

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 701 983**

51 Int. Cl.:

**G01S 5/02** (2010.01)

**H04W 64/00** (2009.01)

**G01S 3/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.05.2003 PCT/FI2003/00413**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.12.2003 WO03102622**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.05.2003 E 03730250 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.09.2018 EP 1514130**

54 Título: **Modelo probabilístico para una técnica de posicionamiento**

30 Prioridad:

**31.05.2002 FI 20021044**

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

**26.02.2019**

73 Titular/es:

**AIRISTA FLOW, INC. (50.0%)**

**12 Timber Creek Lane**

**Newark, DE 19711, US y**

**AIRISTA INTERNATIONAL OY (50.0%)**

72 Inventor/es:

**MISIKANGAS, PAULI y**

**MYLLYMÄKI, PETRI**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 701 983 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

Modelo probabilístico para una técnica de posicionamiento

**Antecedentes de la invención**

5 La invención se refiere, en general, a una técnica de posicionamiento en la que el emplazamiento de un dispositivo objetivo es estimado en base a observaciones en el entorno de comunicación inalámbrica del dispositivo objetivo. La figura 1 ilustra esquemáticamente un ejemplo de una técnica de posicionamiento de este tipo. Un dispositivo objetivo T se comunica por medio de estaciones de base BS a través de una interfaz de radio RI. En este ejemplo, se supone que la comunicación es una comunicación por radio. El dispositivo objetivo T observa valores de señal en la interfaz de radio RI. El conjunto de observaciones OS se aplica a un modelo probabilístico PM que modela el entorno de comunicación inalámbrica del dispositivo objetivo y produce una estimación de emplazamiento LE.

10 Un ejemplo práctico del dispositivo objetivo es un dispositivo de procesamiento de datos que se comunica en una red inalámbrica de área local (WLAN) o en una red celular de radio. El dispositivo de procesamiento de datos puede ser un ordenador portátil o un ordenador de bolsillo de uso general o un dispositivo de comunicación, o puede ser un aparato de prueba o medición dedicado, tal como un instrumento de hospital conectado a la WLAN. Un valor de señal, como se usa en la presente memoria descriptiva, es una cantidad medible y dependiente del emplazamiento de la señal de un transmisor fijo. Por ejemplo, la intensidad de la señal y la tasa / relación de errores de bits son ejemplos o cantidades medibles y dependientes del emplazamiento. Un ejemplo de una técnica de posicionamiento que se basa en un modelo probabilístico del entorno de radio de un dispositivo se describe en la patente norteamericana número 6112095 de Mati Wax et al.

20 Un problema subyacente a la invención se relaciona con el hecho de que tal modelo probabilístico funciona de manera óptima cuando es denso. Esto significa que la distancia entre los puntos de muestra no debe ser demasiado alta. Un punto de muestra es un punto del modelo probabilístico. En un caso ideal, la distancia entre los puntos de muestra es igual a la resolución deseada del modelo probabilístico, lo que significa que el punto de muestra que mejor se adapta a las observaciones del dispositivo objetivo se considera el emplazamiento del dispositivo objetivo. Un problema es que obtener una gran cantidad de puntos de muestra por medio de calibración física requiere mucho tiempo y es costoso. Este proceso es difícil de realizar automáticamente. Como resultado, algunos puntos de muestra deben ser determinados derivándolos de emplazamientos calibrados conocidas, por ejemplo, por interpolación. Pero, sorprendentemente, tal interpolación está lejos de ser trivial.

30 La figura 2 ilustra un problema relacionado con la interpolación de valores de señal. La variable independiente  $x$  representa un valor de señal medible, tal como la intensidad de la señal. La variable dependiente  $P(x)$  es la probabilidad de ese valor de señal. La figura 2 muestra las distribuciones de probabilidad 21 y 22 para dos emplazamientos  $Q_1$  y  $Q_2$ , respectivamente. Para mantener sencilla la figura 2, se asume que las distribuciones de probabilidad 21 y 22 no se superponen. Los valores de señal para el emplazamiento  $Q_1$  se concentran cerca del valor  $X_1$  y los valores de señal para el emplazamiento  $Q_2$  se concentran cerca del valor  $X_2$ .

35 Se asume que se desea predecir los valores de señal en un punto de muestra que se encuentra entre los emplazamientos  $Q_1$  y  $Q_2$ . Por ejemplo, se podría desear insertar en el modelo probabilístico un punto de muestra que se encuentre entre dos emplazamientos para los cuales las mediciones reales o los resultados de la simulación estén disponibles. Una forma intuitiva de crear un nuevo punto de muestra de este tipo es combinar las distribuciones de probabilidad 21 y 22 para los emplazamientos  $Q_1$  y  $Q_2$ . La curva 23, que se muestra en una línea de trazos en negrita, representa una distribución de probabilidades combinada (y normalizada) de este tipo. Pero tal distribución de probabilidades combinada 23 no predice valores de señal entre dos emplazamientos, al menos no muy bien. Esto se debe a que la distribución de probabilidades combinada 23 tiene valores de probabilidad distintos de cero solo para los valores de señal que tienen probabilidades distintos de cero en cualquiera de las distribuciones de probabilidad originales 21 y 22. En consecuencia, la forma intuitiva de combinar las distribuciones de probabilidad 21 y 22 produce un resultado que es contrario a la intuición y aparentemente falso. En la figura 2, el valor de la señal se cuantifica en valores discretos, pero el resultado es el mismo si  $x$  se trata como una variable continua.

40 Por lo tanto, un problema es cómo crear un punto de muestra basado en la interpolación de dos o más emplazamientos conocidos. Este problema se puede generalizar de la siguiente manera: cómo construir un modelo probabilístico que modele el entorno inalámbrico de un dispositivo objetivo para posicionar el dispositivo objetivo, de modo que el modelo probabilístico se pueda construir sobre la base de información diversa. El modelo puede estar basado en mediciones de calibración, simulaciones o cálculos teóricos o cualquier combinación de los mismos. El modelo debe ser lo suficientemente genérico para poder hacer el mejor uso posible de cualquier información disponible. Los documentos JP 2001 - 313972 y US 6393294 revelan sistemas en los que las probabilidades se asignan a emplazamientos, mientras que la presente invención se refiere a la asignación de probabilidades a valores de señal en emplazamientos determinados.

