

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 021 875**

51 Int. Cl.:

H04B 7/185 (2006.01)

G01S 5/02 (2010.01)

G01S 5/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.12.2020** **E 20217976 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.01.2025** **EP 3846359**

54 Título: **Procedimientos y dispositivos de geolocalización de un primer terminal de telecomunicaciones por satélite, programas de ordenador asociados**

30 Prioridad:

31.12.2019 FR 1915767

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

27.05.2025

73 Titular/es:

THALES (100.00%)
Tour Carpe Diem Place des Corolles - Esplanade Nord
92400 Courbevoie, FR

72 Inventor/es:

MOLIERE, RENAUD y
DAVID, CHRISTOPHE

74 Agente/Representante:

PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 3 021 875 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

Procedimientos y dispositivos de geolocalización de un primer terminal de telecomunicaciones por satélite, programas de ordenador asociados

5

[0001] La presente invención se refiere al campo de la geolocalización de un terminal de telecomunicaciones por satélite que utiliza un satélite no geoestacionario transparente.

[0002] A partir de los documentos US 2018/095156 A1, WO 2019/005436 A1, US 6 028 551 A se conocen procedimientos de geolocalización de un primer terminal de telecomunicaciones por satélite.

[0003] Además, del documento EP 2 784 534 A1 se conoce un procedimiento de geolocalización de un primer terminal de telecomunicaciones por satélite que utiliza un satélite geoestacionario y no un satélite no geoestacionario.

[0004] Se entiende por "satélite en movimiento" un satélite no geoestacionario, es decir, cuya órbita circular es distinta de 35786 km: por ejemplo, un satélite en una constelación de desplazamiento de tipo LEO (en inglés "Low earth orbit"), MEO ("medium earth orbit") o HEO ("Highly elliptical orbit"). Se entiende por "satélite transparente" un satélite cuyo tratamiento de las señales se limita a una amplificación y a una conversión de frecuencia entre los enlaces ascendentes y descendentes. El valor de esta conversión de frecuencia es conocido.

20

[0005] La presente invención se refiere a un procedimiento de geolocalización de un primer terminal de telecomunicaciones por satélite según las señales intercambiadas por dicho primer terminal de telecomunicaciones, sobre un enlace de telecomunicaciones por satélite a través de un satélite no geoestacionario transparente, con un segundo terminal de telecomunicaciones por satélite cuya localización se conoce.

25

[0006] Dado que la obtención de la posición de un terminal de telecomunicaciones por una solución de tipo GNSS no siempre está disponible o no siempre se puede difundir por radio, puede ser necesario localizar un terminal de telecomunicaciones por satélite, que pertenece a la red de telecomunicaciones por satélite, en particular, por otro medio.

30

[0007] En particular, existen procedimientos de goniometría desplegados a nivel de los satélites. Aprovechando los desplazamientos temporales de las señales recibidas por diferentes sensores, se puede localizar la fuente de emisión. Este procedimiento presenta el inconveniente de requerir varias antenas y de tener que operar en el segmento espacial. Por tanto, existe la necesidad de geolocalizar de manera simple un terminal de telecomunicaciones por satélite.

35

[0008] Para este fin, según un primer aspecto, la invención propone un procedimiento de geolocalización según la reivindicación 1.

[0009] Permitiendo la presente invención la geolocalización del primer terminal por el segundo terminal, no necesita un intercambio explícito de posición, permite localizar un terminal de forma pasiva, sin mensaje explícito, sin crear un cambio en la forma de onda; además, solo requiere una antena.

[0010] La presente invención explota las evoluciones temporales de uno o varios parámetros de radiofrecuencia del enlace generados por las constelaciones de desplazamiento transparentes y dependientes de la posición del primer terminal.

45

[0011] Según un segundo aspecto, la presente invención propone un procedimiento de geolocalización según la reivindicación 2.

50

[0012] Según este segundo aspecto, la presente invención permite la geolocalización del primer terminal por sí mismo sobre la base de las señales intercambiadas con el segundo terminal y presenta las mismas ventajas que las indicadas anteriormente.

[0013] En algunas realizaciones, un procedimiento de geolocalización según la invención se describe en una de las reivindicaciones 3 a 5.

[0014] Según un tercer aspecto, la presente invención propone un programa informático según la reivindicación 6.

60

[0015] Según un cuarto aspecto, la presente invención propone un dispositivo de geolocalización según la reivindicación 7.

[0016] Según un quinto aspecto, la presente invención propone un dispositivo de geolocalización según la reivindicación 8.

65

[0016] En algunas realizaciones, un dispositivo de geolocalización según la invención es según la reivindicación 9.

5 [0017] Estas características y ventajas de la invención se desprenderán de la lectura de la descripción que se ofrece a continuación, proporcionada únicamente a modo de ejemplo, y hecha en referencia a los dibujos adjuntos, donde:

[Fig 1] la figura 1 representa una vista esquemática de un sistema de telecomunicaciones por satélite en una
10 realización de la invención;
[Fig 2] la figura 2 es una ilustración de las variaciones en los parámetros de radiofrecuencia del enlace por satélite debido al desplazamiento del satélite;
[Fig 3] la figura 3 es una ilustración de una configuración de la red de telecomunicaciones y de las variaciones en los parámetros de radiofrecuencia correspondientes;
15 [Fig 4] la figura 4 es un organigrama de etapas implementadas en una realización de la invención;
[Fig 5] la figura 5 ilustra una realización particular de la invención con la ayuda de una malla donde cada punto de la malla está asociado a un modelo preestablecido de variación de ΔF y/o de TT según el tiempo;
[Fig 6] la figura 6 ilustra una realización particular de la invención con la ayuda de un enfoque polinómico.

20 [0018] La figura 1 representa un sistema 1 de telecomunicaciones por satélite que se desplaza en un modo de implementación de la invención, comprendiendo un satélite no geoestacionario 10 y dos terminales 20, 30 de telecomunicaciones por este satélite. Cada uno de estos terminales está equipado con los medios técnicos para implementar dicha telecomunicaciones por satélite (por ejemplo, una antena de radio satélite, un bloque de amplificación y cambio de frecuencia y un módem); estos medios son conocidos y no se detallan aquí.

25 [0019] El satélite 10 es de tipo transparente.

[0020] El terminal 30, llamado terminal Rx 30, está dotado de un dispositivo de geolocalización 40 adaptado para analizar las señales recibidas por el terminal 30 procedentes del terminal 20, llamado terminal Tx 20, y para
30 determinar una geolocalización del terminal Tx 20 en una primera realización, según este análisis. Las señales son emitidas por el terminal Tx 20 en el enlace ascendente 3 hasta el satélite 10, y luego emitidas en el enlace descendente 4 hacia el terminal Rx 30.

[0021] Por ejemplo, el terminal 30 en esta primera realización es una estación de anclaje, en relación con varios
35 terminales de usuarios. Conoce su posición y la del satélite (debe apuntar hacia él).

[0022] En una realización, el dispositivo de geolocalización 40 comprende una memoria 43 y un procesador 44. La memoria 43 comprende instrucciones de software que, cuando se ejecutan en el procesador 44, implementan automáticamente las etapas que se refieren al dispositivo de geolocalización 40 descritas en referencia a la figura 4.

40 [0023] Al desplazarse, el satélite 10 crea variaciones temporales de desplazamiento Doppler y de tiempo de tránsito, como se representa en la figura 2 considerando la posición del satélite en tres instantes sucesivos t_0 , t_1 , t_2 , así como los valores correspondientes de desplazamiento Doppler $\Delta F(t_0)$, $\Delta F(t_1)$, $\Delta F(t_2)$ y de tiempo de tránsito $TT(t_0)$, $TT(t_1)$, $TT(t_2)$.

45 [0024] Como se sabe, el desplazamiento Doppler es el desplazamiento de frecuencia de una onda observada cuando la distancia entre el emisor y el receptor varía a lo largo del tiempo y el tiempo de tránsito es el tiempo de propagación de la onda sobre el enlace ascendente 3 y sobre el enlace descendente 4.

50 [0025] La evolución de Doppler y la evolución del tiempo de tránsito dependen de la posición del terminal Tx 20 a localizar, de la posición conocida del terminal Rx 30, de la posición conocida del satélite 10, de la frecuencia, conocida, f_{UL} del enlace ascendente 3 de la frecuencia f_{DL} conocida, del enlace descendente 4.

[0026] El doppler $\Delta F(t)$ verifica la fórmula siguiente (fórmula 1) al instante t:

55

$$\Delta F(t) = \Delta F_{UL}(t) + \Delta F_{DL}(t) = \frac{(V_{TX}(t) - V_{SAT}(t)) \cdot u_{TXSAT}(t)}{c} \cdot f_{UL}(t) + \frac{(V_{SAT}(t) - V_{RX}(t)) \cdot u_{SATRX}(t)}{c} \cdot f_{DL}(t)$$

con

60 $\Delta F_{UL}(t)$: desplazamiento Doppler del enlace ascendente al instante t;
 $\Delta F_{DL}(t)$: desplazamiento Doppler del enlace descendente al instante t;

$\langle \dots | \dots \rangle$: producto escalar euclidiano;

c : velocidad de la luz en el vacío

$\overline{V_{Rx}(t)}$: vector velocidad del primer terminal que se busca localizar al instante t , considerado en primer orden como igual a la velocidad correspondiente a la rotación de la tierra;

5 $\overline{V_{Sat}(t)}$: vector velocidad conocida del satélite al instante t ;

$\overline{u_{TxSat}(t)}$: vector director unitario, desconocido, entre el primer terminal y el satélite al instante t ;

$f_{UL}(t)$: frecuencia, conocida, del enlace ascendente al instante t ;

$\overline{V_{Rx}(t)}$: vector velocidad, conocido, del segundo terminal al instante t ;

$\overline{u_{SatRx}(t)}$: vector director unitario, conocido, entre el satélite y el segundo terminal al instante t ;

10 $f_{DL}(t)$: frecuencia, conocida, del enlace descendente al instante t ;

[0027] Todos los vectores se expresan en una referencia ortonormal. La referencia ortonormal puede ser fija o inercial con respecto a la tierra.

15 **[0028]** El vector $\overline{V_{Rx}}$ se puede descomponer según la suma $\overline{V_{Rx}} = \overline{V_{tierra}} + \overline{V_{movX}}$. . .

$\overline{V_{tierra}}$ es el vector velocidad del terminal Rx 30 a la rotación de la tierra.

$\overline{V_{movX}}$ es el vector velocidad debido al desplazamiento del terminal Rx 30 sobre la tierra.

20 **[0029]** En la realización considerada $\overline{V_{movX}}$ aquí, que, en la práctica, es débil ante $\overline{V_{tierra}}$ en el caso de constelaciones de desplazamiento, es aquí despreciable: en el ecuador, la componente del vector velocidad debido a la rotación de la tierra es de 465 m/s, es decir, 1675 km/h. Además, la estimación es lo suficientemente rápida como para despreciar este término.

25 **[0030]** Del mismo modo, el vector velocidad del terminal Tx 20 puede asimilarse al de rotación de la tierra. Hay que tener en cuenta que también se podría considerar que el vector velocidad de un terminal es igual a la suma de este vector de rotación y de una velocidad determinada, por ejemplo, un vector constante, que representa el desplazamiento del terminal con respecto a la tierra. De manera aún más general, también se podría encontrar el vector velocidad completo integrándolo en la fórmula 1. Un procedimiento para estimarlo es, por ejemplo, renovar la
30 estimación de posición regularmente. Dado que el procedimiento de estimación es rápido, puede despreciar el término de velocidad del portador. Renovando la medida después de un período donde el vector velocidad ha variado significativamente la posición, se vuelve a realizar una medida. El vector velocidad viene dado por la variación de posición durante este tiempo. Una solución que utilice un filtro de Kalman dará una estimación más precisa.

