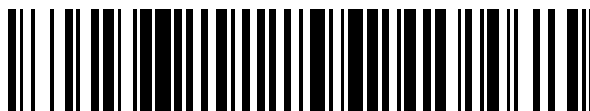


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 400 843**

51 Int. Cl.:

**H04B 17/00**

(2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.04.2010** **E 10716674 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.02.2013** **EP 2422466**

54 Título: **Calibración de canales inalámbricos**

30 Prioridad:

**23.04.2009 US 172124 P**

**23.04.2009 US 172126 P**

**23.04.2009 US 172130 P**

**22.04.2010 US 765164**

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

**12.04.2013**

73 Titular/es:

**QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)**

**5775 Morehouse Drive**

**San Diego, California 92121-1714, US**

72 Inventor/es:

**WENTINK, MAARTEN MENZO y**

**VAN ZELST, ALBERT**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 400 843 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

Calibración de canales inalámbricos

### Campo técnico

La presente divulgación versa acerca de comunicaciones inalámbricas y, más en particular, acerca de técnicas para calibrar un canal de comunicaciones inalámbricas.

### Antecedentes

Los sistemas de comunicaciones inalámbricas, tales como las redes inalámbricas de área local (WLAN), las redes de área metropolitana (comúnmente denominadas WiMAX) y otros tipos de redes inalámbricas se han convertido en algo cada vez más común en la sociedad actual, "siempre conectada". Estos sistemas de comunicaciones inalámbricas se usan en varios contextos diferentes para proporcionar varios servicios que incluyen, por ejemplo, servicios de voz, vídeo, paquetes de datos, radiodifusión y mensajería.

En algunos sistemas de comunicaciones inalámbricas, uno o más de los dispositivos inalámbricos de la red pueden comunicarse usando múltiples antenas transmisoras y múltiples antenas receptoras. Los dispositivos que se comunican a través de múltiples antenas transmisoras y receptoras pueden formar un canal de entrada múltiple y salida múltiple (MIMO) que puede usarse para aumentar el rendimiento y/o mejorar la fiabilidad de las comunicaciones entre los dispositivos. Por ejemplo, un dispositivo de origen puede enviar simultáneamente múltiples flujos de datos por múltiples antenas transmisoras a múltiples antenas receptoras de un dispositivo de destino, lo que puede mejorar el caudal de los datos desde el origen al destino. En otro ejemplo, el dispositivo de origen puede enviar un único flujo de datos usando múltiples antenas transmisoras para mejorar la fiabilidad de la recepción por parte del dispositivo de destino.

Algunos dispositivos MIMO de origen usan una técnica conocida como formación de haces para mejorar más las capacidades de transmisión del dispositivo de origen. La formación de haces es un mecanismo de filtrado espacial usado en un transmisor para mejorar la potencia de la señal recibida o la relación señal-ruido en un receptor previsto. En general, la formación de haces usa una combinación de las señales de transmisión procedentes de múltiples antenas transmisoras no direccionales para simular una antena direccional mayor. Las señales formadas en haces pueden ser entonces "dirigidas" hacia el dispositivo de destino para mejorar la recepción en el dispositivo de destino.

### Resumen

En general, la presente divulgación describe técnicas para calibrar un canal de comunicaciones inalámbricas entre dos dispositivos de comunicaciones inalámbricas según se da a conocer, por ejemplo, en el documento WO 2008/036670. Se usa la calibración para mejorar el rendimiento de una transmisión con formación de haces desde el dispositivo de formación de haces hasta el receptor de la formación de haces determinando matrices de corrección que pueden aplicarse de modo que las matrices del canal observado en ambas direcciones del enlace sean transposiciones sustanciales la una de la otra, lo que puede hacer sustancialmente recíproco al canal resultante. Por lo tanto, las matrices de corrección pueden promover la corrección de deficiencias que existen en la reciprocidad entre los dispositivos durante una transmisión con formación de haces.

Algunos procedimientos de calibración de formación de haces usan paquetes de datos nulos (NDP) como tramas de sondeo para estimar el canal entre el dispositivo formador de haces y el receptor de la formación de haces. Sin embargo, algunos receptores de la formación de haces (por ejemplo, dispositivos de flujo espacio-temporal único) no están configurados para soportar NDP de transmisión y, por lo tanto, los procedimientos de calibración de formación de haces usando NDP son ineficaces. La presente divulgación describe técnicas para la calibración aérea de un canal de comunicaciones inalámbricas entre un dispositivo formador de haces y un dispositivo de destino que no puede transmitir NDP, por ejemplo un dispositivo de flujo espacio-temporal único. En vez de transmitir un NDP, el dispositivo de destino puede transmitir en su lugar una trama de acuse de recibo que permita al dispositivo formador de haces calibrar el canal entre los dos dispositivos.

En un ejemplo, la presente divulgación proporciona un procedimiento que incluye transmitir una trama de inicio de la calibración de un primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas a un segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas que comprende un transmisor de flujo espacio-temporal único a través de un medio de comunicaciones inalámbricas. El procedimiento también incluye recibir en el primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas una trama de acuse de recibo enviada desde el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de que el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas reciba la trama de inicio de la calibración. El procedimiento incluye, además, transmitir una trama de paquetes de datos nulos (NDP) del primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de recibir la trama de acuse de recibo. En algunas implementaciones, el procedimiento también incluye llevar a cabo la calibración de formación de haces de un canal de comunicaciones inalámbricas entre el primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas y el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas basada en la trama de acuse de recibo.

En otro ejemplo, la presente divulgación proporciona un dispositivo de comunicaciones inalámbricas que incluye un transmisor inalámbrico configurado para transmitir una trama de inicio de la calibración a un segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas que comprende un transmisor de flujo espacio-temporal único a través de un medio de comunicaciones inalámbricas. El dispositivo también incluye un receptor inalámbrico configurado para recibir una trama de acuse de recibo enviada desde el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de que el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas reciba la trama de inicio de la calibración. El transmisor inalámbrico está configurado, además, para transmitir una trama de paquetes de datos nulos (NDP) al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de recibir la trama de acuse de recibo. En algunas implementaciones, el dispositivo también incluye un módulo de calibración configurado para llevar a cabo una calibración de formación de haces de un canal de comunicaciones inalámbricas entre el dispositivo de comunicaciones inalámbricas y el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas basada en la trama de acuse de recibo.

En un ejemplo adicional, la presente divulgación proporciona un dispositivo de comunicaciones inalámbricas que incluye un medio para transmitir una trama de inicio de la calibración a un segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas que comprende un transmisor de flujo espacio-temporal único a través de un medio de comunicaciones inalámbricas. El dispositivo también incluye un medio para recibir una trama de acuse de recibo enviada desde el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de que el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas reciba la trama de inicio de la calibración. El dispositivo incluye, además, un medio para transmitir una trama de paquetes de datos nulos (NDP) al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de recibir la trama de acuse de recibo. En algunas implementaciones, el dispositivo también incluye un medio para llevar a cabo una calibración de formación de haces de un canal de comunicaciones inalámbricas entre el dispositivo de comunicaciones inalámbricas y el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas basada en la trama de acuse de recibo.

En otro ejemplo, la presente divulgación proporciona un procedimiento que incluye recibir, en un primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas que comprende un transmisor de flujo espacio-temporal único, una trama de inicio de la calibración transmitida desde un segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas a través de un medio de comunicaciones inalámbricas. El procedimiento también incluye transmitir al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas una trama de acuse de recibo tras recibir la trama de inicio de la calibración. El procedimiento incluye, además, recibir una trama de paquetes de datos nulos (NDP) desde el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas enviada después de que el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas reciba la trama de acuse de recibo. En algunas implementaciones, el procedimiento también incluye determinar una matriz de información de retorno de información del estado del canal (CSI) basada en la trama NDP y transmitir al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas una trama CSI que puede incluir la matriz determinada de información de retorno de CSI.

En un ejemplo adicional, la presente divulgación proporciona un dispositivo de comunicaciones inalámbricas que comprende un transmisor de flujo espacio-temporal único. El dispositivo incluye un receptor inalámbrico configurado para recibir una trama de inicio de la calibración transmitida desde un segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas a través de un medio de comunicaciones inalámbricas. El dispositivo también incluye un transmisor inalámbrico configurado para transmitir al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas una trama de acuse de recibo tras recibir la trama de inicio de la calibración. El receptor inalámbrico está configurado, además, para recibir una trama de paquetes de datos nulos (NDP) desde el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas enviada después de que el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas reciba la trama de acuse de recibo. En algunas implementaciones, el dispositivo también incluye un módulo de calibración para determinar una matriz de información de retorno de información del estado del canal (CSI) basada en la trama NDP, y el transmisor inalámbrico puede estar configurado, además, para transmitir al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas una trama CSI que incluya la matriz determinada de información de retorno de CSI.

En otro ejemplo, la presente divulgación proporciona un procedimiento que incluye transmitir una trama de inicio de la calibración de un primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas a un segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas que comprende un transmisor de flujo espacio-temporal único a través de un medio de comunicaciones inalámbricas. El procedimiento también incluye transmitir una trama de paquetes de datos nulos (NDP) del primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de transmitir la trama de inicio de la calibración. El procedimiento incluye, además, recibir en el primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas una trama de acuse de recibo enviada desde el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de que el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas reciba la trama NDP. El procedimiento también incluye transmitir una trama de calibración completa del primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de recibir la trama de acuse de recibo. En algunas implementaciones, el procedimiento también incluye llevar a cabo una calibración de formación de haces de un canal de comunicaciones inalámbricas entre el primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas y el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas basada en la trama de acuse de recibo.

En un ejemplo adicional, la presente divulgación proporciona un dispositivo de comunicaciones inalámbricas que incluye un transmisor inalámbrico configurado para transmitir una trama de inicio de la calibración a un segundo

dispositivo de comunicaciones inalámbricas que comprende un transmisor de flujo espacio-temporal único a través de un medio de comunicaciones inalámbricas, y transmitir una trama de paquetes de datos nulos (NDP) al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de transmitir la trama de inicio de la calibración. El dispositivo también incluye un receptor inalámbrico configurado para recibir una trama de acuse de recibo enviada desde el

5 segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de que el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas reciba la trama NDP. El transmisor inalámbrico está configurado, además, para transmitir una trama de calibración completa al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de recibir la trama de acuse de recibo. En algunas implementaciones, el dispositivo también incluye un módulo de calibración configurado para llevar a cabo la calibración de formación de haces de un canal de comunicaciones inalámbricas entre el dispositivo

10 de comunicaciones inalámbricas y el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas basada en la trama de acuse de recibo.

En otro ejemplo, la presente divulgación proporciona un procedimiento que incluye recibir, en un primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas que comprende un transmisor de flujo espacio-temporal único, una trama de inicio de la calibración transmitida desde un segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas a través de un medio de

15 comunicaciones inalámbricas. El procedimiento también incluye recibir una trama de paquetes de datos nulos (NDP) desde el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas enviada después de que el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas transmita la trama de inicio de la calibración. El procedimiento incluye, además, transmitir al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas una trama de acuse de recibo después de recibir la trama NDP. El procedimiento también incluye recibir una trama de calibración completa desde el segundo

20 dispositivo de comunicaciones inalámbricas enviada después de que el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas reciba la trama de acuse de recibo. En algunas implementaciones, el procedimiento también incluye determinar una matriz de información de retorno de información del estado del canal (CSI) basada en la trama NDP, y transmitir al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas una trama CSI que incluye la matriz determinada de información de retorno de CSI.

Las técnicas descritas en la presente divulgación pueden ser implementadas en soporte físico, soporte lógico, soporte lógico inalterable o cualquier combinación de los mismos. Si se implementan en soporte físico, puede realizarse un aparato como un circuito integrado, un procesador, lógica discreta o cualquier combinación de los mismos. Si se implementan en soporte lógico, el soporte lógico puede ser ejecutado en uno o más procesadores, tal como un microprocesador, un circuito integrado para aplicaciones específicas (ASIC), una matriz de puertas

25 programables in situ (FPGA) o un procesador de señales digitales (DSP). El soporte lógico que ejecuta las técnicas puede ser almacenado inicialmente en un medio legible por ordenador y cargado y ejecutado en el procesador.

En consecuencia, la presente divulgación también contempla un medio de almacenamiento legible por ordenador que comprende instrucciones que, con su ejecución, hacen que un procesador transmita una trama de inicio de la calibración de un primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas a un segundo dispositivo de comunicaciones

35 inalámbricas que comprende un transmisor de flujo espacio-temporal único a través de un medio de comunicaciones inalámbricas. Las instrucciones también hacen que el procesador reciba en el primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas una trama de acuse de recibo enviada desde el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de que el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas reciba la trama de inicio de la calibración. Además, las instrucciones hacen que el procesador transmita una trama de paquetes de datos nulos (NDP) del

40 primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de recibir la trama de acuse de recibo. En algunas implementaciones, las instrucciones también hacen que el procesador lleve a cabo la calibración de formación de haces de un canal de comunicaciones inalámbricas entre el primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas y el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas basada en la trama de acuse de recibo.

