

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 589 653**

51 Int. Cl.:

**G01S 5/02** (2006.01)

**G01S 5/14** (2006.01)

**G01S 13/46** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.07.2010 PCT/EP2010/060343**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.01.2011 WO11006998**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.07.2010 E 10737311 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.06.2016 EP 2454604**

54 Título: **Procedimiento para calibrar un sistema de localización basado en el tiempo de propagación**

30 Prioridad:

**17.07.2009 DE 102009033603**

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

**15.11.2016**

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)  
Wittelsbacherplatz 2  
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**MARCHENKO, MAKSYM;  
RAMIREZ, ALEJANDRO y  
SCHWINGENSCHLÖGL, CHRISTIAN**

74 Agente/Representante:

**LOZANO GANDIA, José**

ES 2 589 653 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).

**PROCEDIMIENTO PARA CALIBRAR UN SISTEMA DE LOCALIZACIÓN BASADO EN EL TIEMPO DE PROPAGACIÓN**

**DESCRIPCIÓN**

- 5 La invención se refiere a un procedimiento para calibrar un sistema de localización basado en el tiempo de propagación, así como a un sistema de localización correspondiente.
- 10 Por el estado de la técnica se conocen diversos procedimientos y sistemas para localizar objetos móviles en base a las señales transmitidas de forma inalámbrica. En particular existen procedimientos basados en la intensidad de campo, en los que mediante la intensidad de campo de señales de radio o señales de conmutación intercambiadas entre un objeto móvil y diversas estaciones de base se determina la ubicación del objeto móvil. Además, se conocen los llamados procedimientos basados en el tiempo de propagación, en los que mediante tiempos de propagación de señales entre las respectivas estaciones de base y el objeto, se determina su posición.
- 15 Para determinar la posición exacta deben calibrarse adecuadamente los sistemas de localización. Por lo general, una calibración se lleva a cabo de tal manera que el objeto móvil se coloca en una pluralidad de posiciones conocidas y se mide la intensidad de campo correspondiente en la posición respectiva. De esta manera se obtiene un mapa con las intensidades de campo correspondientes medidas en una pluralidad de puntos, en el que al realizar la localización puede determinarse entonces la posición comparando las mediciones realizadas en ese momento con los valores correspondientes en el mapa. Estos procedimientos de calibración manual son complejos y deben ser realizados por expertos, porque el objeto móvil tiene que ser colocado en posiciones predeterminadas durante la calibración. Por el estado de la técnica se conocen también procedimientos de calibración automáticos, pero estos procedimientos son muy costosos y utilizan algoritmos complejos.
- 20
- 25 El documento DE 10 2006 045 350 A1 describe un procedimiento para determinar la distancia entre nodos de red en una red de comunicación, en el que para una pluralidad de distancias ya conocidas entre un nodo de red emisor y un nodo de red receptor se determinan tiempos totales de propagación de señales de ida y de retorno transmitidas y recibidas y a partir de ello se determina una relación entre el tiempo total de propagación y la distancia.
- 30
- 35 En las publicaciones Bahillo A. y colab. "IEEE 802.11 Distance Estimation Based on RTS / CTS Two Frame Exchange Mechanism" (Estimación de distancia basada en RTS/CTS Mecanismo de Intercambio de doble trama), 69ª Conferencia de Tecnología Vehicular del IEEE 2009; 26-29 de abril 2009, Barcelona, España, IEEE, Piscataway, NY, EE.UU, 26 de abril de 2009 (2009-04-26), páginas 1-5, e Izquierdo F. y colab. "Performance evaluation of a TOA-based trilateration method to locate terminals in WLAN" (Evaluación del funcionamiento de un procedimiento de trilateración basado en TOA para localizar terminales en WLAN), Simposio Internacional sobre Wireless Pervasive Computing (computación generalizada inalámbrica), XX, XX, vol. 2006, 16 de enero 2006 (2006-01-16), páginas 1-6, se describen procedimientos de localización que determinan la distancia de un objeto móvil a estaciones de base en una red WLAN mediante la determinación de tiempos de propagación de señales de radio.
- 40
- 45 El objetivo de la invención es lograr un procedimiento sencillo y de implementación rápida para calibrar un sistema de localización basado en el tiempo de propagación.
- 50 Este objetivo se logra mediante el procedimiento según la reivindicación 1 y/o la reivindicación 10 y/o mediante el sistema de localización según la reivindicación 16. Otros perfeccionamientos de la invención se definen en las reivindicaciones dependientes.
- 55 En el procedimiento según la invención se calibra un sistema de localización en el que puede determinarse la posición de un objeto móvil en un entorno predeterminado mediante la captación de magnitudes basadas en el tiempo de propagación de varias estaciones de base de una red de radio. La magnitud basada en el tiempo de propagación de la respectiva estación de base representa entonces el tiempo de propagación de señales entre una unidad de radio del objeto móvil y la respectiva estación de base. La magnitud basada en el tiempo de propagación es por lo tanto una magnitud que puede ser el propio tiempo de propagación o bien una magnitud que dependa de este tiempo de propagación. El término de estación de base se ha de entender aquí en sentido amplio y comprende cualquier unidad de radio en una red de radio que cuando se localiza el objeto móvil está estacionada en una posición fija. Bajo unidad de radio en el sentido de la invención ha de entenderse aquí una unidad emisora y/o receptora en la correspondiente red de radio.
- 60
- 65 El sistema de localización a calibrar según la invención puede utilizarse tanto para determinar la posición bidimensional de un objeto móvil como también para determinar la posición tridimensional. El entorno predeterminado en el que se lleva a cabo la localización puede adoptar diversas formas, pero

preferiblemente debe ser convexo. Por ejemplo, el entorno predeterminado puede tener en una localización bidimensional forma rectangular y en una localización tridimensional forma de paralelepípedo. En una variante preferente están dispuestas además las distintas estaciones de base en el borde de un entorno predeterminado.

5

En una primera variante del procedimiento según la invención se mueve en una etapa a) el objeto móvil en el entorno predeterminado, captándose durante este movimiento en una pluralidad de instantes de medición las magnitudes basadas en el tiempo de propagación de las estaciones de base respectivas. Al respecto no tienen que conocerse las posiciones del objeto móvil en los correspondientes instantes de medición. En una etapa b) se asocia al respecto el valor mínimo de las magnitudes basadas en el tiempo de propagación de una estación de base correspondiente a una distancia mínima predeterminada del objeto móvil a la estación de base respectiva. Análogamente se asocia también el valor máximo de las magnitudes basadas en el tiempo de propagación de una estación de base respectiva a una distancia máxima predeterminada del objeto móvil a la estación de base respectiva. Por lo tanto en el procedimiento se sabe de antemano por el entorno predeterminado qué distancias mínimas y máximas puede tomar un objeto móvil a las estaciones de base individuales mientras se mueve en el entorno.

