



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
25.01.2023 Bulletin 2023/04

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
G08G 5/00 ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **22182113.5**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
G08G 5/0034; G08G 5/0039; G08G 5/006

(22) Date de dépôt: **30.06.2022**

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(72) Inventeurs:
• **GOUBINAT, Damien**
31036 TOULOUSE CEDEX 1 (FR)
• **PIERRE, Christophe**
31037 TOULOUSE CEDEX 1 (FR)
• **GOUTTEBROZE, Guillaume**
31036 TOULOUSE CEDEX 1 (FR)

(30) Priorité: **15.07.2021 FR 2107655**

(74) Mandataire: **Atout PI Laplace**
Immeuble "Visium"
22, avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)

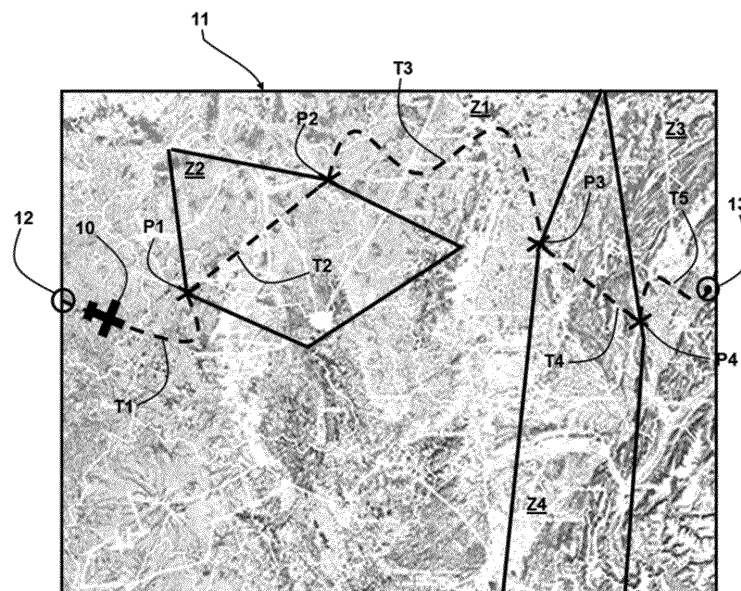
(71) Demandeur: **THALES**
92400 Courbevoie (FR)

(54) **PROCÉDÉ DE DÉTERMINATION D'UNE TRAJECTOIRE D'UN AÉRONEF**

(57) L'invention concerne un procédé de détermination d'une trajectoire d'un aéronef (10) destiné à voler sur un terrain d'opération (11) en vue de réaliser une action sur une cible (13) à un instant donné (T_{id}). Le procédé comprend une étape de calcul (E3) d'un ensemble de tronçons (T1, T2, T3, T4, T5) entre un point de départ (12), des points intermédiaires (P1, P2, P3, P4) et la cible (13). Un premier type de tronçons (T2, T4) a

une forme globalement rectiligne de sorte à limiter le temps passé par l'aéronef (10) dans des zones non sécurisées (Z2, Z4). Un second type de tronçons (T1, T3, T5) a une forme sinueuse de sorte à autoriser une réserve de temps pour ajuster une position de l'aéronef (10) sur la cible (13) audit instant donné (T_{id}) en vue de réaliser l'action.

Figure 1



Description

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un procédé de détermination d'une trajectoire d'un aéronef, un procédé de synchronisation entre plusieurs aéronefs ainsi que les dispositifs associés.

Technique antérieure

[0002] Pour toute opération militaire aérienne envisagée sur une cible déterminée mobile ou fixe, la phase de préparation de l'action est primordiale. Aujourd'hui, ce sont des opérateurs qui préparent les missions manuellement au sol à l'aide d'une situation tactique disponible suffisamment en avance. Sur la base de ces événements, ces opérateurs déterminent un plan de vol et une trajectoire à suivre par l'aéronef pour accomplir sa mission. Ces éléments sont ensuite intégrés au système de gestion de vol désigné par la terminologie anglo-saxonne de « Flight Management System » (FMS), qui met cette trajectoire à disposition du pilote.

