

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 687 948**

51 Int. Cl.:

**G01S 7/40** (2006.01)

**G01S 11/06** (2006.01)

**G01S 13/74** (2006.01)

**G01S 13/82** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.05.2014 PCT/EP2014/060757**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.12.2014 WO14195161**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.05.2014 E 14728484 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.07.2018 EP 3004922**

54 Título: **Medición de distancia mejorada utilizando el tiempo de vuelo de las señales**

30 Prioridad:

**04.06.2013 EP 13170342**

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

**30.10.2018**

73 Titular/es:

**KONINKLIJKE PHILIPS N.V. (100.0%)  
High Tech Campus 5  
5656 AE Eindhoven, NL**

72 Inventor/es:

**WIJBRANS, KLAAS CORNELIS JAN**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 687 948 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

Medición de distancia mejorada utilizando el tiempo de vuelo de las señales

## 5 Campo técnico de la invención

La invención se relaciona con técnicas para determinar la distancia entre un primer dispositivo y un segundo dispositivo, tal como un dispositivo de usuario y una unidad base, y en particular a una medición mejorada de la distancia con base en el tiempo de vuelo. La invención también se relaciona con un sistema de rastreo personal que utiliza la medición mejorada de la distancia con base en el tiempo de vuelo para determinar si un usuario se encuentra dentro de una zona segura predeterminada.

Antecedentes de la invención

15 Hay disponible un número de sistemas de rastreo personal que se pueden usar para rastrear o monitorizar la posición de una persona. Los usuarios de dichos sistemas pueden incluir personas mayores, niños, personas con enfermedad de Alzheimer, demencia o autismo (que son propensos a deambular) o pacientes en un hogar de cuidado u hospital. Se puede establecer una "geocerca" que limite las áreas seguras o aceptables en las cuales se permite al usuario moverse libremente, como en su casa, o áreas a las que el usuario no debe ingresar, y el sistema de rastreo se puede usar para verificar si el usuario se encuentra dentro de su zona segura o cerca geográfica, y si no, activa una alarma y determina la posición del usuario.

25 Estos sistemas comprenden típicamente un dispositivo portado por el usuario o llevado por el usuario y una unidad base que se coloca en (y ayuda a definir) la zona segura. El dispositivo de usuario puede incluir un receptor GPS en combinación con otra tecnología de comunicación inalámbrica, tal como comunicaciones celulares o WiFi, que se usan para controlar la posición del usuario. Sin embargo, estos sistemas se ven obstaculizados por un bajo rendimiento debido a bajas tasas de muestreo de ubicación (para ahorrar energía), una duración de la batería baja (si la frecuencia de muestreo es mayor) o tiene un tamaño significativo debido a la inclusión de una batería grande en el dispositivo.

30 En algunos casos, la unidad base puede actuar como una baliza para el dispositivo del usuario, y el dispositivo del usuario puede usar señales enviadas a partir de la unidad base para determinar si el dispositivo del usuario (y por lo tanto el usuario) está dentro de la zona segura. Algunos dispositivos usan una medición de la intensidad de la señal recibida (por ejemplo, una medición de la potencia en una señal de radio recibida, conocida como indicador de intensidad de señal recibida, RSSI) para estimar la distancia a partir de la unidad base y determinar si el dispositivo del usuario está dentro de la zona segura. Esta técnica a menudo puede consumir menos energía que otras tecnologías que estiman la ubicación, como el GPS. Sin embargo, la estimación de distancia con base en las mediciones de la intensidad de la señal no es muy robusta y produce mediciones de distancia inconsistentes o erráticas o requiere asistencia de otra tecnología para determinar ubicación como GPS o triangulación utilizando estaciones base celulares.

45 En particular, se ha encontrado que los dispositivos de detección de distancia con base en RSSI producen resultados de distancia inconsistentes a medida que la orientación del usuario y/o dispositivo de usuario cambia con respecto a la unidad base. Esto se ilustra en la Figura 1. En esta figura, un usuario 2 que lleva un dispositivo 4 de usuario se muestra a dos distancias y orientaciones diferentes con respecto a una unidad 6 base. En la primera distancia y orientación (etiquetada 'A'), el usuario 2 y el dispositivo 4 de usuario están orientados de modo que hay una línea de visión a partir del dispositivo 4 de usuario a la unidad 6 base que da como resultado que el dispositivo 4 de usuario reciba una señal relativamente fuerte de la unidad base. Esta orientación del usuario 2 y del dispositivo 4 de usuario puede proporcionar una estimación razonablemente fiable de la distancia entre el dispositivo 4 de usuario y la unidad 6 base usando medidas de intensidad de señal. Sin embargo, en la segunda distancia y orientación (etiquetada como 'B'), el usuario 2 está mucho más cerca de la unidad 6 base pero no hay línea de visión entre el dispositivo 4 de usuario y la unidad 6 base, ya que está bloqueado/protegido por el cuerpo del usuario 2. Esta protección del dispositivo 4 de usuario por parte del cuerpo del usuario 2 atenúa la intensidad de la señal recibida a partir de la unidad 6 base en muchos decibelios y, por lo tanto, lleva al dispositivo 4 de usuario a determinar que el dispositivo 4 de usuario está más lejos de la unidad 6 base que, de hecho, es el caso (e incluso se puede determinar que el usuario 2 está fuera de la zona segura determinada dependiendo del nivel de atenuación).

60 Además, los objetos y los materiales utilizados para construir el hogar o el entorno de cuidado de la salud del usuario pueden afectar la intensidad de las señales recibidas.

Una técnica alternativa para determinar la distancia entre un dispositivo de usuario y una unidad base se basa en el tiempo de vuelo (ToF) de las señales entre el dispositivo de usuario y la unidad base. Esta técnica es mucho más robusta contra la atenuación de la señal. En general, las mediciones del tiempo de vuelo se basan en señales transmitidas en el rango banda ancha, UWB (2. 4-5 GHz) debido a que la precisión que se puede lograr depende de la cantidad de ancho de banda disponible y de la relación señal/ruido (de acuerdo con el límite de Cramer-Rao). Sin embargo, una desventaja de tiempo de vuelo de UWB o tiempo de vuelo en el rango de GHz es el rango limitado de

las transmisiones (cuando se mantiene bajo el consumo de energía) o el alto consumo de energía del dispositivo del usuario (cuando se trata de aumentar el rango).

5 Por lo tanto, es deseable realizar mediciones de tiempo de vuelo usando comunicaciones de banda estrecha (por ejemplo en el rango de 900MHz) ya que se requiere menos potencia y el rango se mejora con respecto a UWB, y se han mostrado las exactitudes submétricas para tales sistemas. Sin embargo, es necesario intercambiar una gran cantidad de mensajes entre el dispositivo del usuario y la unidad base para producir un resultado preciso, pero esto da como resultado un consumo de energía adicional y en algunos países y/o especificaciones existen límites reglamentarios sobre el tiempo total que el transmisor puede estar activo (por ejemplo, como máximo el 10% del tiempo). El documento WO2002084621A2 divulga un sistema y dispositivo para monitorizar múltiples parámetros en objetos. Este es un sistema digital multifuncional integrado y está diseñado para monitorización continua, comunicación, rastreo y localización de objetos. El sistema tiene dos o más transceptores móviles separados. Cada transceptor tiene una interfaz con una red externa, un dispositivo o sistemas de seguridad/alarma, de acuerdo con los requisitos específicos. El sistema tiene medios para iniciar una sola acción/serie de acción usando las herramientas de comunicación apropiadas. El sistema tiene dispositivos de entrada y salida, para mostrar los valores de los parámetros.

20 El documento US5499199A1 divulga un sistema de medición de distancia RF que incluye una unidad base y una unidad remota. La unidad remota transmite una primera señal de frecuencia de radio a la unidad base. La unidad base transmite una segunda señal de frecuencia de radio al recibir la primera señal de frecuencia de radio de la unidad remota. La unidad remota mide el tiempo entre la transmisión de la primera señal de frecuencia de radio y la recepción de la segunda señal de frecuencia de radio, lo que permite determinar la distancia entre la unidad base y la unidad remota. La precisión de la distancia medida se puede mejorar promediando ciclos de medición adicionales.

25 Por lo tanto, existe la necesidad de una técnica mejorada para realizar una medición de distancia con base en el tiempo de vuelo que pueda proporcionar una medición de distancia hasta un nivel deseado de precisión, minimizando al mismo tiempo el consumo de energía y que sea adecuada para uso en un sistema de rastreo personal para determinar si un usuario se encuentra dentro de una zona segura predeterminada.

### 30 Resumen de la invención

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un método para medir la distancia entre un primer dispositivo y un segundo dispositivo, comprendiendo el método realizar una medición de distancia con base en el tiempo de vuelo para medir la distancia entre el primer dispositivo y el segundo dispositivo, en donde la longitud de las señales transmitidas durante la medición de distancia con base en tiempo de vuelo se determina de acuerdo con un nivel de precisión requerido para la medición de distancia.

40 Preferiblemente, la longitud de las señales transmitidas durante la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo se define en una primera longitud cuando se requiere un primer nivel de precisión y una segunda longitud cuando se requiere un segundo nivel de precisión, en donde la primera longitud es más corta que la segunda longitud y la primera precisión es menor que la segunda precisión.

45 Preferiblemente, el número de mediciones de tiempo de vuelo obtenidas durante la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo se define en un primer número cuando se requiere un primer nivel de precisión y un segundo número cuando se requiere un segundo nivel de precisión, en donde el primer número es menor que el segundo número y la primera precisión es menor que la segunda precisión.

50 Preferiblemente, el método comprende además las etapas de determinar una estimación inicial de la distancia entre el primer dispositivo y el segundo dispositivo; y determinar el nivel de precisión requerido para la medición de distancia a partir de la estimación inicial de la distancia.

55 En algunas realizaciones, la estimación inicial de la distancia se determina a partir de la intensidad de la señal recibida de una señal transmitida entre el primer dispositivo y el segundo dispositivo. En otras realizaciones, la estimación inicial de la distancia se determina usando una o más mediciones de tiempo de vuelo obtenidas usando señales de una primera longitud.

60 Preferiblemente, la realización de la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo comprende obtener una o más mediciones del tiempo de vuelo entre el primer dispositivo y el segundo dispositivo, en donde se obtiene una medición del tiempo de vuelo: transmitir una primera señal de la longitud determinada entre el primer dispositivo y el segundo dispositivo; transmitir una señal de respuesta entre el primer dispositivo y el segundo dispositivo; y determinar el tiempo de vuelo a partir del tiempo transcurrido a partir de la transmisión de la primera señal hasta la recepción de la señal de respuesta y el tiempo entre la recepción de la primera señal y la transmisión de la señal de respuesta.

65 En algunas realizaciones, el método comprende además la etapa de determinar si la señal de respuesta se transmitió en respuesta a la recepción de una primera señal directa o reflejada.

5 Preferiblemente, la etapa de determinar si la señal de respuesta se transmitió en respuesta a recibir una primera señal directa o reflejada comprende determinar la potencia de transmisión del primer dispositivo y el segundo dispositivo; determinar la intensidad de las señales recibidas en el primer dispositivo y en el segundo dispositivo; determinar si la señal de respuesta se transmitió en respuesta a recibir una primera señal directa o reflejada usando las potencias de transmisión y las intensidades de señal recibidas.

10 Preferiblemente, el método comprende además la etapa de corregir la medición del tiempo de vuelo obtenida usando la señal de respuesta en el tiempo entre la recepción de una señal de respuesta directa y la recepción de una señal de respuesta reflejada si se determina que la señal de respuesta fue transmitida en respuesta a recibir una primera señal reflejada.

En algunas realizaciones, el método comprende además la etapa de reducir la potencia de transmisión utilizada para transmitir la primera señal después de corregir la medición del tiempo de vuelo.

15 En realizaciones preferidas, el método es para determinar si el primer dispositivo y el segundo dispositivo están dentro de una distancia predeterminada entre sí.

20 En esas realizaciones, el método preferiblemente comprende adicionalmente las etapas de estimar la incertidumbre en la medición de distancia obtenida usando la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo; evaluando  $d + u < R$ , y  $d - u > R$  donde  $d$  es la medición de la distancia,  $u$  es la estimación de la incertidumbre y  $R$  es la distancia predeterminada; y en el caso de que ni  $d + u < R$  ni  $d - u > R$  se determina entonces que se requiere un mayor nivel de precisión y obtener una o más mediciones adicionales de tiempo de vuelo; de otro modo, utilizando la medición  $d$  de distancia para determinar si el primer dispositivo y el segundo dispositivo están dentro de la distancia predeterminada entre sí.

25 En algunas realizaciones, la una o más mediciones adicionales de tiempo de vuelo se obtienen usando señales de la primera longitud o de una segunda longitud, siendo la segunda longitud más larga que la primera longitud.

30 En realizaciones adicionales, el método comprende, después de obtener la una o más mediciones adicionales de tiempo de vuelo, las etapas de determinar una medición  $d'$  de distancia a partir de una o más mediciones de tiempo de vuelo y la una o más mediciones adicionales de tiempo de vuelo; estimar la incertidumbre  $u'$  en la medición  $d'$  de distancia; evaluar  $d' + u' < R$ , y  $d' - u' > R$ ; en el caso de que ni  $d' + u' < R$  ni  $d' - u' > R$  se determina entonces que se requiere un mayor nivel de precisión y obtener una o más mediciones adicionales de tiempo de vuelo; de otro modo, utilizar la medición  $d'$  de distancia para determinar si el primer dispositivo y el segundo dispositivo están dentro de la distancia predeterminada entre sí.

35 En algunas realizaciones, antes de realizar el procedimiento de medición de distancia con base en el tiempo de vuelo, el método comprende las etapas de medir la intensidad de señal recibida de una señal transmitida entre el primer dispositivo y el segundo dispositivo; comparar la intensidad de la señal recibida con un valor umbral; determinar que el primer dispositivo y el segundo dispositivo están dentro de la distancia predeterminada entre sí, si la intensidad de la señal recibida está por encima del valor umbral; de otro modo, realizar la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo.

