

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 544 946**

51 Int. Cl.:

G10L 19/008 (2013.01)

H04S 5/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.10.2005 E 05807484 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.06.2015 EP 1808047**

54 Título: **Decodificación de señal de audio multicanal usando señales de-correlacionadas**

30 Prioridad:

02.11.2004 SE 0402649

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.09.2015

73 Titular/es:

DOLBY INTERNATIONAL AB (50.0%)
Apollo Building, 3E, Herikerbergweg 1-35
1101 CN Amsterdam Zuid-Oost, NL y
KONINKLIJKE PHILIPS N.V. (50.0%)

72 Inventor/es:

PURNHAGEN, HEIKO;
ENGDEGARD, JONAS;
BREEBAART, JEROEN y
SCHUIJERS, ERIK

74 Agente/Representante:

ARIZTI ACHA, Mónica

ES 2 544 946 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).

Decodificación de señal de audio multicanal usando señales de-correlacionadas
DESCRIPCIÓN

5 La presente invención se refiere a codificación de señales de audio multi-canal usando parámetros espaciales y en particular a nuevos conceptos mejorados para generar y usar señales de-correlacionadas.

10 En la actualidad, las técnicas de reproducción de audio multi-canal se están haciendo más y más importantes. En vista de una transmisión eficaz de señales de audio multi-canal que tengan 5 o más canales de audio separados, se han desarrollado varias maneras de comprimir una señal estéreo o multi-canal. Enfoques recientes para la codificación paramétrica de señales de audio multi-canal (estéreo paramétrico (PS), "Codificación de Indicación Binaural" (BCC) etc.) representan una señal de audio multi-canal por medio de una señal de sub-mezcla (podría ser monofónica o comprender varios canales) e información de lado paramétrico, también denominada como "indicaciones espaciales", que caracterizan su etapa de sonido espacial percibido.

15 Un dispositivo de codificación multi-canal generalmente recibe - como entrada - al menos dos canales, y emite uno o más canales de portadora y datos paramétricos. Los datos paramétricos se obtienen de manera que, en un decodificador, puede calcularse una aproximación de la señal multi-canal original. Normalmente, el canal (canales) de portadora incluirá muestras de sub-banda, coeficientes espectrales, muestras de dominio de tiempo, etc., que proporcionan una representación comparativamente precisa de la señal subyacente, mientras que los datos paramétricos no incluyen tales muestras de coeficientes espectrales pero incluyen parámetros de control para controlar un cierto algoritmo de reconstrucción en su lugar. Una reconstrucción de este tipo podría comprender la ponderación mediante multiplicación, desplazamiento de tiempo, desplazamiento de frecuencia, desplazamiento de fase, etc. Por lo tanto, los datos paramétricos incluyen únicamente una representación comparativamente aproximada de la señal o del canal asociado.

25 La técnica codificación de indicación binaural (BCC) se describe en un número de publicaciones, como en "Binaural Cue Coding applied to Stereo and Multi-Channel Audio Compression", C. Faller, F. Baumgarte, AES convention artículo 5574, mayo de 2002, Múnich, en las publicaciones del 2 ICASSP "Estimation of auditory spatial cues for binaural cue coding", y "Binaural cue coding: a normal and efficient representation of spatial audio", ambas escritas por C. Faller, y F. Baumgarte, Orlando, FL, mayo de 2002.

30 En la codificación BCC, un número de canales de entrada de audio se convierten a una representación espectral usando una DFT (Transformada Discreta de Fourier) basada en la transformación con ventanas solapantes. El espectro uniforme resultante a continuación se divide en particiones no solapantes. Cada partición tiene un ancho de banda proporcional al ancho de banda rectangular equivalente (ERB). A continuación, los parámetros espaciales denominados ICLD (Diferencia de Nivel Inter-Canal) e ICTD (Diferencia de Tiempo Inter-Canal) se estiman para cada partición. El parámetro ICLD describe una diferencia de nivel entre dos canales y el parámetro ICTD describe la diferencia de tiempo (desplazamiento de fase) entre dos señales de canales diferentes. Las diferencias de nivel y las diferencias de tiempo se proporcionan normalmente para cada canal con respecto a un canal de referencia.

35 Después de la derivación de estos parámetros, los parámetros se cuantifican y finalmente se codifican para la transmisión.

40 Aunque los parámetros ICLD y ICTD representan los parámetros de localización de fuente de sonido más importantes, una representación espacial que use estos parámetros puede mejorarse introduciendo parámetros adicionales.

45 Una técnica relacionada, denominada "estéreo paramétrico" describe la codificación paramétrica de una señal estéreo de dos canales basándose en una señal mono transmitida más información del lado de parámetro. En este contexto, se introducen 3 tipos de parámetros espaciales, denominados como diferencia de intensidad inter-canal (IID), diferencias de fase inter-canal (IPD) y coherencia inter-canal (ICC). El alcance del parámetro espacial establecido con un parámetro de coherencia (parámetro de correlación) posibilita una parametrización de la "difusión" espacial percibida o "compacidad" espacial de la etapa de sonido. El estéreo paramétrico se describe en más detalle en: "Parametric Coding of stereo audio", J. Breebaart, S. van de Par, A. Kohlrausch, E. Schuijers (2005) Eurasip, J. Applied Signal Proc. 9, páginas 1305-1322", en "High-Quality Parametric Spatial Audio Coding at Low Bitrates", J. Breebaart, S. van de Par, A. Kohlrausch, E. Schuijers, AES 116th Convention, preimpresión 6072, Berlín, mayo de 2004, y en "Low Complexity Parametric Stereo Coding", E. Schuijers, J. Breebaart, H. Purnhagen, J. Engdegard, AES 116th Convention, preimpresión 6073, Berlín, mayo de 2004.

50 La presente invención se refiere a codificación paramétrica de las propiedades espaciales de una señal de audio. Los decodificadores de audio multi-canal paramétricos reconstruyen N canales basándose en M canales transmitidos, donde $N > M$, y datos de control adicional. Los datos de control adicional representan una velocidad de datos significativamente inferior a transmitir todos los N canales, haciendo la codificación muy eficaz mientras que al mismo tiempo asegura la compatibilidad con al menos tanto dispositivos de M canales como dispositivos de N canales. Los parámetros típicos usados para describir propiedades espaciales son diferencias de intensidad inter-

canal (IID), diferencias de tiempo inter-canal (ITD) y coherencias inter-canal (ICC). Para reconstruir las propiedades espaciales basándose en estos parámetros, se requiere un método que pueda reconstruir el nivel correcto de correlación entre dos o más canales, de acuerdo con los parámetros IC. Esto se consigue por medio de un método de de-correlación, es decir, un método para obtener señales decorrelacionadas desde señales transmitidas para
 5 combinar señales decorrelacionadas con señales transmitidas en algún proceso de premezcla. Los métodos para premezclar basándose en una señal transmitida, una señal decorrelacionada y parámetros de IID/ICC se describen en las referencias anteriormente proporcionadas.

Existen un par de métodos disponibles para creación de señales de-correlacionadas. Preferentemente, las señales decorrelacionadas tienen envolventes temporales y espectrales similares o iguales a las señales de entrada originales. Idealmente, se desea una función invariante en el tiempo lineal (LTI) con respuesta de frecuencia de paso-todo. Un método evidente para conseguir esto es usar un retardo constante. Sin embargo, usar un retardo, o cualquier otra función LTI paso-todo, dará como resultado respuesta no paso-todo después de la adición de la señal no procesada. En el caso de un retardo, el resultado será típicamente filtro de peine. El filtro de peine a menudo
 10 proporciona un sonido "metálico" indeseable que, incluso aunque el efecto de ampliación de estéreo puede ser eficaz, reduce mucha naturaleza del original. El método de retardo constante y otros métodos de la técnica anterior sufren de la incapacidad para crear más de una señal de-correlacionada mientras conservan la calidad y la de-correlación mutua.

La calidad perceptual de una señal de audio multi-canal reconstruida por lo tanto depende fuertemente de un concepto eficaz que permite la generación de una señal de-correlacionada desde una señal transmitida, en el que idealmente la señal de-correlacionada es ortogonal a la señal desde la que se obtiene, es decir perfectamente de-correlacionada. Incluso si está disponible una señal perfectamente de-correlacionada, no puede obtenerse una premezcla multi-canal en la que los canales individuales se de-correlacionan mutuamente usando una única señal
 20 de-correlacionada. Durante la premezcla se genera un canal de audio reconstruido combinando una señal transmitida con la señal de-correlacionada generada, mientras que el alcance al que la señal de-correlacionada se mezcla a la señal transmitida se controla típicamente mediante un parámetro de audio espacial (ICC) transmitido. No pueden conseguirse por lo tanto señales de-correlacionadas mutuamente de manera perfecta, puesto que cada canal de audio reconstruido tiene una fracción de la misma señal de-correlacionada.