[0003] Les opérateurs peuvent inclure dans la trajectoire « des fusibles » qui permettent d'ajuster temporellement le vol en vue de frapper la cible au moment opportun. Il est connu de l'homme du métier d'utiliser des triangles isocèles pour réaliser lesdits fusibles. Ces triangles isocèles permettent de rallonger la trajectoire pour se prémunir d'aléas. Ces triangles ont une longueur déterminée de sorte à contenir une quantité de temps simple à retenir pour le pilote (une minute par exemple). En fonction de l'avancée de la mission et des aléas rencontrés, les pilotes suivent ou enlèvent ces fusibles de leur trajectoire de façon à rallonger ou raccourcir leur trajectoire et ainsi respecter la contrainte temporelle.

[0004] Bien que l'utilisation des triangles isocèles permette d'ajuster la trajectoire de l'aéronef au cours du vol, elle nécessite cependant de la part du pilote une attention particulière pour décider d'enlever ou de suivre ces triangles. La charge mentale du pilote est alors augmentée au cours du vol avec ce procédé de gestion de la trajectoire. En outre, l'évolution de la situation tactique sur le terrain d'opération n'est pas réellement prise en compte car le pilote peut ne pas avoir un accès direct à ces informations. Il ne peut donc pas décider en toute connaissance de cause de l'opportunité d'enlever ou de suivre ces fusibles d'un point de vue tactique.

[0005] Il existe donc un besoin de proposer un procédé de détermination d'une trajectoire d'un aéronef qui soit plus simple à mettre en œuvre et qui prenne en compte l'évolution de la situation tactique sur le terrain d'opération.

Exposé de l'invention

[0006] La présente invention vise à remédier au moins en partie à ce besoin.

[0007] Plus particulièrement, la présente invention a pour objectif de faciliter l'utilisation de zones sécurisées afin de générer des possibilités de pertes de temps au cours d'un vol par l'utilisation de formes de trajectoire prédéterminées.

[0008] Un premier objet de l'invention concerne un procédé de détermination d'une trajectoire d'un aéronef destiné à voler sur un terrain d'opération en vue de réaliser une action sur une cible à un instant donné. Le terrain d'opération comporte une pluralité de zones sécurisées et une pluralité de zones non sécurisées. La trajectoire comporte une pluralité de points intermédiaires entre un point de départ de ladite trajectoire et la cible, lesdits points intermédiaires étant positionnés sur des frontières entre des zones sécurisées et des zones non sécurisées. Le procédé est mis en œuvre par des moyens informatiques. Le procédé de détermination comprend une étape de calcul d'un ensemble de tronçons entre ledit point de départ, lesdits points intermédiaires et ladite cible. L'ensemble de tronçons comporte un premier type de tronçons s'étendant sur des zones non sécurisées et un second type de tronçons s'étendant sur des zones sécurisées. Le premier type de tronçons a une forme globalement rectiligne de sorte à limiter le temps passé par l'aéronef dans les zones non sécurisées et ledit second type de tronçons a une forme sinueuse de sorte à autoriser une réserve de temps pour ajuster dans le temps la position de l'aéronef vis-à-vis de la cible.

[0009] Ainsi, l'invention propose de déterminer ou d'attribuer aux différentes zones du terrain d'opération des niveaux de risque. Pour des raisons de mise en œuvre de l'opération, il est parfois nécessaire à l'aéronef de survoler des zones non sécurisées présentant un haut niveau de risque. Dans une zone non sécurisée, on cherche à minimiser la présence temporelle de l'aéronef. La trajectoire va alors présenter une forme globalement rectiligne. Par « forme rectiligne », on entend une forme qui est en ligne droite. Les zones sécurisées présentant un niveau de risque moindre vont pouvoir constituer des réservoirs de temps. Dans ces zones sécurisées, la trajectoire de l'aéronef va pouvoir prendre une forme sinueuse pour permettre un rallongement du temps de vol en vue de synchroniser l'aéronef avec la cible. Il est ainsi possible de modifier des paramètres de distance, de durée, de variation d'angle de route entre segments, de vitesse, de pente sur le tronçon pour obtenir une telle forme sinueuse. La forme sinueuse est également appelée forme non-rectiligne. Le procédé permet ainsi d'allonger la trajectoire à l'aide de portions de trajectoire qui sont volables et dont la longueur/durée peut varier au cours du vol. Les portions de trajectoires sont déterminées à l'avance et constituent des « patterns » de perte de temps. Ces patterns de perte de temps peuvent résulter d'une optimisation numérique ou bien être issus de l'expertise des pilotes. Enfin, le procédé améliore l'autonomie globale de l'aéronef.