40 En algunas realizaciones, donde se determina usando la medición de distancia con base en tiempo de vuelo que el primer dispositivo y el segundo dispositivo están dentro de la distancia predeterminada entre sí, el método comprende además medir la intensidad de la señal recibida de otra señal transmitida entre el primer dispositivo y el segundo dispositivo; comparar la intensidad de la señal recibida de dicha otra señal con la intensidad de la señal recibida de la señal previa; si la intensidad de la señal recibida de dicha otra señal es menor que la intensidad de señal recibida de la señal previa, realizar otra medición de distancia con base en el tiempo de vuelo; si la intensidad de la señal recibida de dicha otra señal es mayor que la intensidad de señal recibida de la señal previa, comparar la intensidad de la señal recibida de dicha otra señal con el valor umbral y si la intensidad de señal recibida de dicha otra señal es mayor que el valor umbral determinar que el primer dispositivo y el segundo dispositivo están dentro de la distancia predeterminada entre sí, de otro modo realizar una medición adicional de distancia con base en el tiempo de vuelo.

45 Un segundo aspecto de la invención proporciona un método para hacer funcionar un dispositivo para medir la distancia entre el dispositivo y otro dispositivo, comprendiendo el método realizar una medición de distancia con base en el tiempo de vuelo para medir la distancia entre el dispositivo y dicho otro dispositivo, en donde la longitud de las señales transmitidas y/o el número de mediciones de tiempo de vuelo obtenidas durante la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo se determina de acuerdo con un nivel de precisión requerido para la medición de la distancia.

50 Se contemplan otras realizaciones del método de operación del dispositivo en las cuales el dispositivo funciona de acuerdo con cualquiera de los dispositivos primero y segundo definidos en los métodos anteriores y/o como se describe en la siguiente descripción detallada.

Un tercer aspecto de la invención proporciona un método para operar el 'otro dispositivo' como se define en cualquiera de las realizaciones del segundo aspecto anterior de la invención.

- 5 De acuerdo con un cuarto aspecto de la invención, se proporciona un sistema que comprende un primer dispositivo y un segundo dispositivo, estando configurado el primer dispositivo y el segundo dispositivo para realizar una medición de distancia con base en el tiempo de vuelo para medir la distancia entre el primer dispositivo y el segundo dispositivo, en donde la longitud de las señales transmitidas durante la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo se determina de acuerdo con un nivel de precisión requerido para la medición de la distancia.
- 10 Preferiblemente, la longitud de las señales transmitidas por el primer dispositivo y/o el segundo dispositivo durante la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo se define en una primera longitud cuando se requiere un primer nivel de precisión y una segunda longitud cuando se requiere un segundo nivel de precisión, en donde la primera longitud es más corta que la segunda longitud y la primera precisión es menor que la segunda precisión.
- 15 Preferiblemente, el número de mediciones de tiempo de vuelo obtenidas durante la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo por el primer dispositivo y el segundo dispositivo se define en un primer número cuando se requiere un primer nivel de precisión y un segundo número cuando se requiere un segundo nivel de precisión, en donde el primer número es menor que el segundo número y la primera precisión es menor que la segunda precisión.
- 20 Preferiblemente, el primer dispositivo y/o el segundo dispositivo están configurados además para determinar una estimación inicial de la distancia entre el primer dispositivo y el segundo dispositivo; y determinar el nivel de precisión requerido para la medición de distancia a partir de la estimación inicial de la distancia.
- 25 En algunas realizaciones, el primer dispositivo y/o el segundo dispositivo están configurados para determinar la estimación inicial de la distancia de la intensidad de señal recibida de una señal transmitida entre el primer dispositivo y el segundo dispositivo. En otras realizaciones, el primer dispositivo y/o el segundo dispositivo están configurados para determinar la estimación inicial de la distancia usando una o más mediciones de tiempo de vuelo obtenidas usando señales de una primera longitud.
- 30 Preferiblemente, el primer dispositivo y el segundo dispositivo están configurados para realizar la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo obteniendo una o más mediciones de tiempo de vuelo entre el primer dispositivo y el segundo dispositivo mediante: la transmisión de una primera señal de la longitud determinada entre el primer dispositivo y el segundo dispositivo; transmitir una señal de respuesta entre el primer dispositivo y el segundo dispositivo; y determinar el tiempo de vuelo a partir del tiempo transcurrido a partir de la transmisión de la primera señal hasta la recepción de la señal de respuesta y el tiempo entre la recepción de la primera señal y la transmisión de la señal de respuesta.
- 35 En algunas realizaciones, el primer dispositivo y/o el segundo dispositivo están configurados además para determinar si la señal de respuesta se transmitió en respuesta a la recepción de una primera señal directa o reflejada.
- 40 En esas realizaciones, el primer dispositivo y/o el segundo dispositivo están configurados preferiblemente para determinar si la señal de respuesta se transmitió en respuesta a recibir una primera señal directa o reflejada determinando la potencia de transmisión del primer dispositivo y del segundo dispositivo; determinar la intensidad de las señales recibidas en el primer dispositivo y en el segundo dispositivo; determinar si la señal de respuesta se transmitió en respuesta a recibir una primera señal directa o reflejada usando las potencias de transmisión y las intensidades de señal recibidas.
- 45 En esas realizaciones, el primer dispositivo y/o el segundo dispositivo están configurados además preferiblemente para corregir la medición del tiempo de vuelo obtenida usando la señal de respuesta en el tiempo entre la recepción de una señal de respuesta directa y la recepción de una señal de respuesta reflejada si se determina que la señal de respuesta se transmitió en respuesta a la recepción de una primera señal reflejada.
- 50 En algunas realizaciones, el primer dispositivo y el segundo dispositivo están configurados para reducir la potencia de transmisión utilizada para transmitir la primera señal después de corregir la medición del tiempo de vuelo.
- 55 Preferiblemente, el primer dispositivo y/o el segundo dispositivo están configurados para determinar si el primer dispositivo y el segundo dispositivo están dentro de una distancia predeterminada entre sí.
- 60 En algunas realizaciones, el primer dispositivo y/o el segundo dispositivo están configurados además para estimar la incertidumbre en la medición de distancia obtenida usando la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo; evaluar  $d + u < R$ , y  $d - u > R$  donde  $d$  es la medida de distancia,  $u$  es la estimación de la incertidumbre y  $R$  es la distancia predeterminada; y determinar que se requiere un mayor nivel de precisión en el caso de que ni  $d + u < R$  ni  $d - u > R$  obtengan una o más mediciones adicionales de tiempo de vuelo; determinar si el primer dispositivo y el segundo dispositivo están dentro de la distancia predeterminada entre sí usando la medición  $d$  de distancia en caso de que uno o ambos de  $d + u < R$  y  $d - u > R$ .
- 65

En algunas realizaciones, el primer dispositivo y/o el segundo dispositivo están configurados para obtener la una o más mediciones adicionales de tiempo de vuelo usando señales de la primera longitud o de una segunda longitud, siendo la segunda longitud más larga que la primera longitud.

5 En algunas realizaciones, el primer dispositivo y/o el segundo dispositivo están configurados además de manera que, después de obtener la una o más mediciones adicionales de tiempo de vuelo, el primer dispositivo y el segundo dispositivo determinan una medición  $d'$  de distancia a partir de la una o más mediciones de tiempo de vuelo y la una o más mediciones adicionales de tiempo de vuelo adicionales; estimar la incertidumbre  $u'$  en la medición  $d'$  de distancia; evaluar  $d' + u' < R$ , y  $d' - u' > R$ ; determinar que se requiere un mayor nivel de precisión en el caso de que  
10 ni  $d' + u' < R$  ni  $d' - u' > R$  y obtener una o más mediciones adicionales de tiempo de vuelo; determinar si el primer dispositivo y el segundo dispositivo están dentro de la distancia predeterminada entre sí usando la medición  $d'$  de distancia en caso de que uno o ambos  $d + u < R$  y  $d - u > R$ .

15 Preferiblemente, el primer dispositivo y/o el segundo dispositivo están configurados además de manera que, antes de realizar el procedimiento de medición de distancia con base en tiempo de vuelo, el primer dispositivo y el segundo dispositivo miden la intensidad de señal recibida de una señal transmitida entre el primer dispositivo y el segundo dispositivo; comparar la intensidad de la señal recibida con un valor umbral; determinar que el primer dispositivo y el segundo dispositivo están dentro de la distancia predeterminada entre sí, si la intensidad de la señal recibida está por encima del valor umbral; realizar la medición de la distancia con base en el tiempo de vuelo si la  
20 intensidad de la señal recibida es menor que el valor umbral.

En algunas realizaciones, el primer dispositivo y/o el segundo dispositivo están además configurados de manera que si se determina usando la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo, el primer dispositivo y el segundo dispositivo están dentro de la distancia predeterminada entre sí, el primer dispositivo y/o el segundo dispositivo miden la intensidad de señal recibida de otra señal transmitida entre el primer dispositivo y el segundo dispositivo; comparar la intensidad de señal recibida de dicha otra señal con la intensidad de señal recibida de la señal previa; realizar otra medición de distancia con base en el tiempo de vuelo si la intensidad de la señal recibida de dicha otra señal es menor que la intensidad de la señal recibida de la señal previa; comparar la intensidad de señal recibida de dicha otra señal con el valor umbral si la intensidad de señal recibida de dicha otra señal es mayor que la intensidad de señal recibida de la señal previa; determinar que el primer dispositivo y el segundo dispositivo están dentro de la distancia predeterminada entre sí, si la intensidad de la señal recibida de dicha otra señal es mayor que el valor umbral; y realizar otra medición de distancia con base en el tiempo de vuelo si la intensidad de la señal recibida de dicha otra señal es menor que el valor umbral.

35 En implementaciones preferidas, uno del primer dispositivo y el segundo dispositivo es un dispositivo portátil usado o transportado por un usuario y el otro de dicho primer dispositivo y el segundo dispositivo es una unidad base.

De acuerdo con un quinto aspecto de la invención, se proporciona un dispositivo, que comprende un circuito transceptor para permitir las comunicaciones con otro dispositivo; y una unidad de procesamiento configurada para  
40 realizar una medición de distancia con base en el tiempo de vuelo para medir la distancia entre el dispositivo y dicho otro dispositivo, en donde la unidad de procesamiento está configurada para determinar la longitud de las señales transmitidas por el circuito transceptor durante una medición de distancia con base en el tiempo de vuelo de acuerdo con un nivel de precisión requerido para la medición de distancia.

45 Se contemplan otras realizaciones adicionales del dispositivo en las cuales el dispositivo está configurado para operar de acuerdo con cualquiera de los dispositivos primero y segundo definidos en los sistemas anteriores y/o como se describe en la siguiente descripción detallada.

Un sexto aspecto de la invención proporciona un "otro dispositivo" como se define en cualquiera de las realizaciones del quinto aspecto anterior de la invención que está configurado para realizar la medición de distancia del tiempo de vuelo con el dispositivo del quinto aspecto.

Un séptimo aspecto de la invención proporciona un sistema que comprende al menos uno del dispositivo de acuerdo con el quinto aspecto y un "otro dispositivo" de acuerdo con el sexto aspecto.

55 Breve descripción de los dibujos

Se describirán ahora realizaciones a modo de ejemplo de la invención, a modo de ejemplo solamente, con referencia a los siguientes dibujos, en los cuales:

60 La Figura 1 es una ilustración de cómo la orientación de un usuario puede afectar la estimación de la distancia usando una técnica de medición de la intensidad de la señal;

65 La Figura 2 es un diagrama de bloques de un primer dispositivo y un segundo dispositivo de acuerdo con una realización de la invención;

La Figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra un método para medir la distancia entre un primer dispositivo y un segundo dispositivo de acuerdo con la invención;

5 La Figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un método para operar un primer dispositivo para determinar la ubicación de un usuario de acuerdo con una realización de la invención;

La Figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra un método para operar un segundo dispositivo para determinar la ubicación de un usuario de acuerdo con una realización de la invención;

10 La Figura 6 es una ilustración de una primera medición de distancia e incertidumbre;

La Figura 7 es una ilustración de una segunda medición de distancia e incertidumbre;

15 La Figura 8 es una ilustración de una segunda medición de distancia e incertidumbre;

La Figura 9 es un diagrama de flujo que ilustra un método para procesar las mediciones del tiempo de vuelo para tener en cuenta las reflexiones de la señal; y

20 La Figura 10 es un diagrama de flujo que ilustra un método para determinar la ubicación de un usuario de acuerdo con una realización adicional de la invención.

#### Descripción detallada de las realizaciones preferidas

25 Un sistema 10 de ejemplo de acuerdo con la invención se ilustra en la Figura 2. El sistema 10 comprende un primer dispositivo 12 y un segundo dispositivo 14. En este sistema 10 de ejemplo, el primer dispositivo 12 es un dispositivo portátil que debe transportarse o usarse por un usuario y el segundo dispositivo 14 es una unidad base que en general tiene una ubicación fija (como en un área o entorno que se considera seguro para el usuario cuando el sistema 10 es un sistema de rastreo personal), aunque se contemplan otras disposiciones del primer y segundo dispositivos 10, 12. El primer dispositivo 12 puede ser un teléfono móvil o un teléfono inteligente, un dispositivo personal de respuesta de emergencia (PERS) (que típicamente comprende un botón para que el usuario use para solicitar asistencia o ayuda), un dispositivo móvil PERS (MPERS) que comprende un dispositivo PERS y la funcionalidad de teléfono móvil, un detector de caída usado por el usuario para controlar si un usuario ha sufrido una caída, o cualquier otro tipo de dispositivo para el cual puede ser útil determinar una distancia a partir de otro dispositivo o ubicación específicos.

35 El primer dispositivo 12 comprende una unidad 16 de procesamiento que controla el funcionamiento del primer dispositivo 12, un circuito 18 transceptor y una antena 20 asociada que se utilizan para recibir señales y transmitir señales al segundo dispositivo 14, un módulo 22 de memoria para almacenar el código de programa para su ejecución por la unidad 16 de procesamiento para realizar el procesamiento requerido para controlar el primer dispositivo 12 de acuerdo con la invención y una fuente 24 de alimentación, tal como una batería o paquete de baterías.

45 El segundo dispositivo 14 comprende una unidad 26 de procesamiento que controla el funcionamiento del segundo dispositivo 14, el circuito 28 transceptor y una antena 30 asociada que se utilizan para recibir señales y transmitir señales al primer dispositivo 12, y un módulo 32 de memoria para almacenar el código de programa para su ejecución por la unidad 26 de procesamiento para realizar el procesamiento requerido para controlar el segundo dispositivo 14 de acuerdo con la invención.

