

⑫ DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 27.04.93.

③③ Priorité :

④③ Date de la mise à disposition du public de la demande : 04.11.94 Bulletin 94/44.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

⑥③ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦① Demandeur(s) : SOCIETE D'APPLICATION  
GENERALES D'ELECTRICITE ET DE MECANIQUE  
SAGEM — FR.

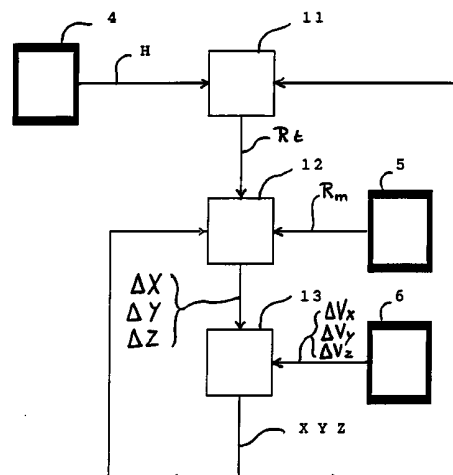
⑦② Inventeur(s) : Dardelet Hervé et Martin Laurent.

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire : Bloch & Associés Conseils en propriété industrielle.

⑤④ Procédé de navigation pour aéronef, à l'aide d'une carte électronique de terrain.

⑤⑦ Procédé de détermination de la position vraie d'un aéronef à l'aide d'une carte numérisée (5) du relief (3) survolé, d'une radiosonde (4) et d'une centrale inertielle (6), dans lequel on détermine, à l'aide de la centrale inertielle (6), une altitude (Z) de l'aéronef et, à l'aide de la radiosonde (4), la hauteur (H) de l'aéronef au-dessus du relief (3), on déduit, de l'altitude (Z) et de la hauteur (H), une altitude calculée (Rt) du relief (3), on compare (COR) l'altitude calculée (Rt) du relief (3) et celle (Rm) de sa représentation numérisée (5) et on en déduit un écart tridimensionnel de position ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) pour obtenir la position horizontale (X, Y) et l'altitude (Z) vraies de l'aéronef, procédé dans lequel on déduit l'altitude calculée (Rt) du relief (3) de la hauteur (H) et de l'altitude (Z) vraie de l'aéronef, qu'on détermine directement à l'aide de la centrale (6) en tenant compte de l'écart d'altitude ( $\Delta Z$ ).



PROCEDE DE NAVIGATION POUR AERONEF,  
A L'AIDE D'UNE CARTE ELECTRONIQUE DE TERRAIN

5 La présente invention concerne un procédé de  
détermination de la position vraie en longitude,  
latitude et altitude d'un aéronef survolant un relief, à  
l'aide d'une représentation tridimensionnelle numérisée  
10 du relief, d'une radiosonde et d'une centrale inertielle  
embarquées à bord, dans lequel, par segment de  
trajectoire et pour une suite de points sur chaque  
segment, on détermine, à l'aide de la centrale  
inertielle, une altitude de l'aéronef et, à l'aide de la  
15 radiosonde, la hauteur de l'aéronef au-dessus du relief,  
on déduit, de l'altitude déterminée à l'aide de la  
centrale et de la hauteur de l'aéronef, une altitude  
calculée du relief, on procède à la corrélation entre  
l'altitude calculée du relief et celle de sa  
20 représentation numérisée et on en déduit, pour chaque  
segment de trajectoire, un écart tridimensionnel de  
position pour obtenir la position horizontale et  
l'altitude vraies de l'aéronef.

Pour déterminer sa position, le pilote d'un aéronef, et,  
25 en particulier, celui d'un avion, dispose d'une centrale  
inertielle, mesurant l'orientation et l'accélération de  
l'avion et fournissant la valeur de la vitesse  
horizontale de l'avion et son orientation, desquelles,  
par intégration, on calcule la position horizontale de  
30 l'avion.

Bien que réalisée avec des composants de grande  
précision, une centrale inertielle dérive dans le temps  
et la position calculée s'écarte progressivement de la  
35 position réelle. Limiter cette dérive implique la  
réalisation de centrales inertielles très coûteuses

dont, cependant, les performances, après un long trajet, peuvent rester insuffisantes.

5 Par ailleurs, une centrale inertielle, bien que prenant en compte les accélérations selon trois axes orthogonaux pour calculer la vitesse dans les trois dimensions, ne peut pas fournir seule une indication d'altitude fiable, en raison de la nature du champ gravitationnel terrestre.

10 En effet, contrairement à la position calculée dans le plan horizontal, qui dérive de façon sensiblement linéaire, une valeur de l'altitude, calculée de façon semblable, divergerait lentement, mais de façon exponentielle, de la valeur vraie.

