

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 436 149**

51 Int. Cl.:

**G01S 11/06** (2006.01)

**G01S 5/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.12.2009** **E 09275129 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.08.2013** **EP 2199820**

54 Título: **Técnica de localización de terminal**

30 Prioridad:

**22.12.2008 GB 0823236**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**27.12.2013**

73 Titular/es:

**VODAFONE GROUP PLC (100.0%)  
THE CONNECTION  
NEWBURY, BERKSHIRE RG14 2FN, GB**

72 Inventor/es:

**MARKOULIDAKIS, YANNIS**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

ES 2 436 149 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

## Técnica de localización de terminal

La invención se refiere a la localización de un terminal móvil y/o a una técnica de rastreo y equipo asociado. Más particularmente, la presente invención se refiere a la localización y/o al rastreo de un terminal de comunicación móvil y al equipo de red de comunicación asociado.

Con la creciente capacidad y cobertura de área de las redes celulares en todo el mundo, los proveedores de telecomunicaciones móviles son capaces de proporcionar nuevos y mejores servicios para sus clientes. En particular, un tipo de servicio en el cual ha habido un creciente interés últimamente son los Servicios Basados en la Ubicación (LBS – Location Based Services, en inglés).

Los LBS proporcionan a un usuario de terminal móvil un suministro de contenido basado en la ubicación, tal como previsiones del tiempo local, y pueden también habilitar al usuario de un terminal móvil para identificar a personas o establecimientos comerciales en las cercanías. Por ejemplo, un usuario de terminal móvil puede contactar a un proveedor de LBS para identificar su estación de servicio, restaurante, banco o similar más cercanos, basándose en la ubicación del teléfono móvil actual del usuario. De manera similar, puede ser utilizado para encontrar la ubicación de amigos o familia, tal como por razones de seguridad o emergencia, o simplemente para encontrarse, solicitando al proveedor de LBS una actualización de la ubicación de una o más personas. Estos servicios pueden ayudar a los usuarios, ahorrándoles tiempo, en lugar de desplazarse en un área geográfica dada en busca de un establecimiento/persona particular, evitando así potencialmente los atascos del tráfico. Puede también ayudar a personas en situaciones de emergencia, tal como ayudándoles a identificar rápidamente su hospital más cercano o la ubicación de alguien que requiere asistencia de emergencia.

Estos servicios requieren una técnica de localización que pueda conseguir una razonable precisión de posición, aun manteniendo costes de despliegue razonables en términos comerciales.

Tales costes están relacionados generalmente con el alcance y complejidad del software y hardware adicionales para ser incorporados en los terminales móviles y/o en la red. Hay también otros problemas que considerar, tales como cualquier penalización impuesta por las técnicas y procedimientos de rastreo por lo que respecta a los requisitos de almacenamiento/memoria y al consumo de potencia de batería en los terminales móviles.

Se ha propuesto hasta la fecha una amplia variedad de técnicas de localización de un terminal móvil. La técnica de localización que se comporta mejor en términos de precisión y de fiabilidad es actualmente el Sistema de Localización Global Asistido (A-GPS – Assisted Global Positioning System, en inglés). El GPS es una técnica en la que el terminal recibe señales desde una constelación de satélites de GPS. A partir de las señales recibidas, el terminal calcula su posición basándose en la diferencia de tiempo observada en las señales recibidas desde los diferentes satélites. En un A-GPS la red de telefonía móvil (por ejemplo GSM) proporciona información adicional a través de su interfaz aérea para asistir al terminal en la estimación de su posición (por ejemplo, correcciones de GPS diferenciales). Esto lleva a un “Tiempo hasta la Primera Localización” más corto y a un menor consumo de batería del terminal.

No obstante, el A-GPS es un planteamiento bastante costoso, y la relativamente lenta aceptación comercial de los servicios Basados en la Ubicación combinada con los elevados costes asociados con que el punto de GPS hacia él resulta ser un periodo de tiempo relativamente largo antes de que los terminales móviles de 2G y de 2G/3G heredados estén equipados con receptores de GPS de manera extendida. Además, incluso tras la introducción de los receptores de GPS en una gran proporción de terminales móviles, puesto que el GPS requiere contacto directo con los satélites para funcionar, la limitada disponibilidad de señal del satélite en entornos de interior y en ciertos entornos de exterior (por ejemplo, debido al efecto de cañón urbano) indican la necesidad de técnicas híbridas que combinen el A-GPS con una localización basada en celdas.

Un método basado en celdas simple utiliza el área de celda más cercana como medio para proporcionar una posición aproximada del móvil, por ejemplo, determinando la celda que proporciona al terminal las mediciones de Potencia de Señal Recibida (RSS – Received Signal Strength, en inglés) más fuertes, asumiéndose entonces que el móvil está dentro del área de cobertura de esa celda. La precisión de este método por supuesto depende del área de cobertura de la celda, y así, proporcionará típicamente una posición del terminal móvil que es precisa para un alcance de 600 m hasta un par de kilómetros (es decir, 600 m – 2000 m, dependiendo del tamaño de la celda). Este método es una de las técnicas que están siendo utilizadas actualmente por los operadores que ya han introducido LBS comercial.

Las técnicas de localización de terminal basadas en mediciones de la Potencia de Señal Recibida (RSS – Received Signal Strength, en inglés) son de complejidad reducida para ser implementadas, debido al hecho de que las

mediciones de la RSS están disponibles en el lado del terminal como parte de su operación estándar tanto en modo de reposo como dedicado. El principal problema con las técnicas de localización basadas en la RSS es la precisión que alcanzan debido a la variabilidad de la señal, que resulta de la naturaleza estocástica del entorno de propagación por radio para móviles.

5 En el documento GB2416461 se describió una técnica que se denominó “localización de móviles asistida para terminal estadística, o brevemente “STAMP” (Statistical Terminal Assisted Mobile Positioning, en inglés). Esta técnica permite el aprovechamiento de múltiples mediciones históricas de la RSS recogidas mientras que el terminal está en modo de reposo. Durante una fase de establecimiento de un LBS, estas mediciones de la RSS se utilizan con una técnica de localización para estimar la posición del terminal, y esta estimación es a continuación procesada estadísticamente para mejorar la precisión de la posición del terminal determinada, haciéndolas más útiles para aplicaciones de LBS. La técnica de STAMP, no obstante, cuando se aplica con vistas a un efecto de múltiples rutas afecta a su precisión. En el documento GB2416461, este problema fue solucionado eliminando las mediciones con un elevado contenido de error (por ejemplo, debido a un desvanecimiento rápido).

15 La variabilidad de la señal es particularmente un problema cuando se utiliza STAMP con modelos empíricos como Hata o Cost231, puesto que estos modelos estiman la distancia entre el terminal y la estación de base, siendo la distancia una función exponencial de la RSS. Por lo tanto, una variabilidad indebida en las mediciones de la RSS resultará en errores de estimación drásticamente exagerados.

20 Aunque ha resultado que la técnica de STAMP proporciona un grado razonable de precisión de posición, y que es implementable para un coste razonable, la precisión de posición que se está consiguiendo actualmente podría ser aun mejorada, particularmente con vistas a mitigar el error de localización del terminal introducido por las técnicas basadas en la RSS. Por lo que respecta a la técnica de STAMP, véase también la publicación de J. G. Markoulidakis et al titulada “Stamp Accuracy Enhancement Through Received Signal Strength Adaptive Kalman Filtering” en el Symposium Internacional del IEEE sobre Comunicaciones por Radio para Interiores y Móviles Personales (PIMRC – Personal Indoor and Mobile Radio Communications, en inglés), IEEE PI, XX, 2007-09-01, páginas 1 – 5, XP031168109ISBN: 978-1-4244-1143-6.

Otros planteamientos de la técnica anterior incluyen los documentos EP1315393 (que se utiliza para la delimitación de la forma de dos partes), WO2006/096923 y WO2003/071303, así como las siguientes publicaciones:

- la de M. Orooji et al, titulada “New Method for Estimation of Mobile Location Based on Signal Attenuation and Hata Model Signal Prediction” en Engineering in Medicine and Biology Society, IEEE-EMBS 27th Annual International Conference of the Shanghai, China, Piscataway NJ, USA, IEEE LNKD-DOI: 10.1109/IEMBS.2005: 978-0-7803-8741-6; y

- la de M. Hata, titulada “Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services” IEEE Transactions on Vehicular Technology, IEEE Service Center, Piscataway, NJ, US Vol. VT-29, nº 3, 1980-08-01, páginas 317-325, XP000647130ISSN: 0018-9545.

35 Existe por lo tanto una necesidad de una técnica de localización basada en red mejorada que combine una precisión adecuada con bajos costes de despliegue.

La presente invención busca vencer o aliviar al menos uno de estos problemas.

### Compendio de la invención

Aspectos de la invención se presentan en las reivindicaciones adjuntas.

40 Resulta también preferible que la al menos una medición de parámetro de señal determinada sea una medición de la Potencia de Señal Recibida (RSS – Received Signal Strength, en inglés) y que una técnica de localización basada en la RSS, tal como la Identidad Global de Celda Mejorada (ECGI – Enhanced Cell Global Identity, en inglés) o STAMP, se utilice para obtener una primera estimación de distancia de la ubicación del terminal móvil.

45 Ventajosamente los estimadores minimizan el impacto del proceso de cálculo de la posición en la precisión resultante de la técnica de localización.

Los estimadores son preferiblemente estimadores estadísticos que pueden ser aplicados a una estimación de la distancia del terminal móvil desde cada una de las estaciones de base y/o aplicados a una estimación por triangulación de la posición real del terminal móvil, basándose en las distancias estimadas del terminal móvil desde la pluralidad de estaciones de base. Los estimadores son preferiblemente inferidos teniendo en cuenta la naturaleza de los modelos de propagación de pérdida de ruta (como Hata y Cost231), el error introducido en la estimación de la distancia del terminal móvil a la estación de base así como el error introducido en el proceso de triangulación.