35 **[0031]** Cuando sólo se desconoce la posición del terminal a geolocalizar, sólo 2 posiciones para dicho terminal conducen a una misma función $\Delta F(t)$ según la fórmula 1: su posición efectiva y la posición simétrica de esta con respecto al plano definido por la órbita del satélite. En el caso de una órbita circular, no se podrá determinar si el terminal a geolocalizar está en el hemisferio Norte o en el hemisferio Sur si esta información no se conoce de otro modo.

40 **[0032]** El tiempo de tránsito $TT(t)$ verifica la fórmula siguiente (fórmula 2) al instante t :

$$TT(t) = TT_{UL}(t) + TT_{DL}(t)$$

$$TT(t) = \frac{1}{c} \left(\sqrt{(X_{Tx}(t) - X_{Sat}(t))^2 + (Y_{Tx}(t) - Y_{Sat}(t))^2 + (Z_{Tx}(t) - Z_{Sat}(t))^2} \right. \\ \left. + \sqrt{(X_{Rx}(t) - X_{Sat}(t))^2 + (Y_{Rx}(t) - Y_{Sat}(t))^2 + (Z_{Rx}(t) - Z_{Sat}(t))^2} \right)$$

45 **[0033]** Con

c : velocidad de la luz en el vacío

$TT_{UL}(t)$: tiempo de tránsito del enlace ascendente;

$TT_{DL}(t)$: tiempo de tránsito del enlace descendente; este término es conocido;

50 $(X_{Sat}(t); Y_{Sat}(t); Z_{Sat}(t))$: coordenadas por satélite al instante t ; estas coordenadas son conocidas;

$(X_{Tx}(t); Y_{Tx}(t); Z_{Tx}(t))$: coordenadas del terminal Tx 20 que se busca localizar; estas coordenadas son desconocidas;

$(X_{Rx}(t); Y_{Rx}(t); Z_{Rx}(t))$: coordenadas del terminal Rx 30; estas coordenadas son conocidas.

[0034] Todas las coordenadas se expresan en una referencia ortonormal. La referencia ortonormal puede ser fija o inercial con respecto a la tierra.

5

[0035] Cuando sólo se desconoce la posición del terminal a localizar, sólo 2 posiciones para este terminal conducen a una misma función $TT(t)$ según la fórmula 2: la posición efectiva del terminal y su posición simétrica con respecto al plano definido por la órbita del satélite.

10 **[0036]** La resolución de las ecuaciones correspondientes puede simplificarse teniendo en cuenta:

- el movimiento de rotación de la tierra;
- la trayectoria orbital del satélite.

15 **[0037]** En referencia a la figura 4, el dispositivo de geolocalización 40 implementa el conjunto 100 de etapas.

[0038] En una primera etapa 101:

- el dispositivo de geolocalización 40 analiza N_F señales recibidas en instantes t sucesivos por el terminal Rx 30, siendo N_F superior o igual a 3, y determina para cada una de las N_F señales recibidas en instantes t sucesivos por el terminal Rx 30, y dada la frecuencia de recepción de referencia predeterminada f_{DL} de las señales, la variación de frecuencia $\Delta F(t)$ de la señal recibida debido al efecto Doppler calculando la diferencia entre la frecuencia de recepción de dicha señal y la frecuencia de recepción de referencia predeterminada f_{DL} : en efecto, al instante t , la señal recibida se recibe en la frecuencia $f_{DL} + \Delta F(t)$;

25 y/o

- para cada una de las N_T señales recibidas en instantes t sucesivos por el terminal Rx 30, siendo N_T superior o igual a 3, determinación del tiempo de tránsito $TT(t)$ de la señal calculando la diferencia entre el instante de recepción de dicha señal y el instante de emisión. Esta medición puede realizarse mediante un mecanismo de marca de tiempo de la señal emitida.

30

[0039] El retraso entre instantes sucesivos de medición está comprendido, por ejemplo, en el rango de 0,1 ms a 10 s.

[0040] Además, en la fórmula 1, sólo se desconoce el vector director unitario $u_{TxSa}(t)$. Este término tiene 3 incógnitas. En teoría, a partir de 3 medidas temporales de la frecuencia de recepción, puede determinarse; en la práctica, por supuesto, es preferible tener en cuenta más medidas para afinar el resultado y disminuir el impacto de los errores de medida.

[0041] Las consideraciones son similares en cuanto al tiempo de tránsito y a la fórmula 2.

40

[0042] Así, en una etapa 102, de manera no reivindicada, el sistema de ecuaciones definido por las N_F iguales entre cada valor sucesivo $\Delta F(t)$ calculado en cada uno de los instantes t sucesivos y por la fórmula (1) correspondiente considerada en dicho instante t se resuelve mediante la implementación de un algoritmo de resolución del sistema de ecuaciones por el dispositivo de geolocalización 40; y/o

45 el sistema de ecuaciones definido por las N_T iguales entre cada valor sucesivo $TT(t)$ calculado en cada uno de los instantes t sucesivos y por la fórmula (2) correspondiente considerada en dicho instante t se resuelve mediante la implementación de un algoritmo de resolución del sistema de ecuaciones por el dispositivo de geolocalización 40.

[0043] Existen varios procedimientos de resolución de estas ecuaciones, por ejemplo de tipo:

50

- ° procedimiento fuerza bruta;
- ° procedimiento iterativo;
- ° procedimiento del gradiente
- ° filtro de Kalman

55

[0044] Estos procedimientos y sus implementaciones presentan diferencias de velocidad de convergencia, de precisión de la medida final, de sensibilidad a errores de medida, de complejidad de cálculo.

[0045] Por lo tanto, el mejor procedimiento de resolución dependerá de las limitaciones de implementación.

60

[0046] Según los casos, solo se utilizará la frecuencia Doppler o el tiempo de tránsito para realizar la geolocalización, o bien ambas cosas para obtener mejores resultados en precisión, velocidad de convergencia, etc.

[0047] La geolocalización del terminal Tx 20 al instante t es igual a aquella a partir de la cual el vector $\overline{u_{TxSa}(t)}$ definido por dicho sistema de ecuaciones apunta hacia el satélite.

65

[0048] En una etapa 103, se completa la determinación de la geolocalización del terminal Tx 20, seleccionando la de las dos posiciones simétricas que se puede retener y combinando, en su caso, las geolocalizaciones distintas determinadas a través del tiempo de tránsito y el desplazamiento Doppler.

[0049] En la figura 3 se representan las evoluciones temporales de ΔF y TT generadas por las constelaciones de desplazamiento transparentes y dependientes de la posición del primer terminal. La evolución de estos parámetros es única: permite localizar un terminal de telecomunicaciones. Así, la derecha $\Delta F1(t)$ representa la continuación de los valores ΔF calculados por el terminal RX1 tras el análisis de la señal recibida terminal TX1 20_1, correspondiente a la estación de anclaje 30 mencionada anteriormente. De forma similar, $\Delta F2(t)$, respectivamente $\Delta F3(t)$ corresponden a las señales recibidas del TX2 20_2, respectivamente TX3 20_3 en sus respectivas posiciones. Del mismo modo, la curva TT1(t), respectivamente TT2(t), TT3(t) representa la continuación de los valores TT calculados por el terminal RX1, correspondiente a la estación de anclaje 30 mencionada anteriormente, para el terminal TX1 20_1, respectivamente TX2 20_2, TX3 20_3 en sus respectivas posiciones.

[0050] La presente invención permite así determinar la geolocalización de un terminal satélite en la red con la ayuda de señales intercambiadas, en el enlace descendente, con este terminal, sin necesidad de GNSS.

[0051] Además, según la invención, no es necesario conocer una posición inicial del terminal a geolocalizar para determinar su posición actual.

[0052] En una realización MDR1 y de manera no reivindicada, durante la etapa 102, un tratamiento distinto, relativo a la evolución de las observaciones Doppler ΔF y/o de las observaciones TT(t) del tiempo de tránsito completo, o reemplaza, el tratamiento de resolución directa del sistema de ecuaciones presentado, descrito anteriormente.

[0053] Así, en una fase previa:

- la zona de cobertura donde son susceptibles de encontrarse las terminales a geolocalizar está mallada en longitud y latitud según un paso dado; para cada punto de la cuadrícula, la evolución temporal del desplazamiento Doppler está precalculada según la fórmula 1 y/o la evolución temporal del tiempo de tránsito está precalculada según la fórmula 2; y el perfil temporal teórico obtenido se asocia a cada punto de la cuadrícula en una base de datos cargada en la memoria del dispositivo de geolocalización 40.

[0054] A continuación, en una fase operativa, en una etapa de comparación de perfiles, el dispositivo de geolocalización 40 obtiene las N_F observaciones sucesivas relativas al Doppler y/o las N_T observaciones sucesivas relativas al tiempo de tránsito de la etapa 101, lo que define un perfil calculado según la etapa 101. El dispositivo de geolocalización 40 compara entonces el perfil de desplazamiento Doppler así calculado resultante de la observación con los perfiles temporales de desplazamiento Doppler previamente asociados a los puntos de la cuadrícula y selecciona el perfil más cercano: el dispositivo de geolocalización 40 asigna entonces al terminal a geolocalizar la posición del punto de la cuadrícula asociado al perfil seleccionado.

[0055] En referencia a la figura 5, los perfiles teóricos predefinidos ΔF en la fase previa y asociados a los puntos de la cuadrícula P1, P2, P3 están representados en línea sólida para P1, en punteados para P2 y en cruz para P3 y numerados respectivamente 1, 2, 3 mientras que el perfil calculado desde la observación de las señales recibidas, denominado Obs, según las medidas de la etapa 101, está representado en negrita. El terminal a localizar se encuentra en PR; el punto P2 de la cuadrícula es el de los tres puntos de la cuadrícula considerados aquí cuyo perfil predefinido asociado es el más cercano al perfil de observación.

[0056] Además, o en su lugar, el dispositivo de geolocalización 40 compara entonces el perfil de tiempo de tránsito calculado con los perfiles temporales de tiempo de tránsito teóricos asociados a los puntos de la cuadrícula y selecciona el perfil teórico más cercano: el dispositivo de geolocalización 40 asigna entonces al terminal a geolocalizar la posición del punto de la cuadrícula asociado al perfil seleccionado.

[0057] En el caso en que el desplazamiento Doppler y el tiempo de tránsito se consideran y en que los puntos de la cuadrícula asignados son distintos, se determina una solución única por aplicación de una regla predefinida (por ejemplo, promedio...).

[0058] A continuación, se repite la etapa de comparación de perfiles sólo en una subzona reducida de cobertura alrededor del punto de geolocalización, considerando una malla más fina (por ejemplo, 1°, luego 0,1°, luego 0,01°...), para afinar la geolocalización al tiempo que se limitan los cálculos.

[0059] En una realización MDR2 reivindicada, durante la etapa 102, un tratamiento distinto, relativo a la evolución de las observaciones Doppler ΔF y/o de las observaciones TT(t) del tiempo de tránsito completo, o reemplaza, el tratamiento de resolución directa del sistema de ecuaciones presentado, descrito anteriormente y/o el tratamiento según la realización MDR1 descrita anteriormente.

[0060] Según esta última realización, la evolución de la función ΔF y/o de TT se modela en forma de polinomios: de primer orden para el desplazamiento Doppler y de segundo orden para el tiempo de tránsito.

5 **[0061]** Así se puede aproximar la evolución del desplazamiento Doppler en la forma $\Delta F(t) = a \cdot t + b$

[0062] Asimismo, se puede aproximar la evolución del tiempo de tránsito bajo la forma $TT(t) = a' \cdot t^2 + b' \cdot t + c'$.

[0063] Los valores de los coeficientes dependen, en particular, de la posición del terminal a determinar.

