

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 734 502**

51 Int. Cl.:

**G01S 11/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.07.2013** E 13306001 (2)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2019** EP 2824476

54 Título: **Análisis temporal para la estimación de la velocidad de usuario en redes inalámbricas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**10.12.2019**

73 Titular/es:

**ALCATEL LUCENT (50.0%)  
Site Nokia Paris Saclay, Route de Villejust  
91620 Nozay, FR y  
INRIA - INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN  
INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE (50.0%)**

72 Inventor/es:

**BEN RACHEC, NIDHAM;  
CAPDEVIELLE, VÉRONIQUE;  
HADDAD, MAJED;  
RATOVELOMANANA, FRÉDÉRIC;  
FEKI, AFEF y  
ALTMAN, EITAN**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 734 502 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Análisis temporal para la estimación de la velocidad de usuario en redes inalámbricas

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un método y un sistema para estimar la velocidad de un equipo de usuario conectado a una red inalámbrica.

10 **Antecedentes de la invención**

15 Tal como se usa en el presente documento, la expresión "equipo de usuario" se entiende de manera amplia y no de manera restrictiva, para incluir cualquier terminal de usuario o, más en general, cualquier dispositivo capaz de conectarse a una red inalámbrica (por ejemplo, un teléfono móvil, un asistente digital personal, un teléfono inteligente, un ordenador de tableta).

20 Por "velocidad del usuario" se entiende en el presente documento la velocidad real, de un usuario o, más en general, de una entidad provista de un equipo de usuario conectado a una estación base de servicio de la red inalámbrica. Por ejemplo, la velocidad de un usuario provisto de un teléfono móvil, o la de un vehículo que incluye un dispositivo conectado a una red inalámbrica.

La red inalámbrica puede ser cualquier red móvil o de área amplia (tal como WiMAX, 3G, CDMA, LTE o similares) capaz de soportar la movilidad de los equipos de usuario conectados a la misma.

25 Estimar la velocidad del usuario es de crucial interés en tales redes inalámbricas. De hecho, la velocidad de usuario es un parámetro clave para las diferentes funciones de red inalámbrica, que incluyen, entre otras, la movilidad y la gestión de recursos de radio. La estimación eficaz de la velocidad de usuario tiene un alto impacto en el rendimiento de la red inalámbrica y, en consecuencia, la calidad de servicio ofrecida (QoS).

30 Por ejemplo, con respecto a la gestión de movilidad, es simple que la tasa de éxito de traspaso esté directamente relacionada con la velocidad de usuario: cuanto mayor es la velocidad de usuario, mayor es la frecuencia de traspaso con mayor riesgo de pérdida de llamadas (N. Yaakob et al., "*Investigating Mobile Motion Prediction in Supporting Seamless Handover for High Speed Mobile Node*", Actas de la conferencia internacional sobre ingeniería de ordenadores y comunicaciones (2008). En consecuencia, el ajuste óptimo de los parámetros de traspaso (desplazamientos, histéresis, temporizadores y coeficientes de filtrado) deberían depender de la velocidad.

35 El marco analítico propuesto por V. Kavitha et al. ("*Spatial Queuing for analysis, design and dimensioning of Picocell networks with mobile users*", Evaluación de desempeño, agosto de 2011) ilustra la dependencia de las pérdidas de traspaso y del tamaño de célula en la velocidad de usuario.

40 Del mismo modo, en lo que respecta a la gestión de recursos de radio, el esquema de programación más adecuado, ya sea o no de frecuencia selectiva, depende de la velocidad de usuario. La programación selectiva de frecuencia se prefiere en general a bajas velocidades de usuario. De lo contrario, debido a las altas condiciones Doppler, la información de canal dependiente de la frecuencia no es lo suficientemente precisa. A altas velocidades, es preferible una programación diversa de frecuencia.

Por lo tanto, como se ha resaltado anteriormente con ejemplos no exhaustivos, se necesita información precisa sobre la velocidad de usuario para optimizar más de un mecanismo de red.

50 Las soluciones actualizadas para la estimación de la velocidad de usuario dentro de las redes inalámbricas son ineficientes y no cumplen con los requisitos de precisión debido a varias razones.

Las basadas en la captura de las variaciones a corto plazo dependientes de la velocidad de las mediciones de las intensidades de señal recibidas, como se describe, por ejemplo, en los documentos US 8 126 404 B2 o US 7 065 375 B1, pueden ser ineficientes cuando el período de las mediciones es mayor que la duración de coherencia de estas rápidas variaciones.

60 De hecho, con respecto a la frecuencia de muestreo de las mediciones, los métodos anteriores apuntan principalmente a analizar las características de desvanecimiento rápido dependientes de la velocidad: la frecuencia Doppler se obtiene de la covarianza o del espectro de potencia del canal de desvanecimiento rápido. Sin embargo, el teorema de Nyquist impone una alta frecuencia de muestreo de las mediciones para evitar el alias del espectro y, por lo tanto, una estimación Doppler errónea. En consecuencia, estos métodos son adecuados solo con períodos de muestreo cortos. De hecho, los períodos de muestreo largos (en el tiempo) de las señales limitan significativamente el Doppler máximo observable, por lo tanto la velocidad máxima observable del UE.