Otros aspectos de la invención se refieren a un terminal de telecomunicaciones móvil y a un elemento de la red de comunicaciones, tal como una estación de base, configurado para implementar el aspecto de la invención, particularmente tal como se establece en las reivindicaciones adjuntas.

### Breve descripción de los dibujos

- 5 Se describirán ahora realizaciones de la invención con referencia a los dibujos que se acompañan, en los cuales:
- la Figura 1 ilustra un diagrama esquemático de una red de telecomunicaciones para móviles en la cual puede ser implementada la presente invención;
- la Figura 2 ilustra un diagrama de flujo de las etapas claves en un proceso de determinación de localización basada en la RSS;
- 10 la Figura 3 ilustra un gráfico que compara el error cuadrático medio de la distancia MT-BS para tres valores de varianza  $\sigma_{R_x}$  diferentes (4 db, 8 db y 12 db) para tres estimadores diferentes de acuerdo con diferentes realizaciones de la invención;
- la Figura 4 ilustra un gráfico que compara el rendimiento de los estimadores de RSS, de acuerdo con las realizaciones de la invención, en una técnica de localización basada en RSS;
- 15 la Figura 5 ilustra un gráfico que compara el rendimiento de diferentes técnicas de localización basadas en RSS que utilizan diferentes estimadores de acuerdo con diferentes realizaciones de la invención;
- la Figura 6 ilustra un gráfico que compara el rendimiento para diferentes estimadores de acuerdo con las realizaciones de la invención tal como se utiliza en la técnica de STAMP;
- la Figura 7 ilustra un gráfico que compara el rendimiento de diferentes estimadores de acuerdo con realizaciones de la invención tal como se utilizan en la técnica de Rastreo de MT; y
- 20 la Figura 8 ilustra el rendimiento comparativo de CGI, CGI + TA y ECGI, STAMP y Rastreo de MT que utilizan los estimadores calculados de acuerdo con una realización de la invención.

### Descripción detallada de realizaciones de la invención

- 25 Los elementos claves de una red de telecomunicaciones para móviles y su operación se describirán ahora brevemente con referencia a la Figura 1.
- Cada celda corresponde a una estación de base (BS – Base Station, en inglés) respectiva de su red de telecomunicaciones celular o para móviles que recibe llamadas desde y termina llamadas en cualquier terminal móvil en esa celda mediante comunicación de radio inalámbrica en uno o los dos de los dominios de circuitos conmutados o de paquetes conmutados. Tal terminal móvil de abonado o Equipo de Usuario (UE – User Equipment, en inglés) se muestra en 1. El terminal móvil puede ser un teléfono móvil de mano, un asistente digital personal (PDA – Personal Digital Assistant, en inglés) o un ordenador portátil de regazo equipado con una tarjeta de datos de red.
- 30 En una red de telecomunicaciones para móviles, el subsistema de estación de base (BSS – Base Station Subsystem, en inglés) comprende las estaciones transceptoras de base (BTS – Base Transceiver Stations, en inglés) y el controlador de estación de base (BSC – Base Station Controller, en inglés). Un BSC puede controlar más de una BTS. Las BTS y los BSCs comprenden la red de acceso por radio.
- 35 La presente invención se describirá ahora en relación con una red de GSM, aunque resultará evidente que los conceptos de la invención pueden ser fácilmente aplicados a otras disposiciones de red para móviles, incluyendo UMTS y SAE/LTE.
- Convencionalmente, en una red de GSM, las estaciones de base están dispuestas en grupos y cada grupo de estaciones de base está controlado por un centro de conmutación para móviles (Mobile Switching Centre, en inglés), tal como el MSC 2 para las estaciones de base 3, 4 y 5. Como se muestra en la Figura 1, la red tiene otro MSC 6, que está controlando otras tres estaciones de base 7, 8 y 9. En la práctica, la red incorporará muchos más MSCs y estaciones de base que los mostrados en la Figura 1. Las estaciones de base 3, 4, 5, 7, 8, y 9 tienen cada una de ellas una conexión dedicada (no compartida) a su MSC 2 ó MSC 6 – típicamente una conexión de cable. Esto evita
- 40 que se reduzcan las velocidades de transmisión debido a una congestión provocada por otro tráfico.
- 45 Cada abonado a la red está provisto de una tarjeta inteligente o SIM, la cual, cuando se asocia con el terminal móvil del usuario identifica al abonado a la red. La tarjeta SIM está pre-programada con un único número de identificación, la "Identidad de Abonado Móvil Internacional" (IMSI – International Mobile Subscriber Identity, en inglés) que no es

visible en la tarjeta y que no es conocida generalmente para el abonado. El abonado es emitido con un número conocido públicamente, es decir, el número de teléfono del abonado, por medio del cual las llamadas al abonado son iniciadas por los llamantes. Este número es el MSISDN.

5 La red de núcleo 12 incluye un registro de ubicación local (HLR – Home Location Register, en inglés) 10 el cual, para cada abonado a la red, almacena la IMSI y el MSISDN junto con otros datos del abonado, tales como la actual o la última conocida Área de Ubicación del terminal móvil del abonado.

10 Cuando un terminal móvil está en modo de reposo selecciona una celda para ser sincronizado (la celda primaria) basándose en la potencia de señal recibida más fuerte. Para conseguir esto, el terminal periódicamente monitoriza la potencia de señal recibida de la primaria y de un conjunto de hasta seis celdas vecinas. A medida que el terminal se desplaza, el conjunto de celdas monitorizadas así como la celda primaria pueden cambiar.

Siempre que un terminal móvil (que está en modo de reposo) selecciona una nueva celda primaria que detecta que pertenece a un Área de Ubicación diferente (a través de la Identidad de Área de Ubicación que cada celda está emitiendo) de la de la celda primaria seleccionada previamente, el terminal móvil enviará entonces una solicitud de actualización de área de ubicación a la red de núcleo 12.

15 Con estos antecedentes en mente, se describirán ahora implementaciones de las realizaciones de la invención, en relación con la situación de un abonado que está utilizando el terminal móvil 1 para iniciar un Servicio Basado en la Ubicación (LBS – Location Based Service, en inglés)

20 Cuando un usuario desea utilizar el terminal móvil para iniciar un LBS, el terminal pasará de modo de reposo a modo activo o dedicado, y comenzará la fase de establecimiento para la sesión de LBS. Por ejemplo, hay tres casos diferentes en los que la RSS puede ser aprovechada para soportar un servicio LBS:

25 (a) Caso Regular: En este caso el terminal en la fase de establecimiento de una fase de LBS (es decir, que está en modo dedicado) mide la RSS de las celdas primarias y vecinas y sube esta información a la red. Mientras el terminal está en modo dedicado también puede proporcionar el parámetro Avance de Temporización (TA – Timing Advance, en inglés) que se proporciona tan pronto como un canal de comunicación está siendo establecido para soportar una sesión. La red en este caso puede emplear la técnica de localización mediante “Identidad Global de Celda Mejorada” (ECGI – Enhanced Cell Global Identity, en inglés) para situar al terminal (es decir, aprovechar la información de la celda de servicio, las mediciones de TA y de RSS para llevar a cabo la localización del terminal). Alternativamente otras técnicas de localización híbridas pueden ser aplicadas aprovechando cualquier otro tipo de medición de la red celular u otra tecnología (por ejemplo GPS) combinada con la RSS y el TA medidos.

30 (b) Concepto de STAMP (Localización de Móviles Asistida para Terminal Estadística – Statistical Terminal Assisted Mobile Positioning, en inglés): mientras que el terminal 1 está en modo de reposo estará midiendo periódicamente la RSS de sus celdas primaria y vecinas. Lo hace midiendo y almacenando, típicamente en una lista con marcas de tiempo para un tamaño predefinido, las mediciones de RSS de su celda primaria así como de sus celdas vecinas. En la fase de establecimiento del LBS el terminal sube la lista de las mediciones de RSS más recientes junto con una sola medición de TA, que fue proporcionada después de que el terminal entró en el modo dedicado. La red aprovecha la serie de tiempos de las mediciones de RSS con el fin de inferir un conjunto de posiciones históricas del terminal y tiene la opción de aprovechar la medición de TS para proporcionar una estimación de la posición actual del terminal. A continuación a través de la aplicación de un filtrado estadístico (por ejemplo, filtrado de Kalman) de la posición del terminal resultante estima que la red puede proporcionar una estimación refinada y más precisa de la posición actual del terminal. Además pueden identificarse una amplia variedad de técnicas híbridas en el caso de que el concepto de STAMP esté siendo aprovechado dependiendo de parámetros adicionales que pueden ser monitorizados bien en modo de reposo o en el modo dedicado.

40 (c) Rastreo de Terminal Móvil (MT – Mobile Terminal, en inglés): este concepto se refiere a una categoría específica de LBS en la cual tras el establecimiento de la sesión de LBS la red rastrea de manera continua la posición del terminal basándose en las mediciones regulares de RSS y de TA llevadas a cabo por el terminal. En este caso puede aplicarse la técnica de ECGI o cualquier otra técnica híbrida que aproveche las mediciones de RSS y de TA disponibles.

50 Debe considerarse que la expresión “estación de base” corresponde tanto a estaciones de base macro estándar que soportan múltiples celdas, como también micro o pico celdas así como Puntos de Acceso como femto celdas. El número de celdas vecinas que están siendo monitorizadas por el terminal móvil normalmente varía de una a seis, dependiendo de la ubicación y de la densidad de las celdas. En un entorno urbano, el número típico de celdas vecinas visibles puede ser seis debido a la alta densidad de estaciones de base. Dado que las estaciones de base

soportan una o más celdas (el número típico es tres en una red celular) el número de celdas vecinas monitorizadas corresponde a una a seis estaciones de base diferentes.

