



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 361 776**

51 Int. Cl.:  
**G01S 5/02** (2006.01)  
**G01S 13/74** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07113612 .1**  
96 Fecha de presentación : **01.08.2007**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1927864**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **04.06.2008**

54 Título: **Utilización de dilución geométrica de precisión (GDOP) para seleccionar el mejor grupo de receptores en un sistema de multilateración.**

30 Prioridad: **01.12.2006 GB 0623980**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**22.06.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**22.06.2011**

73 Titular/es: **Roke Manor Research Limited**  
**Roke Manor, Old Salisbury Lane**  
**Romsey, Hampshire SO51 0ZN, GB**

72 Inventor/es: **Thomas, David Wynne**

74 Agente: **Sugrañes Moliné, Pedro**

ES 2 361 776 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

Utilización de dilución geométrica de precisión (gdop) para seleccionar el mejor grupo de receptores en un sistema de multilateración.

- 5 Esta invención se refiere a un procedimiento y a un aparato que se utilizan en un sistema de multilateración para determinar una posición de un objeto y también se refiere al propio sistema de multilateración.

Los sistemas de multilateración se utilizan para proporcionar, en particular, la posición de una aeronave en vuelo o en las pistas de un aeropuerto. Una señal transmitida por un transmisor de la aeronave se recibe por una pluralidad de estaciones receptoras en ubicaciones conocidas. La señal se transmite por un transpondedor de radar de vigilancia secundario (SSR) a 1090 MHz y es una de una pluralidad de tipos o formatos de código conocidos, tales como el modo A/C y el modo S. Comparando el tiempo de llegada de la señal en cada una de las estaciones receptoras y conociendo sus ubicaciones es posible calcular la posición de la aeronave en el tiempo de transmisión. Tal sistema y tal técnica de multilateración de este tipo se describen en la patente GB2250154.

15 Debe apreciarse que con el fin de determinar de manera precisa la posición de una aeronave, es necesario tener en cuenta las variaciones en una longitud de trayectoria aparente entre partes del sistema. Esto es para que pueda obtenerse una diferencia de tiempo significativa en los valores de llegada de la señal. Esto puede dar lugar a un factor denominado como retardo de tiempo de grupo. El envejecimiento de los componentes, por ejemplo, puede provocar una variación en el retardo de tiempo de grupo que puede requerir el mantenimiento de partes del sistema u otra acción reparadora o corrección.

20 Además, el retardo de tiempo de grupo tendrá un efecto en la precisión de la posición calculada del objetivo. Esto se denomina como dilución geométrica de precisión (GDOP). La GDOP variará dependiendo de la posición del objetivo.

Los documentos US5166694, US6408246 y el documento "A vehicle location system (ULS) solution approach" de Chadwick JB et al, IEEE, 20 de marzo de 2990, páginas 127 a 132, XP 010001106 da a conocer sistemas de multilateración en los que se considera la GDOP para un grupo de receptores.

25 La presente invención tiene como objetivo determinar qué grupo de los posibles grupos de receptores del sistema de multilateración proporciona el resultado de dilución geométrica de precisión más pequeño.

Para una transmisión dada desde el objetivo, la unidad central de procesamiento recibirá mediciones de tiempo desde un subconjunto del número total de receptores. Una manera de determinar el mejor subconjunto de las mediciones disponibles a utilizar es proporcionando un mapa para cada posible subconjunto de receptores para el que pueden recibirse las mediciones, teniendo en cuenta que el subconjunto de mediciones recibidas debe utilizarse para proporcionar la GDOP mínima para cada posición en el área de interés. Sin embargo, un esquema de este tipo requiere un elevado número de agrupaciones posibles, donde el número total de receptores es elevado. Estas agrupaciones se denominan como "mapas".

35 De acuerdo con la invención, se proporciona un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1. Un segundo aspecto de la invención proporciona un aparato de acuerdo con la reivindicación 5.