55

**Breve descripción de la invención.**

Un objeto de la invención es proporcionar un procedimiento y un modelo de construcción de modelos para proporcionar una solución al problema que se ha especificado más arriba. En otras palabras, un objeto de la invención es proporcionar un modelo probabilístico para una técnica de posicionamiento tal que el modelo probabilístico pueda aceptar y combinar información de una variedad de fuentes. Tal información puede ser mediciones de calibración, simulaciones o cálculos teóricos o cualquier combinación de los mismos. Las mediciones de calibración se pueden haber realizado en diferentes momentos, y un modelo probabilístico de acuerdo con la invención debería poder combinar tal información de una manera razonable, en lugar de reemplazar simplemente las mediciones antiguas por otras nuevas. El objeto de la invención se logra mediante los procedimientos y equipos que se caracterizan por lo que se indica en las reivindicaciones independientes. Las realizaciones preferidas de la invención se describen en las reivindicaciones dependientes.

La invención se basa en la idea de formar un modelo probabilístico basado en submodelos o medidas de calibración más simples, de manera que el modelo probabilístico indique una distribución de probabilidades para valores de señal en varios emplazamientos en el entorno inalámbrico. La invención logra la combinación combinando las funciones de distribución acumulativa inversa de los valores de señal esperados. Las personas con algún conocimiento de la teoría de probabilidades entenderán que se puede usar una técnica matemáticamente equivalente, como la combinación de las funciones de distribución acumulativa (en lugar de las funciones de distribución acumulativa inversa) y el intercambio de los ejes x e y. Un beneficio de la invención es que una combinación de las funciones de distribución acumulativa inversa da como resultado un modelo probabilístico que predice mucho mejor los valores de señal que un modelo basado en la combinación de los valores de señal esperados en sí mismos o sus distribuciones de probabilidad. Por ejemplo, la invención se puede utilizar para agregar nuevos puntos de muestra al modelo probabilístico en base a dos o más emplazamientos para los cuales existen mediciones de calibración o cálculos o resultados de simulación. Una creación de este tipo de nuevos puntos de muestra basados en puntos de calibración existentes se puede llamar interpolación o extrapolación, dependiendo de si el punto de muestra agregado está dentro o fuera de una línea o área delimitada por los puntos de calibración existentes. Una interpolación o extrapolación de este tipo con respecto a los emplazamientos puede denominarse interpolación o extrapolación espacial. Además, la invención se puede utilizar para la interpolación o extrapolación temporal. Es decir, se puede crear un nuevo modelo probabilístico combinando dos o más modelos probabilísticos anteriores. Un ejemplo práctico de interpolación o extrapolación temporal es que un modelo probabilístico actualizado no solo se basa en las mediciones más recientes (o en los resultados de cálculos o simulaciones), sino en una combinación de la información más reciente y la anterior. Además, la invención se puede utilizar para combinar diferentes tipos de modelos probabilísticos. Un modelo probabilístico creado por una técnica de acuerdo con la invención puede estar basado en varios tipos de información, incluidas las mediciones de calibración reales y los resultados de simulaciones o cálculos teóricos, o cualquier combinación de los mismos. Los puntos de muestra interpolados o extrapolados se pueden crear en base a los puntos de muestra medidos o calculados. La interpolación o extrapolación puede ser espacial y / o temporal.

Un aspecto de la invención es un procedimiento para estimar el emplazamiento de un dispositivo objetivo, en el que el dispositivo objetivo se puede mover en un entorno inalámbrico y comunicarse con el entorno inalámbrico usando señales, cada una de las cuales tiene al menos un valor de señal medible. El procedimiento comprende los pasos como se define en las reivindicaciones.

El paso de estimación de emplazamiento se puede realizar en el dispositivo objetivo. En este caso, el dispositivo objetivo debe comprender el modelo probabilístico y llevar a cabo las rutinas de software de estimación del emplazamiento. Una ventaja que se obtiene al realizar el paso de estimación del emplazamiento en el dispositivo objetivo es que el dispositivo objetivo no tiene que transmitir las observaciones del valor de la señal para tener su emplazamiento estimado.

Alternativamente, la etapa de estimación de emplazamiento se puede realizar en un aparato externo de estimación de emplazamiento en el que el dispositivo objetivo informa la secuencia de observaciones a través de una red de radio. Una ventaja de esta realización es que el dispositivo objetivo no tiene que comprender el modelo probabilístico o las rutinas de estimación del emplazamiento. Sin embargo, debe enviar sus observaciones a un aparato externo de estimación de emplazamiento.

Los valores de señal medibles comprenden preferiblemente la intensidad de la señal. Alternativamente, o además de la intensidad de la señal, los valores de señal medibles pueden comprender una tasa / relación de error de bits o una relación de señal a ruido.

Todavía otro aspecto adicional de la invención es un módulo de construcción de modelo para construir un modelo probabilístico de un entorno inalámbrico en el que un dispositivo objetivo es operable para comunicarse usando señales, cada una de las cuales tiene al menos un valor de señal medible como se define en las reivindicaciones.

**Breve descripción de los dibujos**

En lo que sigue se describirá la invención con mayor detalle por medio de realizaciones preferidas con referencia a los dibujos adjuntos, en los que

- la figura 1 ilustra esquemáticamente una técnica de posicionamiento;
- 5 la figura 2 ilustra el problema subyacente a la invención;
- la figura 3 muestra el principio de la invención;
- las figuras 4 y 5 ilustran la interpolación en una o dos dimensiones, respectivamente;
- la figura 6 ilustra un modelo probabilístico PM que es el resultado de una combinación de diferentes sub-modelos;
- 10 la figura 7 muestra un módulo de estimación de emplazamiento LEM para estimar el emplazamiento del dispositivo objetivo en función de los valores de señal en la interfaz de radio RI;
- las figuras 8A y 8B son diagramas de bloques que ilustran dispositivos de destino típicos cuyo emplazamiento se debe determinar.

**Descripción detallada de la invención**

15 La figura 3 ilustra el principio de la invención. La invención se basa en la idea de combinar las funciones de distribución acumulativa inversa de valores de señal esperados en varios emplazamientos, en lugar de combinar los valores de señal o sus distribuciones de probabilidad. La figura 3 está dibujada a la misma escala que la figura 2, y el eje x está alineado. La curva 31 representa la función de distribución acumulativa para el emplazamiento  $Q_1$ . Para cada valor de probabilidad distinto de cero en la distribución de probabilidades 21, hay un paso correspondiente en la función de distribución acumulativa 31. De manera similar, la curva 32 representa la función de distribución acumulativa para el emplazamiento  $Q_2$ . La curva 33 es una función de la distribución acumulativa para un emplazamiento  $Q_x$  (como un nuevo punto de muestra) entre los emplazamientos  $Q_1$  y  $Q_2$ . En este ejemplo, el nuevo punto de muestra  $Q_x$  se supone que está en el medio de una línea recta desde  $Q_1$  a  $Q_2$ , y la función de distribución acumulativa 33 es creada por el siguiente algoritmo: para cada uno de varios valores de variables dependientes  $P(x)$ , el valor de la variable independiente  $x$  se determina ponderando con pesos iguales las funciones de distribución acumulativa 31 y 32 de los emplazamientos  $Q_1$  y  $Q_2$ , respectivamente.