Con referencia a la Figura 2, un proceso de calcular la posición del terminal móvil basado en un único conjunto de mediciones de RSS implica las siguientes etapas:

- 5 (a) Determinación de mediciones de RSS (o mediciones de RSS y de Avance de Temporización (TA – Timing Advance, en inglés) (etapa 21);
- (b) Estimación de distancia de Terminal Móvil a Estación de Base (MT-BS – Mobile Terminal to Base Station, en inglés), basada particularmente en modos empíricos de pérdida de ruta como Hata o Cost231 (etapa 22);
- 10 (c) triangulación de las distancias estimadas entre el terminal móvil y tres Estaciones de Base adyacentes diferentes (etapa 23); y
- (d) Determinación de las coordenadas de la posición del terminal (etapa 24).

En las comunicaciones de móviles la RSS de una estación de base en una cierta ubicación es variable en el tiempo y consiste en dos factores principales, a saber:

- 15 i) el desvanecimiento lento o la media local que se refiere a la pérdida de ruta y a la naturaleza del terreno. Este factor está caracterizado por un comportamiento lognormal; y
- ii) el desvanecimiento a corto plazo o rápido que está provocado por los efectos de múltiples rutas.

El desvanecimiento de Rayleigh o de Rician son los modelos relevantes para el desvanecimiento rápido, dependiendo de si hay línea de visión o no, respectivamente.

- 20 De acuerdo con la operación de terminal móvil estándar, la RSS es medida periódicamente y promediada sobre un periodo de tiempo dado. En GSM las mediciones se realizan cada 480 ms mientras que está en el modo dedicado y cada 2 – 5 segundos cuando está en modo de reposo.

- Para terminales móviles en movimiento, el desvanecimiento puede ser suavizado promediando sobre  $2T = 40 - 80$  periodos de desvanecimiento. El componente de desvanecimiento lento restante expresado en decibelios puede ser modelizado como una variable aleatoria Gaussiana con una desviación estándar del orden de 8 db – 12 db. Para eliminar el impacto del desvanecimiento lento la señal debería ser promediada para periodos de tiempo más largos correspondientes a una distancia de cientos de longitudes de onda cubiertas por un terminal móvil (es decir, en el orden de 100 m – 200 m para una operación en 900 MHz). En tal caso la señal promediada proporciona el llamado “componente medio” que corresponde a la RSS que es una función directa de la pérdida de ruta que ocurre debido a la distancia del MT desde la BS. Los modelos de pérdida de propagación de radio (por ejemplo, Hata y Cost231) pueden entonces ser aprovechados para estimar la distancia entre el MT y una BS.
- 25
- 30

La siguiente fórmula ilustra los modelos Hata y Cost231:

$$\begin{aligned} \text{Hata} : R_x(i) &= -K(i) - [69,5 + 26,16 \log(f(i)) - 13,82 \log(h_{bs}(i)) + [44,9 - 6,55 \log(h_{bs}(i))] \cdot \log(d(i)) - c(h_{mt})] \\ \text{Cost 231} : R_x(i) &= -K(i) - [46,33 + 33,9 \log(f(i)) - 13,82 \log(h_{bs}(i)) + [44,9 - 6,55 \log(h_{bs}(i))] \cdot \log(d(i)) - a(h_{mt}) + c] \end{aligned} \quad (1)$$

Donde:

- 35 -  $R_x(i)$  es la RSS de la BS i en la ubicación x del terminal móvil en dbm,
- $K(i)$  es la potencia de transmisión de la BS i en dbm,
- $f(i)$  es la frecuencia del transmisor en MHz,
- $h_{bs}(i)$  es la altura de la BS i en m,
- $h_{mt}$  es la altura del terminal móvil en m,
- 40 -  $d(i)$  es la distancia MT-BS i en km,

- $c(h_{mt})$ ,  $\alpha(h_{mt})$  son funciones de entorno que dependen de la altura del terminal móvil (por ejemplo, urbano, suburbano) y
- $c$  es una constante específica para un modelo que depende del entorno de propagación de radio.

Estos modelos de predicción de pérdida de ruta proporcionan la RSS en función de la distancia del MT desde la BS.

- 5 La estimación basada en la RSS de la distancia entre el MT y la BS se estiman basándose en cálculos inversos de los modelos de predicción de la propagación basados en la pérdida de ruta:

$$\hat{d}(i) = 10^{\left[ \frac{\hat{R}_x(i) + A(i)}{B(i)} \right]}$$

$$\begin{aligned} \text{Hata: } A(i) &= K(i) + 69,5 + 26,16 \log(f(i)) - 13,82 \log(h_{bs}(i)) - c(h_{mt}) \\ \text{Cost231: } A(i) &= K(i) + 46,33 + 33,9 \log(f(i)) - 13,82 \log(h_{bs}(i)) - \alpha(h_{mt}) + c \\ B(i) &= 44,9 - 6,55 \log(h_{bs}(i)) \end{aligned} \quad (2)$$

Donde:

$\hat{d}(i)$  es la estimación resultante de la distancia entre el MT y la BS i,

- 10  $\hat{R}_x(i)$  es la RSS medida en el MT de la posición x.

B(i): se define aquí como un parámetro para simplificar el análisis de las ecuaciones.

Para ilustrar el comportamiento estadístico del estimador proporcionado en la Ec. (2) consideramos lo siguiente: en el caso de que el modelo de predicción por pérdida de ruta esté adecuadamente calibrado para una región geográfica específica, entonces podemos asumir que la RSS puede ser modelizada como una variable N aleatoria distribuida Gausiana/Normal. Basándose en la Ec. (2) puede concluirse que la distancia MT-BS estimada seguirá una distribución Lognormal (LN):

$$\begin{aligned} \hat{R}_x(i) &\sim N(R_x(i), \sigma_{R_x}^2) \Rightarrow \hat{d}(i) \sim LN(\mu_d(i), \sigma_d^2(i)) \\ \mu_d(i) &= \ln[\hat{d}(i)] = \ln \left[ 10^{\frac{R_x(i) + A(i)}{B(i)}} \right], \quad \sigma_d^2(i) = \left( \frac{\ln(10)}{B(i)} \right)^2 \sigma_{R_x}^2 = \beta(i) \cdot \sigma_{R_x}^2 \end{aligned} \quad (3)$$

donde  $\sigma_{R_x}^2$  es la varianza de la distribución Gausiana de RSS,  $\mu_d(i)$  y  $\sigma_d^2(i)$  es el valor medio y la varianza de la distribución lognormal  $\hat{d}(i)$  respectivamente.

- 20 Además,  $\beta(i)$  se define aquí como un parámetro para simplificar el análisis de las ecuaciones.

Debe observarse que la noción  $R_x(i)$  corresponde al valor de la RSS proporcionado por la Ec. (1) cuando se utiliza la distancia MT-BS  $d(i)$  real. La distribución proporcionada en la Ec. (3) asume que el error del resto de los parámetros implicados en la Ec. (1) es despreciable en comparación con el error de la RSS. Además, las ecuaciones anteriores aplican para antenas de celda omni-direccionales. De la Ec. (2) el valor medio E, la varianza V y el Error Cuadrático Medio (MSE – Mean Squared Error, en inglés) de la distancia MT-BS pueden estimarse:

$$\begin{aligned} E(\hat{d}(i)) &= d(i) \cdot e^{\frac{\beta(i) \cdot \sigma_{R_x}^2}{2}} \\ V(\hat{d}(i)) &= d(i)^2 \cdot e^{\beta(i) \cdot \sigma_{R_x}^2} \cdot [e^{\beta(i) \cdot \sigma_{R_x}^2} - 1] \\ MSE(\hat{d}(i)) &= E\left[(\hat{d}(i) - d(i))^2\right] = d(i)^2 \cdot \left[ e^{2\beta(i) \cdot \sigma_{R_x}^2} - 2 \cdot e^{\frac{\beta(i) \cdot \sigma_{R_x}^2}{2}} + 1 \right] \end{aligned} \quad (4)$$

De la Ec. (4), puesto que la varianza y el MSE no son iguales, la estimación de la distancia MT-BS proporcionada en la Ec. (2) está desviada. Esta estimación no es por lo tanto probable que proporcione mucha mejora en la precisión de la estimación de la distancia.

