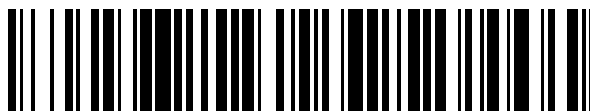


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 374 544**

51 Int. Cl.:
G01C 21/20 (2006.01)
G05D 1/00 (2006.01)
G08G 5/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05109113 .0**
96 Fecha de presentación: **30.09.2005**
97 Número de publicación de la solicitud: **1770365**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **04.04.2007**

54 Título: **PROCEDIMIENTO DE PLANIFICACIÓN DE LA VELOCIDAD DE UNA NAVE A LO LARGO DE UNA RUTA.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
17.02.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
17.02.2012

73 Titular/es:
SAAB AB
581 88 Linköping, SE

72 Inventor/es:
Ivansson, Johan y
Mångård, Måns

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 374 544 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de planificación de la velocidad de una nave a lo largo de una ruta

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y a un sistema para planificar la velocidad de un vehículo a lo largo de una ruta predeterminada.

Antecedentes

10 La planificación de la misión es una actividad importante tanto para las naves tripuladas como para las no tripuladas. Una planificación de este tipo proporciona un medio para aumentar la seguridad de una misión, y también posibilita el mantenimiento de un horario. La planificación de la misión es un proceso que se describe brevemente como la actividad necesaria para encontrar una ruta entre dos puntos de referencia.

15 Un número de restricciones puede ser impuesto en la ruta. Por ejemplo, la citada la ruta deberá evitar las amenazas o naves estáticas y dinámicas, minimizar el consumo de combustible, mantenerse dentro de unos límites espaciales predeterminados en lo que se refiere al nivel de vuelo y la posición, llegar al objetivo en un momento determinado de tiempo, tener una cierta velocidad y un cierto rumbo. La ruta también debe ser tal que la nave se pueda desplazar a lo largo de la citada ruta tomando en consideración las propiedades físicas de la citada nave en lo que se refiere al rendimiento en velocidad, aceleración y maniobrabilidad.

Es posible utilizar el análisis puro para describir el objetivo y las restricciones como un gran problema de optimización, y, posteriormente, aplicar técnicas que puedan encontrar una ruta que resuelva el problema. En realidad, esto es difícil, ya que requiere grandes cantidades de potencia informática para resolver un problema real.

20 Las técnicas más avanzadas incluyen dividir el problema en varios pasos, lo que hace posible planificar en "tiempo real". En primer lugar, la ruta es planificada, con independencia de la velocidad y, posteriormente, la velocidad se planifica a lo largo de la ruta determinada.

Técnica anterior

25 En el documento norteamericano 6.061.612 se desvela un sistema de gestión de vuelo de las naves, que comprende un proceso para gestionar la velocidad aerodinámica de una aeronave en vuelo. El procedimiento incluye un primer paso para determinar un punto de la trayectoria de vuelo en el que es teóricamente posible cumplir con una restricción de tiempo requerido, siguiendo un perfil de velocidad preestablecido. En un segundo paso, la velocidad se calcula y se determina un nuevo perfil de velocidad. Esto se obtiene mediante la determinación de las correcciones de velocidad segmento a segmento, desde el punto hasta el último segmento modificable. El cambio de velocidad en cada segmento se limita a un valor máximo. La nueva velocidad se calcula sobre la base de la curva que muestra el tiempo de vuelo t en función de la velocidad V. Esta curva se puede aproximar por una curva que satisface una ecuación con tres coeficientes (C₁, C₂, C₃):

$$V = C_1 / t + C_2 / t^2 + C_3 / t^3$$

35 El cumplimiento de las limitaciones de tiempo se garantiza mediante este procedimiento, al mismo tiempo que se cumplen los requisitos del piloto y de los controladores de tráfico aéreo.

El documento norteamericano 4.774.670 desvela también un sistema de gestión de vuelo, que comprende un sistema que puede aceptar la información de los datos de vuelo, incluyendo el momento de llegada requerido.

El documento norteamericano 6.507.782 desvela un sistema de control de aeronaves para alcanzar un punto de referencia en un momento de llegada requerido.

40 El documento norteamericano 5.408.413 desvela un aparato y un procedimiento para controlar un cálculo de optimización del rendimiento de la aeronave para conseguir la navegación en tiempo restringido.

El documento norteamericano 5.121.325 desvela un sistema de control del tiempo de llegada requerido.

El documento norteamericano 6.266.610 desvela un optimizador de rutas multi-dimensional.

Sumario de la invención

45 El problema de la planificación de la velocidad, o de las velocidades, a lo largo de una distancia que ya se ha planificado, es relativamente sencillo de resolver, calculando la velocidad media a lo largo de la distancia. El problema se hace más complejo cuando es necesario tomar en consideración otros objetos móviles y otras restricciones, así como los valores límite. Estos requisitos y limitaciones incluyen:

50 las amenazas y objetos en movimiento (dinámicos) que cruzan la ruta planificada, en la medida de lo posible, se evitarán.

las velocidades en el inicio y en el final de la ruta, especificadas por la misión, y el tiempo o ventana de tiempo, en el que la nave debe pasar el punto final de la ruta.

el rendimiento de la nave, incluyendo la velocidad, aceleración y desaceleración máximas y mínimas.

