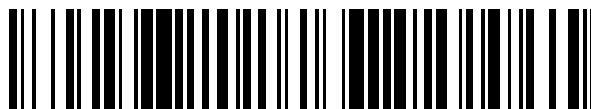


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 540 765**

51 Int. Cl.:

G01C 5/00 (2006.01)

G08G 5/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.12.2009** **E 09775186 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2015** **EP 2366094**

54 Título: **Procedimiento de corrección de la altitud barométrica para una aeronave**

30 Prioridad:

16.12.2008 FR 0807060

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

13.07.2015

73 Titular/es:

THALES (100.0%)
45, rue de Villiers
92200 Neuilly-sur-Seine, FR

72 Inventor/es:

BAUD, OLIVIER y
HONORE, NICOLAS

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 540 765 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 corrección de la altitud barométrica para una aeronave

La presente invención se refiere a un procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves empleado en un sistema de control del tráfico aéreo. Se refiere, concretamente, a los sistemas de rastreo de aeronaves basándose en múltiples sensores.

El control del tráfico aéreo, o ATC según el acrónimo de *Air Traffic Control*, permite que los controladores aéreos garanticen la ejecución segura, rápida y eficaz de los vuelos de aeronaves en el espacio aéreo bajo vigilancia. Su función es, principalmente, prevenir las colisiones entre las aeronaves y la tierra o los vehículos, así como las colisiones en vuelo entre aeronaves. También consiste en acelerar y ordenar la circulación aérea, en proporcionar a las aeronaves los avisos y datos útiles para la ejecución segura y eficaz del vuelo, tales como la información meteorológica, la información sobre el estado de los medios de navegación en tierra, la información sobre el tráfico. Finalmente, consiste en proporcionar un servicio de alerta para avisar a los organismos apropiados cuando las aeronaves necesitan la ayuda de los organismos de auxilio y de salvamento, y en prestar a estos organismos la colaboración necesaria.

Los datos necesarios para la gestión del control del tráfico aéreo provienen esencialmente de una pluralidad de sensores. Entre estos sensores, unos radares primarios de vigilancia o PSR según el acrónimo de *Primary Surveillance Radars*, proporcionan ecos de objetivos, mediante información sobre azimut, distancia y el instante de detección.

Unos radares secundarios de vigilancia o SSR según el acrónimo de *Secondary Surveillance Radars* también proporcionan datos; un SSR envía señales a unos objetivos. Cuando estos objetivos son aeronaves equipadas con transpondedores, estos últimos envían como retorno información, que el SSR recibe. La información que el SSR recibe comprenden la distancia y el azimut, así como la información complementaria que el transpondedor proporciona según su tipo. De esta manera, un transpondedor compatible con el modo A/C proporciona un dato de identificación de la aeronave (modo A), y un dato de altitud barométrica (modo C). El conjunto de los datos que un SSR proporciona permite, por lo tanto, una identificación de las aeronaves que evolucionan en su campo de visión, así como el conocimiento de sus posiciones respectivas en una referencia tridimensional. También existen transpondedores equipados con un modo perfeccionado o Modo S, que proporciona a petición los mismos datos que el modo A/C, además de una identificación unívoca de la aeronave codificada en 24 bits, y de medios de comunicación bilateral de datos diversos.

Unos sensores de multilateración o MLAT, que consisten en una pluralidad de antenas omnidireccionales diseminadas en tierra, que reciben señales que envía una aeronave con el fin de localizarla, proporcionan otros datos de localización de aeronaves y objetos en tierra. Estas señales pueden ser no solicitadas, o bien enviadas por la aeronave como respuesta a señales que provienen de radares. Unos cálculos que tratan sobre las diferencias entre los tiempos de recepción de estas señales entre al menos dos antenas permiten determinar la posición de la aeronave. Este tipo de sensor se utiliza ampliamente para la vigilancia de movimientos en tierra en zonas de aeropuerto y en las zonas de aproximación. Otra técnica que procede de una manera similar se utiliza para la localización de aeronaves fuera de zonas de aproximación de aeropuertos, basada en las señales que reciben una pluralidad de antenas omnidireccionales dispuestas en zonas geográficas mucho más amplias; esta técnica lleva el nombre de WAM, según el acrónimo para *Wide Area Multilateration*.

También existen sistemas de vigilancia automática y dependiente de las aeronaves, conocidos por los acrónimos de ADS para *Automatic Dependent Surveillance*. Un primer sistema de ADS, denominado ADS-C según el acrónimo para *Automatic Dependent Surveillance – Contract*, se utiliza esencialmente para las zonas en las que están disponibles pocos sensores de otros tipos, por ejemplo las zonas desérticas u oceánicas. Las aeronaves que están equipadas con ellos radiodifunden hacia un satélite de comunicación datos relativos a su posición, por ejemplo determinada mediante un ordenador de a bordo basándose en datos que proporciona un receptor de geolocalización por satélite o GPS según el acrónimo para *Global Positioning System*, y/o por una central inercial. Se difunden otros datos, tales como datos sobre la ruta considerada por la aeronave, las velocidades de la aeronave con respecto al aire y a la tierra, datos meteorológicos (fuerza y dirección del viento, temperatura, etc.). La difusión de estos datos por la aeronave puede hacerse de manera periódica, o bien como reacción a ciertos acontecimientos, o incluso en caso de situación de emergencia. A continuación, el satélite transmite los datos y una antena específica los recibe.

Un segundo sistema de ADS se denomina ADS-B según el acrónimo para *Automatic Dependent Surveillance – Broadcast*. Las aeronaves que están equipadas con ellos radiodifunden los datos descritos anteriormente con referencia al ADS-C, directamente hacia una antena en tierra. La transmisión se hace de manera periódica, a una frecuencia bastante más elevada, de al menos una emisión por segundo.

