

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 717 947**

51 Int. Cl.:

G01S 5/02 (2010.01)

G01S 5/06 (2006.01)

G01S 1/20 (2006.01)

G01S 5/22 (2006.01)

G01S 3/46 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.06.2014 PCT/IL2014/050584**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.01.2015 WO15001552**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.06.2014 E 14819980 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.01.2019 EP 3017316**

54 Título: **Mitigación de distorsiones multitrayectoria para geolocalización basada en TDOA**

30 Prioridad:

01.07.2013 IL 22728513

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

26.06.2019

73 Titular/es:

**ELBIT SYSTEMS BMD AND LAND EW - ELISRA LTD. (100.0%)
HaMerkava 29, P.O. Box 150
5885118 Holon, IL**

72 Inventor/es:

**BOKER, EYAL;
LEVY, AVINOAM y
GOLDREICH, RAMI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 717 947 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

Mitigación de distorsiones multitrayectoria para geolocalización basada en TDOA

Campo de la técnica descrita

La técnica descrita se refiere en general a radiolocalización en un entorno multitrayectoria.

5 Antecedentes de la técnica descrita

Las técnicas de geolocalización intentan proporcionar una determinación precisa de la localización geográfica actual de uno objeto particular. Una forma común es la radiolocalización, que utiliza la transmisión y recepción de señales de radiofrecuencia (RF) y mediciones de las características de la señal de RF. En particular, la localización de una fuente de transmisión se puede determinar utilizando una pluralidad de receptores que obtienen mediciones relativas a la intensidad (fuerza de la señal) o la fase (retardo) de la señal de RF transmitida. Un enfoque utiliza la fuerza de la señal recibida (RSS) para estimar la distancia a la fuente de transmisión, suponiendo que la fuerza de la señal transmitida es conocida. Alternativamente, se puede estimar la distancia de transmisión en base al tiempo de llegada (TOA) en los receptores si el tiempo de transmisión y la velocidad de propagación son conocidos. El ángulo de llegada (AOA) de la señal transmitida, que se puede obtener utilizando una antena direccional, se puede combinar con la estimación de la distancia para proporcionar la posición del transmisor. Un enfoque adicional se conoce como diferencia de tiempo de llegada (TDOA), que es una forma de multilateración que mide las diferencias entre los tiempos de llegada en múltiples receptores espacialmente separados situados en localizaciones conocidas. Para cada par de receptores en los que se proporcionan sus respectivas localizaciones y la TDOA entre ellos, el conjunto de posibles localizaciones para el transmisor que satisface las mediciones formará una curva hiperbólica. Utilizando mediciones de TDOA adicionales para otros pares de receptores, se pueden construir múltiples hipérbolas, y su intersección proporciona una indicación de la localización probable del transmisor.

Los cálculos anteriormente mencionados son sencillos cuando se supone propagación en el espacio libre, pero en condiciones del mundo real la señal transmitida tiende a experimentar fenómenos tales como absorción, atenuación, refracción, y reflexión, que influyen en la propagación real de la señal. En entornos con una abundancia de obstáculos y barreras, como es típico en terreno urbano, hay un grado sustancial de interferencia de las superficies que intervienen, dando como resultado una distorsión multitrayectoria donde las réplicas reflejadas y retardadas de la señal llegan a la antena receptora. La señal obstaculizada experimenta interferencia constructiva y destructiva a lo largo de múltiples trayectorias antes de llegar al receptor, provocando variaciones tanto en la amplitud como la fase de la señal que afectan a la precisión de la estimación de la localización. Si los receptores se sitúan a una altura sustancial puede ser posible evitar muchos obstáculos potenciales en la región de transmisión y evitar sustancialmente la propagación multitrayectoria. Sin embargo, ciertas aplicaciones están limitadas al uso de receptores de tierra y por tanto sufren efectos multitrayectoria significativos.

Para un esquema de radiolocalización de TDOA que supone propagación en el espacio libre, las señales recibidas en un par de receptores difieren en un retardo y atenuación según las siguientes ecuaciones:

$$x_1 = \alpha_1 s(t - \tau_1)$$

$$x_2 = \alpha_2 s(t - \tau_2) = \alpha_{12} s(t - \tau_{12});$$

donde: x_1 , x_2 son señales recibidas en los dos receptores, $s(t)$ es la señal transmitida desde el objetivo, α_1 , α_2 son las atenuaciones y τ_1 , τ_2 son los retardos. α_{12} y τ_{12} representan la atenuación relativa y el retardo entre los dos sensores, respectivamente.

Sin embargo, si la suposición de propagación en el espacio libre no es válida, tal como con configuraciones de receptor a nivel del suelo, el modelo de multitrayectoria en el que cada receptor recibe una combinación de reflexiones de la señal desplazadas y atenuadas se puede expresar por las siguientes ecuaciones:

$$x_1 = \alpha_1 s(t - \tau_1) + \sum_{i=1}^{L_1} \alpha_1^i s(t - \tau_1^i)$$

$$x_2 = \alpha_2 s(t - \tau_2) + \sum_{i=1}^{L_2} \alpha_2^i s(t - \tau_2^i)$$

donde: α_j^i , τ_j^i son la atenuación y el retardo de la i-ésima reflexión en el j-ésimo receptor, y L_j es el número total de reflexiones para ese receptor. La naturaleza de la multitrayectoria que se caracteriza por el número de reflexiones, la potencia de las reflexiones y los retardos de las reflexiones es dependiente de la naturaleza del entorno. Los entornos urbanos densos se caracterizan por un gran número de reflexiones que pueden ser más fuertes que las señales de trayectoria directa. Incluso si la señal de reflexión multitrayectoria es relativamente débil (p.ej., inferior a 40 dB), todavía puede tener una influencia significativa sobre la precisión de la estimación de la localización final.

Se conocen en la técnica diversos enfoques para mitigar los efectos de la propagación multitrayectoria en técnicas de estimación de geolocalización en general, y para técnicas de geolocalización basadas en TDOA en particular. Algunos enfoques implican diferentes tipos de algoritmos y manipulaciones computacionales que intentan reducir los sesgos introducidos.

La Patente de EE.UU. N° 5,999,129 para Rose, titulada "Multiplatform ambiguous phase circle and TDOA protection emitter location", está dirigida a la geolocalización de un emisor de señal de RF estacionario desde dos o más aeronaves observadoras en movimiento. Los observadores reciben señales del emisor, y se mide la diferencia de fase ambigua entre las señales a intervalos de actualización correspondientes. Los observadores realizan mediciones de TOA de pulso de las señales recibidas durante un intervalo de reloj predeterminado, a partir de las cuales se calcula la TDOA de las señales del emisor del mismo pulso correspondientes. Se estiman una serie de líneas circulares de posición (LOP) para cada observador en base a las diferencias de fase ambiguas medidas y los valores enteros asociados. También se calculan LOP hiperbólicas en base a los cálculos de TDOA. La localización del emisor se determina en base a la intersección de las LOP hiperbólicas y las LOP circulares.

La Patente de EE.UU. N° 7,132,981 para Roberts, titulada "Method of locating object using phase differences among multiple frequency beacons transmitted from spaced apart transmitter sites", está dirigida a una técnica para geolocalizar un objeto móvil en un entorno donde no se puede esperar que otros sistemas de localización (p.ej., sistemas GPS) operen con éxito. Al menos tres sitios de transmisor cuyas geolocalizaciones son fijas y conocidas transmiten balizas de doble frecuencia que son fácilmente recibidas por un receptor móvil dentro del entorno de interés. Un receptor localizado con el objeto procesa los tres conjuntos de señales recibidas midiendo las diferencias de fase entre los respectivos pares de balizas. El receptor del objeto procesa las diferencias de fase para obtener información de TDOA o TOA, a partir de la cual se puede derivar la localización del objeto. Los errores de fase y desfases de frecuencia residuales se pueden calibrar en el receptor.

La Patente de EE.UU. N° 7,139,583 para Yamasaki et al, titulada "Positioning system and method based on time difference of arrival", está dirigida a un sistema de posicionamiento que mide la diferencia de tiempo de llegada entre una estación de terminal y una pluralidad de puntos de acceso, acumulando una pluralidad de tiempos de recepción para señales de medición que han pasado a través de diferentes entornos de propagación, y realizando un proceso estadístico con respecto a las muestras de tiempo de recepción. En particular, cada uno de los puntos de acceso mide repetidamente una señal transmitida desde la estación, mientras varía los parámetros tales como tiempo, posición, o frecuencia. Por ejemplo las mediciones se realizan mientras cambia ligeramente la posición de una antena en un punto de acceso o la posición de una estación, o mientras cambia el canal de frecuencia en uso. Se crean perfiles de retardo a partir de las señales de medición, y se determina un tiempo dado en cada perfil de retardo como una muestra de tiempo de recepción para la señal. Las muestras de tiempo de recepción se combinan, y se determina un tiempo de recepción para cada punto de acceso como un tiempo de referencia. La TDOA entre la estación y los puntos de acceso se calcula en base a los tiempos de recepción, a partir de los cuales se calculan las coordenadas de posición de la estación.

