(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 538 663**

(51) Int. Cl.:

H01Q 1/22	(2006.01)
H01Q 21/24	(2006.01)
H01Q 21/28	(2006.01)
H04B 7/10	(2006.01)
H04B 7/08	(2006.01)
H01Q 3/24	(2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.03.2012** **E 12712634 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.03.2015** **EP 2695235**

(54) Título: **Antena de haz conmutado de dos polarizaciones para sistemas de comunicación inalámbrica**

(30) Prioridad:

01.04.2011 IT TO20110301

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.06.2015

(73) Titular/es:

TELECOM ITALIA S.P.A. (100.0%)
Piazza degli Affari 2
20123 Milano, IT

(72) Inventor/es:

BERTIN, GIORGIO;
BRAGLIA, MARCO;
COLLOTTA, IVANO SALVATORE;
MELIS, BRUNO;
PIOVANO, BRUNO;
VALLAURI, ROBERTO;
BILOTTI, FILIBERTO y
VEGNI, LUCIO

(74) Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 538 663 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

Antena de haz conmutado de dos polarizaciones para sistemas de comunicación inalámbrica

CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCIÓN

[0001] La presente invención se refiere en general a sistemas de comunicación inalámbrica, y más específicamente a antenas usadas en dispositivos de comunicación inalámbrica para emitir/recibir señales de radiofrecuencia (RF). Algunos ejemplos de dispositivos de comunicación inalámbrica pueden ser sistemas de protección de copia conectables en bus en serie universal (USB, *Universal Serial Bus*), miniconcentradores portátiles para redes locales inalámbricas (LAN, *Local Area Networks*) (por ejemplo, basados en las normas IEEE 802.11a/b/g/n) y/o redes celulares (por ejemplo, basados en la norma *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA, acceso de paquetes del enlace descendente en alta velocidad) o en la norma *Long Term Evolution* (LTE, evolución a largo plazo), consolas para juegos, dispositivos de control, ordenadores personales, ordenadores portátiles, etc.

ANTECEDENTES DE LA TÉCNICA

[0002] Como es conocido, las antenas usadas actualmente en dispositivos de radiocomunicación, tales como sistemas de protección de copia conectables en USB, se caracterizan por diagramas de radiación casi omnidireccionales (es decir, tienen ganancias bajas) lo que limita seriamente los rendimientos que pueden alcanzarse en términos de velocidad de datos.

[0003] En general, una ganancia de antena baja limita el ámbito de cobertura en escenarios tales como zonas rurales, en los que el efecto de ruido térmico predomina sobre la interferencia entre células.

[0004] Así pues, es beneficiosa una ganancia de antena mayor para reducir la brecha digital dado que permite potencialmente proporcionar conexiones de alta velocidad de datos en áreas a las que no llegan las líneas de abonado digital (DSL, *Digital Subscriber Lines*, o xDSL) fijas.

[0005] Por otra parte, una ventaja del uso de antenas direccionales de alta ganancia se refiere a la posibilidad de realizar rechazo de interferencias en el dominio espacial mediante la remodelación electrónica del diagrama de radiación de la antena. Este aspecto es muy importante en zonas urbanas caracterizadas por un alto tráfico de voz/datos en las que el principal factor limitante para la velocidad de datos que puede alcanzarse es la interferencia entre células.

[0006] Los rendimientos de los dispositivos de radiocomunicación pueden mejorarse proporcionándoles múltiples antenas que pueden aprovecharse de diferentes formas dependiendo de sus características, tales como direccionalidad, polarización, separación relativa, etc.

[0007] En particular, la forma más sencilla de mejorar los rendimientos de los dispositivos de radiocomunicación consiste en usar múltiples antenas omnidireccionales separadas suficientemente con el fin de conseguir un cierto nivel de diversidad espacial en lo que respecta al desvanecimiento. Pueden combinarse las señales de las diferentes antenas omnidireccionales en el nivel de banda de base usando un número de receptores de RF igual al número de antenas receptoras.

[0008] Un inconveniente de esta solución es que se requiere un receptor de RF para cada antena y así el número de antenas omnidireccionales que pueden usarse en la práctica es bastante limitado.

[0009] Además, las pequeñas dimensiones de los dispositivos de radiocomunicación actuales, especialmente en el caso de dispositivos de radiocomunicación portátiles tales como sistemas de protección de copia conectables en USB o miniconcentradores, limitan aún más el número de, y la distancia relativa entre, las antenas que pueden integrarse conjuntamente. En particular, un efecto no deseado originado por la pequeña distancia entre las antenas es el aumento de la correlación del desvanecimiento que limita el nivel de diversidad que puede conseguirse y, en el caso de transmisión *Multiple Input Multiple Output* (MIMO, múltiples entradas y múltiples salidas), no hace posible una multiplexación espacial paralela de múltiples trenes de datos.

[0010] Se proporciona una solución al problema de tener múltiples receptores de RF en la solicitud de patente internacional WO-2008/064.696 del solicitante.

[0011] En particular, el documento WO-2008/064.696 devela un sistema de comunicación inalámbrica que está equipado con una antena de haz conmutado que comprende un cierto número de elementos de antena direccional y en el que un subconjunto de señales de RF recibidas desde elementos de antena correspondientes se seleccionan y se combinan en una única señal de RF que es procesada y desmodulada en una única cadena de procesamiento.

[0012] En particular, el sistema de comunicación inalámbrica desvelado por el documento WO-2008/064.696 comprende una red de puesta en fase de RF para la puesta en fase en común de las señales de RF seleccionadas antes de combinarlas, y un procesador para controlar la combinación y la puesta en fase de las señales de RF con el fin de obtener una única señal de RF que tenga un Indicador de Rendimiento Radioeléctrico (RPI, *Radio Performance Indicator*) que satisface condiciones predeterminadas. La combinación de las señales de RF recibidas se realiza en radiofrecuencia usando un conjunto de pesos de combinación tomados a partir de un conjunto o libro de códigos predefinido. Según el documento WO-2008/064.696, el número mínimo de receptores de RF es justamente igual al número de trenes de datos transmitidos con independencia de cuál sea el número de antenas receptoras.

OBJETO Y RESUMEN DE LA INVENCIÓN

[0013] Por lo tanto, el objetivo de la presente invención es proporcionar un dispositivo de antena que pueda resolver al menos una de las cuestiones citadas anteriormente.

[0014] En particular, los solicitantes han abordado el problema de la correlación de desvanecimiento entre las antenas receptoras. Otro problema al que se enfrenta el solicitante es el de reducir el tamaño de las antenas específicamente para aplicaciones en dispositivos de radiocomunicación portátiles.

[0015] Este objetivo se consigue mediante la presente invención que se refiere a un dispositivo de antena y un dispositivo de comunicación, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

[0016] En particular, la presente invención consigue el objetivo mencionado anteriormente mediante un dispositivo de antena que comprende:

- un primer conjunto de antena configurado para recibir primeras señales de radiofrecuencia polarizadas según una primera polarización;
- un segundo conjunto de antena configurado para recibir segundas señales de radiofrecuencia polarizadas según una segunda polarización ortogonal a la primera polarización; y
- un conjunto de tratamiento de señales de radiofrecuencia acoplado con los conjuntos de antena primero y segundo, y configurado para tratar las primeras señales de radiofrecuencia recibidas por separado desde las segundas señales de radiofrecuencia recibidas.

[0017] Dicho dispositivo de antena según la presente invención permite resolver el problema de la correlación de desvanecimiento mediante los conjuntos de dos antenas optimizados para recibir polarizaciones ortogonales y por el conjunto de tratamiento de señales de radiofrecuencia configurado para tratar por separado las señales de radiofrecuencia recibidas por los conjuntos de dos antenas. Esta característica hace adecuado el dispositivo de antena propuesto también para aplicaciones MIMO en las que múltiples trenes de datos son transmitidos en paralelo a través de multiplexación espacial.

[0018] Preferentemente, al menos uno de los conjuntos de antena incluye una pluralidad de elementos de antena impresa, y/o elementos de antena basados en metamateriales, y/o una pluralidad de elementos de antena, ya sea omnidireccional o direccional.

[0019] Más preferentemente, el primer conjunto de antena comprende una pluralidad de elementos de antena impresa direccional y el segundo conjunto de antena comprende una pluralidad de elementos de antena impresa omnidireccional de metamateriales. En particular, los conjuntos de dos antenas basados en diferentes tecnologías permiten resolver el problema del espacio limitado en los dispositivos de radiocomunicación actuales.

[0020] Más preferentemente todavía, el primer conjunto de antena comprende una pluralidad de primeros elementos de antena configurados para recibir las primeras señales de radiofrecuencia, el segundo conjunto de antena comprende una pluralidad de segundos elementos de antena operativos para recibir las segundas señales de radiofrecuencia y el conjunto de tratamiento de señales de radiofrecuencia está configurado para proporcionar

bien una señal de radiofrecuencia de salida única basándose en al menos una primera señal de radiofrecuencia recibida y al menos una segunda señal de radiofrecuencia recibida, o bien una primera señal de radiofrecuencia de salida basándose en al menos una primera señal de radiofrecuencia recibida y una segunda señal de radiofrecuencia de salida basándose en al menos una segunda señal de radiofrecuencia recibida.

[0021] De forma conveniente, para que el conjunto de tratamiento de señales de radiofrecuencia proporcione la señal de radiofrecuencia de salida única, dicho conjunto de tratamiento de señales de radiofrecuencia puede estar configurado de manera que:

• pondere y combine las primeras señales de radiofrecuencia recibidas por todos los primeros elementos de antena y las segundas señales de radiofrecuencia recibidas por todos los segundos elementos de antena para proporcionar la señal de radiofrecuencia de salida única;
• o seleccione una o más entre la primera o primeras señales de radiofrecuencia recibidas por los primeros elementos de antena y/o una o más entre la segunda o segundas señales de radiofrecuencia recibidas por los segundos elementos de antena, y

- pondere y combine las señales de radiofrecuencia primeras y segundas seleccionadas para proporcionar la señal de radiofrecuencia de salida única, o
- pondere y combine la primera o primeras señales de radiofrecuencia seleccionadas y las segundas señales de radiofrecuencia recibidas por todos los segundos elementos de antena para proporcionar la señal de radiofrecuencia de salida única, o
- pondere y combine las primeras señales de radiofrecuencia recibidas por todos los primeros elementos de antena y la segunda o segundas señales de radiofrecuencia seleccionadas para proporcionar la señal de radiofrecuencia de salida única.

[0022] De forma conveniente, para que el conjunto de tratamiento de señales de radiofrecuencia proporcione la primera señal de radiofrecuencia de salida, dicho conjunto de tratamiento de señales de radiofrecuencia puede estar configurado de manera que:

• seleccione una primera señal de radiofrecuencia recibida por uno de los primeros elementos de antena y proporcione dicha primera señal de radiofrecuencia seleccionada como la primera señal de radiofrecuencia de salida; o
• seleccione un subconjunto de las primeras señales de radiofrecuencia recibidas por los primeros elementos de antena, y pondere y combine las primeras señales de radiofrecuencia seleccionadas para proporcionar la primera señal de radiofrecuencia de salida; o
• pondere y combine las primeras señales de radiofrecuencia recibidas por todos los primeros elementos de antena para proporcionar la primera señal de radiofrecuencia de salida.

