

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 710 518**

51 Int. Cl.:

G10L 19/018 (2013.01)

G11B 20/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.11.2013 PCT/EP2013/074971**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.06.2015 WO15078502**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.11.2013 E 13799269 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.11.2018 EP 3078024**

54 Título: **Procedimiento y aparato para integrar y extraer datos de marcas de agua en una señal de audio**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.04.2019

73 Titular/es:

**FUNDACIO PER A LA UNIVERSITAT OBERTA DE CATALUNYA (100.0%)
Avinguda del Tibidabo 39-43
08005 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

MEGÍAS JIMÉNEZ, DAVID

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 710 518 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 y aparato para integrar y extraer datos de marcas de agua en una señal de audio

Campo de la invención

5 La presente invención tiene su aplicación dentro del sector de las telecomunicaciones y, en particular, en la zona dedicada a la integración y extracción de datos en señales de audio.

Antecedentes de la invención - técnica relacionada

10 Una marca de agua digital consiste en la integración de datos ocultos (conocidos como marca de agua) en un objeto digital, tal como audio, vídeo, imágenes y texto. Esta técnica permite transmitir información relacionada con el contenido complementario de una manera que es imperceptible para el usuario del objeto digital, y se puede aplicar a una amplia variedad de aplicaciones, tal como monitorización de transmisión, identificación del propietario, prueba de propiedad, seguimiento de transacciones, autenticación de contenido (con o sin localización de manipulación), control de copia, control de dispositivos y mejoras heredadas.

15 Para implementar un procedimiento de marca de agua digital, se requieren tanto un sistema de integración como un sistema de extracción. El sistema de integración se implementa en el extremo de transmisión, y utiliza el contenido digital y la marca de agua como entradas para generar el contenido de la marca de agua, es decir, un archivo digital modificado con la marca de agua integrada. El sistema de extracción se implementa en la recepción, y es responsable de recibir el contenido con marca de agua y extraer la marca de agua integrada. Una clave de marca de agua común puede ser utilizada por ambos extremos para proteger la marca de agua. Además, el encriptado y las claves de encriptado se pueden utilizar para aumentar la seguridad de la marca de agua integrada.

20 En el caso particular de la marca de agua de audio, los datos de marca de agua se integran en el contenido de audio de un archivo digital de audio o vídeo, utilizando el tiempo o los dominios de frecuencia para la integración de datos. En la marca de agua de audio en el dominio de la frecuencia, una señal de audio original experimenta una transformada de frecuencia, tal como una Transformada Discreta de Fourier (DFT), una Transformada Discreta de Coseno Discreta Modificada (MDCT) o una Transformada de Ondícula (WT). Los bits de la marca de agua se integran al reemplazar una pluralidad de los coeficientes de transformación resultantes con coeficientes modificados que codifican dichos bits. Una de las alternativas para las marcas de agua de audio en el dominio de la frecuencia es codificar la marca de agua en los coeficientes de una Transformada Rápida de Fourier (FFT), como se muestra en "High capacity FFT-based audio watermarking" (M. Fallahpour y D. Megías, Eds. B. de Decker et al., Communications and Multimedia Security, Lecture Notes in computer Science Volumen 7025, páginas 235-237, 2011). Este enfoque aprovecha la propiedad invariante de la traducción de los coeficientes de FFT para resistir pequeñas distorsiones en el dominio del tiempo. Por lo tanto, proporciona un alto grado de robustez contra el procesamiento de señales comunes, tal como el ruido, el filtrado y la compresión, a la vez que permite una alta capacidad sin una gran distorsión perceptiva. Sin embargo, estas técnicas están dirigidas a sistemas completamente digitales en los que el audio con marca de agua se transmite digitalmente al extremo receptor a través de una red de comunicación sin grandes distorsiones. Por lo tanto, la marca de agua no se puede transmitir a un dispositivo cercano que se encuentre cerca de una fuente que reproduzca el contenido de audio con marca de agua, pero no tiene acceso al archivo digital de audio con marca de agua original. En este escenario, el espectro del audio con marca de agua se puede distorsionar y cambiar, lo que dificulta la decodificación de los datos integrados. Además, como el extremo receptor no recibe notificación del inicio de un archivo particular dentro de una transmisión de audio continua, un sistema de extracción de marca de agua convencional no es capaz de determinar cuándo se está transmitiendo una marca de agua.

45 Las limitaciones antes mencionadas también están presentes, por ejemplo, en los siguientes sistemas conocidos en el estado de la técnica. El documento US 2012/300971 A1 divulga un sistema en el que la marca de agua está segmentada e integrada en múltiples canales de audio y vídeo. El documento WO 2013/0179666 A1 proporciona un enfoque que minimiza la distorsión del oyente al integrar solo datos en algunas secciones particulares de la señal de audio. El documento US 2004/0257977 A1 también apunta a minimizar la distorsión del oyente al integrar datos de marcas de agua en posiciones seleccionadas de una señal de audio. En la proximidad de las posiciones seleccionadas, la integración de datos se realiza mediante la multiplicación de los coeficientes discretos de la Transformada de Fourier de la señal de audio con valores que codifican la marca de agua. En Fallahpour, M. y Megias Jimenez, D. "High capacity robust audio watermarking scheme based on FFT and linear regression" Int. Journal on Innovative Computing Information and Control, vol. 8 Número 4 (2012), los datos de marca de agua se integran al aumentar o disminuir los valores de regresión lineal de los coeficientes de frecuencia originales. El documento EP 2562749 divulga un sistema que clasifica el archivo de audio en bloques o secciones según si son susceptibles de tener una marca de agua. Sin embargo, todos estos sistemas de extracción de marcas de agua operan directamente en la señal de audio digital después de ser transmitidos a través de una red de comunicación digital sin distorsiones importantes, y por lo tanto no pueden aplicarse a un escenario en el que un archivo de audio con marca de agua se transmite a través de ondas de sonido.

Por lo tanto, todos los enfoques conocidos en el estado de la técnica no proporcionan una solución robusta y eficiente de marca de agua para entornos en los que la señal de audio se transmite por medio de ondas de sonido a través de un medio con interferencias o degradaciones de señal. Sus técnicas de integración y extracción tampoco están adaptadas a dispositivos ligeros con capacidades de procesamiento limitadas. Por lo tanto, existe la necesidad de un procedimiento y un aparato capaces de integrar y extraer datos de marcas de agua en una señal de audio, donde la extracción se realiza después de que la señal de audio se transmita a través del aire como ondas de sonido y sea capturada por un dispositivo de usuario, con la consiguiente degradación de la señal.