10

15

20

25

30

En una etapa c) se realiza en el procedimiento según la invención la escalación para una estación de base respectiva de una dependencia predeterminada entre las distancias del objeto móvil a la estación de base respectiva y las magnitudes basadas en el tiempo de propagación de la estación de base respectiva basándose en la asociación realizada en la etapa b) del valor mínimo a la distancia mínima y del valor máximo a la distancia máxima. Es decir, en el procedimiento se parte de antemano de una dependencia (no escalada) entre las distancias y las magnitudes basadas en el tiempo de propagación, adaptándose en el marco de la invención la dependencia (la función) tal que a la distancia mínima da como resultado el correspondiente valor mínimo asignado de la magnitud basada en el tiempo de propagación y a la distancia máxima da como resultado el valor máximo correspondiente asignado de la magnitud basada en el tiempo de propagación. La función escalada así determinada se utiliza entonces en una determinación de la posición del objeto móvil para determinar las distancias del objeto móvil a las estaciones de base a partir de las magnitudes basadas en el tiempo de propagación.

35

En el marco de la invención, se aprovecha el conocimiento de que existe una evolución de la curva independiente del entorno de localización actual, que describe la relación entre la distancia del objeto móvil a una estación de base y la magnitud basada en el tiempo de propagación. Esta función predeterminada puede determinarse aquí de antemano para cada estación de base, por ejemplo ya durante la fabricación de la estación de base. Mediante una escalación adecuada de esta dependencia (función) resulta posible a continuación una calibración sencilla, en la que no tiene que conocerse la posición del objeto móvil en los instantes de medida en los que se registran las magnitudes basadas en el tiempo de propagación.

40

45

En una forma de realización particularmente preferida del procedimiento según la invención, la dependencia predeterminada se da como una dependencia funcional con uno o varios parámetros libres, adaptándose en la escalación los parámetros libres a la asignación del valor mínimo a la distancia mínima y del valor máximo a la distancia máxima. Por ejemplo puede describirse la función de la dependencia mediante una ecuación lineal, en la que la pendiente y el desplazamiento en la dirección de las ordenadas no se conocen. Con la ayuda de la asignación de las distancias máxima y mínima correspondientes a los respectivos valores máximos y mínimos, pueden determinarse entonces la pendiente y el desplazamiento, a partir de lo cual se obtiene una ecuación lineal inequívoca, que entonces representa una función escalada en el sentido de la invención.

50

55

La dependencia predeterminada entre las distancias y las magnitudes basadas en el tiempo de propagación de una estación de base dada se puede configurar como se desee, pudiendo representarse en particular la misma lineal o logarítmicamente o estar representada por un polinomio. La función puede por ejemplo estar determinada a partir de una pluralidad de magnitudes basadas en el tiempo de propagación medidas a distancias conocidas de un objeto móvil a una estación de base por medio de una aproximación de una función a los valores medidos, por ejemplo mediante una interpolación.

60

Para asegurar con el procedimiento según la invención una determinación de posición precisa e inequívoca, se determinan con preferencia las magnitudes basadas en el tiempo de propagación de al menos tres estaciones de base. Cuanto más estaciones de base se utilicen en el procedimiento, más preciso será el procedimiento y para las magnitudes basadas en el tiempo de propagación se puede comprobar opcionalmente la plausibilidad una frente a otra.

65

En otra forma de realización especialmente preferida se utilizan como magnitud basada en el tiempo de propagación los tiempos de ida y de retorno de las señales de la estación de base a la unidad de radio del objeto móvil y desde allí de retorno a la estación de base. Es decir, una magnitud basada en el tiempo de propagación corresponde al espacio de tiempo que transcurre desde la emisión de una señal de petición de la estación de base respectiva a la unidad de radio del objeto móvil hasta la recepción en la estación

de base correspondiente de una señal de respuesta emitida por la unidad de radio como respuesta a la señal de petición.

5 En el procedimiento según la invención pueden utilizarse cualquiera de los estándares conocidos para la red de radio. Por ejemplo puede basarse la red de radio en un estándar de WLAN, es decir, en un estándar de la familia IEEE 802.11, o en un estándar RFID (RFID = Radio Frequency Identification, Identificación de frecuencia de radio). En este último estándar representa una estación de base en particular un aparato lector correspondiente, que emite señales a un transpondedor RFID en el objeto móvil y las recibe del mismo.

10 En una forma de realización especialmente preferida del procedimiento según la invención, la calibración se lleva a cabo de forma iterativa durante el movimiento del objeto, complementándose en cada etapa de iteración la pluralidad de instantes de medición en los instantes de medición añadidos desde la última etapa de medición con magnitudes basadas en el tiempo de propagación correspondientemente detectadas y realizándose sobre la base de la nueva pluralidad de puntos de medida resultante las etapas b) y c) antes descritas, realizándose la etapa c) en particular sólo cuando resulta un nuevo valor máximo o mínimo en comparación con la última etapa de iteración. No obstante, dado el caso existe también la posibilidad de que primeramente se midan sólo las correspondientes magnitudes basadas en el tiempo de propagación durante el movimiento del objeto móvil en el entorno predeterminado y sólo a continuación se realicen basándose en las magnitudes basadas en el tiempo de propagación las etapas b) y c).

25 Además del procedimiento de calibración antes descrito, la invención incluye un procedimiento para localizar un objeto móvil con un sistema de localización basado en el tiempo de propagación, calibrándose el sistema de localización con el procedimiento correspondiente a la invención y utilizándose la función escalada determinada durante la calibración para determinar la posición del objeto móvil para la determinación de las distancias del objeto móvil a las estaciones de base a partir de las magnitudes basadas en el tiempo de propagación. La determinación de la posición se realiza entonces por ejemplo mediante multilateración (por ejemplo trilateración) en base a las distancias determinadas del objeto móvil a las estaciones de base. Igualmente puede utilizarse el procedimiento para determinar la posición descrito en la solicitud de patente alemana con el núm. 10 2008 004 257.9 o bien el descrito en la solicitud PCT PCT/EP2008 068162. Preferiblemente este procedimiento se combina con el procedimiento de calibración iterativo antes descrito de tal manera que durante la calibración se realiza una determinación de la posición del objeto móvil para al menos una parte de los instantes de medición con ayuda de la función escalada determinada en la etapa de iteración actual. De esta manera puede realizarse en paralelo a la calibración al mismo tiempo también una localización.

