

19



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 725 773**

21 Número de solicitud: 201830297

51 Int. Cl.:

G01S 13/00 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

27.03.2018

43 Fecha de publicación de la solicitud:

27.09.2019

71 Solicitantes:

**FUNDACION IMDEA NETWORKS (100.0%)
Avda. del Mar Mediterráneo, 22
28918 Leganés (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**BIELSA LÓPEZ, Guillermo;
PALACIOS BELTRAN, Joan;
CASARI, Paolo;
WIDMER, Jörg Carsten y
LOCH NAVARRO, Adrian Carlos**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

54 Título: **Método para determinar información de tipo geométrico en dispositivos de redes en la banda de ondas milimétricas**

57 Resumen:

Método para determinar información de tipo geométrico en dispositivos de redes en la banda de ondas milimétricas.

Un método para determinar información geométrica de dispositivos de red en la banda de ondas milimétricas que comprende medidas (401), por al menos uno de los dispositivos, de intensidad de señal y relación señal / ruido de una transmisión recibida por otro dispositivo de la red de banda de ondas milimétricas; la etapa de estimar información angular (402, 403) de la señal recibida para generar (404) un conjunto de partículas informadas (P_i) que comprende los valores iniciales del estado de cada partícula informada e ingresada en un filtro de partículas modificado; el filtro de partículas modificado que evoluciona (41) el conjunto de partículas informadas (P_i) y de partículas pasadas (P_p) para obtener un conjunto de partículas evolucionadas (P_e) que, a la vez, se evoluciona para obtener un conjunto de partículas posteriores ($P_{p\text{ost}}$) entregado por el filtro de partículas modificado. Finalmente, el filtro de partículas modificado entrega (44) como resultado los valores finales de la información geométrica de al menos un dispositivo extraído del conjunto de partículas posteriores ($P_{p\text{ost}}$) entregado.

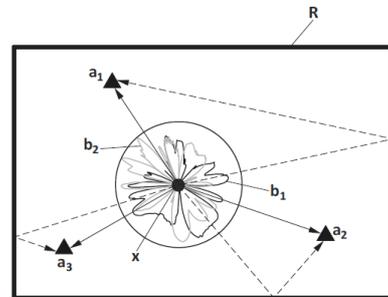


FIG. 1

ES 2 725 773 A1

DESCRIPCIÓN

Método para determinar información de tipo geométrico en dispositivos de redes en la banda de ondas milimétricas

5

Campo de la invención

La presente invención tiene su aplicación dentro del sector de las telecomunicaciones. Más específicamente, se refiere a redes y sistemas de ondas de banda milimétrica (de ondas milimétricas) para la localización inalámbrica de dispositivos cliente en escenarios de ondas milimétricas.

La presente invención se refiere a un método para determinar información de tipo geométrico (ángulos, orientación y propiedades de posición) de los dispositivos en las redes de ondas milimétricas (por ejemplo, IEEE 802.11ad) utilizando un filtro de partículas (PF) modificado.

15

Antecedentes de la invención

Las comunicaciones en la banda de ondas milimétricas (de ondas milimétricas) imponen requisitos estrictos al hardware. La frecuencia muy alta, el ancho de banda y la tasa de datos requieren una gran velocidad de procesamiento en los transceptores. Para garantizar que sea viable producir hardware destinado a los consumidores finales, a menudo se adapta el diseño de dispositivos comerciales a aplicaciones específicas.

25

Los dispositivos de banda milimétrica generalmente utilizan agrupaciones ("array", en inglés) de antenas para la transmisión, lo que resulta en la formación de patrones de radiación direccionales que enfocan la emisión de la señal hacia determinados ángulos azimutales y de elevación. Aunque los modelos teóricos simplificados que se usan, por ejemplo, en los estándares actuales asumen patrones de emisión ideales que sólo enfocan en las direcciones deseadas y no emiten ninguna potencia radio en otras direcciones, el hardware comercial destinado al mercado produce normalmente patrones de radiación altamente irregulares. Por ejemplo, los puntos de acceso (AP) comerciales conformes al estándar IEEE 802.11ad utilizan conjuntos de antenas en fase de coste reducido que resultan en patrones de radiación con formas extremadamente irregulares que a menudo carecen de un lóbulo principal claramente definido en una dirección específica, y que incluso pueden tener dos o

35

más lóbulos de potencia similar al principal.

Además, el firmware de los AP utiliza valores aproximados de relación señal a ruido (SNR) a la hora de seleccionar el mejor sector de transmisión. Si bien esto es suficiente para las comunicaciones en escenarios con un número limitado de nodos cliente, esto limita fuertemente otros casos de uso de ondas milimétricas, como el posicionamiento de alta precisión.

Aun así, el gran ancho de banda disponible en la banda de 60 GHz, así como el alto número de elementos en los conjuntos de antenas en fase permite, en principio, diseñar sistemas de posicionamiento de alta precisión. La integración de dichos sistemas con protocolos estándar (por ejemplo, IEEE 802.11ad) es crucial para el despliegue de la próxima generación de servicios basados en la ubicación de los nodos cliente, pero también es un desafío y limita las opciones de diseño disponibles. Además, el hardware de 60 GHz actual usa a menudo patrones cuasi-omnidireccionales para la recepción, y por lo tanto no realiza medidas para identificar el mejor patrón en el receptor de ondas milimétricas. Esto limita aún más la información angular que dicho hardware comercial puede proporcionar para el posicionamiento. Dado que el hardware comercial de 60 GHz solo proporciona información de estado de canal mal aproximada y utiliza patrones de transmisión muy irregulares a consecuencia de su diseño de coste reducido, es muy difícil estimar los ángulos de salida (AoD) de la señal de los clientes, e incluso más difícil traducir la información de AoD en estimaciones de posición y orientación.

En redes de ondas milimétricas, los dispositivos cliente típicamente se comunican usando transmisión altamente direccional (TX) así como apuntamiento electrónico de formación del haz ("beamforming", en inglés) en recepción (RX) para compensar las pérdidas de propagación incurridas por la señal de ondas milimétricas, y para alcanzar distancias de comunicación suficientemente largas. Como resultado, es posible aprovechar las operaciones de formación del haz para estimar los ángulos de salida (AoD) de la señal de ondas milimétricas del transmisor y los ángulos de llegada (AoA) de la misma señal en el receptor. En algunos casos, el transmisor o el receptor se comunican usando patrones cuasi-omnidireccionales en lugar de direccionales, lo que elimina la necesidad de beamforming en ese dispositivo cliente y mejora la robustez a expensas de alcances de comunicación más cortos. A su vez, esto restringe la información angular disponible a solo AoA (o AoD, respectivamente).

Finalmente, los algoritmos de triangulación requieren que al menos tres AP estén dentro del

alcanza de comunicación del cliente para determinar la ubicación del mismo. Dado que el bloqueo de la señal en las redes de ondas milimétricas es común no se puede garantizar siempre la presencia de un número suficiente de AP. Por lo tanto hay que diseñar sistemas de posicionamiento que sean capaces de hacer frente a situaciones en las que falte información.

En definitiva, es muy deseable desarrollar un sistema que implemente funciones tanto de comunicación como de localización en una plataforma comercial de ondas milimétricas de coste reducido, y por lo tanto apta para el consumidor final.