[0023] De forma conveniente, para que el conjunto de tratamiento de señales de radiofrecuencia proporcione la segunda señal de radiofrecuencia de salida, dicho conjunto de tratamiento de señales de radiofrecuencia puede estar configurado de manera que:

• seleccione una segunda señal de radiofrecuencia recibida por uno de los segundos elementos de antena y proporcione dicha segunda señal de radiofrecuencia seleccionada como la segunda señal de radiofrecuencia de salida; o
• seleccione un subconjunto de las segundas señales de radiofrecuencia recibidas por los segundos elementos de antena, y pondere y combine las segundas señales de radiofrecuencia seleccionadas para proporcionar la segunda señal de radiofrecuencia de salida; o
• pondere y combine las segundas señales de radiofrecuencia recibidas por todos los segundos elementos de antena para proporcionar la segunda señal de radiofrecuencia de salida.

[0024] En particular, todas las estrategias descritas anteriormente para seleccionar y/o ponderar y combinar las señales de radiofrecuencia recibidas por los dos conjuntos de antena multielementos ofrecen la ventaja de que el número de transceptores de radiofrecuencia no se limita a ser igual al número de elementos de antena y por tanto puede usarse un número superior de elementos de antena a la vez que se mantiene la complejidad de los receptores en niveles aceptables.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0025] Para una mejor comprensión de la presente invención, a continuación se describirán realizaciones preferidas, que pretenden ofrecerse estrictamente a modo de ejemplo y no deben entenderse como limitativas, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 muestra esquemáticamente un dispositivo de antena según una primera realización de la presente invención;
- las figuras 2 y 3 muestran dos realizaciones de ejemplo de una unidad de ponderación del dispositivo de antena de la figura 1;
- la figura 4 muestra esquemáticamente un dispositivo de antena según una segunda realización de la presente invención;
- la figura 5 muestra esquemáticamente cuatro elementos de antena direccional junto con los diagramas de radiación correspondientes según un aspecto de la presente invención;
- la figura 6 muestra esquemáticamente un dispositivo de antena según una realización específica preferida de la presente invención;
- la figura 7 muestra en mayor detalle un primer elemento de antena del dispositivo de antena de la figura 6;
- la figura 8 muestra la pérdida y la ganancia de retorno del primer elemento de antena de la figura 7 cuando se optimiza para frecuencias UMTS;
- la figura 9 muestra en mayor detalle un segundo elemento de antena del dispositivo de antena de la figura 6;
- las figuras 10 y 11 muestran dos configuraciones diferentes de un conjunto de antena del dispositivo de antena de la figura 6 correspondientes a dos condiciones operativas diferentes del dispositivo de antena;
- la figura 12 muestra esquemáticamente el dispositivo de antena de la figura 6 en el que se realizan dos componentes cada uno según una realización preferida respectiva;
- la figura 13 muestra esquemáticamente el dispositivo de antena de la figura 6 realizado según una realización alternativa preferida de la presente invención; y
- la figura 14 muestra un dispositivo de comunicación inalámbrica que comprende un dispositivo de antena según la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE REALIZACIONES PREFERIDAS DE LA INVENCIÓN

[0026] La siguiente exposición se presenta para permitir que un experto en la materia prepare y use la invención. Para los expertos en la materia serán evidentes diversas modificaciones en las realizaciones, sin apartarse del alcance de la presente invención tal como se reivindica. Así, la presente invención no pretende estar limitada a las realizaciones mostradas, sino que debe extenderse al alcance más extenso que sea coherente con los principios y las características desvelados en la presente memoria descriptiva y definidos en la descripción y las reivindicaciones adjuntas.

[0027] La presente invención se deriva del concepto del solicitante de combinar dos conjuntos de antena diferentes de una forma compacta obteniendo de ese modo un dispositivo de antena que tiene un factor de forma muy pequeño con correlación de desvanecimiento limitada entre diferentes elementos de antena.

[0028] En particular, los conjuntos de dos antenas están diseñados para recibir polarizaciones ortogonales y un conjunto de tratamiento de señales de RF está acoplado con los conjuntos de dos antenas para tratar por separado las señales de RF recibidas respectivas de manera que la correlación de desvanecimiento pueda mantenerse muy baja a pesar de las pequeñas dimensiones del dispositivo de antena.

[0029] Preferentemente al menos uno de los conjuntos de dos antenas es una antena de metamateriales. A este respecto, a continuación se presentará una breve explicación de los metamateriales para mejorar la claridad de la descripción.

[0030] En concreto, un metamaterial es un material artificial que muestra, para frecuencias determinadas, una permitividad ε negativa y una permeabilidad μ negativa.

[0031] En detalle, un metamaterial comprende estructuras periódicas con células unitarias que tienen dimensiones en el orden de los milímetros para aplicaciones de microondas. Los metamateriales han permitido diseñar nuevos tipos de antenas aprovechando la compensación de fase.

[0032] En mayor detalle, la propagación de las ondas electromagnéticas en la mayoría de los materiales sigue la regla de la mano derecha para los campos vectoriales (E, H, β), en los que E es el campo eléctrico, H es el campo magnético y β es el vector de onda. La dirección de la velocidad de fase es la misma que la dirección de la

propagación de la energía de la señal (velocidad de grupo) y el índice de refracción es un número positivo. Dichos materiales son "diestros" (RH, *Right Handed*). La mayor parte de los materiales naturales son materiales RH. Los materiales artificiales también pueden ser materiales RH.

[0033] Un metamaterial tiene una estructura artificial. Cuando se diseña con un tamaño medio estructural de célula unitaria *p* mucho menor que la longitud de onda de la energía electromagnética guiada por el metamaterial, el metamaterial puede comportarse como un medio homogéneo ante la energía electromagnética guiada. A diferencia de los materiales RH, un metamaterial puede mostrar un índice de refracción negativo en el que la permitividad ε y la permeabilidad μ son negativas simultáneamente, y la dirección de la velocidad de fase es opuesta a la dirección de la propagación de energía de la señal de manera que las direcciones relativas de los campos vectoriales (E, H, β) siguen la regla de la mano izquierda. Los metamateriales que admiten sólo un índice de refracción negativo en el que la permitividad ε y la permeabilidad μ son negativas simultáneamente son metamateriales "zurdos" (LH, *Left Handed*). Muchos metamateriales son mezclas de metamateriales LH y materiales RH y así son metamateriales zurdos y diestros compuestos (CRLH, *Composite Left and Right Handed*). Un metamaterial CRLH puede comportarse como un metamaterial LH a bajas frecuencias y como un material RH a altas frecuencias. Los diseños y las propiedades de varios metamateriales CRLH se describen en Caloz y Itoh, "Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Applications", John Wiley & Sons (2006). Los metamateriales CRLH y sus aplicaciones en las antenas han sido descritos por Tatsuo Itoh en "Invited paper: Prospects for Metamaterials", Electronics Letters, Vol. 40, n° 16 (agosto de 2004).

[0034] Los metamateriales CRLH pueden estructurarse y diseñarse de manera que muestren propiedades electromagnéticas adaptadas para aplicaciones específicas y pueden usarse en aplicaciones en las que puede ser difícil, poco práctico o inviable usar otros materiales. Además, los metamateriales CRLH pueden usarse para desarrollar nuevas aplicaciones y para construir nuevos dispositivos que podrían no ser posibles con materiales RH.

[0035] Volviendo de nuevo a la descripción detallada de la presente invención, preferentemente los conjuntos de dos antenas están hechos con diferentes tecnologías. En particular, un primer conjunto de antena puede ser una antena impresa que comprende un primer número de primeros elementos de antena impresa en un primer sustrato dieléctrico y dispuestos de manera que reciban señales de RF polarizadas según una primera polarización, mientras que un segundo conjunto de antena puede comprender un segundo número de segundos elementos de antena que son monopolos basados en metamateriales impresos en un segundo sustrato dieléctrico (es decir, impresos en el segundo sustrato dieléctrico que aprovecha la técnica de metamateriales) y están destinados en uso a estar dispuestos de manera que reciban señales de RF polarizadas según una segunda polarización ortogonal a la primera polarización.

[0036] Preferentemente, los primeros elementos de antena están destinados en uso a estar dispuestos de manera que reciban señales de RF con polarización horizontal, y los monopolos basados en metamateriales están destinados, durante una comunicación, a orientarse de manera que reciban señales de RF con polarización vertical. En particular, los monopolos basados en metamateriales están destinados, durante una comunicación, a orientarse verticalmente.

[0037] De forma conveniente, el primer sustrato dieléctrico puede ser, por ejemplo, un disco circular con cuatro primeros elementos de antena impresa en el mismo, de manera que el disco circular está destinado en uso a disponerse horizontalmente de manera que los primeros elementos de antena reciban señales de RF con polarización horizontal. Este es sólo un ejemplo, dado que puede usarse una forma diferente del primer sustrato dieléctrico y un número diferente de primeros elementos de antena sin apartarse del alcance de la presente invención.

[0038] De forma conveniente, los monopolos basados en metamateriales tienen una configuración tal que se forma una célula compacta, tal como una célula CRLH. Este tipo de tecnología permite una reducción importante en la altura del monopolo con respecto a un monopolo impreso convencional.

[0039] El uso de dos conjuntos de antena optimizados para recibir diferentes polarizaciones mitiga el problema de correlación de desvanecimiento, ya que las polarizaciones ortogonales muestran en general bajos niveles de correlación cruzada, y mejora el nivel de diversidad que puede obtenerse en el receptor. El uso de dos conjuntos de antena separados con diferente orientación (horizontal y vertical) facilita también el diseño de dispositivos de comunicación inalámbrica compactos.

[0040] A este respecto, por ejemplo, un dispositivo de antena según una realización preferida de la presente

invención puede comprender de forma conveniente:

- una caja cilíndrica que comprende una primera base que incluye un primer sustrato dieléctrico, y una superficie lateral que incluye uno o más segundos sustratos dieléctricos;
- los primeros elementos de antena impresa en el primer sustrato dieléctrico, es decir, dispuestos en la primera base de la caja cilíndrica;
- los segundos elementos de antena preparados con metamateriales e impresos en el segundo o los segundos sustratos dieléctricos, es decir, dispuestos en la superficie lateral de la caja cilíndrica; y
- una circuitería electrónica (RF y banda de base) para funcionalidades radioeléctricas dentro de la caja cilíndrica.

[0041] En uso, el dispositivo de antena está destinado a apoyarse en la primera base de manera que los primeros elementos de antena estén orientados horizontalmente y los segundos elementos de antena estén orientados verticalmente.

[0042] Alternativamente a los segundos elementos de antena dispuestos en la superficie lateral de la caja cilíndrica, dichos segundos elementos de antena pueden montarse de forma giratoria en la segunda base de la caja cilíndrica por medio de articulaciones giratorias operativas para hacer girar dichos segundos elementos de antena de manera que estén orientados verticalmente durante una comunicación, a la vez que se mantienen en horizontal cuando el dispositivo de antena no está activo.

[0043] Un aspecto adicional de la presente invención se refiere a varios esquemas para seleccionar y combinar las señales de RF recibidas por los diferentes elementos de antena.

[0044] En particular, los elementos de antena de los conjuntos de antena primero y segundo están conectados con un conjunto de tratamiento de señales de RF que incluye al menos una red de conmutación de RF operativa para seleccionar un subconjunto predefinido de dichos elementos de antena.

[0045] En detalle, cada conjunto de antena puede estar conectado con una red de conmutación de RF respectiva o bien puede usarse una sola red de conmutación de RF para los dos conjuntos de antena.

