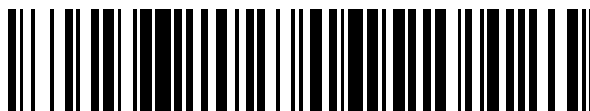


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 641 170**

51 Int. Cl.:

G01S 3/48 (2006.01)

G01S 5/02 (2010.01)

G01S 5/12 (2006.01)

H04B 7/185 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.02.2014 PCT/EP2014/053583**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.08.2014 WO14128304**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.02.2014 E 14706818 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.06.2017 EP 2959308**

54 Título: **Procedimiento y sistema de estimación de dirección de llegada de una señal objetivo con relación a un satélite**

30 Prioridad:

25.02.2013 FR 1300424

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

08.11.2017

73 Titular/es:

**AIRBUS DEFENCE AND SPACE SAS (100.0%)
51-61, Route de Verneuil
78130 Les Mureaux, FR**

72 Inventor/es:

**AYMES, JEAN-MARC;
SANCHEZ, RAPHAËL y
VOULOUZAN, FRÉDÉRIC**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 641 170 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

Procedimiento y sistema de estimación de dirección de llegada de una señal objetivo con relación a un satélite

Campo técnico

5 La presente invención pertenece al campo de los sistemas de satélites y, más en particular, se refiere a un procedimiento y a un sistema de estimación de dirección de llegada de una señal objetivo con relación a una red de antenas de medición de un satélite en órbita terrestre.

La presente invención encuentra aplicaciones particularmente ventajosas, aunque no limitativas, para la estimación de la posición de emisores sensiblemente en la superficie de la Tierra y/o la estimación de actitud de satélites en órbita terrestre.

10 Estado de la técnica

Un satélite de telecomunicaciones generalmente incluye varias antenas receptoras para recibir señales de telecomunicaciones emitidas desde la Tierra, dando servicio dichas antenas receptoras a diferentes zonas geográficas. Tal satélite de telecomunicaciones incluye, asimismo, una o varias antenas transmisoras para retransmitir dichas señales de telecomunicaciones en dirección a la Tierra.

15 La recepción de señales de interferencia por parte de una o varias antenas receptoras de un satélite de telecomunicaciones no es cosa rara. Tales señales de interferencia pueden conducir a una degradación de los servicios ofrecidos por el satélite de telecomunicaciones.

20 Con objeto de poder reducir o suprimir una señal de interferencia, puede ser útil conocer la posición de una fuente interferente causante de esta señal de interferencia. Una vez conocida esta posición, es posible, por ejemplo, intervenir en el terreno con el fin de interrumpir la emisión de la señal de interferencia.

Como alternativa, en el caso de antenas receptoras cuyo diagrama de radiación es modificable (por ejemplo, en el caso de una antena receptora determinada por una red de antenas receptoras elementales), dicho diagrama de radiación se puede modificar al efecto de atenuar acusadamente todas las señales recibidas en la dirección de llegada de la señal de interferencia.

25 Para estimar la dirección de llegada de una señal de interferencia, se conoce, por la patente US 6147640, proveer el satélite de telecomunicaciones de una red de antenas de medición puestas en práctica para efectuar medidas interferométricas sobre la señal de interferencia, siendo una medida interferométrica una estimación de la diferencia de fase entre unas señales, llamadas "señales de medida", que, recibidas por dos antenas de medición diferentes, se corresponden con la señal de interferencia. Tales medidas interferométricas se pueden utilizar, de manera
30 conocida, para estimar la dirección de llegada de la señal de interferencia con relación a la red de antenas de medición.

No obstante, la solución descrita en la patente US 6147640 presenta limitaciones.

35 En efecto, considerando, por ejemplo, un satélite en órbita geoestacionaria a aproximadamente 36 000 kilómetros de altitud, cada antena de medición tendrá que presentar una considerable ganancia para detectar cualquier señal de interferencia. Para ello, cada antena de medición tendrá unas dimensiones de consideración y gran ocupación de espacio. Adicionalmente, cada antena de medición presentará entonces un campo de visión estrecho, de modo que la cobertura geográfica, dentro de la cual se podrá localizar una fuente interferente, será reducida.

40 En caso contrario, es decir, en el caso de antenas de medición de ganancia y ocupación de espacio pequeñas, mediante la solución descrita en la patente US 6147640 sólo podrán ser detectadas señales de interferencia muy intensas, de modo que, en la práctica, no se podrán detectar ni localizar numerosos casos de señales de interferencia.

45 La solicitud de patente US 2006/0082501 describe una solución para estimar la dirección de llegada en elevación de una señal objetivo en un terminal, en el seno de un sistema de telecomunicaciones exclusivamente terrestre. Sin embargo, la solución descrita por la solicitud de patente US 2006/0082501 no es de aplicación en un sistema de telecomunicaciones por satélite, en particular, en el caso de un satélite en órbita geoestacionaria.

Explicación de la invención

50 La presente invención tiene como objetivo subsanar la totalidad o parte de las limitaciones de las soluciones de la técnica anterior, proponiendo una solución que permite estimar la dirección de llegada de señales objetivo con una reducida ocupación de espacio con respecto a las soluciones de la técnica anterior (al propio tiempo que tiene una considerable cobertura geográfica), y/o que permite estimar la dirección de llegada de señales objetivo más débiles que con las soluciones de la técnica anterior.

Adicionalmente, la presente invención tiene, asimismo, como objetivo proponer una solución simple y económica en su puesta en práctica.

A tal efecto, y de acuerdo con un primer aspecto, la invención se refiere a un procedimiento de estimación de una dirección de llegada de una señal objetivo con relación a una red de antenas de medición de un satélite en órbita terrestre, estimándose dicha dirección de llegada de la señal objetivo en función de unas señales, llamadas "señales de medida", que se corresponden con la señal objetivo respectivamente recibida por al menos una primera antena de medición y una segunda antena de medición de dicha red de antenas de medición. Dicho procedimiento incluye unas etapas de:

- combinación de cada una de las señales de medida con una señal, llamada "señal de referencia", que se corresponde con la señal objetivo recibida por una antena receptora del satélite, siendo dicha antena receptora de ganancia máxima superior a las respectivas ganancias máximas de la primera antena de medición y de la segunda antena de medición,
- estimación de la dirección de llegada de la señal objetivo a partir de las señales obtenidas mediante combinación de cada una de dichas señales de medida con la señal de referencia.

Debido a que la señal de referencia se corresponde con la señal objetivo recibida por una antena receptora que presenta una ganancia máxima superior a las respectivas ganancias máximas de las antenas de medición primera y segunda, se comprende que la relación señal objetivo a ruido de la señal de referencia es superior a las relaciones señal objetivo a ruido de las señales de medida.