Los detalles de uno o más aspectos de la divulgación se exponen en los dibujos adjuntos y en la descripción que sigue. Otras características, otros objetos y otras ventajas de las técnicas descritas en esta divulgación serán evidentes a partir de la descripción y los dibujos y a partir de las reivindicaciones.

### **Breve descripción de los dibujos**

La FIG. 1 es un diagrama de bloques que ilustra un ejemplo de una red de comunicaciones inalámbricas.

Las FIGURAS 2A-2C son cronogramas que ilustran secuencias ejemplares de tramas usadas para la calibración de formación de haces.

Las FIGURAS 3-5 son diagramas de flujo que ilustran técnicas ejemplares de calibración de formación de haces coherentes con la presente divulgación.

La FIG. 6 es un diagrama de bloques que ilustra componentes ejemplares de un dispositivo de comunicaciones inalámbricas.

Símbolos de referencia semejantes en los diversos dibujos indican elementos semejantes.

**Descripción detallada**

En general, la presente divulgación está relacionada con técnicas de calibración de canales llevadas a cabo en sistemas MIMO, tales como los sistemas MIMO descritos en la enmienda IEEE 802.11n-2009. En los sistemas MIMO, un transmisor envía múltiples flujos por medio de múltiples antenas transmisoras a un receptor por un canal. Un canal MIMO formado por múltiples (T) antenas transmisoras en un transmisor y múltiples (R) antenas receptoras en un receptor puede caracterizarse por una matriz  $H_k$  de  $R \times T$  canales para cada subportadora  $k$  o cada grupo de subportadoras de interés. La matriz  $H_k$  de canales puede diagonalizarse llevando a cabo una descomposición de autovalores de una matriz de correlación de  $H_k$  como sigue:

$$R_k = H_k^H H_k = V_k \Lambda_k V_k^H, \quad \text{Ec (1)}$$

siendo  $R_k$  una matriz de correlación  $T \times T$  de  $H_k$ , siendo  $V_k$  una matriz unitaria  $T \times T$  cuyas columnas son autovectores de  $R_k$ , siendo  $\Lambda_k$  una matriz diagonal  $T \times T$  de autovalores de  $R_k$ , y denotando "H" una transposición conjugada.

La matriz unitaria  $V_k$  se caracteriza por la propiedad  $V_k^H V_k = I$ , en la que  $I$  es la matriz de identidad. Las columnas de una matriz unitaria son ortogonales entre sí, y cada columna tiene potencia de unidad.  $V_k$  también se denomina matriz de formación de haces. La matriz diagonal  $\Lambda_k$  contiene posibles valores distintos de cero a lo largo de la diagonal y ceros en todo lo demás. Los elementos diagonales de  $\Lambda_k$  son autovalores que representan las ganancias de potencia de los automodos de  $R_k$ .

El transmisor (o formador de haces o dispositivo formador de haces) puede transmitir al receptor (o sea, el receptor de la formación de haces) un procesamiento espacial para la formación de haces como sigue:

$$z_k = Q_k x_k, \quad \text{Ec (2)}$$

siendo  $x_k$  un vector con hasta  $T$  símbolos de datos que han de enviarse por la subportadora  $k$ , siendo  $Q_k$  una matriz de direccionamiento para la subportadora  $k$ , que puede derivarse con base en  $V_k$ , y siendo  $z_k$  un vector con  $T$  símbolos de salida para las  $T$  antenas transmisoras en la subportadora  $k$ .

La formación de haces en la Ecuación (2) direcciona o da forma a los haces enviados del transmisor al receptor. Para una formación de haces eficaz, el transmisor debería tener una estimación precisa de la respuesta del canal MIMO desde el transmisor hasta el receptor. Esta información sobre el canal MIMO puede usarse para derivar matrices apropiadas de direccionamiento para transmitir un procesamiento espacial para dirigir los haces desde el transmisor hacia el receptor.

Aunque el canal por vía aérea entre las antenas en el transmisor y las antenas en el receptor es generalmente recíproco, el canal observado de banda base a banda base puede incluir deficiencias en las cadenas de transmisión y recepción de los dispositivos. Por ejemplo, un amplificador de potencia, que normalmente es uno de los últimos componentes de una cadena de transmisión, puede introducir algún desfase que afecte al canal. Diversas diferencias en las características de amplitud y fase de las cadenas de transmisión y recepción tienden a degradar la reciprocidad del canal aéreo observado en la banda base y, por lo tanto, a degradar el rendimiento total de la comunicación. Las técnicas de calibración de canales descritas en esta divulgación pueden ser usadas para restaurar la reciprocidad o, al menos, para reducir las diferencias entre las cadenas de transmisión y recepción y, por lo tanto, para mejorar el rendimiento de las comunicaciones de datos entre el transmisor y el receptor.

La presente divulgación describe técnicas para la calibración aérea de un canal de comunicaciones inalámbricas, en las que el dispositivo receptor o de destino es un dispositivo de flujo espacio-temporal único y no puede transmitir paquetes de datos nulos (NDP). Una trama NDP es una unidad de datos de protocolo PHY (PPDU) que no transporta ninguna carga útil y que, por ello, no transporta ninguna unidad de datos de protocolo MAC (MPDU), lo que implica que un NDP no contiene una dirección MAC de transmisor ni receptor. En vez de ello, el direccionamiento de la trama NDP está incluido en una trama acompañante que sí transporta una MPDU y que hace un campo de anuncio de NDP igual a 1. Esta trama se denomina anuncio de NDP. Para dispositivos que están configurados para transmitir no más de un flujo espacio-temporal, transmitir un NDP generalmente no está permitido, porque un NDP de un solo flujo espacial sería demasiado corto para su debido procesamiento por el receptor del NDP. Esta restricción generalmente excluye que los dispositivos de flujo espacio-temporal único participen en procedimientos de calibración que usen NDP, lo que prohíbe de hecho el uso de la formación implícita de haces en estos dispositivos cuando el dispositivo formador de haces usa un procedimiento de calibración basado en NDP.

Según la presente divulgación, un procedimiento de calibración que implica un dispositivo de flujo espacio-temporal único usa una trama de acuse de recibo (ACK) enviada desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único como trama de sondeo, en vez de que se use un NDP como la trama de sondeo. Un dispositivo formador de haces, tal como un punto de acceso, puede hacer que se envíe la trama ACK desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único poniendo la directriz de Ack en Ack Normal en una trama que se envía al dispositivo de flujo espacio-temporal único, de tal modo que el dispositivo de flujo espacio-temporal único dé acuse de la recepción de la trama procedente del dispositivo formador de haces enviando una trama ACK en respuesta a esa trama. El dispositivo

formador de haces puede entonces usar la información incluida en la trama ACK (por ejemplo, campos largos de pruebas (LTF)) para calibrar el canal entre el dispositivo formador de haces y el dispositivo de flujo espacio-temporal único.

Además de enviar la trama ACK al dispositivo formador de haces, el dispositivo de flujo espacio-temporal único también puede determinar una matriz de información del estado del canal (CSI) que describe la propagación de las señales por el canal, basada en un NDP que se envía desde el dispositivo formador de haces al dispositivo de flujo espacio-temporal único. La matriz CSI puede ser enviada desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único al dispositivo formador de haces, y también puede ser usada para calibrar el canal entre el dispositivo formador de haces y el dispositivo de flujo espacio-temporal único.

La FIG. 1 es un diagrama de bloques que ilustra un ejemplo de una red 100 de comunicaciones inalámbricas. Según se muestra, la red 100 incluye un punto 110 de acceso y múltiples estaciones 120, 130, 140, 150. El punto 110 de acceso puede estar acoplado de forma comunicativa con una red 160 de datos, tal como Internet, una intranet y/o cualquier otra red cableada o no cableada. El punto 110 de acceso puede comunicarse con otras redes, otros sistemas u otros dispositivos a través de la red 160 de datos.

Una estación (STA) es un dispositivo de comunicaciones inalámbricas que puede comunicarse con otra estación a través de un medio o canal inalámbrico. Una estación también puede denominarse, y puede contener parte o la totalidad de la funcionalidad de un terminal, una estación móvil, una unidad de abonado, etc. Ejemplos de tipos diferentes de estaciones incluyen teléfonos celulares, dispositivos de mano, agendas electrónicas (PDA), ordenadores portátiles, módems inalámbricos, etc. Un punto de acceso (AP) es un tipo específico de estación que proporciona servicios de acceso a través del medio inalámbrico para estaciones asociadas con ese punto de acceso. Un punto de acceso también puede denominarse, y puede contener parte o la totalidad de la funcionalidad de una estación base, una estación transceptora base (BTS), etc. En general, una red inalámbrica puede incluir cualquier número de puntos de acceso y cualquier número de estaciones. Cada estación puede estar asociada con un único punto de acceso en cualquier momento dado, mientras que un punto de acceso puede estar asociado con múltiples estaciones en cualquier momento dado.

En la red ejemplar, el punto 110 de acceso representa un dispositivo de comunicaciones inalámbricas con prestaciones MIMO con múltiples antenas transmisoras y múltiples antenas receptoras. El punto 110 de acceso está configurado para comunicarse con las estaciones 120-150 a través de un medio inalámbrico usando técnicas de comunicaciones basadas en MIMO, tales como las descritas en el estándar de red inalámbrica IEEE 802.11 n. Sin embargo, debería comprenderse que las técnicas de calibración descritas en la presente divulgación no están limitadas al estándar IEEE 802.11 n.

En la red ejemplar 100, las estaciones 120, 130 tienen cada una múltiples transceptores y son capaces de múltiples flujos espacio-temporales. Las estaciones 120, 130 también son capaces de transmitir NDP y, por lo tanto, pueden participar en procedimientos de calibración que utilizan los NDP como tramas de sondeo enviadas desde las estaciones respectivas. La estación 140 tiene múltiples transceptores, pero en este ejemplo no está configurada para utilizar múltiples flujos espacio-temporales. Como tal, a la estación 140 no se le permite transmitir NDP y no puede participar en procedimientos de calibración que utilicen NDP como tramas de sondeo enviadas desde la estación. Asimismo, la estación 150 tiene un único transceptor, y no es capaz de múltiples flujos espacio-temporales. Por lo tanto, la estación 150 tampoco puede participar en procedimientos de calibración que utilicen NDP como tramas de sondeo enviadas desde la estación.

El punto 110 de acceso y una o más de las estaciones 120-150 pueden asociarse entre sí según técnicas conocidas. Por ejemplo, el punto 110 de acceso puede transmitir periódicamente una baliza que transporte un preámbulo, un identificador de punto de acceso y una lista de parámetros para la operación en una red formada por el punto de acceso. Suponiendo que las estaciones 120-150 estén dentro del alcance de cobertura del punto 110 de acceso, las estaciones 120-150 pueden detectar la baliza y pueden llevar a cabo la sincronización y pueden asociarse con el punto 110 de acceso. Cuando una estación se asocia con un punto de acceso, la estación puede comunicar sus prestaciones con el punto de acceso (por ejemplo, prestaciones de flujos espacio-temporales, prestaciones de transmisión NDP, etc.). En este ejemplo, cuando las estaciones 120, 130 se asocian con el punto 110 de acceso, cada una de las estaciones 120, 130 puede indicar que es capaz de múltiples flujos espacio-temporales y que es capaz de transmitir NDP. Asimismo, cuando las estaciones 140, 150 se asocian con el punto 110 de acceso, cada una de las estaciones 140, 150 puede indicar que no es capaz de múltiples flujos espacio-temporales y que no es capaz de transmitir NDP. En el estándar 802.11n, estas y otras prestaciones del dispositivo pueden ser comunicadas en una trama de solicitud de asociación enviada desde la estación al punto de acceso durante la asociación.

Tras una asociación entre una de las estaciones 120-150 y el punto 110 de acceso, el punto 110 de acceso puede ser capaz de llevar a cabo la comunicación con formación de haces con esa estación según se ha descrito en lo que antecede. Además, tras una asociación, el punto 110 de acceso puede llevar a cabo la calibración de formación de haces para mejorar el rendimiento de la comunicación con formación de haces. En el caso de un dispositivo de múltiples flujos espacio-temporales, por ejemplo cualquiera de las estaciones 120, 130, el procedimiento de calibración de formación de haces puede utilizar NDP enviados desde la respectiva de las estaciones 120, 130. En

el caso de un dispositivo de flujo espacio-temporal único, por ejemplo cualquiera de las estaciones 140, 150, pueden utilizarse una o más de las técnicas de calibración de formación de haces descritas en el presente documento para mejorar el rendimiento de la transmisión con formación de haces desde el punto 110 de acceso a la respectiva de las estaciones 140, 150.

