

(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
14 juin 2007 (14.06.2007)

PCT

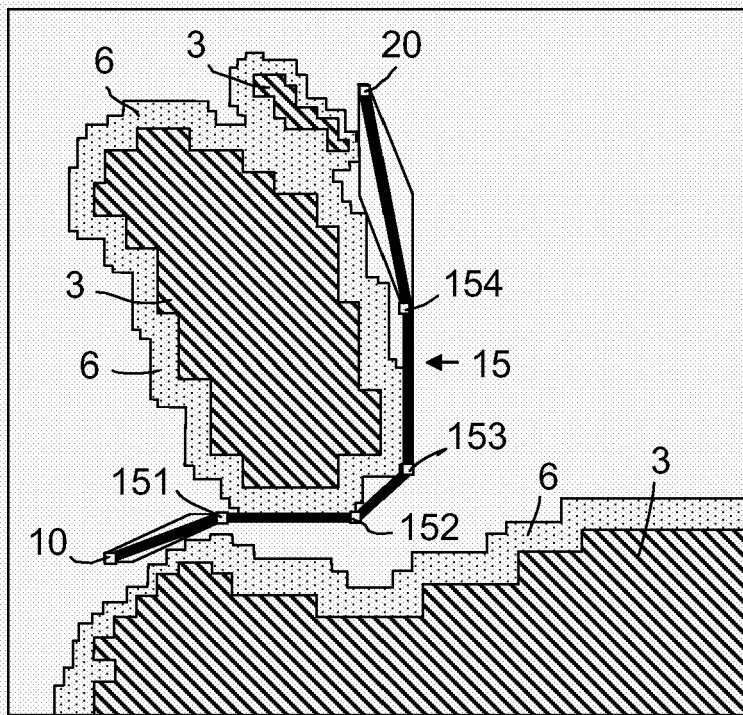
(10) Numéro de publication internationale
WO 2007/065781 A1

- (51) Classification internationale des brevets :
G08G 5/04 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2006/068581
- (22) Date de dépôt international :
16 novembre 2006 (16.11.2006)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
05 12420 7 décembre 2005 (07.12.2005) FR
- (71) Déposant (*pour tous les États désignés sauf US*) :
THALES [FR/FR]; 45 rue de Villiers, F-92200 Neuilly
Sur Seine (FR).
- (72) Inventeurs; et
(75) Inventeurs/Déposants (*pour US seulement*) : **MARTY, Nicolas** [FR/FR]; 12 Chemin du Bougeng, F-31790 Saint
Sauveur (FR). **FRANCOIS, Gilles** [FR/FR]; 31 avenue
Emile Dewoitine, F-31200 Toulouse (FR). **BITAR, Elias**
[FR/FR]; 17 rue de la Passerelle, F-31200 Toulouse (FR).
- (74) Mandataires : **BEYLOT, Jacques** etc.; MARKS &
CLERK FRANCE, 31-33, avenue Aristide Briand,
F-94117 Arcueil Cedex (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD OF DETERMINING THE HORIZONTAL PROFILE OF A FLIGHT PLAN COMPLYING WITH A PRE-SCRIBED VERTICAL FLIGHT PROFILE

(54) Titre : PROCEDE DE DETERMINATION DU PROFIL HORIZONTAL D'UN PLAN DE VOL RESPECTANT UN PROFIL DE VOL VERTICAL IMPOSE



(57) Abstract: The present invention relates to the defining, in a flight plan, of the horizontal profile of an air route with vertical flight and speed profile prescribed on departure and/or on arrival, by means of stringing together of transit points and/or turning points associated with local flight constraints and dubbed 'D-Fix' since they are not catalogued in a published navigation database, like those called "waypoints". It consists in charting, on curvilinear distance maps, a direct curvilinear path (15) joining the departure point (10) to the destination point (20) of the air route while complying with the vertical flight and speed profiles prescribed on departure and/or on arrival and while guaranteeing circumvention of the surrounding reliefs and compliance with regulated overfly zones (3), then in approximating the series of points of the direct curvilinear path (15) by a string of straight segments complying with an arbitrary threshold of maximum deviation with respect to the points of the series (15) and an arbitrary threshold of minimum lateral deviation with respect to the whole set of obstacles to be circumvented (3) and in adopting the points

(151 to 154) of the intermediate junctions of the rectilinear segments as 'D-Fix' points.

(57) Abrégé : La présente invention concerne la définition, dans un plan de vol, du profil horizontal d'une route aérienne à profil vertical de vol et de vitesse imposé au départ et/ou à l'arrivée, au moyen d'un enchaînement de points de passage et/ou tournants associés à des contraintes locales de vol et dénommés "D-Fix" car non répertoriés dans une base de données publiées de navigation comme ceux appelés "Waypoints". Elle consiste à repérer sur

[Suite sur la page suivante]

WO 2007/065781 A1



- (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, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,

ZW), eurasién (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).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

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.

des cartes de distances curvilignes un trajet curviligne direct (15) joignant le point de départ (10) au point de destination (20) de la route aérienne en respectant des profils verticaux de vol et de vitesse imposés au départ et/ou à l'arrivée et en garantissant un contournement des reliefs environnants et le respect de zones à survol réglementé (3), puis à approximer la suite de points du trajet curviligne direct (15) par une chaîne de segments droits respectant un seuil arbitraire d'écartement maximum par rapport aux points de la suite (15) et un seuil arbitraire d'écartement latéral minimum par rapport à l'ensemble d'obstacles à contourner (3) et à adopter pour points "D-Fix", les points (151 à 154) des jonctions intermédiaires des segments rectilignes.

PROCEDE DE DETERMINATION DU PROFIL HORIZONTAL D'UN PLAN DE VOL RESPECTANT UN PROFIL DE VOL VERTICAL IMPOSE

La présente invention concerne la définition, dans un plan de vol, du profil horizontal d'une route aérienne à profil vertical de vol et de vitesse imposé au départ et/ou à l'arrivée, au moyen d'un enchaînement de points de passage et/ou tournants associés à des contraintes locales de vol et
5 dénommés "D-Fix" pour « Dynamic FIX» car non répertoriés dans une base de données publiées de navigation comme ceux appelés "Waypoints".

Les points de passage et/ou tournants "Waypoints" répertoriés dans les bases de données publiées de navigation répondant à la norme ARINC-424 permettent de définir les routes aériennes les plus courantes.
10 Pour les autres, ils ne servent souvent qu'à définir des trajectoires de départ et d'arrivée conformes à des procédures publiées d'approche. Entre ces trajectoires imposées d'approche au départ et à l'arrivée, l'établissement de la route aérienne fait appel à des points de passage et/ou tournants "D-Fix" qui jouent les mêmes rôles que les "Waypoints" vis à vis du pilotage manuel
15 par l'entremise du pilote ou vis à vis du pilotage automatique par l'entremise d'un calculateur de gestion du vol ou d'un équipement de pilotage automatique mais dont la définition est de la responsabilité de l'opérateur. La création de ces points de passage et/ou tournants "D-Fix" présuppose le choix d'un tracé de route aérienne joignant au plus court, un point de départ
20 à un point de destination en tenant compte du relief de la région survolée, des restrictions réglementaires de survol et des capacités de manœuvre latérale de l'aéronef devant la parcourir, capacités manoeuvrières qui sont fonction de l'aéronef et de sa configuration de vol. Souvent, le choix du tracé de la route aérienne doit respecter un profil vertical de vol et de vitesse
25 imposé, soit par les circonstances, soit par le désir de minimiser le coût de la mission par exemple en recherchant une consommation de fuel minimum.

Il existe une importante littérature sur la détermination du profil horizontal de la route aérienne que doit suivre un aéronef pour remplir au moindre coût les objectifs d'une mission, le coût étant apprécié en terme de
30 contraintes locales prenant en considération la vitesse de l'aéronef, le maximum d'accélération latérale acceptable, les risques de collision avec le relief, les menaces ennemies dans le cas d'une mission militaire, les déviations par rapport à un trajet direct et la longueur supplémentaire

parcourue par rapport au chemin le plus court. On y trouve principalement des méthodes consistant à découper la région survolée en cellules élémentaires au moyen d'une grille de localisation géographique, à choisir un enchaînement de cellules élémentaires à suivre pour aller, au moindre coût, du point de départ au point de destination et à placer le long de l'enchaînement de cellules élémentaires choisies des points de passage et/ou tournants "D-Fix" compatibles avec une trajectoire volable. Parmi ces méthodes, il y a les méthodes dites à base de grille, dont un exemple est décrit dans le brevet américain US 4,812,990, qui mettent en œuvre une recherche d'un chemin à coût minimal parmi tous les chemins possibles reliant le point de départ au point de destination en passant par les centres des cellules de la grille, les méthodes dites à base de graphes, dont un exemple est décrit dans le brevet américain US 6,266,610, qui mettent en œuvre une recherche d'un chemin à coût minimal parmi tous les chemins reliant le point de départ au point de destination en passant par les côtés ou les diagonales des cellules et des méthodes hybrides à base de grille et de graphe telles que celle décrite dans le brevet américain US 6,259,988.

Toutes ces méthodes se heurtent à la difficulté de la recherche d'un enchaînement de cellules élémentaires conduisant à un chemin à coût minimal, provoquée par le grand nombre des enchaînements possibles, nombre qui croît de manière exponentielle lorsque l'on resserre le pas de la grille de localisation géographique. La plupart d'entre elles proposent des méthodes de traçage progressif, pas à pas cherchant à limiter le plus rapidement possible le champ de recherche parmi l'ensemble des enchaînements possibles mais elles réclament toujours une très importante puissance de calcul dont la disponibilité fait souvent défaut à bord d'un aéronef. En outre, elles ne tiennent pas ou peu compte des impératifs de confort des aéronefs de transport civils qui demandent à minimiser la fréquence et la rapidité des changements de cap ou d'altitude.

En fait, le problème de la détermination du profil horizontal d'une route aérienne, repose sur la détermination d'un trajet curviligne direct donc de longueur minimale, contournant les reliefs qui ne peuvent être franchis avec le profil vertical de vol et de vitesse imposé. Cette détermination d'un trajet curviligne direct est du ressort des estimations de distances curvilignes en présence de contraintes statiques (obstacles à contourner) et dynamiques

(profil vertical de vol et de vitesse). Or, de telles estimations peuvent être faites à un moindre coût de calcul, à la manière décrite dans la demande de brevet français FR 2.860.292, au moyen de transformées de distance par propagation dites également transformée de distance de chanfrein qui se contentent de calculs sur des nombres entiers.

La demanderesse a déjà proposé, dans les demandes de brevet français FR 2.864.312 et FR2.868.835, la mise en œuvre de transformées de distance par propagation pour élaborer des cartes de distances curvilignes dans le cadre d'un affichage de cartes électroniques de navigation aéronautique faisant ressortir les reliefs à contourner de la région survolée avec les marges latérales de sécurité à respecter, et dans le cadre d'un guidage pour aéronef vers une zone sûre, sans contrainte d'évolution dans le plan horizontal, notamment pour écarter un risque avéré de collision avec le sol.

La présente invention a pour but la détermination, en recherchant un moindre coût de calcul, d'un enchaînement de points de passage et/ou tournants "D-Fix" définissant, avec leurs contraintes associées, une route aérienne de plan de vol, allant d'un point de départ à un point de destination en respectant des profils verticaux de vol et de vitesse imposés au départ et/ou à l'arrivée et en garantissant un contournement des reliefs environnants.

Elle a pour objet un procédé de détermination du profil horizontal d'une route de plan de vol d'aéronef menant d'un point de départ à un point de destination, respectant des profils verticaux de vol et de vitesse imposés au départ et/ou à l'arrivée et tenant compte du relief et de zones à survol réglementé, remarquable en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- élaboration de deux cartes de distances curvilignes couvrant une zone d'évolution contenant les points de départ et de destination, et renfermant un même ensemble d'obstacles à contourner prenant en compte le relief, les zones à survol réglementé et les profils verticaux de vol et de vitesse imposés au départ et/ou à l'arrivée, la première ayant le point de départ pour origine des mesures de distance et la deuxième, le point de destination pour origine des mesures de distance,

- élaboration d'une troisième carte de distances curvilignes par sommation, pour chacun de ses points, des distances curvilignes qui leur

sont affectées dans les première et deuxième cartes de distances curvilignes,

- repérage dans la troisième carte de distances curvilignes, d'un ensemble connexe de points iso-distances formant un enchaînement de parallélogrammes et/ou de points reliant les points de départ et de destination,

- sélection, dans l'ensemble connexe repéré de points iso-distances, d'une suite de points consécutifs allant du point de départ au point de destination en passant par des diagonales de ses parallélogrammes, suite dite trajet direct,

- approximation de la suite de points du trajet direct par une chaîne de segments droits respectant un seuil arbitraire d'écartement maximum par rapport aux points de la suite et un seuil arbitraire d'écartement latéral minimum par rapport à l'ensemble d'obstacles à contourner, et

- choix des points des jonctions intermédiaires des segments droits en tant que point de passage ou tournants "D-Fix" du plan de vol.

Avantageusement, lorsqu'il n'y a qu'un profil vertical de vol et de vitesse imposé au départ, la première carte de distances curvilignes ayant le point de départ pour origine des mesures de distance est élaborée en tenant compte des contraintes statiques dues au relief et aux zones à survol réglementé, et de la contrainte dynamique due au profil vertical de vol et de vitesse imposé au départ tandis que la deuxième carte de distances curvilignes ayant le point de destination comme origine des mesures de distance est élaborée à partir de l'ensemble des obstacles à contourner apparus dans la première carte de distances curvilignes.

Avantageusement, lorsqu'il n'y a qu'un profil vertical de vol et de vitesse imposé à l'arrivée, la deuxième carte de distances curvilignes ayant le point de destination pour origine des mesures de distance est élaborée en tenant compte des contraintes statiques dues au relief et aux zones à survol réglementé et de la contrainte dynamique due au profil vertical de vol et de vitesse imposé à l'arrivée tandis que la première carte de distances curvilignes ayant le point de départ comme origine des mesures de distance est élaborée à partir de l'ensemble des obstacles à contourner apparus dans la deuxième carte de distances curvilignes.

