

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 405 990**

51 Int. Cl.:

G10K 15/12

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.10.2010** **E 10760724 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.02.2013** **EP 2478519**

54 Título: **Reverberador y método para reverberar una señal de audio**

30 Prioridad:

21.10.2009 US 253655 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
04.06.2013

73 Titular/es:

**FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN
FORSCHUNG E.V. (100.0%)
Hansastraße 27c
80686 München, DE**

72 Inventor/es:

**VILKAMO, JUHA;
NEUGEBAUER, BERNHARD y
PLOGSTIES, JAN**

74 Agente/Representante:

ARIZTI ACHA, Monica

ES 2 405 990 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

Reverberador y método para reverberar una señal de audio.

5 Las realizaciones de la presente invención se refieren a un reverberador y a un método para reverberar una señal de audio. Las realizaciones adicionales de la presente invención se refieren a un reverberador de dominio de transformada de frecuencia eficaz con control para tiempos de reverberación arbitrarios.

10 Los reverberadores se utilizan en la creación de efectos de sala para señales de audio. Existen numerosas aplicaciones de procesamiento de señales de audio en las que existe la necesidad de añadir efectos de sala a la señal, principalmente reflexiones tempranas y reverberación. De estos dos, las reflexiones tempranas aparecen únicamente durante un período de tiempo muy corto después de la propia señal, y de este modo pueden modelarse más fácilmente, mientras que la reverberación abarca un intervalo de tiempo largo y a menudo es audible hasta varios segundos después del final del sonido original sin efectos. El intervalo de tiempo largo hace que el diseño del reverberador sea el objeto principal en los sistemas que requieren un efecto de sala pero que requieren costes computacionales de bajos a medios.

15 El objetivo de diseño del reverberador puede ser maximizar la similitud de percepción a un cierto espacio real o virtual, o crear una reverberación que maximice alguna otra propiedad de percepción para maximizar la preferencia del oyente. Existen diversos algoritmos para reverberación, especialmente para las señales de dominio de tiempo, y el objetivo de diseño casi siempre es encontrar un equilibrio donde la calidad deseada se alcance de manera máxima mientras que la carga computacional se minimiza.

20 Históricamente, el diseño de reverberación se ha enfocado casi en su totalidad a las señales de dominio de tiempo. Sin embargo, en esquemas de procesamiento de audio modernos es muy común tener el procesamiento en un dominio de transformada de frecuencia a corto plazo, tal como en el dominio de QMF (banco de filtros de espejo de cuadratura) utilizado en tecnologías MPEG surround y relacionadas, el dominio de MDCT (transformada de coseno discreta modificada), utilizado en códecs de audio perceptivo, y el dominio de STFT (transformada de Fourier a corto plazo) que se utiliza en una gama muy amplia de aplicaciones. Aunque los métodos tienen diferencias, el factor común es que la señal de dominio de tiempo se divide en baldosas de tiempo-frecuencia, tal como se ilustra en la figura 16. La operación de transformada y de transformada inversa típicamente no tiene pérdidas, y la información acerca del contenido de sonido de este modo se encuentra completamente contenido en ambas representaciones. La representación de tiempo-frecuencia se utiliza especialmente en un procesamiento perceptivo de audio ya que tiene una semejanza muy cercana al modo en el que el sistema auditivo humano procesa el sonido.

25 Según el estado de la técnica, hay diversas soluciones existentes para la creación de reverberación. En "Frequency Domain Artificial Reverberation using Spectral Magnitude Decay", Vickers *et al.*, 2006, 121^a convención de AES de octubre de 2006 y en el documento US 2008/0085008 A1, se describe un algoritmo de reverberación conocido que funciona en el dominio de frecuencia. También, "Improvements of Artificial Reverberation by Use of Subband Feedback Delay Networks" Igor Nolic, 112^a Convención de AES, 2002, propone crear reverberación en bandas de frecuencia.

35 Una respuesta de impulso de repetición infinita mientras cae de una reverberación puede encontrarse en "Artificial Reverberation Based on a Pseudo-Random Impulse Response" parte I y parte II, Rubak & Johansen, 104^a convención de AES, 1998 y 106^a convención de AES, 1999 y "Reverberation Modeling Using Velvet Noise", Karjalainen & Järveläinen, 30^a conferencia de AES, marzo de 2007. Sin embargo, las referencias anteriormente mencionadas se refieren a algoritmos de reverberación de dominio de tiempo.

40 En "The Switch Convolution Reverberator", Lee *et al.*, 127^a convención de AES, octubre de 2009, se presenta un reverberador artificial que tiene poca memoria y costes de computación bajos, adecuado para dispositivos móviles. El reverberador consiste en un filtro de peine ecualizado que activa una convolución con secuencia de ruido corta. La ecualización y la tasa de caída del reverberador se controlan mediante filtros IIR de bajo orden, y la densidad de eco es la de la secuencia de ruido, donde la secuencia de ruido se actualiza o "conmuta" regularmente. Además, se describen diversas estructuras para actualizar la secuencia de ruido, que incluyen un integrador con fugas sensible a un factor de cresta de señal, y una arquitectura multibanda.

45 En el documento US 5 272 274 A, se proporciona un instrumento musical electrónico con un dispositivo de generación de datos táctiles y una unidad de reverberación que genera una señal de reverberación. La unidad de reverberación genera la señal que corresponde a la señal de tono musical basándose en los datos táctiles. La unidad de reverberación tiene un dispositivo de formación de parámetro de reverberación para formar un parámetro de reverberación que controla la señal de reverberación basándose en los datos táctiles. El parámetro incluye un período de retardo para un elemento de retardo y/o un coeficiente para un multiplicador. Se permite agregar al instrumento musical un dispositivo de mezcla para mezclar la señal de tono musical y la señal de reverberación. También se permite que el instrumento musical tenga un dispositivo de detección de canal para detectar el número de canales de instrucción en lugar del dispositivo de generación de datos táctiles, de este modo, la señal de reverberación se controla por el número de canales de instrucción.

El documento US 6 723 910 B1 da a conocer un procesador de generación de reverberación. El procesador de generación de reverberación genera una señal auditiva específica según un entorno virtual predeterminado que tiene características de dimensión espacial, reflexión de sonido y disminución. El generador de secuencia natural genera una secuencia natural que tiene un número predeterminado de elementos según las características del entorno virtual. El dispositivo de ajuste de secuencia ajusta ganancias de los elementos y una escala de tiempo entre los elementos de la secuencia natural y emite una señal de audio. El procesador de filtro filtra una banda de frecuencia predeterminada de la señal de audio según las características del entorno virtual y divide la señal de audio filtrada en una señal de audio de alta frecuencia y una señal de audio de baja frecuencia. El generador de reverberación de alta frecuencia transforma la señal de audio de alta frecuencia en una señal de reverberación de alta frecuencia. El generador de reverberación de baja frecuencia transforma la señal de audio de baja frecuencia en una señal de reverberación de baja frecuencia. El dispositivo de salida combina la señal de reverberación de alta frecuencia y la señal de reverberación de baja frecuencia para emitir la señal auditiva específica.

En el documento US 3 992 582 A, se da a conocer un aparato de producción de sonido de reverberación que tiene un terminal de entrada al que se suministran señales de frecuencia de audio, filtros para dividir las señales de frecuencia de audio aplicadas al terminal de entrada en una pluralidad de bandas de frecuencia, líneas de retardo para retardar señales de salida de los filtros con diferentes intervalos de tiempo, y circuitos para componer señales de salida a partir de las líneas de retardo y entregar señales de frecuencia de audio retardadas a un terminal de salida. Las frecuencias más bajas se retardan más tiempo, provocando un efecto de sala de conciertos.

Un problema subyacente de las soluciones existentes es que los algoritmos de reverberación eficaces más avanzados actuales funcionan en el dominio de tiempo. Sin embargo, en muchas aplicaciones que funcionan en el dominio de frecuencia, requieren una unidad de reverberación. Por tanto, para aplicar estos algoritmos de dominio de tiempo a una señal, la aplicación tendrá primero que transformar a la inversa la señal antes de aplicar el algoritmo de reverberación en el dominio de tiempo. Sin embargo, esto puede ser poco práctico dependiendo de la aplicación.

Otra desventaja de los reverberadores de dominio de tiempo conocidos es que pueden ser inflexibles en cuanto al diseño de la reverberación para que se ajuste a un determinado conjunto de tiempos de reverberación dependientes de la frecuencia, lo que es especialmente importante para la percepción espacial humana.

Por lo tanto, es un objetivo de la presente invención proporcionar un concepto para reverberar una señal de audio, que permita una calidad mejorada y una implementación eficaz.

Este objetivo se logra mediante un dispositivo según la reivindicación 1, un método según la reivindicación 15 o un programa informático según la reivindicación 16.

Según una realización de la presente invención, un reverberador para reverberar una señal de audio comprende un procesador de bucle de retardo de realimentación. El procesador de bucle de retardo de realimentación está configurado para retardar al menos dos señales de sub-banda de frecuencia diferentes que representan la señal de audio con diferentes retardos de bucle para obtener señales de sub-banda de frecuencia reverberadas.

El procesador de bucle de retardo de realimentación comprende, para cada señal de sub-banda de frecuencia de las al menos dos señales de sub-banda de frecuencia, una línea de retardo que tiene una pluralidad de derivaciones de línea de retardo que proporcionan señales retardadas con diferentes retardos de derivación, un bucle de realimentación conectado a la línea de retardo y un combinador para combinar señales emitidas por la pluralidad de derivaciones de línea de retardo.

En realizaciones, la representación de señal de dominio de frecuencia puede encontrarse en un dominio real o complejo. Por lo tanto, todas las operaciones realizadas dentro del reverberador (por ejemplo, retardo, suma o multiplicación) pueden ser operaciones reales o complejas.

La idea básica subyacente de la presente invención es que la implementación eficaz/ de calidad mejorada anteriormente mencionada puede lograrse cuando al menos dos señales de sub-banda de frecuencia diferentes que representan la señal de audio se retardan con diferentes retardos de bucle. Por medio de tal medida, una repetitividad percibida del procesamiento de realimentación puede evitarse o al menos reducirse, permitiendo así mantener mejor la calidad percibida.

Según una realización adicional de la presente invención, el procesador de bucle de retardo de realimentación comprende, para cada señal de sub-banda de frecuencia, un filtro que tiene una respuesta de impulso de filtro, en el que la respuesta de impulso de filtro comprende un primer bloque de muestras de respuesta de impulso de filtro y un segundo bloque de muestras de respuesta de impulso de filtro. En este caso, el segundo bloque puede ser similar al primer bloque en relación con el espacio de muestras de respuesta de impulso. Además, la primera muestra de respuesta de impulso del segundo bloque puede retardarse con respecto a la primera muestra de respuesta de impulso del primer bloque con el retardo de bucle para la señal de sub-banda de frecuencia. De esta manera, el primer bloque y el segundo bloque de las respuestas de impulso de filtro de los filtros para las señales de sub-banda de frecuencia se retardarán con los diferentes retardos de bucle.

Según una realización adicional de la presente invención, el procesador de bucle de retardo de realimentación comprende, para cada señal de sub-banda de frecuencia, un filtro disperso que tiene una densidad de derivaciones de filtro variable. Al variar de manera adecuada la densidad de derivaciones de filtro, la respuesta de impulso de filtro del filtro disperso se aproximará a una envolvente de energía predeterminada. Por lo tanto, es posible controlar las envolventes de energía de las respuestas de impulso de los filtros dispersos de una manera dependiente de la frecuencia.

Según una realización adicional de la presente invención, el procesador de bucle de retardo de realimentación está configurado para atenuar cada señal de sub-banda de frecuencia de las al menos dos señales de sub-banda de frecuencia en un factor de atenuación. En este caso, el factor de atenuación puede depender de un tiempo de reverberación predeterminado y el retardo de bucle para la señal de sub-banda de frecuencia. Esto permite ajustar por cada sub-banda una ganancia del procesamiento de bucle de retardo de realimentación de modo que puede lograrse una caída de energía según un tiempo de reverberación deseado.

La presente invención proporciona una estructura de reverberación con una eficacia mejorada y de este modo una implementación de bajo coste en procesadores de baja potencia.

A continuación se explican realizaciones de la presente invención con referencia a las figuras adjuntas, en las que:

la figura 1a muestra un diagrama de bloques de una realización de un reverberador para reverberar una señal de audio;

la figura 1b muestra un diseño a modo de ejemplo de diferentes retardos de bucle para al menos dos señales de sub-banda de frecuencia diferentes según una realización de la presente invención;

la figura 1c muestra un diagrama de bloques de una realización de una unidad de reverberación de sub-banda simple para procesar una señal de sub-banda de frecuencia individual;

la figura 1d muestra una ilustración esquemática de una respuesta de impulso de la realización de la unidad de reverberación de sub-banda simple según la figura 1c;

la figura 2a muestra un diagrama de bloques de una realización adicional de una unidad de reverberación de sub-banda simple con un atenuador dentro de un bucle de realimentación;

la figura 2b muestra una ilustración esquemática de una respuesta de impulso de la realización de la unidad de reverberación de sub-banda simple según la figura 2a;

la figura 3 muestra un diagrama de bloques de una realización adicional de una unidad de reverberación de sub-banda simple con un filtro de ruido en caída de manera exponencial;

la figura 4 muestra una gráfica de una función de respuesta de filtro a modo de ejemplo que representa el ruido en caída de manera exponencial empleado por la realización de la unidad de reverberación de sub-banda simple según la figura 3;

la figura 5 muestra una gráfica de una respuesta de impulso a modo de ejemplo de la realización de la unidad de reverberación de sub-banda simple según la figura 3;

la figura 6 muestra un diagrama de bloques de una realización adicional de una unidad de reverberación de sub-banda simple con salidas de línea de retardo dispersas;

la figura 7 muestra una gráfica de una función de respuesta de filtro a modo de ejemplo que representa impulsos unitarios con una densidad en caída empleados por la realización de la unidad de reverberación de sub-banda simple según la figura 6;

la figura 8 muestra una gráfica de una respuesta de impulso a modo de ejemplo de la realización de la unidad de reverberación de sub-banda simple según la figura 6;

la figura 9 muestra un diagrama de bloques de una realización adicional de una unidad de reverberación de sub-banda simple con salidas de línea de retardo dispersas y operaciones de fase sin multiplicación;

la figura 10 muestra una tabla de operaciones de fase sin multiplicación a modo de ejemplo empleada por la realización de la unidad de reverberación de sub-banda simple según la figura 9;

la figura 11a muestra un diagrama de bloques de una unidad de modificación de fase según una realización de la presente invención;

la figura 11b muestra un diagrama de bloques de una unidad de modificación de fase según una realización adicional de la presente invención;

la figura 11c muestra un diagrama de bloques de una unidad de modificación de fase según una realización adicional de la presente invención;

la figura 11d muestra un diagrama de bloques de una unidad de modificación de fase según una realización adicional de la presente invención;

la figura 12 muestra una diagrama de bloques de una realización adicional de una unidad de reverberación de sub-banda simple con unidades de línea de retardo conectadas en serie, multiplicadores intermedios, entradas de línea de retardo y salidas de línea de retardo;

la figura 13 muestra una estructura conceptual de una realización de un reverberador para reverberar una señal de audio que opera en un dominio de frecuencia;

la figura 14 muestra un diagrama de bloques de una realización de un reverberador para reverberar una señal de audio con un convertidor espectral, diversas unidades de reverberación de sub-banda simple diferentes y un procesador de salida;

la figura 15 muestra un diagrama de bloques de una realización adicional de un reverberador para reverberar una señal de audio con vectores de salida específicos del canal ortogonales; y

la figura 16 muestra una ilustración esquemática de una representación de transformada de tiempo-frecuencia a corto plazo continua según una realización de la presente invención.

La figura 1a muestra un diagrama de bloques de una realización de un reverberador 10 para reverberar una señal de audio. Como se muestra en la figura 1a, el reverberador 10 comprende un procesador 20 de bucle de retardo de realimentación para retardar al menos dos señales 17 de sub-banda de frecuencia diferentes que representan la señal 5 de audio con diferentes retardos 23 de bucle para obtener señales 27 de sub-banda de frecuencia reverberadas. El reverberador 10 también puede comprender un procesador 30 de salida para procesar las señales 27 de sub-banda de frecuencia reverberadas para obtener una señal 41 de audio reverberada.

Con referencia a la figura 1a, el reverberador 10 además puede comprender un banco 12 de filtros tal como un QMF (banco de filtros de espejo en cuadratura) para generar las al menos dos señales 17 de sub-banda de frecuencia diferentes a partir de la señal 5 de audio original. Además, el procesador 20 de bucle de retardo de realimentación puede comprender una primera unidad 22-1 de retardo de bucle para retardar una primera señal 15-1 de sub-banda de frecuencia de las al menos dos señales 17 de sub-banda de frecuencia diferentes con un primer retardo para obtener una primera señal 25-1 de sub-banda de frecuencia reverberada y una segunda unidad 22-2 de retardo de bucle para retardar una segunda señal 15-2 de sub-banda de frecuencia de las al menos dos señales 17 de sub-banda de frecuencia diferentes con un segundo retardo diferente para obtener una segunda señal 25-2 de sub-banda de frecuencia reverberada. Las señales 25-1, 25-2 de sub-banda de frecuencia reverberadas primera y segunda pueden constituir las señales 27 de sub-banda de frecuencia reverberadas. En la realización de la figura 1a, el procesador 30 de salida del reverberador 10 puede configurarse para mezclar las al menos dos señales 17 de sub-banda de frecuencia y las señales 27 de sub-banda de frecuencia reverberadas correspondientes para obtener señales 37 mezcladas y para combinar las señales 37 mezcladas para finalmente obtener la señal 41 de audio reverberada. Como se representa en la figura 1a, el procesador 30 de salida puede comprender dispositivos 32-1, 32-2 primero y segundo para cualquier procesamiento y unidades 34-1, 34-2 de suma correspondientes. El primer dispositivo 32-1 para cualquier procesamiento puede configurarse para realizar cualquier procesamiento en la primera señal 25-1 de sub-banda de frecuencia reverberada para obtener una primera señal 33-1 procesada y el segundo dispositivo 32-2 para cualquier procesamiento puede configurarse para realizar cualquier procesamiento en la segunda señal 25-2 de sub-banda de frecuencia reverberada para obtener una segunda señal 33-2 procesada. En este caso, las operaciones de cualquier procesamiento realizadas por los dispositivos 32-1, 32-2 primero y segundo para cualquier procesamiento pueden ser, por ejemplo, tales que se apliquen factores de multiplicación o ganancia predeterminados a las señales 25-1, 25-2 de sub-banda de frecuencia reverberadas primera y segunda de las señales 27 de sub-banda de frecuencia reverberadas. La primera unidad 34-1 de suma puede configurarse para sumar la primera señal 15-1 de sub-banda de frecuencia de las al menos dos señales 17 de sub-banda de frecuencia diferentes o una versión procesada de la misma y la primera señal 33-1 procesada del dispositivo 32-1 para cualquier procesamiento para obtener una primera señal 35-1 sumada y la segunda unidad 34-2 de suma puede configurarse para sumar la segunda señal 15-2 de sub-banda de frecuencia de las al menos dos señales 17 de sub-banda de frecuencia diferentes o una versión procesada de la misma y la segunda señal 33-2 procesada del dispositivo 32-2 para cualquier procesamiento para obtener una segunda señal 35-2 sumada. En este caso, las señales 35-1, 35-2 sumadas primera y segunda pueden constituir las al menos dos señales 37 mezcladas.

Como se representa en la figura 1a, el procesador 30 de salida además puede comprender al menos dos dispositivos 44-1, 44-2 para cualquier procesamiento opcionales para procesar las señales 15-1, 15-2 de sub-banda de frecuencia primera y segunda de las al menos dos señales 17 de sub-banda de frecuencia diferentes. El primer dispositivo 44-1 para cualquier procesamiento opcional puede configurarse para realizar cualquier procesamiento opcional en la primera señal 15-1 de sub-banda de frecuencia para obtener una primera señal 45-1 opcionalmente procesada y suministrar la primera señal 45-1 opcionalmente procesada a la unidad 34-1 de suma correspondiente, mientras que el segundo dispositivo 44-2 para cualquier procesamiento opcional puede configurarse para realizar cualquier procesamiento opcional en la segunda señal 15-2 de sub-banda de frecuencia para obtener una segunda señal 45-2 opcionalmente procesada y suministrar la segunda señal 45-2 opcionalmente procesada a la unidad 34-2 de suma correspondiente.

Por lo tanto, los dispositivos 44-1, 44-2 para cualquier procesamiento opcionales primero y segundo pueden insertarse esencialmente en las trayectorias paralelas (sonido directo) entre el banco 12 de filtros y las unidades 34-1, 34-2 de suma, respectivamente, para las señales 15-1, 15-2 de sub-banda de frecuencia primera y segunda de las al menos dos señales 17 de sub-banda de frecuencia diferentes. Por ejemplo, en el proceso binaural, los dispositivos 44-1, 44-2 para cualquier procesamiento opcionales primero y segundo pueden configurarse para aplicar HRTF (funciones de transferencia relacionadas con la cabeza) para las señales 15-1, 15-2 de sub-banda de frecuencia primera y segunda de las al menos dos señales 17 de sub-banda de frecuencia diferentes para obtener las señales 45-1, 45-2 opcionalmente procesadas primera y segunda.

En este caso, la primera unidad 34-1 de suma puede configurarse para sumar la primera señal 33-1 procesada del dispositivo 32-1 para cualquier procesamiento y la primera señal 45-1 opcionalmente procesada del dispositivo 44-1 para cualquier procesamiento opcional para obtener la primera señal 35-1 sumada, mientras que la segunda unidad 34-2 de suma puede configurarse para sumar la segunda señal 33-2 procesada del dispositivo 32-2 para cualquier procesamiento y la segunda señal 45-2 opcionalmente procesada del dispositivo 44-2 para cualquier procesamiento opcional para obtener la segunda señal 35-2 sumada. En este caso, las señales 35-1, 35-2 sumadas primera y segunda pueden constituir las al menos dos señales 37 mezcladas.