Sumario de la invención

La presente invención resuelve los problemas anteriormente mencionados y supera las limitaciones del estado del arte, proporcionando un método para determinar las propiedades geométricas (ángulos, orientación y posición) de un dispositivo de ondas milimétricas, incluso en presencia de los patrones de radiación irregulares típicos de hardware comercial. El presente método funciona solo con AoA, o solo AoD, o ambos. En el contexto de la invención, AoA, AoD y su combinación se denominan conjuntamente información angular. La información angular se obtiene al resolver un problema de programación lineal (LP) que produce un espectro angular disperso. La orientación y la posición del dispositivo cliente se estiman conjuntamente a través de un filtro de partículas modificado (PF). La modificación del PF implica la inyección de partículas denominadas "informadas", que representan posibles estimaciones fiables de la posición del usuario, y que se calculan resolviendo un problema de localización por diferencias de ángulo (ADoA).

El método descrito se aplica a cualquier escenario de ondas milimétricas (de ondas milimétricas) incluyendo redes IEEE 802.11ad con puntos de acceso (AP) y dispositivos cliente, redes "de ondas milimétricas" de malla ("mesh" en inglés), redes ad hoc "de ondas milimétricas", así como implementaciones "de ondas milimétricas" de infraestructura compuestas por estaciones base, terminales repetidores y clientes móviles. Como ejemplo, pero sin limitar de ninguna manera la aplicabilidad del enfoque actual, la presente invención se aplica a redes IEEE 802.11ad con AP y clientes móviles, donde se asume que los AP son estáticos y los clientes móviles deben ser localizados. A medida que la información angular se recoge en diferentes dispositivos, se utiliza un mecanismo de realimentación para entregar la información a los componentes del método que la requieran, tal como el PF modificado. Por ejemplo, el PF modificado se puede ejecutar en los AP, en cuyo caso los

dispositivos cliente usan mecanismos de realimentación para enviar la información angular no detectada directamente por el AP.

Además de determinar el ángulo de llegada de la señal de ondas milimétricas, el método
5 propuesto determina la orientación y la ubicación del cliente.

El método propuesto comprende dos bloques principales para poder localizar a un cliente a pesar de las limitaciones de dispositivos comerciales dadas por su coste reducido: i) una formulación de un problema simple de programación lineal (LP) que permite que la red
10 estime el ángulo de llegada de la señal de ondas milimétricas, de manera que dicha información sea compatible con valores de SNR medidos por los AP o clientes para diferentes elecciones de patrones de transmisión; y ii) un filtro de partículas modificado (PF) que obtiene estimaciones de la posible ubicación del dispositivo mientras el mismo está en movimiento. Lo que es más importante, el bloque i) no se basa en ninguna hipótesis
15 simplificadora, tales como el diseño de patrones de transmisión personalizados, la forma “triangular” de patrones, o la disponibilidad de información de fase; adicionalmente, el bloque ii) se basa en un mecanismo de baja complejidad para la actualización de partículas en el PF, y en una manera informada de inyectar nuevas partículas que tienen una mayor probabilidad de ser generadas en la ubicación real del cliente, acelerando así la
20 convergencia del PF y mejorando considerablemente su precisión.

La presente invención se basa en una formulación LP que produce una solución dispersa. Esto proporciona la información angular necesaria. El número de ángulos estimados depende de la calidad de la relación señal a ruido (SNR) y de la directividad de los
25 diagramas de radiación del hardware de consumo. Por ejemplo, en una red con AP y clientes, el cliente lleva a cabo una fase de entrenamiento de patrones de transmisión (o barrido del sector) mediante la transmisión secuencial de un mensaje a través de cada uno de sus patrones disponibles. Todos los AP en proximidad del cliente miden la calidad de la señal recibida correspondiente. Específicamente, se recoge el SNR con que los puntos de
30 acceso reciben los mensajes de barrido de sectores enviados por el cliente. En lugar de relacionar cada identificador de sector con un ángulo específico, el canal de transmisión se descompone en una representación dispersa que pone en relación la potencia con la información angular de cada camino de propagación. Después la información de todos los AP y todos los patrones se fusiona para estimar la ubicación del cliente. Para ello se hace
35 uso de la programación lineal (LP) junto con el análisis de Fourier. Además para evitar errores de ubicación debido a bloqueos se usa un PF modificado para limitar el error de

ubicación, incluso si un cliente está en el área de cobertura de menos de tres AP.

El PF modificado se ocupa del estado de una partícula, que típicamente incluye la posición, la velocidad y la aptitud (“fitness”, en inglés) de la partícula. Las partículas en el PF modificado evolucionan cada vez que se reciben nuevas medidas de ángulos. El conjunto de partículas previas en el PF incluye tanto partículas posteriores evolucionadas durante los pasos de PF previos como partículas “informadas” cuando estén disponibles. En cada iteración del algoritmo se generan nuevas partículas informadas cuyo estado inicial se calcula a partir de la información del ángulo medido resolviendo el problema ADoA correspondiente. Por lo tanto, las partículas informadas tienen una mayor probabilidad de ser generadas en la ubicación real del cliente, acelerando la convergencia del PF y mejorando sustancialmente su precisión. La aptitud de las partículas, que representa la probabilidad de que la posición de la partícula sea correcta dadas las medidas, emplea el análisis de Fourier aplicado a una versión suavizada de los espectros angulares determinados a través de la solución inicial del problema LP. La aptitud de las partículas también toma en cuenta la probabilidad de que la SNR recibida corresponda a la solución encontrada.

En el caso de que las posiciones AP sean desconocidas, los AP realizan una fase de autoaprendizaje, donde todos los ángulos de salida y llegada entre cada dos AP que se encuentran dentro de su rango de comunicación están determinados por los propios AP. Finalmente, se resuelve un problema de minimización de error cuadrático medio para determinar las posiciones de los AP.

La presente invención solo emplea información que puede recopilarse pasivamente, como por ejemplo información de SNR procedente de barridos de sector según el estándar 802.11ad. Esta información puede además cuantificarse con baja granularidad.

Un aspecto de la presente invención se refiere a un método para determinar la información geométrica de los dispositivos cliente en redes de ondas milimétricas, que comprende los siguientes pasos:

- recopilar mediciones, por al menos uno de los dispositivos de una red de ondas milimétricas, de la intensidad de señal y de la relación señal / ruido (SNR) de una transmisión recibida desde otro dispositivo de la red de ondas milimétricas;
- estimar la información angular de llegada de las señales recibidas, para generar un

conjunto de partículas informadas (P_i) que se introducen en un filtro de partículas modificado, comprendiendo el conjunto P_i valores iniciales de estado de cada partícula informada;

- evolucionando, mediante el filtro de partículas modificado, el conjunto de partículas informadas (P_i) y un conjunto de partículas pasadas (P_p) generadas al azar e ingresadas en el filtro de partículas modificado para la inicialización, para obtener un conjunto de partículas evolucionadas (P_e);
- evolucionando el conjunto de partículas evolucionadas (P_e) para obtener un conjunto de partículas posteriores (P_{Post}) entregadas por el filtro de partículas modificado;
- entregar los valores finales de información geométrica de al menos un dispositivo obtenido del conjunto entregado de partículas posteriores (P_{Post}), la información geométrica obtenida finalmente es entregada por el filtro de partículas modificado como valores de salida.

