

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 751 723**

51 Int. Cl.:

**H04B 7/195** (2006.01)

**H04B 7/185** (2006.01)

**H04B 7/024** (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.09.2017 E 17192639 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.09.2019 EP 3416303**

54 Título: **Sistema y método para satélites fraccionados de alto rendimiento (HTFS) que usan formaciones de vuelo de satélites pequeños o muy pequeños para su conectividad directa a y desde dispositivos y terminales del usuario final**

30 Prioridad:

**12.06.2017 IN 201711020428**

**11.08.2017 US 201715675155**

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

**01.04.2020**

73 Titular/es:

**AST & SCIENCE, LLC (100.0%)  
1111 Brickell Avenue, Suite 1100  
Miami, FL 37125, US**

72 Inventor/es:

**AVELLAN, ABEL y  
JAYASIMHA, SRIRAM**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

**ES 2 751 723 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Sistema y método para satélites fraccionados de alto rendimiento (HTFS) que usan formaciones de vuelo de satélites pequeños o muy pequeños para su conectividad directa a y desde dispositivos y terminales del usuario final

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un sistema y método de satélite fraccionado de alto rendimiento (HTFS) donde las capacidades funcionales de una nave espacial monolítica convencional se distribuyen a través de muchos satélites pequeños o muy pequeños y un satélite central de mando y retransmisión. Los satélites son independientes y vuelan en formaciones de diseño que permiten la creación de aberturas muy grandes o aberturas en el espacio. La abertura generalmente se refiere al área de una antena y se refiere a la capacidad de la antena para recibir y transmitir  
10 señales. A medida que aumenta la abertura, también aumenta la efectividad de la antena en la recepción, transmisión y direccionalidad de las señales.

Más en particular, la presente invención se refiere a un sistema de matriz de satélites pequeños o muy pequeños y satélites de un mando central y de retransmisión. La variedad de satélites pequeños o muy pequeños están coordinados para actuar como una gran abertura en el espacio. Esto reduce los requisitos de peso y de potencia y da como resultado una drástica reducción en el coste y una mejora drástica en la ganancia de abertura y en el rendimiento de reutilización del ancho de banda. Los satélites pueden estar parcialmente conectados o estructuralmente desconectados y mantenerse cerca usando fuerzas electromagnéticas, fuerzas solares y otras fuerzas relacionadas con la órbita natural asistidos por sistemas GPS y de posicionamiento.  
15

Antecedentes de la invención

20 Las antenas actuales son monolíticas y se alimentan a través de un reflector parabólico o comprenden matrices en fase de muchos elementos de antena. En ambos casos, la abertura de la antena es estructuralmente una y de un tamaño limitado a típicamente unos pocos metros cuadrados. Los principales problemas con el despliegue de grandes estructuras de antena en el espacio son dobles. Primero, el coste y el peso aumentan drásticamente con el tamaño debido al coste de lanzar objetos grandes y pesados al espacio. Y segundo, cualquier estructura prefabricada (incluidos los mecanismos de despliegue y las estructuras de soporte) debe soportar grandes aceleraciones en el lanzamiento y su resistencia debe diseñarse para tener en cuenta estas fuerzas en lugar del entorno operativo de microgravedad.  
25

El peso y el coste del componente de la nave espacial están relacionados con la potencia de carga útil requerida de una misión satelital particular. Los requisitos de potencia de la carga útil se basan principalmente en los terminales del usuario final necesarios para establecer la relación señal/ruido, el número de usuarios simultáneos y los requisitos de ancho de banda del canal. A medida que el requerimiento de potencia de la carga útil aumenta, los componentes de RF, las baterías, los paneles solares y otros componentes de manejo de potencia en el satélite también aumentan en peso y costo. Además, puesto que los dispositivos y terminales del usuario final (tales como dispositivos de mano, terminales de muy baja potencia, como teléfonos inteligentes modernos, pulseras de localización geográfica, radios, teléfonos, móviles, teléfonos inteligentes, terminales IoT y pulseras para seguir personas o dispositivos de seguimiento de máquinas, colectivamente referidos en este documento como "dispositivos del usuario final" o "terminales del usuario final") se vuelven más pequeños y ligeros, su potencia de transmisión y direccionalidad requieren mayores aberturas en el espacio para permitir la conectividad directa desde y hasta esos dispositivos y terminales del usuario final.  
30  
35

40 Los satélites de comunicaciones LEO de última generación diseñados para conectarse directamente a dispositivos del usuario final como teléfonos satelitales o dispositivos IOT de baja potencia, pesan entre 500 y 1.000 kg y su construcción y lanzamiento son costosos.

Véase también el documento GB-A-2536017 (Stratospheric Platforms Limited).

Resumen de la invención

45 Un objeto de la presente invención es proporcionar un sistema de abertura distribuida que tenga las capacidades de una antena grande o muy grande desplegada en el espacio, que varía, pero no se limita al intervalo de 25 m<sup>2</sup> a 300.000 m<sup>2</sup> de superficie de abertura. Otro objeto de la invención es proporcionar un sistema de apertura en el espacio que minimice o reduzca por completo la estructura prefabricada. De acuerdo con estos y otros objetos, la presente invención incluye una matriz de satélites muy pequeños o pequeños, coordinados para actuar como una gran abertura, pero que están parcialmente conectados o estructuralmente desconectados.  
50

Hay varias ventajas en este planteamiento. Primero, se elimina la masa intersticial de los elementos de conexión, lo que reduce el peso del lanzamiento del satélite y, por lo tanto, el coste del lanzamiento. En segundo lugar, se pueden conseguir aberturas muy grandes en el espacio y esto es una ventaja particular para conseguir altas eficiencias de antena a frecuencias relativamente bajas. Y, en tercer lugar, el ancho de banda que es escaso y costoso se puede reutilizar espacialmente más de decenas de miles de veces, lo que permite capacidades de alto  
55

rendimiento al conseguir haces estrechos y formación de haces utilizando algoritmos de procesamiento de señales distribuidas tanto en los satélites pequeños y muy pequeños como en los satélites de control y de retransmisión.

5 La abertura de antena equivalente del HTFS aumenta drásticamente en tamaño debido al uso de una abertura de satélite distribuida. Como resultado, el tamaño requerido para los componentes de RF, las baterías, los paneles solares y los componentes de manejo de potencia se reduce drásticamente o se elimina, como en el caso de los sistemas de guía de ondas de satélites monolíticos. Esto también reduce drásticamente el peso y el coste necesarios para el sistema satelital.

10 Otro beneficio es la reducción de los niveles de potencia requeridos por cada satélite discreto. La arquitectura HTFS de la presente invención utiliza componentes disponibles comercialmente que están incluidos en millones de unidades de productos electrónicos de consumo. Los componentes críticos requeridos en el sistema HTFS, como el software, definen radios, HPA, LNA y filtros, y luego llegan a estar disponibles como componentes disponibles comercialmente ya optimizados en peso y coste.

15 Los sistemas HTFS descritos en esta invención, cuando se comparan con satélites monolíticos, requieren una fracción (aproximadamente una décima) del peso en comparación con un satélite monolítico para un número equivalente de usuarios finales y requisitos de ancho de banda similares. Por ejemplo, se puede construir un satélite monolítico de capacidad equivalente que pese 1.000 kg utilizando un HTFS conforme a la presente invención con un peso colectivo de aproximadamente 100 kg, proporcionando una reducción drástica de peso y coste.

20 El sistema HTFS descrito en esta invención crea una abertura distribuida equivalente muy grande que proporciona un gran beneficio en el coste, el peso y la reutilización del espectro. Estos beneficios son particularmente obvios para el espectro entre 100 MHz y 2 GHz que generalmente se usa para la conectividad directa a terminales del usuario final. El espectro de baja frecuencia (por ejemplo, entre 100 MHz y 2 GHz) es particularmente bueno para eliminar el uso de antenas, puertas de enlace o sistemas VSAT entre el usuario final y los sistemas HTFS en el espacio. Las pérdidas causadas por edificios, árboles, fuselaje de aviones, estructuras de trenes, automóviles y buques y otras obstrucciones a la línea de visión se reducen en comparación con los sistemas de mayor frecuencia como V, Ka, Ku, C, X. Además, el costoso y pesado sistema de seguimiento por satélite en los terminales del usuario final requeridos en el espectro de frecuencias más altas se elimina en las frecuencias de banda más bajas. Además, las bajas frecuencias de banda que se conectan a un sistema HTFS de la presente invención permiten que los dispositivos del usuario final se conecten directamente al sistema HTFS sin terminales VSAT o antenas de seguimiento costosas y pesadas permitiendo numerosas aplicaciones y usos para esta invención.

30 Estos y otros objetos de la invención, así como muchas de las ventajas previstas de la misma, se harán más evidentes cuando se haga referencia a la siguiente descripción, tomada junto con los dibujos adjuntos.

Un aspecto de la invención se refiere a un sistema de satélite de alto rendimiento, que comprende una matriz de satélites remotos coordinados, teniendo cada satélite tiene una o más antenas y manteniendo una distancia entre sí para formar un sistema de apertura combinada en el espacio.

35 En una realización ventajosa, los satélites remotos están fraccionados. En una realización ventajosa, el sistema comprende además un satélite de control en comunicación con la matriz distribuida de satélites remotos. En una realización ventajosa, los satélites remotos se comunican con el satélite de control por medio de WiFi.

40 En una realización ventajosa, la matriz recibe señales de baja frecuencia de la Tierra y el satélite de control transmite señales de mayor frecuencia a la Tierra. En una realización ventajosa, el satélite de control recibe señales de alta frecuencia de la estación terrestre y transmite las señales recibidas; y en donde los satélites remotos reciben las señales de alta frecuencia y transmiten las señales a los dispositivos del usuario final por baja frecuencia.

En una realización ventajosa, el satélite de control comprende un mando central para que los satélites remotos minimicen el peso de los satélites remotos.

45 En una realización ventajosa, el satélite de control controla los satélites remotos para crear haces separados espacialmente. En una realización ventajosa, el satélite de control controla los satélites remotos de modo que ningún haz vecino utilice el mismo espectro de señal de frecuencia para mitigar la interferencia de la señal. En una realización ventajosa, el satélite de control controla los satélites remotos para reutilizar señales de frecuencia para permitir la reutilización del espectro de señal de frecuencia de alto rendimiento.

50 En una realización ventajosa, el satélite de control agrega señales de los satélites remotos y las retransmite a la Tierra o a otro satélite a una frecuencia más alta. En una realización ventajosa, el satélite de control las agrega y traslada la frecuencia de una multitud de señales de los satélites remotos y retransmite las señales en bandas de frecuencias más altas para comunicarse de regreso a la Tierra o al espacio. En una realización ventajosa, el satélite de control permite el procesamiento de ancho de banda de alto rendimiento. En una realización ventajosa, el satélite de control distribuye el procesamiento de la señal entre los satélites remotos para crear una matriz distribuida y reutilizar el espectro en la formación de un haz. En una realización ventajosa, el sistema de apertura distribuida es de magnitudes mayores que las aberturas de los satélites remotos.