Ya que la reconstrucción multi-canal gana más y más interés, se conoce un número de publicaciones en relación con esta materia. Por ejemplo, la solicitud de patente internacional N° WO2005/101370 A1 se refiere a un aparato para la generación de un parámetro de nivel para generar una representación multi-canal a partir de al menos un canal de submezcla obtenido a partir de una señal multi-canal. A medida que se requiere la conservación de la energía durante premezcla y submezcla, se calcula un parámetro de nivel adicional de manera que la energía del canal de submezcla, cuando se pondera mediante el parámetro de nivel, se hace igual a la suma de energías de los canales originales de la señal multi-canal. Como tal, pueden usarse algoritmos de submezcla apropiados sin tener que asegurar la conservación de energía en el lado del codificador mientras que se submezcla la señal multi-canal en el al menos un canal submezclado.
 30

La publicación G. Potard, I. Burnett: "Decorrelation techniques for the rendering of apparent sound source width in 3D audio displays" proceedings of the 7th International Conference on Digital Audio Effects DAFX04, 5 de octubre de 2004 (05-10-2004), se refiere a los principios para representar fuentes de sonido en pantallas de audio de 3D y en particular dos técnicas que usan decorrelación como un medio para disminuir la Correlación-cruzada Interaural, que tiene un impacto directo en el alcance de la fuente percibida. Adicionalmente, se describen técnicas para variar la decorrelación con tiempo y con frecuencia, que permite crear variaciones temporales y espectrales en el alcance espacial de las fuentes de sonido.
 40

Adicionalmente, la publicación Breebaart J. et al: "High-quality parametric spatial audio coding at low bitrates" preimpresiones de artículos presentados en la AES Convention el 8 de mayo de 2004 (08-05-2004), describe un esquema de codificación denominado codificación de indicación binaural que transmite dos indicaciones de localización de sonido perceptualmente relevantes junto con una submezcla mono de una señal de audio original que tiene al menos dos canales. En el documento, se describe particularmente que la calidad perceptual de una señal reconstruida puede mejorarse cuando se transmite un parámetro de coherencia (IC), que describe la correlación entre dos canales de la señal original.
 50

Es el objeto de la presente invención proporcionar un concepto más eficaz para creación de señales altamente de-correlacionadas.

Este objeto se consigue mediante un aparato de acuerdo con la reivindicación 1 o un método de acuerdo con la reivindicación 10 o un programa informático de acuerdo con la reivindicación 13.
 60

La presente invención está basada en el hallazgo de que una señal multi-canal que tiene al menos tres canales puede reconstruirse de manera que los canales reconstruidos están al menos parcialmente de-correlacionados entre

5 sí usando una señal submezclada obtenida desde una señal multi-canal original y un conjunto de señales decorrelacionadas proporcionadas mediante un de-correlador que obtiene el conjunto de señales de-correlacionadas desde la señal de submezcla, en el que las señales de-correlacionadas en el conjunto de señales de-correlacionadas son mutuamente de manera aproximada ortogonales entre sí, es decir se satisface una relación de ortogonalidad entre pares de canales en un intervalo de tolerancia de ortogonalidad.

10 Un intervalo de tolerancia de ortogonalidad puede obtenerse por ejemplo a partir del coeficiente de correlación cruzada que cuantifica el grado de correlación entre dos señales. Un coeficiente de correlación cruzada de 1 significa correlación perfecta, es decir dos señales idénticas. Por otro lado, un coeficiente de correlación cruzada de 0 significa anticorrelación perfecta u ortogonalidad de las señales. El intervalo de tolerancia de ortogonalidad, por lo tanto, puede definirse como el intervalo de valores de coeficiente de correlación que varían desde 0 a un límite superior específico.

15 Por lo tanto, la presente invención se refiere, y proporciona una solución, al problema de generar eficazmente una o más señales ortogonales mientras que conserva las propiedades de impulso y calidad de audio percibida.

20 En una realización de la presente invención se implementa un filtro en celosía IIR como un de-correlador que tiene coeficientes de filtro obtenidos desde secuencias de ruido, y el filtrado se realiza en un banco de filtros con valores complejos o con valores reales.

En una realización de la presente invención, un método para reconstruir una señal multi-canal incluye un método para crear varias señales ortogonales o cercanas a la ortogonalidad usando un grupo de filtros en celosía IIR.

25 En una realización adicional de la presente invención, el método para crear varias señales ortogonales es tener un método para elegir coeficientes de filtro para conseguir ortogonalidad o una aproximación de la ortogonalidad de una manera perceptualmente motivada.

30 En una realización adicional de la presente invención, se usa un grupo de filtros en celosía IIR en un banco de filtros con valores complejos durante la reconstrucción de la señal multi-canal.

En una realización adicional de la presente invención se implementa un método para crear una o más señales ortogonales o cerca de la ortogonalidad, usando uno o más filtros IIR paso-todo basándose en la estructura en celosía en un decodificador espacial.

35 En una realización adicional de la presente invención, la realización anteriormente descrita se implementa de manera que los coeficientes de filtro usados para el filtrado IIR están basados en secuencias de ruido aleatorio.

En una realización adicional de la presente invención, se añaden retardos de tiempo adicionales a los filtros usados.

40 En una realización adicional de la presente invención, el filtrado se procesa en un dominio de banco de filtros.

En una realización adicional de la presente invención, el filtrado se procesa en un banco de filtros con valores complejos.

45 En una realización adicional de la presente invención, las señales ortogonales creadas mediante el filtrado se mezclan para formar un conjunto de señales de salida.

50 En una realización adicional de la presente invención, la mezcla de las señales ortogonales es dependiente de datos de control transmitidos, suministrados adicionalmente a un decodificador inventivo.

En una realización adicional de la presente invención, un decodificador inventivo o un método de decodificación inventivo usa datos de control que contienen al menos un parámetro que indica una correlación cruzada deseada de al menos dos de las señales de salida generadas.

55 En una realización adicional de la presente invención, una señal envolvente de 5.1 canales se premezcla desde una señal monofónica transmitida obteniendo cuatro señales de-correlacionadas usando el concepto inventivo. La señal submezclada monofónica y las cuatro señales de-correlacionadas se mezclan a continuación juntas de acuerdo con algunas reglas de mezclado para formar la señal de salida de 5.1 canales. Por lo tanto se proporciona la posibilidad de generar señales de salida que están mutuamente de-correlacionadas, puesto que las señales usadas para la premezcla, es decir la señal monofónica transmitida y las cuatro señales de-correlacionadas generadas están principalmente de-correlacionadas debido a su generación inventiva.

60

En una realización adicional de la presente invención, se transmiten dos canales individuales como una submezcla de una señal de 5.1 canales. En una implementación, se obtienen dos señales mutuamente de-correlacionadas

adicionales usando el concepto inventivo para proporcionar cuatro canales como base para una premezcla que está casi perfectamente de-correlacionado. En una modificación de la realización anteriormente descrita se obtiene una tercera señal de-correlacionada y se mezcla con las otras dos señales de-correlacionadas para proporcionar una señal decorrelacionada adicional disponible para la premezcla posterior. Usando esta característica, la calidad perceptual puede mejorarse adicionalmente para canales individuales, por ejemplo el canal central de una señal envolvente 5.1.

En una realización adicional de la presente invención, se premezclan cinco canales de audio a partir de un canal transmitido monofónico antes de obtener, usando el concepto inventivo, cuatro señales de-correlacionadas que se combinan posteriormente con cuatro de los cinco canales premezclados anteriormente mencionados, que permite una creación de cinco canales de audio de salida que están principalmente de-correlacionados de manera mutua.

En una realización adicional de la presente invención, las señales de audio se retardan antes de o después de la aplicación del filtrado basado en el filtro IIR inventivo. El retado mejora adicionalmente la de-correlación de las señales generadas, y reduce la coloración cuando se mezclan las señales de-correlacionadas generadas con la señal submezclada original.

En una realización adicional de la presente invención, la generación de las señales de-correlacionadas se realiza en el dominio de subbanda de un banco de filtros (modulado complejo), en el que los coeficientes de filtro usados mediante el decorrelador se obtienen usando el índice de banco de filtro específico del banco de filtro para el que se obtienen las señales de-correlacionadas.

En una realización adicional de la presente invención, las señales de-correlacionadas se obtienen usando filtros IIR en celosía que realizan un filtrado paso-todo IIR en celosía de una señal de audio. Usar un filtro IIR en celosía tiene ventajas principales. Un decrecimiento exponencial de la respuesta de un filtro de este tipo, que es preferente para crear señales decorrelacionadas apropiadas, es una propiedad intrínseca de un filtro de este tipo. Adicionalmente, puede conseguirse una respuesta de pulso de decrecimiento larga deseada de un filtro usado para generar señales decorrelacionadas de una manera extremadamente eficaz en memoria y computacionalmente (baja complejidad) usando una estructura de filtro en celosía.

En una modificación de la realización anteriormente descrita los coeficientes de filtro (coeficientes de reflexión) usados se proporcionan por medio de proporcionar coeficientes de filtro obtenidos a partir de secuencias de ruido. En una modificación, los coeficientes de reflexión se calculan individualmente basándose en el índice de sub-banda de una subbanda, en la que se usa el filtro en celosía para obtener señales de-correlacionadas.

