

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 972 956**

51 Int. Cl.:

H01Q 3/26 (2006.01)

H01Q 21/22 (2006.01)

H01Q 21/29 (2006.01)

G01S 7/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.07.2020 PCT/EP2020/069293**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.01.2021 WO21008977**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.07.2020 E 20736356 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.11.2023 EP 4000131**

54 Título: **Conjunto de antenas multipanel**

30 Prioridad:

18.07.2019 FR 1908058

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

17.06.2024

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)
4 rue de la Verrerie
92190 Meudon, FR**

72 Inventor/es:

**GREVERIE, WILFRIED;
MARCY, JEAN-PIERRE y
MOULINET, RONAN**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 972 956 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

Conjunto de antenas multipanel

Área técnica:

5 La presente invención pertenece al campo de los dispositivos de antena, tales como antenas de radar, y se refiere más particularmente a la construcción de un gran conjunto de antenas.

Técnica anterior:

10 Los conjuntos de antenas son antenas cuya cara radiante está formada por elementos radiantes elementales montados sobre una estructura mecánica. La separación entre los elementos radiantes, o paso de la cara radiante, es fija y está vinculada a la banda de frecuencias de funcionamiento de la antena. Modificando la fase de la señal transmitida o recibida por cada uno de los elementos radiantes, es posible orientar la ganancia máxima de la antena en una dirección determinada, lo que las hace especialmente adecuadas para aplicaciones de radar diseñadas para barrer una zona geográfica o seguir el movimiento de un objetivo a lo largo del tiempo (antenas de barrido electrónico). La función de distribución de la radiación se compone de un lóbulo principal, o haz, y de lóbulos secundarios. Modificando la amplitud de las señales elementales, también es posible controlar la calidad de los haces formados y, ventajosamente, sus niveles de lóbulos secundarios.

15 Actualmente, el tamaño de un conjunto de antenas se ajusta en función de una necesidad operativa precisa. Una vez construida la antena, se fijan sus prestaciones, como su ganancia o su resolución angular.

20 Para aumentar el rendimiento, no hay más remedio que desarrollar una nueva antena más grande con un mayor número de elementos radiantes, lo que lleva mucho tiempo y es costoso. Además, las dificultades y los costes de transporte y despliegue de la antena aumentan con su tamaño.

Por lo tanto, existe la necesidad de un sistema que permita adaptar el tamaño de un conjunto de antenas a los requisitos operativos sin necesidad de fabricar una nueva antena. También se necesita un conjunto de antenas de gran tamaño que pueda transportarse y desplegarse fácilmente.

25 La patente US 6.496.158 B1 describe un sistema de antenas multipanel en el que el espacio entre los paneles se ajusta para limitar los productos de intermodulación. La solicitud de patente FR 2.784.803 A1 trata de una antena que comprende varias subredes. La solicitud de patente US 4.596.986 A describe un procedimiento para cancelar las interferencias que llegan al lóbulo secundario de un conjunto de antenas. La solicitud de patente US 2009/135085 A1 describe un conjunto modular de antenas. La solicitud de patente US 2015/349434 A1 describe un conjunto de antenas formado por dos redes de elementos radiantes.

Sumario de la invención:

A tal fin, la invención se refiere a un conjunto de antenas que comprende :

- una pluralidad de paneles radiantes mecánicamente desunidos dispuestos uno al lado del otro, comprendiendo cada panel radiante una pluralidad de elementos radiantes,
- medios para aplicar conformación a las señales de radiofrecuencia transmitidas por cada elemento radiante o recibidas de él, y
- un dispositivo de gestión de los medios de aplicación de la conformación de señales de radiofrecuencia.

En el conjunto de antenas según la invención, los medios de aplicación de conformación están configurados para aplicar a la señal transmitida por o recibida de cada elemento radiante un coeficiente de conformación complejo correspondiente a una suma de al menos :

- un coeficiente de conformación que permite orientar la ganancia máxima de la antena en una dirección determinada, y
- al menos el opuesto de un coeficiente de conformación que permita orientar la ganancia máxima de la antena en la dirección de un lóbulo secundario resultante de los huecos entre los paneles radiantes del conjunto de antenas.

45 Ventajosamente, la suma utilizada para calcular el coeficiente de conformación aplicado a los elementos radiantes también incluye un coeficiente de calibración.

Según una realización, el coeficiente de conformación para orientar la ganancia máxima de la antena en una dirección determinada se calcula a partir de la dirección de apuntamiento deseada del conjunto de antenas, de la frecuencia de la señal de radiofrecuencia, de la posición del elemento radiante en cuestión dentro del conjunto de antenas, y el número total de elementos radiantes en el conjunto de antenas.

Según una realización, el coeficiente de conformación que permite orientar la ganancia máxima de la antena en la dirección de al menos un lóbulo secundario resultante de los huecos entre los paneles radiantes del conjunto de antenas se calcula a partir de la dirección de dicho lóbulo secundario, de la frecuencia de la señal de radiofrecuencia, de la posición del elemento radiante considerado dentro del conjunto de antenas, y del número total de elementos radiantes del conjunto de antenas.

Ventajosamente, el conjunto de antenas también comprende medios para sumar las señales recibidas de cada uno de los elementos radiantes y conformados.

La invención también se refiere a un procedimiento de transmisión o recepción de una señal de radiofrecuencia para un conjunto de antenas que comprende una pluralidad de paneles radiantes dispuestos lado a lado, cada panel radiante que comprende una pluralidad de elementos radiantes. El procedimiento consiste en aplicar un coeficiente de conformación complejo a la señal transmitida o recibida por cada elemento radiante. Este coeficiente de conformación complejo corresponde a una suma de al menos :

- un coeficiente de conformación que permite orientar la ganancia máxima del conjunto de antenas en una dirección determinada, y
- al menos el opuesto de un coeficiente de conformación que permita orientar la ganancia máxima de la antena en la dirección de un lóbulo secundario resultante de los huecos entre los paneles radiantes del conjunto de antenas.

Ventajosamente, el procedimiento también comprende una etapa previa de caracterización de los lóbulos secundarios resultantes de los huecos entre los paneles radiantes del conjunto de antenas.

Breve descripción de las figuras :

La invención se comprenderá mejor y otras características y ventajas resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción, que se da a modo de ejemplo, y de las figuras adjuntas.

[Fig. 1a] La figura 1a representa esquemáticamente el panel radiante de un conjunto unitario de antenas.

[Figura 1b] La figura 1b representa una configuración de paneles radiantes disjuntos, independientes en el sentido de los conjuntos de antenas.

[Fig. 1c] La figura 1c representa un panel radiante para un conjunto de antenas formado por la unión de cuatro paneles radiantes más pequeños.

[Fig. 1d] La figura 1d representa un panel radiante para un conjunto de antenas formado por la asociación disjunta de cuatro paneles radiantes más pequeños.

[Fig. 2] La figura 2 representa los principales elementos de un conjunto unitario de antenas según el estado de la técnica.

[Fig. 3] La figura 3 representa los elementos principales de un conjunto de antenas según una realización de la invención.

[Figura 4a] La figura 4a compara el diagrama de radiación de un conjunto de antenas obtenido a partir de un conjunto disjunto y un conjunto unido de paneles radiantes.

[Figura 4b] La figura 4b compara el diagrama de radiación de un conjunto de antenas obtenido a partir de un conjunto disjunto de paneles radiantes, con y sin tener en cuenta las interferencias generadas por los huecos entre paneles radiantes.

[Figura 5a] La figura 5a representa el haz de un conjunto de antenas formado por un conjunto unido de paneles radiantes.

[Figura 5b] La figura 5b representa el haz de un conjunto de antenas formado por un conjunto unido de paneles radiantes cuando los coeficientes de conformación de las señales transmitidas o recibidas por los elementos radiantes se ajustan para tener en cuenta las interferencias entre paneles radiantes.

[Fig. 6] La figura 6 representa las etapas principales de un procedimiento para transmitir o recibir una señal de RF implementado desde un conjunto de antenas según una realización de la invención.

[Fig. 7] La figura 7 ilustra con más detalle la etapa de transmisión/recepción de la señal de RF de una realización del procedimiento reivindicado.

En lo sucesivo, cuando se utilicen las mismas referencias en las figuras, éstas designarán los mismos elementos.

Descripción detallada:

Las antenas de radar actuales tienen dimensiones que se ajustan a una necesidad operativa precisa y a la densidad de la amenaza. Mejorar la ganancia o la precisión de la antena requiere la fabricación de una nueva antena más grande.

La presente invención propone una solución a estos problemas creando un conjunto de antenas a partir de conjuntos de antenas más pequeños. Esto significa que el tamaño y el rendimiento de la antena pueden ajustarse dinámicamente según las necesidades de alcance, añadiendo o quitando antenas. El resultado de esta combinación de elementos mecánicamente independientes es un radar de gran tamaño y alto rendimiento, más fácil de transportar y desplegar que una antena de tamaño equivalente.

Con este fin, se presentan varias técnicas de asociación de conjuntos de antenas y se discuten sus ventajas/desventajas.

La figura 1a representa esquemáticamente el panel radiante de un conjunto unitario de antenas. Comprende un panel radiante 100 formado por una pluralidad de elementos radiantes 101 distribuidos en una malla de paso regular. Cuando se utiliza para la transmisión, la señal de radiofrecuencia (RF) que se va a transmitir se moldea y luego se transmite por cada uno de los elementos radiantes. La conformación consiste en modificar la fase de la señal de RF, y ventajosamente su amplitud, para cada uno de los elementos radiantes de forma independiente con el fin de orientar la ganancia máxima de la antena en la dirección deseada. Cuando se utiliza para recepción, la señal de RF recibida de cada elemento radiante se moldea para dar a la antena la máxima ganancia en una dirección determinada. Estas operaciones se conocen como "formación de haces", en inglés "beamforming".

La conformación del haz viene determinada por una ley de control, una ley de fase 103 y ventajosamente una ley de amplitud 102, a aplicar a la señal de RF a transmitir o recibir en cada uno de los elementos radiantes del panel radiante. El desplazamiento de fase aplicado permite orientar la ganancia máxima de la antena en la dirección deseada. Este desplazamiento de fase es constante entre dos elementos radiantes consecutivos, y su valor está directamente relacionado con la longitud de onda de la señal de RF, el paso de la cara radiante y la orientación deseada del haz. La ley de control de amplitud permite concentrar la potencia en el centro de la antena, reduciendo así el nivel de lóbulos secundarios. La ley de control de amplitud es, por tanto, ventajosa, pero no es esencial para apuntar el haz de la antena, ya que la mayoría de las antenas de barrido conocidas en el estado de la técnica sólo se controlan mediante un control en fase en la transmisión.

La figura 1b representa una configuración de cuatro paneles radiantes separados, independientes en el sentido de los conjuntos de antenas. Los paneles radiantes 110, 111, 112 y 113 enfocan todos en la misma dirección angular, independientemente de la presencia de paneles vecinos. Para ello, se asigna la misma ley de control 120, 121, 122, 123 a cada uno de los paneles radiantes. De este modo, cuando se utiliza en transmisión, la señal total transmitida es la recombinación de cada una de las señales, lo que permite mejorar la potencia de transmisión. Cuando se utiliza para recepción, la señal recibida en cada uno de los paneles radiantes puede sumarse para mejorar la relación señal/ruido.

Sin embargo, la resolución angular no mejora en comparación con la configuración de la figura 1a. Además, las transmisiones de los distintos paneles interfieren entre sí, lo que provoca pérdidas de ganancia y la aparición de lóbulos secundarios, sobre todo con desplazamientos elevados.

La figura 1c representa un panel radiante 130 para un conjunto de antenas hecho uniendo cuatro paneles radiantes más pequeños, como se representa en la figura 1a. La ley de control 131 aplicada a los elementos radiantes se adapta a la superficie total del panel radiante 130, mediante el cálculo centralizado de las fases de enfoque, y ventajosamente de las amplitudes, que deben aplicarse. Como resultado, la resolución angular y la ganancia de la antena mejoran en comparación con la configuración mostrada en la Figura 1a. Sin embargo, este caso es un caso teórico al que deberíamos apuntar, en el que el panel radiante formado por varios paneles radiantes unidos es continuo. En la práctica, las antenas tienen bordes que hacen imposible obtener un conjunto unido perfecto como el de la figura 1c.

La figura 1d representa un panel radiante para un conjunto de antenas hecho a partir de la asociación disjunta de cuatro paneles unitarios disjuntos 141, 142, 143 y 144, como se representa en la figura 1a. La ley de control 150 aplicada a los elementos radiantes se adapta a la superficie total del panel radiante 130, mediante el cálculo centralizado de las fases de enfoque, y ventajosamente de las amplitudes, que deben aplicarse. Sin embargo, como los paneles radiantes no pueden disponerse de forma contigua debido a sus bordes, el conjunto global de la antena no es continuo. Los huecos 151, 152 y 153 entre los paneles radiantes (traslación según tres ejes) y su alineación (rotaciones según tres ejes) provocan roturas en la cara radiante total.

Mientras que el rendimiento en términos de resolución angular y ganancia se mejora en comparación con las configuraciones de las Figuras 1a y 1b, las roturas en la cara radiante degradan el enfoque del haz. La ley de control de fase se calcula de forma que la contribución de cada elemento radiante interfiera con la de los demás elementos radiantes para orientar el haz de la antena. Los huecos entre los paneles radiantes son similares a la ausencia de elementos radiantes, cuya contribución es necesaria para una buena formación del haz. Por tanto, el haz resultante se degrada, lo que se traduce en una pérdida de ganancia en la dirección del objetivo, una directividad más pobre y la aparición de lóbulos secundarios.

El objeto de la presente invención es producir un conjunto de antenas a partir de una pluralidad de paneles radiantes dispuestos uno al lado del otro de forma no contigua, como en el ejemplo de la figura 1d, y modificar la ley de control de los elementos radiantes para tener en cuenta los huecos y las diferencias de alineación entre los distintos paneles radiantes durante la formación del haz. Para ello, la antena global se considera como la suma de dos superficies radiantes: una primera superficie radiante que corresponde a toda la superficie de los paneles radiantes (incluidos los espacios entre los paneles radiantes), y una segunda superficie que corresponde a los espacios entre los paneles radiantes. Esta segunda superficie equivale a una red virtual de pequeñas superficies radiantes que generan interferencias que degradan el haz generado por la primera superficie. Siempre que los espacios entre los paneles radiantes sean pequeños en relación con su tamaño (normalmente menos de unas pocas longitudes de onda), es posible evaluar el diagrama de radiación de la segunda superficie y contrastarlo con el diagrama de radiación de la primera superficie para obtener un diagrama de radiación global en el que se reduzca el nivel de lóbulos secundarios causados por la naturaleza no contigua de los paneles radiantes. Esto se consigue modificando los coeficientes de amplitud y fase de las señales transmitidas a los elementos radiantes que forman la superficie radiante global.

En el ejemplo mostrado en la Figura 1d, los paneles radiantes están dispuestos horizontalmente uno al lado del otro, con el fin de aumentar la anchura del conjunto global de antenas, y mejorar así la resolución angular en acimut. Sin embargo, podrían disponerse uno al lado del otro verticalmente para mejorar la resolución angular en elevación, o según ambos ejes.

La figura 2 representa los elementos principales de un conjunto unitario de antenas según el estado de la técnica. En la terminología adoptada, la palabra "conjunto de antenas" engloba tanto los paneles radiantes como los componentes necesarios para aplicar los procesamientos de formación de haces. Los conjuntos de antenas que se representan a continuación se utilizan para la recepción, ya que para las aplicaciones de radar, la señal de RF se transmite generalmente utilizando amplificadores de alta eficiencia, como los amplificadores de clase C, que no permiten que varíe la amplitud de la señal transmitida. Por lo tanto, es en la recepción donde la invención es más plenamente aplicable, en primer lugar para haces con bajos niveles de lóbulos secundarios, y en segundo lugar porque la modulación del control de la señal es posible en fase y amplitud. Sin embargo, la invención se aplicaría del mismo modo al control del haz transmitido.

El panel radiante 200 de la figura 2 comprende M elementos radiantes 201 a 20M. Un circulador 211 a 21M conmuta cada elemento radiante entre una función de transmisión, en la que recibe una señal que debe transmitirse, y una función de recepción, en la que recibe una señal de RF y la transmite a un equipo de procesamiento dedicado.

Cuando la antena se utiliza para la transmisión, la señal de RF a transmitir es generada por un equipo dedicado para generar una señal analógica de RF, amplificada por una cadena de amplificación común a todos los elementos radiantes o una cadena de amplificación específica de cada elemento radiante, y luego transmitida por los elementos radiantes.

Cuando la antena se utiliza para la recepción, la señal recibida en cada uno de los elementos radiantes se transmite a un amplificador de bajo ruido y luego se digitaliza mediante un convertidor analógico a digital. En 251 a 25M se aplica a la señal digital un coeficiente de conformación específico para cada elemento radiante, que idealmente corresponde a un desplazamiento de fase y una atenuación. El valor del desplazamiento de fase y la atenuación es ajustable y depende de la dirección deseada del haz de la antena. Estos coeficientes suelen estar calculados previamente y almacenados en una tabla ω_1 260 que contiene todos los coeficientes de atenuación y desfases de los distintos elementos radiantes en función de la dirección del haz de la antena. Los valores de la tabla 260 son programados en función de la dirección deseada por un dispositivo de gestión de radar 261. Por último, las señales de RF recibidas de los distintos elementos radiantes y conformados se suman y, a continuación, se procesan mediante algoritmos de procesamiento de señales específicos de la aplicación en cuestión.

La disposición mostrada en la figura 2 se da a título ilustrativo, pudiendo ser adaptada al margen por el experto en la materia sin que ello impida la puesta en práctica de la invención. Por ejemplo, sería posible invertir la posición de los convertidores analógico-digital y los conformadores de señal. En este caso, la señal analógica se modela mediante nodos de control compuestos por atenuadores y desfases. Otros ajustes serán obvios, como :

- limitar la ley de control a una ley de fase,
- dedicar la antena a la recepción de una señal de RF retirando los circuladores 211 y 21M y toda la parte de transmisión (270, 221, 22M),
- aplicar atenuaciones y desplazamientos de fase ω_1 a la transmisión en lugar de a la recepción, y dedicar potencialmente la antena a recibir una señal de RF eliminando los circuladores 211, 21M y toda la parte de recepción (231, 23M, 241, 24M, 262, 263),
- aplican atenuaciones y desfases ω_1 tanto para la transmisión como para la recepción.

Los valores de la tabla ω_1 260 se calculan teóricamente a partir del número de elementos radiantes, sus posiciones respectivas, el tamaño y el paso de la malla radiante, y la frecuencia de funcionamiento considerada. Ventajosamente, pueden completarse con coeficientes de ajuste que tengan en cuenta las imperfecciones de los diagramas de radiación de cada elemento radiante y las imperfecciones ligadas a la estructura del panel radiante, caracterizándose estas

imperfecciones en fábrica durante una fase de calibrado. El procedimiento habitual consiste en realizar mediciones de campo cercano del panel de la antena para obtener el nivel de señal alcanzado para cada elemento radiante por retropropagación (cálculo del tipo de la transformada inversa de Fourier) y averiguar la desviación respecto a la distribución teórica de la señal que da el enfoque máximo.

- 5 La figura 3 representa los elementos principales de un conjunto de antenas según una realización de la invención. Esta antena comprende N paneles radiantes 300-1, 300- N , como se describe en la figura 2, conectados a un dispositivo de control centralizado 361, como se representa en la figura 1d.

Cada panel radiante comprende por tanto M elementos radiantes 301-1, 30M-1, 301- N , 30M- N , cada uno conectado a un circulador 311-1, 31M-1, 311- N , 31M- N que permite conmutar entre transmisión y recepción.

- 10 Para simplificar la descripción, se ha supuesto que el conjunto de antenas está formado por varios paneles radiantes de tamaño estrictamente idéntico. Sin embargo, la invención se aplicaría de forma equivalente a un conjunto de antenas formado por paneles radiantes de diferentes tamaños. Con la misma superficie radiante, los resultados obtenidos serían comparables.

- 15 En transmisión, la señal analógica de RF a transmitir es generada por un dispositivo 370 y amplificada por las cadenas de amplificación 321-1, 32M-1, 321- N , 32M- N .

- 20 En recepción, las señales recibidas de cada elemento radiante son amplificadas por los amplificadores de bajo ruido 331-1, 33M-1, 331- N , 33M- N , digitalizadas por los convertidores analógico-digital 341-1, 34M-1, 341- N , 34M- N , y luego conformadas. La tabla de coeficientes ω_1 360-1 contiene las atenuaciones y los desfases aplicados a cada una de las señales de RF recibidas de los elementos radiantes 351-1, 35M-1 de la antena 1, mientras que la tabla de coeficientes ω_N 360- N contiene las atenuaciones y los desfases aplicados a las señales de RF recibidas de los elementos radiantes 351- N , 35M- N de la antena N . A continuación, las señales se suman mediante los sumadores 362-1 y 362- N .

- 25 Los coeficientes de conformación ω_1 y ω_N son proporcionados por una tabla de nivel superior 380, que incluye tablas de coeficientes para una o más configuraciones de paneles radiantes. Un dispositivo centralizado de gestión del radar 361 se encarga de calcular o seleccionar las tablas de coeficientes en función de la información sobre la disposición de los paneles radiantes, la frecuencia de funcionamiento y la orientación prevista del haz de antena. Este dispositivo se presenta generalmente en forma de software integrado en un dispositivo informático como un procesador, un procesador de señales digitales (DSP) o un circuito especializado como un ASIC (acrónimo inglés de "Application Specified Integrated Circuit") o un FPGA (acrónimo inglés de "Field-Programmable Gate Array").

- 30 Por último, las señales recibidas de las distintas antenas se suman 381, y luego se transmiten al software de procesamiento de radar 363 para implementar los algoritmos de procesamiento de señales necesarios para las aplicaciones previstas.

La estructura de antena multipanel radiante representada en la figura 3 se da a título ilustrativo, y puede adaptarse al margen sin poner en tela de juicio el principio mismo de la invención, por ejemplo :

- 35
- conformando la señal de RF transmitida por cada elemento radiante,
 - digitalizando la señal tras la conformación de la señal RF,
 - limitando la antena a la transmisión o a la recepción,
 - recuperando directamente los coeficientes de conformación (atenuación y desfase) utilizados en 351-1, 35M-1, 351- N y 35M- N de la tabla W 380,
- 40
- realizando todas las sumas 362-1, 362- N y 381 en una sola etapa.

- 45 La ventaja de la antena multipanel según la invención es que la ley de control de las ponderaciones aplicadas a las señales de RF recibidas de los distintos elementos radiantes tiene en cuenta toda la cara radiante de la antena multipanel, la frecuencia de funcionamiento y la dirección de apuntamiento deseada, pero también las imperfecciones debidas a las roturas de la cara radiante causadas por los huecos entre paneles radiantes y sus variaciones de alineación.

- 50 La figura 4a representa, en la línea de puntos 401, el diagrama de radiación obtenido utilizando un conjunto ideal unido de paneles radiantes, como se representa en la figura 1c. El diagrama de radiación se representa para ángulos comprendidos entre -90° y $+90^\circ$. El lóbulo principal, que corresponde a la dirección de apuntamiento del haz, apunta en este ejemplo a 50° de acimut. En otras direcciones, las emisiones se atenúan al menos 35 dB en relación con el lóbulo principal.

La figura 4a también representa, en líneas continuas 402, el diagrama de radiación obtenido utilizando un conjunto desarticulado de paneles radiantes, como se representa en la figura 1d, sin compensar las interferencias generadas por los espacios entre los paneles. Los lóbulos secundarios, cuyo nivel está entre 20 dB y 30 dB por debajo del nivel del lóbulo principal, aparecen en ángulos de aproximadamente -70° , -45° , -25° , -5° y 30° . Uno de los objetivos de la

invención es reducir el nivel o eliminar estos lóbulos secundarios, que en este caso son aproximadamente de 10 a 20 dB superiores a los de la red conjunta.

A tal efecto, el haz del diagrama general del conjunto de antenas puede expresarse como la ecuación (1) que figura a continuación:

$$F(\vec{k}, \vec{k}_0, f) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \left[W_c \left[\vec{K}_p, \overrightarrow{(r^{(n)})_m}, f \right]_{n,m} \cdot W_{co} \left[\vec{k}_0, \overrightarrow{(r^{(n)})_m}, f \right]_{n,m} \cdot W \left[\vec{k}, \overrightarrow{(r-r^{(n)})_m}, f \right]_{n,m} \cdot f(\vec{k})_{n,m} \right]$$

con :

- N es el número de paneles radiantes,
- M es el número de elementos radiantes por panel,
- P el número de lóbulos secundarios generados por los huecos entre los paneles radiantes,
- $W_c \left[\vec{K}_p, \overrightarrow{(r^{(n)})_m}, f \right]_{n,m}$ el primer término de la ecuación, correspondiente a los coeficientes de conformación aplicados al elemento radiante n, m para orientar el haz de la antena en la dirección de cada uno de los lóbulos secundarios, a la frecuencia f ,
- $W_{co} \left[\vec{k}_0, \overrightarrow{(r^{(n)})_m}, f \right]_{n,m}$ el segundo término de la ecuación, correspondiente al coeficiente de conformación aplicado al elemento radiante n, m para orientar el haz de la antena en la dirección de apuntamiento deseada para el lóbulo principal, a la frecuencia f ,
- $W \left[\vec{k}, \overrightarrow{(r-r^{(n)})_m}, f \right]_{n,m}$ el tercer término de la ecuación, correspondiente al factor de fase que afecta a la señal procedente de los elementos radiantes, afectado en su caso por un coeficiente de calibrado, a la frecuencia f ,
- $f(\vec{k})_{n,m}$ el cuarto término de la ecuación, correspondiente al diagrama elemental formado por el elemento radiante n, m ,

$$\vec{k} = \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix}$$

- $\vec{k}$ representa una dirección en el espacio, siendo u, v y w direcciones según tres ejes de un marco de referencia ortonormal,
- $\vec{k}_0$ representa la dirección de apuntamiento del lóbulo principal del conjunto de antenas,
- f es la frecuencia de funcionamiento del conjunto de antenas,
- $\vec{K}_p$ es un vector que comprende la dirección de cada uno de los lóbulos secundarios P generados por los huecos entre paneles radiantes,
- $(r^{(n)})_m$ es la posición del elemento radiante m del panel radiante n en el sistema de referencia de la antena del sistema,
- $\overrightarrow{(r-r^{(n)})_m}$ es la posición de cada elemento radiante realmente alcanzada y expresada en un sistema de referencia global,
- $f(\vec{k})_{n,m}$ es el diagrama elemental del elemento radiante n, m .

El primer término de la ecuación, en $W_c \left[\vec{K}_p, \overrightarrow{(r^{(n)})_m}, f \right]_{n,m}$, corresponde a los coeficientes de conformación $P \omega_c$ que deben aplicarse a cada uno de los elementos radiantes para apuntar el haz de la antena del conjunto en cada una de las direcciones $P K_p$ de los lóbulos secundarios de la antena, cuando se considera una ley de control que tiene en cuenta todo el conjunto de antenas, es decir

$$W_c \left[\vec{K}_p, \overrightarrow{(r^{(n)})_m}, f \right]_{n,m} = \left[\left[\omega_c \left[\vec{K}_p, \overrightarrow{(r^{(1)})_m}, f \right]_{1..M} \right]^{(1)} \dots \left[\omega_c \left[\vec{K}_p, \overrightarrow{(r^{(N)})_m}, f \right]_{1..M} \right]^{(N)} \right]$$

Para cada dirección $\vec{K}_p$, el coeficiente de conformación correspondiente ω_c se obtiene a partir de la ley de control asociada que permite apuntar el haz del conjunto de antenas en la dirección del lóbulo secundario en cuestión, al nivel deseado. Se trata, por tanto, de un coeficiente complejo de amplitud/fase.

El segundo término de la ecuación, en $W_{co} \left[\vec{k}_0, \overrightarrow{(r^{(n)})_m}, f \right]_{n,m}$ corresponde a la ley de control que debe aplicarse a los distintos elementos de antena para orientar el haz de la antena del sistema en la dirección deseada, cuando se considera una ley de control que tiene en cuenta todo el conjunto de antenas. Entonces tenemos :

$$W_{co} [\vec{k}_0, (\vec{r}^{(n)})_m] = \left[\left[\omega_{co} [\vec{k}_0, (\vec{r}^{(1)})_m] \right]_{1..M} \right]^{(1)} \dots \left[\omega_{co} [\vec{k}_0, (\vec{r}^{(N)})_m] \right]_{1..M}^{(N)},$$

con :

- ω_{co} el coeficiente de conformación correspondiente a la dirección objetivo.

El coeficiente ω_{co} puede por tanto corresponder únicamente a un desplazamiento de fase, o ventajosamente ser un coeficiente complejo amplitud/fase.

El tercer término de la ecuación, en $W[\vec{k}, (\vec{r}^{(n)})_m]$, corresponde al factor de fase de la señal captada por cada elemento radiante para tener en cuenta las interferencias entre los elementos radiantes. Este factor de fase puede contener un coeficiente de calibrado obtenido generalmente durante una fase de calibrado efectuada durante la fabricación de cada panel radiante.

El cuarto término de la ecuación, en $f(\vec{k})_{n,m}$, representa el diagrama elemental del elemento radiante n, m . Tiene en cuenta las ligeras diferencias que pueden existir entre los diagramas de los distintos elementos radiantes y, por tanto, los efectos del acoplamiento mutuo entre elementos radiantes. Puede expresarse en :

$$f(\vec{k})_{n,m} = E_{inc} \left[Mr_n \left(h(\vec{k}, f) \right)_{n,m} \right]$$

con :

- E_{inc} la polarización de una onda plana incidente,
- Mr_n es una matriz de rotación asociada al elemento radiante n .

Para reducir los lóbulos secundarios debidos a la presencia de huecos entre los diferentes paneles radiantes, la invención propone aplicar a cada uno de los elementos radiantes un coeficiente de conformación complejo calculado según el principio de restar, en la dirección conocida de cada uno de los lóbulos parásitos, un lóbulo equivalente con un nivel igual al del lóbulo parásito. El conocimiento del lóbulo parásito viene determinado por el conocimiento de la posición de los elementos de la red global instalados en su lugar de utilización. El coeficiente de un elemento radiante es igual al coeficiente ω_{co} , necesario para dirigir la ganancia máxima de la antena en una dirección determinada, menos los coeficientes ω_c correspondientes a las direcciones de los lóbulos secundarios afectados por los niveles de los lóbulos secundarios parásitos. De este modo, se compensa el efecto de los huecos entre paneles radiantes y se reduce el nivel de lóbulos secundarios.

Ventajosamente, el coeficiente de conformación de fase y amplitud aplicado a cada elemento radiante tiene en cuenta el coeficiente de calibración tenido en cuenta en la W de la ecuación (1).

La figura 4b representa, en línea de puntos 411, el diagrama de radiación obtenido por un conjunto desarticulado de paneles radiantes, como se representa en la figura 1d, sin compensación de las interferencias debidas a los espacios entre los paneles, correspondiente al diagrama de radiación 402 de la figura 4a.

El diagrama de radiación 412, en líneas continuas, es obtenido por el mismo conjunto desarticulado de paneles radiantes, después de la implementación de la compensación de los coeficientes de conformación descritos por la invención. Se observa que los lóbulos secundarios a -70° , -45° , -25° , -5° y 30° han sido atenuados y devueltos a niveles comparables a los obtenidos para una antena ideal formada por paneles radiantes unidos, es decir, una reducción de 10 a 20dB en el nivel de cada uno de estos lóbulos secundarios.

El panel radiante multiantena según la invención permite por tanto reducir el nivel de lóbulos secundarios generados por los huecos entre paneles radiantes. El número de lóbulos secundarios generados por los espacios entre paneles radiantes depende de la frecuencia de funcionamiento y de la dirección de apuntamiento. El número P de lóbulos secundarios procesados depende de su nivel y de los requisitos de directividad del haz, por lo que debe evaluarse en función de las necesidades operativas y de la potencia de cálculo disponible.

La figura 5a representa el haz de un conjunto de antenas formado por un conjunto ideal unido de paneles radiantes. El haz está bien centrado en torno a la dirección del objetivo. La figura 5b representa el haz de antena emitido por el mismo conjunto ideal de paneles radiantes cuando se modifican los coeficientes de control de fase y amplitud para tener en cuenta las interferencias generadas por los huecos entre los paneles radiantes. El haz es más difuso que en la figura 5a. Sin embargo, cuando se emite desde una antena compuesta por un conjunto disjunto de paneles radiantes, el haz tiende hacia el de la figura 5a.

El objeto de la presente invención también se refiere a un procedimiento de transmisión o recepción implementado a partir de un conjunto de antenas formado por múltiples paneles radiantes. Este procedimiento se representa esquemáticamente en la Figura 6. Puede dividirse en dos partes:

- una parte preliminar 601 y 602 para caracterizar las interferencias generadas por la disposición relativa de los paneles radiantes, y
- una parte operativa (603) para transmitir/recibir señales de RF, teniendo en cuenta las interferencias caracterizadas.

5 Las dos partes pueden implementarse independientemente. La primera puede realizarse antes de instalar la antena para su uso en el emplazamiento de explotación, ya que las interferencias generadas son idénticas para dos situaciones en las que el número de paneles radiantes y su disposición son similares. Las interferencias pueden caracterizarse cuando se instala la antena, previamente, utilizando los paneles radiantes utilizados para formar el conjunto de antenas, otros paneles radiantes del mismo tamaño o incluso utilizando software para simular la radiación del conjunto de antenas.

10 Para ello, se disponen inicialmente 601, N paneles radiantes uno al lado del otro, horizontalmente, verticalmente o en ambas direcciones. Las posiciones relativas de los paneles radiantes, es decir, las distancias entre los distintos paneles y sus orientaciones, se registran y almacenan en una memoria. Ventajosamente, estas posiciones pueden obtenerse mediante mediciones realizadas con equipos de medición metrológica integrados en el radar, como telémetros láser.

15 En segundo lugar 602, el conjunto de antenas se configura para transmitir una señal de RF en una dirección de apuntamiento determinada, preferiblemente en un entorno que reproduzca la propagación de la señal en el espacio libre, como una cámara anecoica. La ganancia máxima de la antena se determina conformando la señal de RF transmitida a cada uno de los elementos radiantes, teniendo en cuenta una ley de control global para todo el conjunto de antenas. A continuación, se mide el diagrama de radiación de la antena para identificar la dirección de los lóbulos secundarios generados por los huecos entre los paneles radiantes. La operación se repite para cada una de las direcciones de apuntamiento consideradas en el contexto operativo.

20 La caracterización también puede realizarse mediante software. En este caso, se construye un modelo correspondiente a la antena multipanel radiante en un software de simulación digital, que se utiliza para medir el diagrama de radiación e identificar las direcciones y los niveles de los lóbulos secundarios asociados a cada dirección de apuntamiento prevista de la antena.

25 Al final de estas dos etapas, se conoce la dirección de los lóbulos secundarios generados por los huecos entre los paneles radiantes de la antena multipanel para las direcciones de apuntamiento previstas. Estas direcciones se almacenan en una memoria para poder acceder a ellas cuando se utilice el conjunto de antenas.

30 Estas dos etapas 601 y 602 pueden repetirse para diferentes disposiciones de los paneles radiantes, variando su número y/o sus respectivas disposiciones (posiciones y/o distancias).

El procedimiento comprende también una etapa 603 de realización de la transmisión y/o recepción de señales RF teniendo en cuenta la posición de los lóbulos secundarios en función de la disposición de los paneles radiantes. La figura 7 representa con más detalle esta etapa de implementación de un procedimiento de transmisión/recepción en una antena multipanel según una realización de la invención.

35 Un dispositivo de gestión centralizada de las leyes de control, como el dispositivo 361 mostrado en la figura 3, está configurado para tener en cuenta la posición relativa 701 de los paneles de antena y la posición 702 de los elementos radiantes dentro de cada panel radiante para determinar una posición absoluta 703 de cada uno de los elementos radiantes dentro del conjunto de antenas. Los parámetros de funcionamiento 704 son conocidos por el dispositivo centralizado, incluyendo un acimut y una elevación deseados para apuntar 705 el haz de antena, y una frecuencia de funcionamiento 706.

A partir de los parámetros de funcionamiento 704 y de la posición 703 de los elementos radiantes, el dispositivo de gestión de antenas está configurado para calcular la ley de control para determinar el conjunto de coeficientes W_{∞} 707 aplicables al conjunto de antenas para orientar el haz de antena en la dirección de apuntamiento deseada, sin tener en cuenta las interferencias generadas por la utilización de diferentes paneles radiantes.

45 El dispositivo de gestión de antenas también está configurado para calcular la(s) ley(es) de control para determinar el conjunto de coeficientes W_c 708 aplicables al conjunto de antenas con el fin de atenuar el aumento de los lóbulos secundarios relacionados debido al uso de diferentes paneles radiantes. Estos coeficientes se calculan a partir de la información de lóbulos secundarios almacenada en la memoria en la etapa 602, seleccionada en función de la disposición de los paneles radiantes, la dirección de apuntamiento prevista y la frecuencia de funcionamiento de la antena.

Ventajosamente, el dispositivo de gestión de antena también está configurado para recuperar de una memoria un conjunto de coeficientes de calibración W 709 correspondientes a ajustes de fábrica 710 asociados con los elementos radiantes para la frecuencia de funcionamiento 706.

55 El dispositivo de gestión de antenas también está configurado para calcular un coeficiente de conformación global 711 para cada uno de los elementos radiantes, correspondiente a la suma del coeficiente ω_{∞} (del conjunto de

coeficientes W_{co} 707) con el opuesto de los coeficientes $P \omega_c$ (del conjunto de coeficientes W_c 708), complementado si es necesario por el coeficiente de calibración asociado (del conjunto de coeficientes W 709). Cada coeficiente de conformación global se utiliza para conformar las señales recibidas del correspondiente elemento radiante 712 de la antena de matriz.

- 5 Los procesamientos 707, 708 y 711 de la Figura 7 se realizan cada vez que cambia uno de los parámetros de funcionamiento 704, como la dirección de apuntamiento de la antena, la frecuencia o el número/disposición 701 de los paneles radiantes.

- 10 En una realización ventajosa, los coeficientes W_c correspondientes a los coeficientes de conformación aplicables a los elementos radiantes para reducir el nivel de los lóbulos secundarios para cada una de las direcciones de apuntamiento consideradas, se calculan durante la etapa 602 para caracterizar los lóbulos secundarios, y luego se almacenan en una memoria que permite acceder a ellos cuando se utiliza el conjunto de antenas. La etapa 708 se limita entonces a seleccionar el conjunto de coeficientes correspondientes a la disposición y a los parámetros de funcionamiento del conjunto de antenas.

- 15 Ventajosamente, lo mismo se aplica a los coeficientes W_{co} a aplicar a cada uno de los elementos radiantes para orientar la ganancia máxima del conjunto de antenas en la dirección de apuntamiento deseada sin tener en cuenta las interferencias generadas por los huecos entre los paneles radiantes, lo que simplifica la etapa 707.

- 20 Ventajosamente, los conjuntos de coeficientes de conformación almacenados en memoria corresponden a la suma del coeficiente W_{co} y el opuesto del coeficiente o coeficientes W_c para cada elemento radiante de la antena. Este nuevo conjunto de coeficientes se asocia a parámetros relativos a la dirección de apuntamiento, la frecuencia y la disposición de los paneles radiantes. Ventajosamente, los coeficientes de calibración W también se tienen en cuenta en la suma almacenada en memoria durante la etapa 602.

Estas realizaciones alternativas del procedimiento según la invención permiten reducir la carga de cálculos en tiempo real que debe realizar el dispositivo para la gestión centralizada de los coeficientes de conformación de la señal de RF utilizada para formar los haces.

- 25 El conjunto de antenas objeto de la presente invención consiste en una pluralidad de paneles radiantes independientes conectados a un dispositivo centralizado de gestión de formación de haces. Por tanto, responde bien a la necesidad expresada de facilidad de adaptación de las prestaciones a las necesidades operativas, ya que basta con añadir paneles radiantes para aumentar el tamaño de la antena y mejorar así sus prestaciones. También responde bien a la necesidad de facilidad de transporte y despliegue, ya que los componentes son mecánicamente independientes y pueden transportarse por separado. Por último, su implementación no es muy compleja, ya que es posible caracterizar las interferencias generadas por los distintos paneles y calcular los parámetros de conformación antes de la implementación de la antena sobre el terreno.
- 30

REIVINDICACIONES

1. Conjunto de antenas que comprende :

- una pluralidad de paneles radiantes mecánicamente disjuntos (300-1, 300-N) dispuestos uno al lado del otro, comprendiendo cada panel radiante una pluralidad de elementos radiantes (301-1, 30M-1, 301-N, 30M-N),
 - medios (351-1, 35M-1, 351-N, 35M-N) para aplicar una conformación a las señales de radiofrecuencia transmitidas por cada elemento radiante o recibidas de él, y
 - un dispositivo (361) de gestión de los medios de aplicación de la conformación de las señales de radiofrecuencia,
- en el que los medios de aplicación de conformación están configurados para aplicar un coeficiente de conformación complejo a la señal transmitida por cada elemento radiante o recibida de él, estando el conjunto de antenas **caracterizado porque** dicho coeficiente de conformación complejo corresponde a una suma de al menos :

- un coeficiente de conformación (W_{co}) para orientar la ganancia máxima de la antena en una dirección determinada, y
- al menos el opuesto de un coeficiente de conformación (W_c) para orientar la ganancia máxima de la antena en la dirección de un lóbulo secundario resultante de huecos entre los paneles radiantes del conjunto de antenas.

2. Conjunto de antenas según la reivindicación 1, en el que la suma utilizada para calcular el coeficiente de conformación aplicado a los elementos radiantes incluye además un coeficiente de calibración (W).3. Conjunto de antenas según una de las reivindicaciones precedentes, en el que el coeficiente de conformación (W_{co}) para orientar la ganancia máxima de la antena en una dirección determinada se calcula a partir de la dirección de apuntamiento deseada del conjunto de antenas, de la frecuencia de la señal de radiofrecuencia, de la posición del elemento radiante en cuestión dentro del conjunto de antenas y el número total de elementos radiantes del conjunto de antenas.4. Conjunto de antenas según una de las reivindicaciones precedentes, en el que el coeficiente de conformación (W_c) que permite orientar la ganancia máxima de la antena en la dirección de al menos un lóbulo secundario resultante de los huecos entre los paneles radiantes del conjunto de antenas se calcula a partir de la dirección de dicho lóbulo secundario, la frecuencia de la señal de radiofrecuencia, la posición del elemento radiante en cuestión dentro del conjunto de antenas y el número total de elementos radiantes del conjunto de antenas.

5. Conjunto de antenas según una de las reivindicaciones precedentes utilizado para recibir una señal de radiofrecuencia, que comprende además medios (362-1, 362-N, 381) para sumar las señales recibidas de cada uno de los elementos radiantes y conformados.

6. Procedimiento de transmisión o recepción de una señal de radiofrecuencia para un conjunto de antenas que comprende una pluralidad de paneles radiantes (300-1, 300-N) dispuestos uno al lado del otro, comprendiendo cada panel radiante una pluralidad de elementos radiantes (301-1, 30M-1, 301-N, 30M-N), comprendiendo el procedimiento aplicar (603) un coeficiente de conformación complejo (711) a la señal transmitida por cada elemento radiante o recibida de él, **caracterizado porque** dicho coeficiente de conformación corresponde a una suma de al menos :

- un coeficiente de conformación (707) para orientar la ganancia máxima del conjunto de antenas en una dirección determinada, y
- al menos el opuesto de un coeficiente de conformación (708) que permite orientar la ganancia máxima de la antena en la dirección de un lóbulo secundario resultante de los huecos entre los paneles radiantes del conjunto de antenas.

7. Procedimiento de transmisión o recepción de una señal de radiofrecuencia según la reivindicación anterior, que comprende además una etapa preliminar (602) de caracterización de los lóbulos secundarios resultantes de los huecos entre los paneles radiantes del conjunto de antenas.

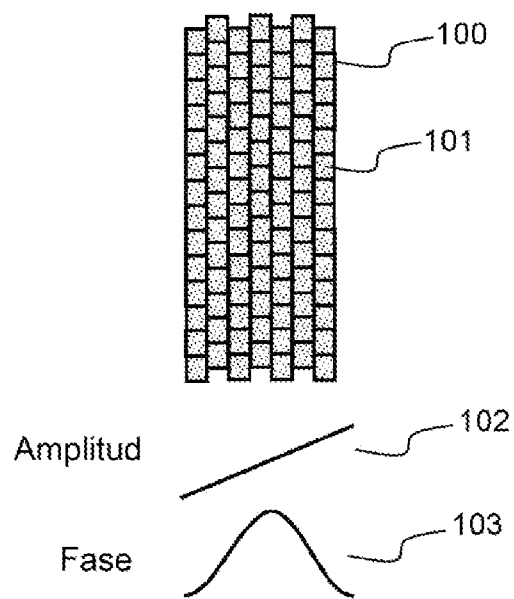


FIG.1a

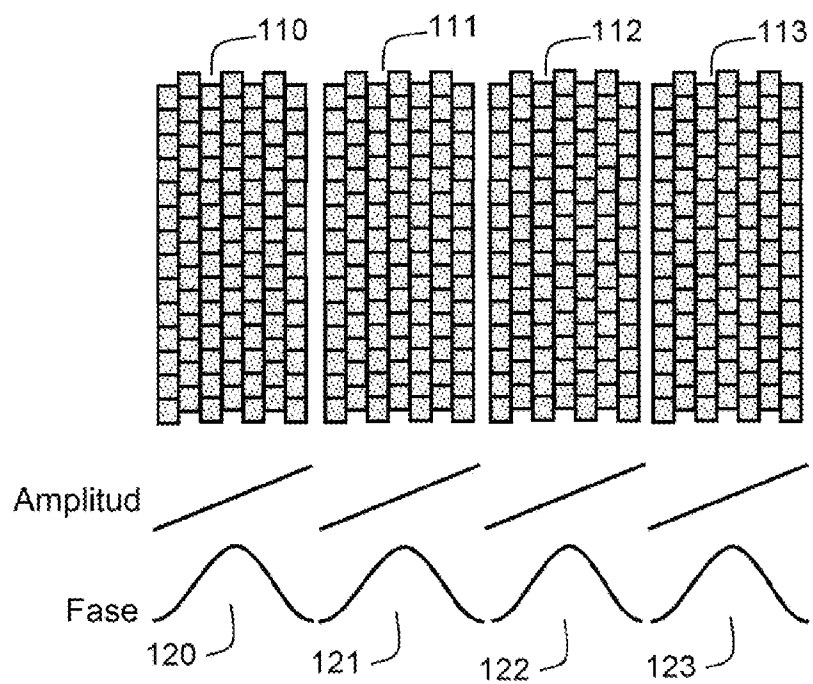


FIG.1b

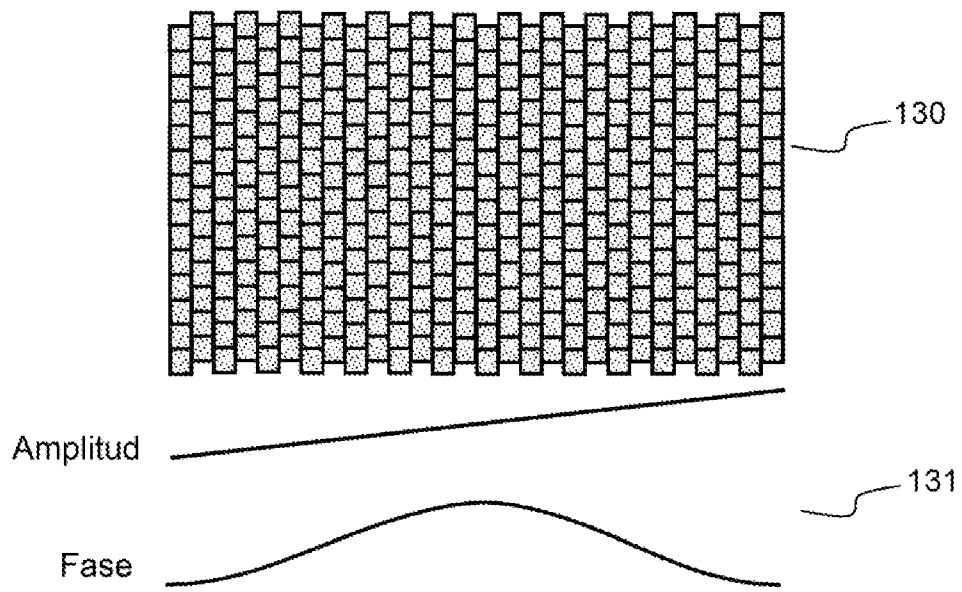


FIG. 1c

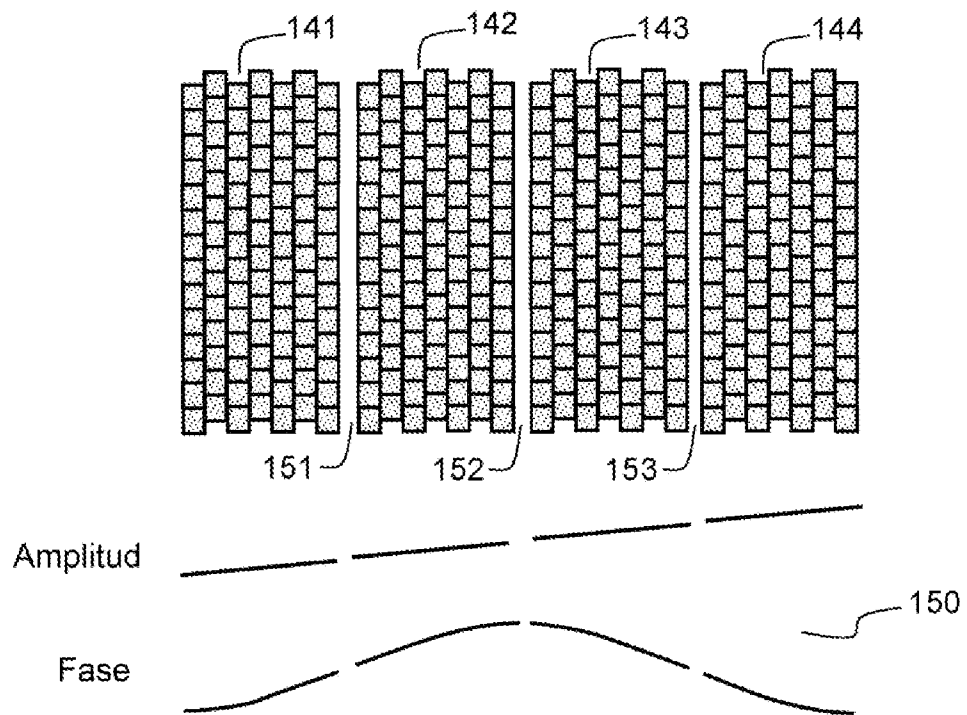
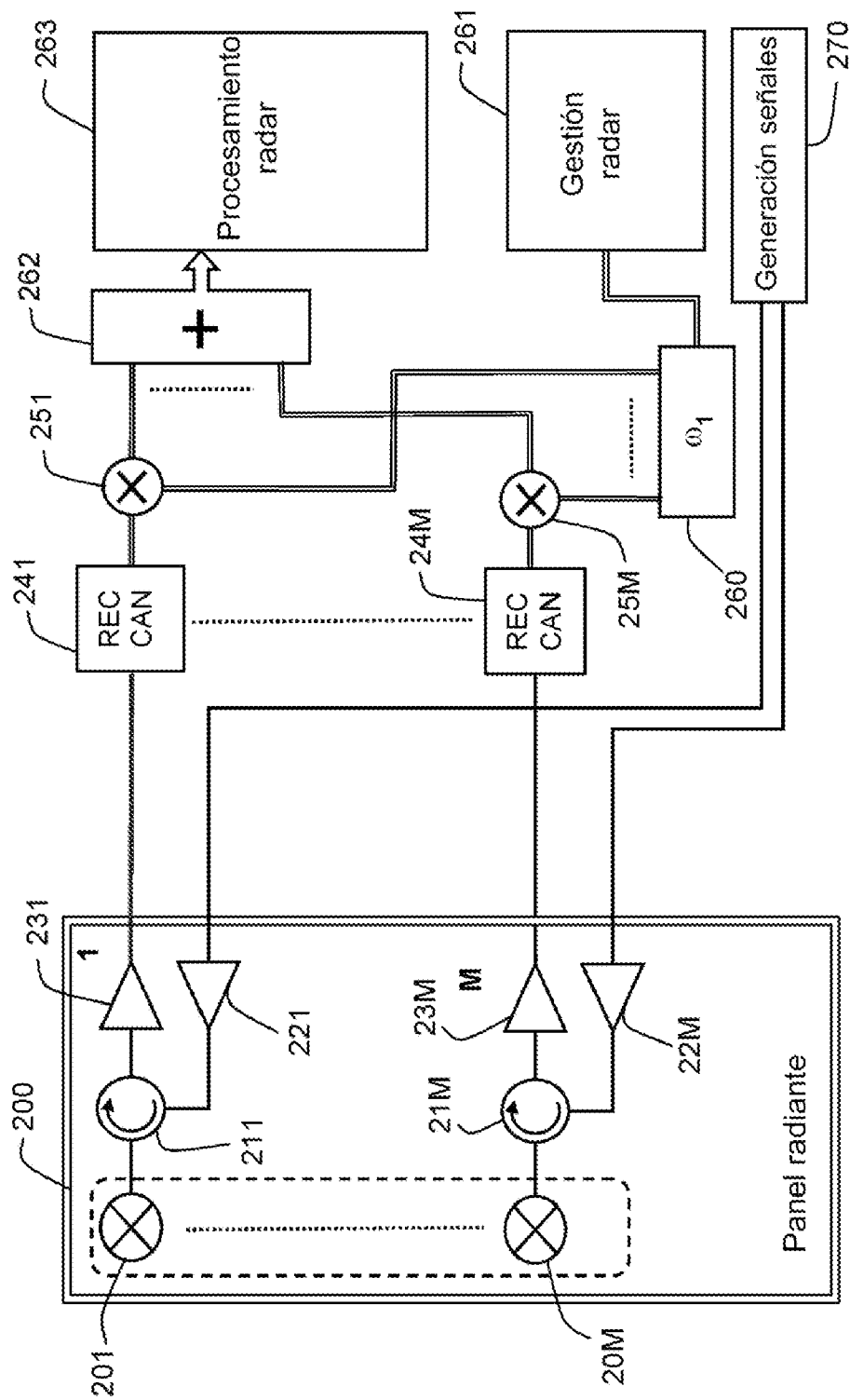


FIG. 1d



Estado de la técnica

FIG.2

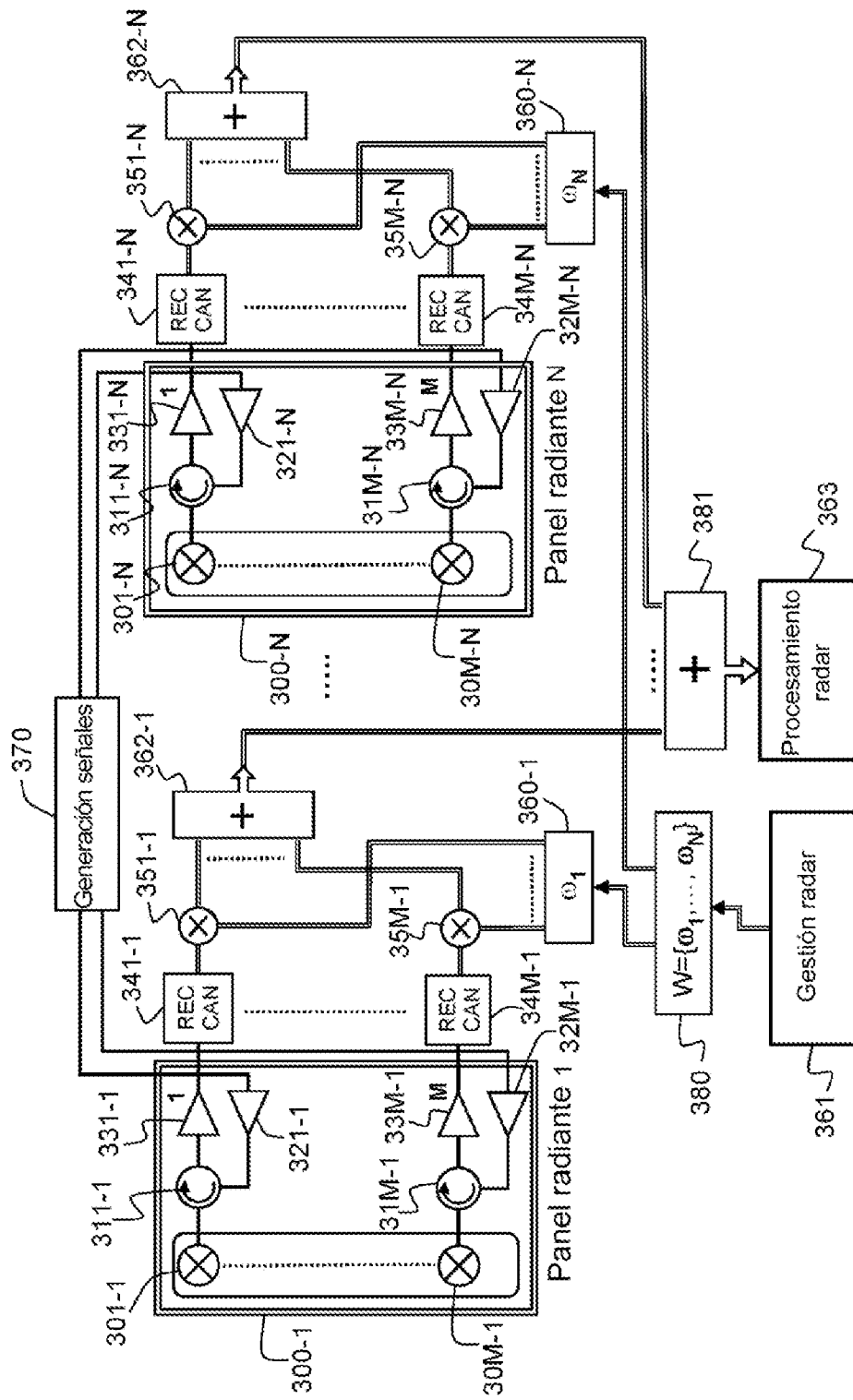


FIG.3

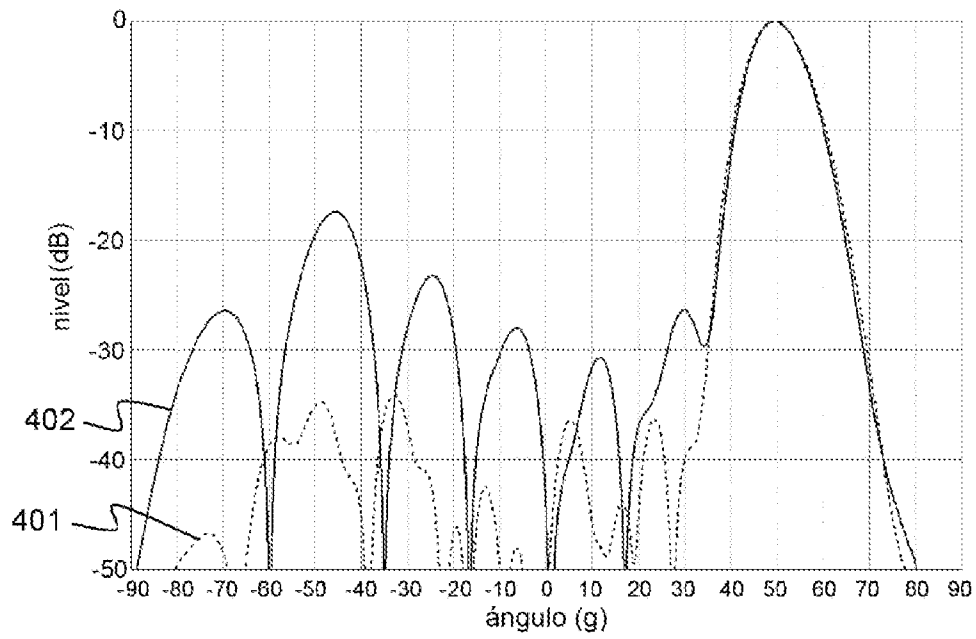


FIG.4a

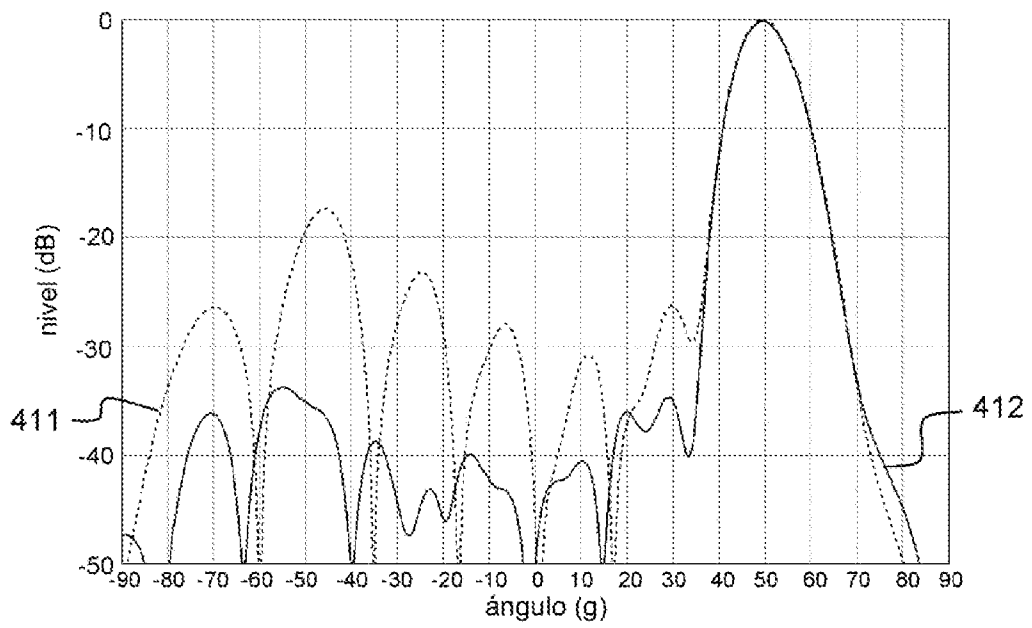


FIG.4b