Sumario de la invención

La presente invención resuelve los problemas antes mencionados mediante la divulgación de una técnica de marca de agua de audio en el dominio de la frecuencia en la que los datos de marca de agua están codificados en una pluralidad de coeficientes de transformada de Fourier. Después de integrar los datos de la marca de agua, el audio resultante de la marca de agua se transmite a un convertidor de analógico a digital, para que el audio de la marca de agua se convierta a un dominio analógico para su transmisión a través de ondas de sonido, por ejemplo, en una transmisión de radio. Los datos de la marca de agua se extraen después de convertir nuevamente el audio con la marca de agua al dominio digital en el extremo receptor. El sistema aprovecha la robustez de la codificación de la marca de agua en los coeficientes de la transformada de Fourier para superar la degradación de la señal causada durante la reproducción, propagación y recepción del audio.

En un primer aspecto de la presente invención, se divulga un procedimiento para integrar los datos de marca de agua en una señal de audio. Los datos de marca de agua pueden ser cualquier tipo de datos que se transmitan dentro de la señal de audio sin alterar en gran medida la percepción de dicha señal de audio por parte de un oyente. Además, la señal de audio se puede transmitir por sí misma, por ejemplo, en una emisión de radio o en un mensaje reproducido por un dispositivo particular, o como parte de un contenido audiovisual o multimedia, tal como una emisión de televisión. De acuerdo con el procedimiento descrito, una primera pluralidad de coeficientes de transformada de Fourier se calcula y se reemplazan por una segunda pluralidad de coeficientes de transformada de Fourier, siendo los datos de marca de agua codificados en dicha segunda pluralidad de coeficientes de transformada de Fourier. Esta alteración en el dominio de la frecuencia da como resultado un audio con marca de agua que luego se transmite a un convertidor digital a analógico para su posterior reproducción y captura. La captura se realiza normalmente mediante un micrófono de un dispositivo de usuario portátil.

– Una codificación de bits en la que los coeficientes utilizados para integrar cada bit de los datos de marca de agua se dividen en dos grupos, generalmente con el mismo número de elementos. Para un primer valor de bit (por ejemplo, '0'), se asignan dos valores de coeficiente diferentes a cada grupo. Para un segundo valor de bit ('1' en el mismo ejemplo), los valores de coeficiente para cada grupo se intercambian. Más preferiblemente, los valores de coeficiente utilizados en la codificación de bits son proporcionales a la media de la primera pluralidad de coeficientes de la señal de audio que se reemplaza, minimizando así la distorsión para el oyente y asegurando un nivel apropiado para la segunda pluralidad de coeficientes.

Para aumentar la robustez del procedimiento de integración, se presentan varias opciones preferidas:

– Inclusión de una señal de baliza para permitir que el extremo receptor identifique el comienzo de una transmisión de datos de marca de agua. La señal de baliza se codifica agregando a la señal de audio no marcada un pico de frecuencia centrado en una frecuencia predefinida. Este enfoque permite la detección rápida de la señal de baliza y, por lo tanto, permite la extracción de marcas de agua en un escenario en el que el inicio de un archivo de datos particular no está claramente marcado, tal como una transmisión de radio o televisión.

– Inclusión de un patrón periódico para la sincronización de frecuencia. Esto permite que el extremo receptor supere las distorsiones en la reproducción de audio que resultan en el cambio del coeficiente de transformada de Fourier.

– Implementación de técnicas de redundancia para la corrección de errores. Al repetir la transmisión de cada bit de la marca de agua o al transmitir bits adicionales para realizar verificaciones de errores, aumenta la robustez del procedimiento contra las interferencias y el ruido.

En un segundo aspecto de la presente invención, se describe un procedimiento para la extracción de los datos de marca de agua insertada a partir de una señal de audio. Los datos de la marca de agua se extraen del audio digitalizado capturado de las ondas de sonido en lugar de un archivo digital transmitido al dispositivo que realiza la extracción. Después de la digitalización del audio capturado, se computan una pluralidad de coeficientes de Transformada de Fourier, típicamente a través de la Transformada Rápida de Fourier. Los datos de la marca de agua se decodifican a partir de los coeficientes calculados.

– La decodificación de los datos de la marca de agua según una codificación de bits en la que los coeficientes de la transformada de Fourier que comprenden cada bit de los datos de la marca de agua se dividen en dos grupos, generalmente con el mismo número de elementos. El mismo valor de coeficiente se asigna a todos los coeficientes del mismo grupo, siendo los valores de coeficiente de los dos grupos dispares. Para codificar los dos

valores binarios, los valores de los coeficientes asignados a cada grupo se intercambian. Más preferiblemente, para realizar una decodificación rápida de los datos de marca de agua, se comparan la suma del primer grupo de coeficientes y la suma del segundo grupo de coeficientes. Dependiendo de cuál de las dos sumas es mayor, se asigna un valor de '0' o '1'.

5 Como en el procedimiento de integración de marca de agua, se describen varias opciones preferidas para aumentar la robustez y eficiencia del procedimiento de extracción de marca de agua:

– Detección de una señal de baliza que marca el punto de inicio de una transmisión de datos de marca de agua. La señal de baliza se detecta como un pico en una frecuencia predefinida, típicamente en el mismo rango que las frecuencias utilizadas para integrar la marca de agua. Sin embargo, las frecuencias fuera de este rango se pueden usar en realizaciones particulares de la invención. En particular, la señal de baliza se detecta comparando los valores de los coeficientes de la transformada de Fourier cerca de la frecuencia predefinida, y los valores de otros coeficientes de la Transformada de Fourier más alejados de la frecuencia predefinida.

10
15 – Búsqueda periódica de un patrón de sincronización predefinido, tanto en los coeficientes de transformada de Fourier en los que dicho patrón de sincronización está integrado como en los coeficientes cercanos. Si el patrón se detecta en un grupo de coeficientes diferente al que se espera la integración de la marca de agua, se detecta un cambio de frecuencia y la selección de los coeficientes para la extracción de la marca de agua se corrige en consecuencia.