La Patente de EE.UU. N° 7,911,385 para Heuser, titulada "RF transmitter geolocation system and related methods", está dirigida a un sistema para geolocalizar un transmisor de RF en la presencia de interferencia multitrayectoria. El sistema incluye una pluralidad de receptores de RF dispuestos en una relación espaciada, y un controlador configurado para generar una pluralidad de mediciones asociadas con el transmisor de RF. Las mediciones pueden ser al menos una de: diferencia de frecuencia de las mediciones de llegada, tiempo de las mediciones de llegada, diferencia de tiempo de las mediciones de llegada, frecuencia de las mediciones de llegada, y ángulo de las mediciones de llegada. El controlador calcula una pluralidad de funciones de ambigüedad en base a las mediciones y debido a la interferencia

multitrayectoria, y proyecta las funciones de ambigüedad sobre una cuadrícula geo-referenciada común. El controlador detecta un pico de la cuadrícula geo-referenciada común indicativo de una geolocalización del transmisor de RF. La cuadrícula geo-referenciada común se puede generar en base a la posición, orientación, y/o el movimiento relativo de los receptores de RF.

5 La Patente de EE.UU. 8,049,668 para Gines et al, titulada "Method and system for locating signals emitters using iterative residual weighting", describe la determinación de la localización de un dispositivo de emisión de señal utilizando al menos tres sensores separados y espaciados entre sí. Se determinan para cada sensor o par de sensores los datos de la localización estimada para el dispositivo, en base a los cuales se determina una localización estimada. Los datos de la localización estimada se pueden basar en el ángulo de llegada, tiempo de llegada, diferencia de tiempo de llegada o las potencias de señal relativas de las señales recibidas. Se determinan los valores residuales para los datos de la localización estimada, en base a una diferencia entre la localización estimada del dispositivo y los datos de la localización estimada para un sensor o par de sensores correspondiente. Los valores residuales se convierten en pesos correspondientes para los datos de la localización estimada para cada sensor o par de sensores único, que se ponderan en consecuencia. La localización estimada del dispositivo se actualiza entonces utilizando los datos de la localización estimada ponderados.

La Patente de EE.UU. N° 8,077,089 para Parker, titulada "Precision geolocation of moving or fixed transmitters using multiple observers", describe la geolocalización de un transmisor en movimiento utilizando una pluralidad de dispositivos de recepción fijos y un dispositivo receptor en movimiento. Los receptores fijos obtienen mediciones de diferencia de fase en escala de longitud de onda, proporcionando una forma de la trayectoria del transmisor. La diferencia de fase entre el receptor en movimiento y al menos un receptor fijo se mide para obtener un residuo de error de fase. Un punto de partida estimado del transmisor se mueve para obtener un residuo de mejor ajuste.

La Solicitud de Patente de EE.UU. N° 2002/0196186 para Hold, titulada: "Method and system for calibrating wireless location systems", está destinada a la calibración de receptores utilizados en un sistema de determinación de la localización para permitir mediciones diferenciales altamente precisas. Se transmite una señal desde un transmisor en una localización desconocida. La señal transmitida es recibida por una pluralidad de receptores espacialmente orientados después de haber sido reflejada y/o refractada por un receptor de proxy materializado por objetos naturales o artificiales en una localización conocida en el área. Se calcula el Tiempo de Llegada (TOA), la Diferencia de Tiempo de Llegada (TDOA), o la Diferencia de Frecuencia de Llegada (FDOA) para la señal en cada receptor, se determina el desfase de reloj entre los receptores en base a la TOA/TDOA/FDOA de la señal dentro de cada receptor, y se calibran los relojes de receptor en base al desfase de reloj. Se puede calcular un error de medición diferencial comparando la diferencia esperada entre los valores de los parámetros de la señal y la diferencia real en las mediciones de los parámetros, y se pueden aplicar correcciones al equipo de sistema de localización para minimizar los errores en mediciones posteriores y/o a las mediciones de los parámetros calculadas.

Compendio de la técnica descrita

35 De acuerdo con un aspecto de la técnica descrita, se proporciona por tanto un método para determinar una localización de un transmisor de radiofrecuencia (RF) en la presencia de interferencia multitrayectoria. El método incluye el procedimiento de proporcionar una pluralidad de receptores de RF espacialmente separados en localizaciones conocidas en un entorno de multitrayectoria moderada en la vecindad del transmisor. El método incluye además el procedimiento de detectar una señal de RF activa asociada con el transmisor recibida por al menos uno de los receptores y que indica a los receptores que adquieran mediciones de la señal de RF detectada. El método incluye además el procedimiento de reposicionar repetidamente los receptores a lo largo de una trayectoria circular a una velocidad suficientemente rápida para obtener una secuencia de mediciones de la señal de RF por cada uno de los receptores en diferentes posiciones a lo largo de la trayectoria circular en una diversidad de diferencias de fase relativas entre la trayectoria directa y las reflexiones multitrayectoria de la señal de RF. El método incluye además el procedimiento de calcular mediciones de diferencia de tiempo de llegada (TDOA) entre pares de los receptores en base a las mediciones obtenidas. El método incluye además el procedimiento de promediar las mediciones de TDOA para cada uno de los pares de receptores para proporcionar un respectivo valor de la medición de TDOA actualizado. El método incluye además el procedimiento de determinar una localización del transmisor en base a los valores de la medición de TDOA actualizados. El rango de la trayectoria circular puede ser al menos la mitad de la longitud de onda de la señal de RF detectada. Los receptores se pueden reposicionar repetidamente a lo largo de una trayectoria circular reposicionando simultáneamente una pluralidad de subreceptores asociados con el receptor a lo largo de respectivas secciones de la trayectoria circular. Los receptores se pueden reposicionar repetidamente a lo largo de una trayectoria circular reposicionando simultáneamente una pluralidad de receptores asociados con una pluralidad de transmisores de RF que operan en diferentes rangos espectrales.

55 De acuerdo con otro aspecto de la técnica descrita, se proporciona por tanto un sistema para determinar una localización de un transmisor de RF en la presencia de interferencia multitrayectoria. El sistema incluye una pluralidad de receptores de RF, y un procesador. Los receptores están espacialmente separados en localizaciones conocidas en un entorno de multitrayectoria moderada en la vecindad del transmisor. El procesador detecta una señal de RF activa asociada con el transmisor recibida por al menos uno de los receptores, e indica a los receptores que adquieran mediciones de la señal de RF detectada. El procesador calcula además mediciones de TDOA entre pares de los receptores en base a una secuencia de mediciones de la señal de RF obtenidas por cada uno de los receptores en

diferentes posiciones a lo largo de una trayectoria circular reposicionando repetidamente los receptores a lo largo de la trayectoria circular a una velocidad suficientemente rápida para obtener mediciones en una diversidad de diferencias de fase relativas entre la trayectoria directa y las reflexiones multitrayectoria de la señal de RF. El procesador además promedia las mediciones de TDOA para cada par de receptores para proporcionar un respectivo valor de la medición de TDOA actualizado. El procesador determina además una localización del transmisor en base a los valores de la medición de TDOA actualizados. El rango de la trayectoria circular puede ser al menos la mitad de la longitud de onda de la señal de RF detectada. El sistema puede incluir además medios de reposicionamiento, para reposicionar repetidamente al menos uno de los receptores a diferentes posiciones a lo largo de la trayectoria circular. Los medios de reposicionamiento pueden reposicionar simultáneamente una pluralidad de subreceptores asociados con el receptor a lo largo de respectivas secciones de la trayectoria circular. Los medios de reposicionamiento pueden reposicionar simultáneamente una pluralidad de receptores asociados con una pluralidad de transmisores de RF que operan en diferentes rangos espectrales.

