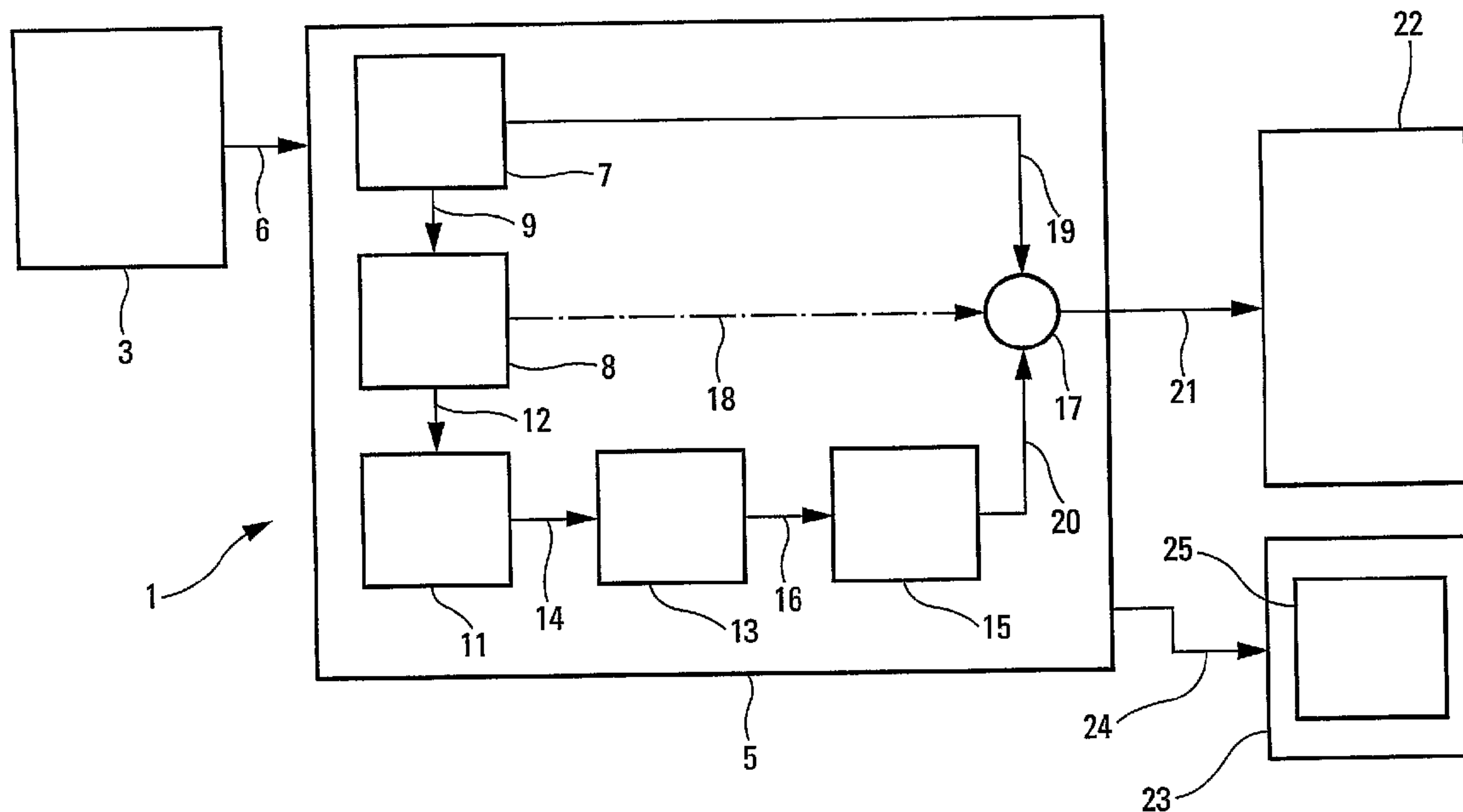




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2006/03/01  
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2006/09/21  
 (45) Date de délivrance/Issue Date: 2014/07/08  
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2007/08/29  
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2006/000457  
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2006/097592  
 (30) Priorité/Priority: 2005/03/17 (FR0502654)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *G08G 5/04* (2006.01),  
*G05D 1/06* (2006.01)  
 (72) Inventeurs/Inventors:  
JOURDAN, CHRISTOPHE, FR;  
FABRE, PIERRE, FR;  
WALTER, STEPHANE, FR;  
LACAZE, ISABELLE, FR  
 (73) Propriétaire/Owner:  
AIRBUS OPERATIONS SAS, FR  
 (74) Agent: ROBIC

(54) Titre : PROCÉDE ET SYSTÈME D'ÉVITEMENT DE TERRAIN POUR UN AÉRONEF  
 (54) Title: TERRAIN AVOIDANCE METHOD AND SYSTEM FOR AN AIRCRAFT



(57) **Abrégé/Abstract:**

Procédé et système d'évitement de terrain pour un aéronef. Le système comporte un dispositif d'alerte de collision (3) et un dispositif de pilotage automatique (5) comprenant un moyen (7) pour déterminer un ordre de montée à pente optimale pour l'aéronef, un moyen (12) pour vérifier si un premier gain de hauteur au niveau du relief, en appliquant un ordre de montée à pente optimale, est suffisant pour franchir ce relief, un moyen (11) pour rechercher s'il existe au moins une valeur de variation de cap, pour laquelle le gain de hauteur correspondant est suffisant pour franchir le relief, et un moyen (17, 22) pour appliquer à l'aéronef, si le premier gain de hauteur est suffisant, un ordre de montée à pente optimale avec un ordre de maintien du cap courant et, si le premier gain de hauteur est insuffisant, un ordre de montée particulier suffisant pour franchir le relief, avec un ordre de cap qui correspond à la valeur de variation de cap sélectionnée.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international(43) Date de la publication internationale  
21 septembre 2006 (21.09.2006)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2006/097592 A1**(51) Classification internationale des brevets :  
**G08G 5/04** (2006.01) **G05D 1/06** (2006.01)Toulouse (FR). **FABRE, Pierre** [FR/FR]; 12 Avenue Honoré Serres, F-31000 Toulouse (FR). **WALTER, Stéphane** [FR/FR]; 5 Rue du Vidalet, F-31490 Brax (FR). **LA-CAZE, Isabelle** [FR/FR]; 35 Allée de Langres, F-31770 Colomiers (FR).(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2006/000457

(22) Date de dépôt international : 1 mars 2006 (01.03.2006)

(74) Mandataire : **CABINET BONNETAT**; 29, rue de St Pétersbourg, F-75008 Paris (FR).

(25) Langue de dépôt : français

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
0502654 17 mars 2005 (17.03.2005) FR(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **AIRBUS FRANCE** [FR/FR]; 316, route de Bayonne, F-31060 Toulouse (FR).