Consecuentemente, las señales obtenidas tras la combinación presentan una mejor relación señal objetivo a ruido que las señales de medida. Esta mejora de la relación señal objetivo a ruido permite mejorar las prestaciones de la estimación de la dirección de llegada de dicha señal objetivo y/o hace posible esta estimación de la dirección de llegada para señales objetivo que mediante las soluciones de la técnica anterior no eran detectadas, debido a un nivel de recepción demasiado bajo.

Esta mejora de la relación señal objetivo a ruido también permite, con respecto a las soluciones de la técnica anterior, efectuar mediciones con tiempos de medición más reducidos por una precisión equivalente.

Por lo demás, la solución que se propone hace posible la estimación de la dirección de llegada para señales objetivo intermitentes y/o de frecuencia variable con el tiempo. Por ejemplo, la solución hace posible la estimación de la dirección de llegada de señales emitidas, en especial, por:

- un radar, o
- un terminal particular de un sistema de telecomunicaciones basado en un acceso múltiple por división de tiempo ("Time Division Multiple Access" o TDMA), tal como un terminal VSAT, o
- un terminal que explora un margen de frecuencias como consecuencia de una avería (conocido con el nombre de "sweeper" en la bibliografía anglosajona), etc.

Como quiera que la utilización de la señal de referencia permite mejorar la relación señal objetivo a ruido, se puede, además, aliviar el requerimiento sobre las ganancias máximas de las antenas de medición primera y segunda. Dichas antenas de medición primera y segunda pueden ser poco direccionales y, por tanto, ocupar poco espacio, al propio tiempo que tienen una considerable cobertura geográfica.

En formas particulares de puesta en práctica, el procedimiento de estimación de dirección de llegada puede incluir, además, una o varias de las siguientes características, consideradas aisladamente o según todas las combinaciones técnicamente posibles.

En una forma particular de puesta en práctica, incluyendo el satélite varias antenas receptoras que dan servicio a diferentes zonas geográficas de la Tierra, siendo cada antena receptora de ganancia máxima superior a las respectivas ganancias máximas de las antenas de medición primera y segunda, y dando servicio la primera antena de medición y la segunda antena de medición a todas las zonas geográficas que reciben servicio de las diferentes antenas receptoras, dicho procedimiento incluye una etapa de determinación de la antena receptora por la que es recibida la señal objetivo, utilizándose como señal de referencia la señal recibida por la antena receptora determinada.

Tales disposiciones permiten mejorar la relación señal objetivo a ruido, en cuanto que se atenuarán las señales provenientes de las zonas geográficas diferentes de aquella desde la cual se ha emitido la señal objetivo.

En una forma particular de puesta en práctica, a lo largo de la etapa de combinación:

- se calcula una primera combinación entre la señal de referencia y la señal de medida recibidas respectivamente por la antena receptora y la primera antena de medición a lo largo de un primer intervalo

de tiempo,

- se calcula una segunda combinación entre la señal de referencia y la señal de medida recibidas respectivamente por la antena receptora y la segunda antena de medición a lo largo de un segundo intervalo de tiempo, distinto del primer intervalo de tiempo,

5 estimándose la dirección de llegada de la señal objetivo en función al menos de dichas combinaciones primera y segunda.

En una forma particular de puesta en práctica, se pone en práctica al menos un recurso físico de cadenas de procesamiento de las señales de medida a bordo del satélite para procesar a la vez la señal de medida de la primera antena de medición y la señal de medida de la segunda antena de medición a lo largo de diferentes intervalos de tiempo respectivos.

Tales disposiciones permiten reducir, para el satélite, el sobrecoste ligado a la estimación de la dirección de llegada.

En una forma particular de puesta en práctica, al menos un recurso físico puesto en práctica para procesar a la vez la señal de medida de la primera antena de medición y la señal de medida de la segunda antena de medición a lo largo de diferentes intervalos de tiempo respectivos es un convertidor analógico/digital o un amplificador de bajo ruido o un módulo de conversión en frecuencia.

En una forma particular de puesta en práctica, el satélite es un satélite de telecomunicaciones o de observación de señales artificiales emitidas desde la Tierra, y cada antena receptora es una antena receptora de una carga de pago de telecomunicaciones o de observación de dicho satélite.

Tales disposiciones permiten tener un satélite de telecomunicaciones o de observación para el cual se ve reducido el sobrecoste ligado a la estimación de dirección. En efecto, no es necesario añadir antenas receptoras para suministrar la señal de referencia, puesto que la o las antenas receptoras de la carga de pago de telecomunicaciones o de observación son puestas en práctica, a la vez, para su misión de telecomunicaciones o de observación, pero también para suministrar la señal de referencia utilizada para estimar la dirección de llegada de la señal objetivo. En un satélite de este tipo, bastará, pues, con añadir la red de antenas de medición, pudiendo dichas antenas de medición ser poco direccionales y ocupar poco espacio, debido a la ganancia de procesamiento introducida por la combinación de las señales de medida con la señal de referencia.

De acuerdo con un segundo aspecto, la invención se refiere a un procedimiento de estimación de una posición de un emisor sensiblemente en la superficie de la Tierra, en el que la posición de dicho emisor es estimada en función, especialmente, de una dirección de llegada estimada, para una señal objetivo emitida por dicho emisor, de manera acorde con un procedimiento de estimación según la invención.

De acuerdo con un tercer aspecto, la invención se refiere a un procedimiento de estimación de una actitud de un satélite, incluyendo dicho satélite al menos una primera antena de medición, una segunda antena de medición y una antena receptora de ganancia máxima superior a las respectivas ganancias máximas de dicha primera antena de medición y de dicha segunda antena de medición. La actitud del satélite es estimada, especialmente, en función de una dirección de llegada estimada, para una señal objetivo emitida por un emisor de posición conocida con relación al satélite, de manera acorde con un procedimiento de estimación de dirección de llegada según la invención.

De acuerdo con un cuarto aspecto, la invención se refiere a un producto programa de ordenador que incluye un conjunto de instrucciones de código de programa que, cuando son ejecutadas por un procesador, ponen en práctica un procedimiento de estimación de dirección de llegada según la invención.

40 De acuerdo con un quinto aspecto, la invención se refiere a un sistema de estimación de una dirección de llegada de una señal objetivo con relación a una red de antenas de medición de un satélite en órbita terrestre, estimándose dicha dirección de llegada de la señal objetivo en función de unas señales, llamadas "señales de medida", que se corresponden con la señal objetivo respectivamente recibida por al menos una primera antena de medición y una segunda antena de medición de dicha red de antenas de medición. Dicho sistema incluye, además:

- 45 - medios de combinación adaptados para combinar cada una de las señales de medida con una señal, llamada "señal de referencia", que se corresponde con la señal objetivo recibida por una antena receptora del satélite, siendo dicha antena receptora de ganancia máxima superior a las respectivas ganancias máximas de la primera antena de medición y de la segunda antena de medición,
- 50 - medios de estimación adaptados para estimar la dirección de llegada de la señal objetivo a partir de las señales obtenidas mediante combinación de cada una de dichas señales de medida con la señal de referencia.

