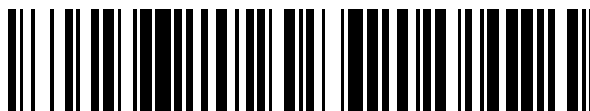


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 649 692**

51 Int. Cl.:

**H04L 27/26** (2006.01)

**H04L 25/02** (2006.01)

**H04B 17/21** (2015.01)

**H04B 7/04** (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.08.2013 PCT/CN2013/081921**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.02.2015 WO15024206**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.08.2013 E 13891755 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.10.2017 EP 3021544**

54 Título: **Procedimiento de estimación de retardos de tiempo, y dispositivo y sistema para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**15.01.2018**

73 Titular/es:  
**HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. (100.0%)  
Huawei Administration Building, Bantian  
Longgang District  
Shenzhen, Guandong 518129, CN**

72 Inventor/es:  
**LV, RUI**

74 Agente/Representante:  
**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 649 692 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Procedimiento de estimación de retardos de tiempo, y dispositivo y sistema para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas

5 Campo técnico

10 La presente invención se refiere al campo de las comunicaciones y, en particular, a un procedimiento y un aparato de estimación de retardos para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas, y a un sistema.

Antecedentes

15 La tecnología MIMO (múltiples entradas, múltiples salidas) se ha convertido en una de las tecnologías clave en el campo de las comunicaciones inalámbricas. Tras un continuo desarrollo en los últimos años, la tecnología MIMO se aplica cada vez más en diversos sistemas de comunicación inalámbrica. Con respecto a un sistema de comunicación inalámbrica móvil de banda ancha, el contenido relacionado con la tecnología MIMO se ha añadido a la norma del Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP), y la tecnología MIMO también se aplicará en sistemas B3G y 4G. En un sistema inalámbrico de acceso de banda ancha, la tecnología MIMO también se usa en  
20 normas tales como la 802.16e, 802.11n y 802.20, las cuales están formulándose. En el desarrollo de otros sistemas de comunicación inalámbrica, tales como un sistema de banda ultraancha (UWB) y un sistema de radio cognitiva (CR), se tiene en cuenta la aplicación de la tecnología MIMO. En un sistema de comunicación MIMO, existen diferencias entre canales en el modo de procesamiento de señales, un componente, una trayectoria de canal y una estructura de conexión, y generalmente hay un retardo entre las señales de los canales. Cuando el retardo es  
25 considerable, el asincronismo entre los canales que reciben una señal genera graves interferencias entre símbolos en un receptor. Por lo tanto, es necesario estimar los retardos de los canales con el fin de sincronizar los canales.

30 En la técnica anterior, una estimación de tiempo usada habitualmente es un procedimiento de calibración fuera de línea basado en mediciones. Antes de que empiece a utilizarse un sistema de comunicación, tomando como referencia el retardo de un canal de transmisión o recepción, un retardo se mide de manera independiente para cada canal de transmisión o recepción usando un dispositivo de medida. Un problema de este procedimiento es que este procedimiento de prueba fuera de línea no puede medir un retardo que cambie dinámicamente, y es difícil conseguir una alta precisión.

35 El documento US 2009/0268787A da a conocer un aparato de comunicación inalámbrica que compensa el desajuste de tiempo en su procesamiento de señales recibidas. El aparato estima un conjunto de retardos de trayectoria para una señal recibida y fija retardos de procesamiento en los retardos de trayectoria estimados. El aparato plantea hipótesis conjuntas acerca de combinaciones de desajustes de tiempo fraccionados de dos o más trayectorias, y calcula una métrica de decisión para cada hipótesis conjunta que indica la precisión de la hipótesis conjunta.

40 El documento WO2013/056398A da a conocer un aparato con antenas que comprende una disposición de antenas y dos o más cadenas de transceptores. Cada cadena de transceptores comprende una cadena de recepción y una cadena de transmisión y un elemento de antena. Una cadena de transceptores de las al menos dos cadenas de transceptores comprende además una unidad de control de calibración de antenas y una antena de calibración de  
45 referencia, donde la unidad de control de calibración de antenas está dispuesta para conmutar la cadena de transceptores entre un modo de calibración y un modo de funcionamiento.

Resumen

50 La presente invención es como se define en las reivindicaciones independientes adjuntas. Implementaciones adicionales se describen en las reivindicaciones dependientes adjuntas, en la descripción y en las figuras. Formas de realización de la presente invención proporcionan un procedimiento y un aparato de estimación de retardos para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas, y un sistema que puede estimar retardos enteros y retardos fraccionados de canales en un sistema de comunicación MIMO en línea y en tiempo real, y que  
55 puede conseguir una alta precisión en las mediciones.

Según un primer aspecto, una forma de realización de la presente invención proporciona un procedimiento de estimación de retardos para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas, que incluye:

60 calcular, mediante un receptor, una matriz de respuesta de canal de un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas, MIMO, donde hay  $n$  canales de transmisión y  $m$  canales de recepción en el sistema de comunicación MIMO,  $n \geq 2$ ,  $m \geq 2$ ,  $n$  y  $m$  son números enteros, y la matriz de respuesta de canal incluye respuestas de canal de  $n \times m$  subcanales;

calcular, mediante el receptor, un retardo entero, con respecto a un subcanal de referencia, de cada uno de los  $n \times m$  subcanales según la matriz de respuesta de canal, donde el subcanal de referencia es cualquier subcanal de los  $n \times m$  subcanales;

- 5        calcular, mediante el receptor, retardos fraccionados de los  $n \times m$  subcanales según la matriz de respuesta de canal; y  
       separar, mediante el receptor, retardos de los  $m$  canales de recepción según retardos de los  $n \times m$  subcanales.

10       En una primera manera de implementación posible, la etapa de calcular, mediante el receptor, un retardo entero, con respecto a un subcanal de referencia, de cada uno de los  $n \times m$  subcanales según la matriz de respuesta de canal incluye:

- detectar una desviación de posición máxima entre una respuesta de canal de un subcanal que va a medirse y una respuesta de canal del subcanal de referencia; y  
 15       calcular un retardo entero del subcanal que va a medirse según la desviación de posición máxima, donde un retardo entero del subcanal de referencia es 0.

20       Con referencia al primer aspecto o a la primera manera de implementación posible, en una segunda manera de implementación posible, la etapa de calcular, mediante el receptor, retardos fraccionados de los  $n \times m$  subcanales según la matriz de respuesta de canal incluye:

- llevar a cabo un procesamiento de extensión de retardo en la respuesta de canal del subcanal que va a medirse mediante 0 múltiplo de, y  $1/K$ ,  $2/K$ , ..., y  $(K-1)/K$  de un periodo de símbolo, para obtener  $K$  respuestas de canal extendidas, donde  $K \geq 2$  y es un entero; y  
 25       calcular por separado entropías de canal de las  $K$  respuestas de canal extendidas, y seleccionar un retardo de un periodo de símbolo no entero como un retardo fraccionado del subcanal que va a medirse, donde el periodo de símbolo no entero corresponde a una entropía de canal máxima.

30       Con referencia a uno cualquiera del primer aspecto a la segunda manera de implementación posible, en una tercera manera de implementación posible, la etapa de calcular, mediante un receptor, una matriz de respuesta de canal de un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas, MIMO, incluye:

      calcular, mediante el receptor, la matriz de respuesta de canal del sistema de comunicación MIMO según una señal piloto enviada por un transmisor.

35       Con referencia a la tercera manera de implementación posible del primer aspecto, en una cuarta manera de implementación posible, la matriz de respuesta de canal incluye una matriz de respuesta de canal de dominio de tiempo o una matriz de respuesta de canal de dominio de frecuencia.

40       Con referencia a la cuarta manera de implementación posible del primer aspecto, en una quinta manera de implementación posible, los retardos de los  $m$  canales de recepción son retardos de recepción de los canales de recepción, y el procedimiento incluye además:

- 45       separar, mediante el receptor, retardos de transmisión de los  $n$  canales de transmisión según los retardos de los  $n \times m$  subcanales, y devolver  $n$  retardos de transmisión al transmisor, de manera que el transmisor lleva a cabo por separado una compensación de retardo en canales de transmisión correspondientes según los  $n$  retardos de transmisión; y  
       llevar a cabo por separado, mediante el receptor, una compensación de retardo en canales de recepción correspondientes según  $m$  retardos de recepción.

50       Con referencia a la cuarta manera de implementación posible del primer aspecto, en una sexta manera de implementación posible, los retardos de los  $m$  canales de recepción son retardos mezclados de los canales de recepción, y el procedimiento incluye además:

- 55       llevar a cabo por separado, mediante el receptor, una compensación de retardo en canales de recepción correspondientes usando  $m$  retardos mezclados.

60       Con referencia a uno cualquiera del primer aspecto a la sexta manera de implementación posible, en una séptima manera de implementación posible, la etapa de separar, mediante el receptor, retardos de transmisión de los  $n$  canales de transmisión y de recibir retardos de los  $m$  canales de recepción según los retardos de los  $n \times m$  subcanales incluye:

separar, mediante el receptor, los retardos de los  $m$  canales de recepción de los retardos de los  $n \cdot m$  subcanales usando un procedimiento de separación variable.

5 Según un segundo aspecto, la presente invención proporciona un aparato de estimación de retardos para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas, que incluye:

10 un módulo de cálculo de respuesta, configurado para calcular una matriz de respuesta de canal de un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas, MIMO, donde hay  $n$  canales de transmisión y  $m$  canales de recepción en el sistema de comunicación MIMO,  $n \geq 2$ ,  $m \geq 2$ ,  $n$  y  $m$  son números enteros, y la matriz de respuesta de canal incluye respuestas de canal de  $n \cdot m$  subcanales;

un módulo de cálculo de retardo entero, configurado para calcular un retardo entero, con respecto a un subcanal de referencia, de cada uno de los  $n \cdot m$  subcanales según la matriz de respuesta de canal, donde el subcanal de referencia es cualquier subcanal de los  $n \cdot m$  subcanales;

15 un módulo de cálculo de retardo fraccionado, configurado para calcular retardos fraccionados de los  $n \cdot m$  subcanales según la matriz de respuesta de canal; y

un módulo de separación de retardos, configurado para separar retardos de los  $m$  canales de recepción según retardos de los  $n \cdot m$  subcanales.

20 En una primera manera de implementación posible, el módulo de cálculo de retardo entero incluye:

una unidad de detección, configurada para detectar una desviación de posición máxima entre una respuesta de canal de un subcanal que va a medirse y una respuesta de canal del subcanal de referencia; y  
una primera unidad de cálculo, configurada para calcular un retardo entero del subcanal que va a medirse según la desviación de posición máxima, donde un retardo entero del subcanal de referencia es 0.

25 Con referencia al segundo aspecto o a la primera manera de implementación posible, en una segunda manera de implementación posible, el módulo de cálculo de retardo fraccionado incluye:

30 una unidad de extensión, configurada para llevar a cabo un procesamiento de extensión de retardo en la respuesta de canal del subcanal que va a medirse mediante 0 múltiplo de, y  $1/K$ ,  $2/K$ , ..., y  $(K-1)/K$  de un periodo de símbolo, para obtener  $K$  respuestas de canal extendidas, donde  $K \geq 2$  y es un entero; y

35 una segunda unidad de cálculo, configurada para calcular por separado entropías de canal de las  $K$  respuestas de canal extendidas, y para seleccionar un retardo de un periodo de símbolo no entero como un retardo fraccionado del subcanal que va a medirse, donde el periodo de símbolo no entero corresponde a una entropía de canal máxima.

40 Con referencia a uno cualquiera del segundo aspecto a la segunda manera de implementación posible, en una tercera manera de implementación posible, el módulo de cálculo de respuesta está configurado para calcular la matriz de respuesta de canal del sistema de comunicación MIMO según una señal piloto enviada por un transmisor.

Con referencia a la tercera manera de implementación posible del segundo aspecto, en una cuarta manera de implementación posible, la matriz de respuesta de canal incluye una matriz de respuesta de canal de dominio de tiempo o una matriz de respuesta de canal de dominio de frecuencia.

45 Con referencia a la cuarta manera de implementación posible del segundo aspecto, en una quinta manera de implementación posible, los retardos de los  $m$  canales de recepción son retardos de recepción de los canales de recepción, y el aparato incluye además:

50 un módulo de realimentación, configurado para separar retardos de transmisión de los  $n$  canales de transmisión según los retardos de los  $n \cdot m$  subcanales, y devolver  $n$  retardos de transmisión al transmisor, de manera que el transmisor lleva a cabo por separado una compensación de retardo en canales de transmisión correspondientes según los  $n$  retardos de transmisión; y

un primer módulo de compensación, configurado para llevar a cabo por separado una compensación de retardo en canales de recepción correspondientes según  $m$  retardos de recepción.

55 Con referencia a la cuarta manera de implementación posible del segundo aspecto, en una sexta manera de implementación posible, los retardos de los  $m$  canales de recepción son retardos mezclados de los canales de recepción, y el aparato incluye además:

60 un segundo módulo de compensación, configurado para llevar a cabo por separado una compensación de retardo en canales de recepción correspondientes usando  $m$  retardos mezclados.

5 Con referencia a uno cualquiera del segundo aspecto a la sexta manera de implementación posible, en una séptima manera de implementación posible, el módulo de separación de retardo está configurado para separar los retardos de los  $m$  canales de recepción de los retardos de los  $n \cdot m$  subcanales usando un procedimiento de separación variable.