[0046] Por otra parte, en uso, las señales de RF recibidas por los elementos de antena seleccionados se ponderan en al menos una red de ponderación de RF que comprende desfasadores configurables que introducen en dichas señales de RF un desplazamiento de fase cuantificado durante un cierto conjunto de valores. Después de la ponderación de desplazamiento de fase, las señales de RF de los elementos de antena seleccionados se combinan en radiofrecuencia mediante una unidad de combinación y se introducen en uno o más receptores de RF para su demodulación.

[0047] Las señales de RF que se seleccionarán y los pesos de desplazamiento de fase se determinan por medio de una unidad de control que controla el funcionamiento de la o las redes de conmutación de RF y de la o las redes de ponderación de RF. En particular, en uso, la unidad de control recibe como entrada indicadores de rendimiento radioeléctrico medidos por una unidad de banda de base del receptor. Con base en estas medidas la unidad de control determina el mejor o los mejores elementos de antena que se seleccionarán y los pesos óptimos que elevan al máximo el rendimiento radioeléctrico en las condiciones actuales del canal. Los indicadores de rendimiento radioeléctrico medidos por la unidad de banda de base e introducidos en la unidad de control pueden ser de forma conveniente: el Indicador de intensidad de la señal recibida (RSSI, *Received Signal Strength Indicator*), el caudal medio del control de acceso a medios (MAC, *Medium Access Control*), la tasa de errores en los bloques (BLER, *Block Error Rate*) del paquete, la relación entre señal e interferencia y ruido (SINR, *signal to interference plus noise ratio*), el Indicador de calidad del canal (CQI, *Channel Quality Indicator*) medido por un terminal de usuario, etc. Los anteriores se ofrecen tan sólo como ejemplo, ya que pueden utilizarse y aprovecharse de forma ventajosa otras métricas de rendimiento radioeléctrico sin apartarse del alcance de la presente invención.

[0048] Para describir la presente invención en mayor detalle, en la figura 1 se muestra un diagrama de bloques funcional de un dispositivo de antena 10 según una primera realización de la presente invención, en concreto, en el caso de un receptor equipado con una única cadena de demodulación de RF.

[0049] En particular, el dispositivo de antena 10 mostrado en la figura 1 comprende:

- un primer conjunto de antena 11 que incluye *M* primeros elementos de antena configurados para recibir horizontalmente señales de RF polarizadas, siendo *M* un número entero mayor que cero;

- un segundo conjunto de antena 12 que incluye *N* segundos elementos de antena hechos de metamateriales y configurados para recibir verticalmente señales de RF polarizadas, siendo *N* un número entero mayor que cero;
- una primera red de conmutación de RF 13 acoplada con el primer conjunto de antena 11, y operativa para seleccionar *m* primeras señales de RF entre las señales de RF recibidas por dicho primer conjunto de antena 11, en las que $1 \leq m \leq M$;
- una segunda red de conmutación de RF 14 acoplada con el segundo conjunto de antena 12, y operativa para seleccionar *n* segundas señales de RF entre las *N* señales de RF recibidas por dicho segundo conjunto de antena 12, en las que $1 \leq n \leq N$;
- una única red de combinación de RF 15 acoplada con la primera red de conmutación de RF 13 para recibir de ella las primeras señales de RF seleccionadas y con la segunda red de conmutación de RF 14 para recibir de ella las segundas señales de RF seleccionadas, y operativa para ponderar y combinar dichas primeras y segundas señales de RF seleccionadas de manera que se genere y se envíe una única señal combinada *R;*
- un receptor de RF 16 acoplado con la única red de combinación de RF 15 para recibir de ella la única señal combinada *R*, y configurado para procesar dicha única señal combinada *R* de manera que se envíe una señal procesada;
- una unidad de banda de base 17 acoplada con el receptor de RF 16 para recibir de él la señal procesada, y configurada para determinar uno o más indicadores de rendimiento radioeléctrico con base en dicha señal procesada; y
- una unidad de control 18 acoplada con la unidad de banda de base 17 para recibir de ella el o los indicadores de rendimiento radioeléctrico determinados, y con la primera red de conmutación de RF 13, la segunda red de conmutación de RF 14 y la única red de combinación de RF 15 para controlar su funcionamiento con base en dicho o dichos indicadores de rendimiento radioeléctrico determinados.

[0050] En detalle, denotando como y_i, en la que $1 \leq i \leq m$, las primeras señales de RF seleccionadas a partir de la primera red de conmutación de RF 13 y como z_l, en la que $1 \leq l \leq n$, las segundas señales de RF seleccionadas a partir de la segunda red de conmutación de RF 14, la operación de ponderación y combinación realizada por la única red de combinación de RF 15 puede expresarse matemáticamente del modo siguiente:

$$R = \sum_{i=1}^{m} w_i y_i + \sum_{l=1}^{n} w_l z_l \qquad (1)$$

en la que w_i y w_l denotan los pesos de combinación para, respectivamente, las primeras y segundas señales de RF seleccionadas.

[0051] Preferentemente, los pesos de combinación w_i y w_l se designan como desplazamientos de fase puros y así pueden expresarse matemáticamente como $w_i = e^{j\varphi_i}$ y $w_l = e^{j\vartheta_l}$. La operación de ponderación puede realizarse de forma conveniente en radiofrecuencias haciendo que cada señal de RF seleccionada se propague en un tramo de línea de transmisión de longitud apropiada de manera que la señal de salida se someta a un desplazamiento de fase deseado. Con el fin de limitar la complejidad de los circuitos, los pesos de combinación pueden cuantificarse de forma conveniente en un número finito de valores de manera que sea preciso implementar un número limitado de tramos de línea de transmisión.

[0052] A este respecto, por ejemplo, puede implementarse de forma conveniente un conjunto cuaternario de valores de pesos de combinación, en concreto los correspondientes a desplazamientos de fase de *0°, 90°, 180°* y *270°,* con unos desplazamientos de fase, a su vez que, corresponden a los siguientes conjuntos de pesos de ponderación:

$$w_i \in \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{j}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{j}{\sqrt{2}} \right\}$$

$$w_l \in \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{j}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{j}{\sqrt{2}} \right\}$$

[0053] El conjunto de pesos de ponderación puede incluir de forma conveniente también el valor especial cero para señales de RF no seleccionadas, es decir, descartadas, por las redes de conmutación de RF 13 y 14.

[0054] Las figuras 2 y 3 muestran esquemáticamente dos implementaciones de ejemplo 21 y 31 de una unidad de ponderación de RF incluida preferentemente por la única red de combinación de RF 15. En particular, como se muestra en las figuras 2 y 3, cada unidad de ponderación comprende un conjunto respectivo de tramos de línea de transmisión de diferente longitud que pueden seleccionarse por medio de conmutadores. En detalle, en uso, a cada unidad de ponderación se le suministran, como entrada, las señales de RF seleccionadas y_i y z_l, y se envían las mismas señales de RF pero con el desplazamiento de fase relativo requerido. A continuación, las dos señales de RF ponderadas se combinan en radiofrecuencia, es decir, se suman, y se introducen en el receptor de RF 16.

[0055] Además, la figura 4 muestra un diagrama de bloques funcional de un dispositivo de antena 40 según una segunda realización de la presente invención, en concreto en el caso de un receptor equipado con dos cadenas de demodulación de RF.

[0056] En particular, el dispositivo de antena 40 mostrado en la figura 4 comprende:

- un primer conjunto de antena 41 que incluye *M* primeros elementos de antena configurados para recibir horizontalmente señales de RF polarizadas, siendo *M* un número entero mayor que cero;
- un segundo conjunto de antena 42 que incluye *N* segundos elementos de antena hechos con metamateriales y configurados para recibir verticalmente señales de RF polarizadas, siendo *N* un número entero mayor que cero;
- una primera red de conmutación de RF 43 acoplada con el primer conjunto de antena 41, y operativa para seleccionar *m* primeras señales de RF entre las señales de RF recibidas por dicho primer conjunto de antena 41, en las que $1 \leq m \leq M$;
- una segunda red de conmutación de RF 44 acoplada con el segundo conjunto de antena 42, y operativa para seleccionar *n* segundas señales de RF entre las *N* señales de RF recibidas por dicho segundo conjunto de antena 42, en las que $1 \leq n \leq N$;
- una primera red de combinación de RF 45 acoplada con la primera red de conmutación de RF 43 para recibir de ella las primeras señales de RF seleccionadas, y operativa para ponderar y combinar dichas primeras señales de RF seleccionadas de manera que se genere y se envíe una primera señal combinada *Y*;
- una segunda red de combinación de RF 46 acoplada con la segunda red de conmutación de RF 44 para recibir de ella las segundas señales de RF seleccionadas, y operativa para ponderar y combinar dichas segundas señales de RF seleccionadas de manera que se genere y se envíe una segunda señal combinada *Z*;
- un primer receptor de RF 47 acoplado con la primera red de combinación de RF 45 para recibir de ella la primera señal combinada *Y*, y configurado para procesar dicha primera señal combinada *Y* de manera que se envíe una primera señal procesada;
- un segundo receptor de RF 48 acoplado con la segunda red de combinación de RF 46 para recibir de ella la segunda señal combinada Z, y configurado para procesar dicha señal combinada Z de manera que se envíe una segunda señal procesada;
- una unidad de banda de base 49 acoplada con el primer receptor de RF 47 para recibir de él la primera señal procesada y con el segundo receptor de RF 48 para recibir de él la segunda señal procesada, y configurado para determinar uno o más indicadores de rendimiento radioeléctrico con base en dichas primeras y segundas señales procesadas; y
- una unidad de control 50 acoplada con la unidad de banda de base 49 para recibir de ella el o los indicadores de rendimiento radioeléctrico determinados, y con la primera red de conmutación de RF 43, la segunda red de conmutación de RF 44, la primera red de combinación de RF 45 y la segunda red de combinación de RF 46 para controlar su funcionamiento con base en dicho o dichos indicadores de rendimiento radioeléctrico determinados.

[0057] En una realización alternativa, el dispositivo de antena 40, en lugar de las dos redes de conmutación de RF 43 y 44, puede comprender de forma conveniente una única red de conmutación de RF para seleccionar las señales de RF de los dos conjuntos de antena 41 y 42.

[0058] En detalle, según la notación explicada y usada anteriormente, la primera señal combinada de RF *Y* puede expresarse matemáticamente como

$$Y = \sum_{i=1}^{m} w_i y_i \qquad (2)$$

y la segunda señal combinada de RF *Z* puede expresarse matemáticamente como

$$Z = \sum_{l=1}^{n} w_l z_l \qquad (3)$$

[0059] Tal como se ha descrito anteriormente, se selecciona un subconjunto de las *M* y *N* señales de RF recibidas y se proporciona a la unidad o unidades de combinación de la red o redes de combinación de RF. En el caso más sencillo se selecciona sólo una señal de RF, que corresponde al mejor elemento de antena receptora para la polarización respectiva. En dicho caso, los pesos de combinación w_i y w_l pueden ser de forma conveniente todos iguales a cero excepto el que corresponde al mejor elemento de antena receptora para cada polarización, y las ecuaciones (2) y (3) pueden simplificarse de forma conveniente del modo siguiente:

$$Y = y_i \qquad (4)$$

$$Z = z_l \qquad (5)$$

[0060] La selección de sólo una señal de RF se aplica, por ejemplo, cuando los elementos de antena son direccionales y así tienen una ganancia importante. Los diferentes elementos de antena de cada conjunto de antena se disponen de forma conveniente de manera que tengan una superposición mínima entre los diagramas de radiación correspondientes y para asegurar una buena recepción para todas las direcciones posibles de llegada en el plano correspondiente a la polarización específica respectiva, tal como se ilustra esquemáticamente en la figura 5 en la que se muestran cuatro elementos de antena A1, A2, A3 y A4 junto con los diagramas de radiación abocetados correspondientes G1, G2, G3 y G4.