[0010] Dans un mode de réalisation particulier, l'étape de calcul de l'ensemble de tronçons est réalisée à partir :

- d'une trame de trajectoire, ladite trame de trajectoire comportant une succession de segments entre le point de départ, les points intermédiaires et la cible ;
- d'au moins une primitive de trajectoire choisie parmi une pluralité de primitives de trajectoire.

[0011] La trame de trajectoire constitue une trajectoire de base discrétisée en différents points intermédiaires. Cette trame de trajectoire tient compte des contraintes géométriques et des contraintes tactiques du terrain d'opération. Les portions de trajectoire de cette trame de trajectoire sont cependant toutes rectilignes entre les différents points intermédiaires. Afin de constituer des réservoirs de temps, une partie de ces portions rectilignes sont modifiée en portions sinueuses. Ces modifications sont réalisées à partir de primitives de trajectoire. Les primitives de trajectoire sont issues d'une base de données qui comprend des portions normalisées de trajectoires représentant différents types de trajectoires (rapides, furtives, LLF pour « Low Level Flight », en fonction d'un critère de perte de temps, en fonction d'un critère d'économie de carburant) pour différents aéronefs. Pour chaque aéronef, différentes configurations aérodynamiques ou d'emports sont prises en compte.

[0012] Dans un mode de réalisation particulier, la trame de trajectoire est obtenue à partir d'une planification de trajectoire et d'une contrainte temporelle associée à l'instant donné de réalisation de l'action sur la cible.

[0013] Cela permet une adaptation en temps réel de la trajectoire en fonction des évolutions du contexte opérationnel du terrain d'opération.

[0014] Un autre objet de l'invention concerne un dispositif pour la détermination d'une trajectoire d'un aéronef destiné à voler sur un terrain d'opération en vue de réaliser une action sur une cible à un instant donné. Le terrain d'opération comporte une pluralité de zones sécurisées et une pluralité de zones non sécurisées. La trajectoire comporte une pluralité de points intermédiaires entre un point de départ de ladite trajectoire et la cible, lesdits points intermédiaires étant positionnés sur des frontières entre des zones sécurisées et des zones non sécurisées. Le dispositif comprend, plus particulièrement, un module de calcul d'un ensemble de tronçons entre ledit point de départ, lesdits points intermédiaires et ladite cible, ledit ensemble de tronçons comportant un premier type de tronçons s'étendant sur des zones non sécurisées et un second type de tronçons s'étendant sur des zones sécurisées. Le premier type de tronçons a une forme globalement rectiligne de sorte à limiter le temps passé par l'aéronef dans ladite zone non sécurisée et le second type de tronçons a une forme sinueuse de sorte à autoriser une réserve de temps pour ajuster une position de l'aéronef sur la cible audit instant donné en vue de réaliser l'action.

[0015] Dans un mode de réalisation particulier, le dispositif comprend une base de données de situation tactique et un algorithme intelligent adapté pour déterminer un niveau de risque pour chacune des zones à partir de

ladite base de données de situation tactique.

[0016] L'algorithme intelligent se base sur les données issues de la situation tactique augmentée par des données issues des experts opérationnels et des missions passées. Toutes ces informations combinées sont alors traitées par un bloc issu de l'intelligence artificielle qui par apprentissage pourra associer un niveau de dangerosité et un type de menace susceptible d'être rencontré dans une zone considérée.

[0017] Un autre objet de l'invention concerne un procédé de synchronisation d'actions sur une cible entre un premier aéronef destiné à voler sur un terrain d'opération en vue de réaliser une première action sur ladite cible à un premier instant donné et au moins un second aéronef destiné à voler sur ledit terrain d'opération en vue de réaliser une seconde action sur ladite cible à un second instant donné. Le terrain d'opération comporte une pluralité de zones sécurisées et une pluralité de zones non sécurisées. Chaque aéronef a une trajectoire comportant une pluralité de points intermédiaires entre un point de départ et la cible. Les points intermédiaires sont positionnés sur des frontières entre des zones sécurisées et des zones non sécurisées. Le procédé est mis en œuvre par des moyens informatiques. Le procédé comprenant pour chaque aéronef, une étape de calcul d'un ensemble de tronçons entre ledit point de départ, lesdits points intermédiaires et ladite cible, ledit ensemble de tronçons comportant un premier type de tronçons s'étendant sur des zones non sécurisées et un second type de tronçons s'étendant sur des zones sécurisées. Le premier type de tronçons a une forme globalement rectiligne de sorte à limiter le temps passé par ledit aéronef dans les zones non sécurisées. Le second type de tronçons a une forme sinueuse de sorte à autoriser une réserve de temps pour ajuster la position dudit aéronef sur la cible audit instant donné en vue de réaliser ladite action. Le premier instant donné et le second instant donné sont sélectionnés de sorte à synchroniser la première action réalisée par le premier aéronef et la seconde action réalisée par le second aéronef sur ladite cible.