Breve descripción de los dibujos

La técnica descrita se entenderá y apreciará más plenamente a partir de la siguiente descripción detallada tomada en conjunto con los dibujos en los que:

La Figura 1 es un gráfico que ilustra el efecto de la propagación multitrayectoria en mediciones de TDOA, por medio de una simulación;

La Figura 2 es un gráfico que ilustra la dependencia del sesgo de la medición de TDOA sobre el retardo y atenuación de una reflexión multitrayectoria, por medio de una simulación;

La Figura 3 es una ilustración esquemática de un sistema para determinar una localización de un transmisor de radiofrecuencia (RF) en la presencia de interferencia multitrayectoria, construido y operativo de acuerdo con una realización de la técnica descrita;

La Figura 4 es un gráfico que ilustra el nivel de sesgo de TDOA cuando los receptores se reposicionan mientras adquieren mediciones de acuerdo con la técnica descrita, en base a los resultados de un experimento; y

La Figura 5 es un diagrama de bloques de un método para determinar una localización de un transmisor de RF en la presencia de interferencia multitrayectoria, operativo de acuerdo con una realización de la técnica descrita.

Descripción detallada de las realizaciones

La técnica descrita supera las desventajas de la técnica anterior proporcionando un sistema y método para determinar la localización de un transmisor estacionario con alta precisión a través de una técnica de radiolocalización basada en TDOA mitigando las distorsiones resultantes de la propagación de señal multitrayectoria. La técnica descrita implica reposicionar los receptores en un patrón controlado mientras se recibe la señal transmitida, tal como moviendo los receptores a lo largo de una trayectoria circular, y recogiendo una serie de diferentes lecturas en diferentes posiciones a lo largo de la trayectoria. Las mediciones de TDOA posteriores para los pares de receptores se promedian entonces, cancelando sustancialmente las distorsiones multitrayectoria en las lecturas de señal, que tienden a distribuirse sustancialmente de manera uniforme para diferentes posiciones del receptor. La localización del transmisor se calcula entonces en base a las mediciones de TDOA promediadas.

El término "localización", y cualquier variación del mismo, como se utiliza en la presente memoria se refiere a cualquier parámetro relativo a la posición global o relativa de un objeto particular con respecto a cualquier sistema de coordenadas de referencia pertinente (p.ej., coordenadas de latitud y longitud).

Se hace ahora referencia a la Figura 1, que es un gráfico, denominado 110 en general, que ilustra el efecto de la propagación multitrayectoria en mediciones de TDOA, por medio de una simulación. La simulación modeló dos señales moduladas de FM en un ancho de banda de 25 kHz para un par de receptores localizados a rangos idénticos del transmisor, por tanto el valor de TDOA esperado es 0. Para simular el efecto multitrayectoria, se añadió al primer receptor una réplica de la señal desplazada y atenuada adicional (que representaba una sola reflexión). La reflexión se retardó 20 μ s y se atenuó en -10 dB con respecto a la señal de trayectoria directa. La reflexión también se multiplicó por diferentes fases que oscilan entre 0-2 π . El gráfico 110 representa el error (ns) de medición de TDOA como una función de la fase de la reflexión (radianes) para el par de receptores. El cuadro de texto en el gráfico 110 representa (de izquierda a derecha): el error de TDOA promedio, la desviación estándar del error de TDOA, y el error cuadrático medio de la raíz (RMSE) de TDOA. Obsérvese que el término "error de TDOA" se refiere a la desviación de un cierto valor de medición del valor esperado, mientras que el término "sesgo de TDOA" se refiere a la desviación del valor promediado final (el promedio de todas las mediciones) del valor esperado, también equivalente al error residual después de promediar.

Como se puede ver en el gráfico 110, el efecto multitrayectoria es fuertemente dependiente de la fase de la reflexión, e introduce un error de TDOA máximo de aproximadamente 8 μ s (valor de pico), que corresponde a un error de posición mayor que 2km para la estimación de la posición del transmisor resultante. El error de TDOA como una función de la fase de la reflexión se distribuye de manera no uniforme alrededor del valor esperado. El valor promedio

todavía está sesgado con relación al valor esperado por 187 ns (correspondiente al valor del sesgo de TDOA), pero es más próximo al valor esperado que la mayoría de los valores de medición individuales tomados independientemente.

5 Se hace referencia ahora a la Figura 2, que es un gráfico, denominado 120 en general, que ilustra la dependencia del sesgo de la medición de TDOA sobre el retardo y atenuación de una reflexión multitrayectoria, por medio de una simulación. El gráfico 120 muestra el error cuadrático medio de la raíz (RMSE) de TDOA introducido por una reflexión en un receptor como una función del retardo de la reflexión para diversos coeficientes de reflexión. El coeficiente de reflexión representa la pérdida de potencia (atenuación) de la reflexión con relación a la señal de trayectoria directa. La potencia de la reflexión con relación a la potencia de la trayectoria directa es una función de la longitud de la trayectoria relativa y el coeficiente de reflexión. Como se puede ver en el gráfico 120, el RMSE de TDOA aumenta con el retardo de la reflexión en rangos de retardo menores, pero disminuye con el retardo de la reflexión en rangos de retardo mayores. También es evidente que el RMSE de TDOA es mayor cuando la potencia de la reflexión es más fuerte (i.e., coeficientes de reflexión menores) y el retardo de la reflexión es pequeño. Por tanto, las reflexiones resultantes de reflexiones muy próximas o muy lejanas tienen solo un efecto menor sobre los errores de estimación de TDOA.

15 Se hace referencia ahora a la Figura 3, que es una ilustración esquemática de un sistema, denominado 130 en general, para determinar la localización de un transmisor de RF en la presencia de interferencia multitrayectoria, construido y operativo de acuerdo con una realización de la técnica descrita. El sistema 130 incluye un transmisor 132 de radiofrecuencia (RF), una pluralidad de receptores 134, 136, 138 de RF, y un procesador 140. El procesador 140 se acopla con los receptores 134, 136, 138. Los receptores 134, 136, 138 se sitúan en localizaciones separadas pero se dispone cada uno dentro del rango suficiente para recibir una transmisión de señal de RF del transmisor 132.

20 El transmisor 132 puede incluir componentes y/o circuitería estándar asociados con la transmisión de una señal de radiofrecuencia, tal como un generador de señal, un modulador, una antena, una fuente de alimentación, y similares. Similarmente, cada uno de los receptores 134, 136, 138 puede incluir componentes y/o circuitería estándar asociados con la recepción de una señal de radiofrecuencia, tal como filtros, amplificadores, una antena, una fuente de alimentación, y similares. La técnica descrita es en general aplicable a señales de comunicación de RF que se propagan a través de un entorno de multitrayectoria moderada en el que hay relativamente pocas reflexiones multitrayectoria y que implica propagación en la línea de visión entre el transmisor y los receptores (i.e., de tal manera que la señal de trayectoria directa es al menos más fuerte que las reflexiones multitrayectoria). La técnica descrita es aplicable a señales de RF que tienen un ancho de banda para el que los cálculos basados en TDOA serían factibles y proporcionarían resultados razonablemente precisos, tal como anchos de banda en el orden de decenas de kHz (anchos de banda mayores requerirían en general utilizar cálculos de TOA). La señal de RF puede ser de cualquier frecuencia dentro del rango espectral de RF (p.ej., VHF, UHF), y se puede modular.

25 Según una realización de la técnica descrita, el transmisor 132 y los receptores 134, 136, 138 se disponen en o cerca del nivel del suelo, donde es particularmente probable que se produzcan distorsiones multitrayectoria. No obstante, el transmisor y los receptores pueden estar alternativamente muy por encima del nivel del suelo, siempre que estén en cualquier entorno sometido a interferencia multitrayectoria moderada con propagación en la línea de visión.

30 El transmisor 132 se sitúa en una localización desconocida y es sustancialmente estacionario, de tal manera que no desplaza su posición (más allá de una cantidad marginal) a lo largo de la duración del proceso de determinación de la localización. Los receptores 134, 136, 138 se sitúan en localizaciones conocidas separadas, y son móviles a diversas posiciones para recibir una señal de RF transmitida en una pluralidad de localizaciones espacialmente separadas, como se detallará adicionalmente más adelante.

35 El procesador 140 proporciona sincronización entre los receptores 134, 136, 138, para permitir el análisis posterior de la diferencia de tiempo de los datos de llegada. El procesador 140 puede también controlar la activación y operación de los receptores 134, 136, 138, y realiza procesamiento de señal. Se observa que cualquiera de las funcionalidades del procesador 140 se pueden implementar a través de una pluralidad de procesadores y/o se pueden distribuir parcial o completamente entre cualquiera de los otros componentes del sistema 130. Por ejemplo, al menos uno de los receptores 134, 136, 138 se puede integrar con un microprocesador dedicado, que puede realizar al menos una parte del procesamiento de señal asociado con el respectivo componente.