La presente invención tiene una serie de ventajas con respecto al estado del arte, que se pueden resumir de la siguiente manera:

- La presente invención convierte patrones de antena imperfectos y mediciones de baja resolución de SNR en información angular precisa. Esto se aplica a la información del ángulo de salida, la información del ángulo de llegada, o ambos cuando estén disponibles. El método propuesto también funciona en caso de que la formación de haz (“beamforming”, en inglés) solo se use para la transmisión de paquetes (o solo para recepción), y para la recepción de paquetes (respectivamente, transmisión) los dispositivos utilicen un patrón de transmisión cuasi-omnidireccional. Por lo tanto, el algoritmo también funciona en caso de que sólo esté disponible la AoD o sólo la información de AoA;
- No se necesita conocer ninguna información sobre la ubicación y orientación inicial de los clientes o sobre los AP a fin de estimar la información angular;
- La presente invención puede determinar todos los ángulos, incluso entre los propios AP, a través de una formulación LP, en base a la información angular estimada. Cuanto mejores sean los patrones de antena, más simples serán los algoritmos LP que se pueden utilizar;
- El método propuesto no implica ninguna sobrecarga y ninguna modificación de los protocolos estándar de ondas milimétricas, como 802.11ad, ya que el método solo recopila información que está disponible en los puntos de acceso como un subproducto de operaciones llevadas a cabo normalmente. Por lo tanto, la localización del dispositivo

se puede lograr con cero gastos adicionales de comunicación (excepto realimentar la información de ubicación a la entidad que procesa los datos), gracias a la información recopilada por los puntos de acceso 802.11ad durante la fase de entrenamiento de patrones de transmisión;

- 5 - El método propuesto funciona en tiempo real, ya que puede actualizar la estimación de la ubicación de forma dinámica cada vez que un dispositivo efectúe un barrido de sector;
- El método propuesto opera en escenarios reales y puede implementarse en AP comerciales que comuniquen en la banda de los 60 GHz utilizando agrupaciones de antenas con apuntamiento electrónico y una resolución de SNR muy limitada.

10

Estas y otras ventajas serán evidentes a la luz de la descripción detallada de la invención.

Descripción de las figuras

15 Con el fin de ayudar a la comprensión de las características de la invención, de acuerdo con una realización práctica preferida de la misma y con el fin de complementar esta descripción, las siguientes figuras se adjuntan como una parte integral de la misma, que tiene un carácter ilustrativo y no limitativo:

20 La Figura 1 muestra un escenario de referencia de ondas milimétricas para la localización de un cliente.

La Figura 2 muestra tres diagramas correspondientes a tres diferentes descomposiciones de canales, usando respectivamente MMSE, programación lineal y programación lineal con patrones regularizados, en cuatro puntos de acceso.

25

La Figura 3 muestra un modelo de regresión de pérdida de potencia con la distancia, para el cálculo de los parámetros del modelo empleado para calcular la verosimilitud de las mediciones de SNR.

30

La Figura 4 muestra un diagrama de flujo de un método para determinar la información geométrica de clientes en escenarios de ondas milimétricas basados en filtros de partículas, de acuerdo con una realización preferida de la invención.

35

Realización preferida de la invención

Las cuestiones definidas en esta descripción detallada se proporcionan para ayudar en una comprensión global de la invención. En consecuencia, los expertos en la técnica reconocerán que pueden realizarse variaciones, cambios y modificaciones de las realizaciones descritas en la presente memoria sin apartarse del alcance y del espíritu de la invención. Además, la descripción de funciones y elementos bien conocidos se omiten por claridad y concisión.

Las realizaciones de la invención se pueden implementar en una variedad de plataformas, sistemas operativos y servidores, dispositivos o aplicaciones. Cualquier disposición, implementación, o arquitectura específica presentada en este documento se proporciona solamente con fines ilustrativos y de comprensión, y no pretende limitar aspectos de la invención. Para una exposición más clara, que tampoco limita de ninguna manera los aspectos de la invención, se considera una red 802.11ad, donde los clientes emplean beamforming en transmisión, los AP reciben la señal en modo cuasi-omnidireccional y los AP obtienen información sobre el entrenamiento del haz del cliente para estimar la información de AoD.

El método propuesto para determinar la información geométrica de los dispositivos cliente en redes de ondas milimétricas comprende: i) estimar la información angular de la señal de ondas milimétricas del cliente mediante una formulación de programación lineal y ii) estimar la ubicación del cliente en tiempo real utilizando un PF modificado.

Se considera una implementación de red en espacios interiores típica de 60 GHz con múltiples AP por espacio cerrado.

25

- i) Estimación de ángulos de salida (AoD)

Se denominen \mathbf{a}_i las coordenadas del i -ésimo AP, y \mathbf{x} las coordenadas del nodo cliente para localizar, como se muestra en Figura 1. Además, se denomine φ la orientación del nodo cliente con respecto a un sistema de coordenadas absoluto. Para la transmisión, el nodo cliente puede elegir entre un total de B patrones de transmisión, donde cada patrón b es definido por $p_b(\theta)$, para $b = 1, \dots, B$, donde θ es el ángulo de emisión y $p_b(\theta)$ es la ganancia de amplitud del patrón b hacia θ .

Cada vez que un cliente realiza el entrenamiento de patrones, cada AP registra el indicador de intensidad de señal recibida, RSSI y la SNR correspondiente a cada patrón

utilizado por el cliente y detectado por el AP. Luego los puntos de acceso envían esta información a un servidor central, donde se ejecuta el proceso de localización. Se llame $\gamma_i^{(b)}$ al SNR, medido en dB por el i-ésimo AP cuando el nodo cliente transmite con el patrón b, y sea $P_{R_i}^{(b)} = 10^{\gamma_i^{(b)}/20}$ la amplitud correspondiente de la señal.

5

Los problemas más críticos para la localización del cliente incluyen la falta de información de fase (que transforma el problema en un problema no lineal, e impide utilizar los algoritmos más típicos de descomposición de patrones angulares), la discretización aproximada de los valores de SNR en una escala logarítmica (con una resolución típica de 0.25 dB) y el firmware del dispositivo (que a menudo es demasiado lento para registrar información RSSI y SNR para todos los patrones del cliente). El último problema da como resultado mediciones incompletas.

Una suposición típica para la estimación de ángulos es que la energía transportada por el camino de línea de vista (LoS) desde el cliente a cualquier AP exceda la energía de las rutas que no son de línea de vista (NLoS). Para encontrar los AoD en el camino de LoS, $\hat{\theta}_i$, que mejor corresponde a las medidas de SNR de los AP, es suficiente resolver el siguiente problema de mínimo error cuadrático medio, MMSE:

$$\hat{\theta}_i = \arg \min_{\theta} \min_{\alpha} \sum_{b \in B_i} \left(P_{R_i}^{(b)} - \alpha p_b(\theta) \right)^2$$

ecuación 1

donde B_i es el conjunto de patrones para los que el AP ha podido tomar medidas de RSSI y SNR.

20

Los patrones irregulares de un dispositivo comercial de ondas milimétricas pueden generar medidas de trayectos NLoS (representados como líneas discontinuas en la Figura 1) con una potencia similar a los trayectos LoS (representados como líneas continuas en la Figura 1).

25

Por lo tanto, la hipótesis de que el camino LoS domina las mediciones RSSI y SNR no es verificada en práctica, ya que los patrones de transmisión de los dispositivos de ondas milimétricas pueden emitir una potencia significativa a través de lóbulos secundarios, lo que resulta en una energía de camino NLoS significativa que alcanza los AP. En la Figura 1 se muestran como ejemplo dos patrones de los dispositivos Talon AD7200. Se considera que el nodo cliente esté colocado en la posición \mathbf{x} , y comunique con el AP en posición \mathbf{a}_3 a través del patrón \mathbf{b}_1 , y específicamente de su lóbulo más grande direccionado hacia el ángulo inferior izquierdo de la habitación \mathbf{R} . Un lóbulo secundario justo encima del principal

30

amplificaría de la misma manera un camino NLoS que alcance \mathbf{a}_3 , resultando en una potencia del camino NLoS no insignificante con respecto a la potencia del camino LoS.