65 Además, las soluciones bien conocidas (específicamente, los métodos basados en cruces (Zhang Hong et al., "*Mobile*

5 *speed estimation using diversity combining in fading channels*", Conferencia Global de Telecomunicaciones, 2004) y los métodos basados en la covarianza (Rosa Zheng Yahong et al. "Mobile speed estimation for broadband wireless communications over rician fading channels", Transacciones IEEE en comunicaciones inalámbricas, página 8, enero de 2009)) son sensibles al ruido, especialmente para dispersiones Doppler pequeñas. Como problemas adicionales, la mayoría de estas soluciones necesitan el conocimiento de la relación señal/ruido (SNR), están limitadas a la hipótesis de ruido gaussiano y son complejas de implementar.

**Sumario**

10 Las diversas realizaciones están dirigidas a abordar los efectos de uno o más de los problemas expuestos anteriormente. A continuación, se presenta un sumario simplificado de las realizaciones con el fin de proporcionar una comprensión básica de algunos aspectos de las diversas realizaciones. Este sumario no es una visión de conjunto exhaustiva de estas diversas realizaciones. No se pretende delinear el alcance de estas diversas realizaciones. Su único propósito es presentar algunos conceptos en forma simplificada como un preludio a la descripción más detallada que se trata más adelante.

15 Algunas realizaciones proporcionan métodos y aparatos para estimar la velocidad de un equipo de usuario que hace frente eficazmente a grandes periodos de mediciones de intensidad de señal, aprovechando aun las variaciones de las mediciones a gran o mediana escala. Esto es particularmente ventajoso cuando las señales medidas se configuran con grandes períodos de transmisión debido a las restricciones de capacidad limitadas.

20 La invención se define de acuerdo con la reivindicación 1 del método independiente, la reivindicación 8 de la unidad de procesamiento, la reivindicación 10 de la estación base y la reivindicación 11 del programa informático.

25 Algunas realizaciones proporcionan métodos y aparatos para la estimación continua y adaptativa de la velocidad de usuario.

Algunas realizaciones proporcionan un estimador de velocidad por bloque de observaciones de señales.

30 Algunas realizaciones proporcionan un método computacionalmente eficaz y en tiempo real con la memoria necesaria minimizada para estimar la velocidad de un equipo de usuario conectado a una red inalámbrica.

35 Algunas realizaciones proporcionan métodos y aparatos para discriminar el intervalo de clase de velocidad de un equipo de usuario entre más de tres intervalos adyacentes de clase de velocidad no superpuestos.

Diversas realizaciones se refieren a métodos para estimar la velocidad de un equipo de usuario conectado a una estación base de una red inalámbrica, comprendiendo el método las siguientes etapas:

- 40 - medir la potencia de una señal transmitida entre el equipo de usuario y la estación base;
- calcular la derivada de la potencia de señal medida con respecto al tiempo;
- calcular la desviación estándar de la derivada calculada;
- estimar, a partir de los datos de referencia establecidos previamente, la velocidad del equipo de usuario que corresponde a la desviación estándar calculada, los datos de referencia que asocian una velocidad de equipo de usuario dada con una cierta desviación estándar calculada para una distancia de decorrelación de sombra dada, siendo la distancia de decorrelación de sombra relevante para el entorno de radio de la estación base.

45 De acuerdo con un aspecto amplio, los métodos anteriores comprenden además una etapa de normalización de la potencia de señal medida.

50 De acuerdo con otro aspecto amplio, los métodos anteriores comprenden además una etapa de filtrado de la potencia de señal medida.

55 De acuerdo con otro aspecto amplio, los datos de referencia asocian una velocidad de equipo de usuario dada con una cierta desviación estándar calculada para una distancia de decorrelación de sombra dada, siendo la distancia de decorrelación de sombra relevante para el entorno de radio de la estación base y/o el del equipo de usuario.

60 De acuerdo con otro aspecto amplio, las mediciones de potencia de señal se realizan por la estación base en unas señales de referencia de sondeo de enlace ascendente transmitidas desde el equipo de usuario. Como alternativa, estas mediciones de potencia de señal pueden realizarse por el equipo de usuario en señales de radio de enlace descendente transmitidas desde la estación base.

Además, diversas realizaciones se refieren a una unidad de procesamiento para estimar la velocidad de un equipo de usuario conectado a una estación base de una red inalámbrica, comprendiendo la unidad de procesamiento

- 65 - un módulo configurado para medir la potencia de una señal transmitida entre el equipo de usuario y la estación base;

- un módulo configurado para calcular la derivada de la potencia de señal medida con respecto al tiempo;
- un módulo configurado para calcular la desviación estándar de la derivada calculada;
- un módulo configurado para estimar, a partir de los datos de referencia establecidos previamente, la velocidad del equipo de usuario que corresponde a la desviación estándar calculada, los datos de referencia que asocian una velocidad de equipo de usuario dada con una cierta desviación estándar calculada para una distancia de decorrelación de sombra dada, la distancia de decorrelación de sombra es relevante para el entorno de radio de la estación base.

De acuerdo con un aspecto amplio, la unidad de procesamiento anterior comprende además un filtro de paso bajo para filtrar la potencia de señal medida.

Además, diversas realizaciones se refieren a una estación base que comprende la unidad de procesamiento anterior.

Diversas realizaciones se refieren además a productos de programas informáticos para realizar los métodos anteriores.

