

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 439 965**

51 Int. Cl.:

**G01S 3/72** (2006.01)

**G01S 5/02** (2010.01)

**G01S 5/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.04.2009 E 09736470 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2013 EP 2422210**

54 Título: **Sistemas de orientación y localización**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**27.01.2014**

73 Titular/es:

**GROUPE DES ECOLES DE  
TELECOMMUNICATIONS ECOLE NATIONAL  
SUPERIEURE DES TELECOMMUNICATIONS  
(100.0%)  
46, Rue Barrault  
75634 Paris Cedex 13, FR**

72 Inventor/es:

**MARZOUKI, ABDELWAHED y  
ZEGHLACHE, DJAMAL**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 439 965 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**

Sistemas de orientación y localización

**5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere, en general, al posicionamiento en sistemas inalámbricos, más particularmente a un sistema de orientación y localización con capacidades de filtrado espacial que combina diversidad temporal, de polarización y espacial para detectar la línea de visión (LOS) y para suministrar estimaciones de localización y orientación de los nodos móviles.

**Antecedentes de la invención**

Dicho sistema es útil para suministrar estimaciones fiables de la localización y la orientación de un objeto. El sistema puede usarse en un entorno de radio multitrayecto en el que el objeto, que es el sujeto de la determinación de la localización y orientación, no comparte una línea de visión directa con la emisora de radio de posicionamiento o en un entorno de radio en el que existe al menos una línea de visión entre el objeto a localizar y la emisora de posicionamiento. Dicho sistema es capaz de funcionar en entornos de interior y de exterior. Proporciona, además, soluciones de filtrado espacial que son útiles para otros servicios de red inalámbrica, tales como mitigación de interferencias y mejora de la capacidad.

La localización de un objeto remoto necesita parámetros intermedios concernientes a la localización y orientación relativas de nodos de retransmisión intermedios. En este caso, es importante conocer perfectamente no solo la localización relativa de nodos de retransmisión sino también su orientación relativa.

Un dispositivo determinador de la orientación del tipo anterior es conocido del documento de patente EP 11617 601 que está relacionado con redes ad hoc. El sistema, tal como se desvela en este documento de patente, está diseñado para proporcionar la información de posicionamiento que necesitan estas redes.

Otra aplicación está relacionada con grupos de boyas marinas que están flotando en el mar con el objetivo de medir algunos parámetros del agua tales como: temperatura, salinidad... y también otros del aire tales como fuerza del viento y demás, relativos a un área dada. Las orientaciones geográficas de estas boyas deben considerarse con cuidado en vista de la planificación de la trayectoria.

La estimación ciega en redes MIMO se desvela en el artículo publicado de XIAN-ZHONG XIE ET AL. "A One-Step Method for Blind Identification of MIMO Signal". Este artículo se refiere específicamente a estimación ciega en base a un método de una etapa para identificación ciega en comunicación sin cooperación.

La estimación ciega en redes MIMO también se desvela en el artículo publicado de YINGTAO NIU ET AL. "MIMO-OFDM Blind Multi-CFO Estimation: CS-MUSIC". Este artículo se refiere específicamente a estimación ciega en base a una estimación Multi-CFO.

Un objeto de la presente invención es proporcionar un dispositivo que tiene mejor rendimiento que la técnica anterior y, notablemente, proporcionar orientación de objetos sin necesidad de muchos puntos de acceso o puntos de anclaje (los satélites GPS están usando triangulación).

**Resumen de la invención**

De acuerdo con la invención, el sistema mencionado anteriormente es destacable en que el sistema realiza, al menos, las siguientes tareas:

- Estimación de canal MIMO por detección de señal multitrayecto y sin línea de visión (NLOS) estimando las matriz MIMO con polarización cruzada correspondientes a modos de polarización circular de transmisor-receptor no emparejados. Este proceso de estimación representa en sí mismo un filtrado multitrayecto, dado que un modo de polarización circular no puede cambiar cuando es transmitido a través de una línea de visión (LOS) incluso aunque el transmisor y el receptor estén orientados en mi (información mutua) uno con respecto al otro.
- El filtrado de subcanales en LOS eliminando la contribución multitrayecto en las matrices MIMO copolarizadas que están estimadas en un enlace de presentación en el que las polarizaciones en los lados del transmisor y el receptor son las mismas. El proceso de filtrado no puede realizarse de forma natural como en el caso de NLOS, es por eso que el filtrado se realiza mediante un algoritmo
- estimación independientemente de la localización y orientación de grupos de nodos que no pueden separarse en el tiempo usando sincronización de temporización
- estimación de las dos matrices MIMO con polarización cruzada correspondientes a polarizaciones circulares no emparejadas y dos matrices MIMO copolarizadas correspondientes a dos polarizaciones circulares no emparejadas
- polarización espacio-temporal usando códigos de bloque de espacio y tiempo de polarización diseñados para

realizar una primera etapa de filtrado en el dominio temporal por un lado y para estimar las cuatro matrices MIMO anteriores por otro lado

5 - estimación de la dirección de llegada (DOA), el ángulo de inclinación de la onda entrante (TAON), la dirección de salida (DOD) y el ángulo de inclinación de la onda saliente (TAOUT) usando las matrices MIMO polarizadas estimadas

10 - Mejora de algoritmos de alta resolución tales como MUSIC o el MVR combinando sus espectros espaciales dependientes de polarización múltiple relativa

15 - Subsistema de determinación de localización y orientación cuando no está disponible ninguna línea de visión entre la emisora de radio de posicionamiento y el objeto que está sujeto a la operación de localización y orientación. Este subsistema también es útil para emisoras de radio de tecnología limitada con las que no pueden realizarse operaciones de MIMO ni de polarización múltiple. Debe observarse también que, en los métodos de localización basados en pérdida de trayecto, el problema de antenas no isotrópicas plantea un grave problema, dado que causa una estimación errónea de las distancias entre los nodos. La razón surge del hecho de que la pérdida de trayecto final es proporcional tanto a la ganancia de la antena de transmisión como a la ganancia de la antena de recepción. Las ganancias también dependen de la orientación de las antenas. Esto lo hace difícil de corregir a partir del efecto de anisotropías a través de una sencilla equiparación de ganancia. El subsistema propuesto es también una solución a estos problemas específicos.

Un aspecto importante de la invención es la posibilidad de usar las matrices MIMO copolarizadas filtradas para transmitir información que requiere una baja tasa de errores de bits y de usar matrices con polarización cruzada para información que demanda una menor calidad.

25 Debe observarse que se realiza un filtrado adaptado de ondas reflejadas de una manera que mejora el filtrado natural proporcionado por la propia polarización.

#### Breve descripción de los dibujos

30 La presente invención se describirá a continuación, por medio de ejemplos, en referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La figura 1a muestra el subsistema inalámbrico en el que puede aplicarse un sistema MIMO con capacidad de diversidad de polarización.

35 La figura 1b presenta un diagrama de bloques correspondiente al subsistema basado en MIMO y polarización de estimación de la localización y la orientación de acuerdo con la invención.

La figura 1c es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de un front-end de radio que puede usarse de acuerdo con la invención.

40 La figura 1d presenta el efecto del canal multitrayecto sobre las ondas transmitidas y la desorientación entre los nodos móviles en la red.

La figura 1e presenta el principio de agrupamiento de usuarios y detección de señales.

La figura 1f representa una descripción de alto nivel del proceso de orientación y localización iterativo que destaca la detección espacial y los bloques de filtrado de canales.

La figura 1g muestra el ángulo del espectro de llegada sin filtrado de canales.

45 La figura 1h muestra el ángulo del espectro de llegada después del filtrado de los componentes multitrayecto.

La figura 1i muestra los componentes principales del algoritmo de detección de la varianza mínima.

La figura 1j muestra los componentes principales del algoritmo de detección MUSIC.

La figura 1k muestra los componentes principales del algoritmo de emparejamiento.

50 La figura 2 muestra un subsistema de determinación de localización y orientación en el que se usan antenas individuales con ganancias no isotrópicas en cada objeto que está sujeto a la operación de determinación de la localización y la orientación.

#### Descripción de las realizaciones preferidas

55 La figura 1a es un ejemplo de subsistema de localización y orientación en el que pueden usarse la diversidad espacial y la diversidad de polarización combinadas. Éste comprende muchos clústeres de sensores CS1, CS2, CS3... y muchos nodos fijos FN1, FN2, FN3. El objetivo de la invención es determinar la orientación y la localización de cada nodo y clúster considerado a partir de cualquier clúster o nodos fijos. En esta figura 1a, sistemas de referencia  $u_1(1)$   $u_2(1)$ ,  $u_3(1)$ ,  $u_1(2)$   $u_2(2)$ ,  $u_3(2)$ ,  $u_1(3)$   $u_2(3)$ ,  $u_3(3)$  que tienen respectivamente los orígenes P(0), P(1), P(2)... se asignan a clústeres CS1, CS2, CS3... estos sistemas de referencia pueden moverse con respecto al sistema de referencia de los nodos fijos FN1, FN2, FN3...

60 La figura 1b muestra algunos detalles del aparato de radio incorporado en los clústeres y nodos fijos mencionados. Éste comprende un conjunto de emisoras de radio de orientación 11, 12, 13, 14 que comparten información de localización y orientación (LO) a través de un servidor de localización (LS) 25. Todas dichas emisoras 11, 12, 13, 14 pueden tener la misma estructura. Solamente en la figura 1b, la emisora 11 se muestra en más detalle. La parte de radio de esta

emisora (PRS) está compuesta por un front-end de radio (RFE) 23 para modulación y filtrado de alta frecuencia analógica y una estructura de radio polarizada controlable (CPRS) capaz de transmitir o de recibir en cualquier momento ondas electromagnéticas 25 de polarización circular dextrógira (RHCP) o polarización circular levógira (LHCP). La parte de banda de base de la PRS comprende un controlador de la polarización (PC) 26 capaz de seleccionar el estado de polarización (RHCP o LHCP) de cualquier grupo de antenas dentro de la CPRS, un módulo 27 de estimación del canal polarizado de MIMO (PCE), y un determinador de localización y orientación (LOF) 28.

La figura 1c es un esquema más explícito del dispositivo 11. Éste comprende bancos de antenas en grupo AG1,..., AGg capaces de recibir diversas ondas polarizadas. Cada banco está compuesto por uno o varios grupos de tres antenas con polarización circular. Por ejemplo el banco AG1 comprende al menos tres elementos de antena 33, 34 y 35. Los elementos de antena dentro de cada grupo están orientados siguiendo tres ejes. Los vectores base unitarios x, y y z que describen la orientación de estos ejes forman una base de una, dos o tres dimensiones. Se prefieren tres dimensiones de dicha base y una perfecta ortogonalidad entre estos vectores unitarios, aunque es difícil de conseguir en la práctica. En el último caso, se dice que el sistema de radio en la disposición del trasmisor y la antena receptora usa un sistema polarizado completo que permite que la radiación o la recuperación de la polarización circular levógira (LHCP) o la polarización circular dextrógira (RHCP) respectivamente.

Cuando se usa en una configuración de conjunto de antenas lineal, la estructura a lo largo de un eje dado se repite periódicamente mientras se mantiene una separación entre elementos constante de dentro del mismo grupo y una separación entre grupos constante dg. Mediante construcción, no hay ninguna correlación o acoplamiento entre los elementos de antena que pertenecen a diferentes grupos si la distancia dg es un múltiplo de la mitad de la longitud de onda.

La disposición de antena en los lados de transmisor y del receptor permite formar un sistema MIMO polarizado en el que la integridad de la estructura de radio y la ortogonalidad entre las señales LHCP y RHCP se conserva a través de una integridad y la ortogonalidad entre los generadores de haces compuestos.

La figura 1c muestra un módulo de selección del modo de polarización 37 que selecciona la polarización a recibir en un momento dado cuando no están disponibles recursos de hardware para conseguir la detección en paralelo de todos los modos de polarización. Los principales componentes de RF del front-end de radio que están constituidos por el amplificador de ruido bajo 38, un oscilador local 39, un convertidor de analógico a digital 40 y un filtro de conformación de banda base 41 también se presentan.

La figura 1c también representa la interconexión entre el front-end de radio y los módulos de banda base principal que realizan detección no coherente de los símbolos piloto, estimación del canal y determinación de localización-orientación 42.

