



①9



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

①1 Número de publicación: **2 348 691**

⑤1 Int. Cl.:
G01S 1/00 (2006.01)

①2

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑨6 Número de solicitud europea: **08290519 .1**

⑨6 Fecha de presentación : **05.06.2008**

⑨7 Número de publicación de la solicitud: **2006707**

⑨7 Fecha de publicación de la solicitud: **24.12.2008**

⑤4 Título: **Procedimiento para la determinación de un límite de protección con compensación de los retrasos de cálculo.**

③0 Prioridad: **12.06.2007 FR 07 04163**

④5 Fecha de publicación de la mención BOPI:
10.12.2010

④5 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
10.12.2010

⑦3 Titular/es: **Sagem Défense Sécurité
Le Ponant de Paris - 27, rue Leblanc
75015 Paris, FR**

⑦2 Inventor/es: **Ibanez, Guillaume;
Gavillet, Simon y
Vacher, Charlie**

⑦4 Agente: **Isern Jara, Jorge**

ES 2 348 691 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).

5 PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE UN LÍMITE DE
PROTECCIÓN CON COMPENSACIÓN DE LOS RETRASOS DE CÁLCULO

Descripción

 La presente invención se refiere a un procedimiento para la determinación de un límite de protección alrededor de una posición de un cuerpo móvil calculada a partir de
10 datos de satélite, también llamados datos satelitarios. Este procedimiento puede ser puesto en práctica especialmente en la localización de vehículos, por ejemplo en el sistema de posicionamiento global conocido con la abreviatura GPS ("Global Positioning System").

15 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

 De manera clásica, la localización de un vehículo, tal como una aeronave, se realiza a partir, por una parte, de datos facilitados por una central de medición embarcada o situada a bordo de la aeronave (incluyendo, por ejemplo,
20 una central de inercia y un altímetro barométrico) y por otra parte, mediante datos procedentes de señales satelitarias que proceden de una serie o constelación de satélites en órbita alrededor de la Tierra. Los datos procedentes de señales satelitarias son distancias (o
25 pseudo-distancias) que separan la aeronave de los satélites emisores de las señales satelitarias. El tratamiento combinado de estos datos, por ejemplo, por medio de un filtro de cálculo de tipo KALMAN, permite determinar el estado de la aeronave, es decir, en especial una posición

precisa próxima a la posición real de la aeronave, la velocidad y la altitud de la misma.

Entre las recepciones de señales satelitarias, la posición de la aeronave es extrapolada o estimada a partir
5 de los datos inerciales aplicados a la última posición calculada. La posición calculada de este modo es recalculada periódicamente para cada recepción de señales satelitarias.

No obstante, la precisión de la posición calculada es
10 muy sensible a los fallos del conjunto o constelación de satélites, es decir, en caso de un fallo de un satélite que afectaría a la exactitud de los datos transmitidos y que no sería detectado o en caso de un fallo simultáneo o de un fallo consecutivo de dos satélites de la constelación (el
15 riesgo de fallo simultáneo de tres satélites es tan reducido que en general se desprecia).

Por esta razón, es habitual facilitar al piloto de la aeronave un límite o un volumen, llamado de protección, centrado sobre la posición calculada y que es
20 representativo de la precisión de esta posición, teniendo en cuenta el riesgo de fallo de uno o de dos satélites. El volumen global de protección es un cilindro de eje vertical definido por su radio y su altura, usualmente designados HPL y VPL. La posición real de la aeronave, si no coincide
25 exactamente con la posición calculada, tiene una probabilidad, como máximo, igual a un umbral de seguridad aceptable (o riesgo de integridad) de encontrarse fuera del volumen global de protección.

El cálculo del volumen de protección supone definir el riesgo de integridad teniendo en cuenta la probabilidad de ausencia de fallo, de la aparición de un fallo y de la aparición de dos fallos de la constelación de satélites. El
5 cálculo del volumen de protección correspondiente en cada caso se basa en la distribución estadística del error de posición. El volumen global de protección está determinado de manera tal que el riesgo de integridad sea, por lo menos, igual a la probabilidad para la que la posición real
10 se encuentre dentro del volumen de protección. Existen varios métodos de cálculo del volumen de protección. El documento US-A-2004239560 describe uno de estos métodos de cálculo.

El documento EP-A-1 462 761 divulga un procedimiento
15 de cálculo de la distancia de protección basado en la estimación de la variación de altitud.

