

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 383 251**

51 Int. Cl.:
G01S 3/38 (2006.01)
H04W 16/28 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08835389 .1**
96 Fecha de presentación: **02.10.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2213116**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **04.08.2010**

54 Título: **Procedimiento de guiado de antenas inteligentes en el seno de una red de comunicaciones**

30 Prioridad:
05.10.2007 FR 0707009

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
19.06.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
19.06.2012

73 Titular/es:
THALES
45, RUE DE VILLIERS
92200 NEUILLY-SUR-SEINE, FR

72 Inventor/es:
HETHUIN, Serge y
DUPREZ, Adrien

74 Agente/Representante:
Carpintero López, Mario

ES 2 383 251 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de guiado de antenas inteligentes en el seno de una red de comunicaciones

La presente invención se refiere principalmente al guiado de antenas inteligentes denominadas de aquí en adelante antenas FESA de Fast Electronically Steerable Antenna.

5 Estas antenas denominadas inteligentes se caracterizan por un lóbulo muy directivo orientable en una dirección dada en un tiempo muy reducido (algunos centenares de nanosegundos). Se utilizan, por ejemplo, en los móviles del tipo vehículos, barcos, aeronaves para los que la implementación de antenas de lóbulo directivo de orientación dinámica es primordial.

10 La implementación de tales antenas para unos puntos fijos puede representar también una ventaja, para prescindir de una orientación manual, por ejemplo.

La presente invención se refiere también un procedimiento que permite utilizar las antenas inteligentes en un sistema de comunicaciones inalámbrico.

15 En los últimos años, se han realizado importantes progresos en el dominio de las antenas con el fin de mejorar el equilibrio entre el enlace y su alcance. La técnica anterior describe diferentes técnicas que permiten responder a esta demanda.

20 Gracias a las técnicas de modulación y codificación del canal, los procesos de comunicación se han incrementado netamente debido a los progresos realizados en la densidad de las informaciones transmitidas. Por ejemplo, las técnicas de modulaciones y de demodulaciones permiten transportar 6 bits por símbolo de modulación (64QAM en WiMAX). Las investigaciones sobre la codificación del canal han sido muy fructíferas como por ejemplo en los turbo códigos. Estos códigos correctores de error permiten acercarse más allá del límite de Shannon. No obstante, en su Teoría de la información, Shanon pone en evidencia que la potencia de radiofrecuencia RF y la banda pasante fijan un límite superior a la capacidad de un enlace de comunicación:

$$C = B * \log_2(1 + S/N),$$

25 con C = capacidad del canal (bits/s), B = banda pasante del canal (Hz), S = potencia de la señal (vatios), N = potencia del ruido (vatios).

30 Existen también, en ciertos tipos de aplicaciones (principalmente en LOS: Line Of Sight), unas técnicas que permiten el posicionamiento preciso de antenas directivas. La colocación de estas antenas es principalmente manual, tanto ayudada por herramientas de medición de potencia de radio como por unas herramientas de geolocalización (GPS, siglas anglosajonas de Global Positioning System). Este enfoque es tedioso, estático y costoso. Incluso motorizado, la orientación de las antenas es un procedimiento costoso y poco rápido.

Se encuentran también unas técnicas de conmutación. Ciertos protocolos permiten que la comunicación se conmute cuando no sea practicable una ruta directa (ruta inexistente por falta de alcance o la presencia de un obstáculo, saturación del tráfico). No obstante toda conmutación implica principalmente:

- 35
- bien una pérdida de banda pasante y un aumento de la latencia (en radio simple),
 - bien un mantenimiento de la banda pasante y de la latencia con el precio del dos radios (y no de una sola).

Con el fin de mejorar las velocidades, se han desarrollado también diferentes técnicas de tratamiento de antenas de las que se recuerdan a continuación un cierto número de ellas.

Diversidad de STC

40 En el dominio de las transmisiones de radio, las técnicas de diversidad se utilizan frecuentemente para contrarrestar el fenómeno de propagación de trayecto múltiple que provoca unos desvanecimientos (en anglosajón "fading") de la señal transmitida.

45 La diversidad de antenas (varias antenas en la emisión y/o la recepción) —denominada diversidad espacial— es la más comúnmente utilizada. El concepto de diversidad espacial es el siguiente: en presencia del desvanecimiento aleatorio debido a una propagación en múltiples trayectos, la relación de señal a ruido se mejora claramente mediante la combinación de las señales recibidas en los elementos no correlacionados de la antena.

Se puede citar igualmente:

- 50
- la diversidad temporal que se basa en la transmisión de la misma señal en dos canales diferentes pero con un ligero desfase en el tiempo.
 - la diversidad de frecuencia, de ángulos de llegada o de polarización, la diversidad por combinación de trayectos múltiples en base al principio del escalonamiento del espectro.

- la diversidad por codificación espacio-temporal, utilizada en las técnicas MIMO, acrónimo anglosajón de Multiple Input Multiple Output.

MIMO (Multiple Input Multiple Output)

5 El MIMO explota la diversidad de caminos electromagnéticos en un medio rico en trayectos múltiples para incrementar las velocidades. El MIMO no es eficaz en LOS (porque no hay trayectos múltiples).

Formación de haces electromagnéticos o en anglosajón Beamforming (analógico/digital)

10 La técnica del beamforming consiste en formar un haz electromagnético en una dirección dada a partir de unas emisiones, ponderadas en fase y en amplitud, de varias antenas. La norma IEEE 802.16 utiliza el término AAS (Adaptive Antenna System) para designar la tecnología de Beamforming. La expresión "Smart Antenna", que tiene la misma significación, se utiliza igualmente en la literatura. La norma 812.16e concentra (por razones de coste de material para el abonado) en la medida de lo posible la inteligencia y la complejidad en el nivel de la estación base. No obstante, para mejorar el rendimiento del AAS, el 802.16e define unos mensajes/procedimientos adicionales entre la estación base BS y la estación móvil MS.

Las ganancias comparadas de un Beamforming de N vías con una antena clásica son:

- 15
- para el sentido ascendente: $10 \cdot \log(N)$ (ganancia de BF)
 - para el sentido descendente: $20 \cdot \log(N)$ (ganancia de BF y suma de las potencias de cada antena)

20 La formación de un haz electromagnético ofrece por otro lado un medio susceptible para las emisiones externas que puedan interferir. Ciertos algoritmos de beamforming pueden tanto mejorar como acentuar la ganancia de recepción en una dirección dada creando unos "ceros" en el diagrama de recepción, es decir situando una ganancia mínima en la dirección de la interferencia. Aunque tiene buen rendimiento, esta técnica presenta sin embargo ciertos inconvenientes. Los circuitos o "hardware" para asegurar la función de beamforming son voluminosos en la medida en que necesitan varios equipos de radio.

Técnicas de guiado de antenas directivas

25 Las técnicas de guiado de antenas directivas desarrolladas hasta el momento pretenden unos tiempos de conmutación de haces del orden del segundo, incluso de las centenas de milisegundo. Estas técnicas implementan los procedimientos de barrido o de "scanning" y de integración en un periodo relativamente grande y por lo tanto confortable para tener unas estadísticas de la señal y son por lo tanto incompatibles con las técnicas de servicio rápido.

30 Las técnicas de tratamiento de antenas implican unos límites. El beamforming y el MIMO necesitan varias vías de emisión/recepción, lo que puede les convertir en voluminosos y costosos. El interés del MIMO está condicionado por el entorno en el que se utiliza. El incremento de la velocidad permitida es directamente proporcional al número de antenas que deben estar separadas entre sí en algunas longitudes de onda.

35 Otra vía ha sido desarrollar nuevas antenas. Entre estas últimas, se encuentran las antenas inteligentes, denominadas FESA de Fast Electronically Steerable Antenna, que se caracterizan por: una ganancia muy alta, una saturación mucho menor que la del beamforming (y del MIMO) y unos tiempos de conmutación ultra cortos. Dichas antenas no tienen más que una cobertura angular parcial y no omnidireccional en su funcionamiento normal o nominal.

40 La memoria técnica de la patente US 2005/215261 se refiere a un algoritmo de orientación de la antena que selecciona, en un primer tiempo un haz de la antena, después el algoritmo de orientación controlada periódicamente un valor del enlace de radio generado por el haz de la antena seleccionado y, en el caso en que el valor caiga por debajo de un valor de umbral, entonces el algoritmo de orientación cambiará de dirección.

45 El objetivo de la invención se refiere principalmente a un procedimiento que permita guiar, en cada instante, la dirección de este haz (procedente de una antena FESA), teniendo en cuenta la movilidad de las diferentes estaciones que participan en la comunicación, la gestión de la energía (modo de espera/inactivo más conocido con el término anglosajón "sleep/idle") y unas fases críticas de entrada en la red y de transferencia de la llamada entre las células designada por el término anglosajón "handover".

50 A continuación, se considera que la antena FESA se puede esquematizar y se comporta como un haz directivo orientable mediante un bus de N bits, estos N (por ejemplo 8) bits definen una dirección del eje central de la antena en un plano 2D del tipo: $D = k \cdot 360^\circ / (2^N)$ con: D la dirección de orientación con relación a una posición de referencia, 2^N : el número de posiciones posibles en 360° y K: el valor del bus de N bits.

El objetivo de la invención se dirige, principalmente, a los procedimientos de implementación de las antenas FESA en los terminales (de abonados, usuarios, estaciones base,...) en un contexto como por ejemplo, WiMAX móvil (acrónimo anglosajón de *Worldwide Interoperability for Microwave Access*), principalmente con el fin:

- de llegar a definir unos procedimientos aplicables en un contexto WiMAX móvil sin replantearse la norma ya definida, o cualquier otro contexto equivalente,
- hacer compatibles los terminales así modificados con las estaciones base existentes, no hay modificaciones que realizar en las estaciones base.

