

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 958 953**

51 Int. Cl.:

**B64G 1/24** (2006.01)  
**H04B 7/204** (2006.01)  
**H04B 7/185** (2006.01)  
**H01Q 3/08** (2006.01)  
**H01Q 1/28** (2006.01)  
**H01Q 1/12** (2006.01)  
**G01S 19/00** (2010.01)  
**G01S 3/14** (2006.01)  
**B64G 1/66** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.03.2020** **E 20162704 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.07.2023** **EP 3715265**

54 Título: **Sistema y procedimiento de estimación de un error de apuntamiento de una antena satelital**

30 Prioridad:

**28.03.2019 FR 1903183**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**16.02.2024**

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)**  
**TOUR CARPE DIEM, Place des Corolles,**  
**Esplanade Nord**  
**92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**OSTER, YANN**

74 Agente/Representante:

**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

ES 2 958 953 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

Sistema y procedimiento de estimación de un error de apuntamiento de una antena satelital

La invención se refiere al campo de los sistemas de comunicación por satélite y más precisamente al de las antenas activas a bordo de un satélite que funcionan en transmisión o recepción.

5 Se divulga un sistema y procedimiento de estimación de un error de apuntamiento de una antena satelital.

La invención propone una solución al problema de la determinación precisa del error de apuntamiento de una antena activa a bordo de un satélite, en particular, pero no solo, en el caso de antenas con reflector.

10 El error de apuntamiento de antena es la diferencia entre la dirección controlada mecánicamente de la antena y la dirección real. En la práctica, puede existir una diferencia entre la dirección deseada y la dirección real, en particular debido a la deformación termo-elástica de los enlaces mecánicos de la antena, la deformación dinámica del satélite y su estabilidad angular o actitud imperfecta.

15 De hecho, la dirección de apuntamiento de la antena se determina en un marco de referencia vinculado al satélite, a partir de la actitud del satélite. Sin embargo, la determinación y el mantenimiento de la actitud del satélite solo es posible con un margen de error distinto de cero, típicamente del orden de  $0,1^\circ$  en un día. Este error se refiere a la precisión de la antena apuntando, que afecta a la dirección de llegada de las señales recibidas o transmitidas por la antena del satélite, relativa y respectivamente a una marca de referencia de la antena o a una marca de referencia en tierra.

20 Esta imprecisión puede ser perjudicial para ciertas aplicaciones. En particular, cuando se desea llevar a cabo una calibración precisa de los diversos canales de procesamiento de una carga útil, es necesario conocer con precisión la dirección de apuntamiento de la antena.

Además, en el caso de las antenas de haz múltiple que iluminan puntos de tamaño reducido, también es necesario controlar con precisión el apuntamiento de la antena para garantizar la estabilidad de la cobertura de la antena.

Existen varias soluciones para estimar con precisión el error de apuntamiento de una antena satelital.

25 Una primera solución consiste en equipar la antena con un sistema llamado "RF sensing" dedicado a la medición de apuntamiento que consiste en un pequeño número de fuentes, o incluso una antena específica, y equipos de procesamiento electrónico. Este sistema debe acoplarse mecánicamente a la antena.

Una desventaja de esta solución es que implica un aumento en la masa y el consumo del satélite. También hace necesario garantizar que las fuentes adicionales no perturben el comportamiento de la antena. Los impactos en términos de tamaño, masa y consumo pueden ser significativos.

30 Una segunda solución consiste en descuidar los efectos termo-elásticos en las conexiones mecánicas de la antena. El apuntamiento de la antena se estima a partir de la actitud del satélite, que se estima con sensores ópticos (del tipo "star tracker") que realizan mediciones en las estrellas. Esta solución, aunque económica, no permite obtener la precisión esperada en el apuntamiento de la antena.

35 Una tercera solución consiste, en el caso de una antena en recepción, en transmitir varias señales desde diferentes estaciones terrestres en diferentes posiciones geográficas, en frecuencias conocidas, y luego en producir, en el procesador digital de la carga útil, adquisición coherente de las señales procedentes de las diversas cadenas de radiofrecuencia aguas abajo de la antena. Sobre la base de las secuencias digitalizadas en todos los canales, es posible implementar un algoritmo de tipo de MÚSICA, basado en una estimación de la matriz de correlación de las señales y una descomposición en el subespacios adecuados de ruido / señal. Esto permite estimar las direcciones de llegada de las señales transmitidas por las estaciones terrestres.

40 Sin embargo, se sabe que esta técnica es muy sensible a una relación señal-ruido desfavorable y especialmente a imperfecciones en términos de retardo, fase y ganancia de las cadenas de radiofrecuencia. Además, este procedimiento es difícil de aplicar a una antena en transmisión, ya que es necesario distinguir las señales transmitidas por los diversos elementos radiantes de la antena, transmitidas simultáneamente, dentro de la señal recibida en tierra, para construir una matriz de correlación. La separación de las señales degrada la precisión de las mediciones en el caso de un gran número de elementos radiantes emitiendo simultáneamente. También se conocen las soluciones descritas en los documentos U.S. 2014/022120 A1, EP 0998063 A2 y U.S. 579007 A.

45 La invención propone una nueva solución al problema de estimar el error de apuntamiento de una antena en recepción o en transmisión.

50 Se basa en el uso de al menos dos estaciones terrestres que transmiten o reciben una señal de prueba en dos direcciones diferentes. La señal se procesa a bordo o en tierra para determinar con precisión la dirección de la antena que apunta desde un modelo de ganancia de antena en diferentes direcciones.