Todos los datos que provienen de todos los sensores anteriormente citados, después de haber experimentado a veces un preprocesamiento al nivel de los sensores mismos, los recoge una central de control de tráfico aéreo, donde se procesan, antes de ser difundidos en forma sintética a los controladores aéreos mediante interfaces de visualización. Es primordial para los controladores que puedan proceder al rastreo de las aeronaves presentes en el

espacio aéreo. El rastreo de una aeronave consiste en seguir su rastro, es decir la representación de la evolución de la aeronave en el espacio aéreo, como proyección sobre el plano estereográfico situado al nivel del mar. Otro dato de importancia mayor en la localización de una aeronave, por lo tanto su rastreo, es la altitud. Los datos que proporciona un PSR por ejemplo, que se tienen en cuenta en la determinación de la posición de una aeronave, no contienen ninguna componente ligada a la altitud: una detección de un PSR puede corresponder a una multitud de altitudes diferentes; recíprocamente, sin el dato de altitud, el objetivo detectado corresponde a una multitud de proyecciones posibles sobre la superficie terrestre. Los datos que proporciona un SSR contienen una componente ligada a la altitud: se trata de la altitud barométrica que proporciona el modo C del transpondedor. No obstante, la altitud barométrica que el modo C transmite y procedente de un altímetro, se da con referencia a la presión estándar al nivel del mar en condiciones normales de presión y de temperatura, esto es: 1013,25 hectoPascal para una temperatura de 15 °C. Pudiendo variar significativamente la presión atmosférica de una zona geográfica a otra zona geográfica relativamente próxima, el dato de la altitud barométrica modo C utilizado en los cálculos debe estar acompañado de una fuerte varianza.

La indeterminación o la varianza en cuanto a la valoración de la altitud de una aeronave repercute en los cálculos de posición, así como en todos los cálculos empleados en un sistema de control del tráfico aéreo, como por ejemplo los cálculos realizados con la finalidad de activar alertas en caso de riesgos de colisiones entre aeronaves. Por lo tanto, es deseable que se aplique una corrección a la altitud barométrica de los radares modo A/C, con el fin de mejorar la precisión de la posición y de reducir la varianza.

Además, para los controladores es útil que conozcan las altitudes geométricas de las aeronaves, o bien altitudes barométricas corregidas en función de las condiciones meteorológicas en las zonas en las que se sitúan las aeronaves. Una altitud barométrica corregida se proporciona con referencia al QNH: el QNH tiene en consideración el valor de presión actual al nivel del mar.

La central de control del tráfico aéreo únicamente efectúa una corrección de los valores de altitud barométrica en función del QNH en la zona en la que se sitúa, es decir típicamente en la zona de aeropuerto, en función de datos que proporcionan servicios meteorológicos. Estos datos se actualizan con una frecuencia muy escasa (por ejemplo: una vez al día): no solo puede llegar a variar de manera significativa en el tiempo la presión en la zona de aeropuerto, entre dos actualizaciones del dato de presión atmosférica por el servicio meteorológico, sino que también puede variar significativamente entre la zona de aeropuerto y una zona distante del aeropuerto, en la zona de interés. Por esta razón, la corrección de altitud barométrica únicamente se realiza efectivamente en las zonas de aeropuerto, para aeronaves que evolucionan a altitudes escasas, es decir a altitudes inferiores a la altitud de transición. En una zona de aeropuerto, el filtro en posición tiene en cuenta la altitud barométrica, y la considera como una altitud geométrica con una varianza asociada aumentada en un valor a tanto alzado que tiene por objeto compensar el máximo de variación de la corrección barométrica.

El documento de los Estados Unidos US 5 402 116 A (ASHLEY ALLAN) utiliza dos emisores-receptores, separados por una distancia fija, que recogen los datos de altitudes y de valores barométricos. Los emisores-receptores con antenas rotativas preguntan a los aviones de paso.

De esta manera, en ausencia de corrección de la altitud barométrica, es decir para las aeronaves situadas en zonas exteriores a las zonas de aeropuerto, el dato de altitud se sesga, más o menos fuertemente, en función de las condiciones atmosféricas. En consecuencia, la evaluación de la precisión del rastreo se hace aleatoria según que las condiciones atmosféricas sean favorables o desfavorables, es decir más o menos próximas a las condiciones atmosféricas estándar. Además, en condiciones atmosféricas favorables, es decir en zonas donde la presión atmosférica está próxima a la presión atmosférica estándar, la componente en altitud se sobre-alisa, lo que degrada la precisión del filtro en posición, en particular cuando el objetivo está en maniobra.

Una finalidad de la presente invención es mitigar los inconvenientes anteriormente citados, proponiendo concretamente un procedimiento adecuado para aplicar a las altitudes barométricas de las aeronaves presentes en una zona de vigilancia, una corrección apropiada en función de las condiciones atmosféricas que rodean a cada una de las aeronaves, con el fin de reducir la varianza en los valores de altitud y, de esta manera, la precisión de los cálculos, sin que servicios meteorológicos proporcionen datos específicos.

Para ello, la invención tiene por objeto un procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves, caracterizado porque comprende las etapas siguientes:

- una etapa previa de división del plano estereográfico que corresponde a una zona de vigilancia en una cuadrícula bidimensional que comprende una pluralidad de celdas;
- una primera etapa de arranque de una ventana temporal de detección de una duración determinada, de detección de informes de tipo ADS-B;

para cada informe de tipo ADS-B recibido durante la ventana temporal de detección:

- una etapa de adquisición y de memorización de los pares (C; H) de valores de altitud barométrica y altitud geométrica procedentes de los informes ADS-B asociados a las celdas que corresponden;

después de la finalización de la ventana temporal de detección:

- una etapa de arranque de una ventana temporal de cálculo de duración determinada;
- una etapa de cálculo de valores (P_0 ; T_0) de presión y de temperatura al nivel del mar para todas las celdas, a partir de todos los pares (C ; H) adquiridos para estas celdas en el transcurso de un período determinado, y de cálculo de una corrección de la altitud barométrica a partir de los valores de temperatura y de presión al nivel del mar calculados, para todos los objetivos que detecta al menos un sensor, en la vertical de las celdas.

En un modo de realización de la invención, el procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves descrito anteriormente puede caracterizarse porque el cálculo de los valores (P_0 ; T_0) de presión y de temperatura al nivel del mar realizado durante la etapa de cálculo al término de la ventana temporal se opera basándose en dos pares (C_i ; H_i) y (C_j ; H_j) de valores adquiridos en el transcurso de la ventana temporal, según las fórmulas siguientes:

$$P_0 = \frac{P_{0\text{estándar}}}{1 - \frac{na(C_j H_i - C_i H_j)}{T_{0\text{estándar}}(C_j - C_i)}},$$

y

$$T_0 = T_{0\text{estándar}} \frac{\left(H_i - \frac{T_{0\text{estándar}}}{a} \left(\frac{P_0 - P_{0\text{estándar}}}{nP_0} \right) \right)}{C_i \left(1 - \left(\frac{P_0 - P_{0\text{estándar}}}{nP_0} \right) \right)}.$$

En un modo de realización de la invención, el procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves descrito anteriormente puede caracterizarse porque dicho al menos un sensor es un radar secundario modo A/C, proporcionando la corrección de la altitud barométrica realizada durante la etapa de cálculo para una detección que proviene de un radar secundario de vigilancia una altitud barométrica corregida según la fórmula siguiente:

$$C_{\text{corr}} = \frac{T_0}{T_{0\text{estándar}}} \left(C \left(\frac{P_{0\text{estándar}}}{P_0} \right)^{\frac{1}{n}} + \frac{T_{0\text{estándar}}}{a} \left(1 - \left(\frac{T_{0\text{estándar}}}{T_0} \right)^{\frac{1}{n}} \right) \right).$$

En un modo de realización de la invención, el procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves descrito anteriormente puede caracterizarse porque los pares (C ; H) de valores memorizados durante la etapa de adquisición y de memorización se suprimen si corresponden a detecciones a niveles de altitud inferiores a un primer umbral determinado y/o superiores a un segundo umbral determinado.