Además se muestra en la figura 1a que el procesador 30 de salida también puede comprender un combinador 38 para combinar las señales 37 mezcladas para obtener la señal 41 de audio reverberada. El combinador 38 del procesador 30 de salida puede comprender al menos dos dispositivos 36-1, 36-2 para cualquier procesamiento adicionales y una unidad 39 de integración. El primer dispositivo 36-1 para cualquier procesamiento adicional puede configurarse para procesar adicionalmente la primera señal 35-1 mezclada de las al menos dos señales 37 mezcladas para obtener una primera señal 37-1 adicionalmente procesada y el segundo dispositivo 36-2 para cualquier procesamiento adicional puede configurarse para procesar adicionalmente la segunda señal 35-2 mezclada de las al menos dos señales 37 mezcladas para obtener una segunda señal 37-2 adicionalmente procesada. De manera similar a los dispositivos 32-1, 32-2 para cualquier procesamiento primero y segundo, los dispositivos 36-1, 36-2 para cualquier procesamiento adicionales primero y segundo pueden realizar las operaciones de cualquier procesamiento adicionales aplicando factores de multiplicación o ganancia predeterminados a las señales 37 mezcladas. La unidad 39 de integración del combinador 38 dentro del procesador 30 de salida puede configurarse para integrar o combinar de manera subsiguiente las señales 37-1, 37-2 adicionalmente procesadas primera y segunda para obtener una señal 41 de audio reverberada a la salida del reverberador 10. Mediante un procesamiento tal como el realizado con el reverberador 10, se obtendrá una señal de audio reverberada que representa las señales de sub-banda de frecuencia reverberadas combinadas con un ancho de banda mayor o combinado. De manera esencial, la realización de la figura 1a representa un reverberador para reverberar la señal de audio dentro de un dominio de sub-banda tal como dentro de un dominio de QMF.

La figura 1b muestra un diseño 50 a modo de ejemplo de diferentes retardos de bucle para las al menos dos señales de sub-banda de frecuencia diferentes según una realización de la presente invención. Con referencia a las figuras 1a; 1b, el reverberador 10 puede comprender un procesador 54 de bucle de retardo de realimentación que puede configurarse de modo que el retardo 56-2 de bucle para una segunda señal 51-2 de sub-banda de frecuencia de las al menos dos señales 53 de sub-banda de frecuencia que representa una banda de frecuencia inferior será mayor que el retardo 56-1 de bucle para una primera señal 51-1 de sub-banda de frecuencia de las al menos dos señales 53 de sub-banda de frecuencia que representa una banda de frecuencia mayor. En particular, el procesador 54 de bucle de retardo de realimentación puede comprender al menos dos unidades 57 de retardo de bucle, en el que una primera unidad de retardo de bucle puede configurarse para retardar la primera señal 51-1 de sub-banda de frecuencia que representa la banda de frecuencia mayor con el primer retardo 56-1 de bucle para obtener una primera señal 55-1 de sub-banda de frecuencia reverberada y una segunda unidad de retardo de bucle puede configurarse para retardar la segunda señal 51-2 de sub-banda de frecuencia que representa la banda de frecuencia inferior con el segundo retardo 56-2 de bucle mayor para obtener una segunda señal 55-2 de sub-banda de frecuencia reverberada. Las señales 55-1, 55-2 de sub-banda de frecuencia reverberadas primera y segunda pueden constituir las señales 57 de sub-banda de frecuencia reverberadas. En este caso, el procesador 54 de bucle de retardo de realimentación, las señales 53 de sub-banda de frecuencia y las señales 57 de sub-banda de frecuencia reverberadas de la figura 1b pueden corresponder al procesador 20 de bucle de retardo de realimentación, las al menos dos señales 17 de sub-banda de frecuencia diferentes y las señales 27 de sub-banda de frecuencia reverberadas de la figura 1a, respectivamente. En el diseño de la figura 1b, el reverberador 10 puede comprender un procesador 60 de salida, que puede configurarse para procesar las señales 57 de sub-banda de frecuencia reverberadas para obtener una señal 61 de audio reverberada. En este caso, el procesador 60 de salida mostrado en la figura 1b puede corresponder al procesador 30 de salida mostrado en la figura 1a, mientras que la señal 61 de audio reverberada emitida por el procesador 60 de salida puede corresponder a la señal 41 de audio reverberada emitida por el procesador 30 de salida de la figura 1a. Por lo tanto, mediante el diseño de los diferentes retardos de bucle según la figura 1b, puede hacerse que los retardos de bucle para señales de sub-banda de frecuencia sucesivas de las al menos dos señales de sub-banda de frecuencia que representan bandas de frecuencia creciente disminuyan en promedio de modo que se obtendrá una calidad de percepción mejorada de una reverberación.

En realizaciones, los retardos de bucle para las señales de sub-banda de frecuencia sucesivas, por ejemplo, pueden disminuir de manera lineal o establecerse aleatoriamente. Al establecer diferentes retardos de bucle para las al menos dos señales de sub-banda de frecuencia diferentes, los efectos de repetición de la reverberación pueden evitarse de manera eficaz o al menos reducirse.

La figura 1c muestra un diagrama de bloques de una realización de una unidad 100 de reverberación de sub-banda simple para procesar una señal de sub-banda de frecuencia individual. La unidad 100 de reverberación de sub-banda simple comprende una línea 110 de retardo, un bucle 120 de realimentación y un combinador 130. Como se muestra en la figura 1c, la línea 110 de retardo tiene una pluralidad 115 de salidas de línea de retardo o derivaciones de línea de retardo que representan diferentes retardos. La línea 110 de retardo está configurada para proporcionar una cantidad (N) de retardo. En este caso, la línea 110 de retardo, que se indica por z^{-N} tiene una entrada 105 de línea de retardo para la señal 101 de sub-banda de frecuencia individual. El bucle 120 de realimentación está conectado a la línea 110 de retardo y está configurado para procesar la señal 101 de sub-banda de frecuencia individual o una versión retardada y para alimentar la señal procesada o la señal 101 de sub-banda de frecuencia individual o una versión retardada de la señal de sub-banda de frecuencia individual en la entrada 105 de línea de retardo. El bucle 120 de realimentación junto con la línea 110 de retardo representa de manera esencial un bucle de retardo de realimentación que introduce una cantidad N de retardo respectiva a una señal para cada viaje de ida y vuelta de la señal que circula dentro del bucle 120 de realimentación. El combinador 130 está configurado para combinar señales emitidas por la pluralidad 115 de las salidas de línea de retardo o derivaciones de línea de retardo para obtener una señal 135 de sub-banda de frecuencia reverberada. En particular, el combinador 130 puede utilizarse para sumar las señales emitidas por la pluralidad 115 de salidas de línea de retardo entre sí o para primero multiplicar las señales por factores de ganancia y/o atenuación y después sumarlas entre sí o para combinar de manera lineal señales seleccionadas emitidas por la pluralidad 115 de salidas de línea de retardo. La unidad 100 de reverberación de sub-banda simple de la realización de la figura 1c permite generar una señal 135 de sub-banda de frecuencia reverberada que tiene una reverberación que corresponde a un tiempo de reverberación mayor que la cantidad N de retardo.

La figura 1d muestra una ilustración esquemática de una respuesta 150 de impulso de la realización de la unidad 100 de reverberación de sub-banda simple según la figura 1c. Como se muestra en la figura 1d, la respuesta 150 de impulso comprende una secuencia ($P_0, P_1, P_2, P_3, \dots$) de impulsos uniformemente espaciados, separados la cantidad N de retardo. Los impulsos uniformemente espaciados ($P_0, P_1, P_2, P_3, \dots$) definen un intervalo 160 de repetición que corresponde a la cantidad N de retardo. Además, impulsos 155 retardados emitidos por la pluralidad 115 de salidas de línea de retardo se distribuyen dentro del intervalo 160 de repetición de los impulsos uniformemente espaciados ($P_0, P_1, P_2, P_3, \dots$). Se puede observar en la figura 1d que los impulsos uniformemente espaciados ($P_0, P_1, P_2, P_3, \dots$) de la respuesta 150 de impulso de la unidad 100 de reverberación de sub-banda simple tienen una misma amplitud, respectivamente. Con referencia a las figura 1c; 1d, la reverberación de la señal 135 de sub-banda de frecuencia reverberada puede corresponder a un período 165 de tiempo que es mayor que la cantidad N de retardo.

La figura 2a muestra un diagrama de bloques de una realización adicional de una unidad 200 de reverberación de sub-banda simple con un atenuador 210 dentro de un bucle de realimentación. El dispositivo 200 de la figura 2a comprende de manera esencial los mismos bloques como el aparato 100 de la figura 1c. Por lo tanto, bloques idénticos que tienen implementaciones y/o funciones similares se indican por los mismos números. Sin embargo, el bucle 220 de realimentación de la unidad 200 de reverberación de sub-banda simple en la realización de la figura 2a comprende un atenuador 210 para atenuar una señal 205 retardada. En este caso, la señal 205 retardada se recibe de la línea 110 de retardo que proporciona una cantidad N de retardo para cada alimentación de una señal 215 atenuada o la señal 101 de sub-banda de frecuencia a la entrada 105 de línea de retardo. Como se muestra en la figura 2a, el atenuador 210 está configurado para aplicar un factor b de atenuación a la señal 205 retardada, dependiendo el factor b de atenuación de la cantidad N de retardo proporcionada y el tiempo T_{60} de reverberación. Como un resultado de la atenuación mediante el atenuador 210 dentro del bucle 220 de realimentación, una respuesta de impulso del bucle 220 de realimentación se caracteriza por una secuencia de impulsos en caída uniformemente espaciados ($P_0, P_1, P_2, P_3, \dots$), donde el intervalo 160 de repetición de los impulsos en caída uniformemente espaciados ($P_0, P_1, P_2, P_3, \dots$) se define nuevamente por la cantidad N de retardo.

La figura 2b muestra una ilustración esquemática de una respuesta 250 de impulso de la realización de la unidad 200 de reverberación de sub-banda simple según la figura 2a. En referencia a la realización de la figura 2a, una reverberación de la señal 135 de sub-banda de frecuencia reverberada puede corresponder a una respuesta 250 de impulso que comprende la secuencia de impulsos en caída uniformemente espaciados ($P_0, P_1, P_2, P_3, \dots$), donde los impulsos 255 retardados emitidos por la pluralidad 115 de salidas de línea de retardo se distribuyen dentro del intervalo 160 de repetición de los impulsos en caída uniformemente espaciados ($P_0, P_1, P_2, P_3, \dots$).

La figura 3 muestra un diagrama de bloques de una realización adicional de una unidad 300 de reverberación de sub-banda simple con un filtro de ruido en caída de manera exponencial. La unidad 300 de reverberación de sub-banda simple de la realización de la figura 3 esencialmente corresponde a la unidad 200 de reverberación de sub-banda simple de la realización de la figura 2a. Como se representa en la figura 3, la línea 310 de retardo, que puede corresponder a la línea 110 de retardo de las figuras 1c, 2a, comprende una pluralidad de unidades de línea de retardo conectadas en serie ($z^{-D1}, z^{-D2}, \dots, z^{-DN}$) para retardar sucesivamente la señal 215 atenuada o la señal 101 de sub-banda de frecuencia alimentada a la entrada 105 de línea de retardo, respectivamente. En este caso, cada unidad 312 de línea de retardo de la línea 310 de retardo tiene una salida 314 de línea de retardo respectiva para una señal sucesivamente retardada. El combinador 330 de la unidad 300 de reverberación de sub-banda simple, que puede corresponder al combinador 130 de la unidad 100; 200 de reverberación de sub-banda simple comprende una pluralidad 350 de multiplicadores cada uno conectado a una salida de línea de retardo correspondientes. En particular, la pluralidad 350 de multiplicadores está configurada para multiplicar cada señal sucesivamente retardada emitida por la pluralidad 115 de salidas de línea de

retardo con un coeficiente de filtro correspondiente de una función de respuesta de filtro $h(n)$, $n=1, 2, \dots, N$, respectivamente, para obtener señales 355 de salida de multiplicador.

En realizaciones, una unidad de línea de retardo individual (ranura de retardo elemental individual) puede indicarse por z^{-D_i} , donde $D_i (i=2, \dots, N)$ es una cantidad de retardo parcial, que se introduce mediante la unidad de línea de retardo individual. En particular, $D_1, D_2, \dots, D_N$ pueden ser iguales (z^{-D}) tal como 1 (z^{-1}) o pueden tener valores diferentes. Esta generalización también se refiere a las otras figuras aunque no se señale explícitamente. En este caso, la cantidad D_i de retardo parcial puede corresponder a un retardo de una muestra (ranura de tiempo) de modo que los impulsos retardados emitidos por la pluralidad de salidas de línea de retardo se espaciarán de manera estrecha adyacentes entre sí. Específicamente, la línea de retardo puede comprender un número de unidades de línea de retardo individuales que corresponde a la cantidad N de retardo proporcionada por la línea de retardo que consiste en la pluralidad de unidades (z^{-D_i}) de línea de retardo conectadas en serie. Según realizaciones adicionales, la cantidad N de retardo proporcionada mediante la línea de retardo también puede obtenerse cuando la cantidad D_i de retardo parcial se incrementa correspondiendo a un retardo de más de una muestra, mientras que al mismo tiempo, el número de unidades de línea de retardo individuales se reduce. En este caso, los impulsos retardados emitidos por la pluralidad de salidas de línea de retardo se espaciarán más alejados entre sí correspondiendo a una resolución más basta. Como se muestra en la figura 3, el combinador 330 puede comprender un sumador 360 para sumar entre sí las señales 355 de salida de multiplicador para obtener la señal 135 de sub-banda de frecuencia reverberada. Según la realización mostrada en la figura 3, el combinador 330 puede establecerse de modo que la función de respuesta de filtro $h(n)$ tenga características de amplitud en caída, siendo una longitud N de la función de respuesta de filtro $h(n)$ igual a la cantidad N de retardo. Además, en la realización de la figura 3, el bucle 120 de realimentación de la unidad 300 de reverberación de sub-banda simple está configurado para recibir una señal retardada, que puede corresponder a la señal 205 retardada de la figura 2a, desde una última salida 315 de unidad de línea de retardo, en la dirección de procesamiento, de la línea 310 de retardo. En este caso, la dirección de procesamiento se indica mediante la dirección de señalización de las flechas dentro del bucle 120 de realimentación y la línea 310 de retardo.

La figura 4 muestra una gráfica de una función 400 de respuesta de filtro a modo de ejemplo que representa un ruido en caída de manera exponencial empleado por la realización de la unidad 300 de reverberación de sub-banda simple según la figura 3. En particular, el combinador 330 de la unidad 300 de reverberación de sub-banda simple puede configurarse para proporcionar una función 400 de respuesta de filtro basada en $h_{DNF}(n) = \text{ruido}(n) \cdot a^n$, $n=1, 2, \dots, N$, donde $\text{ruido}(n)$ es una función de ruido, y donde las características de amplitud en caída de la función de respuesta de filtro $h_{DNF}(n)$ se basan en una envolvente a^n en caída de manera exponencial. La función de ruido $\text{ruido}(n)$ y la envolvente a^n de la función de respuesta de filtro a modo de ejemplo $h_{DNF}(n)$ 400 son visibles claramente en la figura 4. Además, la función 400 de respuesta de filtro $h_{DNF}(n)$ se muestra a modo de ejemplo en un intervalo entre 0 y N , correspondiendo este intervalo a una longitud 405 de la primera función de respuesta de filtro $h_{DNF}(n)$, que puede ser aproximadamente igual a la cantidad N de retardo proporcionada por la línea 310 de retardo tal como se muestra en la figura 3. Específicamente, el combinador 330 de la unidad 300 de reverberación de sub-banda simple puede establecerse de modo que la envolvente a^n depende de una atenuación a por ranura de tiempo, donde la atenuación a por ranura de tiempo se basa en un parámetro predefinido T_{60} que corresponde al tiempo de reverberación. Mediante tal medida, la función de respuesta de filtro $h_{DNF}(n)$ puede ajustarse para que represente una curva de energía en caída de manera exponencial correspondiente.

La unidad 300 de reverberación de sub-banda simple mostrada en la figura 3 también puede comprender un atenuador 340, que puede corresponder al atenuador 210 mostrado en la figura 2a, colocado dentro del bucle 120 de realimentación. El atenuador 340 de la unidad 300 de reverberación de sub-banda simple puede utilizarse para atenuar la señal retardada recibida de la última salida 315 de unidad de línea de retardo aplicando un factor de atenuación a a la señal retardada para cada viaje de ida y vuelta de la señal dentro del bucle 120 de realimentación. En particular, el atenuador 340 de la unidad 300 de reverberación de sub-banda simple está configurado para aplicar un factor de atenuación que es igual a $b=a^N$ a la señal retardada, donde a es una atenuación por ranura de tiempo y N la cantidad de retardo. En este caso, la atenuación para cada viaje de ida y vuelta del bucle 120 de realimentación se realiza multiplicando la señal retardada de la última salida 315 de unidad de línea de retardo por el factor de atenuación $b=a^N$.

La figura 5 muestra una gráfica de una respuesta 500 de impulso a modo de ejemplo de la realización de la unidad 300 de reverberación de sub-banda simple según la figura 3. Como se muestra en la figura 5, la respuesta 500 de impulso de la unidad 300 de reverberación de sub-banda simple se caracteriza por el ruido 510 en caída de manera exponencial con una función envolvente a^n , donde la atenuación por ranura de tiempo puede establecerse según el parámetro predefinido T_{60} .

Específicamente, el factor de atenuación en el bucle de realimentación (es decir, el factor b de atenuación que va a aplicarse por el atenuador dentro del bucle de realimentación) puede calcularse a partir de un tiempo de reverberación deseado en una banda de frecuencia particular con la fórmula

$$b = a^N,$$

donde b es el factor de atenuación resultante en el bucle de realimentación y

$$a = 10^{\frac{-3 \cdot P}{T_{60} f_s}},$$

donde a es la atenuación por ranura de tiempo, N es la longitud de línea de retardo (es decir, la cantidad de retardo proporcionada por la línea de retardo) en una banda de frecuencia particular, P es un factor de muestreo descendente de una transformada de frecuencia, T_{60} es el tiempo de reverberación y f_s es la tasa de muestreo. Esta fórmula proporciona esencialmente un factor de atenuación que corresponde al tiempo de reverberación predeterminado T_{60} .

El ruido gaussiano en caída de manera exponencial por cada banda generalmente se considera que es una buena aproximación de la reverberación difusa real. Esto es lo que se crea realmente como un filtro de reverberación al modular el ruido gaussiano mediante una envolvente que se atenúa en un factor a por ranura de tiempo. Por lo tanto, un filtro de FIR (respuesta de impulso infinita) de reverberación puede designarse por una función

$$h[n] = \text{blanco}[n] \cdot a^n,$$

o en un dominio complejo, por ejemplo, por una función

$$h[n] = \text{blanco}[n] \cdot a^n \cdot e^{j2\pi \cdot \text{rand}[n]},$$

respectivamente, donde $\text{blanco}(n)$ es un proceso de generación de ruido blanco, n es el índice de ranura de tiempo y $\text{rand}(n)$ es un proceso que genera variables aleatorias a partir de una distribución uniforme desde 0 hasta 1. En particular, la función de respuesta de filtro $h_{\text{DNF}}(n)$ mostrada en la figura 4, que se emplea en la realización de la figura 3, puede generarse con este proceso. La figura 4 muestra a modo de ejemplo la parte real de tal filtro de reverberación junto con su envolvente de modulación.

La figura 6 muestra un diagrama de bloques de una realización adicional de una unidad 600 de reverberación de sub-banda simple con salidas de línea de retardo dispersas. La unidad 600 de reverberación de sub-banda simple de la figura 6 comprende esencialmente los mismos bloques que la unidad 200 de reverberación de sub-banda simple de la figura 2a. Por lo tanto, bloques idénticos que tienen implementaciones y/o funciones similares se indican por los mismos números. Sin embargo, la línea 610 de retardo de la unidad 600 de reverberación de sub-banda simple, que puede corresponder a la línea 110 de retardo de la unidad 200 de reverberación de sub-banda simple, comprende una pluralidad de unidades de línea de retardo conectadas en serie (z^{-D}) para retardar sucesivamente una señal 215 atenuada o la señal 101 de sub-banda de frecuencia alimentada a la entrada 105 de línea de retardo. En la realización de la figura 6, la línea 610 de retardo comprende al menos tres salidas 615 de línea de retardo, que pueden corresponder a la pluralidad de salidas 115 de línea de retardo de la figura 2a, estando las salidas 615 de línea de retardo configuradas de modo que un retardo entre una primera salida 617-1 de línea de retardo y una segunda salida 617-2 de línea de retardo serán diferente de un retardo entre la segunda salida 617-2 de línea de retardo y una tercera salida 617-3 de línea de retardo. El bucle 120 de realimentación de la unidad 600 de reverberación de sub-banda simple está configurado para recibir una señal retardada de una última salida 613 de unidad de línea de retardo, en la dirección del procesamiento, de la línea 610 de retardo.

Además, el bucle 120 de realimentación de la unidad 600 de reverberación de sub-banda simple comprende un atenuador 640 para atenuar una señal retardada, recibiendo la señal retardada de la última salida 613 de línea de retardo de la línea 610 de retardo que proporciona una cantidad N de retardo para cada alimentación de una señal 215 atenuada o la señal 101 de audio a la entrada 105 de línea de retardo. En particular, el atenuador 640 puede configurarse para aplicar un factor de atenuación que es igual a $b=a^N$ a la señal retardada, donde a es una atenuación por ranura de tiempo y N la cantidad retardada. Además, la pluralidad 615 de salidas de línea retardada puede configurarse especialmente de modo que una diferencia entre pares de retardo sucesivos en promedio se incrementará. En este caso, el combinador 630, que puede corresponder al combinador 130 de la figura 1c, está configurado para combinar las al menos tres salidas 615 de línea de retardo para obtener una señal 135 de sub-banda de frecuencia reverberada.