La solución propuesta permite mejorar la precisión de la estimación del apuntamiento de la antena, sin necesidad de medios específicos a bordo del satélite que impacten en la masa y el consumo. La precisión obtenida es independiente de las dispersiones entre las cadenas de radiofrecuencia analógicas de la carga útil. También es independiente de las variaciones en las condiciones de propagación entre las señales transmitidas por las diversas estaciones terrestres y de las dispersiones de las cadenas de radiofrecuencia analógicas de las estaciones terrestres. La solución tampoco tiene ningún impacto en el servicio proporcionado por el satélite. Permite una estimación regular o incluso permanente del desplazamiento de la antena. El nivel de precisión de la estimación se puede mejorar aún más utilizando más estaciones terrestres o diferentes frecuencias o varios canales de recepción/transmisión a bordo del satélite.

El objeto de la invención es un sistema de estimación de un error de apuntamiento de una antena de un satélite, el satélite comprende una carga útil que comprende un transmisor o receptor multicanal que comprende una antena multicanal, una cadena de procesamiento analógico por canal y un conjunto de circuitos integrados digitales, el sistema consta de un dispositivo de estimación de errores de apuntamiento de antena implementado a bordo del satélite o en una estación terrestre, el dispositivo de estimación de errores de apuntamiento está configurado para:

- adquirir, para al menos dos canales del transmisor o receptor, al menos dos señales de prueba, habiendo sido transmitida o recibida cada señal de prueba por la antena en una dirección diferente del punto de vista del satélite,
- para al menos un par de señales de prueba adquiridas, determine, para cada señal de prueba, una ganancia compleja relativa entre la señal de prueba recibida o transmitida respectivamente en dos canales distintos,
- determinar una medición comparativa entre las dos señales de prueba entre la relación entre las dos ganancias complejas relativas y/o la diferencia entre las fases de las dos ganancias complejas relativas,
- determine un error de apuntamiento de antena a partir de la medición comparativa, las direcciones de transmisión o recepción de las señales de prueba y un modelo de la ganancia de antena para cada canal y en una pluralidad de direcciones.

Según un aspecto particular de la invención, cada señal de prueba está compuesta por al menos una línea espectral.

Según un aspecto particular de la invención, el dispositivo de estimación de errores de apuntamiento está configurado para determinar una pluralidad de estimaciones de errores de apuntamiento a partir de una pluralidad de pares de señales de prueba transmitidas o recibidas en diferentes direcciones o una pluralidad de pares diferentes de canales distintos o una pluralidad de frecuencias de señal de prueba.

De acuerdo con un aspecto particular de la invención, el dispositivo de estimación de un error de apuntamiento se configura para determinar un error de apuntamiento de la antena:

- determinando, a partir del modelo de ganancia de antena, un modelo de medición comparativa entre las dos señales de prueba, dependiendo de un error de apuntamiento de la antena, la frecuencia y las direcciones de transmisión o recepción de las señales de prueba ( $\theta_A$ ,  $\theta_B$ ),
- buscando el valor del error de apuntamiento que permita minimizar la diferencia entre la medición comparativa y el modelo de medición comparativa tomado en este valor.

Según un aspecto particular de la invención, la carga útil comprende un receptor multicanal y el dispositivo de estimación de un error de apuntamiento está configurado para recibir, por lo menos, dos canales de recepción, una secuencia de tiempo digitalizada de al menos dos señales de prueba, la secuencia de tiempo que se muestrea simultáneamente en los diferentes canales del conjunto de circuitos integrados digitales.

Según un aspecto particular de la invención, el sistema de estimación de un error de apuntamiento comprende además al menos dos estaciones de prueba en tierra, cada estación de prueba en tierra está configurada para transmitir una señal de prueba al satélite.

Según un aspecto particular de la invención, cada estación de prueba terrestre está configurada para transmitir las señales de prueba a su vez en la misma frecuencia o simultáneamente en frecuencias lo suficientemente cercanas para ser afectadas por los mismos errores.

Según un aspecto particular de la invención, la carga útil comprende un transmisor multicanal, el dispositivo de estimación de un error de apuntamiento que se está implementando en una estación terrestre, cada señal de prueba recibida por una estación terrestre diferente es transmitida por la antena según una dirección de transmisión diferente del punto de vista del satélite.

Según un aspecto particular de la invención, el sistema de estimación de un error de apuntamiento comprende además al menos dos estaciones de prueba terrestres, estando cada estación de prueba terrestre configurada para:

- recibir una señal de prueba del satélite en una dirección diferente del punto de vista del satélite,
- separar la señal de prueba recibida en tierra en varias señales correspondientes a los canales de transmisión del satélite,
- transmitir, al dispositivo de estimación de errores de apuntamiento, las señales de prueba recibidas para al menos dos canales de transmisión distintos.

Según un aspecto particular de la invención, el sistema está configurado para aplicar un procedimiento de acceso múltiple a las señales de prueba transmitidas por el satélite.

La invención también se refiere a un procedimiento de estimación de un error de apuntamiento de una antena de un satélite, el satélite que comprende una carga útil que comprende un transmisor o receptor multicanal que comprende una antena multicanal, una cadena de procesamiento analógico por canal y un conjunto de circuitos integrados digitales, el proceso incluye las etapas de:

- adquirir, para al menos dos canales del transmisor o receptor, al menos dos señales de prueba, habiendo sido transmitida o recibida cada señal de prueba por la antena en una dirección diferente,
- para al menos un par de señales de prueba adquiridas, determine, para cada señal de prueba, una ganancia compleja relativa entre la señal de prueba recibida o transmitida respectivamente en dos canales distintos,
- determinar una medición comparativa entre las dos señales de prueba entre la relación entre las dos ganancias complejas relativas y/o la diferencia entre las fases de las dos ganancias complejas relativas,
- determine un error de apuntamiento de antena a partir de la medición comparativa, las direcciones esperadas de transmisión o recepción de las señales de prueba y un modelo de la ganancia de antena para cada canal y en una pluralidad de direcciones.