15 Pour cependant disposer d'une valeur d'altitude, on utilise un baro-altimètre fournissant une altitude "pression". Une telle détermination d'altitude est cependant imprécise puisqu'elle dépend des conditions météorologiques générales (QNH du jour) et locales (effet du relief survolé, fronts thermiques ou autres).

20 Partant de la valeur de l'altitude "pression" fournie par un baro-altimètre à un instant donné, on peut, pour un instant ultérieur proche, la corriger d'après les variations de vitesse verticale fournies par la centrale inertielle entre les deux instants. Cependant, même si la valeur de vitesse verticale fournie par la centrale inertielle n'a pas le temps de diverger, l'imprécision barométrique de base demeure dans l'altitude "baro-inertielle" ainsi obtenue.

35 De plus, une panne de baro-altimètre est considérée comme étant particulièrement grave au plan de la

sécurité, au point que, en pareil cas, tout décollage est interdit.

5 Il existe bien des radiosondes, qui indiquent la distance verticale entre un aéronef et le terrain qu'il survole, mais encore faut-il, pour en déduire l'altitude de l'aéronef, connaître sa position horizontale précise et disposer d'une représentation tridimensionnelle numérisée du relief.

10

On connaît déjà un procédé de détermination de la position horizontale vraie d'un aéronef de type mentionné ci-dessus, dans lequel on déduit l'erreur horizontale de la position fournie par la centrale inertielle à partir de la corrélation sur le profil survolé entre, d'une part, l'altitude du relief enregistrée dans la représentation tridimensionnelle numérisée du terrain survolé, et, d'autre part, l'altitude du relief survolé calculée à partir de la hauteur de l'aéronef et de son altitude "baro-inertielle".

20

Cependant, comme expliqué plus haut, la valeur d'altitude fournie par la centrale inertielle seule diverge de la valeur vraie, si bien qu'il faut utiliser l'altitude "baro-inertielle" pour le relevé du profil utilisé lors de la corrélation, c'est-à-dire l'altitude inertielle fournie par la centrale corrigée par des mesures provenant d'un baro-altimètre, pour disposer d'une altitude calculée. Ce dernier est cependant imprécis et sujet au bruit, si bien que l'altitude "baro-inertielle" calculée, considérée par le pilote comme l'altitude vraie, est obtenue à partir d'une valeur peu bruitée mais lentement divergente, fournie par la centrale, corrigée par une valeur imprécise et bruitée fournie par le baro-altimètre.

35

La présente invention vise à pallier cet inconvénient.

5 A cet effet, l'invention concerne un procédé du type mentionné ci-dessus, caractérisé par le fait qu'on déduit l'altitude calculée du relief de la hauteur de l'aéronef et de l'altitude vraie de l'aéronef, qu'on détermine directement à l'aide de la centrale en tenant compte de l'écart d'altitude.

10 Ainsi, il n'est nul besoin de disposer d'un baro-altimètre : grâce à la localisation horizontale précise obtenue après corrélation, l'altitude fournie par la centrale inertielle est corrigée cycliquement en fonction des altitudes, très précises, fournies par la  
15 représentation numérisée. La divergence verticale de la centrale inertielle devient négligeable lorsque la période du cycle correctif est suffisamment petite, de sorte que l'altitude ainsi calculée est d'une très grande précision.

20 En d'autres termes, on remplace la précision médiocre d'un baro-altimètre par celle, théoriquement parfaite, de la représentation numérisée, ou carte électronique de terrain. De plus, si le procédé est appliqué cyclique-  
25 ment, les corrections successives d'altitude correspondent en pratique, au signe près, à la divergence de la centrale inertielle, qui est ainsi déterminée avec précision et peut même être en grande partie prédite par extrapolation. L'altitude calculée pour un cycle  
30 ultérieur du procédé est ainsi très proche de l'altitude vraie.

Avantageusement, pour effectuer la corrélation mentionnée ci-dessus, on utilise un maillage régulier du  
35 relief dans le plan horizontal, correspondant au pas de la numérisation de la carte électronique de terrain, on

détermine, à partir de la trajectoire fournie par la centrale, les altitudes successives de l'aéronef à chaque franchissement de maille, on détermine, dans le plan du maillage, une trajectoire fictive, passant par les noeuds du maillage les plus proches de la trajectoire fournie par la centrale, on associe les altitudes calculées correspondantes du relief survolé à des points particuliers d'intersection du maillage et, entraînant en balayage en translation fictive la trajectoire fictive sur d'autres noeuds du maillage, on procède, pour chaque position de balayage, à la corrélation entre les altitudes calculées du relief et les altitudes des points particuliers des mailles balayées, fournies par la représentation numérisée, on détermine la trajectoire fictive optimale pour laquelle la corrélation est maximale, qui est celle se rapprochant le mieux de la trajectoire réelle, et on en déduit la correction horizontale et verticale à appliquer à la trajectoire tridimensionnelle fournie par la centrale inertielle.