5 la forma de la ruta en relación con el rendimiento de giro de la nave, es decir, una velocidad máxima estimada a lo largo de una cierta parte de la distancia, por ejemplo, una curva cerrada, de tal manera que la nave pueda seguir la ruta dentro de un cierto error.

10 El objeto de la invención es proporcionar un procedimiento general para solucionar el problema que se ha mencionado más arriba, de tal manera que se pueda calcular una velocidad permitida para la ruta planificada, que satisfaga las condiciones. No parece haber una solución existente que gestione las restricciones que se han mencionado más arriba de una manera sencilla. La presente invención resuelve el problema que se ha mencionado más arriba manejando las restricciones del problema de una manera tal que el problema se puede transformar. Cuando el problema se ha transformado, se pueden utilizar los procedimientos convencionales para resolverlo. La invención proporciona un procedimiento para la planificación de la velocidad de una nave a lo largo de una ruta preestablecida, de acuerdo con la reivindicación 1.

15 La invención proporciona también un sistema para llevar a cabo la planificación de acuerdo con el procedimiento, y un producto de software informático correspondiente.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 muestra, en forma de un pseudo - diagrama de flujo, un esquema de un procedimiento de planificación de la velocidad a lo largo de una ruta.

20 La figura 2 muestra un ejemplo de un problema de planificación de velocidad para una ruta entre las localizaciones A y B en una representación del mapa.

La figura 3 muestra una representación del problema en la figura 2 en el dominio de tiempo - distancia.

La figura 4 muestra un aspecto adicional del problema de la figura 2.

La figura 5 muestra la representación en el dominio tiempo - distancia del problema de la figura 4.

25 La figura 6 muestra un aspecto adicional del problema de la figura 4.

La figura 7 muestra la representación en el dominio tiempo - distancia del problema de la figura 6.

La figura 8 muestra una solución en el dominio tiempo - distancia del problema de la figura 7.

La figura 9 muestra una solución en el dominio tiempo - distancia de un problema en tramos múltiples.

La figura 10 muestra un perfil de velocidad del problema de la figura 8.

30 Descripción detallada de realizaciones preferidas

La figura 1 muestra, en forma de un pseudo - diagrama de flujo, un esquema de un procedimiento de planificación de la velocidad a lo largo de una ruta. Los datos representativos de las demandas de la misión 105, la limitación dinámica de la nave 100, la ruta 115, y la imagen 120 de la situación dinámica son alimentados a una unidad de transformación y de construcción 125. La información con respecto a la imagen 120 de la situación dinámica se alimenta por medio de una unidad de predicción 130. La unidad de transformación y de construcción transforma los datos entrantes en el dominio tiempo - distancia, de manera que se ajuste en un espacio tiempo - distancia y / o en un gráfico tiempo - distancia. La unidad de transformación y de construcción establece adicionalmente el problema, es decir, todas las limitaciones y restricciones, en el espacio de tiempo - distancia y por lo tanto construye un problema estático 135. El citado problema estático 135 se resuelve entonces con la ayuda de una unidad de búsqueda y optimización 140. La salida de la citada unidad de búsqueda y optimización 140 comprende una ruta, incluyendo la velocidad planificada para la ruta.

La figura 2 muestra un ejemplo de una ruta entre las localizaciones A y B. En un primer paso, la ruta es planificada con referencia al terreno y a las amenazas estáticas. La aeronave que tenga un curso de intersección no se considera en este primer paso. Se considera que una ruta 230 se ha planificado entre las localizaciones A y B. Un área de obstáculos de terreno 205 y una amenaza estática 210 representan áreas de restricción de la ruta 230, es decir, la ruta 230 no debe pasar a través de las citadas áreas 205, 210. Ahora queda por determinar la velocidad V para la ruta 230, de tal manera que la nave llegue a la localización B en un momento específico de tiempo T. Al estudiar una distancia de la ruta 230 y las restricciones impuestas por el tiempo de llegada requerido T, es posible trazar las limitaciones dinámicas de la nave y las restricciones de límites de la ruta en una cifra que muestra lo lejos que la nave puede permanecer en la distancia y aún así llegar a B en el tiempo T, véase la figura 3.

La figura 3 muestra una representación tiempo - distancia en una representación del mapa en la figura 2. La línea de limitación superior 310 corresponde a la posibilidad de iniciar el viaje a velocidad más alta posible y, posteriormente, cambiar a una velocidad mínima. La línea de limitación inferior 320 corresponde a lo opuesto - iniciar con una velocidad mínima y luego cambiar a una velocidad máxima. Juntas, las dos líneas de limitación 310, 320 crean una envolvente de distancia, que describe las distancias a las que se puede llegar en un cierto momento y que cumplen con las exigencias dinámicas y las restricciones. La velocidad media D / T es descrita por la línea diagonal recta 330. En el escenario también hay una aeronave 220, que representan una amenaza dinámica en un curso 240 que intersecta con la ruta planificada 230. Al predecir la posición de la amenaza 220 más adelante en el tiempo, el momento en el tiempo en el que la amenaza coincide con la ruta 230 en un punto de intersección 410, véase la figura 4. En este ejemplo, esto sucederá en un momento en el tiempo en el que t es igual a 550 segundos.

