

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 529 694**

51 Int. Cl.:

**G08G 5/00**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.10.2008 E 08166940 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.01.2015 EP 2056272**

54 Título: **Planificación de transmisión para sistemas de tierra ADS-B**

30 Prioridad:

**30.10.2007 US 928267**

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

**24.02.2015**

73 Titular/es:

**EXELIS INC. (100.0%)  
1650 Tysons Boulevard, Suite 1700  
McLean, VA 22102 , US**

72 Inventor/es:

**BRUNO, RONALD y  
VEYTSMAN, BORIS**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 529 694 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**

Planificación de transmisión para sistemas de tierra ADS-B

5 **CAMPO DE LA INVENCION**

La presente invención se refiere al control del tráfico aéreo, y más particularmente a los sistemas y métodos relacionados con las transmisiones de Radiodifusión de Vigilancia Dependiente Automático – (ADS-B).

10 **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

10 El ADS-B es un sistema nuevo de control del tráfico aéreo que puede añadirse o incluso sustituir a los sistemas de radar convencionales. El ADS-B utiliza la tecnología del Sistema de Navegación Global por Satélite (“GNSS”) y emplea unos enlaces de radiodifusión de comunicaciones relativamente simples. Para un avión dado, la información precisa de la posición procedente del GNSS se combina con otra información del avión tal como la velocidad, dirección, altitud, y número de vuelo. Estos datos combinados (colectivamente “información”) son después  
15 radiodifundidos simultáneamente a otro avión con capacidad de ADS-B y a las estaciones de tierra o transceptores por satélite, que pueden posteriormente retransmitir la información a los centros de Control de Tráfico Aéreo (“ATC”), y/o de vuelta a otro avión con capacidad de ADS-B. Típicamente, un sistema ADS-B comprende una pluralidad de estaciones de tierra interconectadas para recibir y volver a radiodifundir una información con respecto a un avión o aeronaves individuales.

20 Como se ha observado, y como se muestra en la Figura 1, en un sistema ADS-B una información sobre la situación y otros “valores discretos” (por ejemplo, velocidad, dirección, altitud, etc.) de aeronaves (conocidos como “objetivos”) puede ser reunida por muchas estaciones de tierra. La información puede ser recogida a partir de las transmisiones recibidas directamente del objetivo propiamente dicho (cuando el objetivo tiene el equipo necesario) o de otros  
25 sistemas de vigilancia tales como los radares legados. Las estaciones de tierra intercambian información a través de los enlaces terrestres o por radio y a continuación las estaciones de tierra radiodifunden mensajes sobre la posición actual y valores discretos del objetivo al avión con capacidad de ADS-B (conocidos como “clientes”).

30 Para que el sistema funcione de forma efectiva es crítico que los clientes reciban radiodifusiones al día y puntual sobre los objetivos. No obstante, el espectro de radiodifusión ADS-B está muy lleno, lo que da lugar una mayor interferencia y a una calidad general más baja de recepción de los clientes.

35 El estado actual de la técnica con respecto a la radiodifusión de mensajes de la estación de tierra se describe en varias patentes cedidas a Rannoch Corporation, que incluyen la Patente de EEUU 6.567.043 B2, la Patente de EEUU 6.633.259 B1, y la Patente de EEUU 6.806.829 B2. Estas patentes describen una técnica por medio de la cual un sistema envía a cada cliente radiodifusiones a través de una estación de tierra con la mejor recepción en el cliente. Tal estación de tierra puede estar en la línea de visión del cliente, puede tener la mayor probabilidad de recepción en el cliente dado, o puede simplemente ser la más cercana al cliente.

40 El documento WO 02/08784 describe una aplicación de un sistema de vigilancia de tipo ADS-B en el que el uso de recursos de VHF está limitado y optimizado.

45 Un defecto significativo de la planificación de la radiodifusión descrito en estas patentes es la posibilidad de un nivel alto de duplicación de radiodifusiones. Más específicamente, con referencia a la Figura 1, suponiendo que la estación de tierra 110a tiene la mejor recepción en el cliente 105a, mientras que la estación de tierra 110b tiene la mejor recepción en el cliente 105b, aunque la estación 110b puede ser recibida por el cliente 105a. En el esquema de la técnica anterior, ambas estaciones de tierra 110a y 110b radiodifunden el mismo mensaje. Dado, por ejemplo, un espacio de aeropuerto lleno y la operación de las técnicas de radiodifusión de mensajes ADS-B existentes, el nivel de duplicación podría ser bastante alto, lo que disminuiría la calidad general de las comunicaciones del tráfico  
50 aéreo.

Existe por lo tanto la necesidad de mejorar la infraestructura de la ADS-B, y particularmente la infraestructura relacionada con las transmisiones o radiodifusiones de los mensajes de la estación de tierra.

55 **COMPENDIO DE LA INVENCION**

De acuerdo con unas realizaciones de la presente invención definida en la reivindicación 1 del método así como en la reivindicación 16 del sistema correspondiente, de un sistema de Radiodifusión de Vigilancia Dependiente Automático – (ADS-B) o de un sistema para determinar un subconjunto de estaciones de tierra desde una pluralidad de estaciones de tierra para radiodifundir mensajes sobre un avión objetivo, el número de mensajes radiodifundidos por la estación de tierra se mantiene en un mínimo mediante el uso de al menos varias metodologías diferentes descritas en dichas reivindicaciones y reivindicaciones dependientes. A pesar de que se pueden radiodifundir menos mensajes en comparación con las técnicas anteriores, la información sobre los objetivos es sin embargo proporcionada a todos los clientes.

65 Los anteriores intentos de reducir el número de mensajes radiodifundidos por la estación de tierra han emparejado clientes y estaciones de tierra basándose en un mejor algoritmo de recepción. Esto es, la estación de tierra que

proporciona la mejor recepción a un cliente dado es designada para radiodifundir mensajes ADS-B a ese cliente. Otras estaciones de tierra no necesitan radiodifundir los mismos mensajes. A menudo, la estación de tierra que está más cerca al cliente terminará siendo la estación de tierra designada para ese cliente. En lugar de este enfoque, para cada cliente las realizaciones de la presente invención separan las estaciones de tierra en dos grupos: un primer grupo que incluye las estaciones de tierra que tienen una recepción satisfactoria en el cliente, y un segundo grupo que incluye las restantes estaciones de tierra que no tienen una recepción satisfactoria en el cliente. De acuerdo con los principios generales de la presente invención, un cliente debería recibir radiodifusiones desde las estaciones de tierra en el primer grupo solamente, y por otra parte, recibir radiodifusiones solamente sobre objetivos que son relevantes a ese cliente.

De acuerdo con las características de la presente invención, para cada objetivo se ha determinado qué clientes son relevantes para este objetivo. Esto es, se ha determinado qué clientes deberían recibir los mensajes sobre este objetivo (ya que no todos los clientes necesariamente necesitan conocer todos los objetivos que se están siguiendo). Por lo tanto se determina a continuación un conjunto apropiado de estaciones de tierra para radiodifundir estos mensajes. Un conjunto de estaciones de tierra optimizado debería preferiblemente satisfacer dos criterios:

cada cliente relevante puede recibir radiodifusiones desde al menos una estación de tierra en el conjunto de estaciones de tierra;

el número de estaciones de tierra en el conjunto de estaciones de tierra es mínimo.

Como los conjuntos óptimos respectivos de las estaciones de tierra para los diferentes objetivos son independientes entre sí, la búsqueda de conjuntos óptimos puede ser realizada en paralelo, lo que de este modo reduce el tiempo de trabajo total de la metodología. La búsqueda de un conjunto óptimo se realiza preferiblemente de un modo rápido ya que la situación en una aplicación de control del tráfico aéreo típica cambia constantemente. Más específicamente, y a modo de ejemplo solamente, suponiendo una zona de seguridad de 27,78 km (15 millas náuticas) alrededor de un cliente y una velocidad de 926 km/h (500 nudos),  $15 \times 60 / 500 = 1,8$  minutos para un cambio completo de vecindad. De este modo la búsqueda de un conjunto óptimo es preferiblemente del orden de segundos hasta uno o varios minutos.

Las realizaciones de la presente invención proporcionan varios enfoques posibles para calcular conjuntos de estaciones de tierra: una técnica relativamente lenta que está garantizada para encontrar la mejor solución, una técnica mucho más rápida que encuentra una solución buena (pero no necesariamente la mejor), y una serie de técnicas intermedias que cambian velocidad por optimización en diversos grados. Dependiendo del número de estaciones de tierra, uno puede aplicar la técnica lenta, la técnica rápida, o una metodología adaptativa que determine, en cada iteración, una estrategia mejor (o más deseable) para continuar la búsqueda.