#### Estimador de distancia no desviado

- 5 De acuerdo con una primera realización de la invención, a una distancia MT-BS dada  $d(i)$ , se ha inferido un estimador de la distancia no desviado, tal como el proporcionado por la siguiente ecuación:

$$\hat{d}_1(i) = c_1(i) \cdot \hat{d}(i) = e^{-\beta(i) \frac{\sigma_{Rx}^2}{2}} \cdot \hat{d}(i) = e^{-\beta(i) \frac{\sigma_{Rx}^2}{2}} \cdot 10^{\frac{\hat{R}_x(i) + A(i)}{B(i)}} \quad (5)$$

De hecho, el valor medio de la estimación de la distancia resulta:

$$E(\hat{d}_1(i)) = e^{-\beta(i) \frac{\sigma_{Rx}^2}{2}} \cdot E(\hat{d}(i)) = d(i) \quad (6)$$

- 10 La varianza y el MSE en este caso son iguales a (propiedad de los estimadores no desviados):

$$V(\hat{d}_1(i)) = MSE(\hat{d}_1(i)) = d(i)^2 \cdot \left[ e^{\beta(i) \sigma_{Rx}^2} - 1 \right] \quad (7)$$

#### Estimador de la Distancia de Error Cuadrático Medio (MSE) mínimo

De acuerdo con una segunda realización de la invención el estimador de la distancia MT-BS de MSE mínimo puede ser obtenido mediante la introducción de un factor  $c_2(i)$  y la minimización de la siguiente función:

$$MSE(\hat{d}_2(i)) = E\left[\left(\hat{d}_2(i) - d(i)\right)^2\right] = d^2(i) \cdot \left[ c_2^2(i) \cdot e^{\beta(i) 2\sigma_{Rx}^2} - 2c_2(i) \cdot e^{\beta(i) \frac{\sigma_{Rx}^2}{2}} + 1 \right] \quad (8)$$

15

La siguiente ecuación muestra que el MSE está optimizado para el siguiente valor de  $c_2(i)$ :

$$c_2(i) = e^{-\beta(i) \frac{3\sigma_{Rx}^2}{2}} \quad \text{i.e.,} \quad \hat{d}_2(i) = e^{-\beta(i) \frac{3\sigma_{Rx}^2}{2}} \cdot 10^{\frac{\hat{R}_x(i) + A(i)}{B(i)}} \quad (9)$$

Para este estimador, el MSE, el valor medio E y la varianza V de la distancia MT-BS se expresan como sigue:

$$\begin{aligned} \min\{MSE(\hat{d}_2(i))\} &= d^2(i) \cdot \left[ 1 - e^{-\beta(i) \sigma_{Rx}^2} \right] \\ E(\hat{d}_2(i)) &= c_2(i) \cdot E(\hat{d}(i)) = d(i) \cdot e^{-\beta(i) \sigma_{Rx}^2} \\ V(\hat{d}_2(i)) &= c_2^2(i) \cdot V(\hat{d}(i)) = d^2(i) \cdot e^{-\beta(i) 2\sigma_{Rx}^2} \cdot \left[ e^{\beta(i) \sigma_{Rx}^2} - 1 \right] \end{aligned} \quad (10)$$

- 20 La Figura 3 proporciona una comparación del error cuadrático mínimo de la distancia MT-BS para tres valores de  $\sigma_{Rx}$  diferentes (4 db, 8 db y 12 db) para los siguientes estimadores:

- (a) estimador básico ( $j = 0$ , Ec. (2)),
- (b) estimador no desviado ( $j = 1$ , Ec. (5) primera realización) y
- (c) estimador de MSE mínimo ( $j = 2$ , Ec. (9) segunda realización).

El índice "j" ha sido asignado arbitrariamente para asistir en la identificación de los estimadores en la fórmula subsiguiente. Como puede verse en la Figura 3, incluso aunque el error aumente con valores cada vez mayores de la varianza estándar de la RSS  $\sigma_{R_x}$ , el estimador no desviado y el estimador de MSE mínimo, en particular, proporcionan una significativa mejora en el error de la estimación de la distancia, sobre todo para valores de  $\sigma_{R_x}$  elevados.

Como puede verse en la Figura 2, la estimación de la distancia es un componente de la técnica de localización de terminal basada en la RSS, siendo otro componente la triangulación. Por lo tanto, esta es otra área en la que los cálculos de los estimadores de la distancia pueden ser refinados para reducir el error en la estimación de la posición.

#### Análisis del error de triangulación

A este respecto, la triangulación es un método geométrico que utiliza las distancias estimadas entre el MT y tres BSs diferentes para proporcionar la posición del MT. La triangulación se expresa mediante las siguientes ecuaciones:

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = d^2(i), \text{ para } i=1,2,3 \quad (11)$$

Donde (x, y) son las coordenadas de la posición del terminal móvil y  $(x_i, y_i)$   $i = 1, 2, 3$  son las coordenadas de las estaciones de base (típicamente se requieren 3 para los cálculos de triangulación). Restando la 3ª ecuación ( $i = 3$ ) de la 1ª ( $i = 1$ ) y la 2ª ( $i = 2$ ) de la 1ª ( $i = 1$ ) obtenemos:

$$-2x(x_1 - x_i) - 2y(y_1 - y_i) = d^2(1) - d^2(i) - x_1^2 + x_i^2 - y_1^2 + y_i^2, \quad i=2,3 \quad (12)$$

De la Ec. (12) resulta factible estimar la posición del terminal (x, y) como sigue:

$$\begin{aligned} x &= \frac{2}{D} [-(y_2 - y_3) \cdot d^2(1) + (y_1 - y_3) \cdot d^2(2) - (y_1 - y_2) \cdot d^2(3) - (y_1 - y_2) \cdot (y_1^2 - y_3^2 + x_1^2 - x_3^2) + (y_1 - y_3) \cdot (y_1^2 - y_2^2 + x_1^2 - x_2^2)] \\ y &= \frac{2}{D} [(x_2 - x_3) \cdot d^2(1) - (x_1 - x_3) \cdot d^2(2) + (x_1 - x_2) \cdot d^2(3) + (x_1 - x_2) \cdot (y_1^2 - y_3^2 + x_1^2 - x_3^2) - (x_1 - x_3) \cdot (y_1^2 - y_2^2 + x_1^2 - x_2^2)] \end{aligned} \quad (13)$$

La Ec. (13), por simplicidad, puede ser escrita también como:

$$z = \frac{1}{D} \left[ \sum_{i=1}^3 a_z(i) \cdot d^2(i) + \Omega_z \right], \quad z=x,y \quad (14)$$

Donde  $\Omega_z$  y  $a_z(i)$ ,  $i = 1, 2, 3$ ,  $z = x, y$  pueden ser directamente inferidos de la Ec. (13) y D es proporcionado por la siguiente ecuación:

$$D = 4 \cdot (x_1 - x_2) \cdot (y_1 - y_3) - 4 \cdot (x_1 - x_3) \cdot (y_1 - y_2) = 4 \cdot \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix} \quad (15)$$

La Ec. (15) indica que D es igual a 4 veces el área del triángulo definido por las tres BSs. Resulta claro que a menos que las tres BSs estén en la misma línea tenemos  $D \neq 0$ , lo que nos lleva a una única solución en el problema de triangulación descrito por la Ec. (14). Debe observarse que esta propiedad aplica para cualquier conjunto de distancias  $d(i)$   $i = 1, 2, 3$ , incluso si hay un error en su estimación. Por lo tanto el empleo de este planteamiento es

aplicable para la localización basada en la RSS y la ECGI, donde las distancias estimadas entre el MT y las tres BSs definitivamente contienen error.

El error de la posición del MT tal como se estima mediante triangulación es proporcionado por la siguiente ecuación:

$$\hat{z}_j = \frac{1}{D} \left[ \sum_{i=1}^3 a_z(i) \cdot \hat{d}_j^2(i) + \Omega_z \right] = z + \frac{1}{D} \left[ \sum_{i=1}^3 a_z(i) \cdot [\hat{d}_j^2(i) - d^2(i)] \right], \quad z=x, y \quad (16)$$

- 5 Donde j es el índice del estimador de la distancia (es decir j=0 corresponde al estimador de la distancia básico (Ec. 2)).

Asumiendo un conjunto de distancias entre el MT y tres BSs diferentes d(i) (i = 1, 2, 3) dados, el valor medio E y la varianza V de las coordenadas del MT estimados son los siguientes (asumiendo que las variables aleatorias  $\hat{d}_j(i)$ , i = 1, 2, 3 son independientes):

$$E(\hat{z}_j) = z + \frac{1}{D} \left[ \sum_{i=1}^3 a_z(i) \cdot d^2(i) \cdot [c_j^2(i) \cdot e^{\beta(i) \cdot 2 \sigma_{Rz}^2} - 1] \right], \quad z=x, y; \quad y \quad j=0,1,2 \quad (17a)$$

10

$$V(\hat{z}_j) = \frac{1}{D^2} \left[ \sum_{i=1}^3 a_z^2(i) \cdot d^4(i) \cdot [c_j^4(i) \cdot e^{\beta(i) \cdot 4 \sigma_{Rz}^2} \cdot [e^{\beta(i) \cdot 4 \sigma_{Rz}^2} - 1]] \right], \quad z=x, y; \quad y \quad j=0,1,2 \quad (17b)$$

Y el MSE en la estimación de las coordenadas del terminal será (z = x, y, y j = 0, 1, 2):

$$MSE(\hat{z}_j) = \frac{1}{D^2} \left[ \sum_{i=1}^3 a_z^2(i) \cdot d^4(i) \cdot [c_j^4(i) \cdot e^{8\beta(i) \sigma_{Rz}^2} - 2c_j^2(i) \cdot e^{2\beta(i) \sigma_{Rz}^2} + 1] + \sum_{i=1}^3 \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^3 a_z(i) \cdot a_z(k) \cdot d^2(i) \cdot d^2(k) \cdot f_j(i, k) \right] \quad (18)$$

$$f_j(i, k) = [c_j^2(i) \cdot c_j^2(k) \cdot e^{2(\beta(i) + \beta(k)) \sigma_{Rz}^2} - c_j^2(i) \cdot e^{2\beta(i) \sigma_{Rz}^2} - c_j^2(k) \cdot e^{2\beta(k) \sigma_{Rz}^2} + 1]$$

#### Estimador de coordenadas del terminal no desviado

- 15 De acuerdo con una tercera realización de la invención, se proporciona un estimador de la posición de un terminal móvil (MT – Mobile Terminal, en inglés), que está basado en los cálculos del proceso de triangulación.