40 Para iniciar el proceso de geolocalización, el procesador 140 ordena a los receptores 134, 136, 138 que recojan datos en un rango espectral seleccionado. El procesador 140 analiza los datos recibidos para detectar señales de RF activas que se pueden asociar con el transmisor 132. Cuando se detecta que se ha sido recibida una señal de RF activa adecuada por al menos un receptor, el procesador 140 ordena a cada uno de los receptores 134, 136, 138 que adquieran mediciones de la señal detectada. La señal detectada es equivalente a la señal 142 de RF transmitida por el transmisor 132 convolucionada con la función de transmisión entre el transmisor 132 y el respectivo receptor 134, 136, 138 (la función de transmisión que puede incluir trayectoria directa y/o reflexiones de la señal 142 de RF). Cada uno de los receptores 134, 136, 138 realiza mediciones repetidas de la señal 142 de RF mientras desplaza posiciones. En particular, el receptor sigue una trayectoria predeterminada mientras adquiere una serie de mediciones de la señal 142 de RF en diferentes puntos a lo largo de la trayectoria. Por ejemplo, el receptor 134 en la localización R1 se mueve a lo largo de la trayectoria 144, y adquiere mediciones en cada uno de los puntos 144A, 144B, 144C, 144D y 144E de

la trayectoria. Similarmente, el receptor 136 en la localización R2 se mueve a lo largo de la trayectoria 146, y adquiere mediciones en cada uno de los puntos 146A, 146B, 146C, 146D, y 146E de la trayectoria. También, el receptor 138 en la localización R3 se mueve a lo largo de la trayectoria 148 y adquiere mediciones en cada uno de los puntos 148A, 148B, 148C, 148D y 148E de la trayectoria. Se observa que se representan cinco puntos de la trayectoria para fines ejemplares solamente, pero en general se debería obtener un gran número de mediciones a lo largo de la trayectoria. El rango del patrón de movimiento recorrido por el receptor se determina como una función de la longitud de onda de la señal 142 de medición, para asegurar que se obtienen mediciones en diversas diferencias de fase distribuidas entre todo el rango de $0-2\pi$. Por ejemplo, el radio de las trayectorias 144, 146, 148 debe ser al menos la mitad de la longitud de onda de la señal 142 de RF (o de manera correspondiente, el diámetro mínimo es igual a la longitud de onda de la señal). El patrón de movimiento es a lo largo del plano en el que las señales de RF (trayectoria directa y reflexiones) se propagan desde el transmisor 132, para asegurar que se generan diferencias de fase relativas entre la trayectoria directa y las reflexiones. Se observa que las trayectorias 144, 146 y 148 se representan como sustancialmente circulares, lo que proporciona un lapso uniforme de retardos de reflexión independientemente de la constelación del transmisor y receptor. Otras formas o patrones de trayectoria pueden ser menos beneficiosos, pero se pueden aplicar siempre que se obtenga una diversidad de diferencias de fase entre las señales de trayectoria directa y de reflexión.

El movimiento del receptor se puede implementar utilizando cualquier mecanismo o técnica adecuada para desplazar la posición en la que la recepción de la señal es realizada por el respectivo receptor. Por ejemplo, se puede repositionar el receptor utilizando un dispositivo mecánico automático, tal como un dispositivo giratorio que mueve el receptor a lo largo de una trayectoria circular. Para otro ejemplo, se puede acoplar un receptor con una plataforma móvil, tal como montado sobre un vehículo o sobre un carro robótico, que puede ser maniobrado a lo largo de una trayectoria particular para transportar el receptor acoplado a diferentes posiciones a lo largo de la trayectoria. Alternativamente, un receptor puede ser sostenido o llevado por una persona, que puede transportar manualmente el receptor a diferentes posiciones. La velocidad a la que se mueve el receptor a lo largo de su trayectoria debe ser al menos lo suficientemente rápida para obtener suficiente cobertura de diferencias de fase relativas entre las señales de trayectoria directa y de reflexión. El movimiento del receptor puede implicar seguir repetidamente la misma trayectoria durante múltiples ciclos, por ejemplo desplazando el receptor múltiples veces alrededor de un patrón circular (tal como trayectorias circulares 144, 146 y 148). Seguir repetidamente el mismo trayecto de trayectoria de manera cíclica asegura que se logran un número suficiente de mediciones que representan diferencias de fase distribuidas entre todo el rango de $0-2\pi$. Por ejemplo, se puede configurar un mecanismo giratorio para repositionar repetidamente el receptor a lo largo de una trayectoria circular a una velocidad de 60 rpm (i.e., correspondiente a una rotación completa cada segundo).

Los datos de medición incluyen al menos la diferencia de tiempo de llegada (TDOA) de la señal 142 de RF entre los pares de receptores 134, 136, 138 en cada una de las posiciones de la trayectoria. Por consiguiente, el procesador 140 calcula una serie de mediciones de TDOA entre los receptores 134 y 136, entre los receptores 134 y 138, y entre los receptores 136 y 138, para cada una de las diferentes posiciones de los receptores en la pareja respectiva. Posteriormente, el procesador 140 calcula un valor promedio de todas las mediciones de TDOA para cada par de receptores. El procesador 140 calcula entonces la localización del transmisor 132 en base a los valores de TDOA promedio. En general, el sistema 130 puede incluir más de tres receptores y la localización se puede realizar en base a los datos de TDOA obtenidos para solo tres de las parejas de receptores, para todas las posibles parejas de receptores, o para cualquier número intermedio (la estimación de la posición es más precisa a medida que aumenta el número de receptores). Tres receptores es el número mínimo requerido para permitir la localización, aunque es posible lograr el efecto de un cierto número de receptores utilizando un número menor de receptores reales (p.ej., utilizando dos receptores, al menos uno de los cuales se desplaza a una localización sustancialmente diferente durante el transcurso de la localización, para representar eficazmente la posición de un "tercer receptor").

El cambio en las posiciones de los receptores introduce diversidad en la fase relativa entre la trayectoria directa y las reflexiones de la señal de recepción. Como resultado, los errores de TDOA estimados asociados con las diferencias de fase relativas (los errores que surgen principalmente de la propagación multitrayectoria y otras distorsiones en la señal de recepción) tienden a distribuirse alrededor del valor real. Por lo tanto, promediar la secuencia total de valores para cada una de las diferentes posiciones del receptor proporcionará un valor final que tiende a aproximarse al valor real. De esta manera, promediar los valores en diferentes posiciones de recepción sirve para reducir sustancialmente el sesgo asociado con el efecto multitrayectoria en la señal. Este fenómeno es evidente a partir del gráfico 110 (Figura 1), como se discutió anteriormente en la presente memoria.

Mientras que en teoría, si se sabe con antelación qué receptores están influenciados por la interferencia multitrayectoria, entonces se pueden repositionar solo los receptores relevantes (en lugar de todos ellos) para obtener una estimación de la localización mejorada. En la práctica, sin embargo, tal información no está disponible, y por eso el enfoque general es repositionar todos los receptores.

Según otra realización de la técnica descrita, una pluralidad de receptores (o antenas de recepción) se predisponen en diferentes posiciones fijas a lo largo de la trayectoria, o alternativamente, se pueden desplegar de manera selectiva a posiciones fijas a lo largo de la trayectoria, p.ej., activando un conmutador que despliega todos los receptores. De esta manera, se obvia la necesidad de mover o repositionar físicamente el receptor.

Según una realización adicional de la técnica descrita, la secuencia de mediciones obtenida en diferentes posiciones a lo largo de una trayectoria por un receptor se puede obtener en la práctica utilizando múltiples receptores (o antenas de recepción), que se repositionan simultáneamente a lo largo de respectivas secciones de toda la trayectoria. Por ejemplo, haciendo referencia a la Figura 3, las mediciones del receptor 134 a lo largo de la trayectoria 144 se pueden obtener utilizando un par de “subreceptores” 134A y 134B, mientras que un primer subreceptor 134A se repositiona sucesivamente alrededor de una mitad de la circunferencia de la trayectoria circular 144 (p.ej., pasando a través de al menos los puntos 144A, 144B y 144C de la trayectoria), mientras que concurrentemente, el segundo subreceptor 134B se repositiona sucesivamente alrededor de la otra mitad de la circunferencia de la trayectoria circular 144 (p.ej., pasando a través de al menos los puntos 144D, 144E y 144A de la trayectoria). Este patrón se puede repetir múltiples veces (i.e., de manera cíclica), como sea necesario. De manera correspondiente, se pueden repositionar concurrentemente de manera simultánea cuatro subreceptores asociados con el receptor 134 a lo largo de los respectivos cuadrantes de la trayectoria circular 144. De esta manera, el mecanismo de repositionamiento puede lograr un número mayor de mediciones totales para una duración dada. Por ejemplo, un dispositivo giratorio obtendría el doble del número de mediciones en el mismo periodo de tiempo utilizando dos subreceptores que se muevan concurrentemente sobre medios sectores de una trayectoria circular, en comparación con un receptor que se mueva a lo largo de toda la trayectoria a la misma velocidad. Por ejemplo, un dispositivo giratorio que opere a 60 rmp con dos subreceptores (de tal manera que cada subreceptor completa una rotación completa cada segundo), obtendría el doble del número total de mediciones por segundo que cuando se utiliza un solo receptor.