Estas técnicas disminuyen de forma significativa la duplicación de radiodifusiones inherente al estado actual de la técnica, y por lo tanto mejoran la calidad de las comunicaciones del control aéreo.

Éstas y otras características de las diversas realizaciones de la invención junto con sus diferentes ventajas serán más apreciadas totalmente tras la lectura de la siguiente descripción detallada a la vez con los dibujos asociados.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es un diagrama que representa, en un nivel alto, un sistema ADS-B que incluye objetivos, clientes y estaciones de tierra interconectadas que pueden operar de acuerdo con las realizaciones de la presente invención.

La Figura 2 es una serie de pasos a modo de ejemplo de acuerdo con una realización de la presente invención.

La Figura 3 muestra una serie de pasos a modo de ejemplo para determinar clientes relevantes de acuerdo con una realización de la invención.

La Figura 4 muestra una lista a modo de ejemplo de los clientes relevantes que resultan de la serie de pasos en la Figura 3.

La Figura 5 muestra una serie de pasos a modo de ejemplo para establecer un conjunto de estaciones de tierra que tienen una recepción satisfactoria en un cliente dado.

La Figura 6 muestra listas a modo de ejemplo de clientes que resultan de la serie de pasos en la Figura 5.

Las Figuras 7-9 ilustran unas técnicas para reducir el número de estaciones de tierra para radiodifundir mensajes a clientes de acuerdo con las realizaciones de la presente invención.

La Figura 10 es un gráfico que representa un tiempo de trabajo máximo de una técnica para seleccionar estaciones de tierra de acuerdo con una realización de la presente invención.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA

La Figura 1 es un diagrama que representa, a un nivel alto, un sistema ADS-B que incluye el avión 105a-d, en el que cada avión puede ser un objetivo (un avión del que se desea información) o bien un cliente (un avión que recibe información sobre objetivos) del sistema ADS-B 100 o bien ambas cosas. Las estaciones de tierra 110a-e reciben información de la posición y valores discretos sobre objetivos y radiodifunden a los clientes unos mensajes ADS-B

que comprenden esa información. Como se muestra, las estaciones de tierra 110a-e están interconectadas entre sí de modo que pueden compartir información entre sí y ser controladas por un controlador 115 (que puede también incluir una base de datos, como se muestra). El controlador 115 es preferiblemente un ordenador conectado por medio de unos protocolos de red bien conocidos con la pluralidad de las estaciones de tierra 110a-e.

Como se muestra en la Figura 1, es posible que un cliente pueda recibir radiodifusiones desde varias estaciones de tierra. No obstante, no es eficaz para muchas estaciones de tierra radiodifundir el mismo mensaje para un cliente dado cuando una única estación de tierra puede ser capaz de proporcionar una capacidad de radiodifusión suficiente a ese cliente. De acuerdo con las realizaciones de la presente invención y en un esfuerzo para minimizar la interferencia y la excesiva duplicación o redundancia de radiodifusión de la estación de tierra, se ha tomado una decisión con respecto a qué mensaje debería radiodifundir una estación de tierra 110a-e.

#### Paralelización del objetivo

Para cada objetivo la metodología de acuerdo con las realizaciones de la presente invención escoge independientemente los clientes para ser notificados sobre el objetivo, y el conjunto de estaciones de tierra para radiodifundir los mensajes sobre el objetivo. De esta forma los cálculos pueden ser realizados en paralelo para cada objetivo.

Más específicamente, cuando un objetivo entra en el espacio aéreo controlado, se inicia preferiblemente un caso de la metodología. El objetivo es rastreado o seguido y, periódicamente, se calcula, o se calcula nuevamente, un conjunto óptimo de estaciones de tierra para radiodifundir mensajes sobre el objetivo. El caso de la metodología para un objetivo se termina cuando ese objetivo abandona de forma permanente el espacio aéreo controlado, por ejemplo, después de aterrizar, o después de ser pasado a otro sistema, o después de entrar en un espacio aéreo no controlado.

Lo que sigue describe con más detalle aún la operación de un caso de la metodología de la presente invención.

#### Elección de clientes y un conjunto inicial de estaciones de tierra

La técnica de acuerdo con las realizaciones de la presente invención determina periódicamente el conjunto de clientes relevantes, es decir, aquéllos que deberían ser notificados sobre la situación, dirección, velocidad y otros datos de un objetivo determinado de acuerdo con las reglas de control del tráfico. La técnica determina entonces el conjunto de estaciones de tierra que pueden ser recibidas por estos clientes. El fin de la siguiente operación de la técnica es disminuir gradualmente este conjunto de estaciones de tierra a un mínimo, pero un conjunto que todavía cubra todos los clientes relevantes.

La Figura 2 representa una serie a modo de ejemplo de los pasos 200 para aplicar la técnica antes esbozada. Un proceso 200 comienza en el paso 202 y representa una ejemplificación de la técnica o proceso para un objetivo dado. Más específicamente, en el paso 204 se determina si un nuevo objetivo ha entrado en el espacio aéreo controlado. Si no, el proceso 200 vuelve al paso 204. En otras palabras, el paso 204 es un paso umbral para iniciar un caso del proceso 200 para un objetivo dado. La determinación de si un objeto ha entrado en un espacio aéreo dado puede ser conseguida recibiendo una transmisión ADS-B desde el objetivo, detectando el objetivo que usa el radar, o cualquier otro medio apropiado disponible.

Como se ha observado previamente, no todos los clientes necesitan necesariamente conocer cada objetivo potencial que ha entrado en el espacio aéreo controlado, o cada objetivo potencial que está actualmente siendo seguido en el espacio aéreo controlado. Por consiguiente, en el paso 206 se genera una nueva lista de clientes relevantes para el nuevo objetivo. Tal lista comprende uno o más clientes que tienen interés en la información sobre un objetivo dado.

La Figura 3 muestra un método mediante el cual se puede aplicar el paso 206. Como se muestra, un proceso 300 comienza en el paso 310 y después de esto, en el paso 312, un identificador M del cliente es inicializado en 1. En el paso 314 se determina si el cliente<sub>M</sub> necesita información sobre el objetivo, esto es, se determina si el cliente<sub>M</sub> es relevante con respecto al objetivo. Si el cliente es relevante, entonces ese cliente se añade a la lista de clientes relevantes del objetivo en el paso 316. Un criterio que puede ser usado para determinar si un cliente dado necesita información sobre un objetivo dado es fijar un cilindro imaginario alrededor de un cliente de 2.000 pies de altura y 30 millas náuticas de diámetro con el cliente situado en el centro de este "cilindro". Cualesquiera objetivos que estén contenidos dentro del cilindro pueden ser considerados relevantes para el cliente. La Figura 4 muestra dos listas de clientes relevantes del objetivo que pueden ser generadas de acuerdo con el proceso 300. Estas listas pueden ser almacenadas en una base de datos que es parte de un sistema de control informatizado que realiza los diversos pasos aquí descritos. Por ejemplo, el controlador (y la base de datos asociada) 115 (mostrado en la Figura 1) puede ser configurado para estar en comunicación con las diferentes estaciones de tierra 11a-e y ser configurado para ejecutar un soporte lógico coherente con los diversos procesos aquí descritos. Alternativamente, el controlador 115 y la base de datos pueden estar incorporados en cualquiera o más de las estaciones de tierra 110a-e, esto es, la funcionalidad del controlador y de la base de datos puede ser distribuida.

Con referencia de nuevo a la Figura 3, se determina a continuación en el paso 318 si hay más clientes que considerar. Si no hay ninguno, entonces termina el proceso 300. De otro modo, se incrementa el identificador M del cliente y el proceso vuelve al paso 314. Si en el paso 314 se ha determinado que el cliente<sub>M</sub> no es relevante con respecto al objetivo, entonces el proceso 300 salta inmediatamente al paso 318 para determinar si es necesario considerar más clientes, como ya se ha explicado.