La amenaza dinámica está descrita en la envolvente de distancias como una curva estática, cuya forma depende de la posición predicha y la incertidumbre de la posición predicha de la amenaza. Se dibuja una envolvente de amenazas que circunscribe la curva, correspondiente a las velocidades máximas y mínimas, que entonces describe la distancia y el tiempo en los que no se puede garantizar que se evite la colisión. La envolvente de distancias, incluyendo la envolvente de amenazas, se describe en la figura 5.

La figura 5 muestra la representación estática de la amenaza dinámica de la figura 4. Si la nave pasa a través de la amenaza 510, hay un riesgo de colisión, y este sería el caso si la velocidad media para toda la ruta, es decir, la línea diagonal 330, hubiese sido seleccionada. En el escenario también se puede ver, como se muestra en la figura 6, que un giro brusco 605 está presente en la ruta planificada. Un giro de este tipo implica que una restricción relativa a la velocidad máxima tiene que ser introducida a lo largo de una porción 605 de la ruta. Debido a que se utilizó la velocidad máxima para determinar la envolvente de distancias, la citada envolvente, por supuesto, debe ser revisada.

En la figura 7, la distancia con una velocidad reducida está marcada por dos líneas horizontales 710, 720, y la curva superior se recibe con una forma algo suprimida 730, 740, 750 en comparación con la línea original recta que representa la velocidad máxima 312. La limitación de esta velocidad es válida en todo momento, lo cual pueden influir también en la curva inferior y en las amenazas existentes en esta área. Mediante la proyección de la ruta planificada con respecto a las restricciones de tiempo de la misión y añadiendo las restricciones adicionales debidas al rendimiento de la nave, a las amenazas dinámicas y a las limitaciones de la ruta en lo que se refiere a la velocidad máxima, se crea una descripción estática del problema. Las restricciones en la velocidad también se pueden producir si la altitud de vuelo varía a lo largo de la ruta.

Por lo tanto, el problema ha sido transformado ahora en el dominio tiempo - distancia.

Planificación de la velocidad

El problema ahora es encontrar, en el dominio tiempo - distancia, un trayecto de principio a fin que se mantenga dentro de la envolvente y que no pase a través de la amenaza. Este es el mismo problema que tenía que ser solucionado en la planificación de la ruta, pero con la diferencia de que aquí se planifica en otras dimensiones. Las direcciones válidas de búsqueda están limitadas por la velocidad de la nave, la aceleración y las limitaciones en la velocidad máxima y mínima en ciertas porciones de la ruta.

También es posible utilizar diferentes tácticas cuando la velocidad se ha planificado, por ejemplo, a) acercarse a la velocidad media todo lo posible, o b) volar con una velocidad de economía de combustible tanto como sea posible, o c) maximizar la libertad de maniobra de tal manera que se puedan evitar las nuevas amenazas cuando la nave ha recorrido una parte de la distancia. Las tácticas requeridas pueden ser añadidas al algoritmo de planificación, de tal manera que se obtiene el comportamiento correcto.

La figura 8 muestra el resultado cuando la velocidad está planificada a lo largo de la ruta que se ha descrito más arriba. En este caso particular, el número de nodos intermedios (puntos con cambio de velocidad) se han reducido a uno. La velocidad planificada 820, 830 implica que se mantiene una mayor velocidad inicial, de manera que el punto de ruta de la intersección con la amenaza se pasa antes de que llegue la amenaza. La figura 10 muestra el perfil de velocidad tal como se ha determinado por la derivada respecto del tiempo del perfil de la distancia en la figura 8.

Secuencias de las envolventes de distancias

Una misión a menudo comprende varios tramos, en los que cada tramo finaliza en un punto de la misión que tiene restricciones temporales. Las restricciones varían, desde el requisito de que la nave debe pasar por el punto en un momento determinado, al requisito de que la nave debe pasar por el punto dentro de una ventana de tiempo determinada, hasta que no haya restricciones de tiempo. Por medio de la unión de las secuencias de las distintas envolventes de distancias de tramos, sin requisitos difíciles de tiempo, es posible realizar una planificación de la velocidad de muchos tramos de manera simultánea. El propósito de esto es ver la totalidad, y crear un pre-requisito tan bueno como sea posible para cumplir posteriormente las restricciones de tiempo presentes en la misión.

La figura 9 describe dos envolventes de distancias de dos tramos adyacentes en la misión del ejemplo. El primer tramo 910 tiene una ventana de tiempo 930 como una restricción en el punto de llegada, y el segundo tramo 920 tiene una restricción de tiempo fijo, es decir, un tiempo específico que se debe cumplir. Mediante la utilización de la

5 ventana de tiempo 930, se puede planificar una velocidad más uniforme que la que sería el caso si se utilizasen dos velocidades medias a lo largo de la distancia. También en este caso es posible utilizar diferentes tácticas para optimizar la elección de la velocidad a lo largo de la ruta. Como ejemplo, se puede mencionar que algo podría suceder a lo largo de la ruta, que podría requerir que la ruta se tuviese que volver a planificar. Esto casi con toda seguridad resultaría en una ruta más larga que la original, por lo que puede ser práctico mantener inicialmente una velocidad más alta para ganar terreno lo más pronto posible.