(72) Inventeurs; et

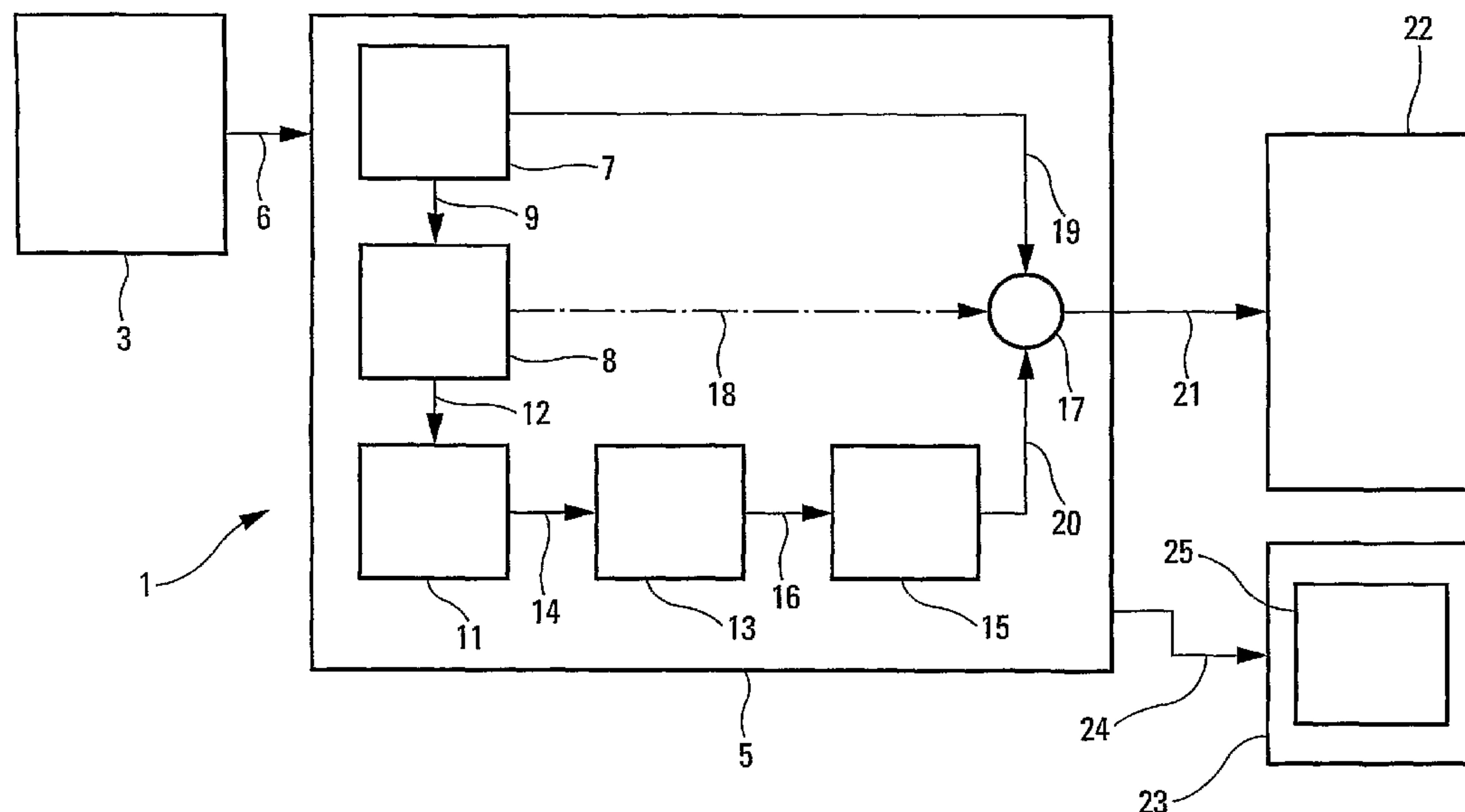
(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **JOURDAN, Christophe** [FR/FR]; 8 chemin du Rat, F-31400

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: TERRAIN AVOIDANCE METHOD AND SYSTEM FOR AN AIRCRAFT

(54) Titre : PROCÉDE ET SYSTÈME D'ÉVITEMENT DE TERRAIN POUR UN AÉRONEF



(57) **Abstract:** The invention concerns a terrain avoidance method and system for an aircraft. The system comprises a collision alarm device (3) and an auto-pilot device (5) including means (7) for determining a climbing order with optimal slope for the aircraft, means (12) for checking whether a first altitude gain at the relief, by applying the optimal slope climbing order, is sufficient for clearing said relief, means (11) for finding if there exists at least one heading variation value, for which the corresponding altitude gain is sufficient to clear the relief, and means (17, 22) for applying to the aircraft, if the first altitude gain is sufficient, an optimal slope climbing order with an order to maintain the current heading and, if the first altitude gain is insufficient, a particular climbing order sufficient to clear the relief, with a heading order which corresponds to the selected heading variation value.

[Suite sur la page suivante]

WO 2006/097592 A1

**WO 2006/097592 A1**

GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale

---

**(57) Abrégé :** Procédé et système d'évitement de terrain pour un aéronef. Le système comporte un dispositif d'alerte de collision (3) et un dispositif de pilotage automatique (5) comprenant un moyen (7) pour déterminer un ordre de montée à pente optimale pour l'aéronef, un moyen (12) pour vérifier si un premier gain de hauteur au niveau du relief, en appliquant un ordre de montée à pente optimale, est suffisant pour franchir ce relief, un moyen (11) pour rechercher s'il existe au moins une valeur de variation de cap, pour laquelle le gain de hauteur correspondant est suffisant pour franchir le relief, et un moyen (17, 22) pour appliquer à l'aéronef, si le premier gain de hauteur est suffisant, un ordre de montée à pente optimale avec un ordre de maintien du cap courant et, si le premier gain de hauteur est insuffisant, un ordre de montée particulier suffisant pour franchir le relief, avec un ordre de cap qui correspond à la valeur de variation de cap sélectionnée.

Procédé et système d'évitement de terrain pour un aéronef.

La présente invention concerne un procédé et un système d'évitement de terrain pour un aéronef.

On sait que de nombreux aéronefs, notamment des avions de transport civil, sont équipés d'un dispositif d'alerte de collision permettant d'émettre un signal d'alerte en cas de risque de collision de l'aéronef avec le terrain. Concernant le dispositif d'alerte de collision, il peut s'agir notamment d'un dispositif de type TAWS ("Terrain Awareness and Warning System" en anglais, c'est-à-dire "système d'alerte et de prise de conscience du terrain" en français), notamment de type EGPWS ("Enhanced Ground Proximity Warning System" en anglais, c'est-à-dire "système amélioré d'alerte de proximité du sol" en français) ou de type GCAS ("Ground Collision Avoidance System" en anglais, c'est-à-dire "système d'évitement de collision avec le sol" en français).

Lorsqu'un tel dispositif d'alerte de collision émet un signal d'alerte, il revient en général au pilote de tout mettre en œuvre, en particulier en pilotant manuellement l'aéronef, pour éviter une collision avec le terrain.

Le brevet US-4 924 401 propose une solution visant à éviter, de façon automatique, une collision de l'aéronef avec le terrain. Cette solution consiste à définir une altitude minimale au-dessous de laquelle l'aéronef ne doit pas descendre et à piloter automatiquement l'aéronef au moyen du pilote automatique, lorsque cette altitude minimale est franchie en descente, de façon à commander alors automatiquement une remontée de l'aéronef et à empêcher ainsi toute collision avec le terrain.

Toutefois, cette solution connue est surtout adaptée au cas où le pilote est inconscient alors que l'aéronef vole en piqué. De ce fait, elle présente l'inconvénient d'agir très tardivement sur la trajectoire de l'aéro-

nef, et l'action sur cette trajectoire est bien entendu d'autant plus importante qu'elle est tardive. Aussi, appliquée à un avion de transport gros porteur par exemple, cette solution connue provoque une situation d'inconfort, voire de danger potentiel pour les passagers. De plus, le risque que l'action sur la trajectoire ne permette pas de protéger l'aéronef d'une collision avec le terrain, est lui aussi élevé, en raison de cette action tardive.

La présente invention a pour objet de remédier à ces inconvénients. Elle concerne un procédé d'évitement de terrain pour un aéronef, qui est particulièrement efficace.

A cet effet, selon l'invention, ledit procédé selon lequel on utilise un dispositif d'alerte de collision qui surveille le vol de l'aéronef par rapport au terrain environnant et qui est susceptible d'émettre un signal d'alerte, lorsque l'aéronef risque une collision avec un relief du terrain en maintenant ses caractéristiques de vol actuelles (vitesse, pente, ...), est remarquable en ce que, lorsque ledit dispositif d'alerte de collision émet un signal d'alerte, automatiquement :

A/ on détermine un ordre de montée à pente optimale pour l'aéronef ;

B/ on vérifie si un premier gain de hauteur (qui est obtenu au niveau dudit relief par l'aéronef, en lui appliquant ledit ordre de montée à pente optimale avec un ordre de maintien du cap courant) est suffisant pour franchir ledit relief ; et

C/ en fonction de cette vérification :

a) si ledit premier gain de hauteur est suffisant pour franchir ledit relief, on applique à l'aéronef ledit ordre de montée à pente optimale avec un ordre de maintien du cap courant ; et

b) si ledit premier gain de hauteur est insuffisant pour franchir ledit relief, on recherche s'il existe au moins une valeur de variation de cap, pour laquelle un second gain de hauteur qui est obtenu au niveau du

relief par l'aéronef (en lui appliquant un ordre de montée à pente optimale) est suffisant pour franchir ledit relief, et dans l'affirmative :

$\alpha$ ) on sélectionne l'une desdites valeurs de variation de cap permettant de franchir le relief ; et

5  $\beta$ ) on applique à l'aéronef un ordre de montée particulier qui est suffisant pour franchir le relief, avec un ordre de cap qui correspond à la valeur de variation de cap ainsi sélectionnée (et qui engendre donc une variation de cap de l'aéronef).