Mientras que las diversas realizaciones son susceptibles de diversas modificaciones y formas alternativas, se han mostrado realizaciones específicas de las mismas o a modo de ejemplo en los dibujos. Debería entenderse, sin embargo, que la descripción en el presente documento de las realizaciones específicas no pretende limitar las diversas realizaciones a las formas específicas desveladas.

Por supuesto, puede apreciarse que en el desarrollo de cualquiera de estas realizaciones reales, deberían realizarse decisiones específicas de implementación para lograr el objetivo específico del desarrollador, tal como el cumplimiento de las restricciones relacionadas con el sistema y relacionadas con el negocio. Se apreciará que un esfuerzo de desarrollo de este tipo puede llevar mucho tiempo pero, sin embargo, puede ser una comprensión rutinaria para los expertos en la materia que tienen el beneficio de esta divulgación.

#### Descripción de los dibujos

Los objetivos, ventajas y otras características de las diversas realizaciones se harán más evidentes a partir de la siguiente divulgación y de las reivindicaciones. La siguiente descripción no restrictiva de las realizaciones preferidas se proporciona con el fin de ejemplificar solo haciendo referencia a los dibujos adjuntos en los que

- la figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra un diagrama de flujo de una realización para estimar la velocidad de usuario por bloque de mediciones de señal;
- la figura 2 es un diagrama esquemático que ilustra un diagrama de flujo de una realización para el rastreo de la velocidad del equipo de usuario;
- la figura 3 ilustra la dependencia entre la velocidad y la distancia de decorrelación;
- la figura 4 es un diagrama de bloques que ilustra los módulos funcionales de algunas realizaciones.

#### Descripción detallada de las realizaciones ilustradas

Con el objetivo de proporcionar modelos de canales de propagación más realistas, se realizan campañas de medición exhaustivas en diferentes entornos (por ejemplo, rurales, urbanos, suburbanos, interiores/exteriores) y escenarios (por ejemplo, línea de visión, línea de visión obstruida, sin línea de visión) para modelar estadísticamente los fenómenos de propagación de señales (es decir, pérdida de trayectoria, desvanecimiento a pequeña escala y a gran escala) a través de canales inalámbricos.

El desvanecimiento resulta a partir de la presencia de reflectores en el entorno de radio, que generan múltiples trayectorias y, por lo tanto, superposición (con diferentes atenuaciones, retrasos y fases) de la señal original.

En particular, el desvanecimiento a gran escala, también conocido como desvanecimiento de sombra o sombra, surge cuando la tasa de variación de señal es baja, en relación con el período de su uso. La amplitud y la fase de la señal recibida no varían mucho durante el período de uso. Se origina a partir de obstáculos entre la estación base y el equipo de usuario.

Se han tomado varias medidas para caracterizar la correlación empírica de la sombra a lo largo de la distancia que separa dos posiciones distintas, para diferentes entornos y en diferentes frecuencias.

- A. Algans et al., "Experimental analysis of the joint statistical properties of azimuth spread, delay spread, and shadow fading", IEEE J. Sel. A. comun. 20, 3, págs. 523-531, septiembre de 2006;
- J. Weitzen et al., "Measurement of angular and distance correlation properties of log-normal shadowing at 1900 MHz and its application to design of PCS systems", Transacciones de IEEE en tecnología vehicular, págs. 265-273, marzo de 2002; y
- Gudmundson, M., "Correlation Model for Shadow Fading in Mobile Radio Systems", Electron. Lett, vol. 27, 23, 2145-2146, noviembre de 1991 son referencias ilustrativas de tales estudios.

A este respecto, se ha reconocido ampliamente que la sombra puede modelarse bien por procesos normales logarítmicos. De hecho, debido a la sombra, la correlación de las mediciones de intensidad de señal realizadas en dos posiciones distantes del equipo de usuario con respecto a la estación base disminuye a medida que aumenta la distancia  $\delta$  que separa estas dos posiciones.

5 Además, la propiedad de correlación de la sombra se modela mediante una función de autocorrelación de descomposición exponencial ampliamente aceptada (dicho modelo de Gudmunsson: A. Algans et al., "*Experimental analysis of the joint statistical properties of azimuth spread, delay spread, and shadow fading*", IEEE J.Sel. A. comun. 20, 3, págs. 523-531, septiembre de 2006). En otras palabras, la correlación entre el desvanecimiento de sombra  $\psi$  detectado por la estación base (eNodoB) para dos puntos separados por la distancia  $\delta$  del equipo de usuario con respecto a la estación base puede formularse analíticamente de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \mathcal{R}_\psi(\delta) &= \mathbb{E}[(\psi(n - \delta) - \mu_\psi)(\psi(n) - \mu_\psi)] \\ &= \sigma_\psi^2 e^{-\frac{\delta}{D}} \end{aligned} \quad (1)$$

15 donde

- $\sigma_\psi^2$  y  $\mu_\psi$  son, respectivamente, la varianza y la media, en dB, de la sombra normal de logarítmica  $\psi$ ;
- $D$  es la distancia de decorrelación de sombra (es decir, la distancia más pequeña que separa dos posiciones de medición de tal manera que la autocorrelación cae a  $1/e$ ).