– Aplicación de técnicas de corrección de errores basadas en la redundancia durante la decodificación de datos de marcas de agua, generalmente mediante técnicas de votación y verificación de errores.

20 En un tercer aspecto de la presente invención, se divulga un aparato para integrar datos de marca de agua en señales de audio. El aparato de integración de marca de agua comprende medios de integración para calcular los coeficientes de transformada de Fourier de las señales de audio y reemplazarlos por coeficientes que codifican los datos de marca de agua. El aparato también comprende medios de comunicación adaptados para transmitir el audio con marca de agua a un convertidor digital a analógico, donde el audio con marca de agua se convierte al dominio analógico para su reproducción y posterior captura.

25 En un cuarto aspecto de la presente invención, se divulga un aparato para la extracción de datos de marca de agua a partir de una señal de audio con marca de agua, donde el audio con marca de agua es una digitalización de una señal analógica. El aparato de extracción de marca de agua comprende medios de extracción adaptados para calcular una pluralidad de coeficientes de transformada de Fourier en los que están integrados los datos de marca de agua, y para decodificar los datos de marca de agua a partir de dichos coeficientes.

30 Opciones preferidas y realizaciones particulares descritas para el procedimiento de integración también puede aplicarse al aparato de integración. Del mismo modo, las opciones preferidas y las realizaciones particulares descritas para el procedimiento de extracción de marca de agua pueden aplicarse al aparato de extracción de marca de agua.

35 Finalmente, en un quinto aspecto de la presente invención, se divulga un programa de ordenador, que comprende código de programa de ordenador adaptado para realizar las etapas del procedimiento descrito, cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador, un procesador de señal digital, una disposición de campo de puerta programable, un circuito integrado de aplicación específica, un microprocesador, un microcontrolador o cualquier otra forma de hardware programable.

40 Los procedimientos, aparato y programa de ordenador de marca de agua de audio descritos pueden operar con audio capturado después de ser interpretado por un dispositivo diferente, proporcionando una transmisión robusta de los datos de marca de agua contra las distorsiones en la señal de audio transmitida. Su baja carga computacional permite la operación en tiempo real en dispositivos ligeros tales como teléfonos celulares, tabletas y otros dispositivos electrónicos portátiles. Estas y otras ventajas serán evidentes con la descripción detallada de la invención.

Breve descripción de los dibujos

Para ayudar a la comprensión de las características de la invención, de acuerdo con una realización práctica preferida de la misma y para complementar esta descripción, las siguientes figuras se adjuntan como una parte integral de la misma, que tiene un carácter ilustrativo y no limitativo:

50 La figura 1 muestra esquemáticamente los elementos implicados en el proceso de integración y extracción de marca de agua según una realización particular de la invención.
La figura 2 ilustra la codificación de la marca de agua según una realización particular de la invención.
La figura 3 representa un ejemplo de sincronización de tiempo y frecuencia de acuerdo con realizaciones particulares de la invención.

55

Descripción detallada de la invención

Las cuestiones definidas en esta descripción detallada se proporcionan para ayudar en una comprensión completa de la invención. En consecuencia, los expertos en la técnica reconocerán que cambios de variación y modificaciones de las realizaciones descritas en este documento pueden realizarse sin apartarse del alcance de la invención.

- 5 Debe indicarse que, en este texto, el término "comprende" y sus derivaciones (tales como "comprender", etc.) no debe entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no deben ser interpretados como que excluyen la posibilidad de que lo que se describe y define pueda incluir elementos, etapas adicionales, etc.

10 También debe tenerse en cuenta que, en este texto, el término "marca de agua" y "datos de marca de agua" se refiere a cualquier tipo de información que se transmite como parte de la señal de audio sin gran alteración de la percepción del oyente de dicha señal de audio. Además, las señales de audio en las que se integran los datos de la marca de agua y de donde se extraen los datos de la marca de agua se pueden transmitir solas o acompañadas de cualquier video, imagen, etc.

15 La figura 1 muestra los elementos principales implicados en el proceso de integración y extracción de la marca de agua según las realizaciones preferidas del aparato de la invención, que implementan las etapas de las realizaciones preferidas de los procedimientos de la invención. El aparato de integración utiliza como entradas una señal 1 de audio no marcada, es decir, cualquier señal o archivo de audio digital antes de que se someta al proceso de integración; y una marca 2 de agua, es decir, cualquier dato susceptible de ser integrado en el audio 1 no marcado sin distorsionar en gran medida la percepción del oyente de dicho audio 1 no marcado. La marca 2 de agua está integrada en el audio 1 no marcado integrando medios 3, generando un audio 5 con marca de agua. Los medios de integración utilizan una clave 5 de marca de agua para fijar la posición exacta y la fuerza de la marca 2 de agua. Además, las claves de encriptado y desencriptado se pueden utilizar para proteger aún más la marca 2 de agua antes de la integración. La marca 2 de agua está codificada en coeficientes de transformada de Fourier del audio 5 con marca de agua, siendo los coeficientes típicamente coeficientes de Transformada Rápida de Fourier (FFT), que proporcionan una mayor robustez contra las distorsiones en el dominio de tiempo. Sin embargo, otras transformaciones al dominio de frecuencia conocidas en el estado de la técnica se pueden aplicar en realizaciones particulares de la invención.

20 En este escenario de aplicación particular, el audio 5 con marca de agua se transmite por medio de comunicación a una red 6 de difusión, tal como una red de difusión de radio y se reproduce en un reproductor 7. Sin embargo, la invención se puede aplicar a cualquier otro escenario en el que el audio con marca de agua se convierta más tarde en una señal analógica y se reproduzca como una onda de sonido. Por lo tanto, el reproductor 7 puede ser parte del mismo dispositivo que realiza la integración de marca de agua, o parte de cualquier dispositivo externo comunicado a los medios de integración por cualquier tipo de conexión de comunicación o red, ya sea digital o analógica. En el caso de una conexión digital, el audio 5 con marca de agua se convierte al dominio analógico mediante un convertidor digital a analógico comprendido por el reproductor 7. En el caso de una conexión analógica, tal como una transmisión de radio analógica, dicha conversión analógica se realiza en un convertidor digital a analógico antes de transmitir o emitir la señal. De acuerdo con realizaciones particulares del aparato de integración de la invención, el convertidor digital a analógico puede, por lo tanto, ser parte del aparato de integración o ser parte de un sistema diferente. Del mismo modo, de acuerdo con realizaciones particulares del procedimiento de integración de la invención, la conversión al dominio analógico puede ser parte del procedimiento de integración o ser realizada por un sistema diferente.