5 En una realización ventajosa, los satélites remotos mantienen una distancia predeterminada o dinámica entre sí. En una realización ventajosa, los satélites remotos mantienen la distancia entre sí utilizando fuerzas gravitacionales de primer orden. En una realización ventajosa, los satélites remotos están dentro de un plano que es substancialmente ortogonal al radio de la tierra. En una realización ventajosa, los satélites remotos mantienen una distancia entre sí mediante acoplamiento electromagnético entre los satélites remotos.

En una realización ventajosa, la matriz tiene una geometría de formación de vuelo volumétrica que reduce las pérdidas por coseno y aumenta la huella. En una realización ventajosa, la forma volumétrica minimiza las actuaciones de control de posición. En una realización ventajosa, los algoritmos de procesamiento de señal de matriz se adaptan dinámicamente al satélite remoto que gira a lo largo de una trayectoria de una elipse.

10 En una realización ventajosa, la matriz de satélites remotos se encuentra en el espacio y el área combinada recibe, amplifica y redirige las señales hacia y desde la Tierra o el espacio. En una realización ventajosa, la matriz de satélites remotos permite una multitud de aplicaciones comerciales, de telecomunicaciones, científicas, educativas y/o de conciencia de la situación, incluidas las comunicaciones, la observación de la tierra, el radar, el radar de apertura sintética (SAR), el AIS, el análisis meteorológico, la Internet de las cosas, la recogida y retransmisión de  
15 señales, la comunicación y observación del espacio profundo, y/o la localización geográfica.

En una realización ventajosa, el sistema comprende además una pluralidad de matrices de satélites remotos situados en diferentes inclinaciones u órbitas para mejorar el tiempo de revisión y la cobertura simultánea de la Tierra formando una constelación de matrices de satélites remotos. En una realización ventajosa, el sistema distribuye el procesamiento de señales entre una multitud de satélites remotos para crear una matriz distribuida para reutilizar espectros de frecuencia. En una realización ventajosa, la matriz proporciona conectividad directa a los  
20 dispositivos del usuario final.

En una realización ventajosa, cada uno de los satélites remotos forma un haz, y en donde el haz está precompensado en función de las efemérides del satélite y de la latitud-longitud del centro del haz, para el desplazamiento de frecuencia Doppler inducido por el satélite. En una realización ventajosa, cada uno de los  
25 satélites remotos forma un haz, y en donde el haz está precompensado en función de las efemérides del satélite y de la latitud-longitud del centro del haz, para un retardo de modo que el retardo total inducido por el satélite remoto en cada centro del haz sea una constante. En una realización ventajosa, cada uno de los satélites forma un haz, y en donde el haz se compensa previamente en función del desplazamiento de frecuencia Doppler inducido por el satélite.

30 Los dibujos

Se describirán varias realizaciones de la invención a continuación con referencia a los dibujos en los que

las FIGS. 1(a), (b) muestran el sistema de comunicación por satélite conforme a la realización preferida de la invención;

las FIGS. 2(a) y 2(b) son diagramas de bloques del sistema de la FIG. 1;

35 la FIG. 3 muestra la temperatura de ruido en un receptor de canal único;

la FIG. 4 es un sistema receptor en matriz general para cada satélite 302 pequeño y para la matriz 300 de satélites en su conjunto;

las FIGS. 5(a), (b), (c) muestran las huellas de comunicación sobre la Tierra y la conmutación del haz;

40 la FIG. 6 muestra una disposición alternativa de satélites pequeños en una matriz que tiene una configuración trapezoidal;

la FIG. 7(a) muestra la formación entrando en la huella de la matriz de la FIG. 6;

la FIG. 7(b) muestra la formación en medio de la huella de la matriz de la FIG. 6;

la FIG. 7(c) muestra la formación abandonando la huella de la matriz de la FIG. 6;

las FIGS. 8(a), 8(b), 8(c) muestran la conmutación del haz;

45 las FIGS. 9(a), 9(b) muestran patrones de radiación; y

la FIG. 10 muestra el diseño de frecuencia de celda de la huella.

Descripción detallada

Al describir las realizaciones preferidas de la presente invención ilustradas en los dibujos, se recurre a una terminología específica por razones de claridad. Sin embargo, la presente invención no pretende limitarse a los

términos específicos así seleccionados, y debe entenderse que cada término específico incluye todos los equivalentes técnicos que operan de manera similar para lograr un propósito similar.

Volviendo a los dibujos, la FIG. 1(a) muestra el sistema de comunicación satelital o HTFS 100 conforme a una realización ejemplar, ilustrativa y no limitativa de la invención. El sistema de satélites o la formación 100 de satélites incluye una pluralidad de elementos pequeños o muy pequeños, tales como satélites 302 pequeños o muy pequeños (por ejemplo, satélites esclavos o remotos) y un satélite 200 controlador local y de retransmisión (por ejemplo, un satélite maestro o central, también referido aquí como el satélite de control). Los satélites 302 pueden ser cualquier satélite adecuado tal como, por ejemplo, satélites 302 muy pequeños controlados por altitud que son de tamaño muy pequeño y pueden ser ligeros (por ejemplo, <1,5 kg de peso). Como alternativa, muchos elementos de antena pueden integrarse en un único conjunto, siendo la ventaja de esto que parte del espacio intersticial entre elementos también puede ser utilizado por las células solares para mejorar la potencia disponible para esos elementos. Por ejemplo, como se muestra, cada satélite remoto puede tener un alojamiento 304 que alberga cuatro antenas 306 que pueden conectarse eléctricamente entre sí mediante un cable. Para facilitar la ilustración, en la FIG. 1(a) solamente se muestran tres alojamientos 304 remotos de satélite.

Los satélites 302 remotos funcionan en órbita terrestre baja (LEO). Los pequeños satélites 302 operan por debajo del cinturón de plasma de Van Allen a 1.400 km porque operar por encima del cinturón de Van Allen requiere componentes reforzados para el espacio más caros. Sin embargo, la invención no se limita a operar en ninguna órbita particular o en ninguna combinación de órbitas, y se pueden utilizar otras órbitas adecuadas en todas las órbitas LEO, MEO y GEO, incluso por encima del cinturón de Van Allen.

El sistema 100 (que incluye el satélite 200 central y los pequeños satélites 302) tiene dos configuraciones principales: una configuración de operación y una configuración de transporte o almacenamiento. En la configuración de operación, una pluralidad de los satélites 302 pequeños se alinean juntos en el espacio para formar una matriz 300. En una realización de ejemplo, se proporcionan mil (1.000) satélites 302 pequeños, aunque se puede proporcionar cualquier número de satélites 302 pequeños, incluyendo substancialmente más o menos de 1.000. La matriz 300 forma una matriz 300 espacial muy grande. En la realización de ejemplo de 1.000 satélites 302 pequeños, la matriz 300 puede tener más de 500 metros de ancho y/o de alto. En la configuración de matriz, las antenas de satélites 302 pequeños forman un sistema de apertura combinada en el espacio y son equivalentes a una antena grande que mejora la comunicación con la Tierra. Los satélites 302 remotos, en esencia, se fraccionan en el sentido de que proporcionan una antena de matriz en fase distribuida, en lugar de una matriz monolítica o conectada.

También en la configuración de operación, la matriz 300 se forma alrededor del satélite 200 central. La matriz 300 está posicionada y configurada para mirar a la Tierra. Es decir, la matriz 300 define una superficie superior que puede ser lineal o curva, y esa superficie superior generalmente mira a la Tierra. El satélite 200 más grande se coloca substancialmente en el centro de masa de la formación de la matriz 300. Los satélites pequeños se pueden colocar desde a unos pocos centímetros hasta aproximadamente a 20 metros de distancia entre sí.

Además, el sistema 100 y los satélites 302 pequeños se pueden colocar en una configuración de almacenamiento o transporte. Los satélites 302 pequeños son dispositivos discretos separados y no están físicamente conectados entre sí. Los pequeños satélites 302 pueden consolidarse o combinarse para el almacenamiento y el transporte y luego alinearse en la gran matriz 300 de satélites en el espacio. Por ejemplo, en la configuración de transporte, se pueden colocar múltiples satélites 302 pequeños juntos en un único contenedor de transporte, tal como una caja, para el transporte en un cohete o en otro dispositivo de transporte o nave espacial. Una vez que el contenedor o los contenedores de transporte alcanzan una posición de descarga en el espacio en una órbita deseada, el contenedor de transporte puede abrirse y los pequeños satélites 302 pueden descargarse. Los pequeños satélites 302 pueden maniobrar automáticamente por sí mismos y/o con la ayuda del satélite 200 de control, para entrar en la matriz de configuración de operación en el espacio. El satélite 200 central puede estar ya posicionado en el espacio. O el satélite 200 central puede transportarse en un contenedor de transporte separado y colocarse por separado en el espacio antes o después de que se forme la matriz 300.

Esto reduce el espacio requerido por los pequeños satélites 302 durante el transporte, pero permite que los pequeños satélites 302 formen una gran matriz cuando están en la configuración de operación. Los satélites 302 pequeños pueden ocupar un espacio de unos pocos metros cuadrados dependiendo de la cantidad de satélites 302, que se convierten en muchos metros cuadrados cuando se despliegan en el espacio. Esto también reduce substancialmente la complejidad de la matriz 300 y la masa de lanzamiento porque no se necesitan miembros estructurales para conectar los pequeños satélites 302 entre sí o al satélite 200 controlador en la configuración de operación. Por lo tanto, la matriz 300 de satélites se puede formar con una intervención humana mínima (tal como descargar los satélites 302 del contenedor de transporte y de la nave espacial), e incluso se puede formar sin ninguna intervención humana física (tal como construir un almacén u otra estructura para la matriz). Además, se pueden proporcionar múltiples matrices 300 en varios lugares del espacio para formar una constelación de matrices 300 de satélites para obtener una cobertura de comunicación completa de la Tierra. Por ejemplo, se pueden proporcionar aproximadamente 50-100 matrices 300 situadas en órbitas LEO para obtener una cobertura continua completa de la Tierra.

Debe observarse que los satélites 302 remotos pueden moverse y colocarse de cualquier manera adecuada. En una realización mostrada en las FIGS. 2(a), 2(b), los satélites 302 remotos y el satélite 200 central están provistos de bobinas 314 electromagnéticas y magnetopares 316 para mover los satélites 302 remotos.

5 En más detalle, la FIG. 2(a) es un diagrama de bloques de los satélites 302 remotos pequeños o muy pequeños. Los satélites 302 remotos incluyen un dispositivo 306 de procesamiento, transceptores 308 de radio en comunicación a través de una antena 310, un GPS 312, bobinas 314 electromagnéticas, magnetopares 316, administración 320 de potencia eléctrica, disipación 322 de calor, energía 324 solar y energía 326 de baterías. Los componentes de los satélites 302 remotos se dividen en dos partes: aquellas relacionadas con la administración de potencia y aquellas relacionadas con el uso de la energía. La energía eléctrica se obtiene de diferentes fuentes como el calor, la luz o de productos químicos. Estos componentes son la disipación 322 de calor, la energía 324 solar y la energía 326 de baterías, respectivamente. Las comunicaciones entre satélites 302 remotos o entre un satélite 302 remoto y el satélite 200 central se realizan mediante el transceptor 308 de radio y la antena 310.