Según una variante, el procedimiento según la invención comprende además una etapa para corregir el apuntamiento de la antena sobre la base del error de apuntamiento. Los dibujos adjuntos ilustran la invención:

La Figura 1 representa un diagrama de un sistema de estimación de un error de apuntamiento de una antena de un satélite que opera en recepción según una primera realización de la invención,

La Fig. 2 representa un diagrama de flujo que detalla las etapas para llevar a cabo un procedimiento de estimación de un error de apuntamiento utilizando el sistema de Fig. 1,

La Figura 3 representa un diagrama de un sistema de estimación de un error de apuntamiento de una antena de un satélite que opera en transmisión según una segunda realización de la invención,

La Fig. 4 representa un diagrama de flujo que detalla las etapas para llevar a cabo un procedimiento de estimación de un error de apuntamiento utilizando el sistema de Fig. 3.

Las figuras 1 y 2 ilustran la implementación de un sistema y un procedimiento de estimación del error de apuntamiento de una antena de un satélite, en recepción.

El sistema descrito en la figura 1 comprende una carga útil CU de un satélite en órbita y al menos dos estaciones terrestres ST<sub>1</sub>, ST<sub>2</sub>.

Cada estación terrestre ST<sub>1</sub>, ST<sub>2</sub> comprende en particular una antena apuntada hacia el satélite, una cadena de transmisión para comunicarse con el satélite y un convertidor digital-analógico. En el caso de que el procedimiento según la invención se implemente en tierra, al menos una estación terrestre ST<sub>2u</sub> otro equipo remoto conectado a la estación terrestre ST<sub>2</sub> comprende una cadena de recepción, un convertidor analógico a digital, un medio de comunicación con el satélite a través de un enlace seguro LS, una memoria para almacenar la señal recibida digitalizada y un dispositivo informático para procesar la señal. El LINK LS está protegido, por ejemplo, mediante el uso de un mecanismo de protección de errores del tipo de código de corrección de errores.

La carga útil CU comprende una o más antenas ANT o un conjunto de antenas que consta de varios elementos radiantes. Cada elemento radiante recibe una señal que se procesa en la carga útil CU mediante un canal de procesamiento. La carga útil CU muestra un funcionamiento multicanal. Un canal corresponde a un elemento radiante de la antena ANT. La figura 1 muestra, en aras de la simplicidad, una carga útil que comprende dos canales de recepción, pero el número de canales es generalmente mayor.

Cada canal de procesamiento comprende una cadena de radiofrecuencia analógica  $RF_1$ ,  $RF_2$  que está constituida por uno o más filtros, uno o más amplificadores y posiblemente uno o más mezcladores para llevar a cabo una transposición de frecuencia de la señal recibida.

5 En la salida de cada cadena de recepción de radiofrecuencia analógica, se coloca un convertidor analógico-digital  $ADC_1$ ,  $ADC_2$  para convertir las señales analógicas en señales digitales que se suministran a un conjunto de circuitos integrados digitales PN. Cada circuito integrado digital es, por ejemplo, un circuito integrado específico de la aplicación (conocido también por el nombre inglés de ASIC, por "Application-Specific Integrated Circuit") o una matriz de puertas programables en campo (conocido también por el nombre inglés de FPGA, por "Field-Programmable Gate Array") o un conjunto de puertas lógicas o un procesador de señal o un procesador genérico.

10 El conjunto de circuitos integrados digitales PN comprende, por ejemplo, un filtro digital por canal de procesamiento y un circuito de formación de haces FFC que realizan una función de formación de haces común a un conjunto de canales de procesamiento. La función del circuito FFC de formación del haz es, en particular, combinar linealmente las señales recibidas con un conjunto particular de ganancias complejas (amplitud y fase) para formar un haz en la dirección deseada, en relación con una marca de referencia de la antena, con el fin de recibir las señales útiles. La combinación particular de las señales recibidas con ganancias complejas constituye una ley de combinación o una ley de formación de haces.

15 El ejemplo de la figura 1 se da puramente a modo de ilustración y sin limitación. En particular, el conjunto de circuitos integrados digitales puede tener una arquitectura modular diferente a la de la figura 1. Por ejemplo, puede comprender varias series de circuitos integrados digitales para cada canal o varios circuitos integrados de formación de haces que funcionan en paralelo y en cascada para subgrupos de canales.

20 En todos los casos arquitectónicos, el conjunto de circuitos integrados digitales comprende un medio MEM, por ejemplo una memoria, para capturar o grabar, de manera coherente en el mismo intervalo de tiempo, las señales digitales de un conjunto de canales. Por ejemplo, en la salida de los convertidores analógico-digital  $ADC_1$ ,  $ADC_2$ . En una realización de la invención, el conjunto de circuitos integrados digitales PN comprende además un dispositivo EST para estimar el error de apuntamiento de la antena ANT a partir de las señales digitales capturadas por la memoria MEM. Este dispositivo SE fabrica, por ejemplo, mediante un ordenador de a bordo que incluye elementos de software y/o hardware. En otra realización de la invención, el dispositivo EST para estimar el error de apuntamiento se encuentra en una estación terrestre  $ST_1$ ,  $ST_2$  o en otro equipo terrestre.