En un modo de realización de la invención, el procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves descrito anteriormente puede caracterizarse porque los dos pares (C_i ; H_i) y (C_j ; H_j) de valores son respectivamente los dos pares que corresponden a las dos detecciones de más baja altitud H geométrica

En un modo de realización de la invención, el procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves descrito anteriormente puede caracterizarse porque la etapa de cálculo comprende además una etapa de verificación de la coherencia de los valores de los pares (C ; H) memorizados para una celda dada, considerándose como coherente un par (C ; H) de valores si la diferencia entre el valor corregido de la altitud C barométrica y la altitud H geométrica es inferior a un umbral determinado o incoherente en el caso contrario; conllevando uno o varios pares de valores considerados como incoherentes la elección de dos pares (C_i ; H_i) y (C_j ; H_j) diferentes.

En un modo de realización de la invención, el procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves descrito anteriormente puede caracterizarse porque se calculan valores (P_0 ; T_0) de presión y de temperatura al nivel del mar durante la etapa de cálculo, para todas las parejas de pares (C ; H) de valores de una celda dada, comprendiendo la etapa de cálculo un cálculo suplementario que proporciona una media de los valores (P_0 ; T_0) calculados y que aplica a la celda el valor (P_0 ; T_0) medio del par.

En un modo de realización de la invención, el procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves descrito anteriormente puede caracterizarse porque la etapa de cálculo comprende un cálculo suplementario de los valores (P_0 ; T_0) de presión y de temperatura al nivel del mar para celdas para las que no se atribuye ningún par de valores (P_0 ; T_0) y yuxtapuestas a al menos un número determinado de celdas adyacentes para las que se han

determinado valores (P_0 ; T_0), atribuyendo el cálculo a las celdas la media baricéntrica de los valores (P_0 ; T_0) de todas las celdas adyacentes.

5 En un modo de realización de la invención, el procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves descrito anteriormente puede caracterizarse porque el número determinado de celdas adyacentes para las que se han determinado valores (P_0 ; T_0) es igual a 4.

En un modo de realización de la invención, el procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves descrito anteriormente puede caracterizarse porque ningún valor (P_0 ; T_0) del par se calcula para una celda dada durante la etapa de cálculo si el número de pares (C ; H) de valores memorizados para esta celda es inferior a un número predeterminado.

10 En un modo de realización de la invención, el procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves descrito anteriormente puede caracterizarse porque el número predeterminado de pares (C ; H) de valores memorizados es igual a 5.

15 En un modo de realización de la invención, el procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves descrito anteriormente puede caracterizarse porque los valores (P_{0n} ; T_{0n}) de presión y de temperatura al nivel del mar para una celda dada, tales como se han calculado durante la etapa de cálculo para una ventana n temporal, experimentan un alisado con los valores (P_{0n-1} ; T_{0n-1}) determinados para la celda para una ventana $n-1$ temporal anterior, atribuyendo el alisado al par de valores (P_0 ; T_0) el valor $\alpha.(P_{0n-1}$; $T_{0n-1}) + (1 - \alpha).(P_{0n}$; $T_{0n})$, siendo α un coeficiente comprendido entre 0 y 1.

20 Finalmente, la invención puede tener por objeto un sistema de control del tráfico aéreo caracterizado porque consta de unos medios que se adaptan para emplear un procedimiento de corrección de la altitud de aeronaves tal como se ha descrito anteriormente según diversos modos de realizaciones de la invención.

Otras características y ventajas de la invención se mostrarán tras la lectura de la descripción, dada a título de ejemplo, hecha respecto a los dibujos adjuntos que representan:

- 25 - la figura 1, un esquema sinóptico de la estructura general de un sistema de control del tráfico aéreo y de los diferentes sensores implicados;
- la figura 2, un ejemplo de curva que representa la corrección aportada a una altitud barométrica para valorar una altitud geométrica, y la repercusión de la corrección sobre la posición de una aeronave que da un radar modo A/C;
- 30 - la figura 3, un ejemplo de división en celdas del plano estereográfico que corresponde a la zona de vigilancia en el marco del control del tráfico aéreo;
- la figura 4, un diagrama de flujo que representa el procedimiento de valoración de altitud de aeronaves según la invención;
- la figura 5, un diagrama que representa una nube de pares de valores de altitudes barométricas y geométricas recibidos en el transcurso de una ventana temporal.

35 La figura 1 presenta un esquema sinóptico de la estructura general de un sistema de control del tráfico aéreo. Una aeronave 100 está en vuelo, es el objetivo de un radar PSR 101 primario de vigilancia montado con un radar SSR 102 secundario de vigilancia en este ejemplo. Una antena 103 omnidireccional es específica para el ADS-B. Un centro 110 de control del tráfico aéreo recoge todos los datos que provienen de los diferentes sensores. El PSR 101 emite una onda hacia la aeronave, y capta un eco de la aeronave 100 cuando esta se encuentra en su campo de visión. El análisis de la onda reflejada permite una valoración de la distancia entre la aeronave 100 y el PSR 101, así como el azimut. El SSR emite una onda, cuando la aeronave 100 la capta, el transpondedor de esta última, en el ejemplo de la figura compatible con el modo A/C, emite a su vez una señal que comprende la distancia y el azimut, así como el dato de identificación de la aeronave, y el dato de altitud barométrica.

45 En el ejemplo de la figura, la aeronave 100 está equipada con un sistema ADS-B. Por lo tanto, emite periódicamente una señal, o informe ADS-B, que contiene información complementaria que proporciona, por ejemplo, un receptor de a bordo de geoposicionamiento por satélite. Entre estos datos complementarios, se encuentran las coordenadas geodésicas de la aeronave 100, según el sistema conocido por el acrónimo de WGS 84, así como su altitud barométrica. De esta manera, cada informe ADS-B comprende, entre otros datos, la altitud H geométrica de la aeronave 100 y su altitud C barométrica.