25 En el extremo receptor, el audio con marca de agua transmitida 5 es capturado por un micrófono 9 de un dispositivo de usuario 8, o por cualquier medio de adquisición de sonido alternativo. Después de ser digitalizado por el dispositivo 8 de usuario, el audio 5 con marca de agua se analiza mediante los medios 10 de extracción, que extraen la marca 2 de agua de los coeficientes FFT de la señal digitalizada. Las mismas claves 4 de marca de agua deben estar a disposición de los medios 10 de extracción para la extracción. Si se utilizó encriptado para codificar la marca 2 de agua, las claves de encriptado también serán necesarias para el desencriptado. De acuerdo con realizaciones particulares del aparato de extracción de la invención, el convertidor analógico a digital puede ser, por lo tanto, parte del aparato de la invención, o ser parte de un sistema diferente. Del mismo modo, según realizaciones particulares del procedimiento de extracción de la invención, la conversión al dominio digital puede ser parte del procedimiento de extracción o ser realizado por un sistema diferente.

30 Un posible escenario de aplicación de esta invención es proporcionar información suplementaria (tal como cupones de descuento, regalos u otros productos promocionales) en anuncios emitidos. Esto se puede aplicar tanto a emisiones de radio como de televisión. Sin embargo, la invención divulgada se puede usar en cualquier otra aplicación en la que los datos ocultos estén integrados en una señal de audio, como monitorización de transmisión, identificación del propietario, prueba de propiedad, seguimiento de transacciones, autenticación de contenido, etc. En una realización preferida, el dispositivo 8 de usuario es un dispositivo portátil tal como un teléfono inteligente, pero cualquier otro dispositivo electrónico se puede usar en realizaciones específicas de la invención.

La figura 2 presenta con mayor detalle la integración de marca de agua realizada por los medios 3 de integración. En particular, la integración de marca de agua comienza al calcular la FFT de la señal 1 de audio no marcada, a partir

de la cual se selecciona una primera pluralidad de coeficientes 11 de transformada de Fourier para ser reemplazados por los datos 2 con marca de agua. Para mayor claridad, nos referiremos a esta primera pluralidad de coeficientes que no se han alterado de la señal 1 de audio no marcada como coeficientes 11 no marcados. Los coeficientes 11 no marcados se reemplazan luego por una segunda pluralidad de coeficientes 12, 13 que codifican los datos 2 de marca de agua. Nos referiremos a esta segunda pluralidad de coeficientes como coeficientes 12, 13 marcados.

Cada bit de los datos 2 de marca de agua (o una pluralidad de bits en función de la codificación particular usada por el sistema de integración), está integrado en una trama de coeficientes de FFT consecutivos. Por lo tanto, una banda de frecuencia se selecciona para propósitos de integración, conocida como la banda de frecuencia de integración. La banda de frecuencia integración comprende típicamente una pluralidad de tramas, utilizándose cada trama de d coeficientes FFT consecutivos para integrar un bit de la marca 2 de agua. Cuanto más grande es d , más robusto se vuelve el sistema, pero se logra menos capacidad. Realizaciones particulares de la invención pueden codificar múltiples bits en una sola trama.

En particular, la figura 2 representa una codificación preferida para los datos 2 de marca de agua, que muestra la diferencia entre los coeficientes marcados para un bit '0' 12 y marcado coeficientes para un bit '1' 13. Para cada trama de d coeficientes de FFT consecutivos, se calcula la media (m_0) de los coeficientes 11 no marcados. Luego, los coeficientes d de la trama se dividen en dos grupos, típicamente con el mismo número de elementos. Para los coeficientes marcados para un bit '0' 12, un primer valor de coeficiente m_a se asigna a todos los coeficientes del primer grupo y un segundo valor de coeficiente m_b se asigna a todos los coeficientes del segundo grupo. Para los coeficientes marcados para un bit '1' 13, el segundo valor m_b se asigna al primer grupo y viceversa. Este enfoque maximiza las diferencias entre los bits '0' y '1' y permite una decodificación eficiente en el extremo receptor.

Por otra parte, el primer valor m_a y segundo valor m_b son proporcionales a la media de los coeficientes 11 sin marcar que son reemplazados. Se puede aplicar un primer factor de escala α para regular la intensidad de la marca de agua según las siguientes ecuaciones:

$$m_a = (1 + \alpha) m_0$$

$$m_b = (1 - \alpha) m_0$$

donde el primer factor de escala α es un número positivo entre 0 y 1. Cuanto mayor es α , más robusto se vuelve el sistema, pero más distorsión se introduce en el proceso de integración.

Los coeficientes marcados para una trama codificada con la codificación descrita se pueden obtener de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$F'_j = \begin{cases} (1 + \alpha)m_0 F_j / |F_j|, & \text{si } \text{mod}(j, d) < d/2, w = 0, \\ (1 - \alpha)m_0 F_j / |F_j|, & \text{si } \text{mod}(j, d) \geq d/2, w = 0, \\ (1 - \alpha)m_0 F_j / |F_j|, & \text{si } \text{mod}(j, d) < d/2, w = 1, \\ (1 + \alpha)m_0 F_j / |F_j|, & \text{si } \text{mod}(j, d) \geq d/2, w = 1. \end{cases}$$

donde j es el índice de coeficiente, α es el primer factor de escala, d es el número de coeficientes FFT de una trama utilizada para codificar un solo bit de los datos de marca de agua, w es el valor del bit que se está codificando, F_j es el valor del coeficiente no marcado j , F'_j es el valor del coeficiente marcado j , y mod indica la función residual.