5 El objeto de la presente invención se refiere a un procedimiento de implementación de una antena inteligente directiva FESA en el seno de una red que utiliza protocolos de acceso deterministas, una o varias estaciones móviles MS y al menos una estación base BS, estando incluidos los datos transmitidos en una trama de datos, caracterizado porque comprende en combinación al menos las etapas siguientes:

durante la entrada de una estación móvil en la red:

- 10 • Etapa de sincronización de una estación móvil MS equipada con una antena inteligente FESA o Fast Electronically Steerable Antenna con una emisión de la estación base mediante el cambio del haz durante una duración al menos igual a una trama de datos con el fin de orientar el haz directivo en la dirección de la estación base BS para obtener la mejor recepción de la señal.
- 15 • Etapa de seguimiento de la sincronización de la estación móvil con la emisión de la estación base, y la implementación de un algoritmo de seguimiento de la orientación con el fin de conservar la mejor recepción de la señal,
- Etapa de determinación de los parámetros de definición del enlace descendente o del enlace ascendente mediante la decodificación de los mensajes de señalización contenidos en el mensaje emitido por la estación base,
- 20 • Activación de un procedimiento de entrada en la red.

Una vez que la estación móvil MS ha entrado la red:

- selección del nuevo haz basándose en un mecanismo con histéresis que utiliza un filtro lineal precedido de una etapa de rechazo por saltos o que utiliza directamente un filtro no lineal.

25 La etapa de sincronización es, por ejemplo, efectuada con una antena FESA configurada con cobertura omnidireccional dispuesta en el lado de la estación móvil MS si la señal es suficiente.

La etapa de seguimiento de la sincronización comprende una etapa de seguimiento de la orientación, después de la etapa de sincronización de la estación móvil, siendo dirigido el haz en unas direcciones sucesivas o próximas en el interior de la trama y de trama en trama con el fin de conservar en todo momento la dirección óptima. La invención se refiere también a un dispositivo de guiado de una antena inteligente FESA o Fast Electronically Steerable Antenna en una red de comunicación que comprende una interfaz de red, una capa de acceso MAC o Medium Access Control, una interfaz de energía y un módulo de radio, caracterizado porque la capa de acceso MAC comprende un módulo de guiado de FESA en relación con la antena FESA, un módulo de guiado de radio.

35 Otras características y ventajas de la presente invención surgirán mejor con la lectura de la descripción a continuación de un ejemplo de realización dado a modo ilustrativo y nunca limitativo, con unas figuras anexas que representan:

- La figura 1, un ejemplo de diferentes configuraciones de recepción de la estación base por la estación móvil,
- La figura 2, la representación de algunos haces posibles de la antena FESA,
- La figura 3, la representación de un sinóptico de guiado de la antena FESA,
- La figura 4, una topología PMP, de enlaces punto a multipunto,
- 40 • Las figuras 5, 6 y 7, respectivamente para una estación móvil equipada con una antena FESA, la mejor ganancia de antena de la antena FESA comparada con un diagrama omnidireccional, la búsqueda de la mejor dirección del haz y los lóbulos de antena respectivos de una estación base por un lado y de una estación móvil equipada con una antena FESA por otro lado,
- La figura 8, el esquema material de una estación móvil equipada con una antena FESA,
- 45 • La figura 9, un enfoque por ancho de haz decreciente (respectivamente ganancias de antena crecientes),
- La figura 10, una representación de los lóbulos de las antenas de la estación base equipada con una antena omnidireccional y de la estación móvil equipada con una antena FESA,
- La figura 11, una representación de las diferentes posiciones de cobertura de radio de la estación base equipada con una antena que funciona en Beamforming en el caso de una estación móvil equipada con una antena,
- 50 • La figura 12, el resultado de un proceso de anticipación de la conmutación de la dirección de orientación principal,
- La figura 13, un esquema de la estación base equipada con una antena FESA y una antena omnidireccional,
- La figura 14, una red 802.16 que comprende unas estaciones de repetición RS,
- 55 • La figura 15, unos haces sucesivos de la FESA en la estación de repetición, siendo omnidireccional la estación base y la estación móvil y

- La figura 16 unos haces sucesivos de la FESA en la estación base BS, estación de repetición RS y estación móvil MS.

5 Con el fin de comprender mejor el principio implementado por el procedimiento de acuerdo con la invención, la descripción que sigue se da para el caso de una red WiMAX, a modo ilustrativo y de ningún modo limitativo. Los procedimientos descritos en el marco de este resumen se definen para los sistemas 802.16, pero se pueden generalizar para todo sistema basado en un protocolo de acceso determinista.

La solución propuesta de procedimientos FESA implementa, por ejemplo, los principios siguientes:

- La utilización de una Base civil 802.16d/e,
- La realización de cada nodo, correspondiente a una estación móvil, a partir de material 802.16 comercial (componentes de hardware del tipo ASIC (*Application-Specific Integrated Circuit*), capa PHY y módulos del programa),
- Una estación móvil equipada con una antena del tipo FESA debe poder funcionar con una estación base BS, equipada o no con un sistema adaptativo de antena AAS,
- Los nodos (estación base BS, estación de repetición RS o estación móvil MS) dotados con una capacidad FESA se integran en una red WiMAX (acrónimo anglosajón de *Worldwide Interoperability for Microwave Access*) sin ningún impacto sobre los otros nodos de la red,
- Los intervalos de tiempos no útiles para la transmisión, se utilizan para conocer la dirección de la emisión (útil para entrar en la red, seguimiento o "tracking" y llamadas entre las células o "handover").

El procedimiento de acuerdo con la invención resuelve principalmente los siguientes problemas:

- La entrada en la red de una estación móvil, lo que conduce:
 - o a la sincronización con la estación base,
 - o a la Decodificación de los mensajes de gestión,
 - o a los Procedimientos de entrada en la red (autorización, ranging, etc...)
- El seguimiento o "Tracking" de la estación base BS (en función de la movilidad de la estación MS),
- El conjunto de operaciones implementadas que permiten que la estación móvil pueda cambiar de célula sin interrupción del servicio o "Handover" en anglosajón,
- El modo "Sleep/Idle".

30 El primer ejemplo de implementación del procedimiento de acuerdo con la invención se refiere a una estación móvil equipada con una antena del tipo FESA en una red PMP, es decir en la que los enlaces son unos enlaces punto-multipunto.

La estación base que participa en la red puede estar o bien no equipada con el sistema de adaptación automático, o no AAS, o bien equipada con un sistema de antena adaptativo, como se define en la norma 802.16d/e.

35 La figura 1 representa diferentes configuraciones de recepción de la estación base por la estación móvil. Para una estación móvil equipada con una estación FESA, en la que algunos haces emitidos por esta última se representan en la figura 2, en la que $D(k)$ corresponde a los diferentes valores de orientación del haz, las estaciones móviles MS1 y MS2 (figura 1) ven una mejora de la relación señal al ruido SNR, y por tanto un incremento de la velocidad (paso a unas modulaciones más eficaces) para los MS1 y una posibilidad de transmitir con una velocidad mínima (modulación mínima accesible) para los MS2. Las estaciones móviles MS3 ven la posibilidad de decodificar los mensajes de señalización DL-MAP de la estación y los MS4 ven la posibilidad de sincronizarse (las estaciones MS4 no se pueden sincronizar si no están equipadas con una antena FESA).

La figura 2 esquematiza varios de los haces emitidos por la antena FESA de acuerdo con una dirección de orientación dada. La dirección de los haces emitidos varía con el índice k .

45 La figura 3 esquematiza un ejemplo de guiado de una antena FESA. La implementación se puede realizar, por ejemplo, de acuerdo con dos medios descritos a continuación en el presente documento.

Una primera técnica consiste en utilizar un bus paralelo. La ventaja resultante es la rapidez de las órdenes. La dirección de orientación y la ganancia de la antena se aplican sin retardo desde el momento en que la información cambia en el bus paralelo. Por el contrario, este bus paralelo necesita un cable con tantos conductores como bits definidos en el bus.

50 La segunda técnica se basa en un enlace serie que presenta la ventaja de minimizar el número de conductores del bus de control entre el módem de radio y la antena: un conductor para las informaciones y un conductor para la señal de carga. El inconveniente reside entonces en la arquitectura de los circuitos necesarios (registros serie-paralelo) en la antena para memorizar las informaciones sobre desconexión de la señal de carga e incluso sobre el retardo a permitir entre el envío de la orden y la aplicación real de los parámetros. La figura 4 representa un ejemplo de la topología para unos enlaces punto a multipunto que comprenden una estación base BS y varias estaciones

móviles MS equipadas con una antena FESA que comunican entre sí aplicando el procedimiento de acuerdo con la invención, apoyándose la comunicación por ejemplo en Internet.

5 La figura 5 representa el incremento de la ganancia de la antena y la reducción asociada del lóbulo de la antena aportada por la utilización de una antena FESA en una estación móvil en este ejemplo. El caso de la estación base equipada con una antena FESA se menciona a continuación. La figura 6 representa en un eje temporal, una estación móvil MS equipada con una antena FESA a la búsqueda del mejor haz.

Estando equipada la estación móvil MS con al menos una antena del tipo FESA, esto último presenta como ventaja el facilitar la sincronización de la estación móvil MS con la emisión de la estación base (procedimiento descendente o Downlink) por extensión de la ganancia de la antena.