En formas particulares de realización, el sistema de estimación de dirección de llegada puede incluir, además, una o varias de las siguientes características, consideradas aisladamente o según todas las combinaciones técnicamente posibles.

5 En una forma particular de realización, el satélite incluye varias antenas receptoras que dan servicio a diferentes zonas geográficas de la Tierra, siendo cada antena receptora de ganancia máxima superior a las respectivas ganancias máximas de la primera antena de medición y de la segunda antena de medición, y dicha primera antena de medición y dicha segunda antena de medición dan servicio a todas las zonas geográficas que reciben servicio de las diferentes antenas receptoras.

En una forma particular de realización, el satélite incluye cadenas de procesamiento de las señales de medida, incluyendo dichas cadenas de procesamiento al menos un recurso físico compartido, puesto en práctica para procesar a la vez la señal de medida de la primera antena de medición y la señal de medida de la segunda antena de medición a lo largo de diferentes intervalos de tiempo respectivos.

10 En una forma particular de realización, al menos un recurso físico compartido de las cadenas de procesamiento del satélite es un convertidor analógico/digital o un amplificador de bajo ruido o un módulo de conversión en frecuencia.

15 En una forma particular de realización, el satélite es un satélite de telecomunicaciones o de observación de señales artificiales emitidas desde la Tierra, y cada antena receptora es una antena receptora de una carga de pago de telecomunicaciones o de observación de dicho satélite, preferentemente una carga de pago adaptada para recibir señales AIS, GNSS o ADS-B, o de cualquier otra señal artificial emitida desde la Tierra (radar, etc.).

En una forma particular de realización, el satélite está en órbita geoestacionaria, y la primera antena de medición y la segunda antena de medición presentan cada una de ellas un campo de visión de amplitud superior a 3°, preferentemente superior a 10°.

Presentación de las figuras

20 Se comprenderá mejor la invención con la lectura de la siguiente descripción, dada a título de ejemplo sin carácter limitativo alguno y llevada a cabo con referencia a las figuras, que representan:

figura 1: una representación esquemática de un sistema de estimación de dirección de llegada según un ejemplo de realización,

25 figura 2: un diagrama que ilustra las etapas principales de un procedimiento de estimación de dirección de llegada según la invención,

figura 3: un diagrama que ilustra un ejemplo de puesta en práctica de un procedimiento de estimación de dirección de llegada, y

figura 4: una representación esquemática parcial de un ejemplo de realización de un satélite de un sistema de estimación de dirección de llegada.

30 En estas figuras, referencias idénticas entre las figuras designan elementos idénticos o análogos. Por motivos de claridad, los elementos representados no están a escala, salvo indicación contraria.

Descripción detallada de formas de realización

La figura 1 representa esquemáticamente un ejemplo de realización de un sistema de estimación 10 de dirección de llegada de una señal objetivo, que incluye un satélite 20 en órbita terrestre.

35 Más adelante en la descripción, se asume el caso, sin carácter limitativo, de que el satélite 20 es un satélite de telecomunicaciones en órbita geoestacionaria. No se descarta, según otros ejemplos, considerar otros tipos de satélites (por ejemplo, de observación de señales artificiales emitidas desde la Tierra) y/u otros tipos de órbitas (LEO, MEO, etc.).

40 El satélite 20 incluye una carga de pago de telecomunicaciones que especialmente incluye varias antenas receptoras 21 que dan servicio a diferentes zonas geográficas Z_g en la superficie de la Tierra T .

La carga de pago de telecomunicaciones está adaptada, por ejemplo, para recibir señales AIS (“Advanced Identification System”), GNSS (“Global Navigation Satellite System”), ADS-B (“Automatic Dependent Surveillance-Broadcast”), etc. La carga de pago de telecomunicaciones del satélite 20 puede ser transparente o regenerativa, o también limitada a una función de recepción sin capacidad de repetición hacia la Tierra.

45 En el contexto de la invención, la dirección de llegada de una señal objetivo es estimada en función de unas señales, llamadas “señales de medida”, que se corresponden con la señal objetivo emitida desde la Tierra y recibida por una red de antenas de medición 22, diferenciadas de las antenas receptoras 21 del satélite 20. Por lo tanto, la dirección de llegada es estimada con relación a dicha red de antenas medición, que incluye al menos una primera antena de medición 22a y una segunda antena de medición 22b.

50 La señal objetivo puede ser todo tipo de señal, inclusive una señal de interferencia que perturba la misión de telecomunicaciones del satélite 20, o una señal útil correspondiente a una señal de telecomunicaciones, una señal

de calibración, una señal emitida por un emisor de posición conocida (especialmente con el fin de estimar la actitud del satélite), etc.

5 De manera conocida, la dirección de llegada de una señal objetivo con relación a las antenas de medición primera y segunda 22a, 22b es estimada, por ejemplo, en función de una estimación de la diferencia de fase entre las señales de medida. Tal estimación de la diferencia de fase, llamada "medida interferométrica", permite determinar una diferencia de marcha entre trayectos recorridos por la señal objetivo para llegar respectivamente a la primera antena de medición 22a y la segunda antena de medición 22b, la cual, a su vez, se puede utilizar para estimar la dirección de llegada de la señal objetivo.

10 Es de señalar que la estimación de la diferencia de marcha por medio de la estimación de la diferencia de fase puede resultar ser ambigua, en cuanto que la fase es estimada en módulo 2π . No obstante, esta ambigüedad se puede despejar por medios que salen del ámbito de la invención y que son considerados como conocidos por un experto en la materia.

15 La dirección de llegada de la señal objetivo con relación a las antenas de medición primera y segunda 22a, 22b puede ser estimada, asimismo, a partir de las señales de medida, aplicando algoritmos más complejos, mejor adaptados a los escenarios en los que se reciben varias señales, entre ellas la señal objetivo, por parte de la red de antenas de medición 22. Cabe citar, a título de ejemplos no limitativos, los siguientes algoritmos:

- MUSIC (véase, por ejemplo: "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation", R. O. Schmidt, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 34, N° 3, marzo de 1986),
- 20 - ESPRIT (véase, por ejemplo: "ESPRIT: Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques", R. Roy et al., IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 37, N° 7, julio de 1989).