La codificación de los datos 2 de marca de agua descrita permite una rápida decodificación de bits eficiente por los medios de extracción del extremo de recepción. En particular, cada bit de los datos 2 de marca de agua se decodifica comparando la suma de los coeficientes del primer grupo de coeficientes y la suma de los coeficientes del segundo grupo de coeficientes. En el ejemplo particular que se muestra en la figura 2, si la suma de los primeros coeficientes $d/2$ de la trama es mayor que la suma de los últimos coeficientes $d/2$ de la trama, se extrae un bit '0'. De lo contrario, se extrae un bit '1'. Este proceso de extracción es robusto y requiere una carga computacional muy baja, lo que permite la operación en tiempo real en dispositivos de usuario portátiles livianos.

La figura 3 representa la señalización de sincronización de acuerdo con realizaciones particulares de los procedimientos y aparatos de la invención. Dado que el extremo de transmisión y el extremo de recepción se comunican a través de ondas de sonido que pueden sufrir distorsión, se implementa la sincronización de frecuencia para corregir posibles cambios de frecuencia en los coeficientes 12, 13 de FFT marcados. Además, dado que el punto de inicio de un archivo de audio particular no se comunica al extremo receptor, la sincronización de tiempo también se implementa para señalar el comienzo de la transmisión de una marca 2 de agua. Tanto la sincronización de la frecuencia como la del dominio del tiempo se realizan mediante la integración de una señalización particular en el dominio de la frecuencia del audio 5 con marca de agua. La sincronización de tiempo se logra precediendo cada transmisión de marca de agua con una señal 14 de baliza. La sincronización de frecuencia se logra mediante patrones 15 de sincronización periódicos.

La señal 14 de baliza se implementa como un pico en el espectro FFT a una frecuencia f_{sin} predefinida para una duración dada. La frecuencia f_{sin} predefinida puede estar en el mismo rango de frecuencia como los coeficientes de FFT usados para integrar los datos 2 de marca de agua, o puede estar en un intervalo de frecuencia diferente conocido tanto por el transmisor como por el extremo receptor. En realizaciones preferidas, la señal de baliza puede implementarse en el dominio de frecuencia mediante el aumento del coeficiente de FFT correspondiente a la frecuencia f_{sin} predefinida. El aumento de dicho coeficiente de FFT es lo suficientemente grande como para asegurar que el valor incrementado sea significativamente mayor que otros coeficientes cercanos. De manera equivalente, la señal de baliza se implementa en el dominio del tiempo en realizaciones preferidas añadiendo a la señal 1 de audio no marcada una función sinusoidal que oscila a la frecuencia predefinida f_{sin} . De acuerdo con una realización particular, la señal de baliza se implementa en el dominio del tiempo al agregar a la señal de audio sin marcar $x(t)$ la siguiente señal de pico $x_{\text{pico}}(t)$:

$$x_{\text{pico}}(t) = \begin{cases} \beta M \text{sen}(2\pi f_{\text{sin}} t), & t_{\text{ini}} \leq t \leq t_{\text{final}}, \\ 0, & \text{en caso contrario.} \end{cases}$$

donde β es un segundo factor de escala entre 0 y 1, t_{ini} el tiempo inicial del pico, t_{final} es el tiempo final del pico y M es el valor máximo de la señal 1 de audio sin marcar durante la duración del pico:

$$M = \max_{t_{\text{ini}} \leq t \leq t_{\text{final}}} \{x(t)\},$$

Para detectar la señal 14 de baliza en el extremo de recepción, el aparato de extracción detecta un pico en el espectro de frecuencia de la marca 5 de agua de audio digitalizada. Para este propósito, se calcula la FFT de la señal digitalizada y se ubica la magnitud máxima de un primer segmento de coeficientes de FFT centrado en la frecuencia predefinida f_{sin} . Luego, se ubica la magnitud máxima de al menos un segundo segmento de coeficientes de FFT que excluyen el primer segmento de coeficientes de FFT. Si la magnitud máxima del primer segmento es mayor que la magnitud máxima del segundo segmento, se considera que existe un pico. Obviamente, se puede utilizar un mayor número de segmentos para la detección de picos. Si el pico está presente al menos durante una duración predefinida, se considera que se ha recibido una señal 14 de baliza.

Obsérvese que en diferentes realizaciones dentro del alcance de la invención según se reivindica, la señal 14 de baliza se puede implementar como un pico de frecuencia que afecta a uno o varios coeficientes de FFT. Además, en el caso de afectar a múltiples coeficientes, la magnitud de los coeficientes afectados puede ser constante o variable, siempre que su magnitud global sea claramente distinguible de la señal 1 de audio no marcada.

La sincronización de frecuencia se realiza por medio de una transmisión periódica y la detección del patrón 15 de sincronización predefinido. El patrón 15 de sincronización es una pluralidad predefinida de bits codificados en tramas consecutivas de coeficientes 12, 13 marcados. En el extremo de transmisión, los medios 3 de integración codifican el patrón de sincronización utilizando los mismos coeficientes de FFT utilizados para codificar los datos 2 de marca de agua. Sin embargo, cuando el reproductor 7 reproduce el audio con marca 5 de agua, se propaga como ondas de sonido a través del aire y se captura con el micrófono 9, pueden producirse cambios de frecuencia, por lo que se cambian los coeficientes 12, 13 marcados que integran el patrón 15 de sincronización y los datos 2 de la marca de agua. Por esta razón, los medios de extracción buscan el patrón 15 de sincronización no solo en su posición estimada, es decir, en los coeficientes 12, 13 marcados donde se integró con los medios 3 de integración, sino también en un rango más amplio de coeficientes. Si la mejor coincidencia para el patrón 15 de sincronización se encuentra en coeficientes diferentes a los utilizados para la integración, el procedimiento de extracción actualiza la posición estimada con un desplazamiento definido por los coeficientes asociados con la mejor coincidencia, y utiliza la posición estimada actualizada para la extracción de los datos 2 de marca de agua del siguiente bloque 16 de datos. La mejor coincidencia se determina como una pluralidad de coeficientes que, después de la extracción de bits, producen el error cuadrático más pequeño en comparación con el patrón 15 de sincronización.