Con referencia de nuevo a la Figura 2, después de que se han determinado los clientes relevantes, el proceso 200 avanza al paso 208 durante el cual se determina el conjunto de estaciones de tierra que pueden ser recibidas satisfactoriamente por los clientes relevantes. Los sistemas y métodos para determinar, por ejemplo, los niveles satisfactorios de la señal de transmisión son bien conocidos por los expertos en la técnica y no necesitan ser descritos aquí. Basta decir que existe una infraestructura de comunicaciones que permite que los clientes comuniquen con sistemas con base en tierra que pueden ser usados para confirmar la recepción (o la falta de ella) de las transmisiones seleccionadas. En cualquier caso, de acuerdo con las realizaciones de la presente invención, es preferible que las estaciones de tierra que no puedan ser oídas por los clientes seleccionados no necesitan realizar transmisiones de mensajes destinados a esos clientes, lo que reduce de este modo la cantidad de tráfico de comunicaciones (innecesarias).

La Figura 5 muestra un método mediante el cual puede ser aplicado el paso 208. Como se muestra, un proceso 500 comienza en el paso 510 y después, en el paso 512, un identificador M del cliente se inicializa en 1. En el paso 514 se determina si el cliente<sub>M</sub> tiene una recepción satisfactoria de una estación de tierra J, esto es, se determina si el cliente<sub>M</sub> puede oír satisfactoriamente la estación de tierra J. Si el cliente<sub>M</sub> puede oír satisfactoriamente la estación de tierra J, entonces el cliente<sub>M</sub> es añadido a la lista de clientes que pueden oír satisfactoriamente la estación de tierra J, como está indicado por el paso 516. La Figura 6 muestra a modo de ejemplo tres listas de clientes de la estación de tierra que pueden ser generadas de acuerdo con el proceso 500. Estas listas pueden igualmente ser almacenadas en el controlador 115 y su base de datos asociada.

Con referencia de nuevo a la Figura 5, a continuación se determina en el paso 518 si hay más clientes que considerar. Si no hay ninguno, entonces el proceso 500 termina. Por el contrario, el identificador M del cliente se incrementa y el proceso vuelve al paso 514. Si en el paso 514 se determina que el cliente<sub>M</sub> no puede recibir satisfactoriamente datos desde la estación de tierra J, entonces el proceso 500 salta inmediatamente al paso 518 para determinar si es necesario considerar más clientes, como se ha explicado anteriormente.

Con las listas de clientes relevantes de objetivos múltiples de la Figura 4 y las listas múltiples de recepción de clientes de la estación de tierra de la Figura 6 a disposición, el proceso 200 (Figura 2) continúa con el paso 210 en el que se calcula un reducido conjunto de estaciones de tierra mediante el uso de uno de los varios métodos posibles, como se describe con más detalle más adelante. En consecuencia, después de la terminación del paso 210, no solamente el conjunto de estaciones de tierra potenciales que transmiten ha sido reducido eliminando las estaciones de tierra que no pueden ser oídas por los clientes, sino que el número de estaciones de tierra en el conjunto de estaciones de tierra se optimiza también posteriormente y, de un modo importante, casi ciertamente reducido de tamaño.

Nuevamente con referencia a la Figura 2, en el paso 212 se puede introducir entonces un retraso. Este retraso podría ser del orden de segundos o minutos a la vista de la velocidad y/o la dirección de un objetivo dado. Por supuesto, el retraso del paso 212 podría ser eliminado totalmente cuando una actualización constante, en tiempo real para el objetivo dado puede ser deseada o autorizada. Finalmente, en el paso 214, se determina si el objetivo permanece en el espacio aéreo controlado. Si no, entonces el proceso 200 termina con respecto a ese objetivo. Si, en el paso 214, se ha determinado que el objetivo está todavía en el espacio aéreo controlado, entonces el proceso 200 vuelve al paso 206 para determinar de nuevo una lista de clientes relevantes para el objetivo, ya que uno o más clientes no necesitan ya información sobre el objetivo. El proceso avanza entonces como se ha descrito antes.

Las realizaciones de la presente invención proporcionan varias metodologías diferentes por medio de las cuales puede ser ejecutado el paso 210 de la Figura 2, que reduce el número de estaciones de tierra necesarias.

#### Elección de un Conjunto de Estaciones de tierra Óptimo o Subóptimo

Las realizaciones de la presente invención proporcionan varias técnicas posibles para elegir un conjunto optimizado (o casi lo suficientemente bueno) de estaciones de tierra con una duplicación mínima de la radiodifusión de mensajes. Estas técnicas representan una solución de compromiso entre velocidad y optimalidad, esto es, cuanto más lenta es la técnica, mejor es la solución. La elección de una solución de compromiso apropiada puede estar basada en consideraciones de diseño tales como la congestión del espacio aéreo controlado dado, el coste, el margen de error admisible, la distribución geográfica de las estaciones de tierra, las regulaciones de control del tráfico aéreo, entre otras.

Cada técnica comienza con el conjunto de clientes y estaciones de tierra determinados a partir de los procesos antes descritos y genera un subconjunto de estaciones de tierra para radiodifundir los mensajes para el objetivo dado con una duplicación baja o sin duplicación.

Una Técnica "Óptima"

Una técnica óptima (o fuerza bruta) se describe con referencia a la Figura 7. Como se muestra, un proceso 700 comienza en el paso 701 en donde se elige una estación de tierra con la mayor cobertura entre clientes relevantes. Si, en el paso 703, se ha determinado que todos los clientes relevantes están cubiertos por esta única estación de tierra, entonces se considera que se ha encontrado una solución y termina el proceso.

Si, por otra parte, no todos los clientes relevantes están cubiertos por la única estación de tierra, entonces en el paso 705, el proceso considera la cobertura de clientes combinada de pares de estaciones de tierra. Se selecciona entonces el par de estaciones de tierra con la mayor cobertura. Si ese par cubre todos los clientes relevantes en el paso 707, entonces se considera resuelto el problema, esto es, en tal caso, todos los clientes relevantes están cubiertos por solamente dos (esto es, un par de) estaciones de tierra.

Si no todos los clientes están cubiertos por el par, entonces se repite el paso 705, pero esta vez se consideran tripletes de estaciones de tierra. El proceso continúa, si es necesario, con cuadrupletes, quintupletes, etc, hasta que todos los clientes relevantes estén cubiertos. Por supuesto, es posible que todas las estaciones de tierra puedan ser necesarias para cubrir todos los clientes, pero es posible que un reducido conjunto de estaciones de tierra resulten del proceso 700.

Esta técnica "óptima" proporciona el mejor conjunto de estaciones de tierra para el tiempo de trabajo proporcional a

$$Q_{bf}(N) = N + \frac{N(N-1)}{2!} + \frac{N(N-1)(N-2)}{3!} + \dots 2^N$$

ó,

$$Q_{bf}(N) = 2^N \quad (1)$$

en donde N es el número de estaciones de tierra en el conjunto inicial.

Si N = 10, entonces  $Q_{bf}(10) = 2^{10}$  o aproximadamente 100 pasos, esto es, el número de veces que se construye una lista de aeronaves o de aviones cubiertos por una estación dada o un par de estaciones, etc. No obstante, un experto en la técnica apreciará que este número crecerá significativamente a medida que aumenta el número de estaciones de tierra. Como tal, esta técnica podría no ser adecuada en donde haya un número relativamente grande de estaciones de tierra.

Una técnica "rápida"

La técnica "rápida" se describe con referencia a la Figura 8.

Como se muestra, un proceso 800 comienza con el paso 801 en donde se selecciona la estación de tierra con el mayor número de clientes relevantes cubierto. A continuación esa estación de tierra se añade a una lista de estaciones de tierra que tienen que radiodifundir el mensaje sobre el objetivo, como está indicado por el paso 803. Si, en el paso 805, todos los clientes relevantes están cubiertos por la estación de tierra así listada, el proceso 800 termina. Por el contrario, como se muestra, el proceso 800 hace un bucle de vuelta hacia el paso 801 en el que una estación de tierra siguiente, de entre las estaciones de tierra restantes, que cubre el mayor número de clientes se selecciona y se añade a la lista de estaciones de tierra. El proceso continúa hasta que todos los clientes relevantes han sido cubiertos.