Según todavía otra realización de la técnica descrita, se puede configurar un solo mecanismo de repositionamiento (p.ej., dispositivo giratorio) para repositionar múltiples receptores operativos para detectar diferentes transmisores que operan en diferentes dominios espectrales. Por ejemplo, haciendo referencia a la Figura 3, se indica a un primer conjunto de receptores 134A, 136A, 138A de RF que determinen la geolocalización de un primer transmisor 132A de RF operativo en un primer dominio de rango espectral de RF (p.ej., en el rango de VHF), mientras que se indica a un segundo conjunto de receptores 134B, 136B, 138B de RF que determinen la geolocalización de un segundo transmisor 132B de RF operativo en un segundo dominio de rango espectral de RF (p.ej., en el rango de UHF), donde ambos conjuntos de transmisores/receptores están en la misma vecindad. Por consiguiente, se puede configurar un dispositivo giratorio (no mostrado) para hacer girar al menos un receptor perteneciente a cada conjunto, juntos o separadamente, a lo largo de las mismas o diferentes trayectorias circulares. Por ejemplo, el dispositivo giratorio puede hacer girar ambos receptores 134A y 134B a lo largo de la trayectoria circular 144, de tal manera que el receptor 134A obtiene una secuencia de mediciones de RF respectivas del transmisor 132A a lo largo de diferentes puntos de la trayectoria 144, mientras que el receptor 134B obtiene una secuencia de mediciones de RF respectivas del del transmisor 132B a lo largo de diferentes puntos de la trayectoria 144.

Se hace ahora referencia a la Figura 4, que es un gráfico, denominado 160 en general, que ilustra el nivel del sesgo de TDOA cuando los receptores se repositionan mientras adquieren mediciones de acuerdo con la técnica descrita, en base a los resultados de un experimento. El experimento para el gráfico 160 se realizó utilizando tres receptores situados en los vértices de un triángulo aproximadamente equilátero con longitudes laterales de ~5km, y una señal de RF de transmisión con un ancho de banda de 25kHz a una frecuencia de 79MHz localizada dentro del triángulo. Cada uno de los receptores se repositionó a lo largo del perímetro de una trayectoria circular de 3m de radio. Se obtuvieron mediciones de TDOA para segmentos de 400ms cada 200ms. Un segmento representa un instante de tiempo en el que los receptores se consideran sustancialmente estacionarios (se supone que el receptor no se mueve mucho más de 400ms). Por tanto, cada segmento representa una cierta realización de la posición del receptor (que corresponde a una cierta realización de fase relativa).

El gráfico 160 representa la medición de TDOA (en unidades de ns) como una función del segmento para las tres parejas de receptores. Las lecturas de TDOA estimadas se representan por los símbolos triangular, circular, y de puntos, respectivamente, y los valores de TDOA esperados correspondientes se representan por las líneas discontinuas. El cuadro de texto en el gráfico 160 proporciona propiedades estadísticas del error de TDOA para las mediciones de TDOA asociadas con cada combinación de pares de receptores, donde la primera columna (la de más a la izquierda) indica el error de TDOA promedio, la segunda columna indica la desviación estándar del error de TDOA, y la tercera columna indica el RMSE de TDOA.

El gráfico 160 demuestra que el efecto multitraectoria es dominante para todos los receptores, como es expresado por los altos valores de RMSE de TDOA de ~600ns y máximo sesgo de TDOA por encima de 1 μ s. Este nivel de sesgo de TDOA puede dar como resultado un error de localización (i.e., el error en la estimación de la posición del transmisor resultante utilizando los valores de TDOA asociados) de por encima de 500nm. Los segmentos en los que el error de TDOA es significativo corresponden a posiciones del receptor que realizan diferencias de fase que dan como resultado un alto sesgo de TDOA. Por tanto, se puede concluir que para los receptores estacionarios hay una alta probabilidad de un gran sesgo de TDOA. También se puede ver a partir del gráfico 160 que las mediciones de TDOA para cada uno de los pares de receptores se distribuyen alrededor del valor esperado. Promediando las mediciones de TDOA, el sesgo de TDOA para los correspondientes pares de receptores se redujo de aproximadamente 1 μ s (peor de los casos) a aproximadamente 250 ns. El error de localización resultante se reduce de aproximadamente 500 m a aproximadamente 38 m.

Se hace ahora referencia a la Figura 5, que es un diagrama de bloques de un método para determinar una localización de un transmisor de RF en la presencia de interferencia multitraectoria, operativo de acuerdo con una realización de

la técnica descrita. En el procedimiento 182, se proporcionan una pluralidad de receptores de RF espacialmente separados en localizaciones conocidas en un entorno de multitrayectoria moderada en la vecindad de un transmisor de RF estacionario. Haciendo referencia a la Figura 3, los receptores 134, 136 y 138 se disponen en respectivas localizaciones R1, R2 y R3 separadas, y están todos dentro del rango de recepción del transmisor 132. El entorno está sometido a reflexiones multitrayectoria y hay propagación en la línea de visión entre el transmisor 132 y los receptores 134, 136, 138.

En el procedimiento 184, se detecta una señal de RF activa asociada con el transmisor recibida por al menos un receptor, y se indica a los receptores que adquieran mediciones de la señal de RF detectada. Haciendo referencia a la Figura 3, el procesador 140 ordena a los receptores 134, 136, 138 que recojan datos en un rango espectral seleccionado, y analiza los datos recibidos para detectar señales de RF activas que pueden estar asociadas con el transmisor 132. Cuando se detecta que se ha sido recibida una señal de RF activa adecuada por al menos un receptor, el procesador 140 ordena a cada uno de los receptores 134, 136, 138 que adquieran mediciones de la señal detectada, que pueden incluir la trayectoria directa y/o reflexiones de una señal 142 de RF que es transmitida por el transmisor 132.

En el procedimiento 186, se obtiene una secuencia de mediciones de la señal de RF en diferentes posiciones a lo largo de una trayectoria por cada uno de los receptores. Haciendo referencia a la Figura 3, cada uno de los receptores 134, 136 y 138 se mueven a diversas posiciones a lo largo de una trayectoria mientras obtienen lecturas de la señal 142 de RF. Por ejemplo, el receptor 134 se desplaza secuencialmente a las posiciones 144A, 144B, 144C, 144D y 144E a lo largo de la trayectoria circular 144, y obtiene una respectiva lectura en cada posición. Similarmente, el receptor 136 se desplaza secuencialmente a diversas posiciones a lo largo de la trayectoria 146, mientras que el receptor 138 se desplaza secuencialmente a diversas posiciones a lo largo de la trayectoria 148. Alternativamente, la secuencia de mediciones puede ser obtenida por múltiples receptores (o antenas de recepción) que se dispongan en posiciones fijas a lo largo de la trayectoria, o que se desplieguen selectivamente a posiciones fijas a lo largo de la trayectoria.

En el procedimiento 188, se calculan mediciones de TDOA entre pares de receptores en base a las mediciones obtenidas. Haciendo referencia a la Figura 3, el procesador 140 calcula las mediciones de TDOA para diferentes pares de receptores 134, 136, 138, en base a las series de lecturas obtenidas en diferentes posiciones en cada receptor. En particular, se obtienen mediciones de TDOA entre los receptores 134 y 136, entre los receptores 134 y 138, y entre los receptores 136 y 138, para cada una de las diferentes posiciones en la pareja respectiva.

En el procedimiento 190, se promedian las mediciones de TDOA para cada par de receptores, para proporcionar un respectivo valor de la medición de TDOA actualizado para ese par de receptores. Haciendo referencia a la Figura 3, el procesador 140 calcula un valor promedio de todas las mediciones de TDOA para cada par de receptores. Por ejemplo, el procesador 140 promedia todas las mediciones de TDOA entre los receptores 134 y 136 para obtener un valor de TDOA promediado final entre los receptores 134 y 136. Similarmente, el procesador 140 obtiene un valor de TDOA promediado entre los receptores 134 y 138, y entre los receptores 136 y 138.

