

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 733 241**

51 Int. Cl.:

G01S 5/12 (2006.01)

G01S 13/74 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.02.2016 PCT/US2016/016377**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.08.2016 WO16130381**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.02.2016 E 16706284 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2019 EP 3256875**

54 Título: **Protocolo FTM con ángulo de llegada y ángulo de salida**

30 Prioridad:

10.02.2015 US 201562114479 P
02.02.2016 US 201615013374

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.11.2019

73 Titular/es:

QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)
5775 Morehouse Drive
San Diego, CA 92121-1714, US

72 Inventor/es:

ALDANA, CARLOS HORACIO y
ZHANG, XIAOXIN

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 733 241 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

Protocolo FTM con ángulo de llegada y ángulo de salida

5 **CAMPO TÉCNICO**

[1] Los modos de realización de ejemplo se refieren en general a redes inalámbricas, y específicamente a operaciones de alcance realizados entre dispositivos inalámbricos.

10 **ANTECEDENTES DE TÉCNICA RELACIONADA**

[2] La reciente proliferación de puntos de acceso Wi-Fi® en redes inalámbricas de área local (WLAN) ha hecho posible que los sistemas de posicionamiento utilicen estos puntos de acceso para la determinación de posición, especialmente en áreas donde hay una gran concentración de puntos de acceso Wi-Fi activos (por ejemplo, núcleos urbanos, centros comerciales, edificios de oficinas, instalaciones deportivas, y demás). Por ejemplo, un dispositivo inalámbrico tal como un teléfono celular o un ordenador de tableta puede utilizar el tiempo de ida y vuelta (RTT) de señales intercambiadas con un punto de acceso (AP) para determinar la distancia entre el dispositivo inalámbrico y el AP. Una vez determinadas las distancias entre el dispositivo inalámbrico y tres puntos de acceso que tengan ubicaciones conocidas, la ubicación del dispositivo inalámbrico se puede determinar usando técnicas de trilateración.

[3] Sería deseable determinar la ubicación de un dispositivo inalámbrico utilizando un menor número de otros dispositivos como puntos de referencia sin por ello verse mermada la precisión.

[4] US 2014/335891 A1 divulga sistemas y procedimientos para determinar la ubicación de cada una de las pluralidades de los STA de una WLAN donde un AP mide el tiempo de ida y vuelta (RTT) y el ángulo de llegada (AOA) a cada STA a partir del intercambio implícito de paquetes, tal como trama de datos y trama ACK.

RESUMEN

[5] De acuerdo con la presente invención, se proporcionan procedimiento, dispositivo y programa de ordenador respectivos, como se expone en las reivindicaciones independientes. Los modos de realización de la invención se reivindican en las reivindicaciones dependientes. Este Resumen se proporciona para introducir de una forma simplificada una selección de conceptos que están descritos más adelante a continuación en la Descripción Detallada. Este Resumen no pretende identificar las características clave o las características esenciales de la materia objeto reivindicada, ni tampoco limitar el alcance de la materia objeto reivindicada.

[6] Se conocen aparatos y procedimientos que permiten que un dispositivo inalámbrico determine su posición usando intercambios de señales con otro dispositivo. Para algunas implementaciones, se conoce un procedimiento en el cual un primer dispositivo puede transmitir una primera trama de medición precisa de tiempo (Fine Timing Measurement, FTM) a un segundo dispositivo, puede recibir una trama de acuse de recibo (ACK) del segundo dispositivo y puede transmitir una segunda trama FTM al segundo dispositivo. La segunda trama FTM puede incluir un valor de tiempo e información de ángulo. El valor de tiempo puede indicar una diferencia entre la hora de salida (TOD) de la primera trama FTM y la hora de llegada (TOA) de la trama ACK, y la información de ángulo puede indicar una dirección del segundo dispositivo en relación con el primer dispositivo. En algunos aspectos, la información de ángulo puede incluir un ángulo de salida (AoD) de la primera trama FTM y/o un ángulo de llegada (AoA) de la trama ACK. El segundo dispositivo puede utilizar el valor de tiempo y la información de ángulo para determinar su ubicación en relación con el primer dispositivo.

[7] En otro ejemplo, se divulga un primer dispositivo que puede realizar un operación de alcance con un segundo dispositivo. El primer dispositivo puede incluir uno o más procesadores y una memoria configurada para almacenar instrucciones. La ejecución de las instrucciones por uno o más procesadores puede hacer que el primer dispositivo: transmita una primera trama FTM al segundo dispositivo, reciba una trama ACK del segundo dispositivo y transmita una segunda trama FTM al segundo dispositivo. La segunda trama FTM puede incluir un valor de tiempo e información de ángulo. El valor de tiempo puede indicar una diferencia entre un TOD de la primera trama FTM y un TOA de la trama ACK, y la información de ángulo puede indicar una dirección del segundo dispositivo en relación con el primer dispositivo. En algunos aspectos, la información de ángulo puede incluir un AoD de la primera trama FTM y/o un AoA de la trama ACK. El segundo dispositivo puede utilizar el valor de tiempo y la información de ángulo para determinar su ubicación en relación con el primer dispositivo.

[8] En otro ejemplo, se divulga un medio de almacenamiento no transitorio legible por ordenador. El medio de almacenamiento no transitorio legible por ordenador puede almacenar uno o más programas que contienen instrucciones que, cuando se ejecuten por uno o más procesadores de un primer dispositivo, hacen que el primer dispositivo realice un operación de alcance con un segundo dispositivo mediante la realización de un número de operaciones. El número de operaciones puede incluir la transmisión de una primera trama FTM al segundo dispositivo, la recepción de una trama ACK desde el segundo dispositivo y la transmisión de una segunda trama FTM al segundo

dispositivo. La segunda trama FTM puede incluir un valor de tiempo e información de ángulo. El valor de tiempo puede indicar una diferencia entre un TOD de la primera trama FTM y un TOA de la trama ACK, y la información de ángulo puede indicar una dirección del segundo dispositivo en relación con el primer dispositivo. En algunos aspectos, la información de ángulo puede incluir un AoD de la primera trama FTM y/o un AoA de la trama ACK. El segundo dispositivo puede utilizar el valor de tiempo y la información de ángulo para determinar su ubicación en relación con el primer dispositivo.

[9] En otro ejemplo, se divulga un primer dispositivo que puede realizar una operación de alcance con un segundo dispositivo. El primer dispositivo puede incluir medios para transmitir una primera trama FTM al segundo dispositivo, medios para recibir una trama ACK del segundo dispositivo y medios para transmitir una segunda trama FTM al segundo dispositivo. La segunda trama FTM puede incluir un valor de tiempo e información de ángulo. El valor de tiempo puede indicar una diferencia entre un TOD de la primera trama FTM y un TOA de la trama ACK, y la información de ángulo puede indicar una dirección del segundo dispositivo en relación con el primer dispositivo. En algunos aspectos, la información de ángulo puede incluir un AoD de la primera trama FTM y/o un AoA de la trama ACK. El segundo dispositivo puede utilizar el valor de tiempo y la información de ángulo para determinar su ubicación en relación con el primer dispositivo.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[10] Los modos de realización de ejemplo se ilustran a modo de ejemplo y no pretenden limitarse a las figuras de los dibujos que los acompañan. A lo largo de toda la memoria descriptiva y los dibujos se encuentran los mismos números de referencia así como elementos.

La FIG. 1 es un diagrama de bloques de un sistema WLAN dentro del cual se pueden implementar los modos de realización de ejemplo.

La FIG. 2 es un diagrama de bloques de un dispositivo inalámbrico de acuerdo con los modos de realización de ejemplo.

La FIG. 3 muestra un diagrama de señales de un ejemplo de operaciones de alcance.

La FIG. 4 muestra un diagrama de señales de otro ejemplo de operaciones de alcance.

La FIG. 5A muestra un diagrama de señales de un operaciones de alcance de acuerdo con los modos de realización de ejemplo.

La Fig. 5B muestra un diagrama de secuencia que representa el operaciones de alcance de la Fig. 5A de acuerdo con los modos de realización de ejemplo.

La Fig. 6 representa un ejemplo de trama FTM de acuerdo con los modos de realización de ejemplo.

La Fig. 7A representa un ejemplo de campo de ángulo de llegada de la trama FTM de la Fig. 6, de acuerdo con los modos de realización de ejemplo.

La Fig. 7B representa un ejemplo de campo de ángulo de salida de la trama FTM de la Fig. 6, de acuerdo con los modos de realización de ejemplo.

La Fig. 8 representa otro ejemplo de trama FTM de acuerdo con los modos de realización de ejemplo.

La Fig. 9 representa un ejemplo de campo de ángulo de llegada y ángulo de salida de la trama FTM de la Fig. 8, de acuerdo con los modos de realización de ejemplo.

FIG. 10 representa un sistema de coordenadas para su uso con los modos de realización de ejemplo.

La Fig. 11 muestra un diagrama de flujo ilustrativo que representa un ejemplo de operación de alcance de acuerdo con los modos de realización de ejemplo .

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[11] Solo por simplicidad se describen a continuación los modos de realización de ejemplo en el contexto de los operaciones de alcance realizados por y entre dispositivos habilitados para Wi-Fi. Debe entenderse que los modos de realización de ejemplo son igualmente aplicables para realizar operaciones de alcance utilizando señales de otros diversos estándares o protocolos inalámbricos, y para realizar operaciones de alcance entre diversos dispositivos (por ejemplo, entre un STA y un AP inalámbrico, entre unos AP, entre unos STA, y demás). Así, aunque los modos de realización de ejemplo se describen a continuación en el contexto de un sistema WLAN, los modos de realización de ejemplo son igualmente aplicables a otras redes inalámbricas (por ejemplo, redes celulares, redes pico, redes femto,

redes de satélite), así como a sistemas que utilizan señales de uno o más estándares o protocolos alámbricos (por ejemplo, Ethernet y/o estándares HomePlug/PLC. Como se utiliza en el presente documento, los términos WLAN y Wi-Fi pueden incluir comunicaciones que se rigen por los estándares IEEE 802.11, Bluetooth, HiperLAN (un conjunto de estándares inalámbricos, comparables a los estándares IEEE 802.11, utilizados principalmente en Europa), y otras tecnologías con un rango de propagación de radio relativamente corto. Por lo tanto, los términos "WLAN" y "Wi-Fi" se pueden utilizar de manera intercambiable en el presente documento.

[12] Además, aunque se describe a continuación en términos de un sistema WLAN de infraestructura que incluye uno o más AP y un número de STA, modos de realización de ejemplo son igualmente aplicables a otros sistemas WLAN, incluyendo, por ejemplo, múltiples WLAN, sistemas de Conjunto de Servicios Básicos Independientes (IBSS), sistemas entre iguales (por ejemplo, funcionando de acuerdo con los protocolos de Wi-Fi Directo), y/o Hotspots. Además, aunque se describe en el presente documento en términos de intercambio de tramas de datos entre dispositivos inalámbricos, los modos de realización de ejemplo se pueden aplicar al intercambio de cualquier unidad de datos, paquete, trama y/o señal entre dispositivos inalámbricos. Por lo tanto, el término "trama" puede incluir cualquier señal, trama, paquete o unidad de datos tal como, por ejemplo, unidades de datos de protocolo (PDU), unidades de datos de protocolo, de control de acceso a los medios (MAC), (MPDU) y unidades de datos de protocolo de procedimiento de convergencia de capa física (PPDU). El término "A-MPDU" puede referirse a los MPDU agregados. Como se utiliza en el presente documento, el término "valor de tiempo" se puede referir a una diferencia de tiempo entre una hora de salida (TOD) de una trama de un dispositivo dado y una hora de llegada (TOA) de otra trama en el dispositivo dado. Además, el término "información de ángulo" se puede referir a información que indica la dirección de un dispositivo en relación con otro dispositivo y/o a la información de la que se puede obtener la dirección de un dispositivo en relación con otro dispositivo.

[13] La terminología utilizada en el presente documento tiene el propósito de describir únicamente aspectos particulares y no pretende limitarlos. Como se utiliza en el presente documento, las formas singulares "uno", "una" y "el", "la" pretenden incluir también las formas plurales, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Se entenderá además que los términos "comprende", "que comprende", "incluye" o "que incluye", cuando se utilicen en el presente documento, especifican la presencia de características, números enteros, etapas, funcionamientos, elementos o componentes indicados, pero no excluyen la presencia o adición de una o más características, números enteros, etapas, funcionamientos, elementos, componentes o grupos de los mismos adicionales. Además, se entiende que la palabra "o" tiene el mismo significado que el operador booleano "O", es decir, que abarca las posibilidades de "cualquiera" y "ambos" y no se limita a "exclusivo o" ("XO"), a menos que se indique expresamente lo contrario. También se entiende que el símbolo "/" entre dos palabras adyacentes tiene el mismo significado que "o" a menos que se indique expresamente lo contrario.

[14] En la siguiente descripción, numerosos detalles específicos están expuestos, tales como ejemplos de componentes, circuitos y procesos específicos para proporcionar un entendimiento profundo de esta divulgación. También, en la siguiente descripción y con fines explicativos, la nomenclatura específica se expone para proporcionar un entendimiento profundo de los modos de realización de ejemplo. Sin embargo, será evidente para un experto en la técnica que estos detalles específicos pueden no ser requeridos para poner en práctica los modos de realización de ejemplo. En otros casos, se muestran circuitos y dispositivos bien conocidos en forma de diagrama de bloques para esclarecer la presente divulgación. El término "acoplado" como se utiliza en el presente documento significa conectado directamente a o conectado a través de uno o más componentes o circuitos intermedios. Cualquiera de las señales proporcionadas sobre varios buses descritos en el presente documento puede ser multiplicada por el tiempo con otras señales y proporcionada sobre uno o más buses comunes. Además, la interconexión entre elementos de circuito o bloques de software se puede mostrar como buses o como líneas de señal única. Cada uno de los buses puede ser alternativamente una línea de señal única, y cada una de las líneas de señal únicas pueden ser alternativamente buses, y una línea única o bus podría representar cualquiera de uno o más de una miríada de mecanismos físicos o lógicos para la comunicación entre componentes. Los modos de realización de ejemplo no se deben interpretar como limitados a ejemplos específicos descritos en el presente documento, sino que más bien a incluir dentro de sus alcances a todos los modos de realización definidos por las reivindicaciones adjuntas.