5 La FIG. 2A es un cronograma que ilustra una secuencia ejemplar de tramas usadas para la calibración de formación de haces. En la secuencia ejemplar de tramas se inicia un procedimiento de calibración aérea cuando un dispositivo de comunicaciones inalámbricas, por ejemplo el punto 110 de acceso, transmite una trama 202 de inicio de la calibración a una estación, por ejemplo cualquiera de las estaciones 140, 150, que sea un dispositivo de flujo espacio-temporal único. Según se ha descrito en lo que antecede, los dispositivos de flujo espacio-temporal único generalmente no están configurados para transmitir NDP y, como tal, no se requiere que el dispositivo de flujo espacio-temporal único transmita ningún NDP como parte de la secuencia de tramas.

10 El procedimiento de calibración aérea de calibración de formación de haces puede ser iniciado por el dispositivo formador de haces en cualquier número de circunstancias. Por ejemplo, el dispositivo formador de haces puede iniciar el procedimiento en respuesta a una asociación recién formada entre el dispositivo formador de haces y un receptor de la formación de haces, por ejemplo una de las estaciones 140, 150. En otro ejemplo, el dispositivo formador de haces puede llevar a cabo la calibración en un momento configurado (por ejemplo, a intervalos de media hora a lo largo del día) o en un periodo de tiempo configurado después de la última calibración que ocurriese (por ejemplo, una hora después del anterior ciclo de calibración). En otro ejemplo adicional, el dispositivo formador de haces puede llevar a cabo la calibración después de determinar que sus deficiencias de calibración podrían haber cambiado (por ejemplo, debido a un aumento detectado en la temperatura de un chip, o con base en una caída en el rendimiento de las comunicaciones, etc.). Asimismo, el dispositivo formador de haces puede iniciar la calibración en respuesta a otros eventos o incidencias que indiquen un posible cambio en los parámetros de calibración del dispositivo formador de haces. En otras implementaciones, un receptor de la formación de haces puede transmitir un mensaje al dispositivo formador de haces solicitando que ocurra la calibración.

25 La trama 202 de inicio de la calibración puede incluir uno o más parámetros que son proporcionados en la cabecera MAC, según diversas implementaciones. Por ejemplo, la trama 202 puede indicar un parámetro de directriz de Ack puesto en Ack Normal, lo que hace que el dispositivo que recibe la trama 202 devuelva una trama ACK después de un periodo de espacio corto entre tramas (SIFS), que también puede denominarse tiempo SIFS. La trama 202 también puede incluir un campo de control de alto rendimiento (control HT, o HTC) que indica un anuncio de NDP. El campo de anuncio de NDP anuncia al dispositivo receptor que después de la trama se transmitirá un NDP. Se usa el campo de anuncio de NDP porque los NDP no incluyen una cabecera MAC, por lo que la estación receptora puede no reconocer, si no, que el NDP fue enviado desde un dispositivo transmisor particular o para qué dispositivo está previsto el NDP.

35 La trama 202 de inicio de la calibración también puede incluir una solicitud de información del estado del canal (CSI) procedente del dispositivo de flujo espacio-temporal único incluyendo una solicitud de información de retorno de CSI en la trama. La CSI generalmente se refiere a propiedades conocidas de un canal de un enlace de comunicaciones, tales como las propiedades del canal entre un dispositivo formador de haces y un receptor de la formación de haces, y generalmente describe cómo se propaga una señal a través del canal representando los efectos combinados de la degradación de la señal (por ejemplo, dispersión, desvanecimiento, decaimiento de la potencia, etc.). La trama 202 puede incluir, además, una solicitud de prueba (TRQ) que pueda hacer que el dispositivo de flujo espacio-temporal único responda con una PPDU de sondeo. Para los dispositivos de flujo espacio-temporal único que reciban una TRQ, tal como en la trama 202 de inicio de la calibración, la TRQ puede ser interpretada como una solicitud de envío de una trama normal, que puede usarse como una trama de sondeo.

45 En respuesta a la trama 202 de inicio de la calibración, el dispositivo de flujo espacio-temporal único envía una trama 204 de acuse de recibo (ACK) un tiempo de un periodo de espacio corto entre tramas (SIFS) después de recibir la trama 202 de inicio de la calibración (según resulta de que el parámetro de directriz Ack se ponga en Ack normal). Dado que cualquier paquete de datos enviado desde un dispositivo de flujo espacio-temporal único puede ser usado con fines de sondeo del canal, la trama puede ser, de forma alternativa, un tipo diferente de trama apropiada en diversas implementaciones. Por ejemplo, la trama 202 de inicio de la calibración puede incluir un indicador de Solicitud de Envío (RTS), y la trama 204 de acuse de recibo puede ser del tipo Listo para el Envío (CTS). Como ejemplo adicional, la trama 202 de inicio de la calibración puede ser del tipo Datos y del subtipo Calidad de Servicio (QoS)-Nula, y la trama 204 de acuse de recibo puede ser del tipo Control y del subtipo ACK.

55 Tras la recepción de la trama 204 de acuse de recibo, el dispositivo formador de haces puede usar la información contenida en la trama 204 para llevar a cabo la calibración de formación de haces del canal de comunicaciones inalámbricas entre los dispositivos. Por ejemplo, la trama 204 de acuse de recibo puede incluir un preámbulo con símbolos largos de pruebas, que permiten que el dispositivo formador de haces estime el canal MIMO desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único al dispositivo formador de haces, y que pueden permitir que el dispositivo formador de haces determine matrices de corrección que compensen las deficiencias en las cadenas de transmisión y recepción.

En respuesta a la trama 204 de acuse de recibo enviada desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único, el dispositivo formador de haces puede completar una primera etapa de la secuencia de calibración volviendo a transmitir una trama 206 de paquetes de datos nulos (NDP) al dispositivo de flujo espacio-temporal único un tiempo SIFS después de recibir la trama 204 de acuse de recibo. Según se ha descrito en lo que antecede, el dispositivo de

5 flujo espacio-temporal único puede reconocer que el NDP fue enviado desde el dispositivo formador de haces y que el NDP está destinado para el dispositivo de flujo espacio-temporal único con base en un indicador de anuncio de NDP y en campos de dirección de la trama 202 de inicio de la calibración.

La trama NDP 206 puede incluir LTF que permitan que el dispositivo de flujo espacio-temporal único determine una matriz de información de retorno de calibración según procedimientos conocidos en la técnica. La matriz de

10 información de retorno de calibración puede proporcionar una estimación cuantificada del canal desde el dispositivo formador de haces hasta el dispositivo de flujo espacio-temporal único. La determinación de la matriz de información de retorno de calibración no tiene prioridad temporal y, como tal, se muestra a la segunda etapa de la secuencia de calibración separada por un espacio de tiempo en el cronograma.

En algún momento después de que el dispositivo de flujo espacio-temporal único ha determinado la matriz de

15 información de retorno de calibración, la matriz de información de retorno de calibración es incluida en una trama 208 de información del estado del canal (CSI) que es enviada desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único al dispositivo formador de haces. La información contenida en la trama CSI 208 también puede ser usada por el dispositivo formador de haces para calibrar el canal entre el dispositivo formador de haces y el dispositivo de flujo espacio-temporal único según las técnicas conocidas en la técnica. Por ejemplo, el dispositivo formador de haces

20 puede usar la estimación local del canal desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único hasta el dispositivo formador de haces y la estimación cuantificada del canal desde el dispositivo formador de haces hasta el dispositivo de flujo espacio-temporal único para determinar matrices de corrección que reduzcan el efecto de las deficiencias en las cadenas de transmisión y recepción.

Un tiempo SIFS después de recibir la trama CSI 208, el dispositivo formador de haces transmite una trama 210 de

25 acuse de recibo (ACK) al dispositivo de flujo espacio-temporal único para concluir la secuencia de tramas de calibración.

La FIG. 2B es otro cronograma que ilustra una secuencia ejemplar de tramas usadas para la calibración de

30 formación de haces. En la secuencia ejemplar de tramas se inicia un procedimiento de calibración aérea cuando un dispositivo de comunicaciones inalámbricas, por ejemplo el punto 110 de acceso, transmite una trama 222 de inicio de la calibración a una estación, por ejemplo cualquiera de las estaciones 140, 150, que sea un dispositivo de flujo espacio-temporal único.

La trama 222 de inicio de la calibración puede incluir uno o más parámetros que son proporcionados en la cabecera MAC, según diversas implementaciones. Por ejemplo, la trama 222 puede indicar un parámetro de directriz de Ack

35 puesto en Ack Normal, lo que hace que el dispositivo que recibe la trama 222 devuelva una trama ACK después de un periodo de espacio corto entre tramas (SIFS). La trama 222 también puede incluir un campo de control de alto rendimiento (control HT, o HTC) que indica un anuncio de NDP. El campo de anuncio de NDP anuncia al dispositivo receptor que después de la trama se transmitirá un NDP.

En respuesta a la trama 222 de inicio de la calibración, el dispositivo de flujo espacio-temporal único envía una trama

40 224 de acuse de recibo (ACK) un tiempo de un periodo de espacio corto entre tramas (SIFS) después de recibir la trama 222 de inicio de la calibración (según resulta de que el parámetro de directriz Ack se ponga en Ack normal). La trama 224 puede ser, de forma alternativa, un tipo diferente de trama apropiada en diversas implementaciones. Por ejemplo, la trama 222 de inicio de la calibración puede incluir un indicador de Solicitud de Envío (RTS), y la trama 224 de acuse de recibo puede ser del tipo Listo para el Envío (CTS).

Tras la recepción de la trama 224 de acuse de recibo enviada desde dispositivo de flujo espacio-temporal único, el

45 dispositivo formador de haces puede volver a transmitir una trama 226 de paquetes de datos nulos (NDP) al dispositivo de flujo espacio-temporal único un tiempo SIFS después de recibir la trama 224 de acuse de recibo. Según se ha descrito en lo que antecede, el dispositivo de flujo espacio-temporal único puede reconocer que el NDP fue enviado desde el dispositivo formador de haces y que el NDP está destinado para el dispositivo de flujo espacio-temporal único con base en un campo de anuncio de NDP y los campos de dirección de la trama 222 de inicio de la calibración. La trama NDP 226 puede incluir LTF que permitan que el dispositivo de flujo espacio-temporal único

50 determine una matriz de información de retorno de calibración según procedimientos conocidos en la técnica. La matriz de información de retorno de calibración puede incluir una estimación cuantificada del canal desde el dispositivo formador de haces hasta el dispositivo de flujo espacio-temporal único.

En respuesta a la trama NDP 226, el dispositivo de flujo espacio-temporal único envía una segunda trama 228 de

55 acuse de recibo un tiempo SIFS después de recibir la trama NDP 226. El dispositivo formador de haces puede usar la información contenida en la trama 228 para llevar a cabo la calibración de formación de haces del canal de comunicaciones inalámbricas entre los dispositivos. Por ejemplo, la trama 228 de acuse de recibo puede incluir símbolos largos de pruebas, que permiten que el dispositivo formador de haces estime el canal MIMO desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único al dispositivo formador de haces, y que pueden permitir que el dispositivo



formador de haces determine matrices de corrección que compensen las deficiencias en las cadenas de transmisión y recepción.

Un tiempo SIFS después de la recepción de la segunda trama 228 de acuse de recibo, el dispositivo formador de haces puede enviar una trama 230 de calibración completa al dispositivo de flujo espacio-temporal único. La trama 230 de calibración completa puede indicar un parámetro de directriz de Ack puesto en Ack Normal, lo que hace que el dispositivo de flujo espacio-temporal único devuelva una trama ACK después de un periodo SIFS. Esto se muestra en el cronograma como la tercera trama 232 de acuse de recibo. La trama 230 de calibración completa también puede incluir una solicitud de información del estado del canal (CSI) incluyendo una solicitud de información de retorno de CSI en la trama.

En algún momento después de que el dispositivo de flujo espacio-temporal único ha determinado (con base en la trama NDP 226) la matriz de información de retorno de calibración, el dispositivo de flujo espacio-temporal único puede volver a enviar la matriz de información de retorno de calibración en una trama CSI 234 al dispositivo formador de haces. La información contenida en la trama CSI 234 también puede ser usada por el dispositivo formador de haces para calibrar el canal entre el dispositivo formador de haces y el dispositivo de flujo espacio-temporal único según las técnicas conocidas en la técnica. Por ejemplo, el dispositivo formador de haces puede usar la estimación local del canal desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único hasta el dispositivo formador de haces y la estimación cuantificada del canal desde el dispositivo formador de haces hasta el dispositivo de flujo espacio-temporal único para determinar matrices de corrección que reduzcan el efecto de las deficiencias en las cadenas de transmisión y recepción.