15 La FIG. 2(b) es un diagrama de bloques del sistema electromagnético para mantener una posición relativa constante entre los satélites 302 remotos y entre los satélites 302 remotos y el satélite 200 central. Con referencia a las FIGS. 2(a) y 2(b), el posicionamiento del satélite se realiza en términos de distancia  $x$  y ángulo  $y$ . El ordenador de a bordo o el dispositivo 306 de procesamiento calcula las maniobras requeridas para mantener una distancia  $x$  deseada predeterminada o determinada dinámicamente (que puede ser variable o aleatoria) y el ángulo  $y$  y del satélite 302 remoto con respecto a los otros satélites 302 remotos y con respecto al satélite 200 central. Lo hace comparando la posición relativa del satélite 302 remoto con los otros satélites 302 remotos y con el satélite 200 central. Las bobinas 20 314 electromagnéticas generan fuerzas electromagnéticas para lograr el movimiento al cambiar la distancia relativa entre el satélite 302 remoto y otros satélites 302 remotos o entre el satélite 302 remoto y el satélite 200 central. Se observa que la FIG. 2(b) muestra la distancia y el ángulo entre los satélites 302 remotos y el satélite 200 central. Se apreciará que la distancia y el ángulo también se mantienen entre los satélites 302 remotos, de la misma manera.

25 El magnetopar 316 genera rotaciones alrededor del centro de masa del satélite para controlar el ángulo y con respecto a otros satélites 302 remotos o con respecto al satélite 200 central. El sistema 312 de posicionamiento global compara la posición relativa del satélite con respecto a la posición global.

30 El satélite 200 central es la referencia de la matriz de satélites y tiene que conocer su posición global por medio del GPS 202, pero no necesita conocer su posición relativa. Por lo tanto, el satélite 200 central no utiliza magnetopares (como en los satélites remotos), solamente bobinas 204 electromagnéticas. El sistema de vuelo de formación electromagnética mantiene la distancia  $x$  deseada y el ángulo  $y$  deseado y entre cada satélite 302 pequeño y/o el satélite 200 central, generando fuerzas electromagnéticas y/o rotaciones. Las bobinas 314 electromagnéticas controlan la distancia  $x$  comparando su posición con respecto a la obtenida del sistema 312 de posicionamiento global.

35 Se reconocerá, sin embargo, que el GPS 312 es opcional en el satélite 302 remoto. El satélite 200 central incluye un GPS 202, lo que significa que los satélites 302 remotos solamente necesitan conocer su posición relativa al vecino y/o a los satélites 302 remotos circundantes y la posición relativa entre ese satélite 302 remoto y el satélite 200 central. Sin embargo, uno o más de los satélites 302 remotos de la matriz 300 pueden usar el GPS 312 para determinar su posición global para facilitar aún más el posicionamiento del satélite 302 remoto. En ese caso, es posible que se omita el GPS 202 del satélite central y que el satélite 200 central solamente use su posición relativa a uno o más de los satélites 302 remotos.

40 Los magnetopares 316 controlan el ángulo y midiendo la posición relativa. Las correcciones se realizan a través de varias maniobras hasta que la posición y el ángulo son estables. Luego, solamente se requieren correcciones cuando se produce una perturbación como partículas altamente cargadas (es decir, rayos cósmicos, partículas cargadas del cinturón de Van Allen, etc.) que impactan en un satélite en particular. El viento solar, la rotación de la órbita o la interacción entre satélites no se consideran perturbaciones porque son predecibles y son parte de las maniobras.

45 Se observa que el electromagnetismo se utiliza para mantener la distancia entre los satélites 302 remotos dentro de un rango de operación y entre los satélites 302 remotos y el satélite 200 de control dentro de un rango de operación. Sin embargo, la invención también utiliza fuerzas gravitacionales de primer orden entre los satélites 302 remotos y la Tierra y entre el satélite 200 de control y la Tierra, así como también debido a la órbita natural de los satélites 302 remotos y del satélite 200 de control. La invención posiciona los satélites 302 remotos y el satélite 200 de control para hacer uso de esa fuerza gravitacional y minimizar la cantidad de posicionamiento que se debe hacer usando el electromagnetismo u otras fuerzas externas. Además, las fuerzas de gravedad crean una órbita para los satélites 302, 200. La invención utiliza la órbita natural de los satélites 200, 302 para mantener la posición de los satélites 302 remotos en la matriz 300, así como la posición del satélite 200 de control con respecto a los satélites 302 remotos. Finalmente, la matriz 300 y el satélite 200 de control giran naturalmente, y la matriz 300 y la posición de los satélites 200, 302 están configurados para tener en cuenta la rotación natural y minimizar los ajustes de posición de los satélites 200, 302 necesarios debidos a esa rotación. Por ejemplo, el satélite 200 de control puede utilizar un algoritmo para adaptarse dinámicamente a la rotación de forma volumétrica de los satélites 302 remotos, y/o para

adaptarse dinámicamente a la posición relativa de los satélites remotos y del objeto o la geografía del haz objetivo. Ese algoritmo puede explicar las fuerzas gravitacionales, la órbita natural y la rotación.

Las FIGS. 1(a), 1(b), 2(a), 2(b) son diagramas de bloques del sistema 100 que muestran las comunicaciones del satélite 200 central a los satélites 302 muy pequeños por medio de una red de comunicación inalámbrica. Los satélites 302 remotos incluyen un controlador 304 remoto (p. ej., un procesador o dispositivo de procesamiento) con una interfaz de control, una antena y un transmisor y/o receptor 306. El transmisor/receptor 306 se comunica con el satélite 200 controlador por ejemplo a través de una red de comunicación inalámbrica. Los satélites 302 funcionan con células solares y tienen un condensador o una batería recargables para eclipses o similares.

Los satélites 302 pueden incluir un sistema de aviónica que incluye electromagnetismo o similar para colocar los satélites 302 en la formación de matriz que es controlada por el controlador 304. El sistema de aviónica mantiene el satélite 302 a la altitud, localización y orientación adecuadas de modo que se maximicen las comunicaciones con los dispositivos en la Tierra y la huella de comunicación y también para mantener los satélites 302 juntos en una formación de matriz 300. El satélite 302 remoto también puede comunicarse con otros satélites 302 remotos para lograr la aviónica adecuada.

Se utilizan fuerzas electromagnéticas entre los pequeños satélites 302 remotos y el satélite 200 de control para mantener los satélites 302 remotos en formación y alineación y para la distribución de potencia. La masa adicional asociada con la generación de fuerzas magnéticas es mucho menor que la masa de las conexiones estructurales entre los elementos y, potencialmente, su mecanismo de despliegue.

El satélite 200 controlador central se proporciona para cada matriz 300. En una realización, el satélite 200 controlador puede ser un CubeSat o un satélite pequeño. El satélite 200 controlador se comunica con cada uno de los satélites 200 pequeños. Por ejemplo, el satélite 200 controlador puede tener un controlador central (p. ej., un procesador o dispositivo de procesamiento) que se comunica con el controlador 304 remoto de cada uno de los satélites 302 remotos. El controlador central puede controlar el funcionamiento de los satélites 302 remotos por medio del controlador remoto 304, por ejemplo, durante las comunicaciones normales entre el satélite 200 central, los satélites 200 remotos y la estación terrestre, y puede implementar órdenes a los satélites 200 remotos que se reciben desde la estación de tierra. El controlador central puede controlar la formación de los satélites 302 remotos en la matriz 300. El controlador central también puede colocar el satélite 200 central para evitar el sombreado u oclusión electromagnética por la matriz 300 y controlar las frecuencias de comunicación durante el despliegue y la operación.

Los satélites 302 remotos pueden tener cualquier forma. Además, la matriz 300 de satélites tiene forma cuadrada, rectangular, hexagonal o circular, con los satélites 302 remotos alineados entre sí en filas y columnas, por lo que la matriz es una matriz bidimensional (es decir, las filas y matrices están en una coordenada x e y). Los satélites 302 remotos se controlan para estar separados entre sí por una distancia predeterminada (o en una realización alternativa, las distancias pueden variar para cada satélite 302 remoto y pueden controlarse dinámicamente en el satélite 302 remoto y/o el satélite 200 de control). Sin embargo, se puede proporcionar cualquier tamaño y forma adecuados para los satélites 302 y para la matriz 300 de satélites, así como para el espaciado, y la matriz puede ser tridimensional.

En referencia a la FIG. 1(b), se muestra el esquema de comunicación. El terminal 500 del usuario final se comunica con una multitud de satélites 302 a través de una frecuencia de menos de 2 GHz. Esta frecuencia se llama frecuencia Tx del usuario final. Como se muestra, y como se examina más exhaustivamente con respecto a la FIG. 10 a continuación, las celdas de la huella en el suelo se comunican en una de entre cuatro frecuencias diferentes. Es decir, el terminal 500 del usuario final en una primera celda de la huella se comunica a una primera frecuencia  $F_1$ , el terminal 500 del usuario final en una segunda celda de la huella se comunica a una segunda frecuencia  $F_2$ , el terminal 500 del usuario final en una tercera celda de la huella se comunica a una tercera frecuencia  $F_3$ , y el terminal 500 del usuario final en una cuarta celda de la huella se comunica a una cuarta frecuencia  $F_4$ . Por lo tanto, las frecuencias  $F_1$ - $F_4$  se reutilizan varias veces (es decir, para comunicarse con terminales del usuario final localizadas en múltiples celdas diferentes de la huella), lo que permite un ancho de banda de alto rendimiento. Múltiples terminales 500 del usuario final que se encuentran en la misma celda (por ejemplo, la primera celda de la huella), pueden comunicarse sobre la misma frecuencia (es decir, la primera frecuencia  $F_1$ ) mediante el uso de multiplexación por división de tiempo u otro esquema de transmisión adecuado.

La multitud de satélites 302 y el satélite 200 de control forman una red inalámbrica WiFi para comunicarse entre ellos a fin de agregar las señales de recepción del satélite 302 en el satélite 200 de control y ayudar al sistema de posicionamiento por satélite. Como se muestra, puede haber múltiples satélites 200 de control que se comunican entre sí o con una matriz 300 determinada. El satélite 200 de control se comunica con una puerta de enlace 600 (que, por ejemplo, puede localizarse en una estación terrestre en la Tierra) a través de una frecuencia alta como la Banda KA o la Banda V, que a su vez se comunica con Internet, con sistemas móviles o con una red privada (por ejemplo, a través de un enlace de fibra óptica o de otro enlace). Esta frecuencia es llamada frecuencia de puerta de enlace de enlace descendente. La puerta de enlace 600 se comunica de nuevo con el satélite 200 de control, también a través de una alta frecuencia. Esta frecuencia es llamada frecuencia de puerta de enlace de enlace ascendente.