El tratamiento de las informaciones necesarias y el cálculo del volumen de protección son, no obstante, relativamente largos, de manera que el volumen de
20 protección calculado es facilitado con un cierto retraso al usuario. Además, por razones de carga de cálculo, el cálculo del volumen de protección y la reactualización pueden ser realizados con una frecuencia más baja que la frecuencia de emisión de estos datos. Esta posibilidad
25 comporta un retraso entre el instante de validez del volumen de protección y el instante de recepción de la utilización del volumen de protección por el usuario. Resulta de ello que el volumen de protección facilitado al usuario no es en realidad válido teniendo en cuenta este

retraso que conviene, por lo tanto, reducir al mínimo sin que, no obstante, se pueda eliminar.

Dentro del marco de la invención se ha previsto aumentar el volumen de protección con la velocidad del aparato. Este método conduce, no obstante, a la obtención de un volumen de protección mucho más grande, lo que reduce la disponibilidad de la aeronave (es decir, el porcentaje de tiempo durante el cual el volumen de protección es inferior a un valor predeterminado). Además existe imprecisión en cuanto a la velocidad, que presenta el riesgo de falsear el cálculo.

OBJETO DE LA INVENCION

Un objeto de la invención es el de dar a conocer una forma de cálculo más fiable de un límite de protección.

RESUMEN DE LA INVENCION

A estos efectos, la invención se refiere a un procedimiento de determinación de un instante futuro $t+\Delta t$ de un límite de protección $PL_{pos}(t+\Delta t)$ alrededor de una posición de un cuerpo móvil calculada a partir de datos satelitarios procedentes de una constelación de satélites en un instante actual, comprendiendo el procedimiento las siguientes etapas de:

- escoger un umbral de seguridad sobre la posición en el instante futuro P_{ir} y repartir este umbral de seguridad entre un umbral de seguridad sobre la posición $P_{ir\ pos}$ y un umbral de seguridad sobre la velocidad $P_{ir\ vit}$;
- determinar la posición y la velocidad del cuerpo móvil en un instante presente t ;

- calcular un error estadístico sobre la posición y un error estadístico sobre la velocidad en este instante actual;

- a partir de éstos y del umbral de seguridad sobre la posición y del umbral de seguridad sobre la velocidad, calcular un límite de protección sobre la posición en el instante actual $PL_{pos}(t)$ y un límite de protección sobre la velocidad en el instante presente $PL_{vit}(t)$;

- calcular el límite de protección $PL_{pos}(t+\Delta t)$ tal que

$$10 \quad PL_{pos}(t+\Delta t) = PL_{pos}(t) + PL_{vit}(t) \cdot \Delta t + \gamma \frac{\Delta t^2}{2}$$

en las que γ es la aceleración máxima posible del cuerpo móvil.

De este modo, se obtiene un límite de protección $PL_{pos}(t+\Delta t)$, relativamente reducido, que garantiza que se respeta el umbral de seguridad sobre un horizonte de tiempo igual a Δt .

De manera ventajosa, el umbral de posición es superior al umbral de seguridad sobre la velocidad.

Un umbral de seguridad sobre la posición más elevada que el umbral de seguridad sobre la velocidad favorece la obtención de un límite reducido de protección en el instante futuro.

Preferentemente, los umbrales de seguridad sobre la posición y sobre la velocidad en el instante presente son tales que $P_{ir} = P_{ir pos} + 2 P_{ir vit}$.

De esta manera, es posible disponer de un umbral reducido de seguridad sobre la posición en el instante futuro.

Entonces, de modo preferente, el umbral de seguridad sobre la posición y el umbral de seguridad sobre la velocidad en el instante actual son iguales aproximadamente a 80% y 10% respectivamente del umbral de seguridad sobre la posición en el instante futuro.

Este reparto del umbral de seguridad sobre la posición en el instante futuro entre los umbrales de seguridad sobre la posición y la velocidad en el instante actual es un compromiso óptimo que facilita un límite de protección especialmente reducido.