[15] Las técnicas descritas en el presente documento se pueden implementar en hardware, software, firmware o cualquier combinación de los mismos, a menos que se describa específicamente como implementadas de una manera específica. Cualquiera de las características descritas como módulos o componentes también se pueden implementar juntas en un dispositivo lógico integrado o por separado como dispositivos lógicos discretos pero interoperables. Si se implementan en software, las técnicas se pueden realizar al menos en parte por un medio de almacenamiento no transitorio legible por el procesador que incluya instrucciones que, cuando se ejecutan, realizan uno o más de los procedimientos descritos anteriormente. El medio de almacenamiento de datos no transitorio legible por el procesador puede formar parte de un producto de un programa informático, que puede incluir materiales de embalaje.

[16] El medio de almacenamiento no transitorio legible por el procesador puede comprender memoria de acceso aleatorio (RAM), tal como memoria de acceso aleatorio síncrona y dinámica (SDRAM), memoria de sólo lectura (ROM), memoria de acceso aleatorio no volátil (NVRAM), memoria de sólo lectura programable y borrrable eléctricamente (EEPROM), memoria FLASH, otros medios de almacenamiento conocidos, y similares. Las técnicas adicionalmente, o alternativamente, se pueden realizar al menos en parte por un medio de comunicación legible por el procesador que

porta o comunica código en la forma de instrucciones o estructuras de datos y que se puede acceder, leer, y/o ejecutar por un ordenador u otro procesador.

[17] Los diversos bloques lógicos, módulos, circuitos e instrucciones ilustrativos descritos en conexión con los modos de realización divulgados en el presente documento se pueden ejecutar por uno o más procesadores, tal como uno o más procesadores de señal digital (DSP), microprocesadores de propósito general, circuitos integrados de aplicación específica (ASIC), conjunto de procesadores de instrucción de aplicación específica (ASIP), matrices de puertas programables in situ (FPGA), u otra equivalente circuitería lógica integrada o discreta. El término "procesador", como se utiliza en el presente documento, se puede referir a cualquiera de las estructuras anteriores o a cualquier otra estructura adecuada para implementación de las técnicas descritas en el presente documento. Además, en algunos aspectos, la funcionalidad descrita en el presente documento se puede proporcionar dentro de módulos de software dedicados o módulos de hardware configurados como se describe en el presente documento. Además, las técnicas se pueden implementar completamente en uno o más circuitos o elementos lógicos. Un procesador de propósito general puede ser un microprocesador, pero en la alternativa, el procesador puede ser cualquier procesador convencional, controlador, microcontrolador o máquina de estado. Un procesador también se puede implementar como una combinación de dispositivos informáticos (por ejemplo, una combinación de un DSP y un microprocesador), una pluralidad de microprocesadores, uno o más microprocesadores junto con un núcleo DSP, o cualquier otra configuración adecuada.

[18] La FIG. 1 es un diagrama de bloques de un sistema inalámbrico 100 dentro del cual se pueden implementar los modos de realización de ejemplo. El sistema inalámbrico 100 se muestra incluyendo cuatro estaciones inalámbricas STA1-STA4, un punto de acceso inalámbrico (AP) 110, y una red inalámbrica de área local (WLAN) 120. La WLAN 120 se puede formar por una pluralidad de puntos de acceso Wi-Fi (AP) que pueden funcionar según la familia de estándares IEEE 802.11 (o según otros protocolos inalámbricos adecuados). Por lo tanto, aunque sólo se muestra un AP 110 en la FIG. 1 para simplificar, se entenderá que WLAN 120 se puede formar por cualquier número de puntos de acceso tal como el AP 110. Al AP 110 se le asigna una dirección única de control de acceso a los medios (MAC) que es programada por, por ejemplo, el fabricante del punto de acceso. De manera similar, a cada una de las estaciones STA1-STA4 también se le asigna una dirección MAC única. Para algunos modos de realización, el sistema inalámbrico 100 puede corresponder a una red inalámbrica de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), y puede admitir comunicaciones MIMO de usuario único (SU-MIMO) y multiusuario (MU-MIMO). Además, aunque la WLAN 120 se representa en la Fig. 1 como una infraestructura BSS, para otros modos de realización de ejemplo, la WLAN 120 puede ser una red IBSS, una red ad-hoc o una red entre pares (P2P), (por ejemplo, que funciona según los protocolos de Wi-Fi directo).

[19] Cada una de las estaciones STA1-STA4 puede ser cualquier dispositivo inalámbrico habilitado para con Wi-Fi incluyendo, por ejemplo, un teléfono celular, un asistente digital personal (PDA), un dispositivo de tableta, un ordenador portátil o similar. Cada una de las estaciones STA1-STA4 también se puede denominar equipo de usuario (UE), estación de abonado, unidad móvil, unidad de abonado, unidad inalámbrica, unidad remota, dispositivo móvil, dispositivo inalámbrico, dispositivo de comunicaciones inalámbricas, dispositivo remoto, estación de abonado móvil, terminal de acceso, terminal móvil, terminal inalámbrico, terminal remoto, auricular, agente de usuario, cliente móvil, cliente o cualquier otra terminología adecuada. Para al menos algunos modos de realización, cada una de las estaciones STA1-STA4 puede incluir uno o más transceptores, uno o más recursos de procesamiento (por ejemplo, procesadores y/o ASIC), uno o más recursos de memoria y una fuente de alimentación (por ejemplo, una batería). Los recursos de memoria pueden incluir un medio no transitorio legible por ordenador (por ejemplo, uno o más elementos de memoria no volátil, tal como EPROM, EEPROM, memoria Flash, un disco duro, etc.) que almacena instrucciones para realizar las operaciones descritas a continuación con respecto a las FIG. 5A, 5B y 11.

[20] El AP 110 puede ser cualquier dispositivo adecuado que permita que uno o más dispositivos inalámbricos se conecten a una red (por ejemplo, una red de área local (LAN), una red de área amplia (WAN), una red de área metropolitana (MAN) y/o Internet) a través del AP 110 utilizando Wi-Fi, Bluetooth o cualquier otro estándar de comunicación inalámbrica adecuado. Para al menos un modo de realización, el AP 110 puede incluir uno o más transceptores, uno o más recursos de procesamiento (por ejemplo, procesadores y/o ASIC), uno o más recursos de memoria y una fuente de alimentación. Los recursos de memoria pueden incluir un medio no transitorio legible por ordenador (por ejemplo, uno o más elementos de memoria no volátil, tal como EPROM, EEPROM, memoria Flash, un disco duro, etc.) que almacena instrucciones para realizar las operaciones descritas a continuación con respecto a los FIG. 5A, 5B y 11.

[21] Para las estaciones STA1-STA4 y/o AP 110, uno o más transceptores pueden incluir transceptores Wi-Fi, transceptores Bluetooth, transceptores celulares y/u otros transceptores de frecuencia de radio (RF) adecuados (no mostrados por simplicidad) para transmitir y recibir señales de comunicación inalámbrica. Cada transceptor se puede comunicar con otros dispositivos inalámbricos en distintas bandas de frecuencia funcionales y/o utilizando distintos protocolos de comunicación. Por ejemplo, el transceptor Wi-Fi se puede comunicar dentro de una banda de frecuencia de 2,4 GHz, dentro de una banda de frecuencia de 5 GHz de acuerdo con la especificación IEEE 802.11, y/o dentro de una banda de frecuencia de 60 GHz. El transceptor celular se puede comunicar dentro de varias bandas de frecuencia RF de acuerdo con el protocolo 4G de evolución de largo plazo (Long Term Evolution, LTE) descrito por el Proyecto de Asociación de 3ª Generación (3GPP) (por ejemplo, entre aproximadamente 700 MHz y aproximadamente

3,9 GHz) y/o de acuerdo con otros protocolos celulares (por ejemplo, un protocolo del sistema global para las comunicaciones móviles (GSM)). En otros modos de realización, los transceptores incluidos dentro de cada una de las estaciones STA1-STA4 pueden ser cualquier transceptor técnicamente viable, como un transceptor ZigBee descrito por una especificación de la especificación ZigBee, un transceptor WiGig y/o un transceptor HomePlug descrito por la HomePlug Alliance.

[22] Para al menos algunos modos de realización, cada una de las estaciones STA1-STA4 y AP 110 puede incluir circuitos de alcance de frecuencia de radio (RF) (por ejemplo, formados usando módulos de software bien conocidos, componentes de hardware, y/o una combinación adecuada de los mismos) que se pueden usar para estimar la distancia entre sí mismo y otro dispositivo habilitado para Wi-Fi y para determinar la ubicación de sí mismo, en relación con uno o más dispositivos inalámbricos adicionales, usando las técnicas de alcance descritas en el presente documento. Además, cada una de las estaciones STA1-STA4 y/o AP 110 puede incluir una memoria local (no mostrada en la Fig. 1 para simplificar) para almacenar una caché de puntos de acceso Wi-Fi y/o datos de la estación.

[23] Para al menos algunos modos de realización, las operaciones de alcance descritos en el presente documento se pueden realizar sin utilizar el AP 110, por ejemplo, teniendo un número de las estaciones funcionando en modo ad-hoc o entre pares, de ese modo permitiendo que las estaciones se varían unas a otras incluso cuando se encuentren fuera del rango de recepción del AP 110 o de una WLAN visible (u otra red inalámbrica). Además, para al menos algunos modos de realización de ejemplo, las operaciones de alcance descritos en el presente documento se pueden realizar entre dos AP que están en el rango inalámbrico entre sí.

[24] La FIG. 2 muestra un dispositivo inalámbrico 200 que puede ser un modo de realización de las estaciones STA1-STA4 y/o AP 110 de la FIG. 1. El dispositivo inalámbrico 200 puede incluir un dispositivo PHY 210 que incluya al menos un número de transceptores 211 y un procesador de banda de base 212, puede incluir un MAC 220 que incluya al menos un número de motores de contención 221 y circuitos de formato de trama 222, puede incluir un procesador 230, puede incluir una memoria 240, y puede incluir un número de antenas 250(1) a250(n). Los transceptores 211 se pueden acoplar a las antenas 250(1)-250(n), ya sea directamente o a través de un circuito de selección de antena (no se muestra para simplificar). Los transceptores 211 se pueden utilizar para transmitir señales a y recibir señales desde AP 110, otras estaciones y/u otros dispositivos inalámbricos adecuados (véase también FIG. 1), y se pueden utilizar para escanear el entorno circundante para detectar e identificar puntos de acceso cercanos y otros dispositivos inalámbricos (por ejemplo, dentro del rango inalámbrico del dispositivo inalámbrico 200). Aunque no se muestra en la FIG. 2 por simplicidad, los transceptores pueden incluir cualquier número de cadenas de transmisión para procesar y transmitir señales a otros dispositivos inalámbricos a través de antenas 250(1)-250(n), y pueden incluir cualquier número de cadenas de recepción para procesar señales recibidas de antenas 250(1)-250(n). Por lo tanto, para modos de realización de ejemplo, el dispositivo inalámbrico 200 se puede configurar para funcionamientos MIMO. Los funcionamientos MIMO pueden incluir funcionamientos SU-MIMO y/o funcionamientos MU-MIMO.

[25] El procesador de banda de base 212 se puede utilizar para procesar señales recibidas desde el procesador 230 y/o la memoria 240 y para enviar las señales procesadas a los transceptores 211 para transmisión a través de una o más antenas 250(1)-250(n), y se puede utilizar para procesar señales recibidas desde una o más antenas 250(1)-250(n) a través de los transceptores 211 y para reenviar las señales procesadas al procesador 230 y/o la memoria 240.

[26] Para propósitos de análisis en el presente documento, MAC 220 se muestra en la FIG. 2 estando acoplado entre el dispositivo PHY 210 y el procesador 230. Para modos de realización propiamente dichos, el dispositivo PHY 210, MAC 220, el procesador 230 y/o la memoria 240 se pueden conectar entre sí usando uno o más buses (no se muestran por simplicidad).

[27] Los motores de contención pueden sostener para el acceso a uno o más medios inalámbricos compartidos, y también pueden almacenar paquetes para transmisión sobre uno o más medios inalámbricos compartidos. Para otros modos de realización, los motores de contención 221 se pueden separar del MAC 220. Para aun otros modos de realización, los motores de contención 221 se pueden implementar como uno o más módulos de software (por ejemplo, almacenados en la memoria 240 o almacenados en la memoria proporcionada en el MAC 220) que contienen instrucciones que, cuando se ejecutan por el procesador 230, realizan las funciones de los motores de contención 221.

[28] El circuito de formato de tramas 222 se puede usar para crear y/o formatear tramas recibidas del procesador 230 y/o memoria 240 (por ejemplo, agregando cabeceras MAC a las PDU proporcionadas por el procesador 230), y se puede usar para reformatear tramas recibidas del dispositivo PHY 210 (por ejemplo, quitando las cabeceras MAC de tramas recibidas del dispositivo PHY 210).

[29] La memoria 240 incluye una base de datos Wi-Fi 241 que puede almacenar datos de ubicación, información de configuración, velocidades de datos, direcciones MAC y otra información adecuada sobre (o perteneciente a) un número de puntos de acceso, estaciones y/u otros dispositivos inalámbricos. La base de datos Wi-Fi 241 también puede almacenar información de perfil para un número de dispositivos inalámbricos. La información de perfil para un dispositivo inalámbrico dado puede incluir información que incluye, por ejemplo, la identificación del conjunto de

servicios del dispositivo inalámbrico (SSID), información de canal, valores del indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), valores de goodput, información de estado del canal (CSI) e historial de conexión con el dispositivo inalámbrico 200.