5 El satélite 200 de control y la multitud de satélites 302 forman una red inalámbrica Wifi para comunicarse entre ellos. Por lo tanto, el satélite 200 de control puede distribuir señales a diferentes satélites 302 pequeños de tal manera que las señales de transmisión a la Tierra generen la formación 400 de un haz específico en el campo de visión de la Tierra. La multitud de pequeños satélites 302 transmiten en respuesta a los dispositivos 500 del usuario final. Esta frecuencia se denomina frecuencia RX del usuario final y puede ser una frecuencia baja. La  $F_1$  Rx está en la misma banda, pero a diferente frecuencia que  $F_1$  Tx. La misma frecuencia de transmisión se reutiliza en varias celdas, es decir,  $F_1$  Tx es la misma en cada una de las múltiples celdas  $F_1$  y la  $F_1$  Rx es la misma en cada una de las múltiples celdas  $F_1$ ; y la  $F_4$  Tx es la misma en cada una de las múltiples celdas  $F_4$ , y la  $F_4$  Rx es la misma en cada una de las múltiples celdas  $F_4$ , etc.

10 Las frecuencias principales son la frecuencia Tx de transmisión del usuario final, la frecuencia Rx de recepción del usuario final, la frecuencia de la red (entre los satélites 302 remotos y el satélite 200 central), la frecuencia de la puerta de enlace del enlace descendente y la frecuencia de la puerta de enlace del enlace ascendente. La frecuencia Tx del usuario final, por ejemplo, puede ser la banda LTE 31. La frecuencia Rx del usuario final de puede ser la banda LTE 31. La frecuencia de la red WiFi AC puede ser de 5 GHz. La frecuencia de la puerta de enlace del enlace descendente puede ser la banda Ka. Y la frecuencia de la puerta de enlace del enlace descendente puede ser la banda Ka.

20 Por lo tanto, los enlaces ascendente y descendente entre el satélite 200 controlador y la puerta de enlace terrestre (situada en la Tierra) se realizan a través de una alta frecuencia, y el sistema puede diseñarse para comunicarse con otros sistemas de satélites en el espacio a través de diferentes bandas de comunicación para reducir la cantidad de puertas de enlace requeridas en la Tierra. Por lo tanto, los satélites 302 se comunican con el dispositivo o terminales del usuario final en bajas frecuencias y con el satélite 200 central a través de una red de comunicación inalámbrica equivalente a WiFi. El sistema es capaz de operar en dispositivos de usuario de conexión de baja frecuencia y en el terminal de usuario directamente desde y hacia la matriz 300 usando frecuencias bajas preferidas para una pérdida por obstáculos moderada. Ejemplos de bandas de frecuencia dentro del rango de 100 MHz–2 GHz.

25 El G/T y EIRP (potencia radiada isotrópica equivalente) de la matriz del sistema de antena distribuida en el espacio determina el número de bits por hercio, la reutilización de frecuencia y la potencia requerida en cada satélite pequeño o muy pequeño. Para derivar esto, la FIG. 3 muestra la temperatura de ruido en un receptor de canal único. Lo siguiente deriva el G/T de la matriz de antenas de la matriz 300 de satélites de un modelo de receptor de canal único.

30 La FIG. 4 es un sistema de recepción de matriz general para cada satélite 302 pequeño y para la matriz 300 de satélite en su conjunto. La potencia de la señal en la salida de la red de formación de haz es:

$$S_o = P_o G_m \left| \sum_{n=1}^N \left( \sqrt{G_{en}} \right) a_n \exp(j\theta_n) \right|^2$$

35 donde  $P_o$  es la salida de potencia de la antena isotrópica sin pérdidas,  $G_{en}$  es la ganancia del elemento de antena de matriz,  $G_n$  es la ganancia disponible de un canal desde la salida del enésimo elemento de antena hasta la salida del formador de haz,  $G_m$  es el valor máximo de  $G_n$  utilizado para la normalización y  $a_n = \text{Sqrt}(G_n/G_m)$  es la reducción de amplitud efectiva de la función de transferencia del canal del enésimo receptor.  $\theta_n$  es el desplazamiento de fase total del enésimo canal receptor con respecto al del canal de referencia, teniendo en cuenta la dirección del haz y/o una reducción gradual de fase.

Sustituyendo la ganancia de potencia de una antena de matriz

$$G_a = \left| \sum_{n=1}^N \left( \sqrt{G_{en}} \right) a_n \exp(j\theta_n) \right|^2 / \sum_{n=1}^N a_n^2$$

40 en la ecuación anterior, obtenemos

$$S_o = P_o G_a G_m \sum_{n=1}^N a_n^2$$



El sistema receptor de la matriz puede estar representado por una antena única equivalente con salida  $P_o G_a$  y un receptor de dos puertos con

$$G_{rec} = G_m \sum_{n=1}^N a_n^2 = \sum_{n=1}^N G_n$$

La temperatura de ruido de entrada efectiva del receptor de matriz es

$$T_{rec} = \frac{\sum_{n=1}^N G_n T_n}{G_{rec}} = \frac{\sum_{n=1}^N G_n T_n}{\sum_{n=1}^N G_n}$$

5

El exceso de densidad de ruido de salida es

$$N_o = k T G_{rec} + k T_0 (1 - G_c)$$

Por lo tanto, la temperatura de ruido es

$$T_{rec} = T + \frac{T_0}{G} \left( \frac{1}{G_c} - 1 \right)$$

10 Para la cobertura de haces múltiples de enlace descendente, seleccionamos el tamaño de la matriz  $n \times n$ , es decir, su ganancia y temperatura de ruido para cumplir con las intensidades de campo,

$$E = \frac{\sqrt{30 P_T G_T}}{r} \text{ V/m}$$

15 según la Tabla 1 a continuación, donde la formación de la matriz de satélites mantiene la misma intensidad de campo del satélite (arriba) que la que proporcionan las estaciones base terrestres que se usan en los sistemas móviles (abajo).

Tabla 1

Sistema móvil	TIS promedio [dBm]	Intensidad del campo eléctrico [mV/m]
GSM900	-91,8 dBm	177 $\mu$ V/m
GSM1800	-93,7 dBm	277 $\mu$ V/m
UMTS900	-96,4 dBm	104 $\mu$ V/m
UMTS2100	-99,6 dBm	163 $\mu$ V/m

20 Como se ilustra mejor en la FIG. 5, el satélite 200 de control de cada formación 100 de satélites puede manejar la conmutación del haz. Por ejemplo, una región dada (por ejemplo, con un diámetro de 400 km) se designa con un índice de haz correspondiente a un conjunto particular de longitudes y latitudes, y los haces se asignan en todo el mundo teniendo cada haz un índice único. Esa información puede almacenarse en la memoria en el satélite 200 de control. El satélite 200 de control (por ejemplo, basándose en su posición global determinada a partir de su GPS 202) determina a qué haz debe transmitir en un momento dado. En una realización preferida de la invención, cada haz se comunicará solamente con una única formación 100 de satélites. En consecuencia, no hay solapamiento en los haces, o solapamiento mínimo, y las formaciones 100 de satélite realizarán la conmutación del haz a medida que las formaciones 100 se mueven dentro y fuera de un haz particular. Para minimizar la conmutación del haz, la

25

formación 100 de satélites asignada a un haz particular será la formación 100 de toda la constelación de formaciones 100, que cubre la localización de ese haz durante la mayor duración, es decir, el período de tiempo. Los satélites 200 de control pueden comunicar su posición a los otros satélites 200 de control para facilitar la operación de conmutación del haz.

5 Las FIGS. 5(a)-5(c) representan el protocolo de comunicación para la conmutación de haces con el fin de ilustrar la invención. Se muestran tres huellas 400 (fijas) de haces múltiples. Muchas huellas fijas teselan (es decir, cubren) la Tierra, tal vez con cierto solapamiento entre las huellas. La FIG. 5 muestra una formación 100 de satélites (que incluye el satélite 200 de control y la matriz 300) mientras orbita alrededor de la Tierra y se acerca a una huella (FIG. 5(a)), luego pasa sobre esa huella (FIG. 5(b)), y finalmente se aleja de esa huella (FIG. 5(c)). Una primera formación 100 de satélites proporciona cobertura de comunicación para una primera huella de haces múltiples dada hasta que unos haces múltiples adyacentes están en su nadir (inmediatamente debajo del satélite). En este punto, la primera formación 100 conmuta para atender a una segunda huella de haces múltiples adyacente debajo de ella. Simultáneamente, una segunda formación ascendente conmuta su huella de haces múltiples para proporcionar cobertura continua a la primera huella de haces múltiples. El cambio de haz ocurre en la formación en función de sus efemérides, es decir, cuando comienza a abandonar la huella de haces múltiples y otra formación comienza a atender a la huella de haces múltiples. El satélite 200 de control puede comunicar el protocolo de comunicación apropiado (frecuencia, etc.) a los satélites 302 remotos. Aunque la conmutación del haz se describe como siendo realizada por el satélite 200 de control, puede ser realizada por uno o más de los satélites 302 remotos.

20 El satélite 200 de control ordena a los satélites 302 remotos enviándoles los coeficientes de formación del haz. El satélite 200 controlador, en banda Ka o frecuencia más alta, se basa en la agregación de los haces de la matriz 300. La agregación de todos los haces debe ser comunicada por el satélite de control a la estación terrestre (y desde allí a la nube de la red) a través de su enlace descendente de alta frecuencia, mientras distribuye los datos enlazados ascendentemente a él en la banda Ka a los diversos satélites muy pequeños para comunicarse con los dispositivos de mano.

25 Pasando a la FIG. 6, se muestra una matriz 500 conforme a una realización alternativa de la invención. La matriz 500 está formada por los pequeños satélites 302 que se colocan en una configuración trapezoidal que tiene substancialmente la forma de un tronco de una pirámide con una matriz inferior 502 y matrices laterales 504a-504d. Es decir, la matriz inferior 502 está formada por pequeños satélites 302e colocados en filas y columnas a lo largo de las trayectorias de elipses para formar una matriz 502 base de satélites. Y cada una de las matrices laterales 504a-504d (matriz 504a lateral delantera, matriz 504b lateral derecha, matriz 504c lateral trasera y matriz 504d lateral izquierda) están formadas por los pequeños satélites 302 que se colocan en filas y columnas a lo largo de las trayectorias de elipses ortogonales al radio de la Tierra.