50 El grado de equipamiento ADS-B de los aviones de compañías aéreas es hoy en día tal que permite cubrir las principales zonas de interés del tráfico aéreo. Una finalidad de la presente invención es memorizar pares de datos de altitudes barométricas y de altitudes geométricas por zonas geográficas y por altitudes geométricas o niveles de vuelo, con el fin de permitir el cálculo, a partir de al menos dos mediciones recientes de pares de este tipo, de la temperatura y de la presión al nivel del mar. Este cálculo permite realizar una cartografía meteorológica de la zona

de interés. Por ejemplo, puede realizarse una división en celdas del plano estereográfico reducido al nivel medio del mar. Para una pluralidad de cálculos, operados basándose en pares (C; H) obtenidos en el transcurso del tiempo de diversas aeronaves, es posible asociar a cada una de las celdas valores de presión y de temperatura al nivel de la tierra. Puede determinarse para una celda dada un par de presión y de temperatura al nivel de la tierra, que en adelante anotaremos como (P₀; T₀), ya que al menos dos pares (C; H) se han obtenido de aeronaves en la vertical de esta celda. El cálculo de los valores (P₀; T₀) puede realizarse a partir de la fórmula siguiente, según el modelo de atmósfera de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) que combina la relación de estado de los gases perfectos y la hipótesis hidrostática:

$$H = \frac{T_0}{T_{0\text{estándar}}} \left(C \left(\frac{P_{0\text{estándar}}}{P_0} \right)^{\frac{1}{n}} + \frac{T_{0\text{estándar}}}{a} \left(1 - \left(\frac{T_{0\text{estándar}}}{T_0} \right)^{\frac{1}{n}} \right) \right) \quad (1),$$

donde:

- H es la altitud geométrica,
- C es la altitud barométrica,
- T₀ es la temperatura al nivel del mar, con T_{0estándar} = 288,15 K,
- P₀ es la presión al nivel del mar, con P_{0estándar} = 1013,25 hPa,
- a es la caída de la temperatura con la altitud; aquí a = 0,0065 °C.m⁻¹,
- n = 5,2561

De esta manera, para una pareja de pares (C; H) anotados como (C_i; H_i) y (C_j; H_j) para registros en la vertical de una misma celda dada, la presión y la temperatura al nivel del mar pueden escribirse como:

$$P_0 = \frac{P_{0\text{estándar}}}{1 - \frac{na(C_j H_i - C_i H_j)}{T_{0\text{estándar}}(C_j - C_i)}} \quad (2),$$

$$T_0 = T_{0\text{estándar}} \frac{\left(H_i - \frac{T_{0\text{estándar}}}{a} \left(\frac{P_0 - P_{0\text{estándar}}}{nP_0} \right) \right)}{C_i \left(1 - \left(\frac{P_0 - P_{0\text{estándar}}}{nP_0} \right) \right)} \quad (3);$$

A partir del momento en que se han determinado para una celda dada valores P₀ y T₀ de presión y de temperatura al nivel del mar, es decir inicializados y validados como se formula a continuación con referencia a las figuras 4 y 5, podrá efectuarse una corrección de la altitud barométrica, por ejemplo para todas las detecciones radar modo A/C identificadas en la vertical de esta celda, como se formula a continuación con referencia a la figura 3. Se entiende, por supuesto, que otros tipos de detecciones identificadas en la vertical de esta celda, por ejemplo que provienen de otros sensores tales como el MLAT o el WAM, podrán experimentar de la misma manera una corrección de la altitud barométrica.

La figura 2 presenta un ejemplo de curva que representa la corrección aportada a una altitud barométrica para valorar una altitud geométrica, y la repercusión de la corrección sobre la posición de una aeronave 100 no representada en esta figura, que da un radar modo A/C. En este ejemplo, una detección real de un radar SSR secundario de vigilancia no representado en la figura, pero del que la antena se sitúa en el origen O de la referencia (O; x; y; z) tridimensional ortonormal, se representa por un punto 201; las coordenadas del punto 201 en la referencia ortonormal son x, y y C. El punto 201 está a una distancia p del SSR, y se registra en un azimut Az, representado en la figura haciendo coincidir el eje de abscisas de la referencia ortonormal con el azimut de referencia del SSR. Además, el punto 201 se registra a una altitud C barométrica. Estos datos se proporcionan en el informe modo A/C, de esta manera esta altitud C se da con referencia a la presión estándar de 1013,25 hPa. Admitiendo que para la celda (no representada en la figura) en la vertical de la que se sitúa el punto 201, se han determinado valores P₀ y T₀, entonces la altitud C barométrica puede experimentar una corrección. La altitud barométrica después de corrección se anota como C_{corr}. C_{corr} se calcula según la relación (1) descrita más arriba:

$$C_{\text{corr}} = \frac{T_0}{T_{0\text{estándar}}} \left(C \left(\frac{P_{0\text{estándar}}}{P_0} \right)^{\frac{1}{n}} + \frac{T_{0\text{estándar}}}{a} \left(1 - \left(\frac{T_{0\text{estándar}}}{T_0} \right)^{\frac{1}{n}} \right) \right) \quad (4).$$

Entonces, es posible reconstruir una detección SSR virtual, representada por un punto 202 virtual, situado asimismo a la distancia ρ del SSR, en el azimut Az , y de la que la altitud es la altitud C_{corr} barométrica corregida. La abscisa y la ordenada del punto 202 virtual se anotan respectivamente como x_{corr} e y_{corr} .

5 Las tres coordenadas del punto 202 difieren de las del punto 201, y su precisión se mejora, ya que la altitud C_{corr} barométrica corresponde al QNH local. De esta manera, todos los cálculos realizados basándose en la posición de la aeronave 100 se realizan a partir de la posición corregida que corresponde al punto 202 virtual, lo que evita propagar en estos cálculos el error introducido por la valoración de la altitud barométrica con referencia a la presión de 1013,25 hPa.

10 La figura 3 presenta un ejemplo del división en celdas del plano estereográfico que corresponde a la zona de vigilancia en el marco del control del tráfico aéreo según la invención. Una cuadrícula 301 puede comprender, por ejemplo, celdas de forma cuadrada, de la misma manera que una celda 302 representada. Las celdas adyacentes a la celda 302 se representan por las referencias 303 a 310. En un ejemplo de realización de la invención, cada celda puede tener un lado de 10 Nm.