La figura 1d muestra una representación esquemática para un ejemplo de propagación multitrayecto. Éste muestra algunos nodos P(0), P(1), P(2) y P(3). Las referencias Pth1, Pth2, Pth3 y Pth4 indican algunos trayectos de propagación entre nodos P(0) y P(1). Debe observarse que no hay ningún enlace directo entre los nodos P(0) y P(2). Para cada uno de estos nodos, está unido un sistema de coordenadas de modo que, todos los parámetros de orientación y localización, que son evaluados, están en referencia a este sistema de coordenadas locales. Esta figura 1d representa una representación esquemática del canal de radio multitrayecto y la desorientación 53. La representación muestra que LOS habitualmente no existe para todos los pares de nodos y que en dicha situación la orientación de un nodo con respecto a otro podría calcularse usando el modo ad hoc 54. La respuesta del canal de banda ancha (WB) de cualquier enlace (l', l) se representa mediante una matriz de canal MIMO Mr(q)x Mt(q') correspondiente al enlace (l', l) cuando el nodo (l') está recibiendo en el estado de polarización q a y a el nodo (l) transmitiendo en el estado de polarización q. Dicha matriz viene dada por:

$$\mathbf{H}_{q',q}(l';l,\tau^{(l',l)}) = \sum_{i=1}^{i=L(l',l')} \mathbf{H}_{q',q}(l';l,i) \delta(\tau^{(l',l)} - \tau_i^{(l',l')}) \quad (1)$$

donde:

$$\mathbf{H}_{q',q}(l';l,i) = \mathbf{a}_{q'}(l',\Omega_i^{(l',l')}) C_{q',q}(l',l,i) e^{-jq\gamma_{r,i}} \mathbf{a}_q^H(l,\Psi_i^{(l',l')}) \quad (2)$$

$\mathbf{a}_{q'}(l',\Omega_i^{(l',l')})$  (respectivamente,  $\mathbf{a}_q(l,\Psi_i^{(l',l')})$ ) es el vector de dirección en el lado del receptor (respectivamente transmisor). El superíndice H significa el conjugado hermitiano.

El símbolo  $\gamma_{l',l}$  indica el ángulo de inclinación. La variable temporal  $\tau_i(l',l)$  comprende tanto el retardo síncrono entre los nodos l' y l' como el tiempo de desplazamiento de la onda i.  $C_{q',q}(l',l,i)$  es un número complejo que indica la ganancia del canal a lo largo del trayecto i y que corresponde a un estado de polarización transmitido q' y un estado de polarización recibido q. a lo largo de la LOS del enlace (l', l), las ganancias del canal tienen la propiedad,

$$C_{q',q}(l',l,i,\tau',\tau) = P_{l',l} \delta_{q,q'} \quad (3)$$

donde  $p_{l,l'}$  es un factor de pérdida de trayecto compleja que depende de la distancia entre los dos nodos y  $k = (2\pi / \lambda)$   
 Se supone que existe una LOS en el enlace  $(l, l')$  entonces la orientación del nodo  $(l')$  con respecto al nodo  $(l)$  se describe completamente mediante la matriz de Wigner:

$$D^1(\alpha^{(l,l')}, \beta^{(l,l')}, \gamma^{(l,l')}) = D^1(\phi^{(l)}_1, \theta^{(l)}_1, 0)^H D^1(\phi^{(l')}_1, \theta^{(l')}_1, \gamma^{(l,l')}) \quad (4)$$

5 donde  $\alpha(l,l')$ ,  $\beta(l,l')$  y  $\gamma(l,l')$  son los ángulos de Euler correspondientes.

La disposición de la antena en los lados del transmisor y del receptor permite formar un sistema MIMO polarizado en el que la integridad de la estructura de radio y la ortogonalidad entre las señales LHCP y RHCP se conserva a través de la integridad y una ortogonalidad entre los generadores de haces compuestos. El vector de dirección para un grupo de antenas a lo largo de un eje para un estado de polarización dado (RHCP o LHCP)  $q$  viene dado por:

$$10 \quad \mathbf{a}_g(q, \Omega) = D_g(d, \Omega) \mathbf{p}_g(q, \Omega) \quad (5)$$

Donde:

$$D_g(q, \Omega) = \text{diag} \left( e^{j k \mathbf{e}_0(\Omega) \cdot \mathbf{h}_1^g}, e^{j k \mathbf{e}_0(\Omega) \cdot \mathbf{h}_2^g}, e^{j k \mathbf{e}_0(\Omega) \cdot \mathbf{h}_3^g} \right) \quad (6)$$

15  $\mathbf{p}_g$  es un vector de dirección dependiente de polarización. Para un pequeño dipolo electromagnético doble, este vector de dirección es hasta un dipolo de escalar complejo constante dado por

$$\mathbf{p}_g(q, \Omega) = \left( \hat{\mathbf{z}} \cdot \mathbf{e}_q(\Omega), \hat{\mathbf{x}} \cdot \mathbf{e}_q(\Omega), \hat{\mathbf{y}} \cdot \mathbf{e}_q(\Omega) \right)^T \quad (7)$$

20 El índice  $q$  en  $D_g(q, \Omega)$  es para recordar que un grupo de antenas  $g$  puede dedicarse exclusivamente a un estado de polarización fijo  $q$ . Éste podría ser el caso cuando la estructura de antena es la de una estación base sin restricción de tamaño. El índice  $q$  puede omitirse si el mismo grupo de antenas es usado por la antena RHCP o LHCP después de que el conmutador del grupo se encienda en el estado de polarización  $q$  bajo la acción del PC.

El vector de dirección de todo el conjunto de antenas viene dado por

$$\mathbf{a}(q, \Omega) = \left( \mathbf{a}_1(q, \Omega)^T, \dots, \mathbf{a}_G(q, \Omega)^T \right)^T \quad (8)$$

25 La figura 1e presenta un procedimiento para nodos móviles que se agrupan en la fase de sincronización. La red MIMO multiusuario vista por cualquier receptor  $l'$  está compuesta por un conjunto de nodos indexados por  $l = 1, \dots, L$  y que transmiten una señal en los símbolos de tiempo  $nT$ . Estos nodos están separados por el módulo de sincronización del receptor en un número finito de clústeres 55. Cada clúster representa un número finito de transmisores, el primer tiempo de llegadas (TOA) de las ondas transmitidas por los nodos que pertenecen a un mismo clúster están en el lado del receptor durante el mismo símbolo de tiempo 56. Para,  $L$  nodos pertenecientes a un clúster dado, la señal de matriz MIMO recibida en el estado de polarización  $q$  cuando el estado de polarización  $q'$  es transmitido por todos los nodos del clúster viene dada por

$$\mathbf{S}_{q,q'}(l', n) = \sum_{l,i} \mathbf{H}_{q',q}(l'; l, i) \mathbf{C}_{q,q'} + \mathbf{Z}_{q,q'}(n) \quad (9)$$

35 Donde la ganancia de muestreo debido a la diferencia de TOA entre los  $L$  usuarios dentro del mismo símbolo de tiempo y debido a la ganancia de filtrado se supone que es parte de las ganancias de coeficiente del canal. En esta expresión  $\mathbf{Z}_{q,q'}(n)$  es una matriz de ruido ( $M_r(q) \times N$ ) que resulta de las señales de interferencia multitrayecto y el ruido térmico.  $\mathbf{C}_{q,q'}$  son los bloques piloto que podrían tomarse de un código complementario establecido con funciones de correlación fuera de fase periódicas que tienen la propiedad:

$$\mathbf{C}_{q,q'}^H \Delta(\tau) \mathbf{C}_{q,q'} = T \delta_{\tau,0} \mathbf{I}_{M_r(q)} \quad (10)$$

40 Donde  $\Delta(\tau)$  es el operador de desplazamiento que retarda cualquier código repetido de la matriz  $\mathbf{C}_{q,q'}$  mediante  $\tau$  símbolos e  $\mathbf{I}_{M_r(q)}$  es la matriz de identidad  $M_r(q) \times M_r(q)$ .

Un canal piloto dedicado a transmitir la información es necesario para la estimación de los parámetros del canal MIMO. Dependiendo de lo voluminosa que sea la estructura de antenas múltiples, pueden usarse dos esquemas de señalización:

- 45 - un esquema de señalización monomodal en el que a cada transmisor se le permite transmitir, durante un intervalo de tiempo específico, una secuencia de entrenamiento diseñada para estimar una de las 4 matrices de canal bimodal  $\mathbf{H}_{q,q'}$ .

Un esquema de señalización de bimodal en el que cada transmisor envía dos bloques de símbolo en paralelo para que el receptor pueda estimar dos matrices de canal bimodal durante el mismo intervalo de tiempo.

El canal piloto de un sistema MIMO equipado con antenas eléctricas y magnéticas coubicadas y que usa un esquema de señalización entre este tipo de antenas pueden describirse mediante la señal  $C_{p,p'}$  transmitida por el canal piloto donde  $p$  (respectivamente.  $p'$ ) es un índice usado para caracterizar el tipo de polarización usado en el lado del receptor (respectivamente, lado del transmisor). Se adopta una convención que identifica el estado de polarización de un conjunto de  $N$  antenas de acuerdo con:

$$p = \sum_{n=0}^{n=N-1} p_n 2^n \quad (11)$$

Donde  $p_n$  es el estado de polarización del número de antena  $n$  que toma el valor 0 si la antena  $n$  está en el estado de polarización 0 (eléctricamente polarizada o polarizada de forma circular dextrógira) y el valor  $p_n = 1$  si la antena está en el estado de polarización 1 (polarizada magnéticamente o polarizada de forma circular levógira).

Los casos de interés corresponden al caso de antenas polarizadas de forma similar. En tal caso  $p = 0$  si todas las  $N$  antenas están polarizadas eléctricamente o de forma circular dextrógira y  $p = 2N - 1$  si todas las antenas están polarizadas magnéticamente o polarizada de forma circular levógira. Cuando se consideran solamente dichos casos de interés, puede hacerse uso de la notación ligera  $p = q = -1$  en lugar de  $p = 0$  y  $p = 1$  en lugar de  $p = 2N - 1$ .

Para distinguir el caso de la respuesta del canal MIMO entre antenas con polarización electromagnética del caso de una respuesta de canal MIMO entre antenas con polarización circular, la respuesta del canal MIMO en el primer caso se indica mediante  $H'$  y la respuesta del canal MIMO en el segundo caso mediante  $H$ . Cuando se usan antenas con polarización electromagnética en ambos lados de las conexiones, la matriz de señal recibida en el estado de polarización  $p$  cuando el estado de polarización  $p'$  es transmitido por todos los nodos del clúster viene dada, en este caso, por

$$S'_{p,p'}(l',n) = \sum_{l,i} H'_{p',p}(l',l,i) C_{p,p'} + Z_{p,p'}(n) \quad (12)$$

Donde  $Z_{p,p'}$  es un ruido aditivo.

Usando la convención de notación ligera, puede establecerse una correspondencia entre la respuesta del canal MIMO de los tipos de polarización de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} H_{-1,-1}(l',l,i) &= 0,5(H'_{-1,-1}(l',l,i) + H'_{1,1}(l',l,i)) + 0,5j(H'_{-1,1}(l',l,i) - H'_{1,-1}(l',l,i)) \\ H_{1,1}(l',l,i) &= 0,5(H'_{-1,-1}(l',l,i) + H'_{1,1}(l',l,i)) - 0,5j(H'_{-1,1}(l',l,i) - H'_{1,-1}(l',l,i)) \\ H_{-1,1}(l',l,i) &= 0,5(-H'_{-1,-1}(l',l,i) + H'_{1,1}(l',l,i)) + 0,5j(H'_{-1,1}(l',l,i) + H'_{1,-1}(l',l,i)) \\ H_{1,-1}(l',l,i) &= 0,5(-H'_{-1,-1}(l',l,i) + H'_{1,1}(l',l,i)) - 0,5j(H'_{-1,1}(l',l,i) + H'_{1,-1}(l',l,i)) \end{aligned}$$

Estas transformaciones pueden usarse para estimar una matriz de canal MIMO polarizada de forma circular de la polarizada de forma electromagnética. Las respuestas del canal electromagnético pueden estimarse en diferentes intervalos de tiempo usando una diversidad de polarización temporal conveniente en el lado del transmisor a lo largo del canal piloto.

El módulo de estimación del canal diseñado para retirar los bloques de símbolo se usa antes del proceso de determinación de la localización, los símbolos se retiran mediante el detector de máxima probabilidad.