A continuación se describirá, solamente a modo de ejemplo, una realización específica de la invención con referencia a los dibujos, en los que:

la figura 1 muestra un sistema y un aparato de multilateración de acuerdo con la invención;

40 la figura 2 es un diagrama de vector y distancias con respecto a un objetivo T desde cuatro receptores del sistema de la figura 1;

la figura 3 es una figura explicativa que muestra el procedimiento de acuerdo con la invención.

Tal y como se muestra en la figura 1, un sistema de multilateración 1 incluye cinco receptores 2 a 6 conectados mediante enlaces de comunicaciones 7 a 11 (fibra óptica) que forman una red de área extensa con respecto a un subsistema central de procesamiento 12. Cada receptor es nominalmente idéntico y comprende, tal y como se muestra en el receptor 2, una sección receptora 13 que detecta y convierte una señal de RF recibida transmitida desde una aeronave 14 en una forma que es adecuada para digitalizarse en un digitalizador 15. El digitalizador 15 lleva a cabo una conversión de analógico a digital y un extractor de código 15a, que busca un código SSR particular, detecta el código en una ventana de tiempo y transmite una señal digital a través de la trayectoria de comunicaciones al subsistema central de procesamiento 12 indicando el tiempo de llegada del código en la ventana. En cada receptor hay un retardo asociado con las secciones 13, 15 y 15a denominado como el retardo de grupo. Esto provoca un error en el tiempo de llegada determinado de una señal tal y como se describe en la solicitud británica en tramitación junto con la presente No. 0513483.8. A estos valores de tiempos de llegada se les aplica una técnica de

multilateración de un tipo conocido para determinar la posición de la aeronave 14 y esto se lleva a cabo por el subsistema central de procesamiento 12.

5 El subsistema central de procesamiento 12 se describe en este documento como una unidad separada pero puede estar situada en la misma posición que uno de los receptores. Incluye una pluralidad de puertos conectados a los enlaces de comunicaciones 7 a 11. Los puertos están acoplados a través de filtros 16 a 20 a un correlador 21. Estos filtros eliminan el ruido de las señales que puede dar lugar a errores de posición. El correlador 21 correlaciona los datos de tiempo de llegada con un conjunto de disposiciones que contienen grupos de respuestas que pueden originarse a partir de la misma transmisión.

10 Las disposiciones correlacionadas están acopladas a un procesador 22 que lleva a cabo una multilateración para obtener la posición de la aeronave 14 de una manera conocida y para proporcionar los datos de posición a una aplicación de seguimiento 23 que muestra la posición a un controlador de tráfico aéreo.

15 El procesador 22 también proporciona datos de salida a un sistema de alerta 24 que genera una alarma cuando se detecta que uno de los receptores presenta un retardo de grupo anormal. Como alternativa, el efecto del retardo de grupo puede eliminarse con la técnica de multilateración llevada a cabo por el procesador 22. La detección del retardo de grupo se lleva a cabo mediante una aplicación que se ejecuta en el procesador 22 tal y como se describe en la solicitud británica en tramitación junto con la presente No. 0513483.8.

El procesador 22 también está programado para determinar qué agrupación de receptores utilizar cuando la aeronave sobrevuela diferentes regiones geográficas. En este sistema, las agrupaciones varían para garantizar que el grupo utilizado sea el que proporcione el mejor resultado para una ubicación particular de un objetivo o aeronave.

20 A medida que cambia la posición de la aeronave, la longitud de trayectoria varía con respecto a las diversas posiciones. Esto da lugar a una dilución geométrica de precisión que cambia con la ubicación del objetivo dependiendo del grupo de receptores utilizado. Se ha sugerido que puede utilizarse una serie de "mapas" para determinar la mejor agrupación a utilizar en una ubicación particular. Sin embargo, esto es poco práctico cuando aumenta el número de receptores, en particular cuando la aeronave se mueve en tres dimensiones.

25 El número de "mapas" requeridos es

$$\sum_{r=5}^n \binom{n}{r} = \sum_{r=5}^n \frac{n!}{(n-r)!r!} \quad (1)$$

donde n es el número total de receptores. La suma se refiere al número de mapas requeridos para grupos de tamaño r=5 a n. Puesto que se utiliza un mínimo de cuatro receptores para calcular una posición, solo es necesario tomar una decisión para grupos de mediciones recibidas mayores que 4.