25 El procedimiento según la invención comienza con la transmisión (201) de al menos dos señales de prueba por al menos dos estaciones terrestres, según dos direcciones diferentes de llegada  $\theta_A$ ,  $\theta_B$ . Sin apartarse del alcance de la invención, se pueden utilizar más de dos estaciones terrestres, cada una transmitiendo una señal de prueba al satélite desde una dirección diferente. Las direcciones de llegada deben ser diferentes del punto de vista del satélite. Para satisfacer esta restricción, las estaciones terrestres se encuentran, por ejemplo, en diferentes puntos. Un punto corresponde a un haz de la cobertura de la antena multihaz.

30 Las señales de prueba son señales de banda estrecha que consisten, por ejemplo, en una línea espectral a una frecuencia dada, lo que permite no interferir con las señales útiles. Las señales de prueba también pueden consistir en portadores modulados por otra señal predeterminada. Las estaciones de tierra  $ST_1$ ,  $ST_2$  transmiten a su vez en la misma frecuencia o simultáneamente en diferentes frecuencias, pero lo suficientemente cerca como para verse afectadas de la misma manera por la propagación, los canales de RF y la antena. Las señales de prueba son conocidas previamente por el satélite y las estaciones terrestres.

35 Las señales recibidas por el satélite son procesadas a bordo por las cadenas de radiofrecuencia  $RF_1$ ,  $RF_2$  de cada canal y luego son digitalizadas por los convertidores  $ADC_1$ ,  $ADC_2$ .

40 En una segunda etapa 202 del procedimiento según la invención, las señales digitalizadas se muestrean coherentemente en el mismo intervalo de tiempo para al menos dos canales distintos. Por ejemplo, las señales se muestrean directamente en la salida de los convertidores analógico-digitales de dos canales o en otra ubicación en el conjunto de circuitos integrados digitales, siendo la única restricción poder muestrear simultáneamente las señales correspondientes a dos canales distintos.

45 Sobre la base de señales digitalizadas simultáneamente en al menos dos canales distintos y para al menos dos señales de prueba recibidas en dos direcciones diferentes de llegada, las siguientes etapas del procedimiento según la invención tienen como objetivo determinar una estimación del error de apuntamiento de la antena. Estas etapas pueden llevarse a cabo a bordo del satélite en el conjunto de circuitos integrados digitales PN o mediante un ordenador a bordo o en tierra en una de las estaciones terrestres  $ST_1$ ,  $ST_2$  utilizadas para la transmisión de una señal de prueba o en otro equipo. La figura 1 muestra de forma esquemática el caso en el que el cálculo del error de apuntamiento se realiza mediante un dispositivo de estimación EST que forma parte del conjunto de circuitos integrados digitales PN.

50 Para cada uno de los dos canales, una etapa de filtrado digital de la señal alrededor del portador útil de la señal de prueba permite recuperar con precisión la línea espectral emitida por las estaciones terrestres.

A continuación, en una etapa 203, se determina una ganancia compleja relativa entre dos canales de recepción de la carga útil para cada señal de prueba recibida correspondiente a las transmisiones por las dos estaciones terrestres ST<sub>1</sub>, ST<sub>2</sub>. La ganancia compleja relativa se determina realizando un cálculo de correlación cruzada entre la señal digital del primer canal y la señal digital del segundo canal. De hecho, dado que la señal de calibración se propaga de forma idéntica en cada canal, el resultado de la intercorrelación de las señales permite obtener una ganancia relativa que contiene la ganancia relativa y la fase entre los dos canales de procesamiento. El cálculo de la correlación cruzada se realiza, por ejemplo, directamente en el dominio del tiempo mediante el cálculo de la correlación, o indirectamente en el dominio de la frecuencia mediante dos transformaciones directas de Fourier, una conjugación compleja, una multiplicación compleja y una transformación indirecta de Fourier, según técnicas conocidas por los expertos en la materia

Sea  $d\theta$  el error de apuntamiento de la antena ANT.

Para la estación terrestre ST<sub>1</sub>, vista por la antena ANT en la dirección  $\theta_A + d\theta$ , se realiza una primera medición de ganancia compleja relativa, para una frecuencia  $f$  de la señal de prueba:

[Ecuación 1]

$$Mes_A(\rho_{k,1}) = \rho_{k,1}(Antena_{f,\theta_A+d\theta}) * \rho_{k,1}(RF_f) * \rho_{k,1}(DAC)$$

Para la estación terrestre ST<sub>2</sub>, vista por la antena ANT en la dirección  $\theta_B + d\theta$ , se realiza una segunda medición de ganancia compleja relativa, para una frecuencia  $f$  de la señal de prueba:

[Ecuación 2]

$$Mes_B(\rho_{k,1}) = \rho_{k,1}(Antena_{f,\theta_B+d\theta}) * \rho_{k,1}(RF_f) * \rho_{k,1}(DAC)$$

Cada medida de ganancia compleja relativa corresponde al producto de varios términos. Los términos  $\rho_{k,1}(Antena_{f,\theta_A+d\theta})$  y  $\rho_{k,1}(Antena_{f,\theta_B+d\theta})$  corresponden a la ganancia de la antena en las direcciones respectivas  $\theta_A + d\theta$  y  $\theta_B + d\theta$ , para la frecuencia  $f$ .