Dichas matrices de canal con polarización cruzada resultantes se caracterizan por diferentes estados de polarización transmitidos y recibidos ( $q = -q'$ ). Estos vienen dados por

$$\hat{H}_{q,-q'}(n,l',j) = A(q, \Omega_s) P_{q,-q}^{(s)} A(-q, \Psi_s)^H + N_{q,-q}(n) \quad (13)$$

Dichas matrices MIMO copolarizadas resultantes se caracterizan por estados de polarización transmitidos y recibidos similares ( $q = q'$ ). Las matrices MIMO copolarizadas vienen dadas por:

$$\hat{H}_{q,q'}(n,l',j) = A(q, \Omega^{(d)}) P^{(d)} \Gamma^{(d)q} A(q, \Psi^{(d)})^H + A(q, \Omega^{(s)}) P_{q,q}^{(s)} A(q, \Psi^{(s)})^H + N_{q,q}(n) \quad (14)$$

Donde  $N_{q,q'}(n)$  son variables de media cero y distribuidas normalmente con una matriz de covarianza  $R_n$ . La matriz  $A(q, \Omega) \equiv (a(q, \Omega_1), \dots, a(q, \Omega_L))$  indica la matriz de dirección en las direcciones de mira  $\Omega = (\Omega_1, \dots, \Omega_L)^T$ .  $P(d)$  es una matriz diagonal que contiene las ganancias de canal complejas de las ondas de LOS y  $P(s)_{q,q'}$  es la matriz que contiene las ganancias de canal complejas de las ondas multitrayecto y  $\Gamma(d) = \text{diag}(e^{-jq\psi_1}, \dots, e^{-jq\psi_L})$  es una matriz diagonal que da la matriz diagonal de inclinación en el lado del transmisor.

Si la reciprocidad del canal se verifica, la ganancia de la matriz de canal a lo largo del multitrayecto puede escribirse de la siguiente manera:

$$P_{q,q'}^{(s)} = P_{cop}^{(s)} \Gamma_{cop}^{(s)q} \delta_{q,q'} + P_{cr}^{(s)} \Gamma_{cr}^{(s)q} \delta_{q',-q} \quad (15)$$

Donde  $(P(s)_{cop}$  resp.  $P(s)_{cr}$ ) es la matriz que contiene las ganancias de canal complejas de los multitrayectos cuando los estados de polarización en los transmisores y el receptor son similares (respectivamente diferentes),  $\Gamma_{cop}(s)$   $\Gamma_{cr}(s)$

son dos matrices diagonales. Dicha identidad garantiza la propiedad de conservación de potencia a lo largo del canal recíproco, es decir

$$\mathbf{P}_{-1,1}^{(s)} \circ \mathbf{P}_{-1,1}^{(s)H} = \mathbf{P}_{1,-1}^{(s)} \circ \mathbf{P}_{1,-1}^{(s)H} \quad \text{y} \quad \mathbf{P}_{-1,-1}^{(s)} \circ \mathbf{P}_{-1,-1}^{(s)H} = \mathbf{P}_{1,1}^{(s)} \circ \mathbf{P}_{1,1}^{(s)H} .$$

En referencia a la figura 1f, el determinador de localización y orientación robusto con respecto a cada clúster está compuesto por los siguientes módulos:

- un módulo selector de algoritmos 67 que selecciona el mejor método de estimación en base a la información recogida sobre los rangos de las matrices de canal en el modo de polarización cruzada
- una información del sistema interno tal como los recursos disponibles de software y hardware.

Por lo tanto, si los recursos numéricos del canal están disponibles, el método de estimación ML podría seleccionarse. Este método consiste en determinar los máximos de la función de probabilidad escalonada

$$(\Omega_{ML}, \Psi_{ML}, \Gamma_{ML}) = \arg \max_{\Omega, \Psi, \Gamma} \mathbf{f}(\Omega, \Psi, \Gamma)^H \mathbf{C}^{-1} \mathbf{f}(\Omega, \Psi, \Gamma) \quad (16)$$

Donde  $\mathbf{f}$  es el vector con un tamaño igual al número de ondas multitrayecto y con componentes

$$(\mathbf{f}(\Omega, \Psi, \Gamma))_m = \left( \sum_{q=-1,+1} (\mathbf{A}(q, \Omega_l)^H \bar{\mathbf{H}}(q) \mathbf{B}(-q, \Psi) \Gamma^{-q})_{m,m} \right) \quad (17)$$

$\mathbf{C}$  es una matriz  $L(s) \times L(s)$  dada por:

$$\mathbf{C}(\Omega, \Psi, \Gamma) = \sum_{q=-1,+1} \Gamma^{-q} (\mathbf{A}(q, \Omega)^H \mathbf{A}(q, \Omega)) \circ (\overline{\mathbf{A}(-q, \Psi)^H \mathbf{A}(-q, \Psi)}) \Gamma^{-q} \quad (18)$$

La estimación ML de la matriz diagonal de coeficientes de canal  $\mathbf{P}(s)_{cr}$  viene dada por:

$$\hat{\mathbf{P}}_{cr}^{(s)}(\Omega_{ML}, \Psi_{ML}, \Gamma_{ML}) = \mathbf{C}^{-1}(\Omega_{ML}, \Psi_{ML}, \Gamma_{ML}) \mathbf{f}(\Omega_{ML}, \Psi_{ML}, \Gamma_{ML}) \quad (19)$$

Dado que el método de estimación ML requiere enormes recursos de computación, en su lugar pueden usarse los métodos a base de MUSIC y de MV. Una divulgación que describe el algoritmo MUSIC puede encontrarse en el documento:

- R. O. Schmidt, "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation", IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. AP-34, No. 3, págs. 276-280, marzo de 1986

Y la descripción del algoritmo MV:

- J. Capon, "High-Resolution Frequency-Wavenumber Spectrum Analysis", Proceedings of the IEEE, Vol. 57, págs. 1408-1418 (1969).

El algoritmo MUSIC se selecciona si las matrices de canal promediadas en los modos de polarización cruzada son ambos deficientes en rango mientras el algoritmo MVR se selecciona si estas matrices son de rango completo.  $R_{cr}$  indica el rango común de estas matrices que se selecciona como el mínimo de los rangos de las dos matrices.

Un módulo de estimación de DOA (dirección de llegada) y DOD (dirección de salida) multitrayecto 68 que consigue la estimación de los parámetros direccionales en el lado de transmisor y en el del receptor en base al último procedimiento del método de selección.

Un módulo de estimación de ángulos de inclinación y ganancias de canal multitrayecto 69 que usa el AOA (ángulo de llegada) y AOD (ángulo de salida) estimados como una información a priori y estima las ganancias de canal en cada trayecto así como los ángulos de inclinación en cualquier lugar en que el canal de reciprocidad es verificado en cualquiera de estos trayectos. De hecho, dado que el DOA y el DOD del multitrayecto son en general iguales para todos los modos de polarización, Los modos de copolarización se usan para estimar los ángulo de inclinación AOA, AOD y las ganancias de canal de la LOS junto con la ganancia de canal del multitrayecto. Los ángulos de inclinación, DOA, DOD del multitrayecto ya estimado en los modos de polarización cruzada se usan como una información a priori para filtrar los componentes multitrayecto y potenciar la relación global de señal con respecto interferencia en los modos de copolarización. Estos no necesitan ser estimados de nuevo en la versión robusta de los algoritmos. Este módulo tiene también una función de emparejamiento que pretende determinar, para cada par de ángulos de DOA estimados, el par de ángulos de DOD, de modo que los parámetros de DOA/DOD emparejados describen las propiedades direccionales de un trayecto particular en ambos extremos den enlace transmisor-receptor.

Un módulo de filtración de canal copolarizado 70 que retira los componentes de canal multitrayecto de las matrices MIMO copolarizadas usando las estimaciones de DOA, DOD y las estimaciones de ganancias de canal junto con las matrices MIMO conocidas 71.

Un módulo de estimación de DOA y DOD de LOS 72 diseñado para estimar el AOA y el AOD a lo largo de la LOS usando las matrices de canal copolarizadas filtradas.

Un módulo de estimación de ángulos de inclinación y ganancias de canal de LOS-Multitrayecto 73 que usa los DOA y DOD ya estimados del multitrayecto y la LOS como una información a priori para suministrar estimaciones de las ganancias de canal y los ángulos de inclinación tanto de la LOS como del multitrayecto en el canal MIMO copolarizado. El módulo usa también información de reciprocidad de canal sobre cualquier onda multitrayecto para perfeccionar las estimaciones de ganancia de canal.

Un módulo de prueba de convergencia 74 que examina una métrica calculada a partir de las diferentes estimaciones. Si se consigue la convergencia, los ángulos de inclinación, DOA y DOD estimados se transmiten al determinador de orientación y localización 75. La orientación se determina computando la matriz de rotación Wigner (ecuación 4). La localización se computa usando el par de ángulos de azimut y de elevación junto con los tiempos de llegada. En caso contrario, los parámetros recién estimados se usan como información a priori en el módulo de filtrado de canal copolarizado para filtrar de nuevo los componentes multitrayecto y conseguir mejores estimaciones de los parámetros direccionales.

Un módulo estimador del error esperado 76 que da los errores esperados en la localización y la orientación en base al SNR y la condición del canal.

Un algoritmo basado en MVR de alto rango usa conjuntamente todos los modos de polarización para estimar la LOS y los parámetros multitrayecto. Dicho algoritmo podría usarse cuando el número de ondas multitrayecto es elevado pero cuando la potencia es mucho menor que las ondas de LOS.

La figura 1g muestra un ejemplo de espectro de DOA determinado sin ningún filtrado multitrayecto. El escalado del logaritmo del espectro se usa para distinguir claramente la variación espacial el espectro. Existen dos usuarios en la LOS del transmisor y un canal multitrayecto con ondas tan potentes como las propias LOS. El algoritmo no consigue encontrar a ninguno de los dos usuarios.

La figura 1h muestra el espectro de DOA determinado después de tres iteraciones solamente. Los dos usuarios están ahora claramente identificados y el algoritmo puede detenerse después de estas pocas iteraciones.

La figura 1i muestra un diagrama del producto de espectro en base al algoritmo de MVR.

El algoritmo usa dos matrices de correlación obtenidas respectivamente mediante una autocorrelación de dos matrices que corresponden, cada una, a una canal MIMO polarizado particular. Por lo tanto, si los modos de polarización son

$(q_1, q'_1)$  y  $(q_2, q'_2)$ , las matrices de correlación son la matriz de correlación de recepción  $\mathbf{R}_{q_1}^{Rx} = \overline{\mathbf{H}}_{q_1, q'_1} \overline{\mathbf{H}}_{q_1, q'_1}^H$  o la

matriz de correlación de transmisión  $\mathbf{R}_{q_1}^{Tx} = \overline{\mathbf{H}}_{q_1, q'_1}^H \overline{\mathbf{H}}_{q_1, q'_1}$ . La matriz de correlación de transmisión se usa para

estimar los parámetros del canal en el lado del transmisor, concretamente el conjunto de AOD, y los ángulos de inclinación mientras que la matriz de correlación de recepción se usa para estimar el conjunto de AOA.

Para estimar los DOA, DOD y ángulos de inclinación multitrayecto, se usan los modos de polarización  $(q_1, q'_1) = (-1, 1)$  y  $(q_2, q'_2) = (+1, -1)$ . Los modos de copolarización  $(q_1, q'_1) = (-1, -1)$  y  $(q_2, q'_2) = (+1, +1)$  se usan cuando se estiman tanto los DOA, DOD de LOS y los ángulos de inclinación como las ganancias de canal multitrayecto en los modos de copolarización.

Las matrices de correlación son "matrices de correlación de recepción" o "matrices de correlación de transmisión" 87.

Los pares de "matrices de correlación de recepción" vienen dados respectivamente por  $\mathbf{R}_{q_1}^{Rx} = \overline{\mathbf{H}}_{q_1, q'_1} \overline{\mathbf{H}}_{q_1, q'_1}^H$  y

$\mathbf{R}_{q_2}^{Rx} = \overline{\mathbf{H}}_{q_2, q'_2} \overline{\mathbf{H}}_{q_2, q'_2}^H$  mientras que el par de "matrices de correlación de transmisión" viene dado por

$\mathbf{R}_{q_1}^{Tx} = \overline{\mathbf{H}}_{q_1, q'_1}^H \overline{\mathbf{H}}_{q_1, q'_1}$  y  $\mathbf{R}_{q_2}^{Tx} = \overline{\mathbf{H}}_{q_2, q'_2}^H \overline{\mathbf{H}}_{q_2, q'_2}$

En una segunda etapa, el algoritmo MVR estándar se aplica en los dos modos de polarización para proporcionar dos espectros de MVR 88 para DOA o dos espectros de MVR para DOD. El espectro de MVR de un modo de polarización  $(q_1, q'_1)$  dado, viene dado por

$$P_{q_1}^{Rx}(\Omega) = \mathbf{f}^H \left( \mathbf{C}_{q_1}^{Rx}(\Omega)^H \mathbf{R}_{q_1}^{Rx-1} \mathbf{C}_{q_1}^{Rx}(\Omega) \right) \mathbf{f} \quad (20)$$

Las restricciones sobre el generador de haces de MVR se expresan a través de  $\mathbf{C}_{q_1}^{Rx}(\Omega)^H \mathbf{w}_{q_1}^{Rx} = \mathbf{f}$  y

$\mathbf{C}_{q_1}^{Tx}(\Psi)^H \mathbf{w}_{q_1}^{Tx} = \mathbf{f}$ . Estos expresan tanto un máximo de potencia en el modo de polarización de interés mientras

mira hacia el DOA o DOD de dirección real como también una potencia nula en el modo de polarización ortogonal,

principalmente  $\mathbf{a}(q_1, \Omega)^H \mathbf{w}_{q_1}^{Rx} = g$  y  $\mathbf{a}(-q_1, \Omega)^H \mathbf{w}_{q_1}^{Rx} = 0$ . Donde  $g$  es la ganancia máxima en la dirección de

mira  $\Omega$ . En una tercera etapa, el espectro de MVR común se calcula usando el producto de espectro de MVR en los dos modos de polarización 89.



$$P_{q_1}^{Rx/Tx}(\Omega) = P_{q_1}^{Rx/Tx}(\Omega) P_{q_2}^{Rx/Tx}(\Omega) \quad (21)$$

La adición del espectro puede usarse también. La ventaja del producto es ancho del haz de media potencia más ajustado (HPBW) exhibido por el producto comparado con la suma.