Otras características y ventajas de la invención se deducirán de la lectura de la descripción siguiente de una forma de puesta en práctica específica, no limitativa, de la invención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Se hará referencia a los dibujos adjuntos, entre los cuales:

- la figura 1 es una representación esquemática de una constelación de satélites presentes por encima del horizonte de una aeronave,

- la figura 2 es una representación esquemática por bloques del procedimiento, según una forma de puesta en práctica específica.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Haciendo referencia a la figura 1, el procedimiento de la invención se describe en relación con una aeronave (1) a bordo de la cual se encuentra un sistema de navegación que utiliza los datos procedentes de N satélites 2.i (variando i entre 1 y N, es decir, (2.1), (2.2), (2.3), (2.4), (2.5),

(2.6), (2.7), (2.8), (2.9), (2.10), (2.11), (2.12) en la figura) en órbita alrededor de la Tierra (100) y datos procedentes de una central inercial a bordo de la aeronave (1).

5 La central inercial es conocida por sí misma y suministra, a partir de captadores fijados en la aeronave (1), datos relativos, en especial, al centrado de la aeronave (1), su velocidad..

10 Los satélites (2.1) a (2.12) forman parte de un conjunto de satélites dispuestos en órbita alrededor de la Tierra y que pertenecen a un sistema de localización por satélite del tipo GPS. Cada uno de los satélites 2.i emite permanentemente una señal que comporta su localización y la hora precisa de la emisión de la señal. Los N satélites 2.i
15 emiten de esta manera a intervalos regulares N señales que a continuación se llamarán datos satelitarios.

20 El sistema de navegación comprende, de manera conocida en sí misma, una unidad de cálculo conectada a la central inercial y a un receptor de las señales procedentes de los satélites. La unidad de cálculo incorpora de manera conocida en sí misma procesadores y memorias que le permiten calcular una pseudo-distancia que separa la aeronave (1) de cada satélite 2.i, cuya señal es detectada por el receptor y realizar una fusión de estas
25 pseudo-distancias y de los datos que proceden de la señal inercial con la finalidad de determinar, entre otros, una posición de la aeronave (1).

Los cálculos son realizados de manera continua utilizando filtros de Kalman o cualquier otro algoritmo que permite utilizar específicamente una fusión de datos.

El sistema de navegación facilita, por lo tanto, 5 periódicamente, el estado de la aeronave, es decir, la posición, la velocidad y la altura de la aeronave a partir de los datos inerciales y datos satelitarios. La posición es definida por una componente horizontal (en este caso, un valor de latitud y un valor de longitud) y una componente 10 vertical (en este caso, una altitud).

Entre dos recepciones de señales satelitarias, el sistema de navegación facilita posiciones estimadas a partir de los únicos datos inerciales (que se obtienen de manera continua) partiendo de posiciones anteriores, cuya 15 operación es denominada propagación. A la recepción de nuevos datos satelitarios, la posición estimada y la recepción de datos satelitarios es recalculada después de la verificación de la validez de dichos datos satelitarios.

Para cada posición estimada, el sistema facilita 20 igualmente un volumen de protección definido por un límite de protección horizontal HPL y un límite de protección vertical VPL calculados a partir de datos satelitarios. Para simplificar, se hablará a continuación del límite de protección PL (siendo las operaciones de cálculo del límite 25 de protección vertical y del límite de protección horizontal sensiblemente a las mismas).

El volumen de protección, que debe ser lo más reducido posible, es determinado para que si la posición real de la aeronave no coincide exactamente con la posición calculada,

esta posición real tiene una probabilidad, como máximo, igual a un umbral de seguridad aceptable de encontrarse fuera del volumen global de protección.

Para una posición determinada, el límite de protección
5 (PL) es calculado de manera clásica a partir de una probabilidad de fallo de la constelación de satélites, de una probabilidad de ausencia de fallo de la constelación de satélites y de un umbral de seguridad P_{ir} predeterminado. Se tiene de este modo $p(e \geq PL) \leq P_{ir}$, la probabilidad de que el
10 error de posición (e), sea superior al límite de protección (PL), es inferior o igual al umbral de seguridad P_{ir} aceptable en caso de fallo de la constelación de satélites (este umbral de seguridad es llamado igualmente riesgo de integridad). El límite de protección (PL) es calculado de
15 manera conocida en si misma a partir de la distribución estadística del error sobre la posición calculada (distribución gaussiana para la componente vertical de la posición de distribución χ^2 para la componente horizontal de la posición). El riesgo de integridad P_{ir} no debe ser
20 superado en caso de avería de uno o de dos satélites de la constelación. Una avería de tres satélites de la constelación que tiene una probabilidad de 10^{-12} , es despreciada.