En la realización de la figura 6, cada unidad 612 de línea de retardo individual puede configurarse para introducir una cantidad D de retardo parcial a una señal sucesivamente retardada. En este caso, el número de unidades de línea de retardo individual y la cantidad D de retardo parcial, que se introduce a una señal sucesivamente retardada, pueden establecerse como se ha descrito correspondientemente en lo anterior.

Según la realización de la figura 6, los impulsos retardados emitidos por las al menos tres salidas 615 de línea de retardo se distribuirán de manera no uniforme teniendo características de densidad en caída dentro de un intervalo de repetición definido por la respuesta del bucle 120 de realimentación. La respuesta de impulso de la unidad 600 de reverberación de sub-banda simple con salidas de línea de retardo dispersas esencialmente corresponde a una función de respuesta de filtro dispersa.

La figura 7 muestra una gráfica de una función 700 de respuesta de filtro a modo de ejemplo que representa impulsos 705 unitarios con una densidad en caída empleados por la realización de la unidad 600 de reverberación de sub-banda simple según la figura 6. Se puede observar en la figura 7 que impulsos 705 unitarios a modo de ejemplo se distribuyen de una manera más densa en una región 710 cerca de un origen 702 de un eje 701 de tiempo/muestra, mientras que los impulsos 705 unitarios a modo de ejemplo se distribuyen de manera cada vez más dispersa para tiempos/muestras 720 mayores hasta un límite 703 del cuadro, estando el cuadro definido por tiempos/muestras entre 0 y N, donde tiempo/muestra N corresponde a la cantidad N de retardo proporcionada por la línea 610 de retardo.

Por ejemplo, la función 700 de respuesta de filtro $h_{SF}(n)$ puede basarse en $h_{SF}(n)=dispersa(n)$, $n=1,2,\dots,N$, donde la pluralidad 615 de salidas de línea de retardo como se muestra en la figura 6 pueden configurarse basándose en una función dispersa "dispersa(n)", que distribuye de manera dispersa los impulsos 705 unitarios con una densidad en decrecimiento para ranuras de tiempo consecutivas. La función 700 de respuesta de filtro $h_{SF}(n)$ puede establecerse de manera especial para que represente una curva 715 de energía en caída de manera exponencial. De manera esencial, la figura 7 muestra ubicaciones de derivación dispersa de un filtro de FIR. La curva 715 representa una caída de energía promedio modelada (E_{SF}). En este caso, la figura no incluye modificaciones de fase.

La figura 8 muestra una gráfica de una respuesta 800 de impulso a modo de ejemplo de la realización de la unidad 600 de reverberación de sub-banda simple según la figura 6. En la figura 8, las señales (es decir impulsos retardados) emitidos por la pluralidad 615 de las salidas de línea de retardo de la unidad 600 de reverberación de sub-banda simple son claramente visibles. Para la alimentación consecutiva de la entrada 105 de línea de retardo, los impulsos retardados se distribuyen de manera dispersa o de manera no uniforme dentro del primer intervalo 810 de repetición entre el tiempo/muestra 0 y N, un segundo intervalo 820 de repetición entre el tiempo/muestra N y 2N y un tercer intervalo 830 de repetición entre el tiempo/muestra 2N y 3N. En este caso, los intervalos 810, 820, 830 de repetición pueden corresponder al intervalo 160 de repetición mostrado en las figuras 1d; 2b. Un intervalo 865 global de la respuesta 800 de impulso mostrada en la figura 8, que puede corresponder al período 165 de tiempo mostrado en las figuras 1d; 2b, corresponde a aproximadamente tres veces la cantidad N de retardo. En particular, la respuesta 800 de impulso de la unidad 600 de reverberación de sub-banda simple comprende impulsos dispersos sucesivamente retardados que tienen una densidad en caída durante ranuras de tiempo sucesivas dentro de los intervalos 810, 820, 830 de repetición, respectivamente, correspondiendo la densidad en caída a una distribución característica de los impulsos unitarios, tal como se muestran en la figura 7.

También se puede observar en la figura 8 que las amplitudes/niveles de los impulsos 815, 825, 835 dispersos sucesivamente retardados dentro de los intervalos 810, 820, 830 de repetición primero, segundo y tercero, respectivamente, son diferentes entre sí y, en particular, se atenúan unos con respecto a otros. En este caso, la atenuación puede controlarse por un factor de atenuación respectivo $b=a^N$ que puede aplicarse mediante el atenuador 640 de la unidad 600 de reverberación de sub-banda simple. En la realización de la figura 6, el factor de atenuación $b=a^N$ puede controlarse, por ejemplo, de modo que las amplitudes/niveles de los impulsos 815, 825, 835 dispersos sucesivamente retardados caen significativamente del primer, al segundo y al tercer intervalo 810, 820, 830 de repetición respectivamente.

Con referencia a las figuras 6; 8, las densidades en caída y la atenuación para las amplitudes/niveles de los impulsos 815, 825, 835 dispersos sucesivamente retardados pueden controlarse de manera especial con la línea 610 de retardo y el atenuador 640, de modo que la respuesta 800 de impulso de la unidad 600 de reverberación de sub-banda simple (figura 8) y la respuesta 500 de impulso de la unidad 300 de reverberación de sub-banda simple (figura 5) esencialmente tienen la misma tasa de caída de energía. En particular, la unidad 600 de reverberación de sub-banda simple puede realizarse con mucho menos esfuerzo computacional en comparación con la unidad 300 de reverberación de sub-banda simple.

Esto se debe a que aunque el algoritmo de reverberación proporcionado por la unidad 300 de reverberación de sub-banda simple es relativamente sencillo desde el punto de vista conceptual, tiene sobrecarga en cuanto a costes computacionales. Por lo tanto, una estructura de FIR eficaz desde el punto de vista computacional tal como la proporcionada en de la unidad 600 de reverberación de sub-banda simple es ventajosa. La realización de la figura 6 se basa particularmente en el argumento que el oído humano es insensible a la estructura fina de una reverberación difusa en caída, pero sensible a la tasa de caída de energía. Por esta razón, puede reemplazarse la amplitud en caída a^n de la respuesta 400 de impulso en la figura 4 por impulsos unitarios con densidad en caída tal como las respuestas 700 de impulso de la figura 7 para producir la misma caída de energía global promedio.

La diferencia visual de las respuestas 500; 800 globales de una banda de frecuencia simple obtenida con la unidad 300 de reverberación de sub-banda simple y la unidad 600 de reverberación de sub-banda simple, respectivamente, puede observarse claramente en las figuras 5 y 8. En particular, en las figuras 5 y 8 se muestran los valores absolutos de la respuesta de un algoritmo de reverberación en una banda de frecuencia realizada con las unidades 300; 600 de

reverberación de sub-banda simple, donde la caída de energía promedio a corto y largo plazo es la misma en ambas respuestas. En este caso, las modificaciones de fase no se incluyen en las figuras. Ambas respuestas 500; 800 se repiten en intervalos de N muestras, aunque el efecto es más visible en la figura 8.

La figura 9 muestra un diagrama de bloques de una realización adicional de una unidad 900 de reverberación de sub-banda simple con salidas de línea de retardo dispersas y operaciones de fase sin multiplicación. La unidad 900 de reverberación de sub-banda simple de la figura 9 comprende esencialmente los mismos bloques que la unidad 600 de reverberación de sub-banda simple de la figura 6. Por lo tanto, los bloques idénticos que tienen implementaciones y/o funciones similares se indican por los mismos números. Sin embargo, el combinador 930 de la unidad 900 de reverberación de sub-banda simple, que puede corresponder al combinador 630 de la unidad 600 de reverberación de sub-banda simple, comprende una pluralidad 950 de unidades de modificación de fase indicadas por bloques- θ . En este caso, cada unidad de modificación de fase (bloque- θ) está conectada a una salida de línea de retardo individual (derivación) de la pluralidad 915 de las salidas 615 de línea de retardo (derivaciones), que pueden corresponder a las al menos tres salidas 615 de la línea de retardo de la unidad 600 de reverberación de sub-banda simple tal como se muestra en la figura 6. En la realización de la figura 9, la pluralidad 950 de unidades de modificación de fase está configuradas especialmente para modificar las fases de las señales de salida de derivación de línea de retardo, pudiendo ser la modificación de fase para una primera salida 917-1 de derivación de línea de retardo diferente de una modificación de fase para una segunda salida 917-2 de derivación de línea de retardo. Al aplicar diferentes modificaciones de fase para la pluralidad 915 de salidas de derivación de línea de retardo, se introducirá una variación de fase global en la señal 135 de sub-banda de frecuencia reverberada en la salida del combinador 930.

Por lo tanto, aunque tener únicamente salidas de línea de retardo dispersas sin multiplicadores para generar impulsos unitarios con densidad en caída ya produce un resultado razonable, la calidad del algoritmo de reverberación puede incrementarse en gran medida añadiendo variación de fase a la respuesta. En particular, la respuesta de impulso obtenida con la unidad 900 de reverberación de sub-banda simple como resultado de la variación de fase añadida esencialmente se caracterizará por una calidad mayor en comparación con la respuesta de impulso obtenida con la unidad 600 de reverberación de sub-banda simple. Sin embargo, aplicar modificaciones de fase arbitrarias eliminará o al menos disminuirá el beneficio computacional previamente logrado obtenido con el algoritmo de reverberación proporcionado por la unidad 600 de reverberación de sub-banda simple en comparación con el de la unidad 300 de reverberación de sub-banda simple. Esto, sin embargo, puede evitarse de manera eficaz restringiendo las modificaciones de fase a $k \cdot \pi/2$, donde k es un número entero ($k=0, 1, 2, 3, \dots$), de modo que una operación de fase realizada por un bloque- θ se reduce a alimentar simplemente las partes reales e imaginarias de una señal de entrada a las partes reales e imaginarias de la salida tal como se muestra en la tabla de la figura 10.

La figura 10 muestra una tabla 1000 de operaciones de fase sin multiplicación a modo de ejemplo empleadas por la realización de la unidad 900 de reverberación de sub-banda simple según la figura 9. En particular, la primera columna 1010 de la tabla 1000 representa operaciones de fase sin multiplicación $k \cdot \pi/2$ para $k = 0$ (1012), $k = 1$ (1014), $k = 2$ (1016) y $k = 3$ (1018), respectivamente, teniendo cada una, una periodicidad de $k \cdot \pi$. Además, la segunda y tercera columna 1020, 1030 de la tabla 1000 representan la parte real "parte real de salida" y la parte imaginaria "parte imaginaria de salida" de la salida, que están directamente relacionadas con la parte real ("entrada real") y la parte imaginaria ("entrada imaginaria") de la señal de entrada, para las operaciones de fase sin multiplicación correspondientes (líneas 1012, 1014, 1016, 1018).

Las figuras 11a; 11b; 11c; 11d muestran diagramas de bloque de diferentes realizaciones de una unidad 1110; 1120; 1130; 1140 de modificación de fase, que puede corresponder a una unidad de modificación de fase de la pluralidad 950 de unidades de modificación de fase empleadas por la unidad 900 de reverberación de sub-banda simple mostradas en la figura 9. En particular, la pluralidad 950 de unidades de modificación de fase pueden configurarse para operar sobre las señales de salida de derivación de línea de retardo, pudiendo comprender cada unidad 1110; 1120; 1130; 1140 de modificación de fase de la pluralidad 950 de unidades de modificación de fase una primera entrada 1112-1; 1122-1; 1132-1; 1142-1 de unidad de modificación de fase para una parte real de una señal de salida de derivación de línea de retardo respectiva o una segunda entrada 1112-2; 1122-2; 1132-2; 1142-2 de unidad de modificación de fase para una parte imaginaria de la señal de salida de derivación de línea de retardo respectiva y una primera salida 1114-1; 1124-1; 1134-1; 1144-1 de unidad de modificación de fase para la parte real de una señal de salida modificada en fase o una segunda salida 1114-2; 1124-2; 1134-2; 1144-2 de unidad de modificación de fase para la parte imaginaria de la señal de salida modificada en fase.

En la figura 11a, la primera entrada 1112-1 de unidad de modificación de fase está directamente conectada a la primera salida 1114-1 de unidad de modificación de fase y la segunda entrada 1112-2 de unidad de modificación de fase está directamente conectada a la segunda salida 1114-2 de unidad de modificación de fase.

En la figura 11b, la segunda entrada 1122-2 de unidad de modificación de fase está directamente conectada a la primera salida 1124-1 de unidad de modificación de fase y la primera entrada 1122-1 de modificación de fase está conectada a un inversor 1125 de signo interconectado, que está conectado a la segunda salida 1124-2 de unidad de modificación de fase. Por lo tanto, según la realización de la figura 11b, la parte real de la señal de salida modificada en fase se basará en la parte imaginaria de la señal de salida de derivación de línea de retardo respectiva y la parte imaginaria de la señal de salida modificada en fase se basará en una parte real de signo invertido de la señal de salida de derivación de la línea de retardo respectiva.

En la figura 11c, la primera entrada 1132-1 de unidad de modificación de fase está conectada a un inversor 1135-1 de signo interconectado, que está conectado a la primera salida 1134-1 de unidad de modificación de fase y la segunda entrada 1132-2 de unidad de modificación de fase está conectada a un inversor 1135-2 de signo interconectado, que está conectado a la segunda salida 1134-2 de unidad de modificación de fase. Por lo tanto, según la realización de la figura 11c, la parte real de la señal de salida modificada en fase se basará en una parte real de signo invertido de la señal de salida de derivación de línea de retardo respectiva y la parte imaginaria de la señal de salida modificada en fase se basará en una parte imaginaria de signo invertido de la señal de salida de derivación de línea de retardo respectiva.

En la figura 11d, la primera entrada 1142-1 de unidad de modificación de fase está directamente conectada a la segunda salida 1144-2 de unidad de modificación de fase y la segunda entrada 1142-2 de unidad de modificación de fase está conectada a un inversor 1145 de signo interconectado, que está conectado a la primera salida 1144-1 de unidad de modificación de fase. Por lo tanto, según la realización de la figura 11d, la parte imaginaria de la señal de salida modificada en fase se basará en la parte real de la señal de salida de derivación de línea de retardo respectiva y la parte real de la señal de salida modificada en fase se basará en una parte imaginaria de signo invertido de la señal de salida de derivación de línea de retardo respectiva.

Las posibles operaciones de fase (modificaciones de fase) realizadas por las diferentes unidades 1110; 1120; 1130; 1140 de modificación de fase pueden denominarse sin multiplicación, debido a que la salida (es decir, la señal de salida modificada en fase) puede derivarse directamente de la señal de entrada (es decir, la señal de salida de línea de retardo) como se ha descrito anteriormente, sin requerir la aplicación de un multiplicador de fase (complejo) a la señal. Las unidades 1110; 1120; 1130; 1140 de modificación de fase por lo tanto representan unidades de modificación de fase computacionalmente eficaces.

La figura 12 muestra un diagrama de bloques de una realización adicional de una unidad 1200 de reverberación de sub-banda simple con unidades de línea de retardo conectadas en serie (z^{-D}), multiplicadores 1260 intermedios, entradas 1209 (de derivación) de línea de retardo y salidas 1211 (de derivación) de línea de retardo. Como se muestra en la figura 12, la línea 1210 de retardo de la unidad 1200 de reverberación de sub-banda simple comprende una pluralidad de unidades de línea de retardo conectadas en serie (z^{-D}) para retardar sucesivamente una señal atenuada o la señal de audio representada por la señal 1201 de sub-banda de frecuencia alimentada a diferentes entradas de línea de retardo, respectivamente, teniendo cada unidad de línea de retardo de la línea 1210 de retardo una salida de línea de retardo respectiva para una señal sucesivamente retardada. Además, la unidad 1200 de reverberación de sub-banda simple comprende una pluralidad 1260 de multiplicadores intermedios cada uno conectado con una salida 1207 de línea de retardo de una primera unidad 1205 de línea de retardo y una entrada 1213 de línea de retardo correspondiente de una segunda unidad 1215 de línea de retardo consecutiva. En particular, la pluralidad de unidades de línea de retardo conectadas en serie (z^{-D}) de la línea 1210 de retardo mostrada en la figura 12 puede corresponder a la pluralidad de unidades de línea de retardo conectadas en serie (z^{-D}) de la línea 610 de retardo mostrada en la figura 9.

En la realización de la figura 12, la pluralidad 1260 de multiplicadores intermedios se ajusta especialmente para multiplicar señales sucesivamente retardadas emitidas desde la pluralidad de unidades de línea de retardo conectadas en serie (z^{-D}) por factores de atenuación intermedios para obtener señales de salida de multiplicador intermedio y para suministrar las señales de salida de multiplicador intermedio al combinador 1230, que puede corresponder al combinador 130 de la figura 1c, y a entradas de línea de retardo correspondientes de unidades de línea de retardo consecutivas dentro de la línea 1210 de retardo. En este caso, los multiplicadores 1260 intermedios pueden configurarse, por ejemplo, como multiplicadores reales. El bucle 1220 de realimentación, que puede corresponder al bucle 120 de realimentación de la figura 1c, puede configurarse para recibir una señal retardada de una última salida 1265 de multiplicador intermedio de la pluralidad 1260 de multiplicadores intermedios, donde la señal retardada procedente de la última salida 1265 de multiplicador intermedio tendrá una atenuación que corresponde a un factor de atenuación efectivo basado en el número de multiplicadores 1260 intermedios y los factores de atenuación intermedios aplicados de manera individual. En particular, la pluralidad 1260 de multiplicadores intermedios pueden configurarse para proporcionar un factor de atenuación efectivo que corresponde al factor de atenuación ($b = a^N$) aplicado por el bucle 120 de realimentación tal como en la unidad 900 de reverberación de sub-banda simple mostrada en la figura 9. La unidad 1200 de reverberación de sub-banda simple también puede comprender una pluralidad 1250 de unidades de modificación de fase, que pueden corresponder a las unidades 950 de modificación de fase mostradas en la figura 9.

Con referencia a la realización de la figura 12, la cantidad D de retardo parcial introducida por cada unidad de línea de retardo de la pluralidad de unidades de línea de retardo conectadas en serie (z^{-D}) puede corresponder a un retardo específico de una muestra o ranura de tiempo. En la realización de la figura 12, la pluralidad de derivaciones de salida de línea de retardo que corresponden a las salidas 1211 de línea de retardo pueden no estar ocupadas por completo. Esto significa que solamente algunas derivaciones de salida de la pluralidad de unidades de retardo conectadas en serie pueden conectarse al combinador 1230. Además, la pluralidad de multiplicadores 1260 intermedios puede que tampoco estén ocupados por completo.

Según la realización de la figura 12, al menos dos unidades 1215, 1218 de línea de retardo de la pluralidad de unidades de línea de retardo conectadas en serie (z^{-D}) pueden tener entradas 1213, 1217 de línea de retardo correspondientes para recibir la señal de audio representada por la señal 1201 de sub-banda de frecuencia en paralelo. En este caso, la

señal 1201 de sub-banda de frecuencia mostrada en la figura 12 puede corresponder a la señal 101 de sub-banda de frecuencia mostrada en la figura 1c.

En la realización de la figura 12, la señal de audio puede consistir en diversos canales $Ch_1, Ch_2, Ch_3, \dots$ de audio de entrada indicados, por ejemplo, por 'L' (izquierdo), 'R' (derecho) y 'C' (central). Además, cada canal de audio de entrada de los diversos canales de audio de entrada comprende la señal 1201 de sub-banda de frecuencia de una pluralidad 1203 de diferentes señales de sub-banda de frecuencia.

Como se representa en la figura 12, los diversos canales $Ch_1, Ch_2, Ch_3, \dots$ de audio de entrada (por ejemplo, L, R, C) pueden procesarse de manera diferente por las unidades de modificación de fase preconectadas antes de alimentarse a las entradas de línea de retardo correspondientes de la pluralidad de unidades de línea de retardo conectadas en serie (z^{-D}). En este caso, la pluralidad 1240 de unidades de modificación de fase preconectadas pueden configurarse para aplicar operaciones de fase sin multiplicación que son diferentes para los diferentes canales ($Ch_1, Ch_2, Ch_3, \dots$) de audio de entrada.

Por lo tanto, en las realizaciones, la unidad 1200 de reverberación de sub-banda simple puede configurarse para preprocesar una señal de sub-banda de frecuencia respectiva de los diversos canales de audio de entrada (L, R, C) de manera diferente para obtener diferentes señales procesadas. En particular, la señal de sub-banda de frecuencia respectiva de los diversos canales de audio de entrada (L, C, R) pueden preprocesarse utilizando diferentes unidades 1240 de modificación de fase para aplicar diferentes modificaciones de fase para los diversos canales de audio de entrada L, C, R antes de alimentar las señales preprocesadas a las entradas de línea de retardo correspondientes de la pluralidad de unidades de línea de retardo conectadas en serie (z^{-D}).

Específicamente, como se puede ver en la figura 12, la unidad 1200 de reverberación de sub-banda simple puede además comprender una pluralidad 1240 de unidades de modificación de fase conectadas (bloques- θ), cada una conectada a una entrada de línea de retardo correspondiente de la pluralidad de unidades de línea de retardo conectadas en serie (z^{-D}), de modo que las modificaciones de fase se aplicarán a la señal 1201 de sub-banda de frecuencia que puede inyectarse en paralelo en diferentes entradas de línea de retardo. En este caso, debe observarse que las unidades 1240, 1250 de modificación de fase pueden corresponder a unidades de modificación de fase eficaces tales como las descritas en la figura 11.

Según realizaciones adicionales, las señales preprocesadas para los diversos canales (L, R, C) de la señal de audio pueden sumarse antes de inyectar las mismas en las entradas 1213, 1217 de línea de retardo correspondientes. Una operación de suma de este tipo se indica a modo de ejemplo en la figura 12 mediante el símbolo '+' 1242 que opera sobre los canales L, C, R.

Según realizaciones adicionales, la línea 1210 de retardo puede configurarse de modo que una suma de varias entradas 1209 de línea de retardo para recibir la señal 1201 de audio y varias de las salidas 1211 de línea de retardo será menor que el número de ranuras de retardo elemental individuales de la línea 1210 de retardo.