Ventajas

10 El procedimiento que se ha descrito más arriba resuelve el problema de la planificación de la velocidad de una manera general. Con independencia de la existencia de naves dinámicas o amenazas que pueden cruzar la ruta, o si hay limitaciones de velocidad a lo largo de la distancia, la velocidad es planificada considerando los requisitos de la misión y las limitaciones dinámicas de la nave.

La fortaleza de este procedimiento es que la planificación se efectúa en un "mapa" dependiente del tiempo, lo que hace estáticos todos los aspectos dinámicos durante la misma planificación. Por lo tanto, es posible utilizar algoritmos convencionales para la planificación de la ruta para resolver el problema.

15 El procedimiento puede ser usado como un componente en la planificación del vehículo, la navegación o dispositivos de control (a bordo o fuera de a bordo) para determinar las velocidades a lo largo de una ruta, por ejemplo en las estaciones de control de vehículos aéreos no tripulados (UAV), sistemas de gestión de vuelo de aeronaves, estaciones de control de tráfico aéreo, sistemas de navegación de buques, etc. El procedimiento es igualmente útil para todo tipo de vehículos y naves (de tierra, agua y aire).

20

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento implementado en un sistema informático para la planificación de la velocidad de una nave a lo largo de una ruta predeterminada, que comprende las etapas siguientes:
 - obtener datos representativos de las demandas de la misión;
 - 5 - obtener datos representativos de las limitaciones dinámicas de la nave;
 - obtener datos representativos de una ruta predeterminada;
 - obtener datos representativos de una imagen de la situación dinámica;
 - transformar los citados datos de demanda de la misión, datos de limitación dinámica, datos de la ruta y datos de situación dinámica en el dominio tiempo - distancia;
 - 10 - crear una envolvente de distancias (310, 320) en el citado dominio tiempo - distancia;
 - determinar un perfil de distancias en el dominio tiempo - distancia que se mantenga dentro de la envolvente de distancias (310, 320); determinar un perfil de velocidad a partir de la derivada del perfil de la distancia,
 - 15 en el que la etapa de crear una envolvente de distancias comprende la creación de una curva de límite superior (310) y la creación de una curva de límite inferior (320) en el que la citada etapa de crear una curva de límite superior (310) comprende la etapa de
 - crear una curva de tiempo - distancia, o el equivalente de una curva de este tipo, correspondiente al caso en el que la nave se desplaza inicialmente a la velocidad máxima y cambia a la velocidad mínima en el último momento para llegar a un punto de llegada en el momento de llegada más temprano permitido,
 - 20 y en el que el citado paso de crear una curva de límite inferior (320) comprende la etapa de
 - crear una curva de distancia - tiempo, o un equivalente de una curva de ese tipo, que corresponde a un caso en el que la nave se desplaza inicialmente a la velocidad mínima y cambia a la velocidad máxima en el último momento para llegar a un punto de llegada en el momento de llegada último
 - 25 permitido,

el procedimiento comprende, además, la etapa de crear una envolvente de amenazas (520, 530), y en el que la citada determinación de un perfil de velocidad incluye la etapa de crear una curva de tiempo - distancia, representativa del citado perfil de velocidad, que no cruza el área definida por la envolvente de amenazas, y en el que los datos de la situación dinámica comprenden datos de objetos que intersectan la

 - 30 ruta predeterminada, incluyendo el curso y la velocidad estimada, y las variaciones de velocidad y / o la incertidumbre, y en el que la envolvente de amenazas se crea mediante la creación de una curva de límite superior (520) y de límite inferior (530) para el objeto de la amenaza, de una manera similar a la descrita para la nave utilizando los datos de situación dinámica.
2. Un sistema configurado para planificar la velocidad de una nave a lo largo de una ruta predeterminada de acuerdo con el procedimiento de la reivindicación 1.
 - 35
 3. Un producto de software de ordenador para ejecutar el procedimiento de la reivindicación 1.