40 El objetivo de la invención mencionado al principio se consigue según una segunda variante del procedimiento según la invención por medio de una calibración en una posición predeterminada dentro del entorno predeterminado. En este caso se mueve el objeto móvil hasta la posición predeterminada en el entorno, conociéndose en la posición predeterminada las distancias del objeto móvil a las estaciones de base y siendo al menos en parte diferentes. Entonces se captan en la posición predeterminada las magnitudes basadas en el tiempo de propagación de las respectivas estaciones de base. Por último, se determina en base a las magnitudes basadas en el tiempo de propagación captadas y a las distancias conocidas del objeto móvil a las estaciones de base respectivas, una dependencia entre las distancias del objeto móvil a una estación de base respectiva y las magnitudes basadas en el tiempo de propagación de la estación de base respectiva, utilizándose la dependencia en la determinación de la posición del objeto móvil para determinar las distancias del objeto móvil a las estaciones de base a partir de las magnitudes basadas en el tiempo de propagación.

50 Esta variante de la invención tiene la ventaja particular de que puede lograrse una calibración sencilla mediante sólo un proceso de medición en una única posición previamente conocida. En esta variante, se supone que las distintas estaciones de base tienen las mismas características en términos de una dependencia idéntica entre las distancias del objeto móvil a la estación de base y las magnitudes basadas en el tiempo de propagación. De esta manera puede determinarse una única función (dependencia) mediante magnitudes basadas en el tiempo de propagación medidas de diversas estaciones de base para varias distancias diferentes. La dependencia es entonces preferiblemente una función determinada mediante aproximación (por ejemplo, interpolación), que discurre a través de las magnitudes basadas en el tiempo de propagación a las distancias conocidas del objeto móvil a las estaciones de base respectivas.

60 En analogía con la primera variante, preferiblemente se utilizan también en la segunda variante al menos tres estaciones de base para la localización. Del mismo modo se utilizan como magnitudes basadas en el tiempo de propagación en particular los tiempos de ida y de retorno de señales desde la estación de base al objeto móvil y de vuelta. También se utiliza como red de radio preferiblemente una red de radio basada en un estándar WLAN o RFID.

Además del procedimiento de calibración que se acaba de describir según una segunda variante de la invención, se refiere la invención a un procedimiento para localizar un objeto móvil, en el que el sistema de localización se calibra con el procedimiento que se acaba de describir y en el que se utiliza la dependencia determinada en la calibración para determinar la posición del objeto móvil para determinar las distancias del objeto móvil a las estaciones de base a partir de las magnitudes basadas en el tiempo de propagación.

Además del procedimiento antes descrito, incluye la invención un sistema de localización con una unidad de captación y evaluación, con el que mediante la captación de magnitudes basadas en el tiempo de propagación de varias estaciones de base de una red de radio puede determinarse la posición del objeto móvil en un entorno predeterminado, representando la magnitud basada en el tiempo de propagación de la respectiva estación de base el tiempo de propagación de señales entre la unidad de radio del objeto móvil y la correspondiente estación de base. Al respecto está configurada la unidad de captación y evaluación tal que con ella puede realizarse el procedimiento correspondiente a la invención según cualquiera de las variantes antes descritas.

A continuación se describen en detalle ejemplos de ejecución de la invención en base a las figuras adjuntas.

Se muestra en:

- figura 1 una vista en planta de un entorno con una pluralidad de estaciones de base, en el que se puede realizar una localización según una forma de realización del procedimiento correspondiente a la invención;
- figura 2 una representación esquemática que ilustra la determinación de una magnitud basada en el tiempo de propagación según una forma de realización de la invención;
- figura 3 un diagrama que muestra un ejemplo de una dependencia entre las distancias de una estación de base a un objeto móvil y las magnitudes basadas en el tiempo de propagación;
- figura 4 un diagrama análogo al de la figura 3, en el que se ilustra la determinación de una posición actual de un objeto móvil; y
- figura 5 una interfaz de usuario que visualiza la determinación de la posición de un objeto móvil para un usuario en una forma de realización de un sistema de localización según la invención.

A continuación se describirán formas de realización del procedimiento según la invención en base al ejemplo de un sistema de localización para la determinación de la posición bidimensional de un objeto móvil en un entorno cerrado dentro de un edificio. La figura 1 muestra en vista en planta un ejemplo de un tal entorno en forma de un espacio cuadrado o una sala cuadrada. El entorno de la figura 1 puede ser por ejemplo un aparcamiento dentro de un edificio y las longitudes de los lados del entorno cuadrado pueden ser por ejemplo de 100 m. En cada esquina del entorno está prevista una estación de base de una red de radio. Estas estaciones de base se designan en la figura 1 con las referencias AP1, AP2, AP3 y AP4. Las estaciones de base están dispuestas fijas en el entorno y envían y/o reciben señales según un estándar de radio. Como estándar de radio se consideran al respecto en particular normas sobre la capa MAC del modelo de referencia OSI, por ejemplo un estándar WLAN o RFID. Opcionalmente pueden realizarse también cualesquiera otros estándares. El factor decisivo es más bien que el alcance de las señales de las estaciones de base sea tal que puedan recibirse las señales de objetos móviles dentro del entorno.

En el escenario de la figura 1 se representa además esquemáticamente un objeto móvil 0 que se mueve en el entorno, que tiene una unidad de radio correspondiente, que opera según la misma norma que las estaciones de base AP1 a AP4. El objeto móvil puede ser aquí por ejemplo un equipo portátil (por ejemplo un PDA o un teléfono móvil), que tiene una interfaz inalámbrica correspondiente para la comunicación con las estaciones de base. El objeto móvil puede moverse de cualquier forma dentro del entorno cuadrado. Para implementar el procedimiento según la invención, se conocen las dimensiones del entorno, de modo que se puede calcular previamente la distancia máxima del objeto móvil a cada una de las estaciones de base. Del mismo modo se conoce la distancia mínima del objeto móvil a cada una de las estaciones de base, pudiéndose suponer por ejemplo que esta distancia es típicamente de entre 1 m y 2 m, puesto que las estaciones de base usualmente se instalan aproximadamente a entre 2 m y 3 m por encima del suelo.

En una primera variante del procedimiento según la invención se mueve el objeto móvil de forma continua dentro del entorno predeterminado y se determinan entonces a intervalos de tiempo regulares magnitudes basadas en el tiempo de propagación basadas en las señales de las estaciones de base y/o de la unidad de radio del objeto móvil. Con ayuda de estas magnitudes puede calibrarse entonces un sistema de localización para determinar la posición del objeto dentro del entorno, tal como se describirá con mayor detalle a continuación. Como magnitud basada en el tiempo de propagación se mide para las distintas estaciones de base, en las formas de realización aquí descritas, el llamado "Round-Trip-Time" (en adelante también conocido como tiempo de ida y de vuelta o RTT), que se determina en base a un proceso de ping-pong representado esquemáticamente en la figura 2. En la figura 2 se representa al respecto en dirección vertical el eje del tiempos, mostrando la línea vertical izquierda AP los eventos en