25 En el ejemplo ilustrado en la figura 1, el satélite 20 incluye únicamente dos antenas de medición, en este caso concreto, la primera antena de medición 22a y la segunda antena de medición 22b. No se descarta, según otros ejemplos, considerar más de dos antenas de medición. En particular, es ventajoso considerar al menos tres antenas de medición, no todas ellas alineadas, si se desea poder estimar una dirección en 3D de llegada de la señal objetivo en una referencia asociada al satélite 20.

30 Ventajosamente, cada antena receptora 21 es de ganancia máxima superior a las respectivas ganancias máximas de la primera antena de medición 22a y de la segunda antena de medición 22b. Por lo tanto, las antenas receptoras 21 son más direccionales que las antenas de medición primera y segunda 22a, 22b. Por lo tanto, cada una de las antenas de medición primera y segunda 22a, 22b da servicio a una zona geográfica más grande que la que recibe servicio de una antena receptora 21. Le ganancia máxima de cada antena receptora es, por ejemplo, superior en al menos 3 decibelios (dB) a las ganancias máximas de las antenas de medición primera y segunda 22a, 22b. En formas preferidas de realización, dicha ganancia máxima de cada antena receptora es superior en al menos 10 decibelios (dB) a dichas ganancias máximas de las antenas de medición primera y segunda 22a, 22b.

35 En una forma preferida de realización, cada una de las antenas de medición primera y segunda 22a, 22b da servicio a todas las zonas geográficas que reciben servicio de las diferentes antenas receptoras 21 del satélite 20. De este modo, las antenas de medición primera y segunda 22a, 22b se pueden poner en práctica para estimar la dirección de llegada de una señal objetivo proveniente de una cualquiera de las zonas geográficas que reciben servicio de las diferentes antenas receptoras 21 del satélite 20. Por ejemplo, la primera antena de medición 22a y la segunda antena de medición 22b presentan, cada una de ellas, un campo de visión de amplitud superior a 3°, e incluso superior a 10°. El campo de visión de las antenas de medición primera y segunda 22a, 22b es, por ejemplo, de amplitud sensiblemente igual a 17°, al efecto de cubrir simultáneamente toda la superficie terrestre visible desde un satélite en órbita geoestacionaria.

45 De manera general, las etapas principales de un procedimiento de estimación de dirección de llegada 50 según la invención, ilustradas por la figura 2, son las siguientes:

- 51 combinación de cada una de las señales de medida con una señal, llamada "señal de referencia", que se corresponde con la señal objetivo recibida por una de las antenas receptoras 21 del satélite 20,
- 52 estimación de la dirección de llegada de la señal objetivo a partir de las señales obtenidas mediante combinación de cada una de dichas señales de medida con la señal de referencia.

50 En la práctica, cuando la señal objetivo se corresponde con una señal de interferencia, la antena receptora 21 que se considere se corresponderá, por ejemplo, con la antena receptora 21 que haya permitido detectar dicha señal de interferencia. Si varias antenas receptoras 21 permiten la detección de dicha señal de interferencia, se podrá, por ejemplo, considerar aquella que presente el nivel más elevado de recepción de dicha señal de interferencia.

55 En un contexto de estimación de actitud del satélite 20, podrán considerarse varias señales objetivo, emitidas por diferentes emisores de posiciones conocidas, que preferentemente se encuentren dentro de diferentes zonas

geográficas respectivas. De este modo, para cada señal objetivo cuya dirección de llegada se pretende estimar, se utilizará la antena receptora 21 por la que es recibida dicha señal objetivo, es decir, la antena receptora 21 que da servicio a la zona geográfica en la que se encuentra el emisor de dicha señal objetivo.

5 El sistema de estimación de dirección de llegada 10 incluye, además, medios configurados para ejecutar las etapas del procedimiento de estimación de dirección de llegada 50. Consecuentemente, éste comprende, en especial:

- medios de combinación adaptados para combinar cada una de las señales de medida con la señal de referencia,
- medios de estimación adaptados para estimar la dirección de llegada de la señal objetivo a partir de las señales obtenidas mediante combinación de cada una de dichas señales de medida con la señal de referencia.

Es de señalar que los medios de combinación y los medios de estimación pueden estar en su totalidad embarcados en el satélite 20, en su totalidad integrados en una estación en tierra 30, o también distribuidos entre dicho satélite 20 y dicha estación en tierra 30.

15 Más adelante en la descripción, se asume, de manera no limitativa, el caso de que los medios de combinación y los medios de estimación están integrados en su totalidad en la estación en tierra 30. En tal caso, el satélite 20 incluye medios de reemisión de la señal de referencia y de las señales de medida recibidas, con destino a la estación en tierra 30. Son posibles, en el satélite 20, varias configuraciones, según que se transmitan a la estación en tierra 30 versiones analógicas y/o digitales de la señal de referencia y de las señales de medida. Por ejemplo:

- se transmite a la estación en tierra 30 una versión analógica de la señal de referencia (satélite 20 transparente o regenerativo) y versiones analógicas de las señales de medida,
- se transmite a la estación en tierra 30 una versión analógica de la señal de referencia y versiones digitales de las señales de medida (digitalización a bordo de las señales de medida),
- se transmite a la estación en tierra 30 una versión digital de la señal de referencia (digitalización a bordo de la señal de referencia) y versiones digitales de las señales de medida.

25 En la estación en tierra 30, los medios de combinación y los medios de estimación se materializan, por ejemplo, en forma de un procesador y de una memoria electrónica en la que se memoriza un producto programa de ordenador. El producto programa de ordenador se materializa en forma de un conjunto de instrucciones de código de programa que, cuando son ejecutadas por el procesador, ponen en práctica la totalidad o parte de las etapas del procedimiento de estimación de dirección de llegada 50. En una variante, los medios de combinación y/o los medios de estimación incluyen dispositivos lógicos programables, de tipo FPGA, PLD, etc., y/o circuitos integrados de aplicación específica (ASIC), adaptados para poner en práctica la totalidad o parte de las etapas de dicho procedimiento de estimación de dirección de llegada 50.

Se pueden contemplar diversas combinaciones de las señales de medida con la señal de referencia.

35 En una forma preferida de puesta en práctica, la combinación de la señal de referencia con una señal de medida incluye un cálculo de correlación de dicha señal de referencia con dicha señal de medida. De manera conocida, la señal obtenida tras la combinación es representativa, entonces, de la diferencia de fase entre la señal objetivo tal como la recibe la antena receptora 21 y la señal objetivo tal como la recibe la antena de medición que se considere. De este modo, al término de la etapa de combinación 51, se dispone de dos señales representativas de:

- la diferencia de fase $\Delta\varphi_{REF1} = \varphi_{REF} - \varphi_1$ entre la fase φ_{REF} de la señal de referencia y la fase φ_1 de la señal de medida de la primera antena de medición 22a,
- la diferencia de fase $\Delta\varphi_{REF2} = \Delta\varphi_{REF} - \varphi_2$ entre la fase φ_{REF} de la señal de referencia y la fase φ_2 de la señal de medida de la segunda antena de medición 22b.