50 Se apreciará que el segundo dispositivo 14 también comprenderá una fuente de alimentación (no se muestra), que puede ser una batería o paquete de baterías, o el segundo dispositivo 14 puede configurarse para usar una fuente de alimentación principal.

55 Se apreciará también que solo los componentes del primer y segundo dispositivos 12, 14 necesarios para ilustrar la invención se muestran en la Figura 2 y que en la práctica el primer y/o segundo dispositivos 12, 14 pueden comprender componentes adicionales.

60 En las realizaciones preferidas, el circuito 18 transceptor en el primer dispositivo 12 y el circuito 28 transceptor en el segundo dispositivo 14 están configurados para operar en un ancho de banda estrecho en el rango de radio sub-GHz, como en la banda ISM 868MHz/915MHz, la banda de 430MHz o la banda de 212MHz. En algunas realizaciones, cuando se requieren o se desean correcciones de múltiples rutas para las mediciones de distancia, el circuito 28 transceptor y/o la unidad 26 de procesamiento implementan un receptor de rastreo definido por software.

65 De acuerdo con la invención, el primer dispositivo 12 y el segundo dispositivo 14 usan mediciones de tiempo de vuelo (ToF) para determinar la distancia entre los dispositivos 12, 14. Una medición de ToF de ejemplo puede ser realizada por el segundo dispositivo 14 transmitiendo una señal predefinida al primer dispositivo 12, con el primer dispositivo 12 que responde con una señal de respuesta correspondiente un intervalo de tiempo predefinido después

de recibir la señal predefinida. La señal de respuesta transmitida por el primer dispositivo 12 puede ser la misma señal que la señal predefinida transmitida por el segundo dispositivo 14, o puede ser otra señal predefinida que es reconocible por el segundo dispositivo 14.

5 Al recibir la señal de respuesta predefinida, el segundo dispositivo 14 calcula el tiempo transcurrido a partir del momento en que se transmitió la señal predefinida a partir del segundo dispositivo 14 hasta el momento en que se recibió la señal de respuesta predefinida a partir del primer dispositivo 12, y determina el ToF restando el intervalo de tiempo predefinido, el primer dispositivo 12 espera antes de transmitir la señal de respuesta predefinida. Esta medición de ToF se puede convertir a una distancia utilizando  $\text{distancia} = c \cdot t_{\text{ToF}} / 2$ , donde  $c$  es la velocidad de la luz y  $t_{\text{ToF}}$  es el ToF a partir del segundo dispositivo 14 hasta el primer dispositivo 12 y viceversa. Se apreciará que la medición del tiempo de vuelo también podría ser realizada por el primer dispositivo 12 que transmite la señal predefinida inicial al segundo dispositivo 14 y el segundo dispositivo 14 que responde con la señal correspondiente un intervalo de tiempo predefinido después de la recepción de la señal inicial señal predefinida.

15 La precisión de la distancia medida con las mediciones de tiempo de vuelo depende de una serie de parámetros.

En primer lugar, la resolución de la medición de tiempo en la radio definida por software puede afectar la precisión. Una frecuencia de muestreo de 200MHz da una resolución de 5ns, lo cual se traduce en una precisión de distancia de alrededor de 0.75m. Dado que la precisión de las mediciones de posición GPS es de entre 3 y 5 metros, esta precisión para ToF es suficiente. Por lo tanto, al sobre muestrear a una velocidad elevada (por ejemplo, 100MHz/200MHz) se resuelve este problema.

Otro parámetro que puede afectar la precisión de la medición de ToF es la sincronización de fase de reloj del reloj en el primer dispositivo 12. El reloj en el primer dispositivo 12 se está ejecutando independientemente del reloj en el segundo dispositivo 14 por lo que puede haber diferencia de fase. Sin embargo, esta inexactitud se resuelve al promediar diversas mediciones de ToF. Además, al asegurarse de que la tasa de bits de la señal sea un múltiplo discreto del período de reloj en el dispositivo, es posible estimar la frecuencia de reloj del segundo dispositivo observando las longitudes de los períodos de bits en la señal, aumentando así aún más la precisión.

30 Como el primer dispositivo 12 puede ser llevado o usado por un usuario, el primer dispositivo 12 puede moverse hacia o a partir del segundo dispositivo 14 cuando se realiza la medición del tiempo de vuelo, lo cual puede afectar la precisión de la medición de ToF. Se asume que el usuario solo está caminando o corriendo (es decir, que no viaja en un vehículo), la velocidad de movimiento será relativamente baja, pero aún así define un límite en la duración del intercambio de señal entre el primer dispositivo 12 y el segundo dispositivo 14. Como resultado, se desea un intercambio frecuente de señales cortas para mitigar las imprecisiones de medición introducidas por el movimiento del primer dispositivo 12.

Otra limitación en la precisión de la medición de ToF es dada por el límite de Cramer-Rao, el cual relaciona la precisión de la detección del mensaje entrante con el ancho de banda del canal y la relación efectiva de señal a ruido (SNR).

Como se describe en "RF Ranging for Location Awareness" por Lanzisera, S. M., Pister, K., Informe técnico No. UCB/EECS-2009-69, Universidad de California en Berkeley, mayo de 2009, la expresión matemática que vincula SNR y el ancho de banda en conjunto para otorgar un límite en el rendimiento del rango puede derivarse del Límite Inferior Cramer-Rao (CRB). El CRB se puede calcular para cualquier estimación imparcial de un parámetro desconocido. El rango como un problema de estimación de parámetros fue ampliamente estudiado en el contexto de las aplicaciones de radar y sonar, y el CRB se ha derivado en una diversidad de condiciones. Para el prototipo de sistema de rango de "detección de bordes" discutido anteriormente, el CRB puede usarse para calcular un límite inferior para la varianza de la estimación para el rango  $r$  como

$$\sigma_r^2 \geq \frac{c^2}{(2\pi B)^2 E_s / N_0} \left( 1 + \frac{1}{E_s / N_0} \right) \quad (1)$$

donde  $\sigma_r^2$  es la varianza de la estimación del rango,  $c$  es la velocidad de la luz,  $B$  es el ancho de banda de señal ocupado en Hertz, y  $E_s / N_0$  es la relación de energía de señal a densidad de ruido. El SNR y  $E_s / N_0$  están relacionados por

$$\frac{E_s}{N_0} = t_s B \cdot \text{SNR} \quad (2)$$

donde  $t_s$  es la duración de la señal durante la cual el ancho de banda,  $B$ , está ocupado, es decir, el tiempo durante el cual se está transmitiendo la señal.

De este modo, el límite de Cramer-Rao muestra que la precisión que se puede lograr con una sola medición depende del ancho de banda y de la relación  $E_s / N_0$ . El ancho de banda es fijo y depende del ancho de banda en el

que estén operando los dispositivos. Con anchos de banda inferiores a 900 MHz (868/900/915 MHz), el ancho de banda es típicamente de 12.5kHz o 25kHz.

5 La relación  $E_s N_0$  está determinada por la intensidad de la señal de la señal con respecto al piso de ruido (el SNR) y también por la longitud del código a correlacionar como parte de la señal (representada por el término  $t_s B$ ).

10 La relación puede aumentarse (y, por lo tanto, la precisión puede aumentarse) utilizando un código de correlación más largo (el cual da como resultado un tiempo  $t_s$  más largo que la señal presente). Esto se puede lograr extendiendo el patrón de bits de una transmisión única (es decir, aumentando el número de bits en el patrón de bits), y/o usando pares de transmisión/respuestas múltiples en la medición del tiempo de vuelo. También se ha encontrado que tanto un código más largo como múltiples pares de transmisión/respuesta ayudan a sincronizar los relojes de ambos dispositivos.

15 Claramente, la longitud del patrón de código transmitido como parte del procedimiento ToF tiene un impacto sobre el uso de energía de los dispositivos 12, 14, especialmente en el lado de transmisión debido al requerimiento de transmitir una señal más larga. El número de pares de transmisión/respuesta necesarios para realizar una medición de distancia con base en ToF también afecta directamente el uso de energía ya que cada par adicional de transmisión/respuesta da como resultado un gasto de energía adicional.

20 No es deseable hacer una sola transmisión demasiado larga, ya que es menos probable que se reciba una buena señal en el otro dispositivo en presencia de perturbaciones intermitentes de la señal. Tampoco es deseable aumentar el número de pares de transmisión/respuesta a un número muy grande porque cada par de transmisión/respuesta requiere tiempo adicional entre los pares, lo que hace que el período para la medición de distancia con base en ToF sea demasiado largo.

25 Por lo tanto, de acuerdo con la invención, la longitud de la señal de código predefinida y/o el número de pares de transmisión/respuesta (es decir, el número de veces que uno de los dispositivos transmite la señal de código predefinida al otro dispositivo y recibe la señal de respuesta predefinida del otro dispositivo) está adaptada para alcanzar un nivel de precisión deseado para la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo.

30 La Figura 3 ilustra un método para medir la distancia entre un primer dispositivo 12 y un segundo dispositivo 14 de acuerdo con la invención. En un primera etapa, etapa 101, se determina el nivel de precisión requerido para la medición de distancia.

35 Como se describe con más detalle a continuación, donde la medición de distancia con base en ToF se usa para determinar la posición de un primer dispositivo 12 con respecto a una ubicación particular, tal como el límite de una zona segura, el nivel requerido de precisión puede determinarse a partir de una estimación inicial de la posición del primer dispositivo 12 o una estimación inicial de la distancia entre el primer dispositivo 12 y el segundo dispositivo 14.

40 Por ejemplo, si la estimación inicial de la posición o distancia indica que el primer dispositivo 12 está cerca del límite de la zona segura (o dentro del rango del límite que está dentro del margen de error para la estimación inicial de la posición o distancia), puede requerirse un mayor nivel de precisión para aclarar cuál lado del límite es el primer dispositivo 12 que cuando la estimación inicial coloca el primer dispositivo 12 fuera del límite. En algunos casos, la estimación inicial de la distancia entre el primer dispositivo 12 y el segundo dispositivo 14 se basa en una medición de intensidad de la señal (por ejemplo, RSSI) y en otros casos la estimación inicial de la distancia puede basarse en una medición de ToF usando valores por defecto para la longitud de la señal de código y/o el número de pares de transmisión/respuesta. En aún casos adicionales, la estimación inicial de la posición o distancia puede determinarse usando otro tipo de técnica de estimación de distancia o posición, tal como la triangulación de la estación base celular o una medición del sistema de posicionamiento por satélite de baja precisión.

50 Una vez que se ha determinado el nivel de precisión requerido para la medición de distancia, se usa el nivel requerido de precisión para seleccionar la longitud de la señal de código que se utilizará en la medición de tiempo de vuelo y/o el número de veces se obtiene una medición de tiempo de vuelo para determinar la distancia (por ejemplo, el número de pares de transmisión/respuesta requeridos para ser enviados), y el procedimiento de medición de distancia con base en el tiempo de vuelo se realiza utilizando la señal de código del longitud seleccionada con el número seleccionado de pares de transmisión/respuesta (etapa 103). En algunas realizaciones, como se describe en más detalle a continuación, se puede usar un número predeterminado de pares de transmisión/respuesta (mediciones de tiempo de vuelo) con una señal de código de una longitud seleccionada para proporcionar una medición inicial de la distancia, y una decisión se puede considerar si es necesario adquirir más mediciones de tiempo de vuelo utilizando más pares de transmisión/respuesta para mejorar la precisión de la medición.

60 En general, cuanto mayor es el nivel de precisión requerido, más larga es la señal de código utilizada (es decir, la señal de código incluye más bits que cuando es aceptable una menor precisión) y/o se requieren más pares de transmisión/respuesta.

65

En un ejemplo, la medición de distancia debe ser precisa dentro de los 10 metros. El SNR es un valor que depende de la intensidad real de la señal recibida con respecto a la cantidad de ruido en el entorno. El SNR se puede estimar midiendo el RSSI cuando la señal del segundo dispositivo 14 está presente y también midiendo RSSI cuando la señal del segundo dispositivo 14 no está presente. La relación entre estos dos RSSI proporciona la estimación inicial para el SNR.

Al asumir que una estimación inicial del SNR es 20dB, entonces con  $B = 25\text{kHz}$  y una precisión requerida de 10m, la ecuación (2) proporciona que  $t_s B \cdot \text{SNR}$  debe ser mayor que 36450. Un SNR de 20 dB es el mismo que el factor 100 para el SNR, entonces  $t_s \cdot 25000 \cdot 100 > 36450$ , lo que resulta en  $t_s > 14,6$  milisegundos.

Con esta estimación inicial de 14.6 milisegundos, se puede crear un patrón de bits que incluye información codificada tal como el ID del dispositivo de envío y una marca de tiempo que cubre la cantidad de tiempo especificada con suficiente contenido de información. Como el SNR es solo una estimación inicial, en la práctica puede no ser lo suficientemente preciso como para obtener la estimación de la longitud de la señal inmediatamente. Por lo tanto, se pueden realizar diversas iteraciones con este patrón hasta que la variación estadística recibida de las iteraciones muestre que se ha obtenido una estimación válida. Se notará que la precisión mejora con la raíz cuadrada del número de iteraciones.

Las Figuras 4 y 5 ilustran métodos de ejemplo para hacer funcionar los primero y segundo dispositivos 12, 14 respectivamente, para realizar y usar mediciones de tiempo de vuelo para determinar si el primer dispositivo 12 está dentro de una zona segura predeterminada para el usuario. En estas realizaciones, el primer dispositivo 12 es un dispositivo llevado por el usuario o que se mueve con el usuario y el segundo dispositivo 14 es una unidad base que está en una ubicación fija. La zona segura corresponde a un círculo centrado en la unidad 14 base que tiene un radio fijo (por ejemplo, 15 metros cuando la unidad 14 base está ubicada en el hogar del usuario).

En esta realización, la intensidad de una señal recibida en uno de los dispositivos 12, 14 a partir del otro dispositivo 12, 14 se usa para proporcionar la indicación de la precisión requerida para la medición de distancia con base en ToF.