30 Para diez receptores se requieren seiscientos treinta y ocho "mapas" de subconjuntos distintos. Por consiguiente, un enfoque de esta naturaleza requiere que el aparato tenga una gran capacidad de memoria para albergar el elevado número de "mapas" necesarios.

La invención proporciona un procedimiento y un aparato que seleccionan un subconjunto de receptores apropiado que puede utilizarse en tiempo real para un sistema que utiliza un elevado número de receptores.

35 Para cualquier subconjunto dado, en esta realización específica se selecciona un receptor que se considerará como el "maestro". Esto se realiza en función del receptor más cercano a la posición media del grupo. En otras realizaciones no es necesario seleccionar un maestro.

40 La dilución geométrica de precisión (GDOP) se genera por los errores de tiempo en cada uno de los receptores dando lugar a errores en la posición de objetivo calculada. La relación de error de tiempo, con respecto a una posición de objetivo para un objetivo en la posición T de la Figura 2, viene dada como:

$$\left( \mathbf{R}^T + \frac{1}{d} \mathbf{t} \mathbf{r}^T \right) \partial \mathbf{r} = -(\mathbf{T} + d \mathbf{I}) \partial \mathbf{t}$$

donde

$$\mathbf{R} = [r_1, r_2, r_3, \dots, r_n]$$

$$\mathbf{T} = \text{diag}(\mathbf{t})$$

45  $r_n$  = posición de vector

I = la matriz identidad

$$\mathbf{A} = \left( \mathbf{R}^T + \frac{1}{d} \mathbf{t} \mathbf{r}^T \right);$$

y entonces

$$\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial \mathbf{t}} = -(\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T (\mathbf{T} + d \mathbf{I}) = \mathbf{K}$$

5 donde K es una matriz 3 por N, donde N es el número de receptores esclavos.

La GDOP contribuida por los receptores “esclavos” del grupo se calcula a partir de

$$GDOP_{ESCLAVOS} = \sqrt{\sum_{i=1}^N k_{i,j}^2} \quad i = x, y, z$$

donde x, y y z representan los planos ortogonales x, y y z.

El receptor “maestro” también contribuirá a la GDOP.

$$GDOP_{MAESTRO} = abs \left( \sum_{i=1}^N k_{i,j} \right) \quad i = x, y, z$$

10

La GDOP global se calcula como

$$GDOP_{TOTAL} = \sqrt{GDOP_{MAESTRO}^2 + GDOP_{ESCLAVOS}^2}$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \frac{\partial r_x}{\partial t_1} & \frac{\partial r_x}{\partial t_2} & \dots & \frac{\partial r_x}{\partial t_N} \\ \frac{\partial r_y}{\partial t_1} & \frac{\partial r_y}{\partial t_2} & \dots & \frac{\partial r_y}{\partial t_N} \\ \frac{\partial r_z}{\partial t_1} & \frac{\partial r_z}{\partial t_2} & \dots & \frac{\partial r_z}{\partial t_N} \end{bmatrix}$$

15 Tal y como se muestra en la figura 3, el procesador 22 ejecuta un programa para controlar la selección de grupo para minimizar la dilución geométrica de precisión. Este proceso se lleva a cabo de manera periódica a medida que el objetivo se desplaza.

En una primera etapa 30, un receptor del grupo se selecciona como un receptor “maestro”. El proceso para llevar esto a cabo consiste en elegir el receptor del grupo que esté más próximo a la media de las posiciones de receptor.

20 Todo el grupo, incluido el maestro, se utiliza para calcular la posición de la aeronave en la etapa 31 utilizando una técnica de multilateración estándar tal como, por ejemplo, la descrita en el documento GB 2250154.

En la etapa 32, la dilución geométrica de precisión para el grupo se determina a partir de la matriz K.