35 En la FIG. 6 se muestran varios satélites 302c, 302d, 302e pequeños para ilustrar la matriz 500 trapezoidal, aunque se reconocerá que toda la matriz 500 trapezoidal está compuesta por pequeños satélites 302 colocados a lo largo de la base 502 y los lados 504 de la matriz 500. Por ejemplo, la matriz 504c lateral está formada por pequeños satélites 302c alineados en columnas y filas a lo largo de las trayectorias de elipses ortogonales a los radios de la Tierra y la matriz 504d lateral está formada por pequeños satélites 302d que alineados en columnas y filas a lo largo de la trayectoria de elipses ortogonales a los radios de la Tierra. La matriz 502 inferior puede ser substancialmente cuadrada o rectangular o una elipse y las matrices 504 laterales pueden tener substancialmente una forma trapezoidal isósceles. Por lo tanto, las matrices 504a-504d laterales están en ángulo hacia afuera desde la superficie plana de la matriz 502 inferior, y pueden ser adyacentes entre sí o estar separadas. Notablemente, sin embargo, cada una de las matrices 502, 504a-504d son substancialmente ortogonales al radio de la Tierra.

45 Como se ilustra adicionalmente en la FIG. 6, los pequeños satélites 302 están todos posicionados en la misma dirección 510 orientada hacia adelante, que es substancialmente perpendicular a la superficie plana de la matriz 502 inferior. Es decir, los pequeños satélites 302 tienen cualquier forma y tienen una superficie plana superior orientada hacia adelante. La superficie superior mira en la dirección 510 de la Tierra, por lo que las superficies planas de los satélites remotos son substancialmente ortogonales a la superficie de la Tierra (es decir, ortogonales al radio de la tierra). La matriz se coloca para cubrir las áreas de nadir. Para una huella grande, el haz del nadir no está mirando directamente a otros dominios de la huella. Para cubrir estas regiones, proporcionamos cuatro caras más, inclinadas respecto al plano del nadir.

50 El trapecoide o cualquier configuración volumétrica equivalente de matriz 500 dirige las señales a la región directamente, o casi, para que la pérdida por coseno en las señales transmitidas hacia/desde la estación terrestre de la Tierra sea manejable, y reduce las pérdidas por coseno. El satélite 200 de control está situado en el centro de masas de la matriz 500. La "pérdida por coseno" es el coseno del ángulo de la normal al plano a la línea que une el centro del plano a la región a la que se está mirando. Dado que el coseno siempre es menor o igual a 1, siempre es una pérdida y nunca una ganancia, y cuanto mayor sea el ángulo, mayor será la pérdida. Los planos adicionales a 502, 504a-d en la FIG. 6, del trapecio se proporcionan para reducir esa pérdida.

60 Se observa además que la base 502 y los lados 504 se muestran planos con dimensiones planas y esquinas anguladas donde se cruzan. Cabe señalar que la forma puede ser más curva, con dimensiones curvas y esquinas curvas según la forma de una elipse. Y se pueden proporcionar otras configuraciones de la matriz que tengan

diferentes formas de matriz, incluidas formas tridimensionales o formas polimétricas. Además, la matriz 500 puede orientarse con respecto a la Tierra de cualquier manera adecuada para apuntar bien a la Tierra 510 o bien al espacio 512.

5 Las FIGS. 7(a)-7(c) muestran el uso de asignación de haz a subformación en función de efemérides en aplicaciones de comunicaciones de banda ancha de la invención, donde la FIG. 7(a) muestra la formación entrando en la huella en la Tierra, la FIG. 7(b) muestra la formación en medio de la huella, y la FIG. 7(c) muestra la formación abandonando la huella. Los límites en la huella muestran las subformaciones que se utilizan para cubrir los haces. Aquí, los haces Tx y Rx se cambian a/desde la formación seleccionada. El cambio puede ser comunicado mediante el satélite 200 central. Las figuras muestran el tránsito satelital del centro de la huella, pero también es posible el tránsito de huella fuera del centro. La figura ilustra la asignación de haces a las diversas caras del tronco cuando la formación pasa sobre la huella. También ilustra que no todas las caras activas del tronco están necesariamente activas en un momento dado.

15 Las FIGS. 8(a), 8(b) muestran un protocolo de comunicación alternativo a las FIGS. 5, 7 como otro ejemplo no limitativo de una operación de conmutación de haces. En la FIG. 8(a) (como en las FIGS. 5, 7), toda la Tierra se divide en numerosos haces 450 y se asigna a cada haz un índice de haz único. Esa información puede almacenarse en la memoria en los satélites 200 de control. La formación 100 de satélites se muestra en la órbita 102 alrededor de la Tierra. A medida que la formación 100 viaja en la órbita 102, su huella 104 se mueve a lo largo de la superficie de la Tierra, por lo que la formación 100 de satélites puede comunicarse con los haces 450 que están dentro de su huella 102. Por lo tanto, a medida que la formación de satélites orbita la tierra, la huella 104 de la formación 100 de satélites se mueve desde la posición mostrada en la FIG. 8(a) a la posición mostrada en la FIG. 8(b). Además, haciendo referencia a la FIG. 8(c), puede haber múltiples formaciones 100 de satélites en una única órbita 102. Como se ilustra en la FIG. 8(c), seis formaciones 100 de satélites (se muestran tres en la mitad de la tierra que se ilustra) pueden estar en una única órbita 102. Las huellas 104 de las formaciones 100 de satélites no se solapan entre sí.

25 Cada haz 450 se asigna únicamente a una formación 100 de satélites en función de la latitud y la longitud del haz 450 y la posición de la formación 100 de satélites. Cuando múltiples formaciones 100 de satélites pueden dar servicio a un haz 450, el haz 450 puede ser asignado a una formación 100 de satélites que puede proporcionar cobertura por más tiempo.

30 Las FIGS. 9(a), 9(b) muestran patrones de radiación (un patrón de radiación es la ganancia de la matriz de antenas en función de su ángulo desde la orientación de la matriz) para una matriz de 64x64 elementos y para una matriz de 16x16 elementos, respectivamente. Un tamaño posible de lámina plana (o placa de circuito impreso) de antena es 80 mm x 80 mm x 2 mm, el espacio entre elementos es 166 mm y la frecuencia es 700MHz. Una antena de lámina plana es un tipo de antena que se puede realizar en una PCB. Hay varios otros tipos, tales como microstrip, etc., que se pueden realizar en una PCB. Se representa el patrón de radiación compuesto de una antena 64X64. Lo que se muestra es el lóbulo estrecho principal y los lóbulos laterales circundantes mucho más pequeños. Puede ser una opción de diseño seleccionar el ángulo del tronco para que una matriz esté en el nulo de otra. El patrón de radiación también muestra dónde están los nulos.

35 Pasando a la FIG. 10, la asignación de frecuencia se muestra para la huella de la matriz 300, para las frecuencias Tx y Rx de transmisión y recepción (que pueden comunicarse sobre una misma banda, pero a diferentes frecuencias). Se muestra la configuración de 4 colores, donde cada color representa una frecuencia diferente. Por lo tanto, solamente se necesitan cuatro colores (es decir, frecuencias) para colorear cualquier mapa de 2 dimensiones de tal manera que no haya dos celdas adyacentes que tengan la misma frecuencia. Si los haces son celdas hexagonales, entonces bastan solamente 4 frecuencias (y son regulares con una alternancia de 2 frecuencias en una fila y una alternancia de otras 2 frecuencias en la siguiente, alternando las filas). Por lo tanto, el factor de reutilización de frecuencia puede ser óptimamente de 4. Sin embargo, incluso cuando la interferencia está restringida a las celdas adyacentes, se ha demostrado que el problema de la coloración óptima del gráfico G de interferencia es NP-completo. Se han ideado varios algoritmos de aproximación para asignaciones fijas. La asignación fija (FA) usa no más de tres veces el número óptimo de frecuencias (o colores). Tomamos el factor de reutilización de frecuencia de 7, teniendo en cuenta que podría reducirse a 4 (ya que los haces de los satélites siguen de cerca una cuadrícula hexagonal y la interferencia que salta una celda es pequeña). Las cuatro frecuencias pueden acomodar b haces (por ejemplo, 500). Suponiendo que cada haz b puede soportar el ancho de banda bw, entonces el rendimiento total será de  $b \times bw$  para cada celda. Por supuesto, se puede proporcionar cualquier número adecuado de frecuencias y celdas de la huella, más o menos de cuatro.

40 La precompensación por retardo y por Doppler mediante la formación se realiza en el satélite 200 central. La formación del satélite, conociendo su efeméride, compensa previamente las variaciones del retardo y Doppler en el centro de cada haz de la huella a la que sirve, de modo que se minimice el Doppler residual visto por un teléfono en cualquier lugar dentro de ese haz y de modo que el retardo visto por el teléfono sea lo más parecido posible a un retardo constante. Las variaciones de Doppler residual y de retardo, después de la precompensación para el centro del haz (en función de las efemérides de formación con respecto al centro de cada haz). Como consecuencia, el teléfono verá variaciones de retardo y de Doppler en posiciones descentradas, pero éstas serán pequeñas (del orden de tres veces lo que podría observarse en un servicio de estación base terrestre).