10 Le procédé conforme à l'invention présente l'avantage d'agir sur la trajectoire de l'aéronef, dès qu'un risque de collision avec le relief du terrain a été détecté, et cette action est réalisée automatiquement, c'est-à-dire sans intervention du pilote. Ainsi, dès l'émission d'un signal d'alerte, on agit automatiquement de façon à améliorer la situation de l'aéronef par rapport au terrain, en lui appliquant un ordre de montée, généralement un  
15 ordre de montée à pente optimale (relativement aux performances de l'aéronef) comme précisé ci-dessous.

Pour ce faire, selon l'invention :

- si une telle action est suffisante pour franchir le relief, on applique simplement un ordre de montée à pente optimale à l'aéronef sans modifier  
20 son cap, ce qui permet de réaliser une manœuvre d'évitement simplifiée ; et
- si la manœuvre simplifiée précédente n'est pas suffisante pour franchir le relief, ce qui peut survenir dans certaines circonstances (relief très élevé, ...), on modifie le cap de l'aéronef pour le diriger dans une direc-  
25 tion où le relief n'est pas trop élevé, et on lui applique alors (simplement) un ordre de montée particulier qui est suffisant pour franchir le relief dans cette direction.

Ainsi, grâce à l'invention, on est en principe en mesure de franchir tout relief qui est situé à l'avant de l'aéronef.

Dans le cadre de la présente invention :

- on entend par pente, aussi bien la pente proprement dite que l'angle d'assiette de l'aéronef ; et
- on entend par cap, aussi bien le cap proprement dit que la route de l'aéronef.

5

En outre, dans le cadre de la présente invention, l'ordre de montée à pente optimale est déterminé en tenant compte d'un ordre de poussée associé de façon à pouvoir maximiser la pente. La pente maximale correspondant à la poussée courante de l'aéronef n'étant pas forcément la plus élevée, on détermine un ordre de poussée pour lequel la pente maximale est la plus élevée possible.

10

Dans un premier mode de réalisation simplifié, ledit ordre de montée particulier que l'on applique à l'aéronef à l'étape C.b. $\beta$ , correspond à un ordre de montée à pente optimale.

15

Dans un second mode de réalisation, on détermine, comme ordre de montée particulier un ordre de montée (à pente non maximale) engendrant un gain de hauteur au niveau du relief qui correspond à un gain de hauteur à la fois nécessaire et suffisant pour franchir ledit relief. Dans ce second mode de réalisation, de préférence, on commence par déterminer une valeur de cap (ou de route) permettant de minimiser l'écart de route de l'aéronef, puis on détermine un ordre de montée (à pente non maximale) permettant de franchir le relief tout en minimisant l'écart de pente (confort des passagers). Ce second mode de réalisation permet donc d'améliorer le confort des passagers (en raison d'une pente moindre et d'une accélération moindre) sans être préjudiciable à la sécurité de l'aéronef, puisque le gain de hauteur est suffisant pour franchir le relief. Bien entendu, ce second mode de réalisation s'applique uniquement au cas où le gain de hauteur nécessaire pour franchir le relief est inférieur au gain de

20

25

hauteur obtenu en appliquant à l'aéronef un ordre de montée à pente optimale, puisque sinon on applique ce dernier ordre de montée.

Par ailleurs, l'ordre de montée particulier suffisant pour franchir le relief est calculé, de préférence, en tenant compte d'une marge de hauteur par rapport à ce relief (marge de sécurité).

Par ailleurs, de préférence, à l'étape C.b. $\alpha$ , on sélectionne (parmi toutes les valeurs de variation de cap trouvées) la valeur de variation de cap la plus petite en valeur absolue, ce qui permet d'écarter l'aéronef le moins possible de son cap courant, c'est-à-dire de la trajectoire latérale initialement prévue.

Bien entendu, dans le cadre de la présente invention, on peut envisager d'autres variantes de sélection de la valeur de variation de cap, mises en œuvre à l'étape C.b. $\alpha$ . En particulier :

- dans une première variante, on sélectionne la valeur de variation de cap qui correspond au relief le moins élevé et qui est située dans un intervalle de variation de cap prédéterminé, défini de part et d'autre du cap courant de l'aéronef ;
- dans une seconde variante, on sélectionne la valeur de variation de cap, pour laquelle l'angle de roulis nécessaire au changement de cap correspondant est, en valeur absolue, inférieur à une valeur prédéterminée, par exemple à 45°, afin de ne pas trop dégrader les performances de montée de l'aéronef (pente maximale possible).

Dans un mode de réalisation particulier, à l'étape C.b. $\beta$ , on applique d'abord ledit ordre de montée particulier, puis on applique ledit ordre de cap engendrant un changement de cap. Ceci permet d'anticiper le plus possible l'ordre de montée et donc de maximiser le gain de hauteur obtenu au niveau du relief.

En outre, dans un mode de réalisation particulier, lorsque ledit dispositif d'alerte de collision émet un signal d'alerte, on modifie la configura-

tion aérodynamique de l'aéronef de manière à augmenter le gain de hauteur au niveau du relief, et on détermine, à l'étape A, un ordre de montée à pente optimale, en tenant compte de la nouvelle configuration aérodynamique de l'aéronef (résultant de cette modification). Ce mode de réalisation particulier permet d'augmenter le gain de hauteur obtenu au niveau du relief. Ce mode de réalisation peut notamment être appliqué sur un avion lors d'une approche d'un aéroport, pour laquelle les trains d'atterrissage sont sortis, de même que les becs, les volets et/ou les spoilers. Dans ce cas, la modification de la configuration aérodynamique consiste parfois simplement à rentrer ces différents éléments pour obtenir une meilleure pente de montée. Toutefois, dans certaines situations, il est plus intéressant de laisser certains éléments au moins partiellement sortis (notamment des becs ou volets). En fait, on modifie la configuration aérodynamique de l'aéronef de façon à optimiser les performances de montée de l'aéronef. La modification de la configuration aérodynamique peut être réalisée soit automatiquement, soit par le pilote (par procédure).

De façon avantageuse, lorsque l'on applique à l'étape C.b.β un ordre de cap engendrant une variation de cap, on émet dans le poste de pilotage de l'aéronef un signal d'indication pour signaler à un pilote l'application de cet ordre (de variation de cap). A cet effet, on peut indiquer au pilote ledit ordre de variation de cap, mais également l'ordre de montée ainsi que l'engagement de la fonction d'évitement de terrain.

Par ailleurs, de préférence, lors de la disparition d'un risque de collision, on ramène l'aéronef dans une enveloppe de vol opérationnelle.

La présente invention concerne également un système d'évitement de terrain pour un aéronef.

Selon l'invention, ledit système du type comportant :

- un dispositif d'alerte de collision qui surveille le vol de l'aéronef par rapport au terrain environnant et qui est susceptible d'émettre un signal

d'alerte lorsque l'aéronef risque une collision avec un relief du terrain s'il maintient ses caractéristiques de vol actuelles ; et

– un dispositif de pilotage automatique de l'aéronef,

est remarquable en ce que ledit dispositif de pilotage automatique  
5 comprend au moins :

– un premier moyen pour déterminer un ordre de montée à pente optimale pour l'aéronef ;

– un deuxième moyen pour vérifier si un premier gain de hauteur (qui est obtenu au niveau dudit relief par l'aéronef, en lui appliquant ledit ordre  
10 de montée à pente optimale avec un maintien du cap courant) est suffisant pour franchir ledit relief ;

– un troisième moyen pour rechercher, lorsque ledit premier gain de hauteur est insuffisant pour franchir le relief, s'il existe au moins une valeur de variation de cap, pour laquelle un second gain de hauteur qui est obtenu sur le relief par l'aéronef (en lui appliquant un ordre de montée à  
15 pente optimale) est suffisant pour franchir ledit relief ;

– un quatrième moyen pour sélectionner, le cas échéant, l'une desdites valeurs de variation de cap permettant de franchir le relief ; et

– un cinquième moyen pour appliquer à l'aéronef un ordre de montée et  
20 un ordre de cap, à savoir :

- si ledit premier gain de hauteur est suffisant pour franchir ledit relief, ledit ordre de montée à pente optimale avec un ordre de maintien du cap courant ;

- si ledit premier gain de hauteur est insuffisant pour franchir ledit relief, un ordre de montée particulier qui est suffisant pour franchir le relief, avec un ordre de cap qui correspond à la valeur de variation de cap sélectionnée par ledit quatrième moyen (et qui engendre donc une variation de cap de l'aéronef).