Los términos  $\rho_{k,1}(RF_f)$  y  $\rho_{k,1}(DAC)$  corresponden respectivamente a las relaciones de ganancia entre los dos canales vinculadas a las diferencias de comportamiento de las cadenas de radiofrecuencia para la frecuencia  $f$  y de los convertidores analógico-digitales de estos dos canales. Estos términos son comunes a ambas medidas. En la siguiente etapa 204, se determina la relación entre las dos mediciones de ganancia relativa determinadas en la etapa 203.

[Ecuación 3]

$$RMes_{B/A,k,1} = \frac{\rho_{k,1}(Antena_{f,\theta_B+d\theta})}{\rho_{k,1}(Antena_{f,\theta_A+d\theta})}$$

Calculando esta relación, los términos comunes a las dos mediciones se compensan entre sí y solo se conservan las contribuciones relacionadas con la ganancia de la antena.

En otra etapa 205, la relación calculada en la etapa 204 se compara con un modelo de la ganancia de la antena en función de la dirección de llegada de la señal y de la frecuencia. A partir de este modelo, de la relación calculada en la etapa 204 y de los valores de las direcciones de llegada de las señales de prueba, se deduce de ello una estimación del error de apuntamiento  $d\theta$ .

Las direcciones de llegada  $\theta_A$ ,  $\theta_B$  se determinan a partir de las posiciones conocidas de las estaciones terrestres ST<sub>1</sub>, ST<sub>2</sub> y del satélite, y del marco de referencia de la antena del satélite.

Un procedimiento posible para determinar el error de apuntamiento  $d\theta$  consiste en buscar el valor de  $d\theta$  que permite minimizar el error entre la relación mencionada anteriormente determinada en la etapa 204 y la relación de las ganancias de antena determinadas desde el modelo para las direcciones respectivas  $\theta_A + d\theta$  y  $\theta_B + d\theta$ . Cualquier procedimiento de resolución numérica adecuado permite determinar una estimación del valor de  $d\theta$ .

En una última etapa 206, el error de apuntamiento estimado se utiliza para corregir el apuntamiento de la antena ya sea mecánicamente o adaptando las leyes de formación del haz para integrar el desapuntamiento estimado  $d\theta$ .

En una variante de realización del procedimiento según la invención, se determinan varias estimaciones del error de apuntamiento  $d\theta$ .

Por ejemplo, se pueden utilizar más de dos estaciones terrestres, en cuyo caso se calculan varias relaciones de ganancia relativa para diferentes pares de señales de prueba recibidas en diferentes direcciones de llegada.

Otra solución es operar más de dos canales de recepción en la carga útil. En este caso, se calculan varios ratios de ganancia relativa para diferentes pares de canales de recepción.

Finalmente, varias señales de prueba pueden transmitirse secuencialmente en diferentes frecuencias. En este caso, se calculan varias relaciones de ganancia relativa para diferentes frecuencias.

- 5 Las tres variantes descritas anteriormente pueden combinarse entre sí (varias estaciones terrestres, varios canales de recepción y varias frecuencias).

Una ventaja de utilizar varias estimaciones del error de apuntamiento es que permite eliminar algunas ambigüedades residuales, por ejemplo, si varios valores del error  $d\theta$  satisfacen la igualdad entre la relación de las mediciones de ganancia y la relación de los valores de ganancia determinados a partir del modelo de ganancia de la antena.

En otra variante de realización del procedimiento según la invención, solo se explota la fase o solo la amplitud de las ganancias complejas relativas. En este caso, la relación de las ganancias complejas calculadas en la etapa 204 se sustituye por una relación de amplitud o por una diferencia de fase.

Las figuras 3 y 4 describen otra variante de la realización de la invención aplicada a una antena en transmisión.

- 15 La figura 3 muestra una carga útil CU de un satélite en órbita que comprende una antena ANT que funciona en transmisión. La carga útil CU consta de un conjunto de circuitos integrados digitales PN que realizan una función de formación del haz de transmisión en canales N, convertidores de digital a analógico en la salida de cada canal, Cadenas de transmisión de RF conectadas entre las salidas de los convertidores de digital a analógico y una o más antenas ANT o conjuntos de antenas que constan de varios elementos radiantes. Cada canal de procesamiento de
- 20 transmisión comprende una cadena de radiofrecuencia analógica  $RF_1$ ,  $RF_2$  que está constituida por uno o más filtros, uno o más amplificadores y posiblemente uno o más mezcladores para llevar a cabo una transposición de frecuencia de la señal recibida. Cada elemento radiante está asociado a un canal de transmisión. La carga útil CU muestra un funcionamiento multicanal. La figura 3 muestra una carga útil que comprende dos canales de transmisión, pero el número de canales es generalmente mayor.

- 25 La Fig. 4 detalla, en un diagrama de flujo, las etapas para llevar a cabo un procedimiento de estimación de y corrección del error de apuntamiento de la antena ANT.

En una primera etapa 401, se genera una señal de prueba, similar a la descrita anteriormente, en el conjunto de circuitos integrados digitales PN. Por ejemplo, puede almacenarse digitalmente en una memoria MEM y luego transmitirse a los convertidores de digital a analógico  $DAC_1$ ,  $DAC_2$  de cada canal de procesamiento.

- 30 Para poder separar los canales de transmisión cuando la señal de prueba se recibe en tierra, se utiliza una técnica de acceso múltiple para transmitir la señal de prueba en los diferentes canales de transmisión. La técnica de acceso es, por ejemplo, una técnica de acceso de código de difusión (de tipo CDMA), en cuyo caso la señal de prueba digital generada se difunde con un código de difusión diferente para cada canal de transmisión. Otra técnica de acceso posible es una técnica de acceso de frecuencia (del tipo FDMA) que consiste en modular la señal de prueba
- 35 en una frecuencia diferente para cada canal de transmisión. Las señales digitales se pueden precalcular y almacenar en una memoria o un registro MEM.