Los pares de DOA (o DOD) de ángulos son los primeros pares de ángulos  $R_{cr}$  correspondientes a los valores de los máximos locales del espectro de MVR común clasificados en orden descendente 90.

La figura 1j presenta el algoritmo basado en MUSIC. El algoritmo usa dos matrices de correlación obtenidas respectivamente mediante una autocorrelación de dos matrices que corresponden, cada una, a un canal MIMO polarizado particular. En una primera etapa, el espacio de señal y el ruido en el lado del transmisor están separados 91. Usando las notaciones usadas habitualmente la descomposición de SVD de la matriz del canal en un modo de polarización ( $q_1, q_1'$ ) puede escribirse:

$$\overline{H}_{q_1, q_1'} = \begin{bmatrix} \mathbf{U}_{q_1, q_1'}^s; \mathbf{U}_{q_1, q_1'}^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{S}_{q_1, q_1'}^s & 0 \\ 0 & \mathbf{S}_{q_1, q_1'}^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{V}_{q_1, q_1'}^s; \mathbf{V}_{q_1, q_1'}^n \end{bmatrix}^H \quad (22)$$

En particular, el espacio de ruido en el lado del transmisor se usa para estimar el DOD mientras que el espacio de ruido en el lado del receptor se usa para estimar el DOA. Estos ruidos vienen dados respectivamente por:

$$\mathbf{V}_{q_1, q_1'}^n = [\mathbf{v}_{q_1, q_1'}^n(1), \dots, \mathbf{v}_{q_1, q_1'}^n(M_{Rx} - R_{cr})] \quad (23)$$

Y

$$\mathbf{U}_{q_1, q_1'}^n = [\mathbf{u}_{q_1, q_1'}^n(1), \dots, \mathbf{u}_{q_1, q_1'}^n(M_{Rx} - R_{cr})] \quad (24)$$

Un promedio de los componentes del espacio de ruido 92 se obtiene a continuación a través de

$$\mathbf{E}_{q_1, q_1'}^{Tx} = \sum_{i=1}^{i=M_{Rx}-R_{cr}} \mathbf{v}_{q_1, q_1'}^n(i) \quad (25)$$

y

$$\mathbf{E}_{q_1, q_1'}^{Rx} = \sum_{i=1}^{i=M_{Rx}-R_{cr}} \mathbf{v}_{q_1, q_1'}^n(i) \quad (26)$$

En una segunda etapa, el algoritmo MUSIC estándar se aplica proporcionando dos espectros MUSIC de transmisión 93

$$spm_{q_1, q_1'}^{Tx/rx}(\psi) \quad \text{y} \quad spm_{q_2, q_2'}^{Tx/rx}(\psi), \quad \text{o dos espectros MUSIC de recepción}$$

$$spm_{q, q'}^{Tx/Rx}(\psi) = \frac{1}{\mathbf{a}(q', \psi)^H \mathbf{E}_{q, q'}^n \mathbf{E}_{q, q'}^n \mathbf{a}(q', \psi)} \quad (27)$$

En una tercera etapa, el espectro MUSIC común se calcula usando el producto del espectro MUSIC en los dos modos de polarización cruzada, de la siguiente manera:

$$P^{Tx/rx}(\psi) = spm_{q_1, q_1'}^{Tx/Rx}(\psi) spm_{q_2, q_2'}^{Tx/Rx}(\psi) \quad (28)$$

Tal como en el caso anterior, también puede usarse adición de espectros. La ventaja del producto, de acuerdo con un aspecto de la invención, es el ancho del haz de media potencia más ajustado (HPBW) exhibido por el producto comparado con la suma.

Los pares de ángulos DOD (o DOA) son los primeros pares  $R_{cr}$  de ángulos correspondientes a los valores de los máximos locales del espectro MUSIC común, clasificados en orden descendente 94.

La figura 1k muestra los bloques principales que componen los módulos de estimación de ganancias de canal. Cuando se usa para estimar la ganancia de cada multitrayecto, el módulo realiza una tarea de adición que consiste en una prueba de la reciprocidad del canal 105. Un probador de reciprocidad que, en base a los conjuntos de AOA y AOD dados y las matrices de canal promediadas en el modo de polarización cruzada, puede verificar si las ganancias complejas del canal que son estimadas por separado corresponden o no a un canal recíproco.

El probador de reciprocidad del canal da una primera estimación de las dos matrices diagonales  $\hat{\mathbf{P}}_{q_1, q_1'}^{(m)}$  y  $\hat{\mathbf{P}}_{q_2, q_2'}^{(m)}$  a través de

$$\hat{\mathbf{P}}_{q, q'}^{(m)} = \text{diag} \left( \left( \mathbf{A}(q, \Omega)^H \mathbf{A}(q, \Omega) \right)^{-1} \mathbf{A}(q, \Omega)^H \overline{\mathbf{H}}_{q, q'} \mathbf{A}(q', \Psi^{(m)}) \left( \mathbf{A}(q', \Psi^{(m)})^H \mathbf{A}(q', \Psi^{(m)}) \right)^{-1} \right) \quad (29)$$

A continuación se usa una métrica para evaluar la distancia entre las matrices diagonales calculadas. Una manera

sencilla es usar el error relativo:

$$\varepsilon_{rec} = \frac{\text{tr} \left( \hat{\mathbf{P}}_{q_1, q'_1}^{(m)} - \hat{\mathbf{P}}_{q_2, q'_2}^{(m)} \right) \left( \hat{\mathbf{P}}_{q_1, q'_1}^{(m)} - \hat{\mathbf{P}}_{q_2, q'_2}^{(m)} \right)^H}{\text{tr} \left( \hat{\mathbf{P}}_{q_1, q'_1}^{(m)} \hat{\mathbf{P}}_{q_2, q'_2}^{(m)} H \right)} \quad (30)$$

Si el error es menor que un valor pequeño fijo, el canal es recíproco y pueden proporcionarse mejores estimaciones de

las dos matrices diagonales  $\hat{\mathbf{P}}_{q_1, q'_1}^{(m)}$  y  $\hat{\mathbf{P}}_{q_2, q'_2}^{(m)}$  estimando por separado la matriz de inclinación  $\Gamma_{cr}(m)$  107 y la matriz de ganancia de canal común diagonal  $\mathbf{P}_{cr}(m)$  de acuerdo con

$$\left( \hat{\Gamma}^{(m)} \right)_{l,l} = \exp \left( j \left( \frac{\arg \left( \hat{\mathbf{P}}_{q_1, q'_1}^{(m)} \right)_{l,l} + \arg \left( \hat{\mathbf{P}}_{q_2, q'_2}^{(m)} \right)_{l,l}}{2} \right) \right) \quad (31)$$

$$\hat{\mathbf{P}}_{cr}^{(m)} = \frac{\hat{\Gamma}^{(m)H} \hat{\mathbf{P}}_{q_1, q'_1}^{(m)} + \hat{\Gamma}^{(m)} \hat{\mathbf{P}}_{q_2, q'_2}^{(m)}}{2} \quad (32)$$

Y

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{P}}_{q_1, q'_1}^{(m)} &= \hat{\Gamma}^{(m)} \hat{\mathbf{P}}_{cr}^{(m)} \\ \hat{\mathbf{P}}_{q_2, q'_2}^{(m)} &= \hat{\Gamma}^{(m)H} \hat{\mathbf{P}}_{cr}^{(m)} \end{aligned} \quad (33)$$

Los otros bloques que componen este módulo son los siguientes:

- Un bloque de permutación 106 que genera todas las posibles permutaciones del conjunto de pares de AOD  $\Psi = (\Psi_1, \dots, \Psi_{Rcr})$ .
- Un módulo de decisión de emparejamiento 109, cuya tarea es combinar un AOD en cada AOA. De hecho, los ángulos de llegadas y salidas se estiman de manera independiente. El emparejamiento reconstituye la trayectoria física según lo visto mediante el transmisor y el receptor. La operación de emparejamiento se basa en la optimización de criterios dados. Los ejemplos de dichos criterios son la maximización de la función de probabilidad logarítmica o la minimización de la distancia entre la matriz de canal reconstruida y la del ruido real.

El proceso de filtrado ha permitido separar las matrices de canal  $H_{q,q'}$  en matrices de LOS y de NLOS. El AOA a lo largo de LOS puede considerarse fijo durante al menos un fotograma y el AOA a lo largo de la NLOS son menos estacionarios, sin embargo, se les puede mantener fijos durante al menos un fotograma. En el otro lado, los otros parámetros son variables debido al cambio de entorno y en necesario volver a estimarlos. Esto da un método de simplificación del algoritmo de detección de orientación-localización en un lado de la emisora fija.

La figura 2 es un ejemplo del subsistema en el que antenas individuales sin ganancias isotrópicas se usan en cada nodo 110 (nodo girado en la figura 2) que está sujeto a la operación de determinación de localización y orientación. En particular:

- Este subsistema aprovecha el perfil de ganancia de potencia angular de la antena para mejorar los métodos de localización por trilateración.
- Este subsistema aprovecha el perfil de ganancia de potencia angular de la antena para proporcionar una estimación de la orientación de la antena.
- Este subsistema ejecuta un algoritmo basado en trilateración para el que las ubicaciones y orientaciones de las emisoras de radio de posicionamiento 111 (marcas) ya se conocen junto con una búsqueda sobre la rejilla de parámetros de orientación para deducir los parámetros de orientación. Se usa una distancia para mantener la mejor solución mientras se busca. Además, la estimación combinada de la orientación y la localización mediante otros métodos tales como el algoritmo de gradiente o el algoritmo de EM pueden formularse como un algoritmo especial.

#### Herramientas y ajustes para el algoritmo basado en trilateración:

- Potencias recibidas de otros nodos L:  $\hat{P} = \{\hat{P}_l ; l = 1, \dots, L\}$
- Posiciones de los otros nodos:  $M = \{M_l ; l = 1, \dots, L\}$

- El perfil de ganancia de potencia angular de la antena 112 en las emisoras de radio de posicionamiento de transmisión 110  $G_{tr} = \{g_l(\Omega); l = 1, \dots, L\}$  en la que  $\Omega$  es la dirección de la onda de salida y puede parametrizarse mediante los ángulos polares en el plano 2D o mediante los ángulos esféricos en el espacio 3D.

- 5 - El perfil de ganancia de potencia angular de la antena 113 del nodo receptor 111 antes de cualquier rotación  $g_0(\Omega)$ .  
 - Una rejilla de orientación  $r = \{\Gamma_i; i = 1, \dots, I\}$  compuesta por un conjunto de I tripletes de ángulos de Euler cuando la rotación se mantiene en el espacio 3D o un conjunto de I ángulos en el círculo unitario para una rotación en el plano 2D.  
 10 - Ganancias de canal:  $h = \{h_l; l = 1, \dots, L\}$ . Pueden expresarse en general como:

$$h_l = \frac{C_l}{d_l^\alpha},$$

-- donde  $\alpha$  y  $C_l$  son dos constantes positivas.