[0061] Por el contrario, en el caso más difícil, se seleccionan las señales de RF de todos los *M* y *N* elementos de antena y así todos los pesos de combinación w_i y w_l tienen valores diferentes a cero. Este segundo caso se aplica cuando los elementos de antena están diseñados como dipolos omnidireccional con ganancia cero en el plano correspondiente a la polarización deseada. En este caso, los diferentes elementos de antena funcionan como una matriz y así puede asegurarse la direccionalidad de la antena mediante una combinación apropiada de todas las señales de RF recibidas. Por otra parte, en este caso, los elementos de antena están dispuestos preferentemente de manera que la distancia *d* entre un par cualquiera de elementos de antena adyacentes es menor que, o igual a, la semilongitud de onda $\lambda/2$, es decir, $d \leq \lambda/2$, de manera que puede formarse un diagrama de radiación con forma predecible y sin lóbulos de difracción, siendo λ la longitud de onda de servicio para la que se ha diseñado el dispositivo de antena. Por ejemplo, en el caso de un dispositivo de antena diseñado para funcionar en la banda de 2 *GHz*, es decir, $\lambda \approx 15$ *cm*, la distancia *d* entre un par cualquiera de elementos de antena adyacentes debería ser preferentemente menor que, o igual a, *7,5 cm.* De forma conveniente, el diámetro de los sustratos dieléctricos del dispositivo de antena puede estar en el orden de *10 cm.*

[0062] En un caso más general, se selecciona sólo un subconjunto de las *M* y *N* señales de RF recibidas por la o las redes de conmutación de RF, comprendiendo dicho subconjunto *m* señales de RF del primer conjunto de antena y *n* señales de RF del segundo conjunto de antena. En este caso, las *m* y *n* señales de RF seleccionadas se combinan de acuerdo con la ecuación (1) si se proporciona sólo una red de combinación de RF, o según las ecuaciones (2) y (3) si se proporcionan dos redes de combinación de RF. Después de la combinación, la única señal combinada *R*, o la primera señal combinada *Y* y la segunda señal combinada *Z*, es/son introducidas en el o los receptores de RF que realizan conversión descendente de frecuencia, filtrado y conversión analógica-digital (A/D). A continuación, las señales digitales recibidas del o de los receptores de RF son procesadas por la unidad de banda de base (BB) que realiza todas las operaciones de Capa 1 y Capa 2 relacionadas con las capas de protocolo físico y MAC. Algunos ejemplos de operaciones de procesamiento de señales digitales realizadas por la unidad BB son: demodulación, anulación de correspondencia de símbolos-bits, decodificación de canal, combinación de señales, medidas de radio, etc.

[0063] La selección de los mejores elementos de antena y la determinación de los pesos de ponderación óptimos se realizan por medio de la unidad de control (UC). La UC recibe de la unidad BB un conjunto de medidas que son indicativas de condiciones de canales radioeléctricos instantáneos. Tal como se ha indicado anteriormente, algunos ejemplos de medidas que pueden usarse de forma conveniente para la selección de señales de RF y la determinación de los pesos de combinación son los RSSI, las BLER de los paquetes de datos recibidos, el caudal medio medido en el nivel MAC, la SINR, etc. En uso, la UC explora periódicamente los diferentes elementos de antena y pesos de ponderación con el fin de identificar la configuración que asegure el mejor rendimiento de recepción. En el caso de una comunicación de datos en paquetes, la operación de exploración puede realizarse de

forma conveniente durante los intervalos de no actividad, por ejemplo durante el tiempo de lectura de una página web. En el caso de una conexión por circuitos conmutados, tal como una llamada de voz o vídeo, la operación de exploración puede realizarse preferentemente de manera que se reduzca al mínimo la probabilidad de pérdida de la conexión y se limite toda posible degradación de la Calidad de Servicio (QoS, *Quality of Service*) percibida por el usuario. Por ejemplo, esto puede realizarse de forma conveniente activando la operación de barrido en intervalos de tiempo diferentes para los conjuntos de antena primero y segundo.

[0064] Además, la figura 6 muestra esquemáticamente un dispositivo de antena 60 según una realización específica preferida de la presente invención, en concreto en el caso de un receptor equipado con dos cadenas de demodulación de RF.

[0065] En particular, el dispositivo de antena 60 mostrado en la figura 6 comprende:

- una caja cilíndrica 61;
- un primer conjunto de antena 62 que incluye cuatro (es decir, *M=4*) elementos de antena impresa direccional 63 dispuestos en una primera base 61a de la caja cilíndrica 61 y optimizados para recibir señales polarizadas horizontalmente;
- un primer conjunto de conmutación y combinación de RF 64 acoplado con el primer conjunto de antena 62 para seleccionar y combinar las señales de RF recibidas por dicho primer conjunto de antena 62 de manera que se envíe una primera señal combinada de RF *Y;*
- un segundo conjunto de antena 65 que incluye cuatro (es decir, *N=4*) monopolos omnidireccionales impresos basados en metamateriales 66, montados en una segunda base 61b de la caja cilíndrica 61, y operativos para recibir señales polarizadas verticalmente; y
- un segundo conjunto de conmutación y combinación de RF 67 acoplado con el segundo conjunto de antena 65 para seleccionar y combinar las señales de RF recibidas por dicho segundo conjunto de antena 65 de manera que se envíe una segunda señal combinada de RF *Z*.

[0066] La figura 7 muestra en mayor detalle uno de los elementos de antena impresa direccional 63 del primer conjunto de antena 62 dispuestos en la primera base 61a de la caja cilíndrica 61.

[0067] En particular, el elemento de antena impresa direccional 63 mostrado en la figura 7 comprende:

- un dipolo activo 71 que tiene una longitud de $\lambda/2$, tiene una estructura en forma de T y, en uso, es excitado por una microvarilla 72 que cruza perpendicularmente una ranura 73 formada en el dipolo activo 71, y termina con un circuito abierto;
- un dipolo pasivo 74, también denominado director, dispuesto antes del dipolo activo 71 y usado para mejorar la ganancia y la directividad del elemento de antena 63; y
- un reflector plano 75 que es una zona metalizada insertada detrás del dipolo activo 71 para controlar la radiación frente-atrás.

[0068] En detalle, la línea de ranura 73 tiene una longitud aproximada de $\lambda/4$ y opera como un transformador simétrico-asimétrico, en concreto un circuito que transforma una estructura asimétrica de la línea de alimentación en una simétrica (dipolos). Este tipo de elemento de antena es fácil de diseñar, ya que la correspondencia de entrada de *50 ohmios* se obtiene optimizando básicamente sólo dos parámetros: la distancia de la microvarilla 72 desde la parte superior y la longitud de un saliente 76 que es la parte de la microvarilla que supera a la ranura 73. El primer parámetro controla principalmente la parte real de la impedancia de entrada y la segunda la parte imaginaria. A este respecto, a modo de ejemplo, en la fig. 8 se describen la pérdida y la ganancia de retorno calculadas y medidas de una antena de dipolo impresa optimizada para frecuencias UMTS. Tal como se muestra en la figura 8, la anchura de banda que puede obtenerse (*15 dB)* es más del *30%,* la ganancia es del orden de *4 dB* y la diferencia frente-atrás es de *10 dB.*

[0069] Para que los elementos de antena impresa direccional 63 reciban horizontalmente señales de RF polarizadas, durante el funcionamiento el dispositivo de antena 60 debe permanecer apoyado en la primera base 61a de la caja cilíndrica 61. Preferentemente, la ganancia de cada elemento de antena impresa direccional 63 está en el orden de *4-6 dB.*

[0070] De forma conveniente, según una primera realización preferida del primer conjunto de conmutación y combinación de RF 64, sólo se selecciona el mejor elemento de antena impresa direccional 63 del primer conjunto de antena 62 y se proporciona la señal de RF recibida correspondiente a un receptor de RF según la ecuación (4)

(en la que el índice *i* identifica el mejor elemento de antena impresa direccional 63 seleccionado). Según dicha primera realización preferida del primer conjunto de conmutación y combinación de RF 64, la red de conmutación de RF se reduce a un selector *4 por 1* y la operación de combinación no es necesaria ya que se selecciona una única señal de RF.

[0071] En su lugar, según una segunda realización preferida del primer conjunto de conmutación y combinación de RF 64, pueden seleccionarse de forma conveniente los dos mejores elementos de antena impresa direccional 63 y pueden combinarse de forma conveniente las RF señales recibidas de RF correspondientes con pesos de ponderación apropiados según la ecuación (2) (en la que *m=2* y el índice *i* indexa los dos mejores elementos de antena impresa direccional 63 seleccionados). Según dicha segunda realización preferida del primer conjunto de conmutación y combinación de RF 64, es posible aprovechar dos trayectorias diferentes que proceden de diferentes direcciones combinando su energía en radiofrecuencia.

[0072] Además, la figura 9 muestra en mayor detalle uno de los monopolos basados en metamateriales 66 del segundo conjunto de antena 65 montado en la segunda base 61b de la caja cilíndrica 61

[0073] En particular, el monopolo basado en metamateriales 66 mostrado en la figura 9 tiene sustancialmente una forma rectangular, está estructurado para formar una célula de metamaterial CRLH y comprende:

- un capacitor interdigital 91, colocado apropiadamente a lo largo del monopolo basado en metamateriales 66;
- dos ramas inductivas 92 conectadas a tierra y colocadas lateralmente con respecto al capacitor interdigital 91; y
- una línea de alimentación de RF de microvarilla de entrada 93.

[0074] La ventaja principal obtenida por esta estructura es una reducción importante de la longitud del monopolo con respecto a un monopolo clásico, que funciona en la misma banda de frecuencias. En uso, en particular durante una comunicación, los monopolos basados en metamateriales omnidireccionales impresos 66 están orientados verticalmente de manera que reciben señales de RF con polarizaciones verticales. Con el fin de reducir el tamaño del dispositivo de antena 60, los monopolos basados en metamateriales omnidireccionales impresos 66 pueden montarse de forma conveniente en la segunda base 61b de la caja cilíndrica 61 por medio de articulaciones giratorias (no mostradas en las figuras 6 y 9) de manera que, cuando el dispositivo de antena 60 no recibe potencia o cuando la comunicación de voz/datos comunicación no está activa, se disponen en paralelo a la segunda base 61b de la caja cilíndrica 61, mientras que, cuando el dispositivo de antena 60 recibe potencia o cuando está activa una comunicación de voz/datos, giran de manera que son perpendiculares a la segunda base 61b de la caja cilíndrica 61.

[0075] A este respecto, la figura 10 muestra los monopolos basados en metamateriales omnidireccionales impresos 66 del segundo conjunto de antena 65 cuando el dispositivo de antena 60 está desconectado o cuando una comunicación de voz/datos no está activa (es decir, el dispositivo de antena 60 está inactivo). En particular, la figura 10 muestra los monopolos basados en metamateriales omnidireccionales impresos 66 dispuestos en paralelo con la segunda base 61b de la caja cilíndrica 61. En la figura 10 se muestran también las articulaciones giratorias y se denotan por los números de referencia 101.