En el procedimiento 192, se determina una localización del transmisor en base a los valores de la medición de TDOA actualizados. Haciendo referencia a la Figura 3, el procesador 140 calcula la localización del transmisor 132 en base a los valores de TDOA promedio calculados para cada par de receptores. En particular, el procesador 140 utiliza la TDOA actualizada entre cada par entre los receptores 134, 136, 138, para obtener una estimación de la posición del transmisor 132.

La técnica descrita es aplicable a la geolocalización para cualquier propósito, y se puede emplear en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo tanto aplicaciones civiles como militares. Por ejemplo, la técnica descrita se puede utilizar en infraestructuras de comunicaciones, tal como para localizar posibles transmisiones piratas que estén interfiriendo con difusiones sancionadas y otras formas de gestión del espectro. Otro ejemplo es en conjunto con las redes celulares, tal como para proporcionar la evaluación precisa de un dispositivo móvil, p.ej., además de o en lugar de sistemas de posicionamiento global (GPS) estándar. Alternativamente, se puede configurar una pluralidad de antenas celulares para girar a lo largo de diferentes trayectorias planas para obtener recepciones de una señal transmitida para la que la dirección de llegada no es conocida de antemano. Una aplicación potencial adicional de la técnica descrita es para la localización de vehículos perdidos o robados.

Mientras que se han descrito ciertas realizaciones de la materia de objeto descrita, para permitir a un experto en la técnica poner en práctica la presente invención, la descripción precedente pretende ser ejemplar solamente. No debe utilizarse para limitar el alcance de la materia de objeto descrita, lo cual debe determinarse por referencia a las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para determinar una localización de un transmisor de radiofrecuencia RF en la presencia de interferencia multitrayectoria, comprendiendo el método los procedimientos de:
- 5 proporcionar (182) una pluralidad de receptores (134, 136, 138) de RF espacialmente separados en localizaciones conocidas en un entorno de multitrayectoria moderada en la vecindad de dicho transmisor; y
- detectar (184) una señal de RF activa asociada con dicho transmisor recibida por dichos receptores, e indicar a dichos receptores que adquieran mediciones de la señal de RF detectada,
- caracterizado por que el método comprende además los procedimientos de:
- 10 reposicionar repetidamente los respectivos receptores (134, 136, 138) a lo largo de respectivas trayectorias circulares (144, 146, 148) a una velocidad suficientemente rápida para obtener (186) una secuencia de mediciones de la señal de RF por cada uno de los respectivos receptores en diferentes posiciones a lo largo de su respectiva trayectoria circular en una diversidad de diferencias de fase relativas entre la trayectoria directa y las reflexiones multitrayectoria de la señal de RF;
- 15 calcular (188) las mediciones de diferencia de tiempo de llegada (TDOA) entre pares de dichos receptores en base a las mediciones obtenidas;
- promediar (190) las mediciones de TDOA para cada uno de dichos pares de receptores para proporcionar un respectivo valor de la medición de TDOA actualizado; y
- determinar (192) una localización de dicho transmisor en base a los valores de la medición de TDOA actualizados.
- 20 2. El método de la reivindicación 1, en donde el rango de dicha trayectoria circular es al menos la mitad de la longitud de onda de dicha señal de RF detectada.
3. El método de la reivindicación 1, en donde dicho procedimiento de reposicionar repetidamente los receptores a lo largo de una trayectoria circular comprende reposicionar simultáneamente una pluralidad de subreceptores asociados con el receptor a lo largo de respectivas secciones de dicha trayectoria circular.
- 25 4. El método de la reivindicación 1, en donde dicho procedimiento de reposicionar repetidamente los receptores a lo largo de una trayectoria circular comprende reposicionar simultáneamente una pluralidad de receptores asociados con una pluralidad de transmisores de RF que operan en diferentes rangos espectrales.
5. Un sistema (130) para determinar una localización de un transmisor (132) de radiofrecuencia RF en la presencia de interferencia multitrayectoria, comprendiendo el sistema:
- 30 una pluralidad de receptores (134, 136, 138) de RF, espacialmente separados en localizaciones conocidas en un entorno de multitrayectoria moderada en la vecindad de dicho transmisor; y
- un procesador (140), acoplado con dichos receptores, dicho procesador operativo para detectar una señal (142) de RF activa asociada con dicho transmisor recibida por dichos receptores y que indica a dichos receptores que adquieran mediciones de la señal de RF detectada, caracterizado por que dicho procesador es además operativo para calcular
- 35 las mediciones de diferencia de tiempo de llegada (TDOA) entre pares de dichos receptores en base a una secuencia de mediciones de la señal de RF obtenida por cada uno de los respectivos receptores (134, 136, 138) en diferentes posiciones a lo largo de respectivas trayectorias circulares (144, 146, 148) reposicionando repetidamente los respectivos receptores a lo largo de su respectiva trayectoria circular a una velocidad suficientemente rápida para obtener mediciones en una diversidad de diferencias de fase relativas entre la trayectoria directa y las reflexiones multitrayectoria de la señal de RF, dicho procesador además operativo para promediar las mediciones de TDOA para
- 40 cada uno de dichos pares de receptores para proporcionar un respectivo valor de la medición de TDOA actualizado, y además operativo para determinar una localización de dicho transmisor en base a los valores de la medición de TDOA actualizados.
6. El sistema de la reivindicación 5, en donde el rango de dicha trayectoria circular es al menos la mitad de la longitud de onda de dicha señal de RF detectada.
- 45 7. El sistema de la reivindicación 5, que comprende además medios de reposicionamiento, operativos para reposicionar repetidamente al menos uno de dichos receptores a diferentes posiciones a lo largo de la trayectoria circular.
8. El sistema de la reivindicación 7, en donde dichos medios de reposicionamiento son operativos para reposicionar simultáneamente una pluralidad de subreceptores asociados con dicho receptor a lo largo de respectivas secciones
- 50 de dicha trayectoria circular.

9. El sistema de la reivindicación 7, en donde dichos medios de reposicionamiento son operativos para reposicionar simultáneamente una pluralidad de receptores asociados con una pluralidad de transmisores de RF que operan en diferentes rangos espectrales.