20 Para un equipo de usuario con velocidad  $v$ , reemplazar la distancia de desplazamiento  $\delta$  por  $v\tau$  (siendo  $\tau$  el tiempo de desplazamiento de la distancia  $\delta$ ) en la ecuación anterior (1) da

$$\mathcal{R}_\psi(\tau) = \sigma_\psi^2 e^{-\frac{v\tau}{D}} \quad (2)$$

25 Además, una señal recibida  $r(t)$  por la estación base desde el equipo de usuario, con media cero (es decir,  $\mu_r = 0$ ), se considera el producto de un proceso de Rayleigh y un proceso exponencial normal logarítmico  $\psi(t)$  (S.O. Rice, "*Mathematical analysis of random noise*", Bell Syst. Tech. J., vol. 23, págs. 46-156, enero de 1945). La función de autocorrelación de dicha señal  $r(t)$  puede escribirse de la siguiente manera:

$$\mathcal{R}_{rr}(\tau) = \mathbb{E}[r(t - \tau)r(t)] \quad (3)$$

Derivando la ecuación anterior con respecto a  $\tau$ , se obtiene

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{R}_{rr}(\tau)}{\partial \tau} &= \mathbb{E}\left[r(t) \frac{\partial r(t - \tau)}{\partial \tau}\right] \\ &= -\mathbb{E}[r(t)r'(t - \tau)] \\ &= -\mathcal{R}_{r r'}(\tau) \end{aligned} \quad (4)$$

35 donde  $r'$  indica la derivada de  $r(t)$  con respecto al tiempo  $t$ .

40 Bajo el supuesto de estacionalidad de la función de autocorrelación  $R_{rr}$ , al derivar nuevamente la ecuación (4), se obtiene

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \mathcal{R}_{rr}(\tau)}{\partial^2 \tau} &= -\frac{\partial}{\partial \tau} \mathbb{E}[r(t + \tau) r'(t)] \\ &= -\mathbb{E}[r'(t + \tau) r'(t)] \end{aligned} \quad (5)$$

45 que se proporciona a partir de (J. Bendat et al., "*Random Data: Analysis and Measurement Procedures*", Serie Wiley en Probabilidad y Estadística, 2010)

$$\frac{\partial^2 \mathcal{R}_{rr}(\tau)}{\partial^2 \tau} = -\mathbb{E}[r'(t + \tau) r'(t)]$$

En particular, el valor absoluto de la segunda derivación anterior de  $R_r(\tau)$  cuando  $\tau$  tiende a  $0^+$  es el siguiente:

$$\lim_{\tau \rightarrow 0^+} \left( \left| \frac{\partial^2 \mathcal{R}_{rr}(\tau)}{\partial^2 \tau} \right| \right) = \mathbb{E} \left[ (r'(t))^2 \right] \quad (6)$$

Ahora, se considera el caso de la señal  $r(t)$  recibida por la estación base desde el equipo de usuario en un período de tiempo largo (por ejemplo, alrededor de 40 ms o más). Como ejemplo de dicha señal, puede mencionarse la señal de referencia de sondeo (SRS) (Especificación técnica de 3GPP 36.211, acceso por radio terrestre universal evolucionado (E-UTRA), canales físicos y modulación) que se envían desde el equipo de usuario a la estación base (eNodeB) para la medición de enlace ascendente en un período de muestreo relativamente grande (en general, con un período configurable que varía normalmente entre 20 ms, 40 ms, 80 ms o más). Un vector de medidas de potencia de señal  $r(t)$  en señales de referencia de sondeo está, ventajosamente, disponible de forma regular.

En tal caso,  $r(t)$  puede reducirse al efecto de desvanecimiento a gran escala  $\psi < (t)$  (es decir, la sombra). Por lo tanto, la función de autocorrelación de la potencia de señal recibida  $R_r(\tau)$  puede aproximarse mediante la función de autocorrelación de la sombra  $R_\psi(\tau)$  (es decir:

$$\mathcal{R}_{rr}(\tau) \approx \mathcal{R}_\psi(\tau) = \sigma_\psi^2 e^{-\frac{v\tau}{D}}$$

En consecuencia, al reemplazar  $R_r(\tau)$  en la igualdad (6) por la expresión de la función de autocorrelación de la sombra  $R_\psi(\tau)$  dada en la ecuación (1), se obtiene:

$$\frac{\partial^2 \mathcal{R}_{rr}(\tau)}{\partial^2 \tau} \approx \frac{\partial^2 \mathcal{R}_\psi(\tau)}{\partial^2 \tau}$$

En otras palabras, haciendo referencia a las ecuaciones (1) y (6),

$$\mathbb{E}[(r'(t))^2] \approx \lim_{\tau \rightarrow 0^+} \left( \frac{\partial^2 \sigma_\psi^2 e^{-\frac{v\tau}{D}}}{\partial^2 \tau} \right) \quad (7)$$