- Un algoritmo de trilateración clásico que introduce el conjunto de parámetros H y M y que emite las coordenadas de localización  $M_0$ .  $M_0 = \text{Tril}(H, M)$

15 **El algoritmo:**

Inicialización: Fijar la distancia inicial  $\delta(\text{old})$  a un valor elevado y fijar la distancia de convergencia  $\delta(\infty)$

- 20 - Ejecutar una búsqueda en la rejilla  $\Gamma$   
 -- Para cada  $\Gamma_i$ , ejecutar la siguiente inicialización  
 25 --- Seleccionar cualquier conjunto  $H(\text{new})$  de parámetros de pérdida de trayecto  
 --- Inicializar los parámetros de localización a:  $M_0(\text{new}) = \text{Tril}(H(\text{new}), M)$   
 --- Calcular las direcciones hacia los nodos L  $\Omega(\text{new}) = \{\Omega_l(\text{new}); l = 1, \dots, L\}$  a partir de  $M_0(\text{new})$  y M  
 --- Calcular la ganancia direccional establecida en el nodo receptor: 0

$$G^{\text{rec}}(\text{new}) = \left\{ g_0^{(\text{rec})}(\Omega_l(\text{new}), \Gamma_l) \right\}_{l=1, \dots, L}$$

30 --- Calcular las nuevas potencias:  $P(\text{new}) = \{P_l(\text{new}); l = 1, \dots, L\}$ , donde

$$P_l(\text{new}) = g_0^{(\text{rec})}(\Omega_l(\text{new}), \Gamma_l) g_l^{(\text{tr})}(\Omega_l(\text{new})) h_l(\text{new})$$

- --- Calcular la distancia promedio entre potencias calculadas y recibidas:

$$\delta_i(\text{new}) = \sum_{l=1}^L (P_l(\text{new}) - \hat{P}_l)^2$$

- 35 ■ --- End = 0
- --- Mientras End = 0, repetir

-  $\delta_i(\text{old}) \leftarrow \delta_i(\text{new})$  y  $h(\text{old}) \leftarrow h(\text{new})$

40 - Calcular los nuevos parámetros de localización a partir de  $H(\text{old})$  y M:

$$M_0(\text{new}) = \text{Tril}(H(\text{old}), M)$$

45 - Calcular las direcciones hacia los nodos L

$$\Omega(\text{new}) = \{\Omega_l(\text{new}); l = 1, \dots, L\} \text{ desde } M_0(\text{new}) \text{ y } M$$

- Calcular la ganancia direccional establecida en el nodo receptor:

$$G^{\text{rec}}(\text{new}) = \left\{ g_0^{(\text{rec})}(\Omega_l(\text{new}), \Gamma_l) \right\}_{l=1, \dots, L}$$

- 50 - Calcular las nuevas potencias:

$$P_l^{(new)} = g_0^{(rec)}(\Omega_l^{(new)}, \Gamma_l) g_l^{(tr)}(\Omega_l^{(new)}) p_l^{(old)}$$

- **Crucial:** forzar los parámetros de pérdida de trayecto a

$$h_l^{(new)} = \hat{P}_l / g_0^{(rec)}(\Omega_l^{(new)}, \Gamma_l) g_l^{(tr)}(\Omega_l^{(new)})$$

- Importante: Reducir los nodos transmisores a aquellos con pérdida de trayecto finita  $h_l^{(new)}$

$$\delta^{(new)} = \sum_{l=1}^L (P_l^{(new)} - \hat{P}_l)^2$$

- Calcular la nueva distancia

- Si  $|\delta^{(new)} - \delta^{(old)}| < \epsilon$ , End = 1

$$j = \underset{i}{\operatorname{arg}}(\delta_i)$$

-- Seleccionar como índice en la rejilla aquel que cumple

Deducir la orientación como  $\Gamma_j$  y el parámetro de localización correspondiente

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de orientación y localización con capacidades de filtrado espacial que combina diversidad temporal, de polarización y espacial para detectar las líneas de visión directas (LOS) y para suministrar estimaciones de localización y orientación de nodos móviles, que comprende:

- al menos una emisora de radio de posicionamiento que determina la orientación relativa y la localización relativa de cada nodo móvil que comparte con ella una línea de visión (LOS) directa, estando cada trayecto de onda de radio, incluyendo la LOS, caracterizado por una dirección de salida (DOD), una polarización de transmisión, así como una dirección de llegada (DOA) y una polarización de recepción; la emisora de radio de posicionamiento y los nodos móviles están equipados con:

-- un sistema de antenas múltiples que tiene capacidades de selección-conmutación de polarización;  
 -- un transceptor de radio que tiene filtrado espacial, así como capacidades de detección de orientación y localización; al menos uno de la emisora de radio de posicionamiento y los nodos móviles incluyendo:

- un módulo de filtrado temporal que realiza una primera etapa de filtrado en los vectores de señal recibidos, permitiendo dicho proceso de filtrado, para una clasificación de los nodos de transmisión, en diferentes conjuntos de vectores; siendo cada conjunto de vectores un subconjunto de recogida de vectores que tienen casi las mismas fuerzas y las mismas propiedades de tiempo de llegada;

- un módulo de matrices de entrada múltiple salida múltiple (MIMO) (71), que opera en cada conjunto de vectores para proporcionar estimaciones de matrices de MIMO cuádruples, estando estas últimas compuestas respectivamente por un primer par de matrices MIMO copolarizadas obtenidas cuando se usan los modos de polarización circular similares en el lado tanto de los transmisores como en el de los receptores y un segundo par de matrices de canal MIMO con polarización cruzada obtenidas cuando se usan los diferentes modos de polarización circular en los lados tanto de los transmisores como en el de los receptores, siendo dicho módulo capaz de estimar las matrices de correlación de recepción y de transmisión que son introducidas en los algoritmos de detección espacial;

- un módulo de estimación de DOA y DOD multitrayecto (68) que opera en las cuatro matrices de correlación que pueden estimarse usando las matrices MIMO con polarización cruzada estimadas anteriores;

- un módulo de control (67), que opera en los rangos de matrices de canal MIMO con polarización cruzada, para controlar el módulo de estimación de DOA y DOD multitrayecto (68) para ejecutar un método de detección;

en el que el par de matrices de correlación de recepción, correspondientes a dos modos de polarización no emparejados diferentes (RHCP-LHCP y LHCP-RHCP), da origen a estimaciones del azimut-elevación multitrayecto de pares de ángulos de llegada (AOA);

en el que el par de matrices de correlación de transmisión, correspondiente a dos modos de polarización no emparejados diferentes (RHCP-LHCP y LHCP-RHCP), da origen a estimaciones del azimut-elevación multitrayecto de pares de ángulos de salida (AOD);

en el que la potencia de señal en los dos conjuntos estimados de AOA obtenidos en los modos de polarización que forman un espectro de polarización-espacial de recepción y la potencia de señal en los dos conjuntos estimados de AOD obtenidos, cada uno, en un modo de polarización diferente formando un espectro de polarización-espacial de transmisión;

dicho módulo de control (67) que ejecuta un algoritmo MUSIC o MVR que proporcionan, cada uno, dos espectros de polarización-espaciales de las señales recibidas multitrayecto; en el que la combinación de dos espectros de polarización-espaciales de recepción que proporciona un espectro de recepción común, también, la combinación de dos espectros de polarización-espaciales de transmisión proporciona un espectro de transmisión común, siendo dicha combinación una adición, una multiplicación o cualquier otra operación aritmética entre espectros, utilizándose espacialmente la operación de multiplicación para mejorar la calidad del espectro;

- un módulo de estimación de ángulos de inclinación y ganancias de canal multitrayecto (69), que usa el módulo de estimación de DOA y DOD multitrayecto (68) y el módulo de matrices de canal MIMO (71) para proporcionar medios para estimar:

-- la intensidad de señal y un ángulo de inclinación de la onda saliente (TAOUT) para cada uno de los parámetros de DOD estimados;

-- la intensidad de señal y un ángulo de inclinación de la onda entrante (TAON) para cada uno de los parámetros de DOA estimados;

Dicho módulo de estimación de ángulos de inclinación y ganancias de canal multitrayecto (69) realiza una operación de emparejamiento con el objetivo de determinar, para cada uno de los parámetros de DOA estimados, los parámetros de DOD correspondientes, de modo que los parámetros de DOA/DOD emparejados describen las propiedades direccionales de un trayecto particular en ambos extremos del enlace transmisor y receptor;

- un módulo de filtrado de canal copolarizado (70) que retira los componentes de canal multitrayecto de las matrices de canal copolarizadas; dicho módulo de filtrado de canal copolarizado (70) reconstituye la matriz MIMO copolarizada originada multitrayecto usando como entradas:

5 -- las estimaciones de DOA y DOD proporcionadas por dicho módulo de estimación (68)  
 -- las matrices MIMO copolarizadas proporcionadas por dicho módulo de matrices de canal MIMO (71)  
 Dicho módulo de filtrado de canal copolarizado (70) estima de nuevo la ganancia de canal y los ángulos de inclinación para cada par de ángulos de DOA/DOD utilizando la matriz MIMO copolarizada reconstituida;

10 - un módulo de estimación de DOA y DOD de LOS (72) que opera en las matrices de canal copolarizadas filtradas proporcionadas por (70) y que ejecuta el algoritmo MUSIC o MVR ya seleccionado por (67) para suministrar algunos conjuntos de pares de DOA y DOD de ángulos de azimut-elevación correspondientes a trayectos de LOS, la misma combinación de diferentes espectros de polarización-espaciales que tienen la posibilidad de ser aplicados como en dicho módulo de estimación (68);

15 - un módulo de estimación de "ángulos de inclinación y canal multitrayecto" de LOS (73) que usa información proporcionada por el módulo de estimación de DOA y DOD de LOS (72) y el módulo de filtrado de canal copolarizado (70), para suministrar estimaciones en cada LOS de TAON y TAOUT, estando dichos DOA, DOD, TAON, TAOUT de LOS estimados en el sistema de referencia del receptor;

20 - un determinador de posición y de orientación (75) que usa la información proporcionada por un módulo de estimación de ángulos de inclinación y canal multitrayecto de LOS (73) para determinar la localización y la orientación de cada transmisor con LOS identificada; este módulo usa la información proporcionada por dicho módulo de filtrado de canal copolarizado (70), módulo de estimación de DOA y DOD de LOS (72), el módulo de estimación de ángulos de inclinación y canal multitrayecto de LOS (73) y el módulo de filtrado temporal.

25 2. El sistema de orientación y localización de la reivindicación 1, en el que la estimación de la matriz de rotación de orientación de transmisor-receptor usa el hecho de que, cuando el transmisor y el receptor se desorientan uno con respecto al otro, el par de DOD y TAOUT en el sistema de referencia del transmisor es en general diferente del par de DOA y TAON en el sistema de referencia del lado del receptor incluso aunque el transmisor y el receptor compartan un mismo LOS.

3. El sistema de orientación y localización de la reivindicación 1, en el que la orientación del transmisor con respecto al receptor se consigue combinando DOA, DOD, TAOUT y TAON.

35 4. El sistema de orientación y localización de la reivindicación 1, en el que la detección de las ondas NLOS (multitrayecto) se realiza usando el espectro de polarización-espacial en antenas polarizadas no emparejadas lo que significa que si las antenas de transmisión tienen polarización circular dextrógira (RH), las antenas de recepción tienen polarización circular levógira (LH) y viceversa, la convención de polarización siguiendo la definición dada por la fórmula:

$$\mathbf{H}_{q',q}(l',l,i) = \mathbf{a}_q(l',\Omega_i^{(l',l')}) C_{q,q'}(l',l,i) e^{-jq\gamma_{r,i}} \mathbf{a}_q^H(l,\Psi_i^{(l',l')})$$

40 donde  $\mathbf{a}_q(l',\Omega_i^{(l',l')})$  (respectivamente  $\mathbf{a}_q(l,\Psi_i^{(l',l')})$ ) es el vector de dirección en el lado del receptor (respectivamente transmisor); El superíndice H significa el conjugado Hermitiano; el símbolo  $\gamma_{r,i}$  indica el ángulo de inclinación;  $C_{q,q'}(l',l,i)$  es un número complejo que indica la ganancia de canal a lo largo del trayecto i y que corresponde a un estado de polarización transmitido q' y un estado de polarización recibido q;  $C_{q',q}(l',l,i,\tau) = \rho_{l',l} \delta_{q,q'}$  donde  $\rho_{l',l}$  es un factor de pérdida de trayecto compleja que depende de la distancia entre los dos nodos y  $k = (2\pi/\lambda)$ ;

45 en el que la matriz de canal MIMO de primer rango correspondiente a un AOD y un AOA es el producto de un vector de dirección que describe la onda recibida y el conjugado Hermitiano (traspuesta conjugada) del vector de dirección que describe la onda transmitida, siendo dicho AOA y el AOD los de los vectores que describen la dirección de la onda de propagación, lo que significa que el AOA y el AOD son los mismos si los vectores de base del sistema de referencia tanto del transmisor como del receptor también son iguales.

50 5. El sistema de orientación y localización de la reivindicación 1, en el que la combinación de dos espectros de polarización-espaciales de recepción y la combinación de dos espectros de polarización-espaciales de transmisión puede ser adición, multiplicación o cualquier otra operación aritmética entre espectros, siendo la operación de multiplicación usada especialmente para mejorar la calidad del espectro.

55 6. El sistema de orientación y localización de la reivindicación 1 y 5, en el que la combinación de dos espectros de polarización-espaciales puede realizarse usando una operación de multiplicación para mejorar la calidad del espectro combinado.