5 **[30]** La memoria 240 también puede incluir un medio no transitorio legible por ordenador (por ejemplo, uno o más elementos de memoria no volátil, tal como EPROM, EEPROM, memoria Flash, un disco duro, y demás) que pueden almacenar los siguientes módulos de software (SW):

- 10 • un módulo SW de alcance 242 para determinar los valores de RTT y/o estimar la distancia entre el dispositivo inalámbrico 200 y uno o más otros dispositivos, por ejemplo, como se describe a continuación para un o más funcionamientos adicionales de las FIG. 5A, 5B y 11;
- 15 • un módulo SW 243 de determinación de ángulo para determinar la información de ángulo de llegada (AoA) de las señales recibidas por el dispositivo inalámbrico 200 y/o para determinar la información de ángulo de salida (AoD) de las señales transmitidas desde el dispositivo inalámbrico 200, por ejemplo, como se describe a continuación para un o más funcionamientos de las FIG. 5A, 5B, y 11;
- 20 • un módulo SW 244 de marca temporal para capturar las marcas temporales de las señales recibidas por el dispositivo inalámbrico 200 (por ejemplo, información de TOA) y/o para capturar las marcas temporales de las señales transmitidas desde el dispositivo inalámbrico 200 (por ejemplo, información de TOD), por ejemplo, como se describe a continuación para un o más funcionamientos de las FIG. 5A, 5B y 11;
- 25 • un módulo SW de formación e intercambio de tramas 245 para crear, enviar y/o recibir tramas o paquetes y/o para integrar información de TOA, información de TOD, información de AoA y/o información de AoD en tramas o paquetes seleccionados, por ejemplo, como se describe a continuación para un o más funcionamientos de las FIG. 5A, 5B y 11; y
- 30 • un módulo SW de posicionamiento 246 para determinar la ubicación del dispositivo inalámbrico 200 en base a las distancias determinadas por el módulo SW de alcance 242 y/o la información de ángulo determinada por el módulo SW de determinación de ángulo 243, por ejemplo, como se describe a continuación para un o más funcionamientos de las FIG. 5A, 5B y 11.

35 Cada módulo de software incluye instrucciones que, cuando se ejecutan por el procesador 230, hacen que el dispositivo inalámbrico 200 realice las funciones correspondientes. El medio no transitorio legible por ordenador de la memoria 240 incluye, por lo tanto, instrucciones para realizar todas o una parte de los funcionamientos de las FIG. 5A, 5B y 11.

40 **[31]** El procesador 230, que se acopla al PHY 210, MAC 220 y memoria 240, puede ser uno o más procesadores adecuados capaces de ejecutar scripts o instrucciones de uno o más programas de software almacenados en el dispositivo inalámbrico 200 (por ejemplo, dentro de la memoria 240). Por ejemplo, el procesador 230 puede ejecutar el módulo SW de alcance 242 para determinar los valores de RTT y/o estimar la distancia entre el dispositivo inalámbrico 200 y uno o más dispositivos adicionales. El procesador 230 puede ejecutar el módulo SW de determinación de ángulo 243 para determinar la información de AoA de las señales recibidas por el dispositivo inalámbrico 200 y/o para determinar la información de AoD de las señales transmitidas desde el dispositivo inalámbrico 200. El procesador 230 puede ejecutar el módulo SW de marca temporal 244 para capturar las marcas temporales de las señales recibidas por el dispositivo inalámbrico 200 (por ejemplo, información de TOA) y/o para capturar las marcas temporales de las señales transmitidas desde el dispositivo inalámbrico 200 (por ejemplo, información de TOD). El procesador 230 puede ejecutar el módulo SW de formación e intercambio de tramas 245 para crear, enviar y/o recibir tramas o paquetes y/o para integrar información de TOA, información de TOD, información de AoA y/o información de AoD en tramas o paquetes seleccionados. El procesador 230 puede ejecutar el módulo SW de posicionamiento 246 para determinar la ubicación del dispositivo inalámbrico 200 en base a las distancias determinadas por el módulo SW de alcance 242, la información de ángulo determinada por el módulo SW de determinación de ángulo 243, y/u otra información adecuada indicativa de la posición del dispositivo inalámbrico 200 en relación con uno o más dispositivos adicionales.

55 **[32]** Como se ha mencionado anteriormente, la distancia entre un par de dispositivos se puede determinar utilizando el RTT de señales intercambiadas entre los dispositivos. Por ejemplo, la FIG. 3 muestra un diagrama de señales de un ejemplo de operación de alcance 300 entre un primer dispositivo D1 y un segundo dispositivo D2. La distancia (d) entre el primer dispositivo D1 y el segundo dispositivo D2 se puede estimar como $d = c \cdot \text{RTT} / 2$, donde c es la velocidad de la luz, y RTT es la suma de los tiempos reales de propagación de la señal de una trama de solicitud (REQ) y una trama de acuse de recibo (ACK) intercambiados entre el dispositivo D1 y el dispositivo D2. El dispositivo D1 y el dispositivo D2 pueden ser cada uno, por ejemplo, un punto de acceso (por ejemplo, AP 110 de FIG. 1), una estación (por ejemplo, una de las estaciones STA1-STA4 de FIG. 1) u otro dispositivo inalámbrico adecuado (por ejemplo, dispositivo inalámbrico 200 de FIG. 2).

65

[33] Más específicamente, el dispositivo D2 puede estimar la RTT entre sí mismo y el dispositivo D1 usando la hora de salida (TOD) de la trama REQ transmitida desde el dispositivo D2, la hora de llegada (TOA) de la trama ACK recibida por el dispositivo D2, y la duración SIFS del dispositivo D1. La duración SIFS, que significa duración corta del espacio entre tramas, indica la duración del tiempo entre la recepción de la trama REQ por el dispositivo D1 y la transmisión de la trama ACK. La duración SIFS, un rango de valores proporcionados por los estándares IEEE 802.11, proporciona a los dispositivos habilitados para Wi-Fi tiempo para cambiar sus transceptores de un modo de recepción (por ejemplo, para recibir la trama REQ) a un modo de transmisión (por ejemplo, para transmitir la trama ACK).

[34] Debido a que los diferentes fabricantes y modelos (make-and-models) (y a veces incluso los mismos fabricantes y modelos) de dispositivos de comunicación tienen diferentes retardos de procesamiento, el valor preciso de SIFS puede variar entre dispositivos (e incluso entre recepciones/transmisiones de tramas sucesivas en el mismo dispositivo). Como resultado de ello, el valor de SIFS es típicamente estimado, lo que a menudo conduce a errores en la estimación de la distancia entre dos dispositivos. Más específicamente, los estándares IEEE 802.11 definen la duración del SIFS como 10 us +/- 900 ns a 2,4 GHz, 16 us +/- 900 ns a 5 GHz, y 3 us +/- 900 ns a 60 GHz. Estas duraciones SIFS "estándar" incluyen tolerancias que pueden disminuir la precisión de las estimaciones RTT. Por ejemplo, incluso si la duración SIFS del dispositivo D1 se puede estimar en +/- 25 ns, puede dar como resultado un error de alcance de +/- 7,5 metros (que puede ser inaceptable para muchos sistemas de posicionamiento).

[35] Para reducir los errores de alcance resultantes a partir de las incertidumbres en el valor SIFS, revisiones recientes de los estándares IEEE 802.11 requieren que cada dispositivo de alcance capture las marcas temporales de las tramas entrantes y salientes para que el valor RTT se pueda determinar sin utilizar SIFS. Por ejemplo, la FIG. 4 muestra un diagrama de señales de un ejemplo de operación de alcance 400 entre el dispositivo D1 y el dispositivo D2 realizado utilizando tramas de medición precisa del tiempo (Fine Timing Measurement, FTM) de acuerdo con los estándares IEEE 802.11REVmc. El dispositivo D1 y el dispositivo D2 pueden ser, por ejemplo, un punto de acceso (por ejemplo, AP 110 de FIG. 1), una estación (por ejemplo, una de las estaciones STA1-STA4 de FIG. 1) u otro dispositivo inalámbrico adecuado (por ejemplo, dispositivo inalámbrico 200 de FIG. 2). Para el ejemplo de la FIG. 4, el dispositivo D2 solicita el operación de alcance; por lo tanto, el dispositivo D2 es el dispositivo iniciador (o alternativamente el dispositivo solicitante) y el dispositivo D1 es el dispositivo respondedor. Nótese que el término "dispositivo iniciador" también se puede referir a una STA iniciadora, y el término "dispositivo respondedor" también se puede referir a una STA respondedora.

[36] El dispositivo D2 puede solicitar o iniciar el operación de alcance transmitiendo una trama de solicitud FTM (FTM_REQ) al dispositivo D1. La trama FTM_REQ también puede incluir una solicitud para que el dispositivo D1 capture marcas temporales (por ejemplo, información de TOA) de tramas recibidas por el dispositivo D1 y para capturar marcas temporales (por ejemplo, información de TOD) de tramas transmitidas desde el dispositivo D1. El dispositivo D1 recibe la trama FTM_REQ y puede acusar recibo del operación de alcance solicitado transmitiendo una trama de acuse de recibo (ACK) al dispositivo D2. La trama ACK puede indicar si el dispositivo D1 es capaz de capturar las marcas temporales solicitadas. Cabe señalar que el intercambio de la trama FTM_REQ y la trama ACK es un proceso de handshake que no sólo señala una intención de realizar un operación de alcance, sino que también permite que los dispositivos D1 y D2 determinen si cada uno de ellos admite la captura de marcas temporales.

[37] En el tiempo t_{a1} , el dispositivo D1 transmite una primera trama FTM (FTM_1) al dispositivo D2, y puede capturar el TOD de la trama FTM_1 como tiempo t_{a1} . El dispositivo D2 recibe la trama FTM_1 en el tiempo t_{a2} , y puede capturar el TOA de la trama FTM_1 como tiempo t_{a2} . El dispositivo D2 responde transmitiendo una trama ACK al dispositivo D1 en el tiempo t_{a3} , y puede capturar el tiempo TOD de la trama ACK como tiempo t_{a3} . El dispositivo D1 recibe la trama ACK en el tiempo t_{a4} , y puede capturar el TOA de la trama ACK en el tiempo t_{a4} . En el tiempo t_{b1} , el dispositivo D1 transmite al dispositivo D2 una segunda trama FTM (FTM_2) que incluye las marcas temporales capturadas en los tiempo t_{a1} y t_{a4} (por ejemplo, el TOD de la trama FTM_1 y el TOA de la trama ACK). El dispositivo D2 recibe la trama FTM_2 en el tiempo t_{b2} , y puede capturar su marca temporal como tiempo t_{b2} . El dispositivo D2 transmite una trama ACK al dispositivo D1 en el tiempo t_{b3} . El dispositivo D1 recibe la trama ACK en el tiempo t_{b4} . Este proceso puede continuar para cualquier número de intercambios de tramas FTM y ACK posteriores entre los dispositivos D1 y D2, por ejemplo, cuando el dispositivo D1 integra las marcas temporales de un intercambio de tramas FTM y ACK dado en una trama FTM posterior transmitida al dispositivo D2.

[38] Tras recibir la trama FTM_2 en el tiempo t_{b2} , el dispositivo D2 tiene valores de marca temporal para los tiempos t_{a1} , t_{a2} , t_{a3} y t_{a4} que corresponden al TOD de la trama FTM_1 transmitida desde el dispositivo D1, al TOA de la trama FTM_1 en el dispositivo D2, al TOD de la trama ACK transmitida desde el dispositivo D2, y al TOA de la trama ACK en el dispositivo D1, respectivamente. A continuación, el dispositivo D2 puede determinar el RTT como $(t_{a4} - t_{a3}) + (t_{a2} - t_{a1})$. Debido a que la estimación del RTT no implica la estimación de SIFS ni para el dispositivo D1 ni para el dispositivo D2, la estimación de RTT no implica errores que resulten de incertidumbres en las duraciones SIFS. En consecuencia, la precisión de la estimación resultante de la distancia entre los dispositivos D1 y D2 se mejora (por ejemplo, en comparación con el operación de alcance 300 de la FIG. 3). Un dispositivo puede realizar este operación de alcance con al menos otros tres dispositivos que tengan ubicaciones conocidas, y utilizar técnicas de trilateración conocidas para estimar su ubicación.

[39] Nótese que la operación de alcance de ejemplo 400 puede continuar. Por ejemplo, el dispositivo D2 puede transmitir una trama ACK al dispositivo D1 en el tiempo t_{b3} (por ejemplo, para acusar recibo de la recepción de la trama FTM_2). El dispositivo D1 recibe la trama ACK en el tiempo t_{b4} , y puede registrar el TOA de la trama ACK como tiempo t_{b4} . El dispositivo D1 puede integrar otro valor de tiempo en una trama FTM_3, y a continuación, transmitir la trama FTM_3 al dispositivo D2 en el tiempo t_{c1} . El valor de tiempo integrado en la trama FTM_3 puede indicar una diferencia en el valor de tiempo igual a $t_{b4} - t_{b1}$.

[40] Mientras que las técnicas RTT se pueden usar para determinar una ubicación de un dispositivo dado en relación con otro dispositivo, el dispositivo dado puede necesitar realizar operaciones de alcance con otros tres dispositivos para determinar su posición real. Más específicamente, realizando el funcionamiento de alcance 400 con otros tres dispositivos puede implicar tres intercambios separados de tramas FTM (con los otros tres dispositivos), lo que no sólo consume un tiempo valioso sino que también consume un ancho de banda limitado de un medio inalámbrico compartido. Éstos son por lo menos algunos de los problemas técnicos que se deben resolver por los modos de realización de ejemplo.

[41] Dos mediciones que se pueden utilizar además de la información de RTT para determinar las posiciones relativas de dos dispositivos inalámbricos son el ángulo de llegada (AoA) de las señales recibidas por los dispositivos y el ángulo de salida (AoD) de las señales transmitidas por los dispositivos. Por ejemplo, si un segundo dispositivo tiene información de RTT entre sí y un primer dispositivo, entonces el segundo dispositivo puede estimar la distancia entre él y el primer dispositivo, como se describe anteriormente con respecto a la FIG. 4. Si el segundo dispositivo también tiene información de AoA y/o información de AoD para las tramas intercambiadas con el primer dispositivo, entonces el segundo dispositivo puede determinar una dirección de sí mismo en relación con el primer dispositivo (por ejemplo, un ángulo entre el primero y el segundo dispositivo en relación con una línea o dirección de referencia). El segundo dispositivo puede entonces usar la dirección determinada y la información de RTT para estimar su posición relativa al primer dispositivo. Además, si la posición del primer dispositivo es conocida por el segundo dispositivo, entonces el segundo dispositivo puede determinar su posición real utilizando la posición conocida del primer dispositivo, la distancia entre el primer y segundo dispositivo y la dirección del segundo dispositivo en relación con el primer dispositivo. En consecuencia, sería ventajoso intercambiar información de AoA y/o información de AoD durante las operaciones de alcance, por ejemplo, para que un dispositivo inalámbrico pueda estimar su posición real utilizando la posición conocida de solo un dispositivo inalámbrico adicional.

