

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 548 216**

51 Int. Cl.:

H04B 1/16 (2006.01)

G10L 19/008 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.10.2012 E 12772270 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.08.2015 EP 2761762**

54 Título: **Reducción de ruido de radio FM estéreo basado en predicción**

30 Prioridad:

29.09.2011 US 201161540880 P

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

14.10.2015

73 Titular/es:

**DOLBY INTERNATIONAL AB (100.0%)
Apollo Building, 3E, Herikerbergweg 1-35
1101 CN Amsterdam, NL**

72 Inventor/es:

**PURNHAGEN, HEIKO;
SEHLSTROM, LEIF y
ENGDEGARD, JONAS**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 548 216 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

Reducción de ruido de radio FM estéreo basado en predicción

Campo técnico

5 El presente documento está relacionado con el procesamiento de señales de audio, en particular con un equipo y un método correspondiente para mejorar la señal de audio de un receptor de radio FM estéreo. En particular, el presente documento está relacionado con un método y un sistema para reducir el ruido de una señal de radio FM estéreo recibida.

Antecedentes

10 En un sistema radio FM (modulación en frecuencia) estéreo analógico, el canal izquierdo (L) y el canal derecho (R) de la señal de audio se transmiten mediante una representación medio-lateral (M/S), esto es, como un canal medio (M) y un canal lateral (S). El canal medio M se corresponde con una señal suma de L y R, por ejemplo $M = (L+R) / 2$, y el canal lateral S se corresponde con una señal diferencia de L y R, por ejemplo $S = (L-R) / 2$. Para la transmisión, el canal lateral S se modula en una portadora suprimida de 38 kHz y se le añade a la señal media M de banda base para formar una señal múltiplex estéreo compatible hacia atrás. Esta señal de banda base múltiplex se utiliza a
15 continuación para modular la portadora de HF (alta frecuencia) del transmisor de FM, que funciona típicamente en el rango entre 87,5 y 108 MHz.

20 Cuando disminuye la calidad de recepción (esto es, disminuye la relación señal a ruido del canal de radio), durante la transmisión, el canal S típicamente sufre más que el canal M. En muchas implementaciones del receptor de FM, cuando las condiciones de recepción son demasiado ruidosas se silencia el canal S. Esto quiere decir que en el caso de una mala señal de radio HF, el receptor vuelve de estéreo a mono (denominado típicamente como mono dropout (cambio a mono)).

25 Incluso en el caso de que la señal media M disponga de una calidad aceptable, la señal lateral S puede ser ruidosa y, por lo tanto, puede degradar de forma importante la calidad global del audio cuando se mezcla en los canales izquierdo y derecho de la señal de salida (los cuales se obtienen, por ejemplo, de acuerdo con $L=M+S$ y $R=M-S$). Cuando una señal lateral S tiene únicamente una calidad entre mala e intermedia, existen dos opciones: o bien el receptor elige aceptar el ruido asociado con la señal lateral S y produce una señal estéreo real que comprende unas señales izquierda y derecha ruidosas, o el receptor descarta la señal lateral S y vuelve a mono.

30 La codificación Estéreo Paramétrico (PS) es una técnica del campo de la codificación de audio de muy baja tasa de bit. La PS permite codificación de una señal de audio estéreo de 2 canales como una señal downmix mono (mezcla para reducir la señal a mono) en combinación con información lateral de PS adicional, esto es, los parámetros de PS. La señal downmix mono se obtiene como una combinación de los dos canales de la señal estéreo. Los parámetros de PS permiten que el decodificador de PS reconstruya una señal estéreo a partir de la señal downmix mono y la información lateral de PS. Típicamente, los parámetros PS varían en función del tiempo y la frecuencia, y el procesamiento de PS en el decodificador de PS se realiza típicamente en un dominio de banco de filtros híbridos
35 que incorporan una pluralidad de bancos de Filtros de Espejo en Cuadratura (QMF).

40 En los documentos WO2011/029570, PCT/EP2011/064077 y PCT/EP2011/064084 se ha propuesto utilizar la codificación de PS de una señal estéreo FM recibida con el fin de reducir el ruido comprendido dentro de la señal estéreo FM recibida. El principio general de la tecnología de reducción de ruido en la radio FM estéreo basada en Estéreo Paramétrico (PS) es la utilización de parámetros estéreo paramétricos obtenidos a partir de la señal estéreo FM recibida, con el fin de reducir el ruido comprendido en las señales izquierda y derecha recibidas. Se incorpora mediante referencia la descripción de los documentos de las patentes mencionadas anteriormente.

Resumen

45 En el presente documento se describe un método y un sistema para la reducción del ruido radio FM estéreo utilizando un esquema basado en predicción. Este esquema basado en predicción es una técnica alternativa al esquema basado en Estéreo Paramétrico (PS) indicado más arriba. Tal como se describirá en el presente documento, el esquema basado en predicción proporciona una baja complejidad de cálculo. Además, se ha observado que al mismo tiempo un esquema de reducción de ruido radio FM estéreo basado en predicción consigue una calidad de audio mejorada en comparación con un esquema de reducción de ruido radio FM estéreo basado en PS.

50 De acuerdo con un aspecto, se describe un equipo o un sistema configurado para reducir el ruido de una señal de radio FM multicanal recibida. La señal de radio FM multicanal puede ser una señal estéreo de dos canales. En particular, la señal de radio FM multicanal recibida se puede representar como o se puede presentar como o indicar una señal media y una señal lateral. Además, la señal lateral puede indicar una diferencia entre una señal izquierda y una señal derecha de una señal estéreo.

En un modo de realización el equipo comprende una unidad de determinación de parámetros configurada para determinar uno o más parámetros que indican una correlación y/o descorrelación entre la señal media recibida y la señal lateral recibida. El uno o más parámetros pueden ser un parámetro a de predicción utilizado para determinar un componente correlacionado de una señal lateral de ruido reducido a partir de la señal media recibida y/o un parámetro b de descorrelación utilizado para determinar un componente sin correlación de la señal lateral de ruido reducido a partir de una versión sin correlación de la señal media. Además, el equipo comprende una unidad de reducción de ruido configurada para generar la señal lateral de ruido reducido a partir de la señal media recibida utilizando el uno o más parámetros. Para este propósito, la unidad de reducción de ruido no tiene en cuenta la señal lateral recibida, por ejemplo, las muestras de la señal lateral recibida. En otras palabras, la señal lateral recibida no es la señal utilizada para la determinación de la señal lateral de ruido reducido. En particular, la unidad de reducción de ruido puede estar configurada para determinar la señal lateral de ruido reducido únicamente a partir de la señal media recibida (por ejemplo, las muestras de la señal media recibida) y el uno o más parámetros.

Tal como se ha indicado más arriba, la unidad de determinación de parámetros puede estar configurada para determinar un parámetro a de predicción. El parámetro a de predicción puede ser indicativo de una relación cruzada entre la señal media recibida y la señal lateral recibida. En particular, la unidad de determinación de parámetros puede estar configurada para determinar el parámetro a de predicción en función de un valor esperado de un producto de muestras correspondientes de la señal media recibida y la señal lateral recibida. Incluso más concretamente, la unidad de determinación de parámetros puede estar configurada para determinar el parámetro a de predicción utilizando la fórmula $a = E[S^*M]/E[M^*M]$, en donde $E[\bullet]$ representa el operador de valor esperado, S representa la señal lateral recibida y M representa la señal media recibida.

En el caso de que la unidad de determinación de parámetros proporcione un parámetro a de predicción, la unidad de reducción de ruido puede estar configurada para generar una señal lateral de ruido reducido (o un componente correlacionado de la señal lateral de ruido reducido) a partir de la señal media recibida utilizando el parámetro a de predicción. El componente correlacionado de la señal lateral de ruido reducido se puede determinar como el producto del parámetro a de predicción y la señal media recibida, esto es a^*M . Esto significa que el componente correlacionado de la señal lateral de ruido reducido puede ser una versión ponderada de la señal media recibida. Teniendo en cuenta el hecho de que el parámetro a de predicción puede ser función del tiempo y/o función de la frecuencia, el factor ponderado de la señal media recibida puede ser función del tiempo y/o función de la frecuencia.

La unidad de determinación de parámetros puede estar configurada para determinar un parámetro b de descorrelación que indica una descorrelación entre la señal media recibida y la señal lateral recibida. En particular, la unidad de determinación de parámetros puede estar configurada para determinar el parámetro b de descorrelación en función de la energía de una señal diferencia de la señal lateral recibida y la señal determinada a partir de la señal media utilizando el parámetro a de predicción. Incluso más concretamente, la unidad de determinación de parámetros puede estar configurada para determinar el parámetro b de descorrelación utilizando la fórmula $b = \sqrt{E[D^*D]/E[M^*M]}$ siendo $D=S-a^*M$ la señal diferencia. El operador “sqrt()” indica la operación raíz cuadrada.

En este caso, la unidad de reducción de ruido puede estar configurada para generar la señal lateral de ruido reducido (o un componente no correlacionado de la señal lateral de ruido reducido) a partir de una versión no correlacionada de la señal media recibida utilizando el parámetro b de descorrelación. En particular, el componente no correlacionado de la señal lateral de ruido reducido se puede determinar como $b^*\text{decorr}(M)$, siendo $\text{decorr}(M)$ la versión no correlacionada de la señal media recibida. La versión no correlacionada de la señal media recibida se puede determinar mediante el filtrado de la señal media recibida utilizando un filtro paso-todo.

Si la señal lateral recibida comprende una cantidad importante de ruido, puede ser beneficioso reducir el impacto del componente no correlacionado de la señal lateral de ruido reducido sobre la señal lateral de ruido reducido. Con este propósito, la unidad de determinación de parámetros se puede configurar para determinar un factor de impacto característico de (o indicativo de) la uniformidad espectral de la señal lateral recibida. Una alta uniformidad espectral indica, típicamente, un alto grado de ruido comprendido dentro de la señal lateral. Así pues, el parámetro b de descorrelación puede depender del factor de impacto. En particular, el parámetro b de descorrelación puede disminuir cuando el factor de impacto indica un grado mayor de uniformidad espectral de la señal lateral recibida. A título de ejemplo, el factor de impacto es el SMF_impact_factor (factor de impacto SMF) descrito en el presente documento y se determina un parámetro b_{new} (nuevo) no correlacionado modificado mediante $b_{\text{new}} = (1 - \text{SMF_impact_factor}) * b$, forzando de este modo que sea cero el componente no correlacionado de la señal lateral de ruido reducido (esto es $b_{\text{new}}*\text{decorr}(M)$), si el SMF_impact_factor tiende a “1”.

Tal como se ha indicado más arriba, la unidad de determinación de parámetros puede estar configurada para determinar el uno o más parámetros (por ejemplo el parámetro a de predicción y/o el parámetro b de descorrelación) de forma que varía con el tiempo. De este modo, para cada uno de los uno o más parámetros, se puede determinar una secuencia del parámetro respectivo para una secuencia correspondiente de intervalos de tiempo. A título de ejemplo, para un primer parámetro (por ejemplo el parámetro a de predicción o el parámetro b de descorrelación) se determina una secuencia de primeros parámetros para la secuencia de intervalos de tiempo. La secuencia de intervalos de tiempo puede ser una secuencia de tramas de señal (comprendiendo, por ejemplo, 2048 muestras de

señal). Típicamente, se determina un primer parámetro concreto de la secuencia de primeros parámetros para un intervalo de tiempo concreto de la secuencia de intervalos de tiempo utilizando muestras de la señal media recibida y/o la señal lateral recibida que se encuentran dentro del intervalo de tiempo concreto. Cuando el uno o más parámetros son función del tiempo, la unidad de reducción de ruido puede estar configurada para generar la señal lateral de ruido reducido utilizando el uno o más parámetros que varían con el tiempo.

Con el fin de asegurar la continuidad entre intervalos de tiempo adyacentes y con el fin de evitar discontinuidades audibles en las fronteras de los intervalos de tiempo adyacentes, puede ser beneficioso determinar una secuencia de primeros parámetros interpolados mediante la interpolación de los primeros parámetros adyacentes de la secuencia de primeros parámetros.

En el caso de condiciones de recepción muy deterioradas, los receptores de FM pueden forzar las señales de radio FM recibidas a mono, esto es, los receptores de FM pueden eliminar la señal lateral recibida. El equipo puede estar configurado para detectar dicho mono dropout, esto es, el equipo puede estar configurado para detectar que la señal de radio FM multicanal recibida se fuerza a una señal mono. Esto se puede conseguir mediante la detección de una transición rápida de la señal lateral recibida desde una alta energía a una baja energía. En particular, se puede determinar una energía de la señal lateral recibida dentro de un primer intervalo de tiempo de la secuencia de intervalos de tiempo, y se puede determinar que esta energía está por encima de un umbral alto. Además, se puede determinar un período de transición de un número de los siguientes intervalos de tiempo sucesivos durante los cuales la energía de la señal lateral cae desde un valor por encima del umbral alto a un valor por debajo de un umbral bajo. En función de esta información, se puede determinar que la señal de radio FM multicanal recibida posterior al primer intervalo de tiempo es una señal mono forzada si el número de intervalos de tiempo sucesivos del período de transición está por debajo de un umbral de intervalo. Este umbral de intervalo puede ser de 1, 2, 3 ó 4 intervalos de tiempo posteriores al primer intervalo de tiempo.

Si se detecta que la señal de radio FM multicanal recibida en el intervalo de tiempo (inmediatamente) posterior al primer intervalo de tiempo es una señal mono forzada, la unidad de determinación de parámetros se puede configurar para determinar el uno o más parámetros para el intervalo de tiempo (inmediatamente) posterior al primer intervalo de tiempo a partir del uno o más parámetros del primer intervalo de tiempo. En otras palabras, la unidad de determinación de parámetros se puede configurar para enmascarar la ausencia de parámetros durante un mono dropout mediante la utilización del uno o más parámetros determinados antes del mono dropout.