La curva 34 es la distribución de probabilidades esperada para el nuevo emplazamiento (punto de muestra)  $Q_x$ . La curva 34 está alineada con las curvas 21 y 22, e intuitivamente parece que la distribución de probabilidades 34 predice valores de señal en  $Q_x$  mucho mejor que la distribución de probabilidades 23 que se muestra en la figura 2, porque los valores de señal con probabilidades distintas de cero están en algún emplazamiento entre los valores de señal  $X_1$  y  $X_2$ , en lugar de estar cerca de cualquiera de estos valores.

En la figura 3, el emplazamiento  $Q_x$  (tal como un nuevo punto de muestra) se suponía que estaba en el medio de una línea recta desde  $Q_1$  a  $Q_2$ . Si esta suposición no es válida, la función de distribución acumulativa 33 para el emplazamiento  $Q_x$  se puede determinar mediante la ponderación por distancia de las funciones de distribución acumulativa 31 y 32 de los emplazamientos  $Q_1$  y  $Q_2$  que dependen de las distancias relativas de  $Q_1$  a  $Q_x$  y de  $Q_x$  a  $Q_2$ . Las figuras 4 y 5 ilustran tal ponderación de distancias.

La figura 4 ilustra la interpolación a lo largo de una dimensión.  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_x$  son tres emplazamientos tales que  $d_1$  es la distancia de  $Q_1$  a  $Q_x$  y  $d_2$  es la distancia de  $Q_x$  a  $Q_2$ . Idealmente, los pesos  $W_1$  y  $W_2$  para las funciones de distribución acumulativa para los emplazamientos  $Q_1$  y  $Q_2$  deben ser seleccionados de tal manera que  $W_1d_1 = W_2d_2$ . Esta ponderación se ilustra mediante una barra horizontal 41 cuyos extremos están en  $Q_1$  y  $Q_2$  y la barra es pivotada en  $Q_x$  (en el número de referencia 42). La barra está equilibrada si los pesos  $W_1$  y  $W_2$  están inversamente relacionados con las distancias  $d_1$  y  $d_2$ . Debido a que los pesos y las distancias están inversamente relacionados, esta ponderación puede denominarse ponderación inversa de distancias.

Además de la interpolación, la analogía de barra equilibrada también se puede utilizar con extrapolación lineal. Se supone un emplazamiento extrapolado  $Q_x'$ , para el cual se muestra un punto de pivote 43 para la barra equilibrada con una línea discontinua. La barra 41 todavía se puede equilibrar utilizando pesos negativos. Naturalmente, la extrapolación no es fiable con grandes distancias.

La figura 5 ilustra la interpolación en dos dimensiones. Sobre la base de tres emplazamientos conocidos  $Q_A$ ,  $Q_B$  y  $Q_C$ , se desea predecir valores de señal para un nuevo emplazamiento  $Q_Y$ . En primer lugar, las funciones de distribución acumulativa para cada uno de los emplazamientos conocidos  $Q_A$ ,  $Q_B$  y  $Q_C$  se determinan como se muestra en conexión con la figura 3. A continuación, se dibuja un triángulo imaginario de modo que sus vértices se encuentren

en los emplazamientos conocidos  $Q_A$ ,  $Q_B$  y  $Q_C$ . El triángulo imaginario se pivota en el nuevo emplazamiento  $Q_Y$ . Finalmente, se seleccionan pesos para los emplazamientos conocidos  $Q_A$ ,  $Q_B$  y  $Q_C$  (los vértices del triángulo imaginario) de modo que el triángulo esté equilibrado. (En las figuras 4 y 5, la barra 41 y el triángulo 51 se suponen sin peso).

5 En general, los pesos se pueden determinar utilizando vectores. Se supone que  $a$  es un vector de  $Q_Y$  a  $Q_A$ ,  $b$  un vector de  $Q_Y$  a  $Q_B$  y  $c$  un vector de  $Q_Y$  a  $Q_C$ . Los pesos  $w_A$ ,  $w_B$  y  $w_C$  para los emplazamientos  $Q_A$ ,  $Q_B$  y  $Q_C$  se puede obtener resolviendo el siguiente par de ecuaciones:

$$w_A \cdot \bar{a} + w_B \cdot \bar{b} + w_C \cdot \bar{c} = \bar{0} \quad [1]$$

$$w_A + w_B + w_C = 1 \quad [2]$$

10 En este ejemplo de dos dimensiones, la solución se puede encontrar fácilmente observando que la primera ecuación es verdadera solo si la suma ponderada de las coordenadas  $x$  de los vectores es cero, así como la suma ponderada de las coordenadas  $y$ . De esta manera, los pesos se obtienen como la única solución del siguiente grupo de ecuaciones:

$$w_A \cdot a_x + w_B \cdot b_x + w_C \cdot c_x = 0 \quad [3]$$

$$15 \quad w_A \cdot a_y + w_B \cdot b_y + w_C \cdot c_y = 0 \quad [4]$$

$$w_A + w_B + w_C = 1 \quad [5]$$

20 El procedimiento puede ser generalizado para el espacio  $N$  - dimensional. Se supone que  $v_1, v_2, \dots, v_{N+1}$  son los vectores y  $w_1, w_2, \dots, w_{N+1}$  son los pesos de los vectores. Se hace notar que se necesitan exactamente  $N + 1$  vectores para que los pesos puedan resolverse. Ahora, los pesos se obtienen como la única solución para el siguiente par de ecuaciones:

$$\sum_{i=1}^{N+1} w_i \cdot \bar{v}_i = \bar{0} \quad [6]$$

$$\sum_{i=1}^{N+1} w_i = 1 \quad [7]$$

25 Si se forma un nuevo emplazamiento sobre la base de más de tres emplazamientos conocidos, el área se puede triangular. Por ejemplo, se puede usar la triangulación de Delaunay, en cuyo caso los vértices de los triángulos se encuentran en los emplazamientos conocidos. Para cada nuevo emplazamiento, se selecciona el triángulo que cubra el nuevo emplazamiento (interpolación) o el más cercano al nuevo emplazamiento (extrapolación).