Un tiempo SIFS después de recibir la trama CSI 234, el dispositivo formador de haces transmite una trama 236 de acuse de recibo al dispositivo de flujo espacio-temporal único para concluir la secuencia de tramas de calibración.

La FIG. 2C es otro cronograma que ilustra una secuencia ejemplar de tramas usadas para la calibración de formación de haces. En la secuencia ejemplar de tramas se inicia un procedimiento de calibración aérea cuando un dispositivo de comunicaciones inalámbricas, por ejemplo el punto 110 de acceso, transmite una trama 242 de inicio de la calibración a una estación, por ejemplo cualquiera de las estaciones 140, 150, que sea un dispositivo de flujo espacio-temporal único.

La trama 242 de inicio de la calibración puede incluir uno o más parámetros que son proporcionados en la cabecera MAC, según diversas implementaciones. Por ejemplo, la trama 242 puede indicar que un parámetro de directriz de Ack puesto en Ningún Ack, lo que solicita que el dispositivo de flujo espacio-temporal único no envíe una trama de acuse de recibo en respuesta a la trama 242 de inicio de la calibración. La trama 242 también puede incluir un campo de control de alto rendimiento (control HT, o HTC) que indica un anuncio de NDP. El campo de anuncio de NDP anuncia al dispositivo de flujo espacio-temporal único que después de la trama se transmitirá un NDP.

Sin esperar un acuse de recibo (dado que la directriz Ack en la trama 242 fue puesta en Ningún Ack), el dispositivo formador de haces puede transmitir una trama 246 de paquetes de datos nulos (NDP) al dispositivo de flujo espacio-temporal único un tiempo de espacio corto entre tramas (SIFS) después de transmitir la trama 242 de inicio de la calibración. Según se ha descrito en lo que antecede, el dispositivo de flujo espacio-temporal único puede reconocer que el NDP fue enviado desde el dispositivo formador de haces y que el NDP está destinado para el dispositivo de flujo espacio-temporal único con base en un campo de anuncio de NDP y los campos de dirección de la trama 242 de inicio de la calibración. La trama NDP 246 puede incluir LTF que permitan que el dispositivo de flujo espacio-temporal único determine una matriz de información de retorno de calibración según procedimientos conocidos en la técnica. La matriz de información de retorno de calibración puede incluir una estimación cuantificada del canal desde el dispositivo formador de haces hasta el dispositivo de flujo espacio-temporal único.

En respuesta a la trama NDP 246, el dispositivo de flujo espacio-temporal único envía una trama 248 de acuse de recibo un tiempo SIFS después de recibir la trama NDP 246. El dispositivo formador de haces puede usar la información contenida en la trama 248 para llevar a cabo la calibración de formación de haces del canal de comunicaciones inalámbricas entre los dispositivos. Por ejemplo, la trama 248 de acuse de recibo puede incluir símbolos largos de pruebas, que permiten que el dispositivo formador de haces estime el canal MIMO desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único al dispositivo formador de haces, y que pueden permitir que el dispositivo formador de haces determine matrices de corrección que compensen las deficiencias en las cadenas de transmisión y recepción.

Un tiempo SIFS después de la recepción de la trama 248 de acuse de recibo, el dispositivo formador de haces puede enviar una trama 250 de calibración completa al dispositivo de flujo espacio-temporal único. La trama 250 de calibración completa puede indicar un parámetro de directriz de Ack puesto en Ack Normal, lo que hace que el dispositivo de flujo espacio-temporal único devuelva una trama ACK después de un periodo SIFS. Esto se muestra en el cronograma como la segunda trama 252 de acuse de recibo. La trama 250 de calibración completa también puede incluir una solicitud de información del estado del canal (CSI) del dispositivo de flujo espacio-temporal único incluyendo una solicitud de información de retorno de CSI en la trama.

En algún momento después de que el dispositivo de flujo espacio-temporal único ha determinado (con base en la trama NDP 246) la matriz de información de retorno de calibración, el dispositivo de flujo espacio-temporal único puede volver a enviar la matriz de información de retorno de calibración en una trama 254 de información del estado del canal (CSI) al dispositivo formador de haces. La información contenida en la trama CSI 254 también puede ser usada por el dispositivo formador de haces para calibrar el canal entre el dispositivo formador de haces y el dispositivo de flujo espacio-temporal único según las técnicas conocidas en la técnica. Por ejemplo, el dispositivo formador de haces puede usar la estimación local del canal desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único hasta el dispositivo formador de haces y la estimación cuantificada del canal desde el dispositivo formador de haces hasta el dispositivo de flujo espacio-temporal único para determinar matrices de corrección que reduzcan el efecto de las deficiencias en las cadenas de transmisión y recepción.

Un tiempo SIFS después de recibir la trama CSI 254, el dispositivo formador de haces transmite una trama 256 de acuse de recibo al dispositivo de flujo espacio-temporal único para concluir la secuencia de tramas de calibración.

Se ha descrito que los intervalos de temporización en las secuencias de tramas mostradas en las FIGURAS 2A-2C son un periodo de tiempo SIFS entre intercambios de paquetes, lo que es coherente con el estándar 802.11n. Sin embargo, debería comprenderse que, en otras implementaciones, pueden utilizarse alternativamente intervalos de temporización diferentes en las secuencias de calibración descritas en lo que antecede.

La FIG. 3 es un diagrama de flujo que ilustra una técnica ejemplar de calibración de formación de haces. Las acciones descritas en el diagrama de flujo pueden llevarse a cabo, por ejemplo, en una red 100 de comunicaciones inalámbricas y, en aras de la claridad de la presentación, la descripción que sigue usa la red 100 como la base de un ejemplo para la descripción de la técnica. Por ejemplo, las acciones mostradas en el procedimiento pueden ser implementadas por un dispositivo formador de haces, por ejemplo el punto 110 de acceso. Sin embargo, la técnica ejemplar de calibración de formación de haces puede llevarse a cabo alternativamente en otra red de comunicaciones inalámbricas o en una combinación de redes, y la técnica puede ser llevada a cabo por otros dispositivos o combinaciones de dispositivos.

La técnica ejemplar de calibración de formación de haces comienza cuando un dispositivo formador de haces transmite (310) un inicio de calibración a un dispositivo de flujo espacio-temporal único. En este ejemplo, el dispositivo de flujo espacio-temporal único es el receptor de la formación de haces. La técnica de calibración puede ser iniciada por el dispositivo formador de haces en cualquier número de circunstancias. Por ejemplo, el dispositivo formador de haces, por ejemplo el punto 110 de acceso, puede llevar a cabo la calibración en respuesta a una asociación recién formada entre el dispositivo y un receptor de la formación de haces, por ejemplo una de las estaciones 140, 150. En otro ejemplo, el dispositivo formador de haces puede llevar a cabo la calibración en un momento configurado (por ejemplo, a intervalos de media hora a lo largo del día) o en un periodo de tiempo configurado después de la última calibración que ocurriese (por ejemplo, una hora después del anterior ciclo de calibración). En otro ejemplo adicional, el dispositivo formador de haces puede llevar a cabo la calibración después de determinar que sus deficiencias de calibración podrían haber cambiado (por ejemplo, debido a un aumento detectado en la temperatura de un chip, o con base en una caída en el rendimiento de las comunicaciones, etc.). Asimismo, el dispositivo formador de haces puede iniciar la calibración en respuesta a otros eventos o incidencias que indiquen un posible cambio en los parámetros de calibración del dispositivo formador de haces. En otras implementaciones, un receptor de la formación de haces puede transmitir un mensaje al dispositivo formador de haces solicitando que ocurra la calibración.

El inicio de la calibración puede incluir uno o más parámetros que están proporcionados en la cabecera MAC de una trama de inicio de la calibración, según diversas implementaciones. Por ejemplo, la trama de inicio de la calibración puede indicar un parámetro de directriz Ack puesto en Ack Normal, lo que hace que el dispositivo que recibe la trama de inicio de la calibración devuelva una trama ACK después de un periodo de espacio corto entre tramas (SIFS). La trama de inicio de la calibración también puede indicar un anuncio de NDP, que anuncia al dispositivo receptor que después de la trama se transmitirá un NDP. La trama de inicio de la calibración también puede incluir una solicitud de información del estado del canal (CSI) del dispositivo de flujo espacio-temporal único incluyendo una solicitud de información de retorno de CSI en la trama. La trama de inicio de la calibración puede incluir, además, una solicitud de prueba (TRQ) que pueda hacer que el dispositivo de flujo espacio-temporal único responda con una PPDU de sondeo.

Un tiempo breve, por ejemplo un tiempo SIFS, después de recibir el inicio de la calibración, el receptor de la formación de haces transmite (320) un acuse de recibo que es recibido por el dispositivo formador de haces. El acuse de recibo puede obtenerse con base en información del inicio de la calibración (por ejemplo, que un parámetro de directriz Ack se ponga en Ack Normal). Cierta información en el acuse de recibo (por ejemplo, símbolos largos de pruebas) puede permitir que el dispositivo formador de haces estime el canal MIMO desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único hasta el dispositivo formador de haces.

Después de recibir el acuse de recibo, el dispositivo formador de haces vuelve a transmitir (330) un paquete de datos nulos al dispositivo de flujo espacio-temporal único. Según se ha descrito en lo que antecede, el dispositivo de flujo espacio-temporal único puede reconocer que el NDP fue enviado desde el dispositivo formador de haces y que

el NDP está destinado para el dispositivo de flujo espacio-temporal único con base en un campo de anuncio de NDP en la trama de inicio de la calibración. El NDP incluye campos largos de pruebas (LTF) que permiten que el dispositivo de flujo espacio-temporal único determine una matriz de información de retorno de calibración según procedimientos conocidos en la técnica. La matriz de información de retorno de calibración puede incluir una estimación cuantificada del canal desde el dispositivo formador de haces hasta el dispositivo de flujo espacio-temporal único. En algún momento posterior a que el dispositivo de flujo espacio-temporal único haya determinado la matriz de información de retorno de calibración, la matriz de información de retorno de calibración puede ser enviada desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único al dispositivo formador de haces.

Con base en la información del acuse de recibo, el dispositivo formador de haces lleva a cabo (340) la calibración de formación de haces del canal de comunicaciones inalámbricas entre los dispositivos. Por ejemplo, los LTF incluidos en el acuse de recibo pueden permitir que el dispositivo formador de haces determine matrices de corrección que compensen las deficiencias en las cadenas de transmisión y recepción. La información contenida en la matriz de información de retorno de calibración también puede ser usada por el dispositivo formador de haces para calibrar el canal entre el dispositivo formador de haces y el dispositivo de flujo espacio-temporal único. Por ejemplo, el dispositivo formador de haces puede usar la estimación local del canal desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único hasta el dispositivo formador de haces y la estimación cuantificada del canal desde el dispositivo formador de haces hasta el dispositivo de flujo espacio-temporal único para determinar matrices de corrección que reduzcan el efecto de las deficiencias en las cadenas de transmisión y recepción.

La FIG. 4 es otro diagrama de flujo que ilustra una técnica ejemplar de calibración de formación de haces. Las acciones descritas en el diagrama de flujo pueden llevarse a cabo, por ejemplo, en una red 100 de comunicaciones inalámbricas y, en aras de la claridad de la presentación, la descripción que sigue usa la red 100 como la base de un ejemplo para la descripción de la técnica. Por ejemplo, las acciones mostradas en el procedimiento pueden ser implementadas por un dispositivo formador de haces, por ejemplo el punto 110 de acceso. Sin embargo, la técnica ejemplar de calibración de formación de haces puede llevarse a cabo alternativamente en otra red de comunicaciones inalámbricas o en una combinación de redes, y la técnica puede ser llevada a cabo por otros dispositivos o combinaciones de dispositivos.

La técnica ejemplar de calibración de formación de haces comienza cuando un dispositivo formador de haces transmite (410) un inicio de calibración a un dispositivo de flujo espacio-temporal único. Según se ha descrito en lo que antecede, la técnica de calibración puede ser iniciada por el dispositivo formador de haces en cualquier número de circunstancias. En otras implementaciones, un receptor de la formación de haces puede transmitir un mensaje al dispositivo formador de haces solicitando que ocurra la calibración.