Tal como se ha descrito más arriba, la unidad de determinación de parámetros se puede configurar para determinar el uno o más parámetros (por ejemplo el parámetro *a* de predicción y/o el parámetro *b* de descorrelación) de una forma que varía con la frecuencia. Esto significa que se determinan diferentes parámetros para diferentes subbandas de la señal media y/o lateral recibidas. Con este propósito, el equipo puede comprender una unidad de transformación media configurada para generar una pluralidad de señales de la subbanda media que cubran una pluralidad correspondiente de rangos de frecuencia a partir de la señal media recibida. Además, el equipo puede comprender una unidad de transformación lateral configurada para generar una pluralidad de señales de la subbanda lateral que cubra la pluralidad correspondiente de rangos de frecuencia a partir de la señal lateral recibida. En dichos casos, la unidad de determinación de parámetros se puede configurar para determinar el uno o más parámetros para cada uno de la pluralidad de rangos de frecuencia. En particular, se puede determinar una pluralidad de segundos parámetros de subbanda para un segundo parámetro del uno o más parámetros (por ejemplo el parámetro *a* de predicción y/o el parámetro *b* de descorrelación) a partir de la pluralidad correspondiente de señales de la subbanda media y la pluralidad correspondiente de señales de la subbanda lateral. Esto se puede realizar mediante la aplicación de las fórmulas mencionadas más arriba para la determinación del uno o más parámetros (por ejemplo el parámetro *a* de predicción o el parámetro *b* de descorrelación) a cada uno de la pluralidad de rangos de frecuencia.

La unidad de reducción de ruido se puede configurar para generar la señal lateral de ruido reducido utilizando el uno o más parámetros que varían con la frecuencia. En particular, la unidad de reducción de ruido se puede configurar para generar una pluralidad de señales de subbanda lateral de ruido reducido (únicamente) a partir de la pluralidad correspondiente de señales de la subbanda media y la pluralidad correspondiente de parámetros de subbanda. Utilizando una unidad de transformación inversa, se puede generar la señal lateral de ruido reducido a partir de la pluralidad de señales de la subbanda lateral de ruido reducido.

La unidad de transformación media y/o la unidad de transformación lateral pueden ser bancos de filtros QMF y la unidad de transformación inversa puede ser un banco de filtros QMF inversos. Teniendo en cuenta el hecho de que la señal media recibida se encuentra en el camino de la señal (y la señal lateral recibida no se encuentra en el camino de la señal), la unidad de transformación lateral puede satisfacer menores requisitos que la unidad de transformación media con respecto a al menos una de las siguientes: selección de frecuencia; resolución de frecuencia; resolución de tiempo; y precisión numérica.

La señal de radio FM recibida puede estar dominada por una señal lateral recibida ruidosa la cual tiene un nivel de energía mayor que la señal media recibida. Dichas situaciones pueden dar lugar a defectos perceptualmente

molestos cuando se genera la señal lateral de ruido reducido a partir de la señal media recibida utilizando el uno o más parámetros. Con el fin de hacer frente a estas situaciones, la unidad de determinación de parámetros se puede configurar para limitar el uno o más parámetros mediante la aplicación de un factor c limitante al uno o más parámetros. En particular, el uno o más parámetros pueden ser divididos por el factor c limitante. En un modo de realización, para $c > 1$, el factor c limitante es proporcional a la suma de los cuadrados del uno o más parámetros. En otro modo de realización, para $c > 1$, el factor c limitante es proporcional a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados del uno o más parámetros. Típicamente, el factor c limitante se selecciona de modo que la aplicación del factor c limitante no aumente el uno o más parámetros.

Se debe observar que el equipo puede comprender una unidad de retardo configurada para retardar (una muestra de) la señal media recibida por una cantidad de tiempo correspondiente al tiempo de cálculo necesario para generar (una muestra correspondiente de) la señal lateral de ruido reducido.

En buenas condiciones de recepción cuando la señal lateral recibida comprende poco o ningún ruido, puede ser beneficioso utilizar la señal lateral recibida para generar una señal estéreo. Con este fin, el equipo puede comprender una unidad de combinación configurada para determinar una señal lateral de ruido reducido modificada a partir de la señal estéreo de ruido reducido y la señal lateral recibida utilizando un indicador de calidad indicativo de la calidad de la señal de radio FM multicanal recibida. En función de la calidad de la señal lateral recibida la señal lateral de ruido reducido modificada se puede mezclar entre (o seleccionar de o interpolar entre) la señal lateral de ruido reducido y la señal lateral recibida. Con este fin, la unidad de combinación puede comprender una unidad de ganancia de ruido reducido configurada para ponderar la señal lateral de ruido reducido utilizando una ganancia de ruido reducido; una unidad de ganancia de bypass (salto) configurada para ponderar la señal lateral recibida utilizando una ganancia de bypass; y una unidad de combinación configurada para combinar (por ejemplo añadir) la señal lateral de ruido reducido ponderada y la señal lateral recibida ponderada; en donde la ganancia de ruido reducido y la ganancia de bypass dependen del indicador de calidad. Se debe observar que la unidad de combinación se puede configurar para determinar la señal lateral de ruido reducido modificada de modo que se seleccione la frecuencia.

El equipo puede comprender una unidad de determinación de la calidad configurada para determinar el indicador de calidad que indica la calidad de la señal lateral recibida. Esto se puede conseguir determinando una potencia de la señal media recibida, denominada potencia media, y una potencia de la señal lateral recibida, denominada potencia lateral. Se puede determinar una proporción de la potencia media y la potencia lateral, esto es, una proporción medio a lateral y se puede determinar el indicador de calidad de la señal de radio FM recibida en función de al menos la proporción medio a lateral. El presente documento describe varios modos de realización para determinar un indicador de calidad α_{HQ} que indica la calidad de la señal lateral recibida de forma fiable.

El equipo puede comprender, además, un conversor MS a LR configurado para determinar una señal izquierda de ruido reducido y una señal derecha de ruido reducido a partir de la señal media recibida y la señal lateral de ruido reducido (o la señal lateral de ruido reducido modificada). En particular, el conversor MS a LR se puede configurar para determinar la señal izquierda de ruido reducido a partir de la suma de la señal media recibida y la señal lateral de ruido reducido (modificada); y la señal derecha de ruido reducido a partir de la diferencia de la señal media recibida y la señal lateral de ruido reducido (modificada).

De acuerdo con otro aspecto, se describe un método para la reducción del ruido de una señal de radio FM multicanal recibida. La señal de radio FM multicanal recibida se puede presentar como una señal media recibida y una señal lateral recibida. El método puede comprender determinar uno o más parámetros indicativos de una correlación y/o una descorrelación entre la señal media recibida y la señal lateral recibida; y generar una señal lateral de ruido reducido a partir de la señal media recibida y no a partir de la señal lateral recibida y utilizando el uno o más parámetros.

De acuerdo con otro aspecto adicional, se describe un programa de software. El programa de software se puede adaptar para su ejecución sobre un procesador y para llevar a cabo los pasos del método descritos en el presente documento cuando se ejecuta sobre un dispositivo de computación.

De acuerdo con otro aspecto, se describe un medio de almacenamiento. El medio de almacenamiento puede comprender un programa de software adaptado para la ejecución sobre un procesador y para llevar a cabo los pasos del método descritos en el presente documento cuando se ejecuta sobre un dispositivo de computación.

De acuerdo con un aspecto adicional, se describe un producto en forma de programa informático. El programa informático puede comprender instrucciones ejecutables para llevar a cabo los pasos del método descritos en el presente documento cuando se ejecuta sobre un dispositivo de computación.

Se debe observar que los métodos y sistemas incluyendo sus modos de realización preferidos tal como se describen en la presente solicitud de patente se pueden utilizar individualmente o en combinación con el resto de métodos y sistemas divulgados en este documento. Además, se pueden combinar de forma arbitraria todos los aspectos de los

métodos y sistemas descritos en la presente solicitud de patente. En particular, las características de las reivindicaciones se pueden combinar entre sí de forma arbitraria.

Descripción de los dibujos

- 5 Más abajo se explica la invención mediante ejemplos ilustrativos haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que
- la Fig. 1 ilustra un ejemplo esquemático de un sistema para mejorar la salida estéreo de un receptor de radio FM estéreo;
- la Fig. 2 ilustra un ejemplo de un equipo de procesamiento de audio basado en el concepto de estéreo paramétrico;
- la Fig. 3 ilustra un ejemplo de un equipo de procesamiento de audio basado en el concepto de predicción;
- 10 la Fig. 4 muestra espectros de potencia de ejemplo para la señal media y lateral de una señal de voz de radio FM ruidosa;
- la Fig. 5 ilustra un diagrama de flujo de ejemplo de un método para el procesamiento de las señales de radio FM recibidas utilizando un indicador de calidad de las señales de radio FM recibidas; y
- 15 la Fig. 6 muestra una máquina de estados de ejemplo utilizada para el enmascaramiento de los parámetros de predicción y descorrelación.

Descripción detallada

- 20 La Fig. 1 muestra un sistema esquemático de ejemplo para mejorar la salida estéreo de un receptor 1 de radio FM estéreo. Tal como se ha descrito en la sección de antecedentes de este documento, en la radio FM la señal estéreo se transmite por diseño como una señal media M y una señal lateral S. En el receptor FM 1, la señal lateral se utiliza para crear la diferencia estéreo entre la señal izquierda L y la señal derecha R en la salida del receptor FM 1 (al menos cuando la recepción es lo suficientemente buena y no se elimina la información de la señal lateral). En otras palabras, la señal lateral se utiliza para crear las señales de audio izquierda y derecha a partir de la señal media. Las señales izquierda L y derecha R pueden ser señales analógicas o digitales.
 - 25 Para mejorar las señales de audio izquierda L y derecha R del receptor FM, se puede utilizar un equipo 2 de procesamiento de audio que genera como salida unas señales de audio estéreo L' y R'. El equipo 2 de procesamiento de audio puede estar preparado para llevar a cabo una reducción de ruido de una señal de radio FM recibida utilizando estéreo paramétrico. Alternativamente, el equipo 2 de procesamiento de audio puede estar preparado para llevar a cabo una reducción de ruido de una señal de radio FM recibida utilizando una parametrización basada en predicción tal como se describe en el presente documento.
 - 30 El procesamiento de audio en el equipo 2 se realiza preferiblemente en el dominio digital; por lo tanto, en el caso de una interfaz analógica entre el receptor FM 1 y el equipo 2 de procesamiento de audio, se utiliza un conversor analógico digital antes del procesamiento digital de audio en el equipo 2. El receptor FM 1 y el equipo 2 de procesamiento de audio se pueden integrar sobre el mismo chip semiconductor o pueden formar parte de dos chips semiconductores. El receptor FM 1 y el equipo 2 de procesamiento de audio pueden formar parte de un dispositivo
 - 35 de comunicación inalámbrica como, por ejemplo, un teléfono móvil, un asistente personal digital (PDA) o un teléfono inteligente. En este caso, el receptor FM 1 puede formar parte del chip de banda base con la funcionalidad adicional de receptor de radio FM. En otra aplicación, el receptor FM 1 y el equipo 2 de procesamiento de audio pueden formar parte de un sistema de audio de un vehículo con el fin de compensar las condiciones de recepción variables de un vehículo en movimiento.
 - 40 En lugar de utilizar una representación izquierda/derecha en la salida del receptor FM 1 y la entrada del equipo 2, se puede utilizar una representación medio/lateral en la interfaz entre el receptor FM 1 y el equipo 2 (véase M, S en la Fig. 1 para la representación medio/lateral y L,R para la representación izquierda/derecha). Dicha representación medio/lateral en la interfaz entre el receptor FM 1 y el equipo 2 puede dar lugar a una carga reducida de procesamiento debido a que el receptor FM 1 ya recibe una señal medio/lateral y el equipo 2 de procesamiento de
 - 45 audio puede procesar directamente la señal medio/lateral sin mezclar para reducir la señal a mono o sin la conversión de L/R a M/S. La representación medio/lateral puede ser beneficiosa si el receptor FM 1 se encuentra completamente integrado con el equipo 2 de procesamiento de audio, en particular si el receptor FM 1 y el equipo 2 de procesamiento de audio se encuentran integrados en el mismo dispositivo, por ejemplo, el mismo chip semiconductor.
 - 50 Opcionalmente, se puede utilizar una señal 6 de energía de la señal de radio que indica la condición de la recepción de radio con el fin de adaptar el procesamiento de audio en el equipo 2 de procesamiento de audio.
- La combinación del receptor FM 1 y el equipo 2 de procesamiento de audio se corresponde con un receptor de radio

FM con un sistema de reducción de ruido integrado.

La Fig. 2 muestra un modo de realización del equipo 2 de procesamiento de audio que está basado en el concepto de estéreo paramétrico. El equipo 2 comprende una unidad 3 de estimación de parámetros PS. La unidad 3 de estimación de parámetros está configurada para determinar los parámetros PS 5 en función de la señal de audio de entrada que se debe mejorar (que se puede encontrar en la representación izquierda/derecha o bien en la representación medio/lateral). Los parámetros PS 5 pueden incluir, entre otros, un parámetro que indique las diferencias de intensidad entre canales (IID o también denominado CLD – diferencias de nivel de canal) y/o un parámetro que indique una correlación cruzada entre canales (ICC). Preferiblemente, los parámetros PS 5 varían con el tiempo y la frecuencia. En el caso de una representación M/S en la entrada de la unidad 3 de estimación de parámetros, la unidad 3 de estimación de parámetros puede determinar a pesar de todo los parámetros PS 5 asociados a los canales L/R, mediante la aplicación de la conversión apropiada de los canales L/R.