[42] Por lo tanto, se divulgan ejemplos de aparatos y procedimientos que pueden permitir que los dispositivos inalámbricos intercambien información de AoA y/o información de AoD durante las operaciones de alcance sin necesidad de intercambios adicionales de tramas. Más específicamente, para al menos algunos modos de realización, un primer dispositivo puede determinar la información de AoA y/o la información de AoD de las tramas intercambiadas con un segundo dispositivo durante una operación de alcance, y entonces integrar la información de AoA y/o la información de AoD determinadas en una trama FTM posterior transmitida al segundo dispositivo. De esta forma, el segundo dispositivo puede utilizar la distancia estimada al primer dispositivo, la dirección del primer dispositivo en relación con el segundo dispositivo, y una ubicación conocida del primer dispositivo para determinar la posición real del segundo dispositivo. Estos y otros detalles de los modos de realización de ejemplo, que proporcionan una o más soluciones técnicas a los problemas técnicos antes mencionados, se describen con más detalle a continuación.

[43] La FIG. 5A muestra un diagrama de señales de una operación de alcance 500 entre un primer dispositivo D1 y un segundo dispositivo D2 de acuerdo con modos de realización de ejemplo, y la FIG. 5B muestra un diagrama de secuencia 510 que representa el ejemplo de la operación de alcance 500 de la FIG. 5A. El dispositivo D1 y el dispositivo D2 pueden ser cada uno, por ejemplo, un punto de acceso (por ejemplo, AP 110 de FIG. 1), una estación (por ejemplo, una de las estaciones STA1-STA4 de FIG. 1) u otro dispositivo inalámbrico adecuado (por ejemplo, dispositivo inalámbrico 200 de FIG. 2).

[44] Como el dispositivo iniciador, el dispositivo D2 puede transmitir, al dispositivo D1, una solicitud para realizar una operación de alcance y para indicar sus capacidades (512). Las capacidades solicitadas pueden incluir, por ejemplo, la capacidad de estimar la información de AoA y AoD y/o la capacidad de capturar las marcas temporales. Para algunas implementaciones, la solicitud puede ser una trama FTM_REQ, como se muestra en la FIG. 5A. La trama FTM_REQ puede incluir una solicitud para que el dispositivo D1 estime la información de AoA y/o AoD. La trama FTM_REQ también puede solicitar un nivel de precisión para la información estimada de AoA y AoD. El dispositivo D1 puede recibir la solicitud para realizar la operación de alcance y para indicar sus capacidades al dispositivo D2 (513).

[45] Como el dispositivo de respuesta, el dispositivo D1 puede responder a la solicitud transmitiendo una respuesta al dispositivo D2 (514). Para algunas implementaciones, la respuesta puede ser una trama ACK, como se muestra en la FIG. 5A. La trama ACK puede indicar si el dispositivo D1 es capaz de capturar marcas temporales, puede indicar si el dispositivo D1 es capaz de estimar la información de AoA y AoD, y/o puede indicar un nivel de precisión para la información estimada de AoA y AoD. El dispositivo D2 puede recibir la respuesta del dispositivo D1 y decodificar las capacidades (si las hubiera) proporcionadas por el dispositivo D1 (515).

[46] Después del proceso de handshake anterior, los dispositivos D1 y D2 pueden intercambiar tramas FTM para realizar la operación de alcance 500. En el tiempo t_{a1} , el dispositivo D1 transmite una trama FTM_1 al dispositivo D2,

registra el TOD de la trama FTM_1 como tiempo t_{a1} , y puede determinar el AoD de la trama FTM_1 (denotado en la FIG. 5A como AoD_a) (516). El dispositivo D2 recibe la trama FTM_1 del dispositivo D1 en el tiempo t_{a2} , y registra el TOA de la trama FTM_1 como tiempo t_{a2} (517).

5 [47] El dispositivo D2 entonces transmite una trama ACK al dispositivo D1 en el tiempo t_{a3} , y registra el TOD de la trama ACK como tiempo t_{a3} (518). El dispositivo D1 recibe la trama ACK del dispositivo D2 en el tiempo t_{a4} , registra el TOA de la trama ACK como tiempo t_{a4} , y puede determinar el AoA de la trama ACK (denotado en la FIG. 5A como AoA_a) (519).

10 [48] Entonces, el dispositivo D1 puede integrar un valor de tiempo y una información de ángulo en una trama FTM_2, y transmitir la trama FTM_2 al dispositivo D2 en el momento t_{b1} (520). El valor de tiempo (t_{value}) puede indicar una diferencia de tiempo entre el TOA de la trama ACK recibida en el dispositivo D1 y el TOD de la trama FTM_1 transmitida desde el dispositivo D1 (por ejemplo, $t_{value} = t_{a4} - t_{a1}$). La información de ángulo, que puede indicar una dirección del dispositivo D2 en relación con el dispositivo D1, puede incluir el AoA de la trama ACK recibida en el dispositivo D1 (por ejemplo, AoA_a) y/o el AoD de la trama FTM_1 transmitida desde el dispositivo D1 (por ejemplo, AoD_a). Nótese que aunque el dispositivo D1 se representa en la FIG. 5A como transmitiendo un valor de tiempo de diferencia ($t_{a4} - t_{a1}$), para otros modos de realización, el dispositivo D1, en su lugar, puede integrar las marcas temporales t_{a1} y t_{a4} en la trama del FTM_2. En algunos aspectos, el dispositivo D1 puede registrar el TOD de la trama FTM_2 como tiempo t_{b1} , y puede determinar el AoD de la trama FTM_2 (denotada en la FIG. 5A como AoD_b).

20 [49] El dispositivo D2 recibe la trama FTM_2 en el tiempo t_{b2} , y decodifica el valor de tiempo y la información de ángulo integrados (521). En este punto, el dispositivo D2 tiene suficiente información para estimar su ubicación en relación con el dispositivo D1. Más específicamente, el dispositivo D2 puede estimar que es una distancia $d = c \cdot RTT/2$ desde el dispositivo D1 a lo largo de una dirección indicada por la información de ángulo integrada dentro de la trama FTM_2, donde $RTT = (t_{a4} - t_{a3}) + (t_{a2} - t_{a1})$ (522). Debido a que el dispositivo D2 puede estimar la distancia al dispositivo D1 (por ejemplo, en base al valor RTT) así como su dirección en relación con el dispositivo D1 (por ejemplo, en base a la información de AoA y/o AoD integrada en la trama FTM_2), el dispositivo D2 puede estimar su ubicación en relación con el dispositivo D2. Si la ubicación real del dispositivo D1 está conocida, entonces el dispositivo D2 puede determinar su ubicación real en base a la ubicación conocida del dispositivo D1 y su ubicación relativa al dispositivo D1. Por ejemplo, si el dispositivo D1 es un punto de acceso y el dispositivo D2 es una estación, entonces el dispositivo D2 puede recuperar la ubicación del dispositivo D1 (por ejemplo, desde una memoria local tal como la base de datos Wi-Fi 241 de FIG. 2 y/o desde cualquier servicio adecuado que almacene información de ubicación para puntos de acceso activamente utilizados). A continuación, el dispositivo D2 puede determinar su ubicación real utilizando la ubicación del dispositivo D2 en relación con el dispositivo D1, la distancia determinada entre el dispositivo D1 y el dispositivo D2, y la ubicación conocida del dispositivo D1.

35 [50] Con referencia de nuevo a la FIG. 5A, el dispositivo D2 puede transmitir una trama ACK al dispositivo D1 en el momento t_{b3} (por ejemplo, para acusar recibo de la recepción de la trama FTM_2). El dispositivo D1 recibe la trama ACK en el tiempo t_{b4} , puede registrar el TOA de la trama ACK como tiempo t_{b4} , y puede determinar el AoA de la trama ACK (denotado en la FIG. 5A como AoA_b). El dispositivo D1 puede integrar otro valor de tiempo e información de ángulo en una trama FTM_3, y entonces transmitir la trama FTM_3 al dispositivo D2 en el tiempo t_{c1} . El valor de tiempo integrado en la trama FTM_3 puede indicar un valor de tiempo de diferencia igual a $t_{b4} - t_{b1}$, y la información de ángulo integrada en la trama FTM_3 puede incluir los valores de información de ángulo AoA_b y/o AoD_b.

45 [51] Por lo tanto, como se ha descrito anteriormente, los modos de realización de ejemplo pueden permitir que un primer dispositivo inalámbrico determine información de AoA y/o AoD de un primer conjunto de señales intercambiadas con un segundo dispositivo inalámbrico, e integre la información de AoA y/o AoD determinada en una segunda señal transmitida al segundo dispositivo inalámbrico. El segundo dispositivo inalámbrico puede utilizar la información de AoA y/o AoD integrada en combinación con información de RTT para estimar su ubicación en relación con el primer dispositivo inalámbrico.

50 [52] Como se ha mencionado anteriormente, el dispositivo iniciador puede solicitar al dispositivo respondedor que comience el operación de alcance, por ejemplo, transmitiendo una trama FTM_REQ al dispositivo respondedor. La trama FTM_REQ puede incluir una solicitud para que el dispositivo respondedor determine e integre información de AoA y/o AoD en uno o más tramas FTM posteriores. En algunos aspectos, se puede utilizar un bit dedicado en el elemento de información específica del proveedor (VSIE) de la trama FTM_REQ (por ejemplo, afirmado) para solicitar al dispositivo respondedor que determine la información de AoA y/o AoD e integre la información de AoA y/o AoD determinada en tramas FTM posteriores. En otros aspectos, se puede utilizar un bit reservado del VSIE de la trama FTM_REQ (por ejemplo, afirmado) para solicitar al dispositivo respondedor que determine la información de AoA y/o AoD e integre la información de AoA y/o AoD determinada en tramas FTM posteriores. En otros aspectos más, se pueden utilizar diferentes bits en el VSIE de la trama FTM_REQ (p. ej., afirmados) para solicitar por separado al dispositivo respondedor que integre la información de AoA e información de AoD en tramas FTM posteriores. Esto puede ser deseable, por ejemplo, cuando el dispositivo iniciador necesita sólo una de la información de AoA y la información de AoD para determinar su dirección en relación con el dispositivo D1.

65

5 [53] Cuando el dispositivo respondedor recibe una trama FTM_REQ que incluye una solicitud de información de AoA y/o AoD (por ejemplo, la trama FTM_REQ incluye un bit de "solicitud" afirmada en su VSIE), el dispositivo respondedor puede inferir que el dispositivo iniciador es capaz de decodificar la información de AoA y/o AoD integrada en tramas FTM posteriores. En respuesta al mismo, el dispositivo respondedor puede (i) afirmar uno o más bits de un VSIE en la primera trama FTM (por ejemplo, la trama FTM_1) indicando su capacidad para determinar la información de AoA y/o AoD y confirmando que la información de AoA y/o AoD determinada se debe integrar en tramas FTM posteriores, o ii) de negar a uno o más bits del VSIE en la trama FTM_1 indicando su incapacidad para determinar la información de AoA y/o AoD y/o indicando que la información de AoA y/o AoD no se integrará en tramas FTM posteriores. Alternativamente, el dispositivo respondedor puede indicar que la información de AoA y/o AoD no se incluirá en tramas FTM posteriores al no incluir el VSIE en la trama FTM_1 (por ejemplo, al reducir el tiempo de transmisión de la primera trama FTM). Para otros modos de realización, el dispositivo respondedor puede incluir su aceptación o rechazo de la solicitud de información de AoA y/o AoD en la trama ACK enviada en respuesta a la recepción de la trama FTM_REQ.

15 [54] El dispositivo iniciador también puede incluir, en la trama FTM_REQ, una indicación de un nivel de precisión deseado para las mediciones de AoA y/o AoD por el dispositivo respondedor. La indicación del nivel de precisión deseado se puede integrar en uno o más bits dedicados en el VSIE de la trama FTM_REQ, en uno o más bits reservados en el VSIE de la trama FTM_REQ, o en cualquier otro bit adecuado de la trama FTM_REQ. En respuesta a la recepción de una indicación del nivel de precisión deseado para las mediciones de AoA y/o AoD, el dispositivo respondedor puede incluir, en la trama FTM_1, una indicación del nivel de precisión para las mediciones de los AoA y/o AoD que se integrarán en tramas FTM posteriores. El dispositivo respondedor puede utilizar la misma o más ubicaciones de bits del VSIE en la trama FTM_1 para la respuesta que el dispositivo iniciador utilizó en el VSIE en la trama FTM_REQ para la solicitud.

25 [55] Para al menos algunas implementaciones en las que el dispositivo respondedor es un punto de acceso, el dispositivo respondedor puede integrar, en una trama de baliza, información que indique si el dispositivo respondedor es capaz de estimar la información de AoA y/o AoD de uno o más tramas intercambiadas entre el dispositivo iniciador y el dispositivo respondedor. En algunos aspectos, esta información se puede integrar en un elemento de información (IE) o en un elemento de información específico del proveedor (VSIE) de la trama de la baliza. El dispositivo respondedor puede transmitir la trama de baliza, por ejemplo, de acuerdo con un programa de tiempo de transmisión de la baliza de destino (TBTT).