En una realización de la presente invención, las señales filtradas y la señal de entrada sin modificar se combinan mediante una matriz de mezcla D para formar un conjunto de señales de salida. La matriz de mezcla D define las correlaciones mutuas de las señales de salida, así como la energía de cada señal de salida. Las entradas (pesos) de la matriz de mezcla D son preferentemente variables en tiempo y dependientes de los datos de control transmitidos. Los parámetros de control preferentemente contienen (se desea) diferencias de nivel entre ciertas señales de salida y/o parámetros de correlación mutuos específicos.

En una realización adicional de la presente invención, un decodificador de audio inventivo está comprendido en un receptor de audio o dispositivo de reproducción para mejorar la calidad perceptual de una señal reconstruida.

Las realizaciones preferidas de la presente invención se describen posteriormente mediante los siguientes dibujos, en los que:

La Figura 1 muestra un diagrama de bloques de los conceptos de decodificación de audio inventivos;

La Figura 2 muestra un decodificador de la técnica anterior que no implementa los conceptos inventivos;

La Figura 3 muestra un decodificador de audio multi-canal 5.1 de acuerdo con la presente invención;

La Figura 4 muestra un decodificador de audio de 5.1 canales adicional de acuerdo con la presente invención;

La Figura 5 muestra un decodificador de audio inventivo adicional;

La Figura 6 muestra una realización adicional de un decodificador de audio multi-canal inventivo;

La Figura 7 muestra esquemáticamente la generación de una señal de-correlacionada;

La Figura 8 muestra un filtro IIR en celosía usado para generar una señal de-correlacionada;

La Figura 9 muestra un receptor o reproductor de audio que tiene un decodificador de audio inventivo; y

La Figura 10 muestra una transmisión que tiene un dispositivo receptor o reproductor que tiene un decodificador de audio inventivo.

5 Las realizaciones descritas a continuación son meramente ilustrativas de los principios de la presente invención para métodos avanzados para crear señales ortogonales. Se entiende que serán evidentes modificaciones y variaciones de las disposiciones y los detalles descritos en el presente documento para los expertos en la materia. Se pretende, por lo tanto, limitar únicamente mediante el alcance de las reivindicaciones de patente inminentes y no mediante los
10 detalles específicos presentados a modo de descripción y explicación de las realizaciones del presente documento.

La Figura 1 ilustra un aparato inventivo para la de-correlación de señales como se usa en un sistema estéreo paramétrico o multi-canal. El aparato inventivo incluye medios 101 para proporcionar una pluralidad de señales de-correlacionadas ortogonales obtenidas desde una señal de entrada 102. Los medios que proporcionan pueden ser un conjunto de filtros de de-correlación basándose en estructuras IIR en celosía. La señal de entrada 102 (x) puede ser una señal de dominio de tiempo o una señal de dominio de sub-banda única como por ejemplo obtenida a partir de un banco QMF complejo. Las señales emitidas mediante los medios 101, y_1 - y_N son las señales de-correlacionadas resultantes que son mutuamente ortogonales o cercanas a la ortogonalidad.

20 Ya que es vital para reconstruir las propiedades espaciales de un sistema estero paramétrico o multi-canal paramétrico para disminuir la coherencia entre dos o más canales para reconstruir la amplitud percibida de la imagen espacial, la señal de-correlacionada resultante puede usarse para crear una premezcla final de una señal multi-canal. Esto puede hacerse añadiendo versiones filtradas ($h_1(x)$) de la señal original (x) a los canales de salida. Por lo tanto, reduciendo la coherencia entre las N señales usando N filtros diferentes puede hacerse de acuerdo con:

$$\begin{aligned} y_1 &= a*x + b*h_1(x) \\ y_2 &= a*x + b*h_2(x) \\ &\dots \\ y_n &= a*x + b*h_n(x) \end{aligned}$$

donde x es la señal original, y_1 a y_n son las señales de salida resultantes, a y b son los factores de ganancia que controlan la cantidad de coherencia y h_1 a h_n son los diferentes filtros de correlación. En un sentido más general, uno puede escribir las señales de salida y_i ($i=1\dots I$) como una combinación lineal de la señal de entrada x y la señal de entrada x filtrada mediante los filtros h_n ($j=1\dots N$):

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_I \end{pmatrix} = D \begin{pmatrix} x \\ h_1(x) \\ \vdots \\ h_N(x) \end{pmatrix}$$

35 En este punto, la matriz de mezcla D determina las correlaciones mutuas y emite niveles de las señales de salida y_i .

Para evitar cambios en el timbre, el filtro en cuestión debería ser preferentemente de carácter paso-todo. Un enfoque satisfactorio es usar filtros paso-todo similares a aquellos usados para procesos de reverberación artificial. Los algoritmos de reverberación artificial normalmente requieren una alta resolución de tiempo para proporcionar una respuesta de impulso que es satisfactoriamente difusa en tiempo. Una manera de diseñar tales filtros de paso-todo es usar una secuencia de ruido aleatorio como respuesta de impulso. El filtro puede entonces implementarse fácilmente como un filtro FIR. Para conseguir un suficiente grado de independencia entre las salidas filtradas, la respuesta de impulso del filtro FIR debería ser relativamente larga, requiriendo por lo tanto una cantidad significativa de esfuerzo computacional para realizar la convolución. Un filtro IIR paso-todo se prefiere para ese fin. La estructura IIR tiene varias ventajas cuando se trata de diseñar los filtros de de-correlación:

a) El decaimiento exponencial natural que es común para toda la reverberación natural se desea para un filtro de de-correlación. Esto es una propiedad intrínseca de los filtros IIR.

50 b) Para respuestas de impulso de decaimiento largas de un filtro IIR, el filtro FIR correspondiente es generalmente más caro en términos de complejidad y requiere más memoria.

Sin embargo, diseñar filtros IIR paso-todo es menos insignificante que el caso FIR donde cualquier secuencia de ruido aleatorio califica como un vector de coeficiente. Una restricción de diseño cuando se dirigen múltiples filtros de de-correlación es también la capacidad requerida para conservar las mismas propiedades de decaimiento para

todos los filtros mientras que se proporcionan salidas ortogonales (es decir, unas respuestas de impulso de filtro que obedecen a sustancialmente baja correlación de manera mutua) de cada salida de filtro. También como un requisito básico - ha de conseguirse estabilidad.

5 La presente invención muestra un método novedoso para crear múltiples filtros paso-todo ortogonales por medio de una estructura de filtro IIR en celosía. Este enfoque tiene varias ventajas;

a) Complejidad inferior que los filtros FIR (dada la longitud requerida de las respuestas de impulso)
 b) Las restricciones de estabilidad pueden satisfacerse fácilmente, ya que esto se consigue automáticamente cuando los valores absolutos de las magnitudes de todos los coeficientes de reflexión son menos de uno.

c) Pueden diseñarse múltiples filtros paso-todo ortogonales más fácilmente con las mismas propiedades de decrecimiento basándose en secuencias de ruido aleatorio.

d) Alta robustez frente a errores de cuantificación debido a efectos de longitud de palabra finita.

Aunque los coeficientes de reflexión del filtro IIR en celosía pueden basarse en secuencias de ruido aleatorio, para mejor rendimiento estos coeficientes deberían ordenarse también de maneras más sofisticadas o procesarse mediante métodos no aleatorios para conseguir suficiente ortogonalidad y otras propiedades importantes. Un método sencillo es generar una multitud de vectores de coeficiente de reflexión aleatorios, seguido por una selección de un conjunto específico basándose en ciertos criterios, tales como una envolvente de decrecimiento común, minimización de todas las correlaciones de respuesta de impulso mutuas del conjunto seleccionado y similares.

Más específicamente, uno podría empezar con un gran conjunto de secuencias de ruido aleatorio. Cada una de estas secuencias se usa como coeficientes de reflexión en la sección paso todo. Posteriormente, la respuesta de impulso de la sección paso-todo resultante se calcula para cada secuencia de ruido aleatorio. Finalmente, uno selecciona aquellas secuencias de ruido que proporcionan respuestas de impulso mutuamente decorrelacionadas.

Existen grandes ventajas al basar el algoritmo de decorrelación en un banco de filtros (complejo) tal como el banco QMF con valor complejo. Este banco de filtros proporciona la flexibilidad para permitir las propiedades del de-correlador para que sea selectivo en frecuencia en términos de, por ejemplo, ecualización, tiempo de decrecimiento, densidad de impulso y timbre. Obsérvese que muchas de estas propiedades pueden alterarse mientras que se conserva la característica paso-todo. Existe mucho conocimiento relacionado con la percepción auditiva que guía el diseño de tal filtro IIR en celosía. Un aspecto importante es la longitud y forma de la envolvente de decrecimiento de la respuesta de impulso. También la necesidad de un pre-retardo adicional, opcionalmente dependiente de la frecuencia, es importante ya que este influencia enormemente qué tipo de característica de filtro de peine se obtendrá cuando se mezcle la señal de-correlacionada con la original. Para suficiente densidad de impulso el ruido basado en coeficientes de reflexión en el filtro en celosía debería ser preferentemente diferente para los canales del banco de filtro diferentes. Para incluso mejor densidad de impulso pueden usarse aproximaciones de retardo fraccionales en el banco de filtros.