En la etapa 33, la contribución a la dilución geométrica de precisión para los receptores esclavos se determina a partir de

$$GDOP_{ESCLAVOS} = \sqrt{\sum_{i=1}^N k_{i,j}^2} \quad i = x, y, z$$

25 En la siguiente etapa 34, las contribuciones individuales a la dilución geométrica de precisión para cada esclavo determinadas en la etapa 33 se comparan para identificar el valor más elevado. Este se elimina del grupo mediante el procesador 23.

Después, en la etapa 35, se utiliza el grupo modificado para calcular la dilución geométrica de precisión para el nuevo grupo utilizando la matriz K como anteriormente.

5 En la etapa 36, los dos valores de dilución geométrica de precisión se comparan para determinar si se ha obtenido o no una mejora como resultado de la modificación del grupo. Es decir, el valor de dilución geométrica de precisión para el nuevo grupo es menor que la premodificación de primer grupo determinada en la etapa 32.

Si hay una mejora en la dilución geométrica de precisión, entonces el proceso vuelve a la etapa 34. El peor receptor del grupo modificado se elimina y la dilución geométrica de precisión para el grupo modificado adicionalmente se calcula y se compara en la etapa 36 con la obtenida en la etapa 33.

10 En caso de que la comparación de la etapa 36 dé como resultado la determinación de que la dilución geométrica de precisión no ha mejorado en la etapa 37 (es decir, la dilución geométrica de precisión del grupo modificado o modificado adicionalmente es mayor que la dilución geométrica de precisión calculada en la etapa 32), en la etapa 37 se sustituye el último receptor eliminado del grupo. Es decir, el grupo vuelve a como estaba antes de la última modificación.

El grupo reformado se utiliza después para recalcular la estimación de posición en la etapa 38.

15 Al realizarse estos cálculos en tiempo real, puede utilizarse el grupo de receptores más apropiado para determinar la posición de la aeronave sin necesidad de una gran base de datos de posibles grupos ("mapas") a utilizar.

En realizaciones alternativas, un receptor no necesita designarse como el "maestro" como referencia a la posición central. En cambio, uno de los receptores puede seleccionarse simplemente sin referencia a un criterio de selección. En esencia, el receptor seleccionado es simplemente un receptor primario para las primeras etapas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para determinar una dilución de precisión a la hora de devolver la posición de un objetivo (14) mediante un sistema de multilateración (1) que comprende un conjunto de receptores (3, 4, 5, 6) para recibir señales desde dicho objetivo (14), procedimiento que comprende las etapas de:

seleccionar (30) un receptor primario a partir del conjunto de receptores (3, 4, 5, 6);

5 formar un primer grupo que incluye el primario, y otros, del conjunto de receptores (3, 4, 5, 6);

calcular una estimación de posición del objetivo utilizando el primer grupo;

calcular (32) una dilución geométrica de precisión para el primer grupo;

calcular una contribución (33) a la dilución geométrica de precisión para cada receptor del primer grupo;

10 determinar el peor receptor del primer grupo que presenta la mayor contribución a la dilución geométrica de precisión;

modificar el primer grupo eliminando el peor receptor del primer grupo para formar un grupo modificado (34);

calcular una dilución geométrica de precisión para el grupo modificado (35);

comparar la dilución geométrica de precisión del primer grupo y del grupo modificado (36); y

15 si la dilución geométrica de precisión del grupo modificado es menor que la del primer grupo, entonces; calcular una estimación de posición posterior del objetivo utilizando el grupo modificado (34); y

si la dilución geométrica de precisión del grupo modificado es la misma o mayor que la del primer grupo, entonces utilizar el primer grupo para calcular una estimación de posición posterior del objetivo (37).

20 2. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que el receptor más próximo a la posición media geográfica de entre el grupo de receptores se designa como un receptor primario y los otros receptores del grupo se designan como los receptores secundarios, y en el que la etapa de modificar el grupo requiere la eliminación de al menos uno de los receptores secundarios.

