

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 418 030**

21 Número de solicitud: 201230112

51 Int. Cl.:

H04W 4/02 (2009.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

27.01.2012

43 Fecha de publicación de la solicitud:

09.08.2013

71 Solicitantes:

**UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA
(100.0%)
Campus de Bellaterra s/n
08193 Cerdanyola del Vallés (Barcelona) ES**

72 Inventor/es:

**LOPEZ VICARIO, Jose;
MORELL PEREZ, Antoni y
BEL PEREIRA, Albert**

54 Título: **Método y sistema de localización y seguimiento de un dispositivo móvil en una red de nodos inalámbrica**

57 Resumen:

Método y sistema de localización y seguimiento de un dispositivo móvil en una red de nodos inalámbrica

El método comprende:

- recibir, el dispositivo móvil (D), una serie de señales inalámbricas desde unos nodos estacionarios (n1-n8);
- extraer y analizar información de potencia de las señales inalámbricas;
- generar información de potencia estimada asociada a un nodo del cual el dispositivo móvil (D) no ha recibido una señal inalámbrica, en un periodo determinado, o la ha recibido pero su potencia es muy débil, aplicando un factor de corrección a información de potencia previa obtenida para dicho nodo en un periodo anterior a dicho periodo determinado; y
- determinar la posición del dispositivo móvil (D) utilizando la información de potencia extraída, utilizando también dicha información de potencia estimada.

El sistema está adaptado para implementar el método de la invención.

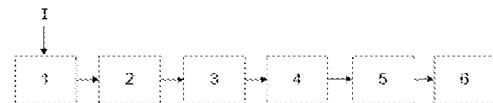


Fig. 2

DESCRIPCIÓN

Método y sistema de localización y seguimiento de un dispositivo móvil en una red de nodos inalámbrica

Sector de la técnica

5 La presente invención concierne, en un primer aspecto, a un método de localización y seguimiento de un dispositivo móvil en una red de nodos inalámbrica, basado en el análisis de información de potencia contenida en unas señales recibidas desde unos nodos estacionarios, y más en particular a un método que comprende corregir la información de potencia de un nodo del cual no se recibe una señal
10 inalámbrica o ésta es muy débil.

 Un segundo aspecto de la invención concierne a un sistema de localización y seguimiento de un dispositivo móvil en una red de nodos inalámbrica adaptado para implementar el método del primer aspecto.

15 Estado de la técnica anterior

 En los últimos años ha habido un interés muy grande en los conceptos de Future Internet, Internet of Things y Smart Cities [1]. Básicamente, se destaca la necesidad de adaptar la Internet creada hace unos 30 años al escenario que tenemos actualmente, caracterizado en gran parte por la aparición de redes de carácter heterogéneo, siendo
20 las redes de sensores inalámbricas una de las más importantes al tener como horizonte el proveer a las ciudades de un sistema de gestión y monitorización más eficiente. Esto viene en parte también impulsado por el altísimo número de convocatorias lanzadas por la Unión Europea en el 7º Programa Marco (7PM), proyectos AVANZA ofrecidos por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (España) y las nuevas convocatorias
25 Inforegió promovidas por la Generalitat de Catalunya (España). Fruto de ello, aparece un gran interés por parte de la industria de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en desarrollar aplicaciones y servicios basados en la explotación de las redes de sensores inalámbricas con el objetivo de introducirse en el mercado incipiente de las Smart Cities.

30

 Son conocidos diversos sistemas de posicionamiento y seguimiento de vehículos basados en el uso de redes de sensores inalámbricas. A diferencia de otros sistemas de posicionamiento basados en GPS o redes celulares, tales sistemas proporcionan una localización más precisa en entornos urbanos y en subterráneos,
35 además de un tiempo de posicionamiento más reducido. Por tanto, el principal beneficio que pueden proporcionar al usuario es el poder disponer de información de posición de

forma más rápida y precisa. Aparte, tales sistemas consumen mucha menos energía que un receptor GPS debido a la alta eficiencia energética que presentan los nodos de una red de sensores inalámbrica trabajando con tecnología de bajo consumo basada en el estándar de comunicaciones IEEE 802.15.4.

5

Se pueden encontrar diferentes trabajos en la literatura sobre sistemas de posicionamiento basado en redes de sensores, pero éstas no contemplan la posibilidad de hacer el seguimiento de vehículos con movibilidades medias-altas con este tipo de redes, especialmente en entornos urbanos. Algunos ejemplos de localización basada en redes de sensores recogen la utilización de mapas de potencias [2], lo cual incrementa la complejidad del sistema en gran medida por la necesidad de campañas de medidas previas. La motivación de esto viene dado por las grandes perturbaciones que sufren las medidas de potencia debidos a los efectos del canal inalámbrico. Para solucionar este problema, otros trabajos proponen el uso de sistemas cooperativos donde todos los nodos de una red cooperan para mejorar las medidas [3], pero estos métodos llevan a cabo algoritmos centralizados, donde un nodo se encarga de realizar todos los cálculos de posición de todos los nodos de la red y esto aumenta en gran medida el tráfico generado para el posicionamiento en sí. Otros trabajos consideran el uso de interferometría radio [4], la cual también considera medidas de potencia y es capaz de reducir el error de forma drástica. No obstante, requiere el uso de una forma de onda especial (tonos puros) las cuales no se encuentran en los estándares de comunicaciones convencionales. Otras técnicas intentan mejorar las prestaciones usando medidas de tiempo, las cuales son menos sensibles a las variaciones del canal inalámbrico. En [5] se propone el uso de sistemas UWB (Ultra Wide Band), por su gran ancho de banda, para llegar a precisiones de cm. No obstante, también requieren de campañas de medidas para realizar mapas de tiempos y el hecho de que se envíen medidas temporales para estimar el tiempo de propagación de las señales requiere la sincronización de los nodos de la red, lo cual no es sencillo en la mayoría de casos. Otro de los problemas encontrados es que UWB es una tecnología con baja disponibilidad hoy día y presenta coberturas muy bajas al trabajar con baja potencia de transmisión. En [6] proponen un sistema que opera también con medidas temporales pero, para evitar el tener que asegurar la sincronización de los nodos, se trabaja con medidas temporales resultantes de usar señales de ida-vuelta. Es decir, midiendo diferencias de tiempos de una señal que hace el recorrido fuente-destino-fuente se puede obtener estimaciones de distancias con nodos desincronizados. El problema aquí reside en la necesidad de disponer de relojes con precisiones de nanosegundos

35

(de mayor complejidad de los normalmente utilizados en soluciones comerciales que operan con precisiones de microsegundos), el incremento de tráfico para tareas de posicionamiento y la necesidad de protocolos específicos para dichas tareas (métodos intrusivos).

5

Muchos de otros sistemas de posicionamiento basados en redes de sensores, utilizan información de potencia de una o varias señales inalámbricas, generalmente incluida en el comúnmente conocido como Indicador de Fuerza de Señal de Recepción, o RSSI, que es la abreviatura en inglés de "Receive Signal Strength Indication", para determinar la posición de un nodo móvil.

10

No obstante, alguna o parte de las medidas RSSI pueden verse adulteradas por diferentes causas, tales como interferencias, obstáculos, etc., que afecten a la recepción de las señales inalámbricas que las contienen, provocando por tanto una determinación incorrecta de la posición del nodo móvil.

15

A continuación se indican una serie de documentos de patente que describen algunos de tales sistemas de posicionamiento o localización basados en RSSI, y que incluyen algún tipo de mecanismo de corrección para la referida determinación incorrecta de la posición del nodo móvil provocada por las referidas medidas de RSSI adulteradas o por otras causas.

20

La patente KR100947805B1 describe un método y un aparato para posicionar un nodo móvil, que propone complementar información de localización de un nodo móvil con información del pasado. La localización del nodo móvil se hace, por ejemplo, midiendo el valor de RSSI de unas señales recibidas desde unos nodos fijos.

25

En el caso de que no se reciba una señal de localización del nodo móvil, si se confirma que éste aún está activo, para la localización del mismo se corrige esta falta de información utilizando información de su localización y/o velocidad media en el pasado.

30

No se propone en dicha patente coreana corregir unas posibles medidas de RSSI adulteradas que puedan provocar tal ausencia de señal de localización del nodo móvil.

35

JP2010085279A propone también un sistema de posicionamiento de una estación móvil basado en medidas RSSI, que propone corregir unas medidas de RSSI afectadas por interferencias. La corrección propuesta se basa en computar de una manera predeterminada la potencia correcta de una señal eléctrica inalámbrica recibida,

a partir de la distribución en frecuencia de una serie de potencias asociadas a una serie de correspondientes medidas realizadas en un periodo predeterminado para dicha señal eléctrica.

5 En el sistema de JP2010085279A existe un solo nodo móvil que emite una señal eléctrica a una pluralidad de estaciones base, o nodos fijos, realizándose las medidas de RSSI únicamente sobre esta señal eléctrica emitida por el nodo móvil.