El inicio de la calibración puede incluir uno o más parámetros que están proporcionados en la cabecera MAC de una trama de inicio de la calibración, según diversas implementaciones. Por ejemplo, la trama de inicio de la calibración puede indicar un parámetro de directriz Ack puesto en Ack Normal, lo que hace que el dispositivo que recibe la trama de inicio de la calibración devuelva una trama ACK después de un período de espacio corto entre tramas (SIFS). La trama de inicio de la calibración también puede indicar un anuncio de NDP, que anuncia al dispositivo receptor que después de la trama se transmitirá un NDP.

Un tiempo breve, por ejemplo un tiempo SIFS, después de recibir el inicio de la calibración, el receptor de la formación de haces transmite un acuse de recibo que es recibido (420) por el dispositivo formador de haces. El acuse de recibo puede obtenerse con base en información del inicio de la calibración (por ejemplo, que un parámetro de directriz Ack se ponga en Ack Normal). Cierta información en el acuse de recibo (por ejemplo, símbolos largos de pruebas) puede permitir que el dispositivo formador de haces estime el canal MIMO desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único hasta el dispositivo formador de haces.

Después de recibir el acuse de recibo, el dispositivo formador de haces transmite (430) un paquete de datos nulos al dispositivo de flujo espacio-temporal único. Según se ha descrito en lo que antecede, el dispositivo de flujo espacio-temporal único puede reconocer que el NDP fue enviado desde el dispositivo formador de haces y que el NDP está destinado para el dispositivo de flujo espacio-temporal único con base en un campo de anuncio de NDP y en campos de dirección en la trama de inicio de la calibración. El NDP incluye campos largos de pruebas (LTF) que permiten que el dispositivo de flujo espacio-temporal único determine una matriz de información de retorno de calibración según procedimientos conocidos en la técnica. La matriz de información de retorno de calibración puede incluir una estimación cuantificada del canal desde el dispositivo formador de haces hasta el dispositivo de flujo espacio-temporal único. En algún momento posterior a que el dispositivo de flujo espacio-temporal único haya determinado la matriz de información de retorno de calibración, la matriz de información de retorno de calibración puede ser enviada desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único al dispositivo formador de haces.

En respuesta al NDP, el dispositivo de flujo espacio-temporal único envía un segundo acuse de recibo, que es recibido (440) por el dispositivo formador de haces. Cierta información en el segundo acuse de recibo (por ejemplo, símbolos largos de pruebas) puede permitir que el dispositivo formador de haces estime el canal MIMO desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único hasta el dispositivo formador de haces.

El dispositivo formador de haces también envía (450) un mensaje de calibración completa al dispositivo de flujo espacio-temporal único. El mensaje de calibración completa puede indicar un parámetro de directriz Ack puesto a Ack normal, lo que hace que el dispositivo de flujo espacio-temporal único devuelva una trama ACK después de un periodo SIFS. El mensaje de calibración completa también puede incluir una solicitud de información del estado del canal (CSI) del dispositivo de flujo espacio-temporal único incluyendo una solicitud de información de retorno de CSI en el mensaje de calibración completa. La matriz de información de retorno de calibración que determinó el dispositivo de flujo espacio-temporal único puede ser incluida en la información de retorno de CSI que se envía desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único en respuesta a la solicitud de información de retorno de CSI.

Con base en la información del acuse de recibo, el dispositivo formador de haces lleva a cabo (460) la calibración de formación de haces del canal de comunicaciones inalámbricas entre los dispositivos. Por ejemplo, los LTF incluidos en el segundo acuse de recibo pueden permitir que el dispositivo formador de haces determine matrices de corrección que compensen las deficiencias en las cadenas de transmisión y recepción. La información contenida en la matriz de información de retorno de calibración también puede ser usada por el dispositivo formador de haces para calibrar el canal entre el dispositivo formador de haces y el dispositivo de flujo espacio-temporal único. Por ejemplo, el dispositivo formador de haces puede usar la estimación local del canal desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único hasta el dispositivo formador de haces y la estimación cuantificada del canal desde el dispositivo formador de haces hasta el dispositivo de flujo espacio-temporal único para determinar matrices de corrección que reduzcan el efecto de las deficiencias en las cadenas de transmisión y recepción.

La FIG. 5 es otro diagrama de flujo que ilustra una técnica ejemplar de calibración de formación de haces. Las acciones descritas en el diagrama de flujo pueden llevarse a cabo, por ejemplo, en una red 100 de comunicaciones inalámbricas y, en aras de la claridad de la presentación, la descripción que sigue usa la red 100 como la base de un ejemplo para la descripción de la técnica. Por ejemplo, las acciones mostradas en el procedimiento pueden ser implementadas por un dispositivo formador de haces, por ejemplo el punto 110 de acceso. Sin embargo, la técnica ejemplar de calibración de formación de haces puede llevarse a cabo alternativamente en otra red de comunicaciones inalámbricas o en una combinación de redes, y la técnica puede ser llevada a cabo por otros dispositivos o combinaciones de dispositivos.

La técnica ejemplar de calibración de formación de haces comienza cuando un dispositivo formador de haces transmite (510) un inicio de calibración a un dispositivo de flujo espacio-temporal único. Según se ha descrito en lo que antecede, la técnica de calibración puede ser iniciada por el dispositivo formador de haces en cualquier número de circunstancias. En otras implementaciones, un receptor de la formación de haces puede transmitir un mensaje al dispositivo formador de haces solicitando que ocurra la calibración.

El inicio de la calibración puede incluir uno o más parámetros que están proporcionados en la cabecera MAC de una trama de inicio de la calibración, según diversas implementaciones. Por ejemplo, la trama de inicio de la calibración puede indicar un parámetro de directriz Ack puesto a Ningún Ack, lo que solicita que el dispositivo de flujo espacio-temporal único no envíe una trama de acuse de recibo en respuesta al inicio de la calibración. La trama de inicio de la calibración también puede indicar un anuncio de NDP, que anuncia al dispositivo receptor que después de la trama se transmitirá un NDP.

Después de recibir el inicio de calibración, el dispositivo formador de haces transmite (520) un paquete de datos nulos al dispositivo de flujo espacio-temporal único. Según se ha descrito en lo que antecede, el dispositivo de flujo espacio-temporal único puede reconocer que el NDP fue enviado desde el dispositivo formador de haces y que el NDP está destinado para el dispositivo de flujo espacio-temporal único con base en un campo de anuncio de NDP y en campos de dirección en la trama de inicio de la calibración. El NDP incluye campos largos de pruebas (LTF) que permiten que el dispositivo de flujo espacio-temporal único determine una matriz de información de retorno de calibración según procedimientos conocidos en la técnica. La matriz de información de retorno de calibración puede incluir una estimación cuantificada del canal desde el dispositivo formador de haces hasta el dispositivo de flujo espacio-temporal único. En algún momento posterior a que el dispositivo de flujo espacio-temporal único haya determinado la matriz de información de retorno de calibración, la matriz de información de retorno de calibración puede ser enviada desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único al dispositivo formador de haces, tal como en respuesta a una solicitud de información de retorno de CSI.

En respuesta al NDP, el dispositivo de flujo espacio-temporal único envía un acuse de recibo, que es recibido (530) por el dispositivo formador de haces. Cierta información en el segundo acuse de recibo (por ejemplo, símbolos largos de pruebas) puede permitir que el dispositivo formador de haces estime el canal MIMO desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único hasta el dispositivo formador de haces.

El dispositivo formador de haces también envía (540) un mensaje de calibración completa al dispositivo de flujo espacio-temporal único. El mensaje de calibración completa puede indicar un parámetro de directriz Ack puesto a Ack normal, lo que hace que el dispositivo de flujo espacio-temporal único devuelva una trama ACK después de un periodo de espacio corto entre tramas (SIFS). El mensaje de calibración completa también puede incluir una solicitud de información del estado del canal (CSI) del dispositivo de flujo espacio-temporal único incluyendo una solicitud de

información de retorno de CSI en la trama. La matriz de información de retorno de calibración que determinó el dispositivo de flujo espacio-temporal único puede ser incluida en la información de retorno de CSI.

Con base en la información del acuse de recibo, el dispositivo formador de haces lleva a cabo (550) la calibración de formación de haces del canal de comunicaciones inalámbricas entre los dispositivos. Por ejemplo, los LTF incluidos en el acuse de recibo pueden permitir que el dispositivo formador de haces determine matrices de corrección que compensen las deficiencias en las cadenas de transmisión y recepción. La información contenida en la matriz de información de retorno de calibración también puede ser usada por el dispositivo formador de haces para calibrar el canal entre el dispositivo formador de haces y el dispositivo de flujo espacio-temporal único. Por ejemplo, el dispositivo formador de haces puede usar la estimación local del canal desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único hasta el dispositivo formador de haces y la estimación cuantificada del canal desde el dispositivo formador de haces hasta el dispositivo de flujo espacio-temporal único para determinar matrices de corrección que reduzcan el efecto de las deficiencias en las cadenas de transmisión y recepción.

La FIG. 6 es un diagrama de bloques que ilustra componentes ejemplares de un dispositivo de comunicaciones inalámbricas, tal como un punto 605 de acceso o una estación 610, que pueden usarse para llevar a cabo las técnicas de calibración aérea descritas en el presente documento. El punto 605 de acceso y la estación 610 pueden incluir cada uno un procesador 620, una memoria 630, un dispositivo 640 de almacenamiento, un módulo 650 de calibración, un módulo 660 de temporización, un módulo 670 de monitorización de dispositivos, un transmisor 680 y un receptor 690. En algunas implementaciones, el punto 605 de acceso y/o la estación 610 pueden tener más de uno de cualquiera de estos componentes (por ejemplo, múltiples procesadores, múltiples transmisores o múltiples receptores, etc.). Por ejemplo, el punto 605 de acceso tiene múltiples transmisores 680 y múltiples receptores 690 que pueden usarse para comunicaciones basadas en MIMO. En algunas implementaciones, pueden combinarse uno o más de los diversos componentes en un único componente (por ejemplo, un transceptor que incluya tanto un transmisor 680 como un receptor 690), o la funcionalidad de un componente puede separarse en múltiples componentes. El punto 605 de acceso y/o la estación 610 también puede incluir más, menos o diferentes componentes de los mostrados en el ejemplo.

El procesador 620 puede usarse para procesar instrucciones para su ejecución por parte del punto 605 de acceso o la estación 610. El procesador 620 puede ser un procesador de hilo único o puede ser un procesador de múltiples hilos configurado para procesar diversas instrucciones en paralelo simultáneamente. El procesador 620 puede ser capaz de procesar instrucciones guardadas en la memoria 630 o instrucciones guardadas en el dispositivo 640 de almacenamiento. En un ejemplo, el procesador 620 puede estar configurado para procesar instrucciones para ejecutar las técnicas de calibración descritas en el presente documento.

En algunas implementaciones, puede usarse la memoria 630 para guardar instrucciones de programas para su ejecución por el procesador 620. En otros ejemplos, puede usarse la memoria 630 por el soporte lógico o las aplicaciones que se ejecutan en el punto 605 de acceso o la estación 610 para guardar temporalmente información durante la ejecución de los programas. Por ejemplo, la memoria 630 puede guardar determinadas matrices de calibración (por ejemplo, una matriz de calibración para cada canal calibrado entre un dispositivo formador de haces y cada respectivo receptor de la formación de haces), de modo que las matrices puedan ser recuperadas y aplicadas a las comunicaciones entre el dispositivo formador de haces y los respectivos receptores de la formación de haces para reducir el efecto de las deficiencias en las cadenas de transmisión y recepción.

El dispositivo 640 de almacenamiento puede ser descrito como un medio de almacenamiento legible por ordenador, y puede ser configurado para guardar mayores cantidades de información que la memoria 630. El dispositivo 640 de almacenamiento puede estar configurado, además, para el almacenamiento de la información a largo plazo. Por ejemplo, el dispositivo 640 de almacenamiento puede guardar parámetros de calibración (por ejemplo, la longitud del tiempo límite de calibración, límites en el intervalo de temperatura de los chips, etc.) relacionados con las técnicas de calibración descritas en el presente documento.

Puede usarse el módulo 650 de calibración, por ejemplo, para determinar el tipo de receptor de la formación de haces y para determinar el tipo de procedimiento de calibración que ha de ejecutarse. Por ejemplo, si el módulo 650 de calibración determina que el receptor de la formación de haces es un dispositivo de flujo espacio-temporal único (por ejemplo, basándose en las prestaciones del dispositivo transmitidas durante la asociación), el dispositivo formador de haces puede utilizar las técnicas de calibración descritas en el presente documento para calibrar el canal de comunicaciones inalámbricas entre el dispositivo formador de haces y el receptor de la formación de haces. Asimismo, si el módulo 650 de calibración determina que el receptor de la formación de haces es capaz de múltiples flujos espacio-temporales, el dispositivo formador de haces puede usar, en su lugar, un procedimiento de calibración que utilice NDP que estén siendo enviados desde el receptor de la formación de haces. En otras implementaciones, el módulo 650 de calibración puede usar selectivamente las técnicas de calibración descritas en el presente documento para calibrar el canal inalámbrico entre el dispositivo formador de haces y el receptor de la formación de haces, aunque el receptor de la formación de haces sea capaz de múltiples flujos espacio-temporales.