15 En un primer ejemplo, una detección de SSR puede situarse en la vertical de la celda 302, para el rastro de una aeronave 100 que no está equipada con un sistema ADS-B. Entonces, la altitud barométrica que da el informe del modo C puede corregirse basándose en los valores P_0 y T_0 de presión y de temperatura determinados para esta celda. Si los valores de P_0 y T_0 no han podido determinarse para esta celda 302, entonces no se aplica ninguna corrección. Ventajosamente, si los valores de P_0 y T_0 no han podido determinarse para la celda 302, pero han podido determinarse valores de presión y de temperatura al nivel del mar para celdas 303 a 309 adyacentes, entonces
20 pueden atribuirse valores P_0 y T_0 por interpolación a la celda 302. Por ejemplo, si se han determinado valores para al menos 4 de las celdas 303 a 309, entonces pueden calcularse valores P_0 y T_0 como el baricentro de todos los valores atribuidos a las celdas adyacentes concernidas.

La figura 4 presenta un organigrama de flujo que representa el procedimiento de valoración de altitud de aeronaves según la invención.

25 En un instante t_0 , arranca una ventana temporal de detección de duración determinada, por la reinicialización de un contador de tiempo. Esta duración puede, por ejemplo, durar 20 minutos. En el transcurso de esta ventana temporal, pueden recibirse informes ADS-B. A la recepción de un informe ADS-B que proviene de una aeronave, una primera etapa 401 tiene como finalidad verificar si están comprendidos en el informe datos de altitud geométrica y de altitud barométrica. Si no es este el caso, entonces no se saca ningún provecho de los datos recibidos.

30 Si unos datos de este tipo están presentes en el informe, entonces una etapa 402 siguiente tiene como finalidad determinar la celda de la cuadrícula 301 bidimensional en la vertical de la que se encuentra la aeronave de la que procede el informe ADS-B, en el momento de su emisión.

35 Durante una etapa 403 siguiente, el par (C; H) adquirido nuevamente se memoriza para la celda considerada, de esta manera se aumenta la memoria asociada a esta celda con un par de valores suplementarios, además de pares de valores eventualmente adquiridos anteriormente en el transcurso de la ventana temporal corriente o bien en el transcurso de ventanas temporales anteriores. Ventajosamente, durante una etapa, no representada en la figura, previa a la etapa 403 de memorización, puede verificarse que el par de valores adquirido nuevamente no presenta una aberración, a causa, por ejemplo, de una disfunción cualquiera. Por ejemplo, puede verificarse que la diferente entre los datos comprendidos en el primer informe ADS-B y los datos comprendidos en uno o unos informes ADS-B
40 anteriores para la misma aeronave, no es más importante que un umbral determinado. Un par que presenta una aberración de este tipo puede discriminarse entonces definitivamente, con el fin de que no genere errores en los cálculos posteriores. Esta discriminación puede realizarse asimismo durante una etapa posterior.

45 De esta manera, se memorizan en el transcurso de la ventana temporal de detección un cierto número de pares (C; H) que provienen de diferentes informes ADS-B para una o una pluralidad de aeronaves. Cuando se termina la ventana temporal corriente, se arranca una ventana temporal de cálculo.

50 En paralelo, los datos adquiridos y memorizados durante el período que acaba de terminarse se procesan durante una etapa 404. La etapa 404 tiene como finalidad calcular los valores P_0 y T_0 para todas las celdas para las que es realizable este cálculo, basándose en las relaciones (2) y (3) formuladas más arriba, y según un método descrito a continuación basándose en un ejemplo, con referencia a la figura 5. Ventajosamente, los cálculos realizados en esta etapa para una celda dada pueden efectuarse únicamente con la condición de que al menos un número determinado de pares (C; H) esté disponible para esta misma celda. De hecho, por una parte, es necesario tener al menos dos pares (C; H) para poder determinar las condiciones de presión y de temperatura al nivel del mar; por otra parte, es preferible tener a disposición un mayor número de pares, con el fin de evitar fundar cálculos en valores aislados, por ejemplo que provienen de una aeronave única, para prevalecer más eficazmente contra aberraciones que tienen
55 como causa una eventual disfunción, por ejemplo de satélites de geoposicionamiento. Ventajosamente, el número mínimo de pares necesarios para la realización de los cálculos puede fijarse, por ejemplo, en 5.

Una vez que se han realizado los cálculos de las condiciones de presión y de temperatura al nivel del mar para todas las celdas posibles, podrán aplicarse las correcciones de altitud barométrica para todas las aeronaves para las que,

por ejemplo, se habrán recibido en la vertical de estas celdas detecciones de radar SSR 102 de vigilancia secundario.

La figura 5 presenta un diagrama que representa una nube de pares de valores de altitudes barométricas y geométricas recibidos en el transcurso de una ventana temporal.

- 5 En interés de la claridad, la figura se limita a una celda 302 dada. Por supuesto, la descripción a continuación se aplica para todas las celdas de la cuadrícula bidimensional que corresponde al espacio aéreo de interés. Además, la descripción a continuación se hace con referencia a un ventana temporal de adquisición de los informes ADS-B, que arranca en el instante t y se termina en el instante $t + \Delta t$. Sean $(P_{0n-1}; T_{0n-1})$ los valores de presión y de temperatura al nivel del mar asociados a la celda 302 en el instante t , procedentes de un cálculo realizado al final de la ventana temporal de detección anterior; sean $(P_{0n}; T_{0n})$ los valores de presión y de temperatura al nivel del mar asociados a la celda 302 en el instante $t + \Delta t$, es decir a la salida de la ventana temporal de detección corriente.

- 15 En el transcurso de la ventana temporal de detección, se han adquirido 6 pares $(C; H)$ de valores en el ejemplo de la figura. Estos valores se anotan como $(C_1; H_1)$ a $(C_6; H_6)$ en el orden cronológico de su adquisición. En un modo de realización, se utilizan solo los pares $(C; H)$ adquiridos en el transcurso del período temporal de detección para el cálculo de $(P_{0n}; T_{0n})$. En un modo alternativo de realización, pueden utilizarse valores adquiridos durante una o varias ventanas temporales anteriores. Ventajosamente, cada par $(C; H)$ de valores puede asociarse a la fecha de recepción del informe ADS-B que corresponde, y un contador de tiempo permite eliminar los pares de valores que han alcanzado una edad determinada, con el fin de que ya no se utilizan más en los cálculos.