Por lo tanto, la segunda derivada de tiempo de la función de autocorrelación de la sombra es proporcional al cuadrado de la velocidad, o de manera equivalente, la velocidad  $v$  del equipo de usuario es proporcional a la desviación estándar de la derivada de las mediciones de potencia de señal  $r(t)$ . Resulta en una estimación aproximada de la velocidad de equipo de usuario  $v$  como función de la potencia de señal recibida  $r(t)$ :

$$v \approx D \sqrt{\mathbb{E}[(r_N'(t))^2]} \quad (8)$$

donde  $r_N(t)$  es la potencia de señal recibida normalizada

$$r_N(t) = \frac{r(t)}{\sigma_\psi} = \frac{r(t)}{\sqrt{\mathbb{E}[(r(t))^2]}}$$

Dada la relación lineal entre  $v$  y  $D$  en la ecuación (8), un error de  $x\%$  en la distancia de decorrelación de sombra  $D$  induce igualmente un error de  $x\%$  en la velocidad estimada  $v$  del equipo de usuario. Por lo tanto, los valores dependientes del entorno de propagación de la distancia de decorrelación de sombra  $D$  se predeterminan, preferentemente, de manera experimental y/o teórica, y a continuación se almacenan para usarse para la estimación de la velocidad de usuario en línea. En otras palabras, los datos de referencia que asocian la velocidad de un equipo de usuario dada con una cierta desviación estándar en un entorno de propagación de radio dado (que tiene una distancia de decorrelación de sombra  $D$ ) pueden establecerse fuera de línea y a continuación utilizarse en línea bajo demanda.

En una realización, la velocidad  $v$  del equipo de usuario se estima sobre la base de las potencias de señal medidas  $r(t)$  de la siguiente manera:

- Las potencias de señal medidas  $r(t)$  están normalizadas:

$$r_N(t) = \frac{r(t)}{\sqrt{\mathbb{E}[r(t)^2]}}$$

- la derivada de las muestras de medición normalizadas  $r_N(t)$  es:  $r_N'(t)$ ;
- la varianza de la derivada  $r_N'(t)$  de las muestras de medición normalizadas  $r_N(t)$  se calcula:

$$\mathbb{E} \left[ \left( r_N'(t) \right)^2 \right];$$

5

- la desviación estándar (es decir, la raíz cuadrada de la varianza) se calcula en las derivadas posteriores:

$$\sqrt{\mathbb{E} \left[ \left( r_N'(t) \right)^2 \right]};$$

entonces

10

- el valor obtenido se compara con los datos de referencia almacenados en una base de datos (tal como, una tabla de búsqueda) que se construye fuera de línea y proporciona un mapeo uno a uno entre la desviación estándar y la velocidad de usuario, para una distancia de decorrelación de sombra dada  $D$ .

15

Para suavizar el desvanecimiento rápido y las variaciones Doppler, las muestras de medición de potencia  $r(t)$  pueden, filtrarse ventajosamente, antes de las etapas del procedimiento anterior. Como ejemplo ilustrativo, tal etapa de filtrado puede lograrse a través de introducir un filtro de paso bajo, o a través de un promedio simple (tal como un proceso de promedio móvil) de las muestras de medición  $r_N(t)$  antes del cálculo de la derivada. De hecho, es preferible suavizar la señal en el dominio de tiempo, particularmente cuando las mediciones procesadas no estén suficientemente filtradas, o cuando las muestras de las mediciones a procesar no se promedien suficientemente (por ejemplo, mediciones de potencia sobre bandas estrechas en lugar de bandas anchas).

20

25

En una realización ilustrada en la figura 1, el método descrito anteriormente se desarrolla de manera que estimar la velocidad de usuario por bloque de muestras de medición, da como resultado un estimador de velocidad por bloque. Con este fin, el método descrito anteriormente se realiza en un número predefinido  $N$  de potencias de señal medidas de la siguiente manera:

30

- un conjunto (es decir, un bloque) de muestras de medición  $X_i = [x_{i+1}, \dots, x_{i+N}]$  (un vector de  $N$  muestras) se normaliza (etapa 10 en la figura 1): para cada elemento  $k$ ,  $x_k = x_k / \sqrt{\text{norm}(X_i)}$  Donde  $\text{norm}$  representa, por ejemplo, la operación de dos norm;

35

- se calcula una derivación del vector normalizado (etapa 11 en la figura 1). Como ejemplos ilustrativos de operadores de derivación, pueden mencionarse los que se basan en las funciones polinomiales de interpolación Lagrangiana, o los descritos en (Francois Auger, Zoheir Boulbair, Frederic Miqueau, "Estimation par maximum de vraisemblance de la dérivée d'un signal bruité: Application à la caractérisation de vérins pneumatiques", 19ème Colloque sur le traitement du signal et des images, GRETSI 2003);

40

- el cálculo de la raíz cuadrada de la varianza de las derivadas, dichas dispersiones (etapa 12 en la figura 1): la dispersión  $Disp_i$  se calcula por bloque  $i$ , a partir del conjunto de todas las derivadas  $d_k$  en  $d_i$  ( $d_i$  que es el conjunto de todas las derivadas  $\{d_k\}$ , calculadas en bloque  $i$ ) para cuantificar la dispersión de estas derivadas. Se obtiene a partir de una estimación empírica de la varianza de las derivadas, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Disp_i = \sqrt{\frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K (d_k - m)^2}$$

45

siendo  $K$  el número de derivadas calculadas en bloque  $i$ ;

siendo  $m$  el valor medio sobre estas derivadas  $K$

50

- a comparación (etapa 13 en la figura 1) con la base de datos 14: la dispersión estimada se compara con el contenido de una base de datos 14 (es decir, una tabla de búsqueda) que proporciona un mapeo uno a uno entre la velocidad y la dispersión calculada  $Disp_i$ , para una distancia de decorrelación de sombra dada  $D$ . La velocidad que corresponde a la dispersión más cercana desde esta base de datos es, entonces, la velocidad estimada del equipo de usuario  $v$ .