La Figura 2 muestra una estructura de decodificación jerárquica para obtener una señal multi-canal para una señal de submezcla monofónica transmitida mediante cajas estéreo paramétricas posteriores, usando una única señal decorrelacionada. Revisando brevemente el enfoque de la técnica anterior, debe de nuevo motivarse el problema resuelto mediante la presente invención. El decodificador 110 de canal 1 a 3 mostrado en la Figura 2 comprende un decorrelador 112, un primer premezclador 114 estéreo paramétrico y un segundo premezclador 116 estéreo paramétrico.

Una señal de entrada 118 monofónica se introduce en el de-correlador 112 para obtener una señal de-correlacionada 120. Únicamente se obtiene una única señal de-correlacionada. El primer premezclador estéreo paramétrico recibe como una entrada la señal de submezcla 118 monofónica y la señal de-correlacionada 120. El primer premezclador 114 obtiene un canal central 122 y un canal combinado 124 mezclando la señal de submezcla 118 monofónica y la señal de-correlacionada 120 usando un parámetro de correlación 126, que dirige la mezcla de los canales.

El canal combinado 124 se introduce a continuación en el segundo premezclador 116 estéreo paramétrico, que crea el segundo nivel jerárquico del decodificador de audio. El segundo premezclador 116 estéreo paramétrico recibe adicionalmente la señal de-correlacionada 120 como una entrada y obtiene un canal izquierdo 128 y un canal derecho 130 mezclando el canal combinado 124 y la señal de-correlacionada 120.

Es principalmente factible generar un canal central 122 que se de-correlaciona perfectamente desde el canal combinado 124, cuando el de-correlador 112 puede obtener una señal de-correlacionada que es completamente ortogonal a la señal de submezcla 118 monofónica. Podría conseguirse decorrelación casi perfecta cuando la información de dirección 126 indica una premezcla, en la que cada canal premezclado tiene principalmente un

componente de señal que proviene de la señal de-correlacionada 120 o desde la señal de submezcla 118 monofónica. Puesto que, sin embargo, la misma señal de-correlacionada 120 se usa a continuación para obtener el canal izquierdo 128 y el canal derecho 130, es evidente, que esto dará como resultado una correlación restante entre el canal central 122 y uno de los canales 128 o 130.

5 Esto se hace incluso más evidente cuando se examina el caso extremo en el que un canal izquierdo 128 completamente de-correlacionado y el canal derecho 130 deben obtenerse desde una señal de-correlacionada 120 que se supone que es perfectamente ortogonal a la señal de submezcla monofónica. La decorrelación perfecta entre el canal izquierdo 128 y el canal derecho 130 puede conseguirse, cuando el canal combinado 124 soporta información en el canal de submezcla 118 monofónico únicamente, que significa simultáneamente que el canal central 122 está comprendido principalmente de la señal de-correlacionada 112. Por lo tanto, un canal izquierdo 128 de-correlacionado y el canal derecho 130 significaría que uno de los canales comprende principalmente la información sobre la señal de-correlacionada 120 y el otro canal comprendería principalmente la señal combinada 124, que entonces es idéntica a la señal submezcla 118 monofónica. Por lo tanto la única manera de que se de-correlacionen completamente los canales izquierdo o derecho fuerza una correlación casi perfecta entre el canal central 122 y uno de los canales 128 o 130.

Esta propiedad muy indeseada puede evitarse satisfactoriamente aplicando el concepto inventivo de generar señales-decorrelacionadas diferentes y mutuamente ortogonales.

20 La Figura 3 muestra una realización de un decodificador de audio 400 multi-canal inventivo que comprende una matriz de pre-correlador 401, un de-correlador 402 y una matriz de mezcla 403. El decodificador inventivo 400 muestra una configuración 1 a 5, donde cinco canales de audio y un canal de mejora de baja frecuencia se obtienen desde una señal de submezcla 405 monofónica y de los datos de control espacial adicionales, tales como parámetros de ICC o ICLD. Estos no se muestran en el dibujo principal en la Figura 3. La señal de submezcla 405 monofónica se introduce en la matriz de pre-de-correlador 401 que obtiene cuatro señales intermedias 406 que sirven como una entrada para el de-correlador 402, que comprende cuatro de-correladores inventivos h_1-h_4 . Estos suministran cuatro señales 408 mutuamente de-correlacionadas ortogonales en la salida del de-correlador 402.

30 La matriz de mezcla 403 recibe como una entrada las cuatro señales 408 mutuamente de-correlacionadas ortogonales y además una señal de submezcla 410 obtenida desde la señal de submezcla 405 monofónica mediante la matriz de pre-de-correlador 401.

35 La matriz de mezcla 403 combina la señal monofónica 410 y las cuatro señales de-correlacionadas 408 para producir una señal de salida 412 5.1 que comprende un canal delantero-izquierdo 414a, un canal envolvente-izquierdo 414b, un canal delantero-derecho 414c, un canal envolvente-derecho 414d, un canal central 414e y un canal de mejora de baja frecuencia 414f.

40 Es importante observar que la generación de cuatro señales 408 mutuamente de-correlacionadas ortogonales posibilita la capacidad de obtener cinco canales de la señal de canal 5.1 que están al menos parcialmente de-correlacionados. En una realización preferida de la presente invención, estos son los canales 414a a 414e. El canal de mejora de baja frecuencia 414f comprende partes de baja frecuencia de la señal multi-canal, que se combinan en un único canal de baja frecuencia para todos los canales envolventes 414a a 414e.

45 La Figura 4 muestra un decodificador inventivo 2 a 5 para obtener una señal envolvente de canal 5.1 desde dos señales transmitidas.

50 El decodificador de audio 500 multi-canal comprende una matriz de pre-de-correlador 501, un de-correlador 502 y una matriz de mezcla 503. En la configuración 2 a 5, dos canales transmitidos, 505a y 505b se introducen en la matriz de pre-de-correlador que obtiene un canal izquierdo intermedio 506a, un canal derecho intermedio 506b y un canal central intermedio 506c y dos canales intermedios 506d desde los canales presentados 505a y 505b, opcionalmente también usando datos de control adicionales tales como parámetros de ICC y ICLD.

55 Los canales intermedios 506d se usan como entrada para el de-correlador 502 que obtiene dos señales de-correlacionadas mutuamente ortogonales o casi ortogonales que se introducen en la matriz de mezcla 503 junto con el canal izquierdo intermedio 506a, el canal derecho intermedio 506b y el canal central intermedio 506c.

60 La matriz de mezcla 503 obtiene la señal de audio 508 de 5.1 canales final desde las señales anteriormente mencionadas, en las que los canales de audio finalmente obtenidos tienen las mismas propiedades ventajosas como ya se han descrito para los canales obtenidos mediante el decodificador 400 de audio multi-canal 1 a 5.

La Figura 5 muestra una realización adicional de la presente invención, que combina las características de los decodificadores de audio 400 y 500 multi-canal. El decodificador de audio 600 multi-canal comprende una matriz de pre-de-correlación 601, un de-correlador 602 y una matriz de mezcla 603. El decodificador de audio 600 multi-canal

es un dispositivo flexible que permite operar en diferentes modos dependiendo de la configuración de las señales de entrada 605 introducidas en el pre-de-correlador 601. En general, el pre-de-correlador obtiene señales intermedias 607 que sirven como entrada para el de-correlador 602 y que se transmiten y alteran parcialmente para crear parámetros de entrada 608. Los parámetros de entrada 608 son los parámetros introducidos en la matriz de mezcla 603 que obtiene configuraciones 610a o 610b de canal de salida que dependen de la configuración de canal de entrada.

En una configuración 1 a 5, una señal de submezcla y una señal residual opcional se suministran a la matriz de pre-de-correlador, que obtiene cuatro señales intermedias (e_1 a e_4) que se usan como una entrada del de-correlador, que obtiene cuatro señales de-correlacionadas (d_1 a d_4) que forman los parámetros de entrada 608 junto con una señal transmitida directamente m obtenida desde la señal de entrada.

Puede observarse, que en el caso donde se suministre una señal residual adicional como entrada, el de-correlador 602 que es generalmente operativo en un dominio de sub-banda, puede ser operativo para reenviar la señal residual en lugar de obtener una señal de-correlacionada. Esto puede hacerse también de una manera selectiva para únicamente ciertas bandas de frecuencia.

En la configuración 2 a 5 las señales de entrada 605 comprenden un canal izquierdo, un canal derecho y opcionalmente una señal residual. En esa configuración, la matriz de pre-de-correlador obtiene un canal izquierdo, uno derecho y un canal central y además dos canales intermedios (e_1 , e_2). Por lo tanto, los parámetros de entrada a la matriz de mezcla 603 se forman mediante el canal izquierdo, el canal derecho, el canal central y dos señales de-correlacionadas (d_1 y d_2). En una modificación adicional, la matriz de pre-de-correlador puede obtener una señal intermedia adicional (e_5) que se usa como una entrada para un de-correlador (D_5) cuya salida es una combinación de la señal de-correlacionada (d_5) obtenida desde la señal (e_5) y las señales de-correlacionadas (d_1 y d_2). En este caso, puede garantizarse una de-correlación adicional entre el canal central y el canal izquierdo y el derecho.