10 Las etapas implementadas por el procedimiento son, por ejemplo, las siguientes: se concentra la energía en un haz estrecho emitido por la antena FESA y se considera la subtrama descendente;

Inicialización de la estación móvil del abonado, búsqueda de una estación base

- 15 • El procedimiento busca el mejor haz (haz directivo de la MS que busca la energía de la BS) mediante el cambio de la orientación del haz en cada trama (trama de tamaño máximo por defecto), hasta orientar el haz en la dirección de la estación base (o en la dirección que permite la mejor recepción de la señal que proviene de la estación base). La figura 6 representa esta etapa de búsqueda de la mejor orientación del haz electromagnético en la estación móvil. Un procesador que forma parte del dispositivo (ver figura 8) permite hacer variar el ángulo de emisión del haz de la antena FESA de la estación móvil durante su búsqueda de una estación base BS.
- 20 • La figura 7 representa la envoltura de los lóbulos de antenas omnidireccionales de la estación base BS y del haz de una estación móvil equipada con una antena FESA permitiendo de ese modo la comunicación entre los dos. Se representa también la estructura de la trama OFDMA asociada, para el enlace descendente (downlink) y para el enlace ascendente (uplink). Ventajosamente, la ganancia de la antena disponible de ese modo en la MS permite mejorar el equilibrio del enlace respecto a la velocidad o también, incluso la relación señal a ruido, lo que permite arrancar un proceso de conexión con unos alcances más grandes.
- 25 • Habiendo encontrado la estación móvil MS a la estación base con la que puede dialogar, la etapa siguiente es la etapa de sincronización de la estación móvil MS con la emisión de la estación base. Esto corresponde al inicio del preámbulo "Downlink Preamble". La etapa de sincronización se efectúa de acuerdo con los principios conocidos para el experto en la materia.
- 30 • Se obtienen a continuación unos parámetros de definición del enlace en el sentido descendente o "Downlink" mediante la decodificación de los mensajes de señalización (mensajes FCH que describen la composición de la trama, DL-MAP mensaje MAC 802.16 que describe la asignación de la banda pasante y DCD descriptor del canal descendente en relación a la descripción del canal de radio.
- 35 • El procedimiento implementa a continuación, por ejemplo, un procedimiento 802.16 clásico, es decir de entrada en la red.
- Si la entrada en la red fracasa (por ejemplo red "foránea"), se hace variar el ángulo de la emisión del haz y se reiteran las etapas descritas anteriormente hasta la sincronización, la obtención de los parámetros de definición del Downlink y el procedimiento de entrada en la red.

40 La figura 8 representa un esquema material posible para una estación móvil MS equipada con una FESA en el caso del protocolo 802.16. La capa MAC acciona la dirección de la antena mediante la selección de un haz.

En esta figura se representan: una interfaz de energía 1 que alimenta los diferentes elementos, una interfaz de red 2, en conexión con la capa superior 3 o Upper Mac que comprende unos medios 4 para guiar la orientación de la antena y los elementos 5 del canal de radiofrecuencia en el que trabajan los diferentes elementos. La función de orientación de la antena se efectúa por ejemplo por medio de un procesador que permite principalmente ejecutar diferentes cálculos, por ejemplo unas medias, u otros tipos de cálculo de los que se darán a continuación ciertos ejemplos.

45 La capa inferior 6 está en conexión con la capa inferior de acceso al medio o lower MAC que comprende los medios de guiado por radiofrecuencia 7 y el dispositivo de guiado 8 de la antena FESA, estando este último en conexión directa con la antena 9. En el nivel de la capa inferior, se utilizan unos FPGA (Field Programmable Gate Array) o incluso unos circuitos integrados o ASIC (Application-Specific Integrated Circuit) que permiten principalmente ejecutar funciones en tiempo real, tales como unas secuenciaciones de la antena, etc. Una capa de radio 10 está en contacto con la antena FESA 9.

Habiendo finalizado del procedimiento de inicio de entrada en la red, el procedimiento puede desarrollar la fase de seguimiento o tracking.

55

Seguimiento o Tracking

El seguimiento o "tracking" trata de asegurar que el haz seleccionado de la antena FESA de la estación móvil MS para comunicar con la estación base está en todo momento dirigido de una manera óptima.

5 Para llegar a este resultado, el algoritmo de seguimiento "tracking" mide unos parámetros significativos para varias direcciones alrededor de la dirección nominal de acuerdo con una constante de tiempo durante la que se integra la señal, compara los resultados obtenidos y decide la dirección a seguir de acuerdo con un tratamiento que permite principalmente liberarse de eventuales problemas de variación en la potencia de la emisión momentánea.

Las antenas FESA pueden funcionar o bien con unos nodos de radio equipados con un GPS que utilizan las informaciones GPS disponibles, o bien con unos nodos de radio que están totalmente desprovistos.

10 Con GPS

En el caso en que estén disponibles unas informaciones GPS (coordenadas de emisor y receptor), entonces el nodo o la estación móvil equipada con una antena FESA puede determinar la mejor dirección teórica y situarse en ella. Una vez posicionado, un procedimiento efectúa diferentes medidas para verificar que la mejor dirección teórica para el haz de la antena es también la mejor en la práctica. Para verificar que se ha encontrado la mejor dirección, se ejecutan, por ejemplo, las etapas siguientes: una constatación en primer lugar de que se puede efectuar la conexión, después una prueba de la dirección y eventualmente unas direcciones directamente adyacentes en los periodos del enlace descendente del canal de difusión (downlink broadcast) de la estación base BS con una media sobre varias tramas de una posición si es necesario. La función para ejecutar la media se sitúa en la capa MAC superior.

Sin GPS

20 Sin GPS, el haz de la antena FESA se sitúa sobre una dirección por defecto (por ejemplo la última utilizada si el proceso de sincronización está aún activo) esta información se memoriza en la capa superior MAC. A continuación la dirección del haz evoluciona en función del algoritmo de seguimiento.

25 Un enfoque complementario consiste en proceder a hacer variar la longitud del haz emitido por la antena FESA, de manera incremental, como se representa en la figura 9. Para tener en cuenta unas aplicaciones de movilidad que conducen a unos cambios de los haces más rápidos, el haz se puede ampliar al final de cada trama, después se refina para el seguimiento o tracking al comienzo de la trama siguiente (a condición de que la relación señal a ruido SNR sea suficiente). El refinado para el mejor haz se puede realizar también en la subtrama del enlace descendente, aunque la BS no se dirija a la MS-FESA. Esto se representa en la figura 10.

30 Si el móvil MS esta próximo a la BS, las variaciones de orientación pueden ser rápidas y el seguimiento de la orientación puede convertirse en una dificultad. Las longitudes del lóbulo (ganancia de la antena) se mantendrán por tanto moderadas, en tanto que la corta distancia entre BS y MS hace que el equilibrio del enlace sea suficiente con un diagrama omnidireccional. A la inversa, si el móvil se separa de la BS, entonces se puede convertir en interesante incrementar la ganancia de la antena y afinar el haz para soportar el incremento de la distancia entre BS y MS gracias a la directividad de la antena FESA. Longitud del haz y orientación del haz son dos parámetros diferentes que se generan de manera complementaria.

35 El ejemplo de la figura 10, la MS-FESA tiene su haz mal ajustado con relación a la BS. Esto se debe a la movilidad. No obstante la MS-FESA consigue (ver la zona A) sincronizarse y decodificar los parámetros del Downlink (mensajes FCH, DL-MAP y DCD).

40 En la zona A, siempre, la BS difunde unas informaciones a todas las estaciones abonadas (Broadcast). En la zona B, la MS-FESA concernida sabe gracias a los mensajes FCH o DL-MAP que dispone de un tiempo determinado sin tener que capturar informaciones dedicadas de parte de la BS. Por lo que saca provecho de este tiempo para afinar su haz hacia la BS. Este afinado se puede determinar en el final de la zona B, como es el caso en la figura 10. Si no, podría interrumpir este afinado durante la zona C y retomarlo en la zona D.

45 Se implementa, por ejemplo, un mecanismo de histéresis para estabilizar el sistema, y evitar así las conmutaciones muy rápidas entre dos direcciones del haz.

Detalles sobre el algoritmo de seguimiento de la orientación óptima:

A continuación, se describe un enfoque mediante filtrado lineal del tipo α - β precedido eventualmente de un algoritmo de rechazo lineal. Se podría realizar el mismo enfoque utilizando un filtrado del tipo Kalman.

50 Se suponen a continuación unas mediciones de energía (RSSI) o de la SNR efectuadas sobre 3 direcciones de orientación contiguas con una directividad (ganancia de la antena o longitud del lóbulo) dada: dirección nominal k y direcciones adyacentes $k-1$ y $k+1$.

Las mediciones de RSSI o de SNR en la dirección k en el transcurso del tiempo en una trama o en varias tramas en unos instantes regulares (se puede describir el mismo enfoque con unos instantes de escalonado irregulares pero la

formulación es mucho más pesada) sean $m_k(nT)$. Igualmente, en la dirección (k-1) en los instantes $nT+T_{k-1}$ las mediciones son: $m_{k-1}(nT+T_{k-1})$. Igualmente, las mediciones en la dirección (k+1) en los instantes $nT+T_{k+1}$ son: $m_{k+1}(nT+T_{k+1})$. nT representa los instantes de medición en la dirección k, mientras que $nT+T_{k-1}$ y $nT+T_{k+1}$ representan los instantes de medición en las direcciones respectivas k-1 y k+1 (T_{k-1} y T_{k+1} son unos desfases con relación a los instantes nT).

