	26	41	58	58	58	41	41	25	43	43	42	34	42	42	26	18	44	44	42	47	45	26	44	45	47	42	50
43	43	42	27	42	59	3	59	42	42	19	44	44	43	43	43	43	27	19	45	45	43	40	46	27	45	46	43	41	51
44	44	43	28	43	60	12	60	43	43	12	45	45	44	44	44	44	28	20	46	46	44	41	47	28	46	47	44	44	52
45	45	44	29	44	61	21	61	44	44	5	46	46	45	53	45	45	29	21	47	47	45	42	40	29	47	42	45	45	53
46	46	45	30	45	62	30	62	45	45	62	47	47	40	54	46	46	30	22	23	40	46	43	41	30	42	43	46	46	54
47	47	46	31	46	63	39	63	46	46	55	40	40	41	55	47	47	31	23	22	41	47	44	42	31	43	44	42	47	55
48	48	55	32	55	16	48	16	8	55	48	49	49	54	40	48	48	32	24	51	50	24	54	50	48	48	48	48	48	48
49	49	48	33	48	17	57	17	9	48	41	50	50	55	41	49	49	33	25	52	51	25	55	51	49	49	49	49	51	57
50	50	49	34	49	18	2	18	48	49	34	51	51	50	42	50	50	34	26	53	52	26	48	52	50	52	53	55	50	58
51	51	50	35	50	19	11	19	49	50	27	52	52	51	51	51	51	35	27	54	53	27	49	53	51	53	54	51	49	59
52	52	51	36	51	20	20	20	50	51	20	53	53	52	52	52	36	28	55	54	28	50	54	52	54	55	52	52	60	60
53	53	52	37	52	21	29	21	51	52	13	54	54	53	61	53	53	37	29	15	55	29	51	55	53	55	50	53	53	61
54	54	53	38	53	22	38	22	52	53	6	55	55	48	62	54	54	38	30	14	48	30	52	48	54	50	51	54	54	62
55	55	54	39	54	23	47	23	53	54	63	48	48	49	63	55	55	39	31	13	49	31	53	49	55	51	52	50	55	63
56	56	63	56	55	8	56	8	2	63	56	56	57	62	48	56	56	56	32	60	58	32	63	57	56	56	56	56	56	56
57	57	56	57	56	9	1	9	1	56	49	57	58	63	49	57	57	57	33	61	59	33	56	58	57	57	57	57	59	1
58	58	57	58	57	10	10	10	0	57	42	58	59	58	50	58	58	58	34	62	60	34	57	59	58	60	61	63	58	2
59	59	58	59	58	11	19	11	56	58	35	59	60	59	59	59	59	59	35	63	61	35	58	60	59	61	62	62	57	3
60	60	59	60	59	12	28	12	57	59	28	60	61	60	60	60	60	36	7	62	36	59	61	60	62	63	63	60	4	4
61	61	60	61	60	13	37	13	58	60	21	61	62	61	58	61	61	61	37	6	63	37	60	62	61	63	58	58	61	5
62	62	61	62	61	14	46	14	59	61	14	62	63	56	57	62	62	62	38	5	56	38	61	63	62	58	59	59	62	6
63	63	62	63	62	15	55	15	60	62	7	63	56	57	56	63	63	63	39	4	57	39	62	56	63	59	60	58	63	7