35 [56] La FIG. 6 representa un ejemplo de trama FTM 600, de acuerdo con los modos de realización de ejemplo. La trama FTM 600 puede incluir un campo de categoría 601, un campo de acción pública 602, un campo de token de diálogo 603, un campo de testigo de diálogo de seguimiento 604, un campo de TOD 605, un campo de TOA 606, un campo de error TOD 607, un campo de error TOA 608, un campo opcional de informe LCI 609, un campo opcional de informe cívico de ubicación 610, un campo opcional de parámetros FTM 611, un campo opcional de AoA 612, y/o un campo opcional de AoD 613. Para al menos un modo de realización, el campo de TOD 605 puede incluir 6 bytes, el campo de TOA 606 puede incluir 6 bytes, el campo de AoA 612 puede incluir 5 bytes, y el campo de AoD 613 puede incluir 5 bytes (aunque para otros modos de realización se pueden utilizar otras longitudes de campo). El campo de AoA 612 puede incluir información de AoA sobre tramas intercambiadas durante un operación de alcance, y el campo de AoD 613 puede incluir información de AoD sobre tramas intercambiadas durante el operación de alcance. Por ejemplo, con referencia también a la FIG. 5A, el dispositivo respondedor (por ejemplo, el dispositivo D1) puede integrar información de AoA de la trama ACK recibida en el campo de AoA 612 de la trama FTM 600, y puede integrar información de AoD de la trama FTM_1 en el campo de AoD 613 de la trama FTM 600. En algunos aspectos, el dispositivo respondedor puede integrar información de TOA de la trama ACK recibida en el campo de TOA 606 de la trama FTM 600, y puede integrar información de TOD de la trama FTM_1 en el campo de TOD 605 de la trama FTM 600. A continuación, el dispositivo respondedor puede utilizar la trama FTM 600 como trama FTM_2 en el ejemplo del operación de alcance 500 de FIG. 5A, por ejemplo, para transmitir información de ángulo (p. ej., AoD_a y/o AoA_a) y el valor de tiempo (p. ej., t_{a4} - t_{a1}) al dispositivo iniciador.

55 [57] La FIG. 7A representa un campo de ejemplo 700 que puede ser un modo de realización del campo de AoA 612 de la FIG. 6. El campo 700 puede incluir un campo de ID de elemento 701, un campo de longitud 702 y un campo de AoA 703. Para al menos un modo de realización, el campo de ID de elemento 701 puede incluir un byte, el campo de longitud 702 puede incluir un byte y el campo de AoA 703 puede incluir 5 bytes (aunque para otros modos de realización, se pueden utilizar otras longitudes de campo). El campo de ID de elemento 701 puede almacenar un valor de ID de elemento que indica que el campo 700 contiene información de ángulo de llegada para una trama seleccionada (por ejemplo, la información de AoA para la trama ACK recibida del dispositivo D2 en el ejemplo del operación de alcance 500 de la FIG. 5A). El campo de longitud 702 puede almacenar un valor que indica una longitud (en bytes) del campo 700. El campo de AoA 703 puede almacenar información de ángulo de llegada para la trama seleccionada. Más específicamente, en algunas implementaciones, el campo de AoA 703 puede almacenar valores para Theta_AoA y Phi_AoA que, como se describe con más detalle a continuación con respecto a la FIG. 10, pueden indicar información de ángulo de llegada de la trama seleccionada.

65 [58] La Fig. 7B representa un campo de ejemplo 710 que puede ser un modo de realización del campo AoD 613 de la FIG. 6. El campo 710 puede incluir un campo de ID de elemento 711, un campo de longitud 712, y un campo de

AoD 713. Para al menos un modo de realización, el campo de ID de elemento 711 puede incluir un byte, el campo de longitud 712 puede incluir un byte y el campo de AoD 713 puede incluir 5 bytes (aunque para otros modos de realización, se pueden utilizar otras longitudes de campo). El campo ID de elemento 711 puede almacenar un valor de ID de elemento que indica que el campo 710 contiene información de ángulo de salida para una trama seleccionada (por ejemplo, la información de AoD para la trama FTM_1 utilizada en el operación de alcance de ejemplo 500 de la FIG. 5A). El campo de longitud 712 puede almacenar un valor que indica una longitud (en bytes) del campo 710. El campo de AoD 713 puede almacenar información de ángulo de salida para la trama seleccionada. Más específicamente, en algunas implementaciones, el campo de AoD 713 puede almacenar valores para Theta_AoD y Phi_AoD que, como se describe con más detalle a continuación con respecto a la FIG. 10, pueden indicar información de ángulo de salida de la trama seleccionada.

[59] La Fig. 8 representa otro ejemplo de trama FTM 800, de acuerdo con los modos de realización de ejemplo. La trama FTM 800 es similar a la trama FTM 600 de la FIG. 6, excepto que en lugar de incluir campos separados de AoA y AoD 612 y 613, respectivamente, la trama FTM 800 incluye un campo combinado de AoA y AoD 803. Para al menos un modo de realización, el campo de TOD 605 puede incluir 6 bytes, el campo de TOA 606 puede incluir 6 bytes y el campo combinado de AoA y AoD 803 puede incluir 8 bytes (aunque para otros modos de realización se pueden utilizar otras longitudes de campo). El campo combinado de AoA y AoD 803 puede incluir tanto información de AoA como información de AoD para tramas intercambiadas durante un operación de alcance. Por ejemplo, con referencia también a la FIG. 5A, el dispositivo respondedor (por ejemplo, el dispositivo D1) puede integrar información de AoA de la trama ACK recibida e información de AoD de la trama FTM_1 en el campo combinado de AoD y AoD 803 de la trama FTM 800. En algunos aspectos, el dispositivo respondedor puede integrar información de TOA de la trama ACK recibida en el campo de TOA 606 de la trama FTM 800, y puede integrar información de TOD de la trama FTM_1 en el campo de TOD 605 de la trama FTM 800. A continuación, el dispositivo respondedor D1 puede utilizar la trama FTM 800 como trama FTM_2 en el operación de alcance de ejemplo 500 de FIG. 5, por ejemplo, para transmitir información que indique valores para AoD_a, AoA_a y t_{a4} - t_{a1} al dispositivo D2.

[60] Por ejemplo, los modos de realización en las que el campo de AoA 612 y el campo de AoD 613 de la trama FTM 600 incluyen 5 bytes cada uno y el campo combinado de AoA y AoD 803 de la trama FTM 800 incluye 8 bytes, la trama FTM 800 de la FIG. 8 puede incluir 2 bytes menos que la trama FTM 600 de la FIG. 6 y, por lo tanto, se puede transmitir en menos tiempo que la trama FTM 600 (aunque a un coste de menor resolución).

[61] La FIG. 9 representa un campo de ejemplo 900 que puede ser un modo de realización de la combinación AoA y AoD 803 de la FIG. 8. El campo 900 puede incluir un campo de ID de elemento 901, un campo de longitud 902, un campo de AoA 903 y un campo de AoD 904. Para al menos un modo de realización, el campo de ID de elemento 901 puede incluir un byte, el campo de longitud 902 puede incluir un byte, el campo de AoA 903 puede incluir 3 bytes y el campo de AoD 904 puede incluir 3 bytes (aunque para otros modos de realización, se pueden utilizar otras longitudes de campo). El campo de ID de elemento 901 puede almacenar un valor de ID de elemento que indica que el campo 900 contiene información de ángulo de llegada y de ángulo de salida para un intercambio de tramas seleccionadas (por ejemplo, el AoA de la trama ACK recibida del dispositivo D2 y el AoD de la trama FTM_1 en el ejemplo del operación de alcance 500 de la FIG. 5A). El campo de longitud 902 puede almacenar un valor que indica una longitud (en bytes) del campo 900. El campo de AoA 903 puede almacenar información de ángulo de llegada para el intercambio de tramas seleccionadas, y el campo de AoD 904 puede almacenar información de ángulo de salida para el intercambio de tramas seleccionadas. Más específicamente, en algunas implementaciones, el campo de AoA 903 puede almacenar valores para Theta_AoA y Phi_AoA, y el campo de AoD 904 puede almacenar valores para Theta_AoD y Phi_AoD que, como se describe con más detalle a continuación con respecto a la FIG. 10, puede indicar información de ángulo de llegada y de ángulo de salida para tramas intercambiadas durante un operación de alcance.

[62] FIG. 10 es un ejemplo del sistema de coordenadas tridimensional 1000 para representar la posición de un dispositivo inalámbrico utilizando un radio "r" y ángulos "theta" y "phi". Como se representa en la FIG. 10, phi puede ser un ángulo con respecto al plano horizontal (x-y), mientras que theta puede ser un ángulo con respecto al eje vertical (z). Phi puede variar de 0° a 360°, mientras que theta puede variar de 0° a 180°. El radio r es la distancia entre el origen y un punto de coordenadas (r, θ, y φ) que representa la ubicación de un dispositivo inalámbrico en relación con el origen.

[63] Con referencia también a la FIG. 9, los primeros 12 bits del campo de AoA 903 se pueden utilizarse para indicar un valor para Theta_AoA, y los segundos 12 bits del campo de AoA 903 se pueden utilizarse para indicar un valor para Phi_AoA. De manera similar, los primeros 12 bits del campo de AoD 904 se pueden utilizar para indicar un valor para Theta_AoD, y los segundos 12 bits del campo de AoD 904 se pueden utilizar para indicar un valor para Phi_AoD. Para el campo de ejemplo 900 de la FIG. 9, los valores de 12 bits para Theta_AoA y Theta_AoD pueden proporcionar una resolución de aproximadamente 0,044° (180° dividido por (2¹² - 1)), mientras que los valores de 12 bits para Phi_AoA y Phi_AoD pueden proporcionar una resolución de aproximadamente 0,088° (360° dividido por (2¹² - 1)).

[64] Las tramas FTM formateadas de acuerdo con los protocolos FTM actuales (por ejemplo, según lo definido por los estándares IEEE 802.11REVmc) incluyen un campo de TOD de 6 bytes y un campo de TOA de 6 bytes para almacenar información de TOD y TOA, respectivamente (por ejemplo, para integrar valores de marca temporal t_{a1} y t_{a4}

de la FIG. 5A). Debido a que un valor RTT se puede calcular utilizando un único valor de diferencia de tiempo (por ejemplo, $t_{a4} - t_{a1}$) en lugar de dos valores de marca temporal individuales (por ejemplo, t_{a4} y t_{a1}), uno de estos campos de TOD y TOA se puede volver a utilizar para almacenar información de AoA y AoD, eliminando de ese modo la necesidad de que una trama FTM incluya un campo separado que almacene información de AoA y AoD (y, por lo tanto, reduciendo el tamaño de la trama FTM).

[65] Más específicamente, de acuerdo con los modos de realización de ejemplo, uno de los campos de TOD y TOA de una trama FTM se puede utilizar para almacenar un único valor de diferencia de tiempo para una operación de alcance, y el otro de los campos de TOD y TOA de la trama FTM se puede utilizar para almacenar información de AoA y AoD para la operación de alcance sin comprometer la precisión de las estimaciones de la RTT. Con referencia también a las FIG. 5A, 6 y 8, para algunas implementaciones, el campo de TOD 605 de la trama FTM 600 o la trama FTM 800 se puede utilizar para almacenar el valor de tiempo ($t_{a4} - t_{a1}$), y el campo de TOA 606 de la trama FTM 600 o la trama FTM 800 se puede utilizar para almacenar la información de AoA y AoD (por ejemplo, AoA_a y AoD_a). En algunos aspectos, el campo de TOA 606 puede almacenar cuatro valores de 12 bits: Θ_{AoA} , Φ_{AoA} , Θ_{AoD} y Φ_{AoD} . El formato del campo de TOA 606 se puede expresar como: $\{\Theta_{AoA}[0:11], \Phi_{AoA}[0:11], \Theta_{AoD}[0:11], \Phi_{AoD}[0:11]\}$.

[66] Para otras implementaciones, el campo de TOA 606 de la trama FTM 600 o la trama FTM 800 se pueden utilizar para almacenar el valor de la diferencia de tiempo ($t_{a4} - t_{a1}$), y el campo de TOD 605 de la trama FTM 600 o la trama FTM 800 se pueden utilizar para almacenar información de AoA y AoD (por ejemplo, AoA_a y AoD_a). En algunos aspectos, el campo de TOD 605 puede almacenar cuatro valores de 12 bits: Θ_{AoA} , Φ_{AoA} , Θ_{AoD} y Φ_{AoD} . El formato del campo de TOD 605 se puede expresar como: $\{\Theta_{AoA}[0:11], \Phi_{AoA}[0:11], \Theta_{AoD}[0:11], \Phi_{AoD}[0:11]\}$.

[67] Cualquier técnica adecuada se puede utilizar para estimar la información de AoA de las tramas recibidas por el dispositivo respondedor y/o para estimar la información de AoD de las tramas transmitidas desde el dispositivo respondedor. Para al menos algunos modos de realización, el dispositivo respondedor puede utilizar un número de patrones de antena diferentes al estimar la información de AoA de las tramas ACK recibidas del dispositivo iniciador. Más específicamente, cuando el dispositivo respondedor incluye un número $N \geq 2$ de antenas, el dispositivo respondedor puede permitir selectivamente diferentes combinaciones de las antenas y estimar las condiciones del canal para un número correspondiente de diferentes patrones de antena. Las estimaciones de las condiciones del canal se pueden utilizar para estimar la información de AoA de la trama ACK para diversos patrones de antena. Debido a que las tramas ACK suelen incluir uno o más patrones de bits predeterminados (por ejemplo, conocidos por el dispositivo respondedor), las tramas ACK pueden ser muy adecuadas para estimar las condiciones del canal.

[68] El dispositivo respondedor puede utilizar toda la trama ACK para estimar las condiciones del canal y/o estimar la información de AoA. El uso de toda la trama ACK puede permitir que el dispositivo respondedor cambie entre las diversas patrones de antena durante la recepción de la trama ACK. Cuando el dispositivo respondedor no puede procesar toda la trama ACK (por ejemplo, el dispositivo respondedor puede procesar sólo campos heredados, tales como el campo de entrenamiento largo heredado (legacy long training field, L-LTF), entonces el dispositivo respondedor puede estimar las condiciones del canal y la información de AoA usando una secuencia de N tramas FTM y ACK intercambiadas (por ejemplo, usando un intercambio de trama FTM/ACK para cada patrón de antena).