Para conseguir una estimación no desviada de las coordenadas de posición del MT (x, y), se introduce el siguiente estimador de distancia MT-BS no desviado:

$$\hat{d}_3(i) = c_3(i) \cdot \hat{d}(i), \quad \text{con} \quad c_3(i) = e^{-\beta(i) \sigma_{Rz}^2} \quad (19)$$

- 20 El valor medio E, la varianza V y el MSE de la estimación de las coordenadas del MT tras la triangulación resultan:

$$E(\hat{z}_3) = z, \quad V(\hat{z}_3) = MSE(\hat{z}_3) = \frac{1}{D^2} \left[ \sum_{i=1}^3 a_z^2(i) \cdot d^4(i) \cdot \left[ e^{4\beta(i) \cdot \sigma_{Rz}^2} - 1 \right] \right], \quad z=x, y \quad (20)$$

Como se esperaba, el MSE es igual a la varianza en este caso debido a la naturaleza no desviada del estimador.

#### Estimador de MSE de las coordenadas del terminal

- 5 De acuerdo con una cuarta realización de la invención, se proporciona un estimador del MSE por debajo del óptimo de la posición del terminal móvil (MT – Mobile Terminal, en inglés), que se basa en el resultado del proceso de triangulación, utilizando un estimador de distancia apropiado.

Un estimador por debajo del óptimo se basa en la Ec. (18), donde el MSE de la estimación de las coordenadas del MT se reduce minimizando las siguientes cantidades:

$$\min \left\{ E \left[ \left( \hat{d}^2(i) - d^2(i) \right)^2 \right] \right\}, \quad i=1,2,3 \quad (21)$$

- 10 Basándose en la Ec. (18) la minimización de las cantidades de la Ec. (21) tiene lugar cuando se aplica el siguiente estimador:

$$\hat{d}_4(i) = c_4(i) \cdot \hat{d}(i), \quad \text{con} \quad c_4(i) = e^{-3\beta(i) \cdot \sigma_{Rz}^2}, \quad i=1,2,3 \quad (22)$$

En este caso, el valor medio y la varianza de las coordenadas del terminal estimados será:

$$\begin{aligned} E(\hat{z}_4) &= z + \frac{1}{D} \sum_{i=1}^3 a_z(i) \cdot d^2(i) \cdot \left[ e^{-4\beta(i) \cdot \sigma_{Rz}^2} - 1 \right] \\ V(\hat{z}_4) &= \frac{1}{D^2} \sum_{i=1}^3 a_z^2(i) \cdot d^4(i) \cdot e^{-8\beta(i) \cdot \sigma_{Rz}^2} \left[ e^{4\beta(i) \cdot \sigma_{Rz}^2} - 1 \right] \end{aligned} \quad (23)$$

- 15 Y el MSE resultante será:

$$\begin{aligned} MSE(\hat{z}_4) &= \frac{1}{D^2} \left[ \sum_{i=1}^3 a_z^2(i) \cdot d^4(i) \cdot \left[ 1 - e^{-4\beta(i) \cdot \sigma_{Rz}^2} \right] \right] + \\ &+ \frac{1}{D^2} \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^3 a_z(i) \cdot a_z(k) \cdot d^2(i) \cdot d^2(k) \cdot \left[ e^{-4[\beta(i)+\beta(k)] \cdot \sigma_{Rz}^2} - e^{-4\beta(i) \cdot \sigma_{Rz}^2} - e^{-4\beta(k) \cdot \sigma_{Rz}^2} + 1 \right], \quad z=x, y \end{aligned} \quad (24)$$

El estimador de la Ec. 22 está por debajo del óptimo para minimizar de manera óptima el MSE de las coordenadas del MT; aplicaría el siguiente conjunto de ecuaciones simultáneas:

$$\frac{\partial \text{MSE}(\hat{z}_j(i))}{\partial c_j(i)} = 0 \quad z=x, y \quad y \quad i=1,2,3 \quad (25)$$

No obstante, la solución resultante para  $c_j(i)$  conduce a una función de las distancias MT-BS  $d(i)$  reales para la cual los parámetros no son conocidos, así que la Ec. 21 no es una solución práctica.

#### Error de estimación de posición del terminal

- 5 Para ilustrar la efectividad del estimador de las coordenadas del terminal no desviado, el error en la estimación de la posición del terminal será analizado basándose en el error introducido en la estimación de las coordenadas del terminal mediante el método de triangulación que utiliza este terminal. A este respecto, el error basado en la posición del terminal puede ser estimado como:

$$\hat{e}_j = \sqrt{(\hat{x}_j - x)^2 + (\hat{y}_j - y)^2} = \sqrt{\Delta \hat{x}_j^2 + \Delta \hat{y}_j^2}, j=0,1,2,3,4 \quad (26)$$

- 10 Dado que no puede inferirse ninguna distribución obvia para el parámetro anterior se considera una aproximación mediante la distribución de Rice siguiente:

$$\hat{e}_j \sim \text{Rice}(u_e(j), \sigma_e^2(j)) \quad (27)$$

La aproximación anterior se basa en las siguientes asunciones:  $\Delta \hat{x}_j$  y  $\Delta \hat{y}_j$  se asume que son variables aleatorias

- 15 independientes con distribución Gausiana con valores medios  $E(\Delta \hat{x}_j)$ ,  $E(\Delta \hat{y}_j)$  respectivamente y la varianza común de  $\sigma_e^2(j)$ . El valor medio y la varianza del error de localización de MT pueden por lo tanto ser aproximados como sigue:

$$E(\hat{e}_j) = \sigma_e(j) \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot L_{1/2} \left( -\frac{u_e^2(j)}{2\sigma_e^2(j)} \right)$$

$$V(\hat{e}_j) = 2\sigma_e^2(j) + u_e^2(j) - \frac{\pi\sigma_e^2(j)}{2} \cdot L_{1/2}^2 \left( -\frac{u_e^2(j)}{2\sigma_e^2(j)} \right) \quad (28)$$

El parámetro  $u_e(j)$  es proporcionado por la siguiente ecuación:

$$u_e(j) = \sqrt{E(\Delta \hat{x}_j)^2 + E(\Delta \hat{y}_j)^2} \quad (29)$$

- 20 Para estimar  $u_e(j)$  para una ubicación del MT dada (es decir, para distancias  $d(i)$ ,  $i = 1, 2, 3$  dadas), puede aprovecharse la Ec. (16), la cual define el error de la ubicación del MT como estimado mediante triangulación. Por lo

que respecta al parámetro  $\sigma_e^2(j)$ , puesto que la asunción de varianza común para  $\Delta\hat{x}_j$  y  $\Delta\hat{y}_j$  no es válida, se aplica la siguiente aproximación a partir de la definición de la varianza del error y de las Ecs. (26), (28):

$$V(\hat{e}_j) = E(\hat{e}_j^2) - E(\hat{e}_j)^2 = E(\Delta\hat{x}_j^2 + \Delta\hat{y}_j^2) - \frac{\pi\sigma_e^2(j)}{2} \cdot L_{1/2}^2 \left( -\frac{u_e(j)}{2\sigma_e^2(j)} \right) \quad (30)$$

De las Ecs. (28), (29), (30) obtenemos:

$$\sigma_e^2(j) = \frac{1}{2} [V(\Delta\hat{x}_j) + V(\Delta\hat{y}_j)] \quad (31)$$

Los parámetros  $V(\Delta\hat{x}_j)$  y  $V(\Delta\hat{y}_j)$  para una ubicación del MT dada se proporcionan en la Ec. (17) como:

$$V(\Delta\hat{z}_j) = V(\hat{z}_j - z) = V(\hat{z}_j), \quad z=x,y \quad (32)$$

La aplicación del estimador de coordenadas de MT no desviado ( $j = 3$ , véase también la Ec. (19)) conduce a un valor medio de cero tanto para  $\Delta\hat{x}_3$  como para  $\Delta\hat{y}_3$ . En este caso  $u_e(j)$  resulta ser también cero y la distribución del error de localización del MT puede ser aproximada mediante una distribución de Rayleigh.

Para ilustrar la efectividad de los estimadores, se ha desarrollado un modelo de simulación. El modelo consideraba un área geográfica con un conjunto de estaciones de base que soportan cada una de ellas tres celdas, correspondiendo cada celda a un sector de 120 grados del mismo radio. Durante la simulación la posición del terminal móvil fue seleccionada aleatoriamente dentro de esta área y los niveles de RSS de cada una de las estaciones de base fueron estimados a partir del modelo Hata. Un ruido blanco Gaussiano con varianza  $\sigma_{RX}^2$  fue entonces añadido a la RSS resultante y el proceso de estimación de las coordenadas del terminal móvil llevado a cabo, utilizando el estimador de base ( $j = 0$ ), el estimador no desviado ( $j = 1$ ) y el estimador de MSE mínimo ( $j = 2$ ).

La posición del terminal móvil que se obtuvo fue a continuación comparada con la posición del terminal real para determinar el error de localización (Ec. (26)). A este respecto, la Figura 4 proporciona el error medio resultante de la estimación de la posición del terminal móvil utilizando los diferentes parámetros presentados en esta publicación ( $j = 0, 1, 2, 3, 4$ ) para una variedad de  $\sigma_{RX}$  (4 db, 8 db, 12 db) y para un radio de celda de 1500 m. Para resumir los estimadores mostrados en la Figura 4:

- estimador 0 ( $j = 0$ ) es el estimador de distancia desviado básico de la Ec. 2;
- estimador 1 ( $j = 1$ ) es el estimador de distancia no desviado básico de la Ec. 5;
- estimador 2 ( $j = 2$ ) es el estimador de distancia de MSE Mínimo de la Ec. 9;
- estimador 3 ( $j = 3$ ) es el estimador de las coordenadas del terminal no desviado de la Ec. 19; y
- estimador 4 ( $j = 4$ ) es el estimador de MSE de las coordenadas del terminal por debajo del óptimo de la Ec. 22.