3. Un procedimiento según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la dilución geométrica de precisión se obtiene a partir de

$$K = \begin{bmatrix} \frac{\partial r_x}{\partial t_1} & \frac{\partial r_x}{\partial t_2} & \dots & \frac{\partial r_x}{\partial t_N} \\ \frac{\partial r_y}{\partial t_1} & \frac{\partial r_y}{\partial t_2} & \dots & \frac{\partial r_y}{\partial t_N} \\ \frac{\partial r_z}{\partial t_1} & \frac{\partial r_z}{\partial t_2} & \dots & \frac{\partial r_z}{\partial t_N} \end{bmatrix}$$

25 donde  $r = [r_x \ r_y \ r_z]^T$  = posición del objetivo con respecto al receptor primario y  $t_1$  = tiempo de recepción de una señal en el receptor l con respecto al tiempo de recepción de una señal en el receptor primario.

4. Aparato (22) para determinar un grupo de receptores (3, 4, 5, 6) a utilizar en un proceso de multilateración para obtener la posición de un objetivo, aparato de determinación de grupo que comprende:

medios para aceptar salidas de los receptores (16 a 20);

30 medios para asignar al menos algunos de los receptores a un primer grupo (22);

medios para determinar a partir de las salidas del receptor del primer grupo una estimación de posición del objetivo (22);

medios para determinar una dilución geométrica de precisión para el primer grupo (22);

35 medios para calcular una contribución a la dilución geométrica de precisión para cada receptor del grupo de receptores del primer grupo (22);

medios para determinar el peor receptor del primer grupo que presenta la mayor contribución a la dilución geométrica de precisión para el grupo (22);

en el que los medios de asignación son sensibles a la determinación del peor receptor para modificar el grupo eliminando el peor receptor del grupo para crear un grupo modificado (22);

40 medios para comparar la dilución geométrica de precisión del primer grupo y del grupo modificado (22); y

en el que los medios de determinación de una estimación de posición del objetivo son sensibles a los medios de

comparación para utilizar el primer grupo cuando la dilución geométrica de precisión del primer grupo es menor que la del grupo modificado y para utilizar el grupo modificado cuando la dilución geométrica del grupo modificado es menor que la del primer grupo.

5. Aparato según la reivindicación 4, que comprende medios para designar un primer receptor del grupo más próximo a la posición media geográfica del grupo como un receptor primario y para designar los receptores restantes del grupo como receptores secundarios, y en el que los medios que determinan el peor receptor son sensibles a los medios de designación para seleccionar el peor receptor de los receptores secundarios del grupo.
6. Un sistema de multilateración que comprende un aparato de acuerdo con las reivindicaciones 4 y 5.