25

Dans un mode de réalisation particulier, ledit système d'évitement comporte de plus :

- un moyen d'indication signalant automatiquement l'application d'un ordre de cap engendrant une variation de cap, c'est-à-dire entraînant un évitement latéral du relief ; et/ou
- un moyen pour optimiser la configuration aérodynamique.

En outre, avantageusement, ledit système d'évitement comporte, de plus, un moyen permettant à un pilote de le désengager. Dans ce cas, ledit système d'évitement peut indiquer au pilote comment effectuer les variations de hauteur et de cap nécessaires pour éviter le relief (par exemple au moyen d'un directeur de vol qui indiquerait l'assiette et le cap à prendre).

Par ailleurs, de façon avantageuse, ledit dispositif de pilotage automatique fait partie d'un pilote automatique de l'aéronef.

Les figures du dessin annexé feront bien comprendre comment l'invention peut être réalisée. Sur ces figures, des références identiques désignent des éléments semblables.

La figure 1 est le schéma synoptique d'un système conforme à l'invention.

Les figures 2 à 4 montrent schématiquement différentes situations de vol permettant de bien expliquer les caractéristiques essentielles d'un système conforme à l'invention.

Le système 1 conforme à l'invention et représenté schématiquement sur la figure 1 est un système d'évitement du terrain 2, pour un aéronef A, en particulier un avion de transport gros porteur.

Pour ce faire, ledit système 1 est du type comportant :

- un dispositif d'alerte de collision 3 usuel, qui surveille le vol de l'aéronef A par rapport au terrain 2 environnant et qui est susceptible d'émettre un signal d'alerte lorsque l'aéronef A risque une collision avec un relief

4 dudit terrain 2 s'il maintient ses caractéristiques de vol (vitesse, pente, ...) actuelles ; et

- un dispositif de pilotage automatique 5 de l'aéronef A, qui est relié par une liaison 6 audit dispositif d'alerte de collision 3.

5           Concernant ledit dispositif d'alerte de collision 3, il peut s'agir notamment d'un dispositif de type TAWS ("Terrain Awareness and Warning System" en anglais, c'est-à-dire "système d'alerte et de prise de conscience du terrain" en français), notamment de type EGPWS ("Enhanced Ground Proximity Warning System" en anglais, c'est-à-dire  
10 "système amélioré d'alerte de proximité du sol" en français) ou de type GCAS ("Ground Collision Avoidance System" en anglais, c'est-à-dire "système d'évitement de collision avec le sol" en français).

          Selon l'invention, ledit dispositif de pilotage automatique 5 comprend au moins les moyens suivants, qui sont en particulier rendus  
15 actifs lorsque ledit dispositif d'alerte de collision 3 émet un signal d'alerte :

- un moyen 7 pour déterminer, de façon usuelle, un ordre de montée à pente optimale pour l'aéronef A, relativement aux performances effectives dudit aéronef A ;
- 20 – un moyen 8 qui est relié par une liaison 9 audit moyen 7, pour vérifier si un premier gain de hauteur  $\Delta H_0$  (qui est obtenu au niveau du relief 4 par l'aéronef A, lorsqu'on lui applique ledit ordre de montée à pente optimale déterminé par ledit moyen 7, simultanément avec un ordre de maintien du cap courant illustré par une ligne 10 sur les figure 2 à 4)  
25 est suffisant pour franchir ledit relief 4 (par exemple une crête 4A dans la situation de la figure 2) ;
- un moyen 11 qui est reliée par une liaison 12 audit moyen 8 pour rechercher, lorsque ledit gain de hauteur  $\Delta H_0$  est insuffisant pour franchir ledit relief 4, s'il existe au moins une valeur de variation de cap

$\Delta C_i$ ,  $i$  étant un entier supérieur ou égal à 1, pour laquelle un gain de hauteur  $\Delta H_i$  correspondant (qui est obtenu au niveau du relief 4 par l'aéronef A, lorsqu'on lui applique un ordre de montée à pente optimale) est suffisant pour franchir ledit relief 4 ;

- 5 – un moyen 13 qui est relié par une liaison 14 audit moyen 11, pour sélectionner de la manière précisée ci-dessous, parmi les différentes valeurs de variation de cap  $\Delta C_i$  trouvées par ledit moyen 11, l'une de ces valeurs de variation de cap. Bien entendu, lorsque le moyen 11 trouve uniquement une seule valeur de variation de cap possible, ledit
- 10 moyen 13 sélectionne cette valeur unique ;
- un moyen 15 qui est relié par une liaison 16 audit moyen 13, pour déterminer un ordre de montée particulier précisé ci-dessous, ainsi qu'un ordre de cap qui permet de faire changer de cap à l'aéronef A conformément à la valeur de variation de cap sélectionnée par le moyen
- 15 13 ; et
- un moyen 17, par exemple un moyen de commutation, qui est commandé par le moyen 8, comme représenté par une liaison 18 en traits mixtes sur la figure 1, et qui a pour but de transmettre des ordres de montée et de cap en fonction de cette commande.

20 Plus précisément, ledit moyen 17 est relié par des liaisons 19 et 20 respectivement auxdits moyens 7 et 15 et il transmet par l'intermédiaire d'une liaison 21 un ordre de montée et un ordre de cap, qui sont tels qu'ils correspondent :

- si ledit gain de hauteur  $\Delta H_0$  est suffisant pour franchir ledit relief 4, audit ordre de montée à pente optimale déterminé par ledit moyen 7, avec
- 25 un ordre de maintien du cap courant de l'aéronef A ; et
- si ledit gain de hauteur  $\Delta H_0$  est insuffisant pour franchir ledit relief 4, aux ordres déterminés par ledit moyen 15, à savoir ledit ordre de montée particulier qui est suffisant pour franchir le relief 4, et ledit ordre de

cap qui correspond à la valeur de variation de cap sélectionnée par ledit moyen 13.

Dans le cadre de la présente invention, l'ordre de montée à pente optimale est déterminé en tenant compte d'un ordre de poussée associé de façon à pouvoir maximiser la pente. La pente maximale correspondant à la poussée courante de l'aéronef A n'étant pas forcément la plus élevée, le système 1 détermine un ordre de poussée pour lequel la pente maximale est la plus élevée possible.

En outre, dans le cadre de la présente invention, un gain de hauteur correspond à la différence entre l'altitude obtenue au niveau du relief 4 et l'altitude actuelle de l'aéronef A.

De plus, un ordre de montée à pente optimale peut être défini comme suit : dans un premier temps, on fait monter l'aéronef A à angle d'incidence maximal, puis on le fait monter à pente maximale. De préférence, la durée de ce premier temps est choisie de façon à maximiser la hauteur franchissable au niveau du relief 4.

Bien entendu, ledit système d'évitement de terrain 1 comporte également des moyens 22 (qui peuvent par exemple être intégrés, au moins en partie, dans le dispositif de pilotage automatique 5) qui appliquent de façon usuelle audit aéronef A l'ordre de montée et l'ordre de cap reçus par l'intermédiaire de ladite liaison 21. Pour ce faire, lesdits moyens 22 de type usuel comportent, par exemple, un moyen de calcul pour déterminer des ordres de braquage de gouverne, à partir desdits ordres de montée et de cap, et au moins un moyen d'actionnement d'au moins une gouverne qui reçoit cet ordre de braquage de gouverne et déplace ladite gouverne en correspondance de manière à appliquer à l'aéronef A lesdits ordres de montée et de cap.

Dans un mode de réalisation particulier, ledit dispositif de pilotage automatique 5 fait partie d'un pilote automatique usuel de l'aéronef A.

En outre, dans un mode de réalisation préféré, ledit système d'évitement de terrain 1 comporte, de plus, un moyen d'indication 23 qui est, par exemple, relié par une liaison 24 audit dispositif de pilotage automatique 5 et qui a pour but de prévenir un pilote de l'aéronef A, lorsqu'un ordre de variation de cap déterminé par le moyen 15 est appliqué à ce dernier. Cette information peut par exemple être formée de manière visuelle à l'aide d'un écran de visualisation 25 qui est monté dans le poste de pilotage de l'aéronef A et/ou de manière sonore à l'aide d'un moyen usuel non représenté.