La Figura 4 indica que el estimador del MSE de las coordenadas del MT por debajo del óptimo ( $j = 4$ ) proporciona la mejor precisión. También, el estimador de MSE de distancia mínimo ( $j = 2$ ) se comporta mejor que el estimador de coordenadas del MT no desviado ( $j = 3$ ). Resulta claro a partir de la Figura 4 que se ha logrado una significativa mejora mediante los estimadores de la presente invención, sobre todo para valores elevados de la desviación estándar de la RSS ( $\sigma_{RX}$ ). No obstante, incluso el estimador de mejor comportamiento ( $j = 4$ ) conduce a una precisión del orden de 500 m.

Para mostrar la aplicabilidad de estos estimadores a la localización basada en la RSS se han analizado un conjunto de técnicas alternativas, a saber: CGI (Identidad Global de Celda), CGI+TA y ECGI.

De acuerdo con la técnica de CGI sólo se tiene en cuenta la Identidad de Celda, así que debe asumirse que el MT está situado en el centroide de la cobertura de la celda.

- 5 En la técnica de CGI+TA la distancia entre el MT y la BS se estima basándose en el parámetro de Avance de Temporización. De acuerdo con las especificaciones del GSM, el Avance de Temporización es un entero con un alcance de 0 a 63 y permite que el MT, mientras está en modo dedicado, estime la temporización de transmisión correcta hacia la BS. Una unidad de Avance de Temporización corresponde a una distancia de aproximadamente 550 m. Por lo tanto, para esta técnica hemos asumido que el Avance de Temporización corresponde al retardo provocado exclusivamente por la distancia MT-BS de manera que la distancia es aproximada mediante la siguiente ecuación:

$$d_{TA} = TA \cdot 550m + \frac{550}{2}m, TA=0,1,2,\dots,63 \quad (33)$$

Por lo tanto, en la técnica de CGI+TA se ha asumido que la posición del MT está a una distancia  $d_{TA}$  y a un ángulo idéntico al azimut de la antena de la celda.

- 15 En ECGI, la distancia de la BS de la celda primaria se estima también basándose en el Avance de Temporización de acuerdo con la Ec. (33). A continuación, basándose en la RSS, se estima la distancia desde otras dos BSs y se aplica triangulación. Por lo tanto, el análisis para los estimadores de distancia MT-BS basados en la RSS también aplica a la técnica de ECGI.

- 20 La precisión de estas técnicas, a saber, CGI, CGI+TA, basada en RSS y ECGI se compara en la Figura 5 para  $\sigma_{RX} = 8$  db. Las técnicas basadas en la RSS (es decir, RSS y ECGI) son proporcionadas para los estimadores básico y de mejor rendimiento ( $j = 0$  y  $j = 4$  respectivamente). La Figura 5 indica que las técnicas de RSS y ECGI que utilizan el estimador desviado básico proporcionan menor precisión que las más simples técnicas de CGI y CGI+TA. El estimador básico no es por lo tanto un planteamiento comercialmente atractivo. El estimador de mejor rendimiento ( $j = 4$ ) mejora significativamente el rendimiento de la localización basada tanto en la RSS como en la ECGI, siendo aún la precisión resultante del orden de precisión proporcionado por CGI y CGI+TA respectivamente. En este contexto, el interés comercial para aplicar localización basada bien en RSS o en ECGI es bastante cuestionable.

- 30 Por lo tanto, de acuerdo con otra realización de la invención, los estimadores se utilizan en la técnica de STAMP descrita en el documento GB2416461. A este respecto, esta técnica recoge una serie de tiempos de mediciones de la RSS mientras que el MT está en modo de reposo. El proceso de estimación de la posición del terminal de acuerdo con la técnica de STAMP de este ejemplo es llevado a cabo aplicando un filtro de Kalman adaptativo a las coordenadas de posición del terminal estimadas (es decir, el resultado del proceso de la Figura 2). La principal asunción requerida por el filtro de Kalman en este caso es que la diferencia entre las coordenadas del terminal estimadas y reales sigue una distribución normal media de cero. Como se muestra en el análisis de la sección previa del documento esta asunción puede ser aproximada utilizando el estimador de distancia MT-BS que conduce a una estimación no desviada de las coordenadas del terminal (véase la Ec. (19)).

La Figura 6 representa el rendimiento de la técnica de STAMP para los cinco estimadores diferentes ( $j = 0$  a 5). Este gráfico muestra que el estimador 3 (es decir, el estimador de coordenadas de MT no desviado) es el estimador de mejor rendimiento, con un error de localización medio del orden de 200 m (c. f. la Figura 4 donde el error de localización medio para el mejor estimador en la localización basada en RSS era del orden de 550 m).

- 40 La Figura 7 ilustra un gráfico que muestra el rendimiento de la técnica de Rastreo de MT para cada uno de los estimadores  $j = 1$  a 4. Como se ha descrito anteriormente, el Rastreo de MT es una técnica en la cual tras la fase de establecimiento de una sesión de LBS la red monitoriza de manera constante la posición del terminal móvil aprovechando las mediciones regulares de la RSS y del TA. Por lo tanto, en comparación con la técnica de STAMP, en el rastreo de MT las mediciones de la RSS son más frecuentes (cada 480 ms en GSM) y el parámetro TA está siempre disponible (puesto que el terminal está en modo dedicado).

La Figura 8 proporciona una comparación global de las diferentes técnicas, mostrando la diferencia global entre el planteamiento de peor rendimiento (es decir, la localización basada en RSS que utiliza el Estimador 0) y las técnicas de mejor rendimiento, STAMP y Rastreo de MT utilizando el Estimador 3.

- 50 De manera más específica, la Figura 8 proporciona una comparación entre la precisión proporcionada por la localización basada en RSS (Estimador 1), CGI, CGI+TA, ECGI (Estimador 4), STAMP (Estimador 0 y 3) y Rastreo

de MT. Como puede verse en esta Figura, el rendimiento de un STAMP no optimizado (es decir, con Estimador 0) plantea el método de CGI a pesar del hecho de que proporciona una mejora significativa de la localización basada en RSS simple.

5 El STAMP optimizado (es decir, cuando se usa el estimador de coordenadas de MT no desviado  $j = 3$ ) claramente se comporta mejor que las técnicas tanto de CGI y CGI+TA como de ECGI. Además, la precisión de la localización de MT resultante para este STAMP optimizado está en el intervalo de 100 m – 200 m incluso para valores de radio de celda elevados (Figura 8) y también para valores de desviación estándar de la RSS elevados (Figura 6). El rendimiento de la técnica de STAMP corresponde a una mejora de aproximadamente 50 % en precisión en comparación con las técnicas de CGI, CGI+TA y ECGI.

10 Esto muestra que los estimadores optimizados utilizados junto con técnicas como STAMP pueden proporcionar resultados ventajosos, y de manera correspondiente es probable que sean muy prometedoras en términos de aprovechamiento comercial. La STAMP es una técnica particularmente ventajosa, puesto que puede ser implementada únicamente utilizando modificaciones de software, lo cual reduce los costes de despliegue.

15 La precisión del rastreo de MT basado en el estimador 3 (es decir, que utiliza el estimador 3 para estimar las distancias entre el MT y las BSs segunda y tercera y el Avance de Temporización (TA – Timing Advance, en inglés) conocido para la estimación de la distancia desde la primera BS) es mayor que la STAMP optimizada por dos razones principales:

(a) el aprovechamiento del TA que en nuestro modelo de simulación se considera siempre correcto (algo que no siempre es verdad en las redes reales) y

20 (b) el menor periodo de muestreo aplicado en el rastreo de MT (480 ms para una sesión activa en GSM en comparación con los 2 – 5 s durante la operación en modo de reposo del MT).

Globalmente, la Figura 8 muestra los beneficios empíricos que se pueden alcanzar mediante los estimadores de la presente invención, particularmente cuando se combinan con las técnicas de determinación de posición existentes, tales como STAMP y Rastreo de MT.

25 Aunque el análisis proporcionado en el modelo de simulación ha utilizado algunas asunciones que no son completamente aplicables en una red real (por ejemplo, antenas omnidireccionales), se cree que el modelo es no obstante una buena indicación de la precisión teórica que puede ser alcanzada mediante la localización basada en RSS.

30 Los estimadores de la presente invención han sido inferidos, teniendo en cuenta la naturaleza de los modelos de propagación de la pérdida de ruta (como Hata y Cost231) y también el error introducido en la estimación de la distancia MT-BS, así como el error introducido en el proceso de triangulación. Ventajosamente se ha mostrado, mediante las Figuras 6 a 8, que los estimadores minimizan el impacto del proceso de cálculo de la posición sobre la precisión resultante. Los resultados indican una muy significativa mejora en la localización basada en la RSS cuando se aplica a un único conjunto de mediciones de RSS.

35 Las realizaciones de la invención han sido descritas en relación con la monitorización del terminal móvil y determinando mediciones de la RSS. Esto no es esencial para la invención, y la misma funcionalidad puede ser implementada de manera externa al terminal. Por ejemplo, el terminal puede transmitir las mediciones de la RSS a la red de núcleo para su procesamiento.

40 Las técnicas de rastreo listadas anteriormente utilizadas con LBS son aplicables a varias configuraciones de red, incluyendo las redes 2G, 3G y 4G.

45 Además, aunque la presente invención tiene particularmente aplicabilidad a las mediciones de RSS, cualquier otro parámetro adecuado que aplique a las comunicaciones entre el terminal móvil y sus estaciones de base adyacentes puede ser utilizado (por ejemplo, la Diferencia de Tiempo Observada) así como mediciones asociadas a otras tecnologías como GPS. Más particularmente, resultará evidente que los estimadores de acuerdo con las realizaciones de la invención son particularmente aplicables al parámetro RSS debido a su naturaleza estadística, y a otros parámetros con una distribución de error similar.