En esta técnica, si N es el número de estaciones de tierra, entonces son necesarias N comparaciones para seleccionar la primera estación de tierra, N-1 para seleccionar la segunda, etc. El número total de pasos es

$$Q_{fast}(N) = N + (N-1) + (N-2) + \dots$$

ó,

$$Q_{fast}(N) = \frac{N(N+1)}{2} \quad (2)$$

Una técnica "intermedia"

La técnica "óptima" o de fuerza bruta descrita antes garantiza el mejor resultado, pero puede ser lenta. La técnica "rápida" antes descrita es relativamente rápida, pero no está garantizada para dar el mejor resultado. Como un compromiso, las realizaciones de la presente invención también proporcionan una familia de técnicas intermedias, dependientes de un parámetro (profundidad de búsqueda) k. En k = N (el número de estaciones de tierra en el

conjunto inicial) esta familia es equivalente a la técnica “óptima”, y  $k = 1$  es equivalente a la técnica “rápida”. De este modo, cuanto más grande sea  $k$ , más óptimo es el resultado, pero más lento es el proceso en su conjunto.

5 De acuerdo con esta técnica intermedia, y como se muestra en la Figura 9, un proceso 900 comienza en el paso 901 en donde se selecciona la estación de tierra con la mayor cobertura de clientes.

10 En el paso 903, inicialmente, se consideran pares de estaciones de tierra. En las posteriores iteraciones del paso 903 (suponiendo que sean necesarias las posteriores iteraciones) el par de estaciones de tierra se incrementa hasta tripletes, y después cuadrupletes, etc. Estos pares, tripletes, etc son referidos aquí como “tuplos de ensayo”. De acuerdo con la técnica, se selecciona el tuplo de ensayo con la mejor cobertura de clientes o, si la mejor cobertura del tuplo de ensayo no es mejor que la cobertura de la estación de tierra seleccionada en el paso 901, entonces se selecciona la estación de tierra seleccionada en el paso 901.

15 El proceso 901 puede terminar o se encuentra una solución cuando:

- 1: Todos los clientes relevantes están cubiertos (paso 905), o
- 2: El número de estaciones en el tuplo de ensayo supera la profundidad de búsqueda elegida  $k$  (paso 907).

20 Si la mejor combinación en el paso previo cubre todos los clientes, el problema está resuelto. Si no, se mueve el mejor tuplo de ensayo a una lista de estaciones que radiodifunden el mensaje dado y los clientes relevantes cubiertos son borrados de la lista de clientes para ser cubiertos, como está indicado en el paso 909. El proceso 900 vuelve entonces al paso 901.

25 Una longitud de la técnica anterior puede ser calculada como sigue.

$$Q(k, N) = P(k, N) + P(k, N - k) + P(k, N - 2k) + P(k, N - 3k) + \dots \quad (3)$$

en donde  $P(k, N)$  es el coste de una búsqueda

$$30 \quad P(k, N) = N + \frac{N(N-1)}{2!} + \frac{N(N-1)(N-2)}{3!} + \dots + \frac{N!}{(N-k)!k!} \quad (4)$$

Si  $N$  es grande, el término más importante de la ecuación (4) es  $N^k/k!$ . En consecuencia

$$35 \quad Q(k, N) \propto \frac{N^k}{k!} + \frac{(N-k)^k}{k!} + \dots + \frac{(N-2k)^k}{k!} + \dots \approx$$

$$\frac{1}{k!} \int_0^{n/k} (N - kx)^k dx = \frac{N^{k+1}}{(k+1)!k}$$

40 Si  $N \gg k$ , entonces el tiempo de trabajo para esta técnica es proporcional a:

$$Q(k, N) \propto \frac{N^{k+1}}{(k+1)!k}, \quad N \gg k \quad (5)$$

45 Los cálculos numéricos exactos de  $Q(k, N)$  para  $k \leq 5$  y  $N \leq 100$  se muestran en la Figura 10. Para comparación también se han trazado la técnica “óptima” ( $Q(N, N)$ ), y la técnica “rápida”  $Q(1, N)$ . Como se muestra, la técnica “óptima” es más práctica cuando el número de estaciones de tierra es inferior a dos docenas, pero entonces se hace prohibitivamente lenta con el aumento del número de estaciones de tierra. La técnica “rápida” es en verdad relativamente rápida incluso para un gran número de estaciones de tierra  $N$ . Las técnicas mezcladas con  $k > 1$  pueden servir para valores de  $N$  intermedios.

50 Algoritmo adaptativo  
Otra técnica posible es hacer  $k$  (la profundidad de búsqueda) dependiente de  $N$ . Cuando se ha identificado un conjunto de estaciones de tierra, se conoce entonces su tamaño  $N$ . Con esta información es posible modificar  $k$ . Más específicamente, cuando se seleccionan las estaciones de tierra para radiodifundir mensajes, esa estación de tierra puede ser retirada del conjunto de estaciones de tierra, con lo que  $N$  se reduce. Los clientes relevantes que reciben

los mensajes radiodifundidos desde esa estación de tierra retirada pueden también ser retirados. Entonces como un paso posterior, también se retiran las estaciones de tierra restantes que tienen una cobertura cero.

5 De acuerdo con esta técnica adaptativa, N disminuye después de cada paso. Como consecuencia, es posible al mismo tiempo aumentar la profundidad de búsqueda k sin tener un efecto significativo en la planificación general de la técnica.

10 La anterior descripción de las realizaciones de la presente invención ha sido presentada con fines de ilustración y descripción. No se ha pretendido que sea exhaustiva o para limitar la invención de las formas precisas descritas. Muchas variaciones y modificaciones de las realizaciones aquí descritas serán evidentes a una persona con una experiencia ordinaria en la técnica a la luz de la anterior exposición. El alcance de la invención ha de ser definido solamente por las reivindicaciones anejas, y por sus equivalentes.



**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un método para radiodifundir mensajes en un sistema (100) de Radiodifusión de Vigilancia Dependiente Automático – (ADS-B), que comprende:
- 10           detectar (204) que un nuevo objetivo (105a) ha entrado en el espacio aéreo controlado;  
               identificar los clientes relevantes (206) para el nuevo objetivo;
- 15           seleccionar un primer conjunto de estaciones de tierra (208) que comprende unas estaciones de tierra cuyas transmisiones de mensajes radiodifundidas pueden ser satisfactoriamente recibidas por cada uno de los clientes relevantes;  
               calcular (210) un segundo conjunto de estaciones de tierra desde, al menos, el primer conjunto de estaciones de tierra, el primer conjunto de estaciones de tierra comprende menos estaciones de tierra que un número de estaciones de tierra en el primer conjunto de estaciones de tierra, y el segundo conjunto de estaciones de tierra es suficiente para alcanzar todos los clientes relevantes por medio de mensajes radiodifundidos; y  
               radiodifundir mensajes que contienen información sobre el nuevo objetivo (105a) solamente desde las estaciones de tierra en el segundo conjunto de estaciones de tierra.
- 20 2. El método de la reivindicación 1, en donde la detección (204) de que un nuevo objetivo ha entrado en el espacio aéreo controlado comprende la recepción de una transmisión ADS-B desde el nuevo objetivo.
- 25 3. El método de la reivindicación 1, en donde la detección (204) de que un nuevo objetivo ha entrado en el espacio aéreo controlado comprende la detección del nuevo objetivo (105a) mediante el uso del radar.
- 30 4. El método de la reivindicación 1, que además comprende generar (300) una lista de clientes relevantes para cada uno de una pluralidad de objetivos (105a, 105b, ...).
- 35 5. El método de la reivindicación 1, que además comprende realizar el método en paralelo para una pluralidad de objetivos.
- 40 6. El método de la reivindicación 1, en donde dicho cálculo comprende:
- (a) seleccionar (701), del primer conjunto de estaciones de tierra, una estación de tierra con la mayor cobertura de clientes relevantes; y  
               (b) determinar (703) si dicha estación de tierra con la mayor cobertura de clientes relevantes cubre todos los clientes relevantes.
- 45 7. El método de la reivindicación 6, que además comprende:
- (c) seleccionar (705), del primer conjunto de estaciones de tierra, un par de estaciones de tierra con la mayor cobertura de clientes relevantes; y  
               (d) determinar si dicho par de estaciones de tierra con la mayor cobertura de clientes relevantes cubre todos los clientes relevantes.
- 50 8. El método de la reivindicación 1, en donde dicho cálculo comprende:
- (a) seleccionar (801), del primer conjunto de estaciones de tierra, una estación de tierra con el mayor número de clientes relevantes cubiertos;  
               (b) añadir (803) dicha estación de tierra con el mayor número de clientes relevantes cubiertos a una lista de estaciones de tierra para radiodifundir mensajes; y  
               (c) determinar (805) si dicha estación de tierra con el mayor número de clientes relevantes cubiertos cubre todos los clientes relevantes.
- 55 9. El método de la reivindicación 8, que además comprende:
- (d) seleccionar, del primer conjunto de estaciones de tierra, una estación de tierra con el siguiente número mayor de clientes relevantes cubiertos;  
               (e) añadir dicha estación de tierra con el siguiente número mayor de clientes relevantes cubiertos a la lista de las estaciones de tierra; y  
               (f) determinar si dicha estación de tierra con el número mayor de clientes relevantes cubiertos y dicha estación de tierra con el siguiente número de clientes relevantes cubiertos conjuntamente cubren todos los clientes relevantes.
- 60 10. El método de la reivindicación 1, en donde dicho cálculo comprende:
- 65