La période du cycle de correction de la trajectoire inertielle est alors déterminée par le nombre d'échantillons considérés, c'est-à-dire par le nombre de mailles à franchir nécessaire pour chaque calcul de corrélation. Ce nombre résulte d'un compromis entre, d'une part la longueur minimale du segment de trajectoire à prendre en compte pour la corrélation, et, d'autre part, la durée maximale tolérable de navigation inertielle sans correction.

Avantageusement encore, pour déterminer une trajectoire fictive optimale, on retranche, des altitudes calculées du relief et des altitudes de la représentation numérisée, leur valeur moyenne respective, avant de procéder à la corrélation.

La précision de la détermination de position est encore améliorée si, ayant déterminé une trajectoire fictive optimale, on définit, par interpolation avec les trajectoires fictives voisines, une courbe de  
5 corrélation dont on détermine un extremum auquel on fait correspondre une trajectoire quasi-réelle.

En particulier, on peut effectuer l'interpolation à partir des valeurs calculées de la corrélation pour  
10 ladite trajectoire fictive optimale et pour lesdites trajectoires fictives voisines.

Avantageusement, on procède sur la valeur de l'altitude et sur des valeurs associées de longitude et de latitude déterminées à l'aide de la centrale inertielle, à un  
15 filtrage de Kalman prenant en compte lesdits écarts d'altitude ainsi que les écarts de longitude et de latitude associés, et on restreint ledit balayage à une zone d'incertitude, autour de l'aéronef, déterminée par  
20 une fonction de la covariance du filtre de Kalman, donnant la taille de la zone d'incertitude à l'intérieur de laquelle la probabilité de présence de l'aéronef est supérieure à une valeur donnée. De cette façon, on limite la charge de calcul liée à la recherche.

25 On effectue ainsi une mise à jour itérative des positions horizontale et verticale, intégrant les corrections passées.

30 Le filtrage de Kalman est exposé dans les ouvrages "Navigation inertielle optimale et filtrage statistique", P. FAURRE et autres, Ed. DUNOD, PARIS et "Le Filtrage et ses applications", Labarrère, Ed. CEPADUES, TOULOUSE, FRANCE.

35

L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description suivante du mode de mise en oeuvre préféré du procédé selon l'invention, en référence au dessin annexé, sur lequel :

5

- la figure 1 représente un avion survolant un relief,

10

- la figure 2 est un schéma par blocs illustrant les étapes pour la mise en oeuvre du procédé de l'invention,

15

- la figure 3 est une vue en plan d'une représentation tridimensionnelle du relief survolé, avec une zone d'incertitude autour d'une position instantanée calculée de l'avion, et

20

- la figure 4 illustre un procédé d'interpolation pour déterminer la position précise de la trajectoire de l'avion.

25

A bord d'un avion 1, dont la position doit être déterminée avec précision par rapport à la terre, ou un ellipsoïde de référence 2 représenté sur la figure 1, on dispose d'une radiosonde 4 fournissant un signal H représentant la distance verticale, ou hauteur, entre l'avion 1 et un relief de terrain 3 survolé.

30

On dispose par ailleurs, comme expliqué plus loin, d'un signal Z représentant l'altitude de l'avion 1 par rapport à l'ellipsoïde de référence 2.

35

Dans une étape initiale 11 du procédé, le signal H est retranché du signal Z, ce qui fournit une altitude instantanée calculée  $Z_t$  du relief survolé 3, qui est mémorisée.



Cette opération est répétée en fonction d'un critère exposé ci-après, ce qui fournit une suite mémorisée des altitudes calculées  $Z_t$  du relief survolé 3, c'est-à-dire le profil du relief calculé  $R_t$ .

5

On dispose aussi, à bord de l'avion 1, d'une représentation tridimensionnelle numérisée 5 du relief 3 ou modèle numérique de terrain, décrivant le relief 3 survolé, ou susceptible de l'être. Cette représentation numérique est discrétisée suivant un maillage horizontal régulier 19 du terrain survolé selon des pas déterminés en longitude et latitude, la valeur numérique de l'altitude du relief étant indiquée pour chaque noeud 22 du maillage.

15

Le critère de mémorisation d'une valeur instantanée d'altitude calculée  $Z_t$  est le fait que l'avion 1 franchisse depuis la dernière mémorisation soit une distance Nord/Sud égale au pas de maillage en latitude du terrain numérisé, soit une distance Est/Ouest égale au pas de maillage en longitude du terrain numérisé. L'information de position en latitude  $X$  et longitude  $Y$  de l'avion 1 est fournie de façon continue, comme expliqué plus loin, ce qui permet d'engendrer un ordre de mémorisation, correspondant à des positions 21, lorsque la variation de position en latitude ( $X$ ) ou en longitude ( $Y$ ) depuis la dernière mémorisation de la trajectoire estimée ( $X, Y$ ) 20 est égale au pas de maillage respectivement en latitude ou en longitude du terrain numérisé.