# REIVINDICACIONES

1. Un método de estimar la ubicación de un terminal móvil (1) en una red de comunicaciones para móviles que tiene una pluralidad de estaciones de base (3, 4, 5, 7, 8, 9), incluyendo el método:

5 determinar la medición (21) de al menos un parámetro de señal para el terminal móvil en relación con cada una de la pluralidad de estaciones de base; y

utilizar las mediciones del parámetro de señal determinado para obtener una primera estimación de distancia (22) de la ubicación del terminal móvil desde cada una de la pluralidad de estaciones de base;

caracterizado porque el método también incluye:

10 utilizar al menos un estimador sobre cada una de las primeras estimaciones de distancia para obtener una estimación de distancia refinada del terminal móvil desde cada una de la pluralidad de estaciones de base, siendo la pluralidad un número i, estando el estimador conformando de acuerdo con un formato seleccionado de lo siguiente:

$$a) \hat{d}_1(i) = c_1(i) \cdot \hat{d}(i) = e^{-\beta(i) \cdot \frac{\sigma_{R_x}^2}{2}} \cdot \hat{d}(i) = e^{-\beta(i) \cdot \frac{\sigma_{R_x}^2}{2}} \cdot 10^{\left( \frac{\hat{R}_x(i) + A(i)}{B(i)} \right)};$$

$$b) \hat{d}_2(i) = e^{-\beta(i) \cdot \frac{3\sigma_{R_x}^2}{2}} \cdot 10^{\left( \frac{\hat{R}_x(i) + A(i)}{B(i)} \right)};$$

$$c) \hat{d}_3(i) = c_3(i) \cdot \hat{d}(i), \quad \text{con} \quad c_3(i) = e^{-\beta(i) \cdot \sigma_{R_x}^2};$$

$$d) \hat{d}_4(i) = c_4(i) \cdot \hat{d}(i), \quad \text{con:} \quad c_4(i) = e^{-3\beta(i) \cdot \sigma_{R_x}^2},$$

donde:

i = 1, 2, 3

15  $\hat{d}_{1..4}$  es la estimación de distancia refinada en kilómetros

$\sigma_{R_x}^2$  es la varianza de una distribución Gaussiana de la Potencia de Señal Recibida (RSS – Received Signal Strength, en inglés),

$$\beta(i) = (\ln(10) / B(i))^2,$$

$$B(i) = 44,9 - 6,55 \log h_{bs}(i),$$

20  $h_{bs}(i)$  es la altura de la Estación de Base (i) en metros,

A(i) es una estimación de una cantidad de pérdida de ruta de propagación desde la estación de base (i) y

$R_x(i)$  es la Potencia de Señal Recibida (RSS – Received Signal Strength, en inglés) medida desde la estación de base (i) en dbm en la ubicación real del terminal; y

25 utilizar la citada pluralidad de estimaciones de distancia refinadas para obtener una estimación de la posición (23) del terminal móvil.

2. El método de la reivindicación 1, en el que la medición del al menos un parámetro de señal determinado es una medición de la Potencia de Señal Recibida (RSS – Received Signal Strength, en inglés) y se utiliza una técnica de localización basada en la RSS para obtener la primera estimación de la distancia de la ubicación del terminal móvil.

30 3. El método de la reivindicación 1 ó la reivindicación 2, en el que la cantidad de pérdida de ruta de propagación se determina utilizando un modelo Hata o un modelo Cost231.

4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que incluye también utilizar las estimaciones de distancia refinadas en los cálculos de triangulación para estimar la ubicación del terminal móvil, y la etapa de utilizar al menos un estimador incluye utilizar un estimador de las coordenadas del terminal para obtener una estimación de posición refinada del terminal con respecto a la pluralidad de estaciones de base, siendo la pluralidad un número  $i$ .

5. El método de la reivindicación 4, en el que el estimador de las coordenadas del terminal utilizado incluye un primer estimador de las coordenadas del terminal:

$$\hat{d}_3(i) = c_3(i) \cdot \hat{d}(i), \text{ con } c_3(i) = e^{-\beta(i) \cdot \sigma_{Rx}^2}$$

y donde  $\beta(i) = (\ln(10)/B(i))^2$ ,  $B(i) = 44,9 - 6,55 \log h_{bs}(i)$  y  $h_{bs}(i)$  es la altura de la estación de base ( $i$ ).

6. El método de la reivindicación 4 ó la reivindicación 5, en el que el estimador de las coordenadas del terminal utilizado incluye un segundo estimador de las coordenadas del terminal:

$$\hat{d}_4(i) = c_4(i) \cdot \hat{d}(i), \text{ con } c_4(i) = e^{-3\beta(i) \cdot \sigma_{Rx}^2}, i = 1, 2, 3$$

y donde  $\beta(i) = (\ln(10)/B(i))^2$ ,  $B(i) = 44,9 - 6,55 \log h_{bs}(i)$  y  $h_{bs}(i)$  es la altura de la estación de base ( $i$ ).

7. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que incluye también llevar a cabo un filtrado de Kalman adaptativo en la estimación de la posición del terminal móvil.

8. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el terminal móvil está activo y la pluralidad de estaciones de base comprende una estación de base de servicio y una pluralidad de estaciones de base vecinas, y el método incluye también:

utilizar el al menos un estimador para estimar la distancia del terminal desde cada una de la pluralidad de estaciones de base vecinas; y

utilizar una medición del avance de temporización para estimar la distancia del terminal desde la estación de base de servicio.

9. Un terminal móvil configurado para llevar a cabo un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 del método.

10. El terminal móvil de la reivindicación 9, que incluye también un receptor de GPS y un procesador configurado para estimar la posición del terminal utilizando señales recibidas por el receptor GPS, utilizando el terminal móvil el método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 cuando no estén disponibles señales apropiadas del receptor de GPS.

11. Un elemento de red de comunicaciones configurado para llevar a cabo un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

12. Una red de telecomunicaciones para móviles configurada para llevar a cabo un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