10 **[0064]** Según este enfoque, el dispositivo de geolocalización 40 implementa el siguiente procedimiento iterativo:

-i/durante un período temporal dado, el dispositivo de geolocalización 40 obtiene N_F observaciones sucesivas relativas al Doppler (y/o las N_T observaciones sucesivas relativas al tiempo de tránsito) de la etapa 101 y calcula los coeficientes polinomiales a_{obs} , b_{obs} para el desplazamiento Doppler (a'_{obs} , b'_{obs} , c'_{obs} para el tiempo de tránsito) correspondiente a las observaciones;

15 -ii/durante la misma duración temporal, se supone una posición del terminal emisor Tx20 y los valores sucesivos teóricos de ΔF (y/o de TT) se calculan para esta hipótesis de posición con la fórmula teórica 1 (y/o la fórmula teórica 2); luego, los coeficientes polinomiales asociados a_{hip} , b_{hip} (a'_{hip} , b'_{hip} , c'_{hip} para el tiempo de tránsito)

-de forma que el polinomio correspondiente da los valores teóricos calculados – se calcula;

-iii/el valor de un estimador de verosimilitud asociado a esta hipótesis, ϵ_{hip} (y que caracteriza la distancia con respecto

$$\epsilon_{hip} = \frac{1}{N_F} \cdot \sum |f_{hip} - f_{obs}|$$

al valor más verosímil) (por ejemplo, de la forma

25 -iv/ los coeficientes de las dos modelizaciones se comparan entre sí: según los signos relativos de las 2 modelizaciones, se deduce un desplazamiento según el eje Este/Oeste o según el eje Norte/Sur; el desplazamiento puede hacerse según un paso fijo o variable;

-v/ la operación se repite a partir de i/ hasta obtener la posición que minimiza el criterio de verosimilitud.

30 **[0065]** Por ejemplo, en el caso de una modelización del Doppler según una función afín, el error de pendiente a está más relacionado con un error de latitud:

° si $a_{hip} - a_{obs} > 0$, el emisor está más al Sur;

° i $a_{hip} - a_{obs} < 0$, el emisor está más al Norte

35 **[0066]** Además, el error de ordenada en el origen b está más relacionado con un error de longitud:

° si $b_{hip} - b_{obs} > 0$, el emisor está más al Oeste;

° si $b_{hip} - b_{obs} < 0$, el emisor está más al Este.

40 **[0067]** El procedimiento se ilustra en la figura 6 (con un paso fijo). En una primera iteración, la primera posición del terminal emisor Tx 20 se toma como correspondiente a la ubicación señalada por el punto Hip1 en un mapa geográfico; se determina que:

45 $a_{hip,1} - a_{obs} > 0$;

$b_{hip,1} - b_{obs} > 0$;

50 y un valor de criterio de verosimilitud igual a $\epsilon_{hip,1}$.

[0068] Se realizan los desplazamientos correspondientes, la segunda posición considerada se convierte en la indicada por el punto Hip2 para la segunda iteración. Para esta posición, se determina entonces que:

55 $a_{hip,2} - a_{obs} > 0$

$b_{hip,2} - b_{obs} > 0$

y un valor de criterio de verosimilitud igual a $\epsilon_{hip,2} < \epsilon_{hip,1}$.

60 **[0069]** Se realizan los desplazamientos correspondientes, la tercera posición considerada se convierte en la indicada por el punto Hip3 para la tercera iteración. Para esta posición, se determina entonces que:

$$a_{hip,3} - a_{obs} > 0$$

$$b_{hip,3} - b_{obs} < 0$$

y un valor de criterio de verosimilitud igual a $\epsilon_{hip,3} < \epsilon_{hip,2}$

[0070] Se realizan los desplazamientos correspondientes, la cuarta posición considerada se convierte en la indicada por el punto Hip4 para la cuarta iteración. Para esta posición, se determina entonces que:

$$a_{hip,4} - a_{obs} < 0$$

$$b_{hip,4} - b_{obs} > 0$$

y un valor de criterio de verosimilitud igual a $\epsilon_{hip,4} > \epsilon_{hip,3}$.

[0071] Al final, se mantiene la hipótesis 3 porque minimiza el criterio de verosimilitud: la posición real estimada PRp se toma igual al punto Hip3.

[0072] Cabe señalar que la observación considerada y los perfiles y polinomios mencionados se refieren indiferentemente al tiempo de tránsito, al desplazamiento Doppler o a sus derivadas. Del mismo modo, la resolución directa descrita anteriormente también podría implementarse sobre la base de las derivadas de orden 1 o superior.

[0073] En la realización descrita anteriormente, el dispositivo de geolocalización 40 en el terminal Rx 30 determinaba la posición del terminal Tx 20 según las señales recibidas por el terminal Rx 30 en el enlace descendente 4 procedente del terminal Tx 20. En otra realización, el dispositivo de geolocalización 40 en el terminal Rx 30 está adaptado para determinar su propia posición sobre la base de las señales recibidas por el terminal Rx 30 en el enlace descendente 4 procedente del terminal Tx 20 (que es por ejemplo esta vez la estación de anclaje): entonces el terminal Rx 30 conoce la posición del terminal Tx 20 y la del satélite; esta vez, la incógnita en la fórmula 1 es $u_{TxSat}(t)$. Del mismo modo, en la fórmula 2, las incógnitas son esta vez (X_{Rx}, Y_{Rx}, Z_{Rx}) , coordenadas del terminal Rx 30.

[0074] Cabe señalar que, en una realización, el dispositivo de geolocalización 40 puede estar distante del terminal Rx 30, operando sobre las señales recibidas por este último.

[0075] En otra realización, el dispositivo de geolocalización 40 se realiza en forma de un componente lógico programable, como un FPGA (del inglés *Field Programmable Gate Array*), o también en forma de un circuito integrado dedicado, como un ASIC (del inglés *Applications Specific Integrated Circuit*) o un DSP (Digital Signal Processor) o GPU (Graphics Processing Unit).

[0076] El doppler $\Delta F(t)$ verifica la fórmula siguiente (fórmula 1) al instante t:

$$\Delta F(t) = \Delta F_{UL}(t) + \Delta F_{DL}(t) = \frac{\langle V_{Tx}(t) - V_{sat}(t); u_{TxSat}(t) \rangle \cdot f_{UL}(t)}{c} + \frac{\langle V_{Sat}(t) - V_{Rx}(t); u_{SatRx}(t) \rangle \cdot f_{DL}(t)}{c}$$

con

$\Delta F_{UL}(t)$: desplazamiento Doppler del enlace ascendente al instante t;
 $\Delta F_{DL}(t)$: desplazamiento Doppler del enlace descendente al instante t;
 $\langle \dots \rangle$: producto escalar euclidiano;
c: velocidad de la luz en el vacío

$V_{Tx}(t)$: vector velocidad del primer terminal que se busca localizar al instante t, considerado en primer orden como igual a la velocidad correspondiente a la rotación de la tierra;

$V_{sat}(t)$: vector velocidad conocida del satélite al instante t;

$u_{TxSat}(t)$: vector director unitario, desconocido, entre el primer terminal y el satélite al instante t;

$f_{UL}(t)$: frecuencia, conocida, del enlace ascendente al instante t;

$V_{Rx}(t)$: vector velocidad, conocido, del segundo terminal al instante t;

$u_{SatRx}(t)$: vector director unitario, conocido, entre el satélite y el segundo terminal al instante t;

$f_{DL}(t)$: frecuencia, conocida, del enlace descendente al instante t;

[0077] Todos los vectores se expresan en una referencia ortonormal. La referencia ortonormal puede ser fija o inercial con respecto a la tierra.

[0078] El vector $\overline{V_{RX}}$ se puede descomponer según la suma $\overline{V_{RX}} = : \overline{V_{tierra}} + \overline{V_{movX}}$.

$\overline{V_{tierra}}$ es el vector velocidad del terminal Rx 30 a la rotación de la tierra.

[0079] $\overline{V_{movX}}$ es el vector velocidad debido al desplazamiento del terminal Rx 30 sobre la tierra.

[0080] En la realización considerada aquí, $\overline{V_{movX}}$ que, en la práctica, es débil ante $\overline{V_{tierra}}$ en el caso de constelaciones de desplazamiento, es aquí despreciable: en el ecuador, la componente del vector velocidad debido a la rotación de la tierra es de 465 m/s, es decir, 1675 km/h. Además, la estimación es lo suficientemente rápida como para despreciar este término.

[0081] Del mismo modo, el vector velocidad del terminal Tx 20 puede asimilarse al de rotación de la tierra. Hay que tener en cuenta que también se podría considerar que el vector velocidad de un terminal es igual a la suma de este vector de rotación y de una velocidad determinada, por ejemplo, un vector constante, que representa el desplazamiento del terminal con respecto a la tierra. De manera aún más general, también se podría encontrar el vector velocidad completo integrándolo en la fórmula 1. Un procedimiento para estimarlo es, por ejemplo, renovar la estimación de posición regularmente. Dado que el procedimiento de estimación es rápido, puede despreciar el término de velocidad del portador. Renovando la medida después de un período donde el vector velocidad ha variado significativamente la posición, se vuelve a realizar una medida. El vector velocidad viene dado por la variación de posición durante este tiempo. Una solución que utilice un filtro de Kalman dará una estimación más precisa.

[0082] Cuando solo se desconoce la posición del terminal a geolocalizar, solo 2 posiciones para dicho terminal conducen a una misma función $\Delta F(t)$ según la fórmula 1: su posición efectiva y la posición simétrica de ésta con respecto al plano definido por la órbita del satélite. En el caso de una órbita circular, no se podrá determinar si el terminal a geolocalizar está en el hemisferio Norte o en el hemisferio Sur si esta información no se conoce de otro modo.

[0083] El tiempo de tránsito $TT(t)$ verifica la fórmula siguiente (fórmula2) al instante t:

$$TT(t) = TT_{UL}(t) + TT_{DL}(t)$$

$$TT(t) = \frac{1}{c} \left(\sqrt{(X_{Tx}(t) - X_{Sat}(t))^2 + (Y_{Tx}(t) - Y_{Sat}(t))^2 + (Z_{Tx}(t) - Z_{Sat}(t))^2} + \sqrt{(X_{Rx}(t) - X_{Sat}(t))^2 + (Y_{Rx}(t) - Y_{Sat}(t))^2 + (Z_{Rx}(t) - Z_{Sat}(t))^2} \right)$$

[0084] Con

c: velocidad de la luz en el vacío

$TT_{UL}(t)$: tiempo de tránsito del enlace ascendente;

$TT_{DL}(t)$: tiempo de tránsito del enlace descendente; este término es conocido;

$(X_{Sat}(t); Y_{Sat}(t); Z_{Sat}(t))$: coordenadas por satélite al instante t; estas coordenadas son conocidas;

$(X_{Tx}(t); Y_{Tx}(t); Z_{Tx}(t))$: coordenadas del terminal Tx 20 que se busca localizar; estas coordenadas son desconocidas;

$(X_{Rx}(t); Y_{Rx}(t); Z_{Rx}(t))$: coordenadas del terminal Rx 30; estas coordenadas son conocidas.

[0085] Todas las coordenadas se expresan en una referencia ortonormal. La referencia ortonormal puede ser fija o inercial con respecto a la tierra.

[0086] Cuando sólo se desconoce la posición del terminal a localizar, sólo 2 posiciones para este terminal conducen a una misma función $TT(t)$ según la fórmula 2: la posición efectiva del terminal y su posición simétrica con respecto al plano definido por la órbita del satélite.

[0087] La resolución de las ecuaciones correspondientes puede simplificarse teniendo en cuenta:

- el movimiento de rotación de la tierra;
- la trayectoria orbital del satélite.

[0088] En referencia a la figura 4, el dispositivo de geolocalización 40 implementa el conjunto 100 de etapas.