30

On procède alors, lors de l'étape suivante 12, à une recherche de corrélation maximale entre le profil du relief de terrain calculé  $R_t$ , suite des valeurs d'altitude calculée  $Z_t$  du relief 3 selon la trajectoire 20 mémorisée par points, de position imprécise, et des

35

5 profils précis  $R_m$  de relief fournis par la  
représentation tridimensionnelle 5 et correspondant  
chacun à une trajectoire horizontale supposée possible,  
quasi-réelle, comme 25, parallèle à la trajectoire  
estimée 20, mesurée et mémorisée.

10 Pour cela, on remplace la trajectoire estimée 20 de  
l'avion 1, projetée sur un plan horizontal, par une  
trajectoire approchée 23 quantifiée, formée d'une suite  
quantifiée de  $N-1$  vecteurs horizontaux.

15 Ainsi, la trajectoire quantifiée 23, horizontale,  
comporte des points quantifiés 230 de positions définies  
chacune par l'un des noeuds 22 du maillage, à savoir  
celui le plus proche des positions mémorisées 21 de la  
trajectoire estimée 20, et c'est à chacun de ces points  
quantifiés 230 qu'est associée l'altitude calculée  $Z_t$   
élaborée pour la position voisine 21 mémorisée.

20 Pour rechercher le maximum, ou optimum, de corrélation,  
le segment de trajectoire quantifiée 23, représenté par  
ses points quantifiés 230, est translaté horizontalement  
en des positions telles que 26, de façon telle que son  
point de départ 240 occupe successivement, sur la  
25 représentation tridimensionnelle 5, les différents  
noeuds du maillage, comme 260, compris dans une zone  
d'incertitude 28 entourant la position  $(X, Y)$  supposée  
de début de la trajectoire 20 de l'avion 1. Cette zone  
d'incertitude 28 est définie plus loin.

30 Pour chaque position 260 occupée à l'intérieur de l'aire  
d'incertitude 28 par le point de départ 240 de la  
trajectoire quantifiée 23 translatée, on compare la  
suite des altitudes calculées  $Z_t$  des points quantifiés  
35 230 et la suite des altitudes  $Z_m$ , ou le profil de relief  
 $R_m$ , déterminée à partir de la représentation

tridimensionnelle 5, pour la translation de trajectoire considérée.

5 Pour effectuer cette recherche de maximum de corrélation, on ramène à une valeur moyenne nulle, ici, les références d'altitude du relief calculé  $R_t$  et du relief  $R_m$  fourni par la représentation tridimensionnelle numérisée 5 et on détermine des altitudes relatives  $Z't_i$  et  $Z'm_i$  en retranchant à chacune des altitudes ci-dessus  
10 la valeur moyenne d'altitude de la suite à laquelle elle appartient, selon les deux formules :

$$15 \quad Z't_i = Z_{ti} - \frac{\sum_{j=1}^{j=N} Z_{tj}}{N}$$

$$\text{et } Z'm_i = Z_{mi} - \frac{\sum_{j=1}^{j=N} Z_{mj}}{N}$$

20

avec :

$Z't_i$  : altitude relative du relief 3 calculée pour le  
25 noeud du maillage de rang  $\underline{i}$  dans la suite des mesures,

$Z_{ti}$  : altitude absolue du relief 3 calculée pour le noeud de rang  $\underline{i}$ ,

30  $N$  : nombre de valeurs d'altitude  $Z_t$  mémorisées pour la corrélation sur le segment de trajectoire considéré,

35  $Z'm_i$  : altitude relative du relief 3 relevée sur la carte électronique de terrain pour le noeud de rang  $\underline{i}$ ,

-11-

$Z_{mi}$  : altitude absolue du relief 3 relevée sur la  
carte électronique de terrain pour le noeud de  
rang  $i$

5  $i$  et  $j$  : entiers variant de 1 à N

On calcule ensuite et mémorise la valeur d'une fonction  
de corrélation COR qui est la somme des modules des  
différences d'altitude relative entre les points  
10 quantifiés 230 et les positions quantifiées 24  
homologues par translation de même rang, selon la  
formule :

$$15 \quad \text{COR} = \sum_{i=1}^{i=N} |Z'_{ti} - Z'_{mi}|$$

On comprendra que chaque terme de la somme ci-dessus  
pourrait apparaître sous forme d'une puissance positive,  
entière ou non, de ce terme.