Avantageusement, lorsqu'il y a des profils verticaux de vol et de vitesse imposés au départ et à l'arrivée, les première et deuxième cartes de distances curvilignes sont élaborées à partir d'un ensemble d'obstacles à contourner figurant dans deux ébauches de ces cartes de distances

5 curvilignes :

- une ébauche de la première carte de distances curvilignes ayant le point de départ pour origine des mesures de distance élaborée en tenant compte des contraintes statiques dues au relief et aux zones à survol réglementé et de la contrainte dynamique due au profil vertical de vol et de vitesse imposé au départ, et

10

- une ébauche de la deuxième carte de distances curvilignes ayant le point de destination pour origine des mesures de distance étant élaborée en tenant compte des contraintes statiques dues au relief et aux zones à survol réglementé et de la contrainte dynamique due au profil vertical de vol et de vitesse imposé à l'arrivée.

15

Avantageusement, l'ensemble des obstacles à contourner est complété par les points des première et deuxième cartes affectés d'estimations de distance curviligne présentant des discontinuités par rapport à celles affectées à des points du proche voisinage.

20

Avantageusement, l'ensemble des obstacles à contourner pris en compte dans les cartes de distances curvilignes est complété par des marges latérales de sécurité fonction des capacités de virage à plat de l'aéronef dans sa configuration du moment, en approche du relief et/ou de la zone à survol réglementé considéré, résultant du suivi du profil vertical de vol et de vitesse imposé.

25

Avantageusement, les marges latérales de sécurité ajoutées à l'ensemble des obstacles à contourner sont déterminées à partir d'une carte de distances curvilignes ayant l'ensemble d'obstacles à contourner comme origine des mesures de distance.

30

Avantageusement, l'épaisseur locale d'une marge latérale de sécurité tient compte du vent local.

Avantageusement, l'épaisseur locale d'une marge latérale de sécurité tient compte du changement de cap nécessaire pour contourner un relief et/ou une zone à survol réglementée.

35

Avantageusement, l'épaisseur locale d'une marge latérale de sécurité correspond à un rayon minimal de virage à plat autorisé pour l'aéronef dans sa configuration du moment.

Avantageusement, le seuil d'écartement maximum de la chaîne de segments droits par rapport à la suite de points du trajet direct est de l'ordre
5 d'un demi-rayon minimal de virage à plat autorisé pour l'aéronef dans sa configuration du moment.

Avantageusement, les cartes de distances curvilignes sont élaborées au moyen d'une transformée de distance par propagation.

10 Avantageusement, l'approximation de la suite de points du trajet direct par un enchaînement de segments rectilignes est obtenue par une construction progressive au cours de laquelle le point de départ ou respectivement de destination du trajet direct est pris pour origine d'un premier segment que l'on fait grandir en ajoutant un par un des points
15 consécutifs tant qu'il ne pénètre pas dans l'ensemble des obstacles répertoriés à contourner et que son écart par rapport aux points du trajet direct qu'il court-circuite respecte le seuil arbitraire d'écartement maximum admis, d'autres segments rectilignes construits de la même manière étant ajoutés à la suite tant que le point de destination ou respectivement de
20 départ du trajet direct n'est pas atteint.

Avantageusement, l'approximation de la suite de points du trajet direct par un enchaînement de segments rectilignes est obtenue par une construction dichotomique au cours de laquelle le point de départ et le point de destination du trajet direct sont initialement reliés par un segment
25 rectiligne remplacé, dès qu'il pénètre dans l'ensemble des obstacles répertoriés à contourner ou que son écart par rapport aux points du trajet direct qu'il court-circuite dépasse le seuil arbitraire d'écartement maximum admis, par un enchaînement de deux segments rectilignes se rejoignant au point du trajet direct le plus à l'écart parmi ceux qu'il court-circuite, chaque
30 nouveau segment étant à son tour remplacé par un enchaînement de deux nouveaux segments se joignant au point du trajet direct le plus à l'écart parmi les points court-circuités dès qu'il pénètre dans l'ensemble des obstacles à contourner ou que son écart par rapport aux points du trajet direct qu'il court-circuite dépasse le seuil arbitraire d'écartement maximum admis.

Le procédé de détermination du profil horizontal d'une route de plan de vol est avantageusement mis en œuvre au cours d'un vol, lors d'une requête "Dir-to" de rejointe d'un point géographique faite par l'équipage au calculateur de gestion du vol de l'aéronef.

5 Le procédé de détermination du profil horizontal d'une route de plan de vol est avantageusement mis en œuvre lors de la préparation de missions militaires ou de sécurité civile.

Le procédé de détermination du profil horizontal d'une route de plan de vol est avantageusement mis en œuvre dans un système de rejointe
10 d'un aéroport de repli en cas de panne moteur.

Le procédé de détermination du profil horizontal d'une route de plan de vol est avantageusement mis en œuvre dans un système de gestion des discontinuités de plan de vol.

Le procédé de détermination du profil horizontal d'une route de
15 plan de vol est avantageusement mis en œuvre dans un système de rejointe automatique de positions prédéterminées pour aéronef sans pilote.

Le procédé de détermination du profil horizontal d'une route de plan de vol est avantageusement mis en œuvre, dans un cadre sécuritaire, dans un système de rejointe automatique de positions prédéterminées pour
20 aéronef piloté hors de contrôle.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description ci-après, d'un mode de réalisation donné à titre d'exemple. Cette description sera faite en regard du dessin dans lequel :

- 25
- une figure 1 représente un exemple de masque de chanfrein utilisable par une transformée de distance par propagation,
 - des figures 2a et 2b montrent des cellules du masque de chanfrein illustré à la figure 2 utilisées dans des passes de balayage selon les ordres lexicographiques direct et inverse,
 - 30 - une figure 3 illustre un profil vertical de vol avec des pentes imposées de montée depuis le point de départ et de descente vers le point de destination,
 - des figures 4a et 4b illustrent une décomposition du profil vertical de vol montré à la figure 3, en profil aller et profil retour afin de
 - 35 permettre son utilisation pour le repérage d'un trajet curviligne

- direct entre le point de départ et le point de destination d'une route aérienne de plan de vol dont le profil horizontal est à établir,
- une figure 5 illustre un profil vertical de vol à pente de descente constante vers le point de destination,
- 5
- des figures 6a et 6b illustrent une décomposition du profil vertical de vol montré à la figure 5, en profil aller et profil retour afin de permettre son utilisation pour le repérage d'un trajet curviligne direct entre le point de départ et le point de destination d'une route aérienne de plan de vol dont le profil horizontal est à établir,
- 10
- une figure 7 représente un exemple d'un ensemble d'obstacles à contourner obtenu à partir d'une ébauche de carte de distances curvilignes ayant pour origine des mesures de distance le point de départ de la route de plan de vol et tenant compte d'un profil vertical de vol et de vitesse imposé au départ,
- 15
- une figure 8 représente les obstacles à contourner obtenu dans le même contexte que la figure 7, à partir d'une ébauche de carte de distances curvilignes ayant pour origine des mesures de distance le point de destination de la route de plan de vol et tenant compte d'un profil vertical de vol et de vitesse imposé à l'arrivée,
- 20
- une figure 9 représente l'ensemble des obstacles à contourner résultant de la fusion par réunion des ensembles d'obstacles à contourner montrés aux figures 7 et 8,
 - des figures 10a, 10b, 10c illustrent une méthode de traçage d'une marge latérale de sécurité autour d'un obstacle à contourner,
- 25
- une figure 11 représente, dans le même contexte que les figures 7 et 8, l'ensemble des obstacles à contourner, grossis de marges latérales de sécurité, pris en compte pour les cartes de distances curvilignes servant au repérage du trajet direct entre le point de départ et le point de destination,
- 30
- une figure 12 représente un ensemble de points de trajets les plus courts identifié dans le contexte des figures 7, 8 et 11,
 - une figure 13 représente un exemple d'ensemble de points de trajets les plus courts montrant que le fait qu'un trajet lui appartienne ne garantit pas qu'il soit minimal,

- une figure 14 représente le trajet curviligne direct obtenu relativement à l'ensemble d'obstacles à contourner montré à la figure 11,
- 5 - une figure 15 illustre une méthode de détermination d'un enchaînement de segments rectilignes approximant le tracé d'un trajet curviligne direct,
- une figure 16 illustre l'enchaînement de segments rectilignes et des points de passages "D-Fix" obtenus à partir du trajet direct montré à la figure 14,
- 10 - une figure 17 représente un schéma d'un dispositif de mise en œuvre d'un procédé de détermination du profil horizontal d'une route aérienne de plan de vol selon l'invention, et
- des figures 18 à 21 sont des schémas de différents dispositifs embarqués mettant en œuvre un procédé de détermination du
15 profil horizontal d'une route aérienne de plan de vol selon l'invention.

La méthode, qui va être décrite, de détermination ou de traçage d'un profil horizontal de route aérienne respectant le relief, des zones à
20 survol réglementé et des profils verticaux de vol et de vitesse imposés au départ et/ou à l'arrivée s'appuie sur la technique des transformées de distance par propagation appliquée à la navigation aérienne, dans un cadre de contraintes statiques constituées de reliefs à contourner et de zones à survol réglementé à respecter, et de contraintes dynamiques constituées par
25 un profil vertical de vol et de vitesse imposé.

Les transformées de distance par propagation sont apparues initialement en analyse d'image pour estimer des distances entre objets. Parmi elles, figurent les transformées de distance à masque de chanfrein dont des exemples sont décrits par Mme Gunilla Borgefors dans un article
30 intitulé " Distance Transformation in Digital Images." paru dans la revue : Computer Vision, Graphics and Image Processing, Vol. 34 pp. 344-378 en février 1986.

La distance entre deux points d'une surface est la longueur minimale de tous les parcours possibles sur la surface partant de l'un des
35 points et aboutissant à l'autre. Dans une image formée de pixels répartis

selon un maillage régulier de lignes, colonnes et diagonales, une transformée de distance à masque de chanfrein estime la distance d'un pixel dit pixel "but" par rapport à un ou plusieurs pixels dits pixels "source" en construisant progressivement, en partant des pixels source, le plus court
5 trajet possible suivant le maillage des pixels et aboutissant au pixel but, et en s'aidant des distances trouvées pour les pixels de l'image déjà analysés et d'un tableau dit masque de chanfrein répertoriant les valeurs des distances entre un pixel et ses proches voisins.

Comme montré à la figure 1, un masque de chanfrein se présente
10 sous la forme d'un tableau avec une disposition de cases reproduisant le motif d'un pixel entouré de ses proches voisins. Au centre du motif, une case affectée de la valeur 0 repère le pixel pris pour origine des distances répertoriées dans le tableau. Autour de cette case centrale, s'agglomèrent des cases périphériques remplies de valeurs de distance de proximité non
15 nulles et reprenant la disposition des pixels du voisinage d'un pixel supposé occuper la case centrale. La valeur de distance de proximité figurant dans une case périphérique est celle de la distance séparant un pixel occupant la position de la case périphérique concernée, d'un pixel occupant la position de la case centrale. On remarque que les valeurs de distance de proximité
20 se répartissent en cercles concentriques. Un premier cercle de quatre cases correspondant aux quatre pixels de premier rang, qui sont les plus proches du pixel de la case centrale, soit sur la même ligne, soit sur la même colonne, sont affectées d'une valeur de distance de proximité D1. Un deuxième cercle de quatre cases correspondant aux quatre pixels de
25 deuxième rang, qui sont les pixels les plus proches du pixel de la case centrale placés sur les diagonales, sont affectées d'une valeur de distance de proximité D2. Un troisième cercle de huit cases correspondant aux huit pixels de troisième rang, qui sont les plus proches du pixel de la case centrale tout en restant en dehors de la ligne, de la colonne et des
30 diagonales occupées par le pixel de la case centrale, sont affectées d'une valeur de distance de proximité D3.

Le masque de chanfrein peut couvrir un voisinage plus ou moins étendu du pixel de la case centrale en répertoriant les valeurs des distances de proximité d'un nombre plus ou moins important de cercles concentriques
35 de pixels du voisinage. Il peut être réduit aux deux premiers cercles formés

par les pixels du voisinage d'un pixel occupant la case centrale ou être étendu au-delà des trois premiers cercles formés par les pixels du voisinage du pixel de la case centrale. Il est habituel de s'arrêter à trois premiers cercles comme pour le masque de chanfrein montré à la figure 3.

5 Les valeurs des distances de proximité D1, D2, D3 qui correspondent à des distances euclidiennes sont exprimées dans une échelle dont le facteur multiplicatif autorise l'emploi de nombres entiers au prix d'une certaine approximation. C'est ainsi que G. Borgefors adopte une échelle correspondant à un facteur multiplicatif 3 ou 5. Dans le cas d'un
10 masque de chanfrein retenant les deux premiers cercles de valeurs de distance de proximité, donc de dimensions 3x3, G. Borgefors donne, à la première distance de proximité D1 qui correspond à un échelon en abscisse ou en ordonnée et également au facteur multiplicatif d'échelle, la valeur 3 et, à la deuxième distance de proximité qui correspond à la racine de la somme
15 des carrés des échelons en abscisse et en ordonnée $\sqrt{x^2 + y^2}$, la valeur 4. Dans le cas d'un masque de chanfrein retenant les trois premiers cercles, donc de dimensions 5x5, elle donne, à la distance D1 qui correspond au facteur multiplicatif d'échelle, la valeur 5, à la distance D2, la valeur 7 qui est une approximation de $5\sqrt{2}$, et à la distance D3 la valeur 11 qui est une
20 approximation de $5\sqrt{5}$.

La construction progressive du plus court trajet possible allant à un pixel but en partant de pixels source et en suivant le maillage des pixels se fait par un balayage régulier des pixels de l'image au moyen du masque de chanfrein.

25 Initialement, les pixels de l'image se voient affecter une valeur de distance infinie, en fait un nombre suffisamment élevé pour dépasser toutes les valeurs des distances mesurables dans l'image, à l'exception du ou des pixels source qui se voient affecter une valeur de distance nulle. Puis les valeurs initiales de distance affectées aux points but sont mises à jour au
30 cours du balayage de l'image par le masque de chanfrein, une mise à jour consistant à remplacer une valeur de distance attribuée à un point but, par une nouvelle valeur moindre résultant d'une estimation de distance faite à l'occasion d'une nouvelle application du masque de chanfrein au point but considéré.