10 Según un tercer aspecto, la presente invención proporciona un aparato de estimación de retardos para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas, que incluye un procesador, una memoria, un aparato de entrada y un aparato de salida, donde la memoria almacena un conjunto de código de programa, y el procesador está configurado para invocar al código de programa que está almacenado en la memoria, para llevar a cabo las siguientes operaciones:

15 calcular, mediante un receptor, una matriz de respuesta de canal de un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas, MIMO, donde hay  $n$  canales de transmisión y  $m$  canales de recepción en el sistema de comunicación MIMO,  $n \geq 2$ ,  $m \geq 2$ ,  $n$  y  $m$  son números enteros, y la matriz de respuesta de canal incluye respuestas de canal de  $n \cdot m$  subcanales;

calcular, mediante el receptor, un retardo entero, con respecto a un subcanal de referencia, de cada uno de los  $n \cdot m$  subcanales según la matriz de respuesta de canal, donde el subcanal de referencia es cualquier subcanal de los  $n \cdot m$  subcanales;

20 calcular, mediante el receptor, retardos fraccionados de los  $n \cdot m$  subcanales según la matriz de respuesta de canal; y

separar, mediante el receptor, retardos de los  $m$  canales de recepción según retardos de los  $n \cdot m$  subcanales.

25 En una primera manera de implementación posible, el procesador está configurado específicamente para detectar una desviación de posición máxima entre una respuesta de canal de un subcanal que va a medirse y una respuesta de canal del subcanal de referencia; y

calcular un retardo entero del subcanal que va a medirse según la desviación de posición máxima, donde un retardo entero del subcanal de referencia es 0.

30 Con referencia al tercer aspecto o a la primera manera de implementación posible, en una segunda manera de implementación posible, el procesador está configurado específicamente para:

35 llevar a cabo un procesamiento de extensión de retardo en la respuesta de canal del subcanal que va a medirse mediante 0 múltiplo de, y  $1/K$ ,  $2/K$ , ..., y  $(K-1)/K$  de un periodo de símbolos, para obtener  $K$  respuestas de canal extendidas, donde  $K \geq 2$  y es un entero; y

calcular por separado entropías de canal de las  $K$  respuestas de canal extendidas, y seleccionar un retardo de un periodo de símbolo no entero como un retardo fraccionado del subcanal que va a medirse, donde el periodo de símbolo no entero corresponde a una entropía de canal máxima.

40 Con referencia a uno cualquiera del tercer aspecto a la segunda manera de implementación posible, en una tercera manera de implementación posible, el procesador está configurado específicamente para calcular la matriz de respuesta de canal del sistema de comunicación MIMO según una señal piloto enviada por un transmisor.

45 Con referencia a la tercera manera de implementación posible del tercer aspecto, en una cuarta manera de implementación posible, la matriz de respuesta de canal incluye una matriz de respuesta de canal de dominio de tiempo o una matriz de respuesta de canal de dominio de frecuencia.

50 Con referencia a la cuarta manera de implementación posible del tercer aspecto, en una quinta manera de implementación posible, los retardos de los  $m$  canales de recepción son retardos de recepción de los canales de recepción, y el procesador está configurado además para:

55 separar retardos de transmisión de los  $n$  canales de transmisión según los retardos de los  $n \cdot m$  subcanales, y devolver  $n$  retardos de transmisión al transmisor, de manera que el transmisor lleva a cabo por separado una compensación de retardo en los canales de transmisión correspondientes según los  $n$  retardos de transmisión; y

llevar a cabo por separado una compensación de retardo en canales de recepción correspondientes según  $m$  retardos de recepción.

60 Con referencia a la cuarta manera de implementación posible del tercer aspecto, en una sexta manera de implementación posible, los retardos de los  $m$  canales de recepción son retardos mezclados de los canales de recepción, y el procesador está configurado además para:

llevar a cabo por separado una compensación de retardo en canales de recepción correspondientes usando  $m$  retardos mezclados.

5 Con referencia a uno cualquiera del tercer aspecto a la sexta manera de implementación posible, en una séptima manera de implementación posible, el procesador está configurado específicamente para separar los retardos de los  $m$  canales de recepción de los retardos de los  $n \cdot m$  subcanales usando un procedimiento de separación variable.

10 Según un cuarto aspecto, la presente invención proporciona un receptor, que incluye cualquiera de los aparatos de estimación de retardos anteriores para un sistema de comunicaciones de múltiples entradas y múltiples salidas.

Según un quinto aspecto, la presente invención proporciona un sistema de comunicaciones MIMO, que incluye un transmisor y el receptor anterior.

15 Las formas de realización de la presente invención tienen los siguientes efectos beneficiosos:

20 Al estimar una matriz de respuesta de canal de un sistema de comunicación MIMO, un receptor calcula un retardo entero y un retardo fraccionado, con respecto a un subcanal de referencia, de cada subcanal, y separa un retardo de cada canal de recepción usando un resultado de cálculo obtenido, de manera que un retardo en un extremo de recepción en el sistema de comunicación MIMO puede medirse en línea y en tiempo real, y se consigue una alta precisión en las mediciones.

Breve descripción de los dibujos

25 Para describir más claramente las soluciones técnicas de las formas de realización de la presente invención o de la técnica anterior, a continuación se describen brevemente los dibujos adjuntos requeridos para describir las formas de realización. Evidentemente, los dibujos adjuntos de la siguiente descripción muestran simplemente algunas formas de realización de la presente invención, y un experto en la técnica puede obtener otros dibujos a partir de estos dibujos adjuntos sin realizar investigaciones adicionales.

30 La FIG. 1 es un diagrama de flujo esquemático de un procedimiento de estimación de retardos para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas según una forma de realización de la presente invención.

La FIG. 2 es otro diagrama de flujo esquemático de un procedimiento de estimación de retardos para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas según una forma de realización de la presente invención.

35 La FIG. 3 es un diagrama esquemático de un procedimiento para calcular un retardo entero en la FIG. 2.

La FIG. 4 es un diagrama esquemático de un procedimiento para calcular un retardo fraccionado en la FIG. 2.

La FIG. 5 es otro diagrama de flujo esquemático de un procedimiento de estimación de retardos para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas según una forma de realización de la presente invención.

40 La FIG. 6 es un diagrama estructural esquemático de un aparato de estimación de retardos para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas según una primera forma de realización de la presente invención.

La FIG. 7 es un diagrama estructural esquemático de un aparato de estimación de retardos para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas según una segunda forma de realización de la presente invención.

45 La FIG. 8 es un diagrama estructural esquemático de un aparato de estimación de retardos para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas según una tercera forma de realización de la presente invención.

La FIG. 9 es un diagrama estructural esquemático de un módulo de cálculo de retardo entero en la FIG. 6, la FIG. 7 y la FIG. 8.

50 La FIG. 10 es un diagrama estructural esquemático de un módulo de cálculo de retardo fraccionado en la FIG. 6, la FIG. 7 y la FIG. 8.

La FIG. 11 es un diagrama estructural esquemático de un aparato de estimación de retardos para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas según una cuarta forma de realización de la presente invención.

55 La FIG. 12 es un diagrama estructural esquemático de un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas según una primera forma de realización de la presente invención.

La FIG. 13 es un diagrama estructural esquemático de un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas según una segunda forma de realización de la presente invención.

Descripción de las formas de realización

A continuación se describe de manera clara y completa las soluciones técnicas de las formas de realización de la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos en las formas de realización de la presente invención.

5 Evidentemente, las formas de realización descritas son simplemente algunas, y no todas, las formas de realización de la presente invención. El resto de formas de realización obtenidas por un experto en la técnica basándose en las formas de realización de la presente invención sin realizar investigaciones adicionales estarán dentro del alcance de protección de la presente invención

10 Las formas de realización de la presente invención pueden aplicarse a un sistema de comunicación MIMO, por ejemplo, un sistema de comunicación inalámbrica compatible con la Evolución a Largo Plazo (LTE) del Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP). Sin embargo, la presente invención también puede aplicarse a otros sistemas de comunicación inalámbrica, por ejemplo sistemas de comunicación inalámbrica que son compatibles con normas técnicas tales como LTE-Avanzada (LTE-A) y WiMAX, donde estos sistemas de comunicación inalámbrica pueden mejorar el rendimiento de un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas.

Haciendo referencia a la FIG. 1, la FIG. 1 es un diagrama de flujo esquemático de un procedimiento de estimación de retardos para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas según una forma de realización de la presente invención. En esta forma de realización, el procedimiento incluye las siguientes etapas:

20 Etapa S101: Un receptor calcula una matriz de respuesta de canal de un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas MIMO.

25 Específicamente, el receptor recibe una señal de alta frecuencia enviada por un transmisor, lleva a cabo un procesamiento tal como una conversión descendente, una amplificación y filtrado, una desmodulación y una conversión A/D en la señal de alta frecuencia usando una portadora local, para convertir la señal de alta frecuencia en una señal digital. Hay  $n$  canales de transmisión y  $m$  canales de recepción en el sistema de comunicación MIMO, donde  $n \geq 2$  y  $m \geq 2$ . El receptor puede calcular la matriz de respuesta de canal del sistema de comunicación MIMO según una señal piloto en una señal de transmisión, que es específicamente:  $y=H*x+p$ , donde 'y' es una señal de recepción, H es una matriz de respuesta de canal, 'x' es una señal piloto, 'p' es ruido del receptor, 'x', 'y' y 'p' son señales digitales, y la matriz de respuesta de canal, calculada por el receptor, de los  $n*m$  subcanales, es como sigue:

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1m} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2m} \\ \dots & \dots & h_{ij} & \dots \\ h_{n1} & h_{n2} & \dots & h_{nm} \end{bmatrix}$$

35 donde  $h_{ij}$  es una respuesta de canal de un subcanal  $C_{ij}$  formado desde un  $i$ -ésimo canal de transmisión hasta un  $j$ -ésimo canal de recepción del sistema de comunicación MIMO, donde  $1 \leq i \leq n$ ,  $1 \leq j \leq m$ , y hay respuestas de canal de los  $n*m$  subcanales en la matriz de respuesta de canal.

40 Puede entenderse que el receptor también puede estimar la matriz de respuesta de canal usando otro procedimiento, por ejemplo, estimar la matriz de respuesta de canal del sistema de comunicación MIMO directamente usando una señal de transmisión recibida, donde la matriz de respuesta de canal puede ser una matriz de respuesta de canal de dominio de tiempo o una matriz de respuesta de canal de dominio de frecuencia, lo cual no está limitado en la presente invención.

45 Etapa S102: El receptor calcula un retardo entero, con respecto a un subcanal de referencia, de cada uno de los  $n*m$  subcanales según la matriz de respuesta de canal.

50 Específicamente, cualquier subcanal se selecciona previamente a partir de los  $n*m$  subcanales y se usa como un subcanal de referencia para la alineación, y los retardos enteros de otros subcanales son, en su totalidad, retardos enteros relativos que se calculan según el subcanal de referencia. En la siguiente descripción a modo de ejemplo, se supone que un subcanal  $C_{11}$  que está formado desde un primer canal de transmisión hasta un primer canal de recepción es el subcanal de referencia, y una respuesta de canal del subcanal de referencia es  $h_{11}$ .

El receptor calcula el retardo entero, con respecto al subcanal de referencia, de cada subcanal en los  $n \times m$  subcanales, donde el retardo entero es un múltiplo entero de un periodo de símbolo, y el periodo de símbolo se refiere a una duración de elemento en un sistema de comunicación, es decir, un recíproco de una frecuencia de muestreo. Un procedimiento para calcular el retardo entero puede ser un procedimiento de autocorrelación o un procedimiento de sincronización de secuencias, lo cual no está limitado en la presente invención. Puede entenderse que un retardo entero del subcanal de referencia se calcula usando el subcanal de referencia como un objeto de referencia, y un valor del retardo entero es 0.

Etapa S103: El receptor calcula retardos fraccionados de los  $n \times m$  subcanales según la matriz de respuesta de canal.

Específicamente, un retardo fraccionado es un múltiplo fraccionado del periodo de símbolo, el periodo de símbolo es menor que un múltiplo de 1, y un retardo de cada subcanal en los  $n \times m$  subcanales incluye un retardo entero y un retardo fraccionado. Un retardo del subcanal  $C_{ij}$  se fija a  $\Delta T_{ij} = \Delta_{ij} + \tau_{ij}$ , donde  $\Delta_{ij}$  es un retardo entero,  $\tau_{ij}$  es un retardo fraccionado,  $1 \leq i \leq n$  y  $1 \leq j \leq m$ .

El receptor calcula el retardo entero, con respecto al subcanal de referencia, de cada uno de los  $n \times m$  subcanales en la etapa S102, para obtener  $n \times m$  retardos enteros, y calcula los retardos fraccionados de los  $n \times m$  subcanales en la etapa S103 para obtener  $n \times m$  retardos fraccionados.

En esta forma de realización de la presente invención, una secuencia para calcular un retardo entero y un retardo fraccionado de cada subcanal no está limitado, es decir, una secuencia entre S102 y S103 no está limitada.

Etapa S104: El receptor separa retardos de recepción de los  $m$  canales de recepción según retardos de los  $n \times m$  subcanales.