- 20 Se utiliza como referencia un primer par $(C; H)$ de valores. Por ejemplo, se utiliza como referencia el par del nivel de altitud geométrica más bajo. En el ejemplo de la figura, se trata del par $(C_2; H_2)$ de valores. Ventajosamente, pueden eliminarse los pares $(C; H)$ de valores que corresponden a altitudes geométricas inferiores a un primer umbral de altitud determinado, con el fin de que no se utilicen en los cálculos, las altitudes más bajas que están sujetas a fenómenos tales como las condiciones de la atmósfera modelo OACI ya no pueden aplicarse aquí como aproximación. De la misma manera, pueden eliminarse pares $(C; H)$ de valores que corresponden a altitudes geométricas superiores a un segundo umbral de altitud determinado.

Se utiliza un segundo par $(C; H)$ de valores en combinación con el primer par de valores, esto es $(C_2; H_2)$ en el ejemplo de la figura, con el fin de calcular el par de valores $(P_{0n}; T_{0n})$. El segundo par $(C; H)$ de valores puede elegirse, por ejemplo, como el segundo par de nivel de altitud geométrica más bajo, esto es el par $(C_3; H_3)$ de valores en el ejemplo de la figura.

- 30 Ventajosamente, puede verificarse que los otros pares $(C; H)$ de valores asociados a la celda 302 presentan valores coherentes. Esta verificación puede realizarse, por ejemplo, aplicando a cada valor de altitud C barométrica de cada par la corrección que impone el par de valores $(P_{0n}; T_{0n})$, y verificando que cada valor C_{corr} que resulta de la corrección está lo suficientemente próximo al valor H que corresponde. Si no es este el caso, entonces puede preverse, por ejemplo, que se elijan, por ejemplo, otros dos pares $(C_5; H_5)$ y $(C_1; H_1)$ de valores, para proceder a un nuevo cálculo de $(P_{0n}; T_{0n})$ y a una nueva verificación con los otros pares $(C; H)$ de valores, y proceder de esta manera hasta que una verificación de este tipo resulte satisfactoria. En un modo alternativo de realización, puede considerarse que se proceda a diferentes cálculos de $(P_{0n}; T_{0n})$ para todas las parejas de pares posibles mediante combinación de los pares $(C; H)$ de valores asociados a la celda, a continuación que se proceda a una media de los valores de presión y de temperatura determinados de esta manera para obtener el par $(P_{0n}; T_{0n})$, o incluso es posible que se conserven únicamente los valores $(P_{0n}; T_{0n})$ determinados para todas las parejas de pares $(C; H)$ de valores posibles con la condición de que estén lo suficientemente próximos a los valores $(P_{0n-1}; T_{0n-1})$ y/o que estén lo suficientemente próximos entre sí. Estas verificaciones permiten concretamente identificar y librarse de eventuales efectos de depresiones que pueden producirse en la vertical de la celda 302, o bien de errores más raros de origen de aviónica que pueden llevar a ciertos informes ADS-B que contienen valores erróneos.

- 45 En todas las situaciones anteriormente citadas que pueden llevar a la imposibilidad de efectuar un cálculo del par de valores $(P_{0n}; T_{0n})$, puede considerarse que no se aplique ninguna corrección a las altitudes barométricas de las detecciones hechas en la vertical de esta celda, o bien que se apliquen los valores $(P_{0n-1}; T_{0n-1})$, acompañados de un aumento de la varianza sobre la amplitud de la corrección.

- 50 Ventajosamente, los valores $(P_{0n}; T_{0n})$ pueden alisarse con respecto a los valores $(P_{0n-1}; T_{0n-1})$, por ejemplo atribuyendo al par de valores $(P_0; T_0)$ un par de valores definido por:

$$\alpha.(P_{0n-1}; T_{0n-1}) + (1 - \alpha).(P_{0n}; T_{0n}); \text{ estando comprendida } \alpha \text{ entre } 0 \text{ y } 1, \text{ y típicamente entre } 0,3 \text{ y } 0,4.$$

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves (100), **caracterizado porque** comprende las etapas siguientes:

- 5 • una etapa previa de división del plano estereográfico que corresponde a una zona de vigilancia en una cuadrícula (301) bidimensional que comprende una pluralidad de celdas (302, 304);
- una primera etapa de arranque de una ventana temporal de detección de una duración determinada, de detección de informes de tipo ADS-B;

para cada informe de tipo ADS-B recibido durante la ventana temporal de detección:

- 10 • una etapa (403) de adquisición y de memorización de los pares (C; H) de valores de altitud barométrica y altitud geométrica procedentes de los informes ADS-B asociados a las celdas que corresponden;

después de la finalización de la ventana temporal de detección:

- 15 • una etapa de arranque de una ventana temporal de cálculo de duración determinada;
- una etapa (404) de cálculo de valores (P₀; T₀) de presión y de temperatura al nivel del mar para todas las celdas, a partir de todos los pares (C; H) adquiridos para estas celdas en el transcurso de un período determinado, y de cálculo de una corrección de la altitud barométrica a partir de los valores de temperatura y de presión al nivel del mar calculados, para todos los objetivos que detecta al menos un sensor, en la vertical de las celdas (302).

20 2. Procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el cálculo de los valores (P₀; T₀) de presión y de temperatura al nivel del mar realizado durante la etapa (404) de cálculo al término de la ventana temporal de cálculo es operado basándose en dos pares (C_i; H_i) y (C_j; H_j) de valores adquiridos en el transcurso de la ventana temporal de detección, según las fórmulas siguientes:

$$P_0 = \frac{P_{0\text{estándar}}}{1 - \frac{na(C_j H_i - C_i H_j)}{T_{0\text{estándar}}(C_j - C_i)}},$$

y

$$T_0 = T_{0\text{estándar}} \frac{\left(H_i - \frac{T_{0\text{estándar}}}{a} \left(\frac{P_0 - P_{0\text{estándar}}}{nP_0} \right) \right)}{C_i \left(1 - \left(\frac{P_0 - P_{0\text{estándar}}}{nP_0} \right) \right)}.$$

25 en las que:

- H es la altitud geométrica,
- C es la altitud barométrica,
- T₀ es la temperatura al nivel del mar, siendo T_{0estándar} = 288,15 K,
- P₀ es la presión al nivel del mar, siendo P_{0estándar} = 1013,25 hPa,
- 30 - a es la caída de la temperatura siendo la altitud; aquí a = 0,0065 °C.m⁻¹,
- n = 5,2561

35 3. Procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves según la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicho al menos un sensor es un radar secundario modo A/C, proporcionando la corrección de la altitud barométrica realizada durante la etapa (404) de cálculo para una detección que proviene de un radar secundario de vigilancia, una altitud barométrica corregida según la fórmula siguiente:

$$C_{\text{corr}} = \frac{T_0}{T_{0\text{estándar}}} \left(C \left(\frac{P_{0\text{estándar}}}{P_0} \right)^{\frac{1}{n}} + \frac{T_{0\text{estándar}}}{a} \left(1 - \left(\frac{T_{0\text{estándar}}}{T_0} \right)^{\frac{1}{n}} \right) \right).$$

4. Procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves según la reivindicación 1, **caracterizado porque** los pares (C; H) de valores memorizados durante la etapa (403) de adquisición y de memorización son

suprimidos si corresponden a detecciones a niveles de altitud inferiores a un primer umbral determinado y/o superiores a un segundo umbral determinado.

5. Procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves según una de las reivindicaciones 2 a 4, **caracterizado porque** los dos pares (C_i ; H_i) y (C_j ; H_j) de valores son respectivamente los dos pares que corresponden a las dos detecciones de altitud H geométrica más baja.
6. Procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves según la reivindicación 5, **caracterizado porque** la etapa (404) de cálculo comprende además una etapa de verificación de la coherencia de los valores de los pares (C ; H) memorizados para una celda (302) dada, considerándose como coherente un par (C ; H) de valores si la diferencia entre el valor corregido de la altitud C barométrica y la altitud H geométrica es inferior a un umbral determinado o incoherente en el caso contrario; conllevando uno o varios pares de valores considerados como incoherentes la elección de dos pares (C_i ; H_i) y (C_j ; H_j) diferentes.
7. Procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves según la reivindicación 1, **caracterizado porque** se calculan valores (P_0 ; T_0) de presión y de temperatura al nivel del mar durante la etapa (404) de cálculo, para todas las parejas de pares (C ; H) de valores de una celda (302) dada, comprendiendo la etapa (404) de cálculo un cálculo suplementario que proporciona una media de los valores (P_0 ; T_0) calculados y que aplica a la celda (302) el valor (P_0 ; T_0) medio del par.
8. Procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la etapa (404) de cálculo comprende un cálculo suplementario de los valores (P_0 ; T_0) de presión y de temperatura al nivel del mar para celdas para las que no se atribuye ningún par de valores (P_0 ; T_0) y yuxtapuestas a al menos un número determinado de celdas adyacentes para las que se han determinado valores (P_0 ; T_0), atribuyendo el cálculo a las celdas la media baricéntrica de los valores (P_0 ; T_0) de todas las celdas adyacentes.
9. Procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves según la reivindicación 8, **caracterizado porque** el número determinado de celdas adyacentes para las que se han determinado valores (P_0 ; T_0) es igual a 4.
10. Procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** ningún valor (P_0 ; T_0) del par es calculado para una celda (302) dada durante la etapa (404) de cálculo si el número de pares (C ; H) de valores memorizados para esta celda (302) es inferior a un número predeterminado.
11. Procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves según la reivindicación 10, **caracterizado porque** el número predeterminado de pares (C ; H) de valores memorizados es igual a 5.
12. Procedimiento de corrección de la altitud barométrica de aeronaves según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los valores (P_{0n} ; T_{0n}) de presión y de temperatura al nivel del mar para una celda (302) dada, tales como se han calculado durante la etapa (404) de cálculo para una ventana n temporal, experimentan un alisado con los valores (P_{0n-1} ; T_{0n-1}) determinados para la celda (302) para una ventana $n-1$ temporal anterior, atribuyendo el alisado al par de valores (P_0 ; T_0) el valor $\alpha.(P_{0n-1}; T_{0n-1}) + (1 - \alpha).(P_{0n}; T_{0n})$, siendo α un coeficiente comprendido entre 0 y 1.
13. Sistema de control del tráfico aéreo **caracterizado porque** consta de unos medios que son adaptados para implementar un procedimiento de corrección de la altitud de aeronaves según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