Une estimation de distance par application du masque de chanfrein à un pixel but consiste à répertorier tous les trajets allant de ce pixel but au pixel source et passant par un pixel du voisinage du pixel but dont la distance a déjà été estimée au cours du même balayage, à
5 rechercher parmi les trajets répertoriés, le ou les trajets les plus courts et à adopter la longueur du ou des trajets les plus courts comme estimation de distance. Cela se fait en plaçant le pixel but dont on veut estimer la distance dans la case centrale du masque de chanfrein, en sélectionnant les cases périphériques du masque de chanfrein correspondant à des pixels du
10 voisinage dont la distance vient d'être mise à jour, en calculant les longueurs des trajets les plus courts reliant le pixel but à mettre à jour aux pixels source en passant par un des pixels sélectionnés du voisinage, par addition de la valeur de distance affectée au pixel du voisinage concerné et de la valeur de distance de proximité donnée par le masque de chanfrein, et à adopter,
15 comme estimation de distance, le minimum des valeurs de longueur de trajet obtenues et de l'ancienne valeur de distance affectée au pixel en cours d'analyse.

Au niveau d'un pixel en analyse par le masque de chanfrein, la recherche progressive des plus courts trajets possibles partant d'un pixel
20 source et allant aux différents pixels but de l'image donne lieu à un phénomène de propagation en directions des pixels qui sont les voisins les plus proches du pixel en analyse et dont les distances sont répertoriées dans le masque de chanfrein. Dans le cas d'une répartition régulière des pixels de l'image, les directions des plus proches voisins d'un pixel ne variant pas sont
25 considérées comme des axes de propagation de la transformée de distance à masque de chanfrein.

L'ordre de balayage des pixels de l'image influe sur la fiabilité des estimations de distance et de leurs mises à jour car les trajets pris en compte en dépendent. En fait, il est soumis à une contrainte de régularité qui fait que
30 si les pixels de l'image sont repérés selon l'ordre lexicographique (pixels classés dans un ordre croissant ligne par ligne en partant du haut de l'image et en progressant vers le bas de l'image, et de gauche à droite au sein d'une ligne), et si un pixel p a été analysé avant un pixel q alors un pixel p+x doit être analysé avant le pixel q+x. Les ordres lexicographique, lexicographique
35 inverse (balayage des pixels de l'image ligne par ligne de bas en haut et, au

sein d'une ligne, de droite à gauche), lexicographique transposé (balayage des pixels de l'image colonne par colonne de gauche à droite et, au sein d'une colonne, de haut en bas), lexicographique transposé inverse (balayage des pixels par colonnes de droite à gauche et au sein d'une colonne de bas en haut) satisfont cette condition de régularité et plus généralement tous les balayages dans lesquels les lignes et colonnes sont balayées de droite à gauche ou de gauche à droite. G. Borgefors préconise un double balayage des pixels de l'image, une fois dans l'ordre lexicographique et une autre dans l'ordre lexicographique inverse.

10 L'analyse de l'image au moyen du masque de chanfrein peut se faire selon une méthode parallèle ou une méthode séquentielle. Pour la méthode parallèle, on considère les propagations de distance depuis tous les points du masque que l'on fait passer sur la totalité de l'image en plusieurs balayages jusqu'à ce qu'il ne se produise plus de changement dans les estimations de distance. Pour la méthode séquentielle, on ne considère les propagations de distance que depuis la moitié des points du masque. On fait passer la moitié supérieure du masque sur tous les points de l'image par un balayage suivant l'ordre lexicographique puis la moitié inférieure du masque sur tous les points de l'image selon l'ordre lexicographique inverse.

20 La figure 2a montre, dans le cas de la méthode séquentielle et d'une passe de balayage selon l'ordre lexicographique allant du coin supérieur gauche au coin inférieur droit de l'image, les cases du masque de chanfrein de la figure 1 utilisées pour répertorier les trajets allant d'un pixel but placé sur la case centrale (case indexée par 0) au pixel source en passant par un pixel du voisinage dont la distance a déjà fait l'objet d'une estimation au cours du même balayage. Ces cases sont au nombre de huit, disposées dans la partie supérieure gauche du masque de chanfrein. Il y a donc huit trajets répertoriés pour la recherche du plus court dont la longueur est prise pour estimation de la distance.

30 La figure 2b montre, dans le cas de la méthode séquentielle et d'une passe de balayage selon l'ordre lexicographique inverse allant du coin inférieur droit au coin supérieur gauche de l'image, les cases du masque de chanfrein de la figure 1 utilisées pour répertorier les trajets allant d'un pixel but placé sur la case centrale (case indexée par 0) au pixel source en passant par un pixel du voisinage dont la distance a déjà fait l'objet d'une

35

estimation au cours du même balayage. Ces cases sont complémentaires de celles de la figure 2a. Elles sont également au nombre de huit mais disposées dans la partie inférieure droite du masque de chanfrein. Il y a donc encore huit trajets répertoriés pour la recherche du plus court dont la
5 longueur est prise pour estimation de la distance.

La transformée de distance par propagation dont le principe vient d'être rappelé sommairement a été conçue à l'origine pour l'analyse du positionnement d'objets dans une image mais elle n'a pas tardé à être appliquée à l'estimation des distances sur une carte du relief extraite d'une
10 base de données d'élévations du terrain à maillage régulier de la surface terrestre. En effet, une telle carte ne dispose pas explicitement d'une métrique puisqu'elle est tracée à partir des élévations des points du maillage d'une base de données d'élévations du terrain de la zone représentée. Dans ce cadre, la transformée de distance à masque de chanfrein est appliquée à
15 une image dont les pixels sont les éléments de la base de données d'élévations du terrain appartenant à la carte, c'est-à-dire des valeurs d'élévation associées aux coordonnées géographiques latitude, longitude des nœuds du maillage de la grille de localisation géographique utilisée pour les mesures, classés, comme sur la carte, par latitude et par longitude
20 croissantes ou décroissantes selon un tableau à deux dimensions de coordonnées latitude et longitude.

Certains systèmes de navigation de terrain pour des mobiles tels que des robots se servent de la transformée de distance à masque de chanfrein pour estimer des distances curvilignes tenant compte de zones
25 infranchissables en raison de leurs configurations accidentées. Pour ce faire, ils associent, aux éléments de la base de données d'élévations du terrain figurant dans la carte, un attribut de zone interdite qui signale, lorsqu'il est activé, une zone infranchissable ou interdite et inhibe toute mise à jour autre qu'une initialisation, de l'estimation de distance faite par la transformée de
30 distance à masque de chanfrein.

Dans le cas d'un aéronef, l'adoption d'un attribut de zone interdite ne convient pas car la configuration des zones infranchissables évolue en fonction de l'altitude résultant du suivi du profil vertical de sa trajectoire. Pour résoudre cette difficulté, la demanderesse a proposé, dans une demande de
35 brevet français FR 2.860.292 de faire propager par la transformée de

distance sur les points de l'image constituée par des éléments de la base de données d'élévations du terrain non seulement les longueurs des trajets les plus courts dites distances propagées mais également les altitudes que prendrait l'aéronef après avoir parcouru un trajet de rejointe de longueur
5 minimale en respectant son profil vertical de vol et de vitesse, dites altitudes propagées, et de ne retenir une distance propagée en un point que si l'altitude propagée associée est supérieure à l'élévation du point considéré figurant dans la base de données, augmentée d'une marge verticale de sécurité.

10 La prise en compte des restrictions de survol imposées par la réglementation aérienne s'obtient au moyen d'attributs spécifiques de contraintes de réglementation répertoriant, en chaque point, les exigences de la réglementation aérienne : interdiction de survol, hauteur ou altitude
15 minimale de survol autorisée, tranches d'altitude autorisées, contrainte de cap ou de pente qui doivent également être satisfaites pour que la distance propagée en un point soit retenue. Ces attributs de contraintes de réglementation aérienne peuvent être saisis périodiquement dans la base de données d'élévations du terrain en fonction de durées planifiées de validité de la réglementation ou à l'occasion de la préparation d'un plan de vol. Ils
20 peuvent également être téléchargés de manière dynamique dans une base de données d'élévations du terrain embarquée, pour les régions situées au voisinage de la route prévisible de l'aéronef.

En final, la mise en œuvre d'une transformée de distance par propagation dans le domaine de la navigation aérienne, plus généralement
25 l'élaboration d'une carte de distances curvilignes, doit se faire en tenant compte de contraintes statiques constituées par le relief et/ou par des zones à circulation réglementée, et d'une loi de variation d'altitude en fonction de la distance parcourue qui est une contrainte dynamique déterminable à partir de la distance estimée depuis le point pris pour origine des mesures et qui
30 résulte souvent d'un profil vertical de vol et de vitesse imposé.

La détermination, en projection horizontale, d'une route aérienne entre un point de départ et un point de destination au moyen de cartes de distances curvilignes posent différents problèmes dont :

- le repérage du ou des trajets curvilignes directs les plus courts
35 correspondant à l'estimation de distance curviligne associée au point de

destination car ils n'apparaissent pas explicitement dans une carte de distances curvilignes,

- la connaissance incomplète d'un profil vertical de vol et de vitesse lorsqu'il est constitué de deux parties, l'une définie à partir du point de départ et l'autre depuis le point de destination car celui-ci dépend de la
5 longueur du trajet adopté en final,

- les adaptations à apporter au profil d'un trajet curviligne direct à la base d'une estimation de distance curviligne du point de destination pour qu'il soit volable, c'est-à-dire adapté aux conditions d'évolution imposées à
10 un aéronef, et

- les localisations des points de passage et/ou tournants "D-Fix" permettant le suivi, en pilotage manuel ou automatique, du trajet curviligne direct rendu volable.

Le repérage d'un trajet curviligne direct correspondant au ou à l'un
15 des trajets les plus courts à la base de l'estimation de distance curviligne faite pour le point de destination dans une carte de distances curvilignes élaborée sans prise en compte de contraintes dynamiques et ayant le point de départ pour origine de ses mesures de distance peut être obtenu par élaboration d'une deuxième et d'une troisième cartes de distances
20 curvilignes couvrant la même région. La deuxième carte se différencie de la première par le déplacement au point but, du point pris pour origine des mesures de distance curviligne. La troisième carte adopte pour estimation de distance curviligne en chacun de ses points, la somme des estimations de distance curviligne faites pour le point concerné, dans la première et la
25 deuxième cartes.

En effet, lorsqu'il existe un trajet curviligne direct de longueur minimale, ce qui est le cas d'un point de destination pourvu d'une estimation de distance curviligne, les points de la troisième carte de distances curvilignes, empruntés par le trajet curviligne direct constituent une chaîne
30 ininterrompue de points allant du point de départ au point de destination, tous affectés de la somme minimale d'estimations de distances curvilignes car, si ce n'était pas le cas, il existerait un trajet plus court, ce qui est impossible par définition. Comme il peut y avoir plusieurs trajets de longueur minimale menant du point de départ au point de destination, la chaîne de points peut
35 se trouver dans un ensemble plus grand de points connexes tous affectés

d'une somme minimale d'estimations de distance curviligne, ayant la forme d'un enchaînement de surfaces en forme de parallélogramme donnant différentes possibilités pour le traçage d'un chemin de longueur minimale. Dans ce cas, on adopte le tracé le moins sinueux en suivant les diagonales
5 des formes en parallélogramme.

Lorsque la carte de distances curvilignes ayant le point de départ pour origine des mesures de distance est élaborée en tenant compte de contraintes dynamiques, la méthode précédente de repérage d'un trajet curviligne direct pose un problème de mise en œuvre car les contraintes
10 dynamiques déterminables à partir d'un point n'ont aucune raison de l'être à partir d'un autre point. Ainsi, il est souvent impossible de respecter dans la deuxième carte les contraintes dynamiques appliquées à la première carte. Pour tourner cette difficulté, on remplace, lors de l'élaboration de la deuxième carte de distances curvilignes, les contraintes statiques et
15 dynamiques prise en compte lors de l'élaboration de la carte initiale de distances curvilignes, par un ensemble de zones à contourner constituées des points de la première carte où une estimation de distance curviligne s'est révélée impossible du fait des diverses contraintes.

Lors de la montée à une altitude de croisière depuis un point de
20 départ de mission, on cherche, pour un aéronef de transport à optimiser l'énergie consommée, ce qui se traduit par un profil vertical de vol et de vitesse irrégulier que l'on approxime par une suite de segments rectilignes pour son suivi par un calculateur de gestion du vol ou par un équipement de pilotage automatique.

Pour simplifier la description, on poursuit l'approximation jusqu'à
25 assimiler le profil vertical de vol lors de la montée à l'altitude de croisière depuis le point de départ à un unique segment rectiligne à pente constante. On fait la même simplification pour le profil vertical de vol lors de la descente depuis l'altitude de croisière en direction du point de destination alors que
30 l'aéronef doit consommer ses énergies potentielle et cinétique.

Ces simplifications ne sont pas restrictives car il est toujours possible de s'en passer dans les différentes étapes de la méthode de repérage d'un trajet curviligne direct qui va être décrite et de remplacer les segments rectilignes uniques à pentes constantes par les suites de
35 segments rectilignes qu'ils approximent.

Comme montré à la figure 3, on aboutit, pour un aéronef de transport décollant d'une piste d'un aéroport de départ pour se poser sur une piste d'un aéroport de destination, à un profil vertical de vol comportant une montée 30 à pente constante partant de l'altitude du point de départ jusqu'à
5 une altitude de croisière suivie d'un palier 31, 32 à l'altitude de croisière puis d'une descente 33 à pente constante jusqu'à l'altitude du point de destination. Dans ce cas, le repérage d'un trajet curviligne direct menant du point de départ au point de destination s'obtient en décomposant le profil vertical de vol et de vitesse en un profil aller montré à la figure 4a et en un
10 profil retour montré à la figure 4b.