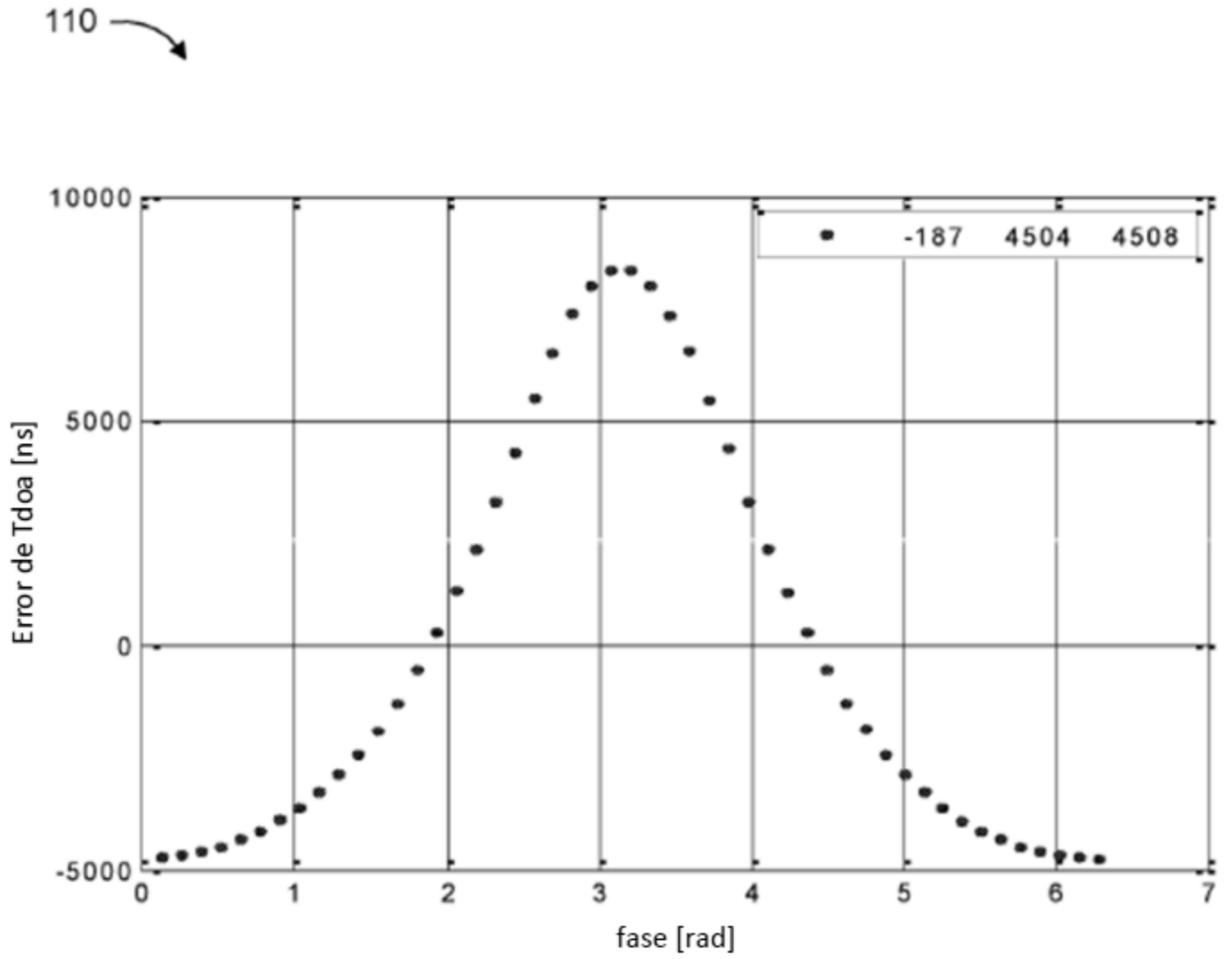


FIG. 1

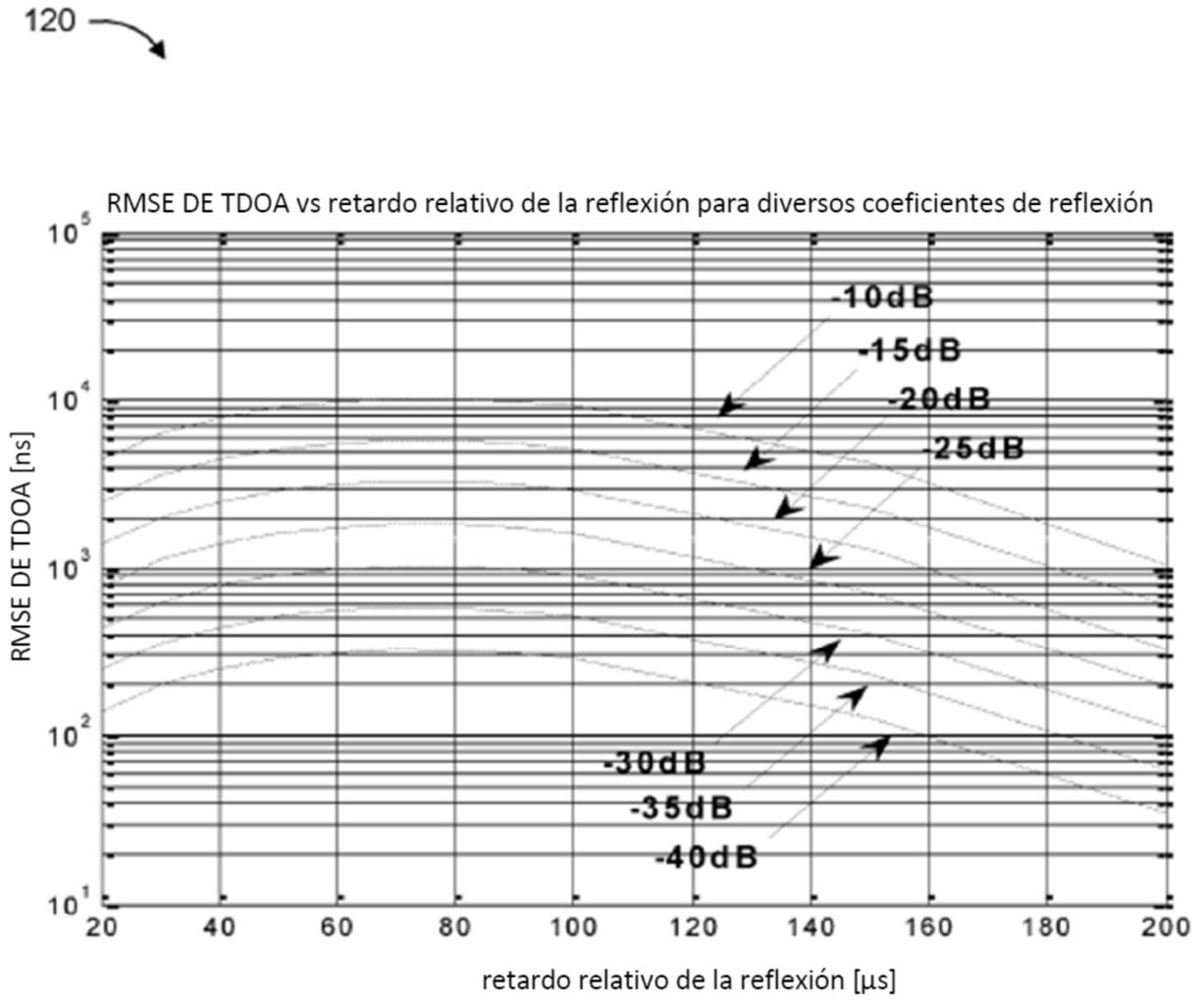


FIG. 2

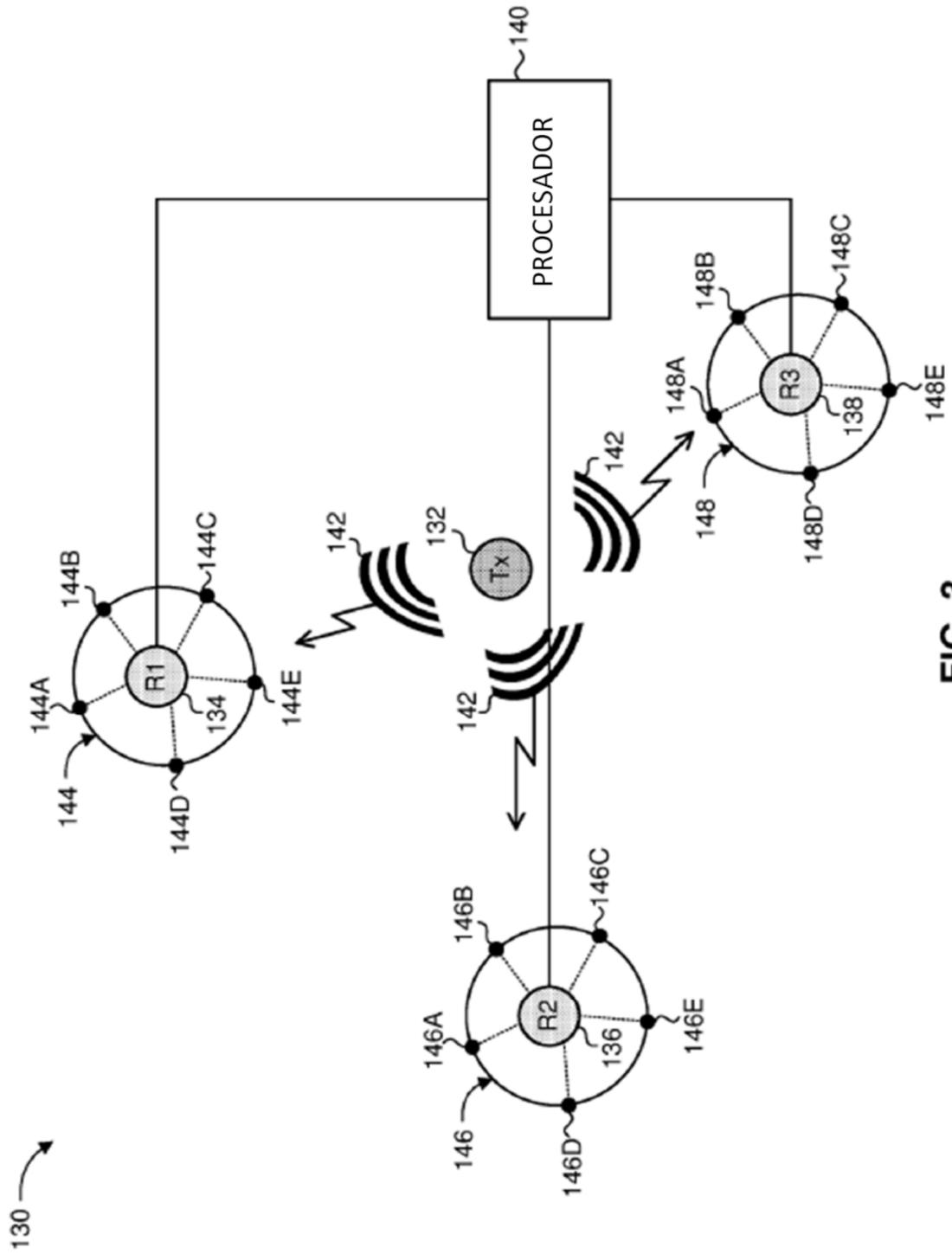