En una realización, la derivada en el orden 1 para cada elemento  $k$  en el bloque  $i$  ( $X_i = [x_{i+1}, \dots, x_k, \dots, x_{i+N}]$ ,  $i > k > N$ ) se calcula en valores medios sobre bloques temporales de muestras de la siguiente manera:

$$d_k = \frac{(E[x_k] - E[x_{k-n}])}{n \cdot T}$$

donde  $n$  es el retraso entre los dos puntos de derivación,  $T$  es el período de muestreo de las mediciones y  $E[x_k]$  es el valor medio calculado sobre un bloque  $k$  de muestras temporales.

5 Del mismo modo, puede calcularse una derivada en el orden 3 para cada elemento  $k$  en el bloque  $i$  ( $X_i = [x_{i+1}, \dots, x_k, \dots, x_{i+N}]$ ,  $i > k > N$ ) de la siguiente manera ( $d_i$  es el conjunto de todas las derivadas  $\{d_k\}$  calculadas en bloque  $i$ ).

$$d_k = \frac{1}{14} (6 \cdot E[X_k] - E[X_{k-n}] - 2 \cdot E[X_{k-2n}] - 3 \cdot E[X_{k-3n}]) / (3n \cdot T)$$

10 Ventajosamente, las derivadas anteriores permiten suavizar aún más la señal, reduciendo de este modo el desvanecimiento rápido, las variaciones Doppler, con el fin de capturar solo las variaciones lentas de la sombra.

15 En una realización alternativa ilustrada en la figura 2, el método descrito anteriormente se desarrolla de tal manera que se estima la velocidad de usuario de manera adaptativa para cada nueva medición por bloque de mediciones, lo que lleva a un estimador de velocidad adaptativo. Las etapas descritas anteriormente para una estimación de la velocidad por bloque se actualizan en cada nueva medición de potencia de señal mientras se usan las mediciones anteriores  $N - 1$  más recientes ya disponibles, con el fin de rastrear la velocidad del equipo de usuario. De hecho, en lugar de esperar la medición sucesiva de un "bloque" de muestras  $X_i = [x_{i+1}, \dots, x_k, \dots, x_{i+N}]$ , para calcular la dispersión  $Disp_i$ , la dispersión se actualiza cada vez que está disponible una nueva muestra  $x_k$ .

De hecho,

- 25 - una nueva muestra  $x_k$  se almacena en un búfer circular de tamaño  $n$  (o  $3n$  en el caso de una derivada en el orden 3) (etapa **20** en la figura 2);
- la derivada  $d_k$  se calcula mediante un filtrado recursivo, que da cuenta del nuevo valor de entrada (etapa **21** en la figura 2): la derivada calculada a partir de la nueva muestra. Como ejemplo ilustrativo, para una derivada en el orden 1,  $d_k = \alpha \cdot d_{k-1} + (1 - \alpha) \cdot \frac{(x_k - x_{k-n})}{\epsilon_k}$ ,  $0 \leq \alpha \leq 1$  ( $\alpha$  está cerca de 1);
- 30 - la dispersión se actualiza y la velocidad se estima mediante la búsqueda en la base de datos **23** (etapa **22** en la figura 2).

35 Ventajosamente, un estimador de velocidad adaptable permite el rastreo de la velocidad: velocidad estimada a la tasa de cada nueva llegada de muestras. Además, el coste de cálculo de su implementación es bastante bajo, lo que favorece su desarrollo en redes reales.

40 La velocidad de usuario puede estimarse a partir de un conjunto de mediciones de potencia de señal de radio que puede realizarse o por la estación base de servicio en las señales de referencia de sondeo de enlace ascendente o como alternativa (dada la simetría del canal de propagación de radio) por el equipo de usuario en señales de enlace descendente. Por consiguiente, estas mediciones pueden realizarse basándose en las señales físicas de enlace descendente o de enlace ascendente, y a continuación procesarse como se ha descrito anteriormente por medio de unidades de procesamiento dedicadas. Dichas unidades de procesamiento pueden estar comprendidas en la estación base (un eNodeB para LTE y más allá), en el equipo de usuario o en cualquier otro sistema al que se informen las potencias de señal medidas.

45 La figura 3, en la que se representan gráficamente las dispersiones.  $Disp_i = \sqrt{\frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K (d_k - m)^2}$  (haciendo referencia a la ecuación 8) en función de la velocidad  $v$  para una distancia de decorrelación diferente  $D$ , destaca que la dispersión  $Disp$  es una función linealmente creciente de la velocidad  $v$ . Además, esta dispersión  $Disp$  aumenta para disminuir  $D$ , como se espera de la proporcionalidad inversa entre  $D$  y  $Disp$ , indicada por la ecuación 8.

50 Por consiguiente, es preferible almacenar en una base de datos previamente establecida los datos de referencia que asocian una velocidad de equipo de usuario dada con una cierta dispersión calculada  $Disp_i$  (es decir, la desviación estándar) para una pluralidad de distancias de decorrelación de sombras  $D$  relevantes para entornos de propagación de radio diferentes.