La señal de prueba se transmite así a través de un conjunto de canales de transmisión de la antena ANT a al menos dos estaciones terrestres  $ST_1$ ,  $ST_2$  según dos direcciones diferentes  $\theta_A$ ,  $\theta_B$ .

- 40 En cada una de las estaciones terrestres  $ST_1$ ,  $ST_2$ , las señales están separadas 402 por canales de transmisión en función de la técnica de acceso (por ejemplo, CDMA, FDMA u otro tipo) utilizada y luego se digitalizan 403.

A continuación, las etapas 203.204.205 descritos en la figura 2 se aplican de manera idéntica para determinar una estimación del error de apuntamiento de la antena ANT.

El cálculo de la estimación del error de apuntamiento se realiza en una de las estaciones terrestres  $ST_1$ ,  $ST_2$ , o en equipos terrestres conectados o no a las estaciones terrestres  $ST_1$ ,  $ST_2$ .

- 45 El error de apuntamiento se transmite entonces (404) al satélite a través de un enlace seguro LS para corregir el apuntamiento de la antena.

# REIVINDICACIONES

1. Sistema de estimación de un error de apuntamiento de una antena (ANT) de un satélite, comprendiendo el satélite una carga útil (CU) que comprende un transmisor o receptor multicanal que comprende una antena multicanal (ANT), una cadena de procesamiento analógico por canal y un conjunto de circuitos digitales integrados (PN), comprendiendo el sistema un dispositivo de estimación (EST) de un error de apuntamiento de la antena implementado a bordo del satélite o en una estación terrestre, estando el sistema **caracterizado porque** el dispositivo de estimación de un error de apuntamiento está configurado para:
  - adquirir (202.403), para al menos dos canales del transmisor o receptor, al menos dos señales de prueba, habiendo sido transmitida o recibida cada señal de prueba por la antena en una dirección diferente ( $\theta_A$ ,  $\theta_B$ ) del punto de vista del satélite,
  - para al menos un par de señales de prueba adquiridas, determinar (203), para cada señal de prueba, una ganancia relativa compleja entre la señal de prueba recibida o transmitida respectivamente en dos canales distintos,
  - determinar una medición comparativa (204) entre las dos señales de prueba a partir de la relación entre las dos ganancias complejas relativas y/o la diferencia entre las fases de las dos ganancias complejas relativas,
  - determinar (205) un error de apuntamiento ( $d\theta$ ) de la antena a partir de la medición comparativa, las direcciones de transmisión o recepción de las señales de prueba ( $\theta_A$ ,  $\theta_B$ ) y un modelo de la ganancia de la antena para cada canal y en una pluralidad de direcciones.
2. Sistema de estimación de un error de apuntamiento de una antena según una de las reivindicaciones anteriores, en el que cada señal de prueba está compuesta por al menos una línea espectral.
3. Sistema de estimación de un error de apuntamiento de una antena según una de las reivindicaciones anteriores en el que el dispositivo de estimación (EST) de un error de apuntamiento está configurado para determinar una pluralidad de estimaciones de un error de apuntamiento a partir de una pluralidad de pares de señales de prueba transmitidas o recibidas en diferentes direcciones o varios pares diferentes de canales distintos o varias frecuencias de señales de prueba.
4. Sistema de estimación de un error de apuntamiento de una antena según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el estimador (EST) de un error de apuntamiento está configurado para determinar un error de apuntamiento de la antena:
  - determinando, a partir del modelo de ganancia de la antena, un modelo de medición comparativa entre las dos señales de prueba, en función de un error de apuntamiento de la antena, la frecuencia y las direcciones de transmisión o recepción de las señales de prueba ( $\theta_A$ ,  $\theta_B$ ),
  - buscando el valor del error de apuntamiento que permita minimizar la diferencia entre la medición comparativa y el modelo de medición comparativa tomado en este valor.
5. Sistema de estimación de un error de apuntamiento de una antena de un satélite según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la carga útil (CU) comprende un receptor multicanal y el dispositivo de estimación (EST) de un error de apuntamiento está configurado para recibir, por al menos dos canales de recepción, una secuencia de tiempo digitalizada de al menos dos señales de prueba, estando la secuencia de tiempo tomada simultáneamente de los diferentes canales en el conjunto de circuitos integrados digitales (PN).
6. Sistema de estimación de un error de apuntamiento de una antena de un satélite según la reivindicación 5 que comprende además al menos dos estaciones terrestres de prueba ( $ST_1$ ,  $ST_2$ ), estando cada estación terrestre de prueba configurada para transmitir (201) una señal de prueba al satélite.
7. Sistema de estimación de un error de apuntamiento de una antena de un satélite según una cualquiera de las reivindicaciones 5 o 6 en el que cada estación terrestre de prueba está configurada para transmitir las señales de prueba a su vez en la misma frecuencia o simultáneamente en frecuencias lo suficientemente cercanas como para verse afectadas por los mismos errores.
8. Sistema de estimación de un error de apuntamiento de una antena de un satélite según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la carga útil comprende un transmisor multicanal, estando el dispositivo de estimación (EST) de un error de apuntamiento implementado en una estación terrestre, siendo transmitida cada señal de prueba recibida por una estación terrestre diferente transmitida por la antena según una dirección de transmisión diferente ( $\theta_A$ ,  $\theta_B$ ) del punto de vista del satélite.
9. Sistema de estimación de un error de apuntamiento de una antena de un satélite según la reivindicación 8 que comprende además al menos dos estaciones terrestres de prueba ( $ST_1$ ,  $ST_2$ ), estando cada estación terrestre de prueba configurada para:
  - recibir (401) una señal de prueba transmitida por el satélite en una dirección diferente del punto de vista del satélite,



- separar (402) la señal de prueba recibida en tierra en varias señales correspondientes a los canales de transmisión del satélite,
- transmitir, al dispositivo de estimación de un error de apuntamiento, las señales de prueba recibidas para al menos dos canales de transmisión distintos.

- 5 10. Sistema de estimación de un error de apuntamiento de una antena de un satélite según una cualquiera de las reivindicaciones 8 o 9 en el que el sistema está configurado para aplicar un procedimiento de acceso múltiple a las señales de prueba transmitidas por el satélite.
- 10 11. Procedimiento de estimación de un error de apuntamiento de una antena de un satélite, comprendiendo el satélite una carga útil que comprende un transmisor o receptor multicanal que comprende una antena multicanal, una cadena de procesamiento analógico por canal y un conjunto de circuitos digitales integrados, estando el procedimiento **caracterizado porque** comprende las etapas de:
  - adquirir (202, 403), para al menos dos canales del transmisor o receptor, al menos dos señales de prueba, habiendo sido transmitida o recibida cada señal de prueba por la antena según una dirección diferente ( $\theta_A$ ,  $\theta_B$ ) del punto de vista del satélite,
  - 15 - para al menos un par de señales de prueba adquiridas, determinar (203), para cada señal de prueba, una ganancia relativa compleja entre la señal de prueba recibida o transmitida respectivamente en dos canales distintos,
  - determinar (204) una medición comparativa entre las dos señales de prueba a partir de la relación entre las dos ganancias complejas relativas y/o la diferencia entre las fases de las dos ganancias complejas
  - 20 relativas,
  - determinar (205) un error de apuntamiento ( $d\theta$ ) de la antena a partir de la medición comparativa, las direcciones esperadas de transmisión o recepción de las señales de prueba y un modelo de la ganancia de la antena para cada canal y en una pluralidad de direcciones.
- 25 12. Procedimiento de estimación de un error de apuntamiento de una antena de un satélite según la reivindicación 11, que además comprende una etapa de corrección (206, 404) del apuntamiento de la antena (ANT) a partir del error de apuntamiento ( $d\theta$ ).

[Fig.1]

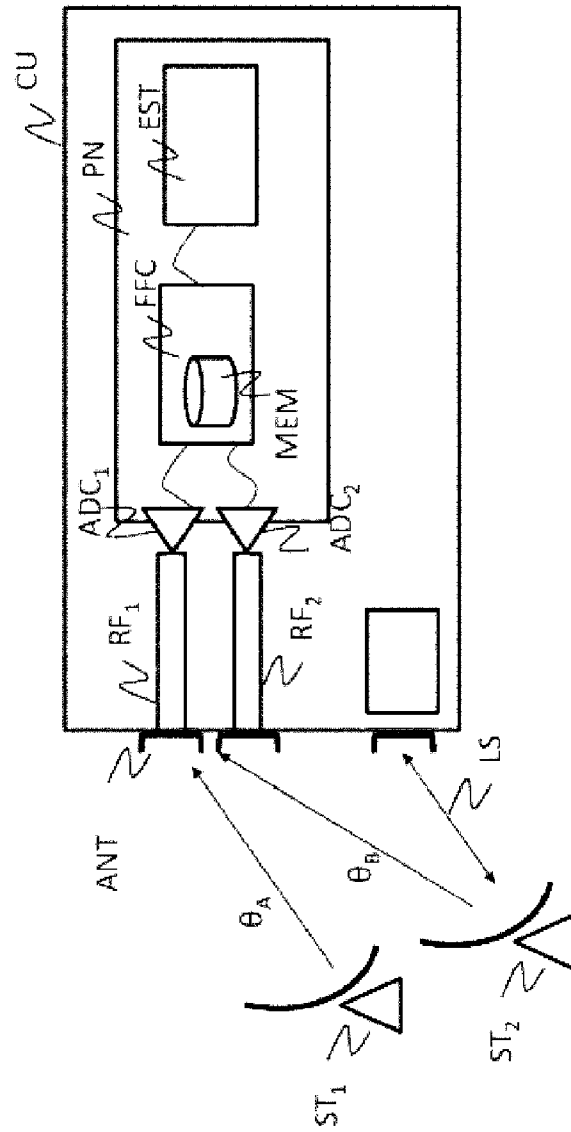


FIG. 1

[Fig.2]