[69] Como se ha mencionado anteriormente, el dispositivo respondedor puede estimar la información de AoA utilizando cualquier técnica adecuada. Estas técnicas pueden incluir (pero no se limitan a): correlación; estimación de probabilidad máxima; técnicas de clasificación de señales múltiples (Multiple Signal Classification, MUSIC), incluyendo variantes tales como Root-MUSIC, Cyclic MUSIC, o Smooth MUSIC; estimación de los parámetros de señales usando técnicas de invariancia rotacional (ESPRIT); Paquete de Matriz (Matrix Pencil); u otras técnicas para estimar la información de AoA.

[70] Por lo tanto, como se ha descrito anteriormente con respecto a la FIG. 10, un dispositivo iniciador puede utilizar información de RTT e información de AoA/AoD para estimar un vector de distancia relativa que indique su posición con respecto a un dispositivo respondedor. Si la ubicación tridimensional (3D) del dispositivo respondedor está conocida, entonces el vector de distancia relativa puede permitir que el dispositivo iniciador estime su propia ubicación 3D. Si sólo la ubicación bidimensional (2D) del dispositivo respondedor está conocida, entonces el dispositivo iniciador puede estimar su propia ubicación 2D proyectando el vector de distancia relativa estimada en el plano 2D.

[71] FIG. 11 es un diagrama de flujo ilustrativo 1100 que representa un ejemplo de operación de alcance entre un primer dispositivo D1 y un segundo dispositivo D2 de acuerdo con los modos de realización de ejemplo. El dispositivo D1 y el dispositivo D2 pueden ser cada uno, por ejemplo, un punto de acceso (por ejemplo, AP 110 de FIG. 1), una estación (por ejemplo, una de las estaciones STA1-STA4 de FIG. 1) u otro dispositivo inalámbrico adecuado (por ejemplo, dispositivo inalámbrico 200 de FIG. 2). Para el funcionamiento de ejemplo de FIG. 11, el dispositivo D2 es el dispositivo iniciador, y el dispositivo D1 es el dispositivo respondedor. Primero, el dispositivo D2 transmite, al dispositivo D1, una trama FTM_REQ que incluye una solicitud para que el dispositivo D1 estime la información de AoA

y/o AoD de una o más tramas intercambiadas entre el dispositivo D1 y el dispositivo D2 (1102). La trama FTM_REQ también puede indicar el nivel de precisión deseado para la información de AoA y/o AoD solicitada.

5 **[72]** El dispositivo D1 recibe la trama FTM_REQ y luego transmite una trama ACK indicando si el dispositivo D1 es capaz de estimar la información de AoA y/o AoD (y si la información de AoA y/o AoD estimada se incluirá en tramas FTM posteriores) (1104). La trama ACK puede incluir el nivel de precisión que se debe proporcionar para la información de AoA y/o AoD solicitada.

10 **[73]** El dispositivo D1 transmite una trama FTM_1 al dispositivo D2, registra el TOD de la trama FTM_1 como tiempo t_1 , y estima el AoD de la trama FTM_1 (1106). Para otros modos de realización, la trama FTM_1 puede indicar si el dispositivo D1 es capaz de estimar la información de AoA y/o AoD (y si la información de AoA y/o AoD estimada se incluirá en tramas FTM posteriores). El dispositivo D2 recibe la trama FTM_1 y registra el TOA de la trama FTM_1 como tiempo t_2 (1108).

15 **[74]** El dispositivo D2 transmite una trama ACK al dispositivo D1 y registra el TOD de la trama ACK como tiempo t_3 (1110). El dispositivo D1 recibe la trama ACK en el tiempo t_4 , registra el TOA de la trama ACK como tiempo t_4 , y estima el AoA de la trama ACK (1112).

20 **[75]** El dispositivo D1 transmite al dispositivo D2 una trama FTM_2 que incluye un valor de tiempo e información de ángulo (1114). El valor de tiempo puede indicar una diferencia en el tiempo entre la TOD de la trama FTM_1 transmitida desde el dispositivo D1 y la TOA de la trama ACK recibida en el dispositivo D1 (por ejemplo, el valor de tiempo puede ser igual a $t_4 - t_1$). La información de ángulo puede indicar una dirección del dispositivo D2 en relación con el dispositivo D1. En algunos aspectos, la información de ángulo puede incluir el AoD de la trama FTM_1 transmitida desde el dispositivo D1 y/o el AoA de la trama ACK recibida en el dispositivo D1 (1114). Para otros modos de realización, la trama FTM_2 puede incluir las marcas de tiempo reales para los tiempos t_1 y t_4 (por ejemplo, en lugar del valor de tiempo que indica la diferencia de tiempo entre el tiempo t_4 y el tiempo t_1).

25 **[76]** El dispositivo D2 puede determinar una distancia entre él y el dispositivo D1 en base a uno o más valores RTT (1116). Por ejemplo, el dispositivo D2 puede determinar la distancia d entre el dispositivo D1 y el dispositivo D2 usando la expresión $d = c \cdot RTT / 2$, donde c es la velocidad de la luz, y RTT es la suma de los tiempos reales de propagación de la señal de la trama FTM_1 y la trama ACK. Más concretamente, el valor de RTT se puede determinar como $(t_4 - t_1) - (t_3 - t_2)$. A continuación, el dispositivo D2 podrá determinar su ubicación en relación con el dispositivo D1 en base, al menos en parte, a la distancia determinada y la información de ángulo (1118).

30 **[77]** Los expertos en la técnica apreciarán que la información y las señales se pueden representar usando cualquiera de una variedad de diferentes tecnologías y técnicas. Por ejemplo, datos, instrucciones, comandos, información, señales, bits, símbolos y chips a los que se puede haber hecho referencia en la descripción anterior se pueden representar por voltajes, corrientes, ondas electromagnéticas, campos o partículas magnéticas, campos o partículas ópticas, o cualquier combinación de los mismos.

35 **[78]** Además, los expertos en la técnica apreciarán que los diversos bloques lógicos, módulos, circuitos, y etapas de algoritmos ilustrativos descritos en conexión con los aspectos divulgados en el presente documento se pueden implementar como hardware electrónico, software de ordenador, o combinaciones de ambos. Para ilustrar claramente esta intercambiabilidad de hardware y software, se han descrito anteriormente diversos componentes, bloques, módulos, circuitos y etapas ilustrativas en general en términos de su funcionalidad. Si dicha funcionalidad se implementa como hardware o software depende de la aplicación particular y de las limitaciones de diseño impuestas al sistema global. Los técnicos expertos pueden implementar la funcionalidad descrita de diferentes modos para cada aplicación particular, pero tales decisiones de implementación no se deben interpretar como una desviación del alcance de la divulgación.

40 **[79]** Los métodos, secuencias o algoritmos descritos en relación con los aspectos divulgados en el presente documento se pueden realizar directamente en hardware, en un módulo de software ejecutado por un procesador o en una combinación de ambos. Un módulo de software puede residir en memoria RAM, memoria flash, memoria ROM, memoria EPROM, memoria EEPROM, registros, disco duro, un disco extraíble, un CD-ROM, o cualquier otra forma de medio de almacenamiento que se conozca en la técnica. Un medio de almacenamiento de ejemplo se puede acoplar al procesador de modo que el procesador puede leer información desde, y escribir información al, medio de almacenamiento. De forma alternativa, el medio de almacenamiento se puede integrar al procesador.

45 **[80]** En consecuencia, un aspecto de la divulgación puede incluir un medio no transitorio legible por ordenador que realice un procedimiento para la sincronización de tiempo y frecuencia en sistemas de comunicación por satélite no geosíncrono. El término "no transitorio" no excluye ningún medio físico de almacenamiento o memoria y, en particular, no excluye la memoria dinámica (por ejemplo, la memoria convencional de acceso aleatorio (RAM)), sino que excluye solo la interpretación de que el medio se puede interpretar como una señal transitoria de propagación.

50 **[81]** Aunque la divulgación anterior muestra aspectos ilustrativos, cabe destacar que diversos cambios y modificaciones se podrían hacer en el presente documento sin apartarse del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

5 Las funciones, etapas o acciones de las reivindicaciones del procedimiento de acuerdo con los aspectos descritos en el presente documento no necesariamente tienen que realizarse en ningún orden en particular a menos que se indique expresamente lo contrario. Además, aunque los elementos se pueden describir o reivindicar en singular, se contempla el plural a menos que se establezca explícitamente limitación al singular. En consecuencia, la divulgación no se limita a los ejemplos ilustrados y cualquier medio para realizar la funcionalidad descrita en el presente documento se incluye en los aspectos de la divulgación.

REIVINDICACIONES

- 5 **1.** Un procedimiento para realizar un operación de alcance entre un primer dispositivo y un segundo dispositivo, el procedimiento realizado por uno o más procesadores del segundo dispositivo y que comprende:

10 transmitir (512), al primer dispositivo, una trama de solicitud de medición precisa de tiempo (FTM) que incluya una solicitud, integrada en un elemento de información específico del proveedor (VSIE) de la trama de solicitud FTM, para que el primer dispositivo estime la información de ángulo de llegada (AoA) o la información de ángulo de salida (AoD) de una o más tramas intercambiadas entre el primer dispositivo y el segundo dispositivo;

15 recibir (517) una primera trama FTM del primer dispositivo;

 registrar la hora de llegada (TOA) de la primera trama FTM;

 transmitir (518) una trama de acuse de recibo (ACK) al primer dispositivo;

 registrar la hora de salida (TOD) de la trama ACK; y

20 recibir (521) una segunda trama FTM del primer dispositivo, la segunda trama FTM que comprende:

 un valor de tiempo que indica una diferencia entre un TOD de la primera trama FTM y un TOA de la trama ACK; e

25 información de ángulo que indica una dirección del segundo dispositivo en relación con el primer dispositivo.
- 30 **2.** El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:

 determinar una posición del segundo dispositivo, con respecto al primer dispositivo, basado al menos en parte en el valor de tiempo, los valores TOA y TOD registrados y la información de ángulo recibida en la segunda trama FTM.
- 35 **3.** El procedimiento de la reivindicación 2, en el que la determinación comprende:

 determinar un tiempo de ida y vuelta (RTT) de la primera trama FTM y de la trama ACK en base al valor de tiempo y los valores TOA y TOD registrados; y

40 estimar la posición relativa del segundo dispositivo en base, al menos en parte, al RTT y la información de ángulo.
- 45 **4.** El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la solicitud indica un nivel de precisión deseado para la información de AoA o la información de AoD.
- 50 **5.** El procedimiento de la reivindicación 4, que comprende además:

 recibir una trama de respuesta del primer dispositivo en respuesta a la solicitud, la trama de respuesta que indica el nivel de precisión que se debe proporcionar para la información de AoA o la información de AoD.
- 55 **6.** El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:

 recibir una trama de respuesta del primer dispositivo en respuesta a la solicitud, la trama de respuesta que indica si el primer dispositivo es capaz de estimar la información de AoA o la información de AoD.
- 60 **7.** El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:

 recibir una trama de baliza del primer dispositivo, la trama de baliza que indica si el primer dispositivo es capaz de estimar información de ángulo de llegada (AoA) o información de ángulo de salida (AoD).
- 65 **8.** El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la información de ángulo se integra dentro de un elemento del grupo que consiste en un campo de TOD y un campo de TOA de la segunda trama FTM.
- 9.** El procedimiento de la reivindicación 8, en el que el valor del tiempo se integra en el otro elemento del grupo que consiste en el campo de TOD y el campo de TOA de la segunda trama FTM.

10. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la información de ángulo es al menos un elemento del grupo que consiste en un ángulo de llegada (AoA) de la trama ACK y un ángulo de salida (AoD) de la primera trama FTM.
- 5
11. Un segundo dispositivo para realizar un operación de alcance con un primer dispositivo, estando el segundo dispositivo configurado para realizar un procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1-10.
 12. Un programa informático que comprende instrucciones que, cuando se ejecute por un procesador, hace que el segundo dispositivo de la reivindicación 11 realice un procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1-10.