7. El sistema de orientación y localización de la reivindicación 1, en el que la estimación de ángulos de inclinación y ganancias de canal multitrayecto se consigue usando los DOA y DOD multitrayecto y las matrices MIMO con polarización cruzada.

5 8. El sistema de orientación y localización de la reivindicación 1, en el que el módulo de estimación de ángulos de inclinación y ganancias de canal multitrayecto (69) realiza una operación de emparejamiento con el objetivo de asociar un parámetro estimado de DOD a cada parámetro estimado de DOA.

10 9. La orientación y localización de la reivindicación 1, en la que se consigue un filtrado de canal copolarizado en tres etapas:

- en una primera etapa, se realiza una estimación de las ganancias de canal y los ángulos de inclinación en cada enlace usando como entradas:

15 -- los parámetros de DOA y DOD en cada enlace multitrayecto. Estos parámetros se estiman usando las matrices MIMO con polarización cruzada

-- las matrices MIMO copolarizadas;

- en una segunda etapa, la parte multitrayecto de la matriz de canal MIMO copolarizada se reconstituye usando los parámetros estimados en la primera etapa

20 - en una tercera etapa, la parte multitrayecto de la matriz de canal MIMO copolarizada se sustrae de la matriz MIMO copolarizada original.

10. El sistema de orientación y localización de la reivindicación 1, en el que se realiza una estimación de DOA y DOD de LOS usando las matrices MIMO copolarizadas filtradas.

25

11. El sistema de orientación y localización de la reivindicación 1, en el que se estiman los ángulos de inclinación de LOS usando DOA y DOD de LOS y la matriz MIMO copolarizada filtrada.

12. El sistema de orientación y localización de la reivindicación 1, en el que el determinador de localización y orientación (75) usa la información proporcionada por un módulo de estimación de ángulos de inclinación y canal multitrayecto de LOS (73) para determinar la localización y la orientación de cada transmisor con LOS identificada.

30

13. El sistema de orientación y localización de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que el módulo de filtrado de canal copolarizado (70) lleva a cabo las siguientes tareas:

35

- usa una matriz de canal MIMO copolarizada filtrada para transmitir la información que requiere una baja tasa de errores de bits y

-usa una matriz con polarización cruzada para información que no requiere una buena calidad.

14. El sistema de orientación y localización de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en el que el módulo de estimación de ganancias de canal (69), el módulo realiza una tarea adicional que consiste en una prueba de la reciprocidad del canal (105), cuando se usa para estimar la ganancia de cada multitrayecto.

40

15. El sistema de orientación y localización de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, en el que un probador de reciprocidad (105) que, en base a los conjuntos de AOA y AOD dados y las matrices de canal promediadas sobre el modo de polarización cruzada, puede comprobar si las ganancias complejas del canal que son estimadas por separado corresponden o no a un canal recíproco.

45

16. El sistema de orientación y localización de acuerdo con la reivindicación 15, en el que la métrica usada por el probador de reciprocidad (105) para evaluar la distancia entre las matrices diagonales calculadas Viena dada por la fórmula:

50

$$\hat{\mathbf{P}}_{q,q'}^{(m)} = \text{diag} \left( \left( \mathbf{A}(q, \Omega)^H \mathbf{A}(q, \Omega) \right)^{-1} \mathbf{A}(q, \Omega)^H \bar{\mathbf{H}}_{q,q'} \mathbf{A}(q', \Psi^{(m)}) \left( \mathbf{A}(q', \Psi^{(m)})^H \mathbf{A}(q', \Psi^{(m)}) \right)^{-1} \right)$$

17. El sistema de orientación y localización de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, en el que el módulo de ganancia de canal (69) comprende, además, los siguientes bloques:

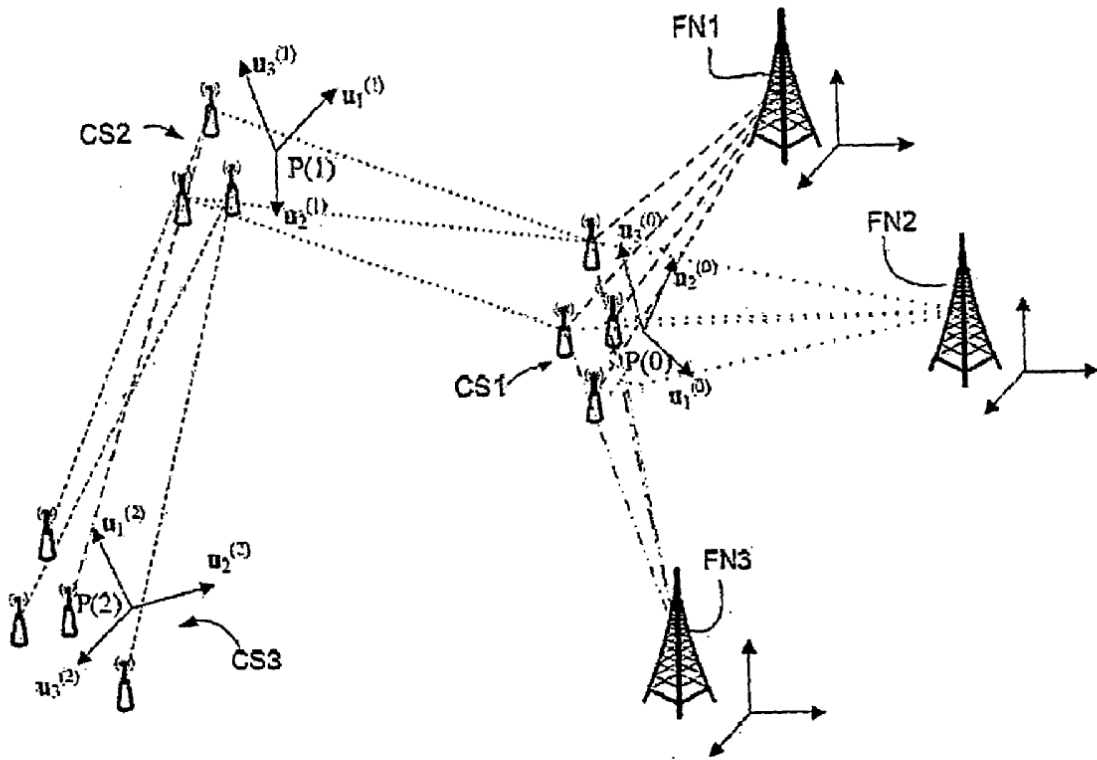
55

- un bloque de permutación (106) que genera todas las posibles permutaciones del conjunto de pares de AOD  
 - un módulo de decisión de emparejamiento (109), cuya tarea es combinar un AOD en cada AOA, estando la operación de emparejamiento basada en la optimización de criterios dados, notablemente la maximización de la función de probabilidad logarítmica o la minimización de la distancia entre la matriz de canal reconstruida y la de ruido real.

60

18. El sistema de orientación y localización de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17, en el que la variabilidad del perfil de ganancia de potencia angular de la antena se usa para determinar la orientación de la antena.
19. El sistema de orientación y localización de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18, en el que la variabilidad del perfil de ganancia de potencia angular de la antena se usa para corregir el problema de anisotropía de la antena en métodos de localización
- 5 .