20

Le point de départ 240 de la trajectoire quantifiée 23  
ayant occupé, pour les calculs ci-dessus, tous les  
noeuds du maillage à l'intérieur de la zone  
d'incertitude 28, on retient la position de départ 260  
25 fournissant le meilleur résultat de corrélation (32),  
c'est-à-dire le minimum de la fonction COR pour la  
trajectoire fictive optimale 26. On comprendra que  
l'utilisation d'un algorithme détectant le gradient de  
la fonction COR permettrait de converger vers la  
30 position quantifiée optimale sans devoir tester toutes  
les positions possibles.

Pour encore améliorer la détermination de la position  
optimale, en limitant l'effet de quantification du  
35 maillage, on retient aussi les positions quantifiées  
voisines entourant la position 260 la meilleure (32),

ici les quatre positions ayant la même longitude (31, 33) ou la même latitude (35, 36) que celle-ci. On dispose ainsi de deux triplets de valeurs de la fonction COR correspondant à des positions alignées horizontalement sur un même parallèle ou méridien et régulièrement espacées.

La figure 4 montre l'un de ces triplets 31, 32 et 33, les longitudes Y étant portées en abscisse et la valeur de la corrélation COR étant portée en ordonnée.

On détermine pour chaque triplet, par interpolation, la position précise (34) du minimum de la fonction COR, entre deux des points du triplet (31, 32, 33) en déterminant la position du sommet d'une parabole (30) ayant, à son passage aux trois positions quantifiées (31, 32, 33), la valeur COR correspondante. La parabole 30 fournit, ici, une approximation suffisante de l'allure de la fonction COR. Les longitude 34 et latitude 37 des sommets des deux paraboles comme 30 correspondent respectivement à la longitude et la latitude recherchée de la position de départ vraie 250 de la trajectoire vraie 25 de l'avion 1.

Connaissant la position de départ 250 de la trajectoire vraie 25, donc aussi les positions vraies sur la totalité de son parcours, on calcule des écarts  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  et  $\Delta Z$  qui sont des corrections à apporter à la position préalablement connue. Les écarts  $\Delta X$  et  $\Delta Y$  sont calculés par différence entre les coordonnées homologues, dans le plan horizontal, de la position de départ estimée avant corrélation (200) et de la position vraie déterminée après corrélation (250).

L'écart d'altitude  $\Delta Z$  est égal à la différence entre la valeur moyenne des altitudes  $Z_m$  sur la trajectoire vraie

quantifiée 26 fournies par la représentation tridimensionnelle 5 et la valeur moyenne des altitudes calculées  $Z_t$ .

$$5 \quad \Delta Z = \frac{1}{N} \left[ \sum_{j=1}^N Z_{mj} - \sum_{j=1}^N Z_{tj} \right]$$

10 L'écart  $\Delta Z$  ci-dessus est global pour toute la suite de positions mesurées.

Dans une étape 13, on utilise les écarts de position  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  et  $\Delta Z$  pour corriger les informations de position X, Y, Z utilisées pour l'étape 11, fournies par un filtre de navigation.

Le filtre de navigation est un bloc de calcul dans lequel a été mémorisée la position de départ de l'avion 1, au sol, et qui reçoit, d'une centrale inertielle 6 de l'avion 1, des valeurs d'incrément de vitesse  $\Delta V_x$ ,  $\Delta V_y$  et  $\Delta V_z$ , dans les directions correspondant respectivement à la latitude, la longitude et l'altitude. Par intégration, le filtre de navigation tient à jour la position de l'avion 1 et en fournit aussi la vitesse.

Les écarts  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  et  $\Delta Z$ , fonction des résultats d'observations extérieures, sont aussi fournis au filtre de navigation pour qu'il corrige la position de l'avion 1 et, en particulier, compense la dérive de la centrale inertielle 6.

Le filtre de navigation effectue un filtrage de Kalman en utilisant un vecteur d'état défini à partir des variables de position X, Y et Z et de leurs dérivées temporelles. De plus, le vecteur d'état comprend des

paramètres d'erreur, tels que les biais accélérométriques, les dérives gyroscopes de la centrale inertielle 6 et ses attitudes, c'est-à-dire l'erreur de stabilisation de la centrale 6.

5

Le filtre de Kalman permet de suivre l'évolution temporelle, ou équation d'état, du vecteur d'état et ainsi de déterminer les pondérations respectives des diverses causes d'erreur. Il détermine également, pour  
10 chaque valeur estimée du vecteur d'état, une variance associée donnant, pour une probabilité donnée, l'incertitude maximale sur l'estimation du vecteur d'état. Ainsi, pour une probabilité donnée, il fournit  
15 une valeur d'erreur maximale qui, ici, permet de déterminer la taille de la zone d'incertitude 28 en longitude et latitude, utilisée à l'étape 12.