La técnica de combinar funciones de distribución acumulativa ponderada es muy genérica. Esta técnica puede ser utilizada para:

- 30
1. interpolar o extrapolar desde emplazamientos conocidos (puntos de calibración calibrados físicamente o emplazamientos simulados o calculados);
  2. combinar modelos de diferentes antigüedades (en lugar de simplemente reemplazar datos antiguos por nuevos); y
  3. combinar modelos de diferentes tipos, tales como modelos basados en calibración física y modelos basados en simulación o cálculos teóricos.

35 La naturaleza genérica de la técnica sugiere una interpretación novedosa para un modelo. En lugar de tener un solo modelo que tenga varios puntos de muestra, cada uno de los varios modelos puede tener solo un punto de muestra (calibrado, simulado o calculado), y los modelos se combinan entonces combinando sus funciones de distribución acumulativa ponderada. A partir de este punto, el término modelo probabilístico se refiere al resultado de la combinación, y los modelos en base a los cuales se forma el modelo probabilístico se denominan submodelos. Se debe tener en cuenta que un modelo probabilístico en sí mismo puede actuar como un submodelo para un modelo probabilístico actualizado.

40

Formalmente, un modelo probabilístico se puede expresar de la siguiente manera:

$$P(q | o) \propto P(o | q) P(q) \quad [8]$$

en el que  $o$  denota una observación (vector) y  $q$  es un emplazamiento. Si se asume que la distribución de probabilidades anterior  $P(q)$  es uniforme (dando una probabilidad anterior igual para todos los emplazamientos  $q$ ), entonces se puede ver que la probabilidad para un emplazamiento  $q$  es proporcional a la probabilidad que el modelo proporciona para la observación  $o$  en el emplazamiento  $q$ . En otras palabras, se puede obtener una distribución de probabilidades para un conjunto de emplazamientos  $q$  calculando primero la probabilidad de la observación  $o$  en cada emplazamiento, y a continuación normalizando las probabilidades resultantes para que sumen uno. Esto significa que lo único que se debe determinar son las distribuciones de probabilidad condicional  $P(o | q)$  en cada emplazamiento  $q$ . Una posibilidad para determinar estas distribuciones de probabilidad es asumir las observaciones del valor de señal individual  $o_i$  para que sea proporcionada independientemente del emplazamiento  $q$ , en cuyo caso las probabilidades del valor de la señal individual se combinan simplemente multiplicándolas de la siguiente manera:

$$P(o | q) = \prod_{i=1}^n P(o_i | q) \quad [ 9 ]$$

En el mundo real, el valor de la señal es una variable virtualmente continua, y la probabilidad para cualquier valor de señal dado es infinitesimal. En consecuencia, la probabilidad de un rango de valores de señal  $[o_i - \varepsilon, o_i + \varepsilon]$  se debe utilizar:

$$P([o_i - \varepsilon, o_i + \varepsilon] | q) = F(o_i + \varepsilon | q) - F(o_i - \varepsilon | q) \quad [ 10 ]$$

en la que  $F$  es la función de distribución acumulativa y  $\varepsilon$  es una pequeña constante.

La figura 6 ilustra un modelo probabilístico PM que es el resultado de una combinación de submodelos de este tipo. La figura 6 muestra submodelos de dos tipos diferentes. El primer tipo es un submodelo de calibración. Este submodelo se basa en mediciones de calibración física. El segundo tipo es un submodelo de propagación y se basa en modelar el entorno de comunicación inalámbrica mediante simulaciones o cálculos. Los submodelos de propagación requieren un buen conocimiento del entorno de comunicación y el emplazamiento y las propiedades de las estaciones de base. Se puede crear un submodelo de propagación mediante una técnica análoga a las visualizaciones basadas en el trazado de rayos. Las lámparas se reemplazan por estaciones de base, las propiedades relacionadas con la luz tales (como la reflexión o la retracción) son reemplazadas por las propiedades relacionadas con las señales de radio, etc. La construcción de un submodelo de propagación requiere mucho tiempo, pero una vez creado, el modelo puede producir una serie de puntos de muestra sin mediciones físicas. Por otro lado, las mediciones de calibración no requieren conocimiento del entorno  $o$  de las estaciones de base, y las mediciones son relativamente simples, pero deben ser realizadas en pequeños intervalos y repetirse con frecuencia.

Debido a que la técnica de la invención soporta la combinación de muchos submodelos diferentes, los cálculos se pueden simplificar asignando un submodelo a cada emplazamiento calibrado. Los números de referencia 611 a 613 indican tres de estos submodelos de calibración. Cada uno de los submodelos de calibración 611 a 613, por sí mismo, es muy simple. Por ejemplo, el submodelo 611 establece que si  $F_1$  es la mejor coincidencia para la distribución de probabilidades observada de un valor de señal, entonces el dispositivo objetivo se encuentra en el emplazamiento  $Q_1$ . Cada uno de los submodelos de calibración 611 a 613 puede expresarse formalmente por medio de una fórmula:

$$F_C(o | q) = F_A(o) \quad [ 11 ]$$

en la que  $F$  es la función de distribución acumulativa de un valor de señal,  $o$  es una observación,  $q$  es un emplazamiento y  $A$  es el área cubierta por el submodelo. Las áreas  $A$  se pueden seleccionar de manera que un submodelo basado en  $Q_i$  cubra toda el área para la cual el emplazamiento  $Q_i$  es el emplazamiento calibrado más cercano. En lenguaje llano, la ecuación 11 dice que la función  $F$  no es una función del emplazamiento  $q$  después de todo sino que es constante en toda el área  $A$ . Los números de referencia 621 a 623 denotan versiones anteriores de los submodelos de calibración 611 a 613.

El número de referencia 631 denota un modelo de propagación. Un modelo de propagación puede expresarse formalmente por medio de una fórmula:

$$F_P = F(o | q) \quad [ 12 ]$$

La ecuación 12 significa que la función  $F_P$  para un modelo de propagación depende del emplazamiento, es decir, una función del emplazamiento  $q$ . La función  $F(o | q)$  puede ser una función discreta, lo que significa que los valores de la función se calculan para varios puntos de muestra, o puede ser una función continua. Se puede formar una función continua ajustando un polinomio, ranura u otra curva adecuada a los puntos de muestra calculados.