En una primera etapa, la etapa 201, el primer dispositivo 12 recibe una señal del segundo dispositivo 14 usando el circuito 18 transceptor y la antena 20. Esta señal es transmitida por la antena 30 y el circuito 28 transceptor en el segundo dispositivo 14 (etapa 231 en la Figura 5) y puede incluir un campo de datos que indica la potencia de transmisión del segundo dispositivo 14. El segundo dispositivo 14 puede transmitir esta señal periódicamente o con frecuencia, por ejemplo cada 0.5 segundos.

Después de recibir la señal, la unidad 16 de procesamiento en el primer dispositivo 12 mide la intensidad de señal (por ejemplo, el RSSI) de la señal recibida (etapa 203) y selecciona una longitud de señal de código con base en la intensidad de señal para usar en el procedimiento de medición de distancia (etapa 205). En algunas realizaciones donde solo dos longitudes de código están disponibles (por ejemplo, un código corto y largo), el código corto se selecciona cuando la intensidad de señal medida (o un SNR derivado de la intensidad de señal medida) está por encima de un valor umbral (es decir, menor precisión aceptable) y el código largo se selecciona cuando la intensidad de señal medida (o un SNR derivado de la intensidad de señal medida) está por debajo del valor umbral (es decir, se desea una mayor precisión). En otras realizaciones, pueden estar disponibles más de dos longitudes de código con los valores de umbral correspondientes. En algunas realizaciones, la secuencia de código puede ser un patrón pseudoaleatorio el cual puede generarse a la longitud requerida de acuerdo como se requiera, a la vez que en otras realizaciones las secuencias de código pueden determinarse y almacenarse en una memoria.

En realizaciones posteriores, por ejemplo como se describe con referencia a la Figura 10, la intensidad de señal medida también es utilizada por la unidad 16 de procesamiento en el primer dispositivo 12 para realizar una medición inicial de la distancia entre el primer dispositivo 12 y el segundo dispositivo 14.

Después de determinar la longitud del código, el primer dispositivo 12 transmite una indicación de la longitud del código seleccionado y la intensidad de la señal medida (por ejemplo, RSSI) al segundo dispositivo 14 (etapa 207) usando el circuito 18 transceptor y la antena 20.

Al recibir la indicación de la longitud del código seleccionado y la intensidad de señal medida del primer dispositivo 12 por el circuito 28 transceptor y la antena 30 (etapa 233 de la Figura 5), el segundo dispositivo 14 inicia el procedimiento de medición de distancia transmitiendo una señal que comprende la señal de código seleccionada al primer dispositivo 12 que usa el circuito 28 transceptor y la antena 30 (etapa 235 de la Figura 5). La señal transmitida puede comprender solo la señal de código seleccionada, o puede comprender información adicional tal como la intensidad de señal (por ejemplo, RSSI) de señales recibidas en el segundo dispositivo 14 a partir del primer dispositivo 12 y/o un identificador único para la señal transmitida. En una realización de ejemplo, la señal transmitida tiene un tamaño de cinco bytes más el preámbulo que es suficiente para la señal de código seleccionada, el RSSI y el identificador de señal, y la señal se modula a una velocidad de 4.8 kbps, lo cual significa que la señal no dura más de 1ms.

Al recibir la señal del segundo dispositivo 14 (etapa 209 en la Figura 4), el primer dispositivo 12 responde transmitiendo una señal de respuesta al segundo dispositivo 14 (etapa 211). La unidad 16 de procesamiento controla el circuito 18 transceptor para transmitir la señal de respuesta un tiempo predeterminado después de recibir la señal del segundo dispositivo 14 (lo cual puede definirse en términos de un número predeterminado de ciclos de reloj de la unidad 16 de procesamiento en el primer dispositivo 12). La señal de respuesta transmitida por el primer dispositivo 12 puede ser la misma señal que la señal predefinida transmitida por el segundo dispositivo 14, o puede ser otra señal predefinida que es reconocible por el segundo dispositivo 14. En algunas realizaciones, cada dispositivo 12, 14 puede incluir su identidad en la señal de señal/respuesta de código. En algunas realizaciones, cada dispositivo 12, 14 puede incluir una indicación de la intensidad de señal recibida en su lado en la señal/señal de respuesta de código de manera que ambos dispositivos sean conscientes de la cantidad de interferencia en su lado del sistema.

Cuando el segundo dispositivo 14 recibe la señal de respuesta del primer dispositivo 12 (etapa 237 en la Figura 5), la unidad 26 de procesamiento en el segundo dispositivo 14 calcula el tiempo de vuelo para la señal recibida (etapa 239). Es decir, la unidad 26 de procesamiento calcula el tiempo transcurrido a partir de la transmisión de la señal en la etapa 235 hasta la recepción de la señal de respuesta a partir del primer dispositivo 12 en la etapa 237 y resta el período de tiempo predeterminado que el primer dispositivo 12 espera antes de enviar la señal de respuesta en la etapa 211. En la etapa 237, la unidad 26 de procesamiento correlaciona la señal recibida con el patrón conocido que se espera en la señal de código del primer dispositivo 12, y desplaza el patrón en el tiempo hasta que se obtiene la correlación más alta. El punto en el cual se obtiene la correlación más alta proporciona el tiempo de recepción de la señal recibida. La precisión del tiempo de recepción depende del número de bordes en el patrón. El uso de un patrón pseudoaleatorio es ventajoso aquí ya que el patrón es único, por lo que es poco probable que ocurra debido a la interferencia, y al mismo tiempo contiene una gran cantidad de bordes con los que se puede hacer la correlación.

En forma de ecuación:

$$t_{ToF} = t_2 - t_1 - t_w \quad (3)$$

donde  $t_{ToF}$  es el tiempo de vuelo,  $t_2$  es el tiempo en el cual se recibe la señal de respuesta en el segundo dispositivo 14,  $t_1$  es el momento en el cual se transmite la señal que comprende la señal de código y  $t_w$  es el período de tiempo predeterminado entre el primer dispositivo 12 que recibe la señal que comprende la señal de código y la transmisión de la señal de respuesta.

Después de calcular el tiempo de vuelo, la unidad 26 de procesamiento determina si se ha realizado un número suficiente de mediciones de tiempo de vuelo para calcular la distancia entre el primer dispositivo 12 y el segundo dispositivo 14 (etapa 241). En algunas realizaciones, una sola medición de tiempo de vuelo es suficiente, pero en otras realizaciones, se necesita tomar una pluralidad de mediciones de tiempo de vuelo. La cantidad de mediciones requeridas puede ser un valor predeterminado o inicial. En algunas realizaciones, el número inicial de mediciones realizadas puede ser 10, lo que proporciona una mejora del factor 3 en la precisión y una estimación estadística razonable de la varianza.

Si se determina que aún no se han tomado suficientes mediciones del tiempo de vuelo, el método vuelve a la etapa 235 en la cual el segundo dispositivo 14 transmite otra señal que comprende el código seleccionado al primer dispositivo 12.

Si se determina en la etapa 241 que se han tomado suficientes mediciones de tiempo de vuelo para determinar la distancia entre el primer dispositivo 12 y el segundo dispositivo 14, el método se mueve a la etapa 243 en la cual la unidad 26 de procesamiento calcula la distancia entre el primer dispositivo 12 y el segundo dispositivo 14 a partir de la media de las mediciones de tiempo de vuelo. La distancia viene dada por:

$$d = \left[ \left( \sum_{n=1}^N t_{ToF}(n) \right) / N \right] * \frac{c}{2} \quad (4)$$

donde  $d$  es la distancia,  $N$  es el número de mediciones de tiempo de vuelo realizadas,  $t_{ToF}(n)$  es la  $n$ -ésima medición del tiempo de vuelo y  $c$  es la velocidad de la luz.

La unidad 26 de procesamiento también determina la incertidumbre en las mediciones de tiempo de vuelo en la etapa 241. La incertidumbre puede calcularse usando:

$$\text{varianza} = \sqrt{\sum_{n=1}^N ((t_{ToF} - \text{promedio}(t_{ToF}))^2)} \quad (5)$$

donde promedio( $t_{\text{TOF}}$ ) es el promedio de las mediciones de tiempo de vuelo.

La distancia e incertidumbre calculadas se transmiten al primer dispositivo 12 (etapa 245).

5 Al recibir la distancia y la incertidumbre (etapa 213), la unidad 16 de procesamiento en el primer dispositivo 12 determina si sería útil obtener mediciones de tiempo de vuelo adicionales con el fin de mejorar la precisión de la medición de distancia. En particular, la unidad 16 de procesamiento determina si la incertidumbre en la medición de distancia significa que no está claro si el usuario está en la zona segura o no. Se apreciará que la incertidumbre en la medición de distancia significa que la distancia real,  $d_{\text{real}}$ , a partir del primer dispositivo 12 al segundo dispositivo 10 14 está en cualquier lugar dentro del rango  $[d - u, d + u]$ , donde  $u$  es la incertidumbre en la medición  $d$  de la distancia.

15 Las Figuras 6, 7 y 8 ilustran tres escenarios diferentes donde una zona 40 segura de radio  $R_z$  está centrada en el segundo dispositivo 14. En la Figura 6, el usuario 2 que está portando el primer dispositivo 12 ha sido determinado por el segundo dispositivo 14 a estar a una distancia  $d_A$  a partir del segundo dispositivo 14 con una incertidumbre en la medición de distancia de  $u_A$ . Esta incertidumbre en la medición de distancia significa que el usuario 2 y el primer dispositivo 12 podrían ser cualquier distancia entre  $d_A - u_A$  y  $d_A + u_A$  a partir del segundo dispositivo 14, la cual está indicada por el círculo 42 que está centrado en el primer dispositivo 12. En este caso,  $d_A + u_A < R_z$  así que está claro que a pesar de la incertidumbre en la medición de distancia, el usuario 2 y el primer dispositivo 12 están dentro de la zona 40 segura.

Sin embargo, en la Figura 7, el usuario 2 y el primer dispositivo 12 están mucho más cerca del límite de la zona 40 segura (y/o la incertidumbre en la medición de distancia es mayor).

25 La distancia entre el primer dispositivo 12 y el segundo dispositivo 14 es  $d_B$  (con  $d_B < R_z$ ) la cual coloca al usuario 2 y al primer dispositivo 12 dentro de la zona 40 segura. Sin embargo, la incertidumbre en la medición es  $u_B$  (indicada por el círculo 44 centrado en el primer dispositivo 12) y  $d_B + u_B > R_z$ , por lo que no es concluyente si el usuario 2 y el primer dispositivo 12 están en la zona segura o no.

30 En la Figura 8, el usuario 2 y el primer dispositivo 12 están de nuevo cerca del límite de la zona 40 segura, pero en este caso la medición  $d_C$  de distancia entre el primer dispositivo 12 y el segundo dispositivo 14 (con  $d_C > R_z$ ) coloca al usuario 2 y primer dispositivo 12 fuera de la zona 40 segura. Sin embargo, la incertidumbre en la medición es  $u_C$  (indicada por el círculo 46 centrado en el primer dispositivo 12) y  $d_C - u_C < R_z$ , por lo que no es concluyente si el usuario 2 y el primer dispositivo 12 están fuera de la zona segura o no.

35 Volviendo a la Figura 4, en la etapa 215, la unidad 16 de procesamiento del primer dispositivo 12 determina si cualquiera de los siguientes criterios es verdadero:

40 
$$d + u < R \quad (6)$$

$$d - u > R \quad (7)$$

donde  $R$  es el radio predefinido de la zona segura.

45 Si uno o ambos de estos criterios son verdaderos, en la etapa 217 la unidad 16 de procesamiento genera la medición de distancia y/o una indicación de si el primer dispositivo 12 está dentro o fuera de la zona segura (de acuerdo como corresponda con base en una comparación de la medición  $d$  de distancia al radio de la zona  $R$  segura).

50 Si ninguno de los criterios es verdadero (es decir, se aplica uno de los escenarios de las Figuras 7 y 8), es necesario realizar más mediciones de tiempo de vuelo para tratar de reducir la incertidumbre en las mediciones y producir una medición de distancia segura. Por ejemplo, si en el escenario de la Figura 7 la incertidumbre en las mediciones podría reducirse a  $u_B'$  donde  $d_B + u_B' < R_z$  (indicado por el círculo 48 en la Figura 7) o en el escenario de la Figura 8 la incertidumbre en las mediciones podría reducirse a  $u_C'$  donde  $d_C - u_C' > R_z$  (indicado por el círculo 50 en la Figura 9) entonces sería posible emitir una medición de distancia o indicación de que el primer dispositivo 12 está o no en la zona 40 segura.

60 De este modo, el primer dispositivo 12 envía una solicitud al segundo dispositivo 14 en la etapa 219 para solicitar un conjunto adicional de mediciones de tiempo de vuelo y vuelve a la etapa 209 para esperar la recepción de una señal del segundo dispositivo 14 que comprende el código.

En el segundo dispositivo 14, si el primer dispositivo 12 solicita mediciones de tiempo de vuelo adicionales (etapa 247 en la Figura 5), el método vuelve a la etapa 235 y transmite una señal que comprende el código. Si no se solicitan más mediciones de tiempo de vuelo, el método finaliza en el segundo dispositivo 14 (etapa 249).

65

Una vez que se han realizado las mediciones de tiempo de vuelo adicionales, la distancia y la incertidumbre se vuelven a calcular mediante el segundo dispositivo 14 (etapa 243) y la salida de decisión por el primer dispositivo (en la etapa 217) si se satisfacen uno o ambos de los criterios en la etapa 215, o se requieren otras mediciones (etapa 219) si no se satisfacen los criterios de la etapa 215.

Aunque no se muestra en las Figuras 4 y 5, cuando se requieren mediciones de tiempo de vuelo adicionales en la etapa 219 para mejorar la precisión de la medición de distancia, también es posible que las mediciones de tiempo de vuelo adicionales se realizarán usando señales de transmisión y respuesta que usan señales de código más largas que el conjunto inicial de mediciones de tiempo de vuelo. El uso de una señal de código más larga es posible independientemente de si se seleccionó una señal de código corta o larga en la etapa 205 del método de la Figura 4.

Como se indicó anteriormente, las Figuras 4 y 5 muestran una implementación de ejemplo de un procedimiento de medición de tiempo de vuelo de acuerdo con la invención entre dos dispositivos 12, 14. Sin embargo, se apreciará que diversas etapas que se muestran en las Figuras 4 y 5 como se realizan por un dispositivo particular 12, 14 pueden implementarse en el otro dispositivo en implementaciones alternativas.