- 5 Como se describió anteriormente, se utiliza un satélite 200 central para controlar la operación de los satélites 302 remotos, por ejemplo, para controlar la formación, es decir, el posicionamiento de los pequeños satélites 302 para formar la matriz 300, 500 de satélites incluyendo el espacio entre los respectivos satélites 302 remotos. Sin embargo, debe observarse que los satélites 302 remotos (es decir, el controlador 304 remoto) pueden comunicarse entre sí para realizar ciertas operaciones, incluida la formación de la matriz 300, 500 de satélites, en lugar de o además de utilizar el satélite 200 central. Todavía se pueden proporcionar otros componentes en los satélites 302 remotos, tales como un detector o sensor de proximidad, para facilitar la formación de los satélites 302 remotos para lograr una posición predeterminada o dinámica entre los satélites 302 remotos. La formación de la matriz se puede predefinir o ajustar dinámicamente.
- 10 La matriz 300, 500 de antenas grandes funciona efectivamente como una antena grande para el satélite 200 de control, que en sí mismo es un satélite pequeño. Como tal, la matriz 300, 500 de antenas permite una comunicación mejorada entre el satélite 200 de control y la Tierra. En consecuencia, el satélite 200 de control puede transmitir y recibir señales directamente a dispositivos de antena de baja potencia, tales como teléfonos móviles o similares.
- 15 Se observa además que el término "satélite" se usa generalmente para describir los satélites 302 remotos como un elemento, objeto o dispositivo que se puede situar en el espacio.
- 20 En la realización de las FIGS. 1-2, el controlador remoto y/o el controlador central pueden incluir un dispositivo de procesamiento para realizar diversas funciones y operaciones conforme a la invención. El dispositivo de procesamiento puede ser, por ejemplo, un dispositivo informático, un procesador, circuitos integrados específicos de aplicación (ASIC) o un controlador. El dispositivo de procesamiento puede estar provisto de uno o más de entre una amplia variedad de componentes o subsistemas que incluyen, por ejemplo, un coprocesador, un registro, dispositivos y subsistemas de procesamiento de datos, enlaces de comunicación cableados o inalámbricos, y/o dispositivos de almacenamiento tales como memorias, RAM, ROM, memorias analógicas o digitales o bases de datos. Todo o parte del sistema, procesos y/o datos utilizados en la invención pueden almacenarse o leerse del dispositivo de almacenamiento. El dispositivo de almacenamiento puede tener almacenado en el mismo instrucciones ejecutables de la máquina para realizar los procesos de la invención. El dispositivo de procesamiento puede ejecutar software que puede almacenarse en el dispositivo de almacenamiento. A menos que se indique lo contrario, el proceso se implementa preferiblemente de manera automática por el procesador substancialmente en tiempo real sin demora.
- 25 30 La descripción y los dibujos de la presente invención proporcionados en el documento deben considerarse solamente ilustrativos de los principios de la invención. La invención se puede configurar de varias maneras y no se pretende que esté limitada por la realización preferida. Numerosas aplicaciones de la invención se les ocurrirán fácilmente a los expertos en la materia. Por lo tanto, no se desea limitar la invención a los ejemplos específicos descritos o a la construcción y a la operación exactas mostradas y descritas. Por el contrario, se puede recurrir a todas las modificaciones y equivalentes adecuadas, dentro del alcance de la invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema (100) satelital de alto rendimiento, que comprende:  
una matriz (FIG. 1(a)-(b): 300; FIG. 6: 500) de satélites (302) remotos coordinados, teniendo cada satélite remoto una o más antenas (FIG. 1(a): 306; FIG. 2(a): 310) y manteniendo una distancia predeterminada o dinámica entre sí para formar un sistema de apertura combinada en el espacio;  
en donde dicho mantenimiento de una distancia predeterminada o dinámica se realiza utilizando fuerzas gravitacionales de primer orden o acoplamientos electromagnéticos entre los satélites (302) remotos.
2. El sistema de la reivindicación 1, en donde los satélites (302) remotos están fraccionados y además comprenden un satélite (200) de control en comunicación con la matriz distribuida (FIG. 1(a)-(b): 300; FIG. 6: 500) de satélites (302) remotos.
3. El sistema de la reivindicación 2, en donde el sistema (100) comprende dos configuraciones principales: una configuración de operación en la que los satélites (302) remotos se alinean juntos en el espacio para formar la matriz (FIG. 1(a)-(b): 300; FIG. 6: 500) y una configuración de transporte en la que los satélites (302) remotos se combinan para el almacenamiento.
4. El sistema de la reivindicación 2, en donde la matriz recibe señales de baja frecuencia desde la Tierra y el satélite (200) de control transmite señales de mayor frecuencia a la Tierra.
5. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 2-4, en donde dicho satélite (200) de control recibe señales de alta frecuencia desde la estación (600) terrestre y transmite las señales recibidas; y en donde dichos satélites (302) remotos reciben las señales de alta frecuencia y transmiten las señales a los dispositivos del usuario final (FIG. 1(b): 500) por baja frecuencia.
6. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 2-5, en donde el satélite (200) de control comprende un mando central para los satélites (302) remotos para minimizar el peso de los satélites remotos.
7. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 2-6, en donde dicho satélite (200) de control controla los satélites (302) remotos según uno o más de entre  
controlar los satélites (302) remotos para crear haces separados espacialmente;  
controlar los satélites (302) remotos de modo que ningún haz vecino utilice el mismo espectro de señal de frecuencia para mitigar la interferencia de la señal; o  
controlar los satélites (302) remotos para reutilizar las señales de frecuencia para permitir la reutilización del espectro de señal de frecuencia de alto rendimiento.
8. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 2-7, en donde dicho satélite (200) de control agrega señales según uno o más de entre  
agregar señales de los satélites (302) remotos y transmitir las a la Tierra o a otro satélite a una frecuencia más alta, o  
agregar y trasladar la frecuencia de una multitud de señales de los satélites (302) remotos y retransmitir las señales en bandas de frecuencias más altas para comunicarse de vuelta con la Tierra o con el espacio.
9. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 2-8, en donde dicho satélite (200) de control permite el procesamiento de ancho de banda de alto rendimiento, y en donde dicho satélite (200) de control distribuye el procesamiento de la señal entre los satélites (302) remotos para crear una matriz distribuida (FIG. 1(a)-(b): 300; FIG. 6: 500) y reutiliza el espectro de una formación (400) de haz.
10. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en donde el sistema de apertura distribuida es de magnitudes mayores que las aberturas de los satélites (302) remotos.
11. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1-10, en donde los satélites (302) remotos están dentro de un plano que es substancialmente ortogonal al radio de la Tierra.
12. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1-11, en donde dicha matriz (FIG. 1(a)-(b): 300; FIG. 6: 500) tiene una geometría de formación de vuelo volumétrica que reduce la pérdida por coseno y aumenta la huella (104), y en donde la forma volumétrica minimiza las actuaciones de control de posición.
13. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1-12, en donde los algoritmos de procesamiento de señal de matriz se adaptan dinámicamente al satélite remoto que gira a lo largo de una trayectoria de una elipse.

14. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1-13, en donde la matriz (FIG. 1(a)-(b): 300; FIG. 6: 500) de satélites (302) remotos se sitúa en el espacio y la abertura combinada recibe, amplifica y redirige las señales hacia y desde la Tierra o el espacio.
- 5 15. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1-14, en donde la matriz (FIG. 1(a)-(b): 300; FIG. 6: 500) de satélites (302) remotos permite una multitud de actividades comerciales, de telecomunicaciones, científicas, educativas y/o aplicaciones de conciencia de la situación que incluyen las comunicaciones, la observación de la tierra, el radar, el radar de apertura sintética (SAR), el AIS, el análisis del clima, la Internet de las cosas, la recogida y retransmisión de señales, la comunicación y observación del espacio profundo, y/o la localización geográfica.
- 10 16. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1-15, que comprende además una pluralidad de matrices (FIG. 1(a)-(b): 300; FIG. 6: 500) de satélites (302) remotos situados en diferentes inclinaciones u órbitas (102) para mejorar el tiempo de revisión y la cobertura simultánea de la Tierra formando una constelación de matrices de satélites remotos.
- 15 17. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1-16, en donde el sistema distribuye el procesamiento de señales entre una multitud de satélites (302) remotos para crear una matriz distribuida (FIG. 1(a)-(b): 300; FIG. 6: 500) para reutilizar espectros de frecuencia.
18. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1-17, en donde la matriz (FIG. 1(a)-(b): 300; FIG. 6: 500) proporciona conectividad directa a los dispositivos del usuario final (FIG. 1(b): 500).
- 20 19. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1-18, en donde cada uno de los satélites (302) remotos forma un haz, y en donde el haz está precompensado en función de las efemérides del satélite y de la latitud-longitud del centro del haz, para uno o más
- el desplazamiento de frecuencia Doppler inducido por el satélite, o
- el retardo para que el retardo total inducido por el satélite remoto en cada centro de haz sea una constante.
- 25 20. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1-19, en donde cada uno de los satélites (302) forma un haz, y en donde el haz se compensa previamente en función del desplazamiento de frecuencia Doppler inducido por el satélite.
21. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1-20, en donde los satélites (302) remotos se comunican con el satélite (200) de control por medio de WiFi.

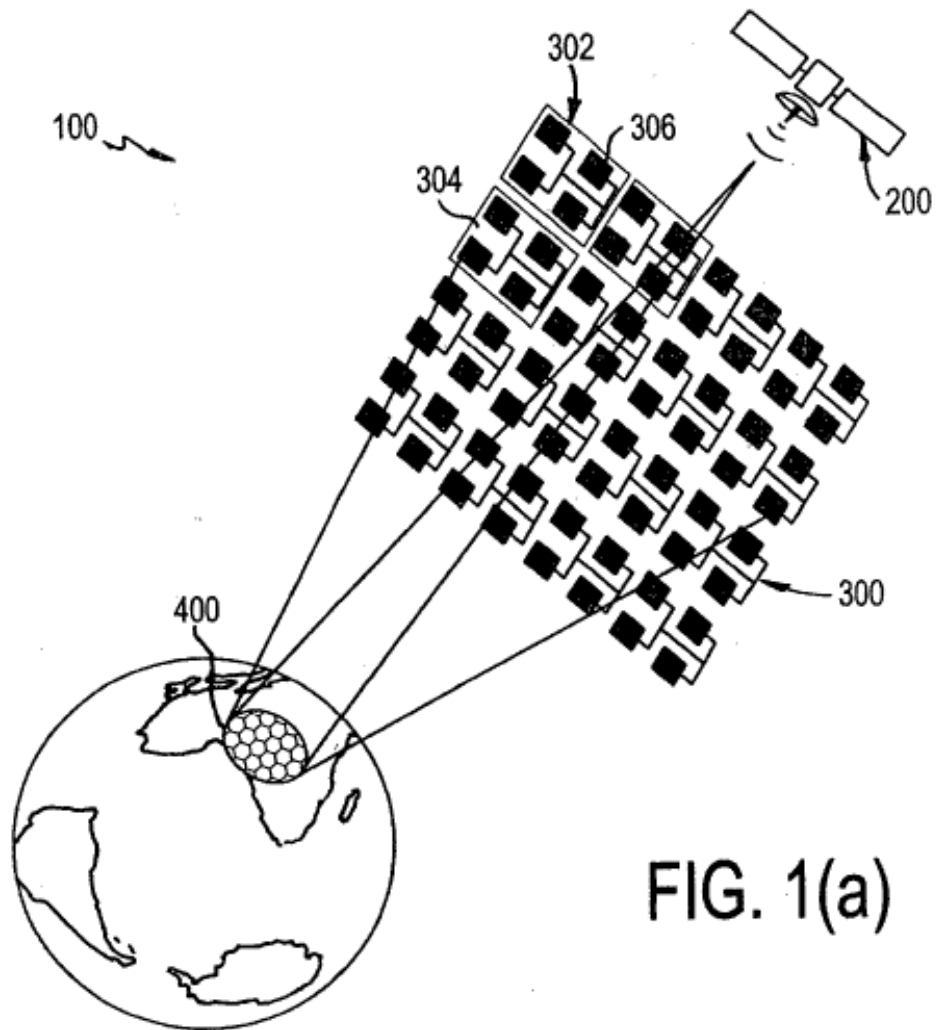
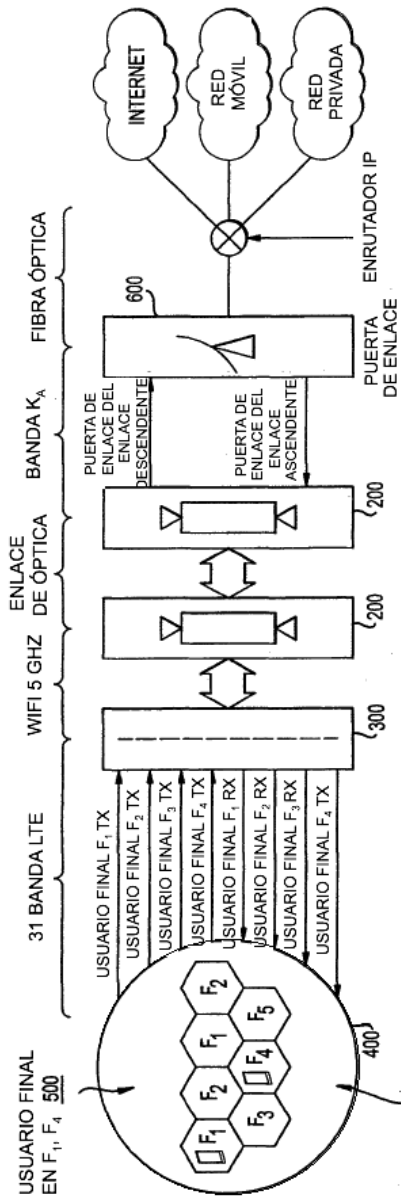