**FIG 1a**

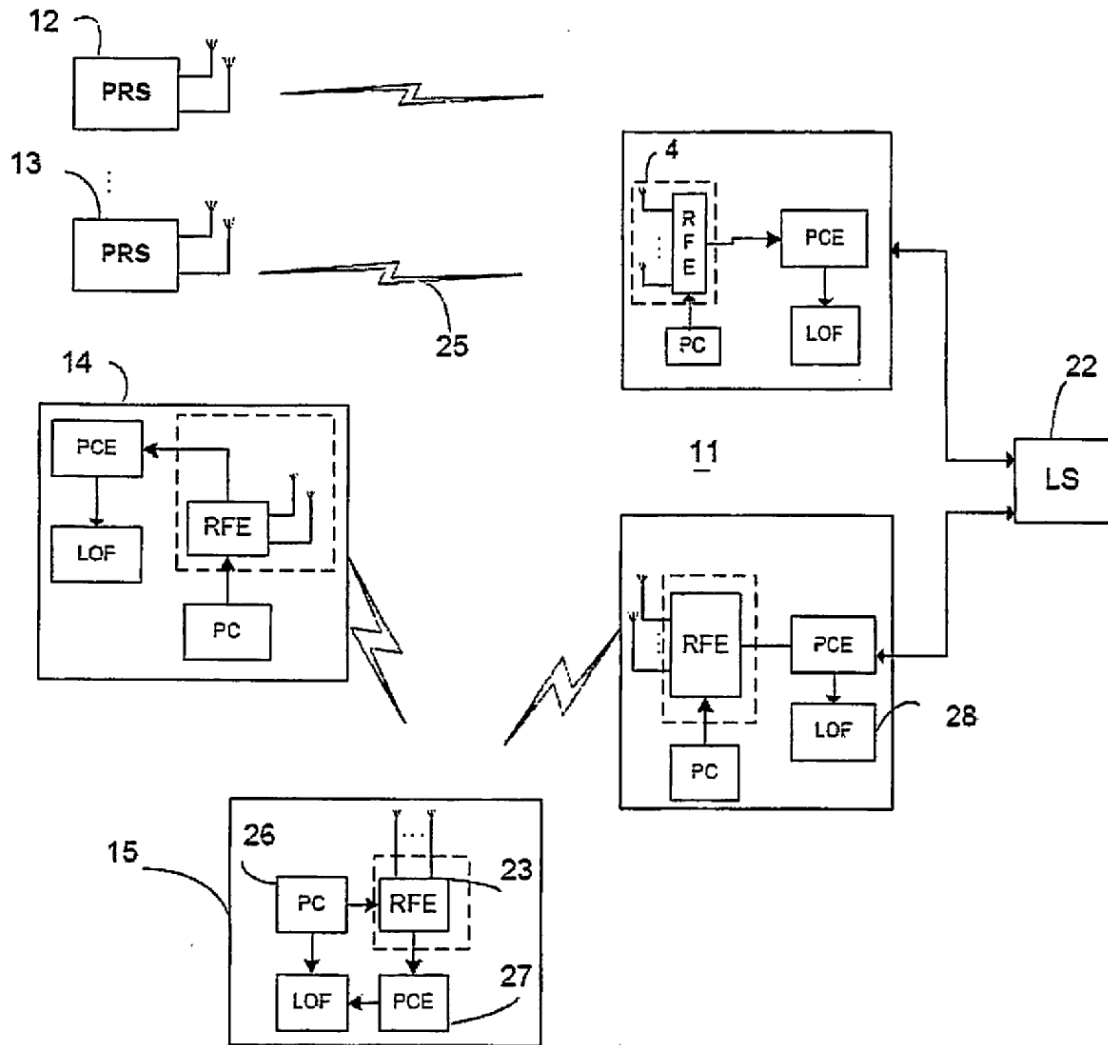


FIG 1b

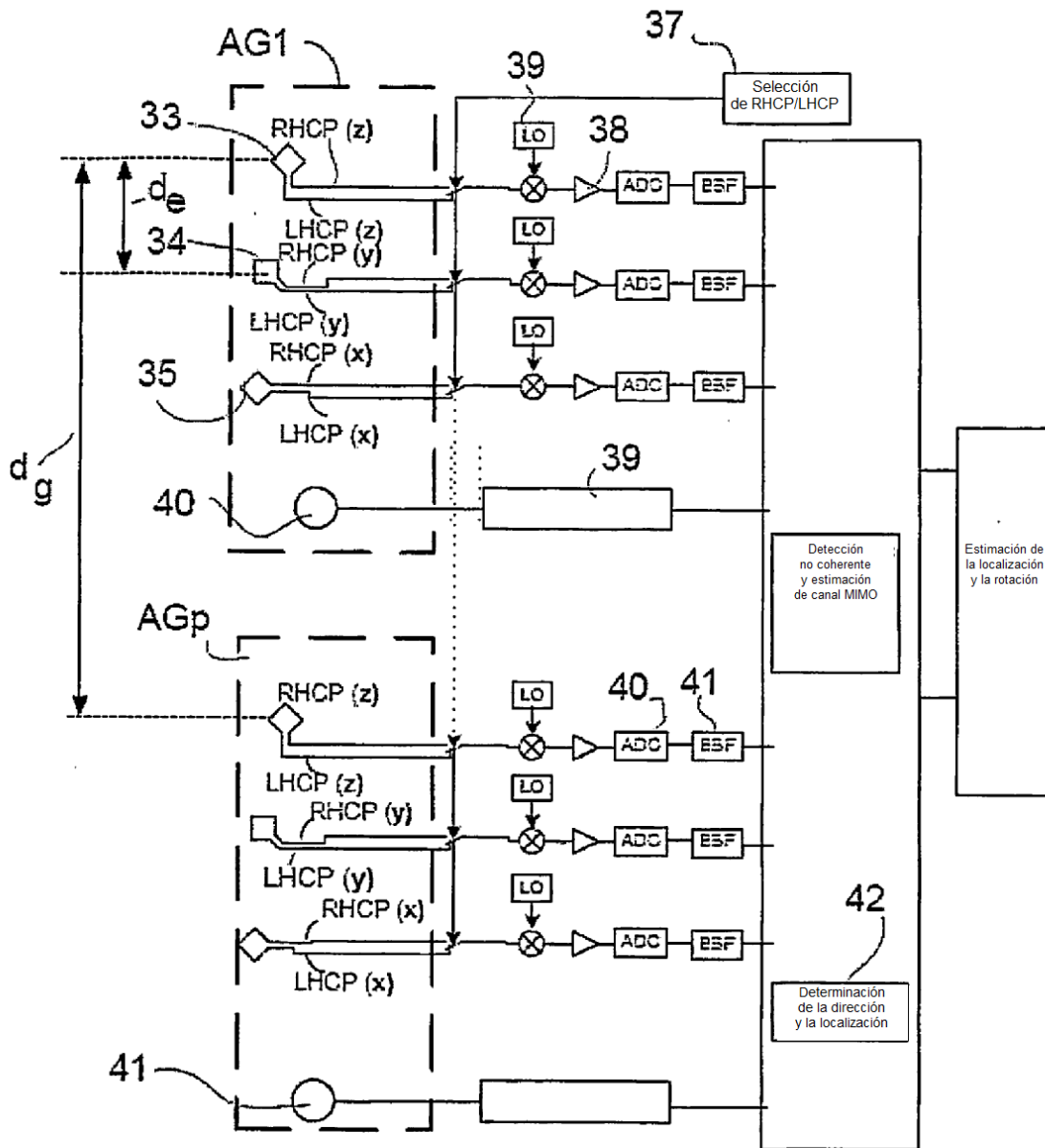


FIG 1c

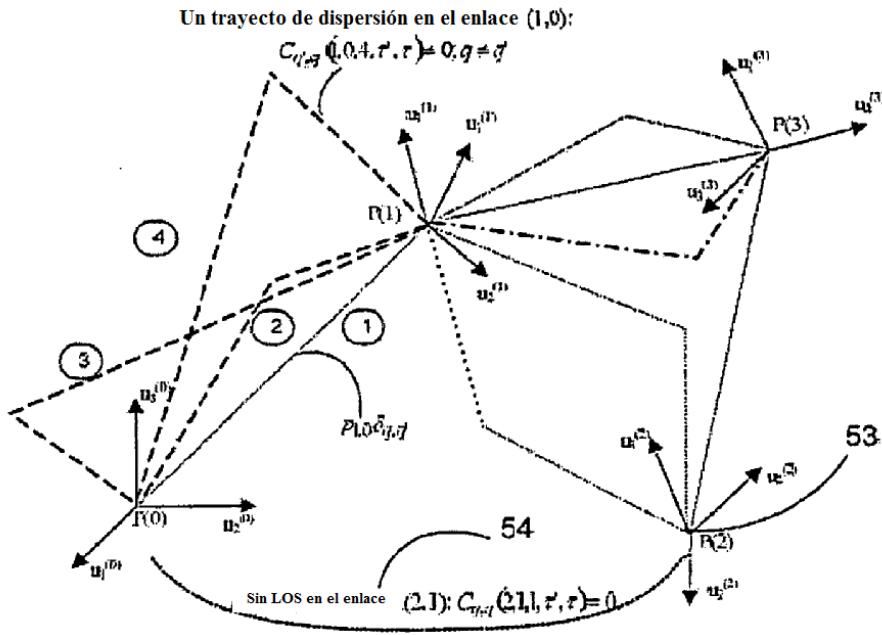


FIG 1d

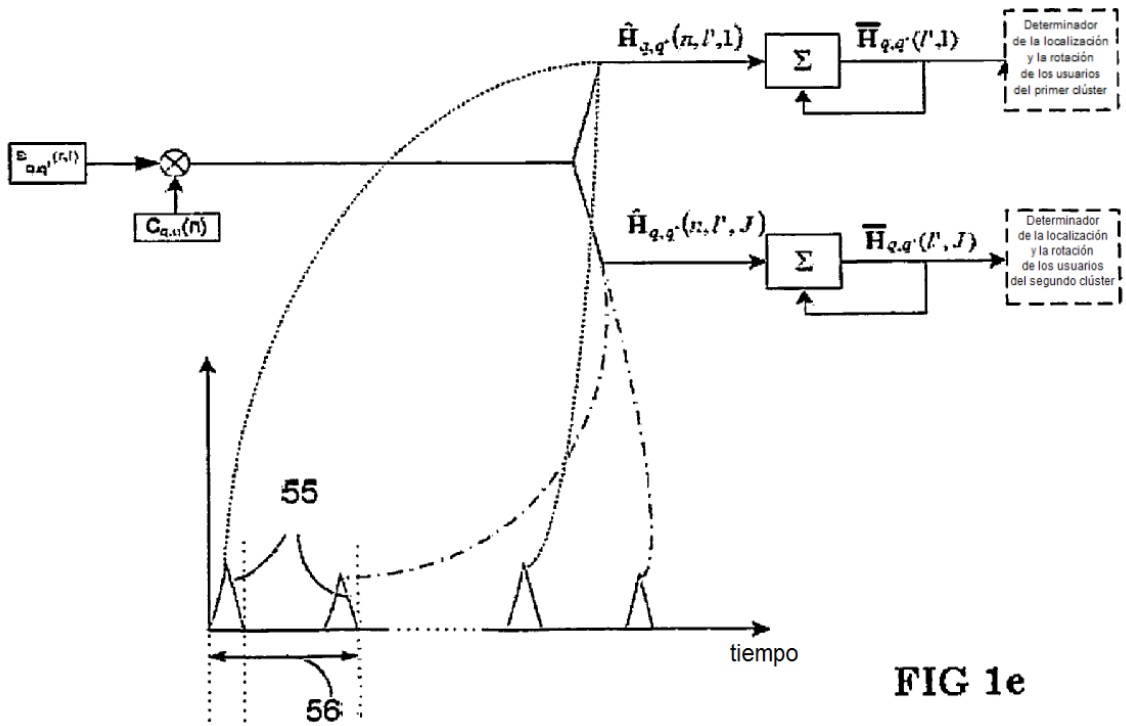
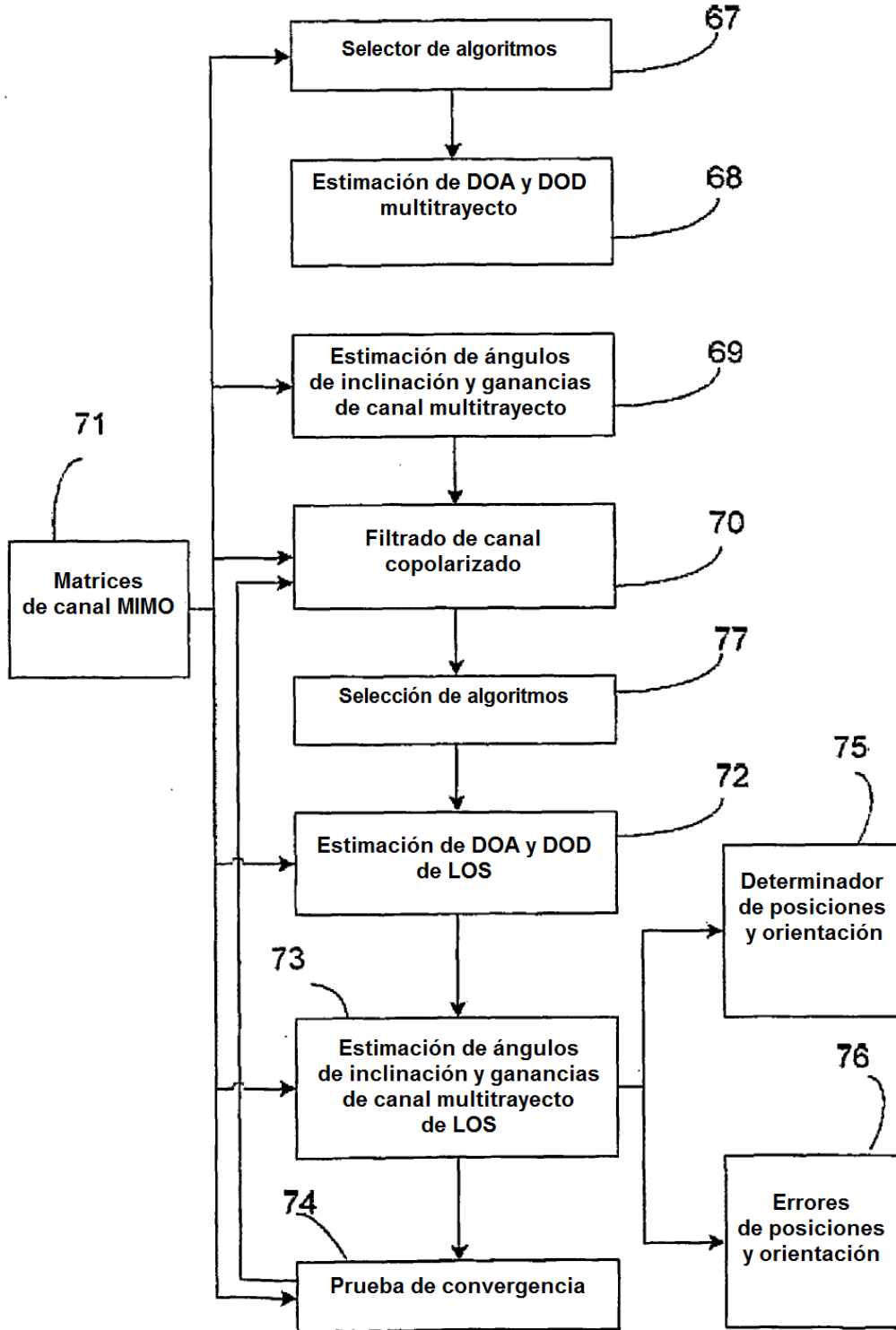
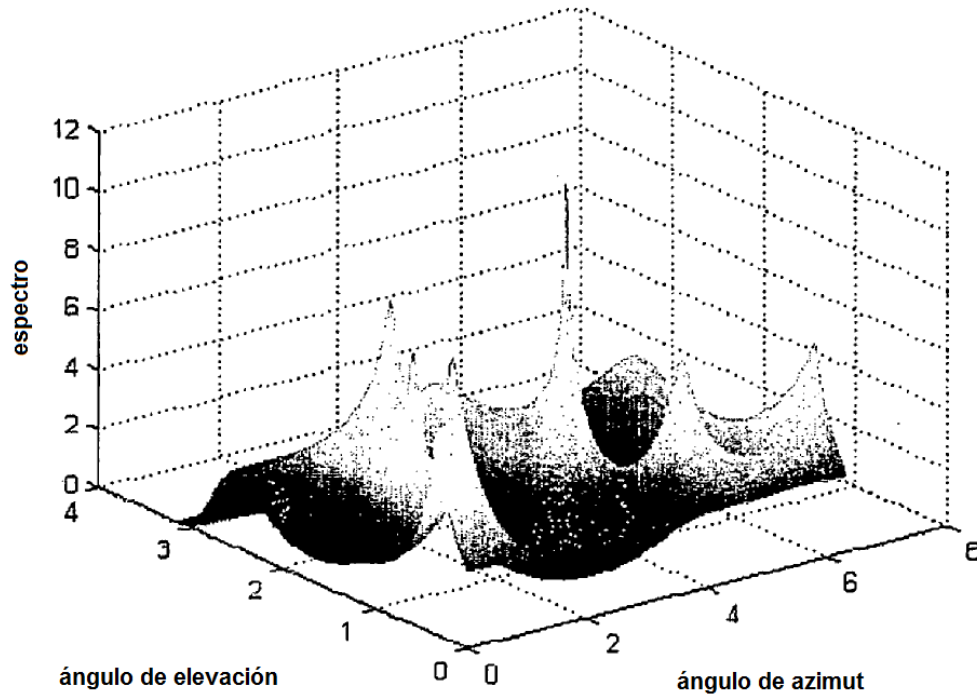