A continuación, la etapa de estimación 52 de la dirección de llegada incluye, por ejemplo, unas sub-etapas (no ilustradas mediante figuras) de:

- estimación de la diferencia de fase entre las señales obtenidas tras la combinación,
- estimación de la dirección de llegada a partir de la diferencia de fase entre las señales obtenidas tras la combinación.

A lo largo de la sub-etapa de estimación de la diferencia de fase entre las señales de medida, se calcula, por ejemplo, la correlación entre:

- la señal obtenida mediante combinación de la señal de referencia con la señal de medida de la primera antena de medición 22a, y

- la señal obtenida mediante combinación de la señal de referencia con la señal de medida de la segunda antena de medición 22b.

Seguidamente, se calcula el argumento del resultado del cálculo de correlación, que corresponde a la estimación de la diferencia de fase entre dichas señales obtenidas mediante combinación. De este modo, al término de la sub-etapa de estimación de la diferencia de fase entre las señales obtenidas tras la combinación, se dispone, pues, de una estimación de la diferencia:

$$\Delta\varphi_{REF1} - \Delta\varphi_{REF2} = \varphi_{REF} - \varphi_1 - \varphi_{REF} + \varphi_2 = \varphi_2 - \varphi_1$$

es decir, una estimación de la diferencia de fase $\Delta\varphi_{21}$ entre la fase φ_2 de la señal de medida de la segunda antena de medición 22b y la fase φ_1 de la señal de medida de la primera antena de medición 22a.

Es de señalar que, considerando unas antenas de medición primera y segunda 22a, 22b poco direccionales (que, por ejemplo, presentan una amplitud angular de 17° para un satélite 20 en órbita geoestacionaria), en la práctica, sería muy difícil estimar directamente la diferencia de fase $\Delta\varphi_{21}$ sin pasar por la combinación con la señal de referencia. En efecto, la relación señal objetivo a ruido, en cada una de las señales de medición, la mayoría de las veces sería demasiado baja, debido a una baja ganancia máxima de cada una de dichas antenas de medición primera y segunda 22a, 22b. La combinación con la señal de referencia, que presenta una relación señal objetivo a ruido mucho mejor, permite introducir una ganancia de procesamiento. De este modo, es posible estimar las diferencias de fase $\Delta\varphi_{REF1}$ y $\Delta\varphi_{REF2}$ y, a continuación, estimar la diferencia de fase $\Delta\varphi_{21}$ con una mejor relación señal objetivo a ruido que considerando tan solo las señales de medida de las antenas de medición primera y segunda.

La estimación de la dirección de llegada, a partir de la estimación de la diferencia de fase entre las señales de medida, se puede realizar de manera convencional, poniendo en práctica procedimientos que se consideran conocidos por un experto en la materia. Tal como se ha indicado anteriormente, al efectuarse la estimación de la diferencia de fase en módulo 2π , puede resultar ser necesario despejar la ambigüedad residual, poniendo en práctica procedimientos que asimismo se consideran conocidos por un experto en la materia.

En una forma particular de puesta en práctica, que se puede considerar sola o en combinación con una cualquiera de las formas de puesta en práctica descritas anteriormente, es posible estimar, a lo largo de la etapa de combinación 51, la diferencia de fase $\Delta\varphi_{REF1}$ y la diferencia de fase $\Delta\varphi_{REF2}$. A partir de estas diferencias de fase $\Delta\varphi_{REF1}$ y $\Delta\varphi_{REF2}$, es posible estimar las diferencias de marcha entre, respectivamente:

- los trayectos recorridos por la señal objetivo para llegar a la antena receptora 21 y la primera antena de medición 22a,
- los trayectos recorridos por la señal objetivo para llegar a la antena receptora 21 y la segunda antena de medición 22b.

Estas diferencias de marcha se pueden utilizar entonces para estimar la dirección de llegada de la señal objetivo (dirección en 3D si la antena receptora 21 y las antenas de medición primera y segunda no están alineadas).

En una forma alternativa de puesta en práctica, la dirección de llegada de la señal objetivo se puede estimar directamente a partir de las señales obtenidas tras la combinación, poniendo en práctica algoritmos tales como MUSIC o ESPRIT, que se consideran conocidos por un experto en la materia. Es de señalar que tales algoritmos se pueden poner en práctica para procesar simultáneamente más de dos señales obtenidas tras la combinación. De este modo, en el caso de una red 22 que incluye N_r antenas de medición, siendo N_r igual o superior a 3, la dirección de llegada de la señal objetivo se puede estimar directamente a partir de las N_r señales obtenidas tras la combinación de las diferentes señales de medida con la señal de referencia.

La figura 3 representa una forma preferida de puesta en práctica de un procedimiento de estimación de dirección de llegada 50, en el que, a lo largo de la etapa de combinación 51:

- se calcula una primera combinación entre la señal de referencia y la señal de medida recibidas respectivamente por la antena receptora 21 y la primera antena de medición 22a a lo largo de un primer intervalo de tiempo IT_1 ,
- se calcula una segunda combinación entre la señal de referencia y la señal de medida recibidas respectivamente por la antena receptora 21 y la segunda antena de medición 22b a lo largo de un segundo intervalo de tiempo IT_2 , distinto del primer intervalo de tiempo IT_1 .

De este modo, la señal representativa de la diferencia de fase $\Delta\varphi_{REF1}$ es obtenida mediante combinación de la señal de referencia (designada con S_{REF} en la figura 3), recibida a lo largo del primer intervalo de tiempo IT_1 , con la señal de medida de la primera antena de medición 22a (designada con S_{M1} en la figura 3), recibida a lo largo del mismo primer intervalo de tiempo IT_1 .

La señal representativa de la diferencia de fase $\Delta\phi_{REF2}$ es obtenida mediante combinación de la señal de referencia S_{REF} , recibida a lo largo del segundo intervalo de tiempo $IT2$, con la señal de medida de la segunda antena de medición 22b (designada con S_{M2} en la figura 3), recibida a lo largo del mismo segundo intervalo de tiempo $IT2$.

- 5 A continuación, la dirección de llegada de la señal objetivo es estimada tal y como se ha descrito anteriormente, utilizando la primera combinación y la segunda combinación, respectivamente representativas de las diferencias de fase $\Delta\phi_{REF1}$ y $\Delta\phi_{REF2}$.