FIG 1

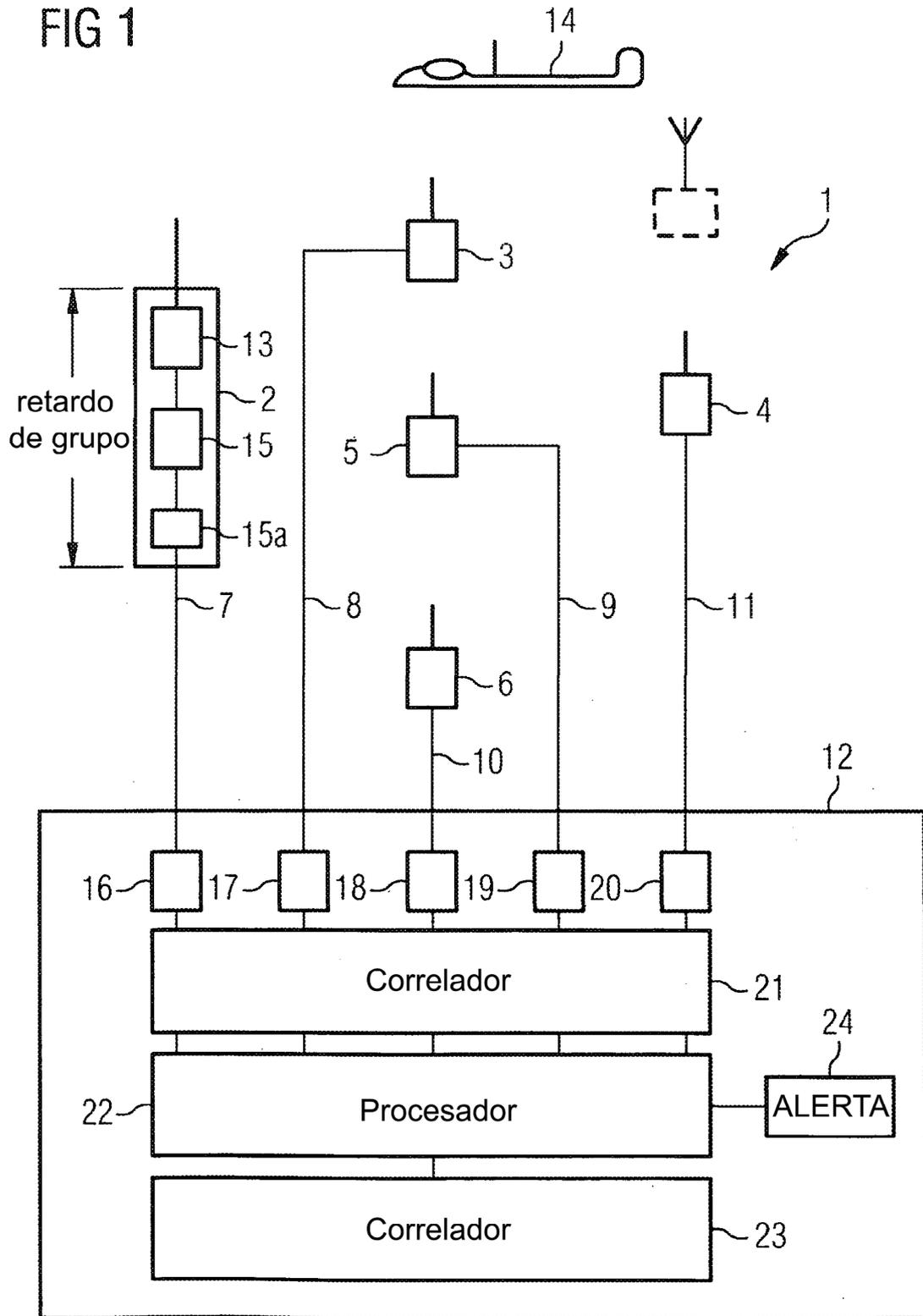


FIG 2

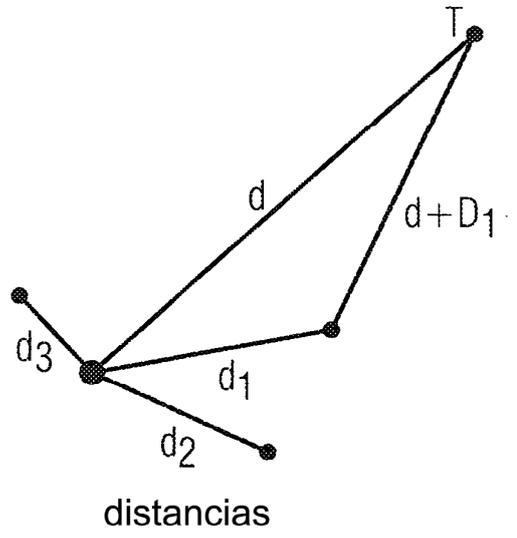
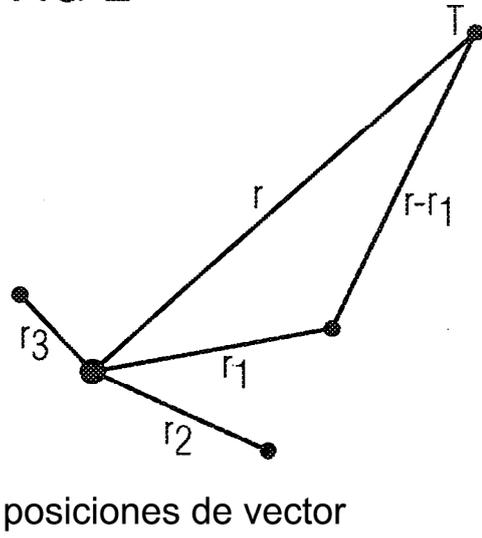


FIG 3