A partir de la señal de entrada se obtiene una señal de audio downmix DM. En el caso de que la señal de audio de entrada ya utilice una representación medio/lateral, la señal de audio downmix DM se puede corresponder directamente con la señal media. En el caso de que la señal de audio de entrada tenga una representación izquierda/derecha, la señal de audio se puede generar mediante mezcla para reducir a mono la señal de audio en una unidad 9 de generación de downmix. Preferiblemente, la señal DM resultante después del downmix se corresponde con la señal media M y se puede generar mediante la siguiente ecuación:

$$DM = (L+R) / d, \text{ por ejemplo con } d = 2,$$

esto es, la señal downmix DM se corresponde con el promedio de las señales L y R. Para diferentes valores del factor de escala d, el promedio de las señales L y R se amplifica o se atenúa. La unidad 9 de generación de downmix y la unidad 3 de estimación de parámetros forman parte de un codificador 7 de PS.

El equipo comprende, además, una unidad 4 de upmix (mezcla para transformar la señal de mono a estéreo) también denominada módulo de mezcla estéreo o mezclador estéreo. La unidad 4 de upmix está configurada para generar una señal L', R' estéreo en función de la señal DM de audio y los parámetros PS 5. Preferiblemente, la unidad 4 de upmix no utiliza únicamente la señal DM sino que también utiliza la señal lateral S_o (que típicamente se corresponde con la señal lateral S recibida originalmente) o una pseudo señal lateral S* generada a partir de la señal DM downmix utilizando un eliminador 10 de correlación. El eliminador 10 de correlación recibe la DM downmix mono y genera la señal S* sin correlación que se utiliza como una pseudo señal lateral. El eliminador 10 de correlación se puede realizar mediante un filtro pasa todo apropiado tal como se describe en la sección 4 del documento "Low Complexity Parametric Stereo Coding in MPEG-4 (Codificación Estéreo Paramétrica de Baja Complejidad en MPEG-4)", Heiko Purnhagen, Actas del Digital Audio Effects Workshop (Seminario de Efectos de Audio Digital) (DAFx), pág. 163-168, Nápoles, Italia, octubre de 2004. Se incorpora mediante referencia en la presente solicitud su descripción de estéreo paramétrico, en concreto en lo que se refiere a la determinación de los parámetros estéreo paramétricos y en particular la sección 4. La matriz 4 de mezcla estéreo puede ser una matriz upmix 2x2 que genera la señal estéreo L', R' a partir de las señales DM y S_o o S*. La unidad 4 de upmix y el eliminador 10 de correlación son parte del decodificador PS 8.

El equipo 2 se basa en la idea de que la señal lateral recibida puede ser demasiado ruidosa como para reconstruir la señal estéreo mediante únicamente la combinación de las señales media y lateral recibidas; a pesar de todo, en este caso la señal lateral recibida o el componente de señal lateral en la señal L/R recibida pueden ser todavía lo suficientemente buenos para un análisis de parámetros estéreo en la unidad 3 de estimación de parámetros PS. Los parámetros PS 5 resultantes pueden ser utilizados a continuación para generar una señal L', R' estéreo con un nivel de ruido reducido en comparación con la señal de audio que se encuentra directamente en la salida del receptor FM 1.

Así pues, se puede "limpiar" una señal de radio FM ruidosa mediante la utilización del concepto estéreo paramétrico. El componente más importante de la distorsión y el ruido en una señal de radio FM se encuentra localizado en el canal lateral que típicamente no se utiliza en el PS downmix. A pesar de todo, el canal lateral S recibido es a menudo de la suficiente calidad como para la extracción de los parámetros PS, incluso en el caso de una recepción ruidosa.

En los dibujos que se muestran en el presente documento, la señal de entrada al equipo 2 de procesamiento de audio es una señal estéreo izquierda/derecha. Con pequeñas modificaciones a algunos módulos dentro del equipo 2 de procesamiento de audio, el equipo 2 de procesamiento de audio también puede procesar una señal de entrada con la representación medio/lateral. Por lo tanto, los conceptos descritos en la presente solicitud se pueden utilizar también junto con una señal de entrada con una representación medio/lateral.

El método de reducción de ruido FM estéreo basado en PS que se ilustra en la Fig. 2 se comporta bien en situaciones en las que la señal lateral de la señal de radio FM recibida contiene niveles altos o intermedios de ruido originados en el canal de transmisión de radio. Sin embargo, el método de reducción de ruido FM estéreo basado en PS tiene diversas limitaciones. El método de reducción de ruido FM estéreo basado en PS es bastante complejo de

calcular ya que requiere dos bancos QMF de análisis (para el cálculo de los parámetros PS) y dos bancos QMF de síntesis (para la generación de la señal estéreo de ruido reducido L' , R'). Además, el método de reducción de ruido FM estéreo basado en PS utiliza típicamente una técnica con un banco de filtros híbrido, esto es, QMF más un filtro Nyquist adicional, para obtener una resolución de frecuencia ampliada en las frecuencias inferiores. Esto significa que la determinación de los parámetros PS requiere típicamente una gran cantidad de operaciones del banco de filtros. Además, el método de reducción de ruido basado en PS requiere cálculos trascendentales, como por ejemplo, las operaciones $\text{sen}()$ y $\text{atan}()$ que implican operaciones con una alta complejidad de cálculo. Otra limitación del método de reducción de ruido FM estéreo basado en PS es que no es completamente compatible con una señal mono debido a que no modifica únicamente la señal lateral sino también la señal media con el fin de determinar la señal estéreo de ruido reducido L' , R' . En otras palabras el mono downmix $M'=(L'+R')/2$ de la salida de un sistema de reducción de ruido estéreo FM basado en PS es típicamente distinto de la señal media M original. En particular, la señal mono downmix M' está típicamente atenuada (esto es, de nivel inferior) si la señal estéreo recibida dispone de una imagen estéreo ampliada (esto es, si la señal estéreo recibida dispone de componentes de señal separados y/o no correlacionados). A diferencia de esto, para el sistema de reducción de ruido estéreo FM basado en predicción, el mono downmix de la salida es la señal media original (debido a que únicamente se modifica/procesa la señal lateral).

Como en muchas implementaciones tiene interés la magnitud de la complejidad de cálculo del método de reducción de ruido FM estéreo basado en PS, este documento describe un esquema alternativo para la reducción de ruido estéreo FM que utiliza una técnica basada en predicción. En comparación con el esquema basado en Estéreo Paramétrico (PS), el esquema basado en predicción requiere una menor complejidad de cálculo. En particular, el método de reducción de ruido FM estéreo basado en predicción utiliza un número reducido de bancos de filtros y evita la utilización de cálculos trascendentales. Al mismo tiempo se muestra que se puede conseguir una calidad de audio mejorada cuando se utiliza el método de reducción de ruido FM estéreo basado en predicción.

Tal como se ha descrito más arriba, el sistema de reducción de ruido de radio FM basado en PS que se muestra en la Fig. 2 necesita dos bancos de filtros QMF de análisis y dos bancos de filtros QMF de síntesis. Todas esas operaciones de los bancos de filtros se encuentran en la ruta de la señal y, por lo tanto, requieren una alta precisión. Los dos bancos de filtros QMF de análisis operan sobre las señales L y R en la entrada del codificador PS 7, y los dos bancos de filtros QMF de síntesis generan las señales L' y R' en la salida del decodificador PS 8. Además, el sistema basado en PS utiliza los parámetros estéreo IID e ICC, y para calcular los elementos de la matriz upmix estéreo 4 a partir de estos parámetros estéreo son necesarias funciones trascendentales como $\text{sen}()$ y $\text{atan}()$.

Se propone reducir la complejidad de cálculo del sistema de reducción de ruido estéreo FM mediante la utilización de un esquema basado en predicción en lugar del esquema downmix/upmix del sistema basado en PS ilustrado en la Fig. 2. Mediante el cambio a una representación de señal medio/lateral utilizando el conversor LR a MS 75 y el conversor MS a LR 76, en combinación con una técnica basada en predicción, es posible reducir el número de bancos QMF necesarios. El conversor LR a MS 75 genera la señal media $M=(L+R)/2$ y la señal lateral $S=(L-R)/2$, y se puede omitir si las señales media/lateral del receptor FM 1 alimentan directamente el equipo 2 de procesamiento de audio de la Fig. 3. El conversor MS a LR 76 lleva a cabo la operación inversa del conversor LR a MS 75.

La Fig. 3 muestra un esquema general de un ejemplo de sistema de reducción de ruido de radio FM basado en predicción en el que las líneas delgadas 80 representan señales en el dominio del tiempo, las líneas gruesas 81 representan señales en el dominio de QMF, y las líneas de puntos 82 representan parámetros. El esquema basado en predicción utiliza únicamente un banco 71 de filtros QMF de análisis y un banco 72 de filtros QMF de síntesis en la ruta de la señal, y un segundo banco 73 de filtros QMF de análisis que únicamente se utiliza para la estimación de parámetros (y que típicamente tiene unos requisitos de precisión reducidos).

Tal como se ha descrito más arriba, el sistema de reducción de ruido de radio FM basado en PS utiliza típicamente un banco de filtros híbrido (esto es, una combinación de un banco de QMF con una división de banda adicional para las bandas QMF inferiores utilizando un banco de filtros Nyquist) con el fin de conseguir una resolución de frecuencia mayor para las frecuencias más bajas hasta aproximadamente 1 kHz. Para el sistema de reducción de ruido de radio FM basado en predicción, se ha encontrado que se puede conseguir una buena calidad de audio incluso sin la división de banda adicional proporcionada por el banco de filtros híbrido. Por lo tanto, el sistema de reducción de ruido de radio FM basado en predicción puede utilizar únicamente bancos de QMF (esto es, sin bancos de filtros híbridos), lo cual reduce aún más la complejidad de cálculo y también reduce el retardo (o latencia) 74 del algoritmo del procesamiento de la señal de radio FM.

El objetivo del sistema de reducción de ruido de radio FM basado en predicción de la Fig. 3 es generar una señal lateral de ruido reducido S' a partir de la señal media recibida M utilizando dos parámetros a y b . La señal media recibida M permanece sin cambios (aparte de un retardo 74 utilizado para compensar el tiempo de cálculo necesario para determinar la señal lateral de ruido reducido S'). Esto es diferente del sistema de reducción de ruido de radio FM basado en PS en el que se determinan dos señales, las señales izquierda y derecha de ruido reducido L' , R' , como función de los parámetros PS.

Definiendo las señales media M y lateral S recibidas como $M=(L+R)/2$ y $S=(L-R)/2$, la señal lateral se puede representar utilizando un coeficiente de predicción a y una señal residual D como $S = a*M + D$. Esto quiere decir que el parámetro de predicción a se utiliza para predecir la señal lateral a partir de la señal media. Se puede calcular un coeficiente de predicción óptimo a (el cual minimiza la energía de D) como

$$5 \quad a = E[S*M]/E[M*M],$$

en donde $E[\bullet]$ representa el operador de valor esperado. En otras palabras, el coeficiente de predicción a se puede determinar como la proporción de la correlación cruzada entre la señal lateral recibida y la señal media recibida, y la energía de la señal media. Típicamente, los coeficientes a (y b) varían con el tiempo y/o la frecuencia. Esto quiere decir que los diferentes coeficientes a (y b) se determinan para diferentes intervalos de tiempo y/o diferentes rangos de frecuencia. Así pues, los valores esperados $E[\bullet]$ se pueden determinar para un intervalo de tiempo específico (por ejemplo 64 ms) y/o dentro de un rango de frecuencias específico (por ejemplo una subbanda de QMF o un número de subbandas de QMF agrupadas).

Después de haber determinado un coeficiente de predicción, se puede determinar una señal residual D a partir de las señales media M y lateral S recibidas. La señal residual D se puede aproximar mediante una versión $\text{decorr}(M)$ no correlacionada de la señal media recibida. Así pues, se puede determinar una versión S' de ruido reducido de la señal lateral como

$$15 \quad S' = a*M + b*\text{decorr}(M)$$

donde b es un factor de ganancia que controla la energía de la señal no correlacionada, también se denomina parámetro b de descorrelación. La señal media no correlacionada $\text{decorr}(M)$ se puede determinar utilizando un eliminador 78 de correlación como el eliminador 10 de correlación de la Fig. 2. El parámetro b de descorrelación se puede calcular como

$$20 \quad b = \text{sqrt}(E[D*D]/E[M*M])$$

con el fin de sustituir la señal residual D con una señal no correlacionada de energía controlada ($b*\text{decorr}(M)$) que tenga la misma energía que la señal residual D original. En consecuencia, los parámetros a , b del modelo de predicción se pueden determinar a partir de la señal media recibida y la señal lateral recibida dentro de la unidad 77 de determinación de parámetros.

En consecuencia, la señal estéreo L' y R' en la salida del sistema de reducción de ruido de radio FM basado en predicción se calcula a partir de la señal media recibida M y los dos parámetros a y b con una unidad 79 de reducción de ruido. Como los parámetros a y b típicamente se estiman y aplican en una representación compleja del dominio QMF (de por ejemplo 64 bandas), se puede llevar a cabo el procesamiento de modo que varían con el tiempo y la frecuencia. Típicamente se utiliza un intervalo de tiempo y una división de frecuencia motivados de forma perceptual. Por ejemplo, se pueden agrupar 64 bandas de QMF en un total de 15 bandas de frecuencia de acuerdo con una escala de frecuencia perceptual (por ejemplo una escala de Bark). La escala de frecuencia perceptual puede estar formada por bandas QMF vecinas agrupadas en las frecuencias más altas para formar bandas más anchas de frecuencia que típicamente se denominan como "bandas de parámetros". El conjunto de los parámetros a y b (uno para cada una de las bandas de parámetros) se calcula típicamente en intervalos de tiempo regulares (tramas) por ejemplo utilizando una ventana de análisis temporal de aproximadamente 64 ms de tamaño para aproximar la operación $E[\bullet]$. Con el fin de asegurar una transición suave de los valores de los parámetros desde un intervalo de tiempo (por ejemplo una trama) al siguiente, se puede utilizar una interpolación temporal (por ejemplo una interpolación lineal a lo largo del tiempo) para generar los valores a y b de los parámetros interpolados. Los valores a y b de los parámetros interpolados se multiplican a continuación por las señales de la banda QMF correspondiente a la que se debe aplicar.