una de las estaciones de base y la línea vertical derecha 0 los eventos en el objeto móvil. Para determinar el tiempo de ida y de retorno envía una estación de base en el instante T1 un paquete de datos, que se recibe en la unidad de radio del objeto móvil en el instante T2. El paquete de datos representa entonces un paquete de petición utilizado en el correspondiente estándar de radio, que es contestado por el objeto móvil con un paquete de respuesta en forma de un acuse de recibo (acknowledgement). Hasta el envío de un paquete de respuesta, el objeto móvil necesita un tiempo de procesamiento predeterminado, que en la figura 2 se conoce como PD (PD = Processing Delay, retardo de procesamiento). Después del procesamiento, se envía en el instante T3 mediante la unidad de radio del objeto móvil el paquete de respuesta, que se recibe en el instante T4 de nuevo en la correspondiente estación de base. Por medio de la marca de tiempo correspondiente de los paquetes puede entonces determinarse el tiempo de recorrido  $RTT = T4 - T1$ . Puesto que las señales se mueven aproximadamente con la velocidad de la luz  $c$ , puede determinarse en principio y bajo condiciones ideales, conociéndose el tiempo de procesamiento PD, la distancia  $d$  entre la estación de base y el objeto móvil de la siguiente manera:

$$d = c \cdot (T4 - T1 - PD) / 2 \quad (1)$$

El tiempo de procesamiento PD es aquí sustancialmente mayor que el tiempo de recorrido de la señal. Además el tiempo de procesamiento puede depender fuertemente de los componentes de hardware utilizados en la unidad de radio del objeto móvil. En particular, el tiempo de procesamiento de los componentes de hardware de diferentes fabricantes suele ser diferente e incluso entre diferentes modelos del mismo fabricante resultan distintos tiempos de procesamiento. Por esta razón es difícil la determinación de la distancia entre el objeto móvil y la estación de base según la fórmula anterior con componentes de hardware estándar. En las formas de realización descritas a continuación del procedimiento según la invención, este inconveniente se elimina porque en la calibración del sistema de localización y la determinación de la posición realizada a continuación, el tiempo de procesamiento PD no tiene que ser conocido. Debe determinarse solamente el tiempo de ida y de vuelta RTT en la calibración o la localización del objeto móvil como magnitud de entrada.

A continuación se describe primeramente una variante del procedimiento según la invención, en la que se realizan a la vez una calibración y una localización del objeto móvil. Se supone aquí que el objeto móvil se mueve durante bastante tiempo en el entorno predeterminado y que mientras asume con respecto a cada una de las estaciones de base una o más veces posiciones en las que la distancia a la estación de base respectiva es máxima y/o mínima. En el movimiento del objeto móvil se miden continuamente los correspondientes tiempos de recorrido RTT según el antes citado proceso de ping-pong de cada una de las estaciones de base. En comparación con el estado de la técnica es ventajoso que durante la calibración relativa a los instantes de medición, en los que se mide RTT, no tiene que conocerse la posición del objeto móvil dentro del entorno. Por lo tanto, no tiene que realizar la calibración personal especialmente adiestrado, que se mueva gradualmente a través del entorno predeterminado y que se coloque con el objeto móvil en posiciones predeterminadas conocidas, en las que se midan entonces los correspondientes tiempos RTT. En lugar de ello, puede darse el objeto móvil a cualesquiera personas que se muevan durante mucho tiempo en el entorno predeterminado, discurriendo la calibración automáticamente, sin que la correspondiente persona tenga que ser informada en absoluto al respecto.

Para implementar el procedimiento según la invención, se aprovecha el hecho de que existe una dependencia funcional entre la distancia del objeto móvil a la estación de base respectiva y el tiempo de ida y de retorno RTT. Esta dependencia ya se conoce previamente y no depende del entorno en el que están instaladas las estaciones de base, pudiendo determinarse de antemano, por ejemplo en la fábrica en la que se fabrican las estaciones de base. La función (dependencia) correspondiente puede ser entonces diferente para cada una de las estaciones de base individuales. En particular, puede suponerse por ejemplo una relación lineal entre la distancia  $d$  del objeto móvil a la estación de base y el correspondiente tiempo de recorrido RTT (véase la ecuación (1)). Sin embargo, para conseguir resultados más precisos, debe modelarse mejor la dependencia, ya que se ha demostrado en la práctica que el tiempo de recorrido no siempre se comporta linealmente debido a reflexiones de la señal. En particular cuando las estaciones de base funcionan según el estándar RFID, resulta una relación logarítmica entre la distancia  $d$  y el tiempo RTT.

La figura 3 muestra un ejemplo de una dependencia entre el tiempo de recorrido RTT y una distancia  $d$  de un objeto móvil a una estación de base. Las distancias  $d$  son entonces las distancias en el entorno bidimensional correspondiente en el que el objeto se mueve. Hay aquí una distancia mínima  $d_{min}$  y una distancia máxima  $d_{max}$ , pudiendo tomarse en el escenario de la figura 1  $d_{min} = 0$  m y  $d_{max} = 100$  m. Los correspondientes tiempos de propagación en la posición  $d_{min}$  y  $d_{max}$  se denominan en la figura 3  $min$  y  $max$ . La evolución del tiempo de propagación RTT en función de la distancia  $d$  se designa con  $f(d)$ . En la variante aquí descrita de la invención se conoce al comienzo de la calibración para cada estación de base una dependencia funcional no escalada entre  $d$  y RTT, es decir, que  $f(d)$  es una función con varios parámetros aún no determinados y/o que han de adaptarse. Si se considera por ejemplo una función (dependencia) lineal, entonces  $f(d) = a \cdot d + b$ , donde los parámetros  $a$  y  $b$  todavía no están determinados y/o escalados y se determinan durante la calibración que se describe a continuación.  $f(d)$  también puede

tener cualquier otra configuración, pudiendo ser por ejemplo un polinomio determinado por interpolación de mediciones llevadas a cabo anteriormente para determinar la relación funcional entre  $d$  y RTT. Como ya se ha mencionado anteriormente, la relación funcional entre  $d$  y RTT también puede estar descrita por una función logarítmica.

5

El objeto móvil  $O$  se mueve durante la calibración en el entorno predeterminado. Para una pluralidad de puntos de medición se capta entonces el tiempo de recorrido RTT para cada una de las estaciones de base y a partir de los valores captados se eligen continuamente el valor mínimo y el valor máximo de los tiempos de recorrido. Sobre la base de los valores máximos y mínimos actuales se realiza de manera adecuada la escalación de la dependencia funcional  $f(d)$ . La escalación se lleva a cabo entonces de tal manera que el valor mínimo del tiempo de recorrido RTT se presenta a la distancia mínima  $d_{min}$  y el valor máximo del tiempo de recorrido RTT se presenta a la distancia máxima  $d_{max}$ , viniendo predeterminadas la distancia mínima y la máxima por el entorno predeterminado. Se realiza así una determinación correspondiente de parámetros libres de la función  $f(d)$ , mediante lo cual se obtiene una función fija, adaptada al caso de aplicación, para describir la relación entre  $d$  y RTT. En el caso anterior de una dependencia lineal, corresponde el parámetro  $b$  al valor mínimo  $min$  y  $a$  corresponde al valor  $(max - min) / (d_{max} - d_{min})$ .