En el procedimiento de la invención, se intenta
25 facilitar un límite de protección válido en un instante futuro $t+\Delta t$ para una posición de la aeronave en este instante, es decir, $PL_{pos}(t+\Delta t)$. Se utiliza para ello una posición y una velocidad de la aeronave previamente determinadas y válidas en el instante actual (t). La

posición puede ser determinada a partir de datos
satelitarios únicamente o utilizando igualmente datos
inerciales. La velocidad se puede determinar a partir de
los datos satelitarios o integrando aceleraciones medidas
5 por la central inercial.

A continuación, se calcula una distribución
estadística del error (o error estadístico) sobre la
posición en el instante presente y una distribución
estadística del error sobre la velocidad en el instante
10 presente. El umbral de seguridad aceptable en el instante
futuro es P_{ir} y se reparte entre un umbral de seguridad
sobre la posición $P_{ir\ pos}$ y un umbral de seguridad sobre la
velocidad $P_{ir\ vit}$ de manera tal que, preferentemente, $P_{ir} = P_{ir\ pos} + 2\ P_{ir\ vit}$ y $P_{ir\ pos} = 80\% P_{ir}$ y $P_{ir\ vit} = 10\% P_{ir}$. Este
15 reparto es óptimo, pero otros repartos son también
posibles.

Un límite de protección sobre la posición calculada es
válido en el instante presente (t), es decir, $PL_{pos}(t)$, se
calcula a continuación a partir del error estadístico sobre
20 la posición y el umbral de seguridad sobre la posición $P_{ir\ pos}$.

Un límite de protección sobre la velocidad en el
instante presente, es decir, $PL_{vit}(t)$ es calculado
igualmente a continuación a partir del error estadístico
25 sobre la velocidad y el umbral de seguridad sobre la
velocidad $P_{ir\ vit}$. Estos límites de protección $PL_{pos}(t)$ y
 $PL_{vit}(t)$ se obtienen por los métodos de cálculo clásicos.

El límite de protección sobre la posición en el instante futuro $(t+\Delta t)$, es decir, $PL_{POS}(t+\Delta t)$ es calculado a partir de la fórmula siguiente:

$$PL_{POS}(t+\Delta t) = PL_{POS}(t) + PL_{vit}(t) \cdot \Delta t + \gamma \frac{\Delta t^2}{2}$$

5 en la que γ es la aceleración máxima posible de la aeronave. En este caso, γ se ha fijado en diez veces la aceleración de la gravedad, es decir $\gamma=10$ g.

Se puede prever, en base al cálculo de los límites de protección $PL_{POS}(t)$ y $PL_{vit}(t)$ una etapa de optimización
10 del reparto del umbral de seguridad P_{ir} para reducir en el mayor grado posible los límites de protección $PL_{POS}(t)$ y $PL_{vit}(t)$.

A título de ejemplo, se escoge $P_{ir} = 10^{-7}$, $P_{ir\ pos} = 8 \cdot 10^{-8}$ y $P_{ir\ vit} = 10^{-8}$.

15 Se debe comprender que la invención no queda limitada a las formas de puesta en práctica que se han descrito, sino que comprende cualquier variante que quede incluida dentro del marco de la invención, tal como se define en las reivindicaciones.

20 Las posiciones pueden ser estimadas a partir de datos satelitarios únicamente o a partir igualmente de datos procedentes de una central de medición, tal como una central inercial.

La invención es aplicable a cualquier cuerpo móvil,
25 tal como un vehículo terrestre, marino u otro.

El reparto puede ser diferente al que se ha descrito, por ejemplo $P_{ir} = 10^{-7}$, $P_{ir\ pos} = 5 \cdot 10^{-8}$ y $P_{ir\ vit} = 2,5 \cdot 10^{-8}$. El umbral de seguridad $P_{ir\ pos}$ puede ser igual a 80% P_{ir} y el

umbral de seguridad $P_{ir\ vit}$ puede ser igual a 20% P_{ir} o cualquier otro reparto, tal como 50%-50%, 60%-40%, 70%-30%.