Tal como se ha indicado más arriba, el segundo banco 73 de QMF de análisis se utiliza únicamente para la estimación de parámetros dentro de la unidad 77 de determinación de parámetros. Como se puede observar a partir de las fórmulas proporcionadas más arriba, el segundo banco 73 de QMF de análisis proporciona información de subbanda en la señal lateral S recibida, la cual se utiliza para determinar la correlación cruzada $E[S*M]$ sobre una base de bandas de parámetros. En otras palabras, el segundo banco 73 de QMF de análisis se utiliza únicamente para determinar los valores esperados sobre el nivel de bandas de parámetros (en contraste con la banda de frecuencia de QMF). Dicho de otra forma, el segundo banco 73 de QMF de análisis se utiliza para determinar el parámetro de predicción a sobre un tiempo y un rango de frecuencias relativamente grandes. En consecuencia, los requisitos sobre la selectividad (por ejemplo, la longitud de las ventanas prototipo), la resolución de tiempo/frecuencia y/o la precisión de cálculo del segundo banco 73 de QMF de análisis son significativamente menores que los requisitos para los bancos 71 de QMF de análisis que se encuentran en la ruta de la señal.

Así pues, se ha descrito un equipo 2 de procesamiento de audio que permite la determinación de una señal lateral de ruido reducido S' con una complejidad de cálculo reducida en comparación con el sistema de reducción de ruido FM basado en PS de acuerdo con la Fig. 2. La señal lateral S' y la señal media recibida M' (retardada) se pueden

convertir en una señal estéreo izquierda L' y derecha R' de ruido reducido utilizando el conversor MS a LR 76. Los experimentos de percepción han mostrado que además de reducir la complejidad de cálculo, se puede mejorar la calidad de percepción de las señales FM de ruido reducido cuando se utiliza el sistema de reducción de ruido FM basado en predicción descrito en el presente documento (por ejemplo en la Fig. 3).

5 Por otro lado, se ha observado que cuando se utiliza una técnica basada en predicción para la reducción del ruido estéreo FM, las situaciones en las que la señal recibida está dominada por una señal lateral fuerte y ruidosa (esto es, que tiene un nivel mayor que la señal media) pueden provocar defectos perceptualmente molestos. Dichas situaciones pueden suceder, por ejemplo, cuando la señal estéreo transmitida es relativamente silenciosa (por ejemplo, en el transcurso de una pausa corta entre dos segmentos de música) mientras que el receptor se enfrenta a condiciones de recepción entre intermedias y malas. Dichas situaciones se pueden caracterizar por que E[S*S] >> E[M*M], esto es, la energía de la señal lateral S recibida es (significativamente) mayor que la energía de la señal media M recibida. Teniendo en cuenta que los parámetros a y b dependen de la energía de la señal media E[M*M] y parcialmente de la energía de la señal lateral E[S*S], en las situaciones mencionadas más arriba los parámetros a y b tienen típicamente valores absolutos grandes (claramente mayores que 1). Esto quiere decir que la señal media M aumenta significativamente para determinar la señal lateral de ruido reducido S', introduciendo de este modo defectos. Además, los parámetros a y b pueden fluctuar fuertemente con el tiempo y la frecuencia, lo que típicamente se percibe de forma acústica como una inestabilidad no deseable.

Con el fin de atenuar este problema, a los parámetros a y b se les puede aplicar un paso de procesado posterior. En otras palabras, se puede determinar un conjunto modificado de parámetros a' y b' con a'=f_a(a,b) y b'=f_b(a,b). Una posible técnica de procesado posterior es aplicar un factor c de atenuación o limitación con el fin de obtener los parámetros de procesado posterior a'=a/c y b'=b/c, donde si c = 1 los parámetros a y b no se modifican. Valores de c > 1 provocan que la señal lateral de ruido reducido S' se multiplique por 1/c, esto es, que se atenúe por un factor c. Se debe observar que son posibles otras fórmulas para la relación entre a', b' y a, b. Son posibles diferentes técnicas para calcular el factor de limitación c a partir de a y b, esto es, c=f(a,b). Dos posibles técnicas son:

$$c = \max(1, (a^2 + b^2)), \text{ o} \tag{1}$$

$$c = \max(1, \sqrt{a^2 + b^2}) \tag{2}$$

La técnica que utiliza la fórmula (2) asegura que la energía de la señal lateral de ruido reducido S' no excede la energía de la señal media M, mientras que la técnica que utiliza la fórmula (1) aplica a S' una atenuación incluso mayor (comparado con la fórmula (2)) en las situaciones descritas más arriba, donde E[S*S] > E[M*M]. Se ha encontrado que la técnica que utiliza la fórmula (2) tiende a proporcionar una calidad de audio ligeramente mejor para señales estéreo generales en caso de buenas condiciones de recepción, mientras que la técnica que utiliza la fórmula (1) tiende a ser más fiable para evitar los defectos perceptualmente molestos descritos más arriba en el caso de condiciones de recepción intermedias y malas.

Se debe observar que en las situaciones de recepción típicas la energía de la señal lateral E[S*S] es menor que la energía de la señal media E[M*M]. En este caso los parámetros a y b son típicamente menores que 1. El operador "max" en las fórmulas (1) y (2) asegura que en dichas situaciones el factor de limitación es c=1, esto es, no se aplica ninguna limitación.

Tal como se ilustra en la Fig. 3, un parámetro p se puede utilizar para un desvanecimiento suave entre una señal lateral de ruido reducido S' y la señal lateral S recibida (retrasada) originalmente en un modo de paso directo o de bypass. El modo de paso directo puede ser beneficioso para gestionar de forma óptima situaciones con buenas condiciones de recepción. Para este propósito, se debe estimar de forma fiable la calidad de la señal estéreo FM recibida, con el fin de decidir sobre la utilización de S', S o una combinación de S' y S para la generación de la señal estéreo de ruido reducido L', R'. De forma más general, la señal lateral de ruido reducido S' puede atravesar una unidad 31 de ganancia de ruido reducido y la señal lateral de bypass S puede atravesar una unidad 30 de ganancia de bypass. Las unidades 30, 31 de ganancia amplifican y/o atenúan señales laterales en su salida a partir de las señales laterales en su entrada. Las señales laterales amplificadas y/o atenuadas se combinan en una unidad 32 de mezcla (por ejemplo, una unidad de adición), proporcionando de este modo una señal lateral combinada que se utiliza para generar la señal estéreo de ruido reducido L', R'.

El sistema de reducción de ruido de radio FM basado en predicción puede comprender, además, una unidad 20 de detección de HQ (alta calidad) que está configurada para determinar o para estimar el nivel del ruido audible dentro de la señal estéreo FM recibida L, R (o M, S). La estimación de nivel de ruido determinada dentro de la unidad 20 de detección de HQ se puede utilizar para realizar una mezcla entre la señal lateral de ruido reducido S' y la señal lateral S original (de bypass). Para mezclar las señales laterales, la unidad 20 de detección de HQ se puede configurar para establecer los valores de ganancia de la unidad 31 de ganancia de ruido reducido y la unidad 30 de ganancia de bypass. Alternativamente o además, la mezcla de las señales laterales se puede conseguir mediante la interpolación (lineal o no lineal) de las señales laterales. Alternativamente, una de las señales laterales se puede seleccionar en función de la estimación del nivel del ruido audible determinado dentro de la unidad 20 de detección

de HQ.

A continuación, se describe un método sobre cómo la unidad 20 de detección de HQ puede estimar el nivel actual de ruido dentro de la señal estéreo FM recibida y de este modo para decidir si poner más énfasis en la señal lateral de ruido reducido S' o poner más énfasis en la señal lateral S de bypass.

- 5 Con el fin de discriminar entre el ruido y la carga útil de la señal, se supone que la señal lateral S recibida contiene principalmente ruido si la señal lateral S es significativamente más fuerte que la señal media M recibida. En otras palabras, se supone que si la potencia de la señal lateral S es mayor o excede la potencia de la señal media M en un umbral predeterminado, la potencia de la señal lateral S es principalmente debida al ruido. Por lo tanto, la Relación Señal a Ruido (SNR) de la señal estéreo recibida M, S se puede aproximar como la relación medio a lateral (MSR) para valores de MSR bajos:

$$SNR(k) \approx MSR = \frac{E\{m_k^2\}}{E\{s_k^2\}}, \text{ si } MSR < MSR_THRESHOLD \text{ (umbral de MSR)}$$

- 15 para cada una de las bandas k de frecuencia. El $MSR_THRESHOLD$ se puede establecer por ejemplo en -6dB. En otras palabras, si la energía $E\{s_k^2\}$ en la banda de frecuencia k de la señal lateral S excede la energía $E\{m_k^2\}$ en la banda de frecuencia k de la señal media M en un umbral predeterminado (por ejemplo, +6dB), se puede considerar que la MSR es igual a o se aproxima a la SNR en la banda de frecuencia k , proporcionando de este modo una estimación fiable del ruido comprendido dentro de la señal estéreo FM recibida.

- Las bandas de frecuencia $k = 1, \dots, K$ se pueden obtener por ejemplo a partir de las etapas 71, 73 de bancos de QMF de análisis, donde para el procesamiento se pueden utilizar $K = 64$ canales de datos de audio QMF. Como se ha detallado más arriba, las bandas QMF o QMF híbridas se pueden agrupar de forma ventajosa en un número reducido de bandas de frecuencia que se corresponden por ejemplo con una escala no uniforme motivada de forma perceptual, por ejemplo, la escala Bark. Así pues, las MSR se pueden determinar para una pluralidad de bandas de frecuencia (parámetros), en donde la resolución de la pluralidad de bandas de frecuencia está motivada de forma perceptual. A modo de ejemplo, un banco de filtros QMF puede comprender 64 bandas QMF o un banco de filtros QMF híbrido puede comprender 71 bandas. La resolución de estos bancos de filtros es típicamente demasiado alta en el rango de alta frecuencia. Así pues, puede ser beneficioso agrupar algunas de las bandas de una forma perceptualmente motivada. Como se ha detallado más arriba, los parámetros del sistema de reducción de ruido de radio FM basado en predicción se corresponden con dichas bandas de frecuencia agrupadas (de forma perceptualmente motivada). A modo de ejemplo, los parámetros a y b del sistema de reducción de ruido de radio FM basado en predicción se pueden determinar utilizando un total de 15 a 20 bandas de frecuencia QMF agrupadas dentro de una ventana de tiempo correspondiente a una trama de señal (comprendiendo, por ejemplo, 2048 muestras). Las mismas bandas de frecuencia o parámetros utilizados para determinar los parámetros a y b , también se pueden utilizar para determinar los valores de MSR por bandas de frecuencias/parámetros, reduciendo de este modo la complejidad de cálculo global.

La potencia de una banda de parámetros k para la señal media M y para cierto instante de tiempo n se puede calcular como el valor esperado:

$$E\{m_k^2\} = \frac{1}{N} \sum_{n=n_1}^{n_1+N-1} m_{k,n}^2$$

- 40 donde se utiliza una ventana rectangular localizada entre instantes de tiempo o muestras n_1 y n_1+N-1 . Se debe observar que para la determinación del valor esperado se pueden utilizar otras formas de ventana. También se pueden utilizar representaciones alternativas de tiempo/frecuencia (otras distintas de QMF) como, por ejemplo, una Transformada de Fourier Discreta (DFT) u otras transformadas. También en ese caso los coeficientes de frecuencia se pueden agrupar en menos bandas de parámetros (motivados de forma perceptual).

- 45 Cuando la señal lateral S no es mayor que la señal media M (o no la supera en el factor $MSR_THRESHOLD$), generalmente no se puede hacer una estimación de la SNR utilizando la MSR. En otras palabras, cuando la señal lateral S no es mayor que la señal media M (o no la supera en el factor $MSR_THRESHOLD$), la MSR típicamente no es una buena estimación de la SNR. En este caso, se puede determinar una SNR en función de una o más estimaciones anteriores de la SNR. Esto se puede implementar mediante la aplicación de una función de suavizado o decaimiento tal como se describe en el contexto del paso 104 de la Fig. 5.

- 50 La Fig. 4 muestra el espectro de potencia de una señal media 60 y el espectro de potencia de una señal lateral 61 en una situación de recepción de radio FM ruidosa. Para las bandas de frecuencia con una señal media M fuerte dominante, es ambiguo si la señal lateral S es o no ruidosa. La señal lateral S podría, por ejemplo, formar parte de una señal de ambiente o formar parte de una señal panorámica. En consecuencia, típicamente estas bandas de frecuencia no proporcionan una indicación fiable de la potencia del ruido dentro de la señal estéreo FM recibida L, R

(o M, S). Sin embargo, mirando a las bandas de frecuencia en las que la señal lateral S es significativamente más fuerte que la señal media M (por ejemplo al menos 6dB o casi 10dB), esto se puede tomar como una muy probable indicación de ruido esencialmente puro dentro de la señal lateral S provocado por la transmisión de radio. Dicha situación, en la que $E\{s_k^2\} \gg E\{m_k^2\}$ se puede ver en la Fig. 4 a aproximadamente 2kHz y 5kHz. Así pues, se puede considerar que el mínimo de las MSR a lo largo de las bandas de frecuencia $k = 1, \dots, K$ es un indicador fiable de la SNR de la señal radio FM recibida, esto es, de la calidad de la señal estéreo radio FM recibida completa.