[0018] Il est ainsi possible de déterminer des trajectoires de plusieurs aéronefs synchronisées spatio-temporellement dans un environnement contraint en vue d'assurer un succès de la mission.

[0019] Un autre objet de l'invention concerne un dispositif de synchronisation pour la synchronisation d'actions sur une cible entre un premier aéronef destiné à voler sur un terrain d'opération en vue de réaliser une première action sur ladite cible à un premier instant donné et au moins un second aéronef destiné à voler sur ledit terrain d'opération en vue de réaliser une seconde action sur ladite cible à un second instant donné. Le terrain d'opération comporte une pluralité de zones sécurisées et une pluralité de zones non sécurisées. Chaque aéronef a une trajectoire comportant une pluralité de points intermédiaires entre un point de départ et la cible. Les points intermédiaires sont positionnés sur des frontières entre des zones sécurisées et des zones non sé-

curisées. Le dispositif de synchronisation comprend un module de calcul adapté pour calculer, pour chacun desdits aéronefs, un ensemble de tronçons entre ledit point de départ, lesdits points intermédiaires et ladite cible. L'ensemble de tronçons comporte un premier type de tronçons s'étendant sur des zones non sécurisées et un second type de tronçons s'étendant sur des zones sécurisées, ledit premier type de tronçons ayant une forme globalement rectiligne de sorte à limiter le temps passé par l'aéronef dans ladite zone non sécurisée et ledit second tronçon ayant une forme sinueuse de sorte à autoriser une réserve de temps pour ajuster la position de l'aéronef sur la cible audit instant donné en vue de réaliser l'action. Le premier instant donné et le second instant donné sont sélectionnés de sorte à synchroniser la première action réalisée par le premier aéronef et la seconde action réalisée par le second aéronef sur ladite cible.

[0020] Un autre objet de l'invention concerne une plateforme adaptée pour communiquer avec un premier aéronef et au moins avec un second aéronef pour la synchronisation d'actions sur une cible, ladite plateforme comprenant un dispositif de synchronisation selon un des objets précédents.

[0021] La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée de modes de réalisation pris à titre d'exemples nullement limitatifs et illustrés par les dessins annexés sur lesquels :

[Fig 1] la figure 1 illustre un terrain d'opération sur lequel est positionnée une trajectoire d'un aéronef obtenu selon un procédé de détermination d'une trajectoire selon l'invention ;

[Fig 2] la figure 2 illustre le terrain d'opération de la figure 1 avec un trame de trajectoire utilisée pour déterminer la trajectoire de l'aéronef ;

[Fig 3] la figure 3 illustre un dispositif pour la détermination de la trajectoire de l'aéronef de la figure 1 ;

[Fig 4] la figure 4 illustre les étapes d'un procédé de détermination de la trajectoire de l'aéronef de la figure 1 ;

[Fig 5] la figure 5 illustre un terrain d'opération sur lequel sont positionnées des trajectoires de deux aéronefs en vue de réaliser des actions synchronisées sur une cible selon un procédé de synchronisation ;

[Fig 6] la figure 6 illustre un dispositif de synchronisation pour la synchronisation d'actions des aéronefs de la figure 5 ;

[Fig 7] la figure 7 illustre les étapes d'un procédé de synchronisation pour la synchronisation d'actions des aéronefs de la figure 5.

[0022] L'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation et variantes présentées et d'autres modes de réalisation et variantes apparaîtront clairement à l'homme du métier.

[0023] La figure 3 illustre ainsi un dispositif 100 pour la détermination de la trajectoire d'un aéronef 10. Ce dispositif 100 comprend :

- une base de données de situation tactique SITAC ;
- un algorithme intelligent 101 ;
- un module de discrétisation 102 ;
- un module de calcul 103 ;
- une base de données 104 de primitives.

[0024] La base de données de situation tactique SITAC est adaptée pour stocker l'ensemble des informations décrivant les caractéristiques d'un terrain d'opération 11, telles que des caractéristiques topographiques Topo et des présences ennemies Oppo.