Le profil aller montré à la figure 4a est constitué de la montée 30 à pente constante depuis l'altitude du point de départ jusqu'à l'altitude de croisière, prolongée indéfiniment par le palier 31 d'altitude de croisière. Il correspond à une contrainte dynamique déterminable depuis le point de
15 départ, utilisable pour l'élaboration d'une ébauche de première carte de distances curvilignes fidèle sur le seul début du trajet puisque cette contrainte dynamique ne prend en compte que la première moitié du profil vertical de vol et de vitesse imposé.

Le profil retour montré dans l'ordre inverse à la figure 4b, est
20 constitué du palier 32 à l'altitude de croisière, poursuivi par la descente 33 à pente constante jusqu'au point de destination. Il correspond à une contrainte dynamique déterminable depuis le point de destination, utilisable pour l'élaboration d'une ébauche de deuxième carte de distances curvilignes fidèle sur la seule fin du trajet puisque cette contrainte dynamique ne prend en
25 compte que la deuxième moitié du profil vertical de vol et de vitesse imposé.

Dans le cas où l'aéronef ne ferait que descendre, comme montré en 50 à la figure 5, la matérialisation du trajet le plus court menant du point de départ au point de destination s'obtient en décomposant le profil vertical de vol et de vitesse en un profil aller dégénéré montré à la figure 6a constitué
30 d'un simple palier 51 à l'altitude de croisière correspondant à une absence de contrainte dynamique et en un profil retour montré dans l'ordre inverse à la figure 6b, constitué d'une descente 50 à pente constante jusqu'au point de destination.

Pour rendre compatibles les deux ébauches des première et
35 deuxième cartes élaborées avec des profils verticaux de vol et de vitesse

différents, on procède à leur mise à jour consistant à les élaborer à nouveau en remplaçant les contraintes statiques et dynamiques par un ensemble d'obstacles à contourner constitués des points des ébauches où une estimation de distance curviligne s'est révélée impossible. Le processus de repérage d'un trajet curviligne direct se poursuit ensuite par l'élaboration d'une troisième carte de distances curvilignes reprenant les sommes des estimations de distance curviligne des mises à jour des deux premières cartes et par traçage d'un chemin reliant le point de départ au point de destination au sein d'un ensemble connexe de points affectés d'une somme minimale d'estimations de distance curviligne.

On remarque que le processus de repérage d'un trajet curviligne direct se simplifie dans le cas où l'aéronef ne ferait que descendre vers son point de destination car il est alors possible de faire l'impasse sur l'ébauche de la première carte de distances curvilignes et sur la mise à jour de la deuxième carte de distances curvilignes. La même simplification se produit chaque fois qu'il n'y a pas de profil vertical de vol et de vitesse imposé au départ. Une simplification du même genre se produit également lorsqu'il n'y a pas de profil vertical de vol et de vitesse imposé à l'arrivée car il est alors possible de faire l'impasse sur l'ébauche de la deuxième carte de distances curvilignes et sur la mise à jour de la première carte de distances curvilignes.

L'ensemble des zones à contourner servant aux mises à jour des première et deuxième cartes de distances curvilignes lors du repérage d'un trajet curviligne direct peut aller au-delà des points des ébauches de carte de distances curvilignes pour lesquels il n'a pas été possible d'estimer des distances curvilignes faute de trouver des chemins suffisamment courts et inclure les points de ces ébauches affectés d'estimations de distance curviligne présentant des discontinuités par rapport à celles affectées aux points de leur proche voisinage car ils correspondent à des reliefs ne pouvant être atteints que par des voies détournées. Il peut également être grossi d'une marge latérale de sécurité afin d'éloigner latéralement des reliefs contournés, le trajet curviligne direct repéré sur les cartes de distances curvilignes. L'épaisseur de cette marge latérale de sécurité qui sert à prévenir une limitation de la liberté d'évolution en latéral d'un aéronef, due à la proximité d'un relief peut être définie de diverses manières :

- Elle peut avoir une valeur constante fixée arbitrairement en fonction des capacités de virage à plat de l'aéronef ou de son agilité,

- Elle peut avoir une valeur fonction à la fois des capacités de virage à plat de l'aéronef et de la loi de vitesse associée au profil vertical de vol et de vitesse imposé. Ainsi, les marges de sécurité sont moindres lorsque l'aéronef vole lentement (décollage et atterrissage) et augmentent lorsque l'aéronef est en croisière à proximité du relief.

- Elle peut encore dépendre du changement de cap nécessaire pour contourner un obstacle.

10 L'épaisseur dans le plan horizontal de la marge latérale de sécurité peut être prise égale au rayon minimal de virage à plat, qui est imposé à l'aéronef en fonction de ses performances, du confort recherché et de sa vitesse air TAS en tenant compte ou non du vent local.

En l'absence de vent local, le rayon minimal R de virage à plat
15 répond à la relation classique :

$$R = \frac{TAS^2}{g \cdot \tan \varphi_{roll}}$$

φ_{roll} étant un angle de roulis maximum et

g étant l'accélération de la pesanteur.

Le vent local modifie le rayon apparent d'un virage à plat en l'augmentant lorsqu'il vient du côté opposé au virage ou de l'arrière et en le réduisant lorsqu'il vient du côté intérieur au virage ou de l'avant. Le rayon apparent peut être assimilé à la moitié de la distance transversale, par rapport à l'aéronef, du point du virage où l'aéronef atteindra un changement de cap de 180°. Cette distance transversale répond à la relation :

25

$$x_t(t_{w1}) = WS_{xt} \cdot t_{w1} - \delta \cdot R \cdot \cos(wt_{w1} + \gamma_t) + \delta \cdot R \cdot \cos(\gamma_t)$$

avec

$$t_{w1} = \frac{1}{w} \left[\arcsin \left(-\delta \frac{WS_{xt}}{TAS} - \gamma_t \right) + 2k \cdot \Pi \right]$$

30

$$\gamma_t = -\delta \cdot (\text{Track} - \text{Heading})$$

$$w = \frac{TAS}{R} = \frac{g \cdot \tan \varphi_{roll}}{TAS}$$

WS_{xt} étant la composante transversale du vent local,

γ étant un facteur dépendant des conditions initiales,
 δ étant un coefficient égal à +1 pour un virage à droite et -1 pour un virage à gauche,

Pour une justification de cette relation, on peut se reporter à la description de la demande de brevet français FR 2.871.878 déposée par la demanderesse.

Tout en étant fonction d'un rayon minimal R de virage à plat, l'épaisseur dans le plan horizontal de la marge latérale peut être rendue dépendante du changement de cap nécessaire au contournement, par exemple, comme décrit dans la demande de brevet français déposée par la demanderesse le 24/9/2004 sous le n° 04 10149, en la faisant dépendre en un point du contour d'un obstacle à contourner, d'un coefficient d'échelle en $(1 + \sin[\min(|bearing|, \pi/2)])$ bearing étant l'angle entre la normale au point concerné du contour et la tangente au trajet.

Les figures 7, 8, 9, 11, 12 et 14 illustrent les différentes étapes d'un processus de repérage d'un trajet curviligne direct respectant des profils verticaux de vol et de vitesse imposés au départ et à l'arrivée mis en œuvre à partir d'une image des reliefs et zones à survol réglementé d'une région survolée par un aéronef, dont les pixels correspondent à un maillage de la région survolée par une grille de localisation géographique qui peut être :

- une grille régulière en distance, alignée sur les méridiens et parallèles,
- une grille régulière en distance alignée sur le cap de l'aéronef,
- une grille régulière en distance alignée sur la route de l'aéronef,
- une grille régulière en angulaire, alignée sur les méridiens et parallèles,
- une grille régulière en angulaire alignée sur le cap de l'aéronef,
- une grille régulière en angulaire alignée sur la route de l'aéronef.
- une représentation polaire (radiale) centrée sur l'aéronef et son cap,
- une représentation polaire (radiale) centrée sur l'aéronef et sa route.

Typiquement, la grille reproduit un motif polygonal à quatre côtés, classiquement des carrés ou des rectangles, elle peut aussi reproduire d'autres motifs polygonaux tels que des triangles ou des hexagones.

La figure 7 montre les ensembles 1 de points où une estimation de distance curviligne s'est révélée impossible et les ensembles 2 de points où

apparaissent des discontinuités entre les estimations de distances curvilignes pour des points voisins qui ressortent, à la première étape du processus de matérialisation de trajet, lors de l'élaboration de la première ébauche de carte de distances curvilignes par application à l'image de la région survolée, d'une transformée de distance à masque de chanfrein ayant pour origine des mesures de distance, le point 10 de départ du trajet et respectant des contraintes statiques constituées par le relief et/ou par des zones à circulation réglementée et des contraintes dynamiques constituées d'une altitude imposée en fonction de la distance parcourue depuis le point 10 de départ du trajet correspondant à la partie profil aller (figure 4a) d'un profil vertical de vol et de vitesse (montée depuis le point de départ à l'altitude de vol de croisière prolongée indéfiniment par un palier).

Les ensembles 1 de points où une estimation de distance curviligne s'est révélée impossible faute pour la transformée de distance à masque de chanfrein d'avoir pu trouver un chemin y conduisant représentent les zones à contourner car inaccessibles pour l'aéronef s'il veut respecter la partie profil aller (figure 4a) du profil vertical de vol et de vitesse imposé.

Les ensembles 2 de points où apparaissent des discontinuités entre les estimations de distance curviligne pour des points voisins signalent des reliefs ne pouvant être atteints directement donc à contourner.

La figure 8 montre les ensembles 1' de points où une estimation de distance curviligne s'est révélée impossible et les ensembles 2' de points où apparaissent des discontinuités entre les estimations de distances curvilignes pour des points voisins qui ressortent, à la deuxième étape du processus de matérialisation de trajet, lors de l'élaboration de la deuxième ébauche de carte de distances curvilignes par application à l'image de la région survolée, d'une transformée de distance à masque de chanfrein ayant pour origine des mesures de distance le point 20 de destination du trajet et respectant les mêmes contraintes statiques que la première ébauche, constituées par le relief et/ou par des zones à circulation réglementée et des contraintes dynamiques constituées d'une altitude imposée en fonction de la distance parcourue depuis le point de destination du trajet correspondant à la partie profil retour (figure 4b) du profil vertical de vol et de vitesse (palier à l'altitude de vol de croisière suivi d'une descente à l'approche du point de destination).

La figure 9 montre la fusion 3, par réunion, des obstacles à contourner apparus dans les deux ébauches (ensembles 1, 1' de points où une estimation de distance curviligne s'est révélée impossible et ensembles 2, 2' de points où apparaissent des discontinuités entre estimations de distance curviligne pour des points voisins).

Les figures 10a, 10b et 10c illustrent le grossissement d'un obstacle 4 à contourner par des marges latérales de sécurité prenant en compte la limitation de la liberté d'évolution latérale de l'aéronef au voisinage de cet obstacle 4. Ce grossissement est obtenu en traçant les marges à partir de lignes iso-distances tracées à l'extérieur des contours de l'obstacle 4, par exemple, au moyen d'une transformée de distance à masque de chanfrein appliquée à l'image de la région survolée avec les obstacles à contourner pris pour origine des mesures de distance comme cela est décrit dans la demande de brevet français FR 2.864.312 déposée par la demanderesse. On a supposé ici, que les marges latérales dépendaient de la vitesse de l'aéronef au voisinage de l'obstacles 4 à contourner. Elles sont tracées en plusieurs étapes :

- une première étape illustrée par la figure 10a consiste à tracer autour de l'obstacle 4 à contourner, une marge latérale 5' de protection fonction de la loi de vitesse associée au profil aller (figure 4a) du profil vertical de vol et de vitesse. La marge latérale 5' est d'une épaisseur moindre à proximité du point de départ 10 car l'aéronef accélère progressivement jusqu'à atteindre sa vitesse de croisière.
- Une deuxième étape illustrée par la figure 10b consiste à tracer autour de l'obstacle 4 à contourner, une marge latérale 5'' de protection fonction de la loi de vitesse associée au profil retour (figure 4b) du profil vertical de vol et de vitesse. La marge latérale 5'' a une épaisseur moindre à proximité du point de destination 20 car l'aéronef décélère en vue d'atterrir prochainement.
- Une troisième étape illustrée par la figure 10c consiste à déterminer la marge latérale finale 5 en fusionnant, par intersection, les marges latérales 5', 5'' obtenues au cours des deux étapes précédentes.

La figure 11 montre le grossissement, par une marge latérale de sécurité 6, de l'ensemble des obstacles fusionnés 3 résultant des première et deuxième ébauches de cartes de distances curvilignes. La marge latérale 6

est plus mince aux abords des points de départ 10 et de destination 20 en raison de la vitesse plus réduite de l'aéronef.

La figure 12 montre la matérialisation d'un ensemble des points des trajets les plus courts obtenue après :

- 5 - mise à jour de l'ébauche de la première carte de distances curvilignes ayant le point de départ 10 comme origine de mesure des distances, par application à l'image de la région survolée, d'une transformée de distance à masque de chanfrein ayant le point de départ 10 du trajet pour origine des mesures de distance et pour contraintes l'ensemble 3 des obstacles à contourner fusionnés et grossis par la marge latérale de sécurité 6,
- 10 - mise à jour de l'ébauche de la carte de distances curvilignes ayant le point de destination 20 comme origine des mesures de distance, par application à l'image de la région survolée, d'une transformée de distance à masque de chanfrein ayant le point de destination 20 du trajet pour origine des mesures de distance et pour contraintes l'ensemble 3 des obstacles à contourner fusionnés et grossis par la marge latérale de sécurité 6,
- 15 - élaboration d'une troisième carte de distances curvilignes adoptant pour estimation de distance curviligne en chacun de ses points, la somme des estimations de distance curviligne faites pour le point concerné, et
- 20 - repérage de l'ensemble connexe 7 des points affectés, dans la troisième carte de distances curvilignes, d'une estimation minimale de distance curviligne et joignant le point de départ 10 au point de destination 20.
- 25

L'ensemble 7 des points des trajets les plus courts se présente sous la forme d'une chaîne ininterrompue de points s'épaississant aux voisinages des points de départ et de destination pour prendre des formes 8, 9 de parallélogramme.