- (a) establecer una primera profundidad de búsqueda que representa un número de estaciones de tierra para ser considerada juntamente en la determinación de los clientes relevantes cubiertos;
- (b) seleccionar (901) del primer conjunto de estaciones de tierra una estación de tierra con el mayor número de clientes relevantes cubiertos;
- 5 (c) seleccionar (907) del primer conjunto de estaciones de tierra un número de estaciones de acuerdo con la primera profundidad de búsqueda k e identificar los clientes relevantes asociados con dicho número de estaciones de tierra de acuerdo con la primera profundidad de búsqueda k; y
- (d) determinar (905) si los clientes relevantes cubiertos por dicha estación de tierra con el mayor número de clientes relevantes cubiertos y dicho número de estaciones de tierra de acuerdo con una primera profundidad
- 10 de búsqueda k cubren conjuntamente todos los clientes relevantes.
11. El método de la reivindicación 10, que además comprende determinar si la primera profundidad de búsqueda k es mayor que un valor predeterminado.
- 15 12. El método de la reivindicación 10, que además comprende incrementar un valor de la primera profundidad de búsqueda k para proporcionar una segunda profundidad de búsqueda k y repetir los pasos (b)-(d) con la segunda profundidad de búsqueda k.
- 20 13. El método de la reivindicación 10, que además comprende ajustar dinámicamente la primera profundidad de búsqueda k basándose en un número de estaciones de tierra en el primer grupo de estaciones de tierra.
- 25 14. El método de la reivindicación 1, en donde la identificación de una pluralidad de clientes relevantes comprende determinar si el avión objetivo seleccionado está situado dentro de un volumen predefinido alrededor de clientes potenciales.
- 30 15. El método de la reivindicación 1, en donde los mensajes son mensajes en un sistema (100) de Radiodifusión de Vigilancia Dependiente Automático – (ADS-B).
- 35 16. Un sistema para controlar cuál de una pluralidad de estaciones de tierra (110a...110e) debería radiodifundir mensajes en un sistema (100) de Radiodifusión de Vigilancia Dependiente Automático – (ADS-B), en donde el sistema comprende:
- una pluralidad de estaciones de tierra interconectadas (110a...110e); y
- un controlador (115) en comunicación con cada una de las estaciones de tierra, en donde el controlador está configurado para:
- 40 detectar que un objetivo (105a) ha entrado en el espacio aéreo controlado;
- identificar los clientes relevantes (105b, 105c) para el objetivo;
- seleccionar un primer conjunto de estaciones de tierra de la pluralidad de estaciones de tierra interconectadas, y el primer conjunto de estaciones de tierra comprende las estaciones de tierra cuyas transmisiones de mensajes radiodifundidos pueden ser satisfactoriamente recibidas por cada uno de los clientes relevantes; y
- 45 calcular un segundo conjunto de estaciones de tierra de, al menos, el primer conjunto de estaciones de tierra, el segundo conjunto de estaciones de tierra comprende menos estaciones de tierra que un número de estaciones de tierra en el primer conjunto de estaciones de tierra, y el segundo conjunto de estaciones de tierra es suficiente para alcanzar todos los clientes relevantes por medio de los mensajes radiodifundidos.
- 50 17. El sistema de la reivindicación 16, que además comprende una base de datos en comunicación con el controlador (115).
- 55 18. El sistema de la reivindicación 16, en donde el controlador (115) está configurado además para identificar clientes relevantes determinando si el objetivo está situado dentro de un volumen predeterminado que rodea a un cliente potencial.
- 60 19. El sistema de la reivindicación 16, en donde el volumen predeterminado es un cilindro.
20. El sistema de la reivindicación 16, en donde los mensajes son mensajes de Radiodifusión de Vigilancia Dependiente Automático – (ADS-B).
21. El sistema de la reivindicación 16, en donde dicho controlador está además configurado para realizar los pasos del método de las reivindicaciones 6 a 13.