10

15

20

25

30

Una vez que basándose en el valor mínimo y el valor máximo de RTT actuales se ha determinado la función  $f(d)$ , se determina la posición actual del objeto móvil, que se muestra en el diagrama de la Fig. 4. Basándose en el valor actual  $cur$  del tiempo de propagación RTT, se determina a continuación, basándose en la función  $f(d)$  ahora disponible, la distancia en ese momento  $d_{cur}$  entre el objeto móvil y la estación de base considerada en ese momento. Esto se realiza determinando el punto de intersección de la línea horizontal que parte del valor  $cur$  con la función  $f(d)$  y determinando para este punto de intersección el correspondiente valor  $d_{cur}$  a lo largo de la abscisa. De esta manera se realiza continuamente durante el movimiento del objeto por un lado una calibración mediante la correspondiente escalación de la función  $f(d)$  y por otro lado una determinación de la posición, mejorando continuamente la determinación de la posición cuanto más tiempo se mueva el objeto en el entorno, ya que así se asegura que el objeto también ha tomado realmente posiciones con distancia mínima y máxima a las respectivas estaciones de base.

35

40

45

En resumen, la calibración que se acaba de describir y la localización simultánea de un objeto móvil discurren tal que el objeto se mueve hasta diferentes posiciones desconocidas, captándose para cada nueva posición desconocida los tiempos de propagación RTT con respecto a cada estación de base. A continuación se comparan los valores recién detectados con los valores actuales para los tiempos de propagación mínimo y máximo. Si el valor actual del RTT para una estación de base es menor que el valor mínimo actual, se sustituye el valor mínimo por el nuevo valor actual. Si el valor actual del RTT para una estación de base es mayor que el valor máximo actual, se sustituye el valor máximo por el valor actual. Cuando se realiza una tal sustitución de los valores mínimo y/o máximo, se adapta a continuación también la dependencia funcional o función  $f(d)$  adecuadamente al nuevo valor mínimo y/o máximo. Por último, basándose en de la función  $f(d)$  se estima adicionalmente la posición actual, tal como se ha descrito en base a la figura 4. Se obtiene así en la calibración una estimación de las distancias del objeto móvil a cada estación de base. Los datos de cada estación de base se reúnen entonces en una unidad de procesamiento, por ejemplo en un servidor central, al que se transmiten los datos de cada estación de base. Allí se determina finalmente la posición del objeto móvil mediante algoritmos adecuados conocidos por el estado de la técnica, en particular por multilateración (por ejemplo trilateración).

50

55

La figura 5 muestra un ejemplo de una interfaz de usuario, sobre la que se muestran visualmente al usuario los resultados de la calibración y/o estimación de la posición. Las referencias que allí se muestran no son parte de la interfaz de usuario. En la interfaz de usuario, que se visualiza en un monitor, está indicado el entorno predeterminado considerado en el que se mueve el objeto  $O$ , como superficie cuadrada  $R$ . Se considera aquí una superficie cuadrada con una longitud lateral de 25 m. En las esquinas de esta superficie se encuentran respectivas estaciones de base AP1, AP2, AP3 y AP4. Al usuario se le indica mediante un pequeño triángulo dentro de la superficie cuadrada  $R$  la posición determinada actualmente para el objeto  $O$ .

60

65

Además de la superficie cuadrada  $R$ , se incluyen en la interfaz de usuario los correspondientes diagramas D1, D2, D3 y D4, que representan la dependencia funcional recién determinada entre la distancia  $d$  a la estación de base respectiva y el tiempo de propagación RTT. El diagrama D1 se refiere entonces a la estación de base AP1, el diagrama D2 a la estación de base AP2, el diagrama D3 a la estación de base AP3 y el diagrama D4 a la estación de base AP4. En un diagrama correspondiente se indica a lo largo de las abscisas la distancia  $d$  y a lo largo de las ordenadas el tiempo de propagación RTT. Los distintos diagramas contienen la función  $f(d)$  y por lo tanto corresponden a formas de realización del diagrama representado en la figura 4, pero suponiéndose ahora a diferencia de la figura 4 una relación lineal entre la distancia  $d$  y tiempo de propagación RTT. Las distintas funciones se determinaron – tal como se ha descrito antes – en base a la hipótesis de una dependencia lineal y mediante una escalación basada en los valores máximos y mínimos de RTT disponibles en ese momento de la estación de base respectiva.