FIG. 3

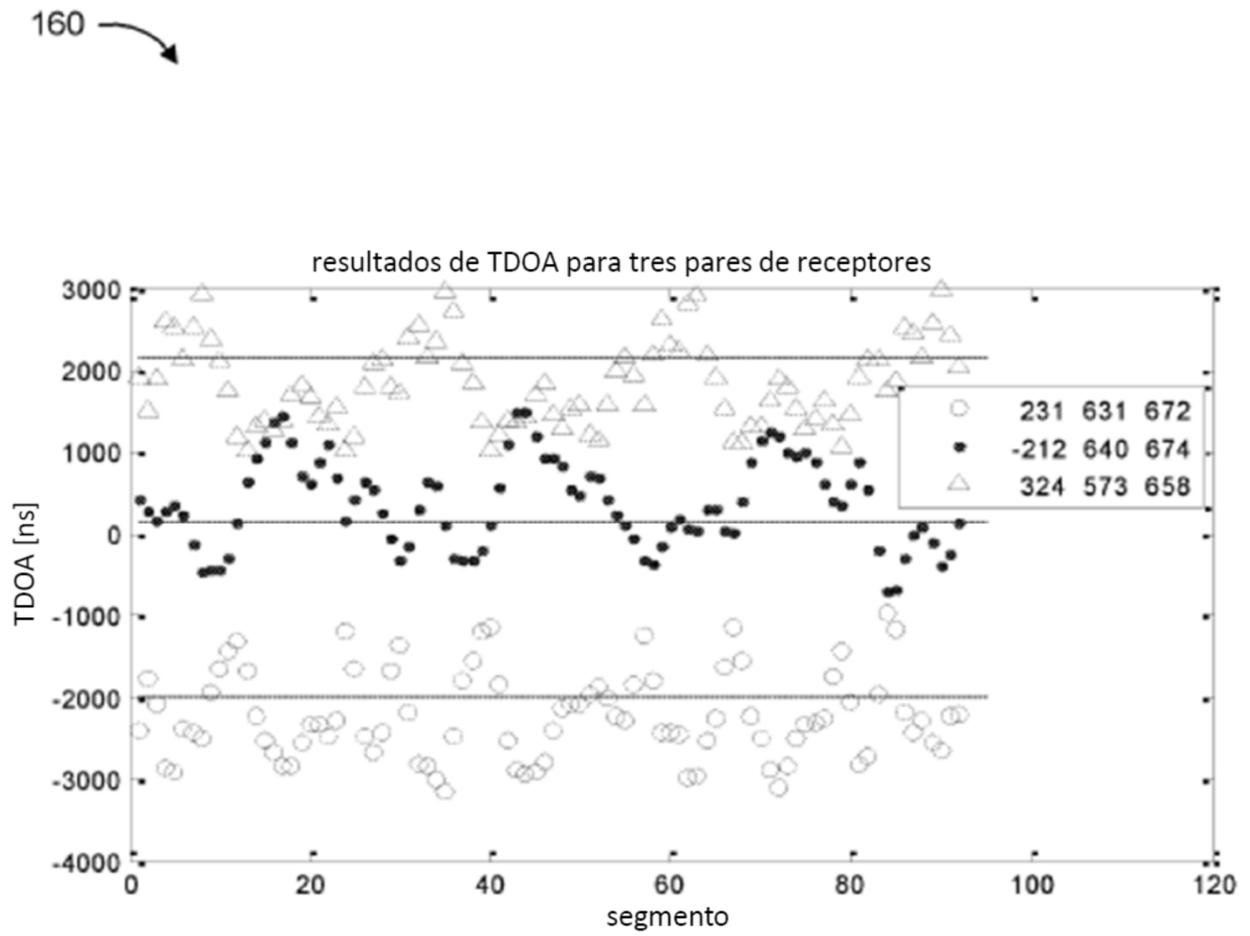


FIG. 4

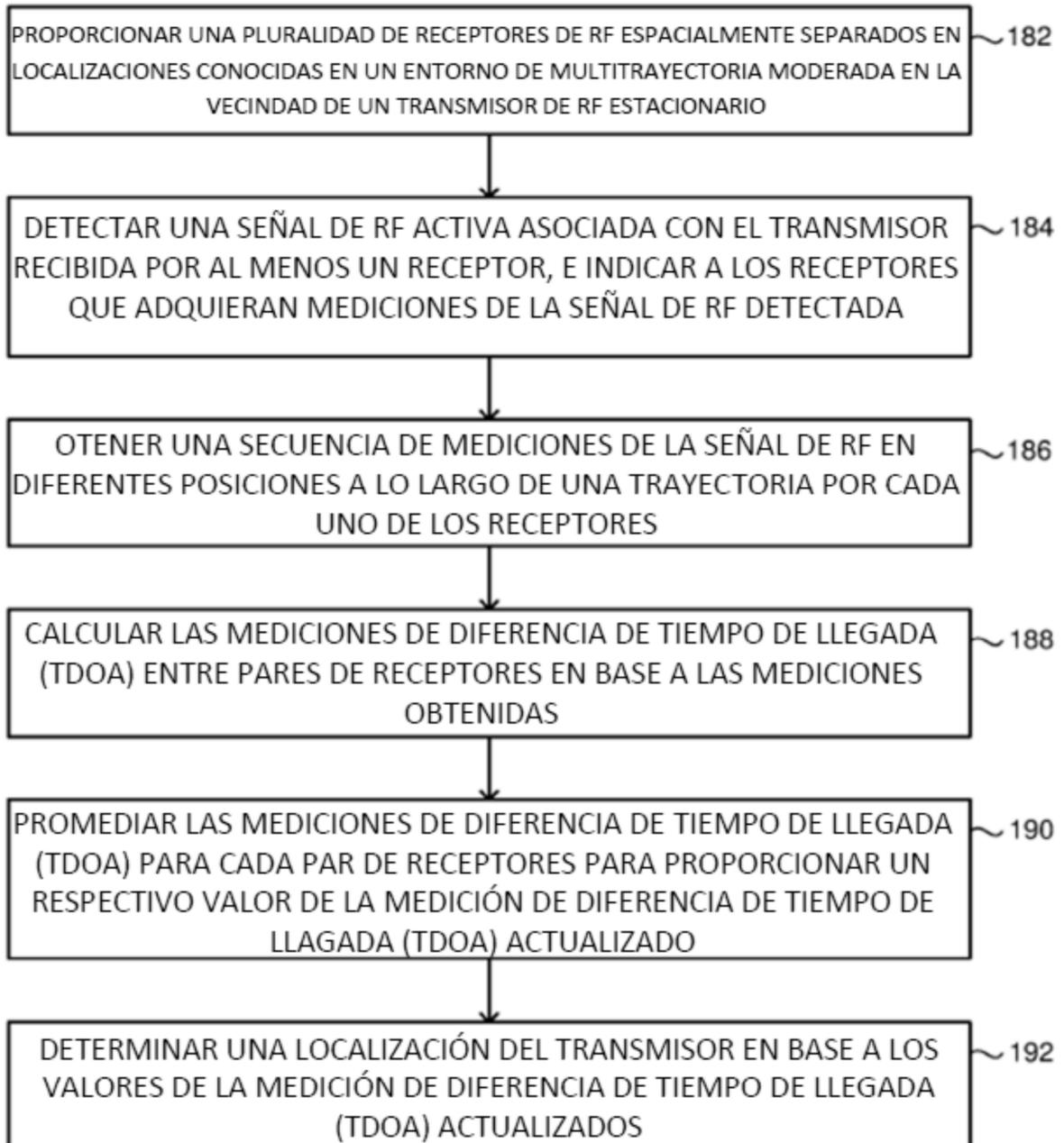


FIG. 5