FIG. 1(a)



$F_1, F_2, F_3, F_4$  SE REUTILIZAN VARIAS VECES PARA OBTENER UN ANCHO DE BANDA DE ALTO RENDIMIENTO

FIG. 1(b)



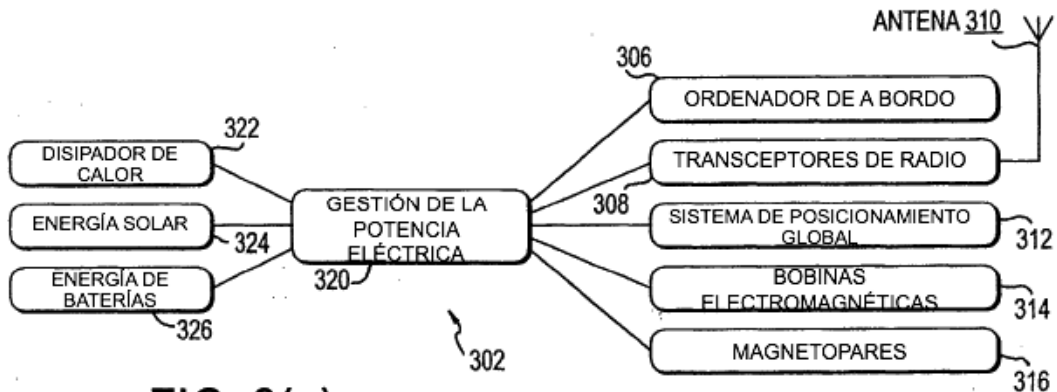


FIG. 2(a)

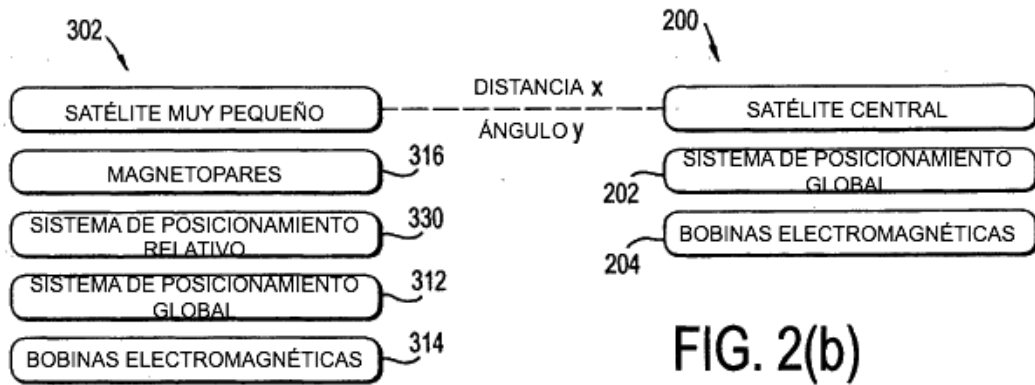


FIG. 2(b)

FIG. 3

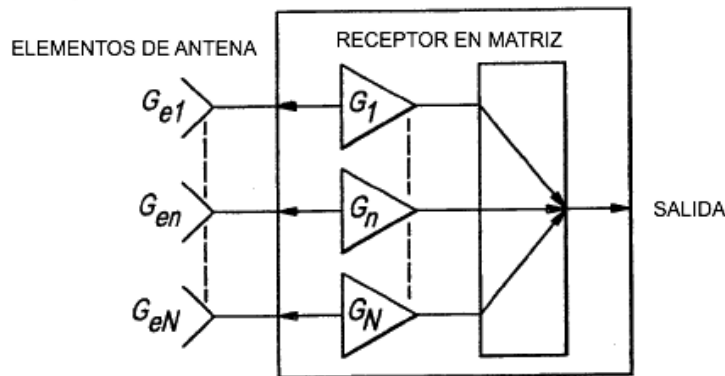
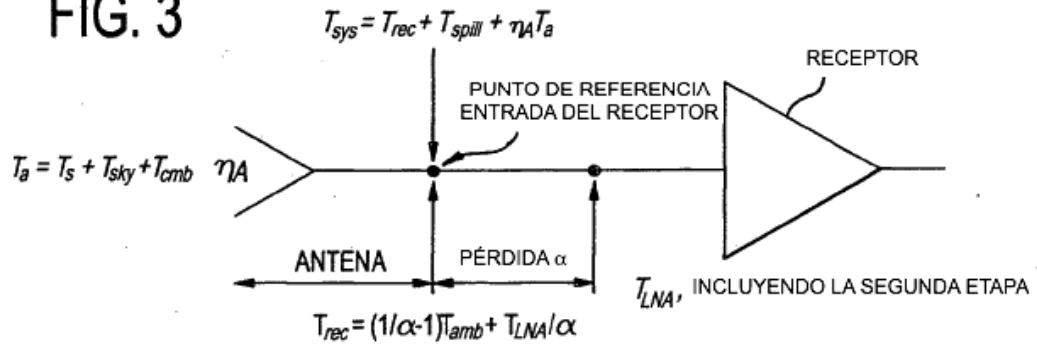


FIG. 4

FIG. 5(a)

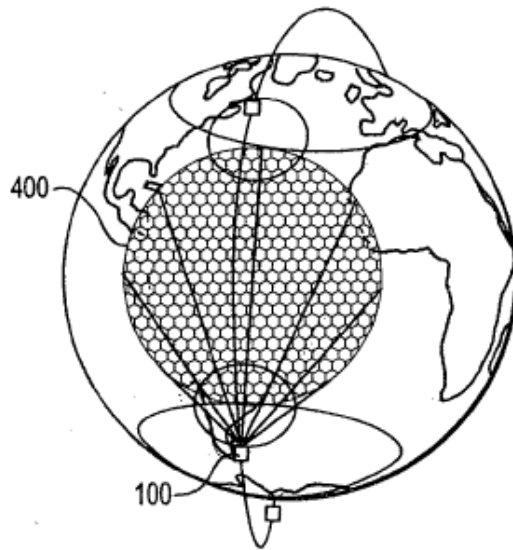


FIG. 5(b)

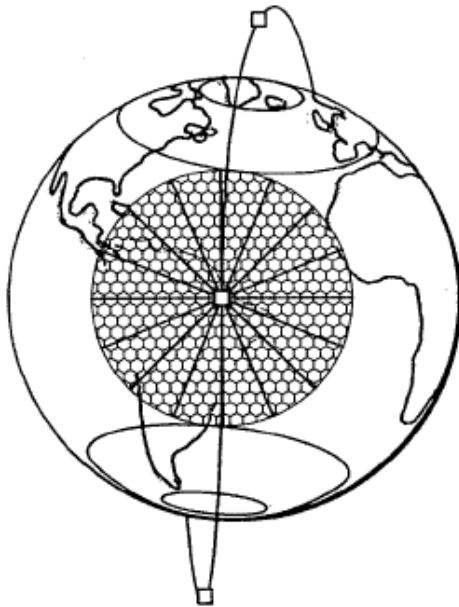
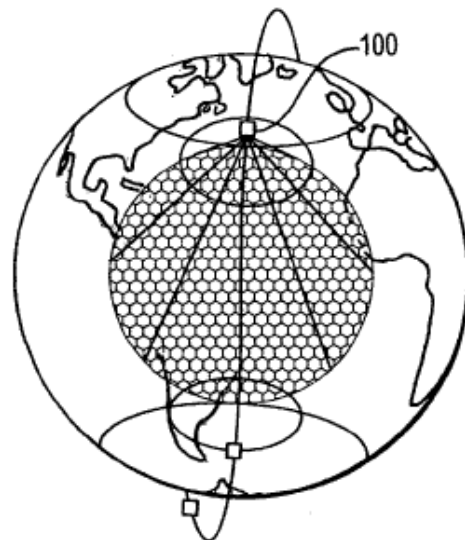


FIG. 5(c)



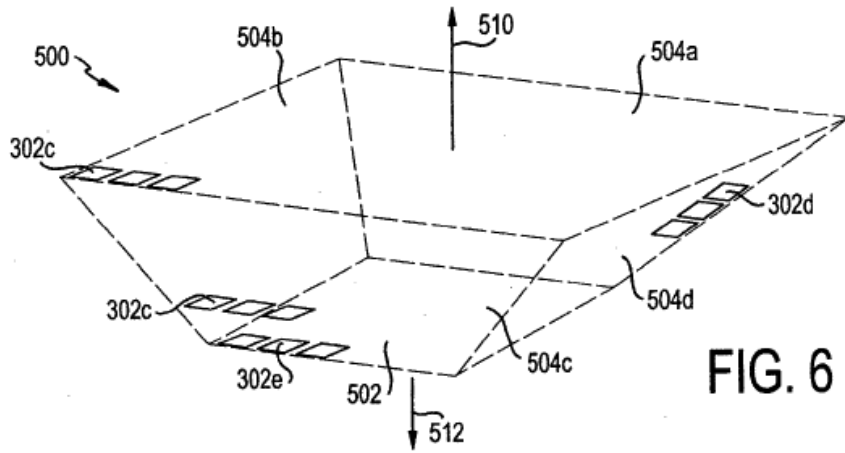
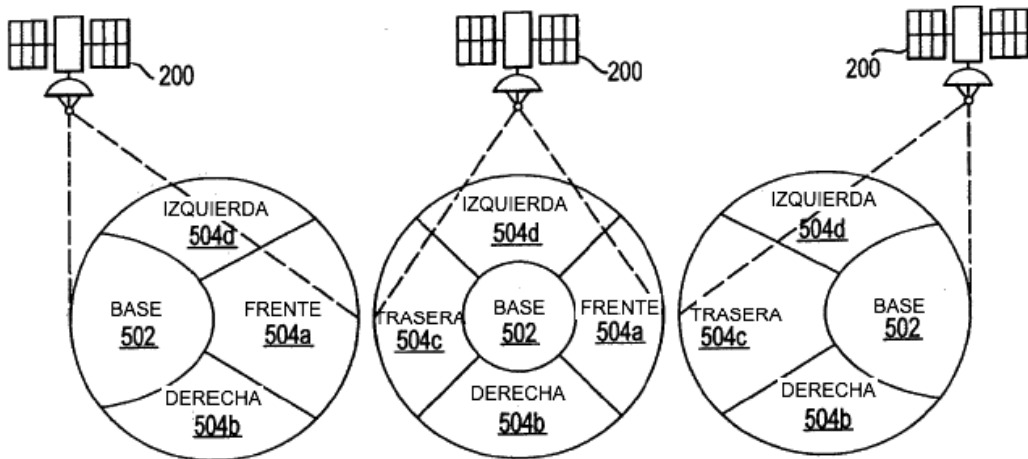