Específicamente, los retardos de los  $m$  canales de recepción son retardos de recepción o retardos mezclados, donde un retardo de recepción se refiere a un retardo que se produce después de que una señal de recepción pase a través de un canal de recepción, y un retardo mezclado se refiere a un retardo que se produce después de que una señal pase a través de un canal de transmisión y un canal de recepción. El receptor separa los retardos de los  $m$  canales de recepción según  $n \times m$  retardos, donde los  $n \times m$  retardos se obtienen en este caso superponiendo los retardos enteros y los retardos fraccionados. En esta forma de realización, los retardos obtenidos mediante la estimación según las etapas S102 y S103 son  $n \times m$  retardos obtenidos después de que los canales de transmisión y los canales de recepción se superpongan de manera cruzada. Un retardo que se obtiene superponiendo los  $m$  retardos recibidos a modo de canales cruzados se aproxima a una suma de un retardo entero y un retardo fraccionado como los estimados anteriormente, donde los  $m$  retardos de recepción están separados por el receptor usando un algoritmo de separación. El algoritmo de separación no está limitado en la presente invención; por ejemplo, el receptor puede usar un procedimiento sencillo de separación variable como solución.

Opcionalmente, en esta forma de realización de la presente invención, el receptor calcula periódicamente la matriz de respuesta de canal del sistema de comunicación MIMO, estima un retardo de cada canal de transmisión y un retardo de cada canal de recepción usando la matriz de respuesta de canal, y supervisa un cambio en los retardos en tiempo real.

Según la descripción de la anterior forma de realización, la presente invención tiene las siguientes ventajas:

Al estimar una matriz de respuesta de canal de un sistema de comunicación MIMO, un receptor calcula un retardo fraccionado de cada subcanal y un retardo entero con respecto a un subcanal de referencia, y separa un retardo de cada canal de recepción usando un resultado de cálculo obtenido, de manera que un retardo en un extremo de recepción en el sistema de comunicación MIMO puede medirse en línea y en tiempo real, y se consigue una alta precisión en las mediciones.

Haciendo referencia a la FIG. 2, la FIG. 2 es otro diagrama de flujo esquemático de un procedimiento de estimación de retardos para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas según una forma de realización de la presente invención. En esta forma de realización, el procedimiento incluye las siguientes etapas:

Etapa S201: Un receptor calcula una matriz de respuesta de canal de un sistema de comunicación MIMO según una señal piloto enviada por un transmisor.

Específicamente, hay  $n$  canales de transmisión y  $m$  canales de recepción en el sistema de comunicación MIMO, donde  $n \geq 2$  y  $m \geq 2$ . El receptor puede calcular la matriz de respuesta de canal del sistema de comunicación MIMO según una señal piloto en una señal de transmisión, donde la señal piloto se refiere a un símbolo conocido insertado por el transmisor en un flujo de datos enviado. Un procedimiento para calcular la matriz de respuesta de canal es específicamente:  $y = H \cdot x + p$ , donde 'y' es una señal de recepción, H es una matriz de respuesta de canal, 'x' es una señal piloto, 'p' es ruido del receptor, y la matriz de respuesta de canal, calculada por el receptor, de  $n \times m$  subcanales, es como sigue:



$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1m} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2m} \\ \dots & \dots & h_{ij} & \dots \\ h_{n1} & h_{n2} & \dots & h_{nm} \end{bmatrix}$$

5 donde  $h_{ij}$  es una respuesta de canal de un subcanal  $C_{ij}$  formado desde un  $i$ -ésimo canal de transmisión hasta un  $j$ -ésimo canal de recepción del sistema de comunicación MIMO, donde  $1 \leq i \leq n$ ,  $1 \leq j \leq m$ , y hay respuestas de canal de los  $n \cdot m$  subcanales en la matriz de respuesta de canal.

10 Debe entenderse que el receptor puede estimar la matriz de respuesta de canal usando cualquier otro procedimiento de estimación de canal, por ejemplo un procedimiento de dominio de tiempo o un procedimiento de dominio de frecuencia, lo cual no está limitado en la presente invención; y la matriz de respuesta de canal puede ser una matriz de respuesta de canal de dominio de tiempo o una matriz de respuesta de canal de dominio de frecuencia.

Etapa S202: Detectar una desviación de posición máxima entre una respuesta de canal de un subcanal que va a medirse y una respuesta de canal de un subcanal de referencia.

15 Específicamente, cualquier subcanal se selecciona previamente a partir de los  $n \cdot m$  subcanales y se usa como un subcanal de referencia para la alineación, y los retardos enteros de otros subcanales son, en su totalidad, retardos enteros relativos que se calculan según el subcanal de referencia. En la siguiente descripción a modo de ejemplo, se supone que un subcanal  $C_{11}$  que está formado desde un primer canal de transmisión hasta un primer canal de recepción es el subcanal de referencia, y una respuesta de canal del subcanal de referencia es  $h_{11}$ .

20 A partir de una propiedad de una señal digital puede saberse que un retardo de un periodo de símbolo entero provoca la traslación de varios puntos de muestreo de una respuesta de canal. Con referencia a la FIG. 3, un procedimiento para calcular un retardo entero de un subcanal es específicamente como sigue: un subcanal que tiene que medirse se selecciona de entre los  $n \cdot m$  subcanales y se usa como el subcanal que va a medirse, y el receptor calcula una posición máxima en la respuesta de canal del subcanal que va a medirse y una posición máxima en la respuesta de canal del subcanal de referencia, donde la posición máxima se refiere a una posición de un punto de respuesta de amplitud máxima en la respuesta de canal. En la FIG. 3, se supone que el subcanal de referencia seleccionado es  $C_{11}$ , es decir, el subcanal desde el primer canal de transmisión hasta el primer canal de recepción, una respuesta de canal correspondiente al subcanal de referencia es  $h_{11}(n)$ , y un retardo entero correspondiente al subcanal  $C_{11}$  es 0. La detección de la posición máxima se lleva a cabo en una respuesta de canal ( $h_{11}(n) - h_{nm}(n)$ ) de cada subcanal en los  $n \cdot m$  subcanales, después se calcula una desviación de posición máxima entre una posición máxima obtenida de cada subcanal y el subcanal de referencia, y un retardo entero  $\Delta_{ij}$ , con respecto al subcanal de referencia, de cada subcanal se obtiene según la desviación de posición, donde  $1 \leq i \leq n$ ,  $1 \leq j \leq m$ , e ' $i$ ' y ' $j$ ' son enteros.

35 Etapa S203: Calcular un retardo entero del subcanal que va a medirse según la desviación de posición máxima, donde un retardo entero del subcanal de referencia es 0.

40 Específicamente, el receptor determina, según la posición máxima del subcanal que va a medirse y la posición máxima del subcanal de referencia que se calcula en la etapa 202, una desviación de posición máxima entre las dos posiciones máximas, donde la desviación de posición máxima es el retardo entero, con respecto al subcanal de referencia, del subcanal que va a medirse. El receptor calcula un retardo entero de cada subcanal usando este procedimiento de cálculo.

45 Etapa S204: Llevar a cabo un procesamiento de extensión de retardo en la respuesta de canal del subcanal que va a medirse mediante 0 múltiplo de,  $1/K$ ,  $2/K$ , ..., y  $(K-1)/K$  de un periodo de símbolo, para obtener  $K$  respuestas de canal extendidas, donde  $K \geq 2$ .

50 Específicamente, con referencia a la FIG. 4, un procedimiento de estimación específica es que un subcanal que tiene que medirse se selecciona a partir de los  $n \cdot m$  subcanales, y se usa como el subcanal que va a medirse (por ejemplo, un subcanal  $C_{11}$  mostrado en la FIG. 4); se lleva a cabo un procesamiento de extensión de retardo en la respuesta de canal del subcanal que va a medirse mediante 0 múltiplo de, y  $1/K$ ,  $2/K$ , ..., y  $(K-1)/K$  del periodo de símbolo para obtener las  $K$  respuestas de canal extendidas, donde  $K \geq 2$ . Suponiendo que  $K=3$  y que la respuesta de canal  $h_{11}(n)$  del subcanal que va a medirse se obtiene a partir de la matriz de respuesta de canal, el procesamiento

de extensión de retardo se lleva a cabo en la respuesta de canal obtenida mediante 0 múltiplo de, 1/3 y 2/3 del periodo de símbolo, para obtener  $h_{11}(n)$ ,  $h_{11}(n - 1/3)$  y  $h_{11}(n - 2/3)$ , de manera correspondiente.

5 Etapa S205: Calcular por separado entropías de canal de las K respuestas de canal extendidas y seleccionar un retardo de un periodo de símbolo no entero como un retardo fraccionado del subcanal que va a medirse, donde el periodo de símbolo no entero corresponde a una entropía de canal máxima.

10 Específicamente, a partir de una propiedad de una señal digital puede saberse que un retardo de un periodo de símbolo fraccionado provoca la extensión de una respuesta de canal, y para cuantificar el grado de la extensión de la respuesta de canal, una entropía de canal de una respuesta de canal  $f(n)$  se define como:

$$Ent\_cr = \sum_{i=1}^n (p_i \cdot \log(p_i)) \quad p_i = \frac{abs(f(i))}{\sum_{i=1}^n abs(f(i))}$$

15 donde  $f(n)$  es una secuencia digital,  $n$  es la longitud de la secuencia digital,  $Ent\_cr$  es una entropía de canal,  $abs(f(n))$  indica el cálculo de un valor absoluto de un valor de amplitud de un  $i$ -ésimo punto en  $f(n)$ , y  $\log(.)$  indica una operación para calcular un logaritmo.

20 A partir de una propiedad de una función convexa de una función de entropía puede saberse que un mayor grado con respecto al cual se desvía un retardo fraccionado a partir de un retardo entero indica una mayor extensión de una respuesta de canal y una entropía de canal más pequeña y, por lo tanto, la longitud del retardo fraccionado puede estimarse calculando una entropía de canal de una respuesta de canal retardada.

25 Las entropías de canal de las tres respuestas de canal extendidas  $h_{11}(n)$ ,  $h_{11}(n - 1/3)$  y  $h_{11}(n - 2/3)$  que se obtienen en la etapa 204 se calculan según la anterior fórmula, y las tres entropías de canal que se obtienen mediante cálculo se comparan entre sí, y un retardo de un periodo de símbolo fraccionado correspondiente a una entropía de canal máxima de las tres entropías de canal se usa como un retardo fraccionado. Suponiendo que una entropía de canal de la respuesta de canal extendida  $h_{11}(n - 1/3)$  es máxima, un retardo fraccionado  $\tau_{11}$  del subcanal que va a medirse es 1/3 del periodo de símbolo. Un principio operativo del retardo fraccionado puede describirse del siguiente modo:

$$\tau_{ij} = \max_{0 \leq t \leq 1} \left\{ Ent\_cr \left( IFT \left\{ FT \left\{ h_{ij}(n) \right\} \cdot e^{-j\omega t} \right\} \right) \right\}$$

30 Para obtener un retardo fraccionado más preciso, K puede fijarse a un valor entero elevado. Cuando el valor de K es elevado, la complejidad de cálculo del receptor aumenta. Por lo tanto, cuando se selecciona el valor de K es necesario conseguir un equilibrio entre la precisión y la complejidad. Un retardo fraccionado de cada subcanal en los  $n \cdot m$  subcanales se calcula usando los procedimientos de la etapa 204 y la etapa 205, es decir, se calculan  $\tau_{11} - \tau_{nm}$  mostrados en la FIG. 4.

40 En esta forma de realización de la presente invención, la función de entropía de canal puede sustituirse por una función objetivo que defina por sí misma un retardo como una variable independiente, donde la función objetivo satisface una propiedad de una función decreciente, es decir, un retardo más largo indica un valor más pequeño de la función objetivo, y un retardo más corto indica un valor más elevado de la función objetivo. El receptor puede estimar un retardo fraccionado de un subcanal usando la función objetivo.

45 En esta forma de realización de la presente invención, una secuencia de las etapas para calcular el retardo entero y el retardo fraccionado del subcanal que va a medirse no está limitada. El receptor puede calcular en primer lugar el retardo fraccionado del subcanal que va a medirse, y después calcular el retardo entero, es decir, primero lleva a cabo las etapas 204 y 205, y después lleva a cabo las etapas 202 y 203.

50 Etapa S206: El receptor separa retardos de transmisión de  $n$  canales de transmisión y  $m$  retardos de recepción de los retardos de  $n \cdot m$  subcanales usando un procedimiento de separación variable.

Específicamente, el receptor separa los retardos de transmisión de los n canales de transmisión y los retardos de recepción de los m canales de recepción según retardos enteros obtenidos y los n\*m retardos fraccionados de los n\*m subcanales usando el procedimiento de separación variable. Una fórmula es:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta t_{ti} = \min_t \left| \sum_{j=1}^m \left( (\Delta_{ij} + \tau_{ij}) - \Delta t_{rj} \right) - m \cdot t \right| \\ \Delta t_{ri} = \min_t \left| \sum_{j=1}^n \left( (\Delta_{ji} + \tau_{ji}) - \Delta t_{tj} \right) - n \cdot t \right| \end{array} \right.$$

5 donde  $\Delta t_{ti}$  es un retardo de transmisión de un i-ésimo canal de transmisión,  $\Delta t_{ri}$  es un retardo de recepción de un i-ésimo canal de recepción,  $\Delta_{ij}$  es un retardo entero desde el i-ésimo canal de transmisión hasta un j-ésimo canal de recepción, y  $\tau_{ij}$  es un retardo fraccionado desde el i-ésimo canal de transmisión hasta el j-ésimo canal de recepción.

10 Etapa S207: El receptor devuelve, al transmisor, n retardos de retransmisión que están separados, de manera que el transmisor lleva a cabo por separado una compensación de retardo en canales de transmisión correspondientes según los n retardos de transmisión.