Para evitar la hipótesis anterior, se asume que la potencia recibida de las señales de ondas milimétricas del nodo cliente domina el ruido en las medidas de SNR recopiladas por los AP. Como ni la información de fase de los AP ni los pesos de la matriz de fases del array son conocidos, también se supone que la amplitud medida es menor que la suma de la amplitud del total de caminos, lo que representa el caso extremo de que todos estos caminos interfieran de manera constructiva. Esto hace posible formular el problema de estimación de AoD como el siguiente LP, con variables $\alpha_i(\theta)$:

$$\begin{aligned} \min_{\theta} \sum_{\theta} \alpha_i(\theta) \left(\sum_{b \in \mathcal{B}_i} p_b(\theta)^2 \right)^{1/2} \\ \text{s.t. } \sum_{\theta} \alpha_i(\theta) p_b(\theta) \geq P_{R_i}^{(b)}, \quad \forall b \in \mathcal{B}_i \\ \alpha_i(\theta) \geq 0, \quad \forall \theta \in \Theta \end{aligned} \quad \text{ecuación 2}$$

donde Θ es el conjunto de variables de decisión, cuya cardinalidad depende de la resolución de la discretización del dominio angular. Dicha cuantificación es un parámetro de diseño, establecido en 400 muestras en este ejemplo. El factor $(\sum_{b \in \mathcal{B}_i} p_b(\theta)^2)^{1/2}$ en la función objetivo impide que se asigne un peso excesivo a los AoD para los que el patrón b lleva una ganancia relativa muy alta hacia la dirección θ . Además de poderse resolver de forma muy rápida, el mencionado problema LP admite una solución limitada por 0. Es fácil comprobar que, como consecuencia, el número de componentes diferentes de 0 en α_i está limitado por $|\mathcal{B}_i|$. En la práctica, el número total de factores $\alpha_i(\theta)$ diferentes de 0 es normalmente muy limitado.

Como ejemplo, en los paneles izquierdo y central de la Figura 2, los resultados de la estimación de AoD obtenidos por cuatro AP diferentes, **AP1**, **AP2**, **AP3** y **AP4**, se muestran utilizando el método MMSE de la ecuación 1 y el método LP en la ecuación 2, respectivamente. Los puntos en el círculo exterior de cada subfigura corresponden a AoD reales. La Figura 2 muestra que la solución del problema LP estima varias direcciones probables, entre las cuales al menos una está de hecho muy cerca del camino LoS entre el AP y el cliente. Por contra, la solución MMSE muestra mayores discrepancias entre el ángulo estimado del camino LoS y al AoD real del mismo camino.

ii) Estimación de la posición del nodo cliente

Las variables $\alpha_i(\theta)$ estimadas a través del método LP de la ecuación 2 se pueden

aprovechar para estimar la posición $\hat{\mathbf{x}}$ y la orientación $\hat{\varphi}$ del nodo cliente de manera que estos parámetros geométricos estén en acuerdo con los AoD estimados por los diferentes AP. Se denomine $\hat{\theta}_i^{\mathbf{x},\varphi} = \hat{\theta}_i^{\mathbf{x}} + \varphi$ el AoD del camino LoS de ondas milimétricas que emitido por el cliente y estimado por el i-esimo AP, teniendo el cliente una orientación φ . Los ángulos $\theta_i^{\mathbf{x}}$ se refieren al caso en que el cliente está orientado según un sistema de coordenadas de referencia, es decir, $\varphi = 0$.

Una función de aptitud angular $\mathcal{L}(\mathbf{x})$ está definida por una determinada posición \mathbf{x} del nodo cliente, como $\mathcal{L}(\mathbf{x}) = \max_{\varphi} G^{\mathbf{x}}(\varphi)$, donde $G^{\mathbf{x}}(\varphi) = \sum_i \langle \alpha_i, \delta_{\hat{\theta}_i^{\mathbf{x},\varphi}} \rangle$ y $\delta_{\hat{\theta}_i^{\mathbf{x},\varphi}}(\theta)$ es la distribución delta de Dirac centrada en $\hat{\theta}_i^{\mathbf{x},\varphi}$, donde $\hat{\theta}_i^{\mathbf{x},\varphi} = \hat{\theta}_i^{\mathbf{x}} + \varphi$ y entonces $\delta_{\hat{\theta}_i^{\mathbf{x},\varphi} = \delta_{\hat{\theta}_i^{\mathbf{x}}} \otimes \delta_{\varphi}$; además $\langle \cdot, \cdot \rangle$ denota el producto interno, y \otimes denota la convolución circular en el dominio de los ángulos.

Como $G^{\mathbf{x}}(\varphi) = \sum_i H_i^{\mathbf{x}}(\varphi) = \sum_i \alpha_i \delta_{\hat{\theta}_i^{\mathbf{x},\varphi}}$, utilizando las propiedades de transformada de Fourier, $H_i^{\mathbf{x}}(\varphi) = \langle \alpha_i, \delta_{\hat{\theta}_i^{\mathbf{x},\varphi}} \rangle = \langle \alpha_i, \delta_{\hat{\theta}_i^{\mathbf{x}}} \otimes \delta_{\varphi} \rangle$, que se simplifica en $H_i^{\mathbf{x}} = \mathcal{F}^{-1}(\mathcal{F}(\alpha_i)\mathcal{F}(\delta_{\hat{\theta}_i^{\mathbf{x}}})^\dagger)$, donde $\mathcal{F}(\cdot)$ y $\mathcal{F}^{-1}(\cdot)$ simbolizan la transformada discreta de Fourier (DFT) y su inversa, respectivamente, y la dependencia de φ ha sido eliminada por claridad.

La formulación simplificada utilizada más arriba es exacta solo si las estimaciones de los AoD no se encuentran afectadas por ningún error. Para compensar los errores de medición, las variables $\alpha_i(\theta)$ se substituyen por una versión procesada por medio de una convolución cíclica $v_i(\theta) = \alpha_i(\theta) \otimes g(\theta)$, donde $g(\theta) = \exp(-\theta^2/(2\sigma_e^2))/\sqrt{2\pi\sigma_e^2}$ es un núcleo gaussiano con desviación estándar $\sigma_e = 10^\circ$. El panel derecho en la Figura 2 muestra los resultados de esta forma de LP suavizado obtenido a través de las variables $v_i(\theta)$.

Una función objetivo $\bar{\mathcal{L}}(\mathbf{x})$ puede ser definida para medir la aptitud de la posición estimada para un nodo cliente frente a las mediciones de potencia efectuadas para el conjunto de los patrones de transmisión utilizados por el nodo cliente. Esta función puede ser evaluada aunque los ángulos involucrados no coincidan perfectamente con los ángulos estimados por los AP. La función se define como:

$$\bar{\mathcal{L}}(\mathbf{x}) = \max_{\varphi} \bar{G}^{\mathbf{x}}(\varphi) \quad \text{ecuación 3}$$

Se destaca que la fórmula en la ecuación 3 se puede calcular muy rápidamente, ya que

necesita tan solo operaciones de FFT/IFFT, de productos y la aplicación de operadores que calculen el máximo de un conjunto de valores:

$$\bar{G}^{\mathbf{x}}(\varphi) = \sum_i \bar{H}_i^{\mathbf{x}}(\varphi) \quad \text{y} \quad \bar{H}_i^{\mathbf{x}} = \mathcal{F}^{-1}(\mathcal{F}(v_i)\mathcal{F}(\delta_{\hat{\theta}_i^{\mathbf{x}}})^\dagger)$$

5 La función objetivo $\bar{\mathcal{L}}(\mathbf{x})$ en la ecuación 3 se utiliza para desarrollar un PF modificado que procese las medidas recopiladas por los AP y localice un nodo cliente de ondas milimétricas sobre la marcha, en tiempo real.