El contenido de audio como, por ejemplo, música o voz típicamente tiene menos energía de la carga útil en el rango de alta frecuencia que en el rango de baja frecuencia. Además, la energía de la carga útil en el rango de alta frecuencia puede ser menos continua que la del rango de baja frecuencia. Así pues, la energía del ruido de una señal FM recibida se puede detectar más fácilmente dentro del rango de alta frecuencia que en el rango de baja frecuencia. Teniendo esto en cuenta, puede ser beneficioso limitar el análisis de la MSR a un subrango seleccionado del total de bandas de frecuencia K . En particular, puede ser beneficioso limitar el análisis de la MSR al subrango superior del total de bandas de frecuencia K , por ejemplo a la mitad superior de bandas de frecuencia K . De este modo, el método para detectar la calidad de la señal FM recibida se puede hacer más robusto.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede definir un factor α_{HQ} de alta calidad, el cual depende de un análisis de MSR a lo largo de algunas o todas las bandas de frecuencia $k = 1, \dots, K$ (por ejemplo, a lo largo de las bandas de alta frecuencia). El factor α_{HQ} de alta calidad se puede utilizar como un indicador del ruido audible dentro de la señal estéreo radio FM recibida. Una señal de alta calidad sin ruido se puede indicar mediante $\alpha_{HQ} = 1$ y una señal de baja calidad con mucho ruido se puede indicar mediante $\alpha_{HQ} = 0$.

Los estados de calidad intermedios se pueden indicar mediante $0 < \alpha_{HQ} < 1$. El factor α_{HQ} de alta calidad se puede obtener a partir de los valores de MSR de acuerdo con:

$$\alpha_{HQ} = \begin{cases} 0 & , \text{ si } q < MSR_LOW \text{ (MSR bajo)} \\ 1 & , \text{ si } q > MSR_HIGH \text{ (MSR alto)} \\ \frac{q - MSR_LOW}{MSR_HIGH - MSR_LOW} & , \text{ en caso contrario} \end{cases}$$

donde los umbrales de MSR MSR_LOW y MSR_HIGH son umbrales de normalización predeterminados y se pueden elegir en un ejemplo como -6dB y -3dB, respectivamente. Como resultado de dicha normalización, se asegura que el factor α_{HQ} de alta calidad toma valores entre 0 y 1.

En la fórmula indicada más arriba, q es un valor obtenido a partir de uno o más valores de MSR. Tal como se ha indicado más arriba, q se puede obtener a partir del valor de MSR mínimo a lo largo de un subconjunto de bandas de frecuencia. Además, q se puede definir como un valor de decaimiento pico invertido del valor de MSR mínimo. Alternativamente o además, se puede utilizar cualquier otro método de suavizado con el fin de suavizar la evolución del parámetro q de indicador de calidad a lo largo del tiempo.

El factor α_{HQ} de alta calidad se puede utilizar para la conmutación o desvanecimiento o interpolación entre la señal lateral de ruido reducido S' y la señal lateral S original sin procesar. Esto quiere decir que el factor de alta calidad $\alpha_{HQ} = p$ se puede utilizar como la ganancia de la unidad 30 de ganancia de bypass, mientras que el factor $(1 - \alpha_{HQ}) = 1 - p$ se puede utilizar como la ganancia de la unidad 31 de ganancia de ruido reducido.

Un modo de realización de un algoritmo 100 de detección de HQ se puede describir mediante los siguientes pasos que se muestran en la Fig. 5:

- En un paso 101, se calculan las potencias de la señal media y lateral, esto es, la energía de la señal media $R_k^M = E\{m_k^2\}$ y la energía de la señal lateral $R_k^S = E\{s_k^2\}$ se determinan para algunas o todas las bandas de frecuencias o parámetros k , por ejemplo $K_{low} < k \leq K_{high}$. En un ejemplo $K_{high} = K$ y $K_{low} = K / 2$ (esto es, únicamente se considera la mitad superior de las bandas de frecuencia). Las potencias media R_k^M y lateral R_k^S se determinan en un instante de tiempo n , por ejemplo utilizando una fórmula de cálculo del promedio para el valor esperado proporcionado más arriba.
- En un paso 102, se determinan los valores de la Relación Medio a Lateral (MSR) para algunas o todas las bandas de frecuencia k , por ejemplo como,

$$\gamma_k = 10 \log_{10} \left(\frac{P_k^M}{P_k^S} \right).$$

- En un paso 103, se determina el valor mínimo de MSR $\gamma_{\min} = \min_k(\gamma_k)$ para cierto rango de frecuencias, en donde el rango de frecuencias es, por ejemplo $K_{low} < k \leq K_{high}$.
- En un paso 104, los valores de MSR mínimos se suavizan a lo largo del tiempo, por ejemplo, determinando un valor pico de MSR como $\gamma_{peak}(n) = \min(\kappa\gamma_{peak}(n-1), \gamma_{\min})$, con un factor de decaimiento de $\kappa = \exp(-1/F_s\tau)$ con una constante de tiempo de por ejemplo, $\tau = 2$ segundos siendo F_s la tasa de trama, esto es, la tasa de la frecuencia con la que se ejecuta el paso 104. Esto implementa una función de decaimiento de pico invertido que suaviza los valores de MSR mínimos a lo largo del tiempo.
- En un paso 105, se determina el factor α_{HQ} de alta calidad en el instante de tiempo n utilizando el valor de pico de MSR $\gamma_{peak}(n)$ en el instante de tiempo n , esto es, utilizando el valor de MSR mínimo suavizado en el instante de tiempo n , con $q = \gamma_{peak}(n)$ como

$$\alpha_{HQ} = \begin{cases} 0 & , \text{ si } q < MSR_LOW \\ 1 & , \text{ si } q > MSR_HIGH \\ \frac{q - MSR_LOW}{MSR_HIGH - MSR_LOW} & , \text{ en caso contrario} \end{cases}$$

Tal como se ha indicado más arriba, los umbrales de MSR se pueden establecer como, por ejemplo

$MSR_LOW = -6$ dB y $MSR_HIGH = -3$ dB.

- En un paso 107, se puede aplicar el factor α_{HQ} de alta calidad en el instante de tiempo n para el proceso de combinación de la señal lateral que se ilustra en la Fig. 3.

El algoritmo 100 de detección de HQ mencionado más arriba se puede iterar para instantes de tiempo posteriores (ilustrado mediante la flecha desde el paso 107 de vuelta al paso 101).

El método o el sistema para determinar una alta calidad de la señal estéreo de radio FM recibida se puede mejorar aún más haciendo que el factor α_{HQ} de alta calidad sea dependiente de uno o más indicadores adicionales de ruido (además del uno o más valores de MSR). En particular, el factor α_{HQ} de alta calidad puede hacerse dependiente de una Medida de Uniformidad Espectral (SFM) de la señal estéreo de radio FM recibida. Como se describe en WO PCT/EP2011/064077, se puede determinar el denominado *SFM_impact_factor* (factor de impacto SFM) que se normaliza entre 0 y 1. Un *SFM_impact_factor* = 0 puede corresponder a un valor de SFM bajo que indica que un espectro de potencia de la señal lateral S para el que la potencia espectral se concentra en un número de bandas de frecuencia relativamente pequeño. Esto es, un factor de impacto de SFM de "0" indica un bajo nivel de ruido. Por otro lado, un factor de impacto de SFM de "1" corresponde a un valor de SFM alto que indica que el espectro tiene una cantidad de potencia parecida en todas las bandas del espectro. En consecuencia, un factor de impacto de SFM de "1" indica un alto nivel de ruido.

Se puede determinar un factor α'_{HQ} de alta calidad modificado de acuerdo con:

$$\alpha'_{HQ} = (1 - SFM_impact_factor) * \alpha_{HQ},$$

enfaticando de este modo un factor α'_{HQ} de alta calidad (indicando una calidad baja, esto es, un alto grado de ruido) si el *SFM_impact_factor* = 1 (indicando un alto nivel de ruido dentro de la señal estéreo de radio FM recibida) y viceversa. Se debe observar que la fórmula mencionada más arriba para combinar los efectos del factor α_{HQ} de alta calidad basado en la MSR y la SFM es únicamente un posible modo de combinar los dos indicadores de ruido en un factor α'_{HQ} de alta calidad conjunto (modificado). El *SFM_impact_factor* puede ser beneficioso para detectar casos de ruido en los que ambas señales media y lateral tienen un espectro bastante plano y tienen una energía parecida. En dichos casos, el valor γ_{\min} de MSR mínimo es típicamente próximo a 0dB a pesar de existir una cantidad significativa de ruido audible dentro de la señal estéreo de radio FM recibida. El factor α'_{HQ} de alta calidad modificado puede sustituir al factor α_{HQ} de alta calidad en el proceso de combinación por procesamiento de

PS/bypass descrito más arriba.

A continuación se describe otra opción para mejorar los métodos y sistemas para la detección HQ. Se puede determinar un factor α'_{HQ} de alta calidad modificado corrigiendo el factor α_{HQ} de alta calidad mediante el nivel lateral total S_{sum} en forma de puerta de ruido suave, esto es, el nivel total (esto es la energía o potencia) de la señal lateral que se puede determinar como la energía de la señal lateral (a lo largo de todas las bandas de frecuencia). Así pues, el factor α'_{HQ} de alta calidad modificado se puede determinar de acuerdo con:

$$\alpha'_{HQ} = g_{gate} \alpha_{HQ}, \text{ donde}$$

$$g_{gate} = \begin{cases} 0 & , \text{ si } S_{sum} < S_THRES_LOW \text{ (umbral bajo de S)} \\ 1 & , \text{ si } S_{sum} > S_THRES_HIGH \text{ (umbral alto de S)} \\ \frac{S_{sum} - S_THRES_LOW}{S_THRES_HIGH - S_THRES_LOW} & , \text{ en caso contrario} \end{cases}$$

Los umbrales S_THRES_LOW y S_THRES_HIGH se pueden utilizar para normalizar el factor de puerta g_{gate} a valores entre 0 y 1. Las señales de FM con señales laterales que tengan un nivel $S_{sum} < S_THRES_LOW$ se considera que tienen baja calidad, mientras que las señales de FM con señales laterales que tengan un nivel $S_{sum} > S_THRES_HIGH$ pueden ser de alta calidad.

Otra opción para proporcionar un algoritmo de detección de HQ mejorado es permitir que el factor α_{HQ} de alta calidad sea corregido por la salida de un detector de enmascaramiento tal como se describe, por ejemplo, en WO PCT/EP2011/064084. Se puede determinar un factor α'_{HQ} de alta calidad modificado teniendo en cuenta si el enmascaramiento está activo en el sistema de reducción de ruido de radio FM basado en predicción, con el fin de enmascarar situaciones de mono dropout no deseadas del receptor FM. El factor α'_{HQ} de alta calidad modificado se puede determinar de acuerdo con $\alpha'_{HQ} = (1 - \delta_{conceal}) \alpha_{HQ}$, donde $\delta_{conceal} = 1$ si está activo el enmascaramiento y donde en caso contrario $\delta_{conceal} = 0$. Esto significa que una señal de radio FM recibida se considera realmente que tiene poca calidad ($\alpha'_{HQ} = 0$) si el enmascaramiento está activo dentro del sistema de reducción de ruido de radio FM basado en predicción, en caso contrario se estima la calidad de la señal de radio FM recibida basándose en el valor calculado del factor α_{HQ} de alta calidad. Con el fin de evitar discontinuidades (audibles) en la recuperación del estado de enmascaramiento (esto es, cuando $\delta_{conceal} = 1$), esto es, con el fin de asegurar una transición suave del factor α'_{HQ} de alta calidad modificado desde 0 a un valor distinto de 0, el valor de MSR mínimo γ_{min} se puede forzar a $\gamma_{min} = MSR_LOW$ siempre que $\delta_{conceal} = 1$, de modo que se asegura la transición suave mediante el método de suavizado del paso 104 de la Fig. 5. Como resultado de hacer que el factor de alta calidad dependa del estado de enmascaramiento $\delta_{conceal}$, se puede implementar una conmutación rápida al modo que utiliza la reducción de ruido de radio FM basado en predicción (esto es, una transición rápida al procesamiento de reducción de ruido de radio FM para la ocurrencia repentina de una condición de mala recepción), y una vuelta lenta que lleve al modo de bypass (cuando han mejorado las condiciones de recepción).

A continuación se describe otra opción para mejorar los métodos de detección HQ. Los valores de MSR γ_k se pueden ajustar para señales muy panorámicas de acuerdo con:

$$\gamma'_k = \gamma_k + \lambda = 10 \log_{10} \left(\frac{P_k^M}{P_k^S} \right) + \lambda .$$

El parámetro λ indica un grado de cómo de panorámica es la señal estéreo de radio FM recibida. El parámetro λ se puede determinar a partir de la relación entre la energía de la señal lateral izquierda L recibida y la señal lateral derecha R recibida, por ejemplo de acuerdo con

$$\lambda = \left| 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P^L}{P^R} \right) \right| ,$$

siendo $P^L = E\{L^2\}$ la energía o potencia de la señal lateral izquierda recibida y $P^R = E\{R^2\}$ siendo la energía o potencia de la señal lateral derecha recibida. En consecuencia, los valores de MSR γ_k aumentan para señales muy panorámicas que tienen una diferencia de energía significativa entre la señal lateral izquierda L y la señal lateral derecha R. Dicha fuerte diferencia entre las señales L y R da lugar a una señal lateral S con una energía

relativamente alta, incluso aunque la señal lateral S no comprenda ruido. Incrementando los valores de MSR γ_k , aumenta el valor de MSR mínimo γ_{min} , aumentando de este modo el factor α_{HQ} de alta calidad.

5 En consecuencia, la utilización del parámetro λ ayuda a evitar la detección falsa de señales de baja calidad a partir de señales laterales S fuertes que son debidas a mezclas estéreo (de música) amplias y a procesos posteriores de ampliación estéreo.

Se debe observar que las opciones mencionadas más arriba para determinar un factor α_{HQ} de alta calidad modificado se pueden utilizar por separado o en una combinación arbitraria con otras.