También puede usarse el módulo 650 de calibración para calibrar el canal de comunicaciones inalámbricas entre el dispositivo formador de haces y el receptor de la formación de haces. Por ejemplo, el módulo 650 de calibración

puede usar información (por ejemplo, símbolos largos de pruebas) contenidos en una trama (por ejemplo, una trama de acuse de recibo) enviada desde el receptor de la formación de haces para estimar el canal MIMO desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único hasta el dispositivo formador de haces, y para determinar matrices de corrección que compensen las deficiencias en las cadenas de transmisión y recepción. El módulo 650 de calibración también puede usar información incluida en una matriz de información de retorno de calibración enviada desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único (por ejemplo, en una trama CSI) para calibrar el canal entre el dispositivo formador de haces y el dispositivo de flujo espacio-temporal único. Por ejemplo, el dispositivo formador de haces puede usar la estimación local del canal desde el dispositivo de flujo espacio-temporal único hasta el dispositivo formador de haces y la estimación cuantificada del canal desde el dispositivo formador de haces hasta el dispositivo de flujo espacio-temporal único para determinar matrices de corrección que reduzcan el efecto de las deficiencias en las cadenas de transmisión y recepción.

Puede usarse el módulo 660 de temporización para monitorizar la hora local en el punto 605 de acceso y en la estación 610. El módulo 660 de temporización también puede incluir uno o más temporizadores que pueden usarse para desencadenar ciertas tareas que han de realizar el punto 605 de acceso o la estación 610. Por ejemplo, puede usarse el módulo 660 de temporización para desencadenar el inicio de las técnicas de calibración descritas en el presente documento. En algunas implementaciones, un dispositivo formador de haces, por ejemplo el punto 605 de acceso, puede llevar a cabo la calibración en un momento configurado (por ejemplo, a intervalos de media hora a lo largo del día) o en un periodo de tiempo configurado después de la última calibración que ocurriese (por ejemplo, una hora después del anterior ciclo de calibración).

Puede usarse el módulo 670 de monitorización de dispositivos para identificar diversas condiciones o parámetros relacionados con el punto 605 de acceso o la estación 610. Pueden usarse uno o más de estas condiciones o estos parámetros, o una combinación de las condiciones o los parámetros para desencadenar el inicio de las técnicas de calibración descritas en el presente documento. Por ejemplo, el módulo 670 de monitorización de dispositivos puede monitorizar la temperatura de un chip en el transcurso del tiempo. Si el módulo 670 de monitorización de dispositivos determina que la temperatura del chip ha subido cierta cantidad (por ejemplo, 0,28 grados Celsius) desde que ocurriese la última calibración, el módulo 670 de monitorización de dispositivos puede desencadenar el procedimiento de calibración. Asimismo, el módulo 670 de monitorización de dispositivos puede registrar y monitorizar el rendimiento de las comunicaciones entre el dispositivo y una o más estaciones asociadas. Si el módulo 670 identifica cierto nivel de degradación en el rendimiento (por ejemplo, una caída del 10% en el rendimiento), el módulo 670 de monitorización de dispositivos puede desencadenar un procedimiento de calibración con uno o más de los receptores de la formación de haces. Además, el módulo 670 de monitorización de dispositivos puede monitorizar otros componentes u otras métricas del sistema en busca de cualquier indicación de que las deficiencias en las cadenas de transmisión y recepción hayan cambiado y, en caso afirmativo, puede desencadenar un procedimiento de calibración según las técnicas descritas en el presente documento.

Tal como se ha descrito en lo que antecede, cada dispositivo puede incluir uno o más transmisores 680. Según la presente divulgación, los dispositivos formadores de haces, tales como el punto 605 de acceso, incluyen al menos dos transmisores 680, de modo que el dispositivo pueda enviar mensajes con formación de haces a otro dispositivo. El transmisor 680 puede ser usado para transmitir tramas de datos a otra estación. Por ejemplo, el transmisor 680 de un dispositivo formador de haces puede ser configurado para transmitir una o más tramas de inicio de la calibración, tramas de paquetes de datos nulos (NDP), tramas de acuse de recibo, tramas de calibración completa, y/u otras paquetes de datos. Asimismo, un receptor de la formación de haces, tal como la estación 610, puede incluir únicamente un solo transmisor 680, que puede ser configurado para transmitir una o más tramas de acuse de recibo, tramas CSI y/u otros paquetes de datos a otra estación.

Cada dispositivo también puede incluir uno o más receptores 690. Los receptores 690 pueden ser usados para recibir tramas de datos procedentes de otra estación. Por ejemplo, el receptor 690 puede ser configurado para recibir una o más tramas de inicio de la calibración, tramas de paquetes de datos nulos (NDP), tramas de acuse de recibo, tramas de calibración completa, tramas CSI y/u otros paquetes de datos.

Las técnicas de la presente divulgación pueden ser implementadas en una amplia variedad de dispositivos o aparatos, incluyendo un terminal inalámbrico, un circuito integrado (IC) o un conjunto de IC (es decir, un conjunto de chips). Cualquier componente, módulo o unidad han sido descritos para enfatizar aspectos funcionales y no requieren necesariamente una realización por medio de diferentes unidades de soporte físico, etc.

En consecuencia, las técnicas descritas en el presente documento pueden ser implementadas en soporte físico, soporte lógico, soporte lógico inalterable o cualquier combinación de los mismos. Cualquier característica descrita como módulos o componentes puede ser implementada conjuntamente en un dispositivo lógico integrado o separadamente como dispositivos lógicos diferenciales pero interoperables. Si se implementan en soporte lógico, las técnicas pueden ser realizadas, al menos en parte, mediante un medio legible por ordenador que comprende instrucciones que, cuando son ejecutadas, lleva a cabo uno o más de los procedimientos descritos en lo que antecede. El medio de almacenamiento de datos legible por ordenador puede formar parte de un producto de programa de ordenador, que puede incluir materiales de embalaje. El medio legible por ordenador puede comprender memoria de acceso aleatorio (RAM), tal como memoria dinámica síncrona de acceso aleatorio

(SDRAM), memoria de solo lectura (ROM), memoria no volátil de acceso aleatorio (NVRAM), memoria de solo lectura programable borrrable eléctricamente (EEPROM), memoria FLASH, medios magnéticos u ópticos de almacenamiento de datos y similares. Además, o alternativamente, las técnicas pueden realizarse, al menos en parte, mediante un medio de comunicaciones legible por ordenador que transporte o comunique código en forma de instrucciones o estructuras de datos y que pueda ser objeto de acceso, lectura y/o ejecución por un ordenador.

5

El código puede ser ejecutado por uno o más procesadores, tales como uno o más procesadores de señales digitales (DSP), microprocesadores de uso general, circuitos integrados para aplicaciones específicas (ASIC), matrices lógicas programables en situ (FPGA) u otra circuitería lógica equivalente integrada o diferenciada. En consecuencia, el término "procesador", tal como se usa en el presente documento, puede referirse a cualquiera de las estructuras anteriores o a cualquier otra estructura adecuada para la implementación de las técnicas descritas en el presente documento. Además, en algunos aspectos, la funcionalidad descrita en el presente documento puede ser proporcionada dentro de módulos dedicados de soporte lógico o de módulos de soporte físico. Además, las técnicas podrían ser plenamente implementadas en uno o más circuitos o elementos lógicos.

10

Se han descrito diversos aspectos de la divulgación. Estos y otros aspectos están dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

15

## REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento que comprende:

transmitir una trama de inicio de calibración de un primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas a un segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas que comprende un transmisor de flujo espacio-temporal único a través de un medio de comunicaciones inalámbricas;  
 recibir en el primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas una trama de acuse de recibo enviada desde el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de que el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas recibe la trama de inicio de la calibración; y  
 transmitir una trama NDP de paquetes de datos nulos del primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas tras recibir la trama de acuse de recibo.

2. El procedimiento de la reivindicación 1 que, además, comprende llevar a cabo la calibración de la formación de haces de un canal de comunicaciones inalámbricas entre el primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas y el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas basada en la trama de acuse de recibo.

3. El procedimiento de la reivindicación 2 que, además, comprende recibir en el primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas una trama CSI de información del estado del canal enviada desde el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas, y en el que la realización de la calibración de la formación de haces del canal de comunicaciones inalámbricas se basa también en la trama CSI.

4. El procedimiento de la reivindicación 1 en el que la trama de inicio de la calibración comprende una solicitud de acuse de recibo, un anuncio de NDP y una solicitud de información del estado del canal, CSI.

5. El procedimiento de la reivindicación 1 que, además, comprende recibir en el primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas una segunda trama de acuse de recibo procedente del segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de que el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas recibe la trama NDP, y transmitir una trama de calibración completa del primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de recibir la segunda trama de acuse de recibo.

6. El procedimiento de la reivindicación 5 que, además, comprende llevar a cabo la calibración de la formación de haces de un canal de comunicaciones inalámbricas entre el primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas y el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas basada en la segunda trama de acuse de recibo, comprendiendo preferentemente el procedimiento, además, la recepción en el primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas una trama CSI de información del estado del canal enviada desde el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas, y en el que la realización de la calibración de la formación de haces del canal de comunicaciones inalámbricas se basa también en la trama CSI, en el que la trama CSI comprende preferentemente una matriz de información de retorno de CSI determinada por el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas con base en la trama NDP.

7. El procedimiento de la reivindicación 5 en el que la trama de inicio de la calibración comprende una solicitud de acuse de recibo y un anuncio de NDP y en el que la trama de calibración completa comprende una solicitud CSI de información del estado del canal.

8. Un dispositivo de informaciones inalámbricas que comprende:

un medio para transmitir una trama de inicio de la calibración a un segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas que comprende un transmisor de flujo espacio-temporal único a través de un medio de comunicaciones inalámbricas;  
 un medio para recibir una trama de acuse de recibo enviada desde el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de que el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas recibe la trama de inicio de la calibración; y  
 un medio para transmitir una trama NDP de paquetes de datos nulos al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas tras recibir la trama de acuse de recibo.

9. Un medio de almacenamiento legible por ordenador que comprende instrucciones que, con su ejecución, hacen que un procesador lleve a cabo las etapas de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

10. Un procedimiento que comprende:

recibir, en un primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas que comprende un transmisor de flujo espacio-temporal único, una trama de inicio de calibración transmitida desde un segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas a través de un medio de comunicaciones inalámbricas;  
 transmitir al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas una trama de acuse de recibo tras recibir la trama de inicio de la calibración; y



recibir una trama NDP de paquetes de datos nulos desde el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas recibe la trama de acuse de recibo.

11. El procedimiento de la reivindicación 9 que, además, comprende una de las etapas siguientes:

- 5            determinar una matriz de información de retorno de información del estado del canal CSI con base en la trama NDP, y
- transmitir al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas una trama CSI que comprende la matriz determinada de información de retorno de CSI o
- 10           transmitir al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas una segunda trama de acuse de recibo tras recibir la trama NDP, y
- recibir una trama de calibración completa del segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas enviada después de que el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas reciba la segunda trama de acuse de recibo.

12. Un dispositivo de comunicaciones inalámbricas que comprende:

- 15           un receptor inalámbrico configurado para recibir una trama de inicio de la calibración transmitida desde un segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas a través de un medio de comunicaciones inalámbricas; y
- un transmisor inalámbrico configurado para transmitir al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas una trama de acuse de recibo tras recibir la trama de inicio de la calibración;
- 20           en el que el receptor inalámbrico está configurado, además, para recibir una trama NDP de paquetes de datos nulos desde el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas enviada después de que el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas recibe la trama de acuse de recibo, y en el que el dispositivo de comunicaciones inalámbricas comprende un transmisor de flujo espacio-temporal único.