[0076] Por otra parte, la figura 11 muestra los monopolos basados en metamateriales omnidireccionales impresos 66 cuando el dispositivo de antena 60 está en marcha o cuando está en curso una comunicación de voz/datos. En particular, la figura 11 muestra los monopolos basados en metamateriales omnidireccionales impresos 66 dispuestos en perpendicular a la segunda base 61b de la caja cilíndrica 61.

[0077] De forma conveniente, la colocación de los monopolos basados en metamateriales omnidireccionales impresos 66 puede ser realizada manualmente por un usuario o puede estar asistida por un mecanismo automatizado mecánico o eléctrico (no mostrado en las figuras 10 y 11).

[0078] Según una realización preferida del segundo conjunto de conmutación y combinación de RF 67, las señales de RF recibidas por los cuatro monopolos basados en metamateriales omnidireccionales impresos 66 se combinan preferentemente según la ecuación (3) (en la que *n=N=4* y el índice *l* indexa los cuatro monopolos basados en metamateriales omnidireccionales impresos 66) con un conjunto apropiado de pesos de ponderación que modela el diagrama de radiación de manera que se eleven al máximo los rendimientos radioeléctricos. Según dicha realización preferida del segundo conjunto de conmutación y combinación de RF 67, se seleccionan todas las señales de RF recibidas y así no es necesaria una red de conmutación de RF para selección de las señales.

[0079] Además, la figura 12 muestra un diagrama de bloques funcional del dispositivo de antena 60 que comprende el primer conjunto de conmutación y combinación de RF 64 implementado según la primera realización preferida del mismo descrita anteriormente, y el segundo conjunto de conmutación y combinación de RF 67 implementado según la realización preferida del mismo descrita anteriormente.

[0080] En particular, tal como se muestra en la figura 12, el primer conjunto de conmutación y combinación de RF 64 comprende una red de conmutación de RF 121 de *4 por 1* operativa para seleccionar la señal de RF recibida por sólo un elemento de antena impresa direccional 63, y no comprende ninguna unidad o red de combinación de RF. En uso, la señal de RF $Y = y_l$ seleccionada por la red de conmutación de RF 121 *4 por 1* se introduce en un primer receptor de RF 122.

[0081] De nuevo tal como se muestra en la figura 12, el segundo conjunto de conmutación y combinación de RF 67 no comprende ninguna red de conmutación de RF, pero comprende una red de combinación de RF 123 operativa para combinar las señales de RF recibidas por los cuatro monopolos basados en metamateriales omnidireccionales impresos 66 de manera que se genere una señal combinada de RF *Z* según la ecuación (3) (en la que $n=N=4$ y el índice *l* indexa los cuatro monopolos basados en metamateriales omnidireccionales impresos 66). En uso, las señales de RF recibidas por los cuatro monopolos basados en metamateriales omnidireccionales impresos 66 se combinan mediante la red de combinación de RF 123 por medio de un conjunto de pesos de ponderación $\{w_l\}$ con el fin de modelar un diagrama de radiación deseado, y la señal combinada de RF Z resultante se introduce en un segundo receptor de RF 124.

[0082] La figura 12 muestra también:

- una unidad de banda de base 125 acoplada con los receptores de RF primero 122 y segundo 124 para recibir las señales emitidas por dichos receptores de RF primero 122 y segundo 124, y configurada para determinar uno o más indicadores de rendimiento radioeléctrico con base en las señales recibidas; y
- una unidad de control 126 acoplada con la unidad de banda de base 125 para recibir de la misma el o los indicadores de rendimiento radioeléctrico determinados, y con la red de conmutación de RF 121 *4 por 1* y la red de combinación de RF 123 para controlar su funcionamiento con base en el o los indicadores de rendimiento radioeléctrico recibidos.

[0083] Según una realización alternativa del dispositivo de antena 60, cuya realización alternativa se muestra en la figura 13 en la que se denota como 60', los monopolos basados en metamateriales omnidireccionales impresos 66 del segundo conjunto de antena 65 están dispuestos en una superficie lateral 61c de la caja cilíndrica 61, que aloja la circuitería electrónica para conectividad inalámbrica. Tal como se muestra en la figura 13, el primer conjunto de antena 62 está dispuesto siempre en la base inferior 61a de la caja cilíndrica 61.

[0084] Finalmente, la figura 14 muestra un dispositivo de antena 141 según la presente invención integrado en un dispositivo de comunicación inalámbrica 140 multifuncional que incluye:

- circuitería electrónica para conectividad inalámbrica (no mostrada en la figura 14);
- varios puertos USB y digitales seguros (SD, *Secure Digital*) 142 para conectar el dispositivo de comunicación inalámbrica 140 con otros equipos (por ejemplo, equipos electrónicos de consumo), estando algunos de dichos puertos 142 conectados con el dispositivo de comunicación inalámbrica 140 por medio de un cable extensible 143 (por ejemplo arrollado en una bobina); y
- una cámara web 144 y/o otros periféricos que permiten la provisión de servicios de valor añadido (VAS, *Value Added Services*).

[0085] En resumen, la presente invención se refiere a un nuevo dispositivo de antena que tiene un factor de forma muy pequeño que facilita enormemente su integración en dispositivos portátiles de comunicación inalámbrica. En particular, el dispositivo de antena puede ser un dispositivo independiente conectable externamente a un dispositivo comercial de comunicación inalámbrica, tal como un sistema de protección de copia conectable en USB o un encaminador inalámbrico, o puede estar integrado en un dispositivo completo de comunicación inalámbrica que incluye también circuitería electrónica (es decir, chipsets de RF y banda de base) necesaria para proporcionar conectividad inalámbrica.

[0086] El problema de la correlación de desvanecimiento se aborda diseñando los conjuntos de dos antenas de manera que los elementos de radiación de los conjuntos de antena primero y segundo se optimizan para recibir diferentes polarizaciones. Esta característica hace adecuado el dispositivo de antena propuesto también para

aplicaciones MIMO en las que se transmiten múltiples trenes de datos en paralelo a través de multiplexación espacial.

[0087] El problema del espacio limitado en los dispositivos de radiocomunicación actuales se aborda integrando dos conjuntos de antena diferentes basándose en diferentes tecnologías, comprendiendo cada antena un número dado de elementos de radiación.

[0088] Por otra parte, un aspecto adicional de la presente invención se refiere también a varios esquemas para la selección y combinación en radiofrecuencia de las señales recibidas por los diferentes elementos de antena. El procesamiento de RF de las señales recibidas ofrece la ventaja de que el número de transceptores de RF no está limitado a ser igual al número de elementos de antena y por tanto puede usarse un número mayor de elementos de antena a la vez que se mantiene en niveles aceptables la complejidad de los receptores.

[0089] Las ventajas de la presente invención están claras a partir de la descripción anterior.

[0090] En particular, el dispositivo de antena según la presente invención permite reducir el tamaño de antena haciendo posible la realización de dispositivos de comunicación inalámbrica compactos de alto rendimiento.

[0091] Finalmente, está claro que pueden realizarse numerosas modificaciones y variantes en la presente invención, todas las cuales se encuadran dentro del alcance de la invención, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de antena (10, 40, 60) que comprende:

• un primer conjunto de antena (11, 41, 62) configurado para recibir primeras señales de radiofrecuencia polarizadas según una primera polarización;
• un segundo conjunto de antena (12, 42, 65) configurado para recibir segundas señales de radiofrecuencia polarizadas según una segunda polarización ortogonal a la primera polarización; y
• un conjunto de tratamiento de señales de radiofrecuencia acoplado con los conjuntos de antena primero (11, 41, 62) y segundo (12, 42, 65), y configurado para tratar las primeras señales de radiofrecuencia recibidas por separado de las segundas señales de radiofrecuencia recibidas,

en el que el primer conjunto de antena (62) comprende una pluralidad de elementos de antena impresa direccional (63), y **caracterizado porque** el segundo conjunto de antena (65) comprende una pluralidad de elementos de antena impresa omnidireccional de metamateriales (66).

2. El dispositivo de antena según la reivindicación 1, en el que el primer conjunto de antena (11, 41, 62) comprende una pluralidad de primeros elementos de antena configurados para recibir las primeras señales de radiofrecuencia, en el que el segundo conjunto de antena (12, 42, 65) comprende una pluralidad de segundos elementos de antena operativos para recibir las segundas señales de radiofrecuencia, y en el que el conjunto de tratamiento de señales de radiofrecuencia está configurado para proporcionar bien una señal de radiofrecuencia de salida única (*R*) basándose en al menos una primera señal de radiofrecuencia recibida y al menos una segunda señal de radiofrecuencia recibida, o bien una primera señal de radiofrecuencia de salida (*Y)* basándose en al menos una primera señal de radiofrecuencia recibida y una segunda señal de radiofrecuencia de salida (*Z)* basándose en al menos una segunda señal de radiofrecuencia recibida.

3. El dispositivo de antena según la reivindicación 2, en el que el conjunto de tratamiento de señales de radiofrecuencia comprende:

• una primera red de conmutación (13) acoplada con el primer conjunto de antena (11), y operativa para seleccionar un subconjunto de las primeras señales de radiofrecuencia recibidas por los primeros elementos de antena;
• una segunda red de conmutación (14) acoplada con el segundo conjunto de antena (12), y operativa para seleccionar un subconjunto de las segundas señales de radiofrecuencia recibidas por los segundos elementos de antena; y
• una red de combinación única (15) que está acoplada con las redes de conmutación primera (13) y segunda (14) para recibir, como señales de entrada, las señales de radiofrecuencia primeras y segundas seleccionadas, respectivamente, por dicha primera red de conmutación (13) y por dicha segunda red de conmutación (14), y está operativa para ponderar las señales de entrada y para combinar las señales de entrada ponderadas en la señal de radiofrecuencia de salida única (*R*).

4. El dispositivo de antena según la reivindicación 3, que comprende además una unidad de control (18) que está acoplada con las redes de conmutación primera (13) y segunda (14) y la red de combinación única (15) para controlar la selección realizada por dichas redes de conmutación primera (13) y segunda (14) y la ponderación realizada por dicha red de combinación única (15) con base en uno o más indicadores de rendimiento radioeléctrico basándose en una o más señales de radiofrecuencia de salida única (*R*) proporcionadas anteriormente.

5. El dispositivo de antena según la reivindicación 2, en el que el conjunto de tratamiento de señales de radiofrecuencia comprende:

• una primera red de conmutación (43) acoplada con el primer conjunto de antena (41), y operativa para seleccionar un subconjunto de las primeras señales de radiofrecuencia recibidas por los primeros elementos de antena;
• una primera red de combinación (45) acoplada con la primera red de conmutación (43) para recibir, como primeras señales de entrada, las primeras señales de radiofrecuencia seleccionadas por dicha primera red de conmutación (43), y operativa para ponderar las primeras señales de entrada y para combinar las primeras señales de entrada ponderadas en la primera señal de radiofrecuencia de salida (*Y)*;
• una segunda red de conmutación (44) acoplada con el segundo conjunto de antena (42), y operativa para seleccionar un subconjunto de las segundas señales de radiofrecuencia recibidas por los segundos elementos de antena; y
• una segunda red de combinación (46) acoplada con la segunda red de conmutación (44) para recibir, como

segundas señales de entrada, las segundas señales de radiofrecuencia seleccionadas por dicha segunda red de conmutación (44), y operativa para ponderar las segundas señales de entrada y para combinar las segundas señales de entrada ponderadas en la segunda señal de radiofrecuencia de salida (*Z)*.