La Figura 6 muestra una realización adicional de la presente invención, en la que se combinan las señales de-correlacionadas con canales de audio individual después del proceso de premezcla. En esta realización alternativa, un canal de audio 620 monofónico se premezcla mediante un premezclador 624, en el que la premezcla puede controlarse mediante datos 622 de control adicionales. Los canales de premezcla 630 comprenden cinco canales de audio que están correlacionados entre sí, y denominados comúnmente como canales secos. Los canales finales 632 pueden obtenerse combinando cuatro de los canales secos 630 con señales de-correlacionadas mutuamente ortogonales. Como resultado, es posible proporcionar cinco canales que están al menos parcialmente de-correlacionados entre sí. Con respecto a la Figura 3, esto puede observarse como un caso especial de una matriz de mezcla.

La Figura 7 muestra un diagrama de bloques de un de-correlador 700 inventivo para proporcionar una señal de-correlacionada. El de-correlador 700 comprende una unidad de pre-retardo 702 y una unidad de de-correlación 704.

La señal de entrada 706 se introduce en la unidad de pre-retardo 702 para retardar la señal 706 durante un tiempo predeterminado. La salida de la unidad de pre-retardo 702 está conectada a la unidad de de-correlación 704 para obtener una señal de-correlacionada 708 como una salida del de-correlador 700.

En una realización preferida de la presente invención, la unidad de de-correlación 704 comprende un filtro paso-todo IIR en celosía. En una variación opcional del de-correlador 700, los coeficientes de filtro (coeficientes de reflexión) se introducen en la unidad de de-correlación 704 por medio de un proveedor de coeficientes de filtro 710. Cuando el de-correlador 700 inventivo se opera en una sub-banda de filtrado (por ejemplo, en un banco de filtros QMF), el índice de sub-banda de la señal de sub-banda actualmente procesada puede introducirse adicionalmente en la unidad de de-correlación 704. En ese caso, en una modificación adicional de la presente invención, diferentes coeficientes de filtro de la unidad de de-correlación 704 pueden aplicarse o calcularse basándose en el índice de sub-banda proporcionado.

La Figura 8 muestra un filtro de IIR en celosía como se usa preferentemente para generar las señales de-correlacionadas.

El filtro 800 de IIR mostrado en la Figura 8 recibe como una entrada una señal de audio 802 y obtiene como una salida 804 una versión de-correlacionada de la señal de entrada. Una gran ventaja usando un filtro en celosía IIR es que la respuesta de impulso de decrecimiento exponencial requerida para obtener una señal de-correlacionada apropiada proviene sin costes adicionales, puesto que esta es una propiedad intrínseca del filtro IIR en celosía. Se ha de observar, que es necesario tener coeficientes de filtro $k(0)$ a $k(M-1)$ cuyos valores absolutos son más pequeños que la unidad para conseguir la estabilidad requerida del filtro. Adicionalmente, pueden diseñarse múltiples filtros paso-todo ortogonales más fácilmente basándose en filtros IIR en celosía que es una principal ventaja para el concepto inventivo de obtener múltiples señales de-correlacionadas a partir de una única señal de entrada, en la que las diferentes señales de-correlacionadas obtenidas deben de-correlacionarse casi perfectamente

u ortogonalizarse entre sí.

Pueden encontrarse más detalles sobre el diseño y las propiedades de los filtros en celosía paso-todo en "Adaptive Filter Theory", Simon Haykin, ISBN 0-13-090126-1, Prentice-Hall, 2002.

5 La Figura 9 muestra un receptor inventivo o reproductor de audio 900, que tiene un decodificador de audio 902 inventivo, una entrada 904 de flujo de bits y una salida de audio 906.

10 Un flujo de bits puede introducirse en la entrada 904 del receptor/reproductor de audio 900 inventivo. El flujo de bits se decodifica a continuación mediante el decodificador 902 y la señal decodificada se emite o reproduce en la salida 906 del receptor/reproductor de audio 900 inventivo.

La Figura 10 muestra un sistema de transmisión que comprende un transmisor 908 y un receptor 900 inventivo.

15 La señal de audio introducida en una interfaz de entrada 910 del transmisor 908 se codifica y transfiere desde la salida del transmisor 908 a la entrada 904 del receptor 900. El receptor decodifica la señal de audio y reproduce o emite la señal de audio en su salida 906.

20 La presente invención se refiere a la codificación de representaciones multi-canal de señales de audio que usan parámetros espaciales. La presente invención enseña nuevos métodos para de-correlacionar señales para reducir la coherencia entre los canales de salida. No hace falta decir que aunque el nuevo concepto para crear múltiples señales de-correlacionadas es extremadamente ventajoso en un decodificador de audio inventivo, el concepto inventivo puede usarse también en cualquier otro campo técnico que requiera la generación eficaz de tales señales.

25 Aunque la presente invención se ha detallado en el decodificador de audio multi-canal que realiza una premezcla en una única etapa de premezclado, la presente invención puede incorporarse por supuesto también en decodificadores de audio que están basados en una estructura de decodificación jerárquica, tal como por ejemplo se muestra en la Figura 2.

30 Aunque las realizaciones anteriormente descritas describen principalmente la obtención de señales decorrelacionadas a partir de una única señal de submezcla, no hace falta decir que puede usarse también más de un canal de audio como entrada para los decorreladores o la matriz de pre-decorrelación, es decir que la señal de submezcla puede comprender más de un canal de audio submezclado.

35 Adicionalmente, el número de señales de-correlacionadas obtenidas a partir de una única señal de entrada es básicamente ilimitado, puesto que el orden de filtro de los filtros en celosía puede variarse sin limitación y, puesto que es posible hallar un nuevo conjunto de coeficientes de filtro que obtengan una señal de-correlacionada que es ortogonal o principalmente ortogonal a otras señales en el conjunto.

40 Dependiendo de ciertos requisitos de implementación de los métodos inventivos, los métodos inventivos pueden implementarse en hardware o en software. La implementación puede realizarse usando un medio de almacenamiento digital, en particular un disco, DVD o un CD que tiene señales de control electrónicamente legibles almacenadas en el mismo, que cooperan con un sistema informático programable de manera que los métodos inventivos se realizan. En general, la presente invención es, por lo tanto, un producto de programa informático con un código de programa almacenado en un soporte legible por máquina, siendo el código de programa operativo para realizar los métodos inventivos cuando el producto de programa informático se ejecuta en un ordenador. En otras palabras, los métodos inventivos son, por lo tanto, un programa informático que tiene un código de programa para realizar al menos uno de los métodos inventivos cuando el programa informático se ejecuta en un ordenador.

50 Se ha de entender que pueden realizarse diversos cambios al adaptar a las diferentes realizaciones sin alejarse de los conceptos más amplios desvelados en el presente documento y comprendidos mediante las reivindicaciones que siguen.