10 En EP1542492B1 se propone un sistema de localización de un nodo móvil a partir de medidas RSSI realizadas sobre unas señales radio provenientes de unos nodos fijos, que incluye una corrección estadística de estas medidas RSSI si un detector de movimiento del nodo móvil detecta que éste se ha movido poco.

15 No se propone en EP1542492B1 aplicar la corrección de las medidas RSSI en función de otros parámetros que no sean el citado movimiento del nodo móvil. En particular, no se propone en EP1542492B1 realizar tal corrección en función del valor de las medidas RSSI.

20 En CN101547048A se propone un sistema para localizar un nodo móvil a partir de señales RSSI de nodos fijos, que utiliza diferentes algoritmos para refinar la localización, y que describe excluir algunos de los nodo fijos, es decir las medidas RSSI de las señales provenientes de los mismos, en el análisis para la localización del nodo móvil, si tales señales no siguen una ley topológica o si el valor de la distancia calculada entre cada uno de dichos nodos fijos y el nodo móvil es demasiado diferente de un valor almacenado, haciéndose en este caso una re-localización sin estos nodos.

25 No se propone en CN101547048A aprovechar las medidas RSSI de tales nodos que no cumplen con la ley topológica o de distancia, sino simplemente excluirlos del análisis para la localización del nodo móvil.

30 Cuando el número de nodos fijos es pequeño, o simplemente cuando se quiere obtener una gran precisión en la determinación de la posición del nodo móvil, es conveniente aprovechar el máximo número de medidas RSSI posibles, por lo que la exclusión de nodos del análisis, tal y como se propone en CN101547048A, resulta claramente contraproducente.

Explicación de la invención

35 Aparece necesario ofrecer una alternativa al estado de la técnica que supere las lagunas halladas en el mismo, y que permita la determinación de la posición de un nodo

móvil aprovechando la información de medidas RSSI del máximo número de nodos fijos circundantes posibles, idealmente de todos ellos.

Para ello, la presente invención concierne, en un primer aspecto, a un método de localización y seguimiento de un dispositivo móvil en una red de nodos inalámbrica, que comprende, de manera en sí conocida:

- a) recibir, dicho dispositivo móvil, una serie de señales inalámbricas provenientes de al menos parte de los nodos estacionarios de dicha red inalámbrica; y
- b) determinar al menos la posición de dicho dispositivo móvil mediante la extracción y análisis de información de potencia contenida en dichas señales inalámbricas, recibidas durante un periodo determinado, y su asociación a la ubicación geográfica de los nodos estacionarios de los cuales provienen.

A diferencia de las propuestas conocidas, el método propuesto por el primer aspecto de la invención comprende, de manera característica, para como mínimo un nodo del cual el dispositivo móvil no ha recibido, en dicho periodo de tiempo predeterminado, una correspondiente señal inalámbrica, o la ha recibido pero su potencia está por debajo de un umbral mínimo predeterminado:

- generar información de potencia estimada asociada a dicho nodo, aplicando un factor de corrección a información de potencia previa obtenida para dicho nodo en un periodo anterior a dicho periodo determinado; y
- utilizar dicha información de potencia estimada en el análisis de la etapa b).

En general dicha información de potencia se encuentra incluida en el comúnmente conocido como Indicador de Fuerza de Señal de Recepción, o RSSI, que es la abreviatura en inglés de "Receive Signal Strength Indication".

Para un ejemplo de realización, dicho factor de corrección tiene un valor constante.

Dicho factor de corrección es, para unos ejemplos de realización, relativo a pérdidas de propagación de señal y dicha aplicación del mismo a la información de potencia previa comprende la substracción de la misma del valor de dichas pérdidas de propagación.

Según un ejemplo de realización, el método comprende estimar que el dispositivo móvil se desplaza alejándose de dicho nodo del cual no se ha recibido, en dicho periodo de tiempo predeterminado, una correspondiente señal inalámbrica, o se ha recibido pero su potencia está por debajo de dicho umbral mínimo predeterminado.

El método comprende, para un ejemplo de realización, calcular dicho factor de corrección en función de la velocidad del dispositivo móvil.

Para un ejemplo de realización, el método comprende determinar la velocidad del dispositivo móvil mediante su detección utilizando al menos un sensor interno o externo al dispositivo móvil.

5 Para otro ejemplo de realización, el método comprende estimar la velocidad del dispositivo móvil mediante un filtro de Kalman aplicado a información de potencia obtenida en al menos dicho periodo anterior para al menos parte de dichos nodos.

Para otro ejemplo de realización, el método comprende determinar la velocidad del dispositivo móvil mediante su estimación a partir de determinaciones previas de localización del dispositivo móvil.

10 Por lo que se refiere a las mencionadas pérdidas de propagación de señal, el método comprende, según un ejemplo de realización, calcularlas utilizando una expresión matemática que las cuantifica según como mínimo un modelo de propagación, tal como un modelo de propagación en el espacio libre.

15 Según una variante de dicho ejemplo de realización, dicha expresión matemática incluye una variable relativa a la distancia entre el nodo emisor y el nodo receptor, determinándose el valor de dicha distancia en función de la velocidad del dispositivo móvil.

El método comprende, para una realización, calcular una serie de velocidades medias a partir de los valores de unos correspondientes rangos de velocidades, y
20 calcular dicha distancia a partir del valor de una de dichas velocidades medias seleccionada por ser relativa al rango de velocidades al cual pertenece la velocidad del dispositivo móvil detectada o estimada.

Según un ejemplo de realización, el método comprende calcular el valor de dichas pérdidas de propagación de señal teniendo en cuenta, en combinación con un
25 modelo de propagación en el espacio libre, el efecto sombra, mediante una expresión matemática que la cuantifica según dicho modelo de propagación en el espacio libre y dicho efecto sombra.

Puede darse la circunstancia de que el dispositivo móvil no se desplace alejándose del nodo a corregir, por lo que la estimación anterior no sería correcta. Por
30 ello, para un ejemplo de realización, el método comprende estimar que el dispositivo móvil no se desplaza o se desplaza sin alejarse del nodo del cual no se ha recibido, en dicho periodo de tiempo predeterminado, una correspondiente señal inalámbrica, o se ha recibido pero su potencia está por debajo de dicho umbral mínimo predeterminado.

El método comprende, para una realización, realizar ambas estimaciones, la de
35 considerar que el dispositivo móvil se desplaza alejándose del nodo y la de que no se desplaza o se desplaza sin alejarse, y realizar en consecuencia:

- la obtención de sendos factores de corrección, cada uno de ellos asociado a una de dichas estimaciones, uno obtenido mediante el cálculo del valor de dichas pérdidas de propagación y el otro asignándole un valor igual a cero o sustancialmente igual a cero;

5 - la generación de información de potencia estimada para cada una de dichas estimaciones, mediante la aplicación de ambos de dichos factores de corrección a dicha información de potencia previa;

10 - la determinación de sendas posiciones candidatas del dispositivo móvil mediante la utilización de dicha información de potencia estimada obtenida para ambas estimaciones en unos correspondientes análisis de unas etapas b) realizadas en paralelo; y

- la selección de una de dichas posiciones candidatas como posición definitiva del dispositivo móvil.

15 En general la etapa b) comprende realizar una determinación a priori de posición mediante un método de promediado de los valores de potencia mayores asociados a la información de potencia, incluyendo dicha información de potencia estimada, y una determinación a posteriori de posición mediante la aplicación de un filtro de Kalman a los valores obtenidos en la determinación a priori.

20 El método comprende, de acuerdo con una realización, seleccionar y/o ajustar como mínimo parte de los parámetros utilizados por dicho filtro de Kalman, incluyendo al menos el relativo a uno o más modelos de dinámica del dispositivo móvil.

25 Por lo que se refiere a la citada selección de una de las posiciones candidatas, el método comprende llevarla a cabo, según un ejemplo de realización, en función de las velocidades estimadas para el dispositivo móvil obtenidas mediante sendos filtros de Kalman aplicados en sendas determinaciones a posteriori de posición candidatas, comparando dichas velocidades estimadas con la velocidad real del dispositivo móvil y escogiendo la que más se asemeje junto con la posición candidata asociada a la misma.

30 Un segundo aspecto de la invención concierne a un sistema de localización y seguimiento de un dispositivo móvil en una red de nodos inalámbrica, que comprende, de manera en sí conocida:

- una pluralidad de nodos inalámbricos estacionarios configurados para emitir una serie de señales inalámbricas;

35 - un dispositivo móvil configurado para recibir dichas señales inalámbricas; y

- unos medios de procesamiento, con acceso a dichas señales inalámbricas recibidas, y configurados para determinar al menos la posición de dicho dispositivo móvil mediante la extracción y análisis de información de potencia contenida en dichas señales inalámbricas, recibidas durante un periodo determinado, y su asociación a la ubicación geográfica de los nodos estacionarios de los cuales provienen.