FIG 1e

FIG 1f



**FIG 1g**



**FIG 1h**

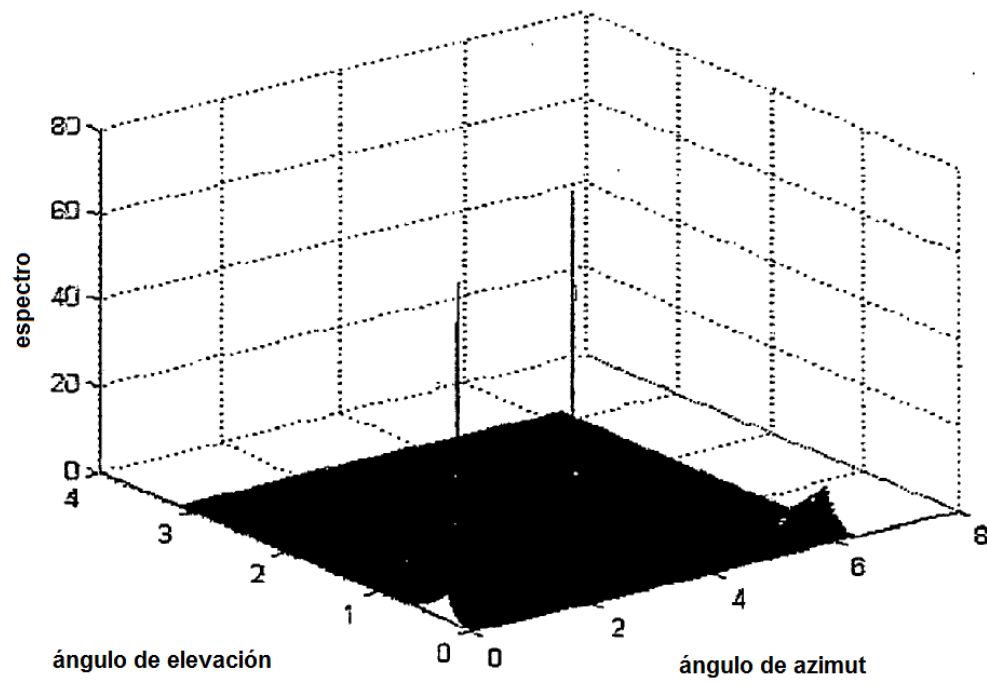


FIG 1i

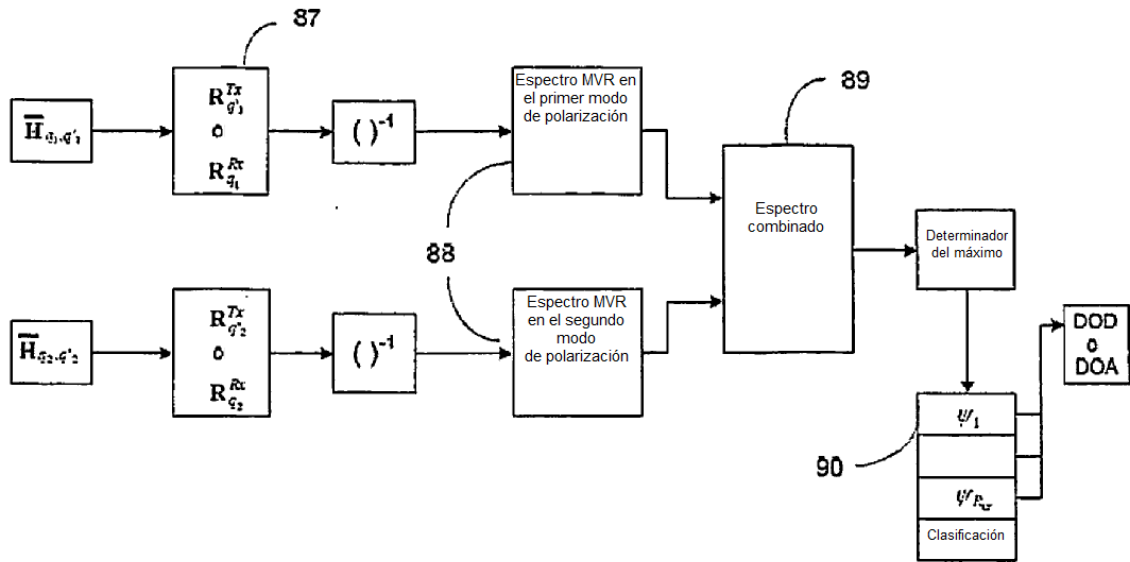


FIG 1j

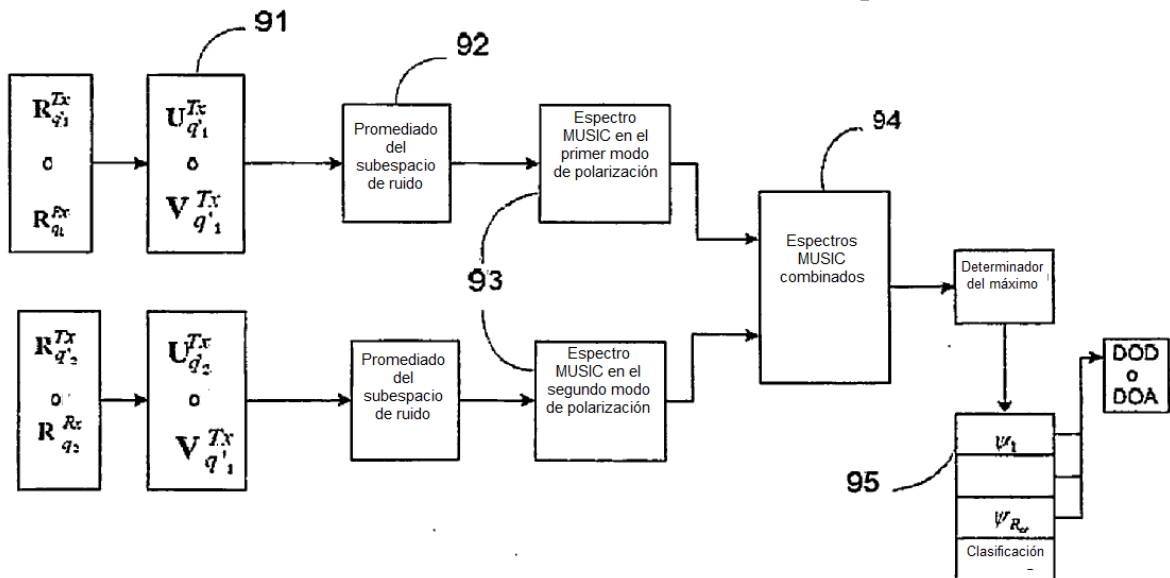
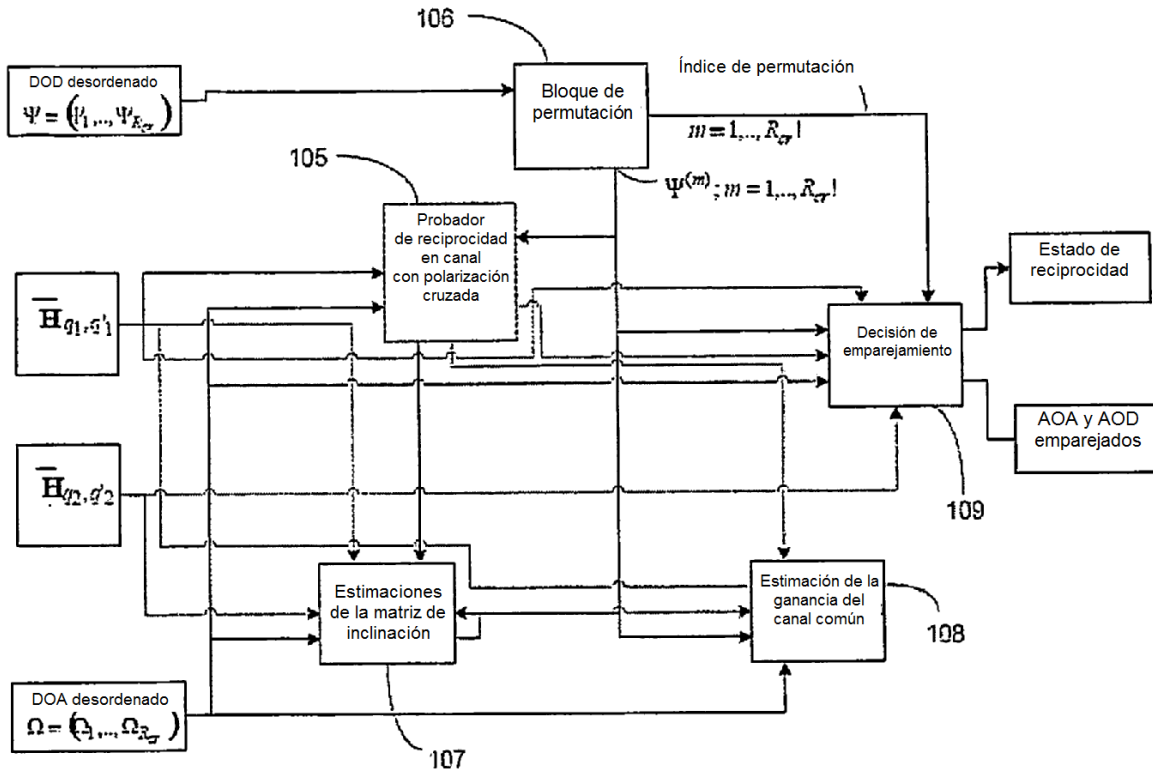


FIG 1k





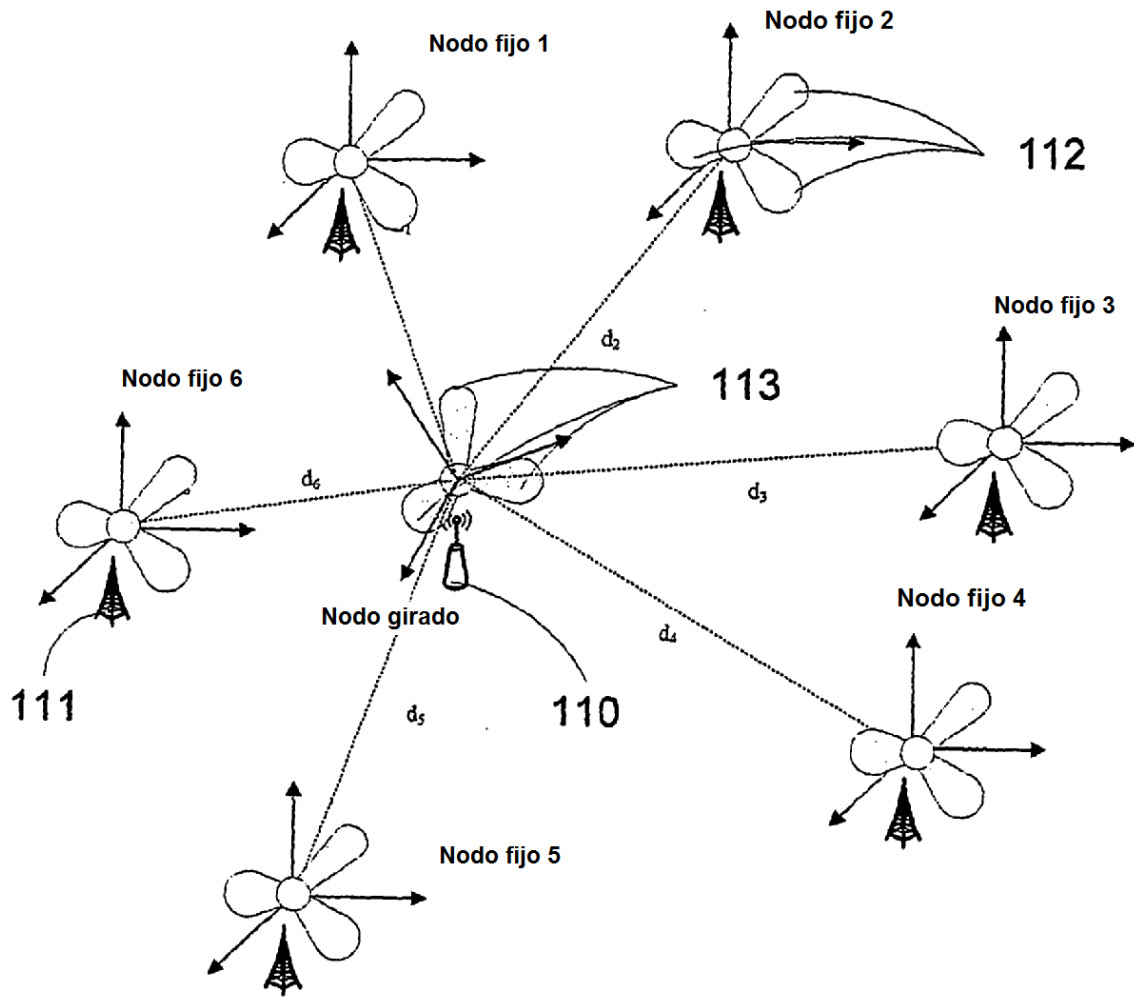


FIG 2