La figure 13 représente, sur la grille de localisation d'une carte de distances curvilignes, un ensemble de points des trajets les plus courts entre un point de départ 11 et un point de destination 12 avec, pour chaque point ou cellule de la grille de localisation géographique faisant parti de l'ensemble, l'estimation chiffrée de la distance curviligne depuis le point de départ 11 et

un fond de motif dépendant du nombre de trajets de longueur minimale utilisés par la transformée de distance par propagation fournissant les estimations de distance curviligne. Le fond de motif le plus clair est attribué aux cellules empruntées par un seul trajet de longueur minimale et le fond de motif le plus dense aux cellules empruntées par deux trajets de longueur minimale. La figure 13 montre que le simple fait pour un trajet d'avoir tous ses points appartenant à l'ensemble des points des trajets les plus courts ne garantit pas qu'il soit de longueur minimale. Seuls les trajets suivant les flèches conviennent.

10 La figure 14 montre le trajet curviligne direct 15 adopté en final compte tenu des reliefs, des zones à survol réglementé et du profil vertical de vol et de vitesse à respecter. Il suit les diagonales des formes en parallélogramme 8, 9.

Il reste à définir une trajectoire volable par une succession de points de passage et/ou tournants "D-Fix" définissant avec leurs contraintes associées, un enchaînement de segments rectilignes "D-Legs" à transitions arrondies au plus juste par des virages à rayons fonction de la vitesse courante de l'aéronef, approchant le trajet curviligne direct tout en n'empiétant pas sur l'ensemble des obstacles fusionnés et leurs marges latérales de protection, en réduisant le plus possible la fréquence des changements de cap et en tenant compte du lissage de trajectoire opéré de manière automatique par un calculateur de gestion du vol lors d'une transition entre deux ou plusieurs segments rectilignes "D-Legs".

Pour s'assurer du suivi au plus près du trajet curviligne direct, on impose aux segments rectilignes "D-Legs" un écart maximal par rapport aux points du trajet curviligne direct qu'ils court-circuitent.

Une façon de déterminer les segments rectilignes "D-Legs" de la trajectoire volable consiste à les construire progressivement en partant du point de départ ou d'arrivée en ajoutant un à un des points du trajet curviligne direct au bloc de points consécutifs du segment en construction jusqu'à ce qu'il empiète sur la marge latérale d'un obstacle à contourner ou que son éloignement à l'un des points du trajet curviligne direct qu'il court-circuite atteigne l'écart maximal admis. Le segment en construction est alors considéré comme terminé et la construction du segment suivant entamé, cela jusqu'à ce que le point d'arrivée ou de départ soit atteint.

L'enchaînement de segments rectilignes "D-Legs" obtenu est alors lissé à la façon du calculateur de vol puis à nouveau comparé aux contours des obstacles à contourner complétés des marges latérales de sécurité. Il est admis s'il n'y a pas d'empiètement et rejeter dans le cas contraire. Lorsque
5 l'enchaînement de segments rectilignes "D-Legs" est rejeté en raison d'empiètements sur les marges latérales de sécurité, il faut l'éloigner des marges aux niveaux des empiètements. Une façon de faire consiste à faire un nouveau repérage de trajet curviligne direct avec des marges latérales de sécurité augmentées localement au droit des empiètements et uniquement
10 pour ce repérage, puis de procéder à une nouvelle détermination de l'enchaînement de segments rectilignes "D-Legs".

Une fois, un enchaînement de segments rectilignes "D-Legs" admis pour définition de la trajectoire volable, les points de jonctions des segments rectilignes "D-Legs" consécutifs sont pris pour points de passage
15 et/ou tournants "D-Fix", associés aux contraintes de vol imposées par le respect du profil vertical de vol et de vitesse à leurs niveaux.

La figure 15 illustre la détermination des segments rectilignes "D-Legs" 30, 31, 32 de l'enchaînement et par voie de conséquence des points de passage et/ou tournants "D-Fix" à partir du trajet curviligne direct formé
20 d'une chaîne de points 33 contournant un obstacle 40 entouré d'une marge latérale de sécurité 41 d'une épaisseur 'a' correspondant au rayon minimal R de virage de l'aéronef. Pour cette détermination, l'écart maximal 'b' des segments par rapport aux points 33 du trajet curviligne direct a été fixé à la moitié de l'épaisseur 'a' de la marge latérale de sécurité 41.

Pour tracer les segments rectilignes "D-Legs", on peut chercher à
25 remplacer, dans la chaîne de points 33 du trajet curviligne direct, le maximum de points consécutifs par des segments rectilignes satisfaisant la condition d'écart maximal 'b'. Cela peut se faire par la construction progressive décrite précédemment. Le point de départ ou respectivement de
30 destination du trajet direct est pris pour origine du premier segment que l'on fait grandir en ajoutant un par un des points 40 consécutifs tant qu'il ne pénètre pas dans un obstacle dilaté de la marge de sécurité et que son écart (la longueur maximale des projections sur le segment, des points 40 court-circuités) respecte l'écart maximal admis. Si le point de destination ou
35 respectivement de départ du trajet direct n'est pas atteint, le point d'extrémité

du premier segment est pris pour origine d'un deuxième segment rectiligne que l'on fait grandir et ainsi de suite.

Cette méthode de construction progressive admet des variantes, comme par exemple, une méthode par dichotomie consistant à:

- 5 - adopter initialement un segment rectiligne reliant les points de départ et de destination du tracé curviligne direct,
- si ce segment pénètre dans un obstacle dilaté de la marge latérale de sécurité ou s'il ne respecte pas l'écart maximal admis, repérer le point du tracé curviligne direct le plus à l'écart,
- 10 - remplacer le segment rectiligne précédent par deux segments rectilignes passant par le point du tracé curviligne direct le plus à l'écart, et
- recommencer les mêmes opérations sur chacun des nouveaux segments jusqu'à obtention d'une chaîne de segments rectilignes
- 15 contournant les obstacles et leurs marges latérales de sécurité et respectant l'écart maximal admis.

La figure 15 montrent les segments rectilignes 30, 31, 32 obtenus par application de la méthode de construction progressive.

Une fois obtenue une chaîne de segments rectilignes "D-Legs",
20 on vérifie que les transitions entre segments rectilignes sont volables, c'est-à-dire réalisables par des virages au rayon minimal R admissible contournant les obstacles et leurs marges latérales de sécurité.

En cas de problème de transition, le point à la jonction des deux segments rectilignes concernés est éloigné d'un certain pas de la marge
25 latérale de sécurité dont l'intégrité a été mise en jeu et les deux nouveaux segments rectilignes obtenus vérifiés quant à leur respect du contournement des obstacles et de leurs marges de sécurité. En cas de non-respect du contournement des obstacles et de leurs marges de sécurité par suite de l'existence d'un autre obstacle proche, la construction des segments est
30 reprise soit dans le cas de la méthode progressive de construction, en raccourcissant le segment rectiligne dont la transition est le point d'extrémité, soit dans le cas de la méthode par dichotomie, en fractionnant ce segment rectiligne. Il est également possible de recommencer complètement la construction des segments rectilignes en changeant de méthode ou encore,
35 comme indiqué précédemment, de reprendre le processus à l'étape du

repérage du trajet curviligne direct après avoir grossi localement et momentanément la marge latérale de sécurité.

Sur la figure 15, les transitions 33 et 34 entre les segments rectilignes 30, 31 et 32 sont volables car réalisable par des virages au rayon
5 minimal autorisé, sans pénétrer dans la marge latérale de sécurité. Si cela n'avait pas été le cas, à la transition 35, cette transition 35 aurait été comme montré, éloignée de la marge latérale de sécurité et les segments rectilignes 30 et 31 déformés conformément aux segments rectilignes 30' et 31' montrés en pointillés.

10 Une fois que l'enchaînement de segments rectilignes construit sur le trajet direct est admis comme une trajectoire volable, les points de jonction des segments rectilignes sont pris pour points de passage et/ou tournants "D-Fix" avec, comme contraintes associées les profils de vol vertical et de vitesse.

15 La figure 16 montre les points de passage et/ou tournants "D-Fix" 151, 152, 153, 154 obtenus à partir du trajet curviligne direct 15 de la figure 14.

La figure 17 donne un exemple d'architecture pour un système mettant en œuvre le procédé de traçage de plan de vol latéral qui vient d'être
20 décrit. Ce système comporte :

- un module de calcul et de traitement 50 (CPU, mémoire, etc.),
- un module de communication 51 en charge de la réception et du stockage des données en provenance du sol (zones interdites de survol, météo, mises à jour des bases de données du bord, etc.),
- 25 - une base de données 52 de zones aériennes réglementées ou restreintes. Cette base peut être mise à jour dynamiquement par le module de communication 51 (activation de certaines zones réglementées ou restreintes, déplacement des phénomènes météorologiques, déplacement de zones interdites de survol pour les zones militaires tactiques, etc.),
- 30 - une base de données 53 de performances de l'aéronef permettant l'établissement des capacités de franchissement de l'aéronef ainsi que la définition du profil de marges latérales en fonction de la vitesse et des altitudes de vol dans le cas où les marges latérales ne

sont pas fournies par les équipements de bord de l'aéronef situés en amont, et

- une base de données 54 d'élévations du terrain environnant.

Un tel système de mise en œuvre du procédé de traçage de plan de vol latéral peut être utilisé à différentes fins. Il peut être utilisé dans un système plus vaste de gestion des discontinuités dans les plans de vol, notamment, pour la rejointe d'un point géographique lors d'une requête de rejointe "Dir-to" par l'équipage au calculateur de gestion du vol de l'aéronef, pour la rejointe d'un aéroport de repli en cas de panne moteur ou pour la rejointe automatique de positions prédéterminées pour un drone ou pour un aéronef piloté dans un contexte sécuritaire.

Lors d'une requête "Dir-to" faite par l'équipage au calculateur de gestion du vol de l'aéronef, celui-ci au lieu de chercher à rallier en ligne droite le point géographique désigné par l'équipage, élabore un plan de vol vertical et de vitesse et fait appel à un système de traçage de plan de vol latéral mettant en œuvre le procédé décrit précédemment qui lui soumet un plan de vol provisoire tenant compte du relief, des zones à survol réglementée et du profil vertical de vol et de vitesse imposé, et assure le suivi du plan de vol provisoire dès que celui-ci a reçu l'approbation de l'équipage.

La figure 18 montre le schéma d'un système embarqué de gestion d'une panne moteur dans un environnement fonctionnel à bord d'un aéronef. Celui-ci fait coopérer un calculateur de gestion du vol 60 dialoguant avec l'équipage de l'aéronef au travers d'une interface homme-machine MCDU ("Multipurpose Control Display Unit") 61 et agissant sur un équipement de pilotage automatique FG/C 62 ("Flight Guidance and Control") dédié au maintien de l'aéronef sur sa trajectoire et au contrôle de ses surfaces mobiles, avec un équipement de détection de panne moteur EFD 63 ("Engine Failure Detector") pouvant faire partie d'un FADEC ("Full Authority Digital Engine Control"), avec un système de choix d'un aéroport de repli AS 64 ("Airport Selector") et avec un système de traçage de plan de vol latéral TRS 65 ("Terrain Routing System") mettant en œuvre le procédé décrit précédemment.

La détection d'une situation de panne moteur par l'équipement EFD 63 déclenche l'exécution par le calculateur FMS 60 d'une procédure d'atterrissage d'urgence consistant en :

- une mise à contribution des systèmes TRS 65 et AS 60 pour les choix d'un aéroport accessible de repli et d'un point de passage et/ou tournant "Waypoint" également accessible en entrée d'une approche de cet aéroport, conforme à une procédure officielle publiée,
- 5 - une mise à contribution du MCDU 61 pour une validation par le pilote, après des modifications éventuelles, des choix de l'aéroport de repli et de la procédure d'approche faits par les systèmes TRS 65 et AS 60,
- l'établissement d'un profil de vol vertical et de vitesse pour la rejointe du "Waypoint" donnant accès à l'aéroport de repli,
- 10 - une nouvelle mise à contribution du système TRS 65 pour la détermination d'un plan de vol temporaire de rejointe du point de passage et/ou tournant d'accès en approche de l'aéroport de repli,
- une nouvelle mise à contribution du MCDU 61 pour une validation par le pilote, après des modifications éventuelles, de la route proposée,
- 15 et
- l'émission des consignes permettant au FG/C 62 de faire suivre à l'aéronef des trajectoires conformes au plan de vol temporaire validé.

Une fois transmis au calculateur de gestion du vol FMS 60 les points de passage et/ou tournants "D-Fix" fournis par le système de traçage de plan de vol latéral TRS 65 sont considérés comme des points de passage et/ou tournants "Waypoints" classiques afin de permettre à un opérateur leur modification, déplacement et suppression.

La figure 19 montre le schéma d'un dispositif embarqué de gestion des discontinuités dans les plans de vol dans un environnement fonctionnel à bord d'un aéronef. Il reprend les mêmes éléments que celui de la figure 18 à l'exception de l'équipement de détection de panne moteur EFD 63 et du système de choix d'aéroport de repli AS 64.

Un calculateur de gestion du vol rend la main au pilote lorsqu'il rencontre une discontinuité de plan de vol dans l'exécution de sa fonction de suivi automatique d'un plan de vol. En l'absence d'un système TRS 65, le pilote doit reprendre le pilotage manuel sur le trajet allant du point de passage et/ou tournant "Waypoint" marquant le début de la discontinuité jusqu'au point de passage et/ou tournant "Waypoint" marquant la fin de la discontinuité où il peut réengager la fonction de suivi automatique de plan de

vol du calculateur de gestion du vol. Avec le système TRS 65, le pilote peut obtenir, à partir d'un profil de vol vertical et de vitesse, une liste de points de passage et/ou tournants "D-Fix" définissant un plan de vol temporaire à cheval sur la discontinuité qui peut être prise en charge par le calculateur de vol pour un suivi automatique et pour des prédictions de consommation de fuel.