FIG. 6

FIG. 7(a)

FIG. 7(b)

FIG. 7(c)



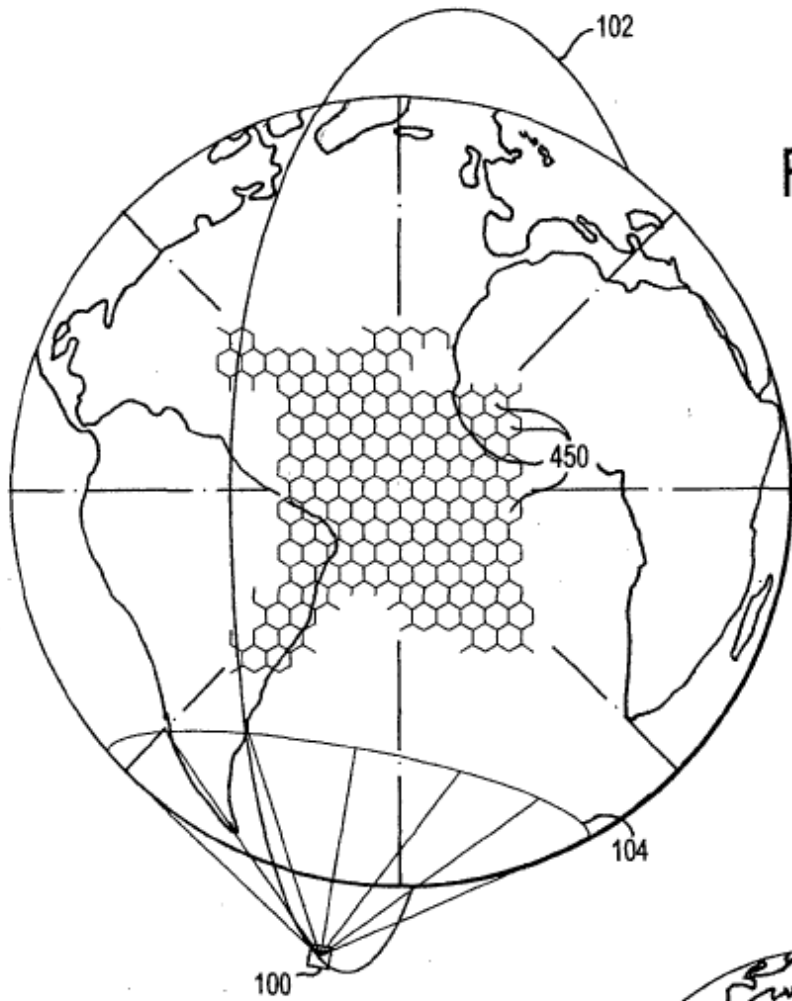


FIG. 8(a)

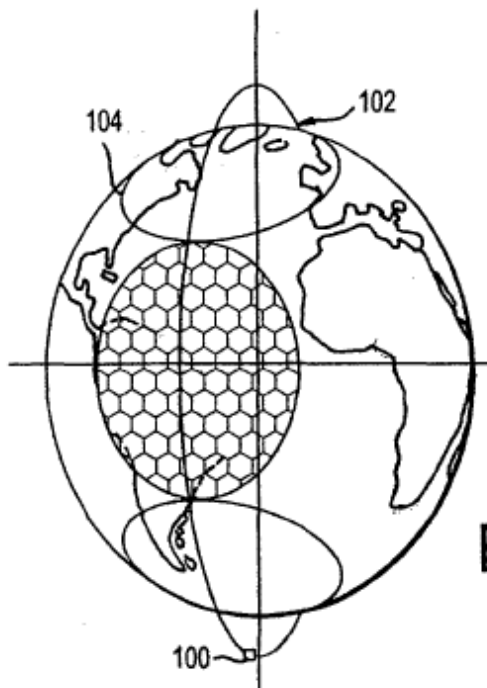


FIG. 8(b)

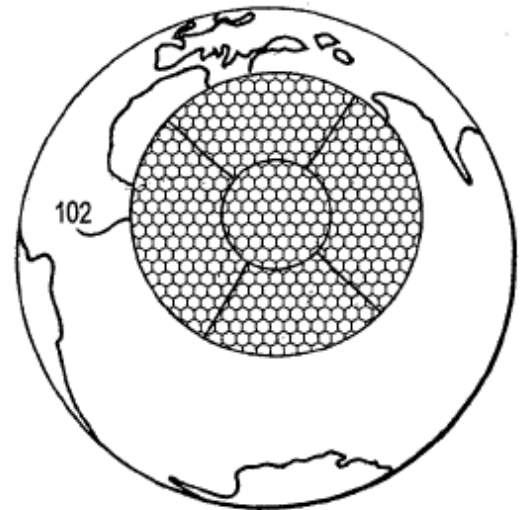


FIG. 8(c)

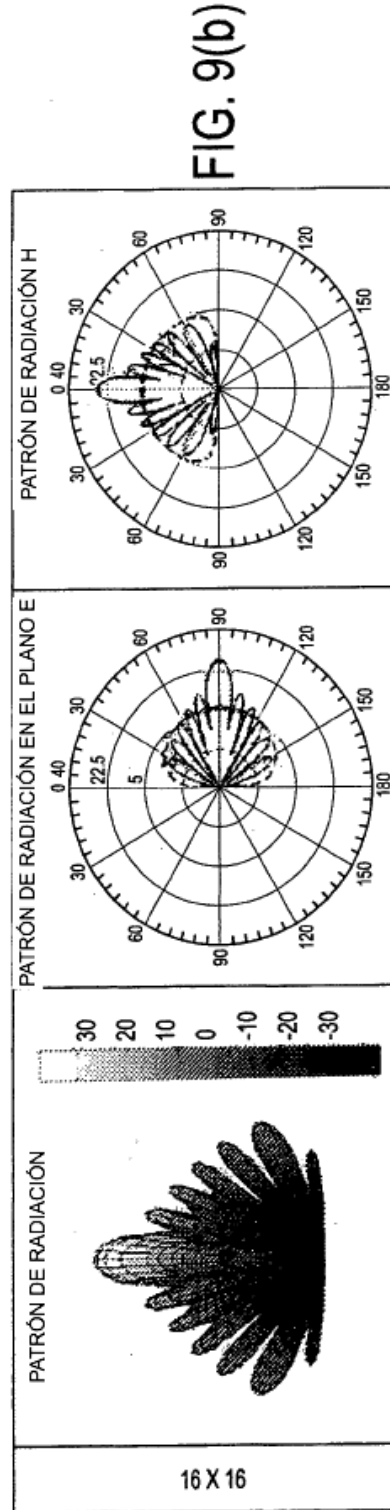
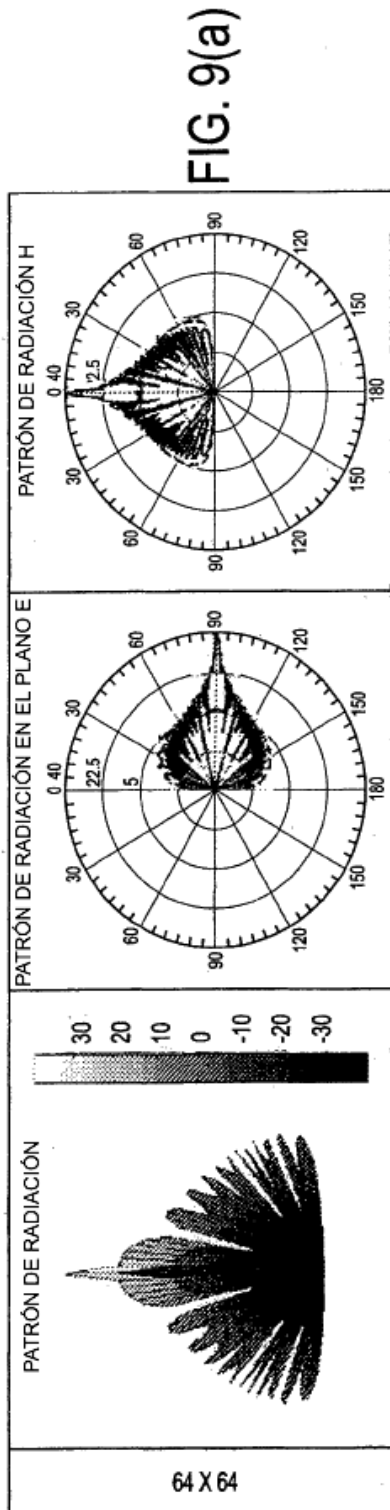
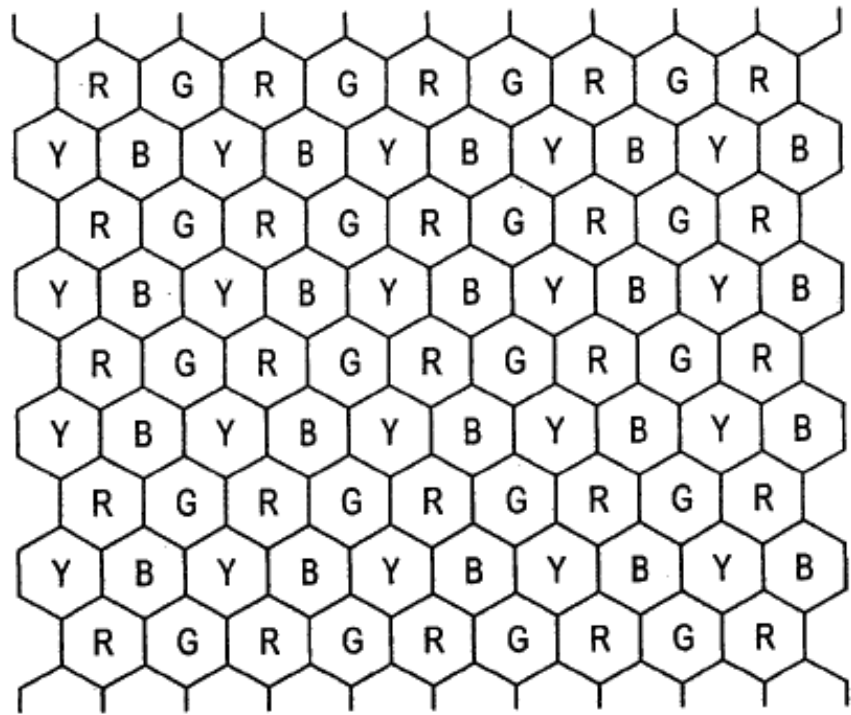


FIG. 10



R-ROJO G-VERDE B-AZUL Y-AMARILLO