Se proporciona una función de verosimilitud $D(\mathbf{x})$ basada en la distancia para determinar la coherencia de las mediciones de SNR, siendo dado que el usuario se encuentra en una cierta posición \mathbf{x} . Para conseguir esto, se considera que la SNR máxima, en dB, medida por el i -ésimo AP para el mejor patrón de trasmisión del cliente siga una distribución log-normal, condicionada a un modelo de pérdida de camino, es decir:

$$\gamma_i^{(\max)} \sim \mathcal{N}(\bar{\gamma}_i^{(\max)}(\|\mathbf{x} - \mathbf{a}_i\|), \sigma_d^2)$$

15 donde $\|\cdot\|$ es la norma euclídea y $\bar{\gamma}_i^{(\max)}(\|\mathbf{x} - \mathbf{a}_i\|)$ es la expectativa del SNR máximo en acuerdo con el modelo de pérdida de camino $\bar{\gamma}_i^{(\max)}(\|\mathbf{x} - \mathbf{a}_i\|) = \kappa - 10\eta \log_{10}(\|\mathbf{x} - \mathbf{a}_i\|)$.

Los parámetros κ y η del modelo de pérdida se pueden estimar midiendo pares de valores de $\bar{\gamma}_i^{(\max)}(\|\mathbf{x} - \mathbf{a}_i\|)$ y $10\eta \log_{10}(\|\mathbf{x} - \mathbf{a}_i\|)$ en una habitación vacía, para un conjunto de posiciones y orientaciones casuales del nodo cliente y de los AP. A continuación, se realiza una regresión lineal para estimar los parámetros κ y η . El resultado se muestra en la Figura 3. La función de verosimilitud $D(\mathbf{x})$ para los máximos valores del SNR medidos se puede finalmente escribir en función de la distancia entre el nodo cliente y un AP i como

$$\mathcal{D}(x) = \prod_i \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_d} \exp\left(-\frac{(\gamma_i^{(\max)} - \bar{\gamma}_i^{(\max)}(\|\mathbf{x} - \mathbf{a}_i\|))^2}{2\sigma_d^2}\right) \quad \text{ecuación 4}$$

25 A título de ejemplo, en la ecuación 4, se puede establecer el valor de $\sigma_d = 15$ dB, que es suficientemente grande para abarcar atenuaciones ulteriores causadas por un bloqueo parcial o total de la propagación de la señal. La función de probabilidad de distancia $D(\mathbf{x})$ se usa solo para una verificación de consistencia aproximada. De hecho, el valor generado por la función $D(\mathbf{x})$ no se usa para determinar la ubicación del cliente, sino más bien para ayudar a filtrar las soluciones espurias cuando más de una ubicación es posible a partir de la estimación de los AoD.

30

El método propuesto para localizar el dispositivo cliente en tiempo real, mientras que este se esté moviendo en el escenario de ondas milimétricas, utiliza un PF modificado, mostrado en la parte superior de la Figura 4. La parte superior **PF1** del diagrama de flujo funciona como un filtro de partículas típico: las partículas se generan al azar para la inicialización del algoritmo. Estas partículas se envían al algoritmo, agrupadas en un conjunto inicial de partículas, con el papel de formar el primer conjunto de partículas pasadas \mathbf{P}_p para la primera iteración. Las partículas evolucionan **41** de acuerdo con un modelo de movilidad. Las partículas evolucionadas \mathbf{P}_e se agrupan en un conjunto \mathbf{P}_{Post} , y constituyen el conjunto \mathbf{P}_p para los próximos bucles del PF. La aptitud de las partículas evolucionadas \mathbf{P}_e se actualiza basándose en la función objetivo $\bar{\mathcal{L}}(\mathbf{x})$, y en la función de verosimilitud $D(\mathbf{x})$, calculadas de acuerdo a las ecuaciones 3 y 4, respectivamente. Estas ecuaciones incorporan las medidas recopiladas por los AP.

El procedimiento de generación de partículas se modifica para ser incorporado en una única partícula "informada" en el conjunto de partículas inicial cuando los AP calculan una nueva estimación. En detalle, después de recolectar y procesar las mediciones de ángulos **401** a través del método LP **402**, se posiciona la partícula "informada" en una ubicación calculada **403** a través de un algoritmo ADoA aplicado a los tres ángulos estimados por los AP por los que las variables $\alpha_i(\theta)$ sean máximas. Esta solución se puede calcular en forma cerrada, ya que es esencialmente una intersección de circunferencias, lo que se obtiene de forma mucho más rápida que, p.ej., el resultado de $\hat{\mathbf{x}} = \arg \max_{\mathbf{x}} \bar{\mathcal{L}}(\mathbf{x})$. La partícula informada tiene velocidad nula y un valor de aptitud inicial igual a uno para satisfacer los criterios de normalización de la aptitud. Al crear el conjunto de partículas posteriores, se aplica una renormalización de la aptitud para evitar que se aplique un peso demasiado grande a las partículas que evolucionan de la partícula informada.

Como paso de inicialización, antes de cualquier medida, el número total de partículas se inicializa al azar de acuerdo a una distribución gaussiana cuya media y varianza sean iguales a la media y varianza del conjunto de ubicaciones de los AP. Estas partículas se pasan al algoritmo como conjunto de partículas pasadas \mathbf{P}_p para la primera iteración. Al principio de cada iteración se genera **404** una partícula informada \mathbf{P}_i utilizando un algoritmo ADoA aplicado a las medidas de AoD asumiendo que corresponden a los caminos LoS. Se hace hincapié en que esto podría ser imposible en algunos casos, p.ej., debido a la falta de los tres AoD que se necesitan, o a errores de medición que impidan el cálculo de una solución posible.

Si la partícula informada \mathbf{P}_i puede ser calculada el PF modificado deriva **41** un determinado número de partículas evolucionadas a partir de la partícula informada, y otro determinado número de partículas evolucionadas **41** a partir del conjunto de partículas pasadas, de acuerdo a un modelo de evolución de movilidad. Por el contrario, todas las partículas se evolucionan a partir de las partículas pasadas.

Para evolucionar **41** una partícula, primero se elige una partícula k al azar. El procedimiento para evolucionar **41** una partícula informada \mathbf{P}_i es idéntico, a excepción de que en este caso todas las partículas evolucionadas tienen el mismo progenitor. Las variables x_k , v_k y f_k se refieren respectivamente a la posición, a la velocidad, y a la aptitud de una partícula k . El conjunto de estas tres cantidades constituye el *estado* de la partícula. Se recuerda que cada partícula representa una estimación de la posición de un nodo cliente de ondas milimétricas. Una nueva partícula evoluciona **41** a través de las siguientes ecuaciones, que definen un modelo de evolución de movilidad:

$$\begin{aligned} x' &= x_k + v_k \Delta t + \Delta x + t \Delta v \\ v' &= v_k + \Delta v, \end{aligned}$$

donde el apóstrofo ' indica las variables de estado de la partícula evolucionada.