Por ejemplo, en algunas implementaciones, la cantidad de procesamiento realizado por el primer dispositivo 12 (que puede ser un dispositivo de usuario portátil alimentado por batería) se puede minimizar teniendo etapas tales como la etapa 205 (seleccionando la longitud del código) y las etapas 215 -219 (que determina si se requieren mediciones de tiempo de vuelo adicionales y el envío de una señal solicitando esas mediciones) realizadas por el segundo dispositivo 14 (el cual puede ser una unidad base que está conectada a una fuente de alimentación principal). En este caso, el segundo dispositivo 14 seleccionaría la longitud del código con base en la intensidad de la señal medida en el primer dispositivo 12 (y la cual se informa por el primer dispositivo 12 al segundo dispositivo 14) y transmite la indicación del código seleccionado al primer dispositivo 12. Alternativamente o adicionalmente, el segundo dispositivo 14 puede proporcionar la salida que indica la medición de distancia o si el primer dispositivo 12 está dentro o fuera de la zona segura.

En otro ejemplo, las etapas de procesamiento pueden realizarse en el primer dispositivo 12 (por ejemplo, si el primer dispositivo 12 es un teléfono inteligente u otro dispositivo que incluye una unidad 16 de procesamiento suficientemente potente), la cual puede reducir la complejidad del segundo dispositivo 14. En este caso, el primer dispositivo 12 puede iniciar la medición del tiempo de vuelo transmitiendo la primera señal que comprende la señal de código seleccionada y puede calcular el tiempo de vuelo (por ejemplo, como en la etapa 239), y/o el primer dispositivo 12 puede calcular la distancia y la incertidumbre de las mediciones de ToF (por ejemplo, como en la etapa 243).

Los expertos en la técnica apreciarán que existen otras formas en las cuales las etapas del método se pueden distribuir entre los primer y segundo dispositivos 12, 14 para realizar el procedimiento de medición del tiempo de vuelo de acuerdo con la invención.

Se ha encontrado que una desventaja de realizar mediciones de tiempo de vuelo usando señales de banda estrecha (por ejemplo, en o alrededor de una frecuencia de 900 MHz) es que las señales transmitidas entre el primer y el segundo dispositivos 12, 14 pueden reflejar objetos intermedios con el resultado de que el dispositivo 12, 14 receptor puede reaccionar a un componente reflejado de la señal en lugar de a la señal que tomó la ruta más corta (por ejemplo, directa) (siendo la reacción la transmisión de la señal de respuesta o la medición del tiempo de vuelo). Esto es particularmente un problema donde el primer componente recibido de la señal no es el componente recibido más fuerte de la señal.

Por lo tanto, para tratar con esta multi-ruta, preferiblemente el segundo dispositivo 14 está provisto de un receptor de rastrillo (por ejemplo, una radio definida por software que implementa un receptor de rastrillo u otro tipo de receptor correlativo que permite la detección de la misma secuencia de código en diferentes puntos en el tiempo). El uso de un receptor de rastrillo en el segundo dispositivo 14 es en general aceptable cuando es una unidad base y está alimentado por la red, a diferencia del dispositivo gastado que funciona con baterías. El receptor de rastrillo permite la detección de la señal "más temprana" recibida a partir del primer dispositivo 12 en el segundo dispositivo 14 y la señal más fuerte. La presencia de un retraso de tiempo entre la recepción de la señal más temprana y la señal más fuerte es una indicación de una fuerte reflexión en la ruta entre el primer dispositivo 12 y el segundo dispositivo 14. Como el primer dispositivo 12 es típicamente un dispositivo portátil y comprende un simple transceptor 18 de radio y antena 20, no puede detectar fácilmente esta multi-ruta y es posible que el primer dispositivo 12 pueda transmitir la señal de respuesta que comprende la señal de código seleccionada en respuesta a un componente reflejado de la señal en lugar del componente directo. Por lo tanto, cuando se calcula el tiempo de vuelo, el segundo dispositivo 14 no sabe si el primer dispositivo 12 reaccionó a la señal directa o a un reflejo.

Por lo tanto, en realizaciones de la invención, el segundo dispositivo 14 lleva a cabo el método que se muestra en la Figura 9 para determinar si el primer dispositivo 12 respondió a un componente directo de la señal o un reflejo. Se apreciará que este método se puede realizar después de recibir una señal de respuesta del primer dispositivo (por ejemplo, siguiendo la etapa 237 en la Figura 5).

En una primera etapa, etapa 301, el segundo dispositivo 14 recibe una indicación de la potencia utilizada por el primer dispositivo 12 para transmitir la señal de respuesta y una indicación de la intensidad de las señales del segundo dispositivo 14 tal como se recibió en el primer dispositivo 12.

5 En la siguiente etapa, etapa 303, el segundo dispositivo 14 mide la intensidad de la señal recibida a partir del primer dispositivo 12. Esta medición se realiza preferiblemente en la señal de respuesta recibida en la etapa 237.

10 Luego, en la etapa 305, el segundo dispositivo 14 estima si la señal recibida en la etapa 237 se transmitió en respuesta a recibir una señal directa o una señal reflejada usando las indicaciones de las intensidades de señal recibidas en el primer dispositivo 12 y el segundo dispositivo 14 y las potencias de transmisión conocidas del primer dispositivo 12 y del segundo dispositivo 14.

15 En la etapa 305, se supone que las rutas seguidas tanto por la componente directa de la señal como por una componente reflejada son bidireccionales, es decir, el primer dispositivo 12 transmite al segundo dispositivo 14 a través de la ruta directa y la ruta reflejada y el segundo dispositivo 14 transmite al primer dispositivo 12 a través de la ruta directa y la ruta reflejada.

20 En las realizaciones anteriores, el primer dispositivo 12 (es decir, el dispositivo que se lleva puesto o que lleva el usuario) no tiene la potencia de procesamiento para identificar cuál es la ruta directa y cuál es la ruta reflejada. En cambio, el primer dispositivo 12 simplemente reacciona (para enviar la señal de respuesta) cuando recibe una señal con una fuerza suficiente (la cual puede ser a partir de la ruta directa o la ruta reflejada).

25 El segundo dispositivo 14 (la estación base) determina en la etapa 305 qué ruta es la que correlaciona las señales y luego utiliza la información sobre la intensidad a la cual llegó la ruta directa ( $P_{directa}$ ) y a qué intensidad llegó la ruta reflejada ( $P_{reflejada}$ ). El segundo dispositivo 14 es consciente de la potencia ( $P_{primerdispositivo}$ ) de transmisión del primer dispositivo 12 a partir de la información recibida en la etapa 301.

La atenuación relativa a través de las trayectorias directa y reflejada viene dada por:

30 
$$\text{atenuación}_{directa} = \frac{P_{directa}}{P_{primerdispositivo}} \quad (8)$$

$$\text{atenuación}_{reflejada} = \frac{P_{reflejada}}{P_{primerdispositivo}} \quad (9)$$

35 De este modo, el segundo dispositivo 14 puede calcular la intensidad de la señal a la cual la señal directa y la señal reflejada llegarán al primer dispositivo 12 usando:

$$R_{directo} = P_{segundodispositivo} \frac{P_{directo}}{P_{primerdispositivo}} \quad (10)$$

40 
$$R_{reflejado} = P_{segundodispositivo} \frac{P_{reflejado}}{P_{primerdispositivo}} \quad (11)$$

donde  $P_{segundodispositivo}$  es la potencia de transmisión del segundo dispositivo 14.

45 Como el segundo dispositivo 14 también conoce la sensibilidad del primer dispositivo 12 y la intensidad de la señal recibida (por ejemplo, RSSI) en el primer dispositivo 12, el segundo dispositivo 14 puede verificar si la señal directa está más cerca de la fuerza esperada de la ruta directa o de la ruta reflejada. Si la señal directa está por debajo de la sensibilidad del primer dispositivo 12 (es decir, el primer dispositivo 12 no puede recibir y/o reaccionar a la señal directa), entonces el segundo dispositivo 14 puede determinar que el primer dispositivo 12 reaccionó a la señal reflejada más fuerte. Si la señal directa está por encima de la sensibilidad del primer dispositivo 12, entonces la aproximación más cercana de la intensidad de la señal (por ejemplo, RSSI) se toma como el candidato más probable para activar la señal de respuesta del primer dispositivo 12.

55 En la etapa 307, si se determina que el primer dispositivo 12 sí respondió a una señal directa, el método vuelve a la etapa 239 de la Figura 5 (etapa 309 en la Figura 9) y se calcula el tiempo de vuelo.

60 Si se determina que el primer dispositivo 12 respondió a una señal reflejada, el segundo dispositivo 14 calcula la medición de tiempo de vuelo con base en la diferencia de tiempo entre las señales directa y reflejada de acuerdo con lo indicado por las señales directas y reflejadas recibidas por el receptor de rastrillo en el segundo dispositivo 14 (etapa 311). El segundo dispositivo 14 usa el receptor de rastrillo para seleccionar el componente directo de la señal como la señal recibida y usa el tiempo de llegada de ese pico en el cálculo del tiempo de vuelo. Por lo tanto, el tiempo de vuelo puede estar dado por:

$$t_{ToF} = t_{2d} - t_1 - t_w - t_r \quad (12)$$

donde  $t_{ToF}$  es el tiempo de vuelo,  $t_{2d}$  es el tiempo en el cual se recibe la señal de respuesta directa en el segundo dispositivo 14,  $t_1$  es el momento en el cual la señal que comprende el la señal de código es transmitida por el segundo dispositivo 14,  $t_w$  es el período de tiempo predeterminado entre el primer dispositivo 12 que recibe la señal que comprende la señal de código y que transmite la señal de respuesta y  $t_r$  es la diferencia de tiempo entre las señales directa y reflejada.

Después de calcular el tiempo de vuelo, el método vuelve a la etapa 241 en la Figura 5 (etapa 313 de la Figura 9).

En una etapa opcional, el segundo dispositivo 14 puede intentar verificar que el primer dispositivo 12 reaccionó a una señal reflejada más fuerte disminuyendo la potencia utilizada por el segundo dispositivo 14 para transmitir señales al primer dispositivo 12 (etapa 315). Disminuir de manera suficiente la potencia de transmisión debería significar que el primer dispositivo 12 ya no puede recibir la señal directa y reaccionará cada vez a la señal reflejada. En ese caso, la corrección  $t_r$  se puede aplicar a cada medición de tiempo de vuelo hasta que se resuelva la situación de múltiples rutas.

La Figura 10 es un diagrama de flujo que ilustra un método para hacer funcionar un dispositivo de usuario para determinar la ubicación de un usuario de acuerdo con una realización adicional de la invención. En esta realización, la invención se implementa en un sistema de rastreo personal, siendo el primer dispositivo 12 un dispositivo de usuario portátil y el segundo dispositivo 14 es una unidad base. El sistema de rastreo personal define una zona segura para el usuario que se extiende a una distancia predeterminada de la unidad base.

En el sistema de rastreo personal, el dispositivo 12 de usuario utiliza principalmente una medición con base en la intensidad de la señal recibida para determinar la distancia entre el dispositivo 12 de usuario y la unidad 14 base. Siempre que esta medición indique que el dispositivo 12 de usuario está dentro de la zona segura, no se requiere más medición de distancia. Sin embargo, si la medición no es concluyente (es decir, la medición sugiere que el dispositivo 12 de usuario está fuera de la zona segura, aunque es posible que el usuario proteja el dispositivo 12 de la unidad 14 base) entonces se realiza una medición de distancia adicional usando el tiempo de vuelo.

Así, la unidad 14 base puede configurarse para transmitir o difundir regularmente una señal (por ejemplo, cada 0.5 segundos o 1 segundo para que el dispositivo 12 de usuario pueda detectar rápidamente cuando el usuario abandona la zona segura) que el dispositivo del usuario 12 puede monitorizar. La señal transmitida puede incluir un campo de datos que indica la potencia de transmisión de la unidad 14 base.

En la primera etapa del método, etapa 401, el dispositivo 12 de usuario recibe la señal de la unidad 14 base.

En la etapa 403, el dispositivo 12 de usuario mide la intensidad de la señal (por ejemplo, el RSSI) de la señal recibida.

La intensidad de señal medida se compara con un valor umbral en la etapa 405. Si la intensidad de señal es mayor que el valor umbral, entonces se determina que el dispositivo 12 de usuario está dentro de la zona segura (etapa 407). El valor de umbral define de manera efectiva el radio de la zona segura y debe definirse en un valor apropiado para el radio deseado.

Si la intensidad de la señal es menor que el valor umbral, entonces es posible que el dispositivo 12 de usuario esté fuera de la zona segura, o alternativamente que la señal recibida en el dispositivo 12 de usuario haya sido atenuada pasando a través del cuerpo del usuario, y/u otros objetos o paredes en el ambiente. De cualquier manera, no es posible concluir a partir de la medición de la intensidad de la señal donde se encuentra el dispositivo 12 de usuario, y se debe tomar una medición de distancia por separado. De este modo, el dispositivo 12 de usuario envía una señal a la unidad 14 base solicitando una medición de distancia con base en el tiempo de vuelo (etapa 409).

En la etapa 411, se realiza el procedimiento de medición del tiempo de vuelo. Este procedimiento se realiza como se describió anteriormente con referencia a las Figuras 3-5. Es decir, la etapa 411 comprende operar el dispositivo 12 de usuario de acuerdo con el método de la Figura 4 (o una variante como se describió anteriormente) y operar la unidad 14 base de acuerdo con el método de la Figura 5 (o una variante como se describió anteriormente).

El resultado del procedimiento de medición de tiempo de vuelo se recibe a partir de la unidad 14 base en la etapa 413 y el resultado se evalúa en la etapa 415. Si la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo indica que el dispositivo 12 de usuario está fuera la zona segura el método se mueve a la etapa 417 en la cual se activa una alarma (por ejemplo, para convocar ayuda al usuario a la vez que está vagando) y/u otro sistema de determinación de ubicación (como un sistema de posicionamiento con base en satélite, por ejemplo, GPS) para determinar con más precisión y rastrear la ubicación del usuario a la vez que están fuera de la zona segura.