Si, à l'étape 12, la position de l'optimum de corrélation COR est en limite de la zone d'incertitude  
20 28, on élargit celle-ci en choisissant une probabilité cumulée plus proche de la valeur 1, et l'on effectue une recherche complémentaire de trajectoire fictive optimale.

25 Il peut aussi être prévu de ne pas effectuer de correction de position horizontale ou verticale, et d'attendre une suite ultérieure de nouvelles mesures, si la correction de position est d'amplitude démesurée par rapport soit aux corrections de position précédentes,  
30 soit à la taille de la zone d'incertitude 28, c'est-à-dire que sa véracité est associée à une probabilité trop faible. Le filtre de Kalman fournit alors des valeurs prévisionnelles maximales de correction servant de seuil de décision pour accepter ou refuser une correction de  
35 position.

## REVENDEICATIONS

1. Procédé de détermination de la position vraie en latitude, longitude et altitude d'un aéronef survolant un relief (3), à l'aide d'une représentation tridimensionnelle numérisée (5) du relief (3), d'une radiosonde (4) et d'une centrale inertielle (6) embarquées à bord, dans lequel, par segment de trajectoire et pour une suite de points sur chaque segment, on détermine, à l'aide de la centrale inertielle (6), une altitude (Z) de l'aéronef et, à l'aide de la radiosonde (4), la hauteur (H) de l'aéronef au-dessus du relief (3), on déduit, de l'altitude (Z) déterminée à l'aide de la centrale (6) et de la hauteur (H) de l'aéronef, une altitude calculée (Rt) du relief (3), on procède à la corrélation (COR) entre l'altitude calculée (Rt) du relief (3) et celle (Rm) de sa représentation numérisée (5) et on en déduit, pour chaque segment de trajectoire, un écart tridimensionnel de position ( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ) pour obtenir la position horizontale (X, Y) et l'altitude (Z) vraies de l'aéronef, procédé caractérisé par le fait qu'on déduit l'altitude calculée (Rt) du relief (3) de la hauteur (H) de l'aéronef et de l'altitude (Z) vraie de l'aéronef, qu'on détermine directement à l'aide de la centrale (6) en tenant compte de l'écart d'altitude ( $\Delta Z$ ).

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel on utilise un maillage (19) régulier dans le plan horizontal de la représentation numérisée du relief (5), on détermine des altitudes (Z) de l'aéronef à toutes les intersections de maille à partir de la trajectoire calculée par la centrale inertielle (20), on détermine, dans le plan du maillage, une trajectoire fictive (23), passant par les noeuds du maillage (22) les plus proches de la trajectoire calculée (20), on associe les



altitudes calculées correspondantes du relief (Rt) à des points particuliers (24 ; 230) des noeuds correspondants et, entraînant en balayage en translation la trajectoire fictive (23) sur d'autres noeuds du maillage, on procède, pour chaque position de balayage, à la corrélation entre les altitudes calculées du relief (Rt) et les altitudes (Rm), fournies par la représentation numérisée (5), des points particuliers (24) correspondant aux noeuds de maille balayés.

5

10

3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel, pour déterminer une trajectoire fictive optimale (26 ; 260), on retranche, des altitudes calculées du relief (Rt) et des altitudes (Rm) de la représentation numérisée (5), leurs valeurs moyennes, avant de procéder à la corrélation.

15

4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel, ayant déterminé une trajectoire fictive optimale (26, 260), on définit, par interpolation avec des points particuliers voisins (31, 33 ; 35, 36), une courbe de corrélation (30) dont on détermine un extremum (250) auquel on fait correspondre une trajectoire quasi-réelle (25).

20

5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel on procède à l'interpolation à partir de valeurs calculées de la corrélation (COR) pour ladite trajectoire fictive optimale (32 ; 260) et pour lesdits points particuliers (31, 33 ; 35, 36).

25

30

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel on procède, sur la valeur de l'altitude (Z) déterminée à l'aide de la centrale inertielle (6), à un filtrage de Kalman prenant en compte lesdits écarts d'altitude ( $\Delta Z$ ).

35

7. Procédé selon l'une des revendications 2 à 5, dans lequel on procède, sur la valeur de l'altitude (Z) et sur des valeurs associées de latitude et de longitude (X, Y) déterminées à l'aide de la centrale inertielle (6), à un filtrage de Kalman prenant en compte lesdits écarts d'altitude ( $\Delta Z$ ) ainsi que des écarts de latitude et de longitude ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ) associés, et on restreint ledit balayage à une zone d'incertitude (28), autour de l'aéronef, déterminée par une fonction des covariances du filtre de Kalman, donnant la probabilité pour que l'aéronef passe à la verticale de ladite zone d'incertitude (28).