En la salida del combinador 1230, tal como se muestra en la figura 12, puede obtenerse una señal 1235 de sub-banda de frecuencia reverberada de una pluralidad de señales de sub-banda de frecuencia reverberadas diferentes, pudiendo corresponder la señal 1235 de sub-banda de frecuencia reverberada a la señal 135 de sub-banda de frecuencia reverberada de las realizaciones previas.

En otras palabras, los canales de audio (L, R, C) de la señal de audio pueden descomponerse de manera espectral en una pluralidad de señales de sub-banda de frecuencia diferentes sobre las que opera la unidad 1200 de reverberación de sub-banda simple a modo de ejemplo. Por lo tanto, la figura 12 se refiere esencialmente a una estructura específica de una unidad de reverberación de sub-banda simple de banda de frecuencia con entradas de línea de retardo (derivaciones de entrada), salidas de línea de retardo (derivaciones de salida) y factores de atenuación intermedios. En este caso, las unidades de modificación de fase también pueden ser multiplicadores cero.

En las realizaciones, un algoritmo de reverberación de dominio de frecuencia realizado con la unidad de reverberación de sub-banda simple de banda de frecuencia puede basarse en una inyección arbitraria de las señales de entrada a partir de múltiples canales en cualquier punto de la línea de retardo. También puede utilizarse para generar múltiples canales de salida a partir de las capturas de la línea de retardo. Según realizaciones adicionales, las unidades de modificación de fase eficaces y los multiplicadores reales dentro de la estructura de reverberación pueden reemplazarse por multiplicadores complejos variables en el tiempo o invariables. Además, el orden de las unidades de línea de retardo, los multiplicadores intermedios (ganancias), los puntos de captura y los puntos de entrada pueden ser intercambiables. En particular, cuando los vectores de inyección de canal específico se configuran para ser ortogonales, la unidad de reverberación de sub-banda simple se habilitará para tratar las partes coherentes e incoherentes de las señales de entrada de igual manera. En el caso de que los vectores de ponderación de salida se configuren para ser ortogonales, pueden producirse canales de salida incoherentes. En este caso, los vectores de ponderación de salida pueden corresponder a señales (ponderadas) atenuadas emitidas por la pluralidad de multiplicadores intermedios cada uno colocado después de su unidad de línea de retardo correspondiente. En caso de que los vectores de inyección se configuren para ser ortogonales a los vectores de ponderación de salida, pueden impedirse picos de energía al inicio de las repeticiones de respuesta de impulso.

Según realizaciones adicionales, la caída de energía en un bucle puede controlarse ajustando las ganancias entre las unidades de línea de retardo y/o haciendo que se reduzca la densidad de las capturas de salida. Sin embargo, independientemente del método aplicado, el objetivo es obtener una tasa de caída de energía según un tiempo de reverberación dado.

5 En otras palabras, la estructura de reverberación puede utilizar la posibilidad de inyectar la señal de entrada con las modificaciones de fase en la línea de retardo. En este caso, puede ser beneficioso inyectar la señal de entrada en paralelo en la línea de retardo, dado que la respuesta de impulso del sistema se condensa por un factor que corresponde al número de entradas de línea de retardo (derivaciones de entrada). Esto especialmente permite la reducción de las salidas de línea de retardo (derivaciones de salida), y permite tener una densidad de respuesta de impulso igual con menos excesos y adiciones de memoria. Opcionalmente, la longitud de retardo en cada banda de frecuencia puede ajustarse para situarse en el mismo intervalo que el número de derivaciones de entrada multiplicado por el número de derivaciones salida. Según realizaciones adicionales, las posiciones de derivación de entrada y de salida pueden distribuirse de manera aleatoria utilizando una distribución uniforme. Además, la longitud de retardo global y las posiciones de derivación de entrada y de salida pueden ser diferentes en cada banda de frecuencia. Un método adicional es hacer uso de los multiplicadores reales entre las unidades de línea de retardo para proporcionar una caída de energía según el tiempo de reverberación.

Dado que la realización de la figura 12 tiene una gran sobrecarga computacional, puede reducirse a un número de estructuras de reverberación específicas y eficaces. Una de estas es, por ejemplo, la estructura de filtro disperso descrita en la realización de la figura 9.

20 Las diferentes realizaciones anteriores (figuras 1c; 2a; 3; 6; 9 y 12) se referían a unidades de reverberación de sub-banda simple que operan sobre una señal de sub-banda de frecuencia individual o simple de las al menos dos señales de sub-banda de frecuencia diferentes, mientras que, a continuación, se describirán diferentes realizaciones de reverberadores configurados para procesar de manera diferente las al menos dos señales de sub-banda de frecuencia diferentes.

25 La figura 13 muestra una estructura conceptual de una realización del reverberador 1300 que opera en un dominio de frecuencia. El reverberador 1300 de la figura 13 puede utilizarse específicamente para realizar el algoritmo de reverberación en bandas de frecuencia. En particular, el reverberador 1300 mostrado en la figura 13 puede corresponder al reverberador 10 mostrado en la figura 1a. En este caso, debe observarse que el reverberador 1300 de la figura 13 puede comprender una pluralidad de unidades de reverberación de sub-banda simple como se describió anteriormente, operando cada unidad de reverberación de sub-banda simple de la pluralidad de unidades de reverberación de sub-banda simple sobre una señal de sub-banda de frecuencia individual de una pluralidad de señales de sub-banda de frecuencia, y pudiendo configurarse la pluralidad de unidades de reverberación de sub-banda simple para procesar las señales de sub-banda de frecuencia de manera diferente, para obtener una pluralidad 1335 de señales de sub-banda de frecuencia reverberadas.

35 Con referencia a la realización de la figura 13, el reverberador 1300 comprende un procesador 1320 de bucle de retardo de realimentación, que puede corresponder al procesador 20 de bucle de retardo de realimentación mostrado en la figura 1a. Opcionalmente, el reverberador 1300 mostrado en la figura 13 también puede comprender un primer convertidor 1310 espectral, que puede corresponder al banco 12 de filtros del reverberador 10 mostrado en la figura 1a, y un segundo convertidor 1340 espectral, que puede corresponder al procesador 30 de salida del reverberador 10 mostrado en la figura 1a. En este caso, los convertidores 1310, 1340 espectrales primer y segundo se indican por "transformada (opcional) de tiempo-frecuencia" y "transformada (opcional) de tiempo-frecuencia inversa", respectivamente. El primer convertidor 1310 espectral puede configurarse para convertir la señal 1301 de audio en una representación espectral que tiene una pluralidad 1315 de señales de sub-banda de frecuencia diferentes. En este caso, la señal 1301 de audio y la pluralidad 1315 de señales de sub-banda de frecuencia diferentes en la realización de la figura 13 pueden corresponder a la señal 5 de audio y a las al menos dos señales 17 de sub-banda de frecuencia diferentes en la realización de la figura 1a. Como se representa en la figura 13, el procesador 1320 de bucle de retardo de realimentación puede comprender, para cada señal 1317 de sub-banda de frecuencia de la pluralidad 1315 de señales de sub-banda de frecuencia diferentes, un bucle 1350 de realimentación y un filtro 1330 de difusión que tiene una pluralidad de derivaciones de línea de retardo. Puede observarse en la figura 13 que el bucle 1350 de realimentación comprende un elemento 1352 de retardo que determina el retardo de bucle para la señal de sub-banda de frecuencia para obtener una señal 1353 de realimentación. En particular, el bucle 1350 de realimentación puede comprender un sumador 1354 para sumar la señal 1317 de sub-banda de frecuencia y la señal 1353 de realimentación. Como puede verse en la figura 13, el sumador 1354 está conectado al filtro 1330 de difusión. Es específico de la realización de la figura 13 que los elementos de retardo de los bucles de realimentación pueden ser diferentes para las al menos dos señales de sub-banda de frecuencia diferentes (señales 1315).

Según realizaciones adicionales, el procesador 1320 de bucle de retardo de realimentación del reverberador 1300 puede comprender un bucle 1350 de realimentación para cada señal 1317 de sub-banda de frecuencia de las al menos dos señales de sub-banda de frecuencia, pudiendo comprender el bucle 1350 de realimentación para una señal 1317 de sub-banda de frecuencia un elemento 1352 de retardo y, adicionalmente, un atenuador 1356. En este caso, los elementos de retardo y también los atenuadores pueden ser diferentes para las al menos dos señales de sub-banda de frecuencia diferentes.

El segundo convertidor 1340 espectral del reverberador 1300 puede utilizarse de manera opcional para combinar la pluralidad de señales 1335 de sub-banda de frecuencia reverberadas para obtener la señal 1341 de audio reverberada con un ancho de banda combinado. La señal 1341 de audio reverberada obtenida con el reverberador 1300 de la figura 13 puede corresponder a la señal 41 de audio reverberada del reverberador 10 de la figura 1a.

5 En otras palabras, una unidad de reverberación de sub-banda simple del reverberador 1300 o estructura de reverberación de dominio de frecuencia puede comprender un generador de tren de impulsos (en caída) (bucle 1350 de realimentación) y un filtro 1330 de difusión (a corto plazo) encerrados dentro de dos convertidores 1310, 1340 espectrales (opcionales) para realizar una transformada de tiempo-frecuencia y una transformada de tiempo-frecuencia inversa, respectivamente. La operación de transformada (bloques 1310, 1340) son opcionales y se muestran con fines de ilustración únicamente dado que la señal de audio en la aplicación puede encontrarse ya en el dominio de transformada de frecuencia. En el dominio de transformada, el orden de los bloques de procesamiento es intercambiable dado que el procesamiento es lineal. Todos los factores incluidos pueden ser diferentes en diferentes bandas de frecuencia. En este caso, las diferentes bandas de frecuencia se ilustran mediante líneas de puntos en la salida del convertidor 1310 de transformada de tiempo-frecuencia y la entrada del convertidor 1340 de transformada de tiempo-frecuencia inversa, respectivamente.

Como se describió anteriormente, la estructura de reverberación (reverberador 1300) incluye una pluralidad de diferentes unidades de reverberación de una entrada - una salida y por lo tanto funciona para múltiples entradas y salidas o diferentes señales de sub-banda de frecuencia. De manera conceptual, la creación de múltiples salidas puede lograrse al tener múltiples filtros de difusión que son incoherentes entre sí. En la figura 13, el generador 1350 de tren de impulsos en caída (bucle de realimentación) puede configurarse para crear una respuesta de igual intervalo dispersa en caída de manera exponencial infinita que define el intervalo de repetición de la reverberación en esa banda particular. El filtro 1330 de difusión, que puede ser una estructura de filtro de FIR (respuesta de impulso finita) o IIR (respuesta de impulso infinita) puede a su vez utilizarse para crear características de difusión a corto plazo para la respuesta. Esta estructura permite que el filtro 1330 de difusión sea corto y por tanto eficaz desde un punto de vista computacional. El bucle de realimentación hace que la respuesta global se atenúe infinitamente, y el filtro de difusión preferiblemente hace que la envolvente de tiempo se atenúe según el mismo factor.

No existe una restricción específica para la longitud de línea de retardo del filtro de difusión. En las realizaciones, el objetivo de diseño es hacer la longitud de la línea de retardo tan corta como sea posible de modo que permita un uso de memoria y coste computacional mínimo en el filtro de difusión, mientras mantiene al mínimo el efecto de percepción negativo de la estructura de repetición.

El filtro de difusión puede diseñarse de muchas formas. Por ejemplo, puede diseñarse como un filtro de difusión de "reverberación ideal" en forma de un filtro de difusión a corto plazo mediante ruido blanco en caída (método de diseño de la figura 3) o como un filtro de difusión eficaz por medio de un filtro disperso con densidad en caída y ganancias unitarias con operaciones de fase sin multiplicación (método de diseño de la figura 9). En este caso, el método de diseño de filtro de difusión de la figura 9 es mediante audición informal perceptivamente igual al método de la figura 3, mientras que tiene ahorros computacionales significativos. De este modo, el método de la figura 9 puede preferirse frente al método de la figura 3. En particular, la implementación basada en filtro disperso tal como en las realizaciones de las figuras 6, 9 y 12 representa una implementación más práctica de un algoritmo de reverberación.

En las realizaciones, la estructura de reverberación esencialmente utiliza una línea de retardo común, que se comparte por el bucle de retardo de realimentación y el filtro de difusión (por ejemplo, un filtro disperso de FIR). Otros tipos de filtros de difusión también pueden construirse de manera similar.

Haciendo referencia a las realizaciones de las figuras 3, 6, 9 y 12, la línea de retardo que incluye la pluralidad de unidades de líneas de retardo conectadas en serie puede consistir en al menos 15, preferiblemente al menos 20, y menos de 200, preferiblemente menos de 100, unidades de línea de retardo individuales (ranuras de línea de retardo).

Según realizaciones adicionales, el filtro 1330 de difusión mostrado en la figura 13 o la línea 110 de retardo mostrada en la figura 1c son típicamente dispositivos de valores complejos.

La figura 14 muestra un diagrama de bloques de una realización de un reverberador 1400 para reverberar una señal de audio con un convertidor espectral, un procesador de bucle de retardo de realimentación que incluye diversas unidades de reverberación de sub-banda simple y un procesador de salida. Como se muestra en la figura 14, el reverberador 1400 comprende el convertidor 1410 espectral, el procesador 1420 de bucle de retardo de realimentación y el procesador 1430 de salida. En este caso, el convertidor 1410 espectral, el procesador 1420 de bucle de retardo de realimentación y el procesador 1430 de salida del reverberador 1400 mostrado en la figura 14 pueden corresponder al banco 12 de filtros, al procesador 20 de bucle de retardo de realimentación y al procesador 30 de salida del reverberador 10 mostrado en la figura 1a. El convertidor 1410 espectral puede configurarse para convertir la señal 1401 de audio, que puede corresponder a la señal 5 de audio de la figura 1a, en una pluralidad 1415 de señales de sub-banda de frecuencia diferentes, que pueden corresponder a las al menos dos señales 17 de sub-banda de frecuencia diferentes de la figura 1a. En la realización de la figura 14, el procesador 1420 de bucle de retardo de realimentación comprende una pluralidad 1421 de unidades de reverberación de sub-banda simple, que está configuradas para procesar las señales 1415 de sub-banda de frecuencia diferentes, para obtener señales 1425 de sub-banda de

frecuencia reverberadas. En particular, una primera unidad 1422 de reverberación de sub-banda simple del procesador 1420 de bucle de retardo de realimentación puede configurarse para proporcionar una primera cantidad N_1 de retardo total para una primera señal 1417-1 de sub-banda de frecuencia de la pluralidad 1415 de señales de sub-banda de frecuencia diferentes para obtener una primera señal 1427-1 de sub-banda de frecuencia reverberada, mientras que una segunda unidad 1424 de reverberación de sub-banda simple del procesador 1420 de bucle de retardo de realimentación puede configurarse para proporcionar una segunda cantidad N_2 de retardo total diferente para una segunda señal 1417-2 de sub-banda de frecuencia de la pluralidad 1415 de señales de sub-banda de frecuencia diferentes para obtener una segunda señal 1427-2 de sub-banda de frecuencia reverberada. El procesador 1430 de salida puede configurarse para procesar las señales 1425 de sub-banda de frecuencia reverberadas para obtener una señal 1435 de audio reverberada tal como se describió anteriormente. En este caso, las señales 1425 de sub-banda de frecuencia reverberadas y la señal 1435 de audio reverberada obtenidas en la salida del procesador 1430 de salida pueden corresponder a las señales 27 de sub-banda de frecuencia reverberadas y la señal 41 de audio reverberada en la salida del procesador 30 de salida mostrado en la figura 1a, respectivamente.

El convertidor 1410 espectral puede configurarse, por ejemplo, como un banco de filtros de análisis QMF o para realizar una transformada de Fourier a corto plazo (STFT), mientras que el procesador 1430 de salida puede configurarse, por ejemplo, como un banco de filtros de síntesis QMF para realizar una transformada de Fourier a corto plazo inversa (ISTFT).

En las realizaciones, la representación de señal de dominio de frecuencia puede ser en un dominio real o complejo. Por lo tanto, todas las operaciones realizadas dentro del reverberador (por ejemplo, retardo, suma o multiplicación) pueden ser operaciones reales o complejas.

Según realizaciones adicionales, el convertidor 1410 espectral o el banco 12 de filtros también puede implementarse como un dispositivo de valores reales. Posibles aplicaciones de un banco de filtros de valores reales pueden ser, por ejemplo, transformadas de coseno discretas modificadas (MDCT) en codificación de audio, o modos de baja potencia en MPEG surround, donde una parte inferior de las bandas de QMF pueden ser complejas, y bandas superiores pueden ser solamente de valores reales. En tales escenarios, pueden existir ambientes en los que al menos parte de las sub-bandas son únicamente de valores reales y en los que sería beneficioso aplicar una reverberación como ésta. En estos casos, la señal es real y las posibles modificaciones de fase (por ejemplo, modificaciones de fase eficaces, tales como se han descrito en las figuras 11a a 11d) son solamente 1 y -1, lo que corresponde a una multiplicación de la señal real por multiplicadores 1 o -1, respectivamente.

Al utilizar cantidades de retardo total diferentes ($N_1 \neq N_2$) para la pluralidad 1415 de señales de sub-banda de frecuencia, una repetitividad de la respuesta de impulso puede reducirse de manera significativa debido a los diferentes intervalos de repetición resultantes para las diferentes señales de sub-banda de frecuencia.

Con referencia a las realizaciones de las figuras, 1c y 14, el procesador 1420 de bucle de retardo de realimentación puede comprender para cada señal de sub-banda de frecuencia de las al menos dos señales 1415 de sub-banda de frecuencia una línea 110 de retardo que tiene una pluralidad 115 de derivaciones de línea de retardo que proporcionan señales retardadas diferentes retardos de derivación, un bucle 120 de realimentación conectado a la línea 110 de retardo y un combinador 130 para combinar señales emitidas por la pluralidad 115 de derivaciones de línea de retardo, para obtener las señales 1425 de sub-banda de frecuencia reverberadas. En particular, la línea 110 de retardo está configurada para proporcionar una cantidad de retardo total que es mayor que el retardo de derivación máximo. Esta cantidad de retardo total determina esencialmente el retardo de bucle para la señal de sub-banda de frecuencia. Como se representa en la figura 14, las cantidades N_1 , N_2 de retardo total proporcionadas por las unidades 1422, 1424 de reverberación de sub-banda de señal primera y segunda del procesador 1420 de bucle de retardo de realimentación son diferentes para las al menos dos señales 1415 de sub-banda de frecuencia diferentes.

Según realizaciones adicionales, el procesador 20 de bucle de retardo de realimentación del reverberador 10 puede comprender, para cada señal de sub-banda de frecuencia, un filtro que tiene una respuesta de impulso de filtro, tal como la respuesta 800 de impulso mostrada en la figura 8. Como se describió anteriormente, la respuesta 800 de impulso de filtro comprende un primer bloque 815 de muestras de respuesta de impulsos de filtro y un segundo bloque 825 de muestras de respuesta de impulso de filtro. En este caso, el segundo bloque 825 es similar al primer bloque 815 en relación con el espaciado entre muestras de la respuesta de impulso, mientras que una primera muestra 821 de respuesta de impulso del segundo bloque 825 se retardará con respecto a una primera muestra 811 de respuesta de impulso del primer bloque 815 el retardo de bucle para la señal de sub-banda de frecuencia. Además, el retardo de bucle para la señal de sub-banda de frecuencia proporcionado mediante el filtro corresponde esencialmente a una cantidad N de retardo definida por la primera muestra 821 de respuesta de impulso del segundo bloque 820 y la primera muestra 811 de respuesta de impulso del primer bloque 815.

Por consiguiente, en la salida del procesador 20 de bucle de retardo de realimentación, se obtendrá una pluralidad de diferentes bloques primeros y segundos de muestras de respuesta de impulso de filtro para las al menos dos señales de sub-banda de frecuencia diferentes. Específicamente, los primeros bloques y los segundos bloques de las respuestas de impulso de filtro de los filtros para las señales de sub-banda de frecuencia se retardarán los retardos de bucle diferentes para las al menos dos señales de sub-banda de frecuencia diferentes.

Con referencia a las realizaciones de la figura 6 y 14, la pluralidad 615 (115) de derivaciones de línea de retardo pueden comprender una primera parte 619-1 de derivaciones de línea de retardo y una segunda parte 619-2 subsiguiente de derivaciones de línea de retardo. En las realizaciones, la línea 610 (110) de retardo de una unidad de reverberación de sub-banda simple puede configurarse de modo que un tamaño de espacio libre promedio entre las derivaciones de la segunda parte 619-2 sea mayor que el tamaño de espacio libre promedio entre las derivaciones de la primera parte 619-1. En este caso, el tamaño de espacio libre promedio corresponde a un promedio de retardos sucesivos entre derivaciones de línea de retardo respectivas de la pluralidad 615 (115) de derivaciones de línea de retardo en la primera o la segunda parte 619-1, 619-2 subsiguiente de derivaciones de línea de retardo, respectivamente.

En referencia a las realizaciones de las figuras, 1c; 13 y 14, el filtro 1330 de difusión del reverberador 1300 mostrado en la figura 13 o la línea 110 de retardo conectada al bucle 120 de realimentación y al combinador 130 pueden configurarse especialmente como un filtro 600 disperso que se muestra a modo de ejemplo en la figura 6. Como se ha descrito anteriormente, el filtro 600 disperso puede tener una densidad de filtro que puede variar de tal modo que una respuesta de impulso de filtro (por ejemplo, respuesta 700 de impulso de la figura 7) del filtro 600 disperso se aproximará a una envolvente de energía predeterminada (por ejemplo, envolvente 715 de energía de la figura 7).