6. El dispositivo de antena según la reivindicación 2, en el que el conjunto de tratamiento de señales de radiofrecuencia comprende:

• una red de conmutación (121) acoplada con el primer conjunto de antena (62), y operativa para seleccionar una de la primera señal de radiofrecuencia recibida por los primeros elementos de antena (63) y para proporcionar dicha primera señal de radiofrecuencia seleccionada como la primera señal de radiofrecuencia de salida (*Y)*; y
• una red de combinación (123) acoplada con el segundo conjunto de antena (65) para recibir, como señales de entrada, las segundas señales de radiofrecuencia recibidas por los segundos elementos de antena (66), y operativa para ponderar las señales de entrada y para combinar las señales de entrada ponderadas en la segunda señal de radiofrecuencia de salida (Z).

7. El dispositivo de antena según la reivindicación 5 ó 6, que comprende además una unidad de control (50, 126) que está acoplada con la red o las redes de conmutación (43, 44, 121) y la red o las redes de combinación (45, 46, 123) para controlar la selección realizada por dicha red o dichas redes de conmutación (43, 44, 121) y la ponderación realizada por dicha red o dichas redes de combinación (45, 46, 123) con base en uno o más indicadores de rendimiento radioeléctrico basándose en una o más primeras señales de radiofrecuencia de salida (*Y)* proporcionadas anteriormente y una o más segundas señales de radiofrecuencia (Z) proporcionadas anteriormente.

8. El dispositivo de antena según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 7, en el que cada red de combinación (15, 45, 46, 123) está configurada para ponderar las señales de entrada respectivas aplicando a cada señal de entrada respectiva un desplazamiento de fase correspondiente.

9. El dispositivo de antena según la reivindicación 8, en el que los desplazamientos de fase se aplican por medio de una pluralidad de líneas de retardo conmutadas selectivamente (21, 31).

10. El dispositivo de antena según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además una caja de antena (61) que aloja el conjunto de tratamiento de señales de radiofrecuencia; y en el que el primer conjunto de antena (62) y el segundo conjunto de antena (65) están dispuestos en la caja de antena (61) de manera que reciben, respectivamente, las señales de radiofrecuencia primeras y segundas.

11. El dispositivo de antena según la reivindicación 10, en el que al menos uno de los conjuntos de antena comprende una pluralidad de elementos de antena dispuestos en la caja de antena (61) de manera que la distancia entre cada par de elementos de antena adyacentes es menor que, o igual a, la mitad de la longitud de onda de servicio del dispositivo de antena.

12. El dispositivo de antena según la reivindicación 10 u 11, en el que el segundo conjunto de antena (65) está montado con capacidad de rotación en la caja de antena (61) y está operativo para poder girar de manera que recibe las segundas señales de radiofrecuencia cuando el dispositivo de antena (60) está en marcha, o cuando existe una comunicación en curso.

13. El dispositivo de antena según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en el que la caja de antena (61) tiene una forma cilíndrica, y en el que el primer conjunto de antena (62) está dispuesto en una primera base (61a) de la caja de antena (61) y el segundo conjunto de antena (65) está dispuesto bien en una segunda base (61b), o bien en una superficie lateral (61c), de la caja de antena (61).

14. Dispositivo de comunicación (140) que comprende el dispositivo de antena (10, 40, 60, 141) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

15. Dispositivo de comunicación (140) que comprende:

• el dispositivo de antena (10, 40, 60, 141) según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 13; y
• al menos un conjunto de recepción acoplado con el conjunto de tratamiento de señales de radiofrecuencia para recibir y procesar la o las señales de radiofrecuencia de salida.

16. Dispositivo de comunicación (140) que comprende:

• el dispositivo de antena (10, 40, 60, 141) según la reivindicación 4 ó 7; y
• al menos un conjunto de recepción que está acoplado con el conjunto de tratamiento de señales de radiofrecuencia para recibir y procesar la o las señales de radiofrecuencia de salida, está configurado para determinar el o los indicadores de rendimiento radioeléctrico con base en la o las señales de radiofrecuencia de salida procesadas, y está acoplado con la unidad de control (18, 50, 126) para proporcionarle el o los indicadores de rendimiento radioeléctrico determinados.

FIG. 1

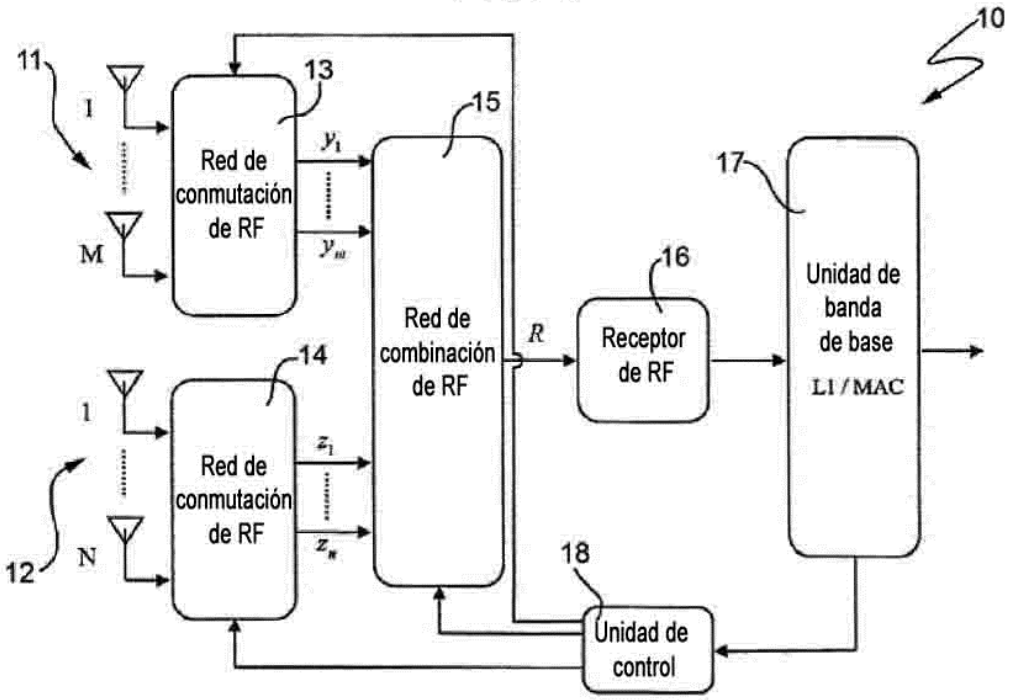

10
11
1
M
13
Red de conmutación de RF
y_1
y_m
15
Red de combinación de RF
R
16
Receptor de RF
17
Unidad de banda de base
L1 / MAC
14
1
N
12
Red de conmutación de RF
z_1
z_n
18
Unidad de control

FIG. 4

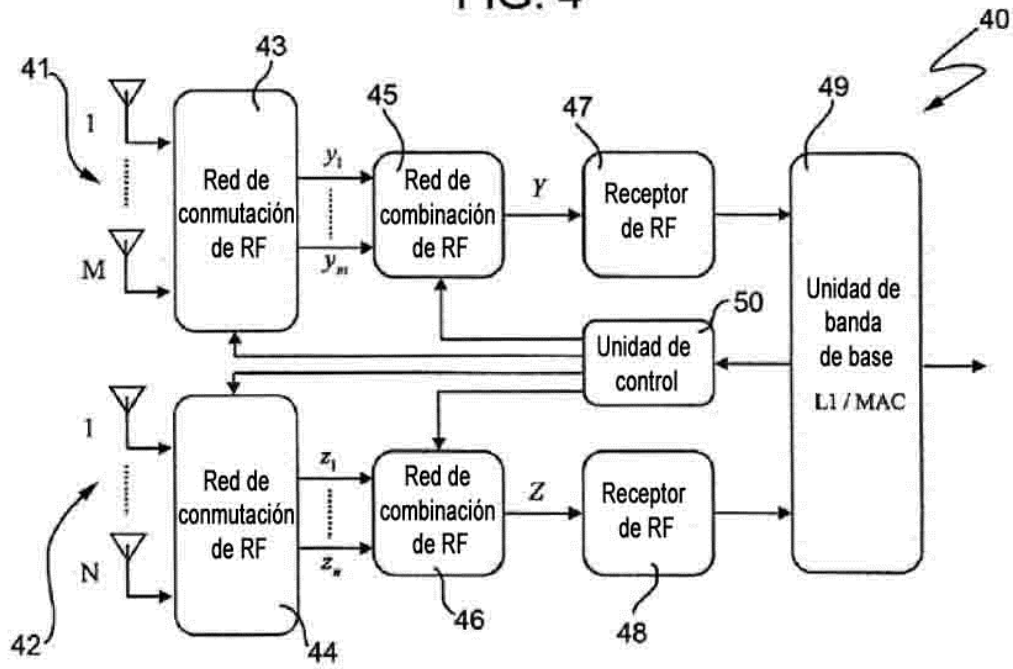

40
41
1
M
43
Red de conmutación de RF
y_1
y_m
45
Red de combinación de RF
Y
47
Receptor de RF
49
Unidad de banda de base
L1 / MAC
50
Unidad de control
1
N
42
Red de conmutación de RF
z_1
z_n
44
Red de combinación de RF
46
Z
Receptor de RF
48