Dans l'exemple de la figure 2, le gain de hauteur  $\Delta H_0$  qui est obtenu au niveau du relief 4, qui se trouve à l'avant de l'aéronef A suivant son cap courant (ligne 10), est suffisant pour franchir la crête 4A correspondante dudit relief 4. Dans cet exemple, le moyen 17 transmet aux moyens 22 les ordres issus dudit moyen 7, à savoir un ordre de montée à pente optimale et un ordre de maintien du cap courant de l'aéronef A. Dans ce cas, l'évitement du terrain 2 est donc réalisé de façon simplifiée, en mettant simplement en œuvre une montée de l'aéronef A sans modifier sa trajectoire latérale (maintien du cap courant).

En revanche, dans les exemples des figures 3 et 4, le gain de hauteur  $\Delta H_0$  obtenu au niveau du relief par l'application à l'aéronef A d'un ordre de montée à pente optimale avec maintien du cap (ligne 10), est insuffisant pour franchir la crête 4B correspondante dudit relief 4. Dans ce cas, le moyen 17 transmet aux moyens 22 l'ordre de montée et l'ordre de cap qui sont déterminés par le moyen 15.

Comme indiqué précédemment, l'ordre de cap qui est engendré par le moyen 15 a pour but de modifier le cap de l'aéronef A conformément à la valeur de variation de cap sélectionnée par le moyen 13, parmi la pluralité de valeurs de variation de cap  $\Delta C_i$  possibles trouvées par le moyen 11.

Dans un mode de réalisation préféré, ledit moyen 13 sélectionne (parmi toutes les valeurs de variation de cap  $\Delta C_i$  trouvées) la valeur de variation de cap la plus petite en valeur absolue, ce qui permet d'écarter l'aéronef A le moins possible de son cap courant (ligne 10), c'est-à-dire de la trajectoire latérale initialement prévue. Dans l'exemple de la figure 3, le moyen 11 a trouvé deux valeurs de variations de cap  $\Delta C_1$  et  $\Delta C_2$ . Conformément à ce mode de réalisation préféré, le moyen 13 sélectionne dans cet exemple la variation de cap  $\Delta C_1$  qui présente la plus petite valeur absolue.

10 Bien entendu, dans le cadre de la présente invention, on peut envisager d'autres variantes de sélection de la valeur de variation de cap, mises en œuvre par ledit moyen 13. En particulier :

- dans une première variante, ledit moyen 13 sélectionne la valeur de variation de cap qui correspond au relief le moins élevé et qui est située dans un intervalle de variation de cap prédéterminé ( $\Delta CL_1 + \Delta CL_2$  sur la figure 3) qui est défini de part et d'autre du cap courant (ligne 10) de l'aéronef A et qui est limité par des segments 26 et 27. Dans l'exemple de la figure 3, la partie 4C du relief 4 qui se trouve dans la direction 28 définie par la variation de cap  $\Delta C_2$  est moins élevée que la partie 4D du relief 4 qui se trouve dans la direction 29 définie par la variation de cap  $\Delta C_1$  de sorte que le moyen 13 sélectionne la variation de cap  $\Delta C_2$  dans cette première variante ;
- dans une seconde variante, ledit moyen 13 sélectionne la valeur de variation de cap, pour laquelle l'angle de roulis nécessaire au changement de cap correspondant est, en valeur absolue, inférieur à une valeur prédéterminée, par exemple à  $45^\circ$ , afin de ne pas trop dégrader les performances de montée de l'aéronef A.

Par ailleurs, ledit moyen 15 détermine également un ordre de montée particulier qui est associé audit ordre de variation de cap déterminé de la manière décrite précédemment.

5 Dans un premier mode de réalisation simplifié, ledit ordre de montée particulier déterminé par le moyen 15 correspond simplement à un ordre de montée à pente optimale. Bien entendu, pour un même ordre de montée à pente optimale, à distance sensiblement égale du relief 4, le gain de hauteur  $\Delta H_2$  et  $\Delta H_1$  obtenu pour une variation de cap est inférieur au gain de hauteur  $\Delta H_0$  obtenu sans variation de cap, en raison de l'énergie  
10 dépensée par l'aéronef A pour réaliser la variation de cap (figure 3).

Dans un second mode de réalisation, ledit moyen 15 détermine, comme ordre de montée particulier, un ordre de montée (à pente non maximale) qui engendre un gain de hauteur  $\Delta H_R$  au niveau du relief 4, qui correspond à un gain de hauteur à la fois nécessaire pour franchir la partie  
15 4D correspondante du relief 4, mais également suffisant compte tenu de marges de sécurité usuelles réglementaires et inférieur audit gain de hauteur  $\Delta H_1$  relatif à une montée à pente maximale, comme représenté sur la figure 4. Dans ce second mode de réalisation, de préférence, on commence par déterminer une valeur de cap (ou de route) permettant de  
20 minimiser l'écart de route de l'aéronef A, puis on détermine un ordre de montée (à pente non maximale) permettant de franchir le relief 4 tout en minimisant l'écart de pente (confort des passagers).

Ce second mode de réalisation permet donc d'améliorer le confort des passagers (en raison d'une pente moindre et d'une accélération moindre) sans pour autant être préjudiciable à la sécurité de l'aéronef A, puisque  
25 le gain de hauteur  $\Delta H_R$  correspondant est suffisant pour franchir le relief 4 (partie 4D). Bien entendu, ce second mode de réalisation s'applique uniquement au cas où le gain de hauteur nécessaire pour franchir le

relief est inférieur au gain de hauteur  $\Delta H1$  obtenu en appliquant à l'aéronef A un ordre de montée à pente optimale.

Par ailleurs, dans un mode de réalisation particulier, ledit dispositif de pilotage automatique 5 (ou lesdits moyens 22) applique à l'aéronef A d'abord ledit ordre de montée particulier, puis ledit ordre de cap engendrant un changement de cap. Ceci permet d'anticiper le plus possible l'ordre de montée et donc de maximiser le gain de hauteur obtenu au niveau du relief 4.

En outre, dans un mode de réalisation particulier, lorsque ledit dispositif d'alerte de collision 3 émet un signal d'alerte, le système 1 modifie la configuration aérodynamique de l'aéronef A de manière à augmenter le gain de hauteur au niveau du relief 4, et le moyen 7 détermine un ordre de montée à pente optimale, en tenant compte de la nouvelle configuration aérodynamique de l'aéronef A (résultant de cette modification). Ce mode de réalisation particulier permet d'augmenter le gain de hauteur obtenu au niveau du relief 4. Ce mode de réalisation peut notamment être appliqué sur un avion lors d'une approche d'un aéroport, pour laquelle les trains d'atterrissage, les becs, les volets et/ou les spoilers de l'avion sont sortis. Dans ce cas, la modification de la configuration aérodynamique consiste parfois simplement à rentrer ces différents éléments (trains d'atterrissage, becs, volets, spoilers) pour obtenir une pente de montée plus élevée. Toutefois, dans certaines situations, il est plus intéressant de laisser certains éléments au moins partiellement sortis (notamment des becs ou volets). En fait, on modifie la configuration aérodynamique de l'aéronef A de façon à optimiser les performances de montée dudit aéronef A. La modification de la configuration aérodynamique peut être réalisée soit automatiquement, soit par le pilote (par procédure).

Le système d'évitement de terrain 1 conforme à l'invention présente l'avantage d'agir sur la trajectoire de l'aéronef A, dès qu'un risque

de collision avec le relief 4 du terrain 2 a été détecté, et cette action est réalisée automatiquement, c'est-à-dire sans intervention du pilote. Ainsi, dès l'émission d'un signal d'alerte par le dispositif d'alerte de collision 3, ledit système 1 agit de façon à améliorer la situation de l'aéronef A par rapport au terrain 2, en lui appliquant un ordre de montée, généralement un ordre de montée à pente optimale (relativement aux performances de l'aéronef A).