A diferencia de los sistemas conocidos, en el propuesto por la invención los medios de procesamiento están configurados para:

- generar información de potencia estimada asociada a al menos un nodo del cual el dispositivo móvil no ha recibido, en dicho periodo de tiempo predeterminado, una correspondiente señal inalámbrica, o la ha recibido pero su potencia está por debajo de un umbral mínimo predeterminado, aplicando un factor de corrección a información de potencia previa obtenida para dicho nodo en un periodo anterior a dicho periodo determinado; y

- utilizar dicha información de potencia estimada en dicho análisis realizado para determinar la posición del dispositivo móvil.

El sistema propuesto por el segundo aspecto de la invención está adaptado para implementar el método del primer aspecto.

Según un ejemplo de realización, los medios de procesamiento tienen acceso a información de identificación y de ubicación geográfica de los nodos inalámbricos, incluyendo cada una de dichas señales inalámbricas al menos información de identificación del nodo que la ha enviado.

Para una implementación de dicho ejemplo de realización, cada una de dichas señales inalámbricas incluye también dicha información de ubicación geográfica del nodo que la ha enviado, por lo que los medios de procesamiento pueden identificar y ubicar geográficamente cada nodo inalámbrico gracias a la información de identificación y de ubicación geográfica recibida en la señal inalámbrica enviada, y correlacionar tal información con la información de potencia contenida en la misma señal inalámbrica.

Según otra implementación, el sistema comprende una base de datos, accesible por parte de los medios de procesamiento, donde se incluye la información de ubicación geográfica de los nodos inalámbricos correlacionada con la información de identificación de los mismos, de manera que no es necesario que las señales inalámbricas contengan información de ubicación geográfica de los nodos, ya que con

simplemente la información de identificación de un nodo es posible ubicarlo geográficamente consultando dicha base de datos.

Para un ejemplo de realización, el dispositivo móvil es un dispositivo con capacidad de computación y de comunicación inalámbrica que comprende a dichos
5 medios de procesamiento.

Según un ejemplo de realización, el dispositivo móvil se encuentra instalado en el interior de un vehículo, determinándose por tanto la posición del vehículo al determinarse la posición del dispositivo móvil.

Por lo que se refiere a los nodos inalámbricos, en función del ejemplo de
10 realización, éstos comprenden sensores y/o actuadores.

Con el alto interés en las "Smart Cities", un alto número de compañías están presentando una serie de productos de redes de sensores, como lo son el despliegue de sensores para monitorizar un alto número de parámetros y características de la
15 ciudad: plazas de aparcamiento, iluminación pública, contaminación acústica, emisiones de CO2, etc. Por tanto, esas compañías pueden explotar el método y el sistema propuestos por la presente invención para ofrecer un valor añadido que podría ser el ofrecer un navegador que muestre la información que las redes monitorizan de forma eficiente en un terminal móvil, gracias a la información enviada desde dichos sensores,
20 y cuáles son las mejores rutas para acceder a las zonas de interés, gracias a la implementación del método y sistema de la presente invención.

Tal implementación de combinación de información de los sensores con la de posición del dispositivo móvil, proporcionada por el sistema de la presente invención, se encuentra cubierta por un ejemplo de realización del sistema del segundo aspecto de la
25 presente invención, ya sea proporcionándose tal información visualmente en la pantalla de un navegador, o a través de cualquier otro medio de suministro de información.

Conviene destacar que actualmente se está abordando de forma notable, tanto a nivel teórico como práctico, el concepto de redes de sensores destinadas para proporcionar a la sociedad ciudades inteligentes en un futuro próximo. Un ejemplo es la
30 iniciativa que se está llevando a cabo en San Francisco (<http://sfpark.org/>), donde se ha desplegado una red de 6000 sensores en diferentes zonas de la ciudad. Con estos sensores, los ciudadanos tendrán información de forma continua sobre la ocupación de las plazas de aparcamiento en las diferentes zonas a través de servicios web. No obstante, no se incluye los servicios de posicionamiento y seguimiento que ofrece el
35 sistema propuesto por la invención y que, evidentemente, supondría una mejora

importante de tal iniciativa, ya que se podría guiar al usuario para encontrar plazas de aparcamiento libre.

Breve descripción de los dibujos

5 Las anteriores y otras ventajas y características se comprenderán más plenamente a partir de la siguiente descripción detallada de unos ejemplos de realización con referencia a los dibujos adjuntos, que deben tomarse a título ilustrativo y no limitativo, en los que:

10 la Fig. 1 ilustra de manera esquemática un escenario de aplicación del método y el sistema propuestos por la presente invención, donde el dispositivo móvil se encuentra instalado en el interior de un vehículo, y los nodos inalámbricos estacionarios son sensores de aparcamiento ubicados en unas correspondientes plazas de aparcamiento;

15 la Fig. 2 es un diagrama de bloques que ilustra la implementación del método propuesto por el primer aspecto de la invención, según un ejemplo de realización;

la Fig. 3 es otro diagrama de bloques que ilustra la implementación del método propuesto por el primer aspecto de la invención, para otro un ejemplo de realización;

20 las Figs. 4a y 4b son unas gráficas que muestran sendas representaciones temporales de las medidas de potencia recibida realizadas en, respectivamente, un primer y un segundo nodos; y

las Figs. 5a y 5b son sendas representaciones temporales de las medidas de potencia recibida para los mismos nodos de las Figs. 4a y 4b, pero una vez aplicada la corrección de medidas del método propuesto por el primer aspecto de la invención.

25 Descripción detallada de unos ejemplos de realización

En la Fig. 1 se ilustra un ejemplo de realización del sistema propuesto por el segundo aspecto de la invención, para un ejemplo de realización para el que éste consiste en un equipamiento de localización destinado para su uso en vehículos y está formado por los siguientes bloques principales:

30

- **Red de sensores inalámbricos n1-n8:** red formada por sensores n1-n8 localizados en la zona donde se quiere localizar al vehículo. Por ejemplo: en las zonas de aparcamiento de una calle (ejemplo ilustrado), de un aparcamiento subterráneo, paredes o techo de una nave industrial, etc. Esta red de sensores opera con el estándar de comunicación radio IEEE 802.15.4, pero puede utilizar otros estándares de comunicación radio (como WIFI, Bluetooth, RFID...). La

35

- actividad principal de esta red puede ser el monitorizar algún evento en la zona. Es decir, cada sensor monitoriza algún evento físico (por ejemplo, temperatura, humedad, estado de aparcamiento –libre u ocupado-, etc.) y va enviando de forma periódica su medida mediante el enlace de comunicaciones radio.
- 5 Concretamente, envía dicha información cada t_{med} segundos (considerado igual a 2,5 seg. en las pruebas realizadas) y, aparte de la misma, envía su código identificador dentro del mensaje para que se pueda determinar cuál es el nodo que origina la emisión.
- 10 • **Sensor del vehículo D:** se trata de un sensor de la misma naturaleza que la red de sensores del punto anterior. No obstante, no tiene como funcionalidad el monitorizar un evento físico, como el resto de nodos de la red, sino el llevar a cabo el proceso de localización y seguimiento del vehículo V1 en el que se encuentra instalado. Para ello, el sensor o nodo D va captando las señales de
- 15 comunicaciones que envían los nodos n1-n8 del resto de la red (como se ha comentado en el punto anterior). De dichas señales se extrae la información de potencia (o Received Signal Strength Indicator - RSSI) y, a partir de la misma y mediante el uso de procesado de señal se obtiene la posición del usuario para llevar a cabo el seguimiento del mismo. Este sensor D es el que se ha dado en
- 20 denominar anteriormente como dispositivo móvil.

A continuación se describe una implementación del método propuesto por el primer aspecto de la invención, para un ejemplo de realización, en la forma de un algoritmo de posicionamiento y seguimiento de vehículos llevado a cabo por los medios

25 de procesamiento del dispositivo móvil o sensor D (con capacidad de computación) del vehículo V1, con referencia a la Fig. 2.

Concretamente los pasos siguientes (indicados en la Fig. 2 numeralmente del 1 al 6) se llevan a cabo cada t_{mues} segundos (periodo de trabajo), tras la aplicación de una correspondiente interrupción de reloj, indicada con la referencia I en la Fig. 2. Por tanto,

30 se pasa a describir lo realizado en el periodo k-ésimo, es decir en el intervalo de tiempo $[(k-1) t_{mues}, k t_{mues}]$.

Paso 1 – recepción señales: de las señales de comunicaciones recibidas del resto de nodos de la red durante el periodo $[(k-1) t_{mues}, k t_{mues}]$, i) se extrae el

35 identificador del nodo que ha originado la emisión de dicha señal y ii) la potencia recibida de dicha señal. La información de potencias se introduce en una matriz de

$N_{\text{nodos}} \times 2$ elementos, denotada como matriz **P**. Concretamente, en la primera fila de dicha matriz se almacenan los valores de potencias recibidas (teniendo en cuenta la columna asociada al identificador del nodo emisor). La segunda fila se utiliza para indicar de qué nodos se ha recibido una lectura de potencia en el periodo considerado.