La robustez del sistema frente a las interferencias y distorsiones se incrementa en realizaciones particulares de la invención mediante la inclusión de técnicas de redundancia en el proceso de integración, lo que permite la corrección de errores en el proceso de extracción. En un ejemplo particular, cada bit de los datos 2 de marca de agua se transmite una pluralidad de veces en diferentes tramas de coeficiente de FFT. En el extremo de recepción, cada bit se decodifica esa pluralidad de veces, y el valor de bit ('0' o '1') que se decodifica en un número mayor de instancias se selecciona como el valor de bit decodificado. Cualquier otra técnica general de conexión de error y redundancia conocida en el estado de la técnica también se puede aplicar a la presente invención. Técnicas de criptografía también se pueden implementar en realizaciones particulares de la invención para seguridad adicional.

Los procedimientos y aparatos descritos proporcionan una gran capacidad, imperceptibilidad y robustez, que puede ajustarse en cada realización particular dependiendo de los requerimientos particulares de cada escenario. Las compensaciones entre robustez, capacidad e imperceptibilidad se controlan fácilmente seleccionando los parámetros de integración particulares para cada escenario, comprendiendo dichos parámetros la integración de banda de frecuencia, tamaño de trama, tamaño de bloque de datos y parámetros de escala.

5 En particular, la capacidad se incrementa cuando se utilizan mayores bandas de integración, es decir, cuando se utiliza un mayor número de tramas de coeficientes de FFT consecutivas para codificar un mayor número de bits de datos 2 de marca de agua. Esto se produce a expensas de una mayor distorsión en comparación con la señal 1 de audio sin marcar. La capacidad también aumenta al reducir el tamaño de trama d , es decir, el número de coeficientes FFT utilizados para codificar cada bit de los datos 2 de marca de agua. Esto se produce a expensas de una menor robustez contra la distorsión en la señal capturada. Finalmente, la capacidad también se incrementa al aumentar el tamaño de los bloques 16 de datos en comparación con el patrón 15 de sincronización.

10 La imperceptibilidad, es decir, la similitud percibida por el oyente entre el audio 1 no marcado y el audio 5 con marca de agua también se regula en cada realización particular. Disminuir el primer factor de escala α y/o el segundo factor de escala β aumenta la imperceptibilidad, a costa de una menor robustez en la extracción de la señal 14 de baliza y los datos 2 de marca de agua, respectivamente. La imperceptibilidad también aumenta cuando se reduce el tamaño de la trama d . Si se utilizan menos coeficientes para integrar cada bit, la distorsión introducida por el procedimiento de integración disminuye. Si se utiliza una banda de integración más estrecha, la distorsión introducida por el procedimiento de integración también es menos audible, pero la capacidad se reduce.

15 Por último, la robustez contra interferencias y reproducción y la distorsión de la captura se aumenta mediante el uso de bandas de integración específicas, mayores factores de escala y tamaños de trama más largos. Teniendo en cuenta que el audio 5 con marca de agua normalmente es capturado por el micrófono 9 de un dispositivo 8 ligero, que generalmente presenta un efecto de paso bajo, la banda de integración elegida debe seleccionarse por debajo de la frecuencia de corte del micrófono 9. La frecuencia de corte de los teléfonos móviles suele ser de 6-10 kHz. Por
20 lo tanto, se recomienda una banda de integración por debajo de 6 kHz.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para integrar datos (2) de marca de agua en una señal (1) de audio, **caracterizado porque** el procedimiento comprende:
 - 5 - calcular una primera pluralidad de coeficientes (11) de transformada de Fourier de la señal (1) de audio;
 - generar un audio (5) con marca de agua reemplazando la primera pluralidad de coeficientes (11) con una segunda pluralidad de coeficientes (12, 13), codificando la segunda pluralidad de coeficientes (12, 13) los datos (2) de marca de agua después de una codificación en la cual:
 - 10 - un primer valor de bit se codifica con un primer grupo de coeficientes que tienen un primer valor de coeficiente (m_a) y un segundo grupo de coeficientes que tienen un segundo valor de coeficiente (m_b);
 - un segundo valor de bit se codifica con un primer grupo de coeficientes que tienen el segundo valor de coeficiente (m_b) y el segundo grupo de coeficientes que tienen el primer valor de coeficiente (m_a);
 - transmitir el audio (5) con marca de agua a un convertidor de señal digital a analógico.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el primer valor (m_a) y el segundo valor (m_a) son proporcionales a la media (m_0) de la primera pluralidad de coeficientes (11).
- 15 3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además codificar en el audio (5) con marca de agua una señal (14) de baliza para indicar un punto de inicio de los datos (2) de marca de agua en el audio (5) con marca de agua, codificándose dicha señal (14) de baliza como un pico en una frecuencia predefinida del espectro del audio (5) con marca de agua.
- 20 4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además codificar periódicamente en la segunda pluralidad de coeficientes (12, 13) un patrón (15) de sincronización.
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además codificar en la segunda pluralidad de coeficientes (12, 13) los datos (2) de marca de agua con técnicas de redundancia.
- 25 6. Procedimiento para extraer datos (2) de marca de agua de un audio (5) con marca de agua, estando los datos (2) de marca de agua integrados en una pluralidad de coeficientes (12, 13) de transformada de Fourier modificados del audio (5) con marca de agua, **caracterizado porque** el audio con marca de agua es una señal analógica digitalizada, y **porque** el procedimiento comprende:
 - 30 - calcular una pluralidad de coeficientes (12, 13) de transformada de Fourier modificados del audio (5) con marca de agua digitalizado;
 - decodificar los datos (2) de marca de agua a partir de la pluralidad de coeficientes (12, 13) de transformada de Fourier modificados de acuerdo con una codificación en la que:
 - un primer valor de bit se codifica con un primer grupo de coeficientes que tienen un primer valor de coeficiente (m_a) y un segundo grupo de coeficientes que tienen un segundo valor de coeficiente (m_b);
 - un segundo valor de bit se codifica con un primer grupo de coeficientes que tienen el segundo valor de coeficiente (m_b) y el segundo grupo de coeficientes que tienen el primer valor de coeficiente (m_a).
- 35 7. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que los datos (2) de marca de agua se decodifican a partir de la pluralidad de coeficientes (12, 13) modificados de la señal digital convertida comparando una suma del primer grupo de coeficientes y una suma del segundo grupo de coeficientes.
- 40 8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 7, que comprende además detectar en la pluralidad de coeficientes (12, 13) modificados una señal (14) de baliza que indica un punto de inicio de los datos (2) de marca de agua en el audio (5) con marca de agua, detectándose dicha señal (14) de baliza al comparar un primer segmento de coeficientes de transformada de Fourier centrados en una frecuencia predefinida, y al menos un segundo segmento de coeficientes de transformada de Fourier más alejados de la frecuencia predefinida que el primer segmento de coeficientes.
- 45 9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, que comprende además localizar periódicamente un patrón (15) de sincronización en los coeficientes de transformada de Fourier de la señal (4) con marca de agua, y desplazar la pluralidad de bits modificados utilizados para la extracción de datos (2) de marca de agua según la posición del patrón (15) de sincronización.
- 50 10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, que comprende además decodificar los datos (2) de marca de agua a partir de la pluralidad de coeficientes (12, 13) modificados de acuerdo con técnicas de redundancia implementadas en dichos coeficientes (12, 13) modificados.
11. Aparato para integrar datos (2) de marca de agua en una señal (1) de audio, **caracterizado porque** el aparato comprende:

- medios de integración adaptados para calcular una primera pluralidad de coeficientes (11) de transformada de Fourier de la señal (1) de audio, y para generar un audio (5) con marca de agua reemplazando la primera pluralidad de coeficientes (11) con una segunda pluralidad de coeficientes (12, 13), codificando la segunda pluralidad de coeficientes (12, 13) los datos (2) de marca de agua después de una codificación en la que:

- 5
- un primer valor de bit se codifica con un primer grupo de coeficientes que tienen un primer valor de coeficiente (m_a) y un segundo grupo de coeficientes que tienen un segundo valor de coeficiente (m_b);
 - un segundo valor de bit se codifica con un primer grupo de coeficientes que tienen el segundo valor de coeficiente (m_b) y el segundo grupo de coeficientes que tienen el primer valor de coeficiente (m_a);

10

- medios de transmisión adaptados para transmitir el audio (5) con marca de agua a un convertidor digital a analógico.

12. Aparato para extraer datos (2) de marca de agua de un audio (5) con marca de agua, estando los datos (2) de marca de agua integrados en una pluralidad de coeficientes (12, 13) de transformada de Fourier modificados del audio (5) con marca de agua, **caracterizado porque** el audio (5) con marca de agua es una digitalización de una señal analógica y **porque** el aparato comprende medios de extracción adaptados para calcular la pluralidad de coeficientes (12, 13) modificados de la señal digital convertida y para decodificar los datos (2) de marca de agua de la pluralidad de coeficientes (12, 13) modificados de acuerdo con una codificación en la que:

- 15
- un primer valor de bit se codifica con un primer grupo de coeficientes que tienen un primer valor de coeficiente (m_a) y un segundo grupo de coeficientes que tienen un segundo valor de coeficiente (m_b);
 - un segundo valor de bit se codifica con un primer grupo de coeficientes que tienen el segundo valor de coeficiente (m_b) y el segundo grupo de coeficientes que tienen el primer valor de coeficiente (m_a).
- 20

13. Un programa de ordenador que comprende medios de código de programa de ordenador adaptados para realizar las etapas del procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador, un procesador de señales digitales, una matriz de puertas programables de campo, un circuito integrado de aplicación específica, un microprocesador, un microcontrolador o cualquier otra forma de hardware programable.