En la dirección k, el procedimiento utiliza el filtro siguiente:

$$MP_k(nT) = M_k(nT - T) + v_k(nT - T) * T$$

$$e_k(nT) = m_k(nT) - MP_k(nT)$$

$$M_k(nT) = MP_k(nT) + \alpha e_k(nT)$$

$$v_k(nT) = v_k(nT - T) + \beta e_k(nT)/T$$

con:

MP: predicción para el instante T

e: error entre la medición y la predicción en el instante T

M: estimación en el instante T

v: velocidad estimada de evolución

En la dirección k-1, se hace actuar al filtro siguiente:

$$MP_{k-1}(nT + T_{k-1}) = M_{k-1}(nT + T_{k-1} - T) + v_{k-1}(nT + T_{k-1} - T) * T$$

$$e_{k-1}(nT + T_{k-1}) = m_{k-1}(nT + T_{k-1}) - MP_{k-1}(nT + T_{k-1})$$

$$M_{k-1}(nT + T_{k-1}) = MP_{k-1}(nT + T_{k-1}) + \alpha e_{k-1}(nT + T_{k-1})$$

$$v_{k-1}(nT + T_{k-1}) = v_{k-1}(nT + T_{k-1} - T) + \beta e_{k-1}(nT + T_{k-1})/T$$

En la dirección k+1, se hace actuar el filtro siguiente:

$$MP_{k+1}(nT + T_{k+1}) = M_{k+1}(nT + T_{k+1} - T) + v_{k+1}(nT + T_{k+1} - T) * T$$

$$e_{k+1}(nT + T_{k+1}) = m_{k+1}(nT + T_{k+1}) - MP_{k+1}(nT + T_{k+1})$$

$$M_{k+1}(nT + T_{k+1}) = MP_{k+1}(nT + T_{k+1}) + \alpha e_{k+1}(nT + T_{k+1})$$

$$v_{k+1}(nT + T_{k+1}) = v_{k+1}(nT + T_{k+1} - T) + \beta e_{k+1}(nT + T_{k+1})/T$$

La histéresis consiste en comparar en cada instante $nT+\delta$ (siendo δ el mayorante de T_{k-1} y T_{k+1}) el valor de $M_k(nT)$ con $M_{k-1}(nT+T_{k-1})$ y $M_{k+1}(nT+T_{k+1})$. Si el valor de $M_k(nT)$ es siempre superior en X1 dB a $M_{k-1}(nT+T_{k-1})$ y a $M_{k+1}(nT+T_{k+1})$ entonces el valor de k se conserva como orientación óptima. Si uno de los valores $M_{k-1}(nT+T_{k-1})$ o $M_{k+1}(nT+T_{k+1})$ es superior en X2 dB con relación a $M_k(nT)$ entonces se toma la dirección correspondiente como la dirección de orientación óptima.

Las predicciones MP permiten conocer y anticiparse a un cambio de la dirección de orientación principal. En efecto, las velocidades de evolución permiten calcular por adelantado de entre la dirección de k-1 o de k+1 cuál de las dos va a tomar el relevo. Siendo la tendencia general del tipo descrito con relación a la figura 12, en la que la separación entre las direcciones k y k-1 da una ventaja a esta última. Si una radio está fuera de alcance o en el modo "sleep/idle", entonces, en ausencia de informaciones del tipo GPS, el haz en el reinicio es el último utilizado o se recomienza una fase de adquisición del mejor ángulo de orientación.

Si una radio está en el modo "idle", entonces, en ausencia de informaciones del tipo GPS que le indiquen la BS más próxima, en cada cita periódica con el grupo de "paging" (definido desde la entrada en el modo "idle" tal como se describe por la norma WiMAX) el haz retomado es el último utilizado pero precedido por un escrutado de 360° para confirmación de la mejor dirección hacia la mejor BS. Este escrutado se puede efectuar algunos instantes antes (en las tramas precedentes) de la cita periódica con el grupo de paging.

Parámetros significativos para el algoritmo de seguimiento.

El algoritmo de seguimiento implementado por el procedimiento se puede basar en el procedimiento de los mínimos cuadrados, conocido para el experto en la materia aunque también en unas técnicas como la mencionada más arriba en base al filtrado lineal α - β con estimación de la orientación media y de la velocidad de evolución de la dirección de orientación seguida por un algoritmo de rechazo no lineal de las medidas instantáneas demasiado separadas. Se pueden tener en cuenta varios criterios, como las estadísticas de potencia (potencia recibida, relación

señal a ruido si están disponibles) o las estadísticas de codificación del canal.

A modo de ejemplo, el procedimiento considera dos algoritmos de seguimiento o "tracking":

Ejemplo A: Criterio de optimización de la potencia recibida.

5 El criterio de potencia es el más simple de utilizar (medida del RSSI abreviatura anglosajona de Received Signal Strength Indication). Está ligado indirectamente a la robustez de la comunicación.

10 La estación móvil MS se beneficia de los tiempos en la subtrama del enlace descendente "downlink" en los que no se le destina ninguna ráfaga o "burst", es decir en los que no recibe ninguna información dedicada desde la estación base, para medir las potencias recibidas en las otras direcciones del haz de su antena FESA. Prácticamente, para varios valores del ángulo de orientación del haz, determina una potencia o energía recibida, a continuación puede efectuar la media de todos los valores de la potencia.

Los cálculos se efectúan, por ejemplo, en el dispositivo de orientación de la antena situado en la capa superior o "Upper MAC".

15 Estas medidas son válidas en la medida en que la estación base BS está en emisión en los instantes medidos, es decir que la BS se interesa en los otros MS, les proporciona sus mensajes respectivos, no teniendo la MS concernida nada de particular que recibir durante estos instantes. Esto se verifica por la estación móvil MS en el mensaje FCH (Frame Control Header) y DL-MAP envíos en el enlace descendente. La dirección seleccionada es, por ejemplo aquella en la que la energía media recibida es máxima.

20 El procedimiento del algoritmo detallado, en consideración a la orientación de la antena FESA de la estación móvil MS obtenido en la trama precedente N-1 y el diagrama omnidireccional en la antena de la BS, es, por ejemplo el siguiente:

- Sincronización de la estación móvil MS con la estación base BS utilizando las etapas de sincronización descritas anteriormente,
- Lectura por parte de la estación móvil MS de los mensajes FCH, DL-MAP para el conocimiento de la estructura de acceso en el enlace descendente "downlink",
- 25 • En la fase de ráfagas del enlace descendente o "downlink bursts" de la secuencia A, adaptación de la orientación del haz de la MS hacia la BS (en diagrama omnidireccional constante) por el procedimiento de medición de la potencia teniendo en cuenta o no las estadísticas del canal. Al dirigirse la estación base a las otras estaciones móviles MS diferentes de aquella a la que busca conectarse, el tiempo durante el que la estación base no se dirige a una estación móvil FESA es usado por esta estación móvil MS FESA para afinar mediante unos cálculos efectuados por ejemplo a nivel del dispositivo de guiado, la orientación de su haz hacia la BS. Varias estaciones móviles MS FESA pueden afinar su haz a la vez (diagrama omnidireccional sobre la BS).

Ejemplo B: Combinación de la potencia y de la relación señal/ruido o SNR

35 El valor de la SNR es un excelente criterio porque está directamente ligado a la capacidad de demodulación. No obstante, se supone que la estación móvil MS demodula unos símbolos. Esto significa por tanto que la MS WiMAX se modifica para demodular también unos símbolos que no le están destinados, y esto con el fin de determinar la SNR. Los símbolos adquiridos por la estación móvil se decodifican con el fin de volver a tener los datos modulados y a continuación determinar el valor de la relación señal a ruido ejecutando los procedimientos estadísticos conocidos para el experto en la materia. Este procedimiento puede ser más largo que el precedente porque necesita esperar a la duración del símbolo. Este procedimiento se puede acoplar a la utilización de las estadísticas de codificación del canal.

40 El procedimiento de algoritmo implementado puede ser el siguiente, considerando la orientación de la antena FESA en el MS obtenida en la trama precedente y el diagrama omnidireccional en la antena de la BS, es el siguiente:

- Sincronización de la MS con la BS,
- 45 • Lectura por parte de la MS de los mensajes FCH, DL-MAP para conocimiento de la estructura de acceso en el downlink,
- En la fase de "downlink bursts" de la secuencia A (B en la Figura 11), adaptación de la orientación del haz de la MS hacia la BS (con un diagrama omnidireccional constante) mediante el procedimiento de medición de la potencia y de la SNR con o sin tener en cuenta las estadísticas del canal. Al dirigirse la BS a otras MS, el tiempo durante el que no se dirige a una MS es utilizado por esta MS para afinar la orientación de su haz hacia la BS. Varias MS pueden afinar su haz a la vez (diagrama omnidireccional sobre la BS).

Handover

En la norma 802.16e, los dos tipos principales de "handover" se definen de la manera siguiente:

- Mecanismo de cambio de célula brusco o “Hard handover”: la MS detiene su enlace de radio con la primera BS antes de establecer un enlace de radio con la siguiente.
- Mecanismo de cambio de célula suave o “Soft handover”: Este handover es tan rápido como el hard handover, en la medida en que la comunicación no se corta. La MS establece el enlace con la BS siguiente antes de romper el enlace precedente.

Los dos tipos de soft handover definidos en la 802.16e son:

- La conmutación rápida o “Fast BS Switching (FBSS)”: Este handover es rápido en la medida en que no tiene un procedimiento de entrada completo que realizar con la nueva BS.
- Macro Diversity HandOver (MDHO).

Los perfiles WiMAX móviles no imponen más que el “hard handover”. El FBSS y el MDHO son opcionales. El “handover” se debe realizar en un tiempo de alrededor de 100 ms. En el marco del “soft handover”, el guiado de la antena FESA se pone al servicio de la búsqueda de una BS mejor. La señalización y eventualmente la sincronización de las BS entre sí, el conocimiento de los tiempos no útiles, es decir los tiempos durante los que la estación no está ni en trance de recibir ni en trance de emitir, proporcionan un tiempo para la búsqueda de la energía en los diferentes azimuts hacia otras BS distintas a la BS actual.