5 La matriz presenta el siguiente aspecto:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} P_{rx,1} & P_{rx,2} & P_{rx,N_{\text{nodos}}} \\ I_{rx,1} & I_{rx,2} & I_{rx,N_{\text{nodos}}} \end{bmatrix}$$

10 donde $P_{rx,i}$ es la lectura de potencia del nodo i -ésimo expresada en dBm e $I_{rx,i}$ es el indicador de lectura (igual a '1' para indicar que ha habido lectura del nodo i -ésimo en el periodo $((k-1) t_{\text{mues}}, k t_{\text{mues}}]$ y '0' en el caso contrario). Comentar que en cada periodo k del algoritmo, los valores de potencia almacenados no se borran. Únicamente se actualizan los valores de potencia de los nodos con lectura en dicho periodo. El hecho de no borrar dichos valores viene motivado por las tareas realizadas en el paso 2
15 descrito a continuación.

Paso 2 – aplicación factor de olvido: para aquellos nodos sin lectura en el periodo k (es decir aquellos nodos asociados a valores de $I_{rx,i}=0$) o que presenten una lectura de potencia muy débil (con $P_{rx,i} < P_{\text{umbral}}$ donde P_{umbral} es el umbral de potencia
20 definido en el sistema), se utiliza un valor de potencia determinado por el método descrito a continuación, para un ejemplo de realización.

Se define la variable γ como exponente de decaída de la potencia en función de la distancia. Dicho exponente se correspondería al decaimiento observado en la potencia recibida en función de la distancia según el siguiente modelo teórico [7]:

25

$$P_{rx}(dBm) = P_{rx,1\text{metro}}(dBm) - 10\gamma \log_{10}(d)$$

donde $P_{rx,1\text{metro}}$ es la lectura de potencia obtenido a 1 metro de distancia del nodo emisor (obtenida de forma experimental) y d es la distancia existente entre el nodo transmisor y

el nodo receptor. Por tanto, en este modelo las pérdidas de propagación se cuantifican mediante la expresión:

$$L_{prop}(dB) = 10\gamma \log_{10}(d)$$

5 Una vez definida dicha variable, se definen un seguido de zonas de velocidades que puede tomar el vehículo V1. La idea es que el método propuesto se adapta según la velocidad del vehículo V1 pero, para reducir la complejidad, se propone adaptarlo según un determinado rango de velocidades. Con tal fin, para la presente realización se definen tres rangos de velocidades:

10

Rango 1: $[C_{th1}, C_{th2})$

Rango 2: $[C_{th2}, C_{th3})$

Rango 3: $[C_{th3}, C_{th4})$

15 donde C_{thi} son las velocidades umbrales utilizadas para determinar los diferentes rangos.

Una vez caracterizados los rangos, se considera la velocidad media de cada uno de ellos:

20

$$C_{m,rang1} = (C_{th1} + C_{th2})/2$$

$$C_{m,rang2} = (C_{th2} + C_{th3})/2$$

$$C_{m,rang3} = (C_{th3} + C_{th4})/2$$

25 Para cada una de estas velocidades medias, se calcula la distancia que recorrería el vehículo V1 en línea recta durante un periodo de muestreo del algoritmo, t_{mues} segundos:

30

$$d_{m,rang1} = C_{m,rang1} \cdot t_{mues}$$

$$d_{m,rang2} = C_{m,rang2} \cdot t_{mues}$$

$$d_{m,rang3} = C_{m,rang3} \cdot t_{mues}$$

Con estas distancias se estima cuales serían las decaídas de potencia que sufrirían las señales de comunicaciones provenientes de los sensores o nodos n1-n8 al

transcurrir t_{mues} segundos desde la última medida de potencia recibida. Es decir, si no se tiene lectura de potencia, se supone que el sensor o nodo origen se va alejando respecto al sensor D del vehículo V1 y se estima la pérdida de potencia resultante del hecho que la señal de comunicaciones recorre una distancia mayor. Para ello se utiliza
 5 la expresión relacionada con las pérdidas de propagación mostrada arriba:

$$L_{prop}(d) = 10\gamma \log_{10}(d)$$

considerando d igual a $d_{m,rang1}$, $d_{m,rang2}$ o $d_{m,rang3}$ según al rango que pertenezca la
 10 velocidad del vehículo en ese instante. Concretamente, dicha expresión se utiliza para estimar la potencia que debería haberse recibido (suponiendo un caso ideal donde el nodo se va alejando a velocidad constante y las variaciones de canal vienen únicamente afectadas por la componente de propagación) como:

$$15 \quad P_{rx}^{FO}(dBm) = P_{rx}^{old}(dBm) - L_{prop}(d)$$

donde P_{rx}^{old} es la medida de potencia correspondiente al instante de muestreo anterior, (es decir, la almacenada t_{mues} segundos antes). Cabe comentar que, para un ejemplo de realización, la velocidad del vehículo se obtiene del filtro de Kalman utilizado en el Paso
 20 6 del sistema propuesto. Por otro lado, comentar que el exponente γ depende del tipo de escenario, por lo tanto debería adaptarse según el entorno de operación. En el caso general, se obtienen buenos resultados utilizando un valor igual a $\gamma = 2,5$.

En resumen, las potencias de aquellos nodos que no hayan tenido lectura de potencia en el paso 1 del algoritmo correspondientes al instante k son actualizadas
 25 mediante el método propuesto por el primer aspecto de la invención, en particular en el paso 2 de aplicación del factor de olvido, o factor de corrección. Es decir, si el nodo i -ésimo no tiene lectura, se coge su valor de potencia almacenado en la matriz \mathbf{P} , es decir el valor $P_{rx,i,k-1}$, el cual se corresponde al valor obtenido en el instante de muestreo $k-1$, y se actualiza de la siguiente manera:

$$30 \quad P_{rx,i,k}(dBm) = P_{rx,i,k-1}(dBm) - L_{prop}(d)$$

donde d se obtendrá según la velocidad que tenga el vehículo tal como se ha detallado en los párrafos anteriores. Esta ecuación será referida posteriormente como “Ecuación 1”.

La motivación de este método viene dada por el hecho de que el nodo receptor D se encuentra en movimiento. Por tanto las señales de comunicaciones recibidas en el mismo sufren variaciones y desvanecimientos de potencia que crecen a medida que aumenta la velocidad del vehículo inducidos por efectos de canal asociados a efectos multi-camino, Doppler, aparición de obstáculos, etc. Esto dificulta la obtención de buenas medidas de posición, ya que en el momento que aparecen y desaparecen nodos y las potencias de los mismos varían en gran medida, provocan efectos de percepción de cambios de proximidad/lejanía en intervalos muy cortos de tiempo, tal y como se aprecia en las Figs. 4a y 4b, para las potencias P_{n1} y P_{n2} de los nodos $n1$ y $n2$, respectivamente, que incluyen algunas medidas de potencia nulas debidas a ausencia de recepción de señales de los mismos. Por ejemplo, en una trayectoria recta, se pueden tener como resultado unas soluciones de posición donde el vehículo va saltando hacia delante o hacia detrás de la trayectoria, mientras que en la realidad estaría avanzando. Utilizando el método propuesto por la invención, se introduce un comportamiento de variación de potencia asociado a la velocidad estimada del vehículo que mejora sensiblemente los resultados obtenidos, tal y como se observa en las Figs. 5a y 5b, donde se han corregido las medidas de potencia reales nulas, aplicando el factor de olvido, mostrándose dichas medidas corregidas mediante las líneas verticales de trazo discontinuo ilustradas, que como puede apreciarse siguen una tendencia más coherente con las medidas de potencia reales (representadas mediante líneas verticales de trazo continuo) adyacentes.

25

Paso 3 – selección de nodos: una vez actualizada la matriz \mathbf{P} en los pasos 1 y 2 del algoritmo, se seleccionan las N_{sel} potencias mayores con $N_{sel} \geq 3$ (se han obtenido unos buenos resultados experimentales con $N_{sel}=4$). Una vez seleccionadas las mayores potencias, se cogen los identificadores de los nodos que dan esos valores (es decir las columnas asociadas a los valores de potencia seleccionados) y se guardan en las variables $ID_{sel,1}, ID_{sel,2}, \dots, ID_{sel,N_{sel}}$. Estos nodos serán aquellos utilizados para calcular la estimación a priori de posición del vehículo tal como se describe en el paso siguiente. El hecho de que se trabaje con los nodos con mayores potencias aumenta la probabilidad de utilizar los nodos más cercanos al vehículo, mejorando por tanto la calidad de la posición obtenida mediante promediado (tal como se comenta en el paso siguiente).