[0089] En una primera etapa 101:

- el dispositivo de geolocalización 40 analiza N_F señales recibidas en instantes t sucesivos por el terminal Rx 30, N_F siendo superior o igual a 3, y determina para cada una de las N_F señales recibidas en instantes t sucesivos por el terminal Rx 30, y teniendo en cuenta la frecuencia de recepción de referencia predeterminada f_{DL} de las señales, la variación de frecuencia $\Delta F(t)$ de la señal recibida debido al efecto Doppler calculando la diferencia entre la frecuencia de recepción de dicha señal y la frecuencia de recepción de referencia predeterminada f_{DL} ; en efecto, al instante t , la señal recibida se recibe a la frecuencia $f_{DL} + \Delta F(t)$;

y/o

- para cada una de las N_T señales recibidas en instantes t sucesivos por el terminal Rx 30, siendo N_T superior o igual a 3, determinación del tiempo de tránsito $TT(t)$ de la señal calculando la diferencia entre el instante de recepción de dicha señal y el instante de emisión. Esta medición puede realizarse mediante un mecanismo de marca de tiempo de la señal emitida.

[0090] El retraso entre instantes sucesivos de medición está comprendido, por ejemplo, en el rango de 0,1 ms a 10 s.

[0091] Además, en la fórmula 1, sólo se desconoce el vector director unitario $\overline{u_{TxSat}(t)}$. Este término tiene 3 incógnitas. En teoría, a partir de 3 medidas temporales de la frecuencia de recepción, puede determinarse; en la práctica, por supuesto, es preferible tener en cuenta más medidas para afinar el resultado y disminuir el impacto de los errores de medida.

[0092] Las consideraciones son similares en cuanto al tiempo de tránsito y a la fórmula 2.

[0093] Así, en una etapa 102, el sistema de ecuaciones definido por las N_F iguales entre cada valor sucesivo $\Delta F(t)$ calculado en cada uno de los instantes t sucesivos y por la fórmula (1) correspondiente considerada en dicho instante t se resuelve mediante la implementación de un algoritmo de resolución del sistema de ecuaciones por el dispositivo de geolocalización 40; y/o el sistema de ecuaciones definido por las N_T iguales entre cada valor sucesivo $TT(t)$ calculada en cada uno de los instantes t sucesivos y por la fórmula (2) correspondiente considerada en dicho instante t se resuelve mediante la implementación de un algoritmo de resolución del sistema de ecuaciones por el dispositivo de geolocalización 40.

[0094] Existen varios procedimientos de resolución de estas ecuaciones, por ejemplo de tipo:

- ° procedimiento fuerza bruta;
- ° procedimiento iterativo;
- ° procedimiento del gradiente
- ° filtro de Kalman

[0095] Estos procedimientos y sus implementaciones presentan diferencias en velocidad de convergencia, precisión de la medición final, sensibilidad a errores de medición, complejidad de cálculo.

[0096] Por lo tanto, el mejor procedimiento de resolución dependerá de las limitaciones de implementación.

[0097] Según los casos, solo se utilizará la frecuencia Doppler o el tiempo de tránsito para realizar la geolocalización, o bien ambas cosas para obtener mejores resultados en precisión, velocidad de convergencia, etc.

[0098] La geolocalización del terminal Tx 20 al instante t es igual a aquella a partir de la cual el vector $\overline{u_{TxSat}(t)}$ definido por dicho sistema de ecuaciones apunta hacia el satélite.

[0099] En una etapa 103, se completa la determinación de la geolocalización del terminal Tx 20, seleccionando la de las dos posiciones simétricas que se puede retener y combinando, en su caso, las geolocalizaciones distintas determinadas a través del tiempo de tránsito y el desplazamiento Doppler.

[0100] En la figura 3 se representan las evoluciones temporales de ΔF y TT generadas por las constelaciones de desplazamiento transparentes y dependientes de la posición del primer terminal. La evolución de estos parámetros es única: permite localizar un terminal de telecomunicaciones. Así, la recta $\Delta F_1(t)$ representa la continuación de los valores ΔF calculados por el terminal RX 1 tras el análisis de la señal recibida terminal TX 1 20_1, correspondiente a la estación de anclaje 30 mencionada anteriormente. De forma similar, $\Delta F_2(t)$, respectivamente $\Delta F_3(t)$ corresponden a las señales recibidas del TX2 20_2, respectivamente TX3 20_3 en sus respectivas posiciones. Del mismo modo, la curva $TT_1(t)$, respectivamente $TT_2(t)$, $TT_3(t)$ representa la continuación de los valores TT calculados por el terminal

RX1, correspondiente a la estación de anclaje 30 mencionada anteriormente, para el terminal TX1 20_1, respectivamente TX2 20_2, TX3 20_3 en sus posiciones respectivas.

[0101] La presente invención permite así determinar la geolocalización de un terminal satélite en la red con la ayuda de señales intercambiadas, en el enlace descendente, con este terminal, sin necesidad de GNSS.

[0102] Además, según la invención, no es necesario conocer una posición inicial del terminal a geolocalizar para determinar su posición actual.

[0103] En una realización MDR1, durante la etapa 102, un tratamiento distinto, relativo a la evolución de las observaciones Doppler ΔF y/o de las observaciones $TT(t)$ del tiempo de tránsito completo, o reemplaza, el tratamiento de resolución directa del sistema de ecuaciones presentado, descrito anteriormente.

[0104] Así, en una fase previa:

- la zona de cobertura donde son susceptibles de encontrarse las terminales a geolocalizar está mallada en longitud y latitud según un paso dado; para cada punto de la cuadrícula, la evolución temporal del desplazamiento Doppler está precalculada según la fórmula 1 y/o la evolución temporal del tiempo de tránsito está precalculada según la fórmula 2; y el perfil temporal teórico obtenido está asociado a cada punto de la cuadrícula en una base de datos cargada en memoria del dispositivo de geolocalización 40.

[0105] A continuación, en una fase operativa, en una etapa de comparación de perfiles, el dispositivo de geolocalización 40 obtiene las N_F observaciones sucesivas relativas al Doppler y/o las N_T observaciones sucesivas relativas al tiempo de tránsito de la etapa 101, lo que define un perfil calculado según la etapa 101. El dispositivo de geolocalización 40 compara entonces el perfil de desplazamiento Doppler así calculado resultante de la observación con los perfiles temporales de desplazamiento Doppler previamente asociados a los puntos de la cuadrícula y selecciona el perfil más cercano: el dispositivo de geolocalización 40 asigna entonces al terminal a geolocalizar la posición del punto de la cuadrícula asociado al perfil seleccionado.

[0106] En referencia a la figura 5, los perfiles teóricos predefinidos ΔF en la fase previa y asociados a los puntos de la cuadrícula P1, P2, P3 están representados en línea sólida para P1, en punteados para P2 y en cruz para P3 y numerados respectivamente 1, 2, 3 mientras que el perfil calculado desde la observación de las señales recibidas, denominado Obs, según las medidas de la etapa 101, está representado en negrita. El terminal a localizar se encuentra en PR; el punto P2 de la cuadrícula es el de los tres puntos de la cuadrícula considerados aquí cuyo perfil predefinido asociado es el más cercano al perfil de observación.

[0107] Además, o en su lugar, el dispositivo de geolocalización 40 compara entonces el perfil de tiempo de tránsito calculado con los perfiles temporales de tiempo de tránsito teóricos asociados a los puntos de la cuadrícula y selecciona el perfil teórico más cercano: el dispositivo de geolocalización 40 asigna entonces al terminal a geolocalizar la posición del punto de la cuadrícula asociado al perfil seleccionado.

[0108] En el caso en que el desplazamiento Doppler y el tiempo de tránsito se consideran y en que los puntos de la cuadrícula asignados son distintos, se determina una solución única por aplicación de una regla predefinida (por ejemplo, promedio...).

[0109] A continuación, se repite la etapa de comparación de perfiles solo en una subzona reducida de cobertura alrededor del punto de geolocalización, considerando una malla más fina (por ejemplo, 1° , luego $0,1^\circ$, luego $0,01^\circ$...), para afinar la geolocalización al tiempo que se limitan los cálculos.

[0110] En una realización MDR2, durante la etapa 102, un tratamiento distinto, relativo a la evolución de las observaciones Doppler ΔF y/o de las observaciones $TT(t)$ del tiempo de tránsito completo, o reemplaza, el tratamiento de resolución directa del sistema de ecuaciones presentado, descrito anteriormente y/o el tratamiento según la realización MDR1 descrita anteriormente.

[0111] Según esta última realización, la evolución de la función ΔF y/o de TT se modela en forma de polinomios: de primer orden para el desplazamiento Doppler y de segundo orden para el tiempo de tránsito.

[0112] Así se puede aproximar la evolución del desplazamiento Doppler en la forma $\Delta F(t) = a \cdot t + b$

[0113] Asimismo, se puede aproximar la evolución del tiempo de tránsito bajo la forma $TT(t) = a \cdot t^2 + b \cdot t + c$.

[0114] Los valores de los coeficientes dependen, en particular, de la posición del terminal a determinar.

[0115] Según este enfoque, el dispositivo de geolocalización 40 implementa el siguiente procedimiento iterativo:

- i/durante un período de tiempo dado, el dispositivo de geolocalización 40 obtiene N_F observaciones sucesivas relativas al Doppler (y/o las N_T observaciones sucesivas relativas al tiempo de tránsito) de la etapa 101 y calcula los coeficientes polinomiales a_{obs} , b_{obs} para el desplazamiento Doppler (a'_{obs} , b'_{obs} , c'_{obs} para el tiempo de tránsito) correspondiente a las observaciones;

- ii/durante la misma duración temporal, se supone una posición del terminal emisor Tx 20 y los valores sucesivos teóricos de ΔF (y/o de TT) se calculan para esta hipótesis de posición con la fórmula teórica 1 (y/o la fórmula teórica 2); luego, los coeficientes polinomiales asociados a_{hip} , b_{hip} (a'_{hip} , b'_{hip} , c'_{hip} para el tiempo de tránsito)

-de forma que el polinomio correspondiente da los valores teóricos calculados – se calcula;

10 - iii/el valor de un estimador de verosimilitud asociado a esta hipótesis, ϵ_{hip} (y que caracteriza la distancia con respecto

$$\epsilon_{hip} = \frac{1}{N_F} * \sum |f_{hip} - f_{obs}|;$$

al valor más probable) se calcula (por ejemplo, de la forma

- iv/ los coeficientes de las dos modelizaciones se comparan entre sí: según los signos relativos de las 2 modelizaciones, se deduce un desplazamiento según el eje Este/Oeste o según el eje Norte/Sur; el desplazamiento puede hacerse según un paso fijo o variable;

15 - v/ la operación se repite a partir de i/ hasta obtener la posición que minimiza el criterio de verosimilitud.

[0116] Por ejemplo, en el caso de una modelización del Doppler según una función afín, el error de pendiente a está más relacionado con un error de latitud:

- 20 ° si $a_{hip} - a_{obs} > 0$, el emisor está más al Sur;
 ° i $a_{hip} - a_{obs} < 0$, el emisor está más al Norte

[0117] Además, el error de ordenada en el origen b está más relacionado con un error de longitud:

- 25 ° si $b_{hip} - b_{obs} > 0$, el emisor está más al Oeste;
 ° si $b_{hip} - b_{obs} < 0$, el emisor está más al Este.

[0118] El procedimiento se ilustra en la figura 6 (con un paso fijo). En una primera iteración, la primera posición del terminal emisor Tx 20 se toma como correspondiente a la ubicación señalada por el punto Hip1 en un mapa geográfico; se determina que:

$$a_{hip,1} - a_{obs} > 0;$$

$$b_{hip,1} - b_{obs} > 0;$$

35 y un valor de criterio de verosimilitud igual a $\epsilon_{hip,1}$.

[0119] Se realizan los desplazamientos correspondientes, la segunda posición considerada se convierte en la indicada por el punto Hip2 para la segunda iteración. Para esta posición, se determina entonces que:

$$a_{hip,2} - a_{obs} > 0$$

$$b_{hip,2} - b_{obs} > 0$$

45 y un valor de criterio de verosimilitud igual a $\epsilon_{hip,2} < \epsilon_{hip,1}$.