FIG. 2

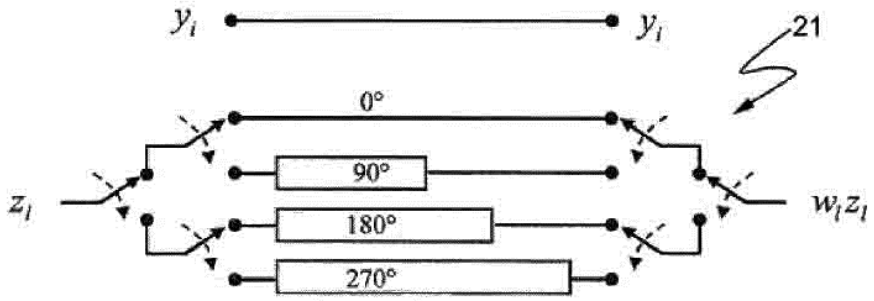


FIG. 3

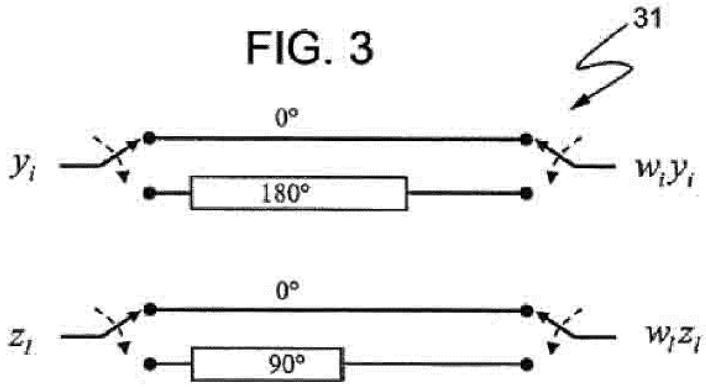


FIG. 5

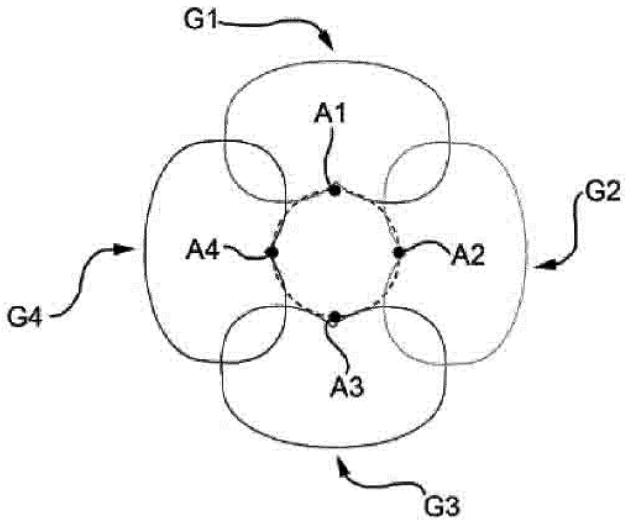


FIG. 6

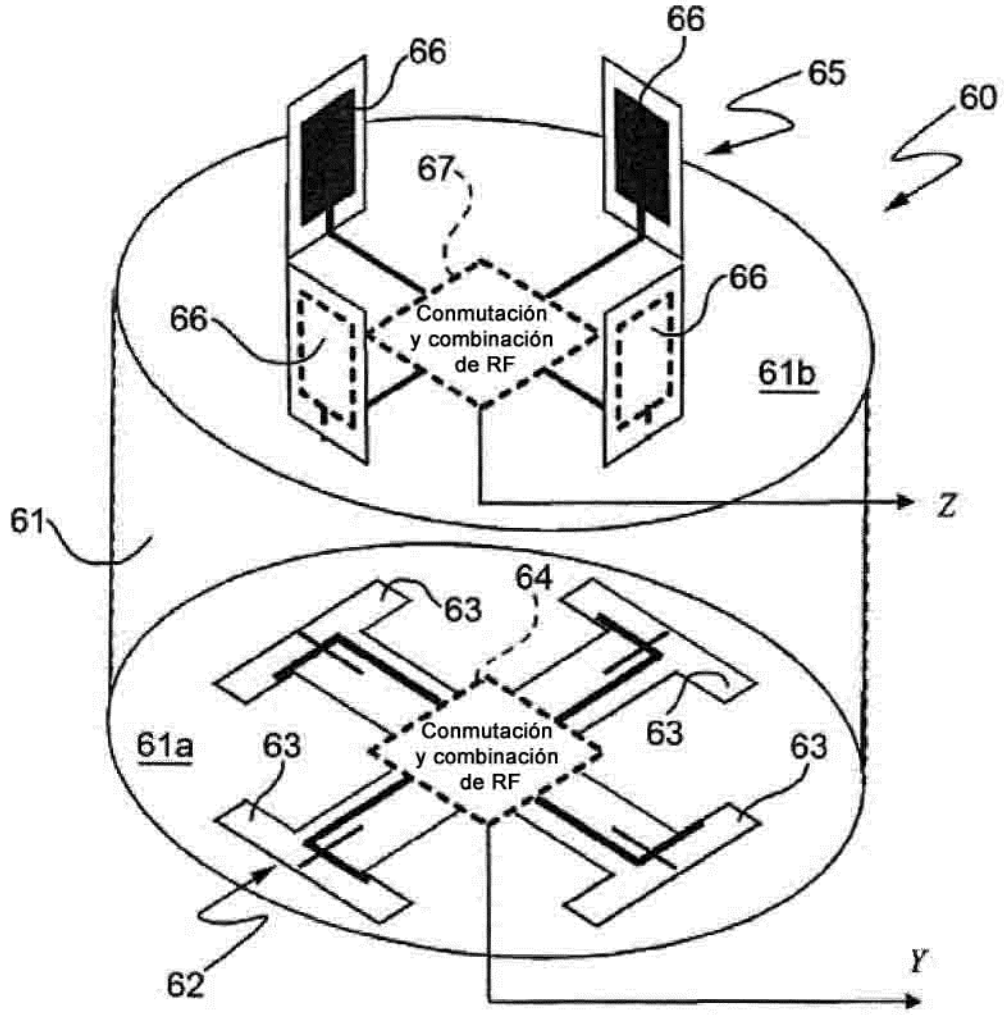

66
66
65
60
67
66
66
Conmutación
y combinación
de RF
61b
Z
61
64
63
63
61a
63
Conmutación
y combinación
de RF
63
62
Y

FIG. 7

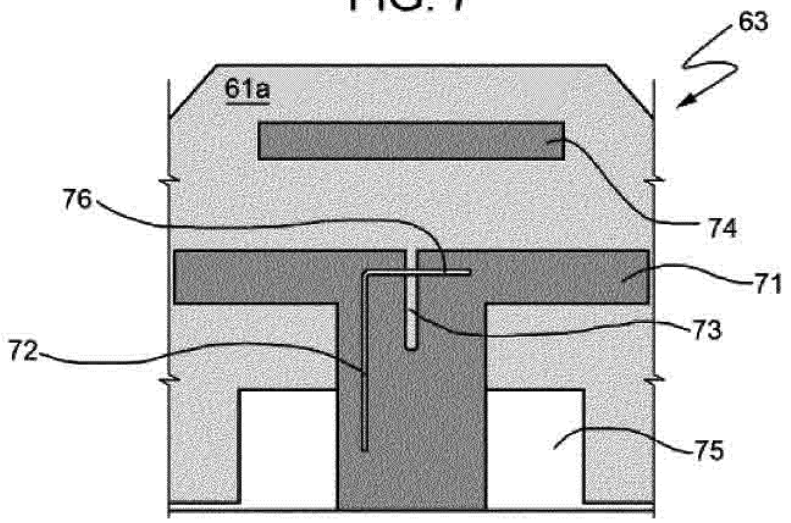


FIG. 9

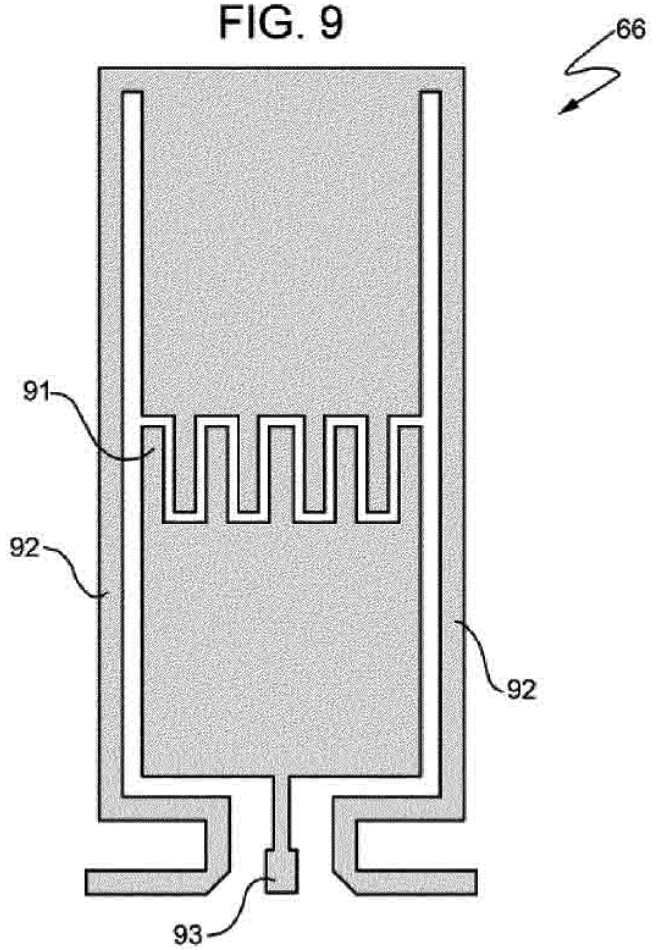
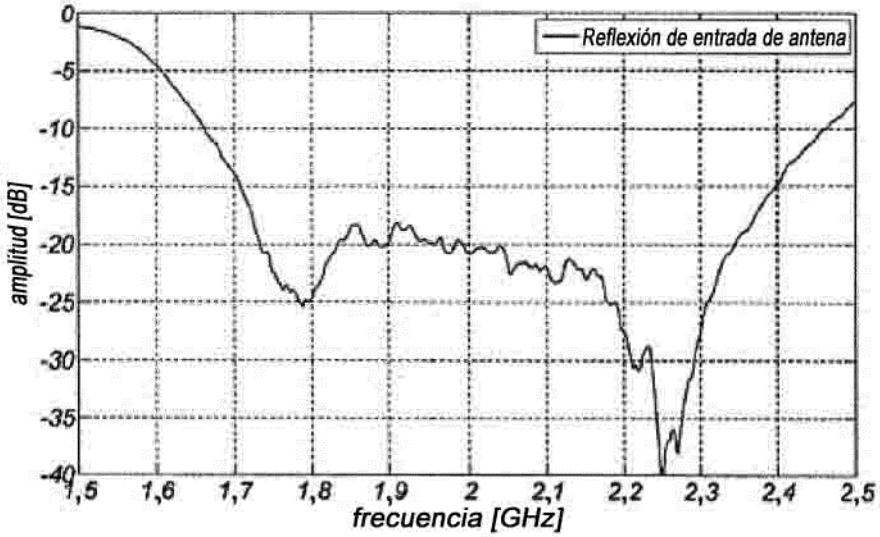


FIG. 8


Reflexión de entrada de antena
amplitud [dB]
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
1,5
1,6
1,7
1,8
1,9
2
2,1
2,2
2,3
2,4
2,5
frecuencia [GHz]

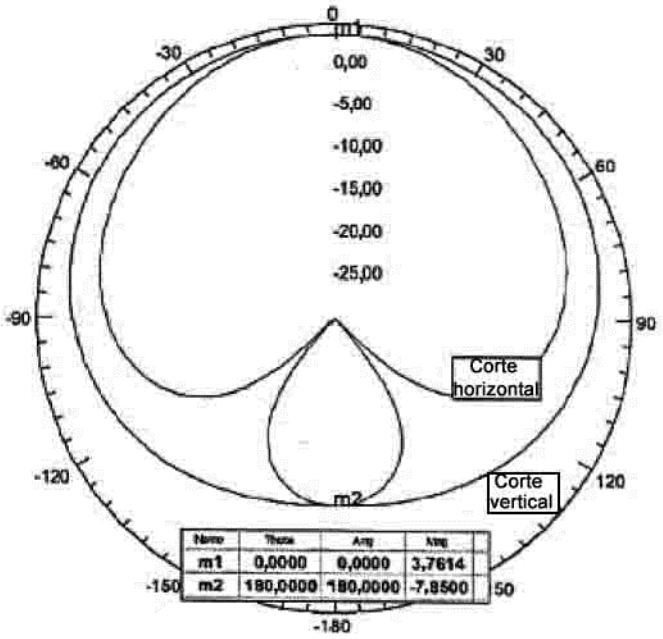

0
m1
0,00
-5,00
-10,00
-15,00
-20,00
-25,00
-30
30
-60
60
-90
90
-120
120
-150
150
-180
Corte horizontal
Corte vertical
m2
m1 0,0000 0,0000 3,7614
m2 180,0000 180,0000 -7,8500

FIG. 10

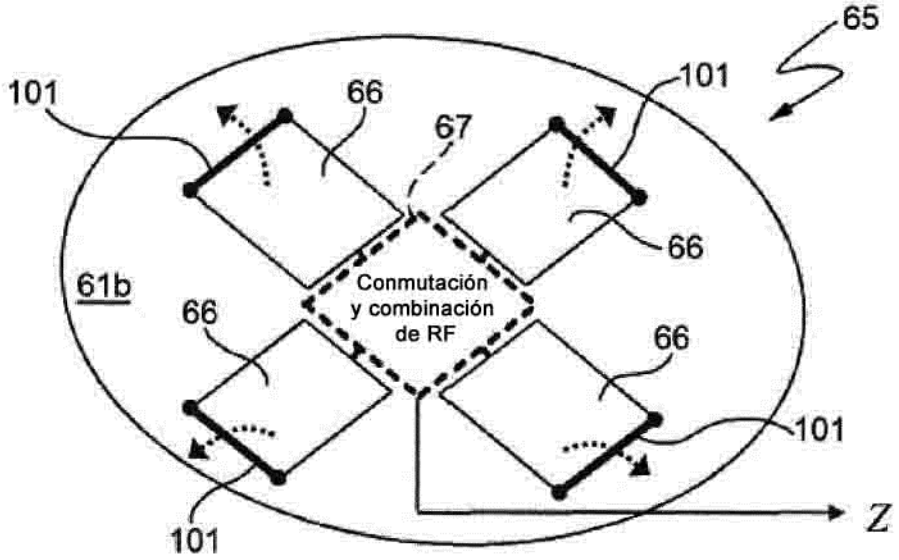

65
101
66
67
101
66
61b
Conmutación
y combinación
de RF
66
66
101
101
Z

FIG. 11

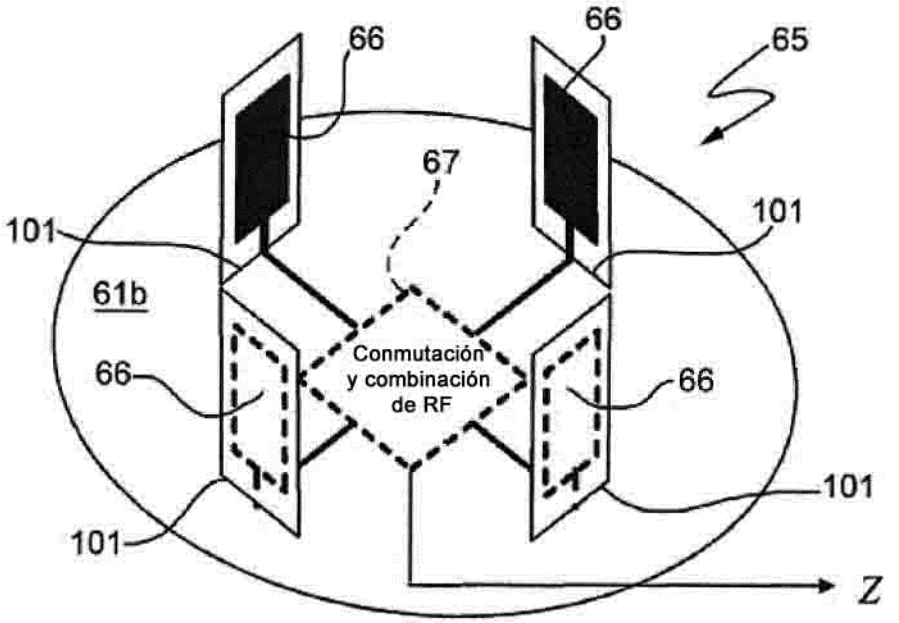

66
66
65
67
101
101
61b
Conmutación
y combinación
de RF
66
66
101
101
Z

FIG. 12

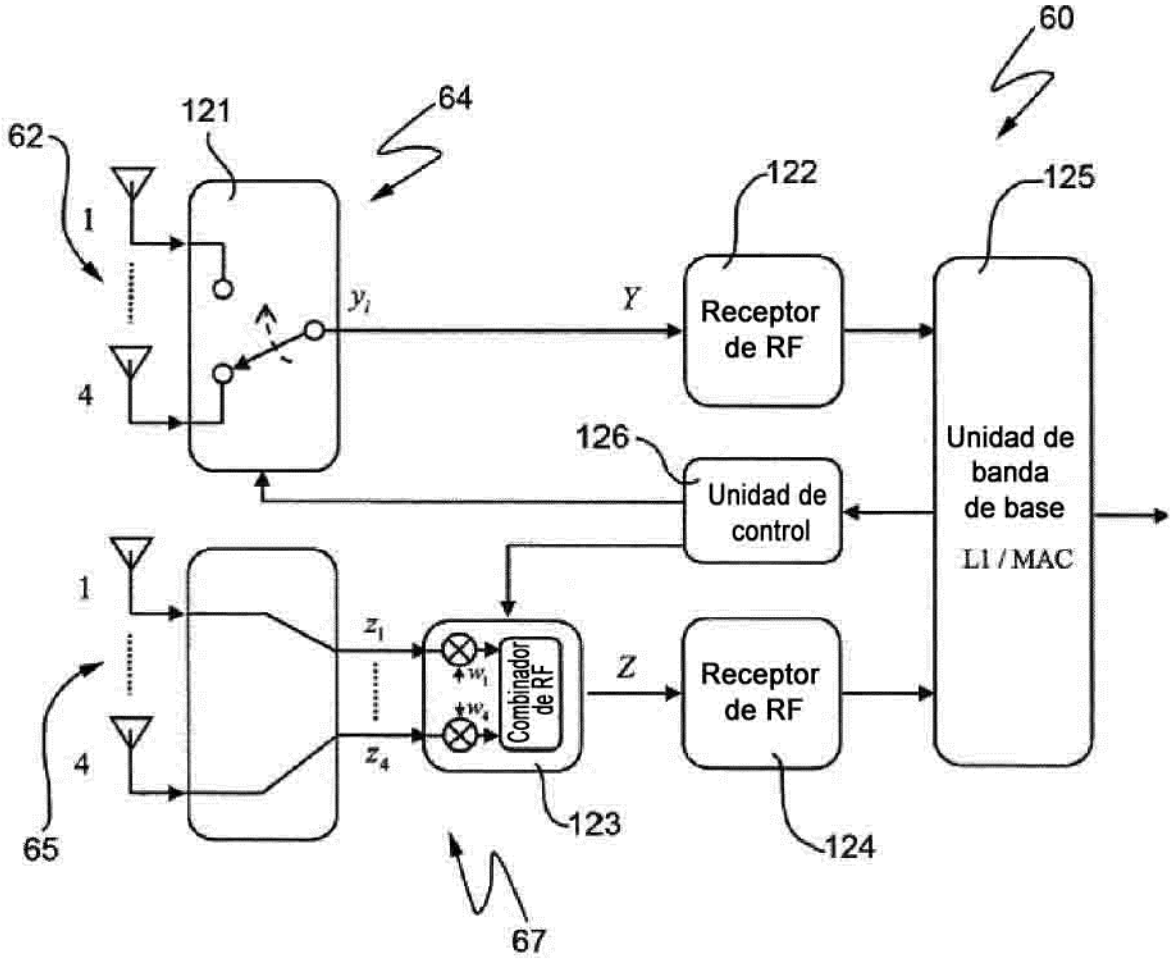

60
62
121
64
122
125
1
4
y_i
Y
Receptor de RF
126
Unidad de control
Unidad de banda de base
L1 / MAC
1
4
z_1
z_4
w_1
w_4
Combinador de RF
Z
Receptor de RF
65
123
124
67

FIG. 13

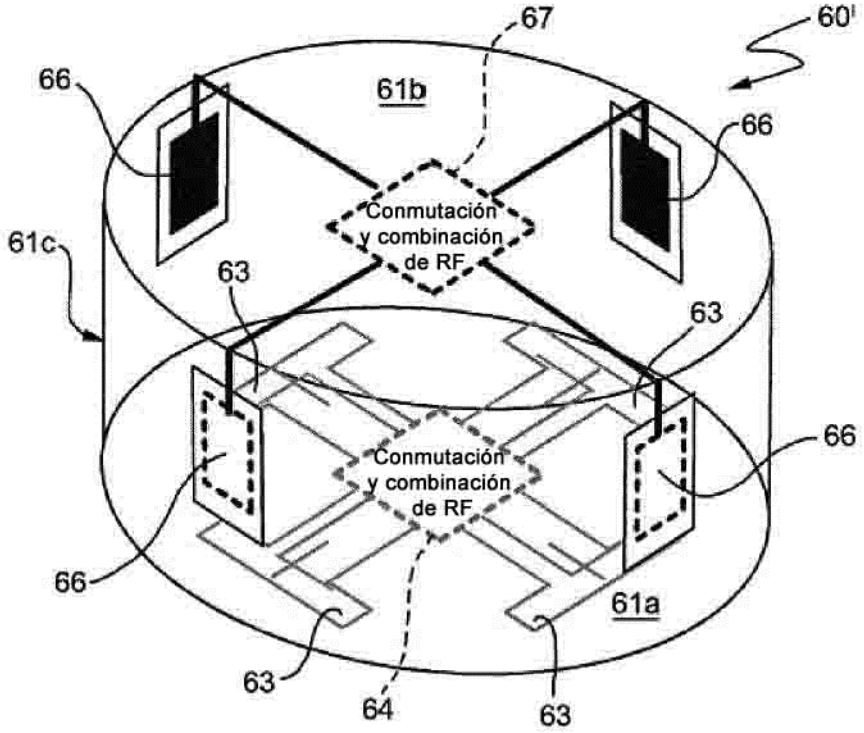
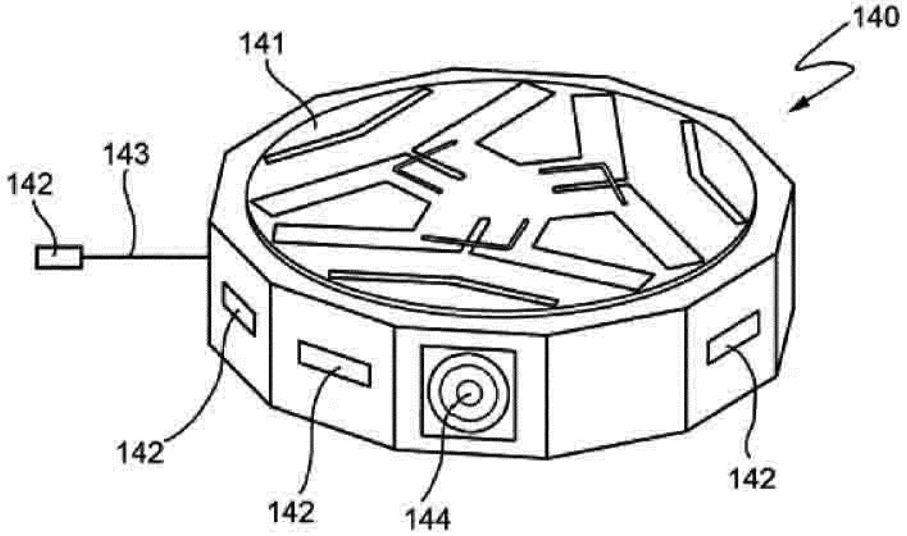

67
60'
66
61b
66
Conmutación
y combinación
de RF
61c
63
63
66
Conmutación
y combinación
de RF
66
61a
63
64
63

FIG. 14


140
141
143
142
142
142
144
142