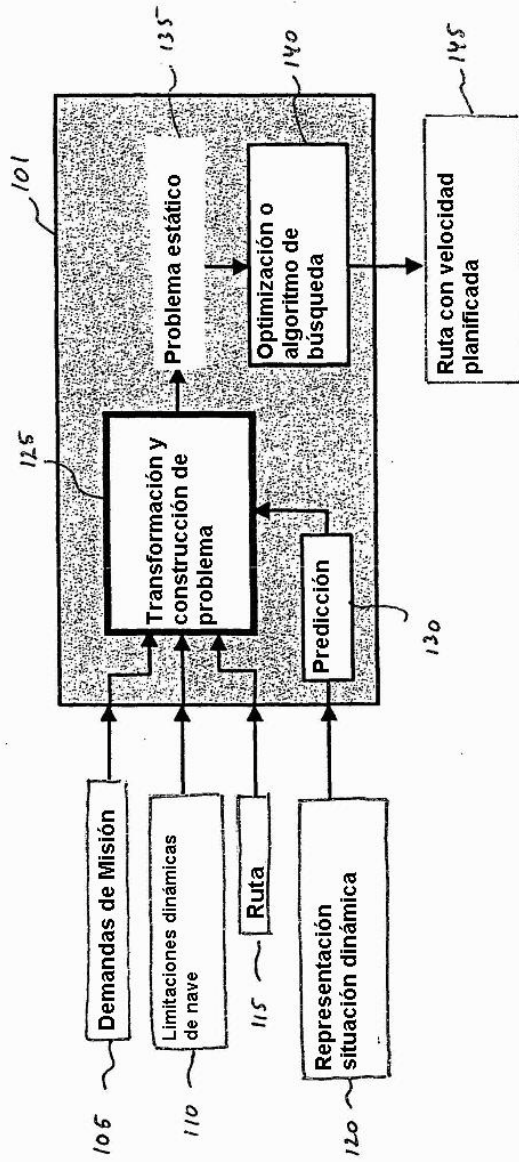


Fig. 1

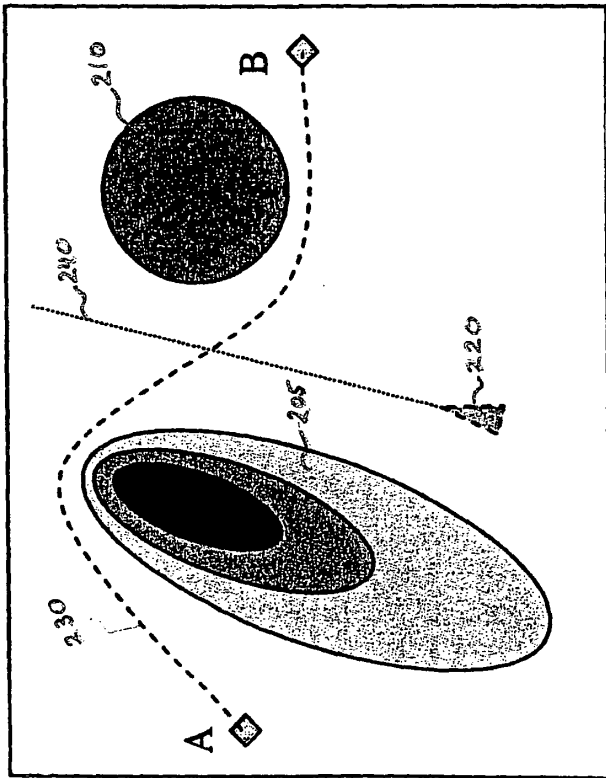


Fig. 2.