Fig. 3C

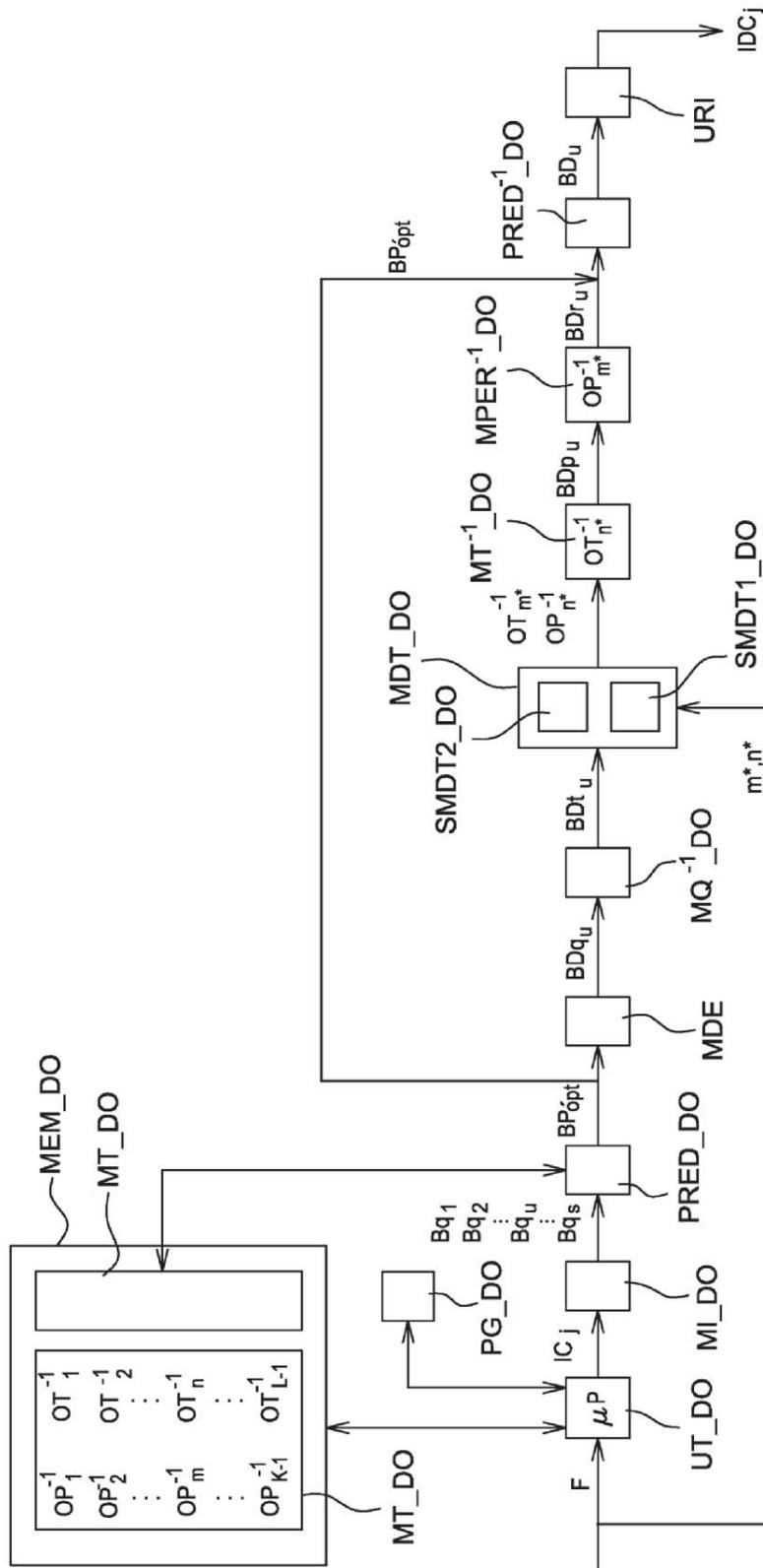


Fig. 4

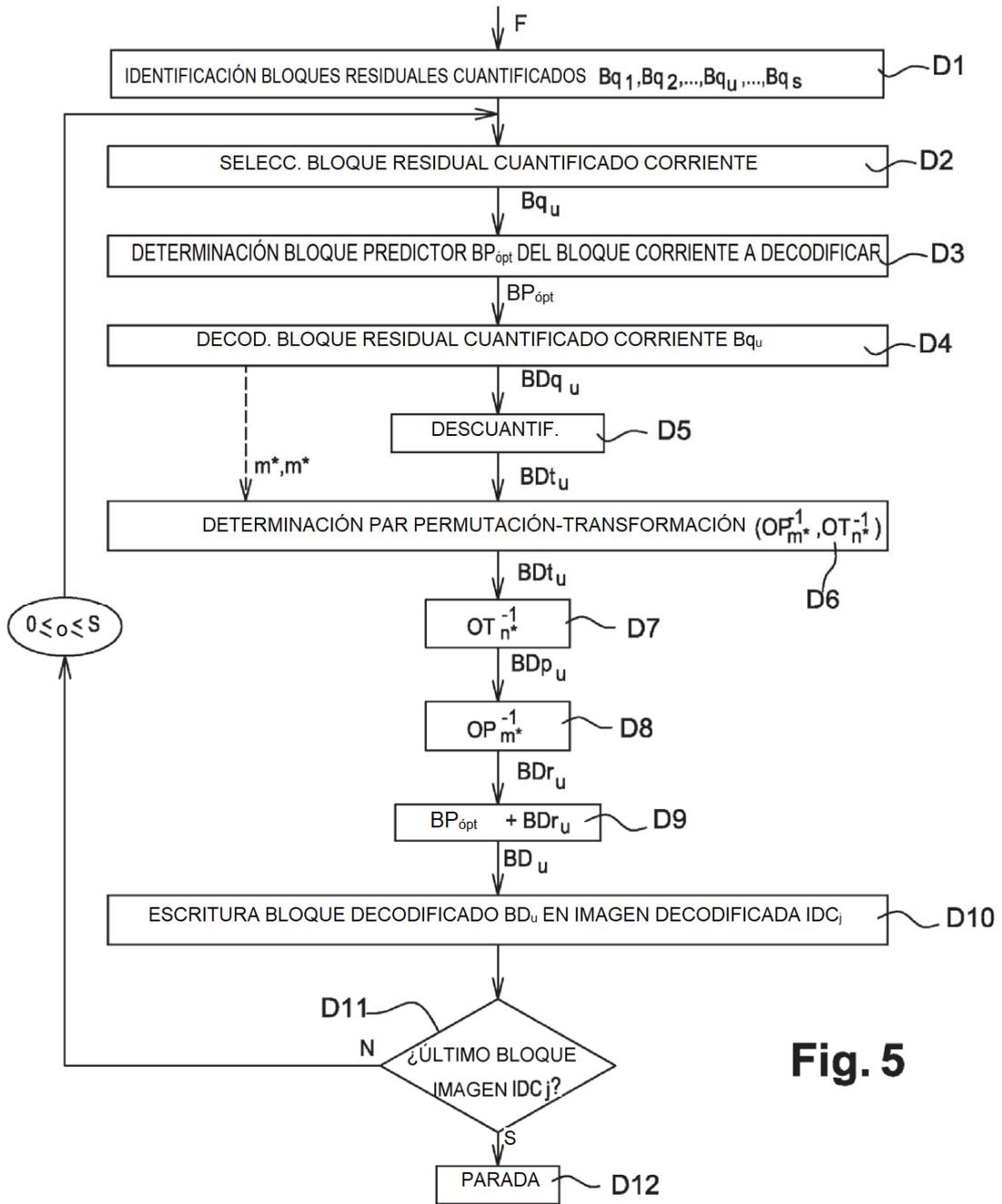