Se comprende, pues, que, en el ejemplo ilustrado por la figura 3 y merced a la utilización de la señal de referencia S_{REF} , la estimación de la dirección de llegada de la señal objetivo no precisa disponer:

- 10 - de la señal de medida S_{M1} recibida por la primera antena de medición 22a a lo largo del segundo intervalo de tiempo $IT2$,
- de la señal de medida S_{M2} recibida por la segunda antena de medición 22b a lo largo del primer intervalo de tiempo $IT1$.

15 De este modo, es posible reducir el coste del sistema de estimación de dirección de llegada 10, merced a una puesta en común de ciertos recursos físicos. Y es que, en ciertos casos, se podrán utilizar a la vez los mismos recursos físicos para la señal de medida S_{M1} y para la señal de medida S_{M2} , a lo largo de diferentes intervalos de tiempo respectivos.

20 La figura 4 representa esquemáticamente una forma preferida de realización de un satélite 20 de un sistema de estimación de dirección de llegada 10. La figura 4 es una representación parcial del satélite 20 y, en especial, no se representan las antenas receptoras 21 de la carga de pago de telecomunicaciones de dicho satélite.

En la forma de realización ilustrada por la figura 4, se asume el caso de que la estimación de la dirección de llegada se calcula mediante la estación en tierra 30.

25 Consecuentemente, el satélite 20 incluye medios de emisión adaptados para emitir las señales de medida, recibidas por la red de antenas de medición 22, con destino a la estación en tierra 30. Dichos medios de emisión incluyen, por ejemplo:

- un mezclador 23 y un oscilador local 24 adaptados para trasladar en frecuencia las señales de medida,
- un amplificador de potencia 25,
- una antena transmisora 26.

30 Tal como se ilustra mediante la figura 4, dichos medios de emisión son compartidos entre las diferentes antenas de medición de la red de antenas de medición 22, por medio de un conmutador 27 adaptado para conectar, a su debido tiempo, cada una de las salidas de dichas antenas de medición a los medios de emisión. En el ejemplo ilustrado por la figura 4, la red de antenas de medición 22 incluye cuatro antenas de medición 22a, 22b, 22c y 22d. A lo largo de un primer intervalo de tiempo $IT1$, sólo está conectada a los medios de emisión la salida de la primera antena de medición 22a, a lo largo de un segundo intervalo de tiempo $IT2$, sólo está conectada a los medios de emisión la salida de la segunda antena de medición 22b, etc.

35 Entre las diferentes antenas de medición se pueden compartir otros recursos físicos, como alternativa o en combinación con dichos medios de emisión.

40 De manera más general, en formas preferidas de realización, se comparte, entre las diferentes antenas de medición de la red de antenas de medición 22, al menos un recurso físico de cadenas de procesamiento de las señales de medición a bordo del satélite 20. Dicho de otro modo, se utiliza al menos un recurso físico de dichas cadenas de procesamiento para procesar señales de medida de diferentes antenas de medición de la red de antenas de medición 22, a lo largo de diferentes intervalos de tiempo respectivos. Según un ejemplo no limitativo, al efectuarse a bordo del satélite 20 la digitalización de las señales de medida, se pone en práctica un mismo convertidor analógico/digital para digitalizar las señales de medida de diferentes antenas de medición a lo largo de diferentes intervalos de tiempo respectivos. Según otro ejemplo no limitativo, se pone en práctica un mismo amplificador de bajo ruido ("Low Noise Amplifier" o LNA) para amplificar, antes de la digitalización, las diferentes señales de medida a lo largo de diferentes intervalos de tiempo respectivos. Según otro ejemplo no limitativo, se pone en práctica un mismo módulo de conversión en frecuencia (por ejemplo, un conjunto que comprende un oscilador local, un mezclador y un filtro) para trasladar en frecuencia las diferentes señales de medida a lo largo de diferentes intervalos de tiempo respectivos.

50 Es de señalar, además, que el hecho de transmitir, del satélite 20 hacia la estación en tierra 30, tan solo porciones de las diferentes señales de medida, recibidas a lo largo de diferentes intervalos de tiempo respectivos, permite reducir el ancho de banda requerido para esta transmisión.

De manera más general, es de señalar que las formas de puesta en práctica y de realización antes consideradas se han descrito a título de ejemplos no limitativos, y que, consiguientemente, son concebibles otras variantes.

5 En especial, la invención se ha descrito considerando varias antenas receptoras 21 que dan servicio a diferentes zonas geográficas de la Tierra. No se descarta, según otros ejemplos, considerar una sola antena receptora, por ejemplo montada con facultad de movimiento, pudiendo ser dirigida sucesivamente hacia cada una de dichas zonas geográficas. Tal solución se puede contemplar especialmente si la antena receptora 21 está dedicada a la estimación de dirección de llegada (y, por tanto, no es una antena receptora 21 de una carga de pago de telecomunicaciones del satélite 20).

10 La descripción que antecede ilustra claramente que, por sus diferentes características y sus ventajas, la presente invención logra los objetivos que se había fijado. En particular, se comprende que, merced a la combinación con la señal de referencia, recibida por una antena receptora 21 direccional y que presenta una buena relación señal objetivo a ruido, se pueden reducir las dimensiones de las antenas de medición. Adicionalmente, es posible reutilizar una o varias antenas receptoras 21 direccionales de una carga de pago de telecomunicaciones, utilizándose ventajosamente éstas, entonces, a la vez para su misión de telecomunicaciones y para una misión suplementaria de estimación de dirección de llegada.

15 La estimación de dirección de llegada encuentra numerosas aplicaciones.

20 En particular, es posible estimar la posición de un emisor sensiblemente en la superficie de la Tierra, tal como una fuente interferente. Y es que, si se conoce la posición del satélite 20 y su actitud dentro de una referencia asociada a la Tierra, conocer la dirección de llegada de la señal de interferencia emitida por dicha fuente interferente permitirá determinar su posición.