10 Además, se debe observar que se puede utilizar el factor α_{HQ} de alta calidad para ajustar los parámetros a y b en el sistema de reducción de ruido radio FM estéreo basado en predicción. En particular, el factor c de limitación se puede corregir mediante el indicador de calidad α_{HQ} . Esto se puede realizar, por ejemplo de acuerdo con:

$$c = \max\left(1, (a^2 + b^2)^{(1-\alpha_{HQ}+\epsilon)}\right),$$

donde ϵ es un valor de ajuste opcional (número pequeño) que evita que a y b sean infinito (o números grandes no razonables) cuando el indicador de calidad $\alpha_{HQ} = 1$, esto es, cuando la señal FM recibida comprende un bajo grado de ruido.

15 El propósito de una función de limitación $c = f(a, b, \alpha_{HQ})$ que dependa del indicador de calidad α_{HQ} , es limitar a y b para una señal FM de baja calidad (α_{HQ} próximo a cero) mientras que no limita (o limita sólo ligeramente) a y b para una señal FM de alta calidad (α_{HQ} próximo a uno). Se debe observar que la función mencionada más arriba para modificar el factor de limitación en función del indicador de calidad α_{HQ} aproxima la primera función (1) de c para $\alpha_{HQ} = 0$, la segunda función (2) para $\alpha_{HQ} = 0,5$, y no se lleva a cabo "ninguna limitación" de los parámetros a y b para $\alpha_{HQ} = 1$. Además, se debe observar que la fórmula mencionada más arriba es únicamente un ejemplo de implementación de una función de limitación modificada que tiene en cuenta la calidad de la señal FM recibida.

20 La selección o mezclado de la señal lateral de ruido reducido S' y la señal lateral de bypass S ilustradas en la Fig. 3 se puede realizar mediante selección de frecuencias. Una posible implementación comprendería las siguientes modificaciones al diagrama de bloques de la Fig. 3. El diagrama de bloques de la Fig. 3 se podría modificar de modo que las unidades 30, 31 de ganancia y la unidad 32 de mezcla se utilizaran en el dominio de QMF antes del banco 72 de filtros de síntesis de la señal lateral "QMF⁻¹". Además, la unidad 30 de ganancia de bypass podría ser la salida del banco 73 de filtros "QMF_s" de análisis. Esto querría decir que el banco 73 de filtros se encuentra en la ruta de la señal en el caso de paso directo, y por lo tanto tiene los mismos requisitos de precisión que el banco 71 de filtros "QMF" de análisis. El banco 72 de filtros QMF de síntesis se podría utilizar para convertir la señal lateral mezclada (flujo descendente de la unidad 32 de mezcla) en el dominio del tiempo.

30 En un modo de realización alternativo se puede restringir la selectividad de frecuencias a dos bandas de frecuencia, esto es, una banda de alta frecuencia y una banda de baja frecuencia. En particular, la banda de baja frecuencia se puede fijar a la ruta de bypass, esto es la señal lateral reconstruida se puede corresponder con la señal lateral S recibida para el rango de baja frecuencia, mientras que en el rango de alta frecuencia se puede utilizar la señal lateral de ruido reducido S' (o una señal lateral combinada de acuerdo con el indicador p de calidad).

35 El documento WO PCT/EP2011/064077 describe técnicas para reducir o eliminar cantidades no deseadas de componentes no correlacionados en la señal estéreo de ruido reducido mediante la utilización de la medida de uniformidad espectral. Estas técnicas también se pueden utilizar en el sistema de reducción de ruido de radio FM basado en predicción descrito en el presente documento. En particular, la medida de la uniformidad espectral se puede aplicar modificando el parámetro b del siguiente modo:

$$b_{new} = (1 - SMF_impact_factor) * b$$

40 Esto quiere decir que un $SMF_impact_factor = 1$ forzaría que $b_{new} = 0$. Para un $SMF_impact_factor = 0$, b permanecería sin cambios. Así pues, en el caso de una señal lateral con una alta uniformidad espectral (indicativa de una señal lateral ruidosa) con $SMF_impact_factor = 1$, no se elimina la correlación de la señal lateral de ruido reducido S', de modo que la señal lateral de ruido reducido S' se corresponde con una versión escalada de la señal media recibida, esto es $a*M$.

A continuación se describen ejemplos para determinar un SMF_impact_factor . En señales estéreo de radio FM recibidas típicas, el espectro de potencia de la señal media M es relativamente elevado con altos niveles de energía en el rango de baja frecuencia. Por otro lado, la señal lateral S tiene típicamente un bajo grado de energía global y

un espectro de potencia relativamente plano.

5 Como el espectro de potencia del ruido de la señal lateral es bastante plano y tiene una pendiente característica, se puede utilizar la SFM junto con la compensación de pendiente para estimar el nivel de ruido dentro de la señal FM recibida. Se pueden utilizar diferentes tipos de valores de SFM. Esto es, los valores de SFM se pueden calcular de varias formas. En particular, se puede utilizar el valor de SFM instantáneo, así como una versión suavizada de la SFM. El valor de SFM instantáneo se corresponde típicamente con la SFM de una trama de señal de la señal lateral, mientras que la versión suavizada del valor de SFM instantáneo también depende de la SFM de las tramas de señal anteriores de la señal lateral.

10 Un método para determinar un factor de impacto a partir de la señal lateral puede comprender el paso de determinar el espectro de potencia de la señal lateral. Típicamente, esto se realiza utilizando un cierto número de muestras (por ejemplo, muestras de una trama de señal) de la señal lateral. El espectro de potencia se puede determinar como los valores de energía de la señal lateral $P_k^S = E\{s_k^2\}$ para una pluralidad de bandas de frecuencia k , por ejemplo $k = 1, \dots, K$. El período de determinación del espectro de potencia se puede alinear con el período para determinar los parámetros a y b . Así pues, se puede determinar un espectro de potencia de la señal lateral para el período de validez de los parámetros a y b correspondientes.

15 En un paso posterior, se puede compensar la pendiente característica del espectro de potencia del ruido de la señal lateral. La pendiente característica se puede determinar de forma experimental (en una fase de diseño o de calibración), por ejemplo determinando el espectro de potencia promedio de las señales laterales de un conjunto de señales mono.

20 Alternativa o adicionalmente, la pendiente característica se puede determinar de forma adaptativa a partir de la señal lateral actual, por ejemplo utilizando una regresión lineal sobre el espectro de potencia de la señal lateral actual. La compensación de la pendiente característica se puede llevar a cabo mediante un filtro de pendiente de ruido inverso. Como resultado se debería de obtener una pendiente compensada, posiblemente plana, del espectro de potencia, lo cual no muestra la pendiente característica del espectro de potencia de una señal lateral de una señal de audio mono de voz.

25 Utilizando el espectro de potencia (con la pendiente compensada), se puede determinar un valor de SFM. La SFM se puede calcular de acuerdo con

$$SFM = \frac{\left(\prod_{k=0}^{N-1} E\{s_k^2\} \right)^{1/N}}{\frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} E\{s_k^2\}}$$

30 en donde $E\{s_k^2\}$ representa la potencia de la señal lateral en una banda de frecuencias o parámetros k . La división de frecuencias utilizada en el sistema de reducción de ruido de radio FM basado en predicción comprende típicamente de 15 a 20 bandas de parámetros. La SFM se puede describir como la relación entre la media geométrica del espectro de potencia y la media aritmética del espectro de potencia.

35 Alternativamente, se puede calcular la SFM sobre un subconjunto del espectro, que incluye únicamente las bandas de frecuencia entre K_{high} y K_{low} . De este modo, por ejemplo una o unas pocas bandas de frecuencia se pueden excluir con el fin de eliminar un desfase de DC indeseable, por ejemplo, frecuencia baja. Cuando se ajustan los bordes de las bandas se debería añadir en consecuencia la fórmula mencionada más arriba para el cálculo de la SFM.

40 Con el fin de limitar la complejidad de cálculo, la fórmula de la SFM se puede sustituir de forma alternativa por aproximaciones numéricas de la misma basadas, por ejemplo, en un desarrollo de Taylor, una tabla de búsqueda o técnicas parecidas conocidas comúnmente por los expertos en el campo de las implementaciones de software. Además, también existen otros métodos para medir la uniformidad espectral, como por ejemplo la desviación estándar o la diferencia entre un mínimo y un máximo de los contenedores de potencia de las frecuencias, etc. En el presente documento, el término "SFM" representa cualquiera de estas medidas.

45 Se puede determinar un factor de impacto utilizando el valor de la SFM para el intervalo de tiempo o trama concreto de la señal lateral. Con este fin, se mapea la SFM, por ejemplo, sobre una escala de 0 a 1. El mapeo y la determinación de un factor de impacto de la SFM se puede realizar de acuerdo con

$$SFM_impact_factor = \begin{cases} 0 & , \text{ si } SFM < \alpha_{low_thresh} \\ \frac{SFM - \alpha_{low_thresh}}{\alpha_{high_thresh} - \alpha_{low_thresh}} & , \text{ si } \alpha_{low_thresh} \leq SFM \leq \alpha_{high_thresh} \\ 1 & , \text{ si } SFM > \alpha_{high_thresh} \end{cases}$$

en donde los dos valores de umbral α_{low_thresh} y α_{high_thresh} se seleccionan de acuerdo con el rango promedio de los valores de SFM que típicamente se encuentran entre 0,2 y 0,8. El propósito principal de la etapa de normalización es asegurar que el factor de impacto SFM se extiende de forma regular por toda la región completa entre “0” y “1”. Así pues, la normalización asegura que un espectro no plano “normal” ($SFM < \alpha_{low_thresh}$) no se detecta como ruido y que la medida se satura para valores altos ($SFM > \alpha_{high_thresh}$). En otras palabras, la normalización proporciona un factor de impacto que diferencia más claramente entre situaciones de alto ruido ($SFM > \alpha_{high_thresh}$) y situaciones de bajo ruido ($SFM < \alpha_{low_thresh}$).

El documento WO PCT/EP2011/064084 describe técnicas para enmascarar intervalos cortos de recepción mono del receptor FM 1 mediante un detector mono fiable en combinación con un mecanismo que utiliza parámetros estéreo estimados previamente para generar una señal estéreo FM de ruido reducido durante dichos intervalos de tiempo mono. Las técnicas descritas en WO PCT/EP2011/064084 también se pueden aplicar al sistema de reducción de ruido de radio FM basado en predicción descrito en el presente documento.

Tal como se ha indicado más arriba, el receptor FM 1 puede alternar entre estéreo y mono debido a malas condiciones de recepción que varían con el tiempo (por ejemplo, desvanecimiento). Con el fin de mantener una apariencia de sonido estéreo durante la alternancia mono/estéreo, se pueden utilizar técnicas de enmascaramiento para enmascarar mono dropouts cortos. Una técnica de enmascaramiento para la reducción de ruido de radio FM basada en predicción consiste en la utilización de los parámetros a y b de predicción y descorrelación que se basan en los parámetros estimados previamente en el caso de que los nuevos parámetros a y b no se puedan calcular debido a que la salida de audio del receptor FM 1 ha pasado a mono. Así pues, cuando el receptor estéreo FM 1 conmuta a una salida de audio mono, el sistema de reducción de ruido de radio FM basado en predicción de la Fig. 3 continúa utilizando los parámetros a y b estimados previamente (individualmente para cada una de las bandas de frecuencia). Si los periodos de dropout en la salida estéreo son lo suficientemente cortos como para que la apariencia de sonido estéreo de la señal de radio FM permanezca parecida durante un período de dropout, el dropout no es audible o es escasamente audible en la salida de audio del equipo 2. Otra técnica puede consistir en interpolar y/o extrapolar los parámetros a y b a partir de los parámetros estimados previamente. En el caso de que la recepción de FM no vuelva a estéreo lo suficientemente rápido, los parámetros a y b pueden disminuir lentamente para aproximarse a cero después de algunos segundos, lo cual significa que la salida se convierte en únicamente una señal mono (esto es, la señal media).

Alternativa o adicionalmente, el sistema de reducción de ruido estéreo FM basado en predicción puede generar una señal “pseudo estéreo” utilizando valores por defecto de los parámetros a y/o b en el caso de que las condiciones de recepción sean tan malas que únicamente se reciba una señal mono. Los valores por defecto pueden depender de una clasificación voz/música de la señal media. En otras palabras, el sistema de reducción de ruido estéreo FM basado en predicción puede comprender un clasificador para clasificar el tipo de señal de radio FM recibida en función de la señal media recibida. A modo de ejemplo, el clasificador se puede configurar para clasificar la señal de radio FM recibida como una señal de voz o como una señal de música (por ejemplo basándose en un análisis de frecuencias de la señal media recibida). El sistema de reducción de ruido estéreo FM basado en predicción puede a continuación seleccionar los valores adecuados para los parámetros a y/o b en función del tipo que se haya determinado de la señal de radio FM recibida. Así pues, un mono dropout de la señal de radio FM recibida se puede enmascarar utilizando valores de parámetros por defecto (en función del tipo).

La utilización del enmascaramiento dentro del sistema de reducción de ruido de radio FM basado en predicción requiere una detección fiable de los mono dropouts, con el fin de iniciar el enmascaramiento, esto es, con el fin de fijar el estado de enmascaramiento $\delta_{conceal}$ entre 0 y 1. Un posible detector de mono/estéreo se podría basar en detectar las secciones mono de la señal que cumplen que señal izquierda = señal derecha (o señal izquierda – señal derecha = 0). Sin embargo, dicho detector de mono/estéreo daría lugar a un comportamiento inestable del proceso de enmascaramiento debido al hecho de que las energías de la señal izquierda y la señal derecha, así como la energía de la señal lateral, pueden fluctuar mucho incluso con buenas condiciones de recepción.