Este modelo de evolución de movilidad es un modelo de movimiento uniforme en una trayectoria lineal con incertidumbre $\Delta x \sim \mathcal{N}(0, \sigma_x^2 \mathbf{I})$ y $\Delta v \sim \mathcal{N}(0, \sigma_v^2 \mathbf{I})$, respectivamente, en la posición x y en la velocidad v , y Δt es el tiempo que transcurre entre el instante de la medición actual y el instante de la medición precedente. Se asume que $\sigma_x = 2 \sigma_v = 1$ m/s, y la incertidumbre Δf sobre la aptitud se define como $\Delta f = x' - (x_k + v_k \Delta t) = \Delta x + \Delta t \Delta v$, de manera que $\Delta f \sim \mathcal{N}(0, \sigma_x^2 + \Delta t^2 \sigma_v^2)$.

Para calcular **42** el valor de la aptitud de las partículas, se usan la función objetivo $\tilde{\mathcal{L}}(\mathbf{x})$ y la función de verosimilitud $D(\mathbf{x})$. Siendo $\tilde{\mathcal{L}}(\mathbf{x})$ y $D(\mathbf{x})$ independientes de la velocidad de la partícula, v , en lugar de generar Δx y Δv directamente, se genera una muestra de Δf , y se calculan Δx y Δv en acuerdo con un método de máxima verosimilitud, de forma que $\Delta f = \Delta x + t \Delta v$. Se puede demostrar fácilmente que:

$$\begin{aligned} \Delta x &= \Delta f \sigma_x^2 / (\sigma_x^2 + \Delta t^2 \sigma_v^2) \\ \Delta v &= \Delta f \Delta t^2 \sigma_v^2 / (\sigma_x^2 + \Delta t^2 \sigma_v^2) \end{aligned}$$

Finalmente, la expresión final para la actualización del estado de la partícula k es:

$$\begin{aligned} x' &= x_k + v_k \Delta t + \Delta f \\ v' &= v_k + \Delta v. \end{aligned}$$

Para actualizar la aptitud f_k de la partícula k basado en mediciones efectuadas por los AP, se

calcula

$$f'_k = f_k \frac{1}{2\pi(\sigma_x^2 + \Delta t^2 \sigma_v^2)} \exp\left(-\frac{\|\Delta \mathbf{f}\|^2}{2(\sigma_x^2 + \Delta t^2 \sigma_v^2)}\right) \bar{\mathcal{L}}(\mathbf{x}) D(x)$$

La fórmula incluye una multiplicación por $\bar{\mathcal{L}}(\mathbf{x})$ y $D(x)$, que aporta una actualización de aptitud basada en estimaciones de ángulos y SNR derivados de las mediciones.

- 5 Finalmente, en el PF modificado, el valor de aptitud de las partículas evolucionadas de las partículas pasadas \mathbf{P}_p y de la partícula informada \mathbf{P}_i se renormalizan **43** aplicándoles diferentes pesos.

- 10 Después de cada iteración, el conjunto de partículas posteriores \mathbf{P}_{Post} procedente de la salida del PF modificado proporciona **44** la información sobre la posición y la velocidad de la partícula, y además la verosimilitud de que dicha posición sea correcta (aptitud). La posición y la velocidad de cada nodo cliente móvil k en la red de ondas milimétricas se determina por la partícula caracterizada por la aptitud más alta.

- 15 Se nota que en este texto, el término “comprender” y sus derivaciones (como “que comprende”, etc.) no deben entenderse en un sentido expreso, es decir, estos términos no deben interpretarse como excluyentes de la posibilidad de que lo que se describe y se define pueda incluir más elementos, pasos, etc.

REIVINDICACIONES

1. Un método para determinar información geométrica de dispositivos en redes de ondas milimétricas
5 – recopilando medidas (401), por al menos uno de los dispositivos de una red de ondas milimétricas, de una intensidad de señal y una relación señal a ruido de una transmisión recibida por otro dispositivo de la red de ondas milimétricas;
el método **caracterizado por** comprender además:
 - estimar información angular (402, 403) de las señales recibidas por al menos uno de los
10 dispositivos, para generar (404) un conjunto de partículas informadas (P_i) que se ingresa en un filtro de partículas modificado, donde el conjunto de partículas informadas (P_i) incluye el valor inicial del estado de cada partícula informada;
 - evolucionar (41), por el filtro de partículas modificado, el conjunto de partículas informadas (P_i) y un conjunto de partículas pasadas (P_p) que se genera al azar y se
15 ingresa en el filtro de partículas modificado para su inicialización, para obtener un conjunto de partículas evolucionadas (P_e);
 - evolucionar el conjunto de partículas evolucionadas (P_e) para obtener un conjunto de partículas posteriores (P_{Post}) introducido al filtro de partículas modificado;
 - entregar (44), por el filtro de partículas modificado, como resultado los valores finales de
20 la información geométrica de al menos un dispositivo a partir del conjunto de partículas posteriores entregado (P_{Post}).

2. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde estimar la información angular (402, 403) comprende la etapa de aplicar programación lineal (402) al
25 conjunto de medidas recopiladas (401) de la intensidad de señal y de relación señal a ruido para obtener información angular seleccionada entre ángulo de salida y ángulo de llegada.

3. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde estimar la información angular (402, 403) comprende además la etapa de posicionar partículas
30 informadas (P_i) aplicando el método de diferencia de ángulos de llegada (403) a la información angular estimada.

4. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además la etapa de renormalizar (43) el conjunto de partículas evolucionadas (P_e) por medio
35 del filtro de partículas modificado, donde la renormalización (43) se aplica a las partículas

evolucionadas a partir de las partículas informadas (P_i) y del conjunto de partículas pasadas, (P_p) y comprende otorgar diferentes pesos a las partículas evolucionadas a partir de las partículas informadas (P_i) y a las partículas evolucionadas de las partículas pasadas (P_p).

- 5 5. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el estado de cada partícula informada está seleccionado entre posición, velocidad, y aptitud.
6. El método según la reivindicación 5, que comprende además la etapa de calcular (42), por el filtro de partículas modificado, un valor de aptitud para cada partícula evolucionada en el conjunto de partículas evolucionadas (P_e), usando el estado de cada partícula informada.
- 10 7. El método según las reivindicaciones 4 y 6, que comprende además la etapa de renormalizar (43) el valor evolucionado de la aptitud para cada partícula evolucionada (P_e).
- 15 8. El método según cada una de las reivindicaciones 4-7, que comprende además (44) la etapa de entregar en salida los valores finales de posición, velocidad y aptitud de al menos uno de los dispositivos correspondientes a la normalización de la posición, velocidad y aptitud de las partículas evolucionadas (P_e).
- 20 9. El método según todas las reivindicaciones precedentes, donde el, al menos un, dispositivo de la red de ondas milimétricas es un punto de acceso o un nodo cliente.
10. Un producto formado por un programa informático que comprende el código de un programa informático apto para ejecutar todas las etapas del método como definido en
- 25 cualquiera de las reivindicaciones 1-9.