Este conocimiento de los entornos de las fuentes de energía se integra en la búsqueda de una mejor estación base para el soft handover.

Modo “sleep/idle”

Si una radio está en el modo “sleep/idle”, entonces, en ausencia de informaciones del tipo GPS, el haz en el retorno al fin de la fase “sleep/idle” es el último utilizado o vuelve a comenzar una fase de adquisición del mejor ángulo de orientación.

Si una radio está en el modo “idle”, entonces, en ausencia de informaciones del tipo GPS que le indiquen la BS más próxima, en cada cita periódica con el grupo de “paging” (definido desde la entrada en el modo “idle” tal como se describe por la norma WiMAX) el haz retomado es el último utilizado pero completado por un escrutado de 360° para confirmación de la mejor dirección hacia la mejor BS. Este escrutado se puede efectuar algunos instantes antes (en las tramas precedentes) de la cita periódica con el grupo de paging.

FESA en una estación base BS

De acuerdo con un modo de realización, se utiliza una antena FESA en una estación base y se aplican las etapas del procedimiento descritas anteriormente. En las versiones de antena FESA de haz simple, esto se corresponde con dotar a una estación base de un beamforming de un único haz. Como en el beamforming, la BS-FESA llega a adaptar la dirección de su haz a su correspondiente durante las ranuras de contención.

El enfoque nominal de la orientación consiste en llegar a barrer muy rápidamente con una de abertura mínima (ganancia de la antena máxima) el conjunto de las posiciones azimutales.

Para BS-FESA, se propone un enfoque complementario por longitud decreciente del haz similar al descrito en la figura 9.

Este enfoque por longitudes adaptativas del haz (adaptabilidad en la ganancia de la antena) se propone aquí en la BS. En este caso, la abertura máxima (diagrama omnidireccional) se efectúa al comienzo de la trama durante la fase de señalización a baja velocidad, a continuación se afina la longitud del lóbulo para permitir una velocidad más elevada en el curso de la trama, esto con la condición de orientar correctamente simultáneamente sobre la BS y sobre el abonado considerado (por ejemplo con un procedimiento del tipo: división por 2 de la longitud del lóbulo seguida de una optimización de la dirección de orientación, división por 2 del lóbulo de la antena y nueva optimización de la dirección de orientación,...). El procedimiento es por lo tanto complementario e imbricado con el de la orientación.

En el caso en que una antena FESA no se puede configurar en un haz direccional o en omnidireccional, entonces es posible adjuntarle una antena omnidireccional. En ese caso el dispositivo de guiado de la antena FESA pasa a controlar un conmutador de selección de antena omnidireccional / antena FESA tal como el que se representa en la figura 13.

Las figuras 14, 15 y 16 describen el caso de utilización de estaciones de repetición.

La 802.16j introduce unas estaciones de repetición (RS) junto a las BS en la infraestructura. Estas RS tratan de extender el alcance de las estaciones base.

El mecanismo de guiado de la antena FESA en la estación de repetición RS es similar al de una BS-FESA en el sentido de que la RS, contrariamente a una MS, comunica con varias estaciones en el seno de una misma trama.

En efecto, una estación de repetición RS comunica siempre:

- por un lado con una estación de orden superior, es decir la estación base BS o una RS que repite a la BS,
- por otro lado con las estaciones móviles a las que repite las comunicaciones.

5 Por otro lado, la búsqueda periódica de la mejor topología posible, implica que las RS consideran las comunicaciones en todos los azimuts. El mecanismo FESA en las RS debe por lo tanto incluir esta funcionalidad de descubrimiento de la topología.

En cada trama, teniendo en cuenta la movilidad posible del conjunto de los nodos de la red, la RS, como la BS y las MS, amplía la longitud del haz o llega a afinar la dirección del haz para el conjunto de las posiciones necesarias.

10 El añadido de un sistema de localización del tipo GPS permite enriquecer el algoritmo de accionamiento de la antena.

La figura 16 esquematiza los procedimientos FESA con GPS. Se puede utilizar el GPS como ayuda a los procedimientos FESA, en la medida en que la propagación de radio puede ser diferente de la deducida de un GPS (por ejemplo: obstáculos).

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de implementación de una antena inteligente en el seno de una red que utiliza protocolos de acceso deterministas, una o varias estaciones móviles (MS) y al menos una estación base (BS), estando incluidos los datos transmitidos en una trama de datos, comprendiendo en combinación al menos las etapas siguientes:

- 5 Durante la entrada de una estación móvil en la red:
- Etapa de sincronización de una estación móvil (MS) equipada con una antena inteligente FESA o Fast Electronically Steerable Antenna sobre una emisión de la estación base mediante el cambio del haz durante una duración al menos igual a una trama de datos con el fin de orientar el haz directivo en la dirección de la estación base (BS) para obtener la mejor recepción de la señal.
 - 10 • Etapa de seguimiento de la sincronización de la estación móvil en la emisión de la estación base, y la implementación de un algoritmo de seguimiento de la orientación con el fin de conservar la mejor recepción de la señal,
 - Etapa de determinación de los parámetros de definición del enlace descendente o del enlace ascendente mediante la decodificación de los mensajes de señalización contenidos en el mensaje emitido por la estación base,
 - 15 • Activación de un procedimiento de entrada en la red.

Una vez que la estación móvil MS ha entrado la red:

- La selección de un nuevo haz por parte del algoritmo de seguimiento de la orientación se basa en un mecanismo con histéresis que utiliza un filtro lineal precedido de una etapa de rechazo por saltos o que utiliza directamente un filtro no lineal.
- 20

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la etapa de la sincronización se efectúa con una antena FESA configurada con cobertura omnidireccional dispuesta en el lado de la estación móvil (MS) si la señal es suficiente.

3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la etapa de la sincronización comprende una etapa de seguimiento de la orientación, después de la etapa de sincronización de la estación móvil, siendo dirigido el haz en unas direcciones sucesivas o próximas en el interior de la trama y de trama en trama con el fin de conservar en todo momento la dirección óptima.

25

4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** utiliza por otro lado informaciones del tipo GPS (Global Positioning System) con el fin de determinar la mejor posición del haz verificando que la conexión se puede efectuar y comprobando la dirección y las direcciones directamente adyacentes en los períodos de los enlaces descendentes del canal de difusión de la estación base (BS).

30

5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** en ausencia del sistema de posicionamiento GPS (abreviatura anglosajona de Global Positioning System) en una estación móvil, el haz se posiciona inicialmente en una dirección por defecto, **porque** un mecanismo de búsqueda encuentra la dirección más verosímil, es decir efectuando unas medidas de energía, RSSI o de SNR sobre 3 direcciones de orientación contiguas con una directividad, ganancia de antena o longitud del lóbulo, dada: dirección nominal k y direcciones adyacentes k-1 y k+a, mediciones de RSSI o de SNR en la dirección k a lo largo del tiempo en una trama o en varias tramas en unos instantes regulares, y **porque** la dirección de la evoluciona en función de un algoritmo de seguimiento que consiste en seguir permanentemente la mejor dirección.

35

6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado porque** el haz se alarga en cada final de trama, después se afina para los trámites al comienzo de la trama siguiente.

40

7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** el filtro es un filtro de Kalman.

8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 ó 7, **caracterizado porque** comprende una etapa de seguimiento que incluye un mecanismo de histéresis que utiliza un filtro lineal precedido de un algoritmo de rechazo no lineal.

45

9. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el algoritmo de seguimiento utiliza un procedimiento de medición de la potencia o teniendo en cuenta unas estadísticas de codificación del canal.

10. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el algoritmo de seguimiento utiliza un procedimiento de medición de la potencia y de la relación señal a ruido SNR.

50

11. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** el procedimiento de entrada es compatible con las normas 802.16, 802.16d u 802.16e.

12. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el procedimiento de seguimiento de la dirección de orientación hacia una estación base sirve igualmente para buscar las direcciones de orientación hacia las estaciones base adyacentes y facilitar la etapa de "Handover".
- 5 13. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** una estación base (BS) está equipada con una antena FESA y/o una o varias estaciones de repetición (RS) están equipadas con una antena FESA.
14. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** la red de comunicación es una red del tipo de enlace punto-multipunto.
- 10 15. Dispositivo de guiado de una antena inteligente FESA o en anglosajón Fast Electronically Steerable Antenna en una red de comunicación que comprende una interfaz de red, una capa de acceso MAC o Media Access Control, una interfaz de energía y un módulo de radio, **caracterizado porque** la capa de acceso MAC comprende un módulo de guiado FESA en relación con la antena FESA, un módulo de guiado de radio y **porque** dicho módulo de guiado FESA y dicho módulo de guiado de radio están adaptados para ejecutar las etapas del procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 14.
- 15 16. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 15, **caracterizado porque** el módulo de guiado de la antena FESA comprende un bus de orientación y de adaptación de la ganancia de la antena.