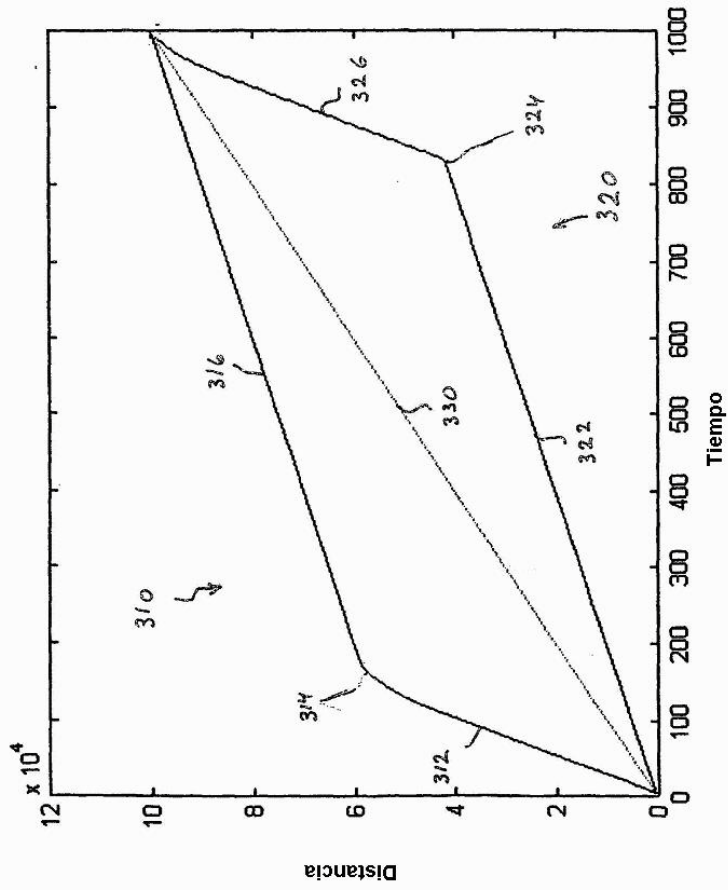


Fig. 3

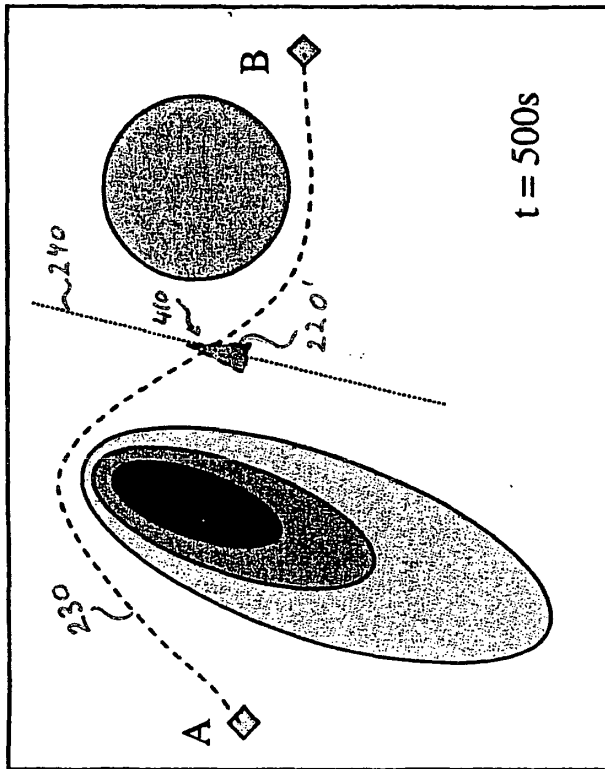


Fig. 4

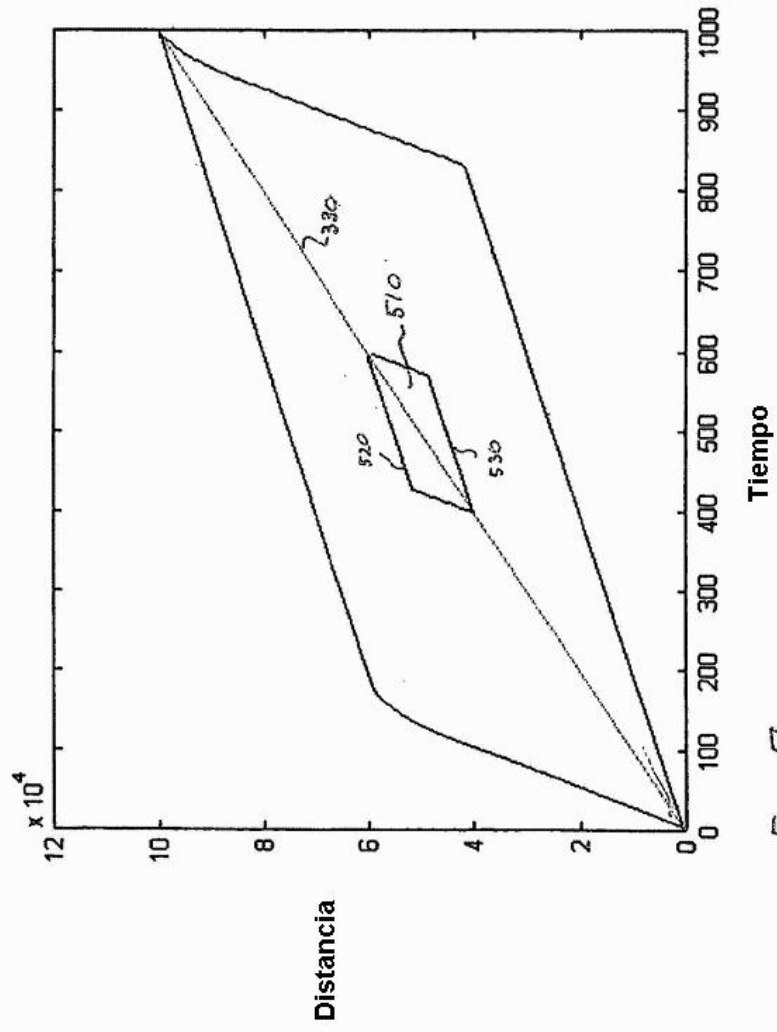


Fig. 5.