[0120] Se realizan los desplazamientos correspondientes, la tercera posición considerada se convierte en la indicada por el punto Hip3 para la tercera iteración. Para esta posición, se determina entonces que:

$$a_{hip,3} - a_{obs} > 0$$

$$b_{hip,3} - b_{obs} < 0$$

50 y un valor de criterio de verosimilitud igual a $\epsilon_{hip,3} < \epsilon_{hip,2}$.

[0121] Se realizan los desplazamientos correspondientes, la cuarta posición considerada se convierte en la indicada por el punto Hip4 para la cuarta iteración. Para esta posición, se determina entonces que:

$$a_{hip,4} - a_{obs} < 0$$

$$b_{hip,4} - b_{obs} > 0$$

60 y un valor de criterio de verosimilitud igual a $\epsilon_{hip,4} > \epsilon_{hip,3}$.

[0122] Al final, se mantiene la hipótesis 3 porque minimiza el criterio de verosimilitud: la posición real estimada PRp se toma igual al punto Hip3.

5 **[0123]** Cabe señalar que la observación considerada y los perfiles y polinomios mencionados se refieren indiferentemente al tiempo de tránsito, al desplazamiento Doppler o a sus derivadas. Del mismo modo, la resolución directa descrita anteriormente también podría implementarse sobre la base de las derivadas de orden 1 o superior.

10 **[0124]** En la realización descrita anteriormente, el dispositivo de geolocalización 40 en el terminal Rx 30 determinaba la posición del terminal Tx 20 en base a las señales recibidas por el terminal Rx 30 en el enlace descendente 4 procedente del terminal Tx 20. En otra realización, el dispositivo de geolocalización 40 en el terminal Rx 30 está adaptado para determinar su propia posición en base a las señales recibidas por el terminal Rx 30 en el enlace descendente 4 procedente del terminal Tx 20 (que es por ejemplo esta vez la estación de anclaje): entonces el terminal Rx 30 conoce la posición del terminal Tx20 y la del satélite; esta vez, la incógnita en la fórmula 1 es $\overline{u_{TxSat}(t)}$
 15 Del mismo modo, en la fórmula 2, las incógnitas son esta vez (X_{Rx}, Y_{Rx}, Z_{Rx}) , coordenadas del terminal Rx 30.

[0125] Cabe señalar que, en una realización, el dispositivo de geolocalización 40 puede estar distante del terminal Rx 30, operando sobre las señales recibidas por este último.

20 **[0126]** En otra realización, el dispositivo de geolocalización 40 se realiza en forma de un componente lógico programable, como un FPGA (del inglés *Field Programmable Gate Array*), o también en forma de un circuito integrado dedicado, como un ASIC (del inglés *Applications Specific Integrated Circuit*) o un DSP (Digital Signal Processor) o GPU (Graphics Processing Unit).

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de geolocalización de un primer terminal de telecomunicaciones por satélite (20) según las señales intercambiadas por dicho primer terminal de telecomunicaciones (20), en un enlace de telecomunicaciones por satélite (3, 4) a través de un satélite no geoestacionario transparente (10), con un segundo terminal de telecomunicaciones por satélite (30) cuya ubicación se conoce; estando dicho procedimiento **caracterizado porque** comprende al menos un conjunto de etapas entre el primer y el segundo conjunto de etapas siguientes implementadas en un módulo electrónico de cálculo de geolocalización (40),

10 según el primer conjunto de etapas:

- para cada una de N de las señales recibidas en instantes t sucesivos por el segundo terminal (30) y dada la frecuencia de recepción de referencia predeterminada (f_{DL}) de las señales, siendo N superior o igual a 3, determinación (101) de la variación de frecuencia $\Delta F(t)$ de la señal recibida debido al efecto Doppler calculando la diferencia entre la frecuencia de recepción de dicha señal y la frecuencia de recepción de referencia predeterminada;
- considerando cada valor sucesivo $\Delta F(t)$ determinado en cada uno de los N instantes t sucesivos y considerando que además $\Delta F(t)$ verifica la siguiente fórmula teórica considerada en cada uno de dichos instantes t:

$$\Delta F(t) = \frac{\left(\overline{V_{Tx}(t)} - V_{Sat}(t) \right) \cdot \overline{u_{TxSat}(t)}}{c} \cdot f_{UL}(t) + \frac{\left(V_{Sat}(t) - \overline{V_{Rx}(t)} \right) \cdot \overline{u_{SatRx}(t)}}{c} \cdot f_{DL}(t)$$

20

con:

(... | ...): producto escalar euclidiano;

25 $\overline{V_{Tx}(t)}$: el vector velocidad del primer terminal (20) que se busca localizar al instante t, considerado como conocido;

$\overline{V_{Sat}(t)}$: vector velocidad conocida del satélite al instante t;

$\overline{u_{TxSat}(t)}$: vector director unitario, desconocido, entre el primer terminal (20) y el satélite al instante t;

$f_{UL}(t)$: frecuencia, conocida, del enlace ascendente al instante t;

c: velocidad de la luz en el vacío;

30 $\overline{V_{Rx}(t)}$: vector velocidad, considerado como conocido, del segundo terminal (30) al instante t;

$\overline{u_{SatRx}(t)}$: vector director unitario, conocido, entre el satélite y el segundo terminal (30) al instante t;

$f_{DL}(t)$: frecuencia, conocida, del enlace descendente al instante t;

determinar (103) la geolocalización del primer terminal (20) en al menos uno de dichos instantes t, correspondiente a aquella a partir de la cual el vector $\overline{u_{TxSat}(t)}$ apunta hacia el satélite;

35 y tal que según el segundo conjunto de etapas:

- para cada una de N de las señales recibidas en instantes t sucesivos por el segundo terminal (30), siendo N superior o igual a 3, determinación (101) del tiempo de tránsito $TT(t)$ de la señal calculando la diferencia entre el instante de recepción de dicha señal y el instante de emisión;

40 - considerando cada valor sucesivo $TT(t)$ determinado en cada uno de los N instantes t sucesivos y considerando que además $TT(t)$ verifica la siguiente fórmula teórica considerada en cada uno de dichos instantes t:

$$TT(t) = \frac{1}{c} \left(\sqrt{(X_{Tx}(t) - X_{Sat}(t))^2 + (Y_{Tx}(t) - Y_{Sat}(t))^2 + (Z_{Tx}(t) - Z_{Sat}(t))^2} \right. \\ \left. + \sqrt{(X_{Rx}(t) - X_{Sat}(t))^2 + (Y_{Rx}(t) - Y_{Sat}(t))^2 + (Z_{Rx}(t) - Z_{Sat}(t))^2} \right)$$

45 con:

($X_{Sat}(t); Y_{Sat}(t); Z_{Sat}(t)$): las coordenadas conocidas del satélite al instante t;

($X_{Tx}(t); Y_{Tx}(t); Z_{Tx}(t)$): las coordenadas, desconocidas, del primer terminal (20) al instante t;

($X_{Rx}(t); Y_{Rx}(t); Z_{Rx}(t)$): las coordenadas, conocidas, del segundo terminal (30) al instante t.

50

determinar (103) la geolocalización del primer terminal (20) en al menos uno de dichos instantes t como igual a ($X_{Tx}(t); Y_{Tx}(t); Z_{Tx}(t)$),

caracterizado porque el módulo electrónico de cálculo de geolocalización (40) implementa iterativamente las

siguientes etapas en una ventana temporal determinada:

- i/ considerando cada primer valor sucesivo $\Delta F(t)$ determinado, respectivamente cada valor sucesivo $TT(t)$ determinado durante la ventana, determinar los primeros coeficientes polinomiales de un polinomio de primer orden, respectivamente de un polinomio de segundo orden, dando dichos valores sucesivos;
- ii/ en dicha ventana, y para una primera hipótesis de geolocalización de dicho terminal a localizar, calcular los valores teóricos $\Delta F(t)$, $TT(t)$ con la ayuda de la fórmula teórica correspondiente y determinar los segundos coeficientes polinomiales de un polinomio de primer orden, respectivamente de un polinomio de segundo orden, dando dichos valores calculados;
- iii/ calcular el valor de un estimador de verosimilitud para esta primera hipótesis de geolocalización; comparar entre sí los primeros y los segundos coeficientes y determinar un desplazamiento a partir de la primera hipótesis de geolocalización según dicha comparación;
- iv/ reiterar las etapas anteriores con la nueva hipótesis de geolocalización así determinada tras dicho desplazamiento;
- v/ elegir la geolocalización correspondiente a un mínimo del estimador de verosimilitud.

2. Procedimiento de geolocalización de un primer terminal de telecomunicaciones (20) según las señales intercambiadas por dicho primer terminal de telecomunicaciones (20), en un enlace de telecomunicaciones por satélite a través de un satélite no geoestacionario transparente (10), con un segundo terminal de telecomunicaciones (30) cuya ubicación se conoce; estando dicho procedimiento **caracterizado porque** comprende al menos un conjunto de etapas entre el primer y el segundo subconjunto de etapas siguientes implementadas en un módulo electrónico de cálculo de geolocalización, tales como según el primer subconjunto de etapas:

- para cada una de N de las señales recibidas en instantes t sucesivos por el primer terminal (20) y dada la frecuencia de recepción de referencia predeterminada (f_{DL}) de las señales, siendo N superior o igual a 3, determinación (101) de la variación de frecuencia $\Delta F(t)$ de la señal recibida debido al efecto Doppler calculando la diferencia entre la frecuencia de recepción de dicha señal y la frecuencia de recepción de referencia predeterminada;
- considerando cada valor sucesivo $\Delta F(t)$ determinado en cada uno de los N instantes t sucesivos y considerando que además $\Delta F(t)$ verifica la siguiente fórmula teórica considerada en cada uno de dichos instantes t

$$\Delta F(t) = \frac{\{V_{Tx}(t) \cdot V_{Sat}(t)\} \cdot u_{TxSat}(t) \cdot f_{UL}(t)}{c} + \frac{\{V_{Sat}(t) \cdot V_{Rx}(t)\} \cdot u_{SatRx}(t) \cdot f_{DL}(t)}{c}$$

con (... | ...) : producto escalar euclidiano;

- $\underline{V_{Tx}(t)}$: vector velocidad, considerado como conocido, del segundo terminal (30) al instante t;
- $\underline{V_{Sat}(t)}$: vector velocidad conocida del satélite al instante t;
- $\underline{u_{TxSat}(t)}$: vector director unitario, conocido, entre el satélite y el segundo terminal (30) al instante t;
- $f_{UL}(t)$: frecuencia, conocida, del enlace ascendente al instante t;
- c: velocidad de la luz en el vacío;
- $\underline{V_{Rx}(t)}$: el vector velocidad del primer terminal (20) que se busca localizar al instante t, considerado como conocido;
- $\underline{u_{SatRx}(t)}$: vector director unitario, desconocido, entre el primer terminal (20) y el satélite al instante t;
- $f_{DL}(t)$: frecuencia, conocida, del enlace descendente al instante t;

determinar (103) la geolocalización del primer terminal (20) en al menos uno de dichos instantes t correspondiente a aquella hacia la que apunta el vector $\underline{u_{TxSat}(t)}$ desde el satélite al instante t; y según el segundo subconjunto de etapas:

- para cada una de N de las señales recibidas en instantes t sucesivos por el primer terminal (20), siendo N superior o igual a 3, determinación (101) del tiempo de tránsito $TT(t)$ de la señal calculando la diferencia entre el instante de recepción de dicha señal y el instante de emisión;
- considerando cada valor sucesivo $TT(t)$ determinado en cada uno de los N instantes t sucesivos y considerando que además $TT(t)$ verifica la siguiente fórmula teórica considerada en cada uno de dichos instantes t:

$$TT(t) = \frac{1}{c} \left(\sqrt{(X_{Tx}(t) - X_{Sat}(t))^2 + (Y_{Tx}(t) - Y_{Sat}(t))^2 + (Z_{Tx}(t) - Z_{Sat}(t))^2} + \sqrt{(X_{Rx}(t) - X_{Sat}(t))^2 + (Y_{Rx}(t) - Y_{Sat}(t))^2 + (Z_{Rx}(t) - Z_{Sat}(t))^2} \right)$$

con:

($X_{Sat}(t); Y_{Sat}(t); Z_{Sat}(t)$): las coordenadas conocidas del satélite al instante t ;
 ($X_{Tx}(t); Y_{Tx}(t); Z_{Tx}(t)$): las coordenadas, desconocidas, del primer terminal (20) al instante t ;
 ($X_{Rx}(t); Y_{Rx}(t); Z_{Rx}(t)$): las coordenadas, conocidas, del segundo terminal (30) al instante t ;

determinar (103) la geolocalización del primer terminal (20) en al menos uno de dichos instantes t como igual a ($X_{Tx}(t); Y_{Tx}(t); Z_{Tx}(t)$),

caracterizado porque el módulo electrónico de cálculo de geolocalización (40) implementa iterativamente las siguientes etapas en una ventana temporal determinada:

i/ considerando cada primer valor sucesivo $\Delta F(t)$ determinado, respectivamente cada valor sucesivo $TT(t)$ determinado durante la ventana, determinar los primeros coeficientes polinomiales de un polinomio de primer orden, respectivamente de un polinomio de segundo orden, dando dichos valores sucesivos;
 ii/ en dicha ventana, y para una primera hipótesis de geolocalización de dicho terminal a localizar, calcular los valores teóricos $\Delta F(t)$, $TT(t)$ con la ayuda de la fórmula teórica correspondiente y determinar los segundos coeficientes polinomiales de un polinomio de primer orden, respectivamente de un polinomio de segundo orden, dando dichos valores calculados;
 iii/ calcular el valor de un estimador de verosimilitud para esta primera hipótesis de geolocalización; comparar entre sí los primeros y los segundos coeficientes y determinar un desplazamiento a partir de la primera hipótesis de geolocalización según dicha comparación;
 iv/ reiterar las etapas anteriores con la nueva hipótesis de geolocalización así determinada tras dicho desplazamiento;
 v/ elegir la geolocalización correspondiente a un mínimo del estimador de verosimilitud.

3. Procedimiento de geolocalización según la reivindicación 1 o 2, según el cual la determinación de la geolocalización del primer terminal (20) por el módulo electrónico de cálculo de geolocalización (40) comprende al menos una de las dos etapas entre:

- resolución del sistema de ecuaciones, o de derivadas temporales de las mismas, definido por las N igualdades entre cada valor sucesivo $\Delta F(t)$ o $TT(t)$, determinado en cada uno de los instantes t sucesivos y por la fórmula teórica correspondiente considerada en dicho instante t ;
- implementación de una localización iterativa según la cual:

i/habiendo sido realizada previamente una malla de la zona de cobertura satelital con una asociación en cada punto de la malla con un perfil precalculado que da la evolución temporal de $\Delta F(t)$ tal como se define en dicha fórmula teórica, o de una derivada temporal de $\Delta F(t)$, respectivamente con un perfil precalculado que da la evolución temporal de $TT(t)$ tal como se define en dicha fórmula teórica, o de una derivada temporal de $TT(t)$, se realiza una comparación entre los perfiles precalculados en al menos una parte de la zona asociada y el perfil descrito por los valores determinados sucesivos de $\Delta F(t)$, o por su derivada temporal de $\Delta F(t)$, respectivamente el perfil descrito por los valores determinados de $TT(t)$, o por una derivada temporal de $TT(t)$;
 ii/ el punto de la malla asociada al perfil precalculado determinado, según dicha comparación, el más cercano entre los perfiles precalculados comparados, se determina como punto de geolocalización del primer terminal (20) para la iteración actual; y
 iii/ en la siguiente iteración, las etapas i y ii se reiteran dentro de una subzona de cobertura alrededor de dicho punto de geolocalización con una malla más fina que la malla anteriormente considerada.

4. Procedimiento de geolocalización de un primer terminal de telecomunicaciones (20) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, según el cual dicho módulo electrónico de cálculo de geolocalización está integrado donde se encuentra entre el primer terminal (20) y el segundo terminal (30) que han recibido dichas N señales.

5. Procedimiento de geolocalización de un primer terminal de telecomunicaciones (20) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, según el cual el vector velocidad del primer terminal (20) se elige como correspondiente a la velocidad de la rotación de la tierra.

6. Programa de ordenador comprendiendo instrucciones de software que, cuando se ejecutan en un procesador de un módulo electrónico de cálculo de geolocalización, implementan un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

7. Dispositivo de geolocalización (40) de un primer terminal de telecomunicaciones por satélite (20) adaptado para geolocalizar dicho primer terminal de telecomunicaciones (20) según las señales intercambiadas por dicho primer terminal (20), sobre un enlace de telecomunicaciones por satélite (3, 4) a través de un satélite no geostacionario transparente (10), con un segundo terminal de telecomunicaciones por satélite (30) cuya localización

se conoce;

estando dicho dispositivo (40) **caracterizado porque** está adaptado, para cada una de N de las señales recibidas en instantes t sucesivos por el segundo terminal (30) y dada la frecuencia de recepción de referencia predeterminada (f_{DL}) de las señales, siendo N superior o igual a 3, para determinar la variación de frecuencia $\Delta F(t)$ de la señal recibida debido al efecto Doppler calculando la diferencia entre la frecuencia de recepción de dicha señal y la frecuencia de recepción de referencia predeterminada; y estando adaptado dicho dispositivo (40) para, considerando cada valor sucesivo $\Delta F(t)$ calculado en cada uno de los N instantes t sucesivos y considerando que además $\Delta F(t)$ verifica la siguiente fórmula teórica considerada en cada uno de dichos instantes t:

$$\Delta F(t) = \frac{\{V_{Tx}(t) - V_{Sat}(t)\} \cdot u_{TxSat}(t) \cdot f_{UL}(t)}{c} + \frac{\{V_{Sat}(t) - V_{Rx}(t)\} \cdot u_{SatRx}(t) \cdot f_{DL}(t)}{c}$$

con:

(... | ...) : producto escalar euclidiano;

$\vec{V}_{Tx}(t)$: el vector velocidad del primer terminal (20) que se busca localizar al instante t, considerado como conocido;

$\vec{V}_{Sat}(t)$: vector velocidad conocida del satélite al instante t;

$\vec{u}_{TxSat}(t)$: vector director unitario, desconocido, entre el primer terminal (20) y el satélite al instante t;

$f_{UL}(t)$: frecuencia, conocida, del enlace ascendente al instante t;

c: velocidad de la luz en el vacío;

$\vec{V}_{Rx}(t)$: vector velocidad, considerado como conocido, del segundo terminal (30) al instante t;

$\vec{u}_{SatRx}(t)$: vector director unitario, conocido, entre el satélite y el segundo terminal (30) al instante t;

$f_{DL}(t)$: frecuencia, conocida, del enlace descendente al instante t;

determinar la geolocalización del primer terminal (20) en al menos uno de los instantes t, correspondiente a aquel desde el cual el vector $\vec{u}_{TxSat}(t)$ apunta al satélite;

y/o estando dicho dispositivo **caracterizado porque** está adaptado, para cada una de N de las señales recibidas en instantes t sucesivos por el segundo terminal (30), siendo N superior o igual a 3, para determinar el tiempo de tránsito TT(t) de la señal calculando la diferencia entre el instante de recepción de dicha señal y el instante de emisión; estando adaptado dicho dispositivo para, considerando cada valor sucesivo TT(t) calculado en cada uno de los N instantes t sucesivos y considerando que además TT(t) verifica la siguiente fórmula teórica considerada en cada uno de dichos instantes t:

$$TT(t) = \frac{1}{c} \left(\sqrt{(X_{Tx}(t) - X_{Sat}(t))^2 + (Y_{Tx}(t) - Y_{Sat}(t))^2 + (Z_{Tx}(t) - Z_{Sat}(t))^2} + \sqrt{(X_{Rx}(t) - X_{Sat}(t))^2 + (Y_{Rx}(t) - Y_{Sat}(t))^2 + (Z_{Rx}(t) - Z_{Sat}(t))^2} \right)$$

con:

($X_{Sat}(t)$; $Y_{Sat}(t)$; $Z_{Sat}(t)$): las coordenadas conocidas del satélite al instante t;

($X_{Tx}(t)$; $Y_{Tx}(t)$; $Z_{Tx}(t)$): las coordenadas, desconocidas, del primer terminal (20) al instante t;

($X_{Rx}(t)$; $Y_{Rx}(t)$; $Z_{Rx}(t)$): las coordenadas, conocidas, del segundo terminal (30) al instante t.

determinar la geolocalización del primer terminal (20) en al menos uno de dichos instantes t como igual a ($X_{Tx}(t)$; $Y_{Tx}(t)$; $Z_{Tx}(t)$),

caracterizado porque el dispositivo de geolocalización (40) está adaptado para, iterativamente en una ventana temporal determinada:

i/ considerando cada primer valor sucesivo $\Delta F(t)$ determinado, respectivamente cada valor sucesivo TT(t) determinado durante la ventana, determinar los primeros coeficientes polinomiales de un polinomio de primer orden, respectivamente de un polinomio de segundo orden, dando dichos valores sucesivos;

ii/ en dicha ventana, y para una primera hipótesis de geolocalización de dicho terminal a localizar, calcular los valores teóricos $\Delta F(t)$, TT(t) con la ayuda de la fórmula teórica correspondiente y determinar los segundos coeficientes polinomiales de un polinomio de primer orden, respectivamente de un polinomio de segundo orden, dando los dichos valores calculados;

iii/ calcular el valor de un estimador de verosimilitud para esta primera hipótesis de geolocalización;

comparar entre sí los primeros y los segundos coeficientes y determinar un desplazamiento a partir de la primera hipótesis de geolocalización según dicha comparación;

iv/ reiterar las etapas anteriores con la nueva hipótesis de geolocalización así determinada tras dicho desplazamiento;

v/ elegir la geolocalización correspondiente a un mínimo del estimador de verosimilitud.

Dispositivo de geolocalización (40) de un primer terminal de telecomunicaciones (20), adaptado para geolocalizar dicho primer terminal de telecomunicaciones (20) según las señales intercambiadas por dicho primer terminal (20), sobre un enlace de telecomunicaciones por satélite a través de un satélite no geoestacionario (10), con un segundo terminal de telecomunicaciones (30) cuya localización se conoce;

estando dicho dispositivo **caracterizado porque** está adaptado, para cada una de N de las señales recibidas en instantes t sucesivos por el primer terminal (20) y dada la frecuencia de recepción de referencia predeterminada (f_{DL}) de las señales, siendo N superior o igual a 3, para determinar la variación de frecuencia $\Delta F(t)$ de la señal recibida debido al efecto Doppler calculando la diferencia entre la frecuencia de recepción de dicha señal y la frecuencia de recepción de referencia predeterminada; estando adaptado dicho dispositivo para, considerando cada valor sucesivo $\Delta F(t)$ determinado en cada uno de los N instantes t sucesivos y considerando que además $\Delta F(t)$ verifica la siguiente fórmula teórica considerada en cada uno de dichos instantes t

$$\Delta F(t) = \frac{\{V_{TX}(t) - V_{Sat}(t)\} \cdot u_{TXSat}(t) \cdot f_{UL}(t)}{c} + \frac{\{V_{Sat}(t) - V_{RX}(t)\} \cdot u_{SatRX}(t) \cdot f_{DL}(t)}{c}$$

con (... | ...): producto escalar euclidiano;

$V_{TX}(t)$: vector velocidad, considerado como conocido, del segundo terminal (30) al instante t;

$V_{Sat}(t)$: vector velocidad conocida del satélite al instante t;

$u_{TXSat}(t)$: vector director unitario, conocido, entre el satélite y el segundo terminal (30) al instante t;