Pour ce faire, selon l'invention :

- si une telle action est suffisante pour franchir le relief 4, le système 1 applique simplement un ordre de montée à pente optimale à l'aéronef A sans modifier son cap, ce qui permet de réaliser une manœuvre d'évitement simplifiée (figure 2) ; et
- si la manœuvre simplifiée précédente n'est pas suffisante pour franchir le relief 4, ce qui peut survenir dans certaines circonstances (relief 4 très élevé, ...), le système 1 modifie le cap de l'aéronef A pour le diriger dans une direction où ledit relief 4 n'est pas trop élevé, et il lui applique alors un ordre de montée particulier qui est au moins suffisant pour franchir le relief 4 dans cette direction (figures 3 et 4).

Par conséquent, le système 1 conforme à l'invention permet en principe à l'aéronef A de franchir tout relief 4 qui est situé devant lui.

On notera que, lors de la sortie d'un conflit (disparition d'un signal d'alerte), ledit système 1 ramène de préférence l'aéronef A dans une enveloppe de vol opérationnelle.

En outre, ledit système 1 comporte, de plus, un moyen (non représenté) permettant à un pilote de le désengager. Dans ce cas, ledit système 1 peut indiquer au pilote comment effectuer les variations de hauteur et de cap nécessaires pour éviter le relief 4 (par exemple au moyen d'un directeur de vol usuel qui indiquerait l'assiette et le cap à prendre).

## REVENDICATIONS

1. Procédé d'évitement de terrain pour un aéronef (A), procédé selon lequel on utilise un dispositif d'alerte de collision (3) qui surveille le vol de l'aéronef (A) par rapport au terrain (2) environnant et qui est susceptible d'émettre un signal d'alerte, lorsque l'aéronef (A) risque une collision avec un relief (4) du terrain (2) en maintenant ses caractéristiques de vol actuelles, procédé selon lequel, lorsque ledit dispositif d'alerte de collision (3) émet un signal d'alerte, automatiquement :
- 5
- A/ on détermine un ordre de montée à pente optimale pour l'aéronef (A) ;
- 10 B/ on vérifie si un premier gain de hauteur ( $\Delta H_0$ ) qui est obtenu au niveau dudit relief (4) par l'aéronef (A), en lui appliquant ledit ordre de montée à pente optimale avec un ordre de maintien du cap courant, est suffisant pour franchir ledit relief (4) ; et
- C/ en fonction de cette vérification, si ledit premier gain de hauteur ( $\Delta H_0$ ) est insuffisant pour franchir ledit relief (4), on recherche s'il existe au moins une valeur de variation de cap ( $\Delta C_1$ ,  $\Delta C_2$ ), pour laquelle un second gain de hauteur ( $\Delta H_1$ ,  $\Delta H_2$ ) qui est obtenu au niveau du relief (4) par l'aéronef (A) en lui appliquant un ordre de montée à pente optimale, est suffisant pour franchir ledit relief (4),
- 15
- 20 caractérisé en ce qu'à l'étape C/ :
- a) si ledit premier gain de hauteur ( $\Delta H_0$ ) est suffisant pour franchir ledit relief (4), on applique automatiquement à l'aéronef ledit ordre de montée à pente optimale avec un ordre de maintien du cap courant ; et
- b) si ledit premier gain de hauteur ( $\Delta H_0$ ) est insuffisant pour franchir ledit relief (4), et s'il existe de plus au moins une valeur de variation de cap ( $\Delta C_1$ ,  $\Delta C_2$ ), pour laquelle un second gain de hauteur ( $\Delta H_1$ ,  $\Delta H_2$ ) qui est obtenu au niveau du relief (4) par l'aéronef (A) en lui appliquant un ordre de montée à pente optimale, est suffisant pour franchir ledit relief (4) :
- 25

$\alpha$ ) on sélectionne automatiquement l'une desdites valeurs de variation de cap ( $\Delta C1$ ,  $\Delta C2$ ) permettant de franchir le relief (4) ; et

$\beta$ ) on applique automatiquement à l'aéronef (A) un ordre de montée particulier qui est suffisant pour franchir le relief (4), avec un ordre de cap qui correspond à la valeur de variation de cap ainsi sélectionnée.

2. Procédé selon la revendication 1,

caractérisé en ce que ledit ordre de montée particulier que l'on applique à l'aéronef (A) à l'étape C.b. $\beta$  correspond à un ordre de montée à pente optimale.

3. Procédé selon la revendication 1,

caractérisé en ce que l'on détermine, comme ordre de montée particulier que l'on applique à l'aéronef à l'étape C.b. $\beta$ , un ordre de montée engendrant un gain de hauteur ( $\Delta HR$ ) au niveau du relief qui correspond à un gain de hauteur nécessaire et suffisant pour franchir ledit relief (4).

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3,

caractérisé en ce qu'à l'étape C.b. $\alpha$ , on sélectionne la valeur de variation de cap ( $\Delta C1$ ) la plus petite en valeur absolue.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3,

caractérisé en ce qu'à l'étape C.b. $\alpha$ , on sélectionne la valeur de variation de cap ( $\Delta C2$ ) qui correspond au relief (4C) le moins élevé et qui est située dans un intervalle de variation de cap prédéterminé, défini de part et d'autre du cap courant (10) de l'aéronef (A).

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3,

caractérisé en ce qu'à l'étape C.b. $\alpha$ , on sélectionne la valeur de variation de cap, pour laquelle l'angle de roulis nécessaire au changement de cap correspondant est, en valeur absolue, inférieur à une valeur prédéterminée.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'à l'étape C.b.β, on applique d'abord ledit ordre de montée particulier, puis on applique ledit ordre de cap engendrant une variation de cap.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que, lorsque ledit dispositif d'alerte de collision (3) émet un signal d'alerte, on modifie la configuration aérodynamique de l'aéronef (A) de manière à augmenter le gain de hauteur au niveau du relief (4), et on détermine, à l'étape A, un ordre de montée à pente optimale, en tenant compte de la nouvelle configuration aérodynamique de l'aéronef (A).

10 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que, lorsque l'on applique à l'étape C.b.β un ordre de cap engendrant une variation de cap, on émet dans le poste de pilotage de l'aéronef (A) un signal d'indication pour signaler à un pilote l'application de cet ordre de cap.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que, lors de la disparition d'un risque de collision, on ramène l'aéronef (A) dans une enveloppe de vol opérationnelle.

11. Système d'évitement de terrain pour un aéronef (A), ledit système (1) comportant :

- un dispositif d'alerte de collision (3) qui surveille le vol de l'aéronef (A) par rapport au terrain (2) environnant et qui est susceptible d'émettre un signal d'alerte lorsque l'aéronef (A) risque une collision avec un relief (4) du terrain (2) s'il maintient ses caractéristiques de vol actuelles ; et
- un dispositif de pilotage automatique (5) de l'aéronef (A), comprenant au moins :
  - un premier moyen (7) pour déterminer un ordre de montée à pente optimale pour l'aéronef (A) ;

. un deuxième moyen (12) pour vérifier si un premier gain de hauteur ( $\Delta H_0$ ) qui est obtenu au niveau dudit relief (4) par l'aéronef (A), en lui appliquant ledit ordre de montée à pente optimale avec un maintien du cap courant, est suffisant pour franchir ledit relief (4) ; et

5 . un troisième moyen (11) pour rechercher, lorsque ledit premier gain de hauteur ( $\Delta H_0$ ) est insuffisant pour franchir le relief (4), s'il existe au moins une valeur de variation de cap ( $\Delta C_1$ ,  $\Delta C_2$ ), pour laquelle un second gain de hauteur ( $\Delta H_1$ ,  $\Delta H_2$ ) qui est obtenu au niveau du relief par l'aéronef (A) en lui appliquant un ordre de montée à pente optimale, est suffisant pour franchir ledit relief (4),

10

caractérisé en ce que ledit dispositif de pilotage automatique (5) comprend de plus :

– un quatrième moyen (13) pour sélectionner automatiquement, le cas échéant, l'une desdites valeurs de variation de cap ( $\Delta C_1$ ,  $\Delta C_2$ ) permettant de franchir le relief (4) ; et

15

– un cinquième moyen (17, 22) pour appliquer automatiquement à l'aéronef (A) un ordre de montée et un ordre de cap, à savoir :

20

. si ledit premier gain de hauteur ( $\Delta H_0$ ) est suffisant pour franchir ledit relief (4), ledit ordre de montée à pente optimale avec un ordre de maintien du cap courant ; et

. si ledit premier gain de hauteur ( $\Delta H_0$ ) est insuffisant pour franchir ledit relief (4), un ordre de montée particulier qui est suffisant pour franchir le relief (4), avec un ordre de cap qui correspond à la valeur de variation de cap sélectionnée par ledit quatrième moyen (13).