Según realizaciones adicionales, el filtro disperso puede implementarse como en la realización de la figura 9 (filtro 900 disperso) que comprende una pluralidad 950 de unidades de modificación de fase, donde cada unidad de modificación de fase de la pluralidad 950 de unidades de modificación de fase está directamente conectada a una derivación de línea de retardo individual de la pluralidad 915 de derivaciones de línea de retardo, y donde cada unidad de modificación de fase está configurada para aplicar una operación de fase sin multiplicación a una señal correspondiente emitida por la derivación de línea de retardo individual. En las realizaciones, la operación de fase sin multiplicación proporcionada por una unidad de modificación de fase respectiva de la pluralidad 950 de unidades de modificación de fase puede realizarse, por ejemplo, según la tabla 1000 de la figura 10. En este caso, la unidad de modificación de fase respectiva puede configurarse como una unidad de modificación de fase eficaz tal como se muestra en las figuras 11a-11d. Con referencia a las figuras 1c; 13 y 14, el filtro 1330 de difusión de la línea 110 de retardo son típicamente dispositivos de valores complejos para procesar de manera separada las partes real e imaginaria de una señal compleja que representa la señal de audio. Por lo tanto, al utilizar estos dispositivos de valores complejos, pueden realizarse las unidades 1110; 1120; 1130; 1140 de modificación de fase eficaces tal como se muestra en las figuras 11a-11d.

Con referencia a las realizaciones de las figuras 1a y 2a, el procesador 20 de bucle de retardo de realimentación del reverberador 10 puede configurarse para atenuar cada señal de sub-banda de frecuencia de las al menos dos señales 17 de sub-banda de frecuencia en un factor b de atenuación. Como se describió anteriormente, el factor b de atenuación puede depender de un tiempo de reverberación predeterminado T_{60} y el retardo de bucle para la señal de sub-banda de frecuencia según las realizaciones de la presente invención. Mediante tal medida, pueden aplicarse diferentes factores de atenuación para las al menos dos señales 17 de sub-banda de frecuencia diferentes mediante el procesador 20 de bucle de retardo de realimentación.

La figura 15 muestra un diagrama de bloques de una realización adicional de un reverberador 1500 con vectores de salida de canal específico ortogonales. En la realización de la figura 15, el reverberador 1500 puede comprender al menos dos convertidores 1510-1, 1510-2 espectrales para un primer y un segundo canal 1501-1, 1501-2 ($Ch_{in,1}$, $Ch_{in,2}$) de una pluralidad de canales de audio de entrada ($Ch_{in,1}$, $Ch_{in,2}$, ...), pudiendo configurarse los al menos dos convertidores 1510-1, 1510-2 espectrales como bancos de filtros de análisis (por ejemplo el banco 12 de filtros de la figura 1a) para descomponer de manera espectral los dos canales 1501-1, 1501-2 en una primera y una segunda pluralidad 1515-1, 1515-2 de diferentes señales de sub-banda de frecuencia, respectivamente. Como se muestra en la figura 15, un procesador 1520 de bucle de retardo de realimentación (procesador 20 de bucle de retardo de realimentación de la figura 1a) puede comprender una pluralidad 1550 de sumadores que pueden utilizarse para sumar entre sí señales de sub-banda de frecuencia correspondientes de la primera y la segunda pluralidad 1515-1, 1515-2 de las señales de sub-banda de frecuencia, para obtener señales 1555 sumadas y para alimentar las señales 1555 sumadas a entradas correspondientes de una pluralidad 1521 de unidades de reverberación de sub-banda simple. En particular, una unidad de reverberación de sub-banda simple de la pluralidad 1521 de unidades de reverberación de sub-banda simple puede comprender un filtro de línea de retardo que incluye una línea 1526 de retardo que proporciona al menos dos posiciones 1522, 1524 de derivación de filtro diferentes para señales 1525-1 de sub-banda de frecuencia de un primer canal de audio de salida $Ch_{out,1}$ y para señales 1525-2 de sub-banda de frecuencia para un segundo canal de audio de salida $Ch_{out,2}$, respectivamente.

Además, el reverberador 1500 puede comprender dos procesadores 1530-1, 1530-2 para proporcionar un primer y un segundo canal 1535-1, 1535-2 de salida ($Ch_{out,1}$, $Ch_{out,2}$) de una señal de audio de salida, pudiendo configurarse los dos procesadores 1530-1, 1530-2 de salida como bancos de filtros de síntesis (por ejemplo bancos de filtro de síntesis QMF). En particular, el primer procesador 1530-1 de salida puede establecerse para sintetizar una primera pluralidad 1525-1 de señales emitidas por una primera salida de línea de retardo o posición 1522 de derivación de filtro de la pluralidad 1521 de unidades de reverberación de sub-banda simple, mientras que el segundo procesador 1530-2 de salida puede establecerse para sintetizar una segunda pluralidad 1525-2 de señales emitidas por una segunda salida de línea de retardo o posición 1524 de derivación de filtro diferente de la pluralidad 1521 de unidades de reverberación de sub-banda simple.

Con referencia a la realización de la figura 15, la señal 5 de audio tiene una pluralidad de canales de entrada de audio $Ch_{in,1}$, $Ch_{in,2}, \dots$ diferentes, teniendo cada canal de audio de entrada al menos dos señales de sub-banda de frecuencia diferentes (señales 1515-1 y 1515-2). Específicamente, la línea 1526 de retardo del filtro de línea de retardo como parte del procesador 1520 de bucle de retardo de realimentación puede comprender posiciones de derivación de filtro o unidades de modificación de fase conectadas a al menos algunas de las posiciones de derivación de filtro. El procesador 1520 de bucle de retardo de realimentación, comprende además una primera configuración de salida para señales 1525-1 de sub-banda de frecuencia de un primer canal 1535-1 de audio de salida, $Ch_{out,1}$, y una segunda configuración de salida para señales 1525-2 de sub-banda de frecuencia de un segundo canal 1535-2 de audio de salida, $Ch_{out,2}$. En la realización de la figura 15, el procesador 1520 de bucle de retardo de realimentación puede configurarse de modo que las configuraciones de salida primera y segunda pueden comprender conexiones 1527 a diferentes posiciones de derivación de filtro o unidades de modificación de fase. Específicamente, en la realización de la figura 15, las configuraciones de salida primera y segunda pueden conectarse a la misma línea 1526 de retardo.

Esencialmente, al utilizar la misma línea 1526 de retardo para proporcionar señales de sub-banda de frecuencia retardadas de manera diferente para los canales de audio de salida generados a partir de una señal de sub-banda de frecuencia de entrada, varias líneas de retardo requeridas dentro del procesador 1520 de bucle de retardo de realimentación pueden reducirse de manera eficaz en comparación con el caso en el que se utilizan dos líneas de retardo diferentes para proporcionar las señales de sub-banda de frecuencia retardadas de manera diferente generadas a partir de una señal de sub-banda de frecuencia de entrada.

Según realizaciones adicionales, el procesador de bucle de retardo de realimentación también puede comprender una primera configuración de entrada para señales de sub-banda de frecuencia de un primer canal de audio de entrada y una segunda configuración de entrada para señales de sub-banda de frecuencia de un segundo canal de audio de entrada. En tales realizaciones, el procesador de bucle de retardo de realimentación puede configurarse de modo que las configuraciones de entrada primera y segunda pueden comprender conexiones a diferentes posiciones de derivación de filtro o unidades de modificación de fase. Por consiguiente, las configuraciones de entrada primera y segunda pueden conectarse a la misma línea de retardo.

En las realizaciones, el número de canales de audio de entrada ($Ch_{in,1}$, $Ch_{in,2}, \dots$) y salida ($Ch_{out,1}$, $Ch_{out,2}, \dots$) puede ser igual o diferente.

Esencialmente, el reverberador 1500 de la realización de la figura 15 proporciona un algoritmo de reverberación que opera en el dominio de frecuencia, que se basa en un procesamiento por cada sub-banda de dos o más canales de la señal de audio. Como se representa en la figura 15, los vectores de salida de canal específico pueden configurarse, por ejemplo, ortogonales entre sí. En este caso, un vector de salida de canal específico puede definirse mediante las salidas de línea de retardo específicas (puntos de captura o posiciones de derivación de filtro), que se utilizan para la síntesis mediante un procesador de salida respectivo. Con referencia a la realización de la figura 15, los vectores de salida de canal específico son ortogonales unos con respecto a otros, debido a que, para el primer y el segundo canal, pueden utilizarse diferentes puntos de captura o posiciones 1522, 1524 de derivación de filtro, respectivamente.

Aunque algunos aspectos se han descrito en el contexto de un aparato, está claro que estos aspectos también representan una descripción del método correspondiente, donde un bloque o dispositivo corresponde a una etapa de método o una característica de una etapa de método. De manera análoga, los aspectos descritos en el contexto de una etapa de método también representan una descripción de un bloque o elemento o característica correspondiente de un aparato correspondiente. Algunas o todas las etapas de método pueden ejecutarse mediante (o utilizando) un aparato de hardware, como por ejemplo, un microprocesador, un ordenador programable o un circuito electrónico. En algunas realizaciones, algunas, una o más, de las etapas de método más importantes pueden ejecutarse por tal aparato.

La señal de audio procesada de la invención puede almacenarse en un medio de almacenamiento digital o puede transmitirse en un medio de transmisión tal como un medio de transmisión inalámbrico o un medio de transmisión por cable tal como Internet.

Dependiendo de ciertos requisitos de implementación, pueden implementarse realizaciones de la invención en hardware o en software. La implementación puede realizarse utilizando un medio de almacenamiento digital, por ejemplo un disco flexible, un DVD, un Blue-Ray, un CD, una ROM, una PROM, una EPROM, una EEPROM o una memoria *flash*, con señales de control legibles electrónicamente almacenadas en los mismos, que actúan conjuntamente (o pueden actuar conjuntamente) con un sistema informático programable de modo que se lleve a cabo el método respectivo. Por lo tanto, el medio de almacenamiento digital puede ser legible por ordenador.

Algunas realizaciones según la invención comprenden un soporte de datos con señales de control legibles electrónicamente, que pueden actuar conjuntamente con un sistema informático programable, de modo que se lleve a cabo uno de los métodos descritos en el presente documento.

Generalmente, las realizaciones de la presente invención pueden implementarse como un producto de programa informático con un código de programa, siendo el código de programa operativo para realizar uno de los métodos cuando el producto de programa informático se ejecuta en un ordenador. El código del programa por ejemplo puede almacenarse en un soporte legible por máquina.

Otras realizaciones comprenden el programa informático para realizar uno de los métodos descritos en el presente documento, almacenado en un soporte legible por máquina.

5 En otras palabras, una realización del método de la invención es, por lo tanto, un programa informático que tiene un código de programa para realizar uno de los métodos descritos en el presente documento, cuando el programa informático se ejecuta en un ordenador.

Una realización adicional de los métodos de la invención es, por lo tanto, un soporte de datos (o medio de almacenamiento digital, o medio legible por ordenador) que comprende, grabado en el mismo, el programa informático para realizar uno de los métodos descritos en el presente documento. El soporte de datos, el medio de almacenamiento digital o el medio grabado son normalmente tangibles y/o no transitorios.

10 Una realización adicional del método de la invención es, por lo tanto, un flujo de datos o una secuencia de señales que representan el programa informático para realizar uno de los métodos descritos en el presente documento. El flujo de datos o la secuencia de señales puede configurarse, por ejemplo, para transferirse por medio de una conexión de comunicación de datos, por ejemplo a través de Internet.

15 Una realización adicional comprende un medio de procesamiento, por ejemplo un ordenador, o un dispositivo lógico programable, configurado o adaptado para o realizar uno de los métodos descritos en el presente documento.

Una realización adicional comprende un ordenador que tiene instalado en el mismo el programa informático para realizar uno de los métodos descritos en el presente documento.

20 Una realización adicional según la invención comprende un aparato o un sistema configurado para transferir (por ejemplo, electrónicamente u ópticamente) un programa informático para realizar uno de los métodos descritos en el presente documento a un receptor. El receptor, por ejemplo, puede ser un ordenador, un dispositivo móvil, un dispositivo de memoria o similares. El aparato o sistema puede comprender, por ejemplo, un servidor de archivos para transferir el programa informático al receptor.

25 En algunas realizaciones, un dispositivo lógico programable (por ejemplo una disposición de puertas programables en campo) puede utilizarse para realizar algunas o todas las funcionalidades de los métodos descritos en el presente documento. En algunas realizaciones, una disposición de puertas programables en campo puede actuar conjuntamente con un microprocesador para realizar uno de los métodos descritos en el presente documento. Generalmente, los métodos se realizan preferiblemente mediante cualquier aparato de hardware.

30 Las realizaciones descritas anteriormente son meramente ilustrativas de los principios de la presente invención. Se entenderá que modificaciones y variaciones de las disposiciones y los detalles descritos en el presente documento resultarán evidentes para los expertos en la técnica. Por lo tanto, es la intención limitarse solamente al alcance de las reivindicaciones adjuntas y no por los detalles específicos presentados a modo de descripción y explicación de las realizaciones en el presente documento.

35 La presente invención proporciona esencialmente una estructura novedosa, computacionalmente eficaz para un reverberador que puede operar en un dominio de transformada de frecuencia. Los beneficios incluyen una implementación eficaz en comparación con las soluciones de dominio de frecuencia existentes y control arbitrario para los tiempos de reverberación en las bandas de frecuencia.

Las realizaciones de la presente invención pueden basarse en un algoritmo, que opera en el dominio de transformada de frecuencia y tiene un proceso individual en cada sub-banda. Además, la respuesta de impulso de este algoritmo puede repetirse de manera infinita mientras se atenúa de manera exponencial en cada banda de frecuencia.

40 A continuación se describen los beneficios principales de las realizaciones de la presente invención. La solución presentada produce la reverberación que se encuentra perceptivamente muy próxima al ruido blanco en caída de manera exponencial por cada banda de frecuencia infinita, que se considera una buena referencia de la reverberación difusa real. Además, la complejidad computacional del sistema proporcionado es muy pequeña, lo que también es el caso para tiempos de reverberación largos. En particular, una implementación a modo de ejemplo para procesar todas
45 las sub-bandas sólo necesitó 2,2 multiplicaciones reales y de 10^4 40 sumas reales (dependiendo del parámetro T_{60}) por muestra de dominio de tiempo.

La solución presentada también permite un ajuste completamente libre del parámetro T_{60} individualmente en todas las bandas de frecuencia. Esto es especialmente importante para el modelado de espacios y acústicas virtuales ya que el parámetro T_{60} en las bandas de frecuencia es una propiedad importante para los oyentes humanos en espacios de percepción, y de hecho es una medida común en las mediciones y simulación acústica de sala. Finalmente, la presente solución funciona en el dominio de frecuencia. Existen numerosas tecnologías de procesamiento de audio modernas que tienen una demanda de un algoritmo de reverberación de dominio de frecuencia de buena calidad.

55 A continuación se describen algunos de los casos de uso preferidos de las realizaciones de la presente invención. Un caso de uso se refiere a añadir efecto de sala en aplicaciones que funcionan en un dominio de transformada de frecuencia a corto plazo. Un ejemplo de tales aplicaciones es la descodificación binaural MPEG Surround según se

describe en "Multi-Channel Goes Mobile: MPEG Surround Binaural Rendering", Breebaart, Herre, Jun, Kjörling, Koppens, Plogsties, Villemoes, 29ª Conferencia de AES, septiembre de 2006 y la norma MPEG Surround ISO/IEC FDIS 23003-1, y SAOC según se describe en "Spatial Audio Object Coding (SAOC) - The Upcoming MPEG Standard on Parametric Object Based Audio Coding"; Breebaart, Engdegård, Falch, Hellmuth, Hilpert, Hoelzer, Koppens, Oomen, Resch, Schuijers, Trentiev. Estos descodificadores se benefician al tener efecto de sala en el dominio de QMF híbrido. La necesidad de reverberadores está motivada por la necesidad de crear una experiencia de audición natural para el oyente que utiliza auriculares. Otro caso de uso se refiere al mezclado. De manera similar a la descodificación binaural, las aplicaciones de mezclado a menudo funcionan también en el dominio de frecuencia y también pueden utilizar reverberadores. Otro caso de uso se refiere a la auralización en el diseño acústico de sala. El software de acústica de sala necesita un reverberador con un control libre de T_{60} para auralizar el espacio (tal como una sala de conciertos) en la fase de diseño. Otro caso de uso se refiere al audio de juego y VR. La creación exitosa de experiencias de inmersión en realidad virtual puede depender de la capacidad de reproducir cualquier conjunto dado de parámetros T_{60} de manera correcta. Finalmente, otro caso de uso se refiere a los efectos de audio. La técnica propuesta puede superar algunas de las limitaciones de los reverberadores de dominio de tiempo. Con la ayuda de una operación de transformada de frecuencia y de transformada de frecuencia inversa, la técnica propuesta puede aplicarse como efecto en el diseño de sonido.

REIVINDICACIONES

1. Reverberador (10, 1400) para reverberar una señal (5) de audio, que comprende:

un procesador (20) de bucle de retardo de realimentación para retardar al menos dos señales (17) de sub-banda de frecuencia diferentes que representan la señal (5) de audio con diferentes retardos (23) de bucle para obtener señales (27) de sub-banda de frecuencia reverberadas, caracterizado porque

el procesador (1420) de bucle de retardo de realimentación comprende, para cada señal de sub-banda de frecuencia de las al menos dos señales (1415) de sub-banda de frecuencia, una línea (110) de retardo que tiene una pluralidad (115) de derivaciones de línea de retardo que proporcionan señales retardadas con diferentes retardos de derivación, un bucle (120) de realimentación conectado a la línea (110) de retardo y un combinador (130) para combinar señales emitidas por la pluralidad (115) de derivaciones de línea de retardo.

2. Reverberador (10) según la reivindicación 1, que comprende además un procesador (30) de salida para procesar las señales (27) de sub-banda de frecuencia reverberadas para obtener una señal (41) de audio reverberada.

3. Reverberador (10) según la reivindicación 1 ó 2, en el que el procesador (30; 1340) de salida está configurado para mezclar las al menos dos señales (17) de sub-banda de frecuencia y las señales (27) de sub-banda de frecuencia reverberadas correspondientes para obtener señales (37) mezcladas y combinar las señales (37) mezcladas, o para combinar las señales (27; 1335) de sub-banda de frecuencia reverberadas para obtener la señal (41; 1341) de audio reverberada con un ancho de banda combinado.

4. Reverberador según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el procesador (20) de bucle de retardo de realimentación comprende, para cada señal de sub-banda de frecuencia, un filtro que tiene una respuesta (800) de impulso de filtro, en el que la respuesta (800) de impulso de filtro comprende un primer bloque (815) de muestras de respuesta de impulso de filtro y un segundo bloque (825) de muestras de respuesta de impulso de filtro, siendo el segundo bloque (825) similar al primer bloque en relación con el espaciado de muestras de respuesta de impulso, en el que la primera muestra (821) de respuesta de impulso del segundo bloque (825) se retarda con respecto a la primera muestra (811) de respuesta de impulso del primer bloque (815) con el retardo de bucle para la señal de sub-banda de frecuencia, y en el que los primeros bloques y los segundos bloques de las respuestas de impulso de filtro de los filtros para las señales de sub-banda de frecuencia se retardan con los diferentes retardos (23) de bucle.

5. Reverberador según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el procesador (1320) de bucle de retardo de realimentación comprende, para cada señal (1317) de sub-banda de frecuencia, un bucle (1350) de realimentación y un filtro (1330) de difusión que tiene una pluralidad de derivaciones de línea de retardo, en el que el bucle (1350) de realimentación comprende un elemento (1352) de retardo que determina el retardo de bucle para la señal de sub-banda de frecuencia para obtener una señal (1353) de realimentación, y en el que el bucle (1350) de realimentación comprende un sumador (1354) para sumar la señal (1317) de sub-banda de frecuencia y la señal (1353) de realimentación, estando el sumador (1354) conectado al filtro (1330) de difusión, en el que los elementos de retardo son diferentes para las al menos dos señales (17) de sub-banda de frecuencia diferentes.

6. Reverberador (1300) según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el procesador (1320) de bucle de retardo de realimentación comprende un bucle (1350) de realimentación para cada señal (1317) de sub-banda de frecuencia de las al menos dos señales (17) de sub-banda de frecuencia, en el que el bucle (1350) de realimentación para una señal (1317) de sub-banda de frecuencia comprende un elemento (1352) de retardo y un atenuador (1356), en el que los elementos de retardo son diferentes con respecto a sus retardos de bucle para las al menos dos señales (17) de sub-banda de frecuencia diferentes.

7. Reverberador (1400) según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el procesador (1420) de bucle de retardo de realimentación está configurado para obtener las señales (1425) de sub-banda de frecuencia reverberadas, en el que la línea (110) de retardo tiene una cantidad de retardo total que es mayor que el retardo de derivación máximo y que determina el retardo de bucle, en el que las cantidades (N_1 , N_2) de retardo totales son diferentes para las al menos dos señales (1415) de sub-banda de frecuencia diferentes.

8. Reverberador (1400) según la reivindicación 7, en el que la pluralidad (115; 615) de derivaciones de línea de retardo comprende una primera parte (619-1) de derivaciones de línea de retardo y una segunda parte (619-2) subsiguiente de derivaciones de línea de retardo, y en el que la línea (115; 615) de retardo está configurada de modo que un tamaño de espacio libre promedio entre las derivaciones de la segunda parte (619-2) es mayor que el tamaño de espacio libre promedio entre las derivaciones de la primera parte (619-1).

9. Reverberador (10) según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que el procesador (54) de bucle de retardo de realimentación está configurado de modo que el retardo (56-2) de bucle para una segunda señal (51-2) de sub-banda de frecuencia de las al menos dos señales (53) de sub-banda de frecuencia que representan una banda de frecuencia menor es mayor que el retardo (56-1) de bucle para una primera señal

(51-1) de sub-banda de frecuencia de las al menos dos señales (53) de sub-banda de frecuencia que representan una banda de frecuencia mayor.