Los diferentes modelos 611 a 631 se pueden combinar utilizando la siguiente ecuación:

$$F_{PM}^{-1}(o | q) = \frac{\sum_{i=1}^N F_i^{-1}(o | q) \cdot W_i(q)}{\sum_{i=1}^N W_i(q)} \quad [ 13 ]$$

En la ecuación 13, N es el número de submodelos,  $F_i^{-1}$  es la función inversa de la función F del submodelo i, y  $W_i(q)$  es el peso asignado al submodelo i en el emplazamiento q. Por lo tanto, los pesos dependen del emplazamiento, como se describe en relación con las figuras 4 y 5. En lenguaje llano, la ecuación 13 significa que la función inversa

5 del modelo probabilístico, a saber  $F_{PM}^{-1}$ , se puede calcular ponderando y sumando la función inversa  $F_i^{-1}$  de la función  $F_i$  de cada submodelo i. A continuación, la suma ponderada se normaliza dividiendo por la suma de los pesos  $W_i(q)$ . La función  $F_{PM}$  para el modelo probabilístico PM se calcula tomando el inverso de la función inversa  $F_{PM}^{-1}$ . El cálculo de la ecuación 13 se debe repetir para cada canal. También se debe repetir para cada tipo de valor de señal, como la intensidad de la señal, la tasa / relación de error de bits, la relación señal / ruido, etc.

10 El modelo probabilístico PM que se muestra en la figura 6 comprende una función F (distribución de probabilidad) para varios puntos de muestra, de los cuales se muestran cinco, a saber,  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_x$  y  $Q_y$ . Los números de referencia 641 a 645 indican cinco pares de un punto de muestra  $Q_i$  y la función correspondiente  $F_i$  en ese punto. En este ejemplo, los puntos de muestra  $Q_1, Q_2$  y  $Q_3$  son emplazamientos calibrados, es decir, hay un submodelo de calibración respectivo 611 a 613. Los puntos de muestra  $Q_x$  y  $Q_y$  son puntos para los cuales las medidas de calibración reales no están disponibles, y las funciones correspondientes  $F_x$  y  $F_y$  se derivan por interpolación / extrapolación de los submodelos de calibración 611 a 623 y / o del modelo de propagación 631.

La ecuación 13 se calcula para cada uno de los puntos de muestra 641 a 645 en el modelo probabilístico. Lo que queda por hacer es asignar los pesos relativos  $W_i$ . Debido a que la ecuación 13 está normalizada, los valores absolutos de los pesos son irrelevantes; Lo que importa son los pesos relativos. El número de referencia 65 generalmente denota los pesos  $W_i$ . Se muestran esquemáticamente cuatro pesos diferentes. Una flecha gruesa representa un peso grande, una flecha delgada representa un peso medio y una flecha discontinua representa un peso pequeño. Una flecha que falta significa un peso cero. Las ponderaciones se seleccionan en función de algún nivel de confianza, en el que el nivel de confianza es una medida de la capacidad del submodelo para predecir la función  $F_i$  en ese punto de muestra. Por ejemplo, la referencia 641 denota la función  $F_1$  para el punto de muestra  $Q_1$ . En este ejemplo, debido a que existe un submodelo de calibración 611 para el punto de muestra  $Q_1$  y se supone que el submodelo 611 es muy reciente, el nivel de confianza del submodelo 611 es alto y la función  $F_1$  para el punto de muestra  $Q_1$  se determina únicamente sobre la base del submodelo 611. La referencia 642 denota la función  $F_2$  para el punto de muestra  $Q_2$ . Aquí, el supuesto es que el submodelo de calibración más reciente 612 tiene un peso grande y el submodelo de calibración anterior 622 tiene un peso pequeño. La referencia 643 denota la función  $F_3$  para el punto de muestra  $Q_3$ . La función  $F_3$  está fuertemente influenciada por el submodelo correspondiente 613 y débilmente influenciada por el submodelo de calibración anterior 623. También está débilmente influenciada por el modelo de propagación 631.

Los números de referencia 644 y 645 indican respectivamente puntos de muestra  $Q_x$  y  $Q_y$  para los cuales las medidas de calibración reales no están disponibles. En este ejemplo, el punto de muestra  $Q_x$  (referencia 644) es determinado únicamente por interpolación sobre la base de los tres submodelos de calibración 611 a 613. El punto de muestra  $Q_x$  se asume que es sustancialmente equidistante de los emplazamientos calibrados  $Q_1, Q_2$  y  $Q_3$ , y los pesos relativos son aproximadamente iguales. El punto de muestra  $Q_y$  (referencia 645) se supone que está cerca de  $Q_3$ , y el peso relativo es fuerte, pero la función correspondiente  $F_y$  también está influenciada por el modelo de propagación 631 y el submodelo de calibración 612 para el emplazamiento  $Q_2$ .

40 La figura 7 es un diagrama de bloques de un módulo de estimación de emplazamiento LEM ejemplar para estimar el emplazamiento del dispositivo objetivo en base a los valores de señal en la interfaz de radio RI. La figura 7 muestra un módulo de estimación de emplazamiento compacto LEM, pero también son posibles realizaciones más distribuidas. Una característica esencial del módulo de estimación de emplazamiento es un modelo probabilístico PM del entorno inalámbrico del dispositivo objetivo, pudiendo predecir el modelo probabilístico el emplazamiento del dispositivo objetivo dada una pluralidad de observaciones desde la interfaz de radio. En este ejemplo, el modelo probabilístico PM se construye y mantiene por medio de un módulo de construcción de modelos MCM. El módulo de construcción de modelos MCM construye y mantiene el modelo probabilístico sobre la base de los datos de calibración CD o de los datos de propagación PD en forma de uno o más modelos de propagación, o cualquier combinación de ellos. Los datos de calibración CD son el resultado de medir físicamente los valores de señal en emplazamientos conocidos (o determinar las coordenadas de esos emplazamientos si no se conocen por otros medios). Opcionalmente, los registros de datos de calibración también pueden comprender el momento en el que se realizó la medición, en caso de que los parámetros de la señal varíen con el tiempo. En lugar de los datos de calibración CD, o además de ellos, se pueden usar uno o más modelos de propagación PD para modelar la interfaz de radio RI. Los modelos de propagación pueden ser contruidos por medio de técnicas análogas a las técnicas de trazado de rayos para la simulación

visual. Los emplazamientos en los que se recogen las mediciones de calibración se denominan puntos de calibración. Los datos de calibración CD comprenden registros de datos, cada uno de los cuales comprende el emplazamiento del punto de calibración en cuestión y el conjunto de parámetros de señal medidos en ese punto de calibración. El emplazamiento puede expresarse en cualquier sistema de coordenadas absoluto o relativo. En casos especiales, tales como trenes, autopistas, túneles, vías navegables o similares, una sola coordenada puede ser suficiente, pero normalmente se usarán dos o tres coordenadas.

También hay un módulo de cálculo de emplazamiento LCM para producir una estimación de emplazamiento LE sobre la base del sistema operativo de observación del dispositivo objetivo y el modelo probabilístico PM. Por ejemplo, el módulo de cálculo de emplazamiento puede implementarse como un programa de software que se ejecuta en un ordenador portátil o un ordenador de bolsillo. Técnicamente, las "mediciones" y "observaciones" se pueden realizar de manera similar, pero para evitar confusiones, el término "medición" se usa generalmente para las mediciones de calibración, y los parámetros de señal obtenidos en el emplazamiento actual del dispositivo objetivo se llaman "observaciones". El conjunto de observaciones más reciente del dispositivo objetivo se llama observaciones actuales.

La figura 8A es un diagrama de bloques que ilustra un dispositivo objetivo típico T cuyo emplazamiento se va a determinar. En este ejemplo, el dispositivo objetivo T se muestra como un ordenador portátil que se comunica a través de una red de radio RN. Por ejemplo, la red de radio puede ser una red WLAN (red de área local inalámbrica). En la realización que se muestra en la figura 8A, el módulo de estimación de emplazamiento LEM que comprende el modelo probabilístico PM no está instalado en el dispositivo objetivo T. Como resultado, el dispositivo objetivo T debe enviar su sistema operativo de observación al módulo de estimación de emplazamiento LEM a través de una o más estaciones de base BS a la que está conectado. El módulo de estimación de emplazamiento LEM devuelve al dispositivo objetivo su estimación de emplazamiento LE a través de la interfaz de radio RI.

La figura 8B muestra una realización alternativa en la que el PC de ordenador conectado al dispositivo objetivo recibe una copia del modelo probabilístico PM en una memoria extraíble DM, tal como un disco CD - ROM, y el dispositivo objetivo T puede determinar su propio emplazamiento sin transmitir nada. Como otra alternativa adicional (que no se muestra por separado), el ordenador PC conectado puede recibir el modelo probabilístico a través de una conexión de Internet (o cualquier otro dato) al módulo de estimación de emplazamiento LEM. Las estaciones móviles de banda ancha pueden recibir el modelo probabilístico a través de la interfaz de radio RI. También se puede utilizar un híbrido de las tecnologías de manera que el receptor reciba un modelo probabilístico inicial a través de una conexión por cable o en la memoria extraíble, pero las actualizaciones posteriores al modelo se envíen a través de la interfaz de radio.



**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento, implementado por un módulo de estimación de emplazamiento de un dispositivo, para estimar el emplazamiento de un dispositivo objetivo (T), en el que el dispositivo objetivo es operable para moverse en un entorno inalámbrico (RN) y para comunicarse con el entorno inalámbrico utilizando señales, teniendo cada una de ellas, al menos un valor de señal medible (x);
- 5 comprendiendo el procedimiento :
- formar una pluralidad de submodelos de calibración (611 - 613) del entorno inalámbrico (RN), indicando cada submodelo de calibración una distribución de probabilidades ( $F_1 - F_3$ ) para los valores de señal esperados en un emplazamiento calibrado respectivo ( $Q_1 - Q_3$ ) en el entorno inalámbrico, en el que los submodelos de calibración se basan en mediciones de calibración;
  - 10 – combinar los submodelos de calibración para proporcionar un modelo probabilístico (PM), indicando el modelo probabilístico (PM) una distribución de probabilidades ( $F_1 - F_3$ ) para valores de señal en cada una de una pluralidad de emplazamientos de muestra ( $Q_1 - Q_Y$ ) en el entorno inalámbrico, en el que la pluralidad de emplazamientos de muestra ( $Q_1 - Q_Y$ ) comprende los emplazamientos calibrados ( $Q_1 - Q_3$ ) y uno o más emplazamientos nuevos ( $Q_X - Q_Y$ ) para los cuales las mediciones de calibración reales no están disponibles;
  - 15 – estimar el emplazamiento del dispositivo objetivo en base a la aplicación de un conjunto de observaciones del dispositivo objetivo (OS) de los valores de señal (x) recibidos en el entorno inalámbrico en el emplazamiento del dispositivo objetivo al modelo probabilístico (PM);
- 20 en el que el paso de combinar comprende:
- para cada uno de la pluralidad de submodelos de calibración (611 - 621), formar su función de distribución acumulativa (31, 32) de los valores de señal esperados;
  - para cada uno de la pluralidad de emplazamientos de muestra ( $Q_1 - Q_Y$ ), asignar un peso relativo respectivo ( $W_1, W_2, W_i, 65$ ) para cada uno de la pluralidad de submodelos de calibración (611 - 613), siendo seleccionado cada peso relativo en función de la capacidad del submodelo de calibración respectivo para predecir la distribución acumulativa del valor de la señal en el emplazamiento de muestra respectivo, y para cada uno de la pluralidad de emplazamientos de muestra que forman además una combinación ponderada de las funciones de distribución acumulativa, en el que la combinación ponderada de las funciones de distribución acumulativa es una suma normalizada de productos de una función de distribución acumulativa inversa de valores de señal esperados de cada uno de la pluralidad de calibraciones de submodelos multiplicado por su peso relativo respectivo en el emplazamiento de muestra respectivo, en el que la suma normalizada del producto se normaliza dividiendo por una suma de todos los pesos respectivos para el emplazamiento de muestra respectivo; y
  - 25 – formar la distribución de probabilidades (34, 641 - 645) para el modelo probabilístico (PM) en cada uno de la pluralidad de puntos de muestra ( $Q_1 - Q_Y$ ) tomando una inversa de su suma ponderada normalizada respectiva.
- 30
2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que, para cada nuevo emplazamiento de muestra para el que no hay mediciones de calibración disponibles, se asigna un peso a cada uno de la pluralidad de submodelos de calibración y se selecciona la base de la distancia del nuevo punto de muestra insertado del emplazamiento calibrado del submodelo de calibración respectivo, de modo que el peso relativo y la distancia estén en relación inversa uno con la otra.
3. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que se usan submodelos de propagación (631) basados en la modelización del entorno de emplazamiento inalámbrico mediante simulaciones o cálculos además de los submodelos de calibración de la misma manera que se usan los submodelos de calibración para la etapa de combinación, el submodelo de propagación para cada emplazamiento de muestra ( $Q_1 - Q_Y$ ) depende del emplazamiento, en función del emplazamiento de la muestra.
4. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la etapa de estimación del emplazamiento se realiza en el dispositivo objetivo (T).
5. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la etapa de estimación del emplazamiento se realiza en un equipo fijo al que el dispositivo objetivo informa la secuencia de observaciones a través de una red de radio (RN).
- 50

6. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el al menos un valor de señal medible (x) comprende la intensidad de la señal.
7. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que al menos un valor de señal medible (x) comprende una tasa o relación de error de bits.
- 5 8. Un módulo de construcción de modelo (MCM) para construir un modelo probabilístico (PM) de un entorno inalámbrico (RN) en el que un dispositivo objetivo (T) es operable para comunicarse utilizando señales, cada una de las cuales tiene al menos un valor de señal medible (x);

**caracterizado en que** el módulo de modelo de construcción comprende: un código de software que, cuando se ejecuta en un ordenador, ejecuta el procedimiento definido en la reivindicación 1.

10

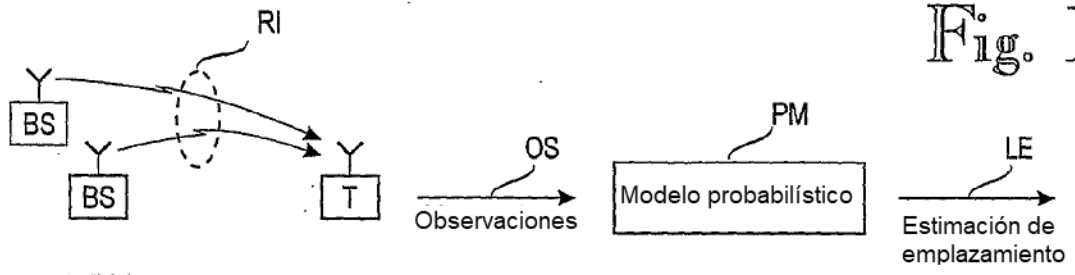


Fig. 1

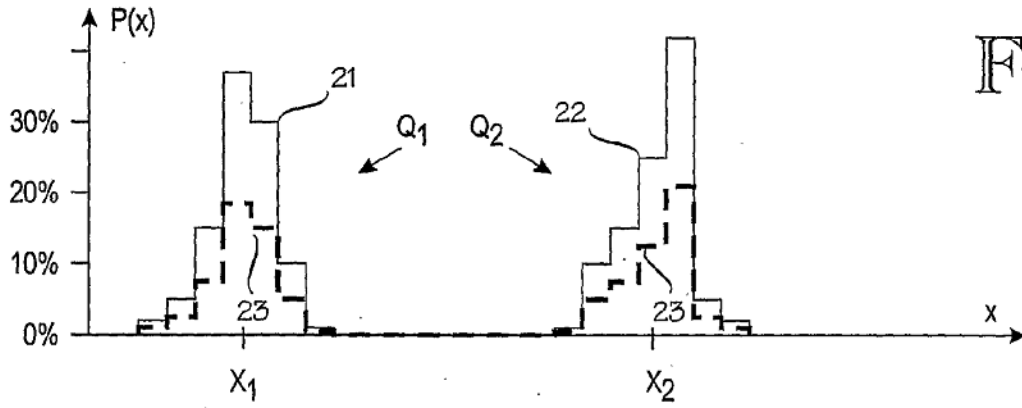


Fig. 2

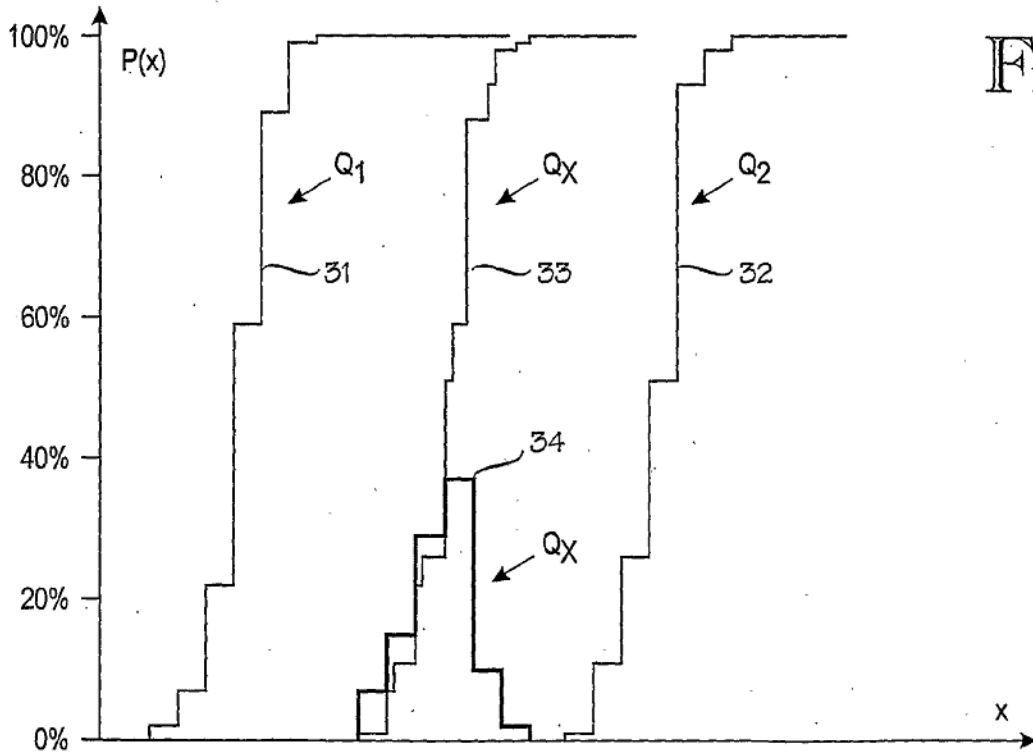


Fig. 3

Fig. 4

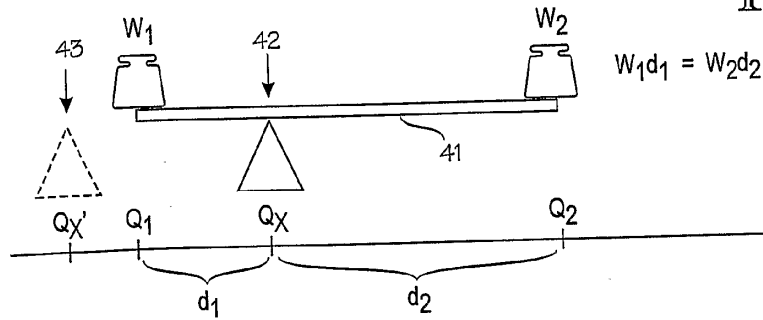


Fig. 5

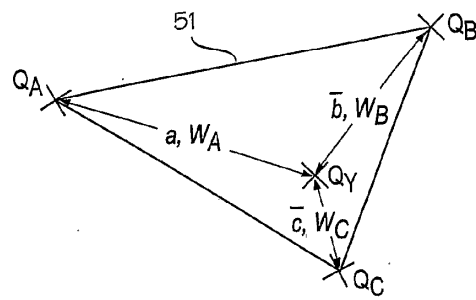


Fig. 6

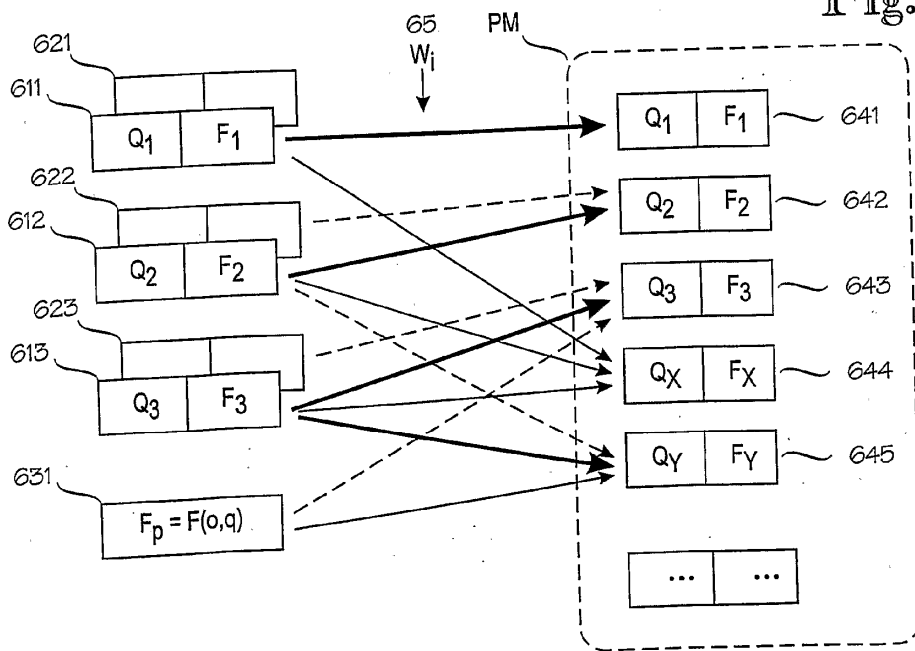


Fig. 7

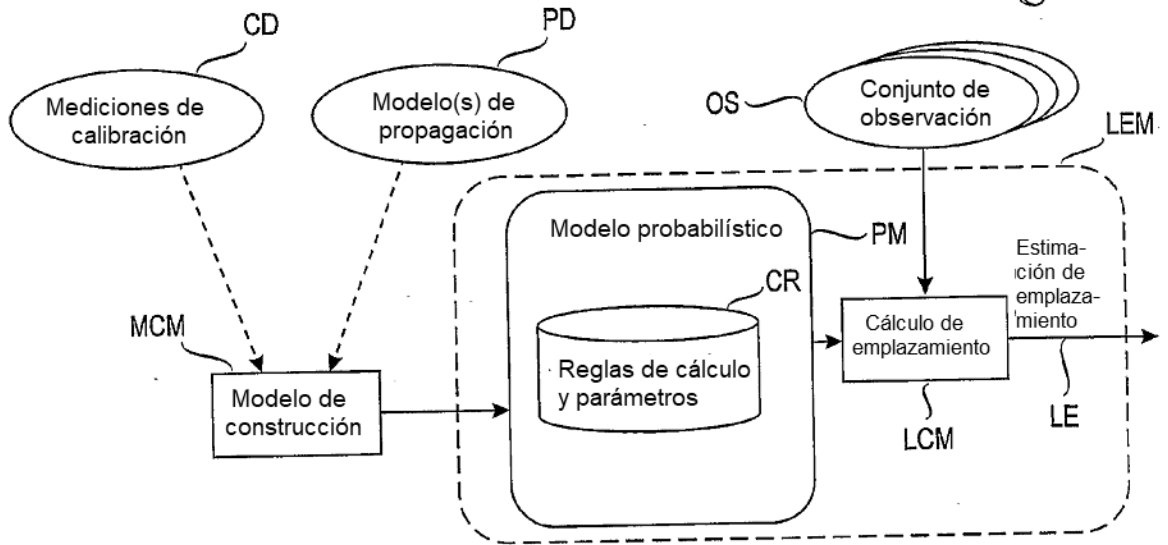


Fig. 8A

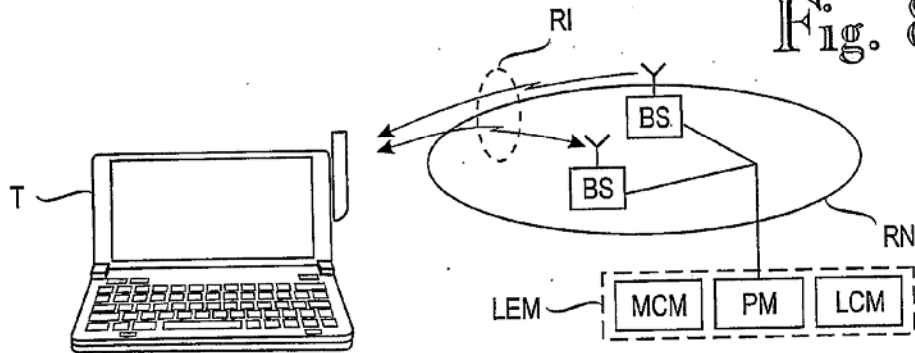


Fig. 8B