8. Procédé selon les revendications 3 et 7, dans lequel on élargit la zone d'incertitude (28) lorsqu'une trajectoire fictive optimale (26) ne peut pas être déterminée et l'on effectue une recherche complémentaire de trajectoire fictive optimale.

20

25

30

35

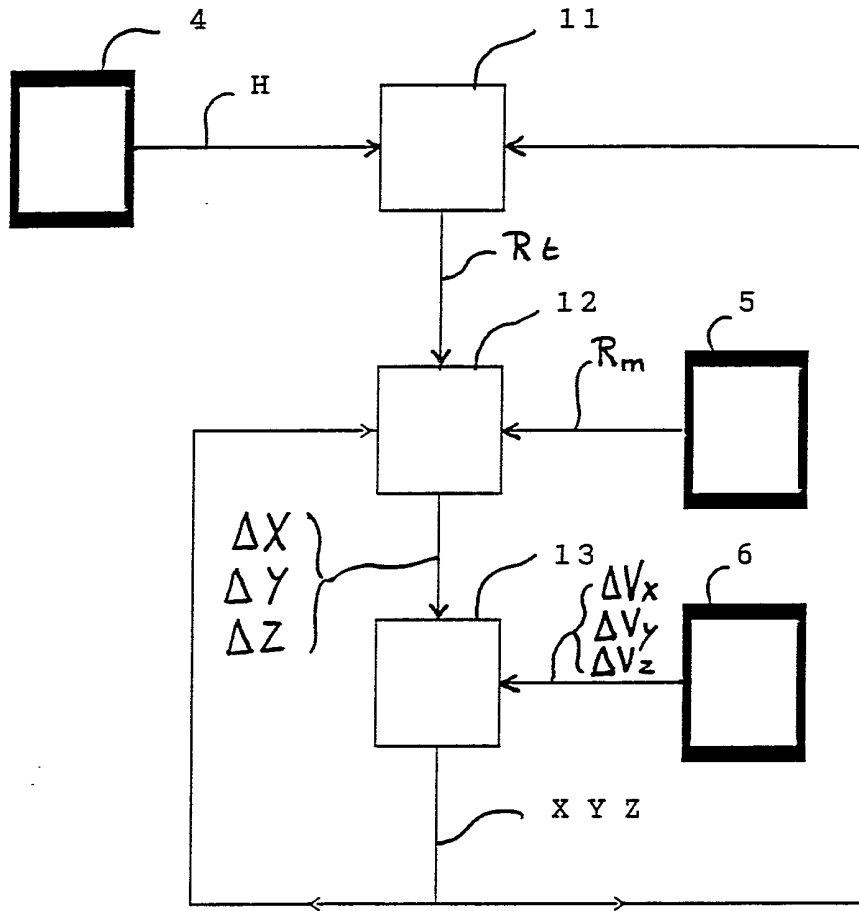


FIGURE 2

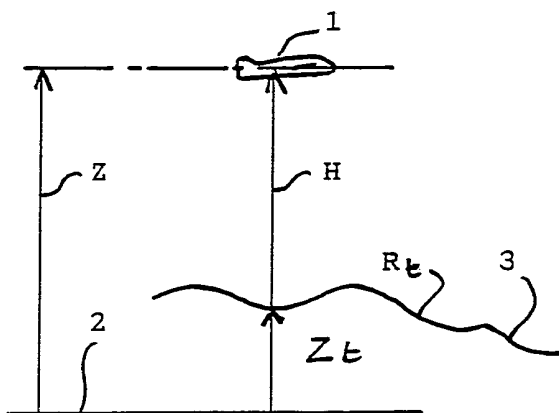


FIGURE 1

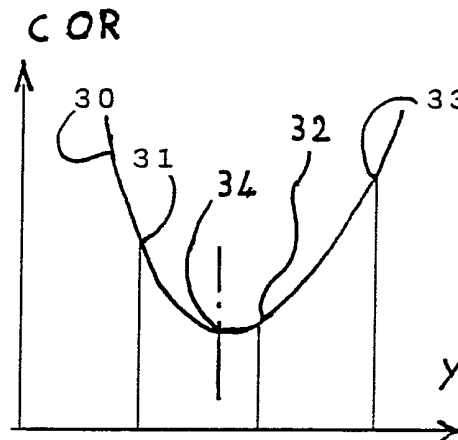


FIGURE 4

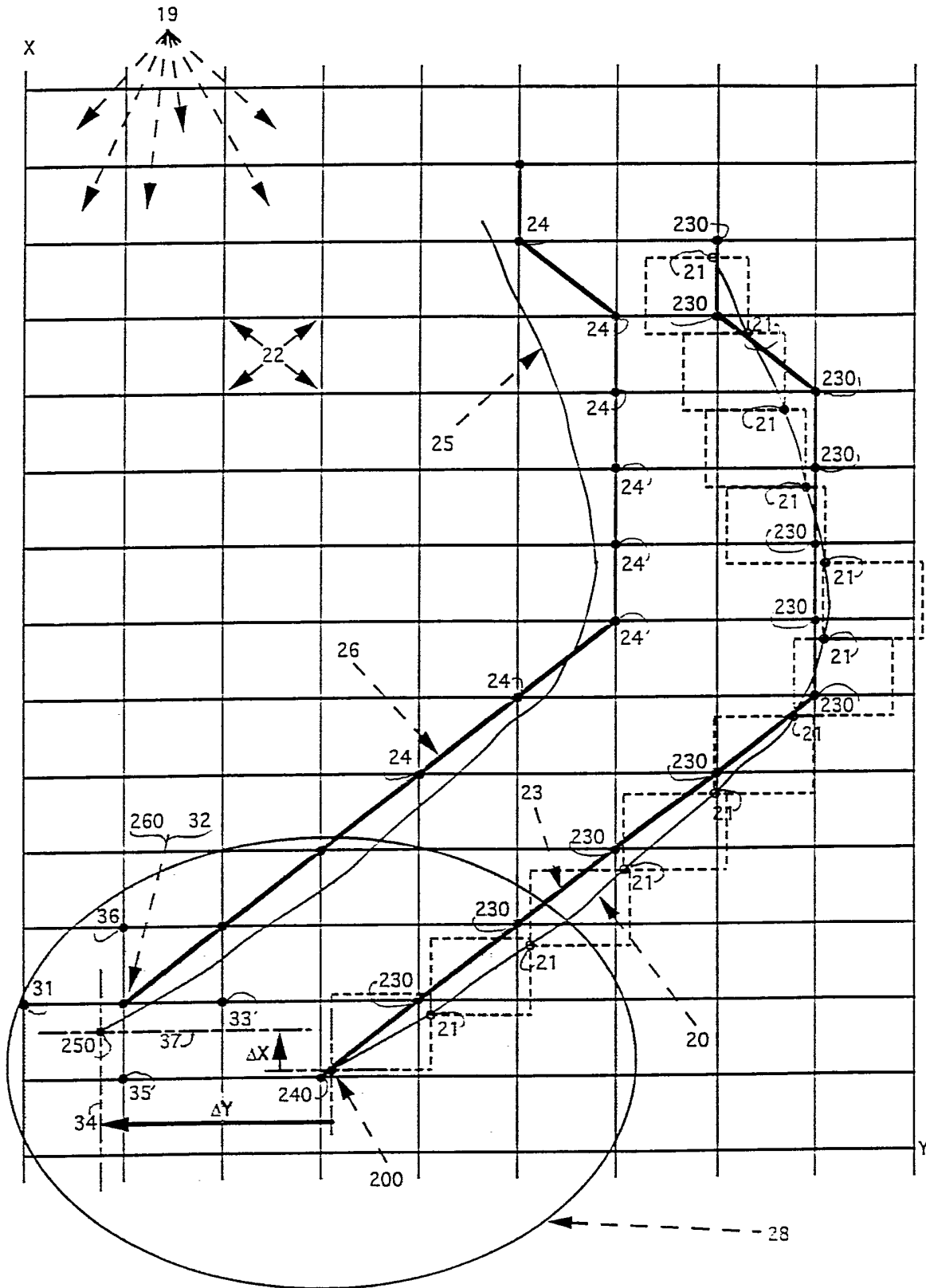


FIGURE 3

INSTITUT NATIONAL

de la

PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

FA 487775

FR 9304945

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS AND CONTROL INSTRUMENTATION vol. 38, no. 6 , Décembre 1991 , NEW YORK US pages 491 - 496 ZHE CHEN 'Local Observability and Its Application to Multiple Measurement Estimation' * page 492, colonne de gauche, ligne 5 - page 494, colonne de gauche, ligne 39; figure 1 *	1,6
A	US-A-4 829 304 (BAIRD) * abrégé *	1
A	US-A-3 328 795 (HALLMARK) * figures *	1
A	FR-A-2 479 450 (VEREINIGTE FLUGTECHNISCHE WERKE GMBH) * revendications; figures *	1
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.5)
		G01C
Date d'achèvement de la recherche		Examinateur
21 Décembre 1993		Hoekstra, F
<p><b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b></p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul                      Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie                      A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général                      O : divulgation non-écrite                      P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention                      E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.                      D : cité dans la demande                      L : cité pour d'autres raisons                      .....                      &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>		

1

EPO FORM 1503.03.82 (P04C13)