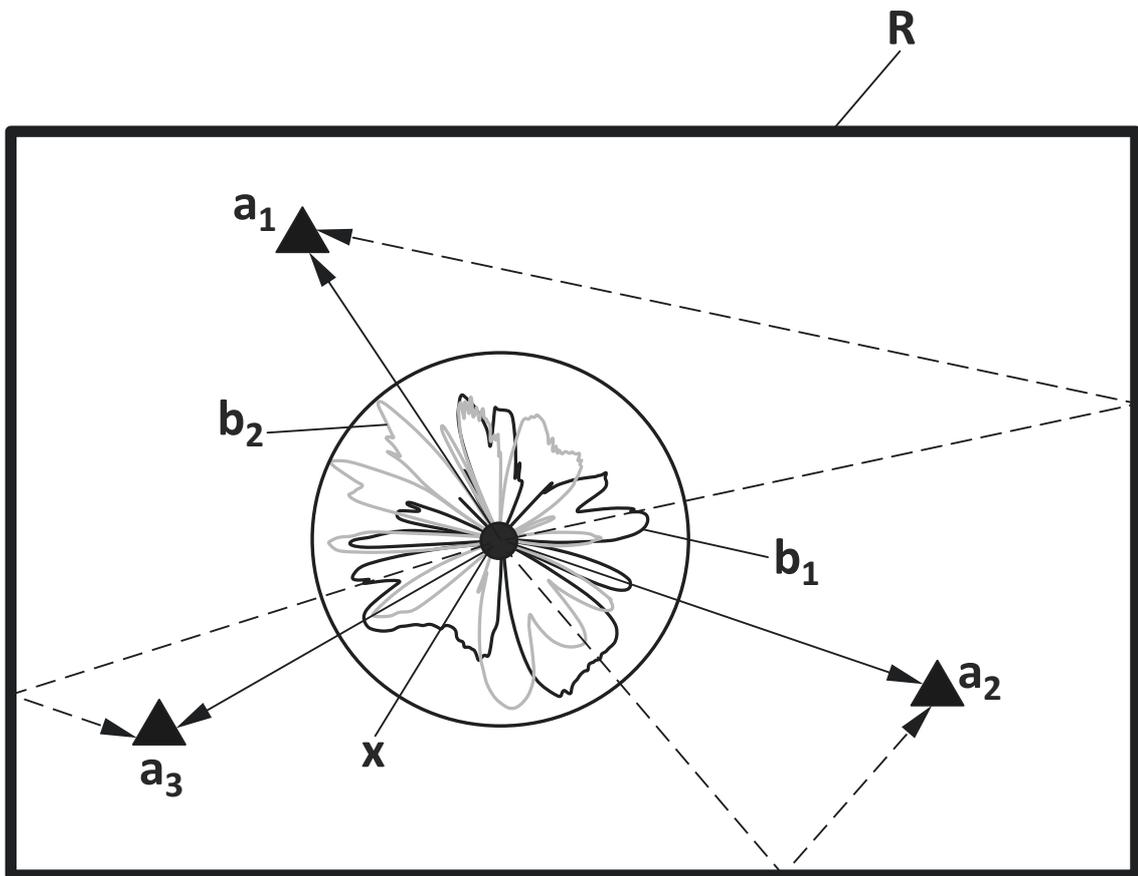


FIG. 1

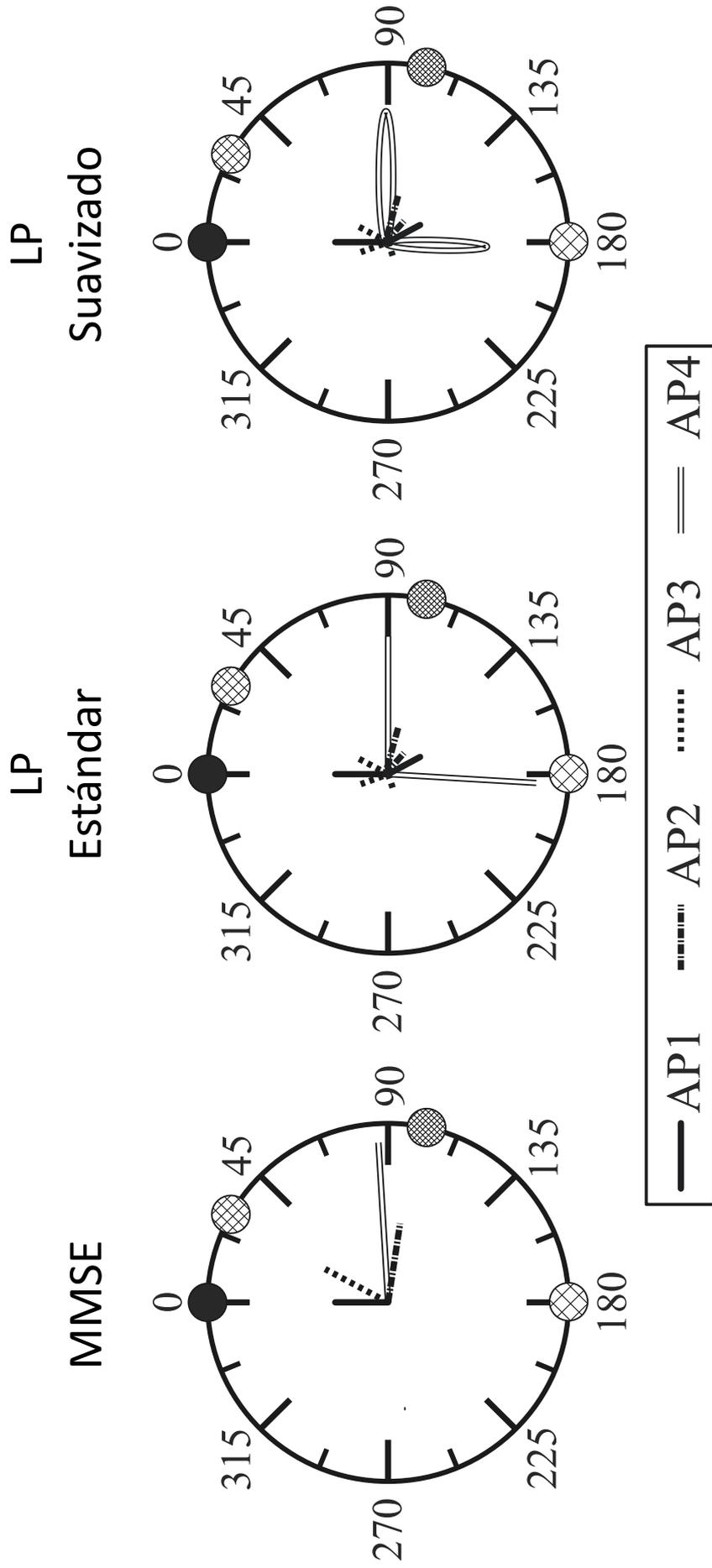


FIG. 2

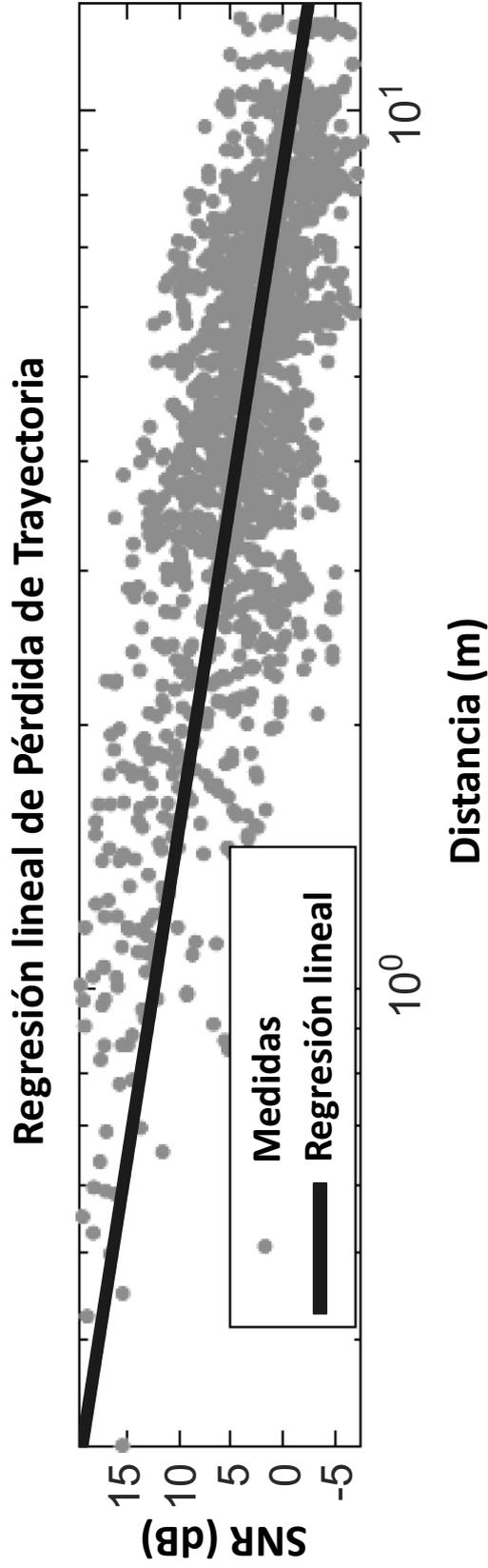


FIG. 3

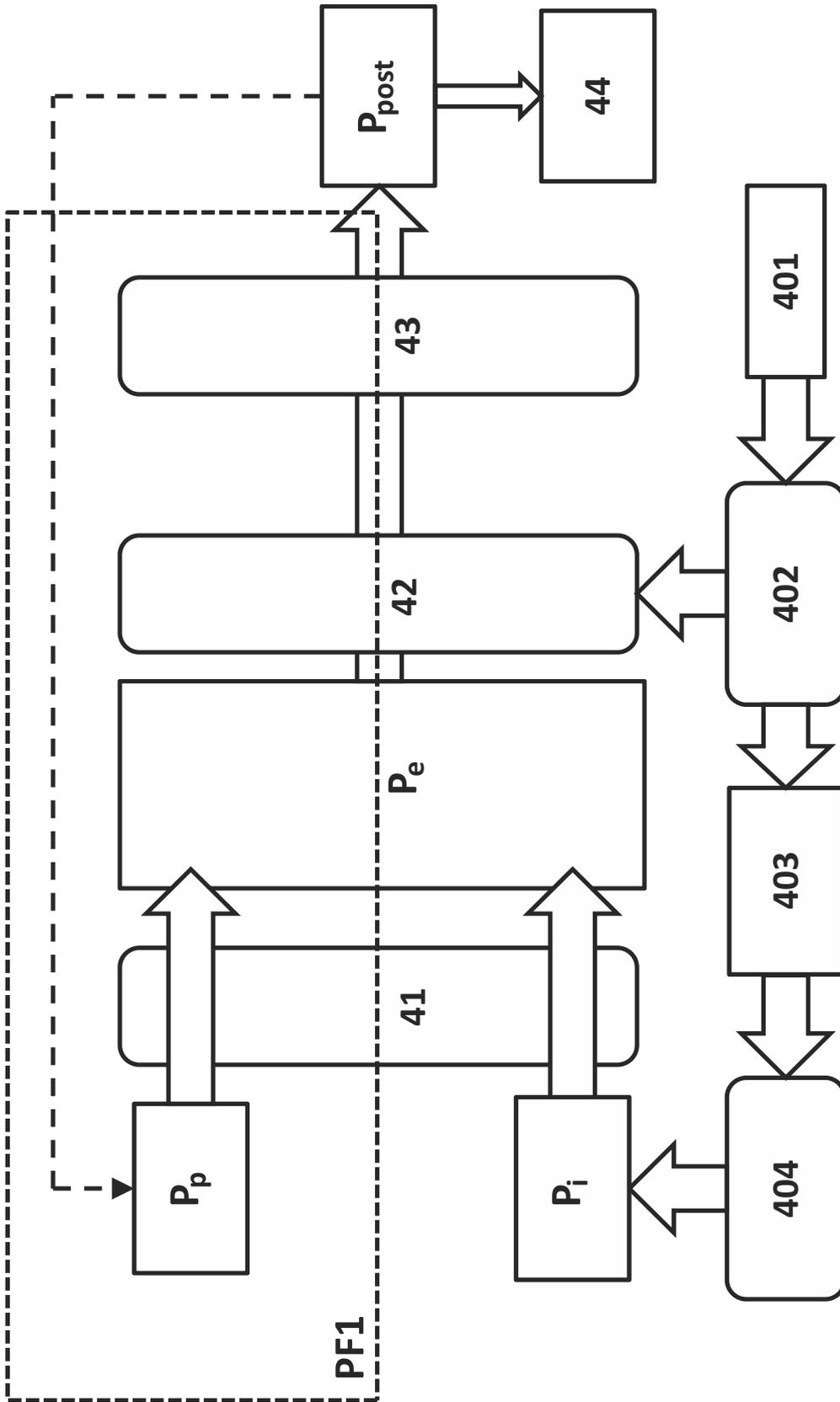


FIG. 4



- ②① N.º solicitud: 201830297
②② Fecha de presentación de la solicitud: 27.03.2018
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G01S13/00** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	PILLUTLA LAXMINARAYANA S et al. Integrated acquisition and tracking scheme for channel estimation in millimeter wave wireless networks. 2017 IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), 20171008 IEEE. , 08/10/2017, Páginas 1 - 5, ISSN ISBN 978-1-5386-3529-2; ISBN 1-5386-3529-1, <DOI:10.1109/PIMRC.2017.8292256>. Todo el documento.	1-10
A	MANNESON ANDERS et al. Tightly coupled positioning and multipath radio channel tracking. IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS, 20160801 IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US. , 01/08/2016, Vol. 52, Nº 4, Páginas 1522 - 1535, ISSN 0018-9251, <DOI: doi:10.1109/TAES.2016.140653>. Todo el documento.	1-10
A	DARDARI DAVIDE et al. Indoor Tracking: Theory, Methods, and Technologies. IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, 20150401 IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US. , 01/04/2015, Vol. 64, Nº 4, Páginas 1263 - 1278, ISSN 0018-9545, <DOI: 10.1109/TVT.2015.2403868>. Todo el documento.	1-10
A	YOO JIN HYEOK et al. Sampling-based tracking of time-varying channels for millimeter wave-band communications. 2017 IEEE International Conference on Communications (ICC), 20170521 IEEE. , 21/05/2017, Páginas 1 - 6, <DOI: 10.1109/ICC.2017.7996518>. Todo el documento	1-10
A	CN 103117964 A (UNIV BEIJING POSTS & TELECOMM) 22/05/2013, Todo el documento.	1-10
A	LI BIN et al. A Bayesian Approach for Nonlinear Equalization and Signal Detection in Millimeter-Wave Communications. IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, 20150701 IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US. , 01/07/2015, Vol. 14, Nº 7, Páginas 3794 - 3809, ISSN 1536-1276, <DOI: 10.1109/TWC.2015.2412119>. Todo el documento.	1-10
A	HE JIGUANG et al. Millimeter wave MIMO channel tracking systems. 2014 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), 20141208 IEEE. , 08/12/2014, Páginas 416 - 421, <DOI: 10.1109/GLOCOMW.2014.7063467>. Todo el documento.	1-10

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría
A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
18.01.2019

Examinador
M. Muñoz Sanchez

Página
1/2

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01S

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI