(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 489 765**

(51) Int. CI.:

H01Q 3/46 (2006.01)
H01Q 21/00 (2006.01)
H01Q 1/28 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.06.2006 E 06752794 (5)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.06.2014 EP 1889327**

(54) Título: **Sistema de antena de múltiples elementos en fase activa alimentado en el espacio y de peso ligero**

(30) Prioridad:

09.06.2005 US 689473 P

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.09.2014

(73) Titular/es:

MACDONALD, DETTWILER AND ASSOCIATES LTD. (100.0%)
13800 Commerce Parkway
Richmond British Columbia V6V 2J3, CA

(72) Inventor/es:

FOX, PETER ALLEN y
JAMES, KENNETH VICTOR

(74) Agente/Representante:

MILTENYI, Peter

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 de antena de múltiples elementos en fase activa alimentado en el espacio y de peso ligero

Referencia cruzada a la solicitud o solicitudes relacionadas

La presente solicitud reivindica el beneficio de la solicitud de Patente Provisional de los Estados Unidos con Nº 60/689.473, presentada el 9 de junio de 2005 (número de expediente del mandatario 34716-8002.US00).

Antecedentes

Una importante ventaja de las antenas de múltiples elementos en fase es su capacidad de orientar el haz de forma electrónica, eliminando la necesidad de apuntamiento y alineamiento mecánicos. Otro beneficio es que la orientación de haz puede realizarse rápidamente, lo que permite el seguimiento de objetivos que se mueven con rapidez, y el seguimiento de múltiples objetivos. La rápida orientación de haz también facilita las aplicaciones en las que una antena sobre una plataforma en movimiento (por ejemplo, una nave en el mar) ha de mantener contacto con una entidad fija tal como un satélite de comunicaciones o de radiodifusión.

Una aplicación común de las antenas de múltiples elementos en fase se da en la implementación de sistemas de radar, en especial sistemas de radar de abertura sintética.

La detección y determinación de distancias por radio, o radar como comúnmente se conoce, existe desde la Segunda Guerra Mundial y se usa para una amplia diversidad de aplicaciones. Por ejemplo, los radares se usan para seguir la posición de objetos tales como aviones, naves y otros vehículos o supervisar condiciones atmosféricas. Los radares de generación de imágenes se han desarrollado para generar imágenes del terreno o de objetos.

Los sistemas de radar básicos funcionan mediante la transmisión de una señal de radiofrecuencia, habitualmente en forma de un impulso corto en un objetivo. Un sistema de radar básico está limitado tanto en la resolución de determinación de distancia como en la resolución de azimut. Se han desarrollado diversas técnicas para superar las limitaciones de un sistema de radar básico. Por ejemplo, para mejorar la resolución de determinación de distancia, pueden usarse técnicas tales como la compresión de impulsos.

Para mejorar la resolución de azimut sin requerir una antena inadmisiblemente grande, se ha desarrollado la técnica de Radar de Abertura Sintética. Los Radares de Abertura Sintética se usan comúnmente en la actualidad en aplicaciones basadas tanto en el aire como en el espacio (por ejemplo, un avión o satélite).

Los sistemas de radar de Abertura Sintética modernos requieren una flexibilidad operativa al soportar la generación de imágenes a lo largo de un amplio intervalo de resoluciones y anchuras de zona explorada de imagen. Esta flexibilidad operativa requiere el uso de un sistema de antena de múltiples elementos en fase activa.

Los sistemas de múltiples elementos en fase activos para aplicaciones espaciales adolecen de un número de limitaciones, lo que restringe un uso más amplio de los mismos. Las antenas son relativamente grandes, del orden de 10 a 20 metros de longitud, y de 1 a 2 metros de anchura. Preservar la calidad del haz y mantenerla estable requiere que la propia antena sea rígida y que esta esté soportada de manera rígida para mantener la antena plana dentro de las tolerancias requeridas. Esto da como resultado una antena con una masa elevada y requiere armazones de soporte u otros medios mecánicos para proporcionar la rigidez requerida cuando está extendida.

El tamaño de la antena impide en general el lanzamiento de las antenas en su configuración operativa, debido a que esta es demasiado grande para caber dentro del volumen de carga útil disponible del vehículo de lanzamiento. La antena ha de plegarse y estibarse para el lanzamiento, entonces se despliega una vez se encuentra en órbita. Han de diseñarse especialmente unos mecanismos complicados y costosos para desplegar la antena y mantenerla rígida cuando está desplegada. También pueden diseñarse y construirse mecanismos de propósito especial para sujetar de forma segura los paneles de antena mientras que están estibados durante el lanzamiento y asegurar que la antena no se ve dañada por las tensiones en las que se incurre durante el lanzamiento. La elevada masa de la antena hace mucho más difícil la tarea de estibar y desplegar la misma.

Los elementos del conjunto de múltiples elementos en fase activo requieren un conjunto complejo de interconexiones entre la estructura de bus principal y los elementos de antena. Son necesarias conexiones para la alimentación, el control, la supervisión y la distribución de señales de radiofrecuencia tanto para la transmisión como para la recepción. Se requieren unas interconexiones y dispositivos de formación de haz de elevación y azimut complicados. Estas interconexiones aumentan adicionalmente la masa, complejidad y coste globales de la antena. Además, puede hacerse que las interconexiones conecten las articulaciones entre los paneles de la antena aumentando la complejidad de fabricación y el coste, y reduciendo la fiabilidad global.

La nave espacial RADARSAT-2 es un ejemplo de un Sistema de Radar de Abertura Sintética del estado de la técnica que usa una antena de múltiples elementos en fase activa. La antena en este caso es de 15 metros de longitud y de 1,5 metros de anchura. Esta consiste en dos alas, conteniendo cada una 2 paneles con cada panel de

aproximadamente 3,75 metros de longitud y de 1,5 metros de anchura. Cada panel contiene 4 columnas con cada columna conteniendo 32 módulos de transmisión / recepción, cada uno con un subconjunto asociado con 20 elementos radiantes. Un total de 512 módulos de transmisión y de recepción se usan en la antena. La masa global de la antena es de aproximadamente 785 kg. La estructura de soporte extensible requerida para desplegar los paneles de antena y mantener los mismos en su posición tiene una masa de aproximadamente 120 kg. Los mecanismos que se usan para sujetar la antena mientras que está estibada, y liberar esta entonces para el despliegue, añaden aproximadamente 120 kg adicionales de masa. La masa total requerida por la antena es de aproximadamente 1025 kg. Esta gran masa impulsa, a su vez, el diseño de la estructura de bus de nave espacial y los sistemas de control de actitud, lo que da como resultado una nave espacial más grande y más pesada.

La gran masa en el diseño complejo significa que el coste global de diseñar, construir y lanzar esta clase de nave espacial es elevado. Esto restringe el uso de esta tecnología a aplicaciones especializadas y limita el número de naves espaciales que puede lanzarse, reduciendo la frecuencia de observación y limitando las misiones operativas que pueden soportarse.

El documento US-A-4 163 235 se refiere a una antena para señales de radiofrecuencia que incluye dos conjuntos en fase de caras planas y un sistema de plano de tierra entre los mismos en la que las líneas de transmisión unen los planos de antena con paquetes de control electrónico de tal modo que se proporciona un desfase, una amplificación final y un sincronismo apropiados para la retransmisión por uno de los planos de antena en una dirección preseleccionada, y en la que las señales se alimentan en el espacio al plano de antena mediante un sistema de alimentación. Cada uno de los subconjuntos está conectado eléctricamente con un módulo electrónico soportado sobre un plano en tierra por líneas de transmisión. El módulo está conectado por líneas de transmisión equilibradas con los terminales, véase la figura 5 del subconjunto y terminales similares en el otro subconjunto. La fuente de alimentación y la red de condensadores de filtro en el módulo suministran potencia a los diversos elementos.

C. H. Hightower y col. "*A space-fed phase array for surveillance from space*", PROCEEDINGS OF THE NATIONAL RADAR CONFERENCE. LOS ANGÉLES, 12-13 de marzo de 1991; NUEVA YORK, IEEE, EE.UU., vol. CONF. 5, 12 de marzo de 1991, páginas 41-45, XP010038689 ISBN: 978-0-87942-629-3 se refiere a una antena de múltiples elementos alimentada en el espacio para la vigilancia desde el espacio que de denomina "persiana veneciana". La lente de antena consiste en láminas de fabricación sencilla con elementos radiantes de dipolo de microbanda y redes correspondientes sobre un sustrato dieléctrico.

Breve descripción de los dibujos

En los dibujos, cifras íntimamente relacionadas tienen el mismo número pero diferentes sufijos alfabéticos.

La figura 1 muestra una vista de conjunto de una configuración de nave espacial.

La figura 2A muestra un diagrama de bloques de un sistema de antena.

La figura 2B muestra un diagrama de sincronismo para el sistema de antena.

La figura 3 muestra un diagrama de bloques de un nodo de antena activa.

La figura 4 muestra un diagrama de bloques de funciones de circuito de radiofrecuencia contenidas dentro del nodo de antena activa.

La figura 5A muestra la cara trasera de un panel de antena.

La figura 5B muestra una vista detallada de una porción de la cara trasera de un panel de antena.

La figura 5C muestra una vista detallada mirando desde el borde de una porción de la cara trasera de un panel de antena.

La figura 5D muestra una vista detallada de una porción de la cara (radiante) delantera de un panel de antena.

La figura 6A muestra una vista en corte de una porción de la cara delantera de un panel de antena.

La figura 6B muestra una vista en sección a través de una porción de un panel de antena.

La figura 7 muestra objetivos que se usan para un sistema de compensación de geometría y unas trayectorias ópticas dentro de un bus de satélite para captar imágenes.

La figura 8A muestra una vista detallada de un objetivo iluminado montado en la pértiga de proa.

La figura 8B muestra una disposición de objetivos iluminados sobre dos paneles de antena.

La figura 8C muestra un detalle de uno de los objetivos.

La figura 9 muestra una vista de un ala, que muestra una ubicación de objetivos sobre los paneles de antena. Esta muestra la vista observada por el sistema de generación de imágenes (parte inferior de la figura) y la disposición de

objetivos de tal modo que los objetivos más cercanos no obstruyen los objetivos más distantes.

La figura 10 muestra componentes del sistema de compensación de geometría. La compensación de geometría se usa para ajustar los ajustes de fase de los elementos de antena para compensar las distorsiones mecánicas en la antena.

La figura 11A muestra la nave espacial con los paneles de antena y las pértigas estibados para el lanzamiento.

La figura 11B muestra la nave espacial durante el despliegue de una pértiga y ala de antena.

La figura 11C muestra la nave espacial en su configuración operativa tanto con las alas como con las pértigas desplegadas.

La figura 12A muestra una configuración de estructura de bus alternativa.

La figura 12B muestra otra configuración de estructura de bus alternativa.

La figura 12C muestra otra configuración de estructura de bus alternativa.

La figura 13 muestra una secuencia de operaciones para el nodo de antena activa.

La figura 14 muestra una secuencia global de operaciones para una antena de múltiples elementos en fase activa.

La figura 15 muestra una relación de sincronismo entre las señales de control de nodo de antena activa y las señales que se transmiten y se reciben de la antena de múltiples elementos en fase activa.

La figura 16 muestra una secuencia de operaciones para realizar una compensación de geometría.

La figura 17 muestra un diagrama de bloques de las funciones de circuito de radiofrecuencia contenidas dentro del nodo de antena activa para una antena de múltiples elementos en fase activa con una capacidad de polarización múltiple.

Dibujos - números de referencia

100 estructura de bus de nave espacial
105 panel de antena
110 ala de proa de antena que consiste en uno o más paneles de antena (en el presente ejemplo se muestran cuatro paneles)
115 ala de popa de antena que consiste en uno o más paneles de antena (en el presente ejemplo se muestran cuatro paneles)
120 cara radiante del panel de antena
125 cara trasera del panel de antena
130 pértiga de proa
135 pértiga de popa
140 conjunto de antena de pértiga
145 conjunto solar (para proporcionar potencia de bus)
150 antena de múltiples elementos en fase (compuesta por el ala de proa y el ala de popa)
200 equipo alojado en la estructura de bus de nave espacial
205 sistemas de bus de nave espacial (potencia, control, manejo de datos, etc.)
210 receptor / excitador
215 oscilador local estable
220 generador de impulsos de transmisión
225 receptor
230 unidad de extracción de señal y de codificación
235 señal de oscilador local estable de radiodifusión
240 enlace bidireccional con señales de transmisión y de recepción trasladadas en frecuencia
245 bus de control de Bus de CAN de dos hilos
250 antena montada en pértiga para la distribución de señales de transmisión y de recepción
255 antena montada en pértiga para la distribución de la frecuencia de referencia del oscilador local estable
260 bus de control
265 señal de chirrido de banda de base
270 controlador de antena
300 nodo de antena activa
305 conjunto de paneles solares de nodo de antena
110 regulador de carga de batería
315 batería recargable
320 fuente de alimentación y conjunto de conmutación de potencia
325 antena para recibir la frecuencia de referencia del oscilador local estable

330 conjunto de procesamiento de frecuencia de referencia
335 antena para la señal de transmisión / recepción
340 conjunto de transmisor
345 conjunto de receptor
350 subconjunto
355 controlador de nodo de antena
360 microcontrolador
365 medios de convertidor de analógico a digital
370 señales de control de fase
375 señal de control de ganancia de transmisión
380 señal de control de ganancia de recepción
385 señales de transmisión y de recepción procedentes de la antena
400 dispositivo de encaminamiento de señal (por ejemplo, circulador, conmutador, acoplador, etc.)
405 amplificador de ganancia variable
410 mezclador
415 amplificador de alta potencia
420 dispositivo de encaminamiento de señal (por ejemplo, circulador, conmutador, acoplador, etc.)
425 amplificador de bajo ruido
430 mezclador
435 amplificador de ganancia variable
440 amplificador de bajo ruido
445 doblador de frecuencia
450 modulador directo
455 divisor de potencia
460 frecuencia de referencia desplazada en fase
500 módulo de electrónica de nodo
505 conjunto de células solares
510 ranuras de guía de ondas
600 material Transparente a RF (por ejemplo, panal de cuarzo)
605 estructura de panel
610 lámina de aluminio unida (cara delantera del panel de antena)
615 lanzador de guía de ondas para inyectar la señal en la guía de ondas
700 ubicación de conjunto óptico y unidad de procesamiento de imagen
705 trayectoria óptica para imágenes de ala de antena
710 trayectoria óptica para imágenes de pértiga
715 objetivos iluminados sobre los paneles de antena (no se identifican todos los objetivos)
720 objetivo iluminado sobre la pértiga de proa
725 objetivo iluminado sobre la pértiga de popa
800 objetivo iluminado a modo de ejemplo sobre el panel de antena
1000 conjunto óptico
1005 aberturas para las alas de proa y de popa y las pértigas de proa y de popa
1010 imagen de las alas de proa y de popa y las pértigas de proa y de popa
1015 imagen combinada
1020 conjunto de generación de imágenes de estado sólido
1025 unidad de procesamiento de imagen
1030 controladores de iluminación de objetivo de ala de proa
1035 controladores de iluminación de objetivo de ala de popa
1040 controlador de iluminación de objetivo de pértiga de proa
1045 controlador de iluminación de objetivo de pértiga de popa
1050 señales de control de iluminación de ala
1055 señales de control de iluminación de pértiga
1060 interfaz con el controlador de antena
1100 carenado de carga útil de vehículo de lanzamiento
1200 estructura de bus de nave espacial (alternativa 1)
1205 conjunto de células solares para potencia de bus (alternativa 1)
1210 estructura de bus de nave espacial (alternativa 2)
1215 conjunto de células solares para potencia de bus (alternativa 2)
1220 estructura de bus de nave espacial (alternativa 3)
1225 conjunto de células solares para potencia de bus (alternativa 3)
1230 conjunto de pértiga desplegable
1400 mensaje de sincronismo y de control de Bus de CAN
1405 habilitación de modo de transmisión de nodo de antena activa
1410 habilitación de modo de recepción de nodo de antena activa
1700 antena
1702 dispositivo de encaminamiento de señal (por ejemplo, circulador, conmutador, acoplador, etc.)
1704 amplificador de ganancia variable

1706 mezclador
1708 divisor de potencia
1710 amplificador de alta potencia (polarización horizontal)
1712 amplificador de alta potencia (polarización vertical)
1714 dispositivo de encaminamiento de señal (por ejemplo, circulador, conmutador, acoplador, etc.)
1716 conjunto de alimentación polarizado en sentido horizontal
1718 conjunto de alimentación polarizado en sentido vertical
1720 subconjunto
1722 amplificador de bajo ruido
1724 mezclador
1726 amplificador de ganancia variable
1728 dispositivo de encaminamiento de señal (por ejemplo, circulador, conmutador, acoplador, etc.)
1730 amplificador de bajo ruido
1732 mezclador
1734 amplificador de ganancia variable
1736 antena
1738 antena
1740 amplificador de bajo ruido
1742 divisor de potencia
1744 doblador de frecuencia
1746 modulador directo
1748 modulador directo
1750 divisor de potencia
1752 señal de control de fase
1754 señal de control de fase
1756 frecuencia de referencia desplazada en fase (transmisor)
1758 frecuencia de referencia desplazada en fase (polarización de recepción horizontal)
1760 frecuencia de referencia desplazada en fase (polarización de recepción vertical)
1762 señal de selección de polarización de transmisión
1764 señal de compensación de ganancia de transmisión
1766 señal de control de ganancia de recepción (polarización horizontal)
1768 señal de control de ganancia de recepción (polarización vertical)
1770 enlace bidireccional con señales de transmisión y de recepción trasladadas en frecuencia
1772 enlace unidireccional con señal de recepción trasladada en frecuencia

Descripción Detallada

Las realizaciones de la invención, como se define en la reivindicación 1, proporcionan un procedimiento y sistema para construir un sistema de antena de múltiples elementos en fase activa espacial que retiene las capacidades operativas de los sistemas de antena de múltiples elementos en fase tradicionales, pero con una masa más baja y una complejidad de fabricación más baja y, por lo tanto, reducen el coste global de la misión. Una alimentación en el espacio distribuye señales a los nodos de antena activa, los nodos de antena activa contienen capacidad de generación y de almacenamiento de potencia local, un procedimiento de construcción que produce unos paneles de antena de peso ligero, y un sistema de compensación mide y compensa las distorsiones mecánicas en la geometría de antena.

A continuación se describirán diversas realizaciones de la invención. La siguiente descripción proporciona detalles específicos para una comprensión exhaustiva y que posibilitan la descripción de estas realizaciones. Un experto en la materia entenderá, no obstante, que la invención puede ponerse en práctica sin muchos de estos detalles. Adicionalmente, algunas estructuras o funciones bien conocidas pueden no mostrarse o describirse con detalle, con el fin de evitar complicar innecesariamente la descripción relevante de las diversas realizaciones.

Se pretende que la terminología que se usa en la descripción que se presenta en lo sucesivo se interprete de la manera razonable más amplia, incluso a pesar de que esta se está usando junto con una descripción detallada de determinadas realizaciones específicas de la invención. En lo sucesivo, puede que incluso se insista en determinadas expresiones; no obstante, cualquier terminología que esté previsto que se interprete de cualquier forma restringida se definirá manifiesta y específicamente en ese sentido en la presente sección de Descripción Detallada.

La figura 1 muestra una configuración de una nave espacial que usa un sistema de antena de múltiples elementos en fase activa alimentado en el espacio y de peso ligero. Una antena de múltiples elementos en fase **150** está compuesta por múltiples paneles de antena **105**. Cada panel tiene una superficie delantera a la que se hace referencia como una cara radiante **120** para transmitir una señal hacia un objetivo, y recibir la señal de retorno reflejada a partir del objetivo. Una cara trasera **125** de cada panel contiene múltiples nodos de antena activa **300** que forman el conjunto de múltiples elementos en fase activo.

Los paneles de antena **105** están dispuestos en dos grupos, a los que se hará referencia como alas. Se hace referencia a un ala delantera **110**, en relación con la dirección de vuelo de la nave espacial, como el ala de proa. Se hace referencia a la otra ala **115** como el ala de popa.

Una señal trasladada en frecuencia que va a transmitirse se distribuye a los nodos de antena activa de ala de proa a través de una disposición de alimentación en el espacio que usa la antena **250** contenida en un conjunto de antena de pértiga **140** montado en una pértiga desplegable **130**. La señal para el ala de popa se distribuye usando otro conjunto de antena de pértiga **140** montado en una pértiga desplegable similar **135**. Las antenas ubicadas en los dos conjuntos de antena de pértiga también reciben señales trasladadas en frecuencia transmitidas a partir de los nodos de antena activa. La señal trasladada en frecuencia recibida contiene la señal de retorno procedente del objetivo received en la cara radiante de la antena de múltiples elementos en fase.

Cada conjunto de antena de pértiga **140** también contiene una segunda antena **255**. Esta segunda antena se usa para radiodifundir una frecuencia de referencia estable a cada uno de los nodos de antena activa.

En la realización que se representa, las antenas **250** y **255** son antenas de parche, no obstante también pueden usarse otros tipos de antena.

Una estructura de bus **100** proporciona soporte mecánico para el sistema de antena de múltiples elementos en fase activa. En su interior, el bus contiene sistemas que se hallan comúnmente en la mayor parte de naves espaciales para realizar unas funciones que incluyen las comunicaciones, el control de actitud, la supervisión y control de nave espacial, el control térmico, el manejo de datos, la propulsión, etc. Unos conjuntos solares **145** montados en las superficies orientadas hacia el sol de la estructura de bus proporcionan potencia para todas las partes de la nave espacial excepto los nodos de antena activa **300** que pueden proporcionar su propia potencia.

El diagrama de bloques de la figura 2A muestra componentes importantes del sistema de antena de múltiples elementos en fase activa y cómo interactúan estos entre sí. Por simplicidad, solo se muestra un único panel de antena de una única ala. Los otros paneles de antena son similares en construcción y funcionamiento.

Un receptor / excitador **210** está contenido dentro de la estructura de bus **100**. El receptor / excitador genera una frecuencia de referencia y unas señales de transmisión moduladas que se emplean para la aplicación de radar. El receptor / excitador también recibe una señal de retorno procedente del panel y proporciona unas funciones de extracción de señal y de codificación para digitalizar y dar formato a los datos de señal recibidos.

El receptor / excitador interactúa con un sistema de bus de nave espacial **205** para recibir potencia para el funcionamiento y para transferir los datos recibidos. Un controlador de antena **270** en el receptor / excitador está conectado con el procesador de bus de nave espacial principal a través del bus de control **260** para permitir el control y la supervisión del sistema de antena. No hay requisitos especiales para el bus de control y este puede implementarse usando una cualquiera de varias tecnologías disponibles, tal como MIL STD 1553B o Bus de CAN.

El controlador de antena **270** proporciona control y supervisión de todas las unidades en el receptor / excitador y los nodos de antena activa **300**.

Un oscilador local estable **215** genera una frecuencia de referencia estable no modulada. Esta frecuencia de referencia se distribuye localmente a un generador de impulsos de transmisión **220** y un receptor **225** y también se radiodifunde a la totalidad de los nodos de antena activa **300** usando la antena **255** en los conjuntos de antena de pértiga **140**. Un único oscilador local estable se usa para accionar ambos conjuntos de antena de pértiga a través de un divisor de potencia simple.

El generador de impulsos de transmisión **220** produce la forma de onda del impulso transmitido. Para los sistemas de radar, este es habitualmente un impulso de frecuencia modulada de forma lineal que se conoce comúnmente como un chirrido. En la técnica actual se conocen bien técnicas para generar este tipo de impulso.

El chirrido se transmite **240** desde el conjunto de antena de pértiga **140** a todos los nodos de antena activa **300** en el ala correspondiente. Dentro de cada nodo de antena activa el chirrido se recibe, se convierte a la frecuencia operativa de la antena, se ajusta para fase y amplitud, se amplifica y se transmite a partir de la cara radiante de la antena.

Los nodos de antena activa **300** reciben la señal devuelta a partir del objetivo y retransmiten esta señal de tal modo que esta puede recibirse por la antena **250** en el conjunto de antena de pértiga **140**.

Para evitar la interferencia con otras señales, el chirrido y las señales recibidas que se transmiten usando la alimentación en el espacio se convierten a una frecuencia portadora separada de acuerdo con un plan de frecuencias definido para producir unas versiones trasladadas en frecuencia de las señales originales. Como un ejemplo, un plan de frecuencias para una aplicación de SAR típica sería tal como sigue: frecuencia operativa de SAR de 5,400 GHz (banda C), frecuencia de oscilador local estable de 2,400 GHz y una frecuencia de portadora para el chirrido de transmisión trasladada en frecuencia **240** y las señales recibidas **240** de 10,200 GHz (banda X). La descripción que sigue supone el presente plan de frecuencias a modo de ejemplo.

La figura 2B muestra un ejemplo de una relación de sincronismo entre diferentes señales. La frecuencia de referencia del oscilador local estable se radiodifunde de forma continua **235** a cada nodo de antena activa. El generador de impulsos de transmisión **220** genera una señal de chirrido de banda de base **265** y una señal de chirrido modulada en la banda X que también se radiodifunde **240** a todos los nodos de antena activa. En el nodo de antena activa, la señal de chirrido de banda X se convierte a la banda C y se ajusta en fase antes de transmitirse **385** hacia el objetivo. La señal de retorno **385** procedente del objetivo se ajusta en fase y ganancia y se convierte de la banda C a la banda X y se transmite **240** al receptor **225**. Los ajustes de ganancia **375** y **380** se usan para compensar diferencias de trayectoria de alimentación en el espacio. El ajuste de ganancia **380** también proporciona una apodización de abertura de antena.

El receptor **225** recibe la señal de radiodifusión convertida **240**, la desmodula y reenvía la señal de banda de base a la unidad de extracción de señal y de codificación **230**. La señal se digitaliza, se codifica y se le da formato y los datos digitales resultantes se transfieren a los sistemas de bus de nave espacial **205** para el procesamiento, el almacenamiento y / o la transmisión a un terminal de recepción con base en tierra.

La antena de múltiples elementos en fase **150** está compuesta por múltiples paneles de antena **105**. Cada panel de antena contiene múltiples nodos de antena activa **300** montados en la superficie trasera **125** del panel. Como un ejemplo, una antena de múltiples elementos en fase activa para una aplicación de radar de abertura sintética contendría del orden de 8 paneles de antena, con cada panel conteniendo del orden de 64 nodos de antena activa, para un total de 512 nodos de antena activa.

La figura 3 muestra un diagrama de bloques de un nodo de antena activa **300**. El nodo de antena activa contiene sus propios medios de generación y de almacenamiento de potencia local para proporcionar potencia a la totalidad de sus componentes. Para proporcionar generación de potencia, un conjunto de células solares **305** está montado en la cara trasera del panel de antena **125**. Durante el funcionamiento normal, la cara radiante del panel de antena **120** estará apuntada a la tierra con un ángulo de por lo menos 30 grados con respecto al nadir. Con esta actitud de nave espacial, los conjuntos de células solares en la parte posterior de los paneles de antena estarán expuestos al sol cuando la nave espacial se encuentre en una órbita apropiada tal como una órbita heliosincrónica de amanecer / atardecer. La nave espacial puede girarse para orientar mejor los paneles solares hacia el sol para una generación de potencia solar y una carga de batería más eficientes. Esto puede tener lugar en periodos que no requieren accionamiento del sistema de antena, tal como los intervalos en los que no se solicita una generación de imágenes de SAR.

Un regulador de carga de batería de circuito integrado **310** regula la potencia procedente del conjunto de células solares **305** y carga una batería recargable **315**. Una fuente de alimentación regulada con unos circuitos de conmutación **320** proporciona potencia a todos los otros componentes del nodo de antena activa y permite que se enciendan y se apaguen de manera independiente los elementos del nodo de antena activa, por ejemplo el transmisor o el receptor.

Los componentes de RF del nodo de antena activa consisten en dos antenas **325** y **335**, el circuito de procesamiento de frecuencia de referencia **330**, el circuito de transmisor **340**, el circuito de receptor **345** y el subconjunto **350**. El funcionamiento de los componentes de RF del nodo de antena activa se describe en el análisis acerca de la figura 4 que sigue.

En la realización que se representa, las antenas **325** y **335** son antenas de parche, no obstante también pueden usarse otros tipos de antena.

En la realización que se representa, el subconjunto **350** es un subconjunto de guía de ondas ranurada, no obstante también podrían usarse otras disposiciones. Un ejemplo de una disposición alternativa es un subconjunto que consiste en múltiples elementos radiantes de parche conformes o planos unidos a la superficie delantera o trasera del panel de antena. Si se une a la parte posterior, el panel sería transparente a RF; esta alternativa proporcionaría simplicidad y una masa reducida al montar e introducir los elementos de subconjunto radiantes, a la vez que también se proporciona un soporte estructural.

El control del nodo de antena activa puede lograrse mediante el uso de un microcontrolador u otro elemento de lógica programable tal como una disposición de puertas programable en campo. La realización que se representa usa un microcontrolador **360** tal como un Intel 8051 que incorpora una interfaz de Bus de CAN integrada. Una conexión de interfaz de Bus de CAN de dos hilos **245** se usa para proporcionar señales de sincronismo y de control desde el controlador de antena **270** al nodo de antena activa, y para supervisar el estatus del nodo. A pesar de que podría usarse una realización que use una interconexión inalámbrica para esta interfaz, puede que aún se requiera algo de cableado para proporcionar trayectorias conductoras para disipar la carga electroestática que pudiera acumularse sobre los paneles de antena. Un bus cableado es tanto fácil de implementar como puede usarse para disipar esta carga electroestática. El microcontrolador acciona un convertidor de analógico a digital **365** que genera las señales de control analógicas **380**, **375**, **370** que se usan para controlar la ganancia de transmisor, la ganancia de receptor y la fase (tanto la transmisión como la recepción) respectivamente.

La figura 4 muestra circuitos de RF de un nodo de antena activa. Obsérvese que se han omitido del diagrama los filtros para hacerlo más simple. No hay requisitos extraordinarios para los filtros y su uso, diseño y construcción se entiende bien en la técnica actual. La antena **325** recibe la señal de oscilador local estable de radiodifusión **235**. Esta señal se amplifica por el amplificador de bajo ruido **440** y entonces se dobla en frecuencia usando el doblador de frecuencia **445**, a pesar de que puede emplearse otro ajuste de frecuencia. El modulador directo **450** se usa para ajustar la fase de la señal en base a la señal de control de fase **370** a partir del convertidor de digital a analógico **365**. La señal de referencia ajustada en fase se divide usando el divisor de potencia **455** (o conmutador) y las señales de referencia ajustadas en fase **460** se encaminan a las secciones tanto de transmisor **340** como de receptor **345** del nodo de antena activa. Una realización alternativa podría usar un desfasador en lugar del modulador directo **450**, o dos moduladores en vez del divisor de potencia.

El nodo de antena activa recibe la señal de chirrido trasladada en frecuencia **240** usando la antena **335**. Un dispositivo de encaminamiento de señal **400** encamina la señal al amplificador de ganancia variable **405** cuya ganancia se establece por el microcontrolador a través de la señal **375**. El mezclador **410** convierte la señal a la frecuencia operativa del radar y ajusta en fase la señal para formar el haz. La señal se amplifica usando el amplificador de alta potencia **415** y se encamina al subconjunto **350** a través del dispositivo de encaminamiento de señal **420**.

Las señales reflejadas a partir del objetivo se reciben por el subconjunto **350** y se encaminan a la porción de receptor del nodo de antena activa a través del dispositivo de encaminamiento de señal **420**. El amplificador de bajo ruido **425** amplifica la señal. El mezclador **430** realiza una conversión elevadora de la señal y ajusta la fase de la señal para formar el haz de recepción. La señal se amplifica y su ganancia se ajusta por el amplificador de ganancia variable **435**, cuya ganancia se establece por el microcontrolador a través de la señal **380**. El dispositivo de encaminamiento de señal **400** encamina la señal a la antena **335** para la transmisión al receptor **225** en el receptor / excitador **210**.

Una realización alternativa podría usar un mezclador doble o triple en lugar de uno o ambos mezcladores **410** y **430**.

Para mejorar la relación de señal con respecto a ruido para las señales recibidas, el patrón de haz de la antena se hace más estrecho en elevación cuando se está en el modo de recepción, lo que da como resultado una ganancia aumentada en este eje. Para mantener la cobertura del área objetivo, el patrón de haz se explora a través del área objetivo de alcance cercano a alcance lejano. El barrido se sincroniza para apuntar el haz en elevación para recibir señales a partir de los objetivos en el límite de alcance cercano en el comienzo del barrido, y los objetivos en el límite de alcance lejano en el final del barrido. El microcontrolador **360** controla el barrido del haz mediante el uso de unos medios de convertidor de analógico a digital **365** para generar las señales de control **370** para ajustar la fase de la señal recibida. Este procedimiento de orientación del haz durante la recepción mantiene la relación de señal con respecto a ruido con una potencia transmitida más baja, permitiendo que se usen menos nodos de antena activa, o unos de menor potencia, reduciendo adicionalmente la masa y simplificando la construcción.

Las señales de nodo de antena activa sobre la alimentación en el espacio deberían aislarse de las señales transmitidas / recibidas a partir de la cara delantera de los paneles de antena a / desde el objetivo. Tal aislamiento se requiere para evitar el acoplamiento de señales entre estos dos enlaces de radiofrecuencia. La realización que se ha descrito en lo que antecede usa traslación de frecuencia para conseguir este aislamiento. (Mientras que en una realización tal aislamiento de frecuencia se realiza en los nodos más que en la estructura de bus **100**, una realización alternativa podría emplear la inversa). También pueden usarse otras técnicas para conseguir este aislamiento o para inhibir la interferencia entre señales. Las técnicas posibles pueden incluir uno, o una combinación de cualquiera de lo siguiente: apantallamiento electromagnético, uso de diferentes polarizaciones de señal, uso de técnicas de procesamiento digital de señales, uso de canales de espectro ensanchado codificados de forma diferente, uso de multiplexación en el dominio del tiempo sola o junto con el almacenamiento de señal local.

La figura 5A muestra una disposición de nodos de antena activa en la cara trasera **125** de un panel de antena **105**. El número y la disposición de nodos de antena activa pueden ajustarse para adecuarse a las necesidades de la aplicación prevista. La disposición que se muestra es típica para una aplicación de radar de abertura sintética. La presente disposición a modo de ejemplo tiene un total de 64 nodos de antena activa por panel de antena, dispuestos como dos columnas de 32 nodos de antena activa por columna. También son posibles disposiciones alternativas, por ejemplo una antena de seis paneles con un total de 384 nodos de antena activa, con unas dimensiones de panel ajustadas para proporcionar el tamaño de abertura deseado.

La figura 5A también muestra unos módulos de electrónica de nodo **500** y unos conjuntos de células solares **505** para cada nodo de antena activa.

La figura 5B muestra una vista detallada de una porción de la parte posterior del panel **125** con el módulo de electrónica de nodo **500** y el conjunto de células solares **505** identificados.

La figura 5C muestra la vista de bordes de una porción del panel de antena con la superficie de irradiación de panel de antena **120** y la superficie trasera **125** de la antena, y el módulo de electrónica de nodo **500** identificados.

La figura 5D muestra la cara radiante **120** del panel de antena con unas ranuras **510** para un subconjunto de guía de

ondas ranurada visible. La disposición, el tamaño y el número de ranuras depende de la frecuencia operativa y los requisitos operativos para la antena y los medios para determinar estas características se entienden bien y están bien documentados en la técnica anterior.

La figura 6A muestra una vista en corte de una porción de un panel de antena para ilustrar la construcción del subconjunto de guía de ondas ranurada. El bastidor de panel de antena **605** se construye a partir de material conductor tal como aluminio o material no conductor con revestimiento conductor tal como fibra de carbono para formar las estructuras para soportar los módulos de electrónica de nodo **500** y para formar las cavidades para el subconjunto de guía de ondas ranurada. Para proporcionar un soporte estructural, la cavidad del subconjunto de guía de ondas ranurada puede cargarse con un material transparente a RF **600** tal como panal de cuarzo. El material de panal de cuarzo se encuentra comercialmente disponible para aplicaciones cualificadas para el espacio. También pueden usarse otros materiales transparentes a RF.

La figura 6B muestra una sección a través del panel de antena. El detalle "B" muestra la construcción del panel con el bastidor de panel de antena **605** y el material transparente a RF **600** identificados. Una lámina de aluminio o lámina de fibra de carbono con revestimiento conductor **610** con las ranuras **510** se une al bastidor de antena y el material transparente a RF usando un adhesivo conductor, formando la cara radiante de la antena y proporcionando resistencia estructural. El detalle "A" muestra una porción del módulo de electrónica de nodo **500** y el elemento de lanzador de guía de ondas **615** que se usan para acoplar señales de RF entre el módulo de electrónica de nodo y el subconjunto de guía de ondas ranurada.

Las antenas de múltiples elementos en fase activas actuales, tal como la que se usa para la misión RADARSAT-2, tienen una masa del orden de 45 kg por metro cuadrado. La combinación de la construcción de los paneles de antena tal como se describe, y la eliminación de los colectores de cableado para la distribución de señales de potencia y de RF dan como resultado que el conjunto de múltiples elementos en fase activo tenga una masa del orden de 5 kg por metro cuadrado.

La reducción significativa de la masa hace posible usar la tecnología desarrollada por la industria espacial para el despliegue de grandes conjuntos solares para naves espaciales. Esta tecnología puede adaptarse fácilmente para soportar y desplegar la antena de múltiples elementos en fase activa. Esta tecnología es la forma de menor costo, y de mayor fiabilidad de desplegar unas aberturas grandes. Muchas empresas han construido y desplegado con éxito grandes conjuntos solares y las técnicas que se usan están completamente cualificadas y están consolidadas.

En el diseño y el accionamiento de la antena, se emplea una compensación para los efectos introducidos por la disposición de alimentación en el espacio. Un efecto se debe al patrón de radiación no uniforme procedente de las antenas sobre las pértigas y los nodos de antena activa. Otro efecto es la variación en ganancia y fase debido a las diferencias de longitud de trayectoria con respecto a los conjuntos de antena de alimentación en el espacio **140** y los nodos de antena activa. Este efecto es una función de la geometría de antena.

Los patrones de radiación pueden medirse en tierra y puede calcularse una compensación en cada nodo de antena activa. La compensación para los efectos que son una función de la geometría de antena requiere que se conozca la geometría mientras que la antena está funcionando. Un conjunto de múltiples elementos en fase activo ideal tendría una superficie de irradiación delantera que fuera plana y no estuviera sujeta a una distorsión mecánica o térmica. La geometría de antena sería constante y podría medirse en tierra antes del lanzamiento, y calcularse la compensación necesaria en cada nodo de antena activa calculado.

La desventaja del uso de la tecnología de conjuntos solares es que esta no puede conseguir estas características ideales, debido a que la abertura desplegada no es rígida y puede tener oscilaciones y distorsiones mecánicas y térmicas. La desviación esperada con respecto a lo ideal debido a las distorsiones y oscilaciones es del orden de unos pocos centímetros a unas frecuencias de 0,1 Hz o menos. Esta limitación inherente debería superarse por un medio que proporcione una compensación de geometría de la antena.

Existen varios enfoques posibles para implementar los medios de compensación de geometría. Por ejemplo, la compensación puede implementarse a bordo de la nave espacial para realizar una compensación en tiempo real dinámica de las distorsiones de antena. Un enfoque alternativo es implementar una compensación de geometría como una corrección no en tiempo real aplicada en tierra durante el procesamiento de los datos de radar adquiridos. El enfoque seleccionado depende del tamaño de la abertura de antena, la dinámica de antena y la aplicación.

Los medios de compensación de geometría que se representan usan una técnica óptica para tomar múltiples imágenes de objetivos iluminados montados en la cara trasera de los paneles de antena y sobre las pértigas de proa y de popa para realizar una compensación de geometría en tiempo real dinámica a bordo de la nave espacial.

La figura 7 da una visión de conjunto para una compensación de geometría dinámica de la antena de múltiples elementos en fase activa. Una cavidad **700** dentro de la estructura de bus de nave espacial **100** aloja unos conjuntos ópticos y de electrónica que comprenden un sistema de compensación dinámica. Las trayectorias ópticas **705** y **710** se proporcionan de la cavidad de conjunto óptico a las alas de proa y de popa y a las pértigas de proa y de popa respectivamente. Los objetivos **715**, **720** y **725** están fijados a la parte posterior del panel de antena y a los extremos de la pértiga de proa y las pértigas de popa respectivamente. Los objetivos contienen una fuente de luz interna para

iluminar la superficie del objetivo que está orientada en la dirección de la trayectoria óptica. La fuente de luz puede encenderse y apagarse bajo el control del sistema de compensación de geometría dinámica. La forma de la superficie iluminada de los objetivos se selecciona para facilitar una determinación precisa del centro de la posición del objetivo en una imagen del objetivo. Por ejemplo, una forma circular dimensionada de tal modo que la imagen resultante del objetivo tenga una anchura de múltiples píxeles permite que se usen técnicas para localizar el centroide de una imagen del objetivo para mejorar la determinación de la posición. La distorsión de las pértigas y los paneles de antena en la dimensión a lo largo de sus longitudes respectivas es pequeña, y el impacto de esta distorsión es despreciable, y no es necesario que los medios de compensación de geometría midan en esta dimensión. Las distorsiones son más pronunciadas en las otras dos dimensiones y su impacto es significativo. La trayectoria óptica está dispuesta para conseguir una alta precisión en estas dos dimensiones mediante generación de imágenes a lo largo de la longitud de las estructuras que se están midiendo.

Para mejorar adicionalmente la capacidad de extraer los objetivos del conjunto de imágenes, los objetivos pueden usar fuentes de luz de estado sólido con un estrecho ancho de banda espectral. Se colocan filtros ópticos con el ancho de banda correspondiente en el conjunto óptico para eliminar por filtración la luz que no se encuentre dentro del ancho de banda del filtro.

La figura 8A muestra un detalle de la ubicación de montaje del objetivo **720** sobre la pértiga de proa **130**. La figura 8B muestra dos paneles de antena **105**. Cada panel de antena, excepto los paneles más cercanos a la estructura de bus de nave espacial, tiene 4 objetivos montados en las posiciones que se muestran. Los dos paneles más cercanos a la estructura de bus (que no se muestra) de nave espacial solo tienen dos objetivos montados. Las posiciones de montaje para los objetivos para el panel más cercano están dispuestas con el fin de evitar que un objetivo más cercano obstruya la vista a un objetivo adicional cuando se ve a partir del conjunto óptico. Esto se ilustra en la figura 9 con las trayectorias ópticas que se muestran en líneas de trazos. Los objetivos están montados lo bastante por encima de la superficie del panel de antena o la pértiga de tal modo que estos siguen siendo visibles cuando el ala de antena o la pértiga se distorsiona u oscila. La figura 8C muestra un objetivo **800** a modo de ejemplo. Los objetivos pueden plegarse contra el panel cuando los paneles están estibados antes del lanzamiento y pueden desplegarse usando un resorte simple u otros medios después de que los paneles se hayan desplegado.

La figura 10 muestra los componentes ópticos y electrónicos del sistema de compensación de geometría. El conjunto óptico **1000** recibe luz **1010** a partir de las pértigas de proa y de popa y las alas de proa y de popa. El conjunto óptico combina la luz procedente de las cuatro aberturas con el fin de formar una única imagen combinada **1015** que se proyecta sobre la superficie de generación de imágenes de un conjunto de generación de imágenes de estado sólido bidimensional **1020**. La salida del conjunto de generación de imágenes se recibe, se procesa y se interpreta por la unidad de procesamiento de imagen basada en ordenador **1025**. Los controladores de objetivo de pértiga **1040** y **1045** controlan la iluminación de los objetivos sobre las pértigas de proa y de popa respectivamente. Los controladores de objetivo de panel **1030** y **1035**, ubicados en cada panel de antena del ala de proa y el ala de popa respectivamente, controlan la iluminación de los objetivos de panel.

Las señales de control **1055** para los controladores de objetivo de pértiga se proporcionan mediante una conexión cableada a partir de la unidad de procesamiento de imagen **1025**. Las señales de control **1050** para los controladores de objetivo de panel se proporcionan mediante una señal de control iniciada por la unidad de procesamiento de imagen **1025** y transmitida a cada controlador de objetivo de panel usando una señal de Bus de CAN. Como alternativa, podría usarse una señal de infrarrojos codificada generada por la unidad de procesamiento de imagen **1025** y dirigida a y recibida por los controladores de objetivo de panel para afectar a esta función de control.

La operación del sistema de compensación de geometría se describe en lo sucesivo.

Operación

La descripción en lo que antecede describe la operación de los elementos individuales del sistema de antena de múltiples elementos en fase activa. En el presente caso, se describirá la operación global del sistema, usando como un ejemplo una aplicación de radar espacial típica, tal como un radar de abertura sintética que se usa para realizar imágenes para la observación de la superficie de la Tierra.

Antes del lanzamiento, la nave espacial se encuentra en su configuración de lanzamiento. La figura 11A muestra la nave espacial con los paneles de antena de las pértigas de proa y de popa **130**, **135** y el ala de proa y de popa **110**, **115** en su posición estibada, en el interior del carenado de carga útil **1100** del vehículo de lanzamiento.

Después del lanzamiento y la verificación inicial, las alas y las pértigas se despliegan hasta sus configuraciones operativas. La figura 11B muestra la nave espacial en órbita con la pértiga de proa **130** y el ala de proa **110** parcialmente desplegadas. La figura 11C muestra la nave espacial en su configuración operativa completamente desplegada.

En la aplicación a modo de ejemplo, y también típico de otras aplicaciones, el radar se acciona de manera intermitente, encontrándose activo (captando datos de imagen en el presente ejemplo) sobre áreas de interés y permaneciendo inactivo en otros instantes.

Para conservar la potencia, el sistema de antena de múltiples elementos en fase activa se encuentra en un estado de reposo con sus unidades internas o bien apagadas por completo, o bien puestas en un estado de baja potencia que permite que estas respondan a instrucciones. En este estado, la nave espacial se encontrará, en general, girada en una actitud que mejora la eficiencia de la generación de potencia solar.

Los circuitos de las unidades que comprenden el receptor / excitador **210** están apagados, excepto para que aquellos elementos respondan a las señales en el bus de control **260** que indican a las unidades que se enciendan y pasen a estar activas.

Un enfoque similar se usa para la antena de múltiples elementos en fase. Debido a que hay muchos nodos de antena activa en la antena, cada nodo está diseñado para consumir un mínimo de potencia cuando no se encuentra en uso. Este estado de reposo se logra al apagar todos los circuitos dentro del nodo, excepto por los circuitos de fuente de alimentación y carga de batería y el microcontrolador. El microcontrolador se encuentra en un estado de reposo de muy baja potencia que permitirá que este responda a una señal de activación que se envía al mismo a través de la interfaz de Bus de CAN.

Para hacer más sencilla la comprensión del funcionamiento global, se describirá en primer lugar la operación de un nodo de antena activa.

La figura 13 muestra la secuencia de eventos para llevar un nodo de antena activa desde el estado inactivo hasta el estado operativo. La figura ilustra una realización, y también pueden usarse enfoques y secuencias alternativas para lograr un fin similar. Se supone que el nodo se encuentra en el estado de reposo que se ha descrito en lo que antecede en el comienzo de la secuencia.

Los circuitos de microcontrolador supervisan el Bus de CAN para una señal de activación (etapa 1). Cuando se recibe la señal de activación, se habilitan relojes de microcontrolador y este sale del modo de reposo y reanuda ejecución de sus programas de soporte lógico (etapa 2). El microcontrolador comienza entonces la ejecución de una secuencia de autoprueba que verifica el funcionamiento correcto del propio microcontrolador, y enciende los circuitos restantes en el nodo y determina su condición operativa. También se miden las temperaturas y tensiones para determinar si estas se encuentran dentro de la distancia aceptable.

Si se detecta una avería significativa, entonces la avería se notifica al controlador de antena **270** (etapa 5) y el nodo entra en un modo de mantenimiento (etapa 6). El modo de mantenimiento pone el nodo en un estado seguro y permite la realización de pruebas de diagnóstico adicionales y la carga de instrucciones o parches de soporte lógico para corregir la avería. Una instrucción sobre la interfaz de Bus de CAN a partir del controlador de antena da lugar a que el microcontrolador salga del modo de mantenimiento (etapa 7). El microcontrolador devuelve entonces el nodo a su estado de reposo de baja potencia (etapa 8).

Si no se detectan averías, entonces el nodo espera una instrucción de poner este en modo operativo (etapa 9). Si esta instrucción no se recibe dentro de un periodo de tiempo especificado, el nodo entrará en el modo de mantenimiento. Si la instrucción se recibe, el nodo entra en modo operativo (etapa 10). En el modo operativo, el nodo responde a los mensajes de control y de sincronismo a partir del controlador de antena y procesa las señales de radar transmitidas y recibidas. Se proporcionan detalles adicionales en el análisis acerca de la figura 14 en lo sucesivo.

Durante el modo operativo, el microcontrolador supervisa el funcionamiento de nodo para detectar cualesquiera averías o condiciones no nominales, tal como una temperatura que sea demasiado elevada (etapa 10). Si se detecta una avería, el nodo sale del modo operativo (etapa 11), notifica el estado de avería (etapa 5) y entra en el modo de mantenimiento (etapa 6). El funcionamiento en el modo de mantenimiento es tal como se ha descrito previamente.

Si no se detectara avería alguna mientras que se está en el modo operativo, el microcontrolador determina si se ha recibido una señal de parada a partir del controlador de antena (etapa 12). Si no se ha recibido señal de parada alguna, el modo operativo continúa. Si se ha recibido una señal de parada, el microcontrolador devuelve el nodo a su estado de reposo de baja potencia (etapa 8) y la sesión de accionamiento de radar se completa en el nodo.

La figura 14 muestra el funcionamiento global del sistema de antena de múltiples elementos en fase. Se supone que el sistema se encuentra en el estado de reposo en el comienzo de la secuencia.

La operación del radar está programada para tener lugar en instantes específicos cuando la nave espacial se encuentra en la posición correcta en su órbita para la operación de generación de imágenes deseada. La programación se logra mediante el uso de instrucciones con marca de tiempo emitidas a partir del centro de control de nave espacial en tierra. Poco antes del tiempo de comienzo programado de una toma de imagen, el soporte físico de receptor / excitador **210** ubicado en el bus de nave espacial se enciende (etapa 1). El controlador de antena **270** envía una señal de activación a los nodos de antena activa (etapa 2). Los nodos de antena activa comienzan a ejecutar su secuencia de arranque y actividades de autoprueba tal como se ha descrito en lo que antecede.

El controlador de antena comienza una secuencia de autoprueba para la totalidad del sistema de antena de múltiples elementos en fase, verificando el funcionamiento correcto de todas las unidades montadas en la estructura

de bus y recibiendo el estatus de los nodos de antena activa (etapa 3). Si se detecta una avería importante (etapa 4), el controlador de antena notifica la avería en telemetría de antena (etapa 5) y la antena entra en el modo de mantenimiento (etapa 6). El modo de mantenimiento pone el sistema de antena en un estado seguro y permite la realización de pruebas de diagnóstico adicionales y la carga de instrucciones o parches de soporte lógico para corregir la avería. Cuando se han completado las actividades de mantenimiento, el controlador de antena sale del modo de mantenimiento (etapa 7). Una señal de parada se envía a los nodos de antena activa (etapa 8) y el receptor / excitador se apaga y vuelve a su estado de reposo (etapa 9).

Si no se detecta avería alguna, entonces el controlador de antena determina si la actividad programada para la antena es una actividad de mantenimiento o una actividad operativa (etapa 10). Si esta es una actividad de mantenimiento, entonces se entra en el modo de mantenimiento (etapa 6). Si no es una actividad de mantenimiento, la antena comienza su funcionamiento nominal.

La primera etapa de operaciones nominales es iniciar los nodos de antena activa con parámetros de haz y otros parámetros operativos, por ejemplo sincronismo y duración de ventana de la transmisión y la recepción, requeridos para esta imagen (etapa 11). El procedimiento de compensación de geometría se comienza para medir la geometría de la antena y determinar la compensación de fase y de amplitud para cada nodo de antena activa (etapa 12). El funcionamiento del procedimiento de compensación de geometría se describe en lo sucesivo.

En el instante de generación de imágenes programado, la antena de múltiples elementos en fase activa comienza a funcionar (etapa 13). El funcionamiento se controla por unos mensajes de sincronismo y de control **1400** que se radiodifunden en el Bus de CAN a todos los nodos de antena activa mediante el controlador de antena **270**. Los mensajes se envían a una frecuencia de repetición de impulsos de transmisión.

La figura 15 muestra un ejemplo de relaciones de sincronismo. Mensaje de sincronismo y de control de Bus de CAN se envía poco antes del siguiente impulso de transmisión. El mensaje define un punto de referencia de sincronismo para el siguiente ciclo de impulsos. El microcontrolador de nodo de antena activa usa el mensaje de sincronismo y de control recibido para establecer dos ventanas de sincronismo, una ventana de sincronismo de transmisión representada mediante la habilitación de modo de la transmisión **1405**, y una ventana de sincronismo de recepción representada mediante la habilitación de modo de recepción **1410**. Estas ventanas se hacen ligeramente más grandes de lo requerido para permitir fluctuación de fase de sincronismo en los mensajes de Bus de CAN. Un sincronismo preciso para el impulso transmitido se establece por el generador de impulsos de transmisión **220**.

La operación continúa (etapas 15 y 16) hasta que o bien se alcanza el tiempo final programado (etapa 14) o bien se detecta una avería importante (etapa 17).

En el caso de alcanzar el tiempo final programado, las operaciones de radar y los procedimientos de compensación de geometría se terminan (etapa 19). Una señal de parada se envía a los nodos de antena activa para devolverlos a su estado de reposo. Los componentes dentro del receptor / excitador también se alimentan para conservar la potencia de batería (etapa 9).

En el caso de que se detecte una avería, la avería se notifica en la telemetría de antena (etapa 18), el funcionamiento de radar y los procedimientos de compensación de geometría se terminan (etapa 19) y el sistema de antena se apaga y se devuelve a su estado de reposo (etapas 8 y 9).

La figura 16 muestra la secuencia de operaciones para realizar una compensación de geometría y describe cómo funciona el sistema de compensación de geometría. Otras secuencias que captan imágenes de referencia más o menos frecuentemente o captan imágenes de los objetivos en un orden diferente son posibles, pero el concepto global sigue siendo el mismo.

La operación de compensación de geometría se inicia siempre que la antena de múltiples elementos en fase activa esté activa. Las luces de todos los objetivos **715**, **720** y **725** se apagan (etapa 1) y una imagen de referencia se captura y almacena (etapa 2). La imagen de referencia consiste en las imágenes superpuestas de las pértigas de proa y de popa y las alas de proa y de popa. Las condiciones de iluminación de las pértigas y las alas no son críticas. Las luces del panel de ala de proa 1 se encienden (etapa 3) y se capta una imagen (etapa 4). Esta imagen también consiste en las imágenes superpuestas de las pértigas de proa y de popa y las alas de proa y de popa, no obstante los objetivos en un panel están iluminados ahora. Obsérvese que el panel específico designado como panel 1 no es importante, ya que se generará una imagen de todos los paneles durante cada ciclo.

La imagen de referencia de la etapa 2 se sustrae de la imagen de la etapa 4 (etapa 5). Debido a que se conoce la posición nominal del objetivo, solo es necesario procesarse la región de la imagen alrededor de la posición objetivo nominal. Debido a que las imágenes se toman con una separación de fracciones de segundo, las diferencias en las dos imágenes se deberán únicamente a la iluminación de los objetivos sobre el panel de ala de proa 1. La imagen resultante contendrá solo los objetivos iluminados, extrayendo efectivamente los objetivos de las imágenes. Los objetivos se identifican en base a su posición relativa y la posición de cada objetivo en la imagen se determina aplicando un algoritmo para localizar el centroide de cada objetivo (etapa 6) y calculando la ubicación bidimensional. La tercera dimensión se fija y puede obtenerse mediante mediciones en tierra antes del lanzamiento. Las posiciones tridimensionales resultantes de los objetivos se almacenan (etapa 7).

Las luces sobre panel 1 se apagan (etapa 8) y el proceso de determinación de las posiciones objetivo se repite para panel 2 (etapa 9). De manera similar a panel 3 (etapa 10) y panel 4 (etapa 11) se toman mediciones. El proceso de captación de una imagen de referencia, de encendido de las lámparas para cada panel por turnos y de determinación de las posiciones objetivo se repite para los cuatro paneles del ala de popa (etapa 12).

Una nueva imagen de referencia se capta y almacena (etapa 13). El objetivo sobre la pértiga de proa se ilumina (etapa 14) y se determina la posición del objetivo de pértiga de proa (etapa 15). De manera similar, se determina la posición del objetivo de pértiga de popa (etapa 16). Para reducir el ruido en las mediciones y mejorar la precisión global, se toman varias mediciones (etapa 17) y se promedian (etapa 18) para producir una determinación de posición final para cada objetivo (etapa 19).

Usando estas mediciones de posición, se construye un modelo geométrico de la antena (etapa 20). Este modelo se usa para calcular los errores de fase introducidos por las distorsiones mecánicas y oscilaciones en la antena en cada posición de nodo de antena activa y la corrección de fase requerida para compensar estos errores (etapa 21). Para cada nodo de antena activa, el último valor de compensación de fase calculado se compara con el valor que se ha calculado previamente para ese nodo para determinar qué nodos requieren información de corrección actualizada. La información de corrección actualizada se transmite a aquellos nodos que lo requieran usando la interfaz de Bus de CAN (etapa 22).

Este proceso de medición y actualización la compensación de fase de los nodos de antena opera de forma continua a condición de que la antena esté activa (etapa 23).

Descripción y operación de realizaciones adicionales

La realización que se representa usa una estructura de bus de nave espacial de sección transversal cuadrada **100**. Pueden usarse diferentes secciones transversales y pueden tener ventajas en determinadas aplicaciones. Se dan tres ejemplos de configuraciones diferentes. La figura 12A muestra una estructura de bus triangular **1200** con los conjuntos solares que se usan para proporcionar potencia de bus montados en la superficie **1205**. La figura 12B muestra una variación de la forma triangular que proporciona más volumen interno dentro de la estructura de bus **1210**. Pueden montarse células solares para proporcionar potencia de bus sobre la superficie **1215**. La figura 12C muestra una disposición alternativa en la que la antena de múltiples elementos en fase está montada en el exterior de la estructura de bus **1220**. En esta disposición solo se requiere un único conjunto de pértiga **1230**. Las células solares para proporcionar potencia de bus están montadas en la superficie **1225**.

Una realización de la invención produce un radar que opera con la misma polarización tanto en la transmisión como en la recepción, por ejemplo polarización vertical con la transmisión y polarización vertical en la recepción. El presente sistema puede implementarse para proporcionar un radar que pueda funcionar con una polarización selectiva para las señales transmitidas, y polarizaciones dobles para las señales recibidas. Por ejemplo, las señales de transmisión pueden seleccionarse para ser o bien polarización horizontal o bien polarización vertical, y las señales de recepción pueden seleccionarse para ser polarización horizontal, polarización vertical, o ambas polarizaciones simultáneamente. De este modo, un radar de polarización cuádruple puede lograrse mediante la transmisión de polarizaciones horizontales y verticales en impulsos de transmisión alternos, y recibiendo simultáneamente unas polarizaciones tanto horizontales como verticales para todos los impulsos.

Los conceptos y características básicos que se han descrito en la realización anterior permanecen, no obstante pueden emplearse algunas modificaciones para soportar la polarización adicional, tal como una disposición diferente para el subconjunto en el nodo de antena activa. A pesar de que una disposición de guía de ondas ranurada puede construirse para una polarización doble, esto puede tener la desventaja de dar como resultado un panel de antena más grueso, aumentando la masa y hace la estiba y el despliegue más difíciles. En lugar de un subconjunto de guía de ondas ranurada, un conjunto de subconjunto delgado **1720** que consiste en múltiples elementos radiantes de parche unidos a la superficie delantera del panel de antena. Cada elemento radiante de parche está accionado mediante dos conjuntos de alimentación, uno para la polarización horizontal **1716** y el otro para la polarización vertical **1718**. La construcción mecánica del panel de antena se simplifica eliminando las cavidades conductoras bajo la guía de ondas ranurada.

En el lado de transmisión, se proporciona un medio para seleccionar cuál de las dos alimentaciones se acciona de manera pulso a pulso, con las señales de control generadas por el microcontrolador en el nodo de antena activa. En el lado de recepción, se proporcionan dos canales de recepción, tanto en el nodo de antena activa como en el receptor / excitador.

La figura 17 muestra un diagrama de bloques de las funciones de circuito de radiofrecuencia contenidas dentro del nodo de antena activa para una antena de múltiples elementos en fase activa con una capacidad de polarización múltiple. El impulso de transmisión trasladado en frecuencia se recibe por la antena **1700** y se dirige a los circuitos de transmisor por el dispositivo de encaminamiento de señal **1702**. La señal recibida en primer lugar se amplifica por el amplificador de ganancia variable **1704** y entonces se convierte a la frecuencia operativa del radar mediante el mezclador **1706**. La amplitud y la fase se ajustan usando la señal de control de ganancia **1764** y la señal de control de fase **1752**. Los amplificadores de alta potencia **1710** y **1712** se habilitan de forma selectiva para accionar o bien la

alimentación horizontal o bien la alimentación vertical del subconjunto respectivamente, mediante la señal de selección de polarización **1762**. Los dispositivos de encaminamiento de señal **1714** y **1728** conectan la señal de transmisión con los conjuntos de alimentación horizontal y vertical **1716** y **1718** respectivamente.

La señal reflejada devuelta desde el objetivo se recibe por los elementos radiantes de parche en el subconjunto y las polarizaciones horizontales y verticales se encaminan a los dos canales de recepción separados mediante los dispositivos de encaminamiento de señal **1714** y **1728**. La polarización horizontal se amplifica por el amplificador de bajo ruido **1722** y frecuencia convertida y se ajusta en fase mediante el mezclador **1724**. La señal se amplifica por el amplificador de ganancia variable **1726**, y se encamina mediante el dispositivo de encaminamiento de señal **1702** a la antena **1700** para la transmisión a un conjunto de antena de pértiga **140**. La amplitud y la fase se ajustan usando la señal de control de ganancia **1766** y la señal de control de fase **1752**. La polarización vertical se procesa de manera similar usando el dispositivo de encaminamiento de señal **1728**, el amplificador de bajo ruido **1730**, el mezclador **1732** y el amplificador de ganancia variable **1734**. La antena **1736** se usa para transmitir la señal al conjunto de antena de pértiga. La amplitud y la fase se ajustan usando la señal de control de ganancia **1768** y la señal de control de fase **1754**.

Debido a que una segunda frecuencia de recepción va a transmitirse simultáneamente al conjunto de antena de pértiga, el plan de frecuencias para la alimentación en el espacio ha de extenderse. Extender el ejemplo presentado anteriormente, un plan de frecuencias para una aplicación de SAR de polarización múltiple típica sería tal como sigue: frecuencia operativa de SAR de 5,400 GHz (banda C), frecuencia de oscilador local estable de 2,400 GHz, una frecuencia de portadora para la señal de polarización de chirrido de transmisión y recibida horizontal trasladada en frecuencia **1770** de 10,200 GHz y una frecuencia de portadora para la señal de polarización recibida vertical trasladada en frecuencia **1772** de 7,8 GHz.

La señal de oscilador local estable de radiodifusión se recibe por la antena **1738**, se amplifica por el amplificador de bajo ruido **1740** y se divide en dos señales por el divisor de potencia **1742**. Una salida del divisor proporciona directamente la frecuencia de referencia que se usa para la polarización vertical recibida. La otra salida del divisor se dobla en frecuencia por el doblador de frecuencia **1744** para proporcionar la frecuencia de referencia que se usa para realizar una conversión reductora del chirrido trasladada en frecuencia y realizar una conversión elevadora de la polarización horizontal recibida. La fase de las frecuencias de referencia se ajusta por los moduladores directos **1748** y **1746** en base a las señales de control **1754** y **1752** respectivamente. Debido a que la transmisión y la recepción no se producen simultáneamente, el modulador directo **1746** puede usarse para proporcionar la frecuencia de referencia ajustada en fase a los circuitos tanto de transmisor como de recepción de polarización horizontal a través del divisor de potencia **1750**. La señal de control de fase **1752** se ajusta durante el periodo de impulsos para producir en primer lugar la fase requerida para el impulso de transmisión y entonces la fase requerida para la señal recibida.

Otras realizaciones de una antena de polarización múltiple son posibles, no obstante los principios básicos siguen siendo los mismos.

El sistema de compensación de geometría puede implementarse, como alternativa, usando unos objetivos pasivos cuya superficie se cubre por un material reflectante altamente direccional. Los objetivos se iluminan de forma selectiva mediante estrechos haces de luz que se proyectan a partir de unas fuentes de luz ubicadas en las proximidades del conjunto óptico. Se usan unas fuentes de luz con un estrecho ancho de banda espectral y filtros correspondientes en la trayectoria óptica. El funcionamiento es similar a lo que se ha descrito para los objetivos con las fuentes de luz integradas, con la excepción de que las fuentes de luz en la estructura de bus se iluminan en secuencia en lugar de las fuentes de luz en los objetivos. Este enfoque simplifica el diseño de los objetivos y elimina la necesidad de circuitos de control y fuentes de potencia para los objetivos sobre los paneles de antena. La desventaja es un conjunto óptico más complicado, debido a que incorpora las fuentes de luz cerca del eje óptico.

La distorsión de antena puede descomponerse en dos componentes, una distorsión fija y una distorsión variable. La distorsión puede medirse y compensarse para usar un enfoque de calibración clásico que se usa tradicionalmente en un sistema de este tipo. Por ejemplo, en un sistema SAR, un patrón de haz puede medirse a lo largo de un área objetivo bien seleccionada y la distorsión puede determinarse y eliminarse aplicando una compensación de fase usando los mismos desfasadores que se usan para conformar los haces. La compensación del componente variable implica realizar mediciones en órbita a lo largo del periodo que la antena se encuentra en uso y aplicar una compensación dinámica. También puede usarse una compensación de geometría que se aprovecha de esta característica en lugar de un enfoque de compensación basada en medios ópticos.

Una alternativa es usar el procesamiento en tierra de mediciones en órbita. Un procedimiento para conseguir esto se ha descrito por Luscombe y col. *(In orbit Characterisation of the RADARSAT-2 Antenna - Proceedings of the Committee on Earth Observation Standards - Working Group on Calibration and Validation - Synthetic Aperture Radar Workshop 2004*). Esta técnica usa una porción de la antena como referencia para obtener datos en cuanto al desplazamiento geométrico relativo de una porción diferente de la antena (por ejemplo, una fila o columna) que se está midiendo. La porción de referencia que se usa inicialmente se mide entonces mediante el uso de una porción que se ha medido previamente de la antena como la referencia. Un conjunto completo de mediciones puede tomarse en un periodo de tiempo relativamente corto (< 2 segundos por lo general). Durante el funcionamiento, un conjunto

de mediciones se hace inmediatamente antes de y a continuación la captación de datos para una imagen. Los resultados medidos se transmiten a tierra y se procesan posteriormente para determinar la geometría de antena presente durante la operación de generación de imágenes. Esta información de geometría se usa entonces para compensar la distorsión de antena durante el procesamiento de los datos de imagen.

Otro medio alternativo de compensación de geometría es medir la temperatura en numerosos puntos a través de la antena como un medio para determinar la distorsión variable. Se usarían técnicas clásicas para determinar y compensar la distorsión fija tal como se ha descrito en lo que antecede. Una campaña de calibración se llevaría a cabo entonces para caracterizar la distorsión de antena como una función de la temperatura. Esta campaña de calibración implicaría mediciones repetidas de patrón de antena a lo largo de un área objetivo bien seleccionada. La temperatura de la antena antes de estas mediciones se variaría, por ejemplo calentando la antena mediante reorientación de la nave espacial o mediante el uso de la antena para unas longitudes variables de generación de imágenes antes de tomar la medición (disipando de este modo más o menos potencia los módulos de transmisión y de recepción en la estructura de antena). El análisis en tierra de los patrones de antena resultantes proporcionaría datos de calibración de compensación de distorsión. La compensación de distorsión de antena podría aplicarse entonces o bien como una corrección en tiempo real en la nave espacial (medir las temperaturas y aplicar la corrección de fase correspondiente en cada punto en la antena) o como parte del procesamiento en tierra de los datos SAR.

En una realización del sistema de antena, se usa una configuración de lente activa. Debido a que una configuración de lente es intrínsecamente menos sensible a la distorsión de antena física que un conjunto de alimentación directa o un reflector, es particularmente adecuada para cualquiera de los enfoques de compensación de geometría alternativos anteriores.

La construcción de la antena de múltiples elementos en fase activa para aplicaciones de radar se aprovecha de que la antena no necesite soportar unas funciones de transmisión y de recepción simultáneas. No obstante, la antena puede adaptarse para usos en aplicaciones distintas de los sistemas de radar, por ejemplo, en un sistema de comunicaciones, en el que se requiere una transmisión y una recepción simultáneas y continuas. El enfoque es usar dos frecuencias de portadora, en cada una de las caras de antena de múltiples elementos en fase activa y de alimentación en el espacio, una frecuencia para la señal que va a transmitirse, y una para la señal recibida. La estructura básica del nodo de antena activa permanece invariable. Un plan de frecuencias a modo de ejemplo es tal como sigue: frecuencia operativa de transmisión de enlace de comunicaciones de 5,700 GHz, frecuencia de recepción de 5,100 GHz, frecuencia de oscilador local estable de 2,400 GHz, una frecuencia de portadora para la señal de transmisión trasladada en frecuencia de 10,5 GHz, y señal de recepción trasladada en frecuencia 9,900 GHz.

A menos que el contexto requiera claramente otra cosa, en la totalidad de la descripción y las reivindicaciones, las expresiones "comprender", "que comprende / comprendiendo", y similares han de interpretarse en un sentido inclusivo, como opuesto a un sentido exclusivo o exhaustivo; es decir, en el sentido de "incluyendo, pero sin limitarse a". Como se usan en el presente documento, las expresiones "conectado", "acoplado", o cualquier variante de las mismas, significan cualquier conexión o acoplamiento, o bien directo o bien indirecto, entre dos o más elementos; el acoplamiento de conexión entre los elementos puede ser físico, lógico, o una combinación de los mismos. Adicionalmente, las expresiones "en el presente documento", "en lo que antecede", "en lo sucesivo", y expresiones de significado similar, cuando se usan en la presente solicitud, se referirán a la presente solicitud como un todo y no a porción particular alguna de la presente solicitud. Cuando el contexto lo permita, las expresiones en la Descripción Detallada anterior que usen el número singular o plural también pueden incluir el número plural o singular, respectivamente. La palabra "o", en referencia a una lista de dos o más artículos, cubre la totalidad de las siguientes interpretaciones de la palabra: cualquiera de los artículos en la lista, la totalidad de los artículos en la lista, y cualquier combinación de los artículos en la lista.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de antena basado en el espacio (150) para un satélite, comprendiendo el sistema:

un sistema central del sistema de antena basado en el espacio (150), **caracterizado por que** el sistema central incluye:
un oscilador local estable (215) configurado para generar una señal de frecuencia de referencia,
circuitería (220) configurada para generar señales de transmisión en base, por lo menos en parte, a la señal de frecuencia de referencia,
por lo menos un transceptor de sistema (250) para transmitir la señal de frecuencia de referencia y la señal de transmisión, y para recibir una señal de recepción; y,
múltiples nodos de antena activa (300) que forman una porción de un sistema de antena de múltiples elementos en fase activa, en el que cada nodo de antena activa incluye:
por lo menos un transceptor de nodo (325) configurado para recibir la señal de frecuencia de referencia y la señal de transmisión desde el transceptor de sistema, y para transmitir la señal de recepción al transceptor de sistema,
circuitería de traslación de frecuencia (330) acoplada para recibir la señal de frecuencia de referencia, y para proporcionar traslación de señales entre las señales de transmisión y de recepción para inhibir la interferencia entre las señales de transmisión y de recepción,
una sección de generación de potencia (505), y
circuitería de control (500) acoplada con el transceptor de nodo y la porción de generación de potencia (505), en el que la circuitería de control (500) está configurada para procesar o controlar las señales de transmisión y de recepción, y configurada para por lo menos facilitar el control de la formación de haz y la orientación de haz del sistema de antena basado en el espacio usando, por lo menos en parte, la señal de frecuencia de referencia y, una o ambas de la señal de transmisión y de recepción.

2. El sistema de la reivindicación 1, en el que la circuitería de control emplea señales de sincronismo locales con respecto al nodo, y en el que el sistema de antena basado en el espacio emplea control de fase usando una frecuencia de referencia distribuida.

3. El sistema de la reivindicación 1, que comprende además por lo menos un ala de antena (105, 115) que retiene por lo menos alguno de los nodos de antena activa, y un sistema de compensación de distorsión de antena que incluye:

múltiples objetivos ópticos (715, 720, 725) colocados sobre el ala de antena;
por lo menos un sensor de imagen para ubicar por lo menos alguno de los múltiples objetivos sobre el ala de antena y emitir una señal de imagen; y
un subsistema de compensación de geometría para procesar la señal de imagen de salida y generar una señal de compensación de distorsión.

4. El sistema de la reivindicación 1, que comprende además por lo menos un ala de antena (105, 115) que retiene por lo menos alguno de los nodos de antena activa, en el que el ala de antena incluye una porción de panel radiante en un lado y células solares en un lado contrario, y proporciona tanto un soporte estructural como actúa como una antena.

5. El sistema de la reivindicación 1, que comprende además una circuitería de control de fase de oscilador local estable (360, 365) acoplada con el oscilador local estable para implementar un modo de recepción de barrido del sistema de antena basado en el espacio, en el que la circuitería de control de fase está configurada para ajustar una fase de barrido de señal recibida para apuntar el haz en elevación para recibir señales en un límite de alcance cercano en un comienzo del barrido, y en un límite de alcance lejano en un final del barrido.

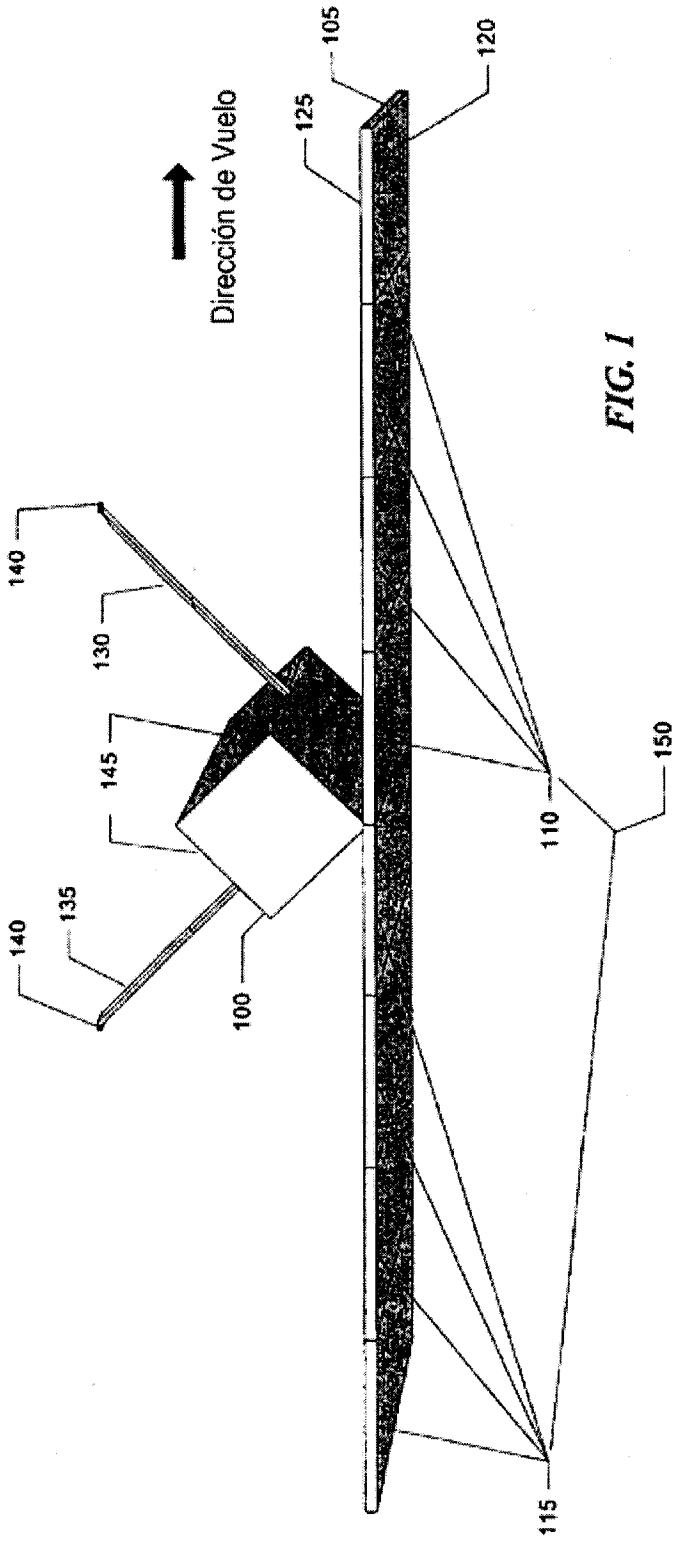
Dirección de Vuelo
105
120
125
140
130
145
135
140
100
110
150
115

FIG. 1

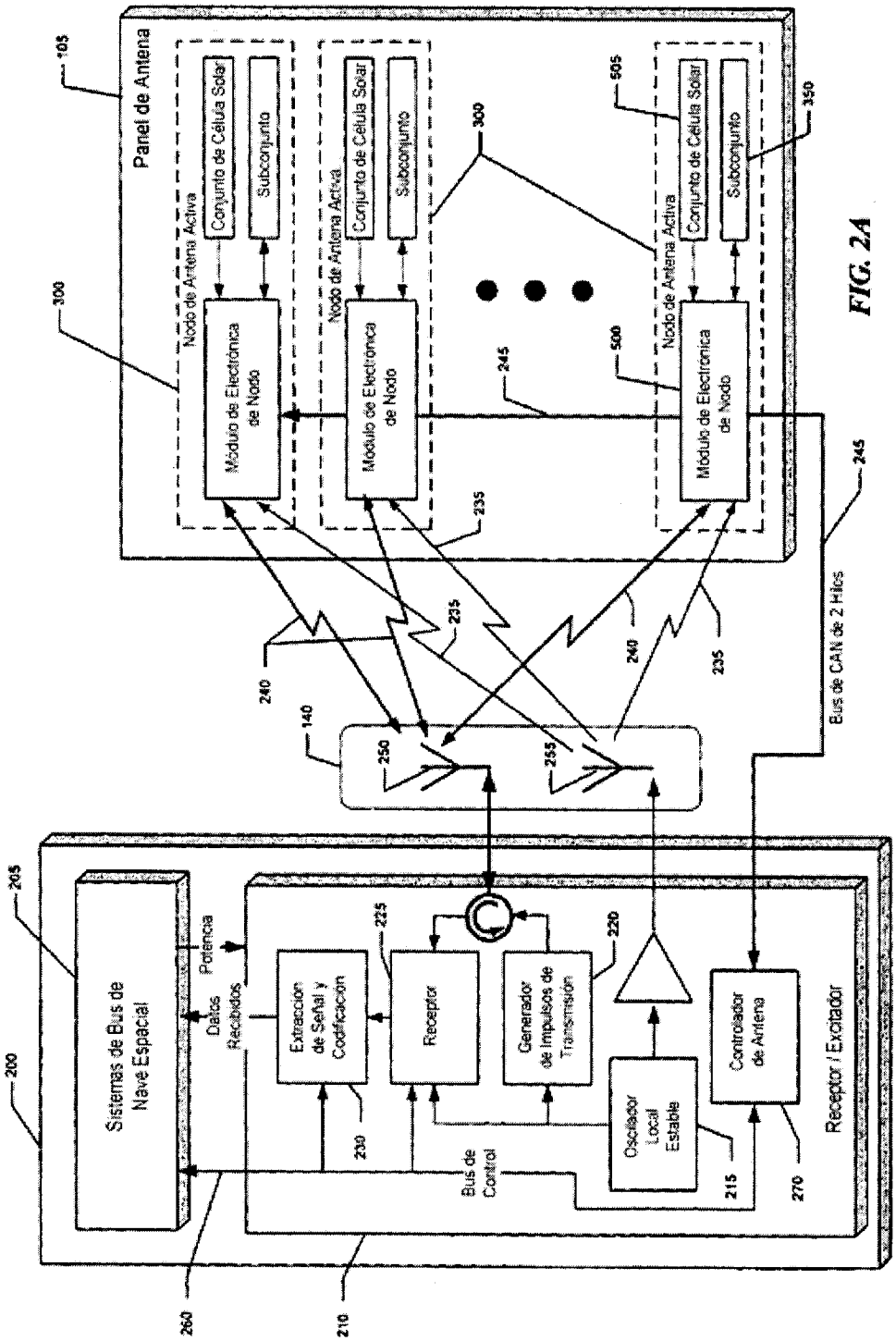
Panel de Antena
Nodo de Antena Activa
Conjunto de Célula Solar
Subconjunto
Módulo de Electrónica de Nodo
Bus de CAN de 2 Hilos
Sistemas de Bus de Nave Espacial
Potencia
Datos Recibidos
Extracción de Señal y Codificación
Receptor
Generador de Impulsos de Transmisión
Oscilador Local Estable
Controlador de Antena
Bus de Control
Receptor / Excitador

FIG. 2A

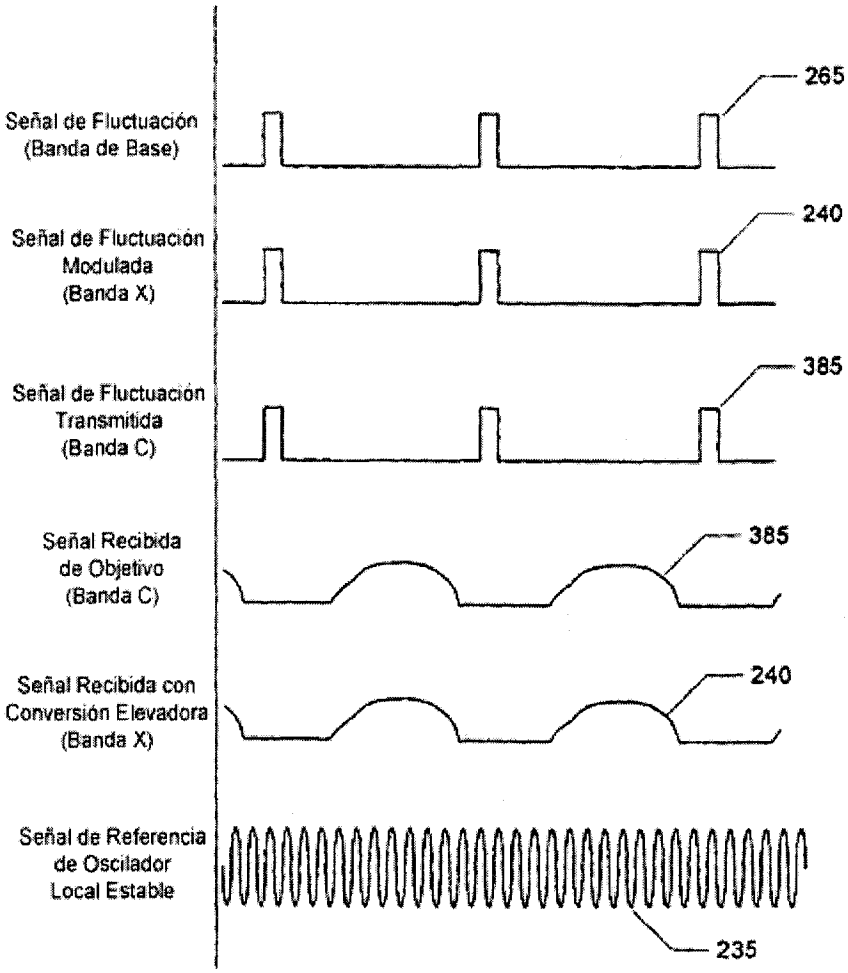
Señal de Fluctuación (Banda de Base)
265
Señal de Fluctuación Modulada (Banda X)
240
Señal de Fluctuación Transmitida (Banda C)
385
Señal Recibida de Objetivo (Banda C)
385
Señal Recibida con Conversión Elevadora (Banda X)
240
Señal de Referencia de Oscilador Local Estable
235

FIG. 2B

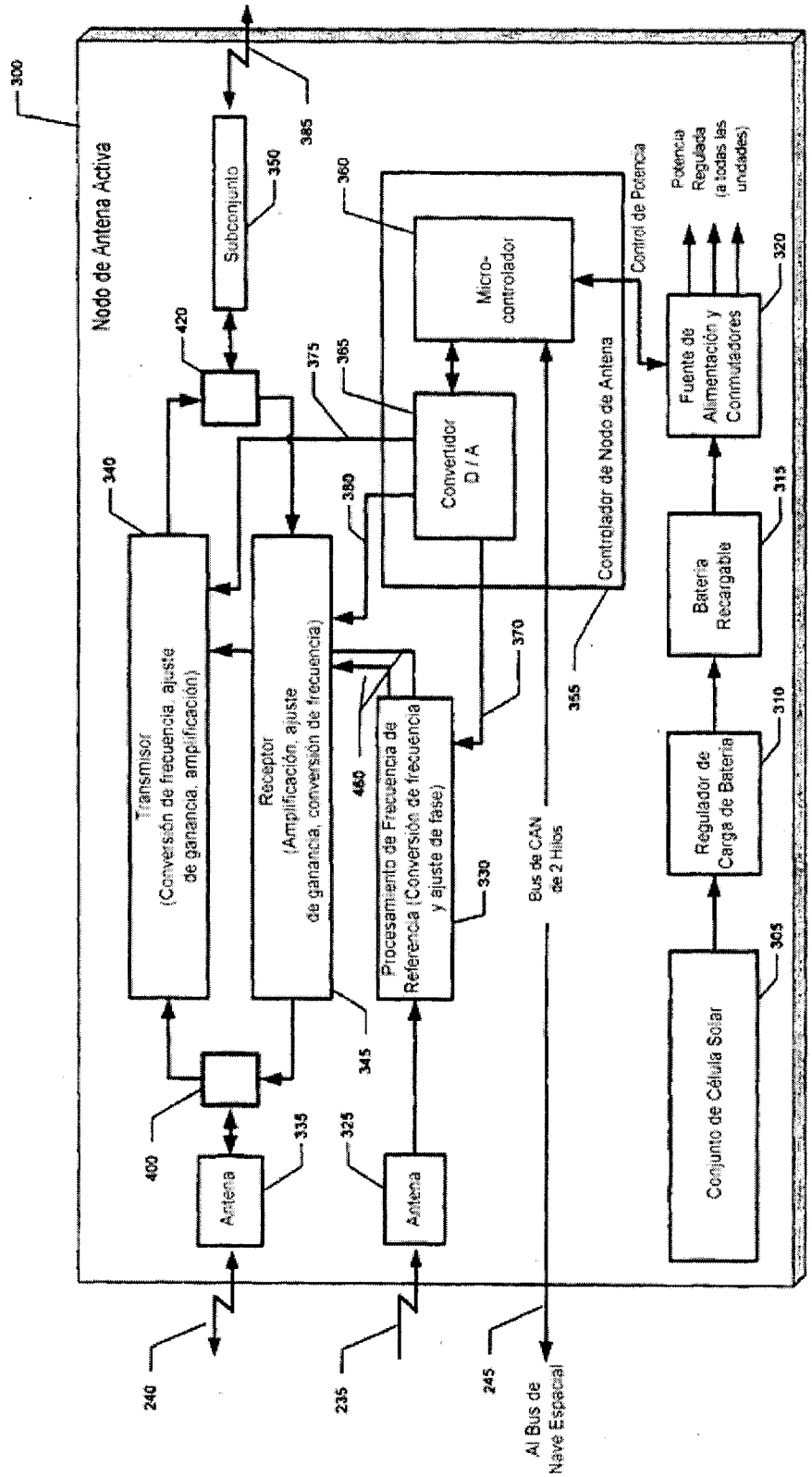
300
Nodo de Antena Activa
385
Subconjunto
350
360
Micro-controlador
Control de Potencia
Potencia Regulada (a todas las unidades)
320
Fuente de Alimentación y Conmutadores
420
375
365
Convertidor D / A
340
380
Transmisor (Conversión de frecuencia, ajuste de ganancia, amplificación)
Receptor (Amplificación, ajuste de ganancia, conversión de frecuencia)
Controlador de Nodo de Antena
370
460
355
Batería Recargable
315
Procesamiento de Frecuencia de Referencia (Conversión de frecuencia y ajuste de fase)
330
Bus de CAN de 2 Hilos
Regulador de Carga de Batería
310
345
400
335
325
Antena
Antena
Conjunto de Célula Solar
305
240
235
245
Al Bus de Nave Espacial

FIG. 3

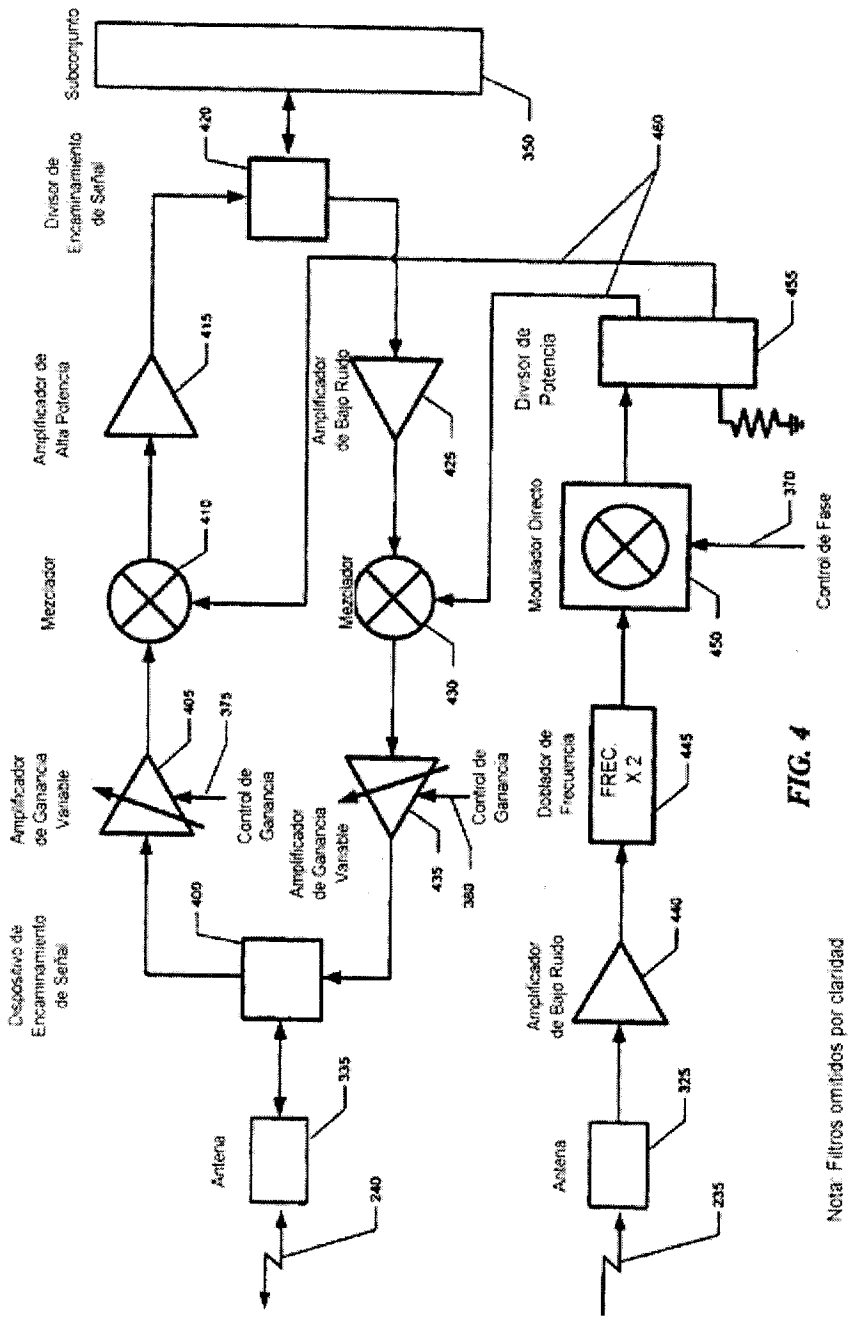
Subconjunto
350
Divisor de Encaminamiento de Señal
420
460
455
Amplificador de Alta Potencia
415
Amplificador de Bajo Ruido
425
Divisor de Potencia
Mezclador
410
Mezclador
430
Modulador Directo
450
370
Control de Fase
405
375
Amplificador de Ganancia Variable
Control de Ganancia
Amplificador de Ganancia Variable
435
380
Control de Ganancia
Duplicador de Frecuencia
FREC. X 2
445
400
Dispositivo de Encaminamiento de Señal
Amplificador de Bajo Ruido
440
Antena
335
325
240
235
Nota: Filtros omitidos por claridad

FIG. 4

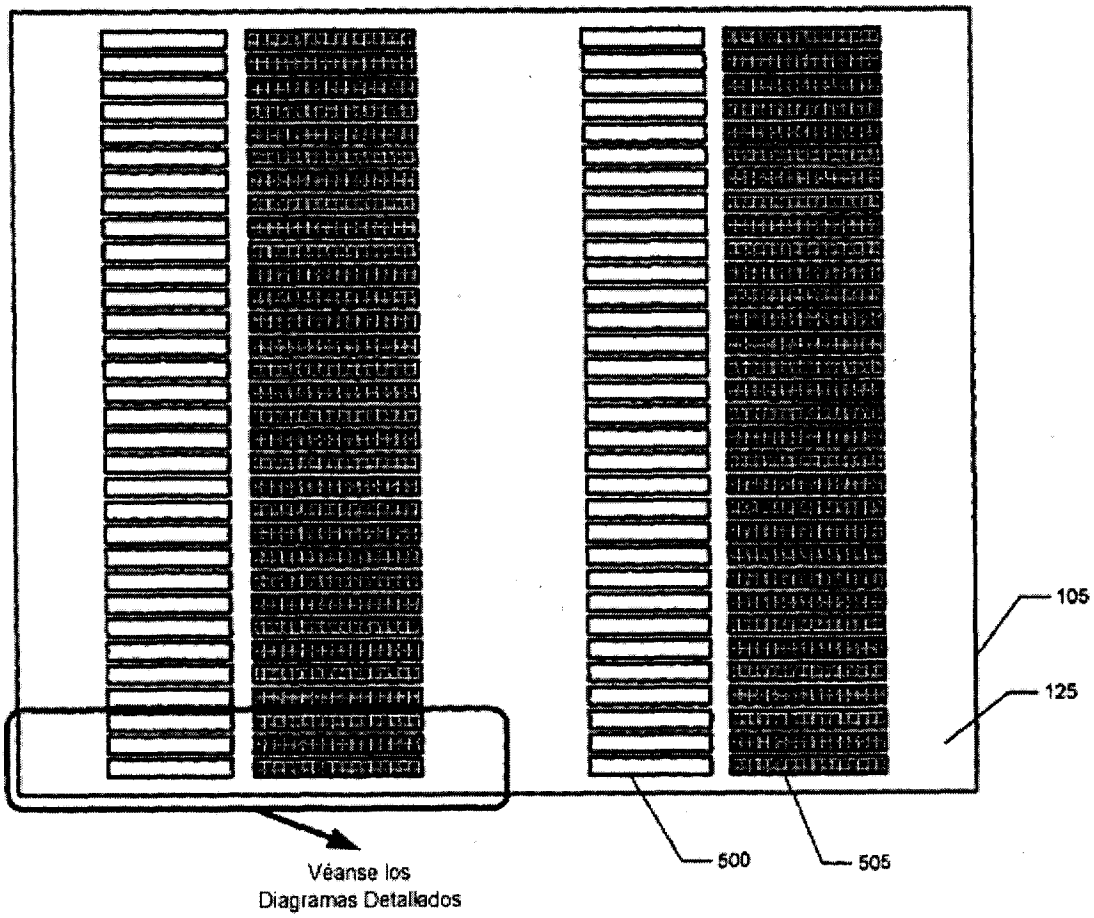

FIG. 5A

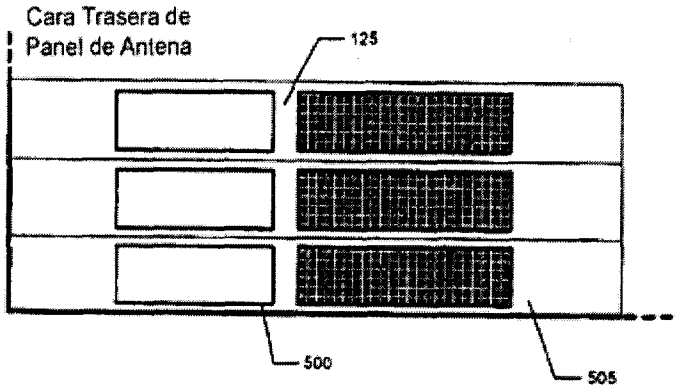

FIG. 5B

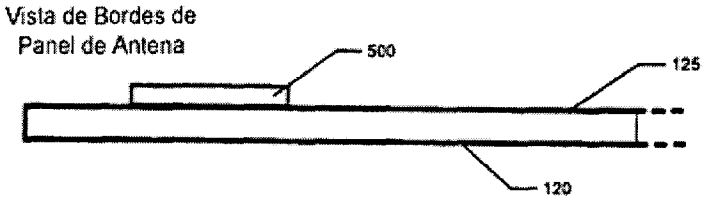

FIG. 5C

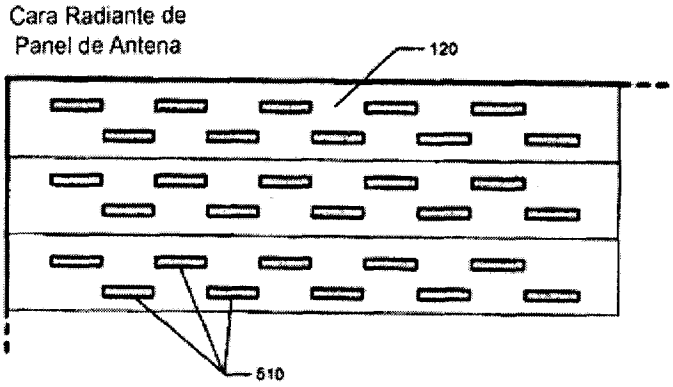

FIG. 5D

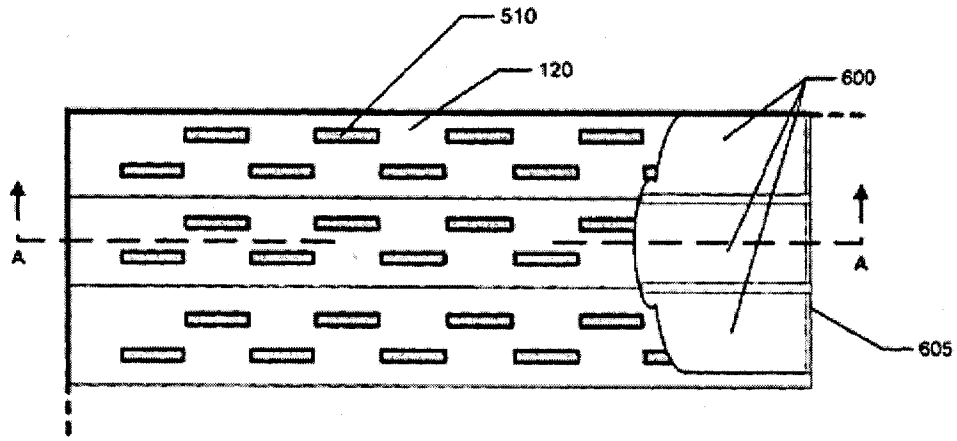
510
120
600
A
A
605

FIG. 6A

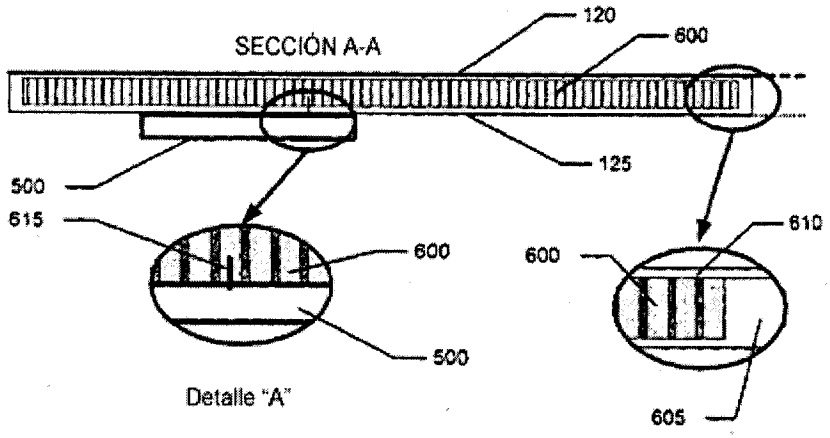
SECCIÓN A-A
120
600
125
500
615
600
500
Detalle "A"
610
600
605
Detalle "B"

FIG. 6B

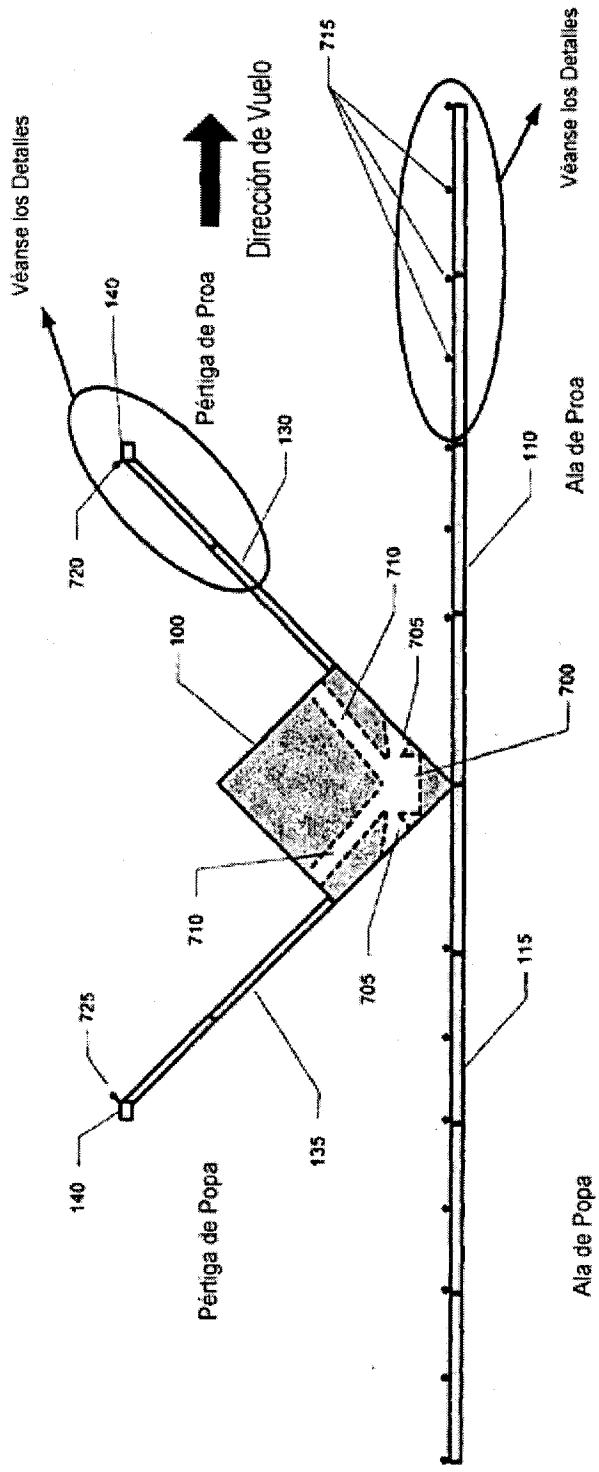
Véanse los Detalles
140
Pértiga de Proa
Dirección de Vuelo
130
720
715
Véanse los Detalles
110
Ala de Proa
710
705
100
700
710
705
115
725
135
140
Pértiga de Popa
Ala de Popa

FIG. 7

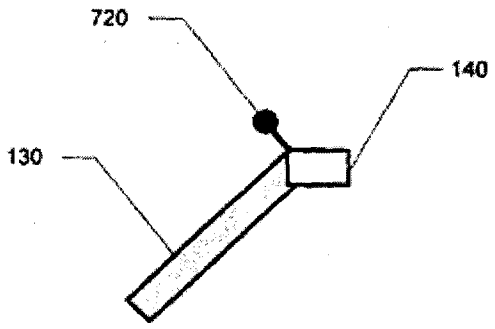

FIG. 8A

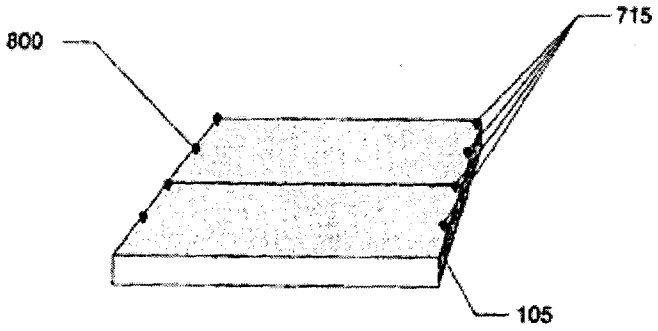

FIG. 8B

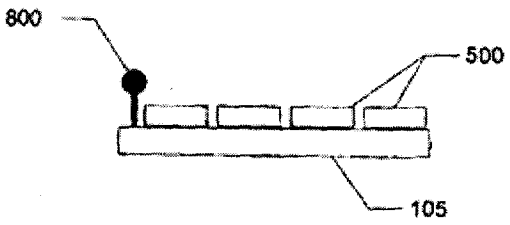

FIG. 8C

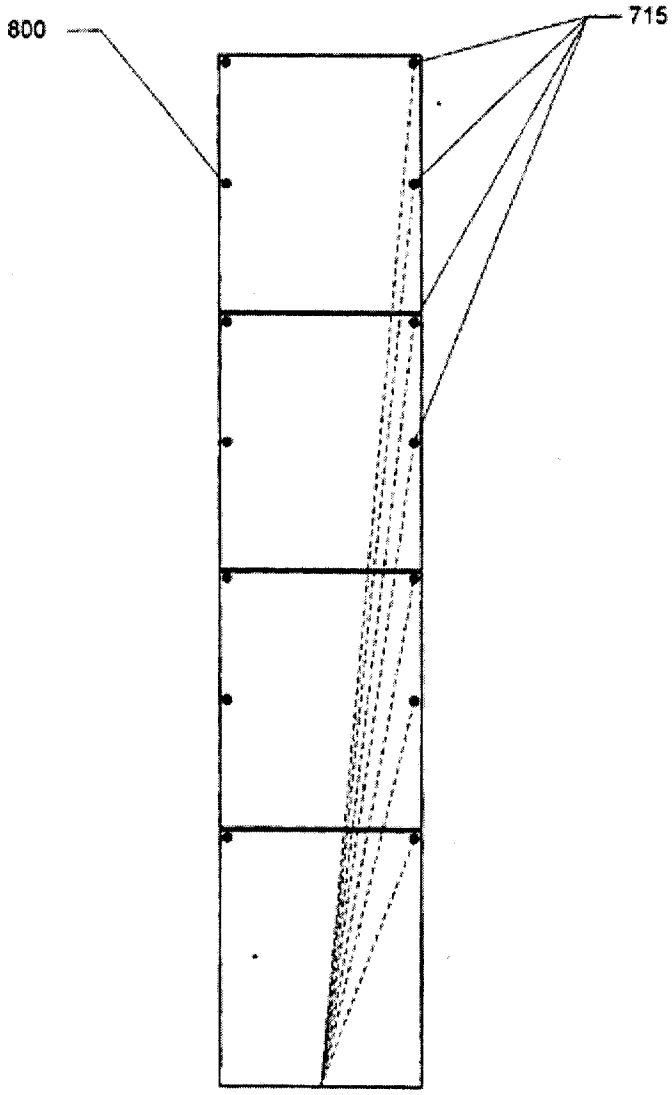

FIG. 9

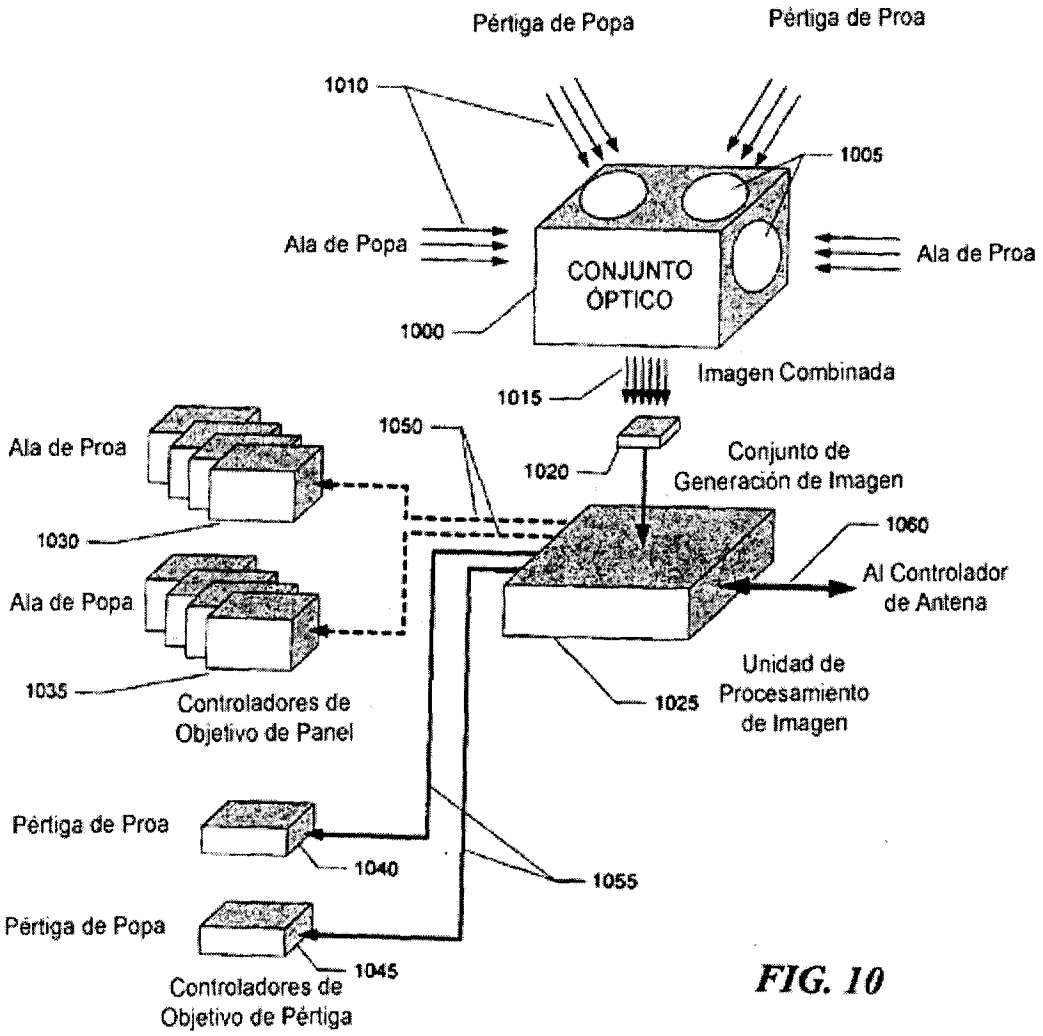
Pértiga de Popa
Pértiga de Proa
1010
1005
Ala de Popa
Ala de Proa
CONJUNTO ÓPTICO
1000
Imagen Combinada
1015
1050
1020
Conjunto de Generación de Imagen
Ala de Proa
1030
1060
Al Controlador de Antena
Ala de Popa
1035
Controladores de Objetivo de Panel
1025
Unidad de Procesamiento de Imagen
Pértiga de Proa
1040
1055
Pértiga de Popa
1045
Controladores de Objetivo de Pértiga

FIG. 10

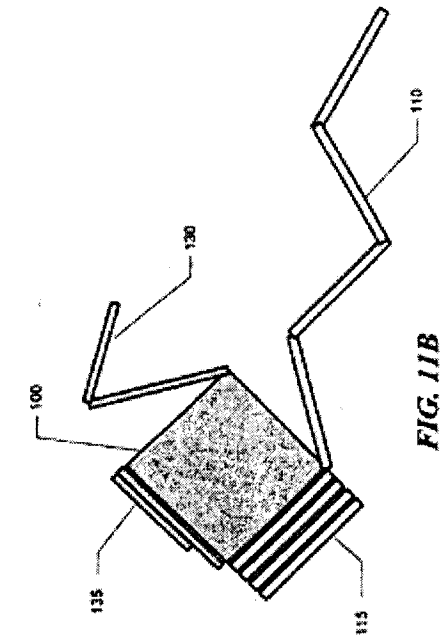

FIG. 11B

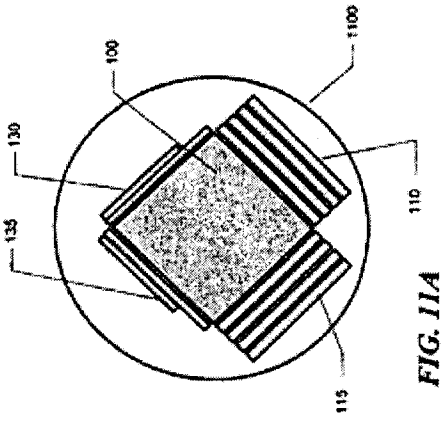

FIG. 11A

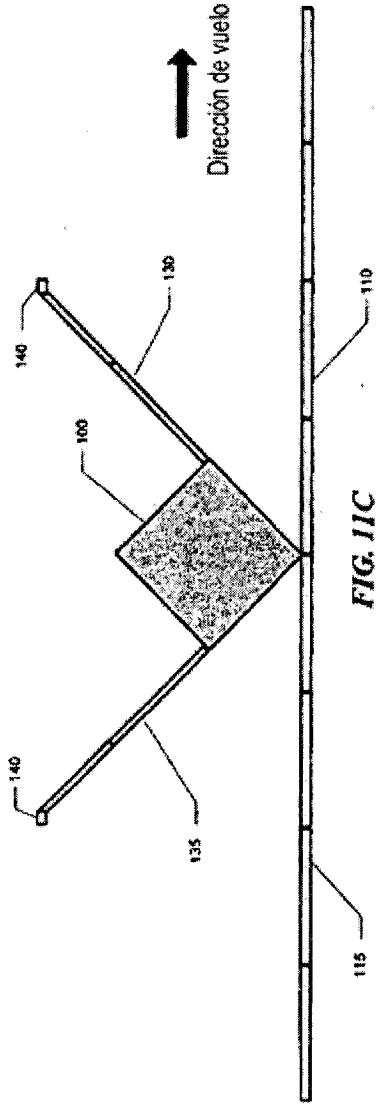

FIG. 11C

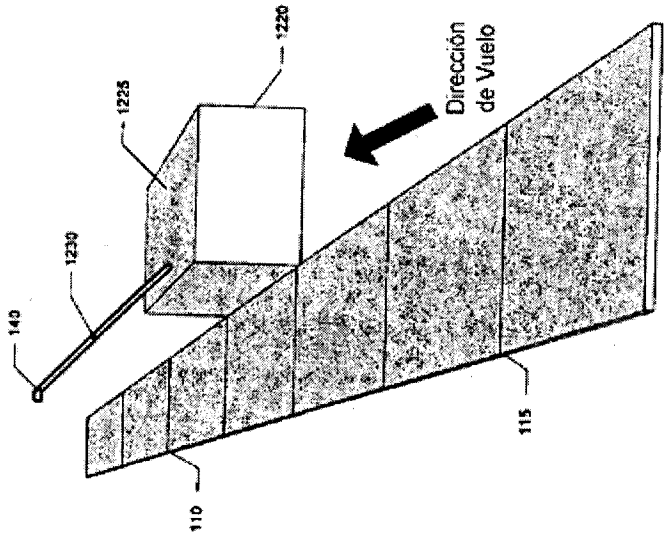

FIG. 12C

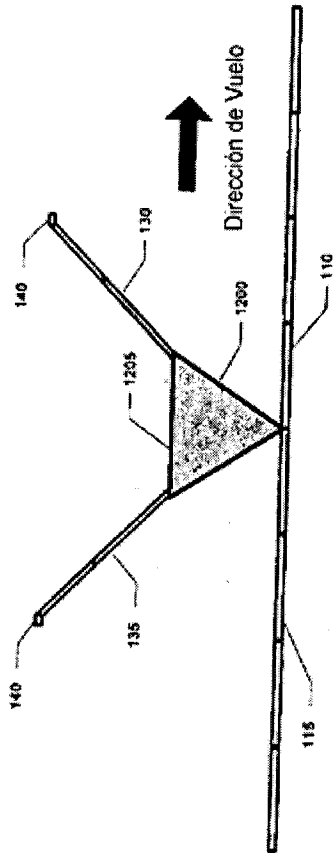

FIG. 12A

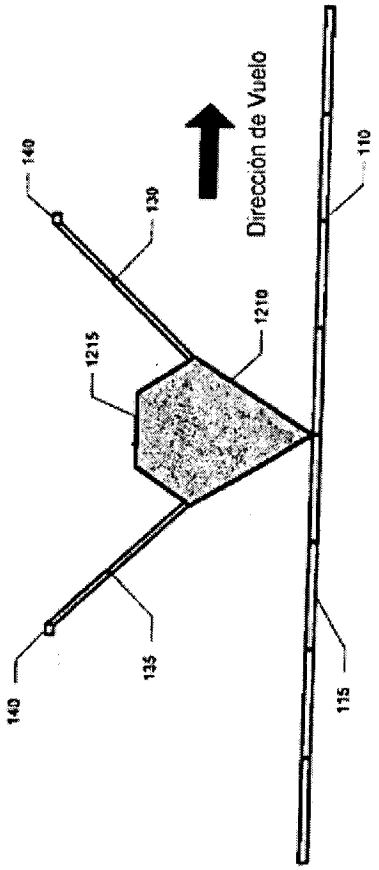

FIG. 12B

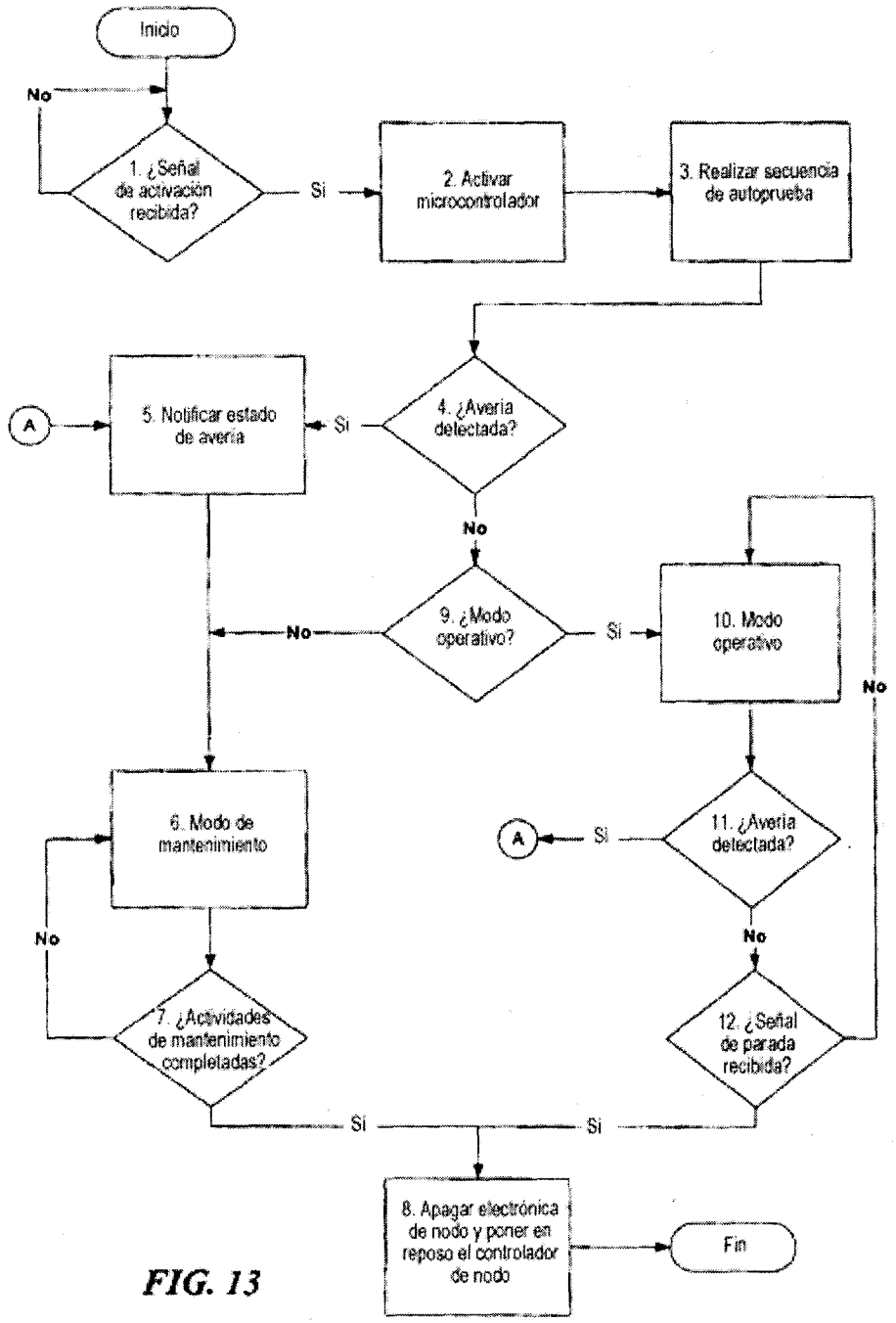
Inicio
No
1. ¿Señal de activación recibida?
Si
2. Activar microcontrolador
3. Realizar secuencia de autoprueba
4. ¿Avería detectada?
Si
5. Notificar estado de avería
A
No
9. ¿Modo operativo?
No
Si
10. Modo operativo
No
6. Modo de mantenimiento
No
7. ¿Actividades de mantenimiento completadas?
Si
A
Si
11. ¿Avería detectada?
No
12. ¿Señal de parada recibida?
Si
8. Apagar electrónica de nodo y poner en reposo el controlador de nodo
Fin

FIG. 13

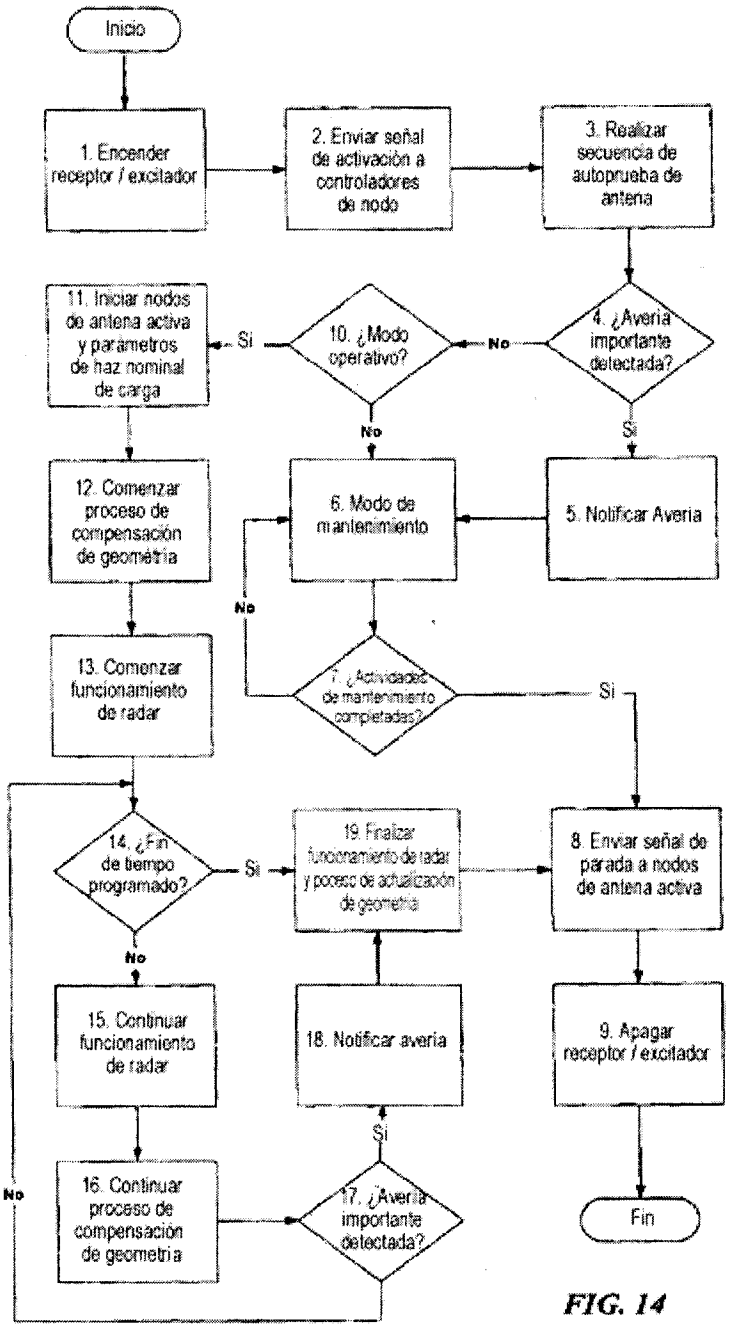
Inicio
1. Encender receptor / excitador
2. Enviar señal de activación a controladores de nodo
3. Realizar secuencia de autoprueba de antena
4. ¿Avería importante detectada?
No
Si
10. ¿Modo operativo?
Si
No
11. Iniciar nodos de antena activa y parámetros de haz nominal de carga
12. Comenzar proceso de compensación de geometría
13. Comenzar funcionamiento de radar
5. Notificar Avería
6. Modo de mantenimiento
No
7. ¿Actividades de mantenimiento completadas?
Si
14. ¿Fin de tiempo programado?
Si
No
15. Continuar funcionamiento de radar
16. Continuar proceso de compensación de geometría
No
17. ¿Avería importante detectada?
Si
18. Notificar avería
19. Finalizar funcionamiento de radar y proceso de actualización de geometría
8. Enviar señal de parada a nodos de antena activa
9. Apagar receptor / excitador
Fin

FIG. 14

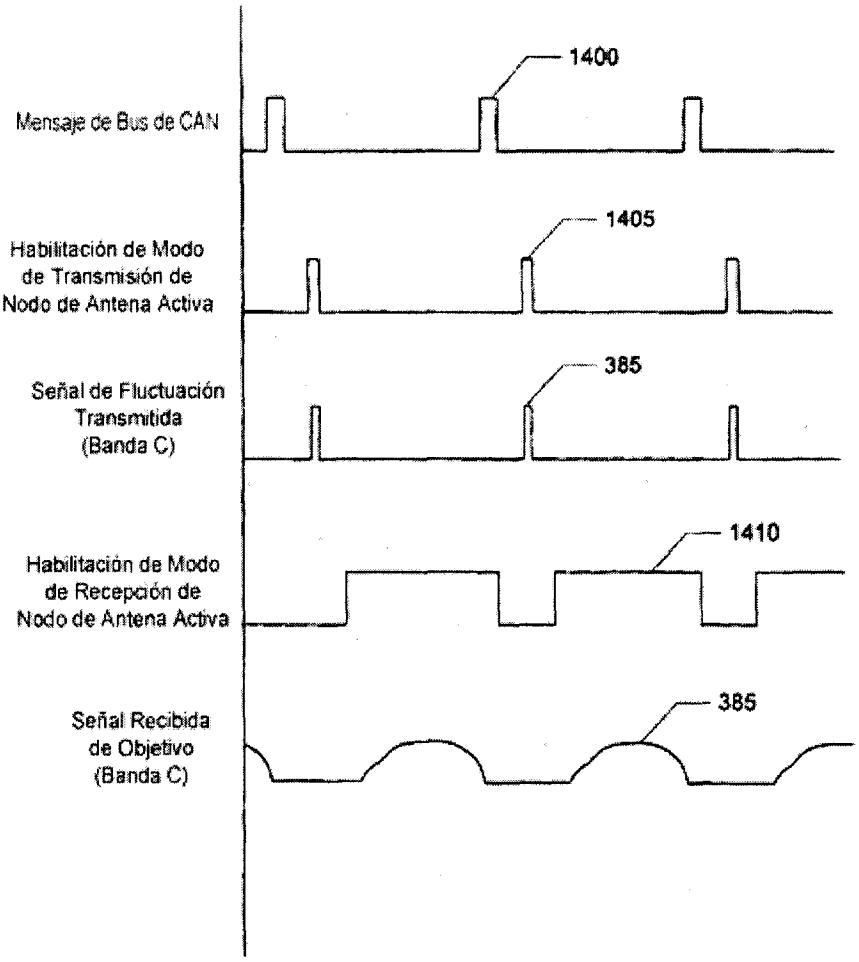
Mensaje de Bus de CAN
1400
Habilitación de Modo de Transmisión de Nodo de Antena Activa
1405
Señal de Fluctuación Transmitida (Banda C)
385
Habilitación de Modo de Recepción de Nodo de Antena Activa
1410
Señal Recibida de Objetivo (Banda C)
385

FIG. 15

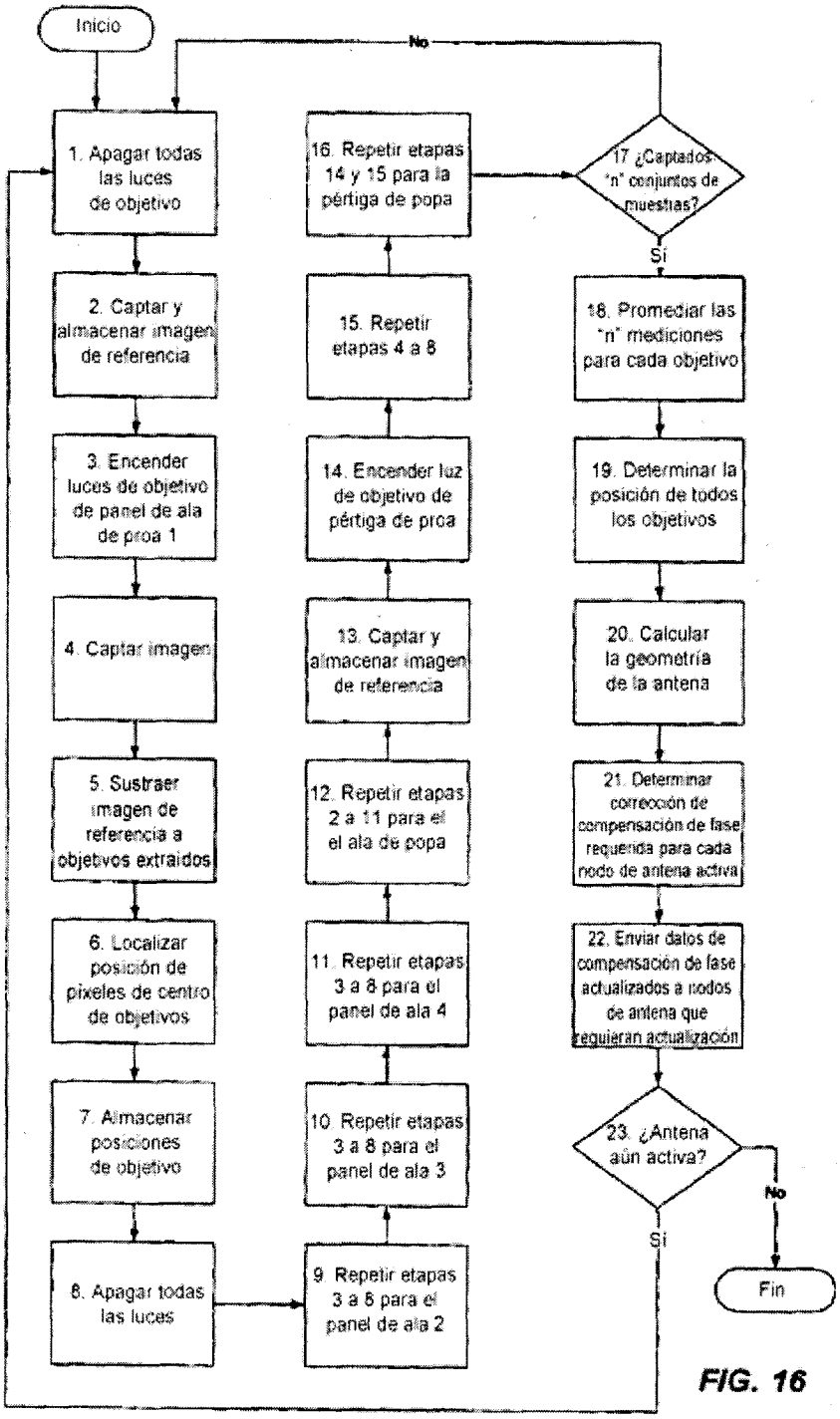
Inicio
No
1. Apagar todas las luces de objetivo
2. Captar y almacenar imagen de referencia
3. Encender luces de objetivo de panel de ala de proa 1
4. Captar imagen
5. Sustraer imagen de referencia a objetivos extraídos
6. Localizar posición de píxeles de centro de objetivos
7. Almacenar posiciones de objetivo
8. Apagar todas las luces
9. Repetir etapas 3 a 8 para el panel de ala 2
10. Repetir etapas 3 a 8 para el panel de ala 3
11. Repetir etapas 3 a 8 para el panel de ala 4
12. Repetir etapas 2 a 11 para el el ala de popa
13. Captar y almacenar imagen de referencia
14. Encender luz de objetivo de pértiga de proa
15. Repetir etapas 4 a 8
16. Repetir etapas 14 y 15 para la pértiga de popa
17 ¿Captados "n" conjuntos de muestras?
Sí
18. Promediar las "n" mediciones para cada objetivo
19. Determinar la posición de todos los objetivos
20. Calcular la geometría de la antena
21. Determinar corrección de compensación de fase requerida para cada nodo de antena activa
22. Enviar datos de compensación de fase actualizados a nodos de antena que requieran actualización
23. ¿Antena aún activa?
No
Sí
Fin

FIG. 16

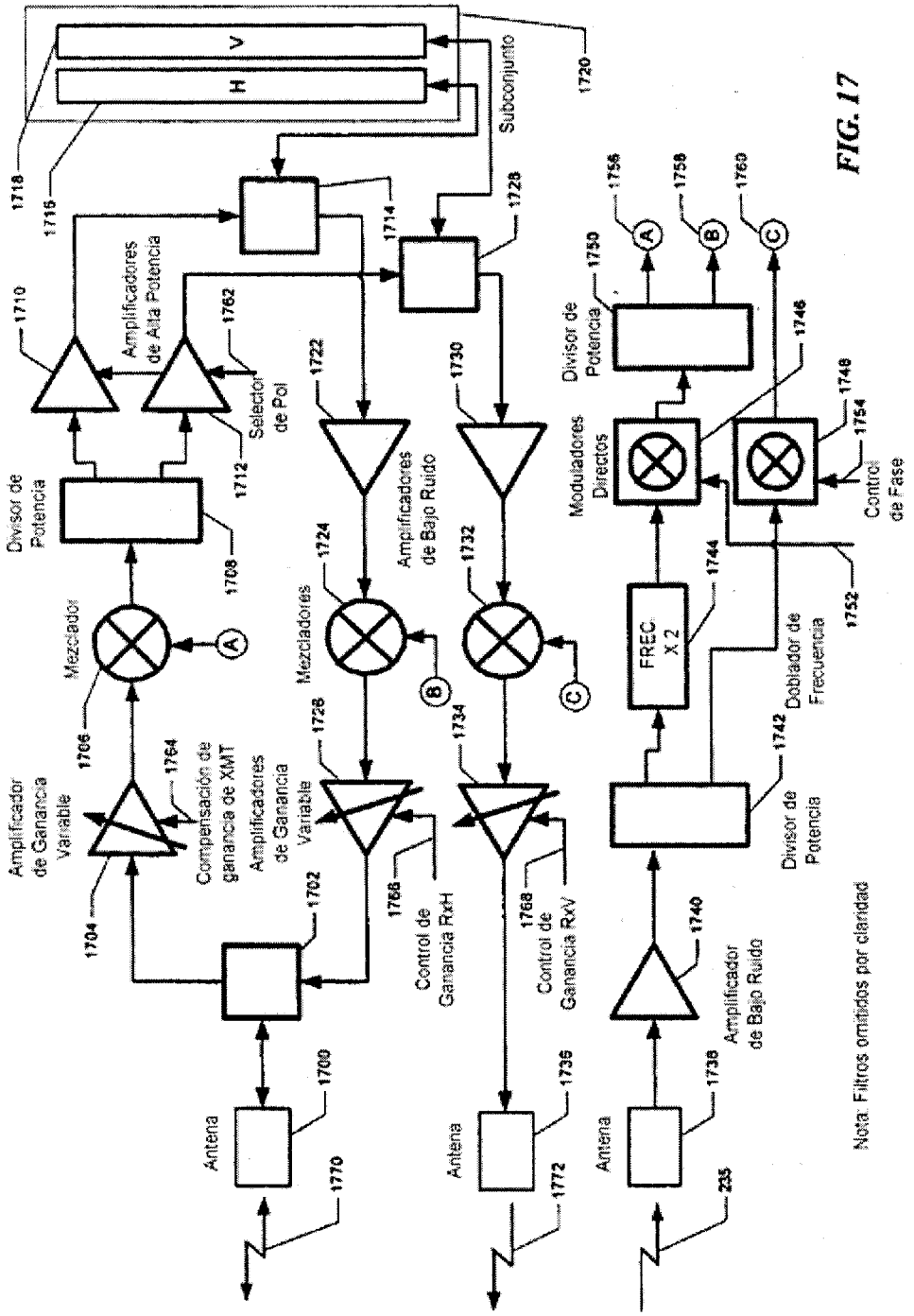
V
H
Subconjunto
1720
1718
1716
1714
1728
Amplificadores de Alta Potencia
1710
1762
Selector de Pol
1712
1722
1730
Divisor de Potencia
1708
Amplificadores de Bajo Ruido
Divisor de Potencia
1750
1756
1758
1760
A
B
C
Moduladores Directos
1746
1748
1754
Control de Fase
Mezclador
1706
Mezcladores
1724
1732
1744
FREC. X 2
1752
Doblador de Frecuencia
Amplificador de Ganancia Variable
1704
1764
Compensación de ganancia de XMT
Amplificadores de Ganancia Variable
1726
1734
1742
Divisor de Potencia
1702
1766
Control de Ganancia RxH
1768
Control de Ganancia RxV
1740
Amplificador de Bajo Ruido
Antena
1700
1735
1738
1770
1772
235
Nota: Filtros omitidos por claridad

FIG. 17