- 5 Sobre la base de las respectivas funciones se determinó además a partir del valor actual  $d_{cur}$  del tiempo de propagación RTT la distancia actual  $d_{cur}$  desde el objeto móvil a la estación de base correspondiente. Las magnitudes  $f(d)$ ,  $d_{cur}$  y  $d_{cur}$  se indican por razones de claridad sólo en el diagrama superior D1 mediante las correspondientes referencias. Además de los diagramas correspondientes D1 a D4, también se indican los correspondientes campos F1 a F4. Cada uno de los campos contiene entonces tres valores, siendo el valor superior el valor mínimo de RTT, el valor medio el valor máximo de RTT y el valor más bajo el valor actual  $d_{cur}$  de RTT. Por razones de claridad, los valores correspondientes se indican sólo para el campo F2 con las referencias correspondientes.
- 10 En la superficie cuadrada R se indican además las correspondientes distancias determinadas  $d_{cur}$  para cada estación de base mediante segmentos circulares C1, C2, C3 y C4 respectivamente, con el centro alrededor de la posición de las respectivas estaciones de base AP1, AP2, AP3 y AP4. Con los procedimientos conocidos por la solicitud de patente alemana antes citada con el núm. 10 2008 004 257.9 y/o por la solicitud PCT PCT/EP2008/068162 se determina entonces la posición del objeto 0, habiéndose
- 15 promediado esa posición en la forma de realización de la figura 5 de una manera adecuada, de modo que la posición se encuentra en el centro de la zona trapezoidal, que está formada por los puntos de intersección entre los distintos segmentos circulares C1 a C4. Idealmente (es decir, en una estimación de la posición sin error de medición) se cortarían los círculos individuales C1 a C4 en un único punto.
- 20 La variante del procedimiento según la invención que se acaba de describir tiene una serie de ventajas. En particular, se logra una sencilla calibración automatizada de un sistema de localización, que se puede realizar bastante más económicamente que calibraciones tradicionales. Esto se debe a que se requiere menos tiempo para la calibración, ya que no es necesario mover el objeto hasta posiciones fijas previamente conocidas. Con la calibración correspondiente a la invención pueden ahorrarse así
- 25 considerables costes, ya que la proporción de la calibración en el coste TCO (TCO = Total Costs of Ownership, costes totales de propiedad) de un sistema de localización es muy grande. Además, la calibración tampoco tiene que ser realizada ya por expertos, sino que cualquier persona puede llevar consigo el objeto móvil en el entorno predeterminado, realizándose entonces la calibración sin la intervención del usuario mediante la captación de los correspondientes tiempos de propagación RTT. Solamente tiene que quedar asegurado que el usuario recorre durante la calibración también una gran
- 30 zona del entorno predeterminado. Cuando se utiliza la calibración antes descrita, se puede prescindir de costosas recalibraciones, ya que el proceso de calibración puede correr continuamente en segundo plano y por lo tanto se adapta automáticamente a nuevas condiciones del entorno.
- 35 Los inventores pudieron mostrar además que con la forma de realización antes descrita del procedimiento según la invención se obtienen buenos resultados tanto en condiciones en las que el objeto está en la línea visual con las estaciones de base, como en condiciones en las que el objeto no está en la línea visual con las estaciones de base. También se observó que en el caso de una medición del tiempo de propagación sin línea visual entre la estación de base y el objeto, el error de medición que así resulta, que
- 40 conduce a una distancia mayor que la real, a menudo se elimina mediante otras mediciones de tiempo de propagación de otras estaciones de base sin línea visual en otras direcciones. Por lo tanto, se puede determinar muy bien en promedio la posición correcta del objeto móvil en el entorno predeterminado.
- 45 A continuación se describe otra variante simplificada del procedimiento correspondiente a la invención para calibrar un sistema de localización. Se supone al respecto que todas las estaciones del sistema presentan las mismas características, es decir, que para todas las estaciones de base existe la misma dependencia basada en la correspondiente función  $f(d)$ , que al principio no se conoce. En este caso se realiza la calibración situando el objeto móvil en una posición conocida en el entorno predeterminado, en la que las distancias a las distintas estaciones de base son conocidas y diferentes. Un tal escenario se muestra también en la figura 1. Según esa figura presenta el objeto móvil 0 distintas distancias a cada una de las estaciones de base AP1 a AP4. La calibración transcurre entonces tal que el objeto móvil se coloca en la posición conocida y a continuación se determinan los correspondientes valores de medida de los tiempos de propagación RTT. Los distintos valores de medida con las correspondientes distancias conocidas pueden registrarse entonces en un diagrama, a lo largo de cuyas abscisas está registrada la
- 50 distancia  $d$  del objeto a la estación de base y a lo largo de cuyas ordenadas está registrado el tiempo de propagación RTT determinado. Dado que, tal como se mencionó antes, las características de las estaciones de base son las mismas, puede entonces deducirse mediante una aproximación, en base a los valores de medida registrados en el diagrama, en particular mediante una interpolación, la función correspondiente  $f(d)$ , que es válida para todas las estaciones de base. Con esta función pueden deducirse a continuación durante el movimiento del objeto las distancias respectivas del objeto a las estaciones de base mediante los tiempos de propagación RTT captados. Sobre la base de estas distancias puede determinarse a su vez mediante multilateración la posición del objeto. La segunda variante de la invención que se acaba de describir tiene la ventaja particular de que se puede realizar una calibración solamente en una posición predeterminada individual con coordenadas conocidas. Se aprovecha al respecto el
- 60 conocimiento de que existe una dependencia funcional predeterminada entre las distancias del objeto móvil a una estación de base y los correspondientes tiempos de propagación RTT captados.
- 65

La segunda variante de la invención se puede usar opcionalmente también para determinar a priori la dependencia funcional entre la distancia y el tiempo de propagación para una estación de base correspondiente, escalándose a continuación esta dependencia funcional adecuadamente con la primera variante antes descrita del procedimiento correspondiente a la invención durante la calibración.

5

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para la calibración apoyada por ordenador de un sistema de localización basado en el tiempo de propagación, pudiendo determinarse en el sistema de localización mediante la captación de magnitudes basadas en el tiempo de propagación (RTT) de varias estaciones de base (AP1, AP2, ..., AP4) de una red de radio la posición de un objeto móvil (0) en un entorno predeterminado, representando la magnitud basada en el tiempo de propagación (RTT) de la estación de base respectiva (AP1, AP2, ..., AP4) el tiempo de propagación de señales entre una unidad de radio del objeto móvil (0) y la respectiva estación de base (AP1, AP2, ..., AP4),
- 10 **caracterizado porque**
- a) el objeto móvil (0) es desplazado en el entorno predeterminado y se captan a la vez en una pluralidad de instantes de medida las magnitudes basadas en el tiempo de propagación (RTT) de las correspondientes estaciones de base (AP1, AP2, ..., AP4),
- 15 b) el valor mínimo (min) de las magnitudes basadas en el tiempo de propagación (RTT) de la correspondiente estación de base (AP1, AP2, ..., AP4) se asocia a una distancia mínima predeterminada (dmin) del objeto móvil (0) a la correspondiente estación de base (AP1, AP2, ..., AP4) y el valor máximo (max) de las magnitudes basadas en el tiempo de propagación (RTT) de la correspondiente estación de base (AP1, AP2, ..., AP4) se asocia a una distancia máxima predeterminada (dmax) del objeto móvil (0) a la correspondiente estación de base (AP1, AP2, ..., AP4) correspondiente,
- 20 c) para la correspondiente estación de base (AP1, AP2, ..., AP4) se realiza la escalación de una dependencia predeterminada entre las distancias (d) del objeto móvil (0) a la correspondiente estación de base (AP1, AP2, ..., AP4) y las magnitudes basadas en el tiempo de propagación (RTT) de la estación de base respectiva (AP1, AP2, ..., AP4), la asociación del valor mínimo (min) a la distancia mínima (dmin) y del valor máximo (max) a la distancia máxima (dmax), sirviendo la dependencia escalada (f(d)) en la determinación de la posición del objeto móvil (0) para determinar las distancias (d) del objeto móvil (0) a las estaciones de base (AP1, AP2, ..., AP4) a partir de las magnitudes basadas en el tiempo de propagación (RTT).
- 25
- 30 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la dependencia predeterminada es una dependencia funcional con uno o varios parámetros libres, adaptándose en la escalación los parámetros libres a la asociación del valor mínimo (min) a la distancia mínima (dmin) y del valor máximo (max) a la distancia máxima (dmax).
- 35 3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, en el que la dependencia predeterminada es lineal o logarítmica o se representa mediante un polinomio.
- 40 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en el que las magnitudes basadas en el tiempo de propagación (RTT) se captan de al menos tres estaciones (AP1, AP2, ..., AP4).
- 45 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en el que las magnitudes basadas en el tiempo de propagación (RTT) corresponden a respectivos espacios de tiempo, que transcurren a partir del envío de una señal de petición desde la correspondiente estación de base (AP1, AP2, ..., AP4) a la unidad de radio del objeto móvil (0) hasta la recepción de una señal de respuesta enviada por la unidad de radio como respuesta a la señal de petición en la correspondiente estación de base (AP1, AP2, ..., AP4).
- 50 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en el que la red de radio se basa en un estándar WLAN o un estándar RFID.
- 55 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en el que la calibración se realiza iterativamente durante el movimiento del objeto móvil (0), complementándose en cada etapa de iteración la pluralidad de instantes de medida en los instantes de medida añadidos desde la última etapa de iteración y basándose en la nueva pluralidad de puntos de medida que resulta de ello se realiza la etapa b) y al menos cuando se modifica el valor mínimo (min) y/o el valor máximo (max) respecto a la última etapa de iteración, se realiza la etapa c).
- 60 8. Procedimiento para la localización apoyada por ordenador de un objeto móvil (0) con un sistema de localización basado en el tiempo de propagación, en el que se calibra el sistema de localización mediante un procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes y se utiliza la dependencia o función determinada escalada (f(d)) en la calibración en la determinación de la posición del objeto móvil (0) para determinar las distancias (d) del objeto móvil (0) a las estaciones de base (AP1, AP2, ..., AP4) a partir de las magnitudes basadas en el tiempo de propagación (RTT).
- 65