- 5 10. Reverberador (100; 300) según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 8, en el que el filtro (1330) de difusión o la línea (110) de retardo conectada al bucle (120) de realimentación y al combinador (130) están configurados como un filtro (600) disperso, en el que el filtro (600) disperso tiene una densidad de derivaciones de filtro que es variable de tal modo que una respuesta (700) de impulso de filtro del filtro (600) disperso se aproxima a una envolvente (715) de energía predeterminada.
- 10 11. Reverberador (100; 1300) según la reivindicación 10, en el que el filtro (600; 900) disperso comprende una pluralidad (950) de unidades de modificación de fase, en el que cada unidad de modificación de fase de la pluralidad (950) de unidades de modificación de fase está directamente conectada a una derivación de línea de retardo individual de la pluralidad (915) de derivaciones de línea de retardo, y en el que cada unidad de modificación de fase está configurada para aplicar una operación de fase sin multiplicación a una señal correspondiente emitida por la derivación de línea de retardo individual.
- 15 12. Reverberador (100; 1300) según la reivindicación 11, en el que el filtro (1330) de difusión o la línea (110) de retardo son dispositivos de valores complejos, y en el que cada unidad (1110; 1120; 1130; 1140) de modificación de fase de la pluralidad (950) de unidades de modificación de fase comprende una primera entrada (1112-1; 1122-1; 1132-1; 1142-1) de unidad de modificación de fase para una parte real de una señal de salida de derivación de línea de retardo respectiva o una segunda entrada (1112-2; 1122-2; 1132-2; 1142-2) de unidad de modificación de fase para una parte imaginaria de la señal de salida de derivación de línea de retardo respectiva y una primera salida (1114-1; 1124-1; 1134-1; 1144-1) de unidad de modificación de fase para la parte real de una señal de salida modificada en fase o una segunda salida (1114-2; 1124-2; 1134-2; 1144-2) de unidad de modificación de fase para la parte imaginaria de la señal de salida modificada en fase,
en el que la primera entrada (1112-1) de unidad de modificación de fase está directamente conectada a la primera salida (1114-1) de unidad de modificación de fase y la segunda entrada (1112-2) de unidad de modificación de fase está directamente conectada a la segunda salida (1114-2) de unidad de modificación de fase; o
en el que la segunda entrada (1122-2) de unidad de modificación de fase está directamente conectada a la primera salida (1124-1) de unidad de modificación de fase y la primera entrada (1122-1) de modificación de fase está conectada a un inversor (1125) de signo interconectado, que está conectado a la segunda salida (1124-2) de unidad de modificación de fase, por lo que la parte real de la señal de salida modificada en fase se basa en la parte imaginaria de la señal de salida de derivación de línea de retardo respectiva y la parte imaginaria de la señal de salida modificada en fase se basa en una parte real de signo invertido de la señal de salida de derivación de línea de retardo respectiva; o
30 en el que la primera entrada (1132-1) de unidad de modificación está conectada a un inversor (1135-1) de signo interconectado, que está conectado a la primera salida (1134-1) de unidad de modificación de fase, y la segunda entrada (1132-2) de unidad de modificación de fase está conectada a un inversor (1135-2) de signo interconectado, que está conectado a la segunda salida (1134-2) de unidad de modificación de fase, por lo que la parte real de la señal de salida modificada en fase se basa en una parte real de signo invertido de la señal de salida de derivación de línea de retardo respectiva y la parte imaginaria de la señal de salida modificada en fase se basa en una parte imaginaria de signo invertido de las señales de salida de derivación de línea de retardo respectivas; o
35 en el que la primera entrada (1142-1) de unidad de modificación está directamente conectada a la segunda salida (1144-2) de unidad de modificación de fase y la segunda entrada (1142-2) de modificación de fase está conectada a un inversor (1145) de signo interconectado, que está conectado a la primera salida (1144-1) de unidad de modificación de fase, por lo que la parte imaginaria de la señal de salida modificada en fase se basa en la parte real de la señal de salida de derivación de línea de retardo respectiva y la parte real de la señal de salida modificada en fase se basa en una parte imaginaria de signo invertido de la señal de salida de derivación de línea de retardo respectiva.
45
- 50 13. Reverberador (1500) según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la señal (5) de audio tiene una pluralidad de canales de audio de entrada ($Ch_{in,1}$, $Ch_{in,2}$, ...) o salida ($Ch_{out,1}$, $Ch_{out,2}$, ...) diferentes, en el que cada canal de audio de entrada o salida tiene al menos dos señales (1201; 1515-1; 1515-2) de sub-banda de frecuencia diferentes, en el que el procesador (1520) de bucle de retardo de realimentación comprende un filtro de línea de retardo, una línea (1526) de retardo del filtro de línea de retardo que comprende posiciones de derivación de filtro o unidades de modificación de fase conectadas a al menos algunas de las posiciones de derivación de filtro, comprendiendo además el procesador (1520) de bucle de retardo de realimentación una primera configuración de entrada o salida para señales (1201; 1525-1) de sub-banda de frecuencia de un primer canal de audio de entrada ($Ch_{in,1}$) o de salida ($Ch_{out,1}$) y una segunda configuración de entrada o salida para señales (1201; 1525-2) de sub-banda de frecuencia de un segundo canal de audio de entrada ($Ch_{in,2}$) o de salida ($Ch_{out,2}$), y en el que el procesador (1520) de bucle de retardo de realimentación está configurado de
55

modo que las configuraciones de entrada o salida primera y segunda comprenden conexiones (1527) para diferentes posiciones de derivación de filtro o unidades de modificación de fase, y en el que las configuraciones de entrada o salida primera y segunda están conectadas a la misma línea (1526) de retardo.

- 5 14. Reverberador (10) según una de las reivindicaciones 1 a 13, en el que el procesador (20) de bucle de retardo de realimentación está configurado para atenuar cada señal de sub-banda de frecuencia de las al menos dos señales (17) de sub-banda de frecuencia en un factor de atenuación (b), en el que el factor de atenuación (b) depende de un tiempo de reverberación predeterminado (T_{60}) y el retardo de bucle para la señal de sub-banda de frecuencia.
- 10 15. Método para reverberar una señal (5) de audio, que comprende:
retardar al menos dos señales (17) de sub-banda de frecuencia diferentes que representan la señal (5) de audio con diferentes retardos (23) de bucle utilizando un procesador (1420) de bucle de retardo de realimentación para obtener señales (27) de sub-banda de frecuencia reverberadas,
caracterizado porque
- 15 el procesador (1420) de bucle de retardo de realimentación comprende, para cada señal de sub-banda de frecuencia de las al menos dos señales (1415) de sub-banda de frecuencia, una línea (110) de retardo que tiene una pluralidad (115) de derivaciones de línea de retardo que proporcionan señales retardadas con diferentes retardos de derivación, un bucle (120) de realimentación conectado a la línea (110) de retardo y un combinador (130) para combinar señales emitidas por la pluralidad (115) de derivaciones de línea de retardo.
- 20 16. Programa informático que tiene un código de programa para realizar un método según la reivindicación 15, cuando el programa informático se ejecuta en un ordenador.

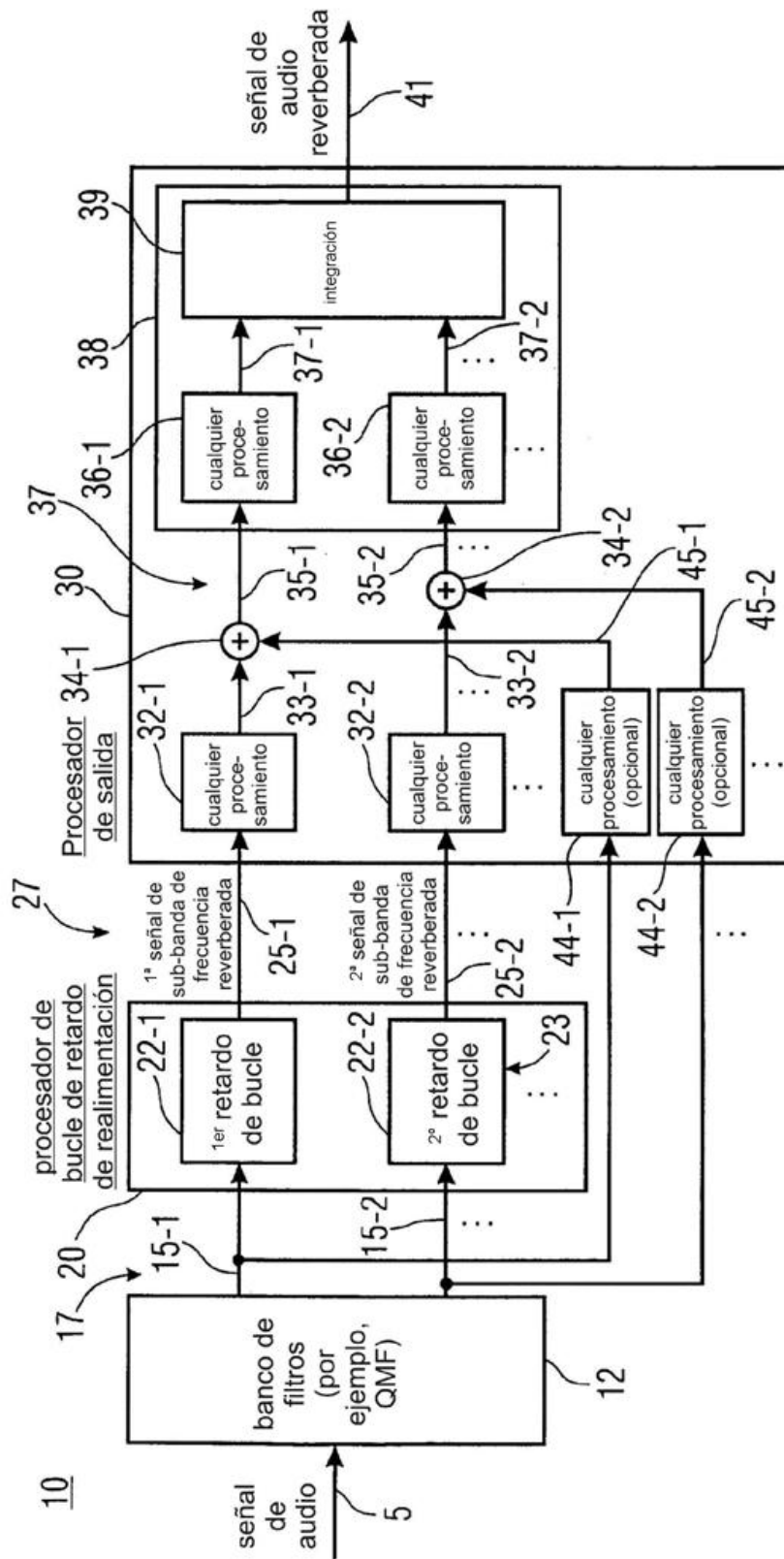


FIG 1A
(REVERBERADOR)

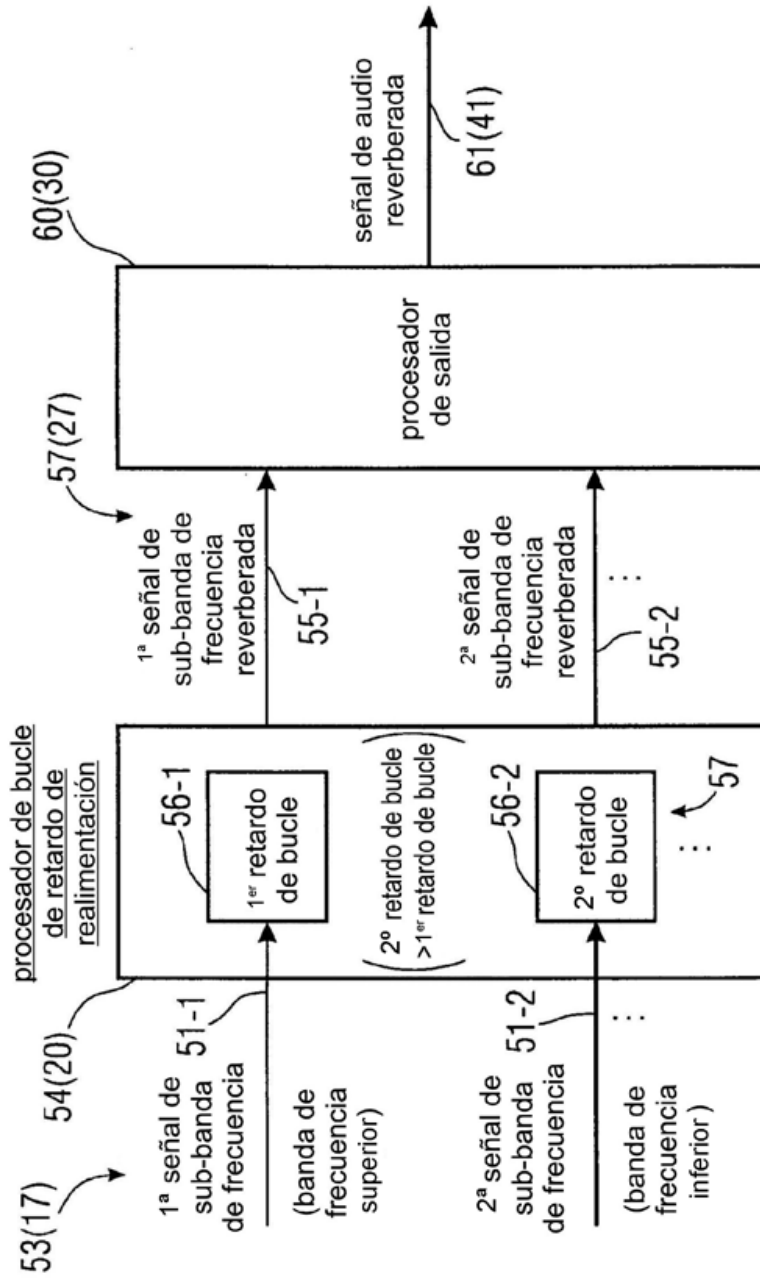


FIG 1B

(DISEÑO DE RETARDOS DE BUCLE DIFERENTES)

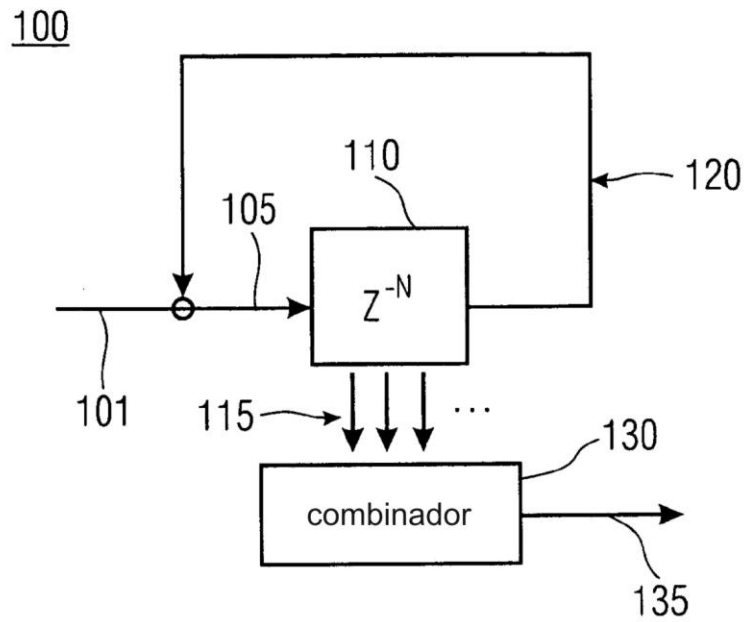


FIG 1C

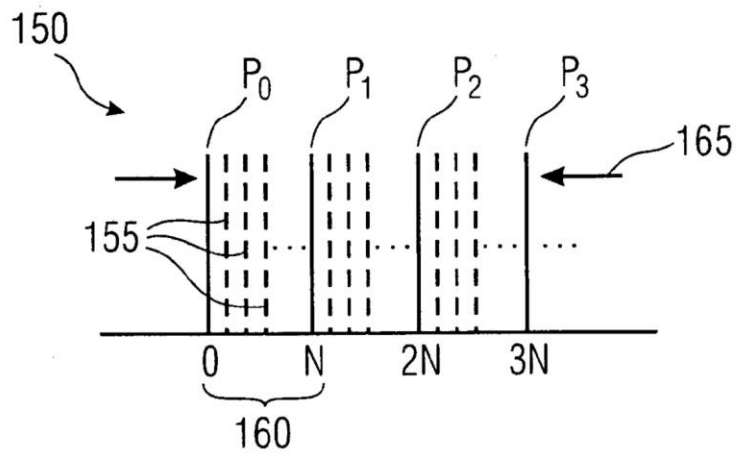


FIG 1D

FIG 1C; D

(UNIDAD DE REVERBERACIÓN DE SUB-BANDA SIMPLE)