35

Paso 4 – estimación a priori de posición: una vez seleccionados los nodos con índices $ID_{sel,1}, ID_{sel,2}, \dots, ID_{sel,Nsel}$ se pasa a determinar la estimación a priori del vehículo (en el paso 6 se realiza una estimación más fina). Para ello se utiliza un método basado en el promediado ponderado de las posiciones de los nodos seleccionados. Es decir, sean $(x_{sel,1}, y_{sel,1}), (x_{sel,2}, y_{sel,2}), \dots, (x_{sel,Nsel}, y_{sel,Nsel})$ las coordenadas de los nodos seleccionados, se obtiene la posición del vehículo como:

$$(x, y) = \sum_{n=1}^{N_{sel}} \alpha_n (x_{sel,n}, y_{sel,n})$$

donde α_n es el factor de ponderación aplicado a cada nodo según la lectura de potencia que se tenga del mismo:

$$\alpha_n = \frac{P_{rx, ID_{sel,n}}}{\sum_{p=1}^{N_{sel}} P_{rx, ID_{sel,p}}}$$

Es decir, a aquellos nodos con potencias mayores se les aplica ponderaciones mayores para denotar que el vehículo V1 estará probablemente más cercano a dichos nodos. La motivación para llevar a cabo el proceso de promediado viene dado por el hecho de que las medidas de potencia presentan un nivel alto de variaciones inducidos por el movimiento del vehículo que dificultan la obtención de la posición del mismo. Utilizando un método de triangulación estándar, se puede llegar a casos donde las distancias estimadas sean considerablemente mayores o menores que las reales y la posición obtenida se encuentre considerablemente alejada de la real. Mediante el método de promediado, se asegura que la posición del nodo D se encontrará dentro de la zona delimitada por los nodos emisores cercanos, lo cual mejora significativamente la estimación de posición obtenida.

Paso 5 (OPCIONAL) – proyección de posición en mapa: para aquellos pasos donde se disponga del mapa de la zona a cubrir, se definen las trayectorias que puede seguir el vehículo V1 en la misma. Hecho esto, se proyecta la posición del mismo en la trayectoria más cercana según la posición a priori obtenida en el paso 4.

Paso 6 – estimación a posteriori de la posición: el último paso del algoritmo consiste en la mejora de la estimación de posición obtenida mediante el uso de un filtro de Kalman [8]. El filtro de Kalman es una herramienta utilizada en estadística, cuya gran

popularidad reside en el hecho de que es muy útil para combinar medidas ruidosas para estimar el estado de un sistema con ciertas dinámicas desconocidas. En este caso el filtro se usa para utilizar las estimaciones de posición obtenidas en el paso 4 (o 5) para determinar una estimación más acercada a la realidad según las posibles dinámicas que puede tomar el vehículo V1. El tipo de filtro utilizado dependerá del tipo de escenario, pero las pruebas realizadas muestran que el conjunto de sistema ofrece buenos resultados cuando el filtro utilizado es lineal, considerando un movimiento de vehículo uniformemente acelerado y unos valores de ruido de modelado y de medida lo suficientemente alto para contemplar las posibles perturbaciones de la trayectoria real del vehículo y de la calidad de las medidas de potencia. El resultado de aplicar este paso es el obtener un suavizado de las medidas de posición estimadas.

El periodo de trabajo del algoritmo debe ser menor o igual que el periodo de emisión de los nodos que conforman la red de sensores n1-n8, es decir, $t_{mues} \leq t_{med}$, ya que en caso contrario se tiene una actualización del algoritmo bastante lenta para procesar de forma correcta todas las señales disponibles. En las pruebas realizadas, se consideró $t_{mues} = t_{med}$.

El sistema, gracias al método descrito en el paso 2, presenta una solución robusta para el caso en que los diferentes nodos no emitan sus señales de forma periódica y/o síncrona o incluso para el caso en que algunos nodos dejen de emitir por falta de energía o fallo del sistema. A diferencia de la solución aportada por la presente invención, la mayoría de sistemas basados en radiobalizas requieren de esquemas de transmisión periódicos y síncronos.

Cabe aclarar que sistemas de posicionamiento basados en GPS o redes celulares utilizan medidas temporales para calcular las posiciones. Esto requiere que el sistema opere con relojes muy precisos. Es decir, para conseguir un error de 3 metros se requiere de una precisión de nanosegundos. En redes de sensores, por ejemplo, se opera con relojes con precisiones del microsegundo, ya que son sistemas de bajo coste. Con dicha precisión se obtienen precisiones de 300 metros lo cual hace el sistema de posicionamiento inoperativo. Por este motivo, en el sistema propuesto se propone trabajar con medidas de potencia. Además el uso de medidas de potencia es factible ya que la gran mayoría de dispositivos radio facilitan dicha medida y, por otro lado, es una medida de carácter no intrusivo. Es decir, no se debe modificar el protocolo funcionamiento del sistema para realizar las estimaciones de potencia ya que el nodo D del vehículo V1 actúa como dispositivo "sniffer" del tráfico de dicha red.

En función del ejemplo de realización, el método y el sistema de posicionamiento es relativo a un posicionamiento 2D, como el descrito con referencia a la Fig. 1 donde los sensores n1-n8 se encuentran dispuestos en un mismo plano, en concreto en el suelo, o a un posicionamiento 3D ya que se mantendría el principio de funcionamiento, con la única diferencia de que se dispondría de sensores dispuestos a diferentes alturas.

Tal como se ha descrito el sistema, se supone que el nodo D del vehículo V1 dispone de una base de datos con las IDs y las coordenadas geográficas de todos los nodos n1-n8 de la red de sensores. No obstante, el sistema también funciona correctamente en el caso de que no se disponga de dicha base de datos y sean los propios nodos n1-n8 los que envíen sus coordenadas geográficas, aparte de su ID, en el mensaje que emiten periódicamente. De esta manera, el vehículo V1 podría circular en cualquier zona, habilitada con redes de sensores, sin tener que disponer de una base de datos de la misma.

15

En el método descrito en el paso 2 se menciona que la información de velocidad del vehículo proviene del filtro de Kalman. Pero ésta puede provenir de otra fuente de información como un sensor inercial, el propio vehículo V1 o la estimación de velocidad a partir de las soluciones de posición obtenidas en instantes anteriores.

20

Además del ejemplo de realización descrito hasta aquí, denominado en adelante como ejemplo principal, el método propuesto por el primer aspecto de la invención, y por ende el sistema que lo implementa, comprende unos ejemplos de realización alternativos, que se describen a continuación, que comprenden generar un factor de olvido de manera diferente a la descrita.

25

Para uno de tales ejemplos de realización alternativos, o ejemplo alternativo 1, la generación del factor de olvido se desliga completamente de la información de velocidad. Para ello, se aplica siempre un valor de L_{prop} constante, determinado según el tipo de escenario.

30

El método utilizado en el paso 2 descrito anteriormente se basa en la utilización de la fórmula de la propagación en el espacio libre. No obstante, para un segundo ejemplo de realización alternativo, o ejemplo alternativo 2, otra forma de calcular el factor de olvido es considerando, además, el efecto de sombra, o "shadowing", existente en el canal móvil.

35

Escribiendo la fórmula de propagación en el espacio libre:

$$P_{rx}(dBm) = P_{rx,1metro}(dBm) - 10\gamma \log_{10}(d)$$

en lineal:

$$P_{rx} = \frac{P_{rx,1metro}}{d^\gamma}$$

- 5 el efecto de “shadowing” viene modelado por un factor multiplicativo, v , tal como se muestra a continuación:

$$P_{rx} = \frac{P_{rx,1metro}}{d^\gamma} v$$

- 10 donde v es una variable aleatoria con distribución lognormal. Es decir, el logaritmo de v es una variable aleatoria gaussiana con media m_v y desviación típica σ_v , siendo ambos términos expresados en dB [7].

- 15 Teniendo en cuenta este modelo, la forma de calcular el factor de olvido según el ejemplo alternativo 2 sería la siguiente. Partiendo de que en este caso la potencia recibida se modela como una variable aleatoria, el primer paso es obtener la media estadística de la misma, es decir:

$$E[P_{rx}] = E\left[\frac{P_{rx,1metro}}{d^\gamma} v\right] = \frac{P_{rx,1metro}}{d^\gamma} E[v]$$

- 20 donde el término $\frac{P_{rx,1metro}}{d^\gamma}$, al no considerarse aleatorio según el modelo, pasa a salir fuera del operador esperanza (tal como se observa en la fórmula de arriba). En cuanto a $E[v]$, ésta, al tratarse v de una variable aleatoria lognormal, viene dada por la siguiente expresión

$$E[v] = e^{m_v + \frac{1}{2}\sigma_v^2}$$

- 25 Teniendo esto en cuenta, el valor promedio de la potencia recibida, para una distancia dada, pasa a tomar el siguiente aspecto:

$$E[P_{rx}] = \frac{P_{rx,1metro}}{d^\gamma} e^{m_v + \frac{1}{2}\sigma_v^2}$$

Por tanto, en este caso, las pérdidas debidas al canal, expresadas en dB, vendrían dadas por la expresión:

$$L_{prop+shad}(d) = 10\gamma \log_{10}(d) - 10 \log_{10} \left(e^{m_v + \frac{1}{2}\sigma_v^2} \right)$$

5

En conclusión, el ejemplo alternativo 2 se aplicaría exactamente igual que el ejemplo principal, pero en vez de usar la expresión L_{prop} a la hora de aplicar el factor de olvido, se usaría la expresión $L_{prop+shad}$ derivada arriba, y denominada como “Ecuación 1”. Comentar que valores adecuados de m_v y σ_v , según resultados experimentales, son

10 $m_v = 0$ dB y $\sigma_v = 2$ dB.