REIVINDICACIONES

1. Decodificador de audio (400; 500; 600) multi-canal para generar una reconstrucción de una señal multi-canal (412; 508; 610a; 610b; 630) usando una señal de submezcla (405; 505a, b; 605; 620) obtenida desde una señal multi-canal original, teniendo la reconstrucción de la señal multi-canal (412; 508; 610a; 610b; 630) al menos tres canales, que comprende:
- 5 un de-correlador (402; 502; 602; 700) para obtener un conjunto de señales de-correlacionadas usando una regla de de-correlación, en el que la regla de de-correlación es de manera que se obtiene una primera señal de-correlacionada y una segunda señal de-correlacionada usando la señal de submezcla (405; 505a, b; 605; 620), y que la primera señal de-correlacionada y la segunda señal de-correlacionada son ortogonales entre sí en un intervalo de tolerancia de ortogonalidad, en el que la obtención de la primera y segunda señales decorrelacionadas comprende el filtrado de un canal de audio (406; 506; 607) extraído desde la señal de submezcla (405; 505a, b; 605; 620) por medio de uno o más filtros IIR paso-todo basándose en una estructura en celosía; y
- 10 un calculador de canal de salida (403; 503; 603) para generar canales de salida usando la señal de submezcla (405; 505a, b; 605; 620), la primera y la segunda señales de-correlacionadas y la información de premezcla de modo que los al menos tres canales están al menos parcialmente de-correlacionados entre sí.
- 15
2. Decodificador de audio (400; 500; 600) multi-canal de acuerdo con la reivindicación 1 en el que la regla de de-correlación es de manera que el intervalo de tolerancia de ortogonalidad incluye valores de ortogonalidad $<0,5$ cuando un valor de ortogonalidad de 0 indica ortogonalidad perfecta y un valor de ortogonalidad de 1 indica correlación perfecta.
- 20
3. Decodificador de audio (400; 500; 600) multi-canal de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 2, en el que cada uno de dichos uno o más filtros (800) IIR tiene un primer sumador en una trayectoria de predicción directa del filtro para añadir una porción real del canal de audio y una porción anterior del canal de audio que está ponderada con un primer factor de ponderación; y un segundo sumador en una trayectoria de predicción hacia atrás para añadir la porción anterior del canal de audio a la porción real que está ponderada con un segundo factor de ponderación de la señal de audio; y en el que los valores absolutos del primero y el segundo factores de ponderación son iguales.
- 25
4. Decodificador de audio (400; 500; 600) multi-canal de acuerdo con la reivindicación 3, en el que cada uno de dichos uno o más filtros (704; 800) IIR es operativo para usar un primer y un segundo factores de ponderación que se obtienen a partir de secuencias de ruido aleatorio.
- 30
5. Decodificador de audio (400; 500; 600) multi-canal de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 4, en el que la regla de de-correlación es de manera que la primera señal de-correlacionada y la segunda señal de-correlacionada se obtienen usando una versión retardada en tiempo de la señal de submezcla (405; 505a, b; 605; 620).
- 35
6. Decodificador de audio (400; 500; 600) multi-canal de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 5, operativo para obtener la primera y la segunda señales de-correlacionadas usando una porción de la señal de submezcla obtenida desde la señal de submezcla (405; 505a, b; 605; 620) mediante un banco de filtros con valores reales o complejos.
- 40
7. Decodificador de audio (400; 500; 600) multi-canal de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 6, en el que el calculador de canal de salida es operativo para generar cinco canales de salida desde una señal de submezcla (405; 505a, b; 605; 620) que tiene información sobre un canal de audio y desde cuatro señales de-correlacionadas.
- 45
8. Decodificador de audio (400; 500; 600) multi-canal de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 7, en el que el calculador de canal de salida es operativo para generar cinco canales de salida desde la señal de submezcla (405; 505a, b; 605; 620) que tiene información sobre dos canales de audio y desde dos señales de-correlacionadas.
- 50
9. Decodificador de audio (400; 500; 600) multi-canal de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 8, en el que el calculador de canal de salida (403; 503; 603) es operativo para usar la información premezclada que comprende al menos un parámetro que indica una correlación deseada de un primer y un segundo canal de salida.
- 55
10. Método para generar una reconstrucción de una señal de audio multi-canal usando una señal de submezcla obtenida desde una señal multi-canal original, teniendo la reconstrucción de la señal multi-canal al menos tres canales, comprendiendo el método:
- 60 obtener un conjunto de señales de-correlacionadas usando una regla de de-correlación, en el que la regla de de-correlación es de manera que la primera señal de-correlacionada y la segunda señal de-correlacionada se obtienen usando la señal de submezcla y que la primera señal de-correlacionada y la segunda señal de-correlacionada son ortogonales entre sí en un intervalo de tolerancia de ortogonalidad, en el que la obtención de la primera y segunda señales de-correlacionadas comprende el filtrado de un canal de audio (406; 506; 607)

5 extraído desde la señal de submezcla (405; 505a, b; 605; 620) por medio de uno o más filtros IIR paso-todo basándose en una estructura en celosía; y generar canales de salida usando la señal de submezcla, la primera y la segunda señales de de-correlación y la información de premezcla de modo que los al menos tres canales están al menos parcialmente de-correlacionados entre sí.

11. Receptor o reproductor de audio, teniendo el receptor o el reproductor de audio un decodificador multi-canal (400; 500; 600) de acuerdo con la reivindicación 1.

10 12. Método para recibir o reproducir audio, teniendo el método un método para generar una reconstrucción de una señal multi-canal de acuerdo con la reivindicación 10.

13. Programa informático para realizar, cuando se ejecuta en un ordenador, un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones del método 10 o 12.