13. Un procedimiento que comprende:

- 25           transmitir una trama de inicio de la calibración desde un primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas a un segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas que comprende un transmisor de flujo espacio-temporal único a través de un medio de comunicaciones inalámbricas;
- transmitir una trama NDP de paquetes de datos nulos del primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de transmitir la trama de inicio de la calibración;
- 30           recibir en el primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas una trama de acuse de recibo enviada desde el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de que el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas reciba la trama NDP; y
- transmitir una trama de calibración completa del primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de recibir la trama de acuse de recibo.
- 35

14. Un dispositivo de comunicaciones inalámbricas que comprende:

- un transmisor inalámbrico configurado para transmitir una trama de inicio de la calibración a un segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas que comprende un transmisor de flujo espacio-temporal único a través de un medio de comunicaciones inalámbricas, y transmitir una trama NDP de paquetes de datos nulos al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de transmitir la trama de inicio de la calibración; y
- 40           un receptor inalámbrico configurado para recibir una trama de acuse de recibo enviada desde el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de que el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas reciba la trama NDP;
- 45           en el que el transmisor inalámbrico está configurado, además, para transmitir una trama de calibración completa al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas después de recibir la trama de acuse de recibo.

15. Un procedimiento que comprende:

- recibir, en un primer dispositivo de comunicaciones inalámbricas que comprende un transmisor de flujo espacio-temporal único, una trama de inicio de la calibración transmitida desde un segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas a través de un medio de comunicaciones inalámbricas;
- 50           recibir una trama NDP de paquetes de datos nulos desde el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas enviada después de que el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas transmita la trama de inicio de la calibración;
- 55           transmitir al segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas una trama de acuse de recibo después de recibir la trama NDP; y

recibir una trama de calibración completa desde el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas enviada después de que el segundo dispositivo de comunicaciones inalámbricas reciba la trama de acuse de recibo.

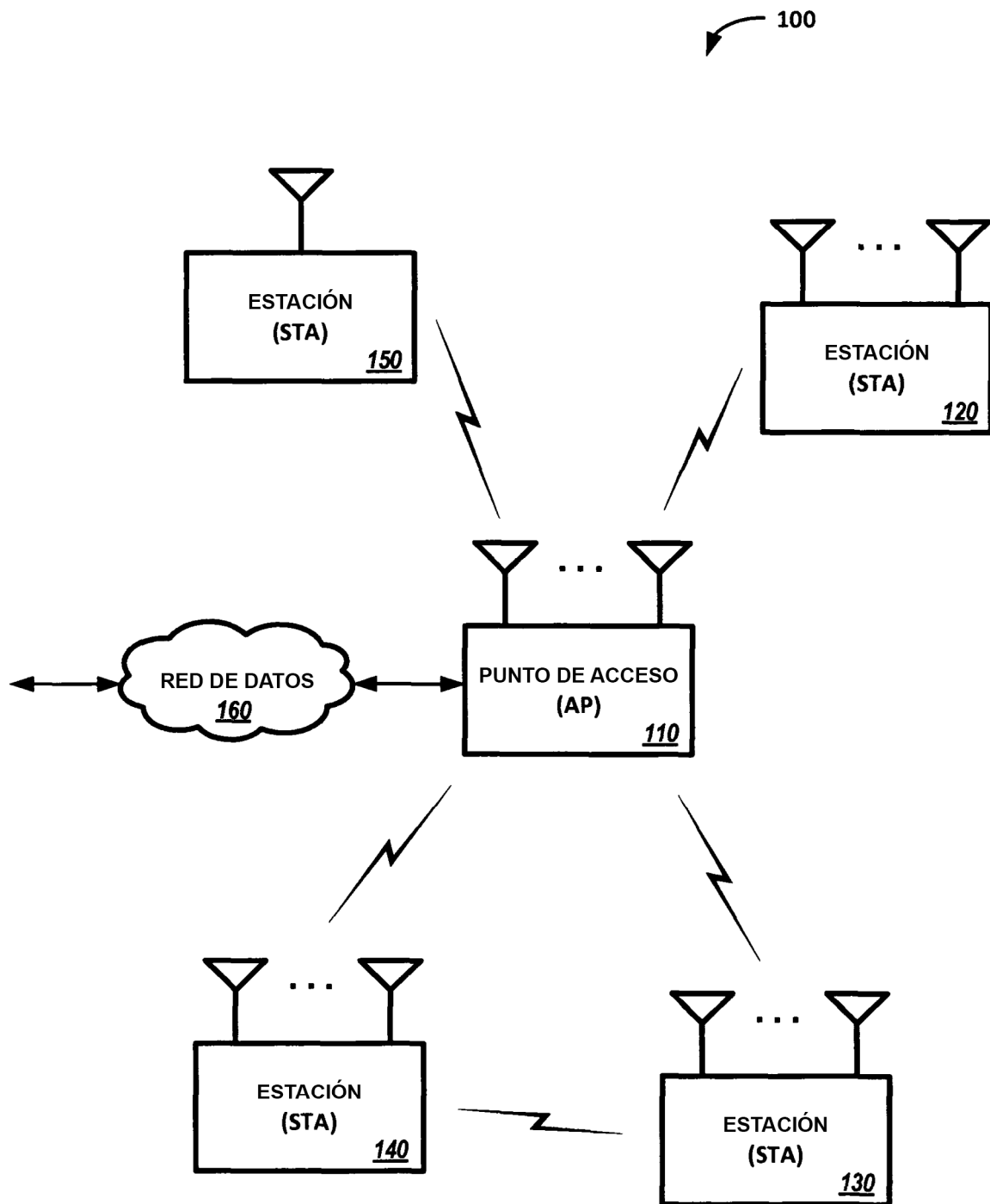
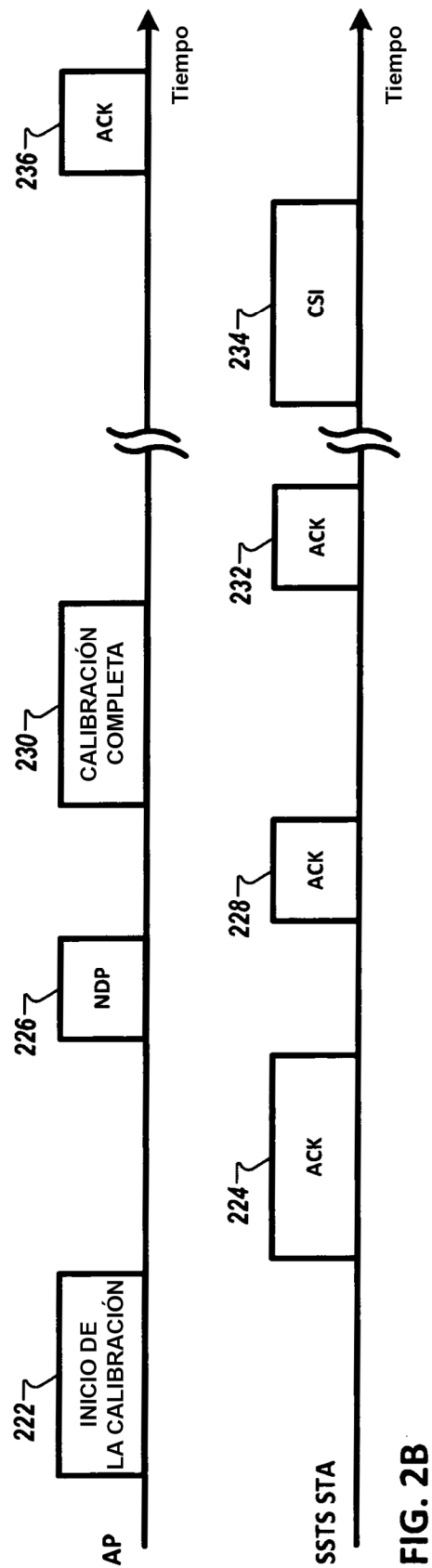
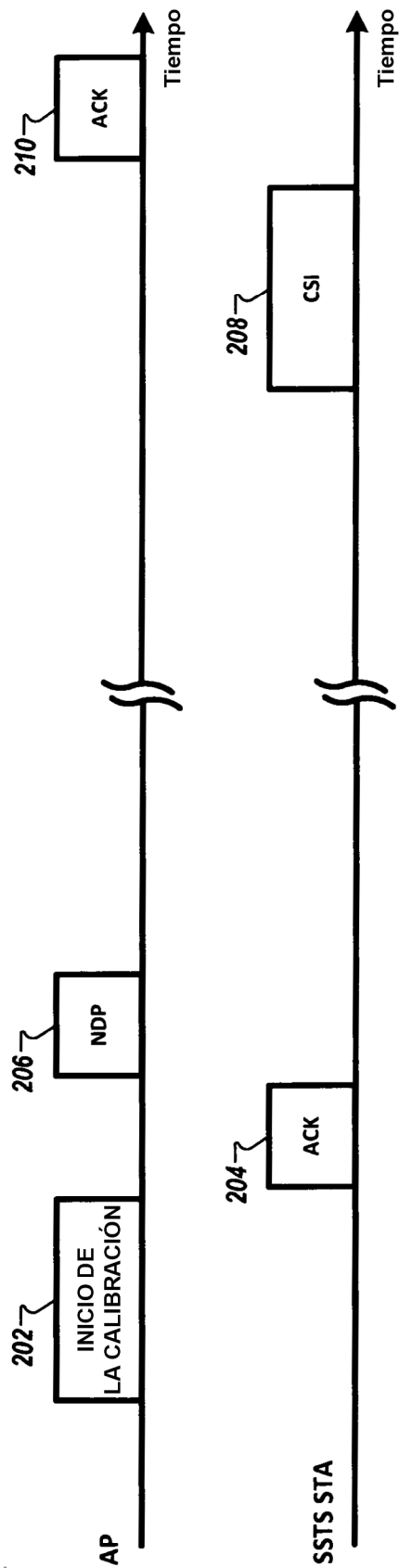