Cette fonctionnalité de gestion des discontinuités d'un plan de vol est particulièrement adaptée au vol militaire tactique et au vol d'hélicoptère. En effet, les routes aériennes ("airways") pour hélicoptères ne sont pas encore standardisées ni publiées. Dès lors, un cas opérationnel fréquent consiste à décoller d'un héliport selon une procédure publiée, en cherchant à rejoindre une autre zone, éventuellement au travers d'une procédure d'approche publiée. Entre les deux procédures, l'opérateur est responsable de l'établissement de la route. Le procédé de traçage de plan de vol latéral décrit est donc particulièrement utile puisqu'il permet de déterminer automatiquement le complément du plan de vol garantissant la sécurité vis à vis du relief.

La figure 20 montre le schéma d'un dispositif embarqué de rejointe automatique de positions prédéterminées pour un aéronef sans pilote : UAV ("Unmanned Aerial Vehicle") ou drone, dans un environnement fonctionnel à bord d'un aéronef. Il reprend les mêmes éléments que celui de la figure 19 à l'exception de l'interface homme-machine MCDU qui est remplacé par un module de communication sol-bord COMM 66 permettant à un opérateur au sol de commander l'aéronef sans pilote.

En cas de perte de lien de données entre l'aéronef sans pilote et son contrôleur au sol, le calculateur de gestion du vol FMS 60 peut être programmé pour requérir du système de traçage de plan de vol latéral 65, à partir d'un profil de vol vertical et de vitesse, une liste de points de passage et/ou tournants "D-Fix" définissant un plan de vol de rejointe d'une position de repli prédéterminée stockée en mémoire, à partir de laquelle la mission prévue pourra être reprise.

La figure 21 montre le schéma d'un dispositif embarqué de rejointe automatique par un aéronef de positions prédéterminées dans un contexte sécuritaire. Celui-ci comporte un automate EAS 68 de mise en œuvre d'une manœuvre automatique de rejointe d'une position

- prédéterminée prenant en main les contrôles du calculateur de gestion du vol FMS 60 et de l'équipement de pilotage automatique FG/C 62 sous la requête d'un équipement SSS 67 de détection des intrusions et des évènements se déroulant à bord et allant à l'encontre de la sécurité de l'aéronef. L'automate
- 5 EAS 68 est programmé pour, lorsqu'il prend le contrôle de l'aéronef :
- - une mise à contribution du système de traçage d'un plan de vol latéral TRS 65 et d'un système de choix d'un aéroport de déroutement AS 60 pour les choix d'un aéroport de repli, accessible et compatible avec la menace détectée par l'équipement SSS 67 et
 - 10 d'un point de passage et/ou tournant "Waypoint" également accessible en entrée d'une approche de cet aéroport, conforme à une procédure officielle publiée,
 - l'établissement par le calculateur de gestion du vol FMS 60, d'un profil de vol vertical et de vitesse pour la rejointe du "Waypoint"
 - 15 donnant accès à l'aéroport de repli,
 - une nouvelle mise à contribution du système de traçage d'un plan de vol latéral TRS 65 pour la détermination d'un plan de vol temporaire de rejointe du point de passage et/ou tournant "Waypoint" d'accès en approche de l'aéroport de repli, et
 - 20 - l'émission des consignes permettant au FG/C 62 de faire suivre à l'aéronef des trajectoires conformes au du plan de vol temporaire validé.

Le procédé de traçage de plan de vol latéral qui vient d'être décrit permet de déterminer au sol, lors de la préparation d'une mission militaire ou

25 de sécurité civile, de manière automatique, les zones dans lesquelles un aéronef peut évoluer compte tenu de ses performances et des marges de sécurité requises. En fonction de la configuration de ces zones, l'opérateur au sol peut décider de déplacer les points de passage et/ou tournants "D-Fix" obtenus ou de modifier les altitudes de passage en ces points "D-Fix" pour

30 prendre en compte dans le plan de vol, des contraintes ignorées du processus de traçage. Une fois le plan de vol finalisé, il peut être chargé à bord de l'aéronef comme n'importe quel plan de vol avec les moyens existants (lien de donnée, mémoire de préparation de mission, etc.).

REVENDEICATIONS

1. Procédé de détermination du profil horizontal d'une route de plan de vol d'aéronef menant d'un point de départ à un point de destination, respectant des profils verticaux de vol et de vitesse imposés (30, 33, 50) au
5 départ et/ou à l'arrivée et tenant compte du relief et de zones à survol réglementé, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- élaboration de deux cartes de distances curvilignes (figures 7, 8, 9) couvrant une zone d'évolution contenant les points de départ (10) et de destination (11) et renfermant un même ensemble (3) d'obstacles à
10 contourner prenant en compte le relief, les zones à survol réglementé et les profils verticaux de vol et de vitesse imposés (30, 33, 50) au départ et/ou à l'arrivée, la première ayant le point de départ pour origine des mesures de distance et la deuxième, le point de destination pour origine des mesures de distance,

15 - élaboration d'une troisième carte de distances curvilignes par sommation, pour chacun de ses points, des distances curvilignes qui leur sont affectées dans les première et deuxième cartes de distances curvilignes,

- repérage dans la troisième carte de distances curvilignes, d'un
20 ensemble connexe (7) de points iso-distances formant un enchaînement de parallélogrammes (8, 9) et/ou de points reliant les points de départ (10) et de destination (20),

- sélection, dans l'ensemble connexe (7) repéré de points iso-distances, d'une suite (15) de points consécutifs allant du point de départ
25 (10) au point de destination (20) en passant par des diagonales de ses parallélogrammes (8, 9), suite (15) dite trajet direct,

- approximation de la suite (15) de points du trajet direct par une chaîne de segments droits (30, 31, 32) respectant un seuil arbitraire d'écartement maximum par rapport aux points de la suite (15) et un seuil
30 arbitraire d'écartement latéral minimum par rapport à l'ensemble (3) d'obstacles à contourner, et

- choix des points (151, 152, 153, 154) des jonctions intermédiaires des segments droits en tant que points de passage ou tournants du plan de vol.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, lorsqu'il n'y a qu'un profil vertical de vol et de vitesse imposé au départ, la première carte de distances curvilignes (figure 7) ayant le point de départ
5 (10) pour origine des mesures de distance est élaborée en tenant compte des contraintes statiques dues au relief et aux zones à survol réglementé et de la contrainte dynamique due au profil vertical de vol et de vitesse imposé au départ tandis que la deuxième carte de distances curvilignes ayant le point de destination comme origine des mesures de distance est élaborée à
10 partir de l'ensemble des obstacles à contourner apparus dans la première carte de distances curvilignes.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, lorsqu'il n'y a qu'un profil vertical de vol et de vitesse imposé à l'arrivée, la
15 deuxième carte de distances curvilignes (figure 8) ayant le point de destination (20) pour origine des mesures de distance est élaborée en tenant compte des contraintes statiques dues au relief et aux zones à survol réglementé et de la contrainte dynamique due au profil vertical de vol et de vitesse imposé à l'arrivée tandis que la première carte de distances
20 curvilignes ayant le point de départ comme origine des mesures de distance est élaborée à partir de l'ensemble des obstacles à contourner apparus dans la deuxième carte de distances curvilignes.

4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que,
25 lorsqu'il y a des profils verticaux de vol et de vitesse (30, 33) imposés au départ et à l'arrivée, les première et deuxième cartes de distances curvilignes sont élaborées à partir d'un ensemble (3) d'obstacles à contourner figurant dans deux ébauches de ces cartes de distances curvilignes :

- une ébauche (figure 7) de la première carte de distances
30 curvilignes ayant le point de départ (10) pour origine des mesures de distance élaborée en tenant compte des contraintes statiques dues au relief et aux zones à survol réglementé et de la contrainte dynamique due au profil vertical de vol et de vitesse (30) imposé au départ, et

- une ébauche (figure 8) de la deuxième carte de distances curvilignes ayant le point de destination (20) pour origine des mesures de distance étant élaborée en tenant compte des contraintes statiques dues au relief et aux zones à survol réglementé et de la contrainte dynamique due au profil vertical de vol et de vitesse (33) imposé à l'arrivée.

5
10 5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'ensemble (3) des obstacles à contourner pris en compte dans les cartes de distances curvilignes est complété par les points (2, 2') des première et deuxième cartes (figures 7 et 8) affectés d'estimations de distance curviligne présentant des discontinuités par rapport à celles affectées à des points du proche voisinage.

15 6. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'ensemble (3) des obstacles à contourner pris en compte dans les cartes de distances curvilignes est complété par des marges latérales de sécurité (6) fonction des capacités de virage à plat de l'aéronef dans sa configuration du moment, en approche du relief et/ou de la zone à survol réglementé
20 considéré, résultant du suivi du profil vertical de vol et de vitesse imposé (30, 31, 32, 33).

25 7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que les marges latérales de sécurité (6) ajoutées à l'ensemble des obstacles répertoriés à contourner sont déterminées à partir d'une carte de distances curvilignes ayant l'ensemble d'obstacles à contourner comme origine des mesures de distance.

30 8. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'épaisseur locale d'une marge latérale de sécurité (6, 41) tient compte du vent local.

9. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'épaisseur locale d'une marge latérale de sécurité (6, 41) tient compte du

changement de cap nécessaire pour contourner un relief et/ou une zone à survol réglementée.

10. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que
5 l'épaisseur locale d'une marge latérale de sécurité (6, 41) correspond au rayon minimal (R) de virage à plat autorisé pour l'aéronef dans la configuration du moment.

11. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le
10 seuil d'écartement maximum de la chaîne de segments droits par rapport à la suite de points du trajet direct est de l'ordre d'un demi-rayon minimal (R) de virage à plat autorisé pour l'aéronef dans sa configuration du moment.

12. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les
15 cartes de distances curvilignes sont élaborées au moyen d'une transformée de distance par propagation.

13. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que
l'approximation de la suite (15) de points du trajet direct par un
20 enchaînement de segments rectilignes (30, 31, 32) est obtenue par une construction progressive au cours de laquelle le point de départ (10) ou respectivement de destination (20) du trajet direct est pris pour origine d'un premier segment que l'on fait grandir en ajoutant un par un des points consécutifs tant qu'il ne pénètre pas dans l'ensemble (40, 41) des obstacles
25 à contourner et que son écart par rapport aux points du trajet direct qu'il court-circuite respecte le seuil arbitraire d'écartement maximum admis, d'autres segments rectilignes construits de la même manière étant ajoutés à la suite tant que le point de destination ou respectivement de départ du trajet direct n'est pas atteint.

30

14. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que
l'approximation de la suite (15) de points du trajet direct par un
enchaînement de segments rectilignes est obtenue par une construction
dichotomique au cours de laquelle le point de départ et le point de
35 destination du trajet direct sont initialement reliés par un segment rectiligne

remplacé, dès qu'il pénètre dans l'ensemble des obstacles à contourner ou que son écart par rapport aux points du trajet direct qu'il court-circuite dépasse le seuil arbitraire d'écartement maximum admis, par un enchaînement de deux segments rectilignes se rejoignant au point du trajet direct le plus à l'écart parmi ceux qu'il court-circuite, chaque nouveau segment étant à son tour remplacé par un enchaînement de deux nouveaux segments se joignant au point du trajet direct le plus à l'écart parmi les points court-circuités dès qu'il pénètre dans l'ensemble des obstacles à contourner ou que son écart par rapport aux points du trajet direct qu'il court-circuite dépasse le seuil arbitraire d'écartement maximum admis.

15 15. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'il est mis en œuvre dans un système de rejoinde d'un aéroport de repli en cas de panne moteur (figure 18).

16 16. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est mis en œuvre dans un système de gestion des discontinuités de plan de vol (figure 19).

20 17. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est mis en œuvre dans un système de rejoinde automatique de positions prédéterminées pour aéronef sans pilote (figure 20).

25 18. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est mis en œuvre, dans un cadre sécuritaire, dans un système de rejoinde automatique de positions prédéterminées pour aéronef piloté hors de contrôle (figure 21).

30 19. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est mis en œuvre lors de la préparation de missions militaires ou de sécurité civile.

35 20. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est mis en œuvre au cours d'un vol, lors d'une requête "Dir-to" de rejoinde d'un point géographique faite par l'équipage au calculateur de gestion du vol de l'aéronef.