Con el fin de evitar dicho comportamiento inestable del enmascaramiento se puede implementar la detección mono/estéreo y el mecanismo de enmascaramiento como una máquina de estados. En la Fig. 6 se ilustra una máquina de estados. La máquina de estados de la Fig. 6 utiliza dos niveles de referencia de la energía absoluta de la señal lateral S , esto es E_s (o P^s tal como se ha definido más arriba). La señal lateral S utilizada para calcular E_s

puede haber pasado por un filtro paso alto con una frecuencia de corte de típicamente 250 Hz. Estos niveles de referencia son un nivel de referencia superior ref_high y un nivel de referencia inferior ref_low . La señal se considera que es estéreo cuando se encuentra por encima del nivel de referencia superior (ref_high) y se considera que es mono cuando se encuentra por debajo del nivel de referencia inferior (ref_low).

5 La energía E_s de la señal lateral se calcula como un parámetro de control de la máquina de estados. E_s se puede calcular sobre una ventana de tiempo que podría, por ejemplo, corresponderse con un intervalo de tiempo de validez de los parámetros a y b . En otras palabras, la frecuencia para determinar la energía de la señal lateral puede estar alineada con la frecuencia para determinar los parámetros a y b . En este documento, el intervalo de tiempo para determinar la energía de la señal lateral E_s (y posiblemente los parámetros a y b) se denomina trama de la señal. La máquina de estados de la Fig. 6 comprende cinco condiciones, las cuales se verifican cada vez que se calcula la energía E_s de una nueva trama:

- La condición A indica que la energía de la señal lateral E_s excede el nivel de referencia superior ref_high . El nivel de referencia superior se puede denominar umbral superior.
- La condición B indica que la energía de la señal lateral E_s es menor o igual que el nivel de referencia superior ref_high y mayor o igual que el nivel de referencia inferior ref_low . El nivel de referencia inferior se puede denominar umbral inferior.
- La condición B1 se corresponde con la condición B pero añade una condición de tiempo adicional. La condición de tiempo establece que la condición B se cumple para un número de tramas menor que un umbral o durante un tiempo menor que un umbral. Este umbral se puede denominar umbral de trama.
- La condición B2 se corresponde con la condición B, con la condición de tiempo adicional que establece que la condición B se cumple para un número de tramas mayor o igual que el umbral o durante un tiempo mayor o igual que el umbral.
- La condición C indica que la energía de la señal lateral E_s es menor que el nivel de referencia inferior ref_low .

Además, la máquina de estados de ejemplo de la Fig. 6 utiliza los cinco estados. Los diferentes estados se alcanzan en función de las condiciones mencionadas más arriba y en función del diagrama de estados que se ilustra en la Fig. 6. Las siguientes acciones se llevan a cabo típicamente en los diferentes estados dentro del sistema de reducción de ruido de radio FM estéreo basado en predicción:

- En el estado 1 se lleva a cabo un funcionamiento estéreo normal, por ejemplo en función de los parámetros a y b que se determinan a partir de la señal de audio actual. El estado de enmascaramiento $\delta_{conceal}$ permanece en 0.
- En el estado 2 se lleva a cabo un funcionamiento estéreo normal basándose en los parámetros a y b determinados sobre la señal de audio actual. Este estado es únicamente transitorio, teniendo en cuenta que o bien la condición B se cumple durante un número de tramas mayor o igual que el umbral de trama o durante un tiempo mayor o igual que el umbral de tiempo (esto es, la condición B2) o se cumple la condición A o C antes de este lapso de número de tramas o lapso de tiempo. El estado de enmascaramiento $\delta_{conceal}$ permanece en 0.
- En el estado 3 se lleva a cabo un funcionamiento estéreo basándose en los parámetros a y b determinados sobre la señal de audio actual. Se puede observar que el estado 3 se puede alcanzar en una secuencia que va desde el estado 1 al estado 3 pasando por el estado 2. Teniendo en cuenta que la condición B2 necesita un número mínimo de tramas o una cantidad mínima de tiempo para la transición, la secuencia "estado 1, estado 2, estado 3" representa una transición lenta, es decir, suave, desde un funcionamiento estéreo normal (por ejemplo música) a un funcionamiento mono normal (por ejemplo voz). El estado de enmascaramiento $\delta_{conceal}$ se fija o permanece en 0.
- En el estado 4 se inicia un enmascaramiento de mono dropout utilizando los parámetros a y b determinados previamente, por ejemplo, los parámetros a y b más recientes que se han determinado en el estado 1. Se puede observar que el estado 4 se puede alcanzar directamente desde el estado 1, si se cumple la condición C, esto es, si la energía E_s de la señal lateral cae abruptamente desde por encima de ref_high hasta por debajo de ref_low . Alternativamente, el estado 4 se puede alcanzar desde el estado 1 pasando por el estado 2, sin embargo, solo si se cumple la condición B durante únicamente un pequeño número de tramas o durante únicamente un corto periodo de tiempo. Así pues, las secuencias "estado 1, estado 4" y "estado 1, estado 2, estado 4" representan una transición rápida, esto es, abrupta, desde un funcionamiento estéreo normal (por ejemplo música) a un funcionamiento mono forzado. El funcionamiento mono forzado se debe típicamente al receptor de FM, el cual por ejemplo interrumpe de forma abrupta la señal lateral si el nivel o potencia del tono piloto de 19kHz en la señal múltiplex estéreo cae por debajo de un nivel determinado previamente, haciendo de este modo imposible la demodulación fiable de la señal lateral a partir de la señal múltiplex estéreo recibida. El

estado de enmascaramiento $\delta_{conceal}$ se establece en 1 con el fin de indicar la utilización del enmascaramiento dentro del sistema de reducción de ruido de radio FM basado en predicción.

- En el estado 5 continúa el enmascaramiento de mono dropout por ejemplo en función de los parámetros a y b que se han establecido en el estado 4. En el modo de realización ilustrado, el estado 5 únicamente se puede alcanzar a partir del estado 4 si se cumple la condición C, esto es, el estado 5 representa el estado de enmascaramiento de mono dropout estable, en el que se utilizan los parámetros a y b determinados previamente con el fin de generar una señal lateral de ruido reducido a partir de la señal media recibida. Los parámetros a y b tienden a cero con una constante de tiempo de unos pocos segundos, dando lugar a una señal de salida que pasa lentamente de estéreo a mono. El estado de enmascaramiento $\delta_{conceal}$ permanece típicamente en 1.

Tal como ya se ha indicado, el diagrama de estados ilustrado asegura que el enmascaramiento se activa únicamente si la señal de audio recibida por el receptor de FM pasa de estéreo a mono en pocas ventanas/tramas de tiempo, esto es si la transición de estéreo a mono es abrupta. Por otro lado, la activación del enmascaramiento se evita en los casos en los que existe ruido en la señal lateral con energía E_s por debajo del nivel estéreo (ref_high) pero por encima del nivel mono (ref_low), esto es, en los casos en los que existe suficiente información dentro de la señal lateral para generar los parámetros a y b apropiados. Al mismo tiempo, incluso cuando la señal cambie de estéreo a mono, por ejemplo cuando la señal cambia de música a voz, no se activará la detección del enmascaramiento, asegurando de este modo que la señal mono original no se convertirá en una señal estéreo artificial debido a la aplicación errónea del enmascaramiento. Se puede detectar una transición auténtica de estéreo a mono basándose en una transición suave de la energía E_s de la señal lateral desde por encima de ref_high a por debajo de ref_low .

En el presente documento, se ha descrito un método y un sistema para mejorar el rendimiento perceptual de receptores de radio FM. En particular, se ha descrito un método y un sistema para determinar una señal estéreo FM de ruido reducido utilizando una técnica basada en predicción. Utilizando un sistema de reducción de ruido de radio FM basado en predicción, se puede reducir la complejidad del cálculo para la reducción de ruido en comparación con un sistema de reducción de ruido de radio FM basado en PS. Además, se han descrito varios métodos para mejorar el rendimiento del sistema de reducción de ruido de radio FM basado en predicción. En particular, se ha descrito la utilización de un indicador de calidad para combinar entre la señal lateral de ruido reducido y la señal lateral original. Además, se ha descrito un método para adaptar parámetros del sistema de reducción de ruido de radio FM basado en predicción a las características espectrales de la señal lateral recibida, diferenciando de este modo de forma fiable entre condiciones de recepción ruidosas y buenas. Además, se ha descrito un método de enmascaramiento con el fin de adaptar el sistema de reducción de ruido de radio FM basado en predicción a situaciones de mono dropout.

Los métodos y sistemas descritos en el presente documento se pueden implementar como software, firmware y/o hardware. Ciertos componentes se pueden implementar, por ejemplo, como software ejecutado sobre un procesador de señal digital o un microprocesador. Otros componentes se pueden implementar, por ejemplo, como hardware y/o como circuitos integrados de aplicación específica. Las señales que se encuentran en los métodos y sistemas descritos se pueden almacenar sobre medios como una memoria de acceso aleatorio o medios de almacenamiento óptico. Se pueden transferir a través de redes como, por ejemplo, redes de radio, redes de satélite, redes inalámbricas o redes cableadas, por ejemplo, Internet. Dispositivos típicos que hacen uso de los métodos y sistemas descritos en el presente documento son dispositivos electrónicos portátiles u otros equipos de consumo que se utilizan para almacenar y/o proporcionar señales de audio.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un equipo (2) configurado para reducir el ruido de una señal de radio FM multicanal recibida; en donde la señal de radio FM multicanal recibida se puede representar como una señal media recibida y una señal lateral recibida; en donde la señal lateral recibida indica una diferencia entre una señal izquierda y una señal derecha de la señal de radio FM multicanal recibida; comprendiendo el equipo (2)
- una unidad (77) de determinación de parámetros configurada para determinar uno o más parámetros indicativos de una correlación y/o descorrelación entre la señal media recibida y la señal lateral recibida; en donde la unidad (77) de determinación de parámetros está configurada para determinar un parámetro *b* de descorrelación indicativo de una descorrelación entre la señal media recibida y la señal lateral recibida; y
- 10 - una unidad (79) de reducción de ruido configurada para generar una señal lateral de ruido reducido a partir de la señal media recibida utilizando el uno o más parámetros; en donde la unidad (79) de reducción de ruido está configurada para generar la señal lateral de ruido reducido también a partir de una versión no correlacionada de la señal media recibida utilizando el parámetro *b* de descorrelación; en donde la señal lateral recibida no se encuentra en una ruta de señal para la generación de la señal lateral de ruido reducido.
- 15 2. El equipo (2) de la reivindicación 1, en el que
- la unidad (77) de determinación de parámetros está configurada para determinar un parámetro de predicción *a* que indica una relación cruzada entre la señal media recibida y la señal lateral recibida; y
 - la unidad (79) de reducción de ruido está configurada para generar la señal lateral de ruido reducido a partir de la señal media recibida utilizando el parámetro de predicción *a*.
- 20 3. El equipo (2) de la reivindicación 2, en el que la unidad (77) de determinación de parámetros está configurada para determinar el parámetro de predicción *a* en función de un valor esperado de un producto de muestras correspondientes de la señal media recibida y la señal lateral recibida.
- 25 4. El equipo (2) de la reivindicación 3, en el que la unidad (77) de determinación de parámetros está configurada para determinar el parámetro de predicción *a* como:
- $$a = E[S*M]/E[M*M],$$
- en donde E[•] representa el operador de valor esperado, S es la señal lateral recibida y M es la señal media recibida.
- 30 5. El equipo (2) de una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en el que la unidad (77) de determinación de parámetros está configurada para determinar el parámetro *b* de descorrelación basándose en la energía de una señal diferencia de la señal lateral recibida y una señal determinada a partir de la señal media utilizando el parámetro de predicción *a*.
6. El equipo (2) de la reivindicación 5, en el que la unidad (77) de determinación de parámetros está configurada para determinar el parámetro *b* de descorrelación como:
- 35
$$b = \text{sqrt}(E[D*D]/E[M*M])$$
- siendo $D=S-a*M$ la señal diferencia.
7. El equipo (2) de una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en el que la unidad (79) de reducción de ruido está configurada para generar la versión no correlacionada de la señal media recibida filtrando la señal media recibida mediante un filtro paso todo.
- 40 8. El equipo (2) de una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, en el que
- la unidad (77) de determinación de parámetros está configurada para determinar un factor de impacto característico de la uniformidad espectral de la señal lateral recibida; y
 - el parámetro *b* de descorrelación depende del factor de impacto.
- 45 9. El equipo (2) de la reivindicación 8, en el que el parámetro *b* de descorrelación disminuye cuando el factor de impacto indica un grado creciente de uniformidad espectral de la señal lateral recibida.
10. El equipo (2) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que
- la unidad (77) de determinación de parámetros está configurada para determinar el uno o más parámetros

de una forma que varía con el tiempo; y

- la unidad (79) de reducción de ruido está configurada para generar la señal lateral de ruido reducido utilizando el uno o más parámetros que varían con el tiempo.

11. El equipo (2) de la reivindicación 10, en el que

- 5 - la unidad (77) de determinación de parámetros está configurada para determinar, para un primer parámetro de los uno o más parámetros, una secuencia de primeros parámetros para una secuencia de intervalos de tiempo correspondiente; y
- un primer parámetro concreto de la secuencia de primeros parámetros para un intervalo de tiempo concreto de la secuencia de intervalos de tiempo se determina utilizando muestras de la señal media recibida y/o la
10 señal lateral recibida que se encuentran dentro del intervalo de tiempo concreto.

12. El equipo (2) de la reivindicación 11, en el que la unidad (77) de determinación de parámetros está configurada para determinar una secuencia de primeros parámetros interpolados mediante la interpolación de primeros parámetros adyacentes a partir de la secuencia de primeros parámetros.