Si la medición de tiempo de vuelo indica que el dispositivo 12 de usuario está en la zona segura, entonces el dispositivo 12 de usuario registra su estado actual como dentro de la zona segura pero con una orientación o posición que afecta la intensidad de señal recibida. El dispositivo 12 de usuario reanuda entonces la monitorización

de las señales transmitidas o difundidas regularmente por la unidad base y midiendo la intensidad de la señal (etapas 419 y 421).

5 El dispositivo 12 de usuario monitoriza la intensidad de la señal medida para cambios que indican si las condiciones de la señal están mejorando (por ejemplo, indicando que la orientación está mejorando y/o el usuario se ha movido de tal manera que hay menos objetos y/o paredes oscureciendo la señal a partir de la unidad 14 base) o empeorando (por ejemplo, indicando que potencialmente el dispositivo 12 de usuario se ha movido ahora fuera de la zona segura). En particular, el dispositivo 12 de usuario compara la intensidad de señal medida en la etapa 421 después de la medición del tiempo de vuelo con la intensidad de señal medida en la etapa 403 antes de la medición del tiempo de vuelo (etapa 423).

15 Si la intensidad de señal es ahora menor que en la etapa 403, es decir, la intensidad de señal ha disminuido indicando que el dispositivo 12 de usuario está potencialmente fuera de la zona segura, el método vuelve a la etapa 409 y solicita otra medición de distancia del tiempo de vuelo. Después de esa medición, la siguiente iteración de la etapa 423 compara la nueva intensidad de señal medida en la última iteración de la etapa 421 con la iteración previa de la etapa 421. Se apreciará que para impedir realizar actualizaciones de manera continua cada vez que hay un ligero cambio en la intensidad de la señal, se puede aplicar un umbral mínimo para que las actualizaciones solo se activen si el cambio es mayor que este mínimo.

20 Si en la etapa 423 la intensidad de señal medida en la etapa 423 es superior a la intensidad de señal medida en la etapa 403 (es decir, la intensidad de señal ha aumentado) entonces el método vuelve a la etapa 405 y se determina cómo se compara la nueva intensidad de señal con el umbral de intensidad de la señal.

25 Como con los métodos que se muestran en las Figuras 4 y 5, el método que se muestra en la Figura 10 es de ejemplo, y son posibles implementaciones alternativas del método en el cual las etapas de procesamiento se asignan de manera diferente entre el dispositivo 12 de usuario y la unidad 14 base a la asignación que se muestra en la Figura 10.

30 Por lo tanto, se proporciona una técnica mejorada para realizar una medición de distancia de tiempo de vuelo que puede proporcionar una medición de distancia hasta un nivel deseado de precisión a la vez que se minimiza el consumo de potencia. También se proporciona una técnica para usar en un sistema de rastreo personal que determina si un usuario se encuentra dentro de una zona segura predeterminada.

35 Aunque la invención se ha ilustrado y descrito en detalle en los dibujos y en la descripción anterior, dicha ilustración y descripción se deben considerar ilustrativas o de ejemplo y no restrictivas; la invención no está limitada a las realizaciones descritas.

40 Las variaciones a las realizaciones descritas pueden ser entendidas y efectuadas por los expertos en la técnica en la práctica de la invención reivindicada, a partir de un estudio de los dibujos, la divulgación, y las reivindicaciones adjuntas. En las reivindicaciones, la palabra "que comprende" no excluye otros elementos o etapas, y el artículo indefinido "un" o "una" no excluye una pluralidad. Un solo procesador u otra unidad puede cumplir las funciones de diversos elementos enumerados en las reivindicaciones. El mero hecho de que se enumeren ciertas medidas en reivindicaciones dependientes mutuamente diferentes no indica que una combinación de estas medidas no se pueda utilizar con ventaja. Un programa informático puede almacenarse/distribuirse en un medio adecuado, como un medio de almacenamiento óptico o un medio de estado sólido suministrado junto con o como parte de otro hardware, pero también puede distribuirse en otras formas, como a través de Internet u otros sistemas de telecomunicación cableados o inalámbricos. Cualquier signo de referencia en las reivindicaciones no debe interpretarse como una limitación del alcance.

**REIVINDICACIONES**

5 1. Un sistema (10) que comprende un primer dispositivo (12) y un segundo dispositivo (14), estando configurado el primer dispositivo (12) y el segundo dispositivo (14) para realizar una medición de distancia con base en el tiempo de vuelo para medir la distancia entre el primer dispositivo (12) y el segundo dispositivo (14), en donde la longitud de las señales transmitidas durante la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo está determinada de acuerdo con un nivel de precisión requerido para la medición de distancia.

10 2. Un sistema (10) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el primer dispositivo (12) y el segundo dispositivo (14) están configurados para determinar si el primer dispositivo (12) y el segundo dispositivo (14) están dentro de una distancia (R) predeterminada entre sí.

15 3. Un sistema (10) de acuerdo con la reivindicación 2, en donde el nivel de precisión requerido para la medición de distancia se determina de acuerdo con qué tan cerca están el primer dispositivo (12) y el segundo dispositivo (14) de la distancia (R) predeterminada entre sí.

20 4. Un sistema (10) de acuerdo con la reivindicación 3, en donde se requiere un mayor nivel de precisión para la medición de distancia si el primer dispositivo (12) y el segundo dispositivo (14) están cerca de ser la distancia (R) predeterminada entre sí que si el primer dispositivo (12) y el segundo dispositivo (14) no están cerca de ser la distancia predeterminada (R) entre sí.

25 5. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 2, 3 o 4, en donde el primer dispositivo (12) y/o el segundo dispositivo (14) están configurados adicionalmente para:

estimar la incertidumbre (u) en la medición (d) de distancia obtenida utilizando la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo;  
evaluar

30 y 
$$d + u < R,$$

$$d - u > R$$

35 donde d es la medición de distancia, u es la estimación de la incertidumbre y R es la distancia (R) predeterminada; y determinar que se requiere un mayor nivel de precisión en el caso de que ni  $d' + u < R$  ni  $d - u > R$  y obtener una o más mediciones adicionales de tiempo de vuelo;

determinar si el primer dispositivo (12) y el segundo dispositivo (14) están dentro de la distancia (R) predeterminada entre sí utilizando la medición (d) de distancia en el caso de que uno o ambos de  $d + u < R$  y  $d - u > R$ .

40 6. Un sistema (10) de acuerdo con la reivindicación 5, en donde el primer dispositivo (12) y el segundo dispositivo (14) están configurados además de manera que, después de obtener la una o más mediciones adicionales de tiempo de vuelo, el primer dispositivo (12) y el segundo dispositivo (14):

45 determinan una medición d' de distancia a partir de la una o más mediciones de tiempo de vuelo y la una o más mediciones adicionales de tiempo de vuelo;

estiman la incertidumbre u' en la medición d' de distancia;  
evalúan

50 y 
$$d' + u' < R,$$

$$d' - u' > R;$$

55 determinar que se requiere un mayor nivel de precisión en el caso de que ni  $d' + u' < R$  ni  $d' - u' > R$  y obtener una o más mediciones adicionales de tiempo de vuelo;

determinar si el primer dispositivo (12) y el segundo dispositivo (14) están dentro de la distancia (R) predeterminada entre sí usando la medición d' de distancia en caso de que uno o ambos de  $d' + u' < R$  y  $d' - u' > R$ .

60 7. Un sistema (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6, en donde el primer dispositivo (12) y el segundo dispositivo (14) están configurados además de manera que, antes de realizar el procedimiento de la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo, el primer dispositivo (12) y el segundo dispositivo (14):

65 miden la intensidad de señal recibida de una señal transmitida entre el primer dispositivo (12) y el segundo dispositivo (14);

comparan la intensidad de la señal recibida con un valor umbral;  
determinan que el primer dispositivo (12) y el segundo dispositivo (14) están dentro de la distancia (R) predeterminada entre sí, si la intensidad de la señal recibida está por encima del valor umbral;

5 realizan la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo si la intensidad de la señal recibida es menor que el valor umbral.

8. Un sistema (10) de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el primer dispositivo (12) y el segundo dispositivo (14) están configurados además de modo que si se determina utilizando la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo, el primer dispositivo (12) y el segundo dispositivo (14) están dentro de la distancia (R) predeterminada entre sí, el primer dispositivo (12) y el segundo dispositivo (14):

10 miden la intensidad de la señal recibida de otra señal transmitida entre el primer dispositivo (12) y el segundo dispositivo (14);

15 comparan la intensidad de la señal recibida de dicha otra señal con la intensidad de señal recibida de la señal anterior;

20 realizan otra medición de distancia con base en el tiempo de vuelo si la intensidad de la señal recibida de dicha otra señal es menor que la intensidad de la señal recibida de la señal anterior;

comparan la intensidad de señal recibida de dicha otra señal con el valor umbral si la intensidad de señal recibida de dicha otra señal es mayor que la intensidad de señal recibida de la señal anterior;

25 determinan que el primer dispositivo (12) y el segundo dispositivo (14) están dentro de la distancia (R) predeterminada entre sí, si la intensidad de la señal recibida de dicha otra señal es mayor que el valor umbral; y

realizan una medición de distancia con base en el tiempo de vuelo adicional si la intensidad de la señal recibida de dicha otra señal es menor que el valor umbral.

30 9. Un sistema de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde la longitud de las señales transmitidas por el primer dispositivo y/o el segundo dispositivo durante la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo se define en una primera longitud cuando un primer nivel de precisión es necesario y en una segunda longitud cuando se requiere un segundo nivel de precisión, en donde la primera longitud es más corta que la segunda longitud y el primer nivel de precisión es menor que el segundo nivel de precisión.

35 10. Un sistema de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde el número de mediciones de tiempo de vuelo obtenidas durante la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo se determina de acuerdo con el nivel de precisión requerido para la medición de distancia.

40 11. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 10, en donde el número de mediciones de tiempo de vuelo obtenidas durante la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo por el primer dispositivo y el segundo dispositivo se define en un primer número cuando se requiere un primer nivel de precisión y un segundo número cuando se requiere un segundo nivel de precisión, en donde el primer número es menor que el segundo número y el primer nivel de precisión es menor que el segundo nivel de precisión.

45 12. Un método para medir la distancia entre un primer dispositivo (12) y un segundo dispositivo (14), comprendiendo el método: realizar (103) una medición de distancia con base en el tiempo de vuelo para medir la distancia entre el primer dispositivo y el segundo dispositivo, en donde la longitud de las señales transmitidas durante la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo se determina de acuerdo con un nivel de precisión requerido para la medición de distancia.

50 13. Un método de acuerdo con la reivindicación 12, en donde el número de mediciones de tiempo de vuelo obtenidas durante la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo se determina de acuerdo con el nivel de precisión requerido para la medición de distancia.

55 14. Un dispositivo (12; 14), que comprende:

60 un circuito (18; 28) transceptor para permitir las comunicaciones con otro dispositivo (12; 14); y

una unidad (16; 26) de procesamiento configurada para realizar una medición de distancia con base en el tiempo de vuelo para medir la distancia entre el dispositivo (12; 14) y dicho otro dispositivo (12; 14), en donde la unidad de procesamiento está configurada para determinar la longitud de las señales transmitidas por el circuito (18; 28) transceptor durante la medición de distancia con base en tiempo de vuelo de acuerdo con un nivel de precisión requerido para la medición de distancia.

65

15. Un dispositivo (12; 14) de acuerdo con la reivindicación 14, en donde la unidad (16; 26) de procesamiento está configurada para determinar el número de mediciones de tiempo de vuelo obtenidas durante la medición de distancia con base en el tiempo de vuelo de acuerdo con el nivel de precisión requerido para la medición de distancia.