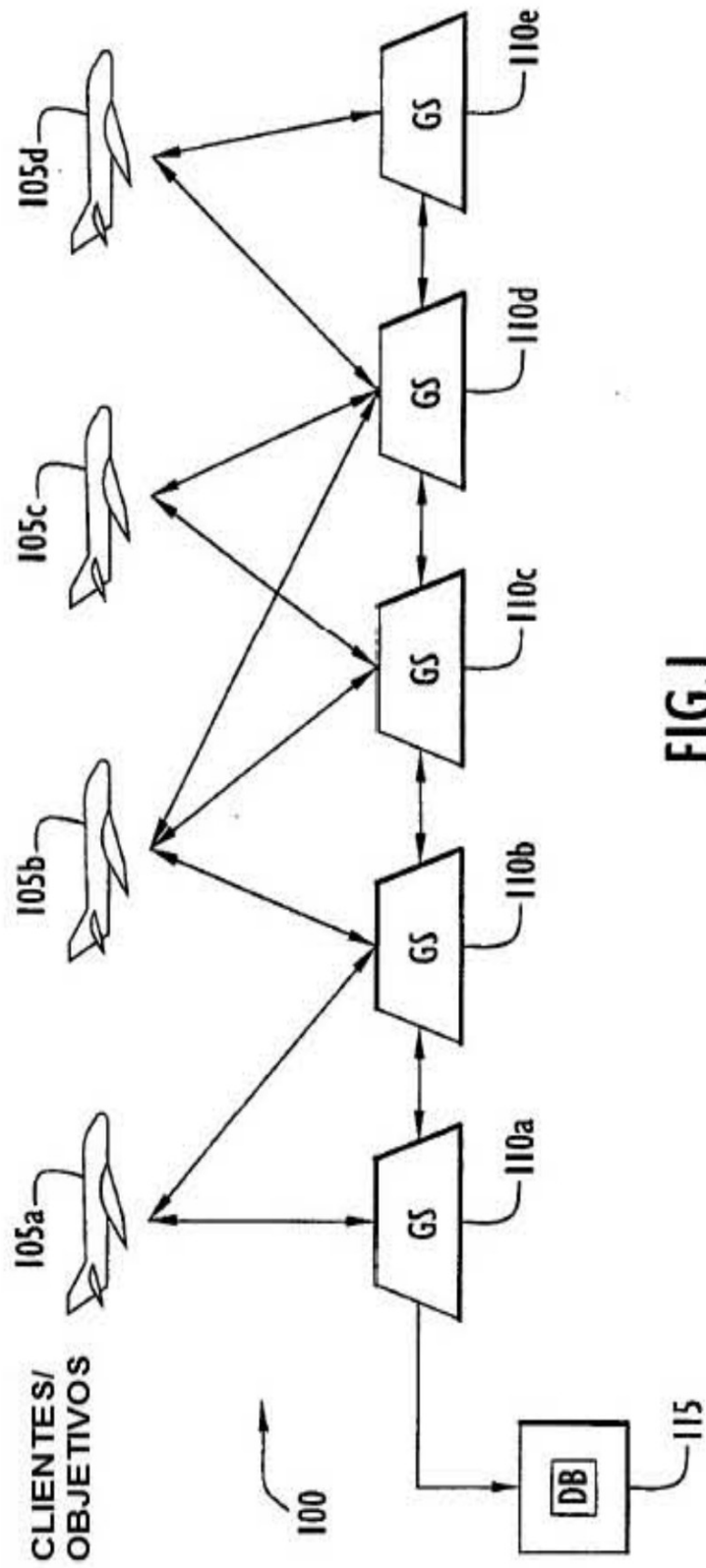


FIG.1

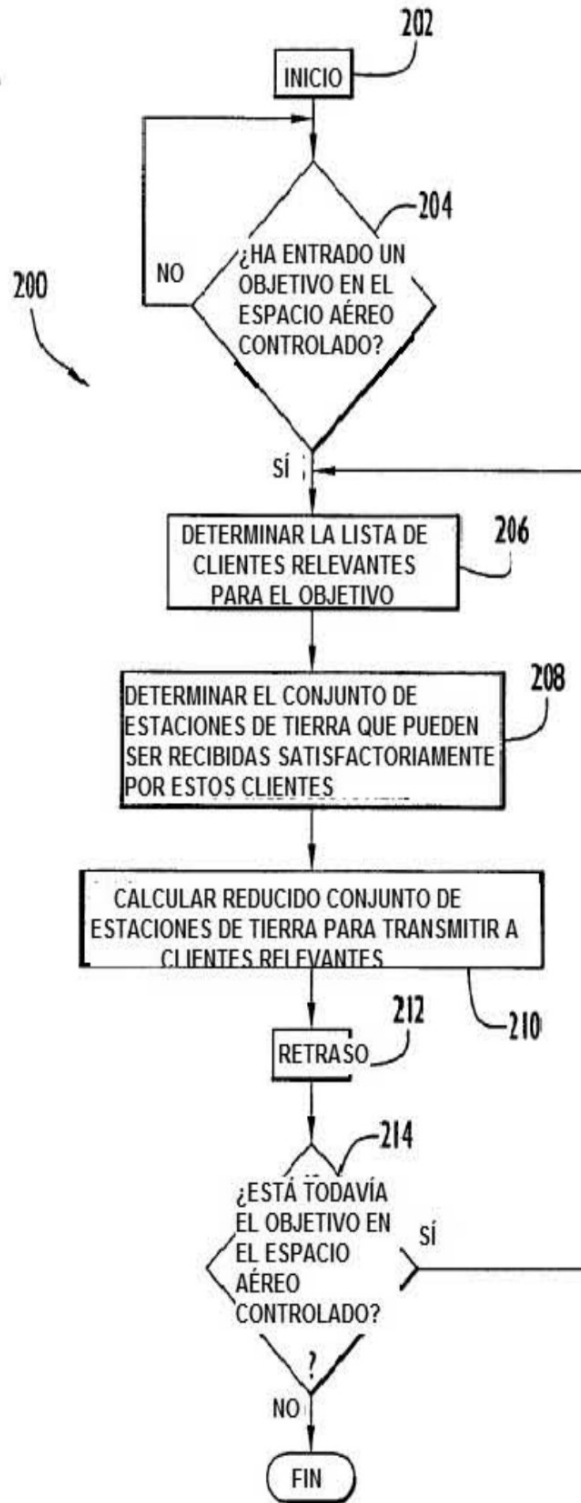


FIG.2

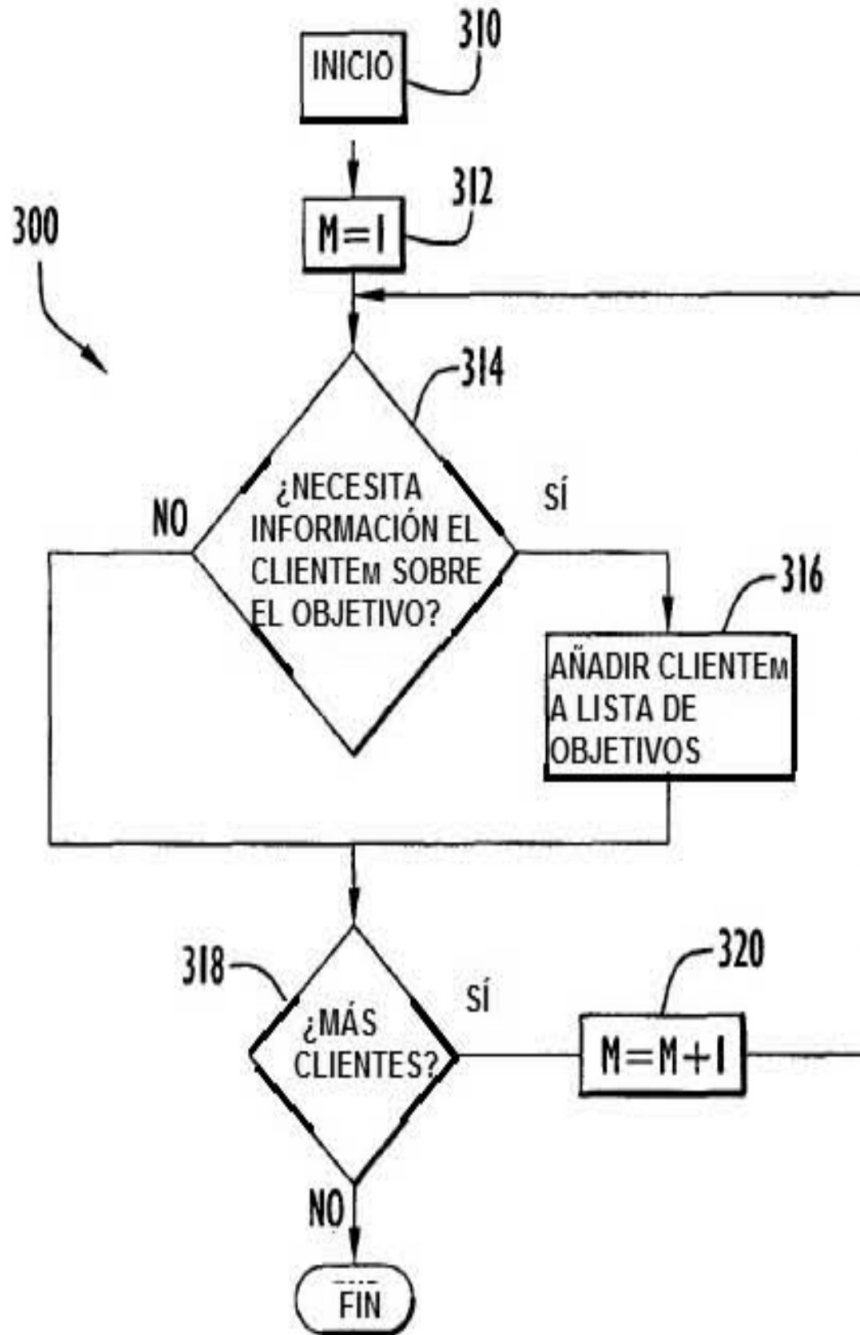


FIG.3

OBJETIVO2

CLIENTE1  
CLIENTE3

OBJETIVO1

CLIENTE1  
CLIENTE2  
CLIENTE3