[0025] L'algorithme intelligent 101 est adapté pour découper le terrain d'opération 11 en une pluralité de zones Z1, Z2, Z3, Z4 et à attribuer à chacune de ces zones un niveau de risque N1, N2. Un premier niveau de risque N1 correspond à un niveau faible de dangerosité. Un second niveau de risque N2 correspond à un niveau élevé de dangerosité. Ainsi, dans le terrain d'opération 11 illustré aux figures 1 et 2, une première zone Z1 et une troisième zone Z3 présentent un niveau de risque N1 faible. Ces zones Z1, Z3 sont dites des zones sécurisées. De la même manière, une seconde zone Z2 et une quatrième zone Z4 présentent un niveau de risque N2 élevé. Ces zones Z2, Z4 sont dites non sécurisées. L'algorithme intelligent 101 est ainsi adapté pour gérer les niveaux de risque des différentes zones.

[0026] Le module de discrétisation 102 est adapté pour déterminer une trame de trajectoire de l'aéronef 10 sur les zones sécurisées Z1, Z3 et sur les zones non sécurisées Z2, Z4. Comme il est plus particulièrement illustré sur la figure 2, cette trame de trajectoire comprend une succession de segments S1, S2, S3, S4 disposés entre un point de départ 12 de l'aéronef 10 et une cible 13. Les segments S1, S2, S3, S4 se présentent sous la forme de traits reliant une pluralité de points intermédiaires P1, P2, P3, P4. Ainsi, un premier segment S1 relie le point de départ 12 à un premier point intermédiaire P1. Un second segment S2 relie le premier point intermédiaire P1 à un second point intermédiaire P2. Un troisième segment S3 relie le second point intermédiaire P2 à un troisième point intermédiaire P3. Un quatrième segment S4 relie le troisième point intermédiaire P3 à un quatrième point intermédiaire P4. Un cinquième segment S5 relie le quatrième point intermédiaire P4 à la cible 13. Les points intermédiaires P1, P2, P3, P4 sont positionnés sur des frontières entre les zones sécurisées Z1, Z3 et les zones non sécurisées Z2, Z4. C'est ainsi que le premier point intermédiaire P1 est à l'interface entre la première zone sécurisée Z1 et la seconde zone non sécurisée Z2. Le second point intermédiaire P2 est également à l'inter-

face entre la première zone sécurisée Z1 et la seconde zone non sécurisée Z2. Le troisième point intermédiaire P3 est à l'interface entre la première zone sécurisée Z1 et la quatrième zone non sécurisée Z4. Le quatrième point intermédiaire P4 est à l'interface entre la quatrième zone non sécurisée Z4 et la troisième zone sécurisée Z3.

[0027] La trame de trajectoire est obtenue à partir d'une planification de trajectoire Planif et d'une contrainte temporelle associée à un instant donné T_{id} de réalisation d'une action sur la cible 13. Le module de discrétisation 102 permet alors d'introduire la trame de trajectoire sur le terrain d'opération 11 en tenant compte des contraintes de sûreté de chaque zone Z1, Z2, Z3, Z4 et de la contrainte temporelle T_{id} .

[0028] La base de données 104 est adaptée pour stocker une pluralité de primitives Prim. Ces primitives sont des trajectoires normalisées, répondant à des problématiques spécifiques pour un aéronef précis dans une configuration donnée. Cette base de données de primitives comprend les différents aéronefs tels que les chasseurs, drones, drones UCAV (pour « Unmanned Combat Air Vehicle » en anglais), drones de surveillance, hélicoptères, effecteurs déportés (ou « remote carrier » en anglais), etc. ainsi que leurs différentes configurations (dépendants des emports, ...) qui représentent un modèle de performance pour la trajectoire. Pour chaque module de performance, une ou plusieurs primitives sont en regard de chaque niveau de dangerosité et de types de menaces détectés. Les primitives peuvent représenter des trajectoires qui sont, par exemple, les plus rapides en temps les plus courtes en distance, les plus furtives, les plus économes en carburant, etc.