5

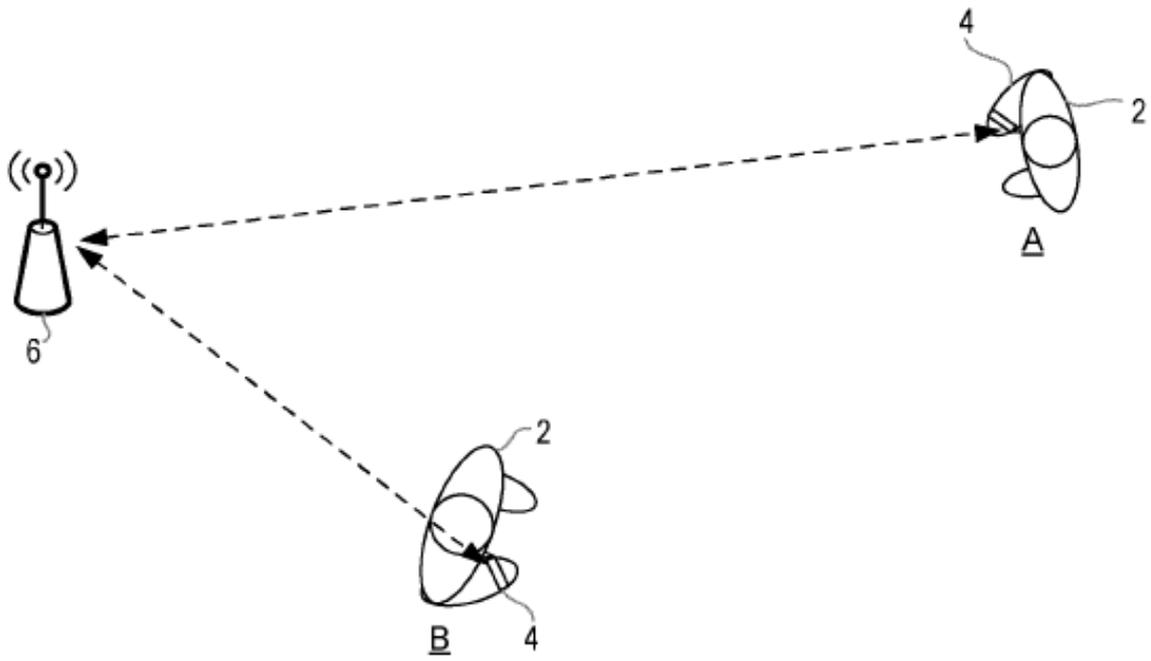


Figura 1

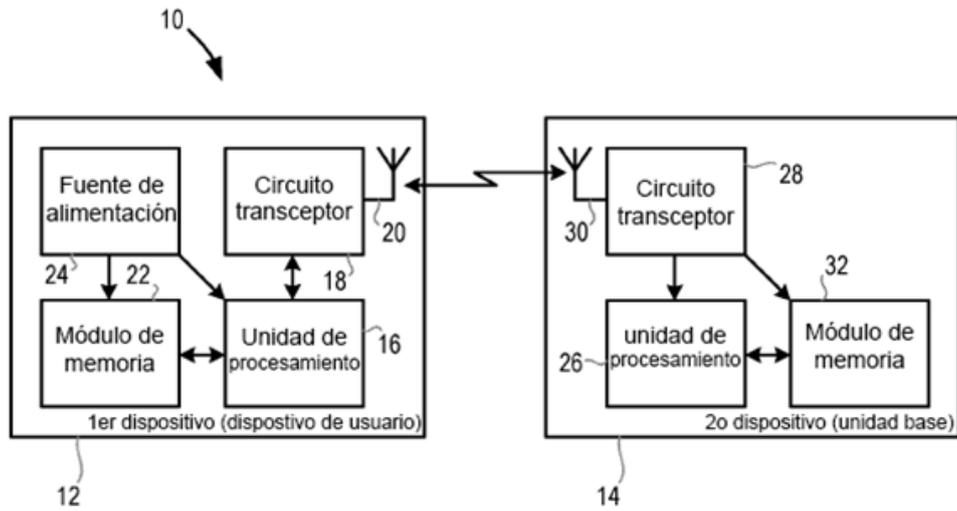


Figura 2

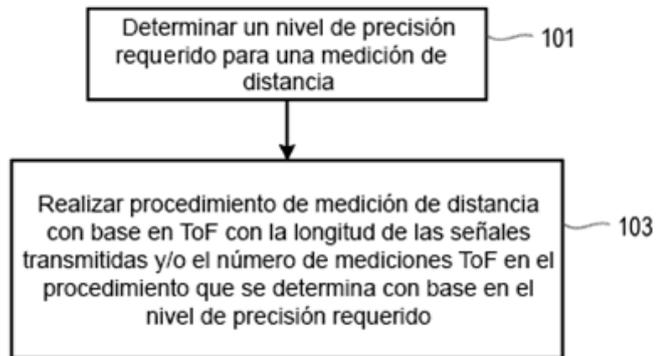


Figura 3

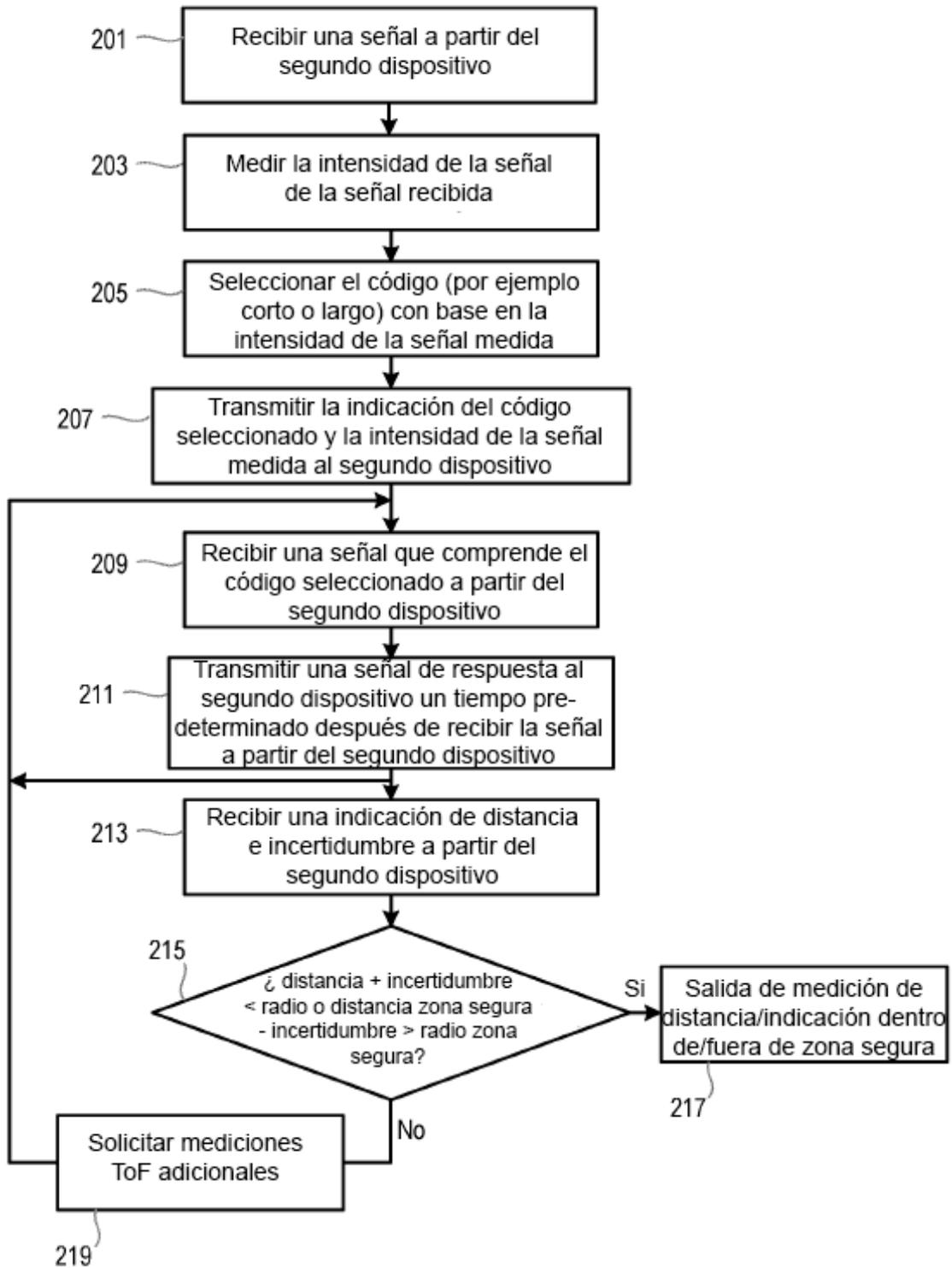


Figura 4

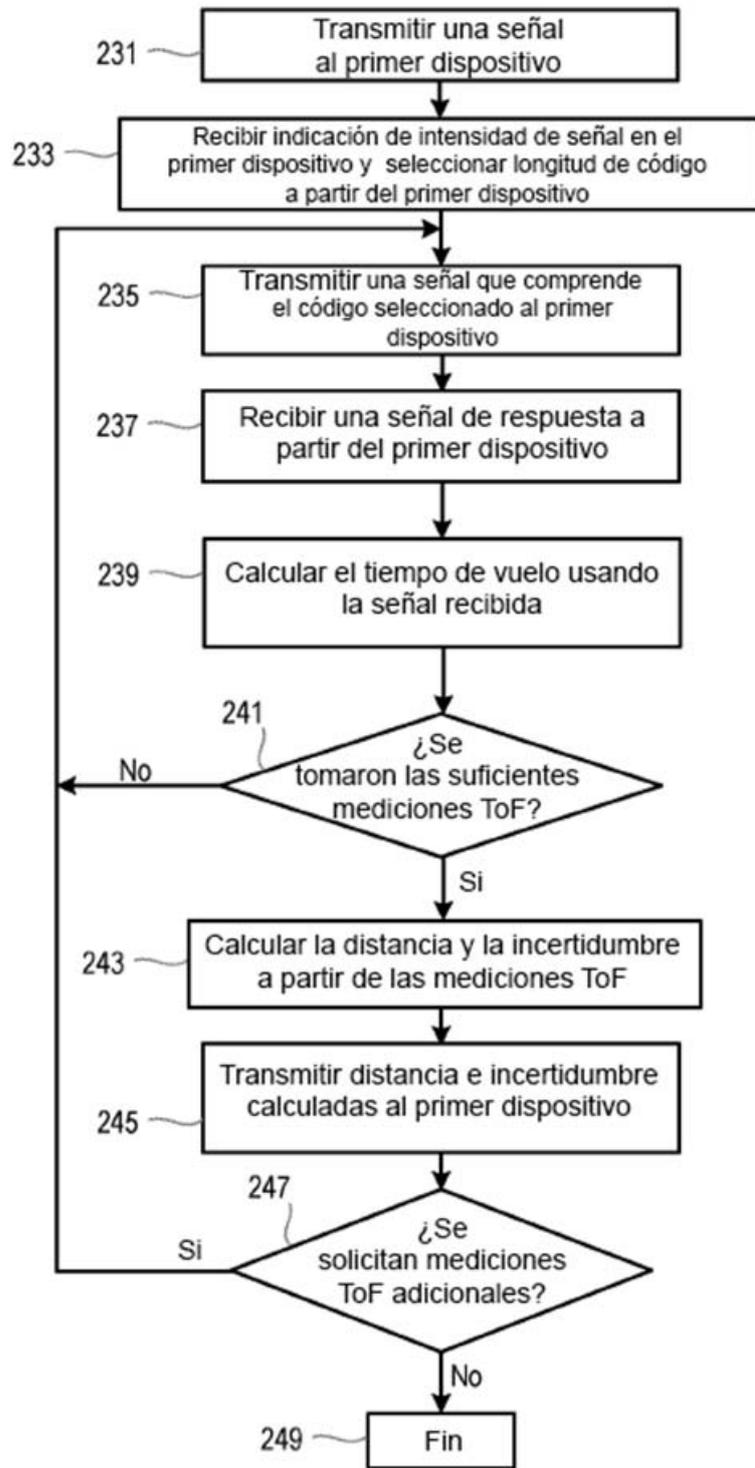


Figura 5