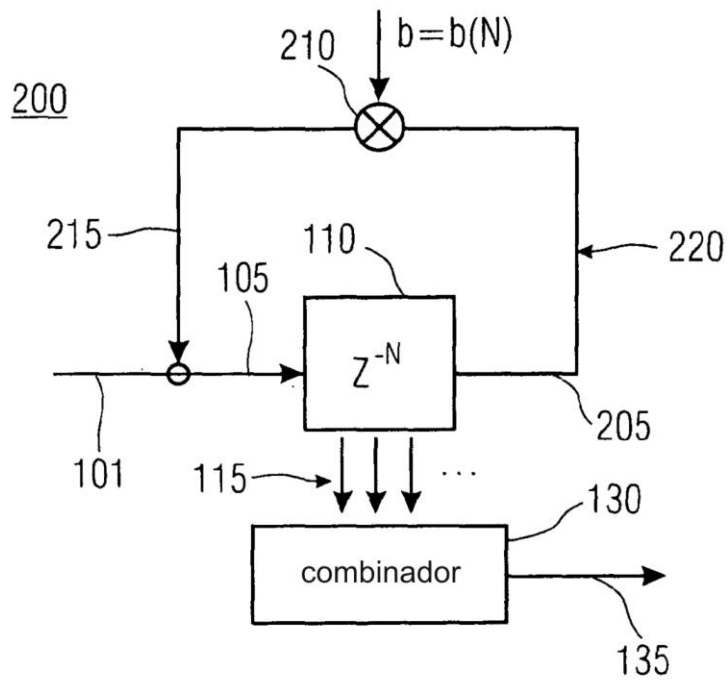


FIG 2A

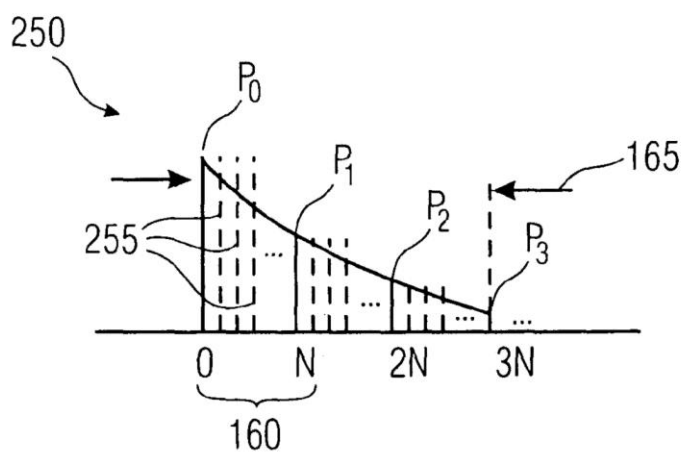


FIG 2B

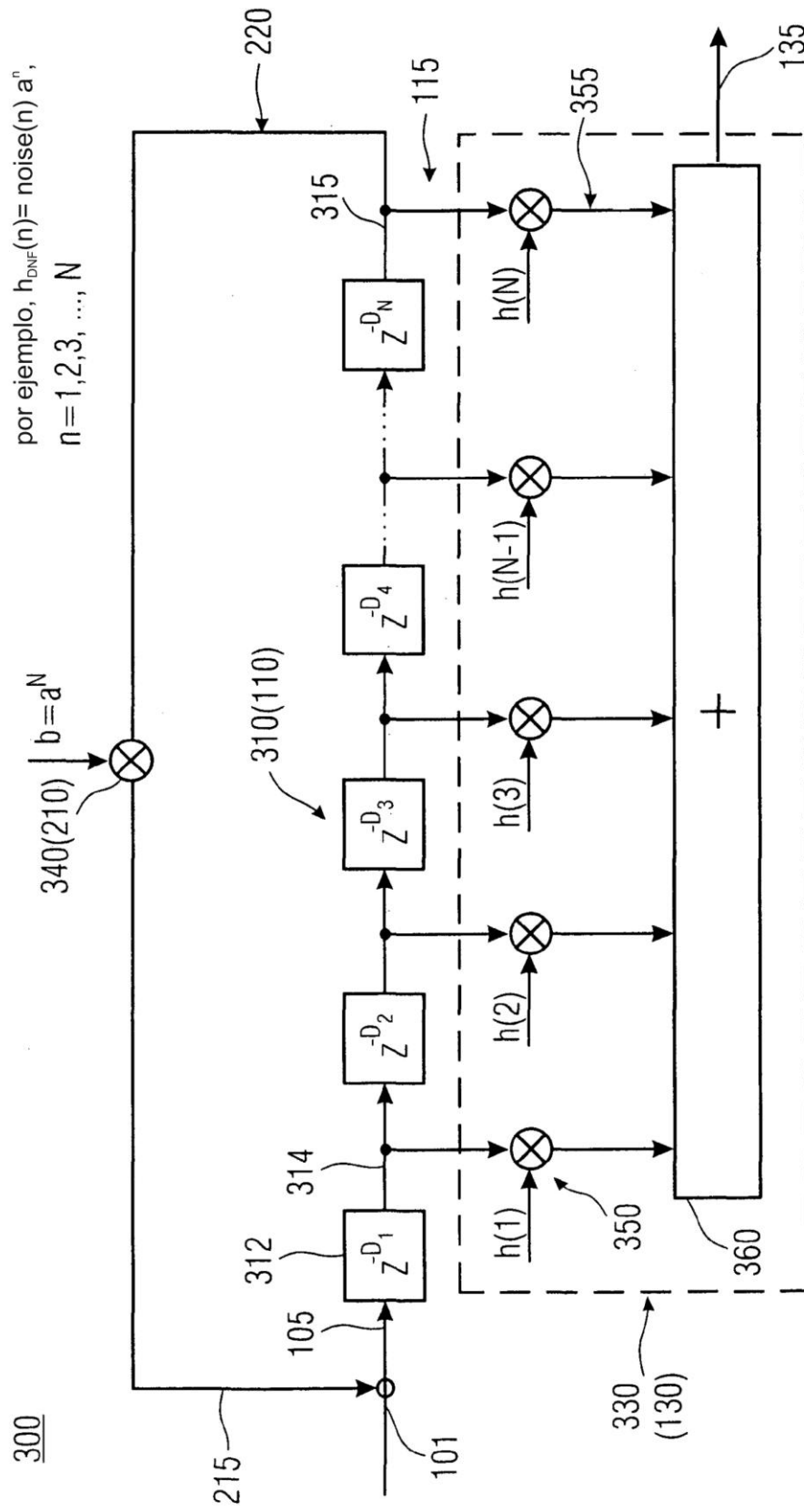


FIG 3

por ejemplo, $h_{DNF}(n) = \text{noise}(n) a^n$,
 $n = 1, 2, 3, \dots, N$

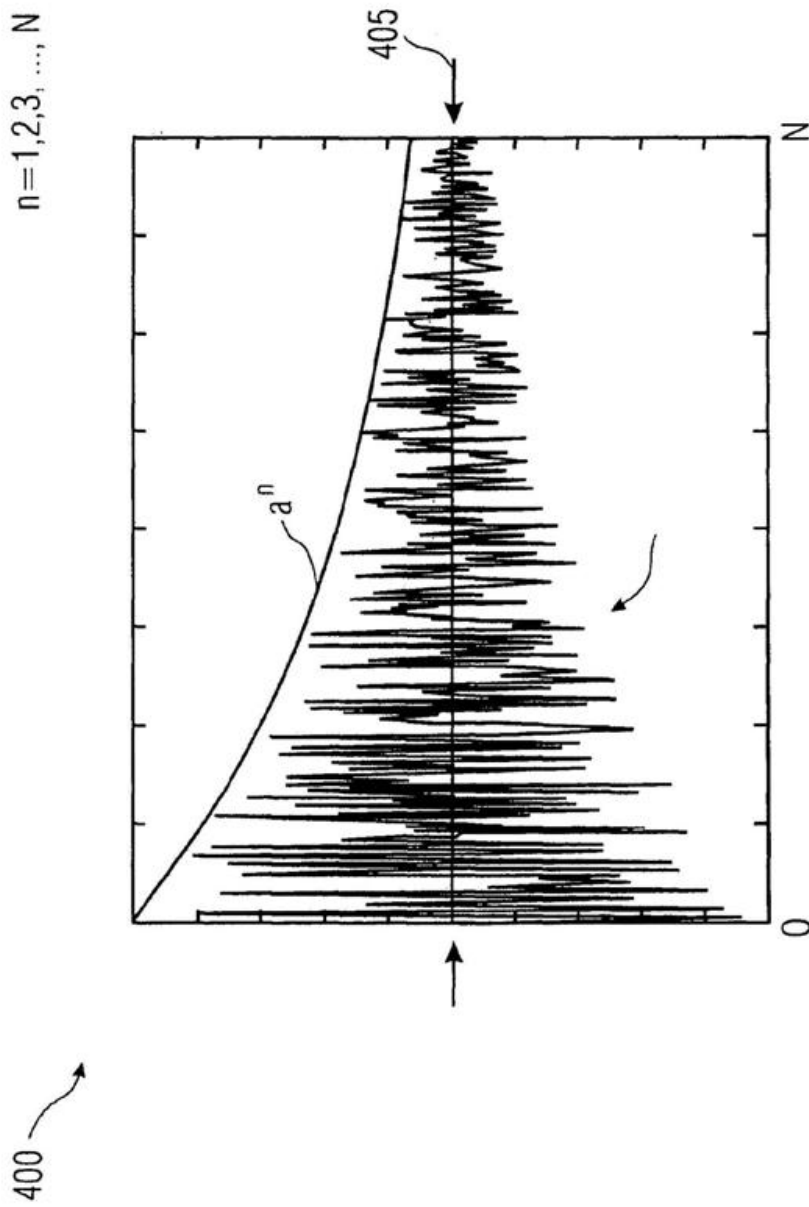


FIG 4

(FUNCIÓN DE RESPUESTA DE FILTRO DE RUIDO EN CAÍDA DE MANERA EXPONENCIAL)

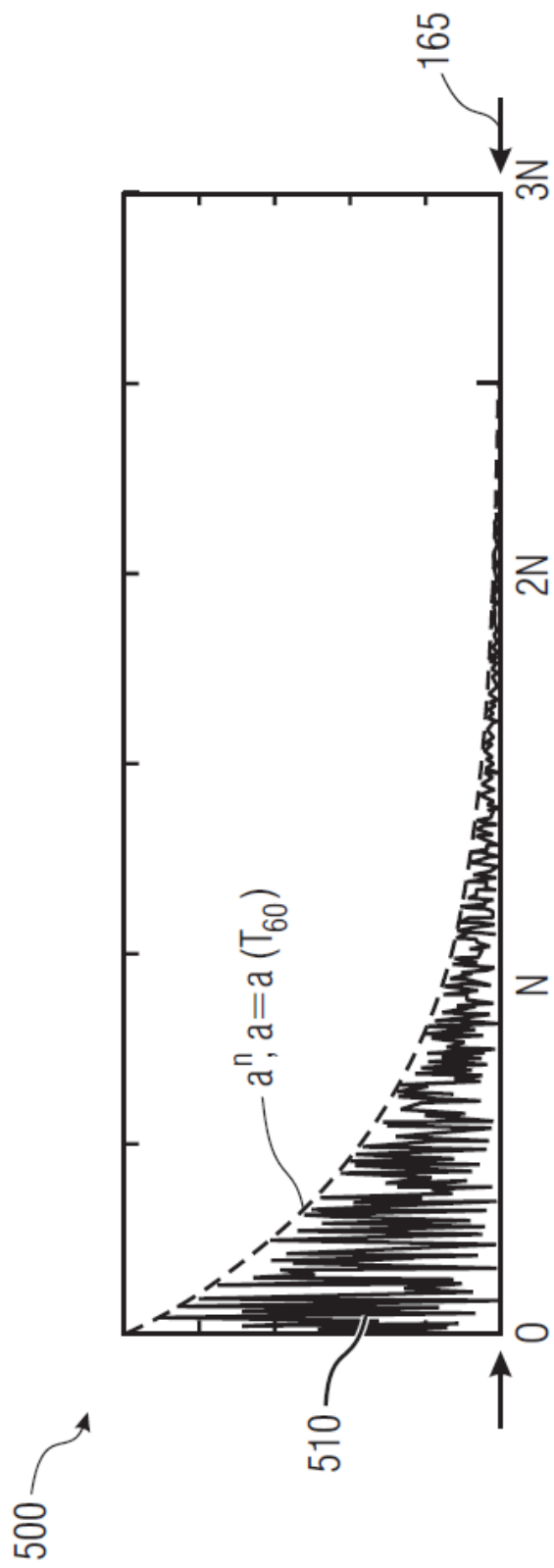


FIG 5

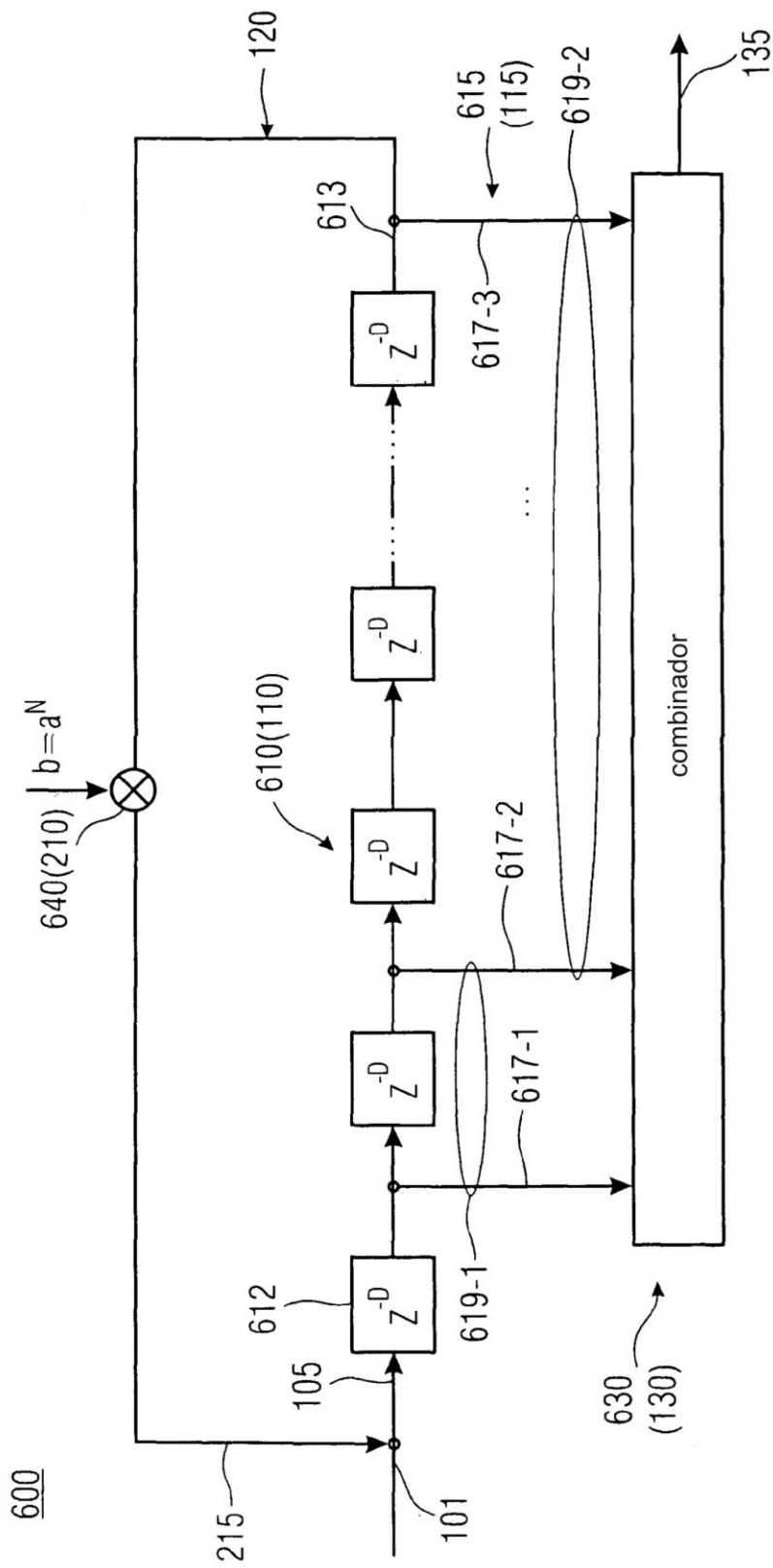


FIG 6

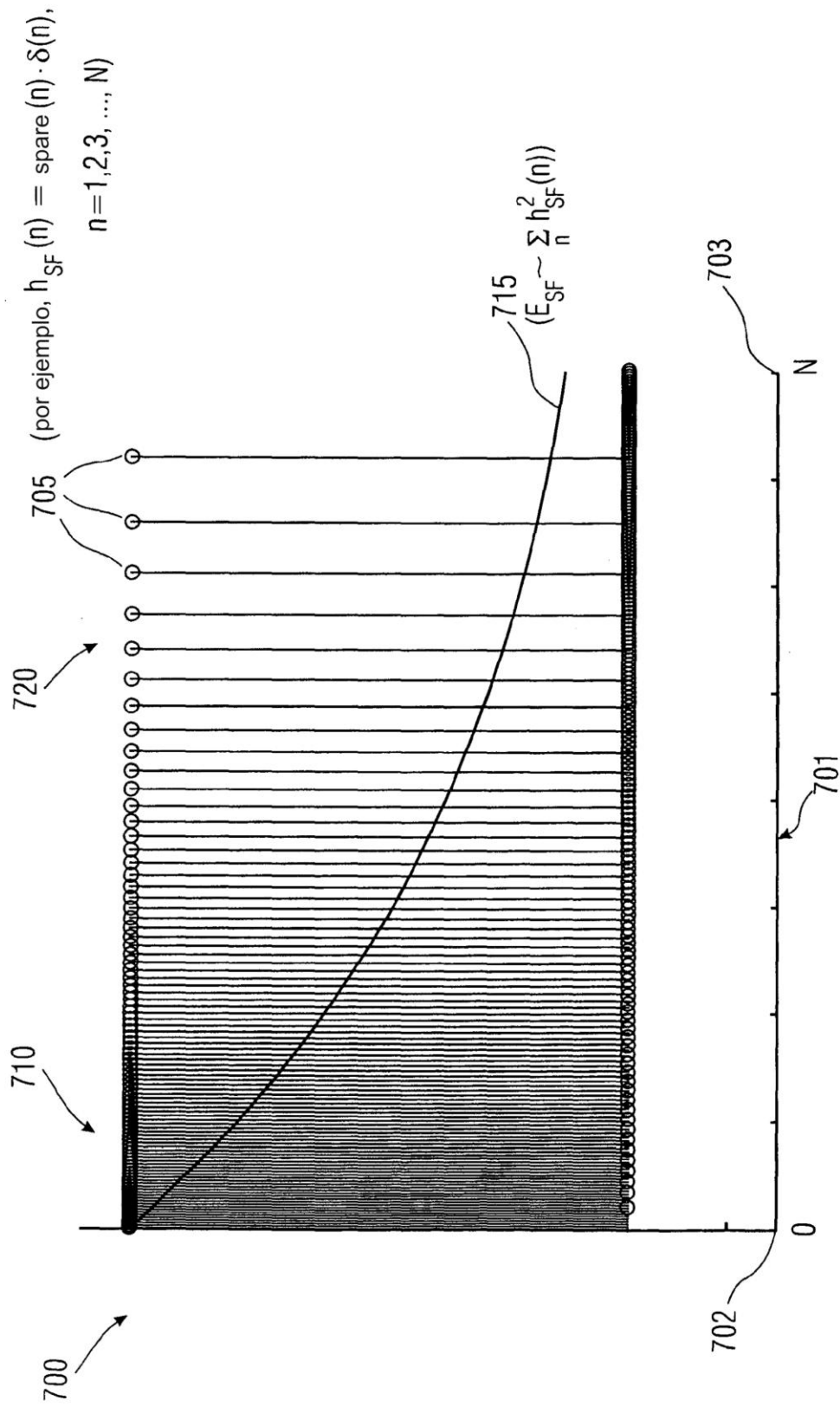
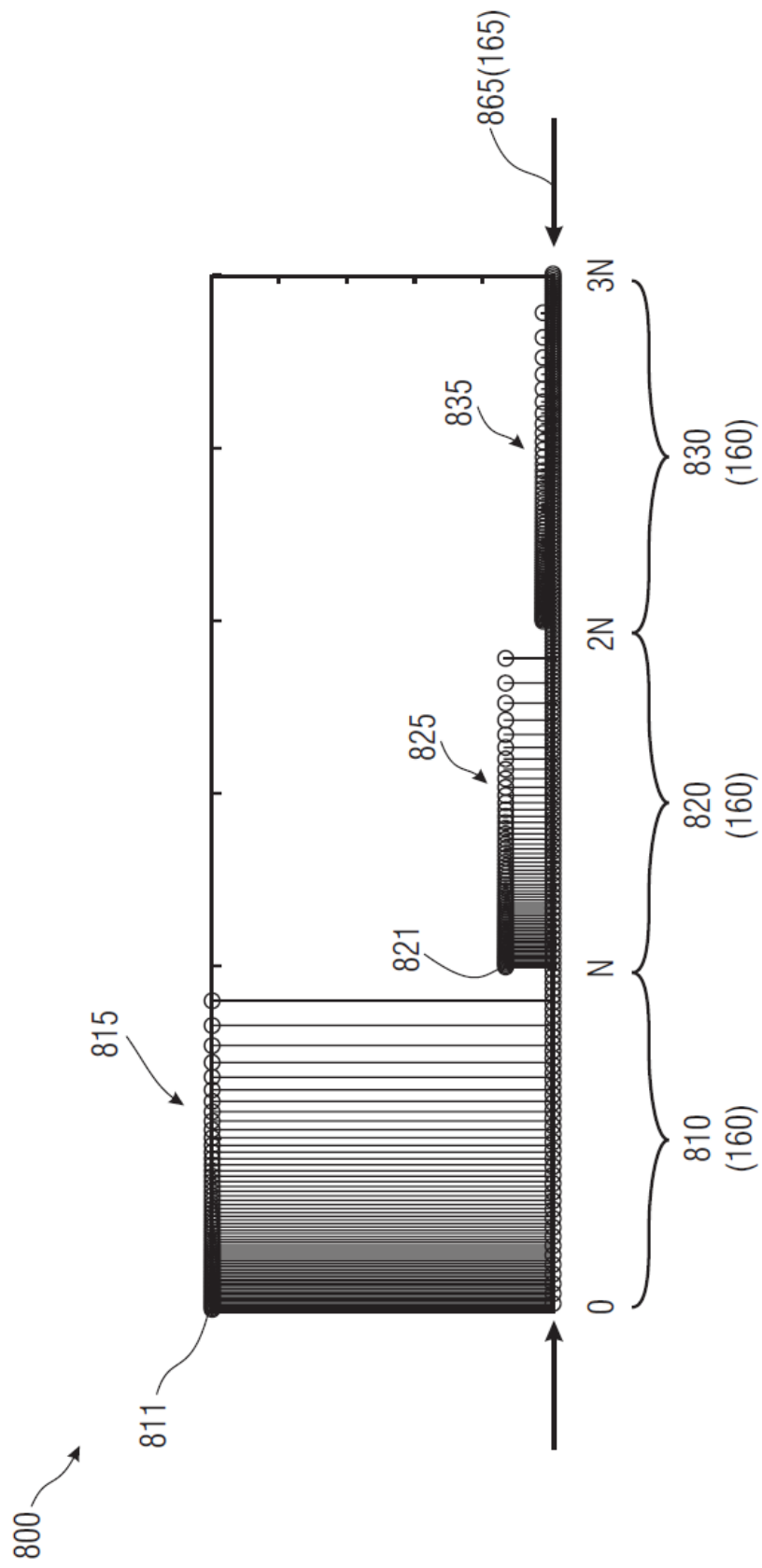


FIG 7

(FUNCIÓN DE RESPUESTA DE FILTRO DISPERSO)



900(600)

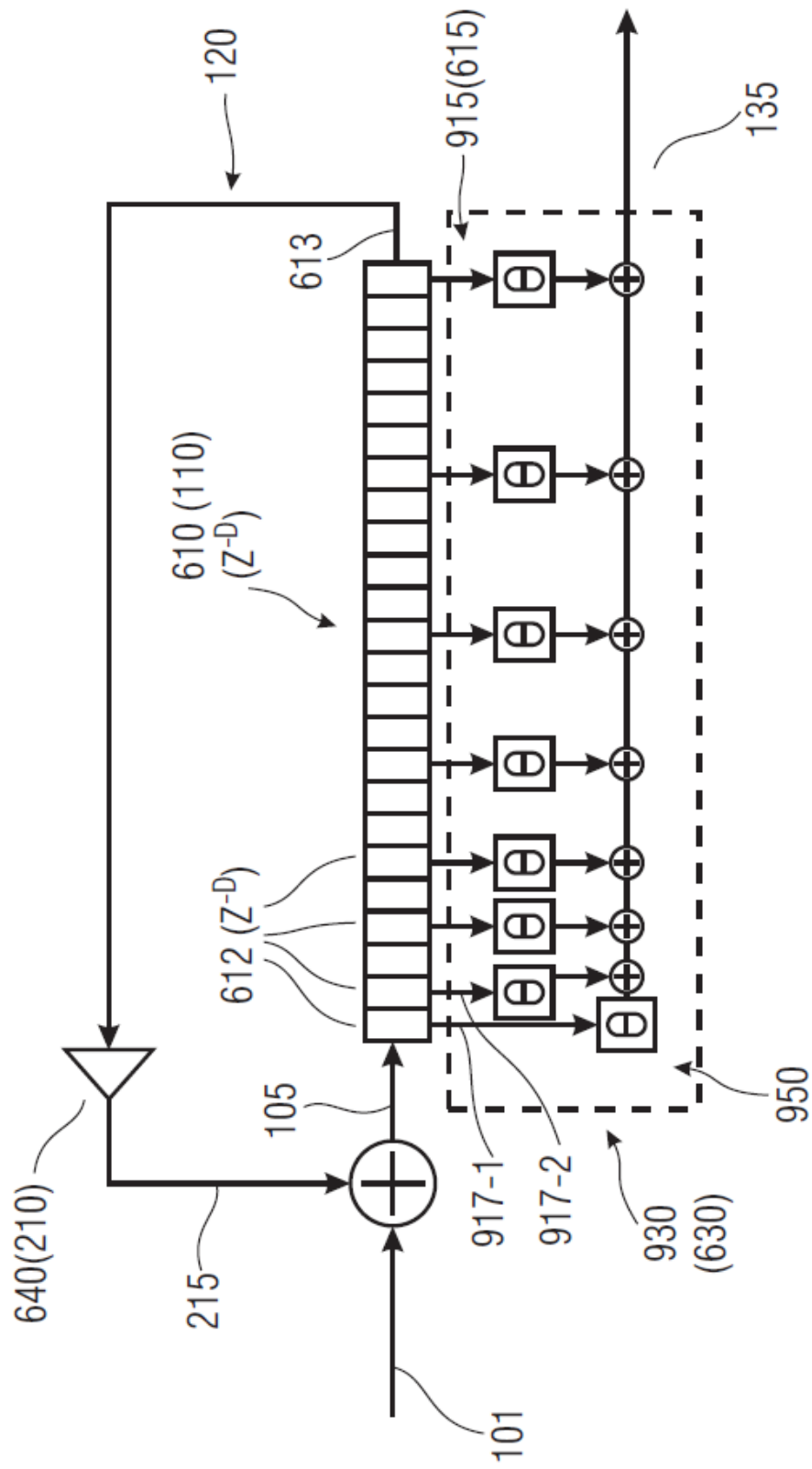


FIG 9

1000

1012	1010	1020	1030
Operación de fase	Parte real de salida	Parte imaginaria de salida	
$k \cdot 2\pi$	Entrada_real	Entrada_imaginaria	Entrada_real
$\pi/2 + k \cdot 2\pi$	-Entrada_imaginaria	-Entrada_real	Entrada_real
$\pi + k \cdot 2\pi$	-Entrada_real	-Entrada_imaginaria	-Entrada_real
$3\pi/2 + k \cdot 2\pi$	Entrada_imaginaria		-Entrada_real