Otro valor para la aceleración máxima puede ser escogido especialmente en función del comportamiento del
5 vehículo.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de determinación en un instante futuro $t+\Delta t$ de un límite de protección $PL_{pos}(t+\Delta t)$ alrededor de una posición de un cuerpo móvil, calculada a partir de
 5 datos satelitarios procedentes de una constelación de satélites en un instante presente (t), caracterizado por comprender las siguientes etapas:

- escoger un umbral de seguridad sobre la posición en el instante futuro P_{ir} y repartir este umbral de
 10 seguridad entre un umbral de seguridad sobre la posición ($P_{ir\ pos}$) y un umbral de seguridad sobre la velocidad ($P_{ir\ vit}$);

- determinar una posición y una velocidad del cuerpo móvil en el instante presente (t);
 15 - calcular un error estadístico sobre la posición y un error estadístico sobre la velocidad en este instante presente;

- a partir de éstos y del umbral de seguridad sobre la posición y del umbral de seguridad sobre la velocidad,
 20 calcular un límite de protección sobre la posición en el instante presente $PL_{pos}(t)$ y un límite de protección sobre la velocidad en el instante presente $PL_{vit}(t)$;

- calcular el límite de protección $PL_{pos}(t+\Delta t)$ tal que

$$25 \quad PL_{pos}(t+\Delta t) = PL_{pos}(t) + PL_{vit}(t) \cdot \Delta t + \gamma \frac{\Delta t^2}{2}$$

en la que γ es la aceleración máxima posible del cuerpo móvil.

2. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que el umbral de posición es superior al umbral de seguridad sobre la velocidad.

3. Procedimiento, según la reivindicación 2, en el que los umbrales de seguridad sobre la posición y sobre la velocidad en el instante presente son tales que:

$$P_{ir} = P_{ir\ pos} + 2\ P_{ir\ vit}.$$

4. Procedimiento, según la reivindicación 3, en el que el umbral de seguridad sobre la posición y el umbral de seguridad sobre la velocidad en el instante presente se igualan aproximadamente a 80% y 10% respectivamente del umbral de seguridad sobre la posición en el instante futuro.

5. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que después del cálculo de los límites de protección sobre la velocidad y sobre la posición, se realiza una etapa de optimización del reparto del umbral de seguridad sobre la posición en el instante futuro para obtener límites más reducidos de protección sobre la velocidad y sobre la posición.

6. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que la posición en el instante futuro $t+\Delta t$ es extrapolada a partir de la posición en el instante presente (t).

7. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que la aceleración máxima posible (γ) es fijada aproximadamente en $10g$.