15 Específicamente, el receptor devuelve los n retardos de transmisión separados en la etapa 206 al transmisor usando un canal de realimentación, el transmisor lleva a cabo, por separado, una compensación de retardo en los canales de transmisión correspondientes, y el transmisor realiza, según los retardos de transmisión, una compensación de retardo en una señal digital que transporta información de símbolo, con el fin de conseguir una sincronización relativa con un canal de transmisión en el subcanal de referencia.

20 Etapa S208: El receptor lleva a cabo, por separado, una compensación de retardo en canales de recepción correspondientes según los retardos de recepción.

25 Específicamente, el receptor lleva a cabo, por separado, una compensación de retardo en los canales de recepción correspondientes según los m retardos de recepción separados en la etapa 206, y el receptor lleva a cabo, según los retardos de recepción, una compensación de retardo en una señal digital que transporta información de símbolo, con el fin de conseguir una sincronización relativa con un canal de recepción en el subcanal de referencia.

30 En esta forma de realización de la presente invención, cuando el receptor empieza a funcionar, la compensación inicial de cada canal de transmisión y la compensación inicial de cada canal de recepción son ambas cero. El receptor estima una matriz de respuesta de canal en este momento según una señal de recepción, y estima retardos (que se obtienen superponiendo retardos enteros y retardos fraccionados) entre subcanales según la matriz de respuesta de canal actualmente obtenida. El receptor separa además los retardos de canales de transmisión y los retardos de canales de recepción a partir de los retardos obtenidos, y el transmisor y el receptor llevan a cabo por separado una compensación de tiempo según los retardos, para conseguir una sincronización relativa de los canales de transmisión y los canales de recepción.

35 El receptor repite el proceso anterior según una matriz de respuesta de canal de una señal de recepción compensada, y todo el sistema entra en un estado de funcionamiento de bucle cerrado, con el fin de conseguir los objetivos de seguimiento de retardos multicanal y una compensación en línea.

Según la descripción de la anterior forma de realización, la presente invención tiene las siguientes ventajas:

45 Al estimar una matriz de respuesta de canal de un sistema de comunicación MIMO, un receptor calcula un retardo fraccionado de cada subcanal y un retardo entero con respecto a un subcanal de referencia, y separa un retardo de transmisión de cada canal de transmisión y un retardo de recepción de cada canal de recepción usando un resultado de cálculo obtenido, de manera que los retardos en un extremo de recepción y en un extremo de transmisión en el sistema de comunicación MIMO pueden medirse en línea y en tiempo real, y se consigue una alta precisión en las mediciones.

50

Haciendo referencia a la FIG. 5, la FIG. 5 es otro diagrama de flujo esquemático de un procedimiento de estimación de retardos para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas según una forma de realización de la presente invención. En esta forma de realización, el procedimiento incluye:

5 Etapa S301: Un receptor calcula una matriz de respuesta de canal de un sistema de comunicación MIMO según una señal piloto enviada por un transmisor.

Etapa S302: Detectar una desviación de posición máxima entre una respuesta de canal de un subcanal que va a medirse y una respuesta de canal de un subcanal de referencia.

10 Etapa S303: Calcular un retardo entero del subcanal que va a medirse según la desviación de posición máxima, donde un retardo entero del subcanal de referencia es 0.

Etapa S304: Llevar a cabo un procesamiento de extensión de retardo en la respuesta de canal del subcanal que va a medirse mediante 0 múltiplo de, y 1/K, 2/K, ..., y (K-1)/K de un periodo de símbolo, para obtener K respuestas de canal extendidas, donde  $K \geq 2$ .

15 Etapa S305: Calcular por separado entropías de canal de las K respuestas de canal extendidas, y seleccionar un retardo de un periodo de símbolo no entero como un retardo fraccionado del subcanal que va a medirse, donde el periodo de símbolo no entero corresponde a una entropía de canal máxima.

20 Las etapas S301 a S305 y la segunda forma de realización de procedimiento están basadas en un mismo concepto, y los efectos técnicos conseguidos en las etapas S301 a S305 son también los mismos que los de la forma de realización de procedimiento de la presente invención. En lo que respecta a un contenido específico, puede hacerse referencia a la descripción de la segunda forma de realización de procedimiento de la presente invención. Los detalles no se proporcionan de nuevo en el presente documento.

Etapa S306: El receptor separa retardos mezclados de m canales de recepción a partir de los retardos de  $n \cdot m$  subcanales usando un procedimiento de separación variable.

25 Específicamente, una señal mezclada recibida en un canal de recepción del receptor incluye n retardos diferentes, que se obtienen superponiendo n retardos de transmisión del transmisor y un retardo de recepción del canal de recepción. El receptor no puede compensar, solamente en el canal de recepción, n canales de transmisión diferentes para retardos de transmisión. La mejor política de compensación es que el receptor compense, en el canal de recepción, el transmisor en lo que respecta a un valor promedio de n retardos de transmisión, y un retardo relativo restante es una diferencia entre un retardo de transmisión de cada canal de transmisión y el valor promedio.

Opcionalmente, en esta forma de realización de la presente invención, el transmisor separa además los retardos mezclados de los m canales de recepción según los retardos de los  $n \cdot m$  subcanales. Un principio de funcionamiento es el siguiente:

35

$$\Delta t_{ri} = \min_i \left| \sum_{j=1}^n (\Delta_{ji} + \tau_{ji}) - n \cdot t \right|$$

Opcionalmente, el receptor puede calcular además un retardo mezclado de un canal de recepción según un retardo de transmisión de un canal de transmisión y un retardo de recepción del canal de recepción. Se supone que el retardo de transmisión del canal de transmisión separado es  $\Delta t_{ji}$ , donde  $1 \leq i \leq n$ , y el retardo de recepción del canal de recepción separado es  $\Delta t_{ri}$ , entonces, el retardo mezclado del canal de recepción se expresa como el resultado de superponer un valor promedio de retardos de transmisión de n canales de transmisión y un retardo de recepción del canal de recepción. Un retardo mezclado de un canal de recepción 1 se usa como ejemplo, y el retardo mezclado del canal de recepción 1 es:

45

$$\frac{(\Delta t_{i1} + \Delta t_{i2} + \Delta t_{i3} + \dots + \Delta t_{in})}{n} + \Delta t_{r1}$$

En esta forma de realización, el valor promedio de los retardos de transmisión de los n canales de transmisión también puede calcularse usando otro procedimiento, tal como un procedimiento de valor promedio ponderado o un procedimiento de valor promedio aritmético, lo cual no está limitado en la presente invención.

5 Etapa S307: Llevar a cabo por separado una compensación de retardo en canales de recepción correspondientes usando m retardos mezclados.

10 En esta forma de realización de la presente invención, el transmisor lleva a cabo una compensación de retardo solamente en un canal de recepción. Puesto que no hay una compensación de retardo en el transmisor, no es necesario establecer un canal de realimentación, y la estructura del sistema es más sencilla.

15 Debe observarse que todas las formas de realización de la presente memoria descriptiva usan una manera progresiva de descripción. Cada forma de realización se centra en una diferencia con respecto a otras formas de realización, y en lo que respecta a las mismas partes o a partes similares de las formas de realización, puede hacerse referencia a las mismas entre sí. Las formas de realización de aparato se describen brevemente ya que son muy similares a las formas de realización de procedimiento, y en lo que respecta a las partes relevantes, puede hacerse referencia a la descripción de las formas de realización de procedimiento.

20 Haciendo referencia a la FIG. 6, la FIG. 6 es un diagrama estructural esquemático de un aparato de estimación de retardos para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas según una primera forma de realización de la presente invención. En esta forma de realización, el aparato incluye:

25 un módulo de cálculo de respuesta 10 configurado para calcular una matriz de respuesta de canal de un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas, MIMO, donde hay n canales de transmisión y m canales de recepción en el sistema de comunicación MIMO,  $n \geq 2$ ,  $m \geq 2$ , y la matriz de respuesta de canal incluye respuestas de canal de  $n \cdot m$  subcanales.

30 Específicamente, hay n canales de transmisión y m canales de recepción en el sistema de comunicación MIMO, donde  $n \geq 2$  y  $m \geq 2$ . El módulo de cálculo de respuesta 10 puede calcular la matriz de respuesta de canal del sistema de comunicación MIMO según una señal piloto en una señal de transmisión, que es específicamente:  $y = H \cdot x + p$ , donde 'y' es una señal de recepción, H es una matriz de respuesta de canal, 'x' es una señal piloto, 'p' es ruido de un receptor, y la matriz de respuesta de canal, calculada por el receptor, de los  $n \cdot m$  subcanales, es como sigue:

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1m} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2m} \\ \dots & \dots & h_{ij} & \dots \\ h_{n1} & h_{n2} & \dots & h_{nm} \end{bmatrix}$$

35 donde  $h_{ij}$  es una respuesta de canal de un subcanal  $C_{ij}$  formado desde un i-ésimo canal de transmisión hasta un j-ésimo canal de recepción del sistema de comunicación MIMO, donde  $1 \leq i \leq n$ ,  $1 \leq j \leq m$ , y hay respuestas de canal de los  $n \cdot m$  subcanales en la matriz de respuesta de canal.

40 Puede entenderse que el módulo de cálculo de respuesta 10 también puede estimar la matriz de respuesta de canal usando otro procedimiento, por ejemplo estimando directamente la matriz de respuesta de canal del sistema de comunicación MIMO usando una señal de transmisión recibida, donde la matriz de respuesta de canal puede ser una matriz de respuesta de canal de dominio de tiempo o una matriz de respuesta de canal de dominio de frecuencia, lo cual no está limitado en la presente invención.

45 Un módulo de cálculo de retardo entero 20 está configurado para calcular un retardo entero, con respecto a un subcanal de referencia, de cada uno de los  $n \cdot m$  subcanales según la matriz de respuesta de canal, donde el subcanal de referencia es cualquier subcanal de los  $n \cdot m$  subcanales.

50 Específicamente, cualquier subcanal se selecciona previamente a partir de los  $n \cdot m$  subcanales y se usa como un subcanal de referencia para la alineación, y retardos enteros de otros subcanales son, en su totalidad, retardos enteros relativos que se calculan según el subcanal de referencia. En la siguiente descripción a modo de ejemplo, se

supone que un subcanal  $C_{11}$  que está formado desde un primer canal de transmisión hasta un primer canal de recepción es el subcanal de referencia, y una respuesta de canal del subcanal de referencia es  $h_{11}$ .

5 El módulo de cálculo de retardo entero 20 calcula el retardo entero, con respecto al subcanal de referencia, de cada subcanal en los  $n \times m$  subcanales, donde el retardo entero es un múltiplo entero de un periodo de símbolo, y el periodo de símbolo se refiere a una duración de elemento en un sistema de comunicación, es decir, un recíproco de una frecuencia de muestreo. Un procedimiento para calcular el retardo entero mediante el módulo de cálculo de retardo entero 20 puede ser un procedimiento de autocorrelación o un procedimiento de sincronización de sincronización de secuencias, lo cual no está limitado en la presente invención. Puede entenderse que un retardo entero del subcanal de referencia se calcula usando el subcanal de referencia como un objeto de referencia, y un valor del retardo entero es 0.

15 Un módulo de cálculo de retardo fraccionado 30 está configurado para calcular retardos fraccionados de los  $n \times m$  subcanales según la matriz de respuesta de canal.

Específicamente, un retardo fraccionado es un múltiplo fraccionado del periodo de símbolo, el periodo de símbolo es menor que un múltiplo de 1, y un retardo de cada subcanal en los  $n \times m$  subcanales incluye un retardo entero y un retardo fraccionado. Un retardo del subcanal  $C_{ij}$  se fija a  $\Delta T_{ij} = \Delta_{ij} + \tau_{ij}$ , donde  $\Delta_{ij}$  es un retardo entero,  $\tau_{ij}$  es un retardo fraccionado,  $1 \leq i \leq n$  y  $1 \leq j \leq m$ .

20 El receptor calcula el retardo entero, con respecto al subcanal de referencia, de cada uno de los  $n \times m$  subcanales usando el módulo de cálculo de retardo entero 20 para obtener  $n \times m$  retardos enteros, y calcula los retardos fraccionados de los  $n \times m$  subcanales usando el módulo de cálculo de retardo fraccionado 30 para obtener  $n \times m$  retardos fraccionados.

25 Un módulo de separación de retardos 40 está configurado para separar retardos de los  $m$  canales de recepción según retardos de los  $n \times m$  subcanales.

30 Específicamente, los retardos de los  $m$  canales de recepción son retardos de recepción o retardos mezclados, donde un retardo de recepción se refiere a un retardo que se produce después de que una señal de recepción pase a través de un canal de recepción, y un retardo mezclado se refiere a un retardo que se produce después de que una señal pase a través de un canal de transmisión y un canal de recepción. El módulo de separación de retardo 40 separa los retardos de transmisión de los  $n$  canales de transmisión y los retardos de recepción de los  $m$  canales de recepción según  $n \times m$  retardos, donde los  $n \times m$  retardos se obtienen en este caso superponiendo los retardos enteros y los retardos fraccionados. Los retardos obtenidos mediante la estimación realizada por el módulo de cálculo de retardo entero 20 y el módulo de cálculo de retardo fraccionado 30 son  $n \times m$  retardos después de que se superpongan de manera cruzada los canales de transmisión y los canales de recepción. Un retardo que se obtiene superponiendo los  $m$  retardos recibidos a modo de canales cruzados se aproxima a una suma de un retardo entero y un retardo fraccionado como los estimados anteriormente, donde los  $m$  retardos de recepción están separados por el receptor usando un algoritmo de separación. El algoritmo de separación no está limitado en la presente invención; por ejemplo, el módulo de separación de retardos 40 puede usar un procedimiento sencillo de separación variable como solución.