- 5
9. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que el sistema de localización se calibra mediante un procedimiento según la reivindicación 7, realizándose durante la calibración una determinación de la posición del objeto móvil (0) para al menos una parte de los instantes de medida con ayuda de la dependencia escalada determinada en la etapa de iteración actual.
- 10
10. Procedimiento para la calibración apoyada por ordenador de un sistema de localización basado en el tiempo de propagación, pudiendo determinarse en el sistema de localización mediante la captación de magnitudes basadas en el tiempo de propagación (RTT) de varias estaciones de base (AP1, AP2, ..., AP4) de una red de radio la posición de un objeto móvil (0) en un entorno predeterminado, representando la magnitud basada en el tiempo de propagación (RTT) de la estación de base respectiva (AP1, AP2, ..., AP4) el tiempo de propagación de señales entre una unidad de radio del objeto móvil (0) y la respectiva estación de base (AP1, AP2, ..., AP4),
- 15
- caracterizado porque** las respectivas estaciones de base (AP1, AP2, ..., AP4) presentan una dependencia idéntica ( $f(d)$ ) entre las distancias ( $d$ ) del objeto móvil (0) a la estación de base (AP1, AP2, ..., AP4) y las magnitudes basadas en el tiempo de propagación (RTT) de la correspondiente estación de base (AP1, AP2, ..., AP4), en el que:
- el objeto móvil (0) se mueve hasta la posición predeterminada en el entorno prescrito, conociéndose en la posición predeterminada las distancias del objeto móvil (0) a las estaciones de base (AP1, AP2, ..., AP4) y siendo al menos en parte diferentes;
  - en la posición predeterminada se captan las magnitudes basadas en el tiempo de propagación (RTT) de las respectivas estaciones de base (AP1, AP2, ..., AP4);
  - basándose en las magnitudes basadas en el tiempo de propagación (RTT) captadas y en las distancias conocidas del objeto móvil (0) a las estaciones de base respectivas (AP1, AP2, ..., AP4), se determina la dependencia ( $f(d)$ ) entre las distancias ( $d$ ) del objeto móvil (0) a una estación de base respectiva (AP1, AP2, ..., AP4) y las magnitudes basadas en el tiempo de propagación (RTT) de la estación de base respectiva (AP1, AP2, ..., AP4), sirviendo la dependencia ( $f(d)$ ) en la determinación de la posición del objeto móvil (0) para determinar las distancias ( $d$ ) del objeto móvil (0) a las estaciones de base (AP1, AP2, ..., AP4) a partir de las magnitudes basadas en el tiempo de propagación (RTT).
- 20
- 25
- 30
11. Procedimiento según la reivindicación 10, en el que la dependencia es una función aproximada ( $f(d)$ ), que discurre a través de las magnitudes basadas en el tiempo de propagación (RTT) captadas a las distancias conocidas del objeto móvil (0) a las respectivas estaciones de base (AP1, AP2, ..., AP4).
- 35
12. Procedimiento según la reivindicación 10 u 11, en el que se captan las magnitudes basadas en el tiempo de propagación (RTT) de al menos tres estaciones de base (AP1, AP2, ..., AP4).
- 40
13. Procedimiento según una de las reivindicaciones 10 a 12, en el que las magnitudes basadas en el tiempo de propagación (RTT) corresponden en cada caso al espacio de tiempo que transcurre a partir del envío de una señal de petición desde la correspondiente estación de base (AP1, AP2, ..., AP4) a la unidad de radio del objeto móvil (0) hasta la recepción en la correspondiente estación de base (AP1, AP2, ..., AP4) de una señal de respuesta enviada por la unidad de radio como respuesta a la señal de petición.
- 45
14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 10 a 13, en el que la red de radio se basa en un estándar WLAN o en un estándar RFID.
- 50
15. Procedimiento para la localización apoyada por ordenador de un objeto móvil con un sistema de localización basado en el tiempo de propagación, en el que se calibra el sistema de localización mediante un procedimiento según una de las reivindicaciones 10 a 14 y se utiliza la dependencia o función ( $f(d)$ ) determinada en la calibración en la determinación de la posición del objeto móvil para determinar las distancias ( $d$ ) del objeto móvil (0) a las estaciones de base (AP1, AP2, ..., AP4) a partir de las magnitudes basadas en el tiempo de propagación (RTT).
- 55
16. Sistema de localización que incluye un equipo de captación y evaluación con el que mediante la captación de magnitudes basadas en el tiempo de propagación (RTT) de varias estaciones de base (AP1, AP2, ..., AP4) de una red de radio, puede determinarse la posición de un objeto móvil (0) en un entorno predeterminado, representando la magnitud basada en el tiempo de propagación (RTT) de la respectiva estación de base (AP1, AP2, ..., AP4) el tiempo de propagación de señales entre una unidad de radio del objeto móvil (0) y la respectiva estación de base (AP1, AP2, ..., AP4), estando configurado el equipo de captación y evaluación tal que con el equipo de captación y evaluación puede realizarse un procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes.
- 60
- 65