$f_{UL}(t)$: frecuencia, conocida, del enlace ascendente al instante t;

c: velocidad de la luz en el vacío;

$V_{RX}(t)$: el vector velocidad del primer terminal (20) que se busca localizar al instante t, considerado como conocido;

$u_{SatRX}(t)$: vector director unitario, desconocido, entre el primer terminal (20) y el satélite al instante t;

$f_{DL}(t)$: frecuencia, conocida, del enlace descendente al instante t;

determinar la geolocalización del primer terminal (20) en al menos uno de dichos instantes t correspondiente a aquella a la que apunta el vector $u_{TXSat}(t)$ desde el satélite al instante t;

y/o estando adaptado dicho dispositivo, para cada una de N de las señales recibidas en instantes t sucesivos por el primer terminal (20), siendo N superior o igual a 3, para determinar el tiempo de tránsito TT(t) de la señal calculando la diferencia entre el instante de recepción de dicha señal y el instante de emisión; estando adaptado dicho dispositivo para, considerando cada valor sucesivo TT(t) determinado en cada uno de los N instantes t sucesivos y considerando que además TT(t) verifica la fórmula teórica siguiente considerada en cada uno de dichos instantes t:

$$TT(t) = \frac{1}{c} \left(\sqrt{(X_{TX}(t) - X_{Sat}(t))^2 + (Y_{TX}(t) - Y_{Sat}(t))^2 + (Z_{TX}(t) - Z_{Sat}(t))^2} + \sqrt{(X_{RX}(t) - X_{Sat}(t))^2 + (Y_{RX}(t) - Y_{Sat}(t))^2 + (Z_{RX}(t) - Z_{Sat}(t))^2} \right)$$

con:

($X_{Sat}(t)$; $Y_{Sat}(t)$; $Z_{Sat}(t)$): las coordenadas conocidas del satélite al instante t;

($X_{TX}(t)$; $Y_{TX}(t)$; $Z_{TX}(t)$): las coordenadas, desconocidas, del primer terminal (20) al instante t;

($X_{RX}(t)$; $Y_{RX}(t)$; $Z_{RX}(t)$): las coordenadas, conocidas, del segundo terminal (30) al instante t;

determinar la geolocalización del primer terminal (20) en al menos uno de dichos instantes t como igual a ($X_{TX}(t)$; $Y_{TX}(t)$; $Z_{TX}(t)$),

caracterizado porque el dispositivo de geolocalización (40) está adaptado para, iterativamente en una ventana

temporal determinada:

- 5 i/ considerando cada primer valor sucesivo $\Delta F(t)$ determinado, respectivamente cada valor sucesivo $TT(t)$ determinado durante la ventana, determinar los primeros coeficientes polinomiales de un polinomio de primer orden, respectivamente de un polinomio de segundo orden, dando dichos valores sucesivos;
 - ii/ en dicha ventana, y para una primera hipótesis de geolocalización de dicho terminal a localizar, calcular los valores teóricos $\Delta F(t)$, $TT(t)$ con la ayuda de la fórmula teórica correspondiente y determinar los segundos coeficientes polinomiales de un polinomio de primer orden, respectivamente de un polinomio de segundo orden, dando dichos valores calculados;
 - 10 iii/ calcular el valor de un estimador de verosimilitud para esta primera hipótesis de geolocalización; comparar entre sí los primeros y los segundos coeficientes y determinar un desplazamiento a partir de la primera hipótesis de geolocalización según dicha comparación;
 - iv/ reiterar las etapas anteriores con la nueva hipótesis de geolocalización así determinada tras el citado desplazamiento;
 - 15 v/ elegir la geolocalización correspondiente a un mínimo del estimador de verosimilitud.
9. Dispositivo de geolocalización (40) según cualquiera de las reivindicaciones 7 u 8, adaptado, en la determinación de la geolocalización del primer terminal (20), para resolver el sistema de ecuaciones, o de las derivadas temporales de las mismas, definido por las N igualdades entre cada valor sucesivo $VF(t)$ o $TT(t)$, determinada en cada
- 20 uno de los instantes t sucesivos y por dicha fórmula teórica correspondiente considerada en dicho instante t; y/o en la determinación de la geolocalización del primer terminal (20), para implementar una localización iterativa según la cual:
- 25 i/habiéndose realizado previamente una malla de la zona de cobertura satelital con una asociación en cada punto de la malla con un perfil precalculado que da la evolución temporal de $\Delta F(t)$ tal como se define en dicha fórmula teórica, o de una derivada temporal de $\Delta F(t)$, respectivamente con un perfil precalculado que da la evolución temporal de $TT(t)$ tal como se define en dicha fórmula teórica, o de una derivada temporal de $TT(t)$, el dispositivo está adaptado para comparar los perfiles precalculados en al menos una parte de la zona asociada y el perfil descrito por los valores determinados sucesivos de $\Delta F(t)$, o por su derivada temporal de $\Delta F(t)$, respectivamente el
 - 30 perfil descrito por los valores determinados de $TT(t)$, o por una derivada temporal de $TT(t)$;
 - ii/ el dispositivo está adaptado para determinar como punto de geolocalización del primer terminal (20) para la iteración actual, el punto de la malla asociada al perfil precalculado determinado, según dicha comparación, el más cercano entre los perfiles precalculados comparados; y
 - 35 iii/ en la iteración siguiente, el dispositivo está adaptado para repetir las operaciones i y ii dentro de una subzona de cobertura alrededor de dicho punto de geolocalización con una malla más fina que la malla anteriormente considerada.