Ejemplo alternativo 3: este ejemplo alternativo tiene como propósito intentar no aplicar factores de olvido basados en el alejamiento del vehículo en aquellas situaciones donde bien el vehículo no se desplaza o bien lleva a cabo un desplazamiento radial (con distancia constante). Por tanto, en estos casos los desvanecimientos, a nivel de potencia recibida, vendrían dados por otros efectos (como la presencia de obstáculos, por ejemplo). El método propuesto, en concreto, se basa en la ejecución en paralelo de dos mecanismos de aplicación de factor de olvido y cálculo de posición del vehículo tal como se muestra en la Fig. 3, donde la casilla 1 se

15 corresponde al paso 1 ya descrito de recepción de señales, y la referencia I a la aplicación de una interrupción cada t_{mues} segundos. Esto se hace en cada iteración del algoritmo.

El proceso de la parte de arriba del esquema (es decir el que pasa por los bloques 2 a 6 de la rama superior) se basa en aplicar el factor de corrección basándose en la dinámica del vehículo (ya sea como se explica según el ejemplo principal o bien

25 aplicando el ejemplo alternativo 2), y las referencias numéricas 2 a 6 se corresponden con los pasos 2 a 6 explicados anteriormente, llevándose a cabo el paso 2 para la aplicación del factor de olvido a la corrección de potencia aplicando un modelo basado en movimiento, generando tal factor de olvido a partir de L_{prop} (ejemplo principal) o

30 $L_{prop+shad}$ (ejemplo alternativo 2).

El proceso de abajo (es decir el que pasa por los bloques 2 a 6 de la rama inferior de la Fig. 3) supone que cuando se recibe un valor de potencia bajo (o directamente no se recibe lectura) esto es debido a la presencia de un obstáculo y, por tanto, la regla es aplicar un factor de olvido o corrección igual a $L_{prop} = 0$ dB (en el paso

35 2). Es decir, el valor de potencia recibida se pone igual a la última lectura (real o virtual) existente para el nodo en cuestión:

$$P_{rx}^{FO} (dBm) = P_{rx}^{old} (dBm)$$

5 De esta manera, se supone que la potencia recibida debería haber sido igual a la última lectura y si no es así es debido a la presencia de un obstáculo. Los pasos 3 a 6 de la rama inferior se corresponden con los de la rama superior, y descritos con referencia al ejemplo principal.

Una vez finalizada la iteración del algoritmo, en el bloque o paso 7 se comparan
 10 las velocidades obtenidas con los dos filtros de Kalman con la medida de velocidad obtenida por el propio vehículo (o por algún sensor inercial). De esta forma se determina cuál de los dos procesos en paralelo es el que está modelando de forma más adecuada el comportamiento del sistema. Si la velocidad obtenida por el filtro de Kalman del proceso de arriba se asemeja más a la velocidad del vehículo, quiere decir
 15 que el comportamiento del sistema en esa iteración se asemeja más al caso de tener el vehículo en movimiento. Mientras, en caso contrario, se asemeja más a la presencia de un obstáculo.

Una vez seleccionado el proceso más adecuado, se declara la posición y velocidad obtenida en dicho proceso como los valores correctos de la iteración llevada
 20 a cabo, junto a los valores de potencia virtuales obtenidos con el método de factor de olvido. Dichos valores son también los utilizados de base en la iteración siguiente del algoritmo.

Escenario de validación y resultados:

25 El sistema fue validado en una zona de aparcamiento. Para ello se consideró la aplicación del método de factor de olvido tal como se presenta en el paso 2 del ejemplo principal y considerando únicamente su aplicación cuando no se producen lecturas de potencia ($P_{umbral} = -\infty$ dBm). En dicha zona se instalaron 20 sensores en 20 plazas para detectar si la plaza está ocupada. Cada sensor está separado del sensor contiguo
 30 una distancia de 5 metros y envía la información de aparcamiento cada $t_{med} = 2,5$ segundos. Se utilizó un software de localización y seguimiento de vehículos que permitía la representación del mapa de la zona cubierta con las 20 plazas de aparcamiento.

El sistema de localización y seguimiento utilizado para la mencionada validación
 35 está basado en un ordenador portátil dispuesto en el interior del vehículo móvil y ejecutando el software que alberga el algoritmo diseñado, el cual se encuentra a su vez

conectado a un nodo de la misma naturaleza que la red de sensores utilizada en las plazas de aparcamiento para recibir las señales que dicha red origina.

5 Se realizaron diferentes pruebas para comprobar la validez del sistema observándose errores alrededor de los 2,5 metros en media. Se realizaron pruebas para dos casos con velocidades de vehículo diferentes, 10 Km/h y 20 Km/h, obteniéndose errores del orden de 2,42 y 2,58 metros, respectivamente.

10 Un experto en la materia podría introducir cambios y modificaciones en los ejemplos de realización descritos sin salirse del alcance de la invención según está definido en las reivindicaciones adjuntas.

REFERENCIAS

[1] "Smart Cities Applications and Requirements", White Paper, NetWorks European Technology Platform, Mayo 2011.

5

[2] A. Redondi, M. Tagliasacchi, M. Cesana, L. Borsani, P. Tarrío and F. Salice, "LocAlization and Ubiquitous monitoRing of pAtients for health care support", IEEE International Workshop on Advances in Positioning and Location-Enabled Communications (PIMRC 2010), September 26 - 30 2010, Istanbul, Turkey.

10

[3] X. Li, "Collaborative localization with received-signal strength in wireless sensor networks," Vehicular Technology, IEEE Transactions on, vol. 56, no. 6, pp. 3807–3817, Nov. 2007.

15

[4] M. Maroti et al., "Radio Interferometric Geolocation", Proc. Of the 3rd International Conference on Embedded Networked Systems, 2005.

[5] H. Wymeersch, J. Lien y M.Z. Win, "Cooperative Localization in Wireless Networks", Proc. IEEE, vol. 97, no. 2, pp. 427-450, Feb. 2009.

20

[6] C. Röhrig y M. Müller, "Localization of Sensor Nodes in a Wireless Sensor Network Using the nanoLOC TRX Transceiver", Proc. of IEEE VTC 2009.

[7] A. Goldsmith, Wireless Communications, Cambridge University Press, 2005.

25

[8] S. M. Kay, Fundamentals of Statistical Signal Processing, Volume I: Estimation Theory, Prentice Hall, 1993.

Reivindicaciones

1.- Método de localización y seguimiento de un dispositivo móvil en una red de nodos inalámbrica, del tipo que comprende:

5 a) recibir, dicho dispositivo móvil (D), una serie de señales inalámbricas provenientes de al menos parte de los nodos estacionarios (n1-n8) de dicha red inalámbrica; y

b) determinar al menos la posición de dicho dispositivo móvil (D) mediante la extracción y análisis de información de potencia contenida en dichas señales inalámbricas, recibidas durante un periodo determinado, y su asociación a la ubicación geográfica de los nodos inalámbricos estacionarios (n1-n8) de los cuales provienen; estando el método **caracterizado** porque comprende, para al menos un nodo, de dichos nodos inalámbricos estacionarios (n1-n8), del cual el dispositivo móvil (D) no ha recibido, en dicho periodo de tiempo predeterminado, una correspondiente señal inalámbrica, o la ha recibido pero su potencia está por debajo de un umbral mínimo predeterminado:

10

15

- generar información de potencia estimada asociada a dicho nodo, aplicando un factor de corrección a información de potencia previa obtenida para dicho nodo en un periodo anterior a dicho periodo determinado; y

20 - utilizar dicha información de potencia estimada en dicho análisis de dicha etapa b).

2.- Método según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho factor de corrección tiene un valor constante.

3.- Método según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque dicho factor de corrección es relativo a pérdidas de propagación de señal y dicha aplicación del mismo a la información de potencia previa comprende la substracción de la misma del valor de dichas pérdidas de propagación.

25

4.- Método según la reivindicación 3 cuando depende de la 1, caracterizado porque comprende estimar que dicho dispositivo móvil (D) se desplaza alejándose de dicho nodo del cual no se ha recibido, en dicho periodo de tiempo predeterminado, una correspondiente señal inalámbrica, o se ha recibido pero su potencia está por debajo de dicho umbral mínimo predeterminado.

30

5.- Método según la reivindicación 4, caracterizado porque comprende calcular dicho factor de corrección en función de la velocidad del dispositivo móvil (D).

6.- Método según la reivindicación 5, caracterizado porque comprende determinar dicha velocidad del dispositivo móvil (D) mediante su detección utilizando al menos un sensor interno o externo al dispositivo móvil (D).