Fig. 5

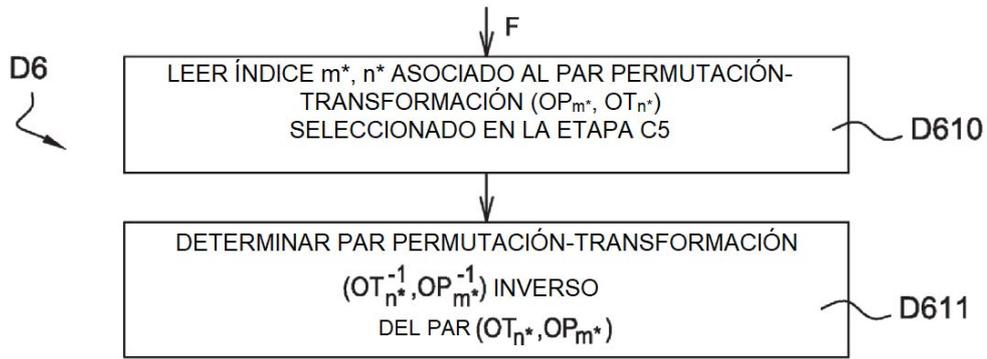


Fig. 6A

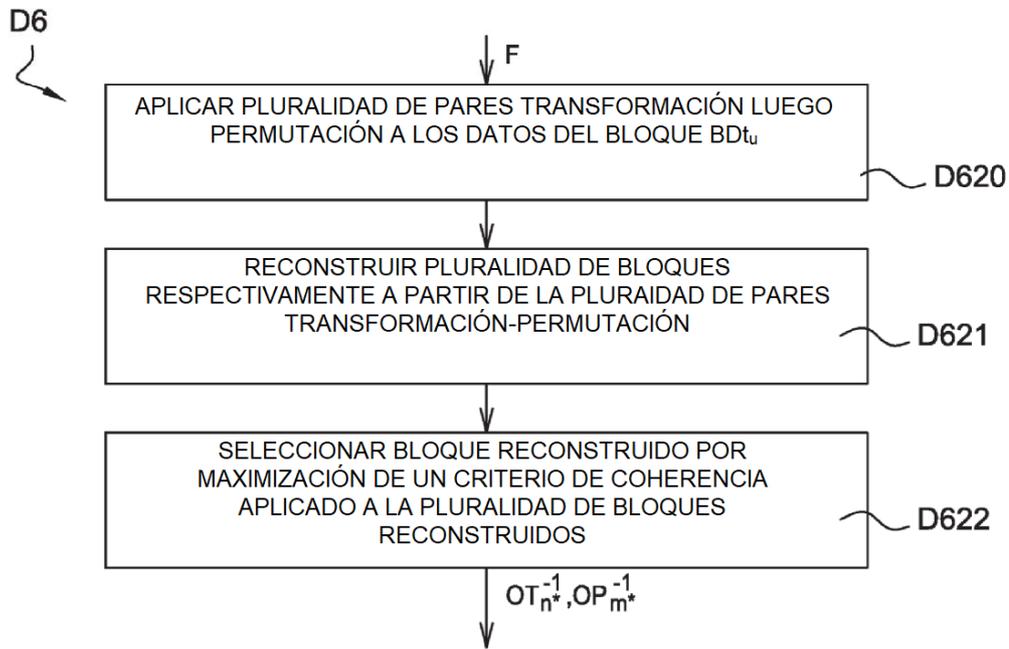


Fig. 6B