FIG 10

(TABLA DE OPERACIONES DE FASE LIBRE DE MULTIPLICACIÓN)

1110

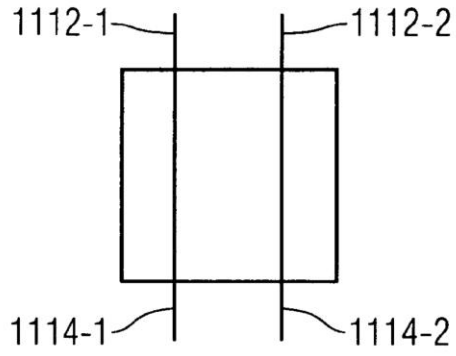


FIG 11A

1120

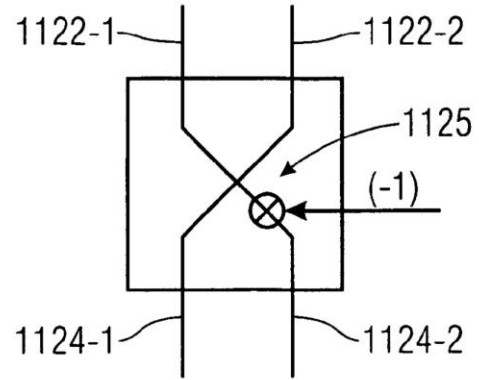


FIG 11B

1130

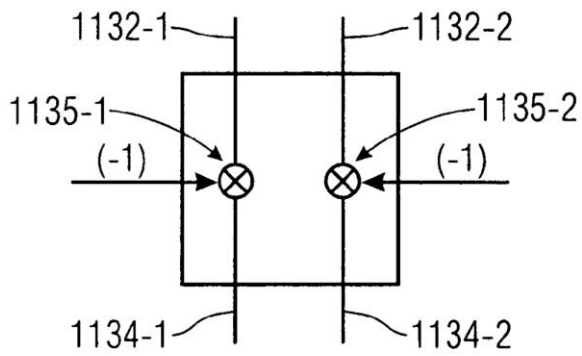


FIG 11C

1140

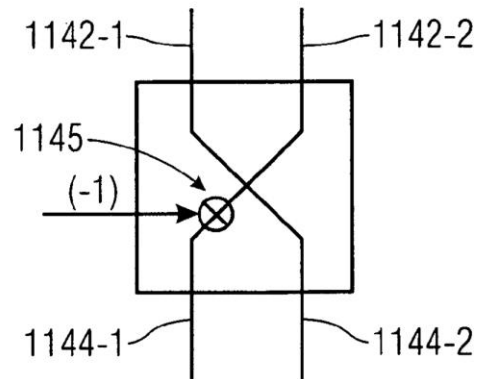
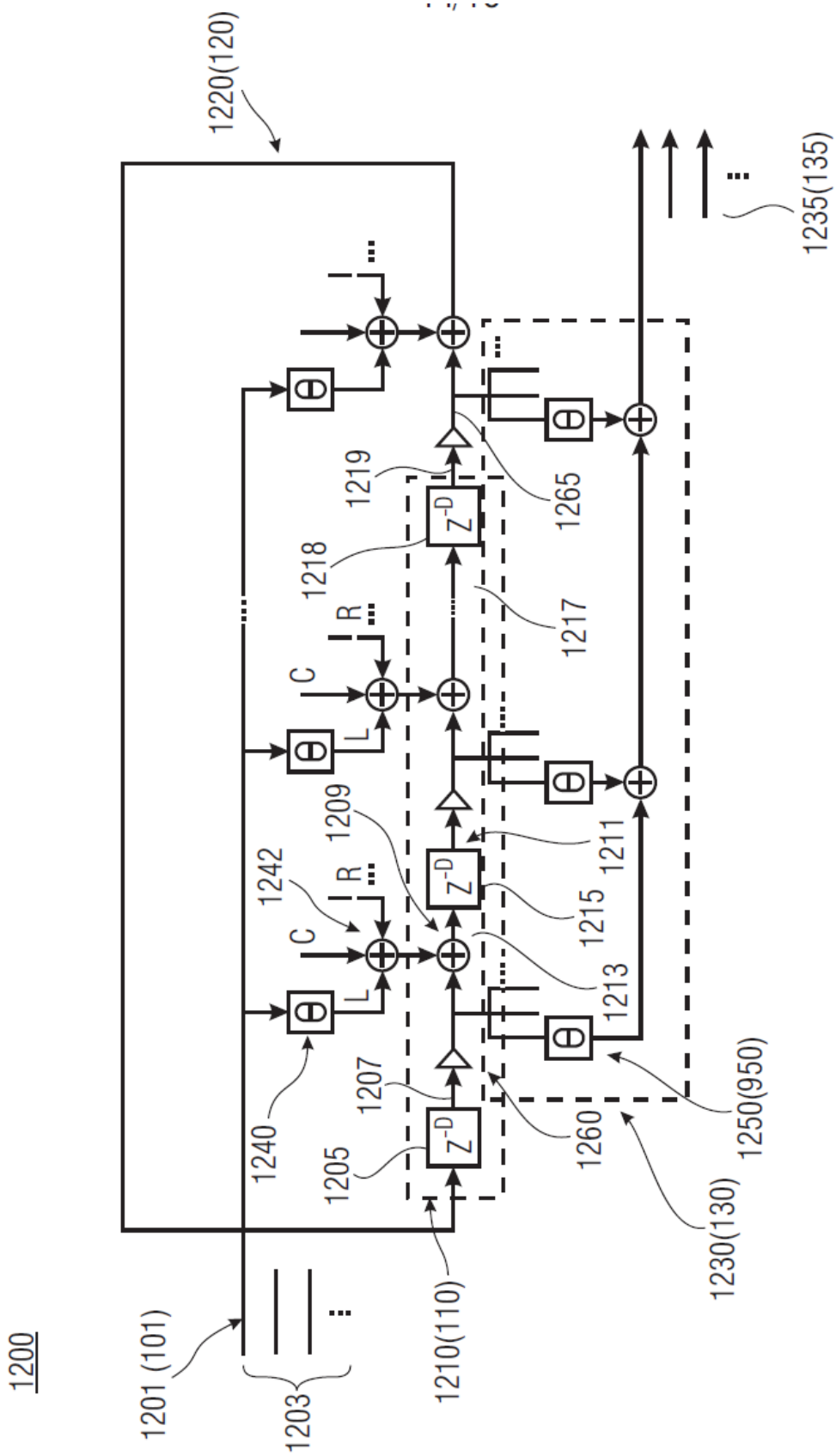


FIG 11D

FIG 11

(DIFERENTES UNIDADES DE MODIFICACIÓN DE FASE)



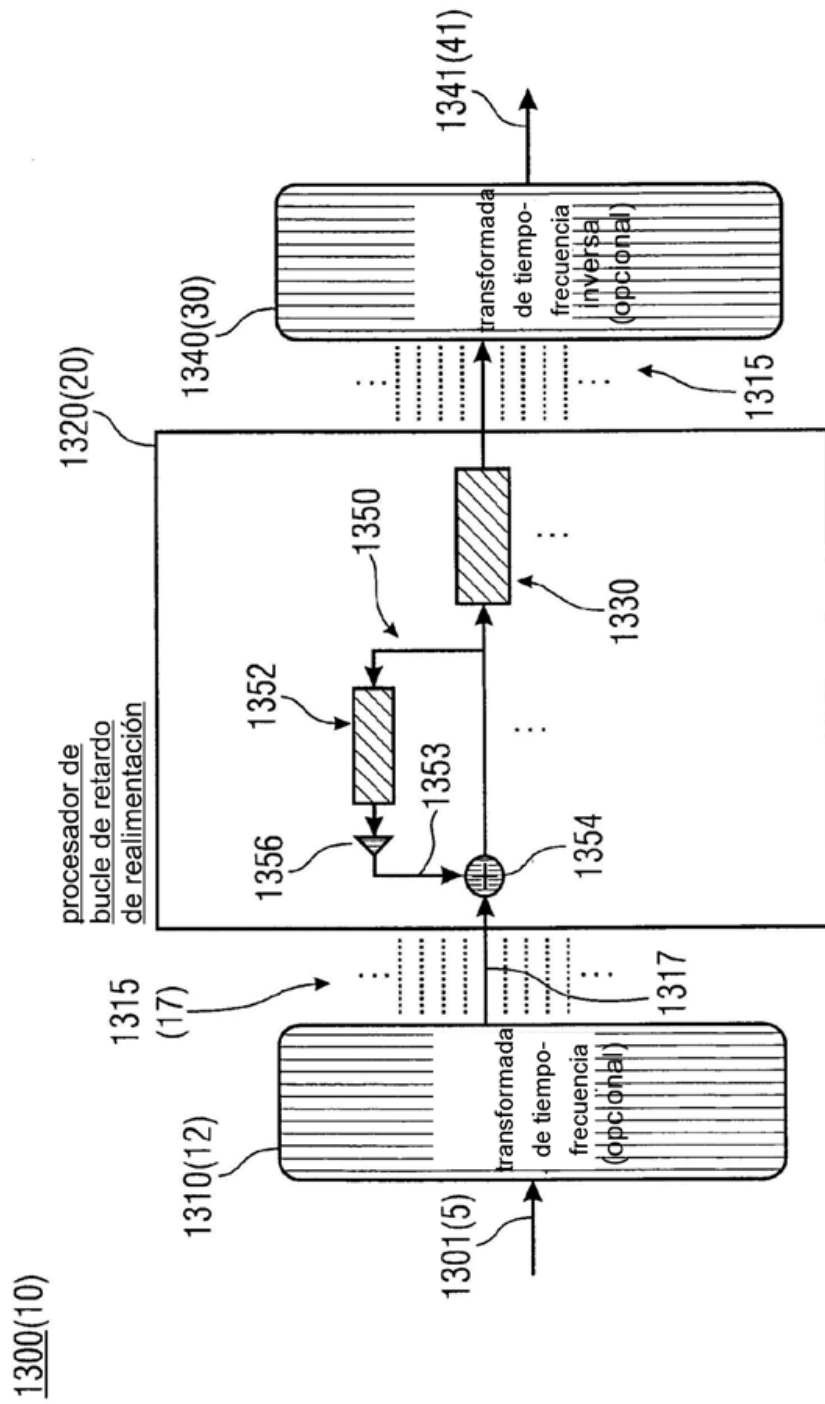


FIG 13
(ESTRUCTURA CONCEPTUAL DE UN REVERBERADOR)

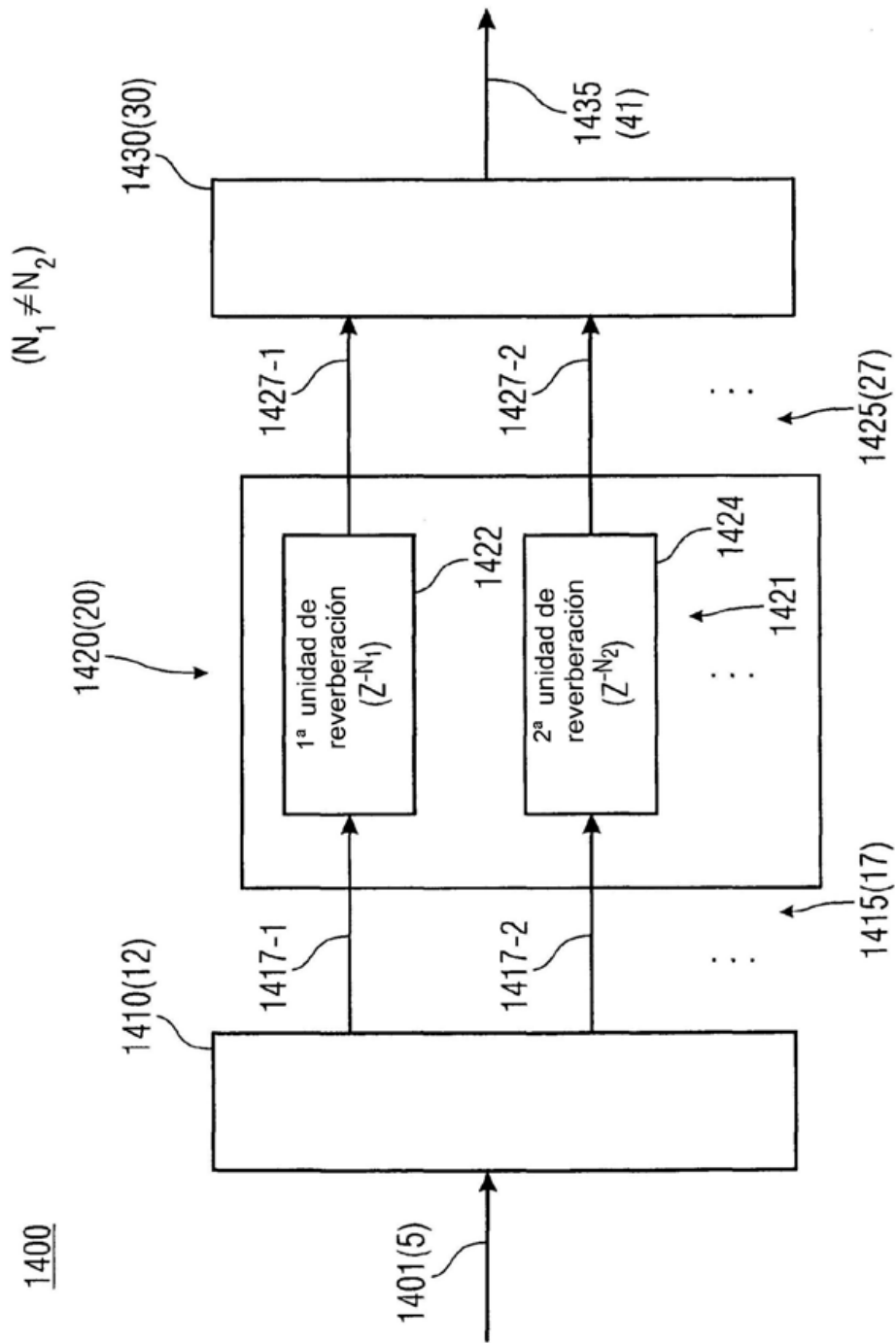


FIG 14

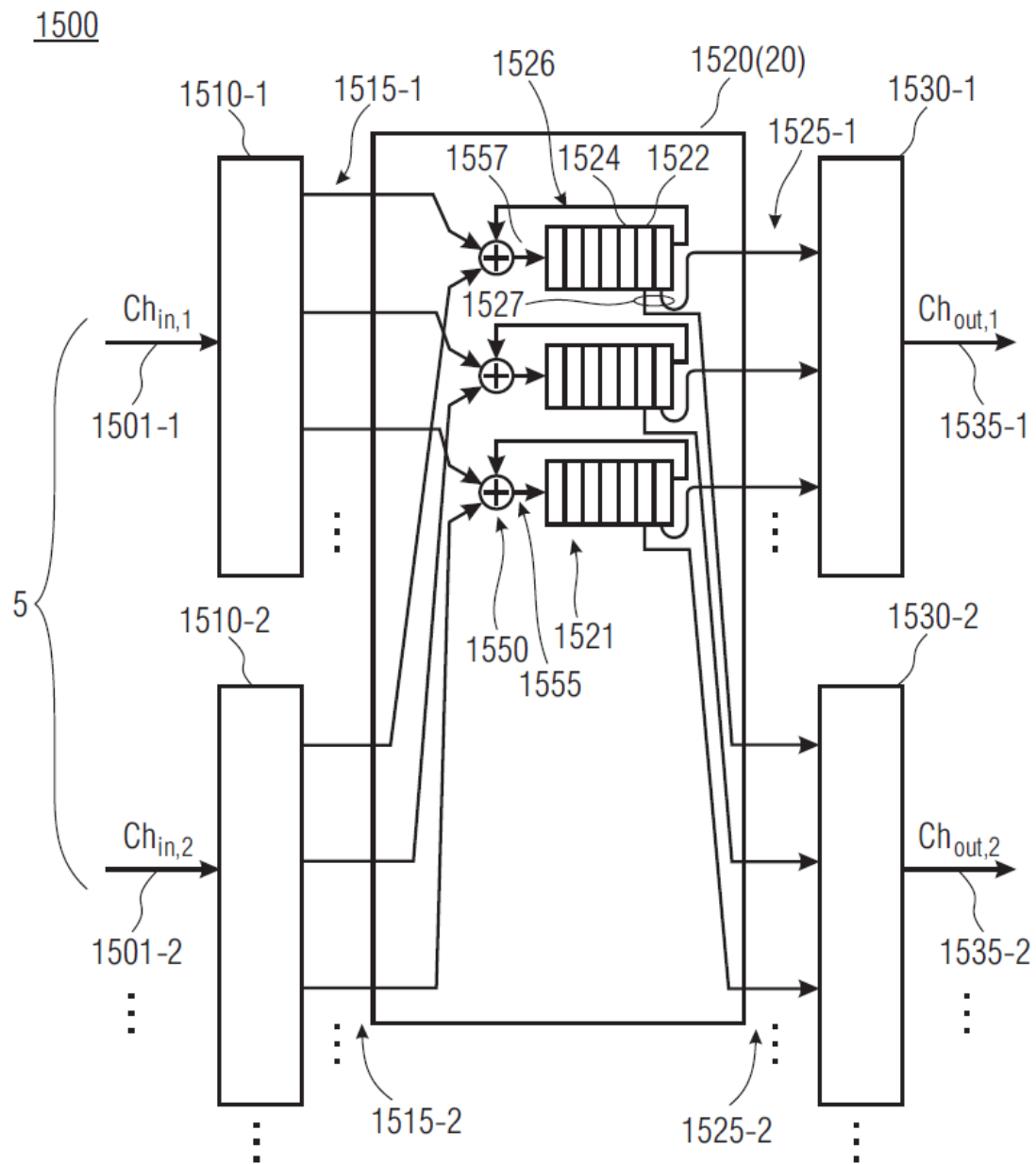


FIG 15

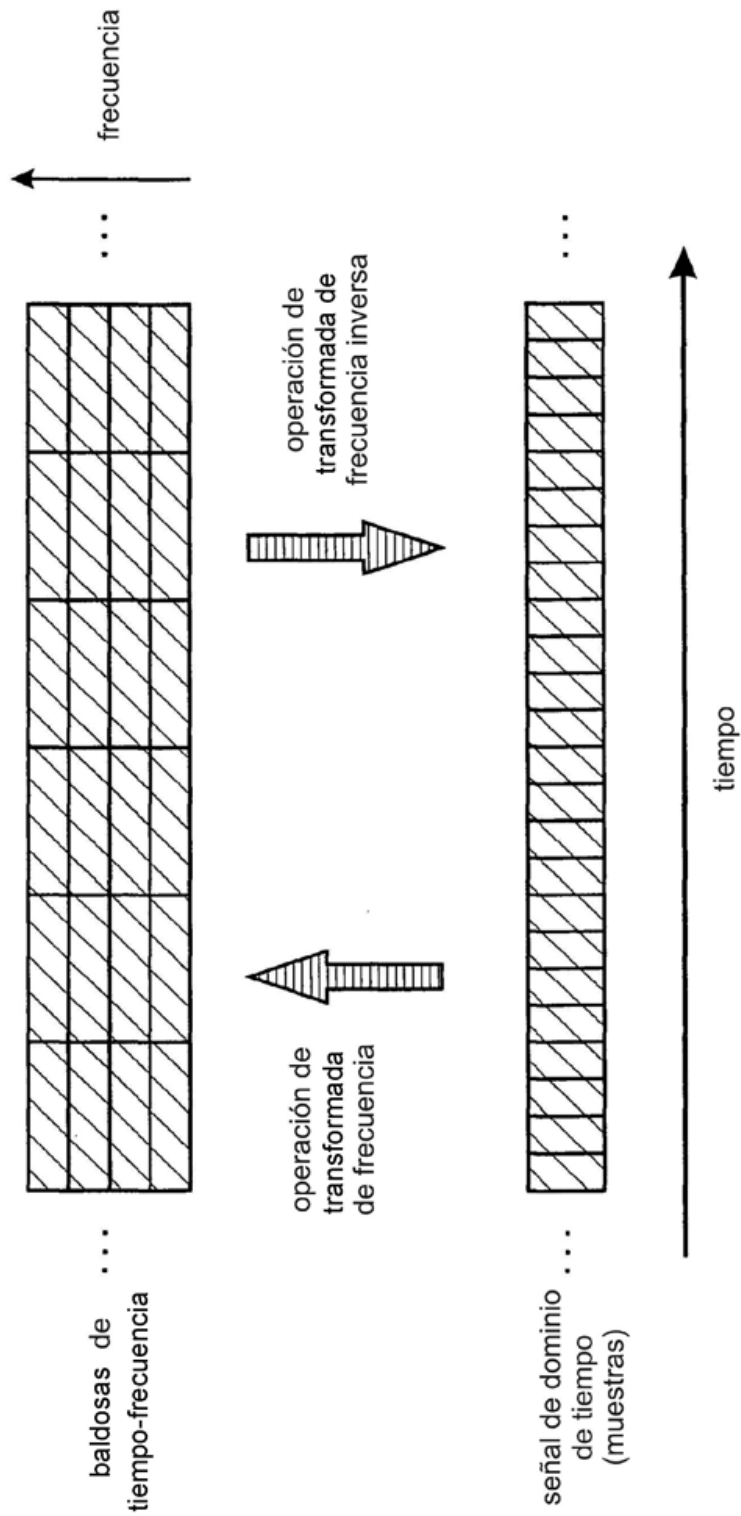


FIG 16

(ILUSTRACIÓN ESQUEMÁTICA DE UNA REPRESENTACIÓN DE TRANSFORMADA DE TIEMPO-FRECUENCIA A CORTO PLAZO CONTINUA)