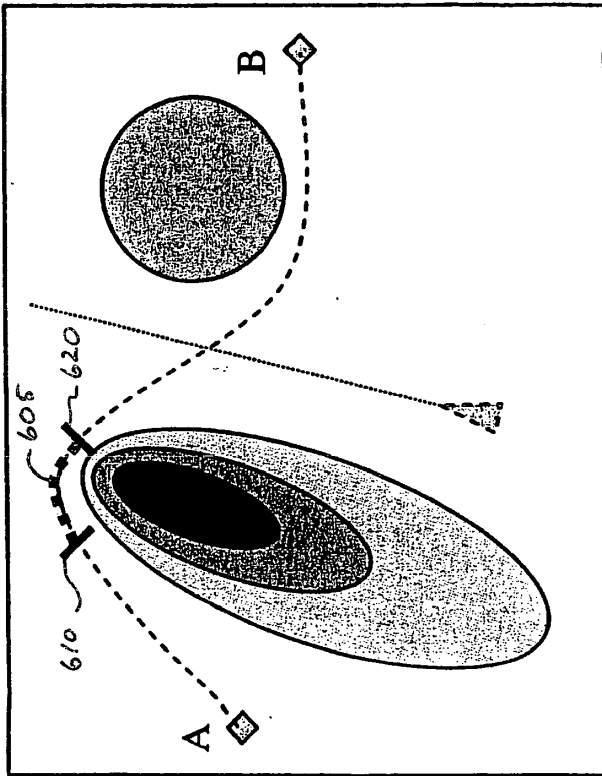


Fig. 6

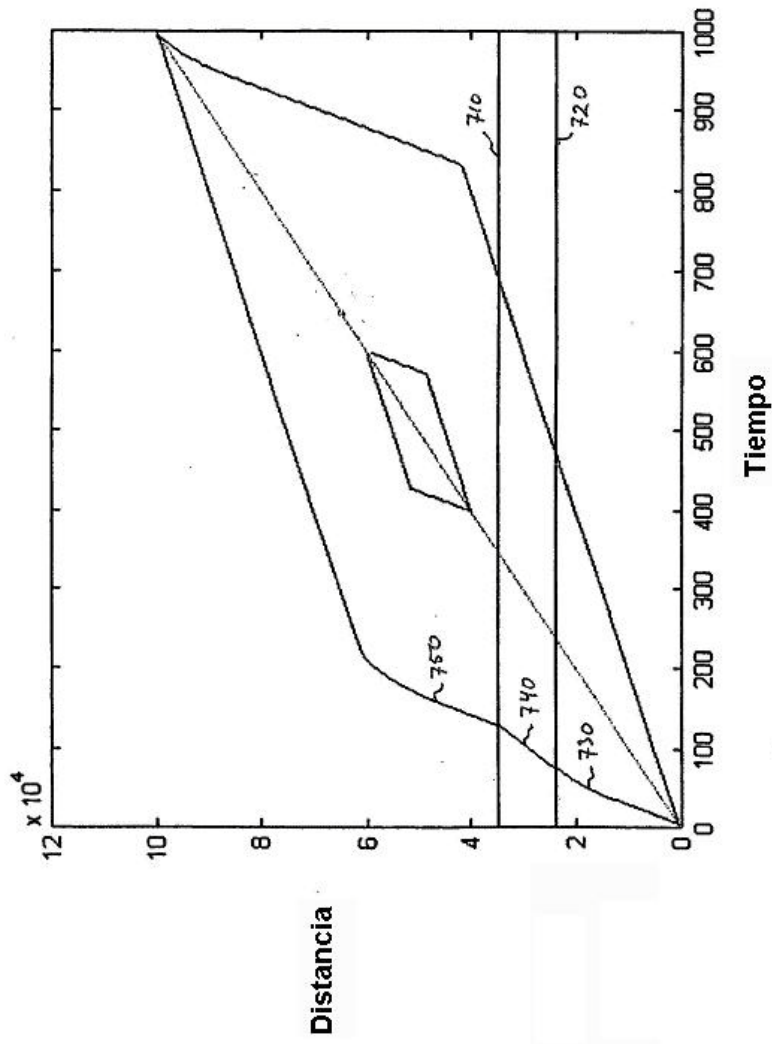


Fig. 7

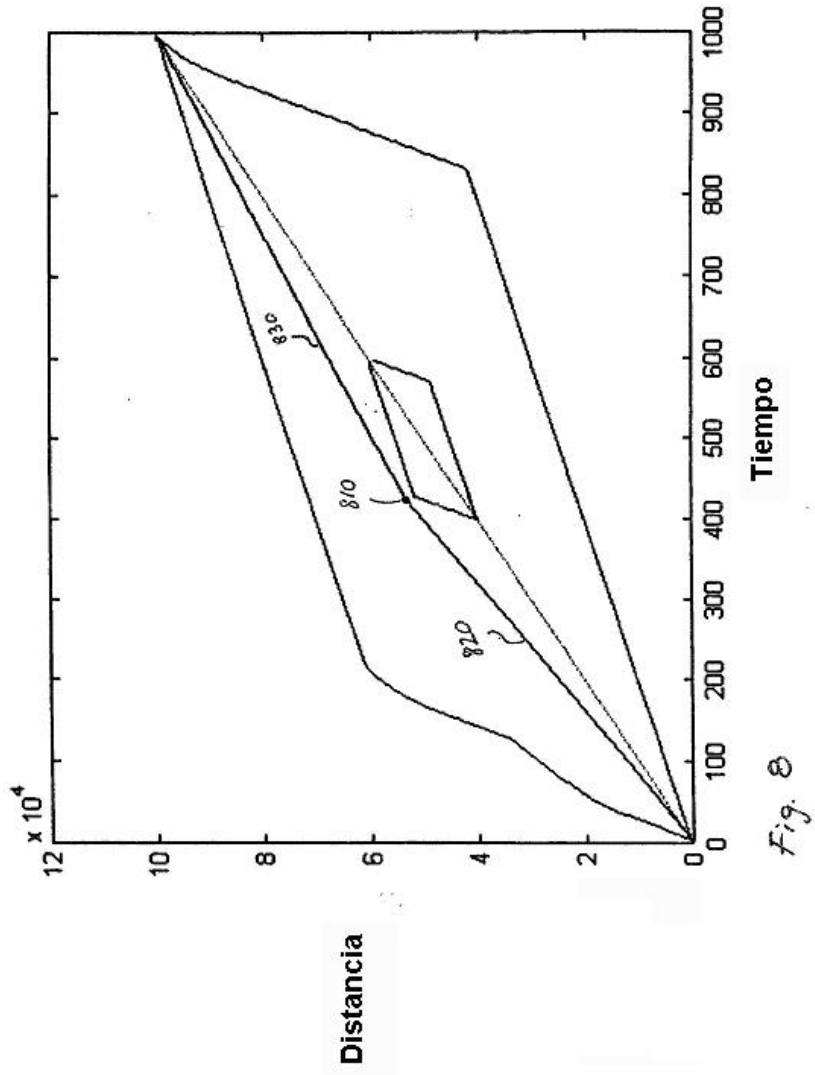