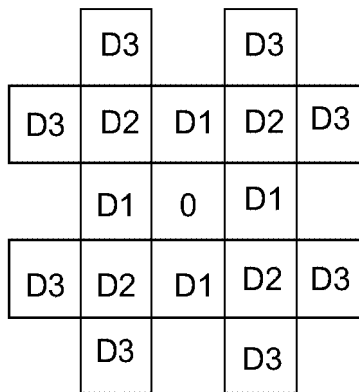


FIG.1

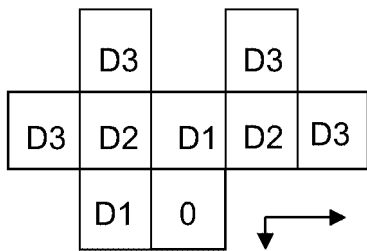


FIG.2a

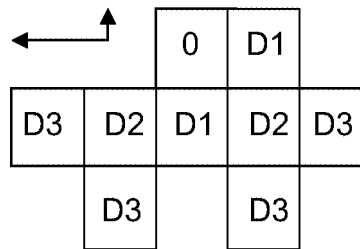


FIG.2b

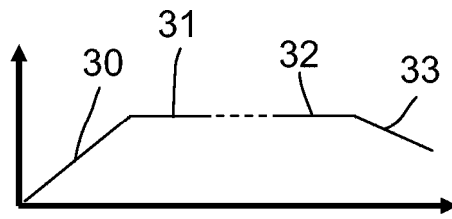


FIG. 3

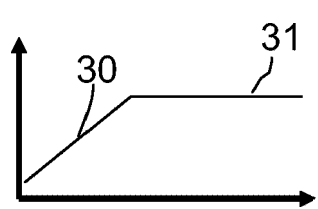


FIG. 4a

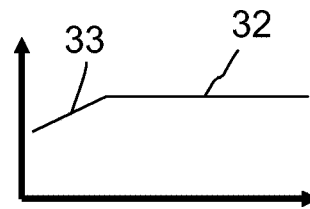


FIG. 4b

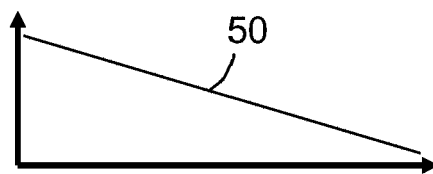


FIG. 5

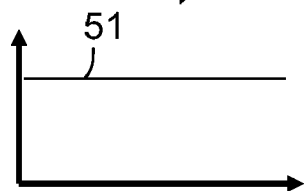


FIG. 6a

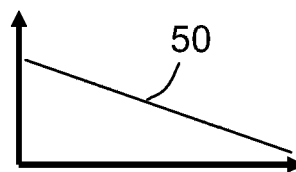


FIG. 6b

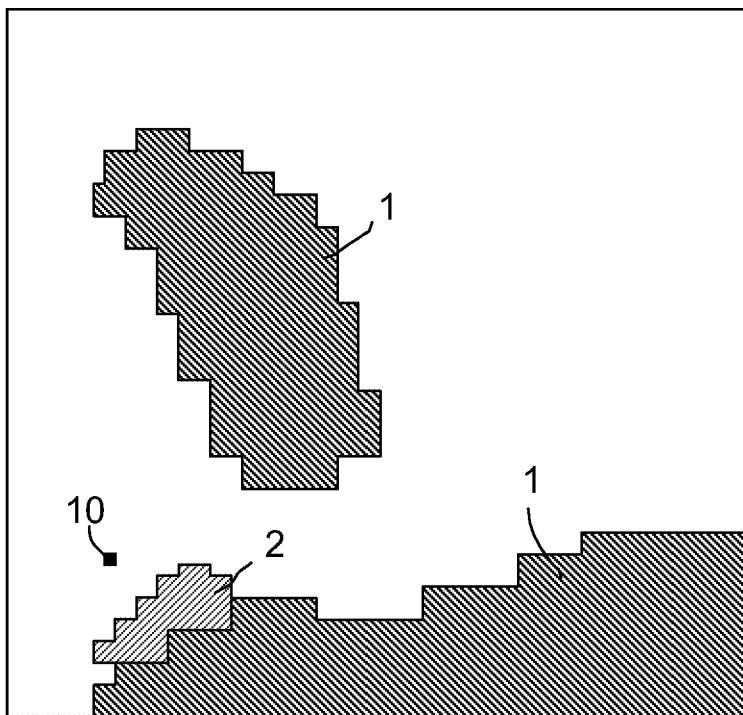


FIG. 7

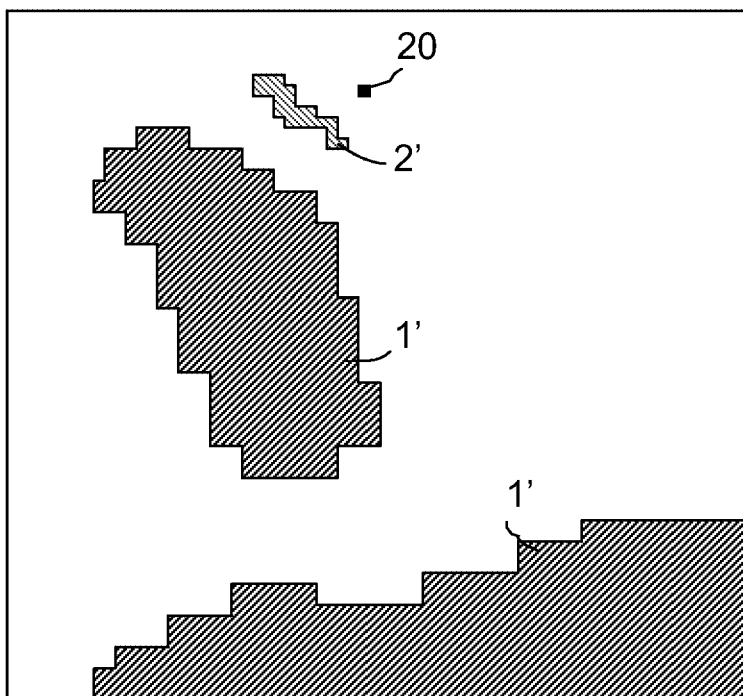


FIG. 8

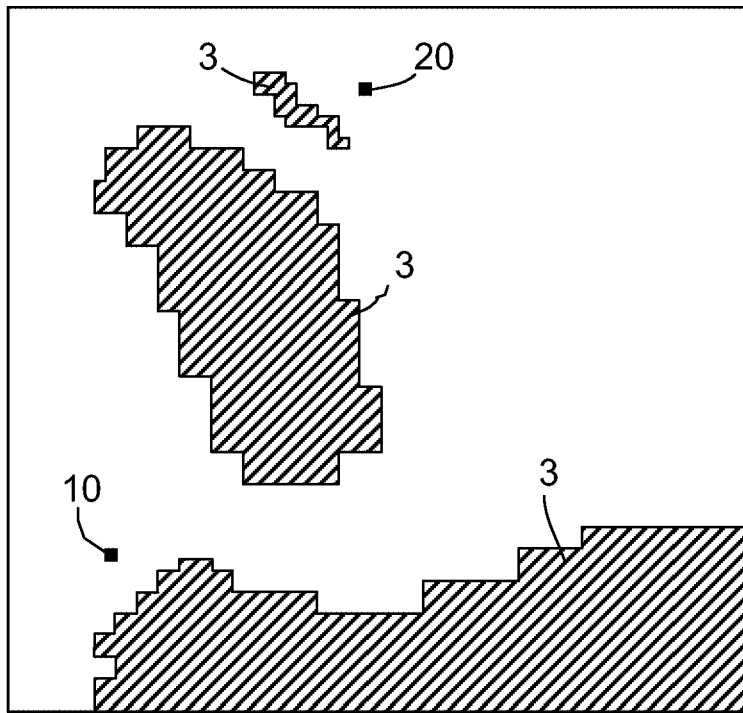
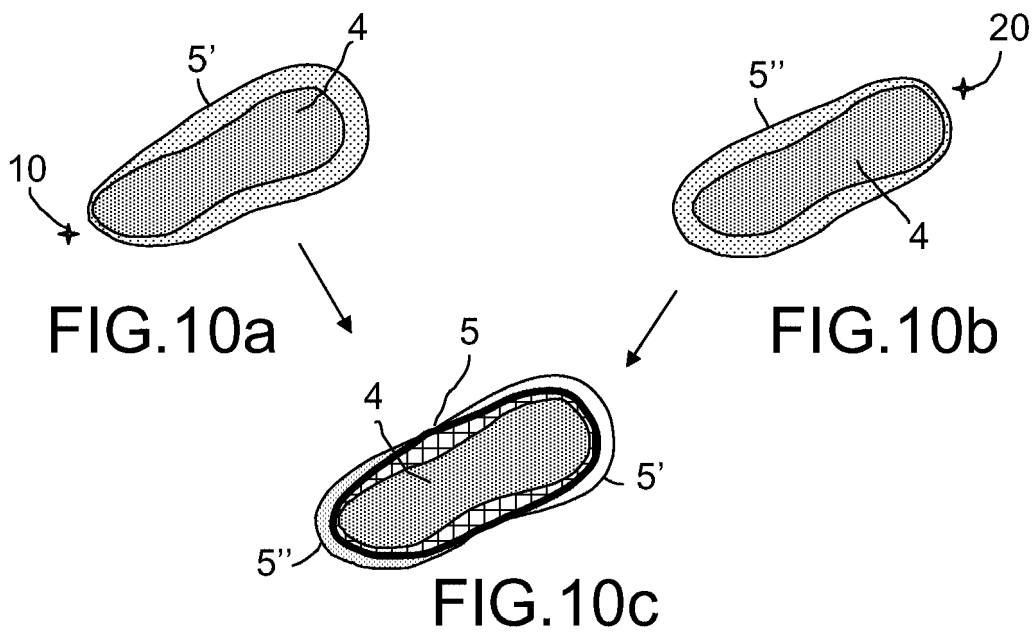