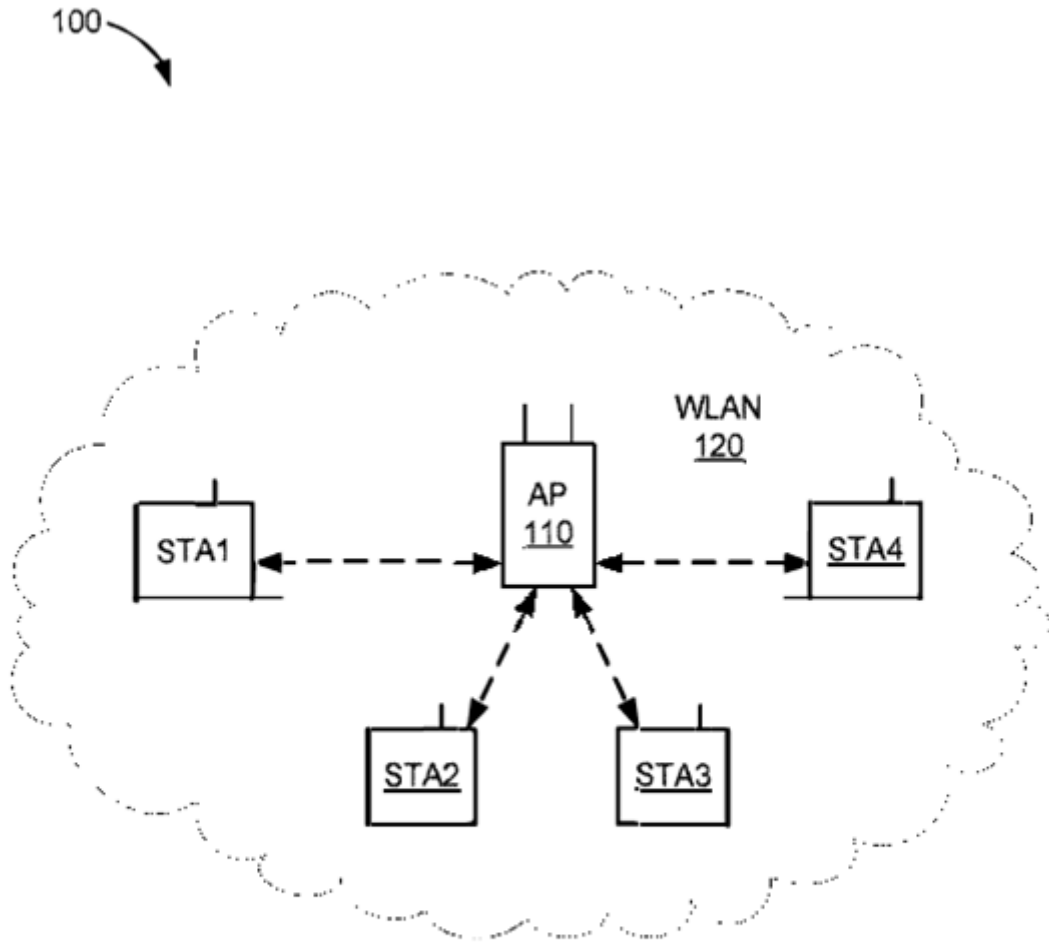


FIG. 1

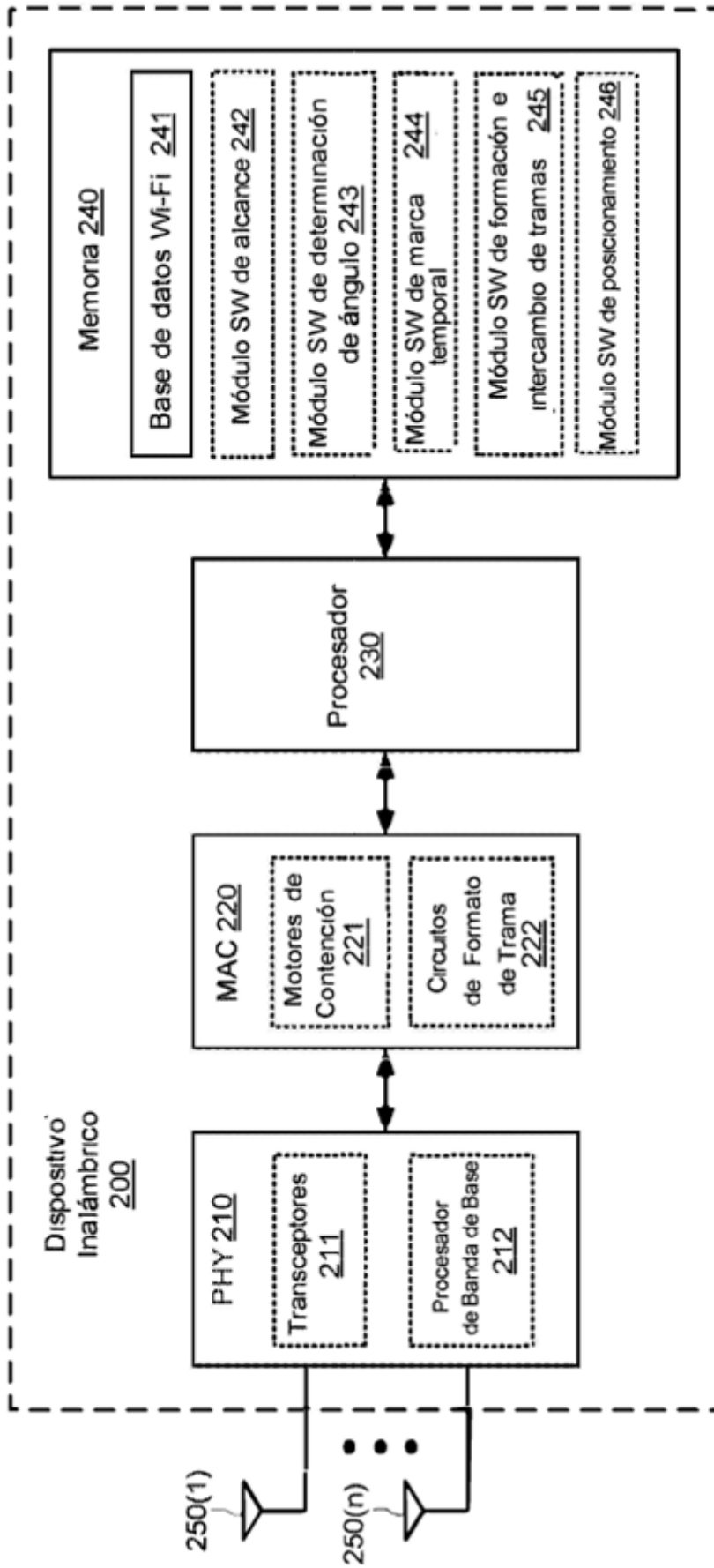


FIG. 2

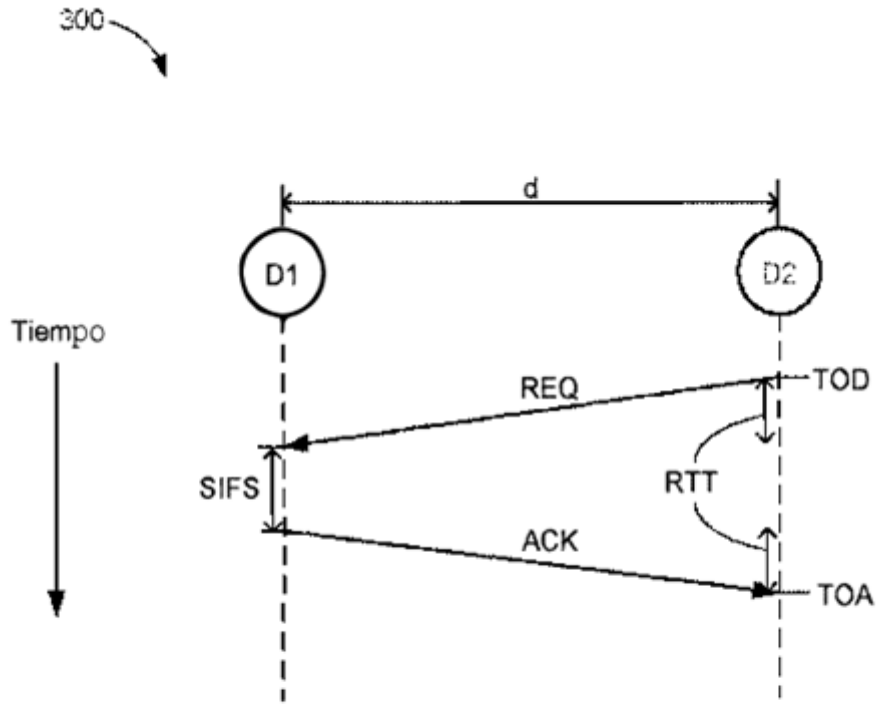


FIG. 3

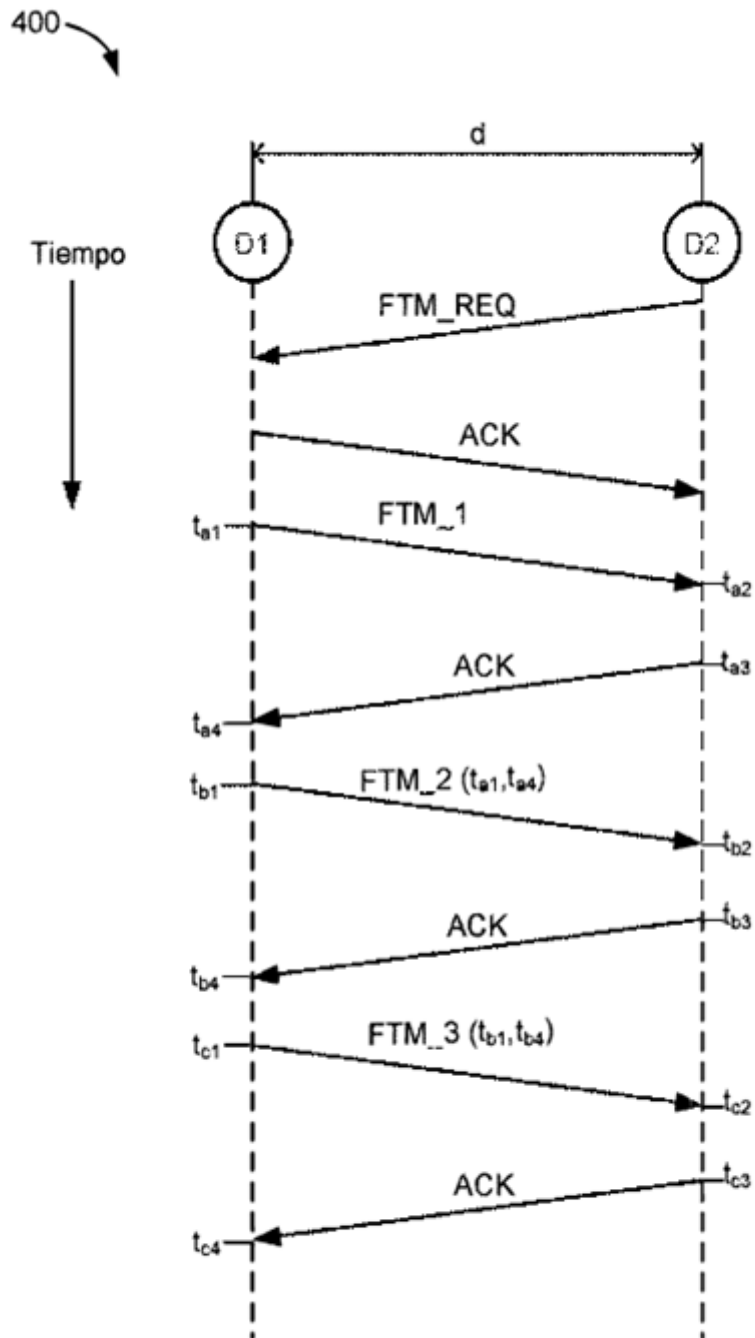


FIG. 4

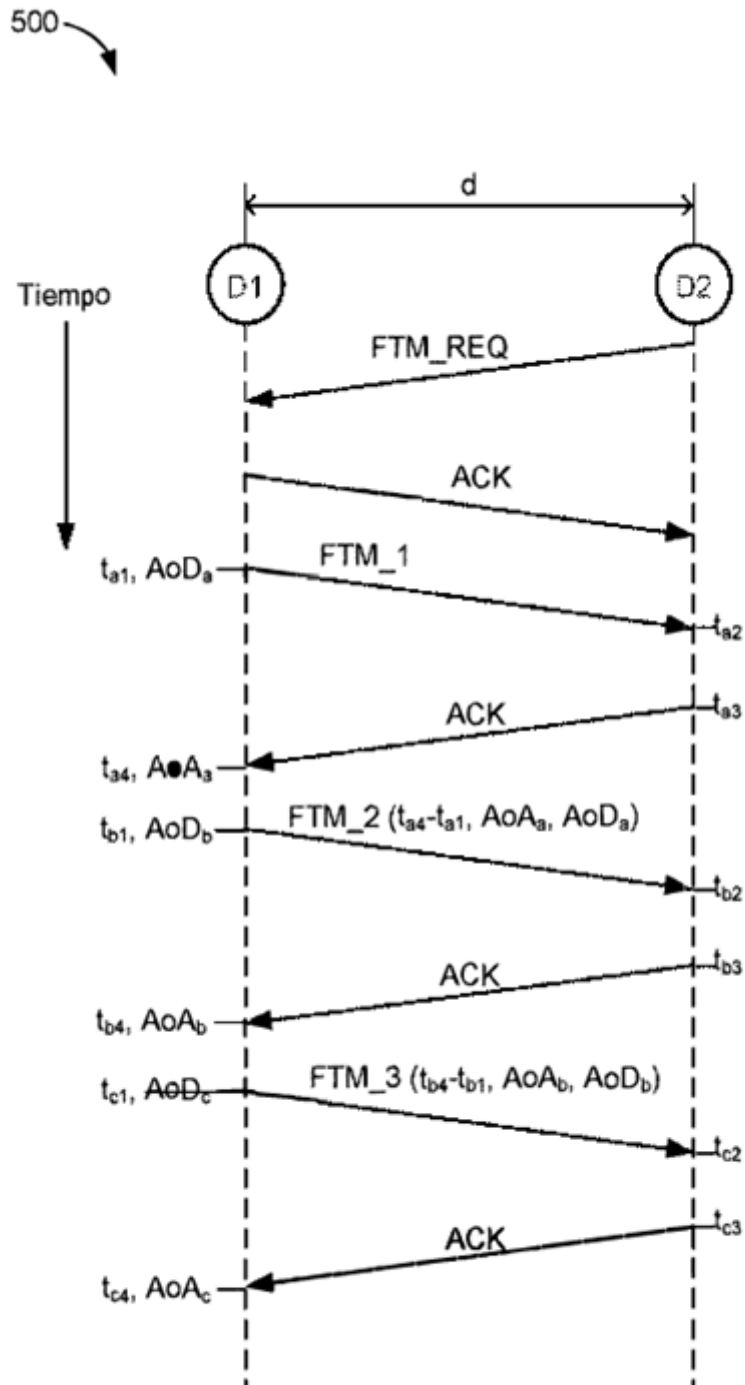


FIG. 5A

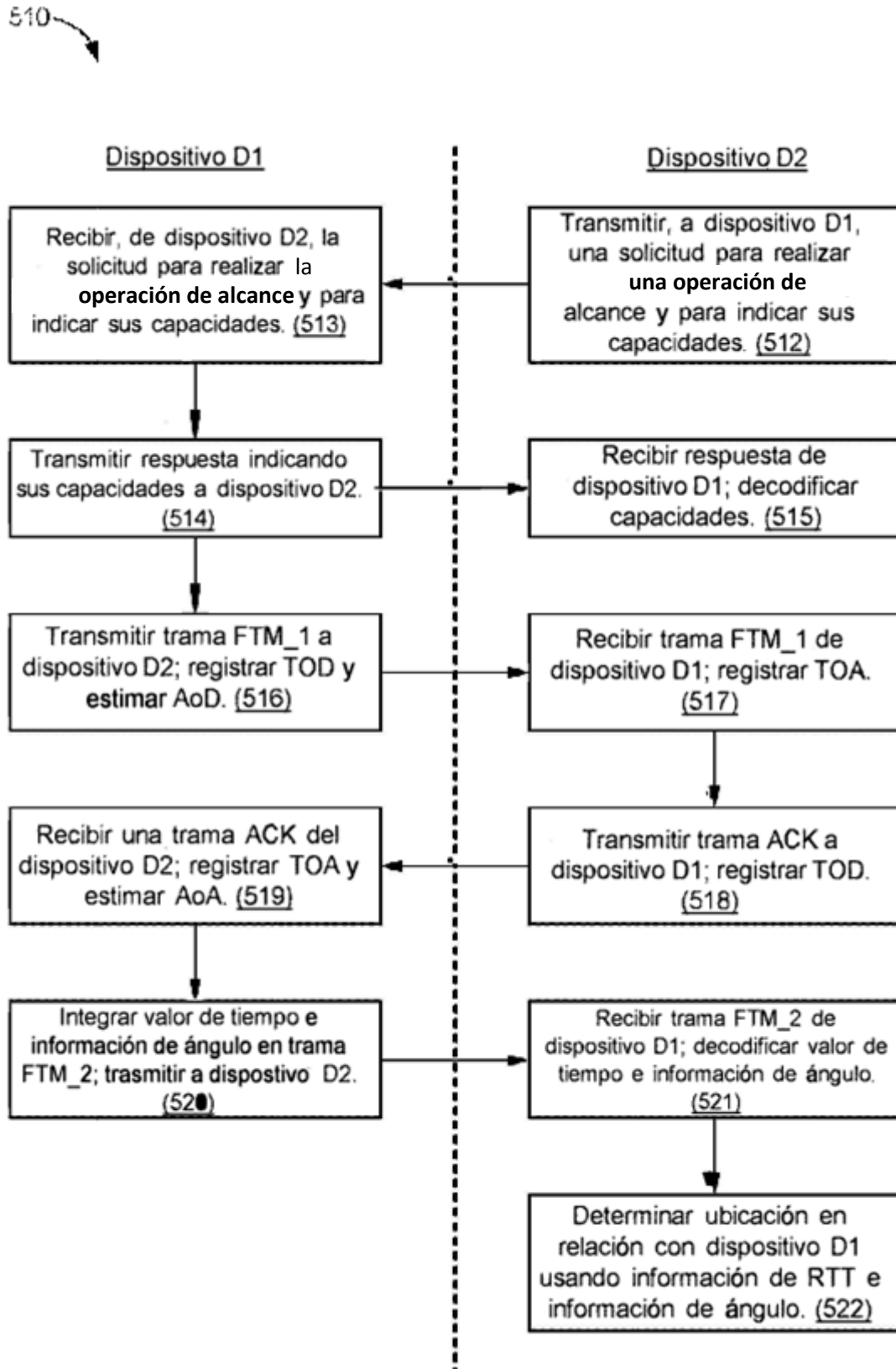


FIG. 5B

600

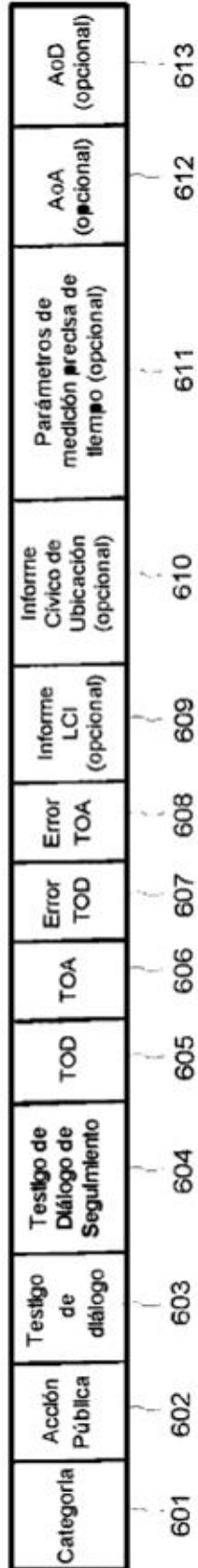