FIG 1

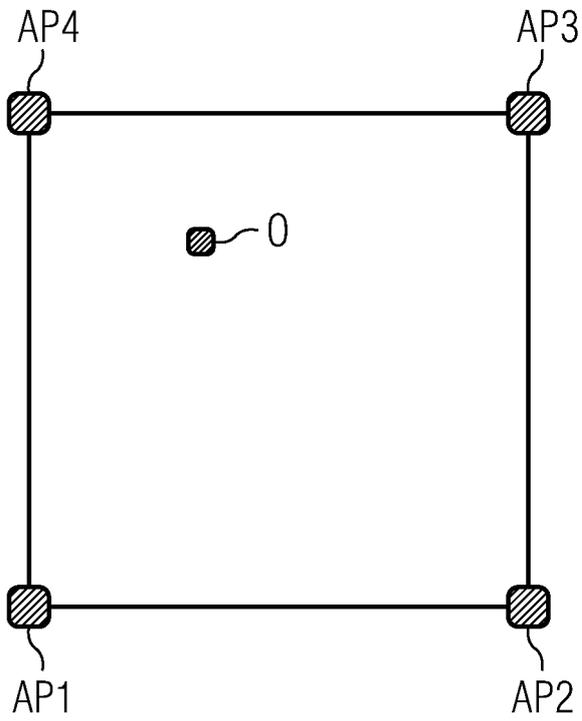


FIG 2

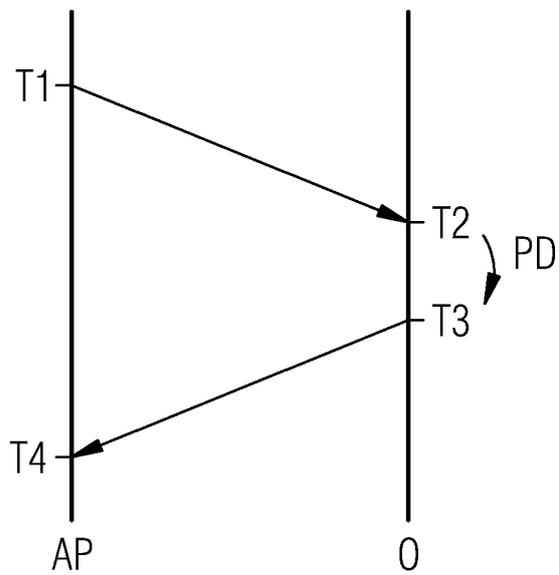


FIG 3

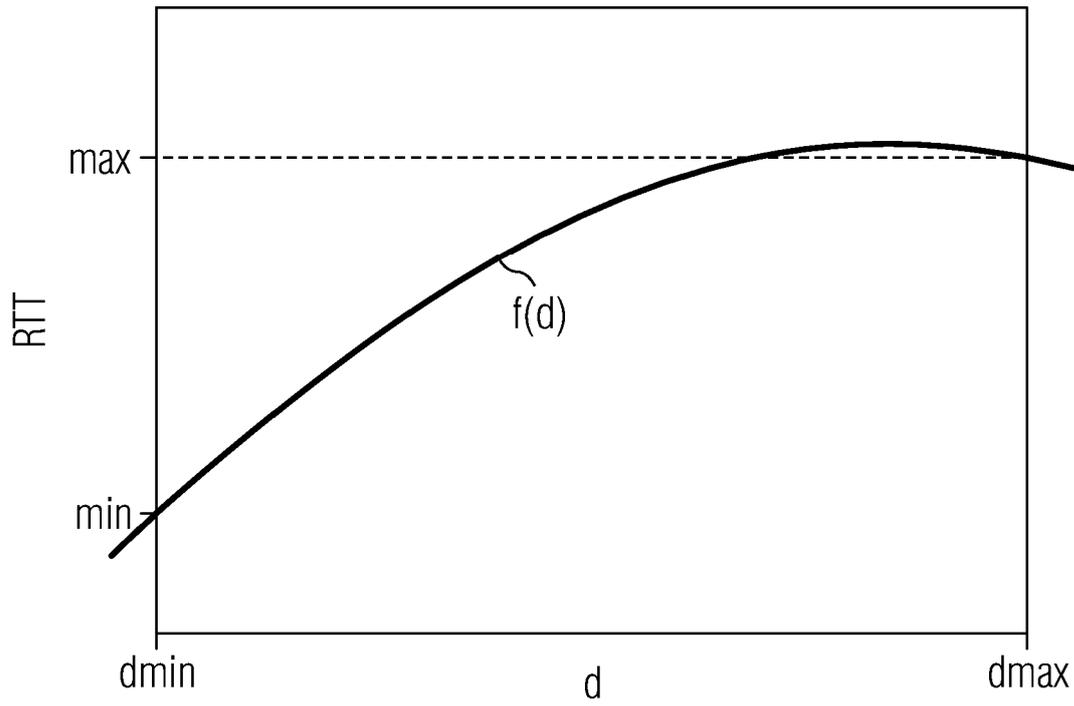


FIG 4

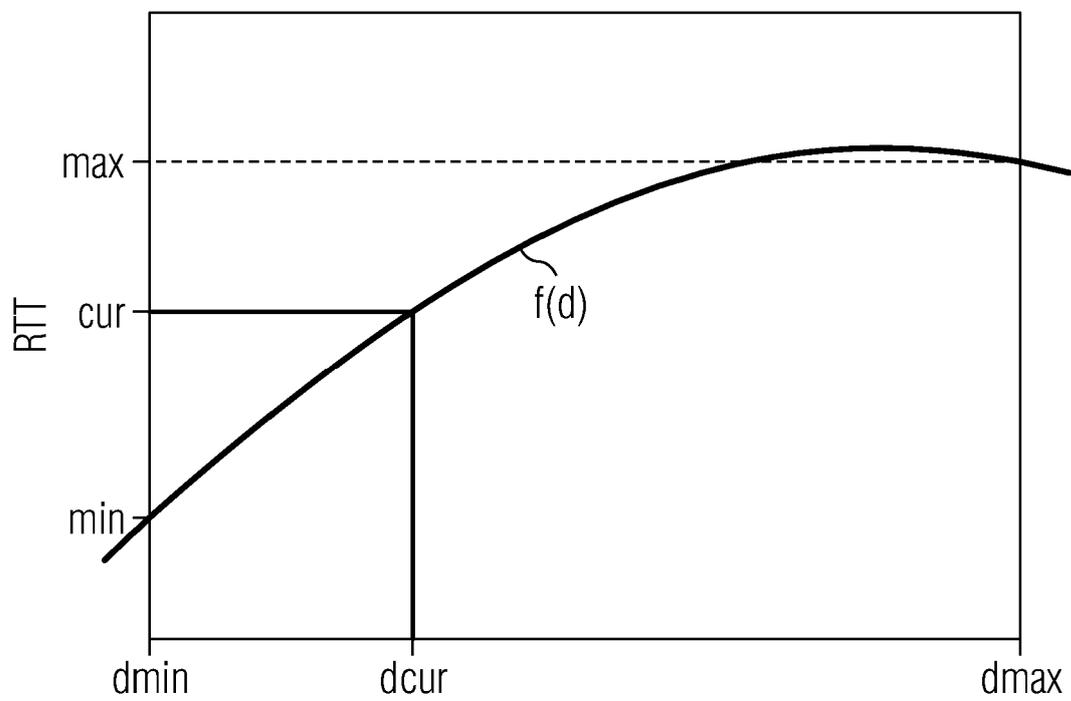


FIG 5