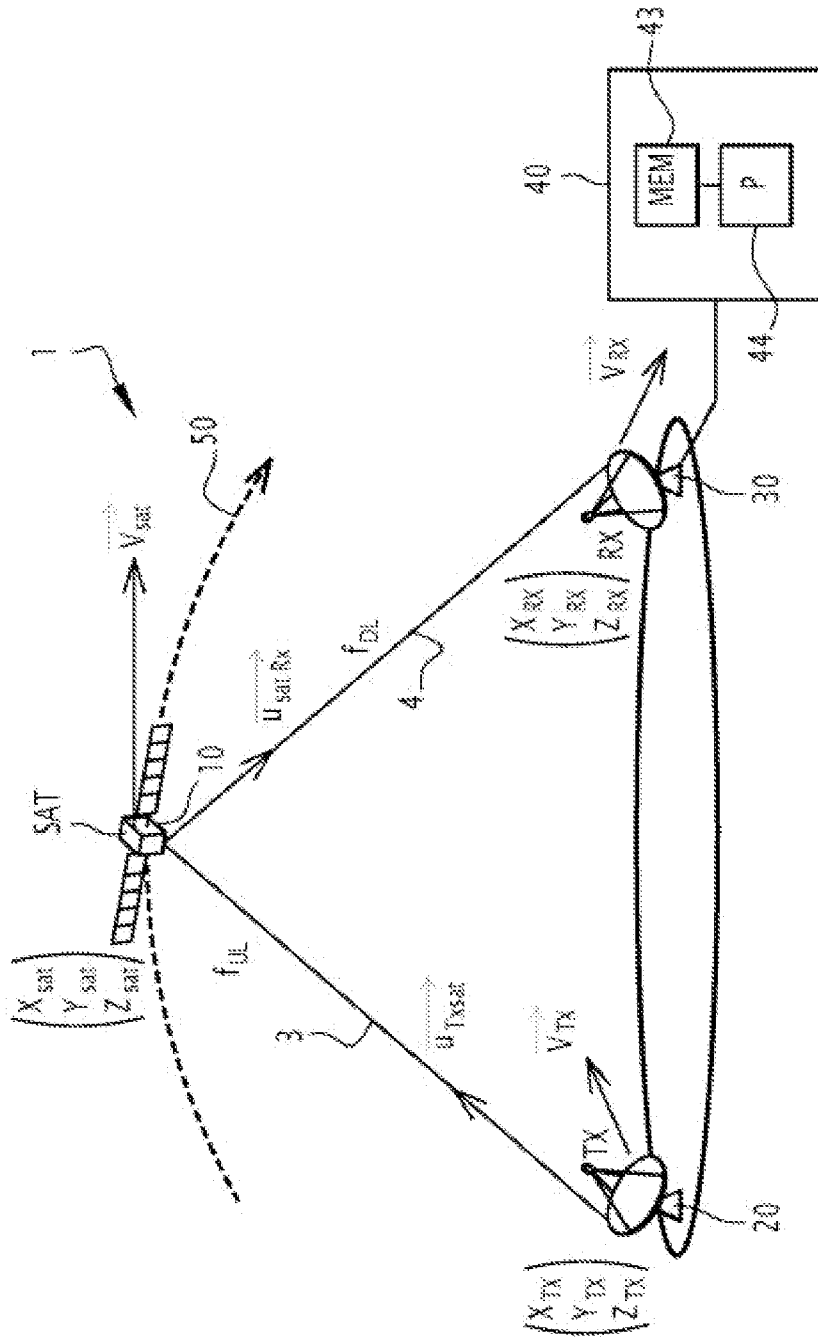


FIG.1

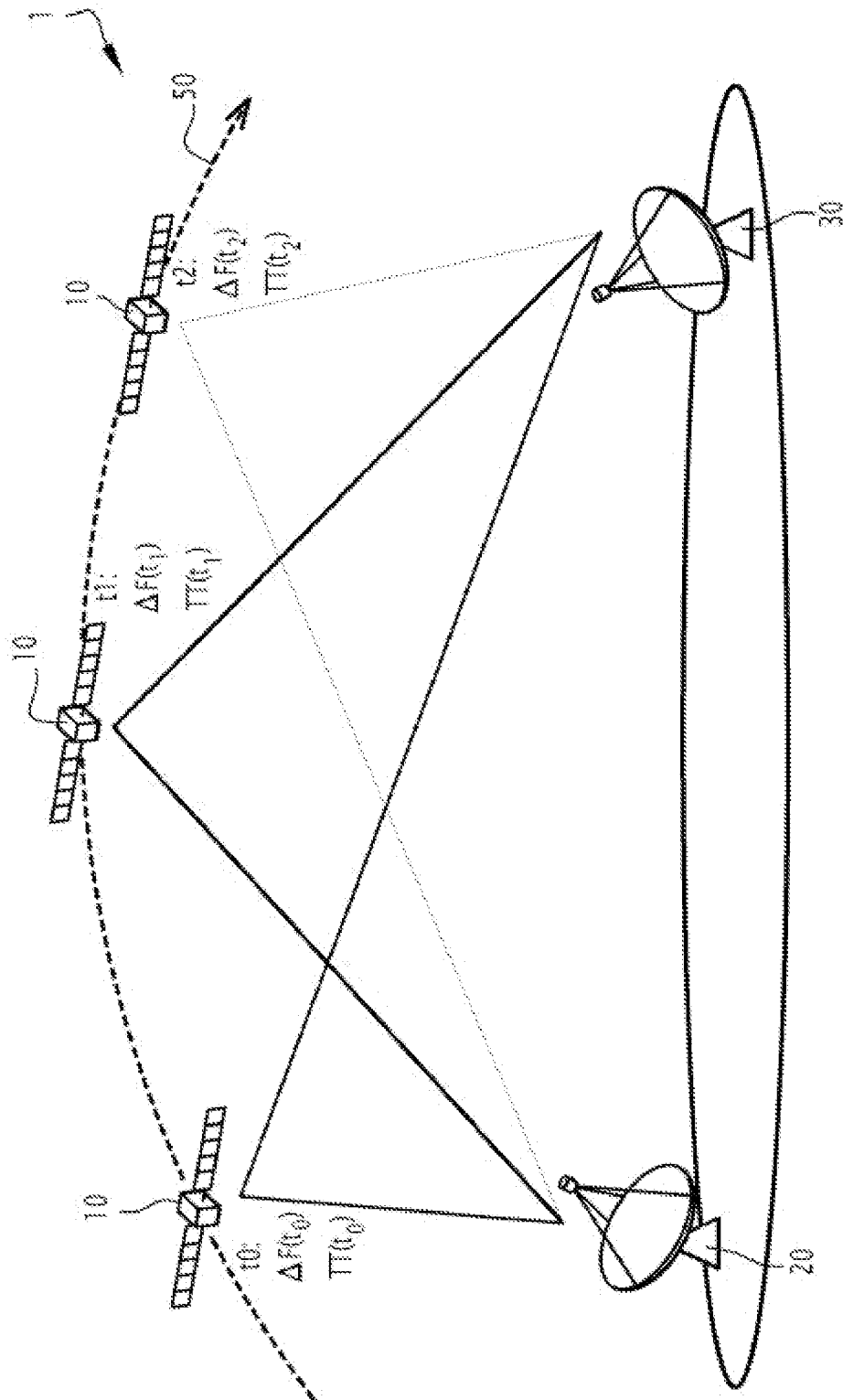


FIG.2

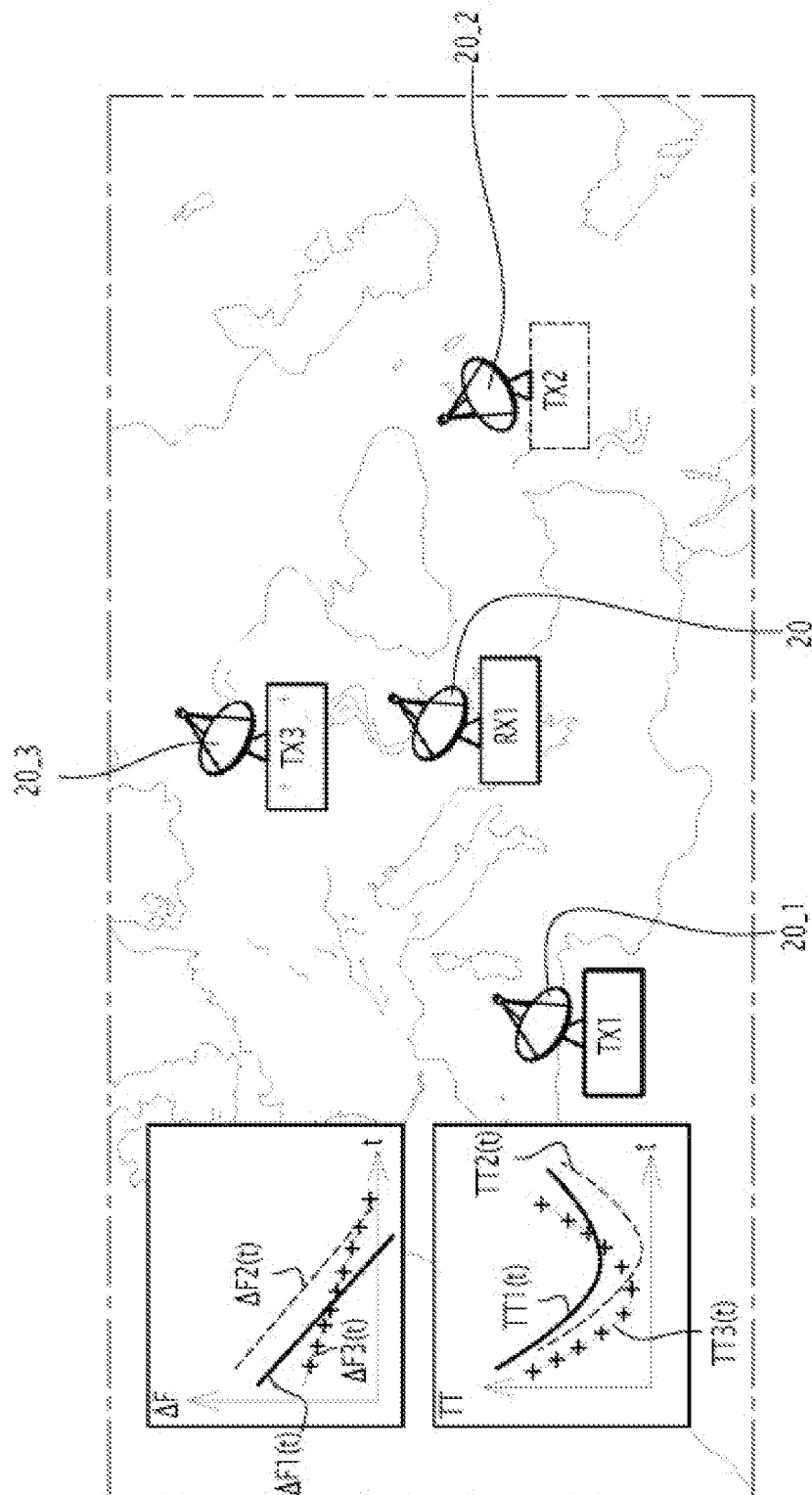


FIG.3

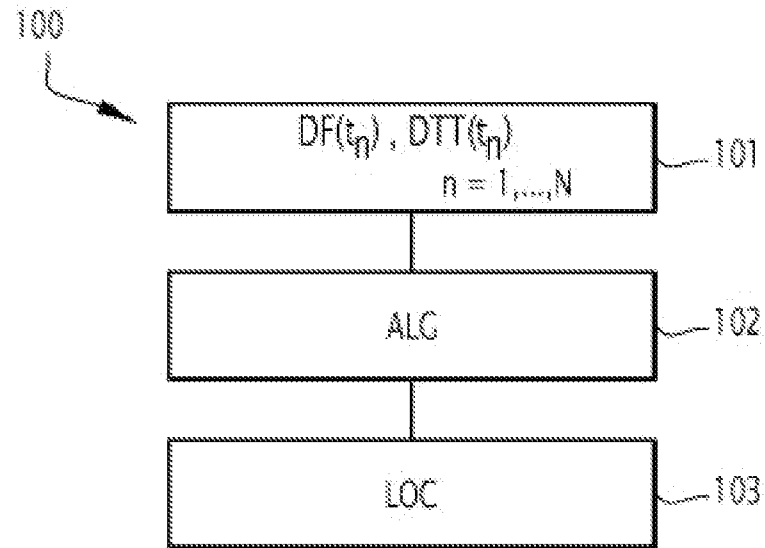


FIG.4

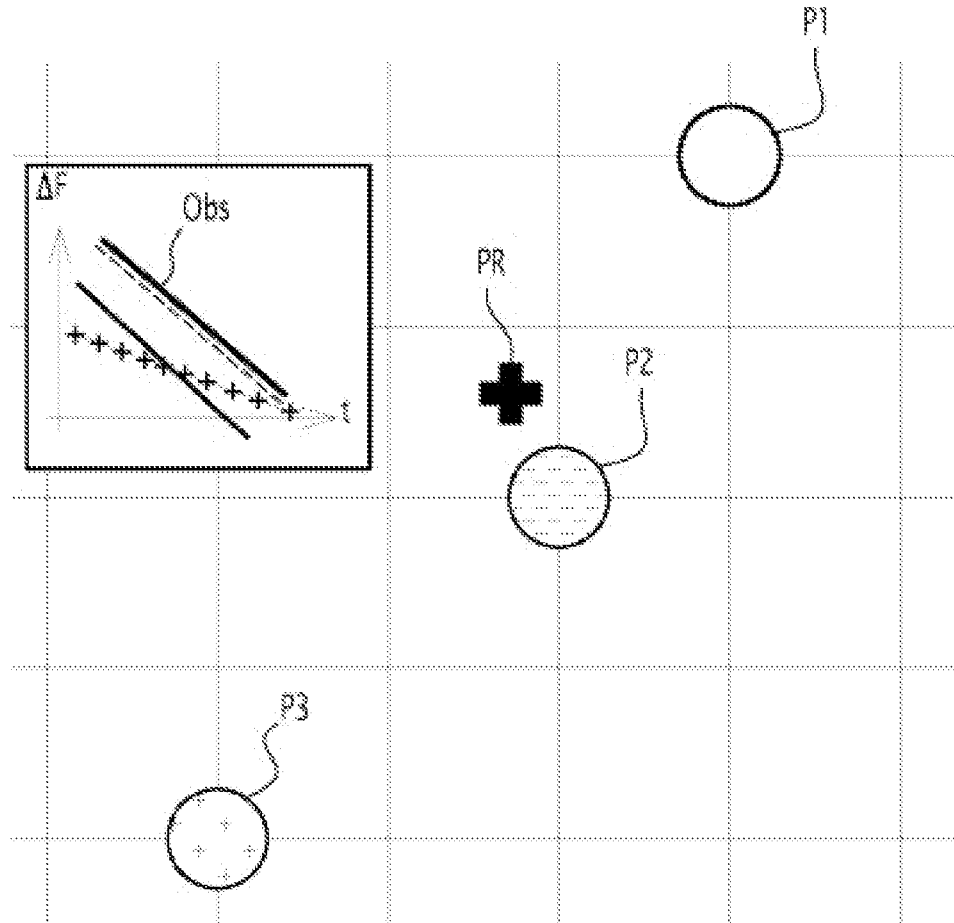


FIG.5

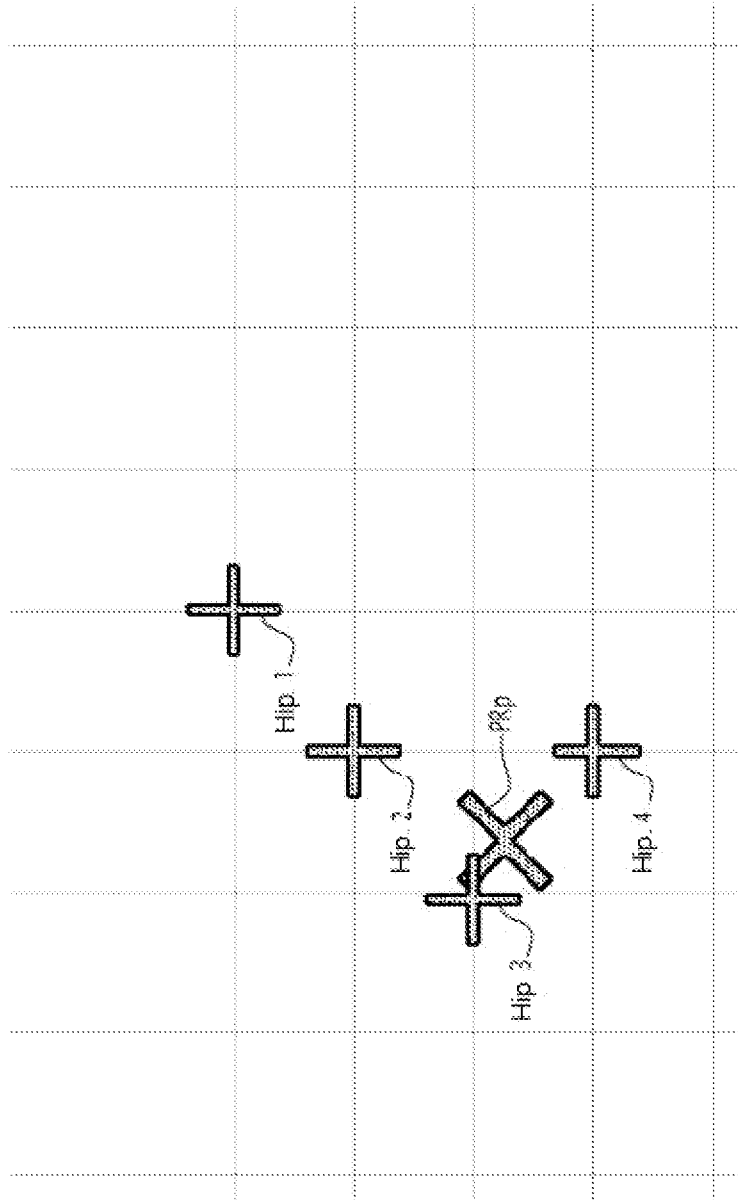


FIG. 6