5 7.- Método según la reivindicación 5, caracterizado porque comprende estimar dicha velocidad del dispositivo móvil (D) mediante un filtro de Kalman aplicado a información de potencia obtenida en al menos dicho periodo anterior para al menos parte de dichos nodos inalámbricos estacionarios (n1-n8).

10 8.- Método según la reivindicación 5, caracterizado porque comprende determinar dicha velocidad del dispositivo móvil (D) mediante su estimación a partir de determinaciones previas de localización del dispositivo móvil (D).

9.- Método según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 8, caracterizado porque comprende calcular el valor de dichas pérdidas de propagación de señal utilizando una expresión matemática que las cuantifica según al menos un modelo de propagación.

15 10.- Método según la reivindicación 9, caracterizado porque dicha expresión matemática incluye una variable relativa a la distancia entre el nodo emisor y el nodo receptor, determinándose el valor de dicha distancia en función de la velocidad del dispositivo móvil (D).

20 11.- Método según la reivindicación 10, caracterizado porque comprende calcular una serie de velocidades medias a partir de los valores de unos correspondientes rangos de velocidades, y calcular dicha distancia a partir del valor de una de dichas velocidades medias seleccionada por ser relativa al rango de velocidades al cual pertenece la velocidad del dispositivo móvil (D) detectada o estimada.

25 12.- Método según la reivindicación 9, caracterizado porque dicho modelo de propagación es un modelo de propagación en el espacio libre.

30 13.- Método según la reivindicación 12, caracterizado porque comprende calcular el valor de dichas pérdidas de propagación de señal teniendo en cuenta también, en combinación con dicho modelo de propagación en el espacio libre, el efecto sombra, mediante una expresión matemática que la cuantifica según dicho modelo de propagación en el espacio libre y dicho efecto sombra.

35 14.- Método según una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 13, caracterizado porque comprende estimar que dicho dispositivo móvil (D) no se desplaza o se desplaza sin alejarse de dicho nodo del cual no se ha recibido, en dicho periodo de tiempo predeterminado, una correspondiente señal inalámbrica, o se ha recibido pero su potencia está por debajo de dicho umbral mínimo predeterminado.

15.- Método según la reivindicación 14, caracterizado porque comprende realizar ambas estimaciones, la de considerar que el dispositivo móvil (D) se desplaza alejándose del nodo y la de que no se desplaza o se desplaza sin alejarse, y realizar en consecuencia:

5 - la obtención de sendos factores de corrección, cada uno de ellos asociado a una de dichas estimaciones, uno obtenido mediante el cálculo del valor de dichas pérdidas de propagación y el otro asignándole un valor igual a cero o sustancialmente igual a cero;

10 - la generación de información de potencia estimada para cada una de dichas estimaciones, mediante la aplicación de ambos de dichos factores de corrección a dicha información de potencia previa;

15 - la determinación de sendas posiciones candidatas del dispositivo móvil (D) mediante la utilización de dicha información de potencia estimada obtenida para ambas estimaciones en unos correspondientes análisis de unas etapas b) realizadas en paralelo; y

 - la selección de una de dichas posiciones candidatas como posición definitiva del dispositivo móvil (D).

20 16.- Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicha etapa b) comprende realizar una determinación a priori de posición mediante un método de promediado de los valores de potencia mayores asociados a la información de potencia, incluyendo dicha información de potencia estimada, y una determinación a posteriori de posición mediante la aplicación de un filtro de Kalman a los valores obtenidos en la determinación a priori.

25 17.- Método según la reivindicación 16, caracterizado porque comprende seleccionar y/o ajustar al menos parte de los parámetros utilizados por dicho filtro de Kalman, incluyendo al menos el relativo a uno o más modelos de dinámica del dispositivo móvil (D).

30 18.- Método según la reivindicación 16 cuando depende de la 15, caracterizado porque comprende llevar a cabo dicha selección de una de las posiciones candidatas en función de las velocidades estimadas para el dispositivo móvil (D) obtenidas mediante sendos filtros de Kalman aplicados en sendas determinaciones a posteriori de posición candidatas, comparando dichas velocidades estimadas con la velocidad real del dispositivo móvil (D) y escogiendo la que más se asemeje junto con la posición candidata asociada a la misma.

35 19.- Sistema de localización y seguimiento de un dispositivo móvil en una red de nodos inalámbrica, del tipo que comprende:

- una pluralidad de nodos inalámbricos estacionarios (n1-n8) configurados para emitir una serie de señales inalámbricas;
 - un dispositivo móvil (D) configurado para recibir dichas señales inalámbricas; y
 - unos medios de procesamiento, con acceso a dichas señales inalámbricas
- 5 recibidas, y configurados para determinar al menos la posición de dicho dispositivo móvil (D) mediante la extracción y análisis de información de potencia contenida en dichas señales inalámbricas, recibidas durante un periodo determinado, y su asociación a la ubicación geográfica de los nodos inalámbricos estacionarios (n1-n8) de los cuales provienen;
- 10 estando el sistema **caracterizado** porque dichos medios de procesamiento están configurados para:
- generar información de potencia estimada asociada a al menos un nodo, de dichos nodos inalámbricos estacionarios (n1-n8), del cual el dispositivo móvil (D) no ha recibido, en dicho periodo de tiempo predeterminado, una correspondiente señal
- 15 inalámbrica, o la ha recibido pero su potencia está por debajo de un umbral mínimo predeterminado, aplicando un factor de corrección a información de potencia previa obtenida para dicho nodo en un periodo anterior a dicho periodo determinado; y
- utilizar dicha información de potencia estimada en dicho análisis realizado para determinar la posición del dispositivo móvil (D).
- 20 20.- Sistema según la reivindicación 19, caracterizado porque está adaptado para implementar el método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18.
- 21.- Sistema según la reivindicación 19 ó 20, caracterizado porque dichos medios de procesamiento tienen acceso a información de identificación y de ubicación geográfica de dichos nodos inalámbricos estacionarios (n1-n8), incluyendo cada una de
- 25 dichas señales inalámbricas al menos información de identificación del nodo que la ha enviado.
- 22.- Sistema según la reivindicación 21, caracterizado porque cada una de dichas señales inalámbricas incluye también dicha información de ubicación geográfica del nodo que la ha enviado.
- 30 23.- Sistema según la reivindicación 21, caracterizado porque comprende una base de datos, accesible por parte de dichos medios de procesamiento, donde se incluye dicha información de ubicación geográfica de los nodos inalámbricos estacionarios (n1-n8) correlacionada con la información de identificación de los mismos.
- 24.- Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 19 a 23,
- 35 caracterizado porque dicho dispositivo móvil (D) es un dispositivo con capacidad de

computación y de comunicación inalámbrica que comprende a dichos medios de procesamiento.

25.- Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 19 a 24, caracterizado porque dicho dispositivo móvil (D) se encuentra instalado en el interior de un vehículo (V1).

26.- Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 19 a 25, caracterizado porque dichos nodos inalámbricos estacionarios (n1-n8) comprenden sensores y/o actuadores.