**FIG.4**

GS1  
CLIENTE1  
CLIENTE2  
CLIENTE3

GS2  
CLIENTE1  
CLIENTE2

GS3  
CLIENTE3  
CLIENTE4

**FIG.6**

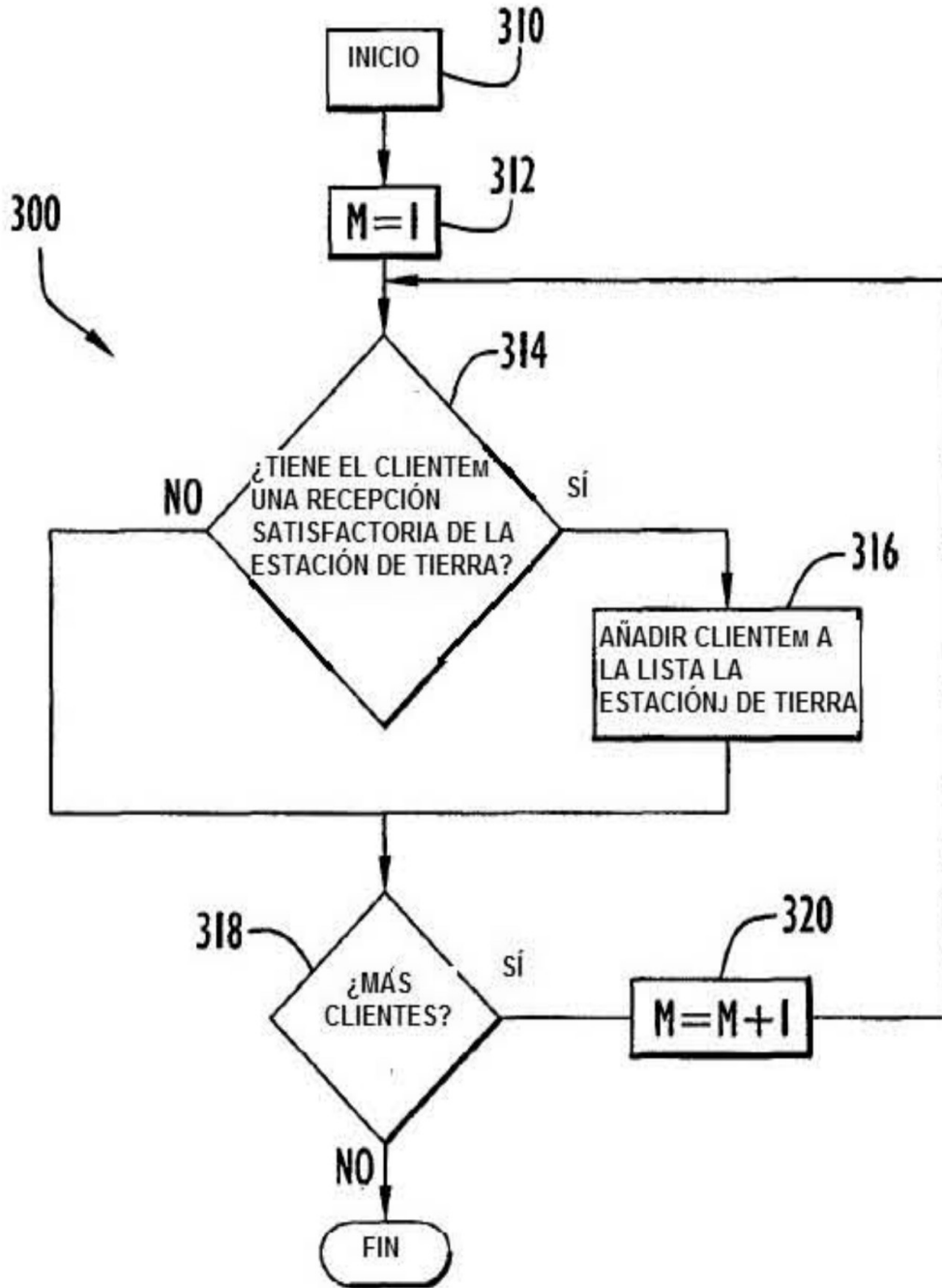


FIG.5

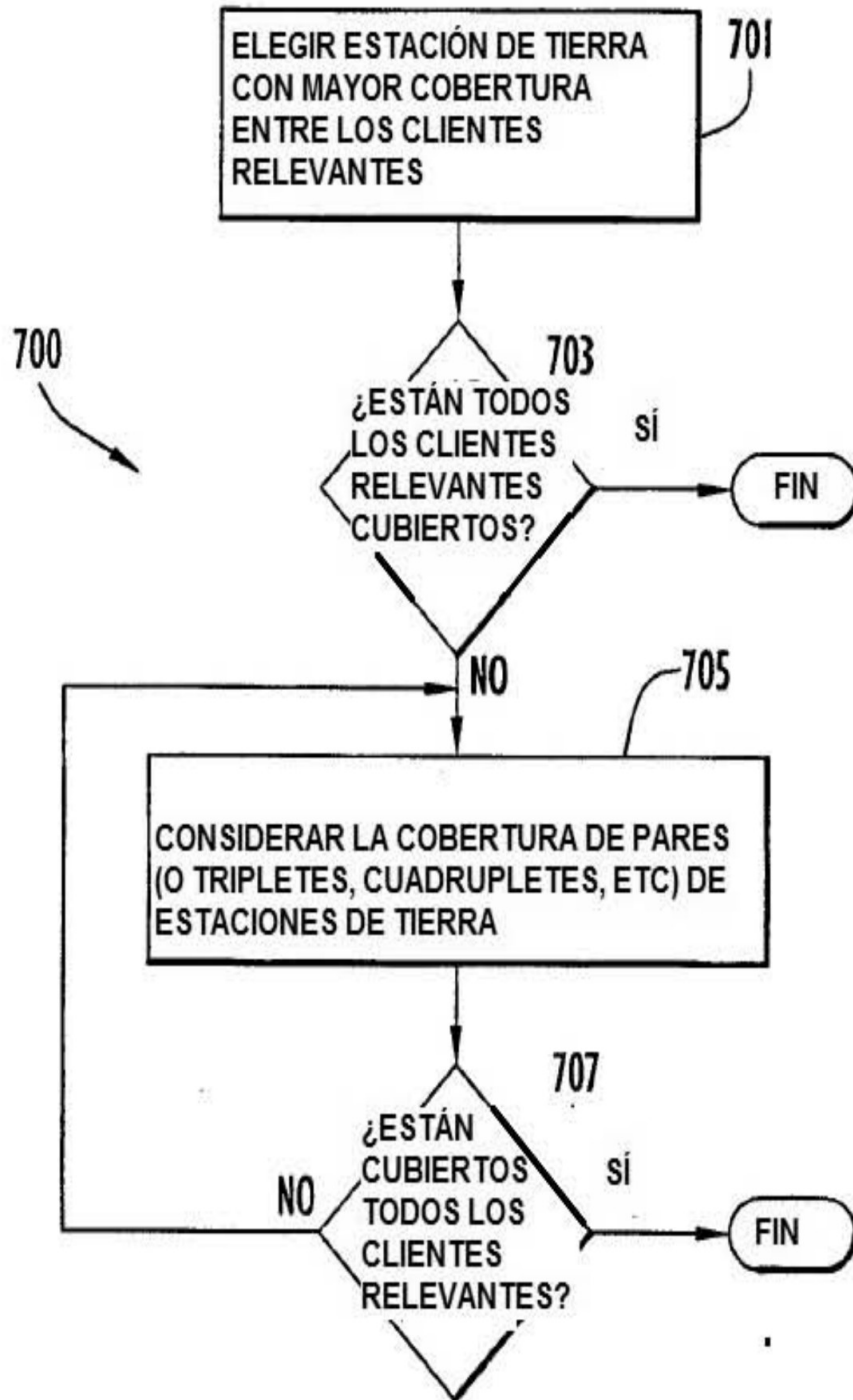


FIG.7