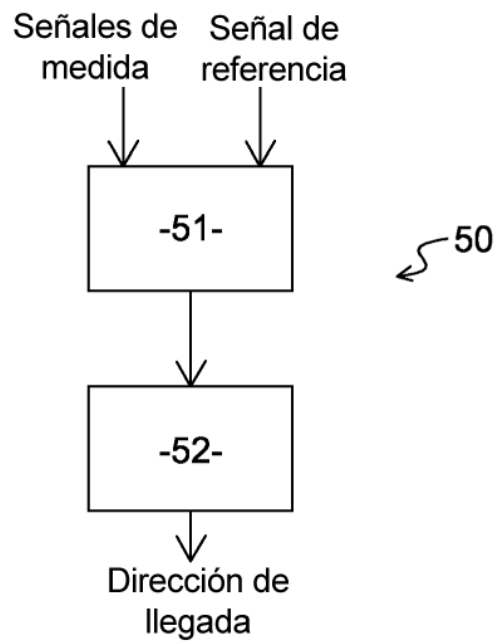
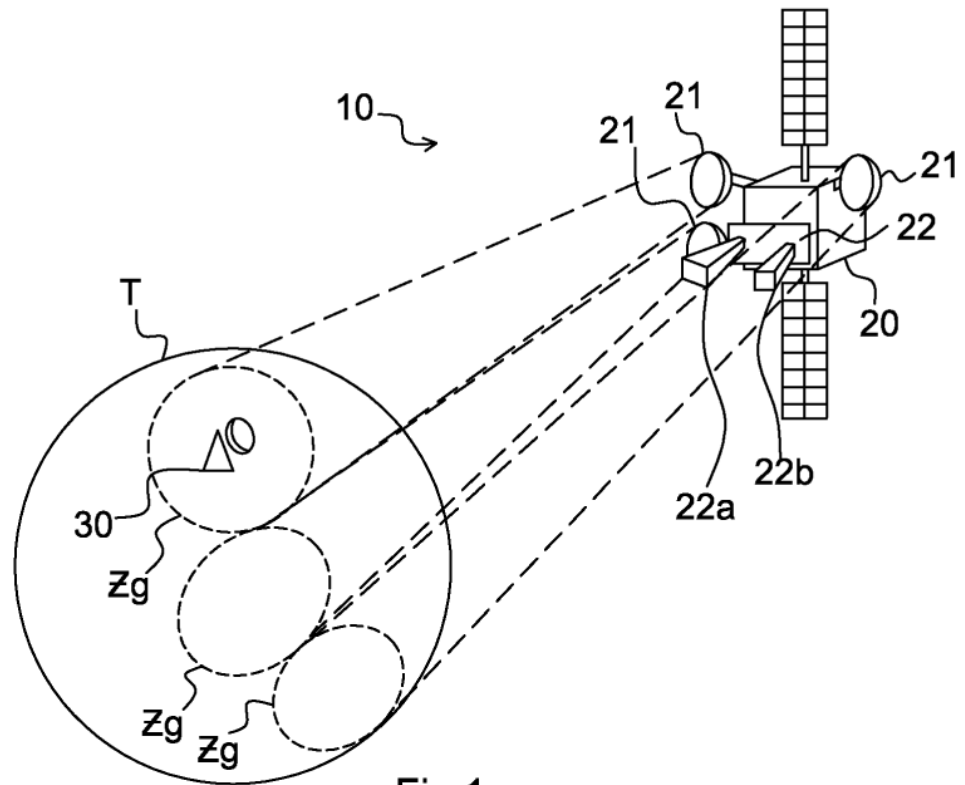
Adicionalmente, es posible estimar la actitud del satélite 20. Y es que, si se conoce la posición del satélite 20, conocer las direcciones de llegada de señales objetivo emitidas por uno o varios emisores de posición conocida permitirá estimar la actitud.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de estimación (50) de una dirección de llegada de una señal objetivo con relación a una red de antenas de medición (22) de un satélite (20) en órbita terrestre, estimándose dicha dirección de llegada de la señal objetivo en función de unas señales, llamadas señales de medida, que se corresponden con la señal objetivo respectivamente recibida por al menos una primera antena de medición (22a) y una segunda antena de medición (22b) de dicha red de antenas de medición (22), caracterizado por que el procedimiento (50) incluye unas etapas de:
- (51) combinación de cada una de las señales de medida con una señal, llamada señal de referencia, que se corresponde con la señal objetivo recibida por una antena receptora (21) del satélite (20), siendo dicha antena receptora de ganancia máxima superior a las respectivas ganancias máximas de la primera antena de medición (22a) y de la segunda antena de medición (22b),
 - (52) estimación de la dirección de llegada de la señal objetivo a partir de las señales obtenidas mediante combinación de cada una de dichas señales de medida con la señal de referencia.
2. Procedimiento (50) según la reivindicación 1, caracterizado por que, incluyendo el satélite (20) varias antenas receptoras (21) que dan servicio a diferentes zonas geográficas (Zg) de la Tierra (T), siendo cada antena receptora (21) de ganancia máxima superior a las respectivas ganancias máximas de la primera antena de medición (22a) y de la segunda antena de medición (22b), dicho procedimiento incluye la determinación de la antena receptora (21) por la que es recibida la señal objetivo, utilizándose como señal de referencia, a lo largo de la etapa de combinación (51), la señal recibida por la antena receptora determinada.
3. Procedimiento (50) según una de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por que, a lo largo de la etapa de combinación (51):
- se calcula una primera combinación entre la señal de referencia y la señal de medida recibidas respectivamente por la antena receptora (21) y la primera antena de medición (22a) a lo largo de un primer intervalo de tiempo,
 - se calcula una segunda combinación entre la señal de referencia y la señal de medida recibidas respectivamente por la antena receptora (21) y la segunda antena de medición (22b) a lo largo de un segundo intervalo de tiempo, distinto del primer intervalo de tiempo,
- estimándose la dirección de llegada de la señal objetivo en función al menos de dicha primera combinación y de dicha segunda combinación.
4. Procedimiento (50) según la reivindicación 3, caracterizado por que se pone en práctica al menos un recurso físico de cadenas de procesamiento de las señales de medida a bordo del satélite (20) para procesar a la vez la señal de medida de la primera antena de medición (22a) y la señal de medida de la segunda antena de medición (22b) a lo largo de diferentes intervalos de tiempo respectivos.
5. Procedimiento (50) según la reivindicación 4, caracterizado por que al menos un recurso físico puesto en práctica para procesar a la vez la señal de medida de la primera antena de medición (22a) y la señal de medida de la segunda antena de medición (22b) a lo largo de diferentes intervalos de tiempo respectivos es un convertidor analógico/digital o un amplificador de bajo ruido o un módulo de conversión en frecuencia.
6. Procedimiento (50) según una de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por que la señal objetivo es una señal intermitente y/o una señal de frecuencia variable con el tiempo.
7. Procedimiento de estimación de una posición de un emisor sensiblemente en la superficie de la Tierra, caracterizado por que la posición de dicho emisor es estimada en función de una dirección de llegada estimada, para una señal objetivo emitida por dicho emisor, de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6.
8. Procedimiento de estimación de una actitud de un satélite (20) en órbita terrestre, incluyendo dicho satélite al menos una primera antena de medición (22a), una segunda antena de medición (22b) y una antena receptora (21) de ganancia máxima superior a las respectivas ganancias máximas de dicha primera antena de medición y de dicha segunda antena de medición, caracterizado por que la actitud del satélite (20) es estimada en función de una dirección de llegada estimada, para una señal objetivo emitida por un emisor de posición conocida con relación al satélite (20), de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6.
9. Producto programa de ordenador, caracterizado por que incluye un conjunto de instrucciones de código de programa que, cuando son ejecutadas por un procesador, ponen en práctica un procedimiento de estimación de dirección de llegada (50) según una de las reivindicaciones 1 a 6.
10. Sistema de estimación (10) de una dirección de llegada de una señal objetivo con relación a una red de antenas de medición (20) de un satélite (20) en órbita terrestre, estimándose dicha dirección de llegada de la señal objetivo en función de unas señales, llamadas señales de medida, que se corresponden con la señal objetivo

respectivamente recibida por al menos una primera antena de medición (22a) y una segunda antena de medición (22b) de dicha red de antenas de medición (20), caracterizado por que el sistema (10) incluye, además:

- 5 - medios de combinación adaptados para combinar cada una de las señales de medida con una señal, llamada señal de referencia, que se corresponde con la señal objetivo recibida por una antena receptora (21) del satélite (20), siendo dicha antena receptora de ganancia máxima superior a las respectivas ganancias máximas de la primera antena de medición (22a) y de la segunda antena de medición (22b),
 - medios de estimación adaptados para estimar la dirección de llegada de la señal objetivo a partir de las señales obtenidas mediante combinación de cada una de dichas señales de medida con la señal de referencia.
- 10 11. Sistema (10) según la reivindicación 10, caracterizado por que el satélite (20) incluye varias antenas receptoras (21) que dan servicio a diferentes zonas geográficas (Zg) de la Tierra (T), siendo cada antena receptora (21) de ganancia máxima superior a las respectivas ganancias máximas de la primera antena de medición (22a) y de la segunda antena de medición (22b), dando servicio dicha primera antena de medición y dicha segunda antena de medición a todas las zonas geográficas que reciben servicio de las diferentes antenas receptoras (21).
- 15 12. Sistema (10) según la reivindicación 10 u 11, caracterizado por que el satélite (20) incluye cadenas de procesamiento de las señales de medida, incluyendo dichas cadenas de procesamiento al menos un recurso físico compartido puesto en práctica para procesar a la vez la señal de medida de la primera antena de medición (22a) y la señal de medida de la segunda antena de medición (22b) a lo largo de diferentes intervalos de tiempo respectivos.
- 20 13. Sistema (10) según la reivindicación 12, caracterizado por que al menos un recurso físico compartido de las cadenas de procesamiento del satélite (20) es un convertidor analógico/digital o un amplificador de bajo ruido o un módulo de conversión en frecuencia.
14. Sistema (10) según una de las reivindicaciones 10 a 13, caracterizado por que el satélite (20) es un satélite de telecomunicaciones o de observación de señales artificiales emitidas desde la Tierra, y cada antena receptora (21) es una antena receptora de una carga de pago de telecomunicaciones o de observación de dicho satélite (20).
- 25 15. Sistema (10) según una de las reivindicaciones 10 a 14, caracterizado por que el satélite (20) está en órbita geoestacionaria, y por que la primera antena de medición (22a) y la segunda antena de medición (22b) presentan cada una de ellas un campo de visión de amplitud superior a 3°, preferentemente superior a 10°.



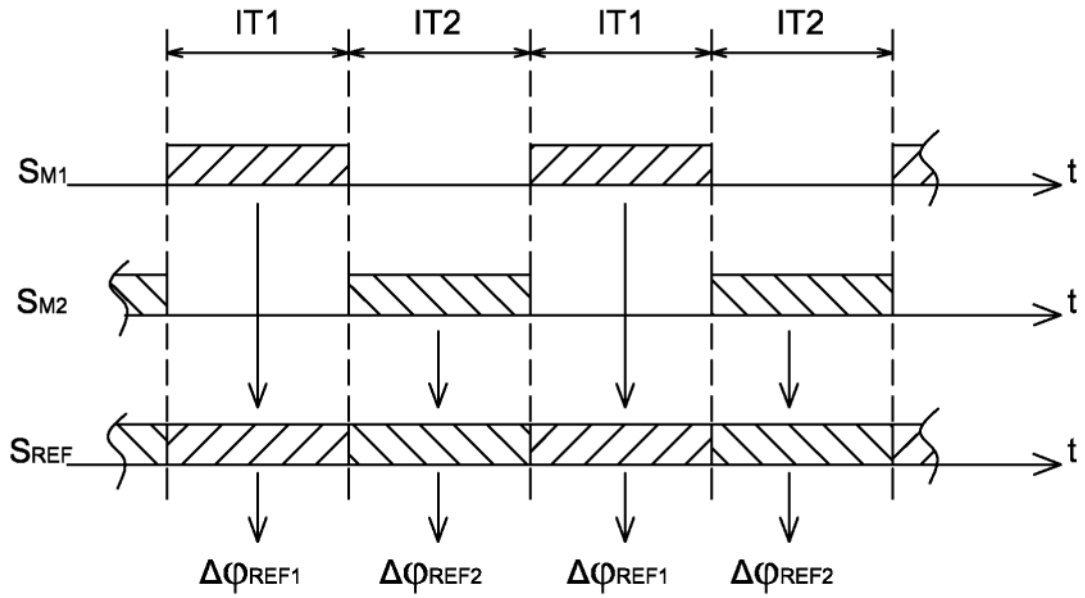


Fig.3

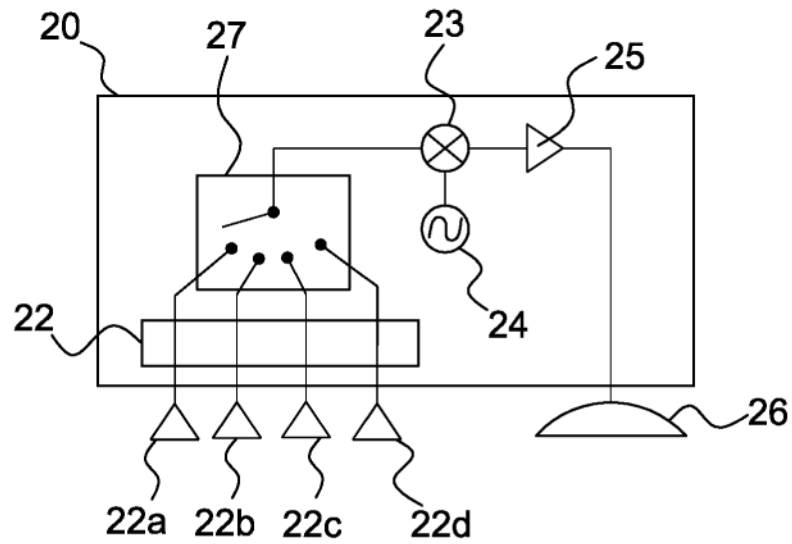


Fig.4