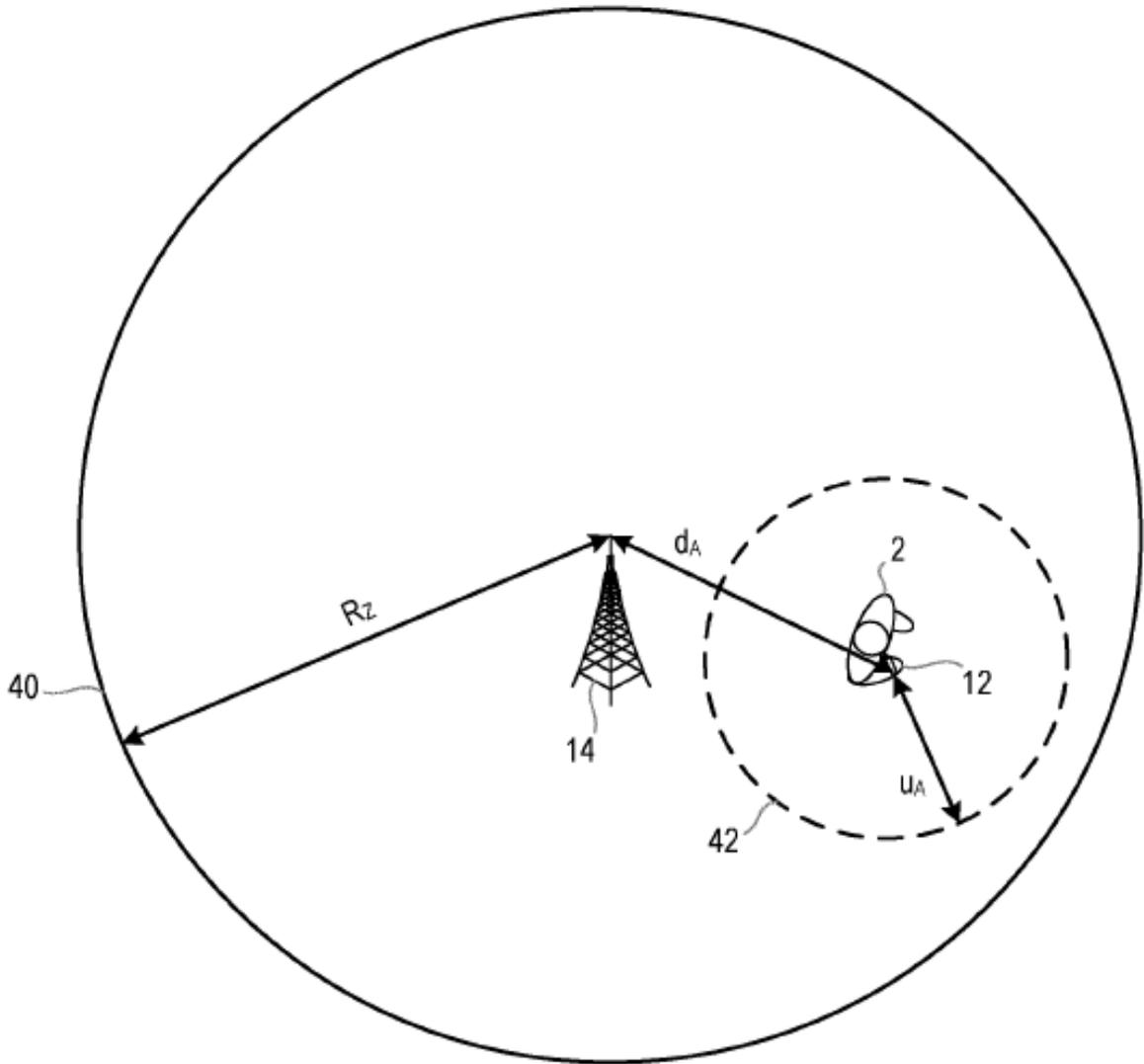


Figura 6

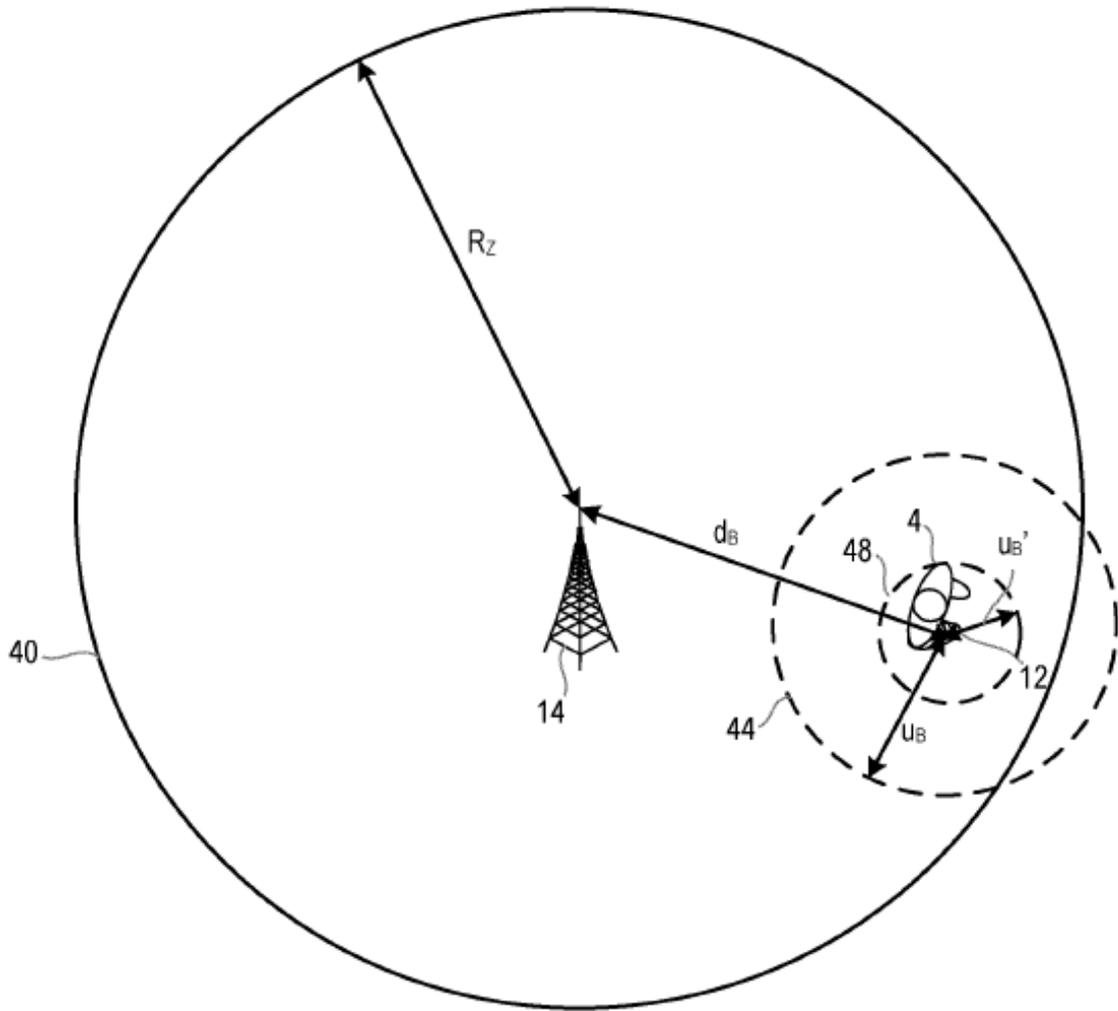


Figura 7

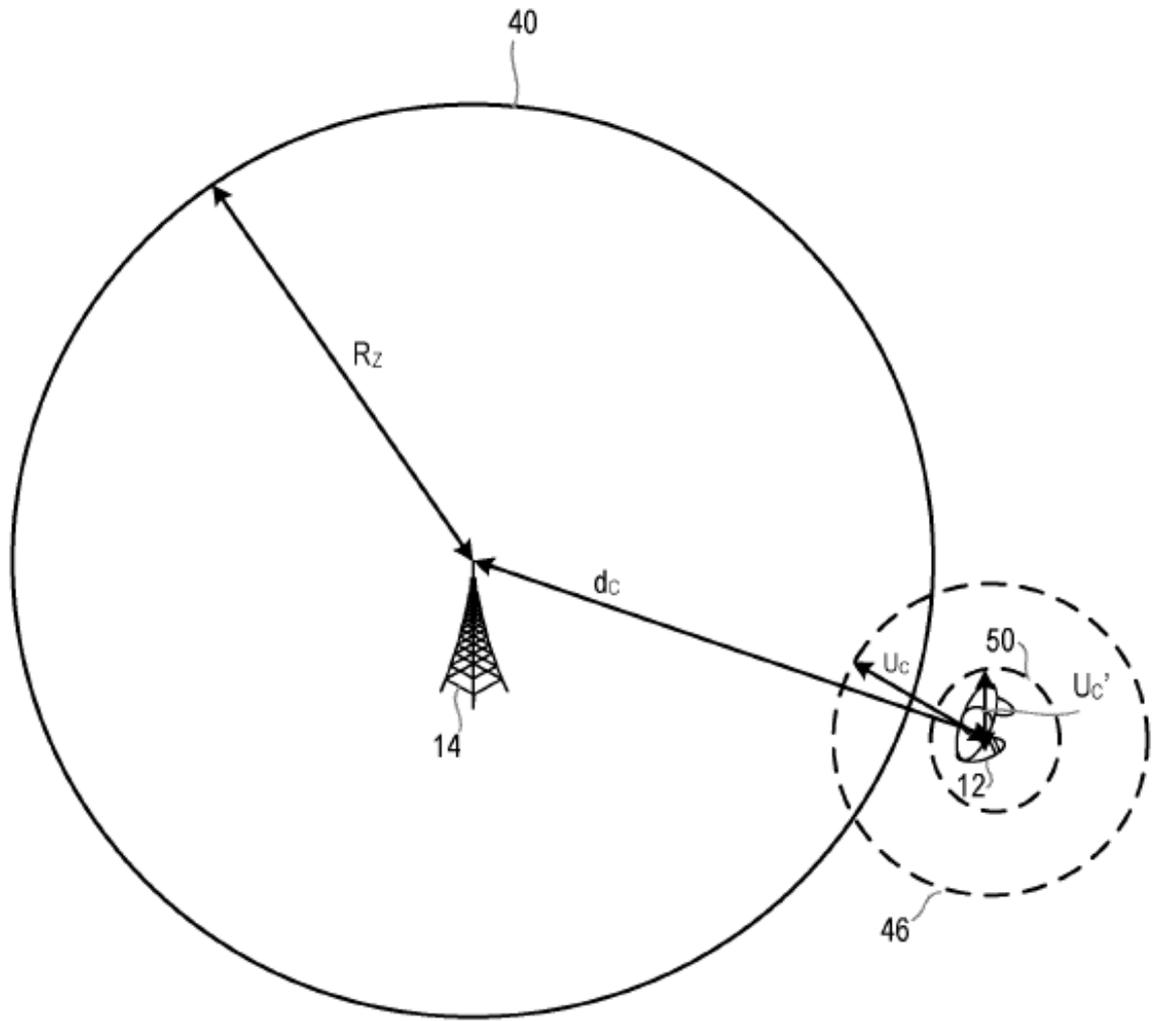


Figura 8

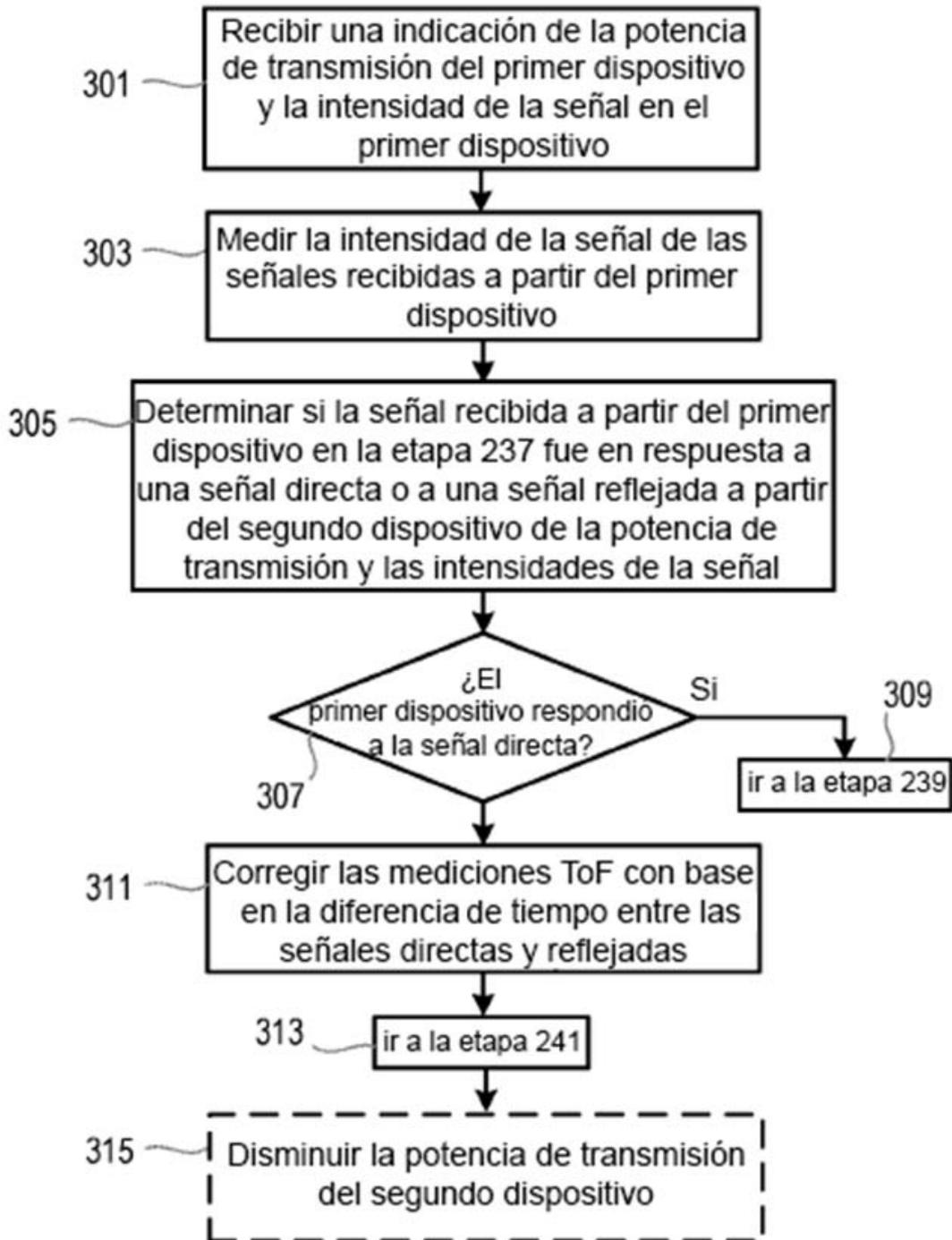


Figura 9

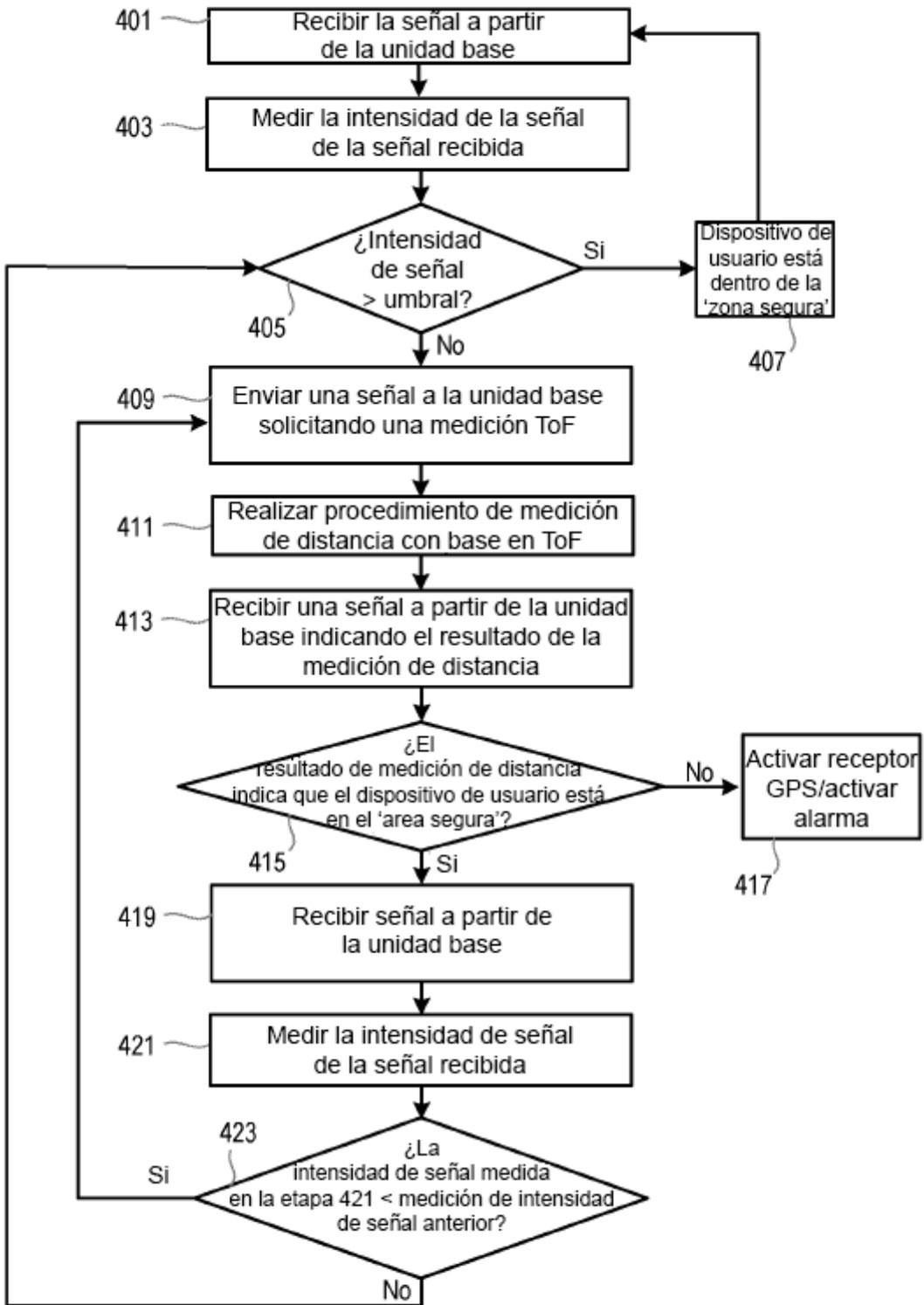


Figura 10