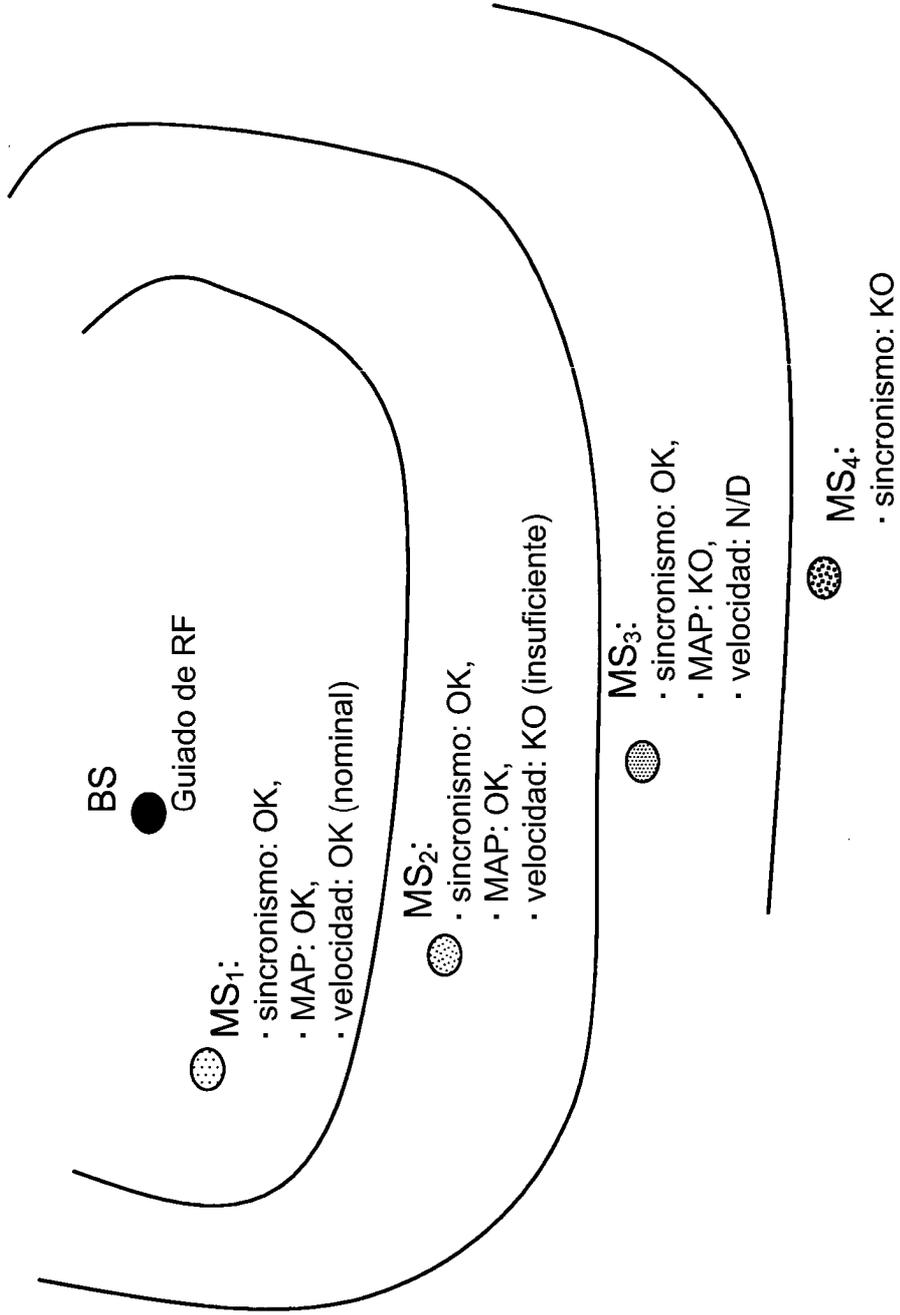


FIG.1

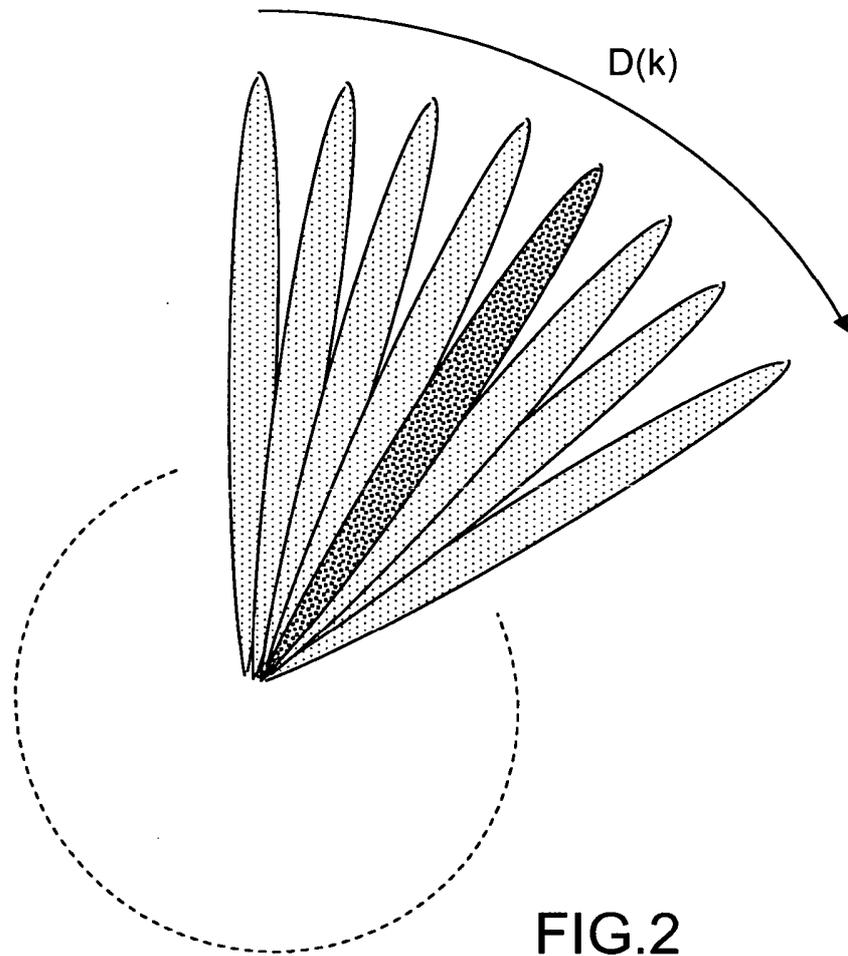


FIG.2

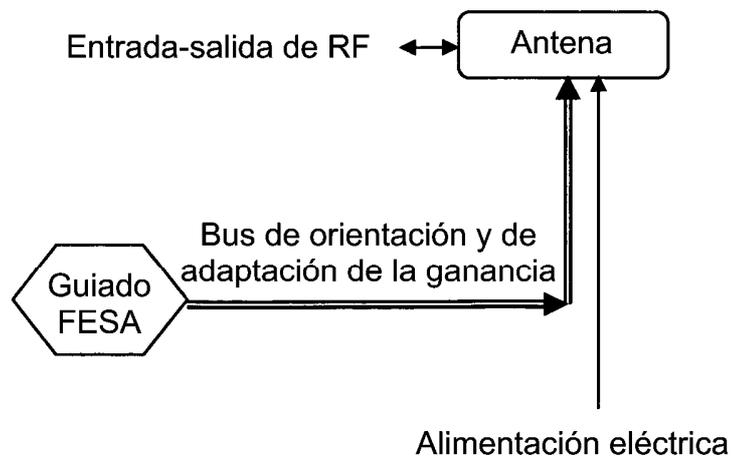


FIG.3

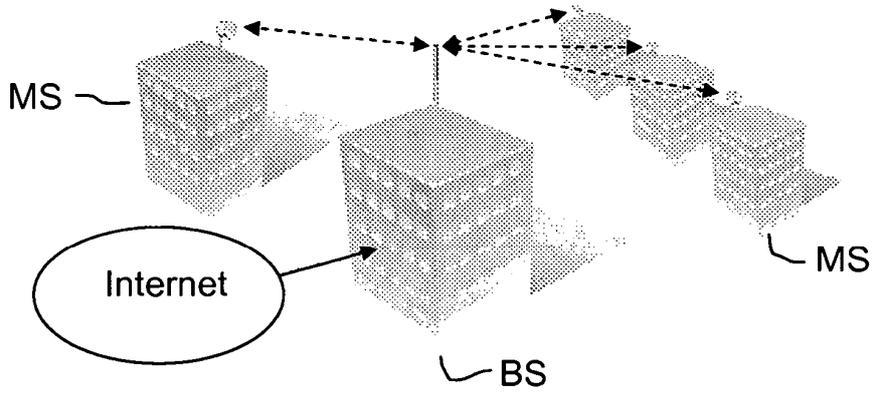


FIG.4

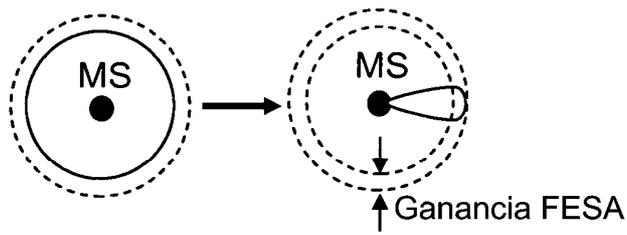


FIG.5

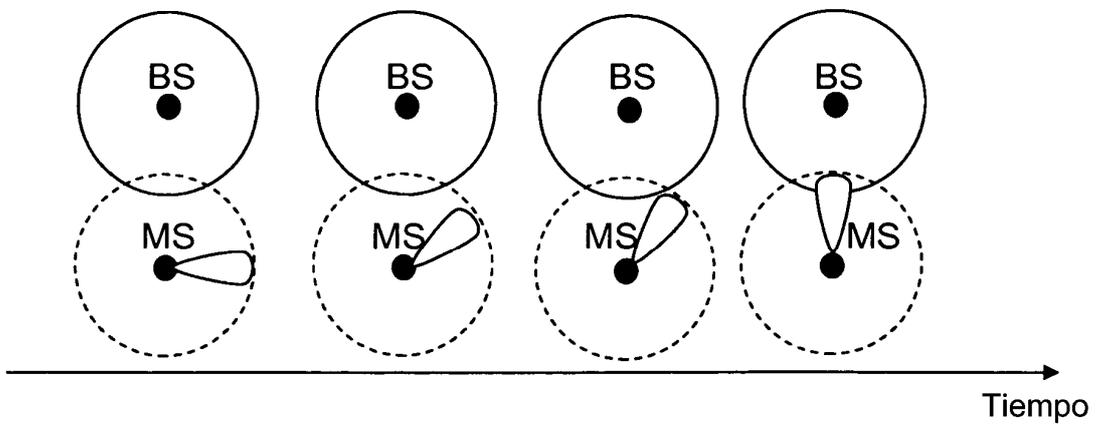


FIG.6

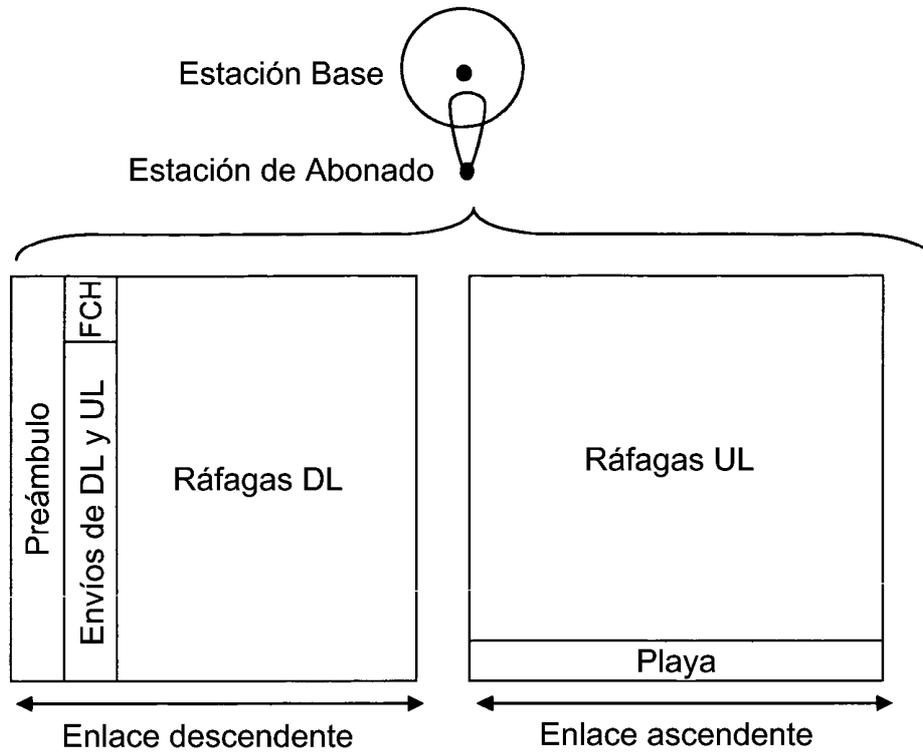


FIG.7

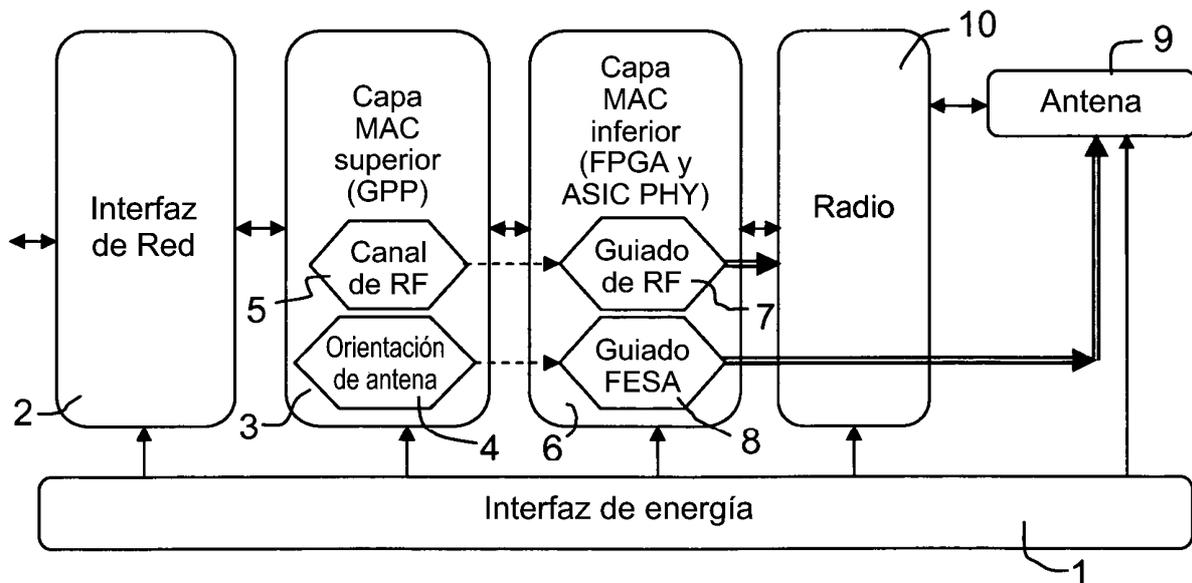


FIG.8

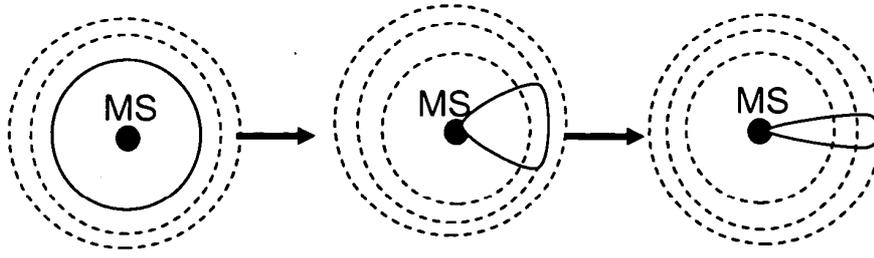


FIG.9

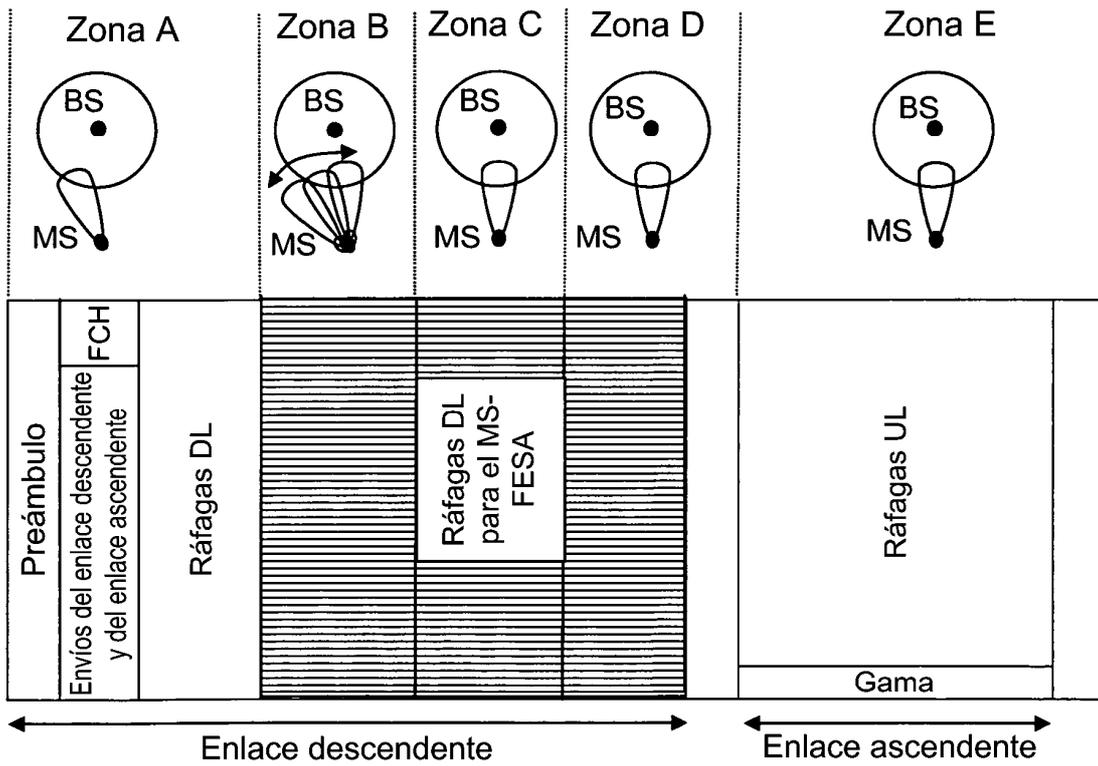


FIG.10

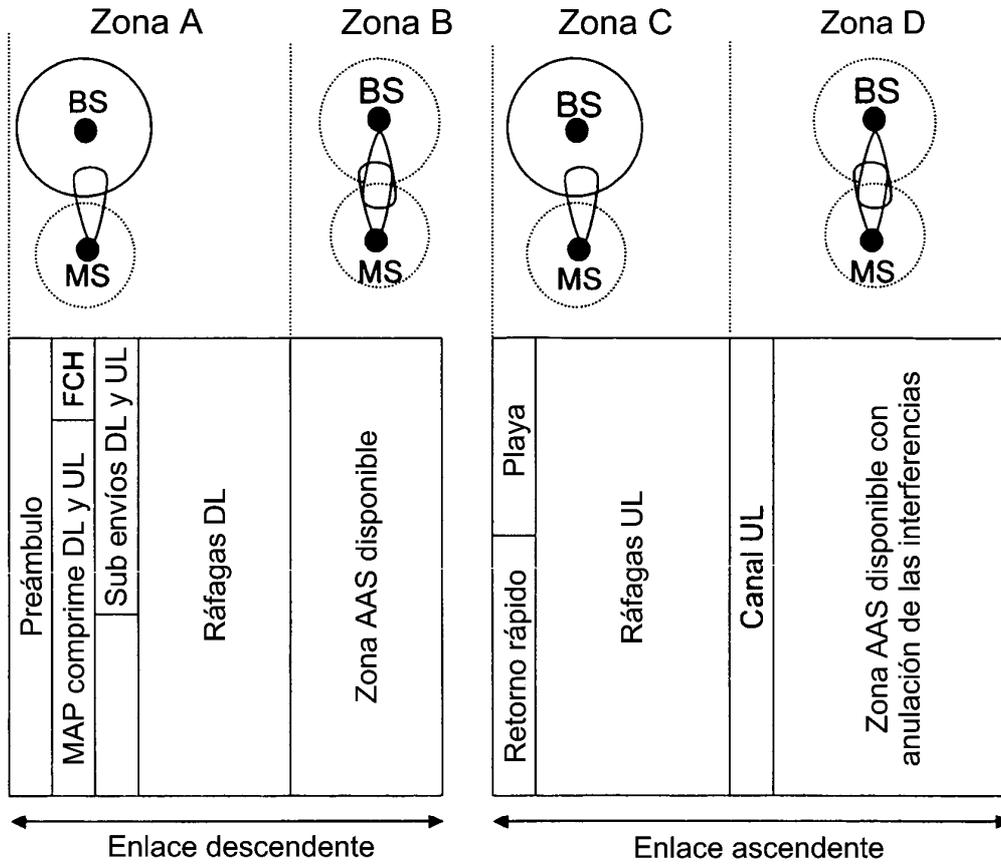


FIG.11

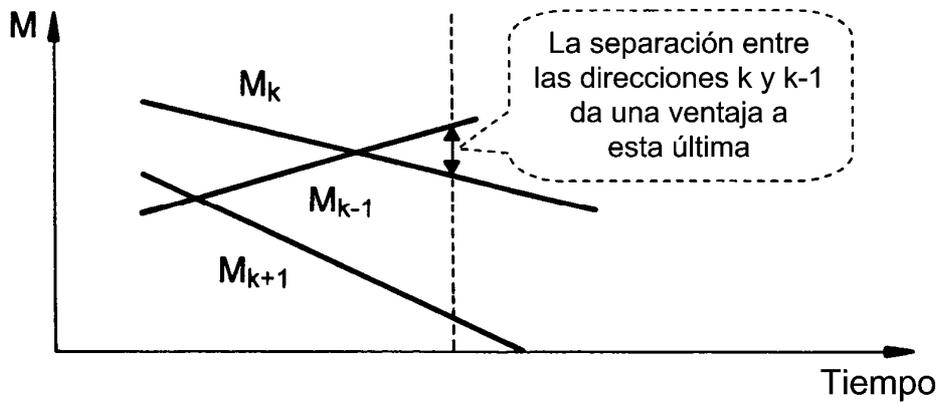


FIG.12

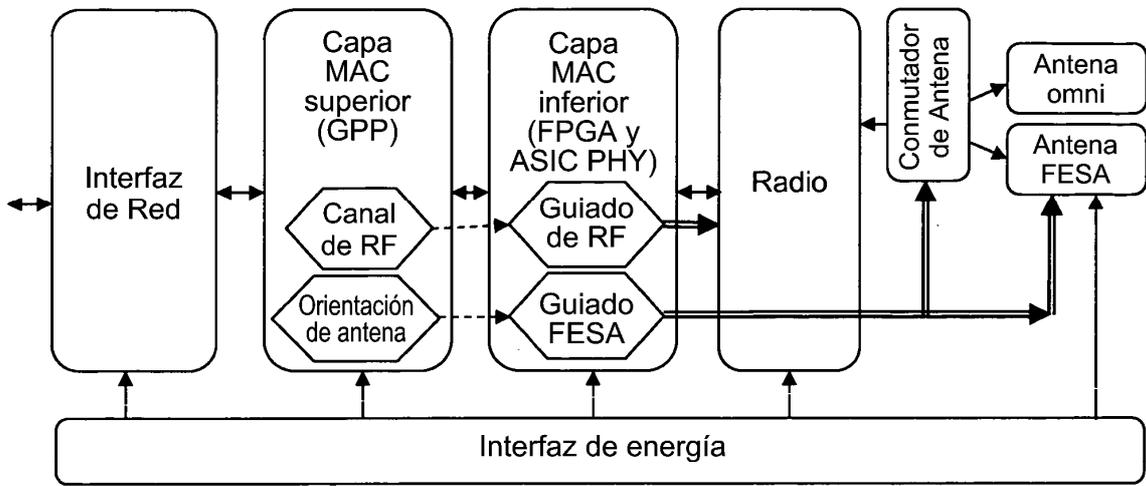


FIG.13

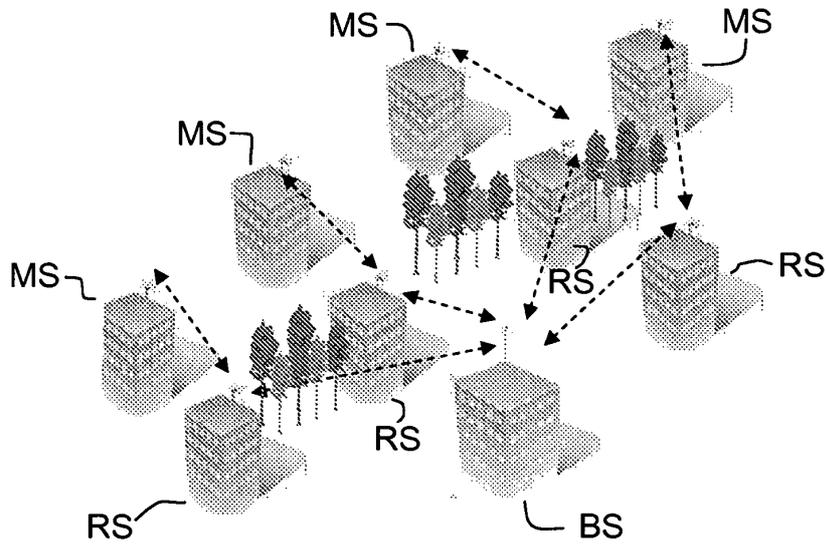


FIG.14

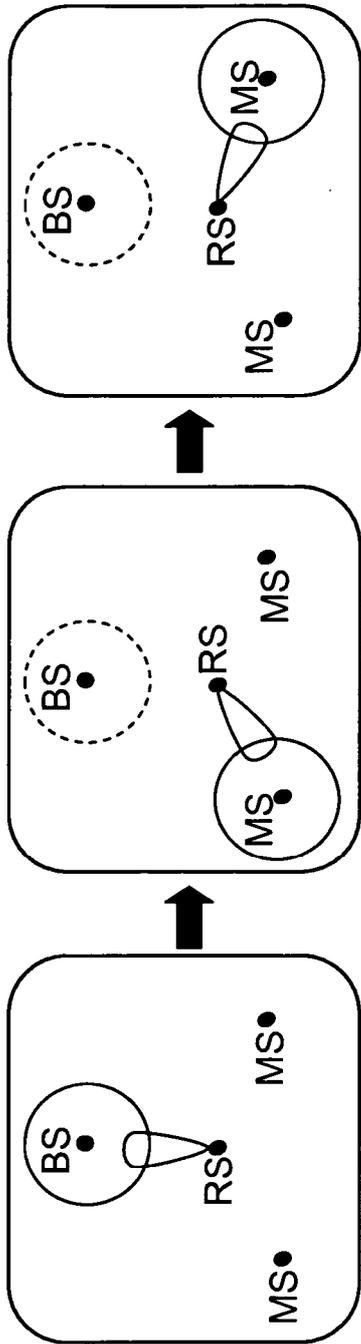


FIG. 15

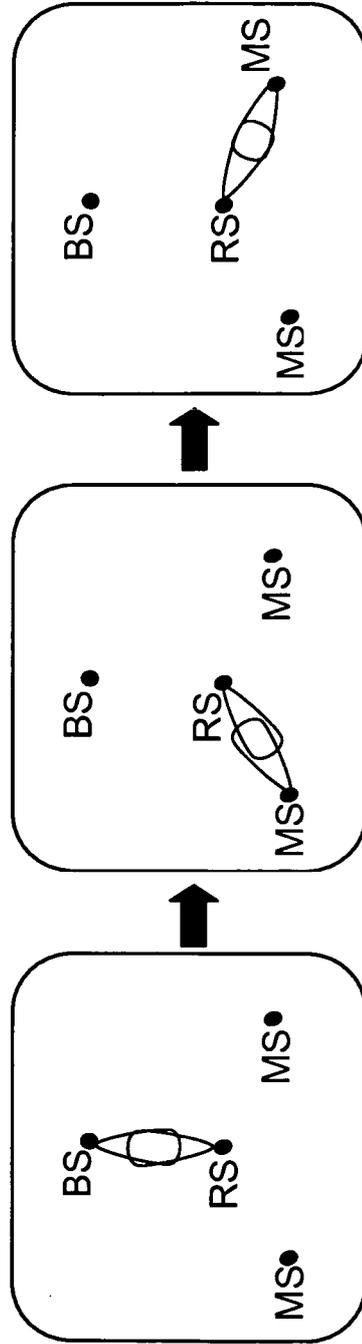


FIG. 16