15

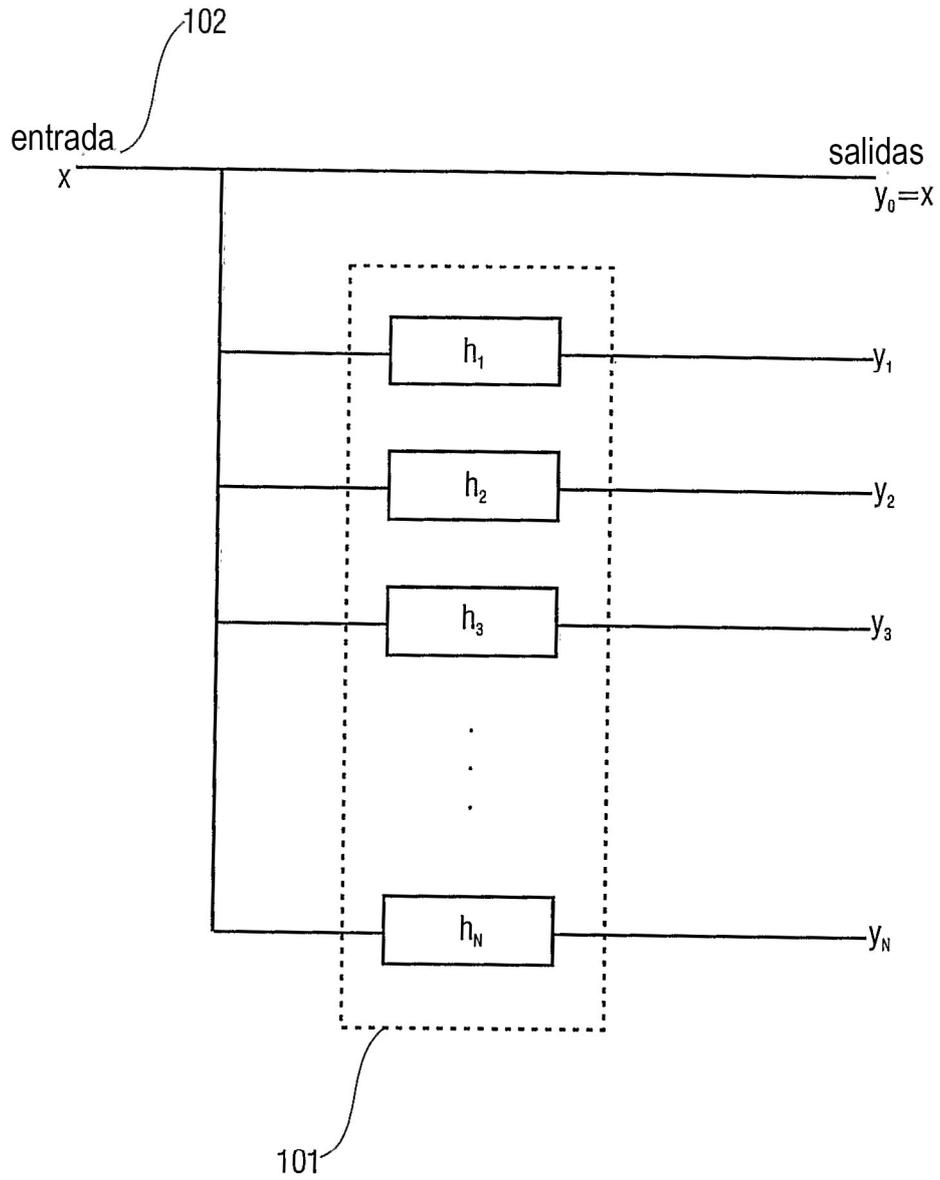


Fig. 1

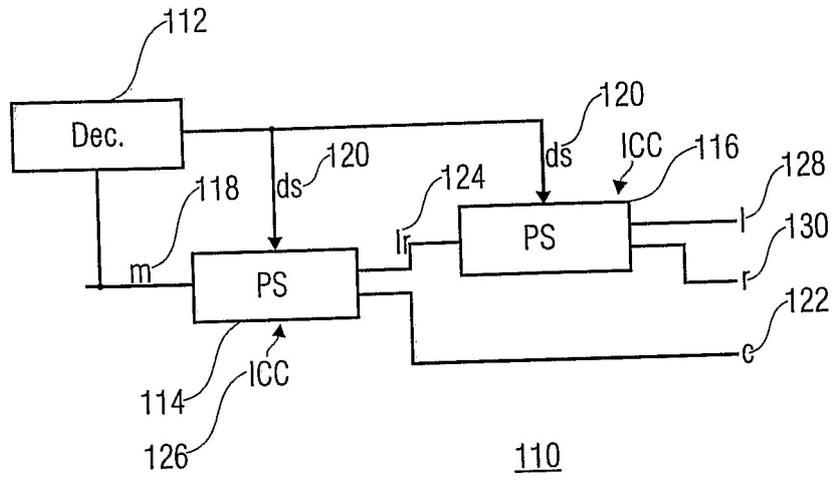


Fig. 2

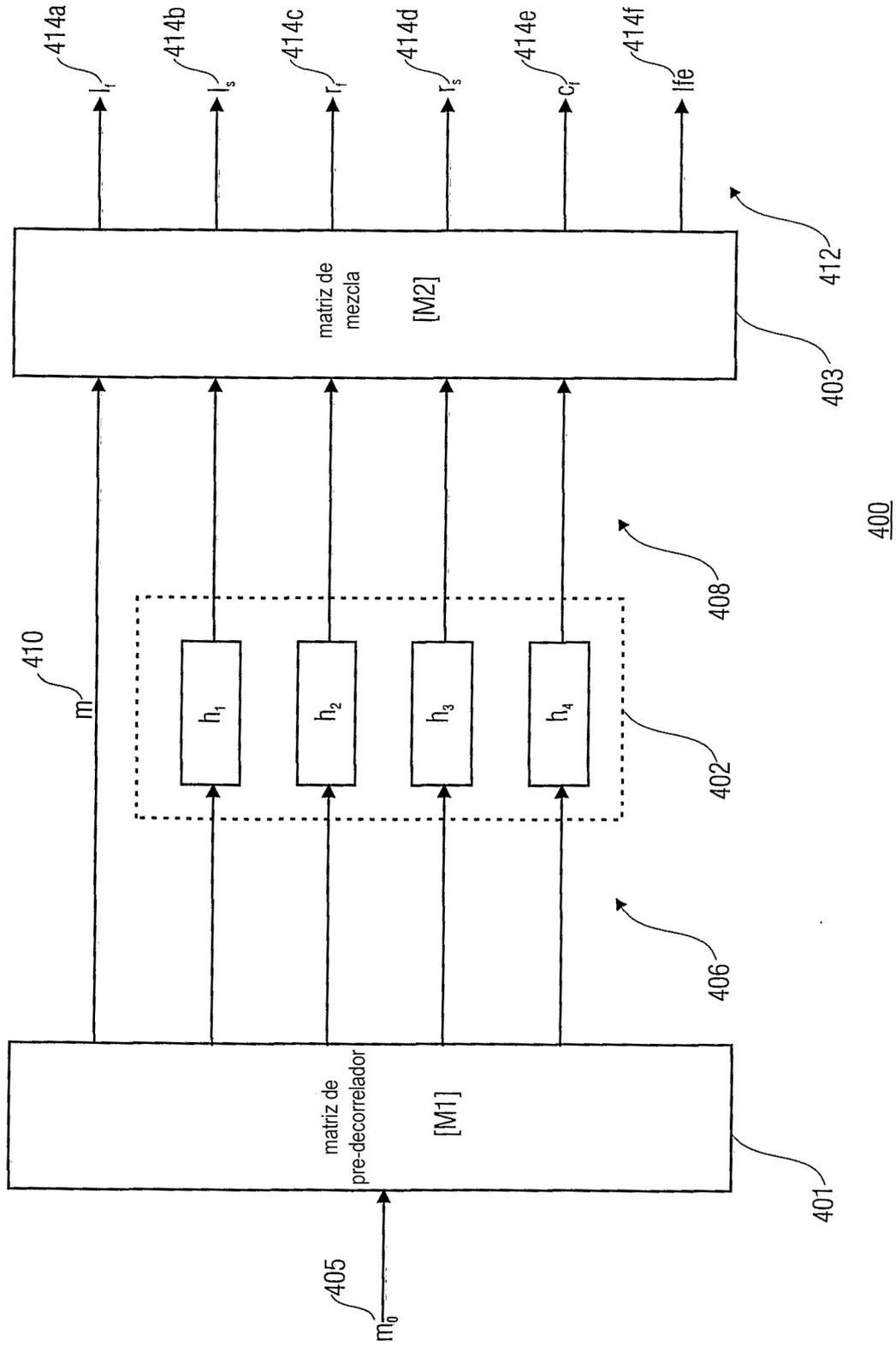


Fig. 3

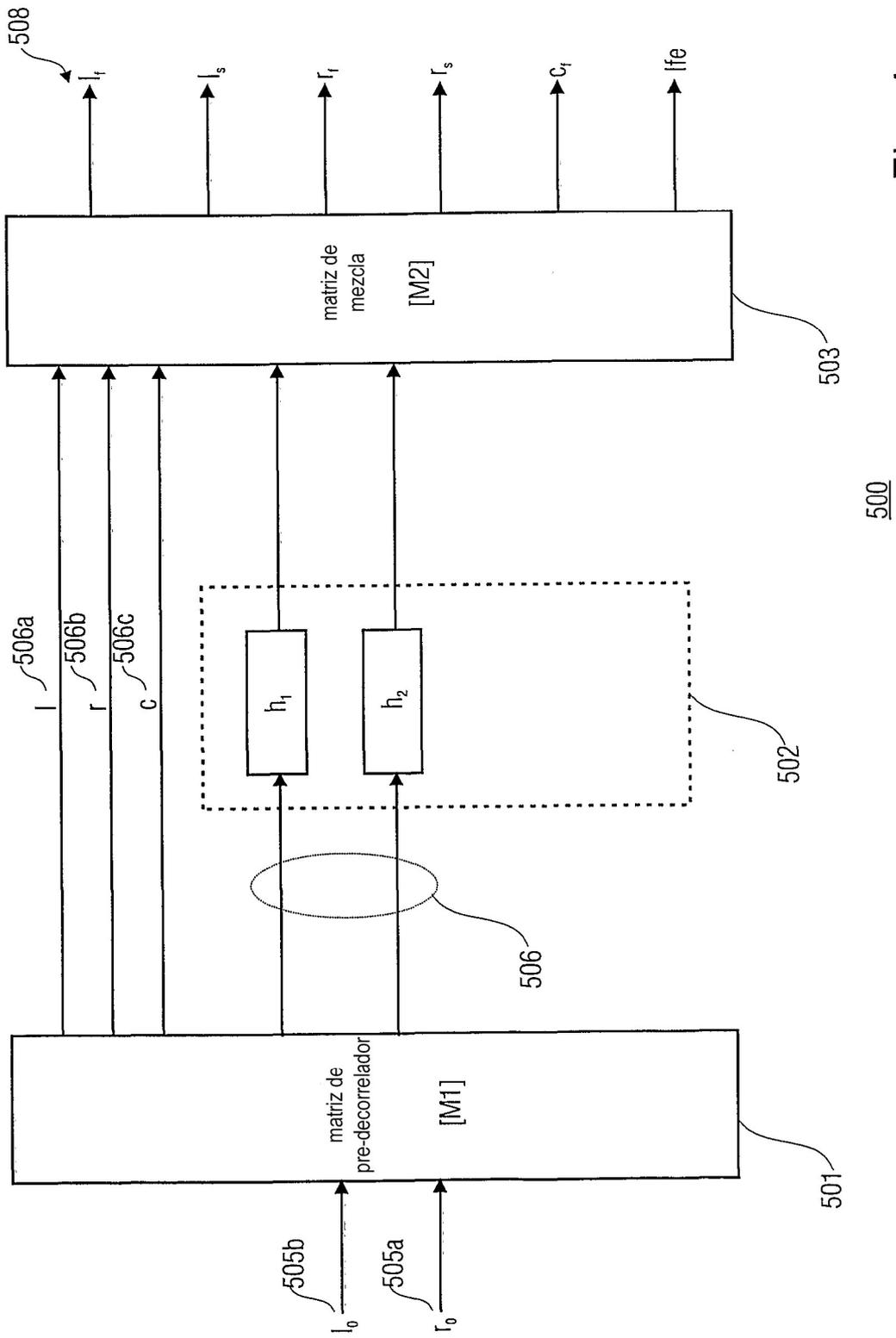


Fig. 4

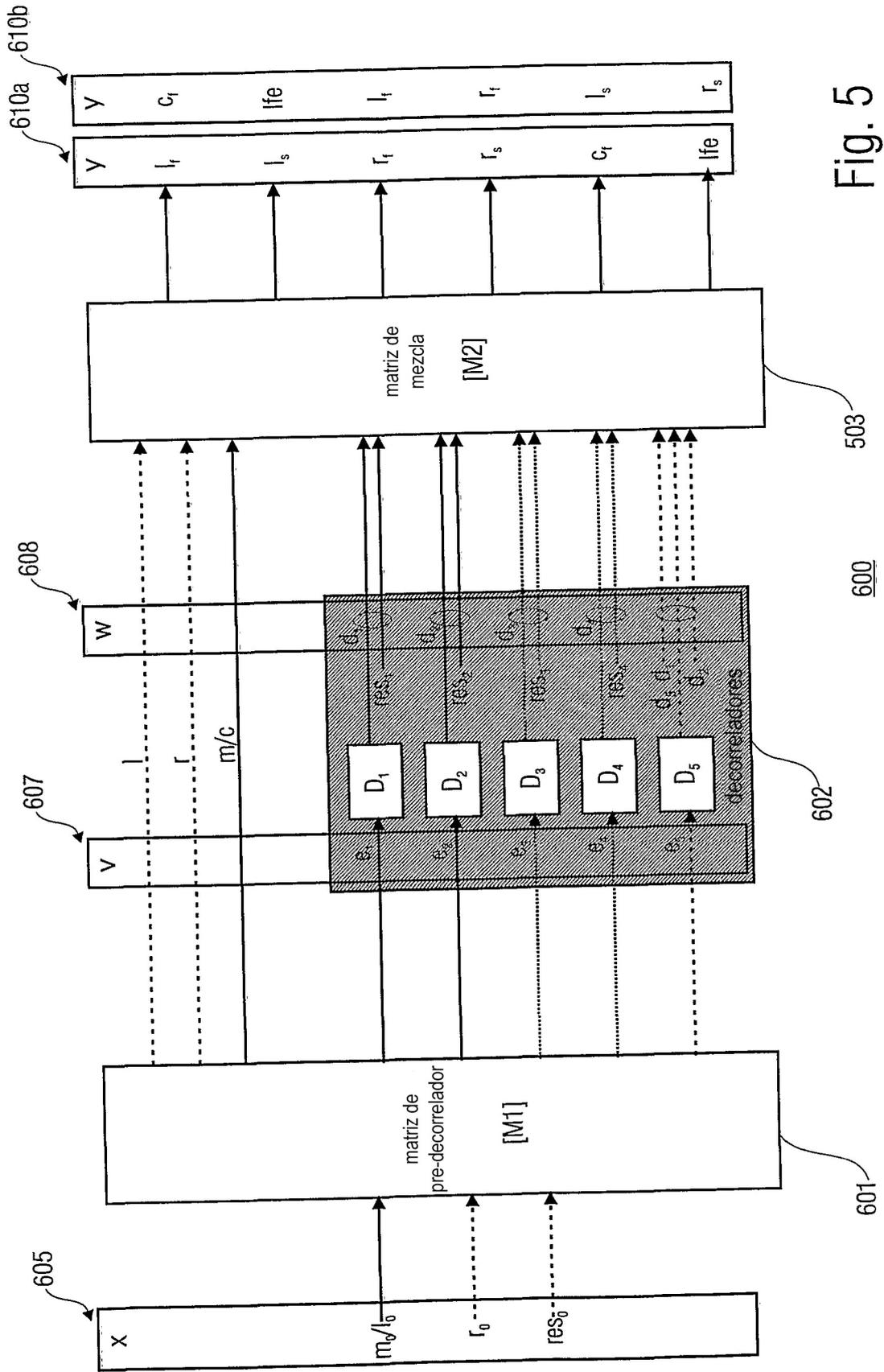


Fig. 5