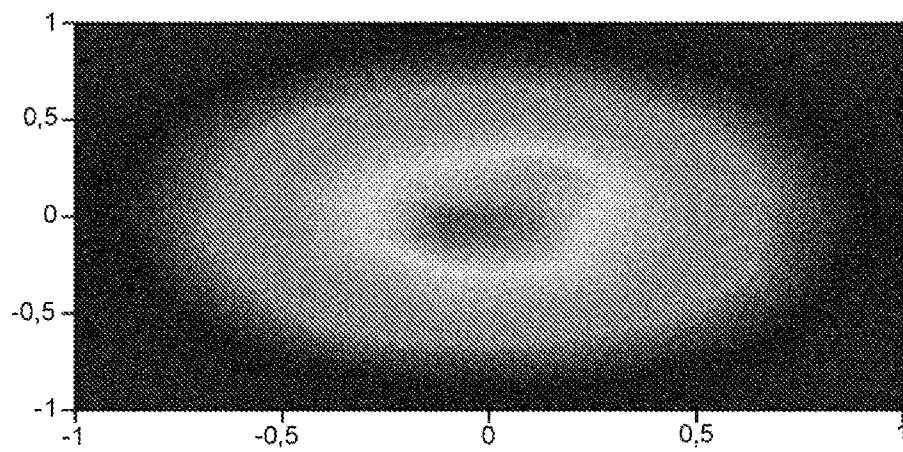


FIG.5a

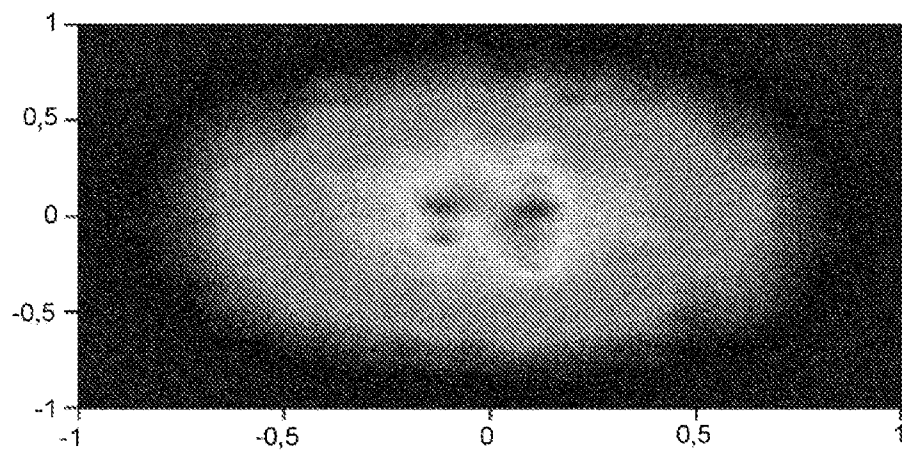


FIG.5b

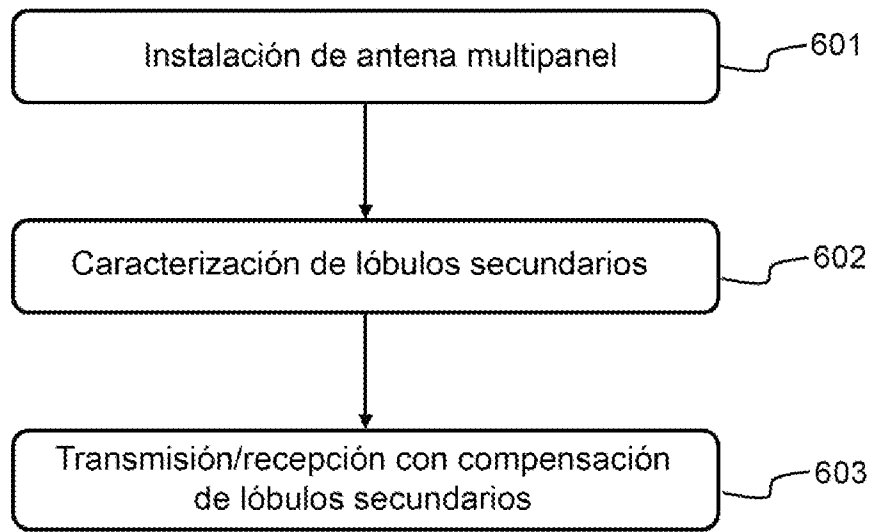


FIG.6

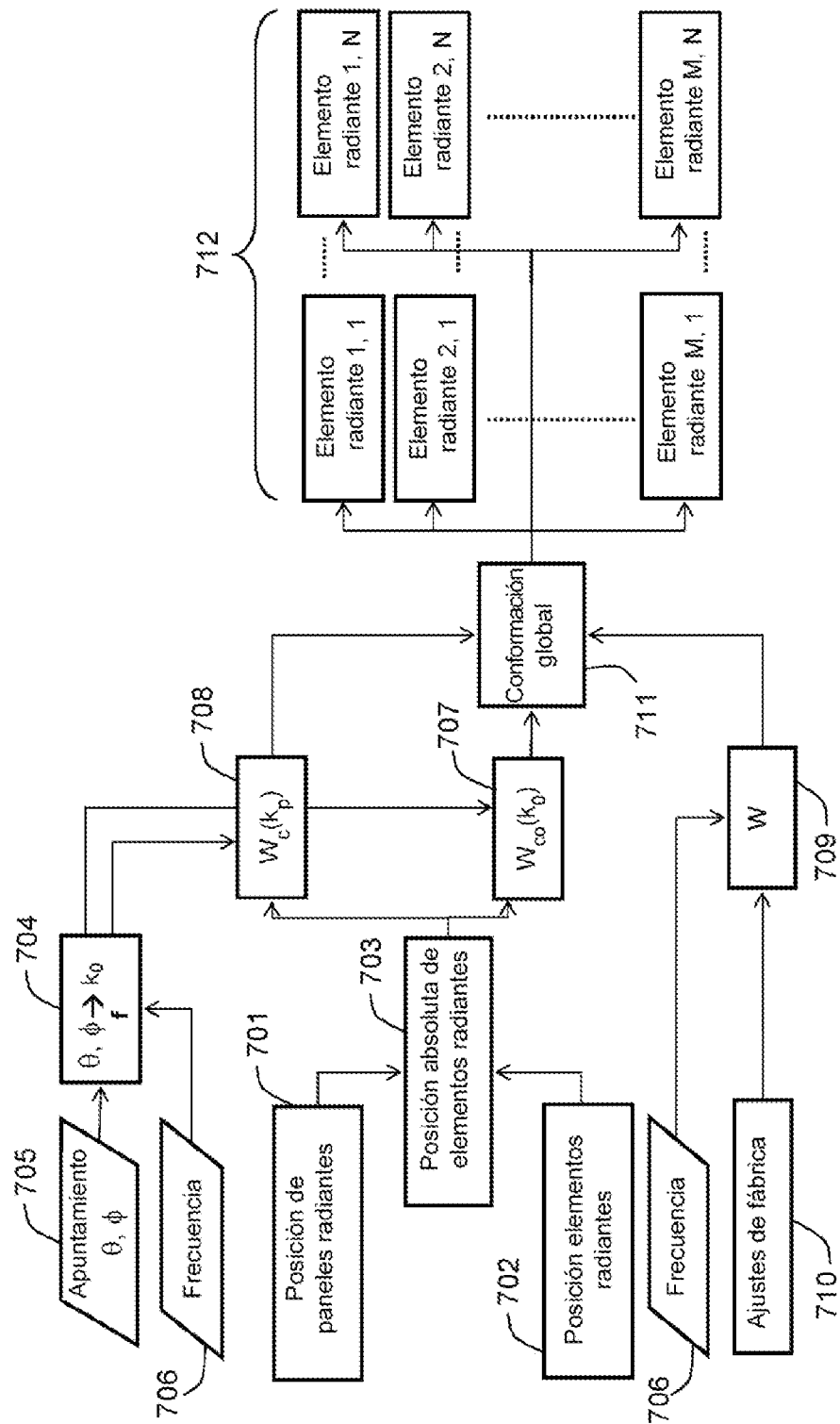


FIG. 7