45 Debe entenderse que, en esta forma de realización de la presente invención, el aparato de estimación de retardos calcula periódicamente la matriz de respuesta de canal del sistema de comunicación MIMO, estima un retardo de cada canal de transmisión y un retardo de cada canal de recepción usando la matriz de respuesta de canal, y supervisa un cambio en los retardos en tiempo real.

50 Además, haciendo referencia a la FIG. 7, la FIG. 7 es un diagrama estructural esquemático de un aparato de estimación de retardos para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas según una segunda forma de realización de la presente invención. Además del módulo de cálculo de respuesta 10, del módulo de cálculo de retardo entero 20, del módulo de cálculo de retardo fraccionado 30 y del módulo de separación de retardos 40, el aparato incluye además un módulo de realimentación 50 y un primer módulo de compensación 60, donde los retardos de los  $m$  canales de recepción son retardos de recepción de los canales de recepción.

55 El módulo de realimentación 50 está configurado para separar retardos de transmisión de los  $n$  canales de transmisión según los retardos de los  $n \times m$  subcanales, y para devolver  $n$  retardos de transmisión al transmisor, de manera que el transmisor lleva a cabo por separado una compensación de retardo en canales de transmisión correspondientes según los  $n$  retardos de transmisión.

60 El primer módulo de compensación 60 está configurado para llevar a cabo por separado una compensación de retardo en canales de recepción correspondientes según  $m$  retardos de recepción.

65 Un proceso de interacción entre los módulos de esta forma de realización y los de la segunda forma de realización de procedimiento está basado en un mismo concepto, y los efectos técnicos conseguidos por esta forma de realización son también los mismos que los de la forma de realización de procedimiento de la presente invención. En

lo que respecta a un contenido específico, puede hacerse referencia a la descripción de la forma de realización de procedimiento de la presente invención. Los detalles no se proporcionan de nuevo en el presente documento.

Haciendo referencia a FIG. 8, la FIG. 8 es un diagrama estructural esquemático de un aparato de estimación de retardos para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas según una tercera forma de realización de la presente invención. Además del módulo de cálculo de respuesta 10, el módulo de cálculo de retardo entero 20, del módulo de cálculo de retardo fraccionado 30 y del módulo de separación de retardos 40, el aparato incluye además un segundo módulo de compensación 70, donde los retardos de los m canales de recepción son retardos mezclados de los canales de recepción.

El segundo módulo de compensación 70 está configurado para llevar a cabo por separado una compensación de retardo en canales de recepción correspondientes usando m retardos mezclados.

Un proceso de interacción entre los módulos de esta forma de realización y los de la tercera forma de realización de procedimiento está basado en un mismo concepto, y los efectos técnicos conseguidos por esta forma de realización son también los mismos que los de la forma de realización de procedimiento de la presente invención. En lo que respecta a un contenido específico, puede hacerse referencia a la descripción de la forma de realización de procedimiento de la presente invención. Los detalles no se proporcionan de nuevo en el presente documento.

Además, preferentemente, haciendo referencia a la FIG. 9 y a la FIG. 10, el módulo de cálculo de retardo entero 20 incluye una unidad de detección 201 y una primera unidad de cálculo 202, donde:

la unidad de detección 201 está configurada para detectar una desviación de posición máxima entre una respuesta de canal de un subcanal que va a medirse y una respuesta de canal del subcanal de referencia; y

la primera unidad de cálculo 202 está configurada para calcular un retardo entero del subcanal que va a medirse según la desviación de posición máxima, donde un retardo entero del subcanal de referencia es 0.

La unidad de cálculo de retardo fraccionado incluye una unidad de extensión 301 y una segunda unidad de cálculo 302, donde:

la unidad de extensión 301 está configurada para llevar a cabo, por separado, un procesamiento de extensión de retardo en la respuesta de canal del subcanal que va a medirse 0 múltiplo de, y  $1/K$ ,  $2/K$ , ..., y  $(K-1)/K$  de un periodo de símbolo, para obtener K respuestas de canal extendidas, donde  $K \geq 2$  y es un entero; y

la segunda unidad de cálculo 302 está configurada para calcular por separado entropías de canal de las K respuestas de canal extendidas, y para seleccionar un retardo de un periodo de símbolo no entero como un retardo fraccionado del subcanal que va a medirse, donde el periodo de símbolo no entero corresponde a una entropía de canal máxima.

Haciendo referencia a la FIG. 11, la FIG. 11 es un diagrama estructural esquemático de un aparato de estimación de retardos para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas según una cuarta forma de realización de la presente invención. En lo sucesivo, el aparato se denominará aparato de estimación 1, donde el aparato de estimación 1 incluye un procesador 61, una memoria 62, un aparato de entrada 63 y un aparato de salida 64, y puede haber uno o más procesadores 61 en el aparato de estimación 1. En la FIG. 11 se toma como ejemplo que haya un procesador. En algunas formas de realización de la presente invención, el procesador 61, la memoria 62, el dispositivo de entrada 63 y el dispositivo de salida 64 pueden conectarse usando un bus u otro medio. En la FIG. 11 se toma como ejemplo que estén conectados usando el bus.

La memoria 62 almacena un conjunto de código de programa, y el procesador 61 está configurado para invocar el código de programa almacenado en la memoria 62 para realizar las siguientes operaciones:

calcular una matriz de respuesta de canal de un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas, MIMO, donde hay n canales de transmisión y m canales de recepción en el sistema de comunicación MIMO,  $n \geq 2$ ,  $m \geq 2$ , y la matriz de respuesta de canal incluye respuestas de canal de  $n \cdot m$  subcanales;

calcular un retardo entero, con respecto a un subcanal de referencia, de cada uno de los  $n \cdot m$  subcanales según la matriz de respuesta de canal, donde el subcanal de referencia es cualquier subcanal de los  $n \cdot m$  subcanales;

calcular retardos fraccionados de los  $n \cdot m$  subcanales según la matriz de respuesta de canal; y

separar retardos de los m canales de recepción según retardos de los  $n \cdot m$  subcanales.

Preferentemente, el procesador 61 está configurado específicamente para detectar una desviación de posición máxima entre una respuesta de canal de un subcanal que va a medirse y una respuesta de canal del subcanal de

referencia; y para calcular un retardo entero del subcanal que va a medirse según la desviación de posición máxima, donde un retardo entero del subcanal de referencia es 0.

Preferentemente, el procesador 61 está configurado específicamente para:

- 5 llevar a cabo un procesamiento de extensión de retardo en la respuesta de canal del subcanal que va a medirse mediante 0 múltiplo de, y  $1/K$ ,  $2/K$ , ..., y  $(K-1)/K$  de un periodo de símbolo, para obtener K respuestas de canal extendidas, donde  $K \geq 2$  y es un entero; y
- 10 calcular por separado entropías de canal de las K respuestas de canal extendidas, y seleccionar un retardo de un periodo de símbolo no entero como un retardo fraccionado del subcanal que va a medirse, donde el periodo de símbolo no entero corresponde a una entropía de canal máxima.

Preferentemente, el procesador 61 está configurado específicamente para calcular la matriz de respuesta de canal del sistema de comunicación MIMO según una señal piloto enviada por un transmisor.

- 15 Preferentemente, la matriz de respuesta de canal incluye una matriz de respuesta de canal de dominio de tiempo o una matriz de respuesta de canal de dominio de frecuencia.

- 20 Preferentemente, los retardos de los m canales de recepción son retardos de recepción de los canales de recepción, y el procesador 61 está configurado además para:

- 25 separar retardos de transmisión de los n canales de transmisión según los retardos de los  $n \cdot m$  subcanales, y devolver n retardos de transmisión al transmisor, de manera que el transmisor lleva a cabo por separado una compensación de retardo en los canales de transmisión correspondientes según los n retardos de transmisión; y
- llevar a cabo por separado una compensación de retardo en canales de recepción correspondientes según m retardos de recepción.

- 30 Preferentemente, los retardos de los m canales de recepción son retardos mezclados de los canales de recepción, y el procesador 61 está configurado además para:

llevar a cabo por separado una compensación de retardo en canales de recepción correspondientes usando m retardos mezclados.

- 35 Preferentemente, el procesador 61 está configurado específicamente para separar los retardos de transmisión de los n canales de transmisión y los retardos de recepción de los m canales de recepción de los retardos de los  $n \cdot m$  subcanales usando un procedimiento de separación variable.

Según la descripción de la anterior forma de realización, la presente invención tiene las siguientes ventajas:

- 40 Al estimar una matriz de respuesta de canal de un sistema de comunicación MIMO, un receptor calcula un retardo fraccionado de cada subcanal y un retardo entero con respecto a un subcanal de referencia, y separa un retardo de cada canal de recepción usando un resultado de cálculo obtenido, de manera que un retardo en un extremo de recepción en el sistema de comunicación MIMO puede medirse en línea y en tiempo real, y se consigue una alta precisión en las mediciones.
- 45

- Haciendo referencia a la FIG. 12, la FIG. 12 es un diagrama estructural esquemático de un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas según una primera forma de realización de la presente invención. En esta forma de realización de la presente invención, el sistema de comunicación incluye un transmisor y un receptor, donde el transmisor tiene n canales de transmisión y el receptor tiene m canales de recepción. Cuando el sistema de comunicación empieza a funcionar, una compensación de retardo inicial para cada canal de transmisión y una compensación de retardo inicial para cada canal de recepción son 0. El receptor calcula una matriz de respuesta de canal según una señal transmitida por el transmisor, el receptor calcula un retardo entero y un retardo fraccionado de cada subcanal según la matriz de respuesta de canal, y el receptor separa, usando un algoritmo de separación, retardos de transmisión de los n canales de transmisión y retardos de recepción de los m canales de recepción en retardos enteros y retardos fraccionados calculados de los  $n \cdot m$  subcanales. En la FIG. 12,  $\Delta_{r1} - \Delta_{rn}$  son los retardos de transmisión de los n canales de transmisión en el transmisor; y  $\Delta_{r1} - \Delta_{rm}$  son los retardos de recepción de los m canales de recepción en el receptor.
- 50
- 55

- 60 El receptor devuelve n retardos de transmisión al transmisor a través de un canal de realimentación, y el transmisor realiza una compensación de retardo en los canales de transmisión usando los retardos de transmisión; y el receptor lleva a cabo una compensación de retardo en los canales de recepción usando los retardos de recepción.



Tras funcionar durante un periodo de tiempo, el receptor estima la matriz de respuesta de canal usando señales obtenidas después de realizar la compensación de retardo en los canales de transmisión y la compensación de retardo en los canales de recepción, y repite el proceso anterior; de esta manera, todo el sistema entra en un estado de funcionamiento de bucle cerrado para conseguir los objetivos de seguimiento de retardos multicanal y la compensación en línea.

Haciendo referencia a la FIG. 13, la FIG. 13 es un diagrama estructural esquemático de un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas según una segunda forma de realización de la presente invención. En esta forma de realización de la presente invención, el sistema de comunicación incluye un transmisor y un receptor, donde el transmisor tiene  $n$  canales de transmisión y el receptor tiene  $m$  canales de recepción. Cuando el sistema de comunicación empieza a funcionar, una compensación de retardo inicial para cada canal de transmisión y una compensación de retardo inicial para cada canal de recepción son 0. El receptor calcula una matriz de respuesta de canal según una señal transmitida por el transmisor, y el receptor calcula un retardo entero y un retardo fraccionado de cada subcanal según la matriz de respuesta de canal, y estima retardos mezclados de los canales de recepción según la matriz de respuesta de canal. Una señal mezclada recibida en un canal de recepción del receptor incluye  $n$  retardos diferentes, que se obtienen superponiendo  $n$  retardos de transmisión del transmisor y un retardo de recepción del canal de recepción. El receptor no puede compensar, solamente en el canal de recepción,  $n$  canales de transmisión diferentes para retardos de transmisión. La mejor política de compensación es que el receptor compense, en el canal de recepción, el transmisor en lo que respecta a un valor promedio de  $n$  retardos de transmisión, es decir, un retardo mezclado del canal de recepción, y un retardo relativo restante es una diferencia entre un retardo de transmisión de cada canal de transmisión y el valor promedio. En la FIG. 13,  $\Delta_{r1}-\Delta_{rm}$  son retardos mezclados de los  $m$  canales de recepción.

Tras funcionar durante un periodo de tiempo, el receptor estima la matriz de respuesta de canal según una señal obtenida después de realizar la compensación de retardo y repite el proceso anterior; de esta manera, todo el sistema entra en un estado de funcionamiento de bucle cerrado para conseguir los objetivos de seguimiento de retardos multicanal y la compensación en línea.

En esta forma de realización de la presente invención, el transmisor lleva a cabo una compensación de retardo solamente en un canal de recepción. Puesto que no hay una compensación de retardo en el transmisor, no es necesario establecer un canal de realimentación, y la estructura del sistema es más sencilla.

Un experto en la técnica puede entender que todas o algunas de las etapas de las anteriores formas de realización de procedimiento pueden implementarse mediante un programa que da instrucciones a un hardware pertinente. El programa anterior puede almacenarse en un medio de almacenamiento legible por ordenador. Cuando el programa se ejecuta se llevan a cabo las etapas de las formas de realización de procedimiento anteriores. El medio de almacenamiento anterior incluye: cualquier medio que pueda almacenar código de programa, tal como una ROM, una RAM, un disco magnético o un disco óptico.

Lo que antecede ha descrito en detalle el procedimiento de estimación de retardos, así como el aparato y el sistema para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas proporcionados en las formas de realización de la presente invención. En esta memoria descriptiva se usan ejemplos específicos para describir los principios y las maneras de implementación de la presente invención, y la descripción de las anteriores formas de realización solo pretenden ayudar a entender el procedimiento y la idea principal de la presente invención. Por otro lado, los expertos en la técnica pueden, basándose en la idea de la presente invención, realizar modificaciones con respecto a las maneras de implementación específicas y el alcance de aplicación. Por lo tanto, el contenido de esta memoria descriptiva no debe considerarse como una limitación de la presente invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento de estimación de retardos para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas, MIMO, que incluye un transmisor y un receptor, que comprende:

5            calcular (S101), mediante el receptor, una matriz de respuesta de canal de un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas, MIMO, donde el transmisor tiene  $n$  canales de transmisión y el receptor tiene  $m$  canales de recepción,  $n \geq 2$ ,  $m \geq 2$ ,  $n$  y  $m$  son enteros, y la matriz de respuesta de canal comprende respuestas de canal de  $n \cdot m$  subcanales, donde un subcanal,  $C_{ij}$ , está formado desde un  $i$ -ésimo canal de transmisión hasta un  $j$ -ésimo canal de recepción en el sistema de comunicación MIMO;

caracterizado por

15            calcular (S102), mediante el receptor, un retardo entero, con respecto a un subcanal de referencia, de cada uno de los  $n \cdot m$  subcanales según la matriz de respuesta de canal, donde el subcanal de referencia es cualquier subcanal de los  $n \cdot m$  subcanales, donde el retardo entero es un múltiplo entero de un periodo de símbolo, y el periodo de símbolo se refiere a un recíproco de una frecuencia de muestreo;

              calcular (S103), mediante el receptor, retardos fraccionados de los  $n \cdot m$  subcanales según la matriz de respuesta de canal, donde el retardo fraccionado es un múltiplo fraccionado del periodo de símbolo; y

20            separar (S104), mediante el receptor, retardos de los  $m$  canales de recepción según retardos de los  $n \cdot m$  subcanales.

2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la etapa de calcular, mediante el receptor, un retardo entero, con respecto a un subcanal de referencia, de cada uno de los  $n \cdot m$  subcanales según la matriz de respuesta de canal comprende:

30            detectar una desviación de posición máxima entre una respuesta de canal de dominio de tiempo de un subcanal que va a medirse y una respuesta de canal de dominio de tiempo del subcanal de referencia, donde la posición máxima se refiere a una posición de un punto de respuesta de amplitud máxima en la respuesta de canal; y

              calcular un retardo entero del subcanal que va a medirse según la desviación de posición máxima, donde un retardo entero del subcanal de referencia es 0.

3. El procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el que la etapa de calcular, mediante el receptor, retardos fraccionados de los  $n \cdot m$  subcanales según la matriz de respuesta de canal comprende:

              llevar a cabo un procesamiento de extensión de retardo en la respuesta de canal del subcanal que va a medirse mediante  $0$ ,  $1/K$ ,  $2/K$ , ..., y  $(K-1)/K$  de un periodo de símbolo, para obtener  $K$  respuestas de canal extendidas, donde  $K \geq 2$  y es un entero; y

40            calcular por separado entropías de canal de las  $K$  respuestas de canal extendidas, y seleccionar un retardo de un periodo de símbolo no entero como un retardo fraccionado del subcanal que va a medirse, donde el periodo de símbolo no entero corresponde a una entropía de canal máxima.

4. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la etapa de calcular, mediante un receptor, una matriz de respuesta de canal de un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas, MIMO, comprende:

50            calcular, mediante el receptor, la matriz de respuesta de canal del sistema de comunicación MIMO según una señal piloto enviada por un transmisor.

5. El procedimiento según la reivindicación 4, en el que la matriz de respuesta de canal comprende una matriz de respuesta de canal de dominio de tiempo o una matriz de respuesta de canal de dominio de frecuencia.

6. El procedimiento según la reivindicación 5, en el que los retardos de los  $m$  canales de recepción son retardos de recepción de los canales de recepción, y el procedimiento comprende además:

60            separar, mediante el receptor, retardos de transmisión de los  $n$  canales de transmisión según los retardos de los  $n \cdot m$  subcanales, y devolver  $n$  retardos de transmisión al transmisor, de manera que el transmisor lleva a cabo por separado una compensación de retardo en los canales de transmisión correspondientes según los  $n$  retardos de transmisión; y

llevar a cabo por separado, mediante el receptor, una compensación de retardo en canales de recepción correspondientes según  $m$  retardos de recepción.

5 7. El procedimiento según la reivindicación 5, en el que los retardos de los  $m$  canales de recepción son retardos mezclados de los canales de recepción, y el procedimiento comprende además:

llevar a cabo por separado, mediante el receptor, una compensación de retardo en canales de recepción correspondientes usando  $m$  retardos mezclados;

10 en el que un retardo mezclado se refiere a un retardo que se produce después de que una señal pase a través de un canal de transmisión y un canal de recepción.

8. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la etapa de separar, mediante el receptor, retardos de los  $m$  canales de recepción según retardos de los  $n \cdot m$  subcanales comprende:

15 separar, mediante el receptor, los retardos de los  $m$  canales de recepción de los retardos de los  $n \cdot m$  subcanales usando un procedimiento de separación variable.

20 9. Un aparato de estimación de retardos para un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas, MIMO, que incluye un transmisor y un receptor, que comprende:

un módulo de cálculo de respuesta (10), configurado para calcular una matriz de respuesta de canal de un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas, MIMO, donde el transmisor tiene  $n$  canales de transmisión y el receptor tiene  $m$  canales de recepción,  $n \geq 2$ ,  $m \geq 2$ ,  $n$  y  $m$  son enteros, y la matriz de respuesta de canal comprende respuestas de canal de  $n \cdot m$  subcanales, donde un subcanal,  $C_{ji}$ , está formado desde un  $i$ -ésimo canal de transmisión hasta un  $j$ -ésimo canal de recepción en el sistema de comunicación MIMO;

caracterizado por un

30 módulo de cálculo de retardo entero (20), configurado para calcular un retardo entero, con respecto a un subcanal de referencia, de cada uno de los  $n \cdot m$  subcanales según la matriz de respuesta de canal, donde el subcanal de referencia es cualquier subcanal de los  $n \cdot m$  subcanales, donde el retardo entero es un múltiplo entero de un periodo de símbolo, y el periodo de símbolo se refiere a un recíproco de una frecuencia de muestreo;

35 un módulo de cálculo de retardo fraccionado (30), configurado para calcular retardos fraccionados de los  $n \cdot m$  subcanales según la matriz de respuesta de canal, donde el retardo fraccionado es un múltiplo fraccionado del periodo de símbolo; y

un módulo de separación de retardos (40), configurado para separar retardos de los  $m$  canales de recepción según retardos de los  $n \cdot m$  subcanales.

40 10. El aparato según la reivindicación 9, en el que el módulo de cálculo de retardo entero comprende:

45 una unidad de detección, configurada para detectar una desviación de posición máxima entre una respuesta de canal de dominio de tiempo de un subcanal que va a medirse y una respuesta de canal de dominio de tiempo del subcanal de referencia, donde la posición máxima se refiere a una posición de un punto de respuesta de amplitud máxima en la respuesta de canal; y

una primera unidad de cálculo, configurada para calcular un retardo entero del subcanal que va a medirse según la desviación de posición máxima, donde un retardo entero del subcanal de referencia es 0.

50 11. El aparato según la reivindicación 9 o 10, en el que el módulo de cálculo de retardo fraccionado comprende:

una unidad de extensión, configurada para llevar a cabo un procesamiento de extensión de retardo en la respuesta de canal del subcanal que va a medirse mediante  $0$ ,  $1/K$ ,  $2/K$ , ..., y  $(K-1)/K$  de un periodo de símbolos, para obtener  $K$  respuestas de canal extendidas, donde  $K \geq 2$  y es un entero; y

55 una segunda unidad de cálculo, configurada para calcular por separado entropías de canal de las  $K$  respuestas de canal extendidas, y para seleccionar un retardo de un periodo de símbolo no entero como un retardo fraccionado del subcanal que va a medirse, donde el periodo de símbolo no entero corresponde a una entropía de canal máxima.

12. El aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que el módulo de cálculo de respuesta está configurado para calcular la matriz de respuesta de canal del sistema de comunicación MIMO según una señal piloto enviada por un transmisor.

5 13. El aparato según la reivindicación 12, en el que la matriz de respuesta de canal comprende una matriz de respuesta de canal de dominio de tiempo o una matriz de respuesta de canal de dominio de frecuencia.

14. El aparato según la reivindicación 13, en el que los retardos de los  $m$  canales de recepción son retardos de recepción de los canales de recepción, y el aparato comprende además:

10 un módulo de realimentación, configurado para separar retardos de transmisión de los  $n$  canales de transmisión según los retardos de los  $n*m$  subcanales, y para devolver  $n$  retardos de transmisión al transmisor, de manera que el transmisor lleva a cabo por separado una compensación de retardo en los canales de transmisión correspondientes según los  $n$  retardos de transmisión; y

15 un primer módulo de compensación, configurado para llevar a cabo por separado una compensación de retardo en canales de recepción correspondientes según  $m$  retardos de recepción.

15. El aparato según la reivindicación 13, en el que los retardos de los  $m$  canales de recepción son retardos mezclados de los canales de recepción, y el aparato comprende además:

20 un segundo módulo de compensación, configurado para llevar a cabo por separado una compensación de retardo en canales de recepción correspondientes usando  $m$  retardos mezclados,

en el que un retardo mezclado se refiere a un retardo que se produce después de que una señal pase a través de un canal de transmisión y un canal de recepción.

25 16. El aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 15, en el que el módulo de separación de retardos está configurado para separar los retardos de los  $m$  canales de recepción de los retardos de los  $n*m$  subcanales usando un procedimiento de separación variable.

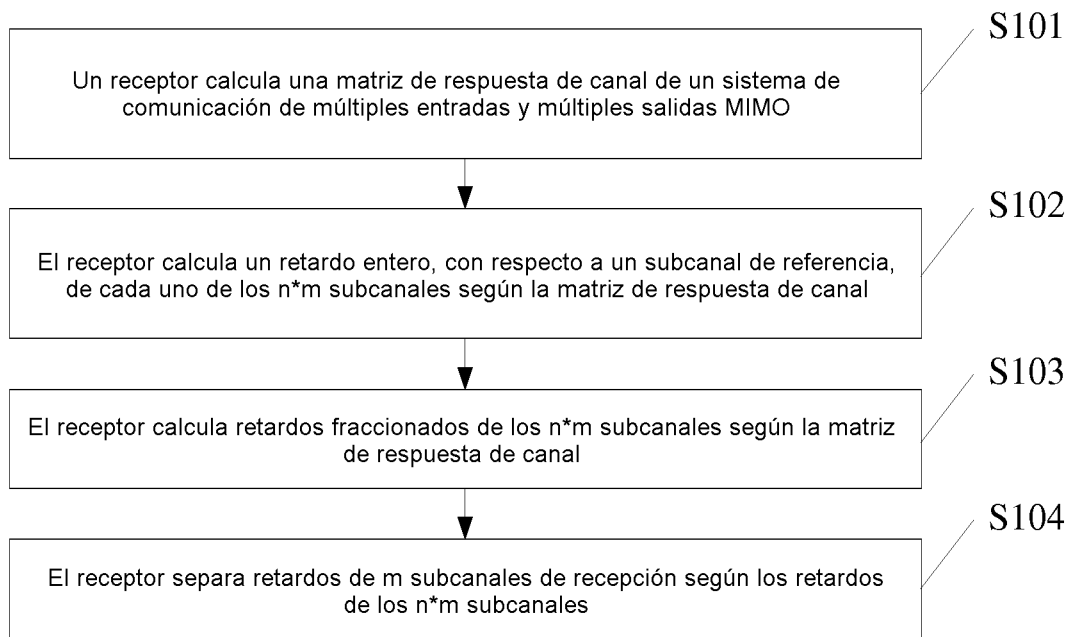


FIG. 1

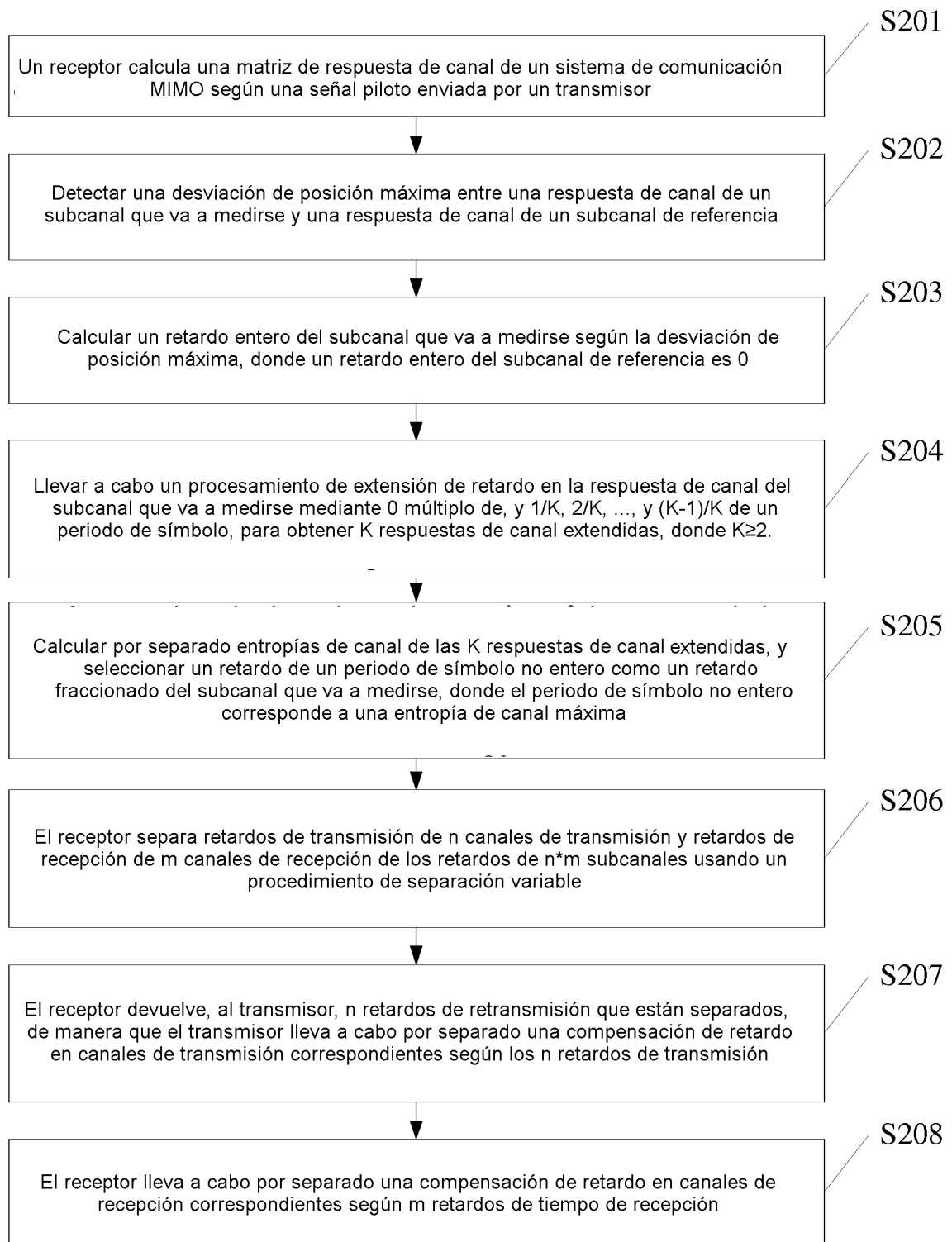


FIG. 2

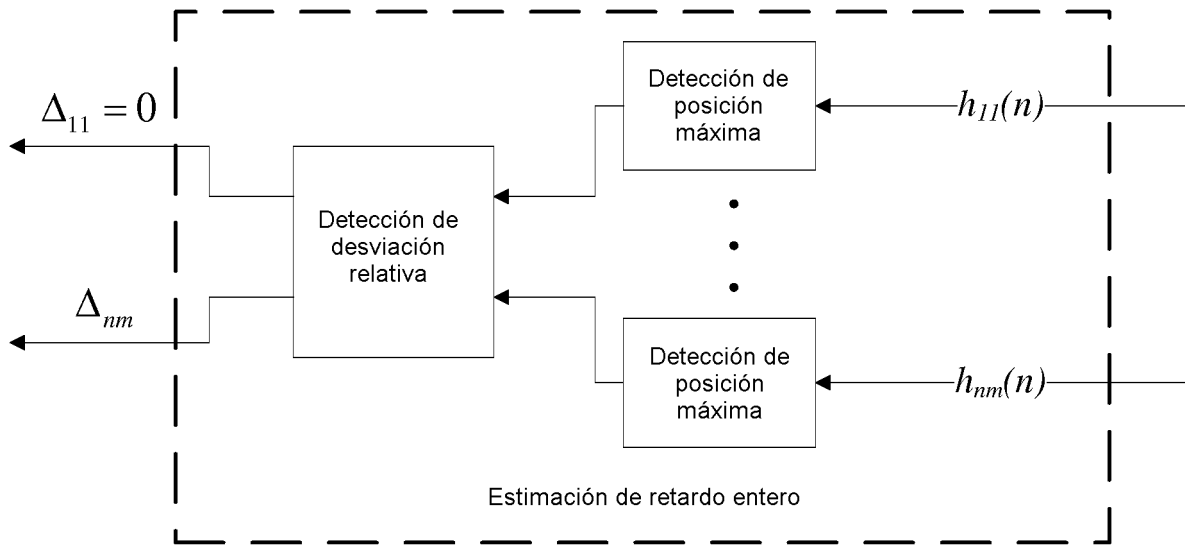


FIG. 3

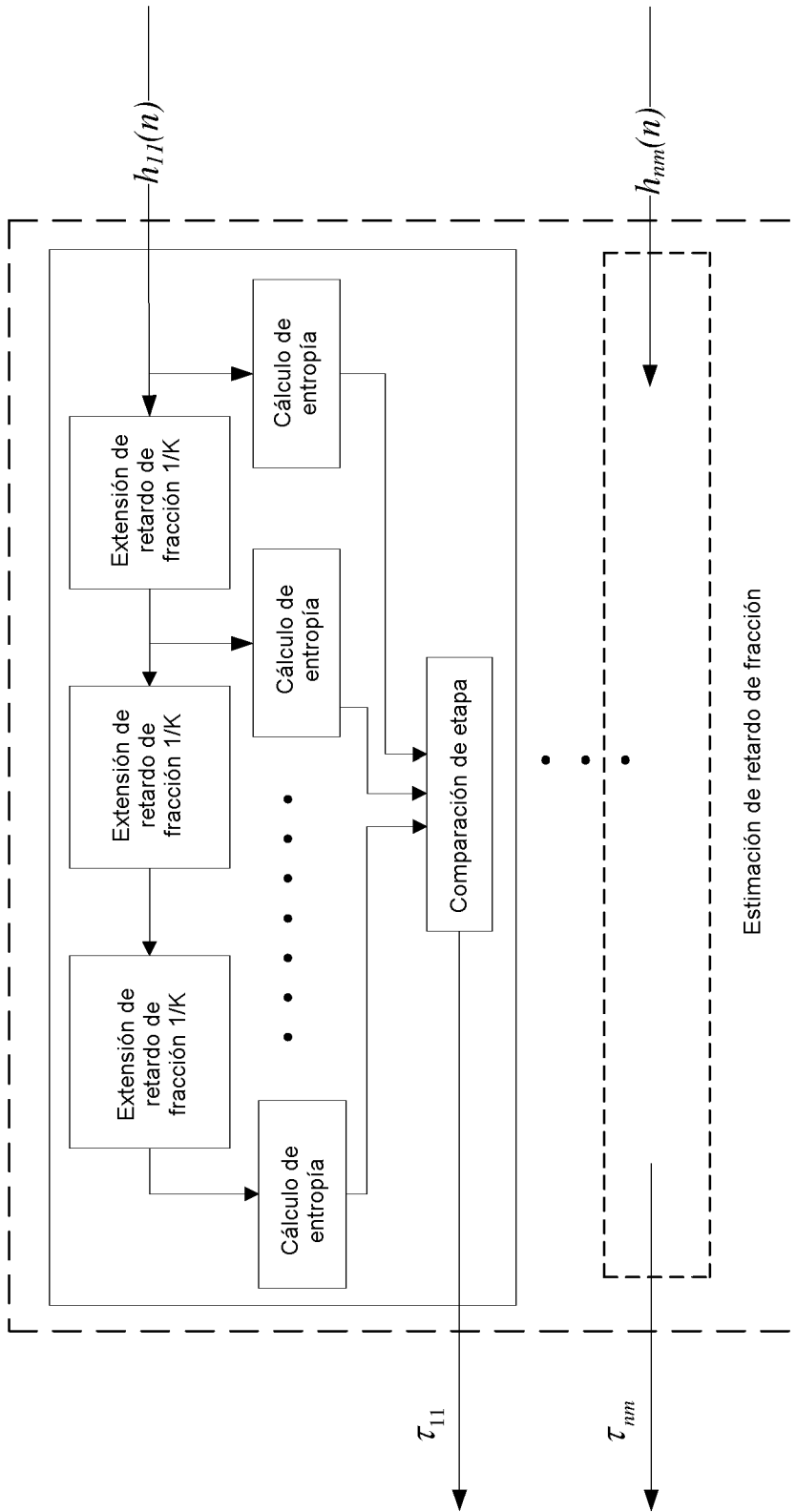


FIG. 4



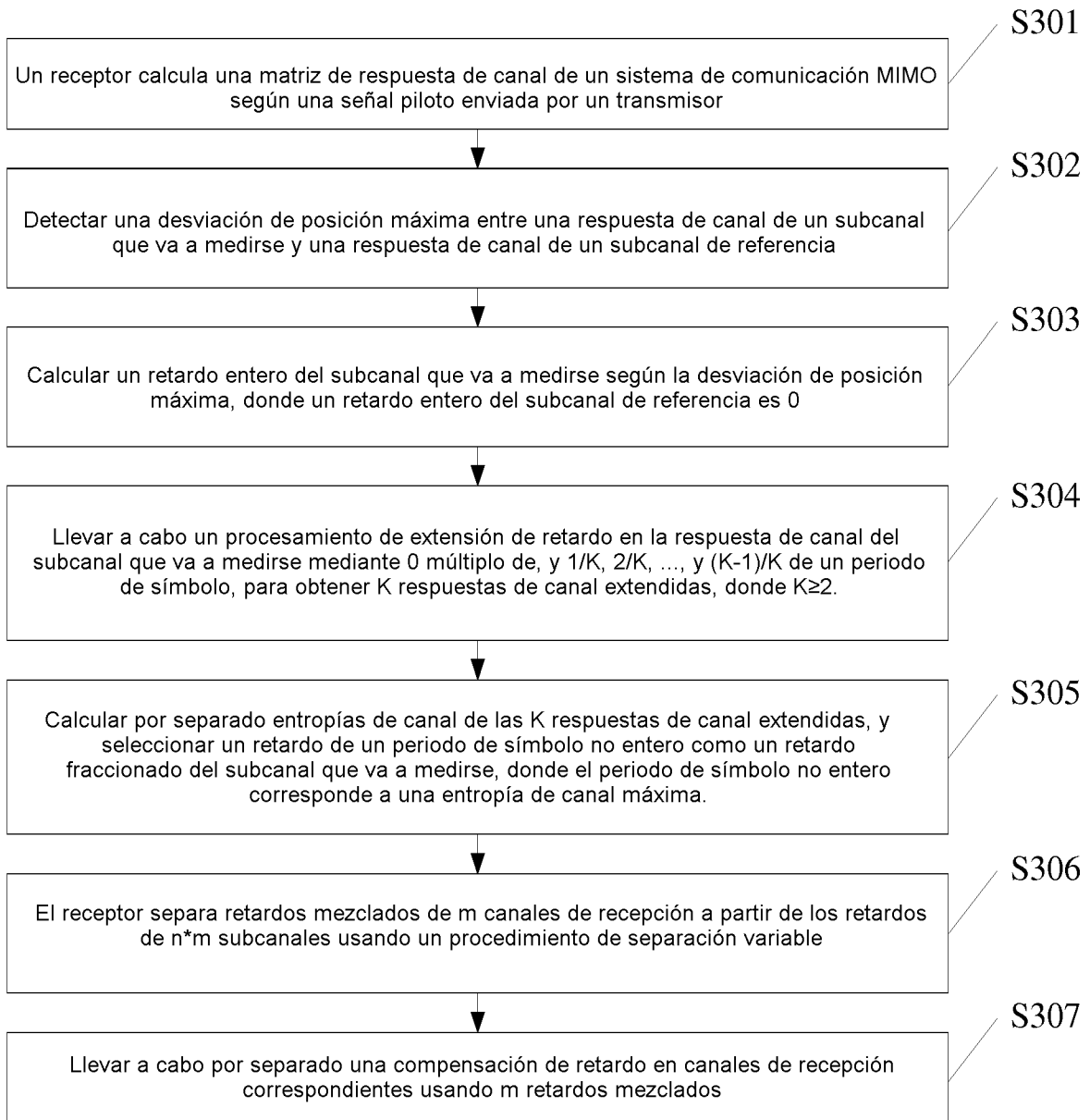


FIG. 5

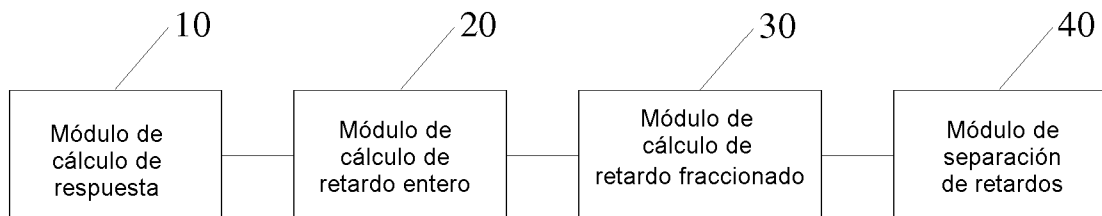


FIG. 6

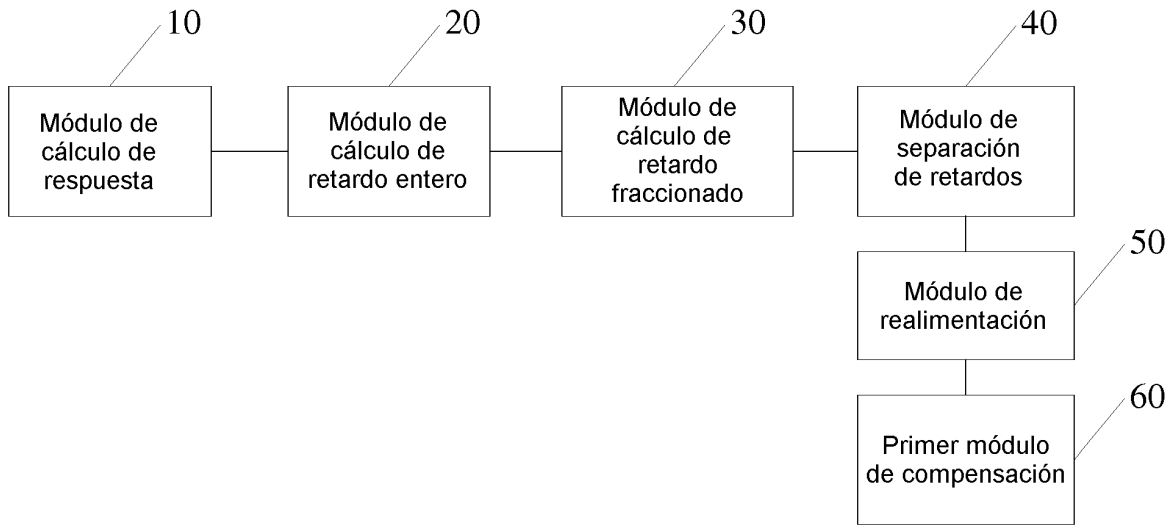


FIG. 7

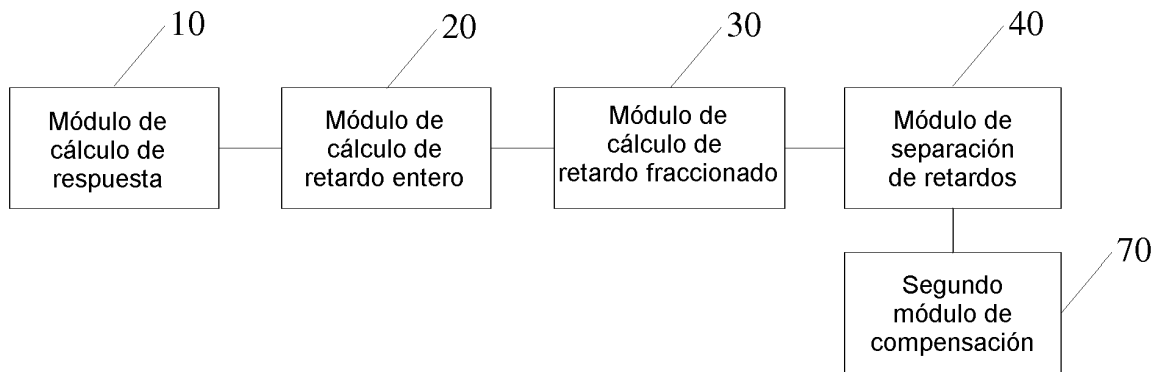


FIG. 8

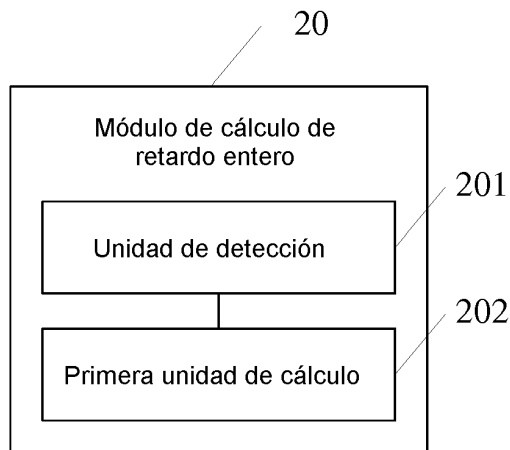


FIG. 9

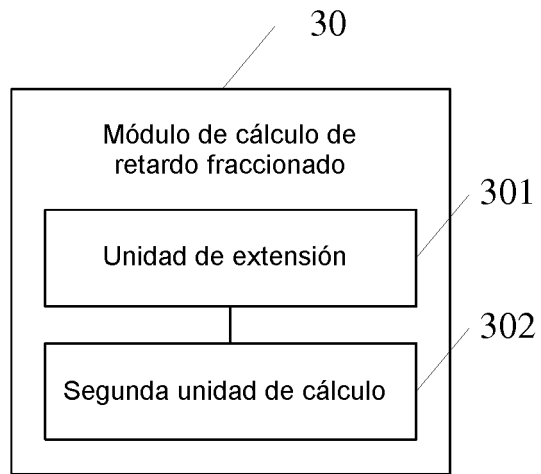


FIG. 10

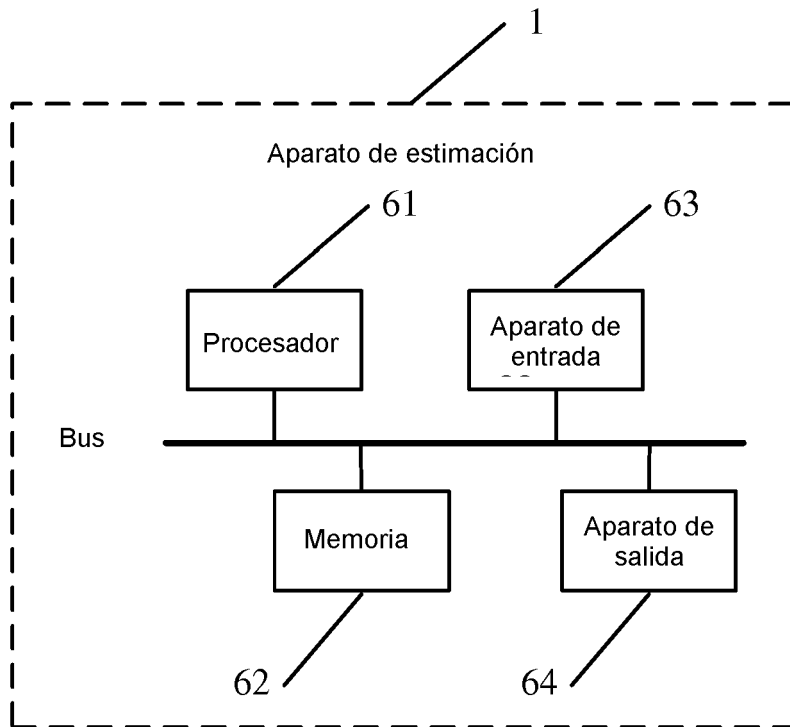


FIG. 11

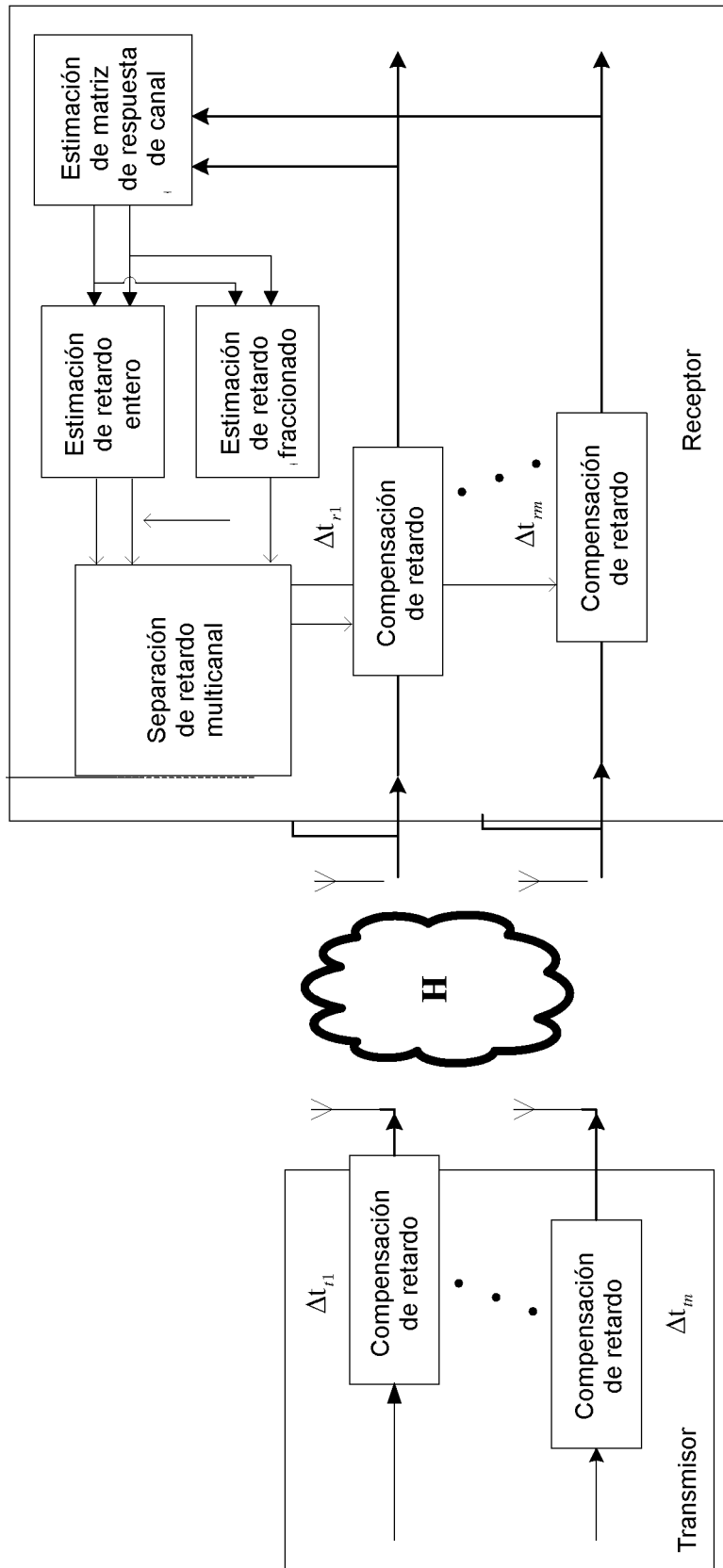


FIG. 12

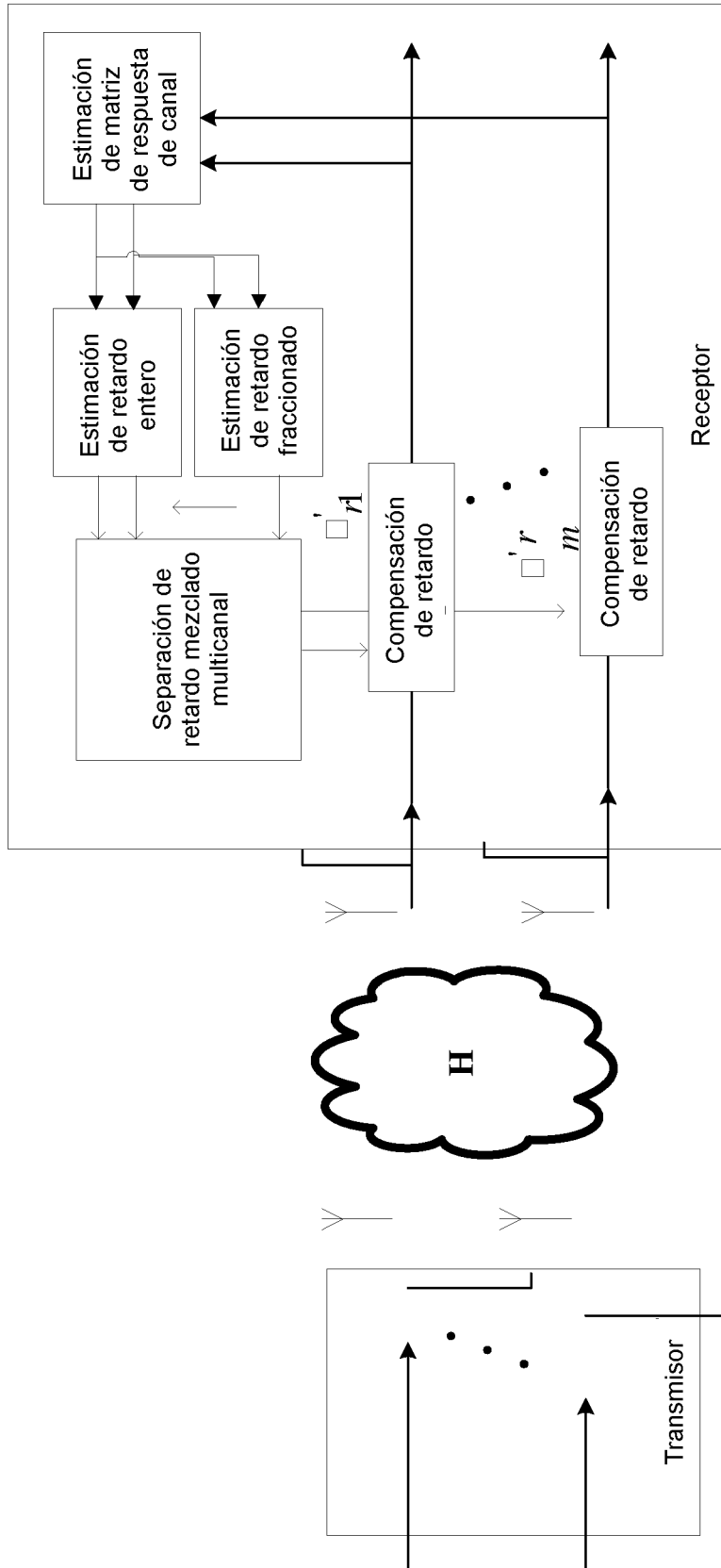


FIG. 13