25

12. Système selon la revendication 11,

caractérisé en ce qu'il comporte, de plus, un moyen d'indication (23) signalant automatiquement l'application d'un ordre de cap engendrant une variation de cap.

13. Système selon l'une des revendications 11 et 12, caractérisé en ce qu'il comporte, de plus, un moyen pour optimiser la configuration aérodynamique.

5 14. Système selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, caractérisé en ce qu'il comporte, de plus, un moyen permettant à un pilote de le désengager.

15. Système selon l'une quelconque des revendications 11 à 14, caractérisé en ce que ledit dispositif de pilotage automatique (5) fait partie d'un pilote automatique de l'aéronef (A).

10 16. Aéronef, caractérisé en ce qu'il comporte un système (1) tel que celui spécifié sous l'une quelconque des revendications 11 à 15.

15 17. Aéronef, caractérisé en ce qu'il comporte un système (1) susceptible de mettre en œuvre le procédé spécifié sous l'une quelconque des revendications 1 à 10.

1/4

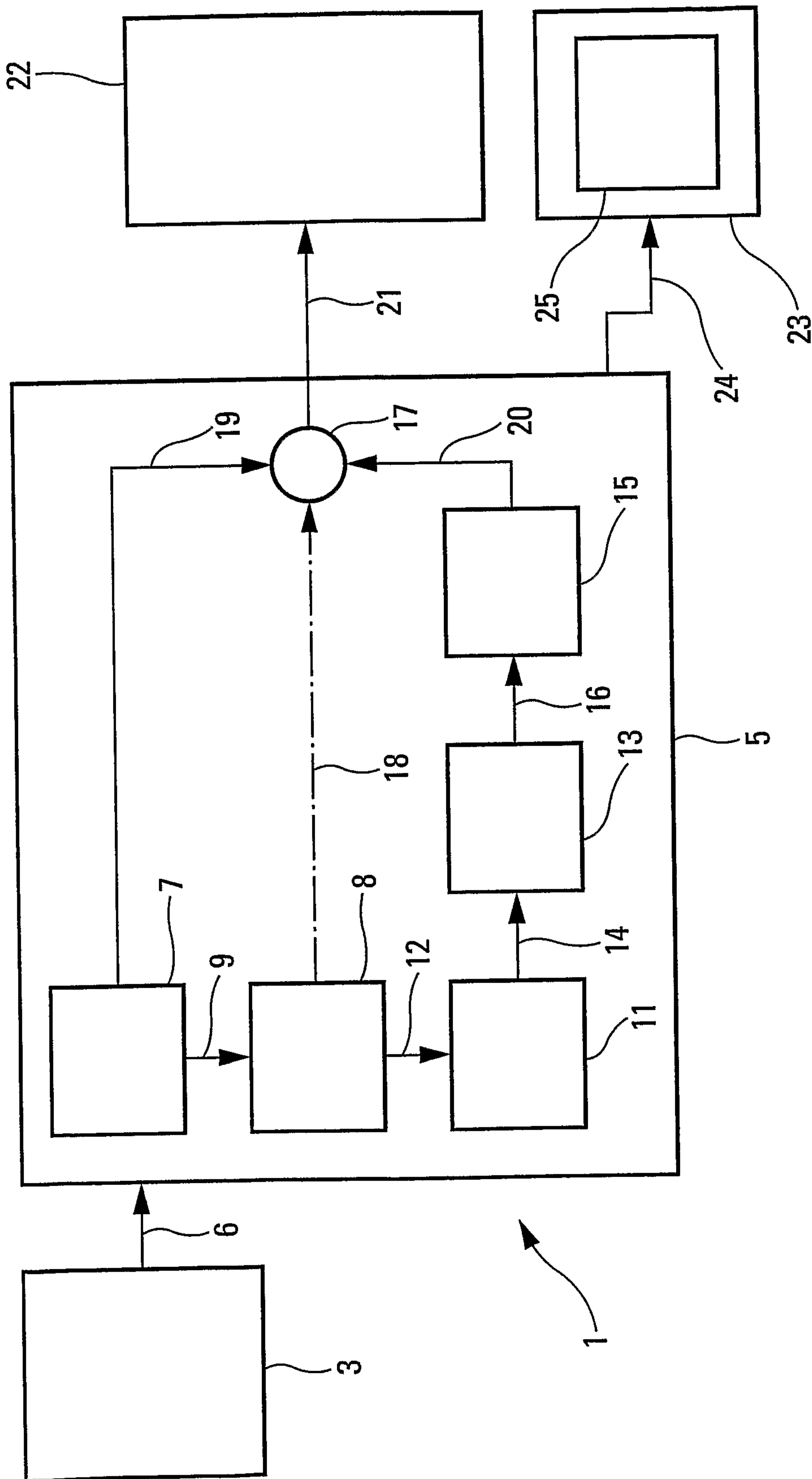


Fig. 1

2/4

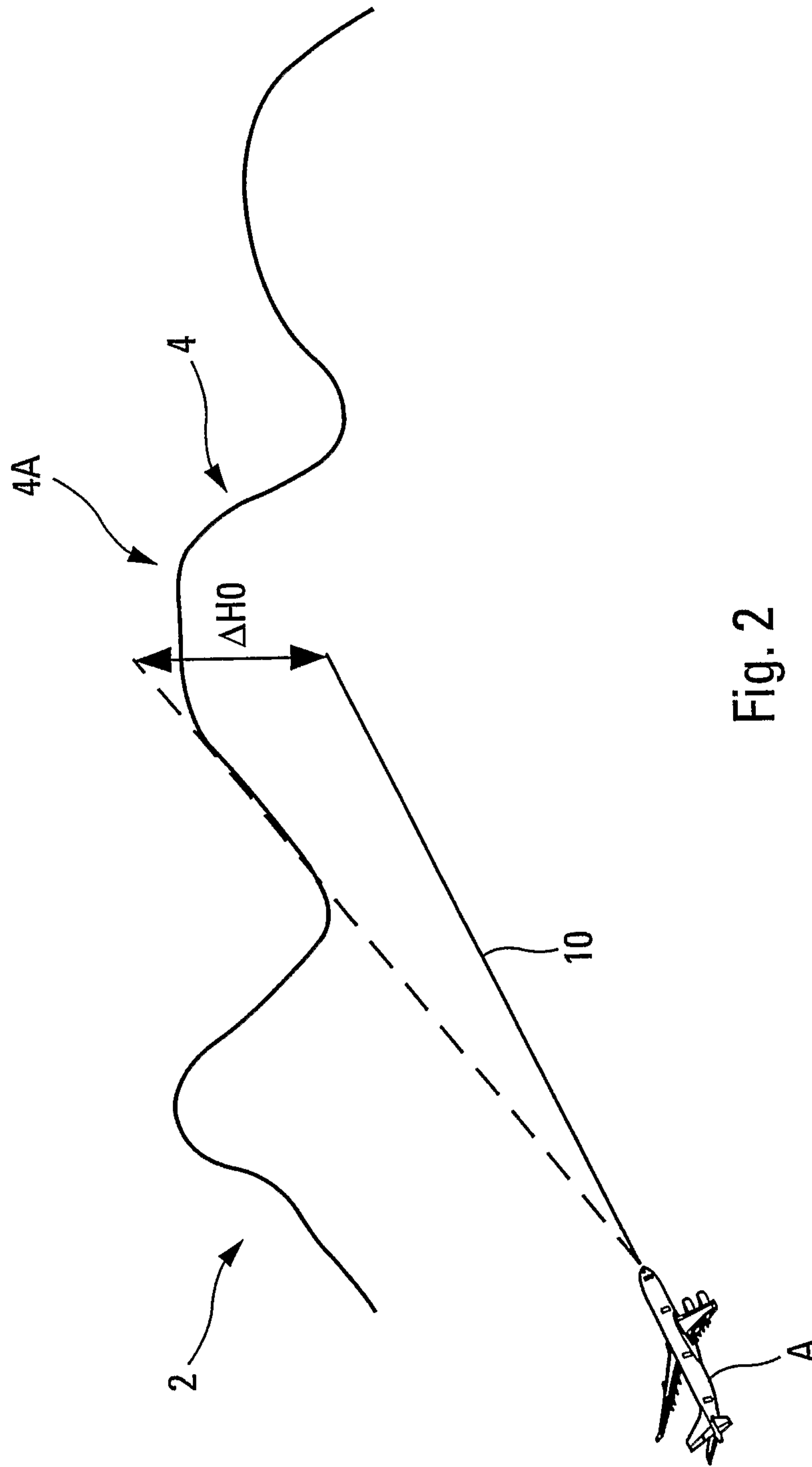


Fig. 2

3/4

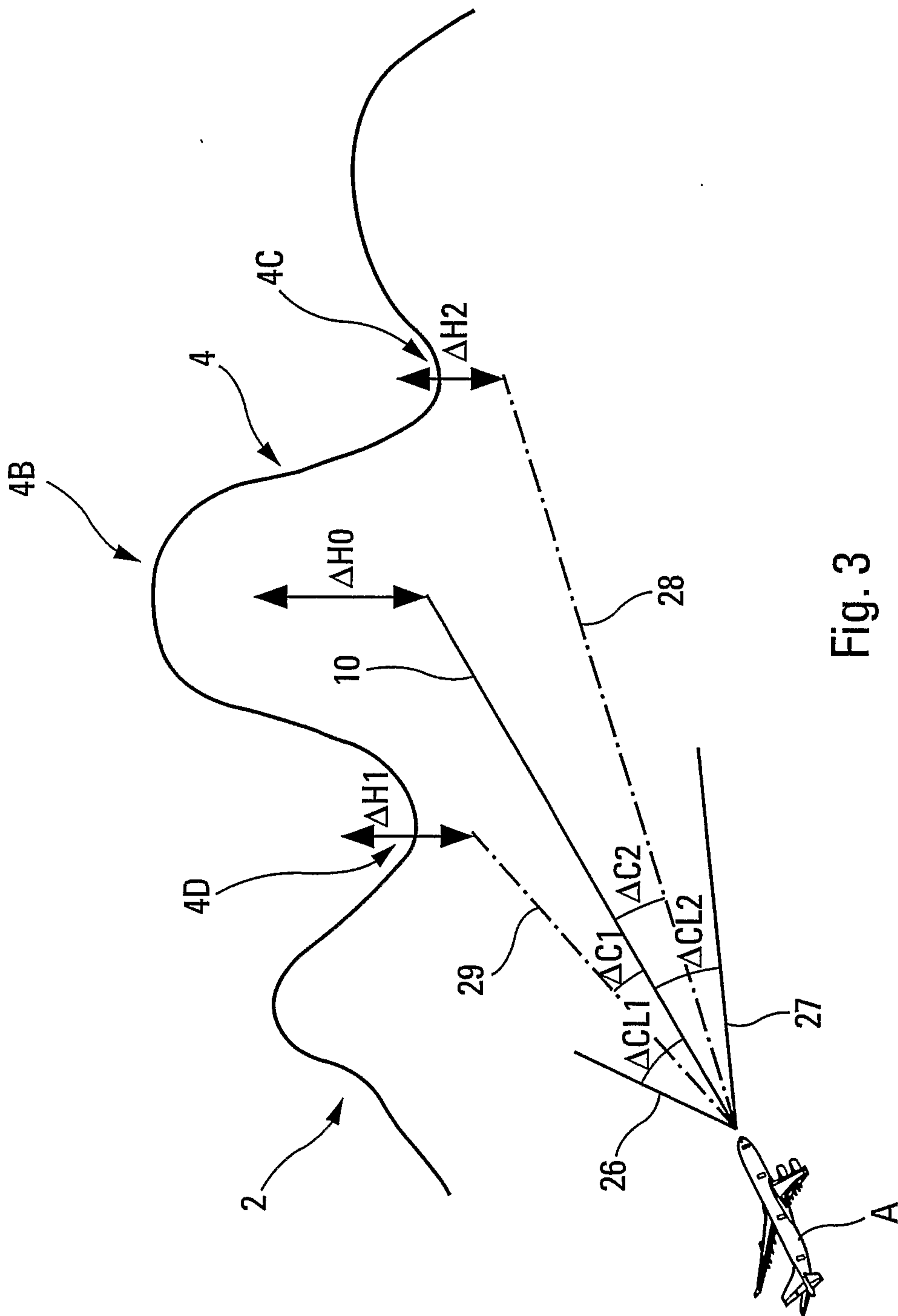


Fig. 3

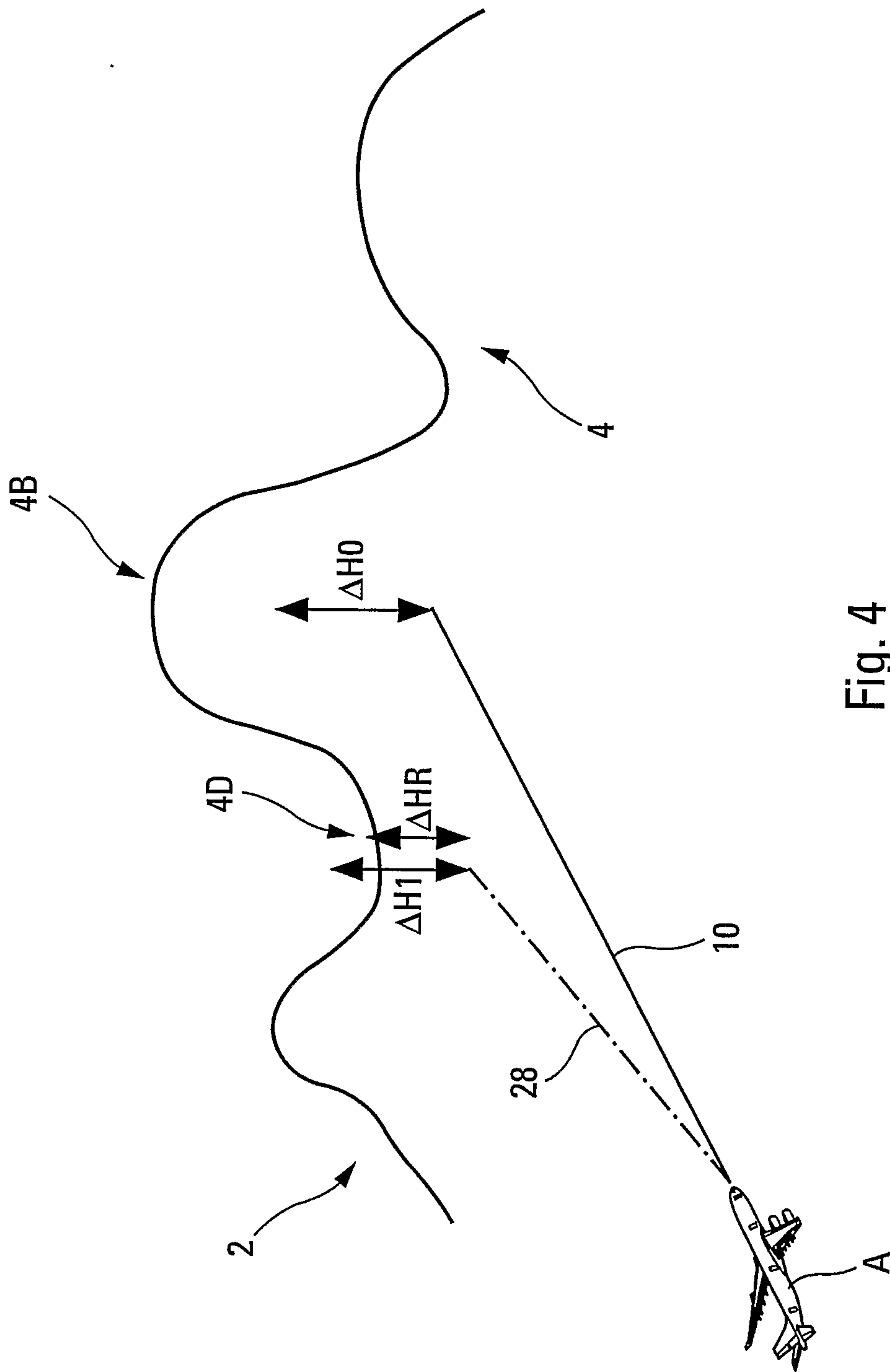


Fig. 4