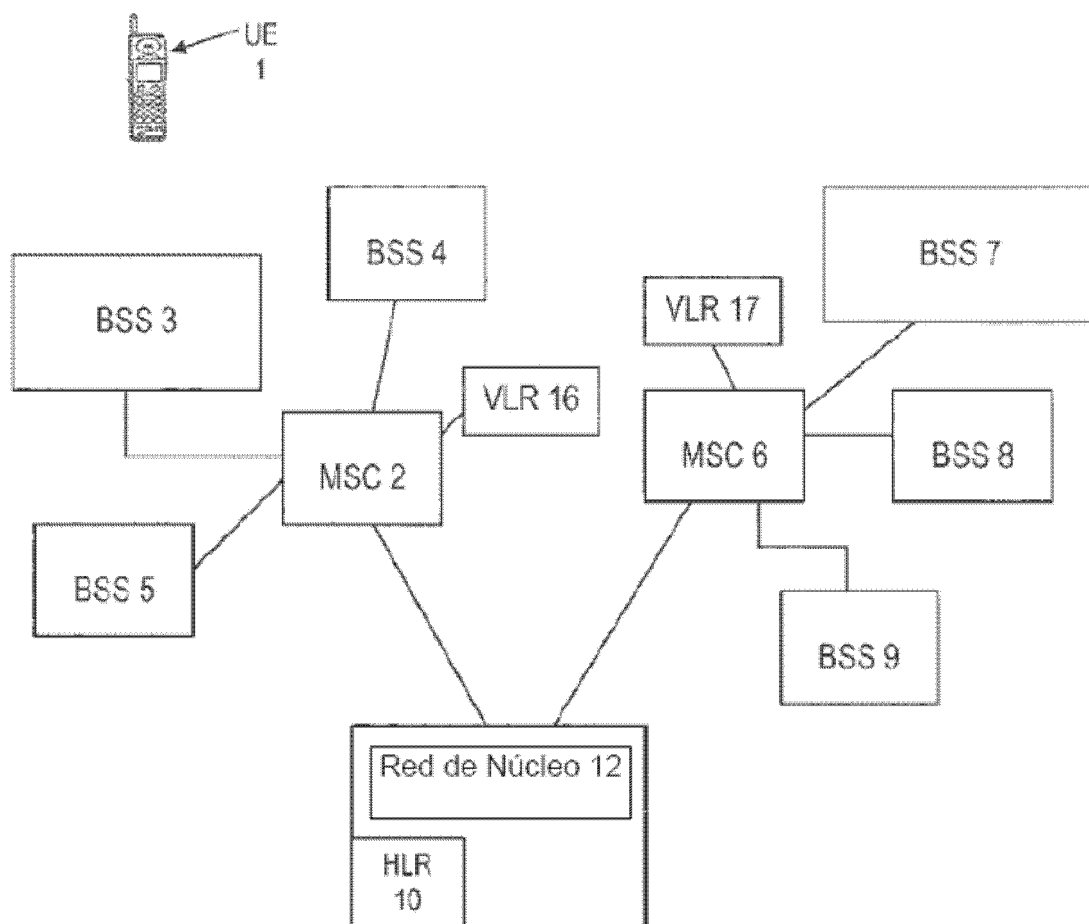


FIGURA 1

FIGURA 2

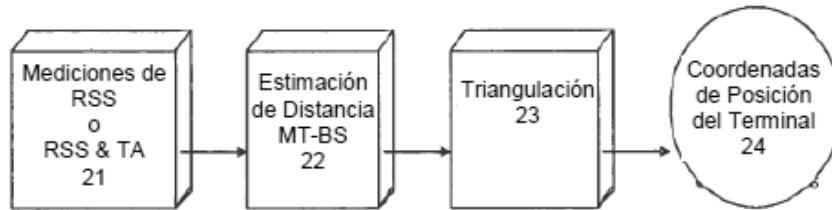


FIGURA 3

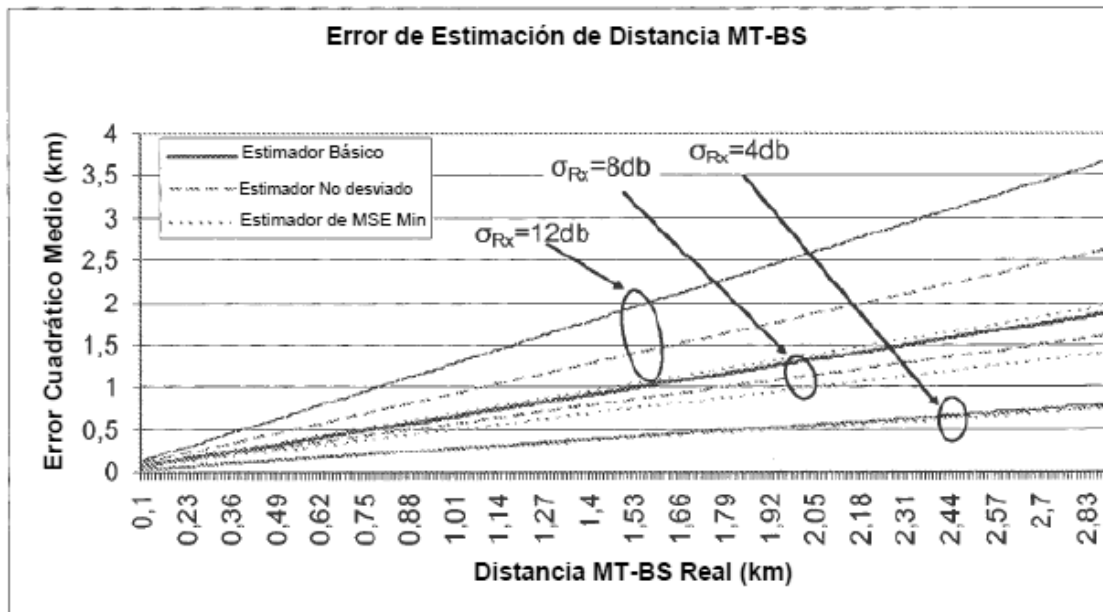


FIGURA 4

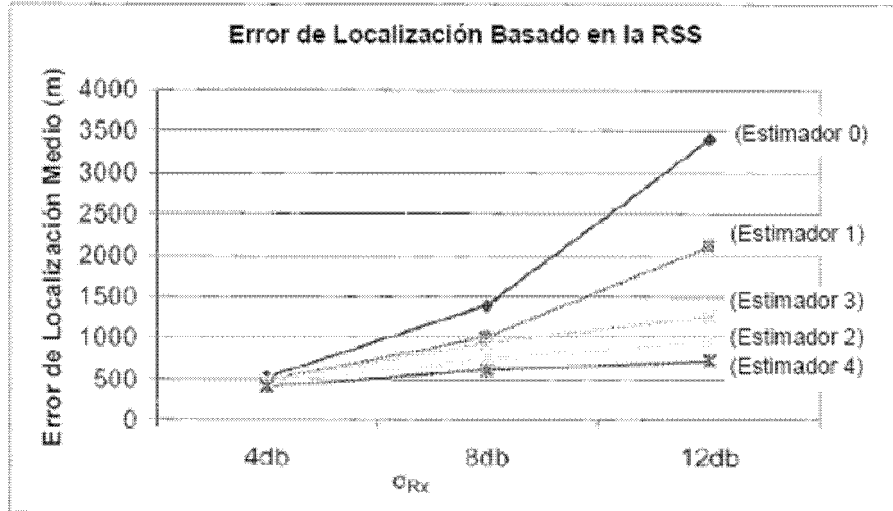


FIGURA 5

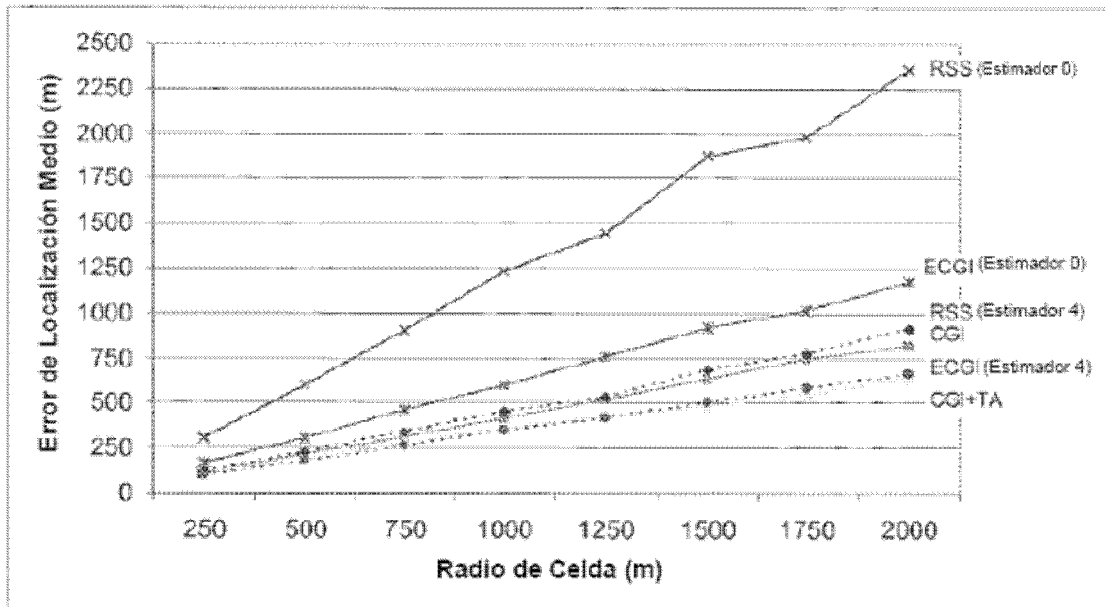


FIGURA 6

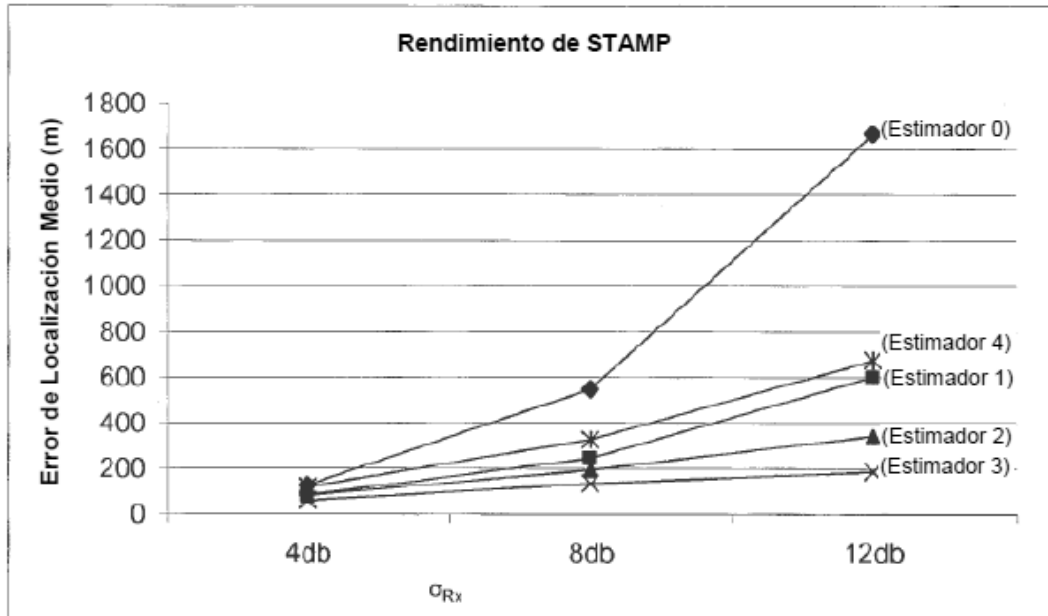


FIGURA 7

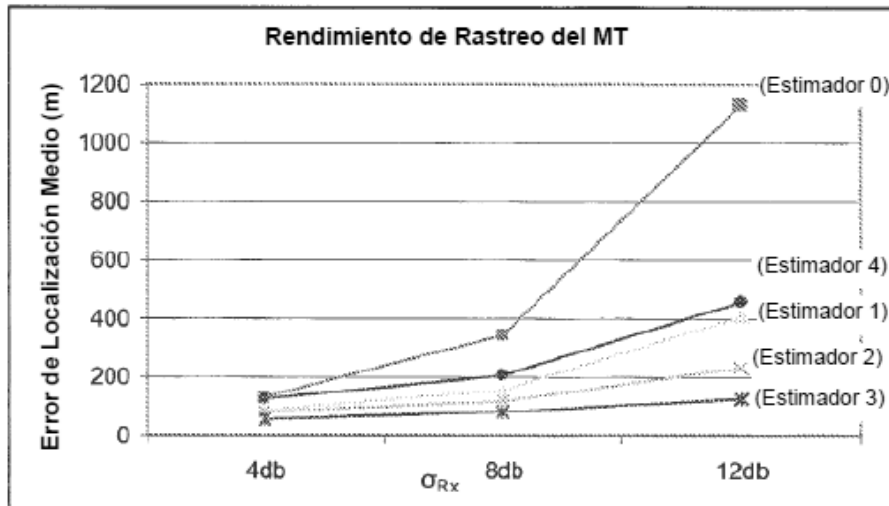


FIGURA 8