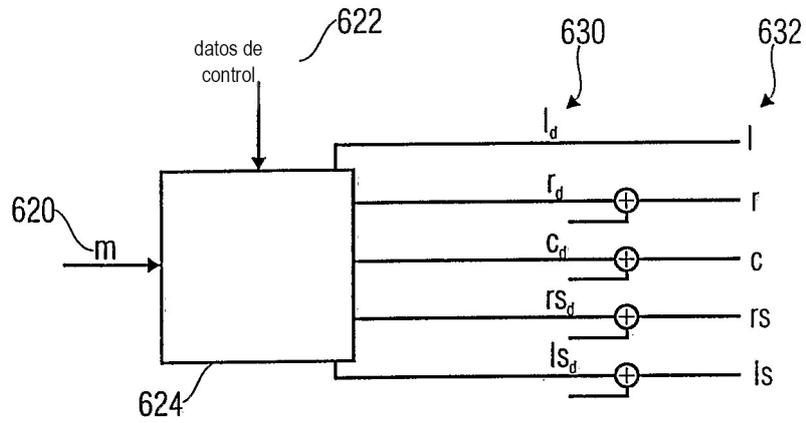
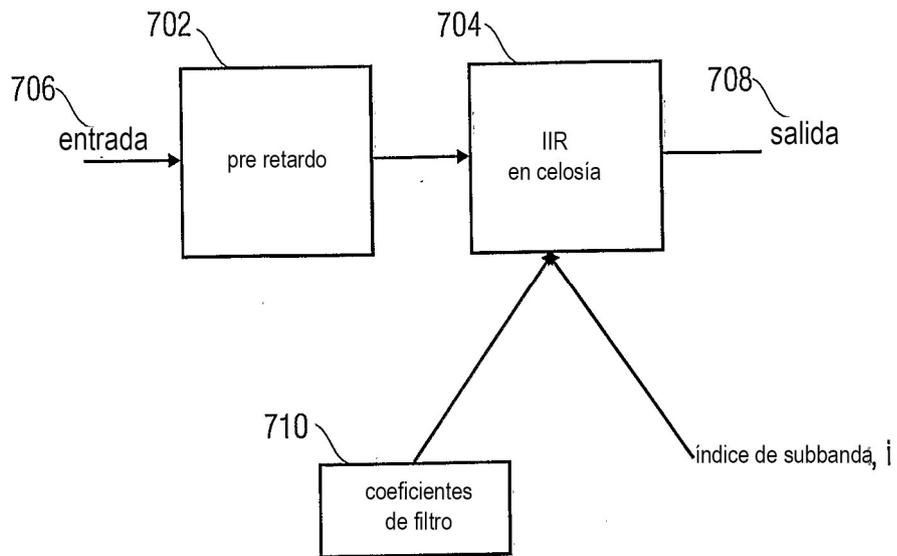


Fig. 6



700

Fig. 7

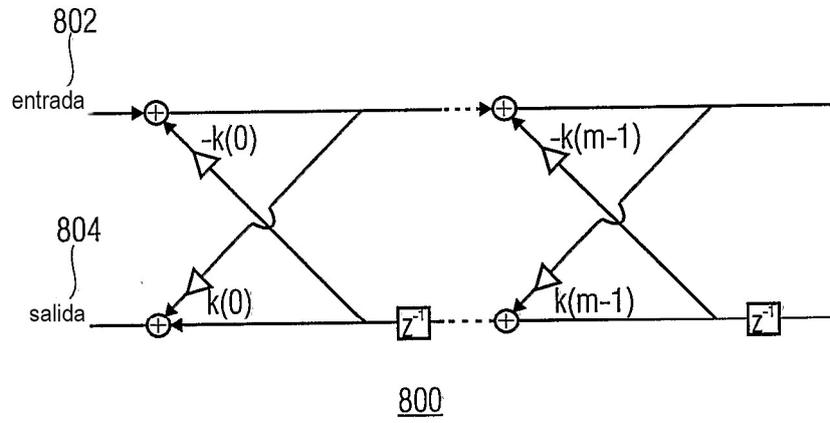


Fig. 8

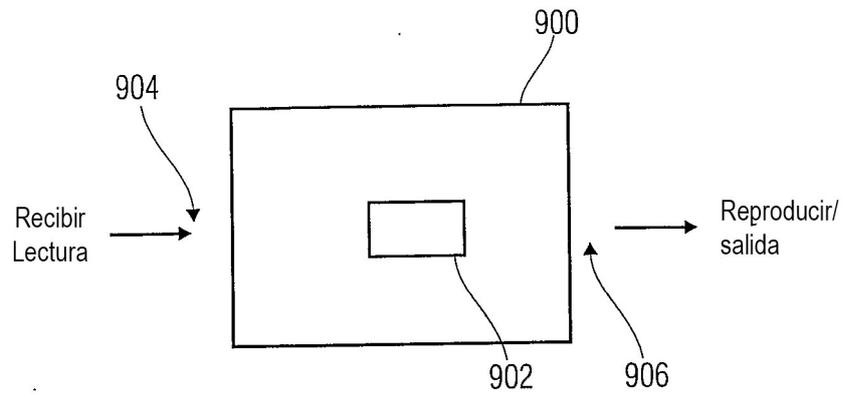


Fig. 9

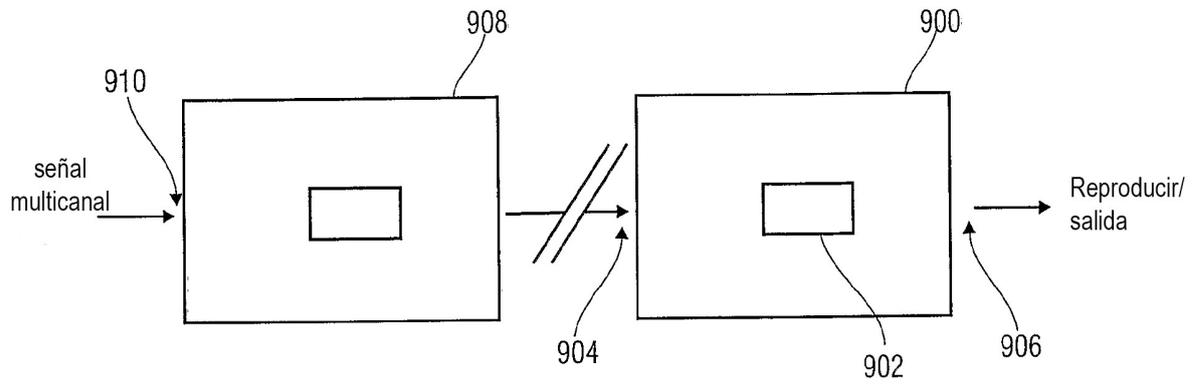


Fig. 10