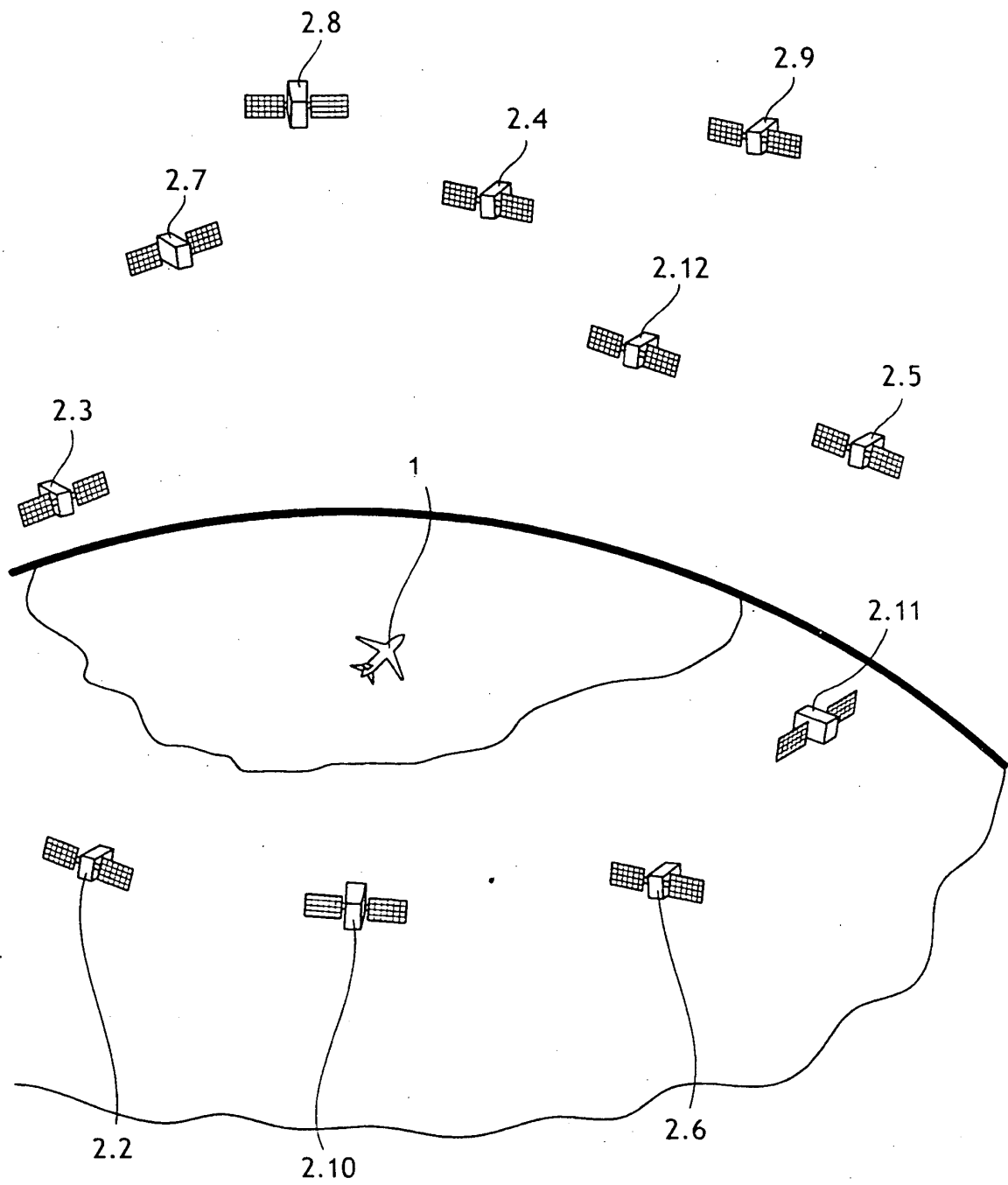
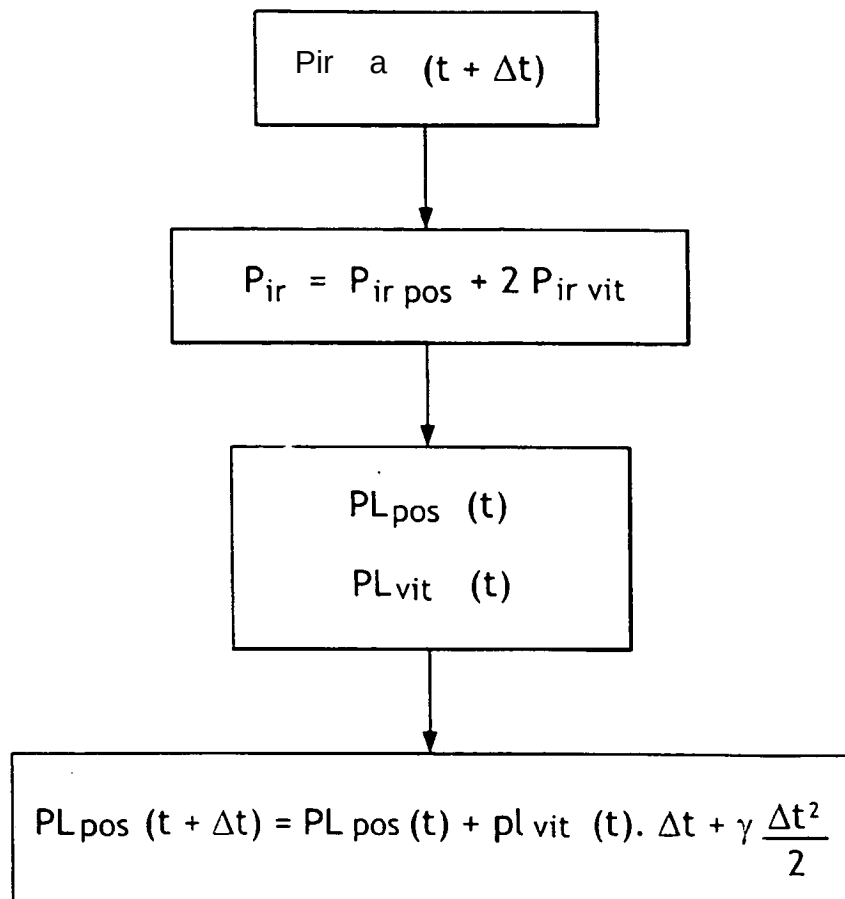


FIG.1

FIG.2