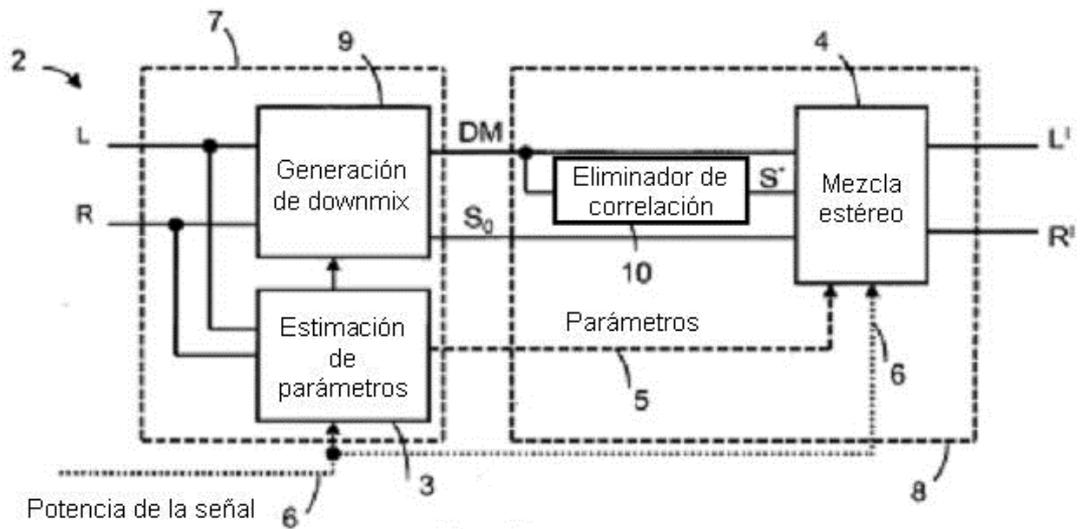
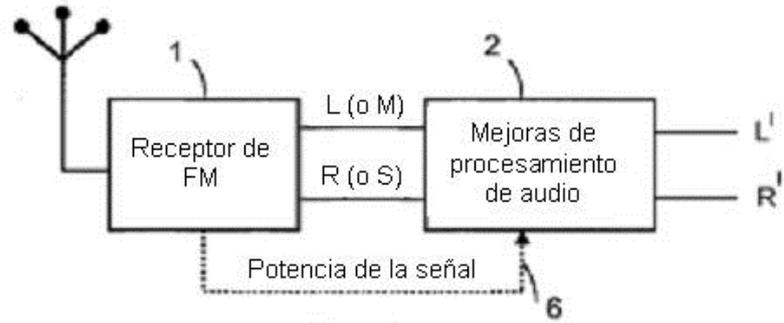
13. El equipo (2) de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, configurado para detectar que la señal de radio FM multicanal recibida es una señal mono forzada mediante

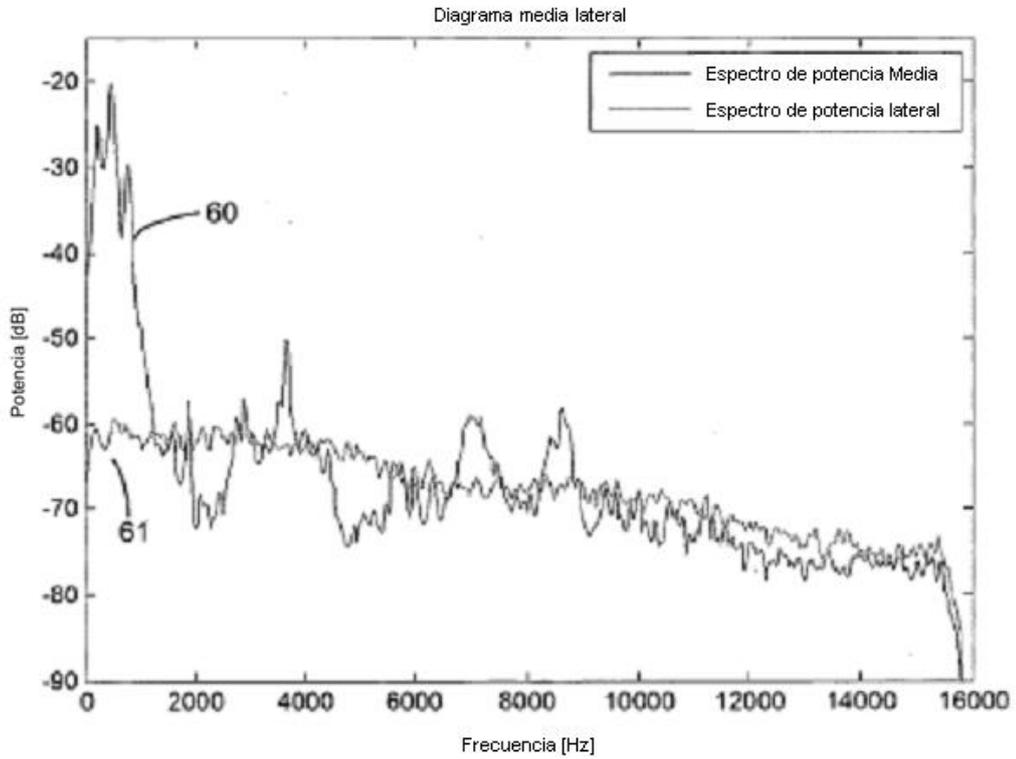
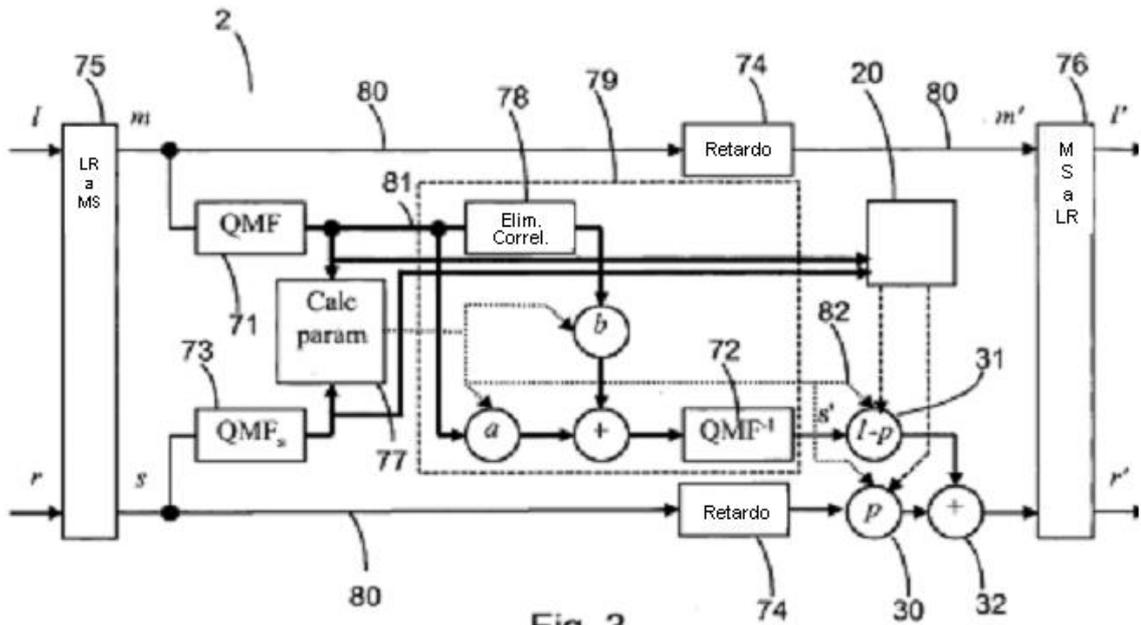
- la determinación de una energía de la señal lateral recibida dentro de un primer intervalo de tiempo de la secuencia de intervalos de tiempo; en donde la energía se encuentra por encima de un umbral superior;
- la determinación de un período de transición de un número de intervalos de tiempo sucesivos posteriores durante los cuales la energía de la señal lateral cae desde un valor por encima del umbral superior a un
20 valor por debajo de un umbral inferior; y
- la determinación de que la señal de radio FM multicanal recibida posterior al primer intervalo de tiempo es una señal mono forzada si el número de intervalos de tiempo sucesivos al período de transición se encuentra por debajo de un umbral del intervalo.

14. Un método para reducir el ruido de una señal de radio FM multicanal recibida; en donde la señal de radio FM multicanal recibida se presenta como una señal media recibida y una señal lateral recibida; comprendiendo el
25 método

- determinar uno o más parámetros indicativos de una correlación y/o descorrelación entre la señal media recibida y la señal lateral recibida; en donde el uno o más parámetros comprende un parámetro b de descorrelación indicativo de una descorrelación entre la señal media recibida y la señal lateral recibida; y
- 30 - generar una señal lateral de ruido reducido a partir de la señal media recibida utilizando el uno o más parámetros, en donde la generación de la señal lateral de ruido reducido comprende la generación de la señal lateral de ruido reducido también a partir de una versión no correlacionada de la señal media recibida utilizando el parámetro b de descorrelación; en donde la señal lateral recibida no se encuentra en una ruta de señal para la generación de la señal lateral de ruido reducido.

35 15. Un producto de programa de ordenador que comprende instrucciones ejecutables para llevar a cabo los pasos del método de la reivindicación 14 cuando se ejecuta en un ordenador.





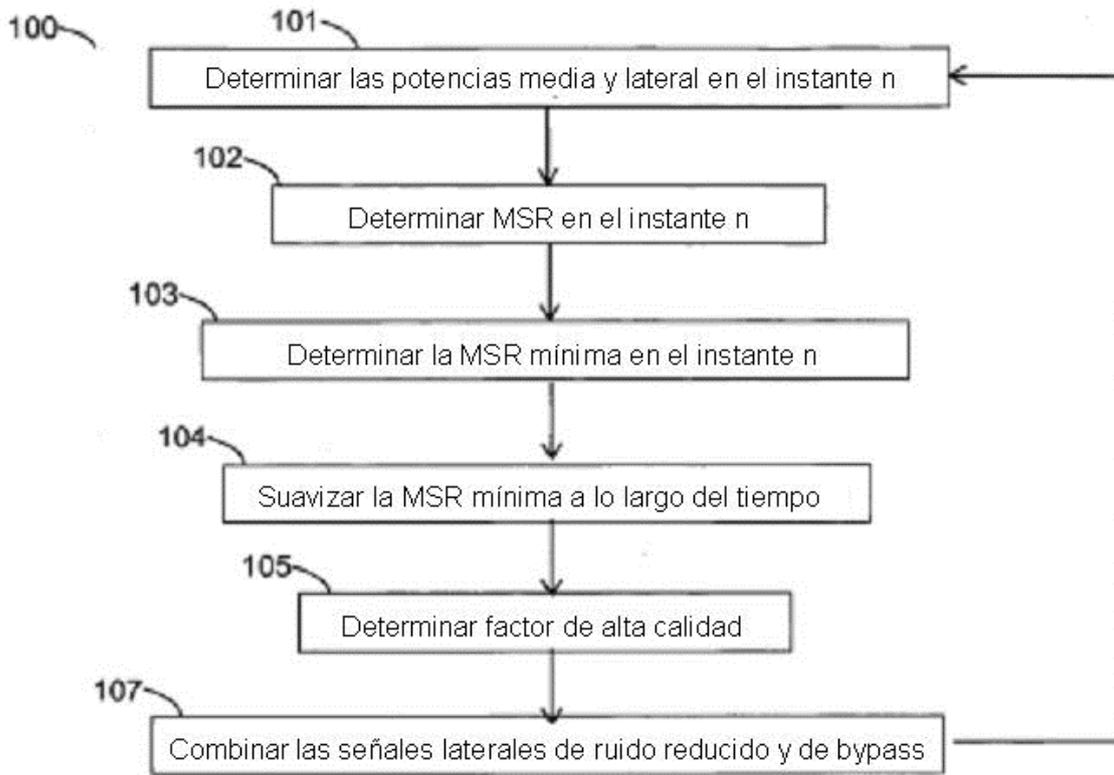


Fig. 5

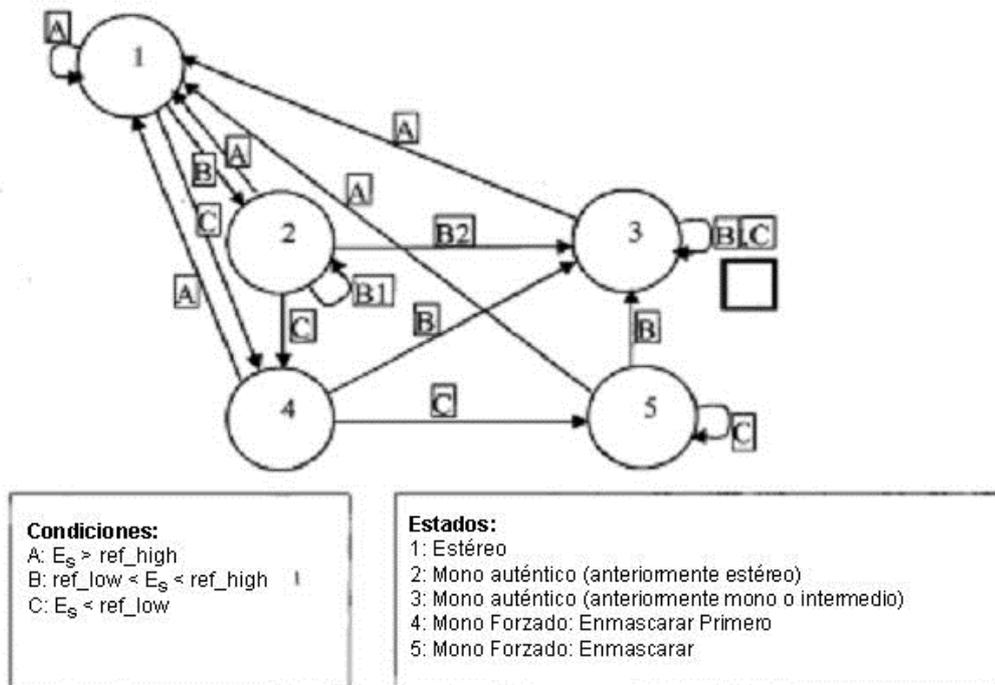


Fig. 6