FIG. 9



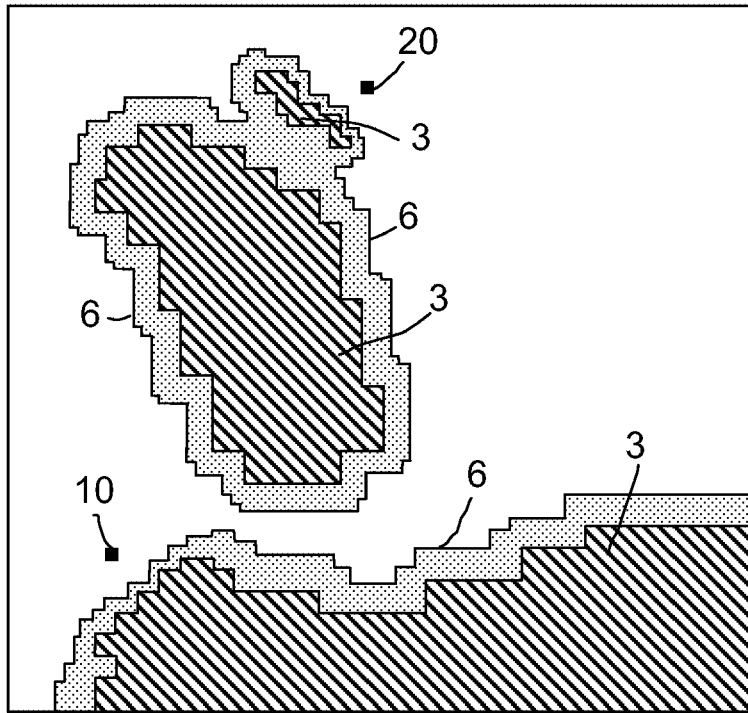


FIG.11

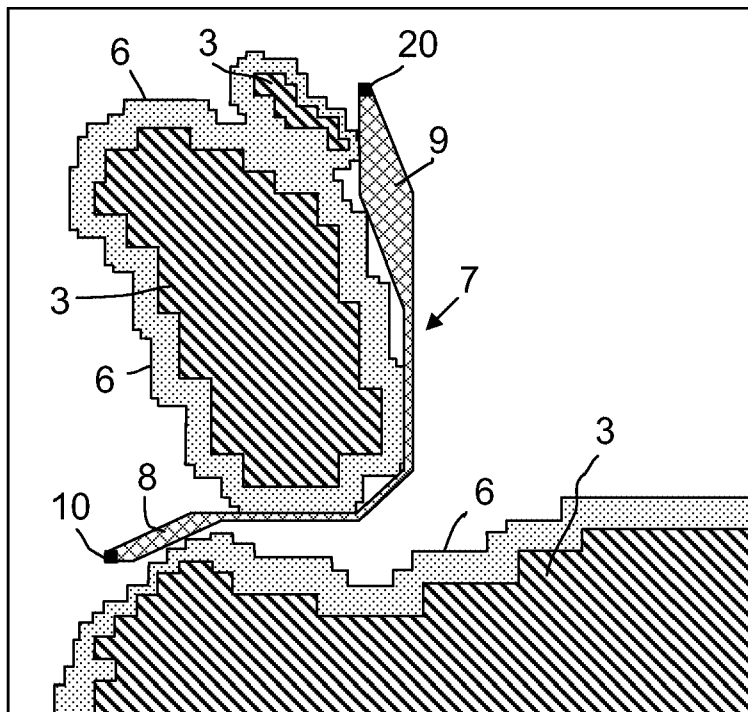


FIG.12

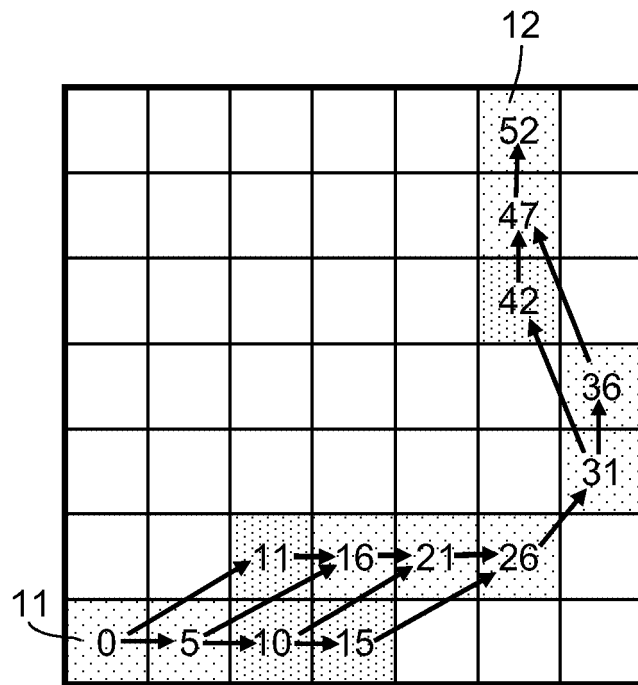


FIG.13

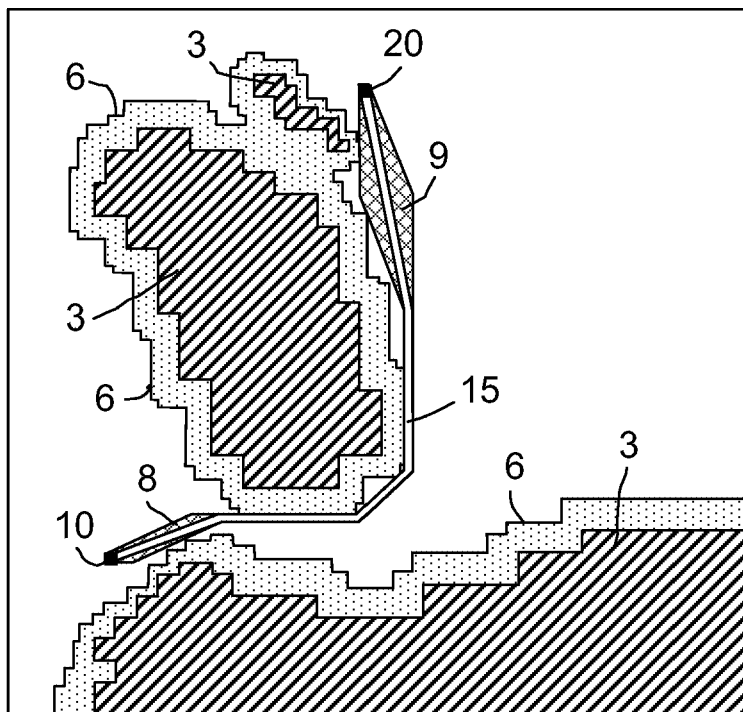


FIG.14

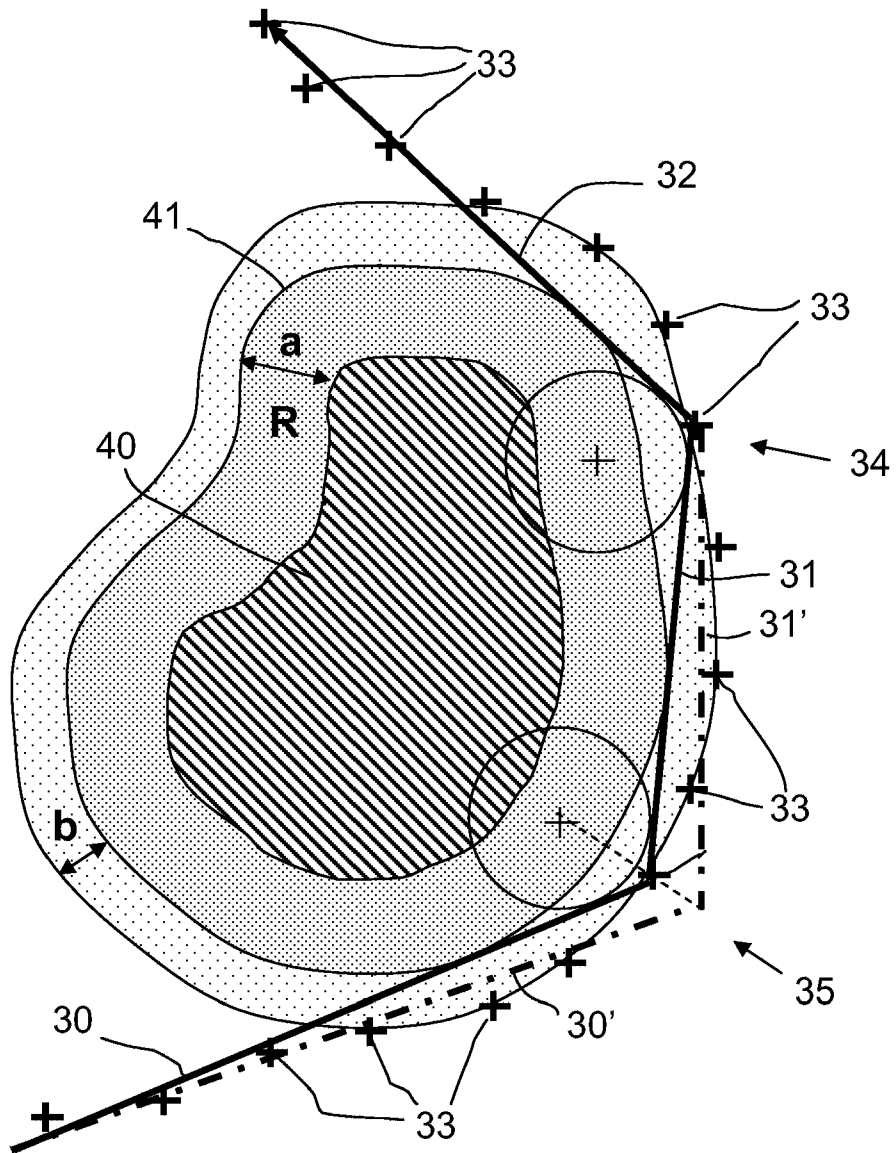


FIG.15

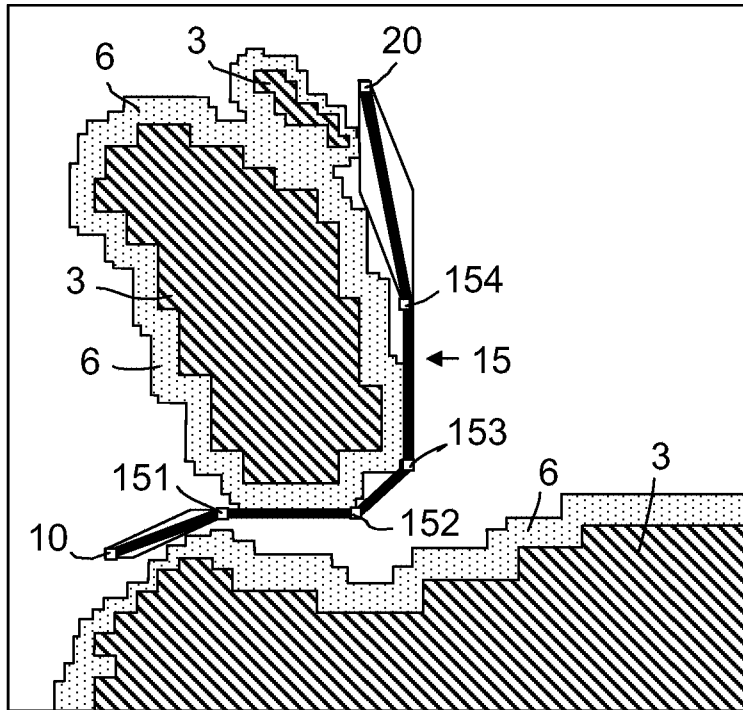


FIG.16

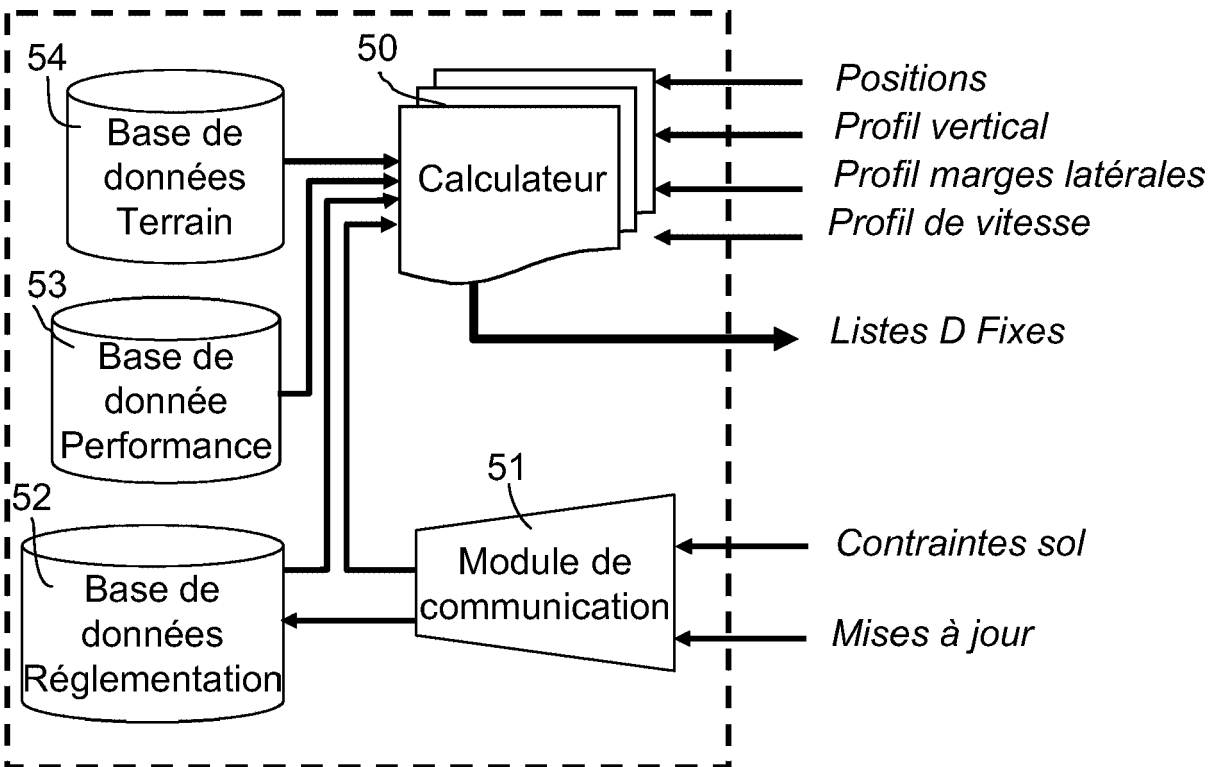


FIG.17

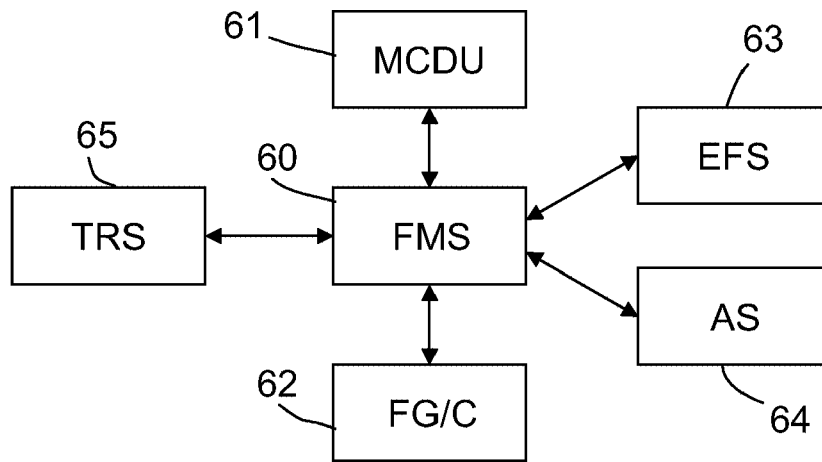


FIG.18

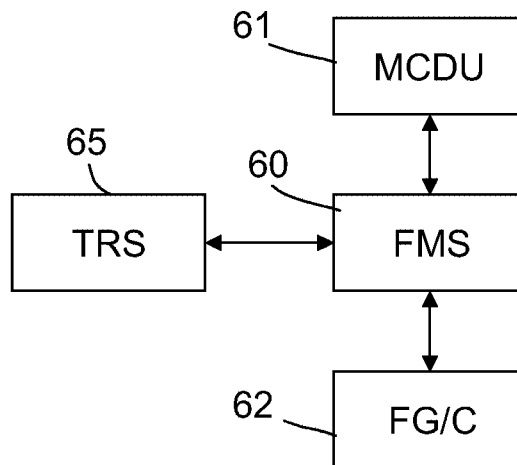


FIG.19

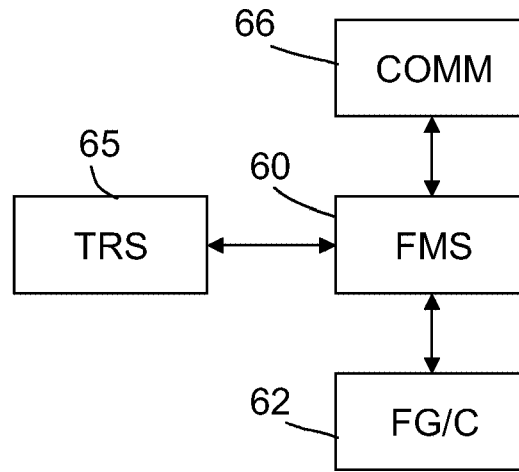


FIG.20

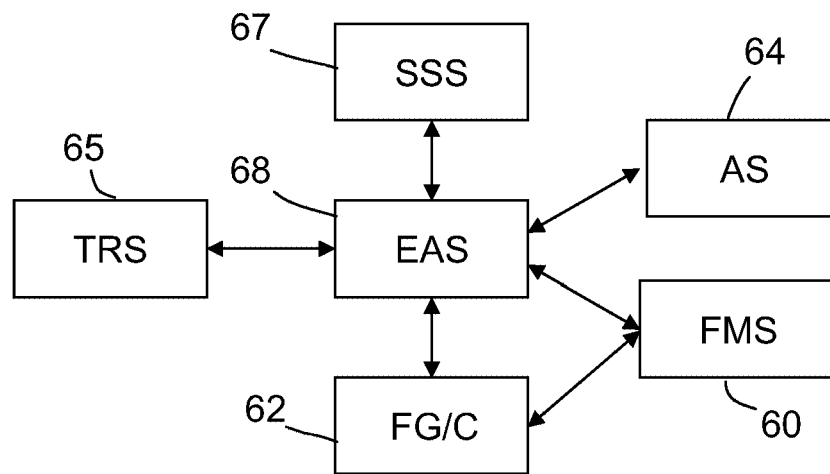


FIG.21

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G08G5/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G08G G01C B64D G05D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 2 860 292 A (THALES) 1 April 2005 (2005-04-01) cited in the application page 8, line 4 - page 14, line 8 -----	1-20
A	FR 2 864 312 A (THALES) 24 June 2005 (2005-06-24) cited in the application page 7, line 1 - page 15, line 14 -----	1-20

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

1 February 2007

Date of mailing of the international search report

12/02/2007

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Bourdier, Renaud

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
FR 2860292	A	01-04-2005	EP	1664677 A1		07-06-2006
			WO	2005031262 A1		07-04-2005
FR 2864312	A	24-06-2005	EP	1695327 A1		30-08-2006
			WO	2005069255 A1		28-07-2005

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
 INV. G08G5/04

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
 G08G G01C B64D G05D

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)
 EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	FR 2 860 292 A (THALES) 1 avril 2005 (2005-04-01) cité dans la demande page 8, ligne 4 - page 14, ligne 8 -----	1-20
A	FR 2 864 312 A (THALES) 24 juin 2005 (2005-06-24) cité dans la demande page 7, ligne 1 - page 15, ligne 14 -----	1-20

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

1 février 2007

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

12/02/2007

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Bourdier, Renaud

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2006/068581

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
FR 2860292	A	01-04-2005	EP	1664677 A1		07-06-2006
			WO	2005031262 A1		07-04-2005
FR 2864312	A	24-06-2005	EP	1695327 A1		30-08-2006
			WO	2005069255 A1		28-07-2005