Fig. 8

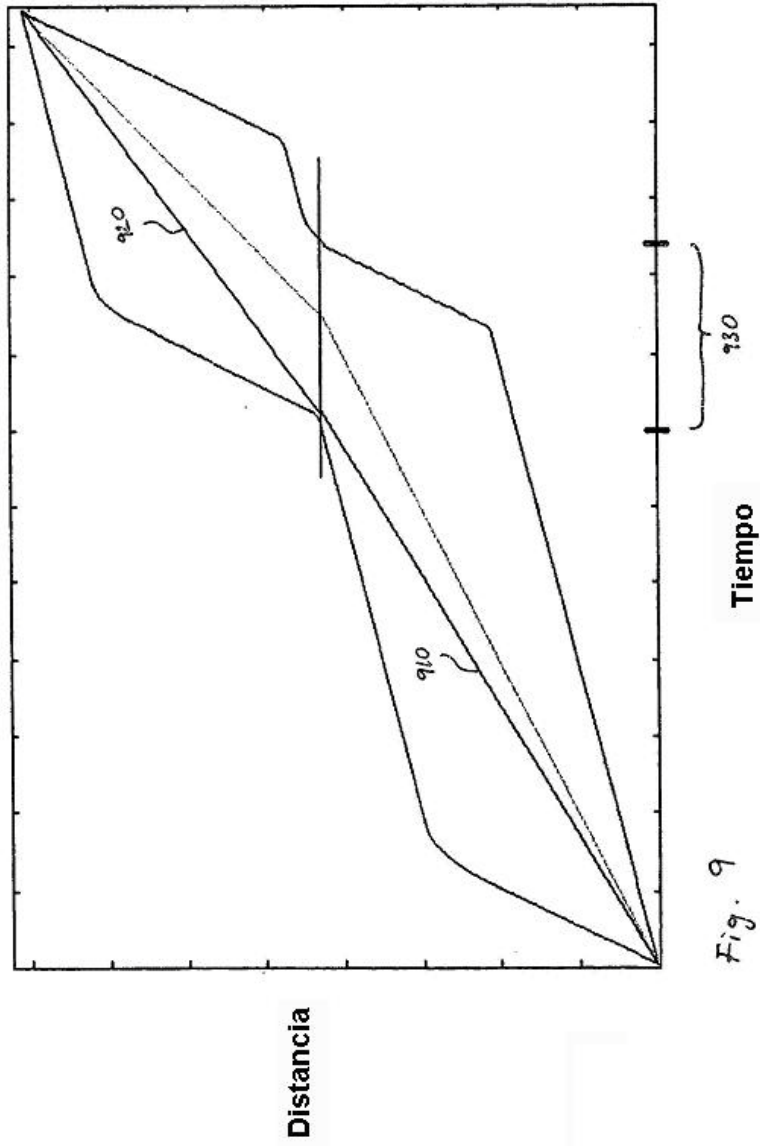


Fig. 9

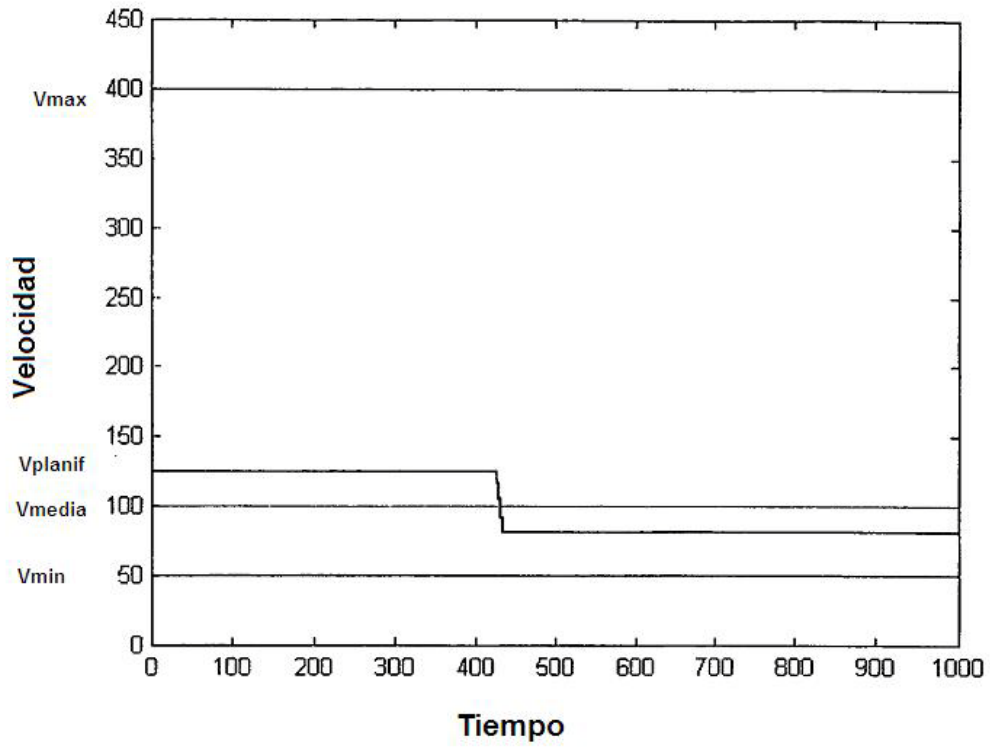


Fig. 10