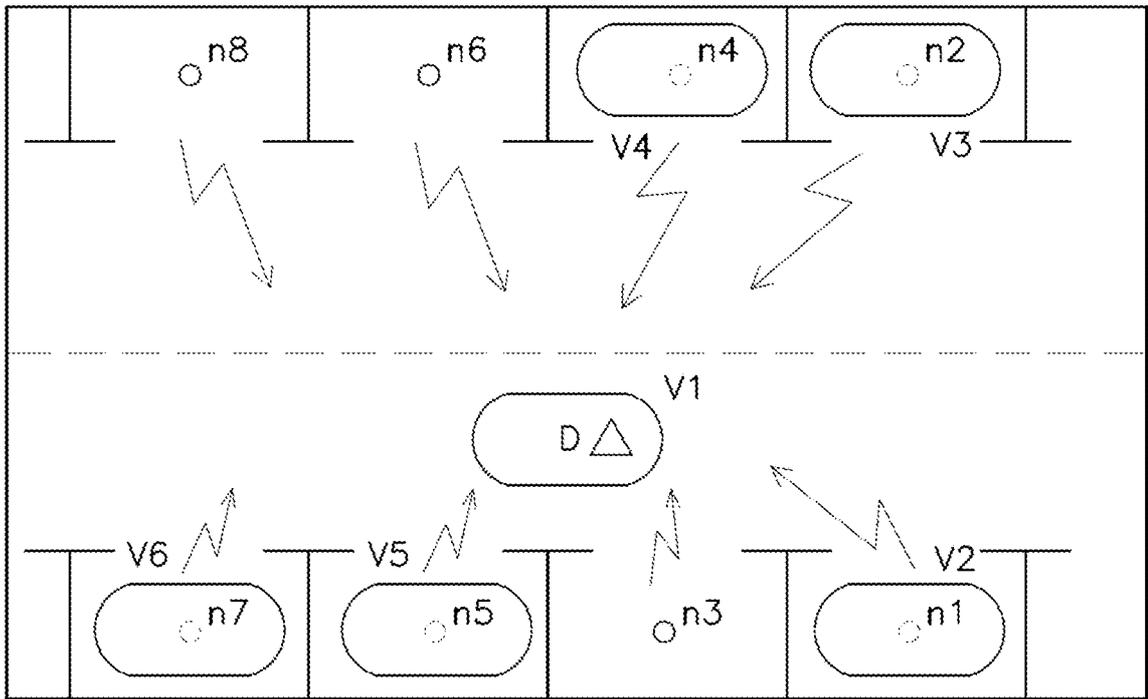


Fig. 1

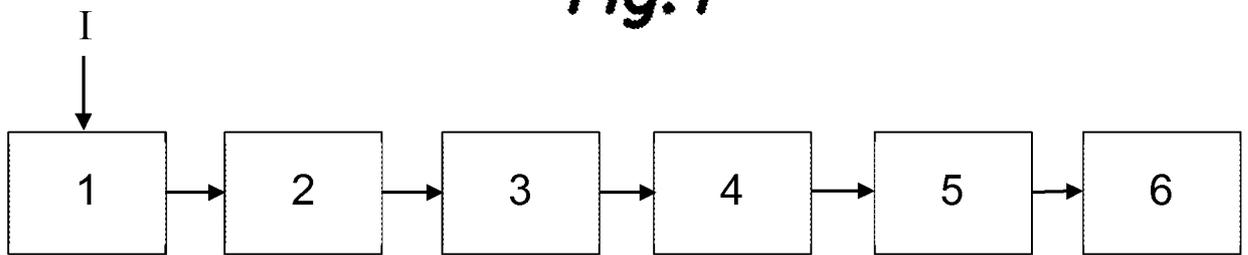


Fig. 2

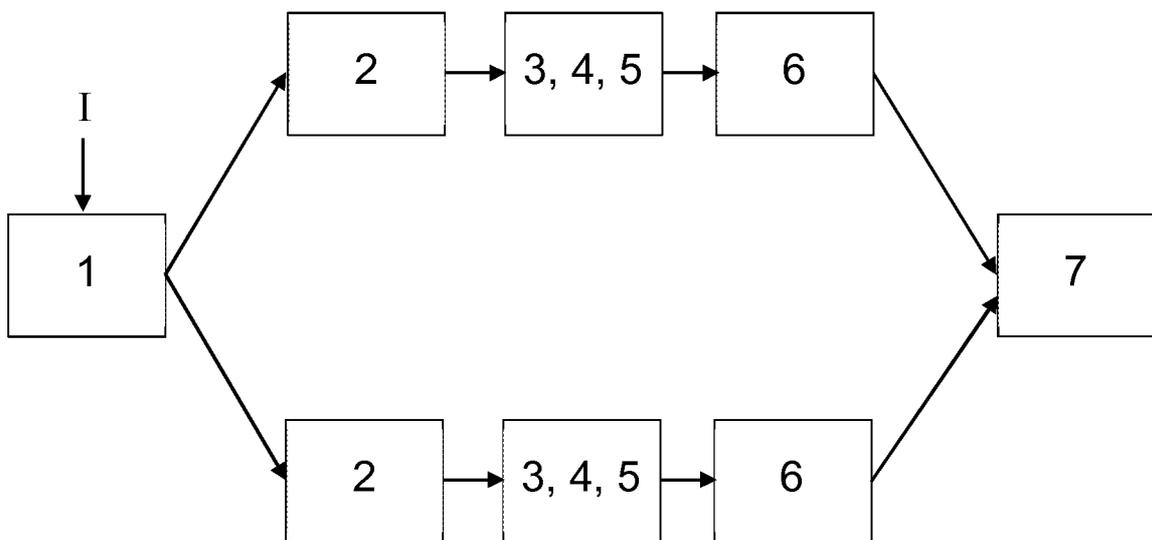


Fig. 3

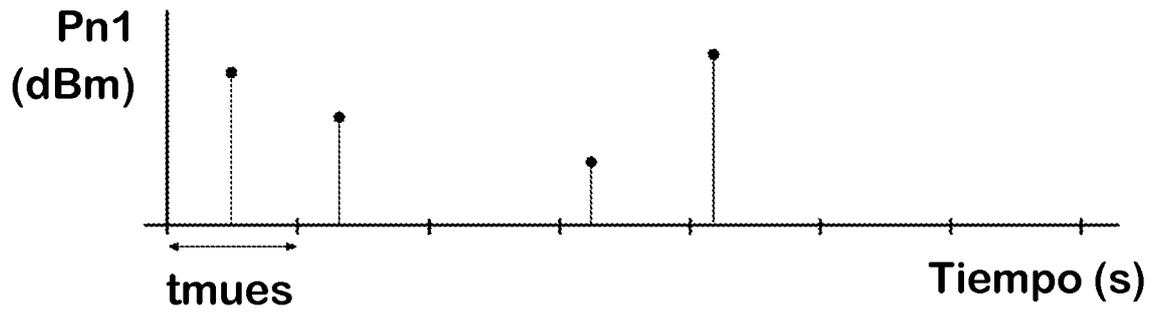


Fig. 4a

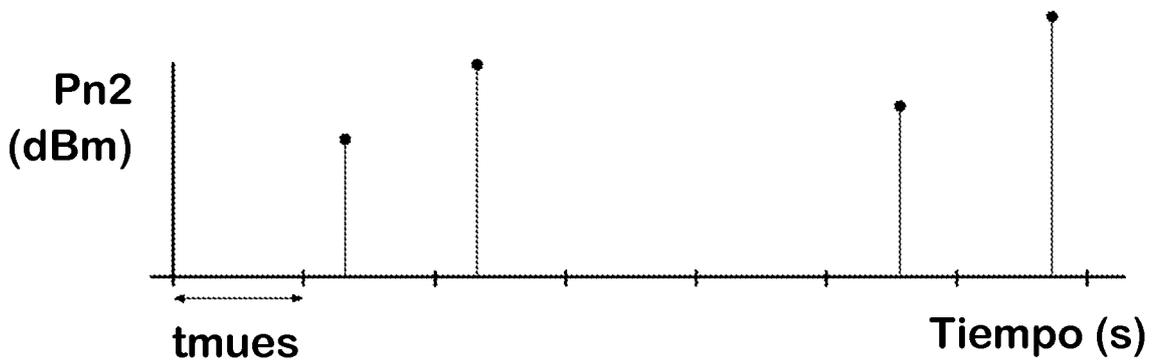


Fig. 4b

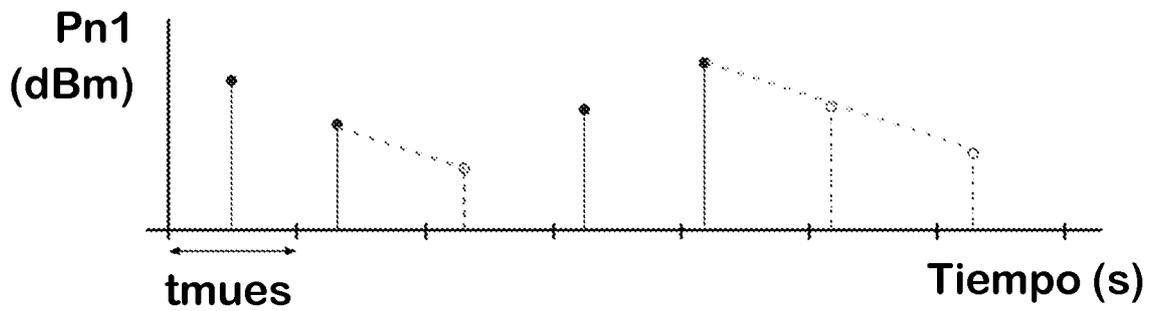


Fig. 5a

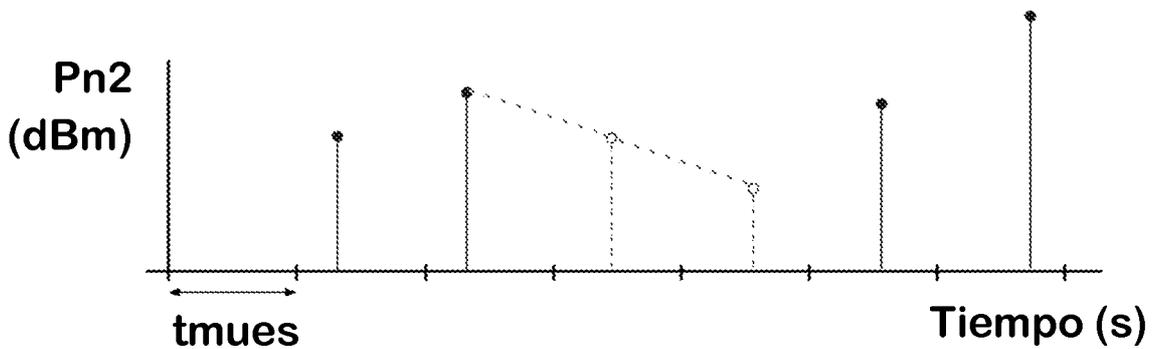


Fig. 5b