FIG. 1



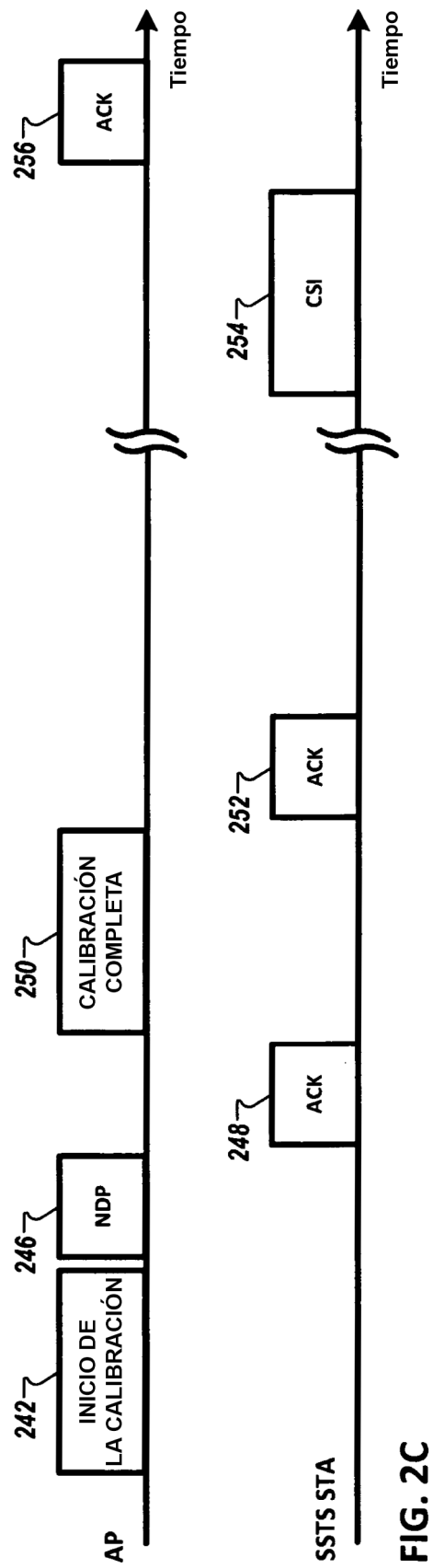
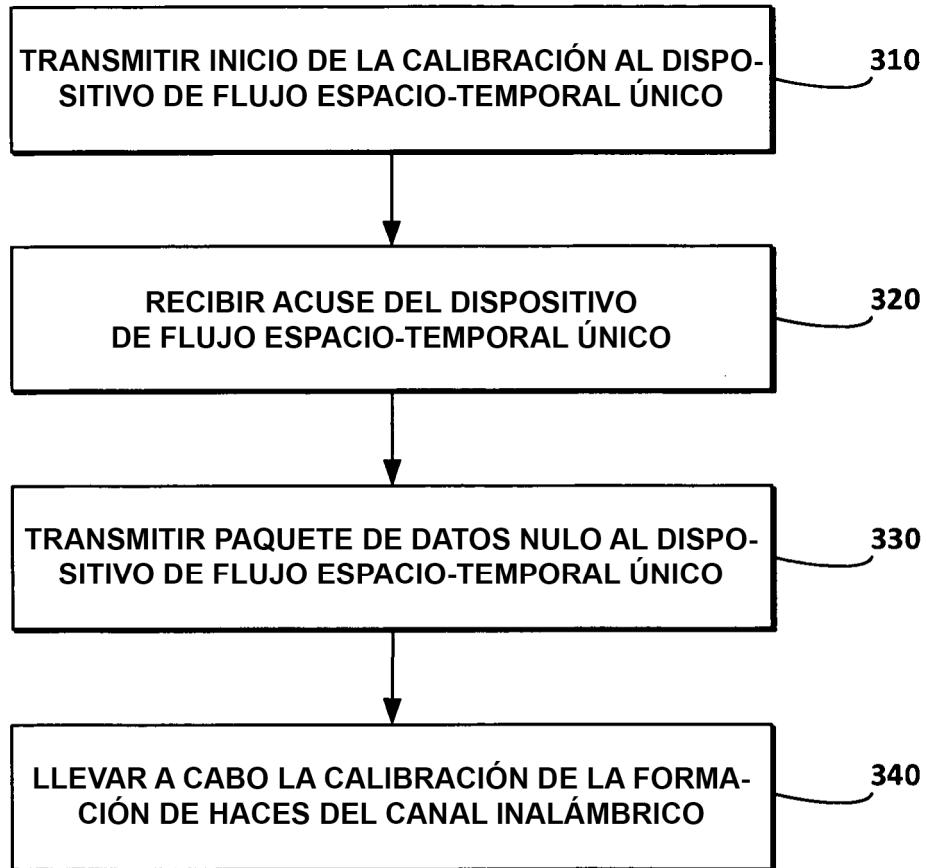
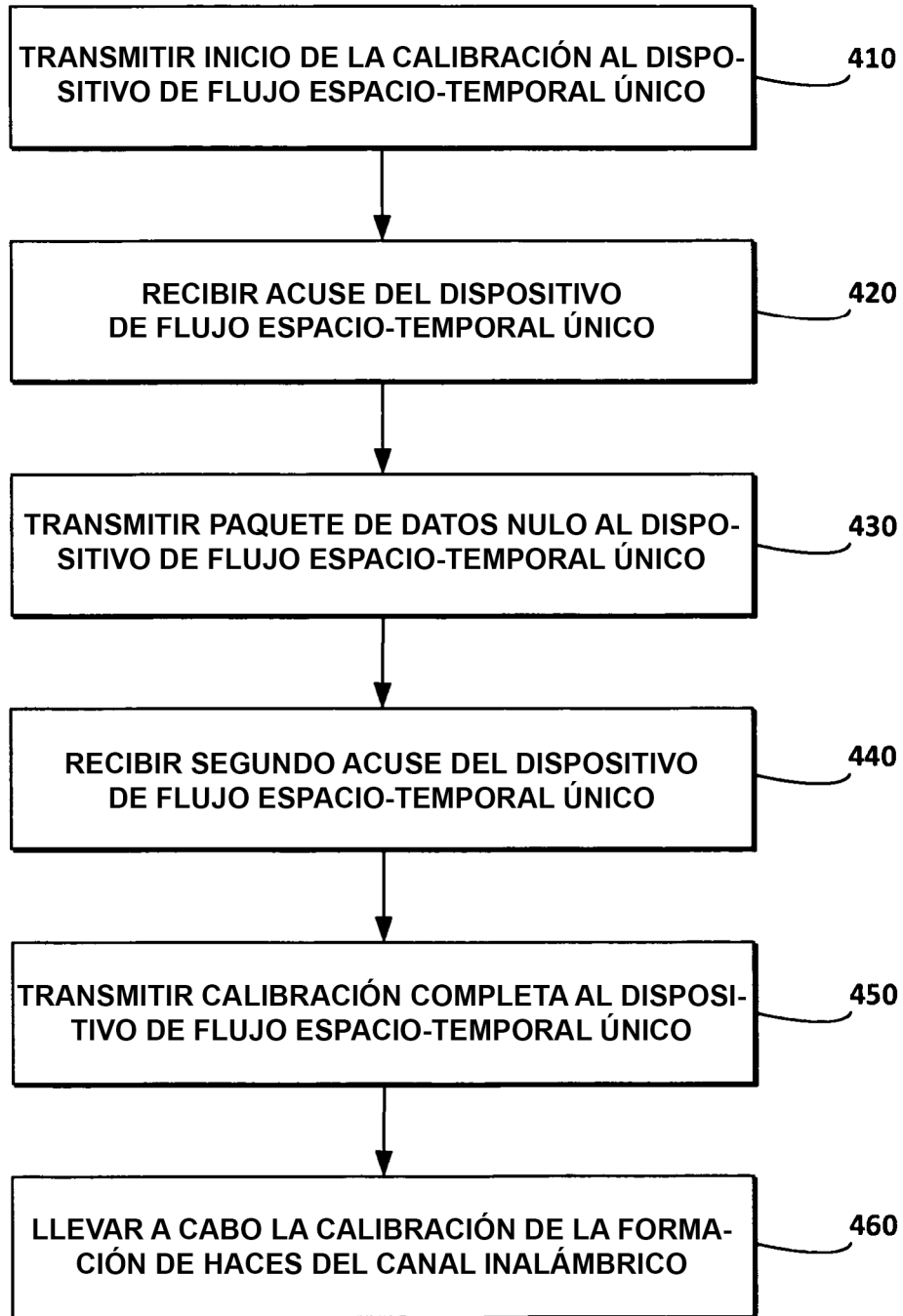


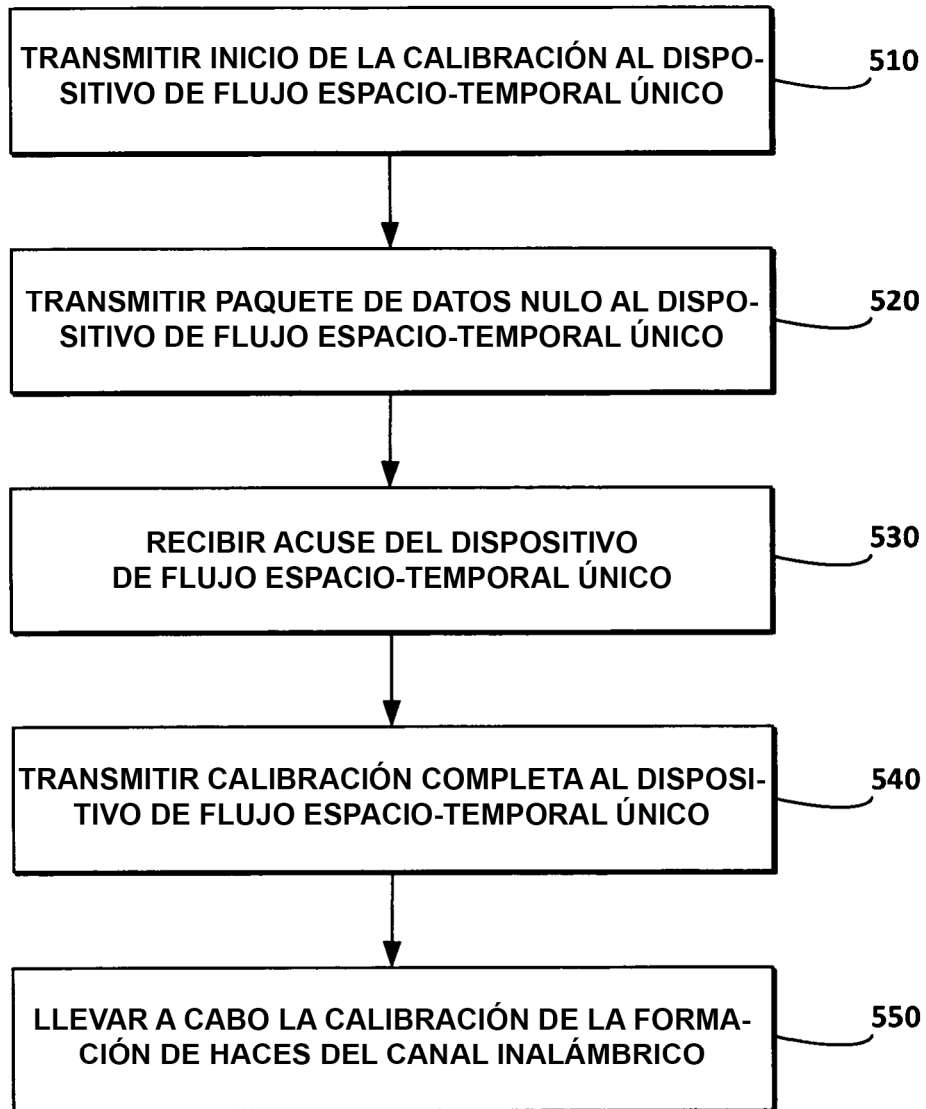
FIG. 2C



**FIG. 3**



**FIG. 4**



**FIG. 5**



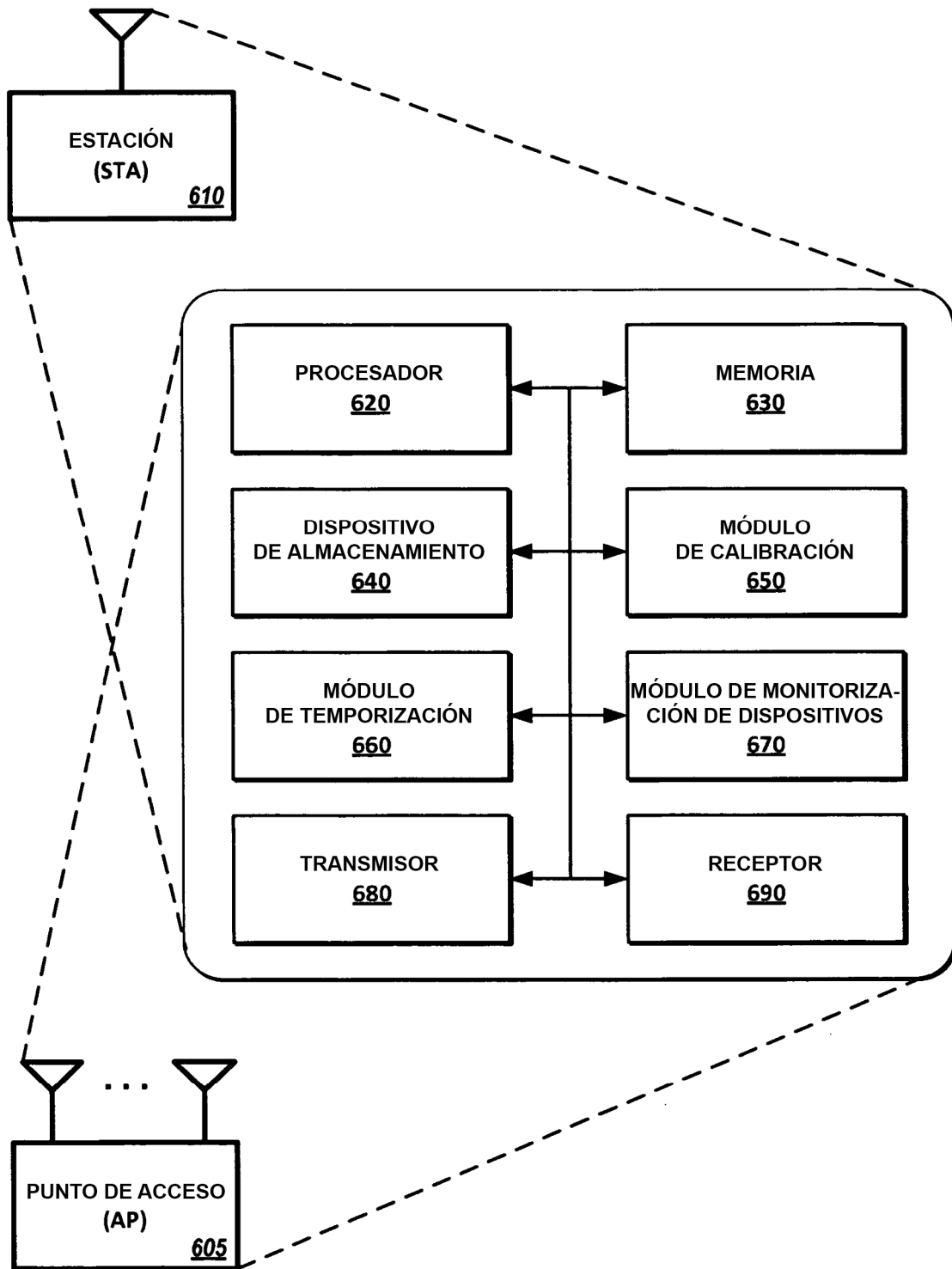


FIG. 6