55 Debe observarse además que el método descrito anteriormente permite discriminar el intervalo de clase de velocidad de usuario. En particular, de acuerdo con los resultados de las simulaciones, con 11 clases, la probabilidad de una clasificación correcta, incluidas las clases adyacentes, es aproximadamente del 90 %, cualquiera que sea la distancia decorrelación  $D$ .

60 Ventajosamente, aprovechando el período de muestreo relativamente grande (en general alrededor de 40 ms o más)



de las señales de referencia de sondeo, la velocidad de variación del desvanecimiento lento (es decir, el desvanecimiento a gran escala) se utiliza para estimar la velocidad real del usuario. De hecho, las variaciones de desvanecimiento lento (variaciones de escala media y grande) son más o menos rápidas dependiendo de la velocidad de usuario para estimar la velocidad real.

5 La figura 4 muestra una unidad de procesamiento para estimar, como se ha descrito anteriormente, la velocidad del equipo de usuario conectado a una estación base de una red inalámbrica. La unidad de procesamiento comprende

- 10 - un módulo **40** configurado para realizar un conjunto de mediciones de la potencia de una señal transmitida entre el equipo de usuario y la estación base;
- un módulo **41** configurado para calcular la derivada de la potencia de señal medida con respecto al tiempo;
- un módulo **42** configurado para calcular la desviación estándar de la derivada calculada;
- 15 - un módulo **43** configurado para estimar, a partir de los datos de referencia establecidos previamente dentro de una base de datos **45** (es decir, una tabla de consulta), la velocidad del equipo de usuario que corresponde a la desviación estándar calculada, los datos de referencia que asocian una velocidad de equipo de usuario determinada con una cierta desviación estándar calculada.

20 Las realizaciones desveladas hacen frente de manera eficaz a grandes periodos de mediciones de intensidad de señal, aprovechando las propiedades de correlación de desvanecimiento lento. El coste de cálculo del método propuesto para la estimación de velocidad de usuario es muy bajo. Una implementación adaptativa del mismo puede manejarse fácilmente en redes reales, con un impacto muy limitado en la CPU.

25 Además, el método y el sistema divulgados, permiten ventajosamente estimar la velocidad de cualquier equipo de usuario conectado a una estación base (eNodoB) sin ninguna sobrecarga adicional. De hecho, las señales de referencia de sondeo (SRS) transmitidas por el UE ya están especificadas por LTE de 3GPP (especificación técnica del 3GPP 36.211, acceso por radio terrestre universal evolucionado (E-UTRA), canales físicos y modulación).

30 Además, el método y el sistema descritos anteriormente para la estimación de velocidad de usuario, permiten ventajosamente el rastreo de velocidad a partir de mediciones con gran periodicidad, al tiempo que restringen significativamente el impacto en la CPU.

35 De acuerdo con un aspecto de las realizaciones desveladas, la clase de velocidad del equipo de usuario puede estimarse sobre la base de las mediciones en tiempo real en una red de acceso inalámbrico tal como 3G, LTE o más allá.

Debería observarse que en las realizaciones descritas anteriormente, se supone que la velocidad de usuario es medianamente constante o lentamente variable en el tiempo, pero que siguen siendo válidas para la velocidad de usuario variable en el tiempo teniendo en cuenta esta dependencia (específicamente, en las ecuaciones 2, 7 y 8).

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para estimar la velocidad de un equipo de usuario conectado a una estación base de una red inalámbrica, comprendiendo el método las siguientes etapas:
- 5
- medir (10) la potencia de una señal transmitida entre el equipo de usuario y la estación base;
  - calcular (11) la derivada de la potencia de señal medida con respecto al tiempo;
  - calcular (12) la desviación estándar de la derivada calculada; estando el método **caracterizado por**
  - estimar (13), a partir de los datos de referencia establecidos previamente, la velocidad del equipo de usuario que
- 10 corresponde a la desviación estándar calculada, los datos de referencia que asocian una velocidad de equipo de usuario determinada con una cierta desviación estándar calculada para una distancia de decorrelación de sombra dada, siendo la distancia de decorrelación de sombra relevante para el entorno de radio de la estación base.
2. El método de la reivindicación 1, que comprende además una etapa de normalización de la potencia de señal medida.
- 15
3. El método de las reivindicaciones 1 o 2, que comprende además una etapa de filtrado de la potencia de señal medida.
- 20
4. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que se realiza en un número predefinido de potencias de señal medidas.
5. El método de la reivindicación 4, en el que sus etapas se actualizan en cada medición de potencia de señal, con el fin de rastrear la velocidad del equipo de usuario.
- 25
6. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la medición de potencia de señal (10) la realiza la estación base en una señal de enlace ascendente transmitida desde el equipo de usuario.
7. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la señal transmitida entre el equipo de usuario
- 30 y la estación base es una señal de referencia de sondeo.
8. Una unidad de procesamiento para estimar la velocidad de un equipo de usuario conectado a una estación base de una red inalámbrica, comprendiendo la unidad de procesamiento
- 35
- un módulo (40) configurado para medir la potencia de una señal transmitida entre el equipo de usuario y la estación base;
  - un módulo (41) configurado para calcular la derivada de la potencia de señal medida con respecto al tiempo;
  - un módulo (42) configurado para calcular la desviación estándar de la derivada calculada; estando la unidad de procesamiento **caracterizada por que** comprende
  - un módulo (43) configurado para estimar, a partir de los datos de referencia establecidos previamente, la velocidad del equipo de usuario que corresponde a la desviación estándar calculada, los datos de referencia que asocian una velocidad de equipo de usuario determinada con una cierta desviación estándar calculada para una distancia de decorrelación de sombra dada, siendo la distancia de decorrelación de sombra relevante para el entorno de radio de la estación base.
- 40
- 45
9. La unidad de procesamiento de la reivindicación 8, que comprende además un filtro de paso bajo para filtrar la potencia de señal medida.
10. Una estación base que comprende una unidad de procesamiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 o 9.
- 50
11. Programa informático implementado en una unidad de procesamiento, incluyendo el programa unas secciones de código para ejecutar las instrucciones correspondientes a las etapas de un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7.
- 55