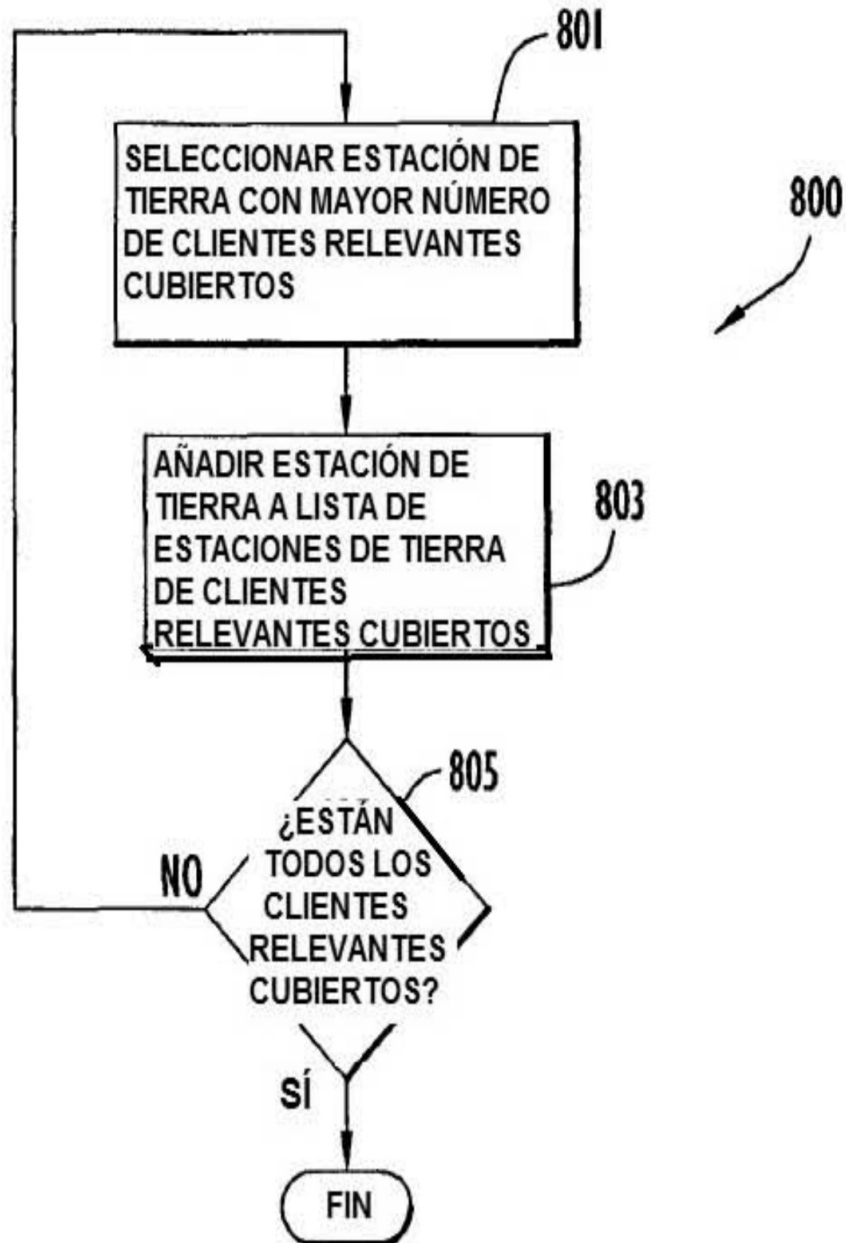


FIG.8

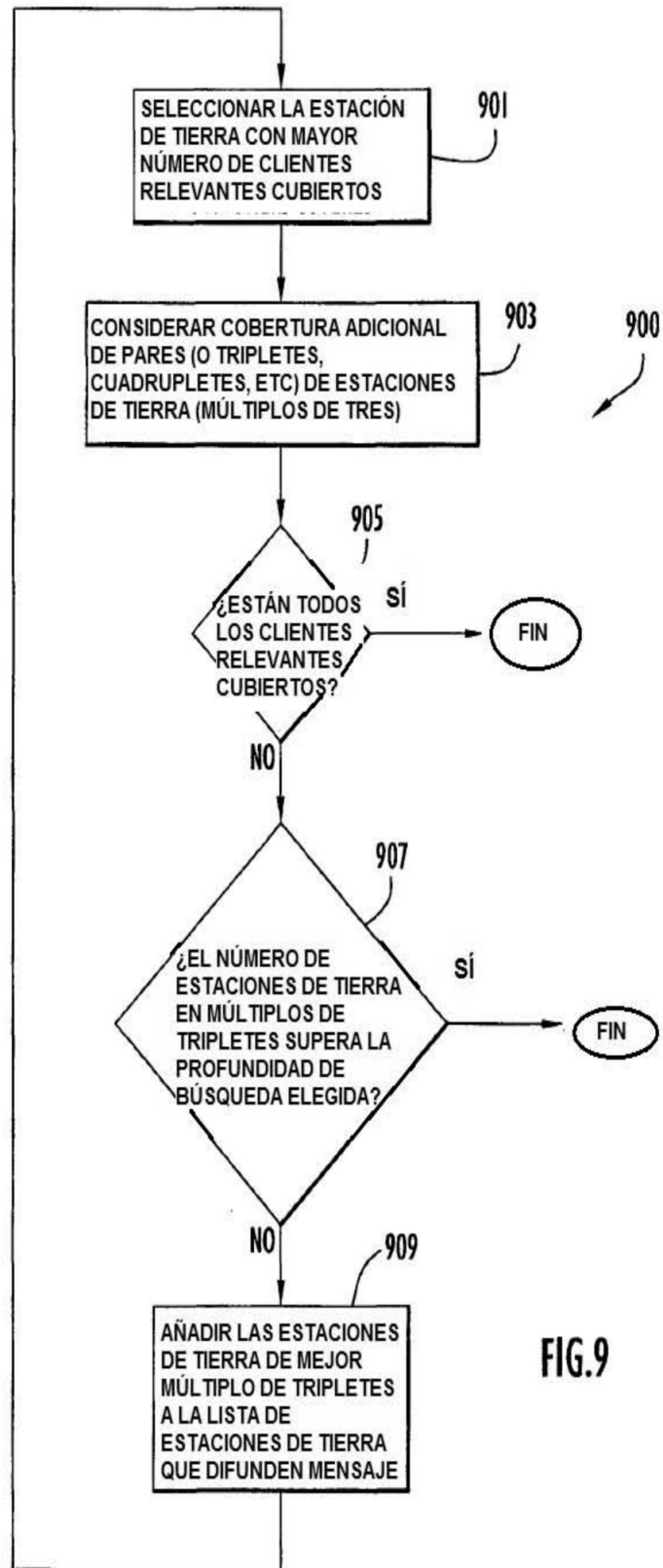
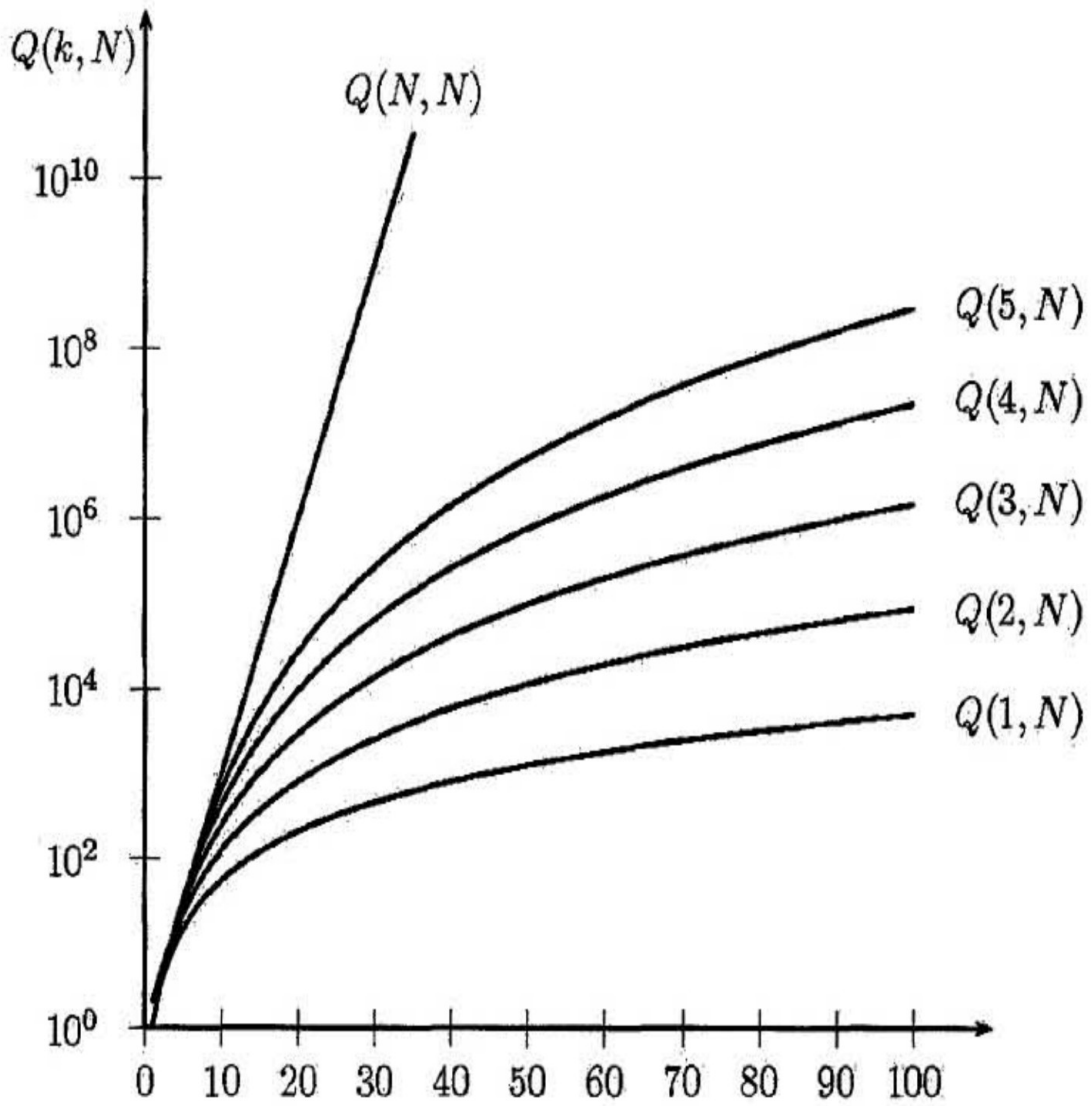


FIG.9



NÚMERO DE ESTACIONES DE TIERRA  $N$

TEMPORIZACIÓN DE ALGORITMOS  $(K, N)$

FIGURA 10