FIG. 6

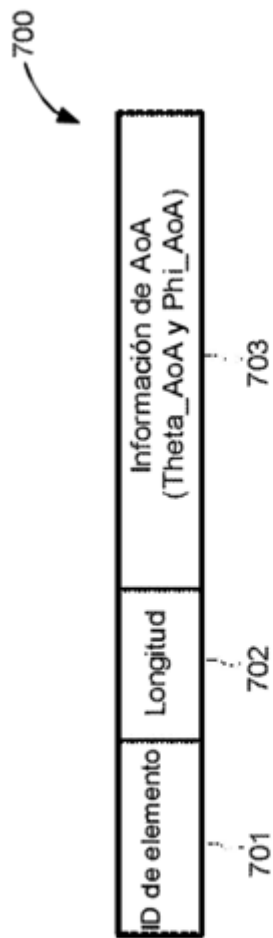


FIG. 7A

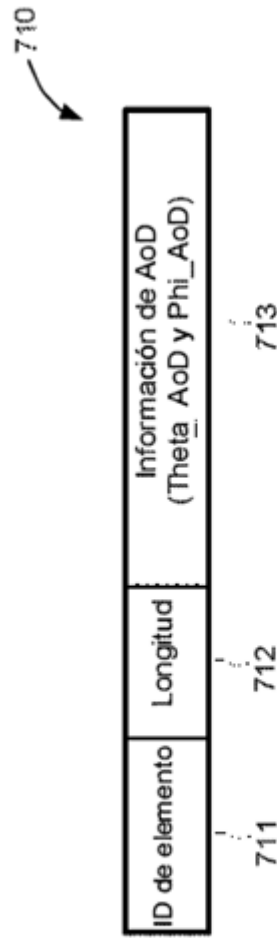


FIG. 7B

800

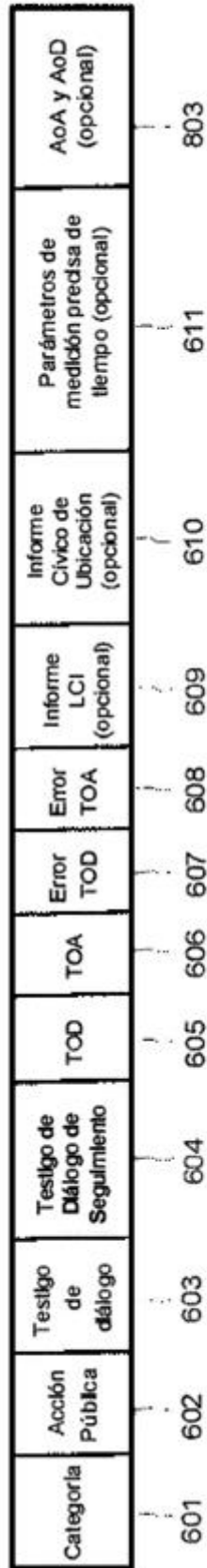


FIG. 8

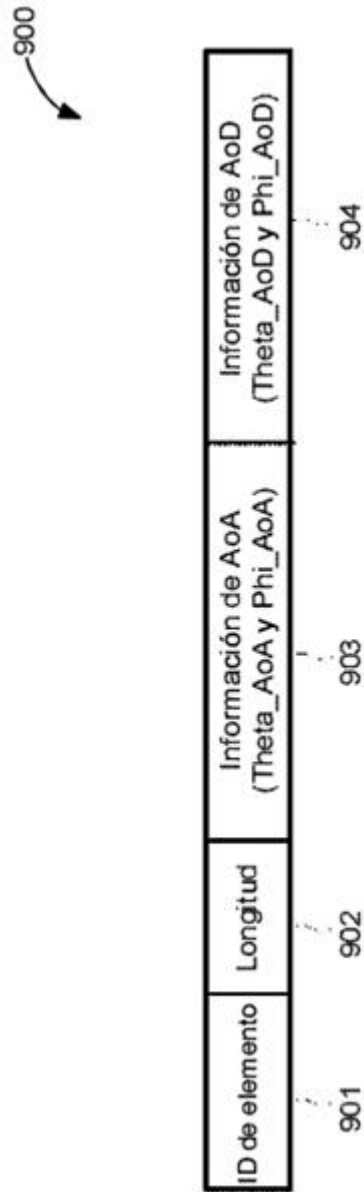


FIG. 9

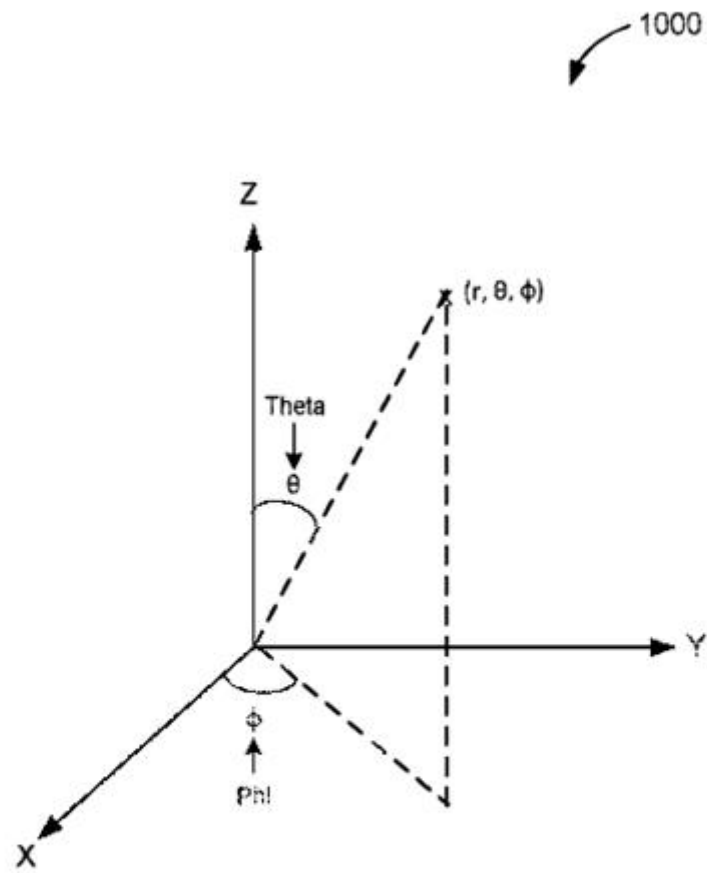


FIG. 10

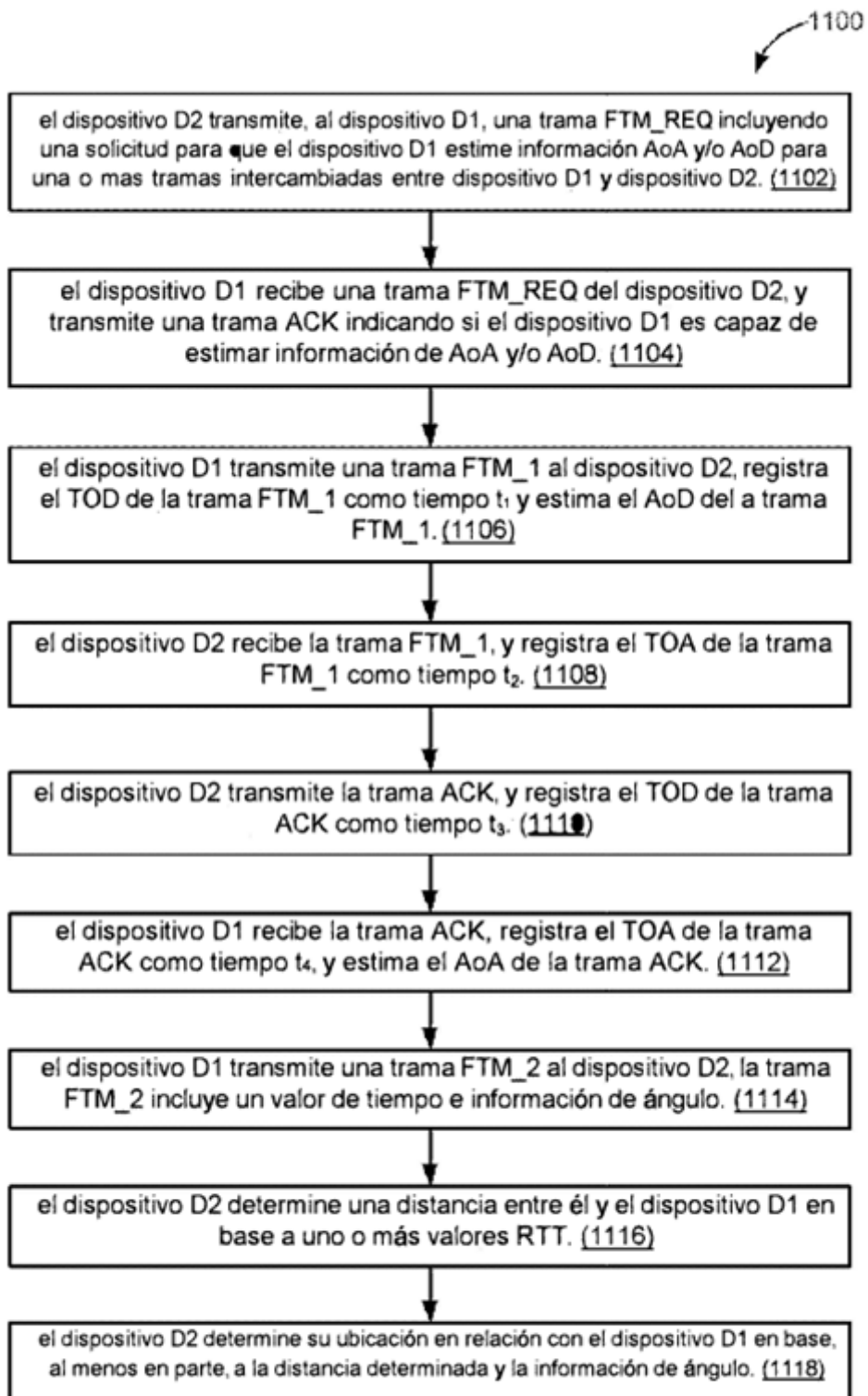


FIG. 11