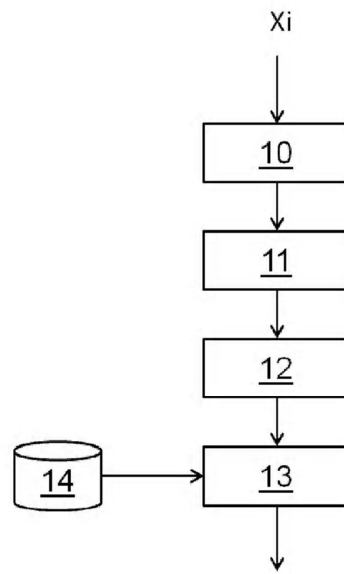


FIG.1

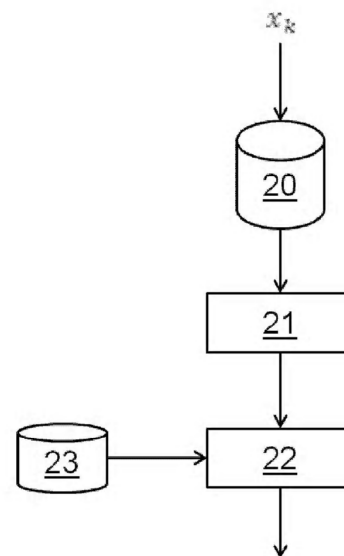


FIG.2

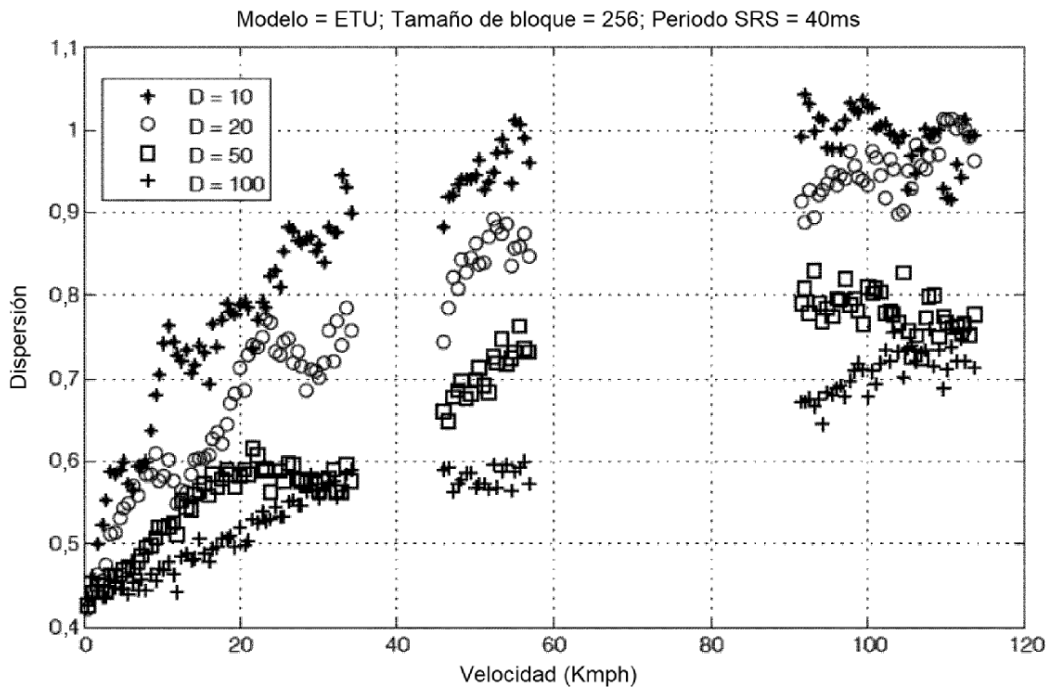


FIG.3

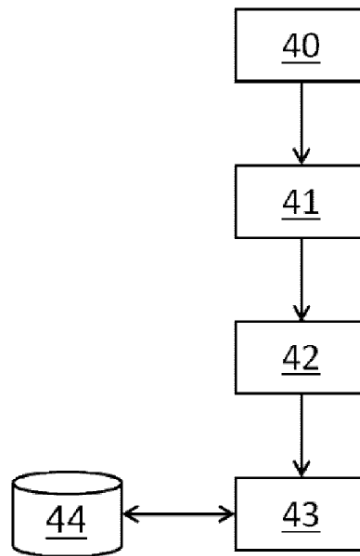


FIG.4