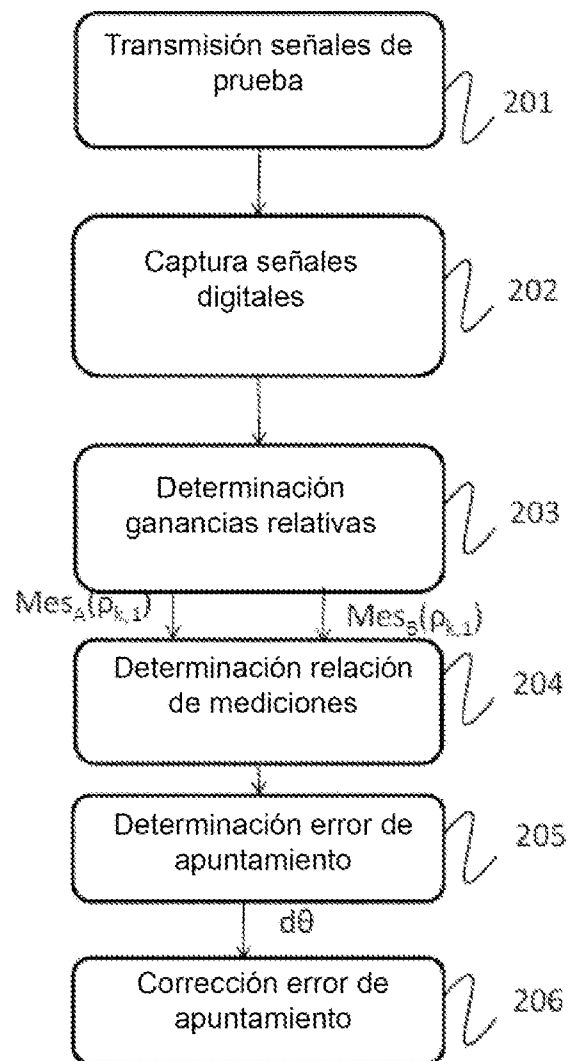


FIG. 2

[Fig.3]

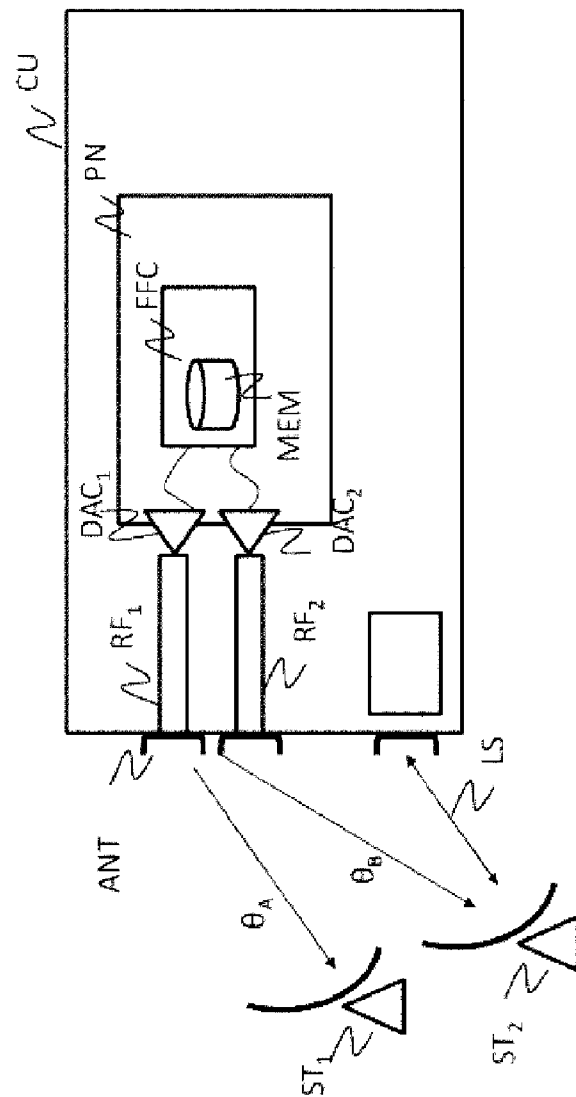


FIG. 3

[Fig.4]

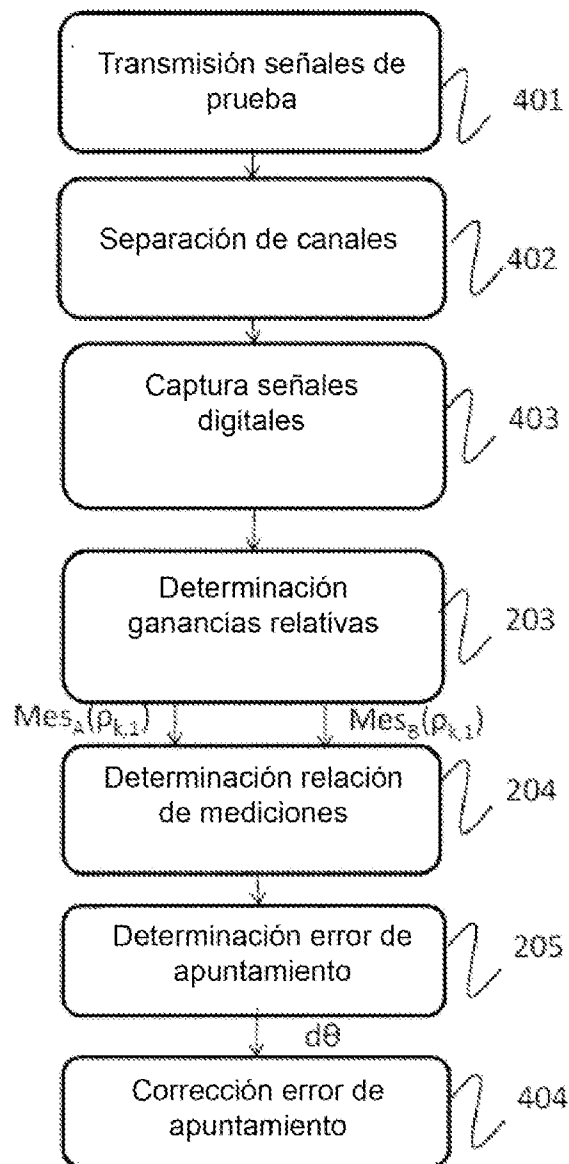


FIG. 4