25

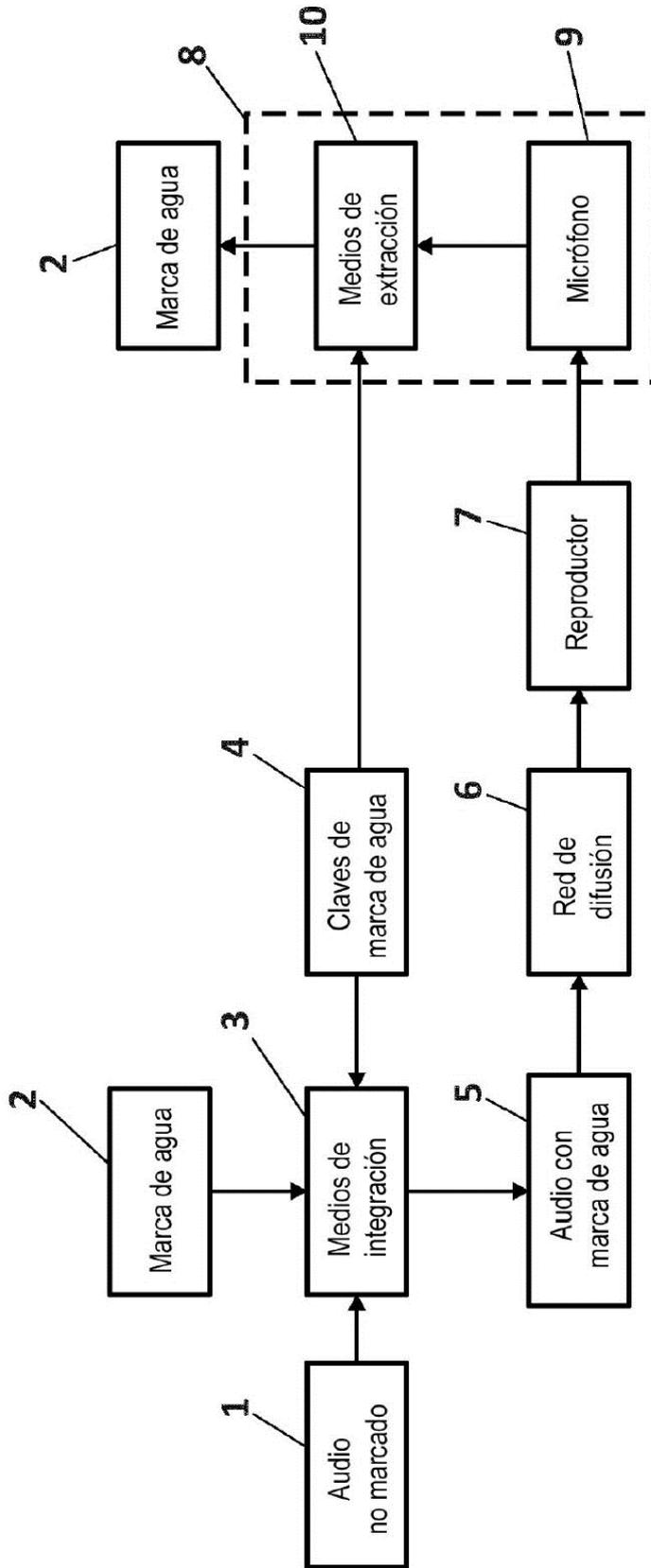


FIG. 1

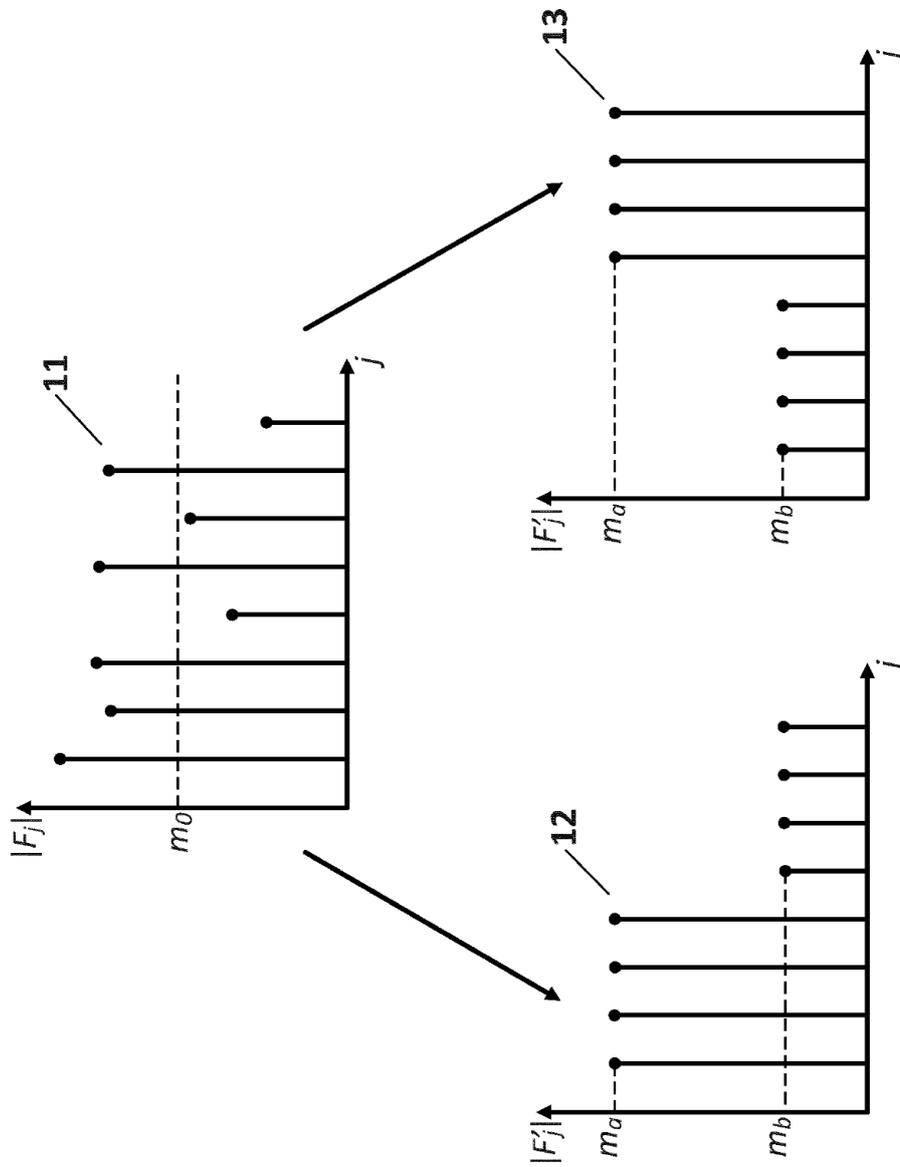


FIG. 2

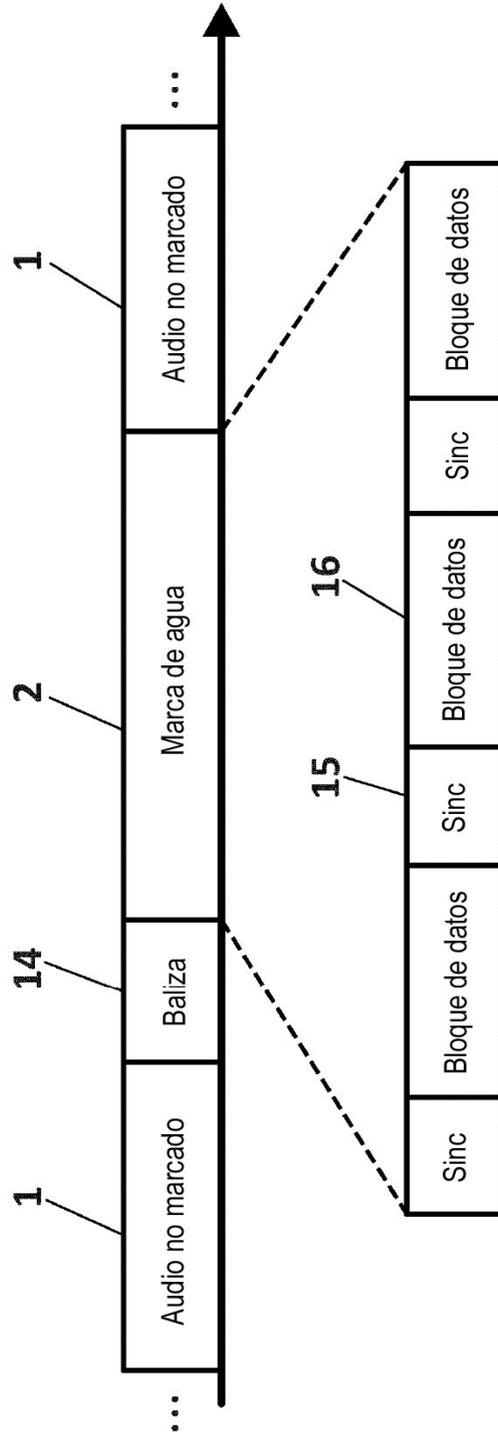


FIG. 3