

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 797 677**

51 Int. Cl.:

**H04B 7/06** (2006.01)

**H01Q 3/26** (2006.01)

**H04B 7/185** (2006.01)

**H04B 17/12** (2015.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.10.2018 E 18198930 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.03.2020 EP 3471288**

54 Título: **Procedimiento de determinación de una desviación de fase en la señal transmitida por al menos uno de los elementos radiantes (ER) de una antena activa (ANT) y dispositivo asociado**

30 Prioridad:

**16.10.2017 FR 1701074**

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

**03.12.2020**

73 Titular/es:

**THALES (50.0%)  
TOUR CARPE DIEM, Place des Corolles,  
Esplanade Nord  
92400 Courbevoie, FR y  
CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES  
(50.0%)**

72 Inventor/es:

**CALMETTES, THIBAUD;  
VAUTHERIN, BENOÎT;  
GREGOIRE, YOAN y  
ILIOPOULOS, CHRISTELLE**

74 Agente/Representante:

**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

ES 2 797 677 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 de determinación de una desviación de fase en la señal transmitida por al menos uno de los elementos radiantes (ER) de una antena activa (ANT) y dispositivo asociado

5 La invención se relaciona con el control de la emisión de señales de separación espacial o multiplexado espacial, de acrónimo SDMA para "*Space-Division Multiple Access*" en lengua inglesa, desde una antena activa en el suelo hacia el espacio.

10 Una dificultad es el fuerte control de distorsiones de fase y de amplitud de las antenas y cadenas de RF en un funcionamiento sensiblemente "en bucle abierto", ya que aparte de las pérdidas de señal en recepción a nivel de los satélites, no hay verdaderamente medios de vigilar la calidad de la señal emitida, y cuando ocurre la pérdida no sabemos anterior y decir que elemento radiante de la antena está fallando.

15 Estas problemáticas son particularmente importantes para las estaciones en el suelo, ya que al estar a cielo abierto la antena, los efectos de la temperatura pueden influir sobre el control de los diagramas de radiación, y en el contexto de acceso múltiple SDMA (y no como el acceso ordinario TDMA con formación de un haz cada vez) ya que el conjunto de las señales son por tanto emitidas al mismo tiempo. Finalmente, el control del diagrama de radiación debe hacerse a una elevación reducida, lo que requiere un gran control.

Para gestionar esto, se conoce medir un entorno controlado y en laboratorio, en cámara anecoide, los diagramas de radiación de los elementos radiantes de la antena activa, antes de su despliegue.

20 La primera dificultad es conseguir que los ensayos en cámara anecoide sean representativos, sobre todo para antenas activas provistas de un gran número de elementos radiantes, típicamente superior a 20, que requieren por tanto cámaras anecoideas muy grandes, y en particular para tomar en cuenta en las mismas efectos de presión y de temperatura.

Estas soluciones tienen un coste elevado, a la vez para la utilización de una cámara anecoide, pero del mismo modo para la elección de tecnologías bastante poco sensibles (a la temperatura por ejemplo) para facilitar esta calibración.

25 El documento EP3185032A1 divulga un grupo de antenas en comunicación con un grupo de satélites en *beam-forming*. El emisor es capaz de calcular para cada satélite, el desplazamiento de fase que se ha de aplicar.

Un objetivo de la invención es paliar los problemas citados anteriormente.

30 También, se propone, según un aspecto de la invención, un procedimiento de determinación de una desviación de fase en la señal transmitida por al menos uno de los elementos radiantes de una antena activa en el suelo que emite hacia el espacio señales por un método de acceso múltiple por división espacial SDMA, el procedimiento que comprende las etapas que consisten en:

- efectuar una formación de haz por combinación desfasada de señales emitidas por los elementos radiantes en la dirección de cada satélite de un conjunto de satélites;
- realizar, de manera reiterativa, sobre un intervalo de tiempo las etapas consistentes en:
  - 35 • efectuar una formación de haz en la dirección de cada receptor de referencia, de un conjunto de receptores de referencia que comprenden entre tres y diez receptores de referencia en el suelo alrededor de la antena activa, utilizando un subconjunto de al menos tres elementos radiantes de los elementos radiantes de la antena activa;
  - 40 • comparar con un umbral, para cada receptor de referencia, la diferencia entre el valor de una medida de la potencia recibida por cada receptor de referencia y la suma, en los elementos radiantes del subconjunto que efectúa una formación del haz en la dirección del receptor de referencia, diferencias entre la potencia isótropa radiada equivalente en la dirección del receptor de referencia y la parte de espacio libre de cada elemento radiante del subconjunto;
  - 45 • detectar una desviación de fase para un elemento radiante (ER) de subconjunto que apunta a un receptor de referencia (RR) correspondiente cuando una diferencia es superior al umbral; y
  - modificar los subconjuntos de elementos radiantes que apuntan a los receptores de referencia, cuando se detecta una desviación de fase, siempre y cuando el elemento radiante que tenga una desviación de fase no sea determinado.

50 Esta modificación consistente en modificar (E5) los conjuntos de elementos radiantes (ER) que efectúan respectivamente formaciones de haces en las direcciones de los receptores de referencia (RR) de manera que los elementos radiantes del subconjunto en el cual se detecta la desviación de fase están repartidos en al menos dos subconjuntos modificados.

Dicho procedimiento permite a un coste reducido y en tiempo real, determinar iterativamente la presencia de una desviación de fase en la señal transmitida por al menos uno de los elementos radiantes de una antena activa en el suelo que emite hacia el espacio señales por un método de acceso múltiple por división espacial SDMA.

5 Por tanto, es posible determinar, según el nuevo subconjunto en el cual está igualmente degradada la potencia, al cuyo subconjunto inicial pertenece el elemento de antena que falla, y por tanto por dicotomía converger hasta la identificación de manera única del elemento de antena que falla.

10 En un modo de implementación, la modificación de los subconjuntos de elementos radiantes que efectúan respectivamente formaciones de haz en las direcciones de los receptores de referencia se realiza de manera que los elementos radiantes del subconjunto en el cual se detecta la desviación de fase están repartidos en al menos dos subconjuntos modificados que efectúan, respectivamente, formaciones de haz en las direcciones de los receptores de referencia diferentes del receptor de referencia para el cual se ha detectado una desviación de fase de un elemento radiante.

Por tanto, el caso de un problema sobre un receptor de referencia y no sobre un elemento radiante de antena puede detectarse igualmente.

15 Según un modo de implementación, se reparten equitativamente espacialmente los receptores de referencia alrededor de la antena activa.

Por tanto, se cubre una gran variedad del dominio de azimut de los elementos radiantes, lo que permite detectar una eventual degradación de un subdominio particular de azimut.

20 En un modo de implementación, los receptores de referencia se disponen con respecto al plano medio de la antena activa de manera que su ángulo de elevación sea igual a un umbral de elevación mínimo a partir del cual la antena debe poder comunicarse con los satélites, y a una distancia de la antena superior a die veces la longitud de onda máxima de comunicación con los satélites.

25 Por tanto, las fases son vigiladas en un lugar en las que son más susceptibles de variar (una elevación reducida) y al mismo tiempo se evita poner los receptores de referencia por encima del horizonte de comunicación con los satélites donde podrían generar la trasmisión de señales útiles.

Según un modo de implementación, el número de elementos radiantes de la antena activa es superior a la suma del número de satélites y del número máximo de receptores de referencia en las direcciones desde las cuales se efectúan formaciones del haz simultáneamente por un mismo elemento de antena.

30 Por tanto, la formación del haz en dirección de los receptores de referencia además del apuntamiento hacia los satélites se permite por los grados de libertad de la formación de los haces por el SDMA.

En un modo de implementación, el número de elementos radiantes de la antena activa es superior a 1,3 veces la suma del número de satélites y del número máximo de receptores de referencia en las direcciones en las cuales se efectúan formaciones de haz simultáneamente por un mismo elemento de antena.

35 Esto permite disponer de un margen suplementario del 30% de los grados de libertad con el fin de poder añadir restricciones de ganancias suplementarias si es necesario para la formación del haz (eliminación de obstáculos en el suelo, control de lóbulos secundarios de red). Por tanto, se dispone de un margen significativo para dichos apuntamientos lo que permite mejorar más la formación del haz, por ejemplo evitando apuntamientos de lóbulos secundarios de red en direcciones no deseadas.

40 Según un modo de implementación, cuando se detecta una desviación de fase en un elemento radiante, el valor de dicha desviación de fase se modifica de manera incremental, hasta identificar el valor de desviación de fase a sustraer de dicho elemento radiante para encontrar toda la potencia deseada al receptor de referencia.

45 Se propone igualmente, según otro aspecto de la invención, un sistema de determinación de una desviación de fase en la señal transmitida por al menos uno de los elementos radiantes de una antena activa en el suelo que emite hacia el espacio señales por un método de acceso múltiple por división espacial SDMA, que comprende al menos tres receptores de referencia dispuestos con respecto a un plano medio de la antena activa de manera que su ángulo de elevación sea igual a un umbral de elevación mínimo a partir del cual la antena debe poder comunicar con los satélites, y una distancia de la antena superior a diez veces la longitud de onda máxima de comunicación con los satélites y que comprende una unidad de control electrónica adaptada para implementar el procedimiento tal como se describió anteriormente.

50 En un modo de realización, los receptores de referencia se reparten equitativamente espacialmente alrededor de la antena activa.

La invención se comprenderá mejor a partir del estudio de algunos modos de realización descritos a título de ejemplos en ningún caso limitativo se ilustrados por los dibujos anexos en los cuales:

- la figura 1 ilustra, esquemáticamente, un sistema de determinación de una desviación de fase en la señal transmitida por al menos uno de los elementos radiantes de una antena activa en el suelo que emite hacia el espacio señales por un método de acceso múltiple por división espacial SDMA según un aspecto de la invención;  
y

5 - la figura 2 ilustra, esquemáticamente, un procedimiento de determinación de una desviación de fase en la señal transmitida por al menos uno de los elementos radiantes de una antena activa en el suelo que emite hacia el espacio señales por un método de acceso múltiple por división espacial SDMA según un aspecto de la invención.

En las diferentes figuras, los elementos que tengan referencias idénticas son idénticos.

10 Por comodidad usual del lenguaje, se utilizará el término “apuntar” (un satélite o un receptor) para referirse a “formar un haz por combinación desfasada de las señales emitidas en la dirección de”. Esto es, de hecho, “apuntar” físicamente a una antena parabólica móvil, focalizando la ganancia máxima en esta dirección.

La figura 1 representa un sistema de determinación de una desviación de fase en la señal transmitida por al menos uno de los elementos radiantes ER de una antena ANT en el suelo que emite hacia el espacio señales por un método de acceso múltiple de división espacial SDMA, con destino a un conjunto de satélites.

15 El sistema comprende al menos tres receptores de referencia RR dispuestos con respecto a un plano medio de la antena activa ACT de manera que su ángulo de elevación sea igual a un umbral de elevación mínimo a partir del cual la antena debería poder comunicar con los satélites, y a una distancia de la antena superior a diez veces la longitud de onda máxima de comunicación con los satélites.

20 El número N de elementos radiantes ER de la antena activa ANT es superior a la suma del número de satélites M y del número máximo de receptores de referencia RR apuntado simultáneamente por un mismo elemento de antena.

25 El número N de elementos radiantes ER de la antena activa ANT es, de manera preferible, superior a 1,3 veces la suma del número de satélites M y del número máximo de receptores de referencia RR apuntado simultáneamente por un mismo elemento de antena. Esto permite conservar grados de libertad suficientes para mejorar, si es necesario, la calidad del apuntamiento un SDMA (retirada de lóbulos secundarios de la red, adición de direcciones de apuntamiento no deseadas suplementarias,...).

El sistema comprende además una unidad de control electrónica UCE adaptada para implementar el procedimiento de la invención.

Los receptores de referencia RR intercambian datos con la unidad de control electrónico UCE por conexión con cable o inalámbrica.

30 El número de receptores de referencia RR está comprendido entre 3 y 10, de manera que se maximiza la determinación de la desviación de fase en la señal transmitida por al menos uno de los elementos radiantes ER, a la vez que se limita el coste y la complejidad que aumenta con el número de receptores de referencia RR. En este caso, la figura 1 describe un modo de realización que utiliza 4 receptores de referencia RR, lo cual es un buen compromiso.

Por ejemplo, el ángulo de elevación de los receptores de referencia RR es de 5°.

35 Como alternativa, los receptores de referencia RR pueden estar repartidos equitativamente alrededor de la antena ANT, para asegurar una buena calibración en un gran campo de azimuts.

40 La figura 2 representa un procedimiento de determinación de una desviación de fase en la señal transmitida por al menos uno de los elementos radiantes ER de una antena activa ANT en el suelo que emite hacia el espacio señales por un método de acceso múltiple por división espacial SDMA. El procedimiento comprende las etapas consistentes en:

- efectuar un apuntamiento E1 de cada elemento de radiación ER sobre cada satélite de un conjunto de satélites;
- realizar, de manera iterativa, en un intervalo de tiempo  $\Delta t$  las etapas que consisten en:
  - efectuar un apuntamiento E2 de cada receptor de referencia RR, de un conjunto de receptores de referencia que comprenden entre tres y diez receptores de referencia en el suelo alrededor de la antena activa ANT, por un subconjunto de al menos tres elementos radiantes ER de los elementos radiantes ER de la antena activa ANT;
  - comparar con un umbral, para cada receptor de referencia RR, la diferencia entre el valor de una medida de potencia recibida por cada receptor de referencia RR y la suma, en los elementos radiantes ER del subconjunto que apuntan al receptor de referencia RR, de las diferencias entre la potencia isotrópica radiada equivalente y la pérdida de espacio libre de cada elemento radiante del subconjunto;
  - detectar una desviación de fase, cuando una diferencia es superior al umbral, para un elemento radiante del subconjunto que apunta al receptor de referencia RR; y

- modificar los subconjuntos de elementos radiantes ER que apuntan E2 a los receptores de referencia RR, cuando se detecta una desviación de fase, siempre que el elemento radiante que tiene una desviación de fase no esté determinado.

5 Los subconjuntos de elementos radiantes ER pueden estar desacoplados, y su unión puede o no ser igual al conjunto de elementos radiantes ER.

10 De manera regular o periódica, los receptores de referencia RR son respectivamente apuntados por los subconjuntos de elementos radiantes ER, como si fueran satélites suplementarios. Estas modificaciones de subconjuntos de elementos radiantes ER pueden utilizar permutaciones determinadas o adaptar el apuntamiento de subconjuntos de elementos radiantes ER a la determinación de una desviación de fase sobre al menos un elemento radiante ER de un subconjunto con un enfoque por eliminaciones sucesivas.

Por tanto, cuando se detecta una desviación de fase para un elemento radiante de un subconjunto de elementos radiantes, se modifican E5 los subconjuntos de elementos radiantes respectivamente apuntados sobre el receptor de referencia RR de manera que los elementos radiantes del subconjunto en el cual se detecta la desviación de fase están repartidos sobre al menos dos subconjuntos modificados.

15 El ejemplo siguiente utiliza, por ejemplo, una antena ANT de 64 elementos radiantes ER, dos satélites y 4 receptores de referencia RR:

En la fecha  $t_1$ :

- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 1
- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 2
- 20 • Los elementos radiantes 01 a 16 para apuntar al receptor de referencia 1
- Los elementos radiantes 17 a 32 para apuntar al receptor de referencia 2
- Los elementos radiantes 33 a 48 para apuntar al receptor de referencia 3
- Los elementos radiantes 49 a 64 para apuntar al receptor de referencia 4
- Degradación hacia el receptor de referencia 2 (quedan los elementos radiantes 17 a 32)

25 En la fecha  $t_2$ :

- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 1
- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 2
- Los elementos radiantes 09 a 24 para apuntar al receptor de referencia 1
- Los elementos radiantes 25 a 50 para apuntar al receptor de referencia 2
- 30 • Los elementos radiantes 41 a 56 para apuntar al receptor de referencia 3
- Los elementos radiantes 57 y 64 y 01 a 08 para apuntar al receptor de referencia 4
- Degradación hacia el receptor de referencia 1 (quedan los elementos radiantes 17 a 24)

En la fecha  $t_3$ :

- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 1
- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 2
- 35 • Los elementos radiantes 09 a 12, 24 a 28, 41 a 44, 57 a 60 para apuntar al receptor de referencia 1
- Los elementos radiantes 05 a 08, 21 a 23, 37 a 40, 53 a 56 para apuntar al receptor de referencia 2
- Los elementos radiantes 01 a 04, 17 a 20, 33 a 36, 49 a 52 para apuntar al receptor de referencia 3
- Los elementos radiantes 13 a 16, 29 a 32, 45 a 48, 61 a 64 para apuntar al receptor de referencia 4
- 40 • degradación hacia el receptor de referencia 3 (quedan los elementos radiantes 17 a 20)

En la fecha  $t_4$ :

- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 1
- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 2
- 45 • Los elementos radiantes 01, 02, 09, 10, 17, 18, 25, 26, 33, 34, 41, 42, 49, 50, 57, 58 para apuntar al receptor de referencia 1
- Los elementos radiantes 03, 04, 11, 12, 19, 20, 27, 28, 35, 36, 43, 44, 51, 52, 59, 60 para apuntar al receptor de referencia 2
- Los elementos radiantes 05, 06, 13, 14, 21, 22, 29, 30, 37, 38, 45, 46, 53, 54, 61, 62 para apuntar al receptor de referencia 3
- 50 • Los elementos radiantes 07, 08, 15, 16, 23, 24, 31, 32, 39, 40, 47, 48, 55, 56, 63, 64 para apuntar al receptor de referencia 4
- Degradación hacia receptor de referencia 2 (quedan los elementos radiantes 19 y 20)

En la fecha  $t_5$ :

## ES 2 797 677 T3

- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 1
- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 2
- Los elementos radiantes 03, 07, 11, 15, 19, 23, 27, 31, 35, 39, 43, 47, 51, 55, 59, 63 para apuntar al receptor de referencia 1
- 5 • Los elementos radiantes 01, 05, 09, 13, 17, 21, 25, 29, 33, 37, 41, 45, 49, 53, 57, 61 para apuntar al receptor de referencia 2
- Los elementos radiantes 02, 06, 10, 14, 18, 22, 26, 30, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62 para apuntar al receptor de referencia 3
- 10 • Los elementos radiantes 04, 08, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48, 52, 56, 60, 64 para apuntar al receptor de referencia 4
- Degradación hacia el receptor de referencia 4 (queda el elemento radiante 20)

Por tanto se identifica una desviación de fase en la señal transmitida por el elemento radiante ER referido como 20.

Otra implementación ventajosa puede considerar minimizar las diferencias, como sigue:

En la fecha  $t_1$ :

- 15 • Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 1
- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 2
- Los elementos radiantes 01 a 16 para apuntar al receptor de referencia 1
- Los elementos radiantes 02 a 17 para apuntar al receptor de referencia 2
- Los elementos radiantes 03 a 18 para apuntar al receptor de referencia 3
- 20 • Los elementos radiantes 04 a 19 para apuntar al receptor de referencia 4

En la fecha  $t_2$  (por ejemplo 2 segundos más tarde):

- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 1
- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 2
- Los elementos radiantes 05 a 20 para apuntar al receptor de referencia 4
- 25 • Los elementos radiantes 06 a 21 para apuntar al receptor de referencia 3
- Los elementos radiantes 07 a 22 para apuntar al receptor de referencia 2
- Los elementos radiantes 08 a 23 para apuntar al receptor de referencia 1

En la fecha  $t_3$  (por ejemplo 2 segundos más tarde):

- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 1
- 30 • Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 2
- Los elementos radiantes 09 a 24 para apuntar al receptor de referencia 1
- Los elementos radiantes 10 a 25 para apuntar al receptor de referencia 2
- Los elementos radiantes 11 a 26 para apuntar al receptor de referencia 3
- Los elementos radiantes 12 a 27 para apuntar al receptor de referencia 4

35 En la fecha  $t_4$  (por ejemplo 2 segundos más tarde):

- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 1
- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 2
- Los elementos radiantes 13 a 28 para apuntar al receptor de referencia 4
- 40 • Los elementos radiantes 14 a 29 para apuntar al receptor de referencia 2
- Los elementos radiantes 15 a 30 para apuntar al receptor de referencia 3
- Los elementos radiantes 16 a 31 para apuntar al receptor de referencia 1

En la fecha  $t_5$  (por ejemplo 2 segundos más tarde):

- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 1
- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 2
- 45 • Los elementos radiantes 17 a 32 para apuntar al receptor de referencia 1
- Los elementos radiantes 18 a 33 para apuntar al receptor de referencia 3
- Los elementos radiantes 19 a 34 para apuntar al receptor de referencia 2
- Los elementos radiantes 20 a 35 para apuntar al receptor de referencia 4

50 En este ejemplo, una degradación en las referencias 3 y 4 entre  $t_1$  y  $t_2$ , y después en todas las referencias  $t_2$  y  $t_5$ , y después en las referencias 1 a 3 después de  $t_5$  permite identificar una degradación en el elemento radiante 18.

Sea cual sea la permutación elegida, se selecciona en particular el tamaño de los conjuntos de elementos radiantes ER, los tiempos pasados por observación, y las modificaciones E5 de los subconjuntos en función de las características que se quieren observar.

La modificación E5 por tanto se dimensiona por:

- 5 - los niveles de precisión de potencia necesarios: una degradación de 1/16 de las antenas utilizadas por la subred se traduce en una degradación de  $10 \cdot \log(15/16)$  igual a -0,28 dB, y necesita por tanto un tiempo de observación suficientemente largo para permitir una medida de potencia más precisa. Por tanto hace falta evitar utilizar todos los elementos radiantes ER ya que por consiguiente la detección del fallo de uno sólo se hace difícil y larga;
- 10 - el número de elementos radiantes ER necesarios para un apuntamiento homogéneo: para evitar una variación de potencia en función de los subconjuntos utilizados, hacen falta bastantes elementos para asegurar que la potencia recibida permanezca igual, o en cualquier caso que sea bastante controlada para poder continuar observando las distorsiones. Un tamaño de subconjuntos de 7 elementos radiantes es por tanto un mínimo.

15 Es interesante variar los apuntamientos hacia los receptores de referencia RR utilizados por los subconjuntos de elementos radiantes para asegurar que los efectos de degradación se puedan observar bien en todas las referencias, y no sean dependientes de estas.

Lo importante, no es ir hasta decidir la antena a corregir sin haber excluido la hipótesis de que esta viene de un receptor de referencia RR. Por tanto, las degradaciones observadas en el mismo receptor de referencia RR en cada etapa no corresponden ya a ningún elemento de radiación ER de la antena ANT. Por ejemplo, si se supone una degradación en cada etapa en la referencia 1, esto da:

20 En la fecha  $t_1$ :

- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 1
- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 2
- Los elementos radiantes 01 a 16 para apuntar al receptor de referencia 1
- Los elementos radiantes 17 a 32 para apuntar al receptor de referencia 2
- 25 • Los elementos radiantes 33 a 48 para apuntar al receptor de referencia 3
- Los elementos radiantes 49 a 64 para apuntar al receptor de referencia 4
- Degradación hacia el receptor de referencia 1 (quedan los elementos 01 a 16, o el receptor de referencia 1)

En la fecha  $t_2$ :

- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 1
- 30 • Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 2
- Los elementos radiantes 09 a 24 para apuntar al receptor de referencia 1
- Los elementos radiantes 25 a 50 para apuntar al receptor de referencia 2
- Los elementos radiantes 41 a 56 para apuntar al receptor de referencia 3
- Los elementos radiantes 57 a 64 y 01 a 08 para apuntar al receptor de referencia 4
- 35 • Degradación hacia el receptor de referencia 1 (quedan los elementos 09 a 16, o el receptor de referencia 1)

En la fecha  $t_3$ :

- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 1
- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 2
- 40 • Los elementos radiantes 09 a 12, 24 a 28, 41 a 44, 57 a 60 para apuntar al receptor de referencia 1
- Los elementos radiantes 05 a 08, 21 a 23, 37 a 40, 53 a 56 para apuntar al receptor de referencia 2
- Los elementos radiantes 01 a 04, 17 a 20, 33 a 36, 49 a 52 para apuntar al receptor de referencia 3
- Los elementos radiantes 13 a 16, 29 a 32, 45 a 48, 61 a 64 para apuntar al receptor de referencia 4
- Degradación hacia el receptor de referencia 1 (quedan los elementos 09 a 12, o el receptor de referencia 1)

En la fecha  $t_4$ :

- 45 • Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 1
- Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 2
- Los elementos radiantes 01, 02, 09, 10, 17, 18, 25, 26, 33, 34, 41, 42, 49, 50, 57, 58 para apuntar al receptor de referencia 1
- Los elementos radiantes 03, 04, 11, 12, 19, 20, 27, 28, 35, 36, 43, 44, 51, 52, 59, 60 para apuntar al receptor de referencia 2
- 50 • Los elementos radiantes 05, 06, 13, 14, 21, 22, 29, 30, 37, 38, 45, 46, 53, 54, 61, 62 para apuntar al receptor de referencia 3

- Los elementos radiantes 07, 08, 15, 16, 23, 24, 31, 32, 39, 40, 47, 48, 55, 56, 63, 64 para apuntar al receptor de referencia 4
- Degradación hacia el receptor de referencia 1 (quedan los elementos 09 y 10, o el receptor de referencia 1)

En la fecha  $t_5$ :

- 5
  - Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 1
  - Los 64 elementos radiantes para apuntar al satélite 2
- 10
  - Los elementos radiantes 03, 07, 11, 15, 19, 23, 27, 31, 35, 39, 43, 47, 51, 55, 59, 63 para apuntar al receptor de referencia 1
  - Los elementos radiantes 01, 05, 09, 13, 17, 21, 25, 29, 33, 37, 41, 45, 49, 53, 57, 61 para apuntar al receptor de referencia 2
  - Los elementos radiantes 02, 06, 10, 14, 18, 22, 26, 30, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 64 para apuntar al receptor de referencia 3
  - Los elementos radiantes 04, 08, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48, 52, 56, 60, 62 para apuntar al receptor de referencia 4
- 15
  - Degradación hacia el receptor de referencia 1 (se trata de un problema en el receptor de referencia 1 porque no hay ninguna antena común)

20 Cuando se detecta una avería de un elemento radiante ER de la antena ANT, la estrategia más evidente es cortar o desconectar, simplemente para evitar la degradación de la formación de haces hacia los satélites. De hecho, los elementos radiantes ER acoplados degradan la potencia de emisión, en proporción al número de elementos radiantes cortados. Por ejemplo, si se utilizan 63 elementos en lugar de 64, se pierde  $10 \cdot \log(63/64) = -0,07$  dB, lo que puede ser totalmente aceptable a nivel del balance de conexión. Autorizando periodos de mantenimiento regular, es posible tolerar perder un cierto número de elementos radiantes antes de cambiar varios de una vez.

25 Una estrategia preferida puede ser hacer variar artificialmente la desviación de fase (y posiblemente la amplitud) del elemento radiante de manera arbitraria por ejemplo por paso de  $1^\circ$ , hasta hacer desaparecer las degradaciones en los subconjuntos de elementos radiantes que se utilizan. Esta desviación de fase aplicada arbitrariamente es por tanto conservada para todos los usos de esta antena, en especial durante el apuntamiento hacia los satélites. Siendo reducido el nivel de degradación sobre la totalidad de los elementos radiantes ER de una sola antena, se dispone de poco tiempo para realizar este ajuste (típicamente hasta la avería siguiente), y se dispone por tanto de un medio de autocorrección automática eficaz, a la vez que se utiliza la misma técnica de vigilancia en los receptores de referencia por permutación de subconjuntos de elementos radiantes

30 La modificación E5 de los subconjuntos de elementos radiantes respectivamente apuntados a los receptores de referencia RR se puede realizar de manera que los elementos radiantes ER del subconjunto en el cual se detecta la desviación de fase están repartidos en al menos dos subconjuntos modificados que apuntan respectivamente a receptores de referencia RR diferentes del receptor de referencia RR para el cual se ha detectado una desviación de fase de un elemento radiante.

35 La ventaja principal de la presente invención es que permite responder a la problemática de calibración con menor coste, en especial en términos de mantenimiento (únicamente de los elementos fijos RR y RE). Es flexible, ya que gracias a los subconjuntos, las duraciones entre las modificaciones de los subconjuntos y las permutaciones de los mismos, se puede seleccionar el nivel de observabilidad deseado. El método de autocorrección expuesto más arriba es también una ventaja interesante. Como corolario, la recepción por los elementos de referencia puede también servir para la verificación de la cantidad de la señal emitida, y no solamente del apuntamiento por el SDMA, y por tanto ofrecer una monitorización continua del apuntamiento. Finalmente, es importante señalar que la solución no requiere modificaciones a nivel del satélite que puede comportarse como si la emisión al suelo fuera desde una parábola.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de determinación de una desviación de fase en la señal transmitida por al menos uno de los elementos radiantes (ER) de una antena activa (ANT) en el suelo que emite hacia el espacio señales por un método de acceso múltiple de división espacial SDMA, comprendiendo el procedimiento las etapas que consisten en:

- 5 - efectuar una formación de haz (E1) por combinación desfasada de las señales emitidas por los elementos (ER) radiantes en la dirección de cada satélite de un conjunto de satélites;
- realizar, de manera iterativa, en un intervalo de tiempo ( $\Delta t$ ) las etapas consistentes en:
  - 10 • efectuar una formación de haz (E2) en la dirección de cada receptor de referencia (RR) de un conjunto de receptores de referencia que comprende entre tres y diez receptores de referencia en el suelo alrededor de la antena activa (ANT), utilizando un subconjunto de al menos tres elementos radiantes (ER) de los elementos radiantes (ER) de la antena activa (ANT);
  - 15 • comparar (E3) con un umbral, para cada receptor de referencia (RR), la diferencia entre el valor de una medida de la potencia recibida por cada receptor de referencia (RR) y la suma, en los elementos radiantes (ER) del subconjunto que efectúa una formación de haz en la dirección del receptor de referencia (RR), de las diferencias entre la potencia isotrópica radiada equivalente en la dirección del receptor de referencia y la pérdida de espacio libre de cada elemento radiante del subconjunto;
  - detectar (E4) una desviación de fase para un elemento radiante (ER) del subconjunto que apunta a un receptor de referencia (RR) correspondiente, cuando la diferencia es superior al umbral; y
  - 20 • modificar (E5) los subconjuntos de elementos radiantes (ER) que apuntan (E2) a los receptores de referencia (RR), cuando se detecta una desviación de fase, siempre que el elemento radiante tenga una desviación de fase que no está determinada,

esta modificación consistente en modificar (E5) los subconjuntos de elementos radiantes (ER) que efectúan respectivamente formaciones de haz en las direcciones de los receptores de referencia (RR), de manera que los elementos radiantes del subconjunto en el cual se detecta la desviación de fase están repartidos en al menos dos subconjuntos modificados.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el cual la modificación (E5) de los subconjuntos de elementos radiantes que efectúan respectivamente formaciones de haz en las direcciones de los receptores de referencia (RR) se realiza de manera que los elementos radiantes del subconjunto en el cual se detecta la desviación de fase estén repartidos en al menos dos subconjuntos modificados que efectúan respectivamente formaciones de haz en las direcciones de los receptores de referencia (RR) diferentes del receptor de referencia (RR) para el cual se ha detectado una desviación de fase de un elemento radiante.

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el cual se reparte equitativa y espacialmente los receptores de referencia (RR) alrededor de la antena activa (ANT).

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el cual los receptores de referencia (RR) se disponen, con respecto al plano medio de la antena activa (ANT), de manera que su ángulo de elevación sea igual a un umbral de elevación mínimo a partir del cual la antena debe poder comunicarse con los satélites, y a una distancia de la antena superior a diez veces la longitud de onda máxima de comunicación con los satélites.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el cual el número (N) de elementos radiantes (ER) de la antena activa (ANT) es superior a la suma del número de satélites (M) y del número máximo de receptores de referencia (RR) en las direcciones desde las cuales se efectúan formaciones de haz simultáneamente por un mismo elemento de antena.

6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el cual el número (N) de elementos radiantes (ER) de la antena activa (ANT) es superior a 1,3 veces la suma del número de satélites (M) y del número máximo de receptores de referencia (RR) en las direcciones de las cuales se efectúan las formaciones de haz simultáneamente por un mismo elemento de antena.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el cual, cuando se detecta una desviación de fase en un elemento radiante, el valor de dicha desviación de fase es modificado de manera incremental, hasta identificar el valor de desviación de fase a sustraer de dicho elemento radiante para encontrar toda la potencia deseada en el receptor de referencia.

8. Sistema de determinación de una desviación de fase en la señal transmitida por al menos uno de los elementos radiantes (ER) de una antena activa (ANT) en el suelo que emite hacia el espacio señales por un método de acceso múltiple de división espacial SDMA, que comprende al menos tres receptores de referencia (RR) dispuestos con respecto al plano medio de la antena activa (ANT) de manera que su ángulo de elevación sea igual a un umbral de elevación mínimo a partir del cual la antena puede comunicarse con los satélites, y a una distancia de la antena superior a diez veces la longitud de onda máxima de comunicación con los satélites y que comprende una unidad de control electrónico (UCE) adaptada para implementar el procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.

9. Sistema según la reivindicación 8, en el cual los receptores de referencia (RR) están repartidos equitativa y espacialmente alrededor de la antena activa (ANT)

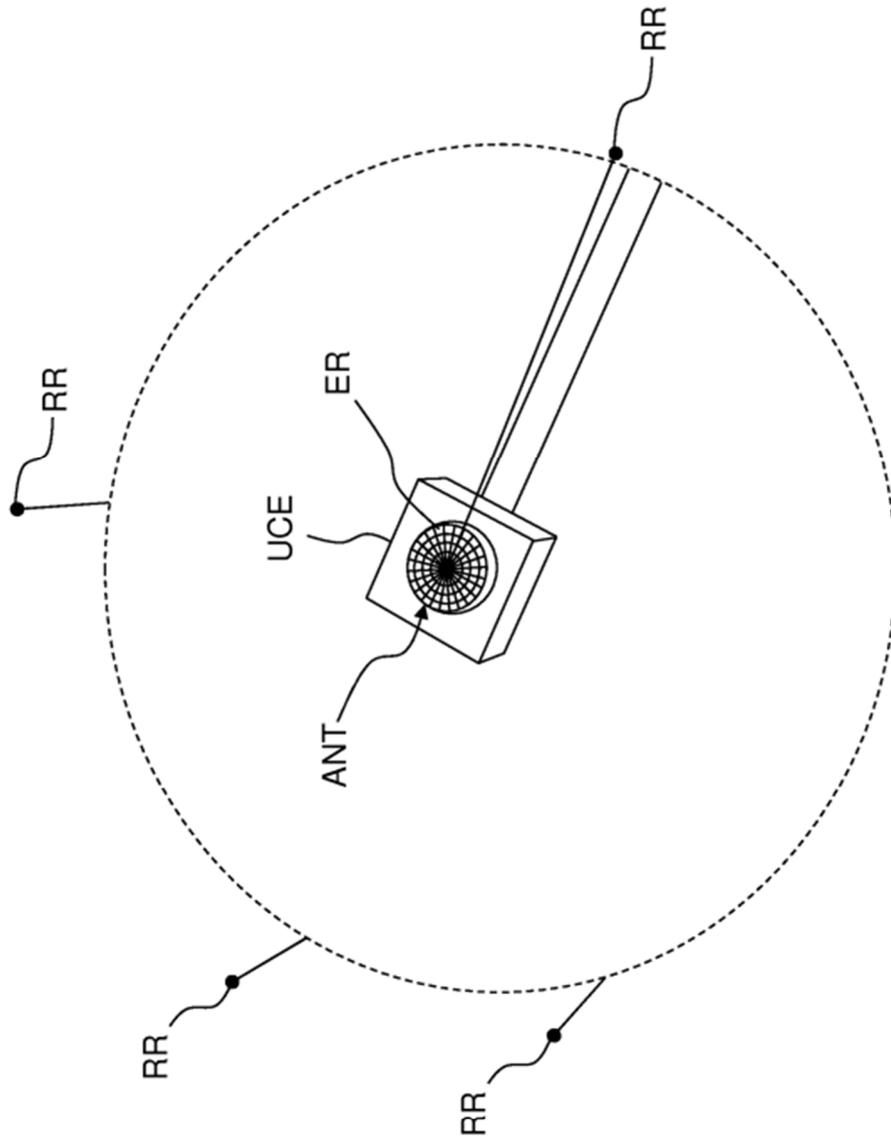


FIG.1

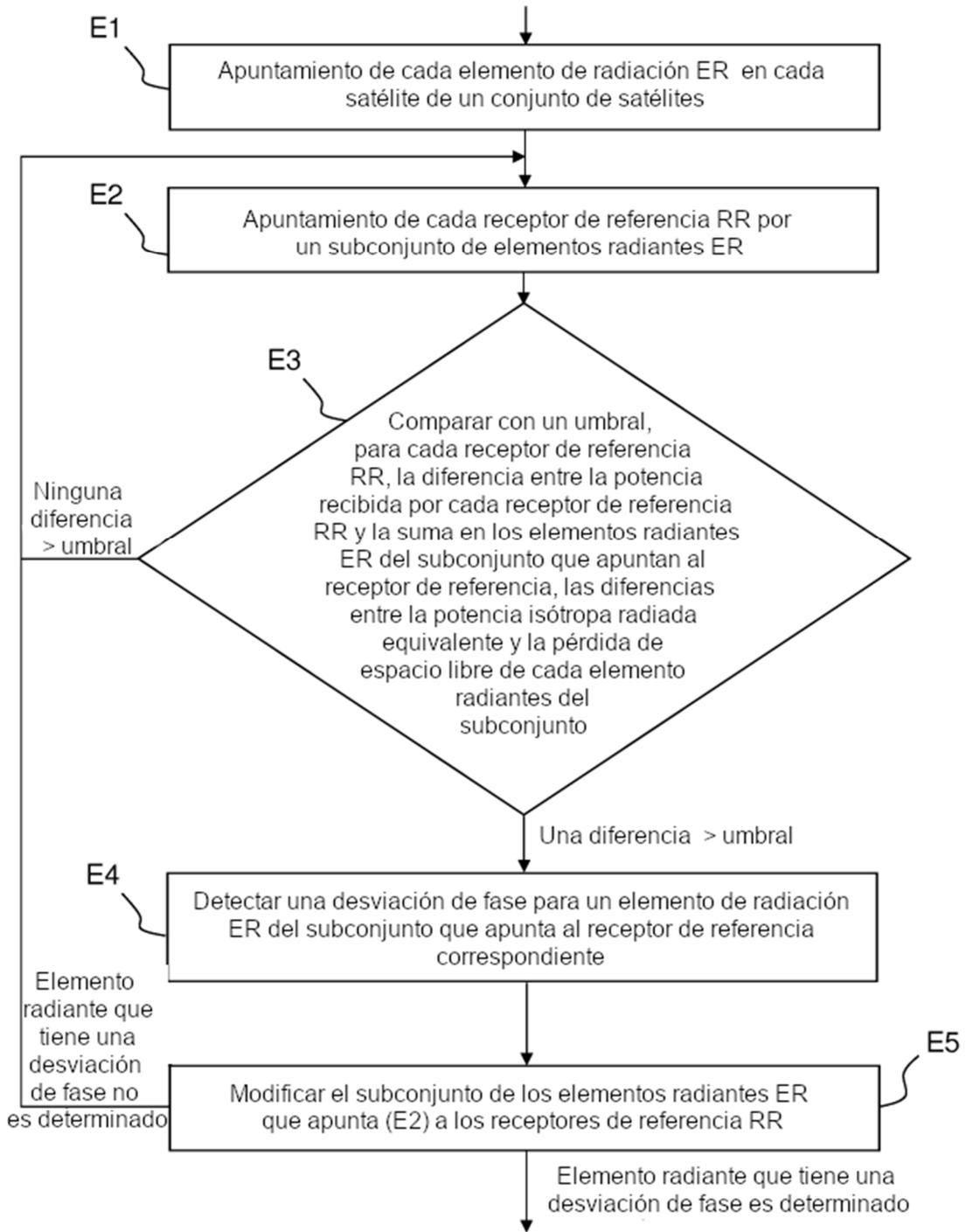


FIG.2