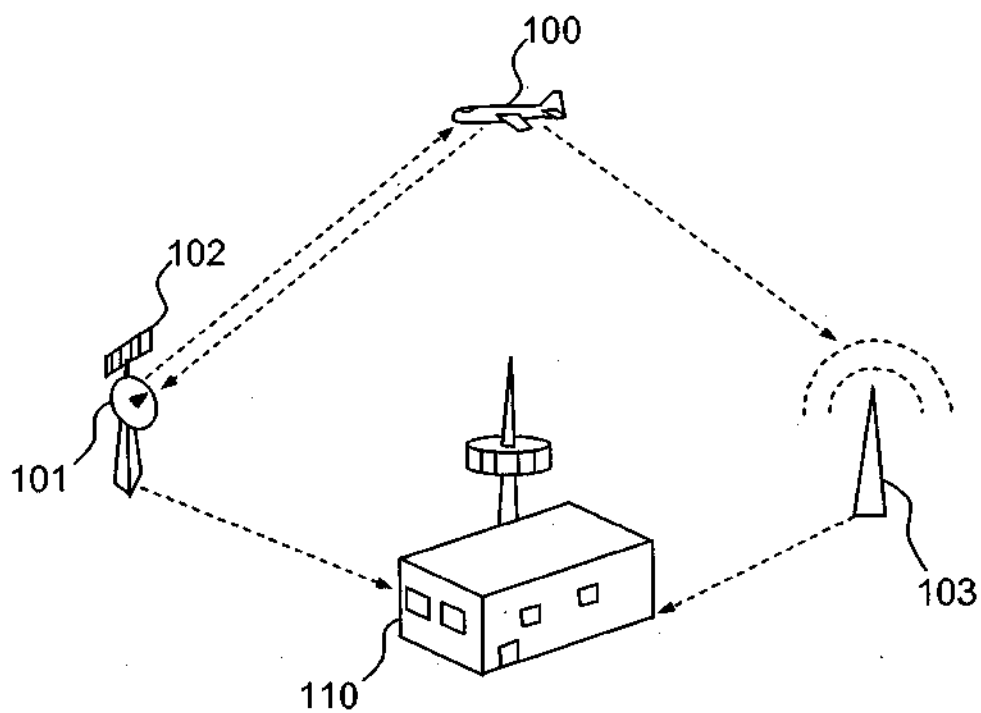


FIG.1

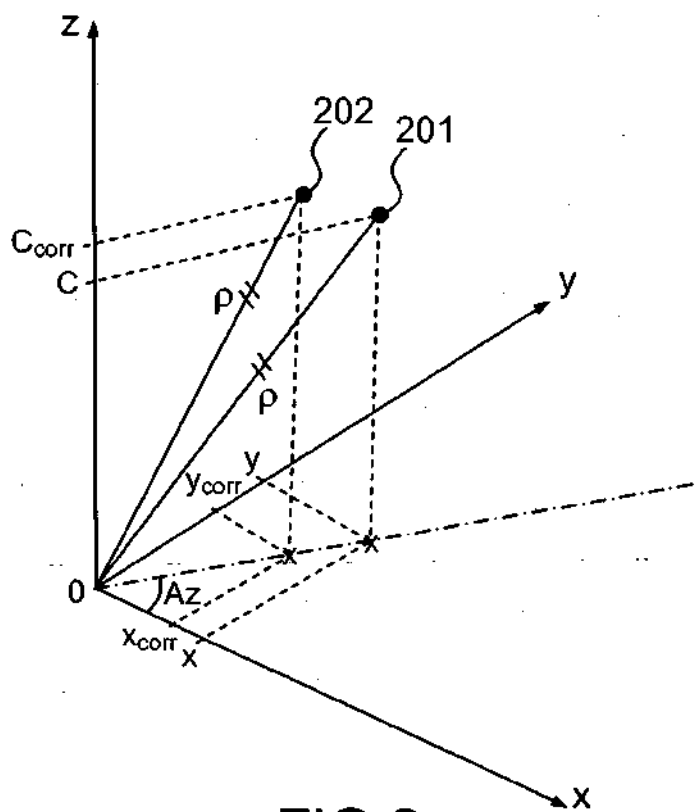


FIG.2

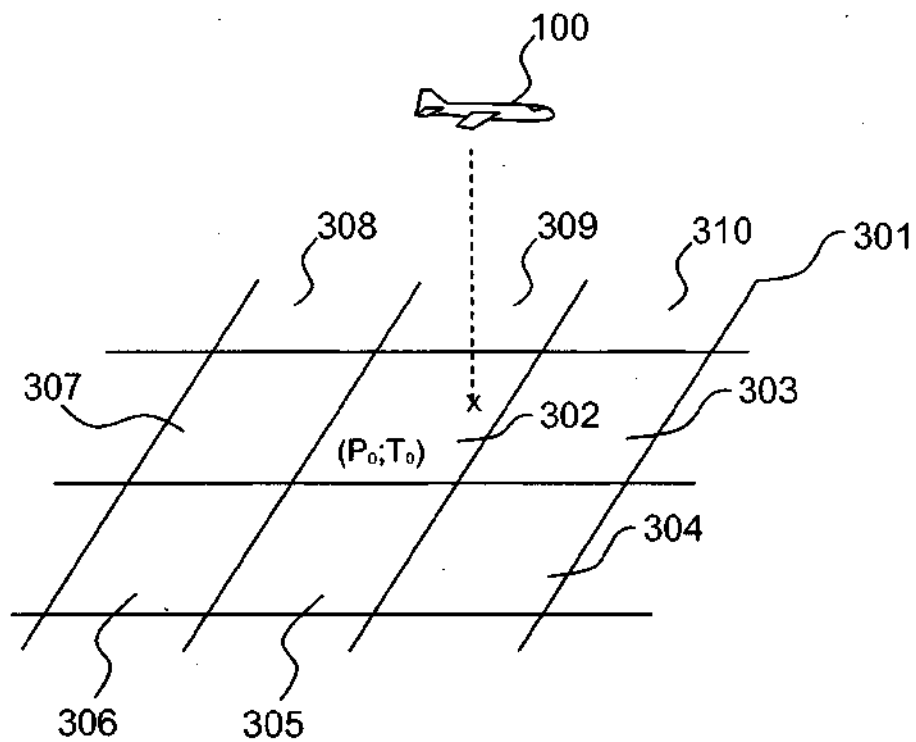


FIG.3

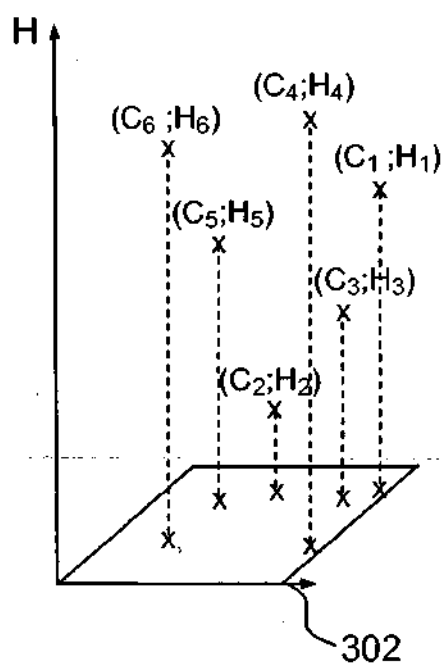


FIG.5

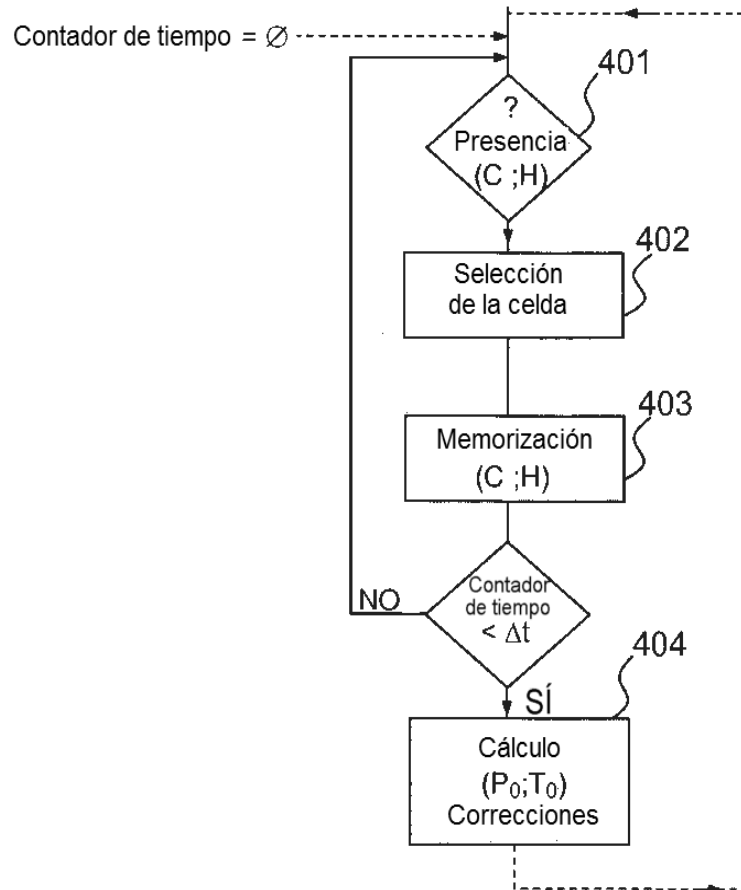


FIG.4