[0029] Le module de calcul 103 est adapté pour déterminer un ensemble de tronçons T1, T2, T3, T4 entre le point de départ 12, les points intermédiaires P1, P2, P3, P4 et la cible 13. Ce module de calcul 103 reçoit ainsi la localisation de la pluralité des points intermédiaires P1, P2, P3, P4 sur le terrain d'opération 11 ainsi que les segments S1, S2, S3, S4 entre le point de départ 12 et la cible 13. Le module de calcul 103 reçoit également une ou plusieurs primitives provenant de la base de données 104. A partir de ces différents éléments, le module de calcul 103 est apte à délivrer une trajectoire adaptée. Cette trajectoire comprend ainsi deux types de tronçons. Dans un premier type de tronçons, un second tronçon T2 et un quatrième tronçon T4 présentent des formes rectilignes qui s'étendent respectivement dans la seconde zone non sécurisée Z2 et dans la quatrième zone non sécurisée Z4. Le premier type de tronçons de forme rectiligne permet ainsi de limiter le temps passé par l'aéronef 10 dans les zones non sécurisées Z2, Z4. Le second tronçon T2 correspond ainsi au second segment S2 de la trame de trajectoire et le quatrième tronçon T4 correspond au quatrième segment S4 de ladite trame de trajectoire. Dans un second type de tronçons, un premier tronçon T1, un troisième tronçon T3 et un cinquième tronçon T5 présentent des formes sinueuses qui s'étendent respectivement dans la première zone sécurisée Z1 et

dans la troisième zone sécurisée Z3. Le second type de tronçons de forme sinueuse permet d'autoriser une réserve de temps pour ajuster une position de l'aéronef 10 sur la cible 13 à l'instant donné T_{id} en vue de réaliser l'action sur la cible 13. Cette réserve de temps autorise le pilote de l'aéronef à avoir « des fusibles » dans sa trajectoire ce qui lui permet d'adapter au mieux son vol aux contraintes de temps durant l'opération. Le dispositif 100 pour la détermination de la trajectoire permet ainsi de placer des « patterns » de temps à des endroits stratégiques pour la réalisation de la mission. En utilisant les différentes informations issues de la situation tactique, par data fusion, le dispositif 100 détermine les différentes zones présumées sûres de la zone de mission. Les « patterns » de perte de temps peuvent alors être insérés dans la trajectoire de manière optimale.

[0030] La figure 4 illustre les étapes d'un procédé de détermination d'une trajectoire de l'aéronef 10 mis en œuvre par le dispositif de détermination 100 de la figure 3. Ce procédé de détermination comprend une étape E1 de découpage du terrain d'opération 11 en une pluralité de zones Z1, Z2, Z3, Z4. Pour chacune de ces zones, un niveau de risque N1, N2 est associé. Dans une étape E2 de discrétisation, la trame de trajectoire de l'aéronef 10 est déterminée sur les zones sécurisées Z1, Z3 et sur les zones non sécurisée Z2, Z4. Comme il a déjà été précisé, cette trame de trajectoire comprend une succession de segments S1, S2, S3, S4, S5 entre le point de départ 12, les points intermédiaires P1, P2, P3, P4 et la cible 13. Cette trame de trajectoire est obtenue à partir de la planification de trajectoire Planif et de la contrainte temporelle associée à l'instant donné T_{id} de réalisation de l'action sur la cible 13. Dans une étape de calcul E3, un ensemble de tronçons T1, T2, T3, T4, T5 est calculé. Cet ensemble de tronçons est déterminé à partir de la trame de trajectoire et d'au moins une primitive de trajectoire Prim choisie parmi une pluralité de primitives de trajectoire.

[0031] On notera que la trajectoire de l'aéronef 10 peut être mise à jour par ce procédé de détermination au cours du vol de l'aéronef 10 sur le terrain d'opération 11. En outre, le procédé de détermination est adapté pour gérer l'impact d'aléas sur différents tronçons avec propagation des effets.

[0032] La figure 5 illustre un terrain d'opération 11 survolé par deux aéronefs 10, 10'. Le premier aéronef 10 suit une première trajectoire du premier point de départ 12 jusqu'à la cible 13 en passant par un premier groupe de premiers points intermédiaires P1, P2, P3, P4. Cette trajectoire a été plus particulièrement détaillée lors de la description de la figure 1.

[0033] Le second aéronef 10' suit une seconde trajectoire d'un second point de départ 12' jusqu'à la cible 13 en passant par un second groupe de points intermédiaires P'1, P'2, P'3, P'4. Les points intermédiaires P'1, P'2, P'3, P'4 de ce second groupe de points sont positionnés sur des frontières entre les zones sécurisées Z1, Z3 et les zones non sécurisées Z2, Z4. C'est ainsi que le pre-

mier point intermédiaire P'1 est à l'interface entre la première zone sécurisée Z1 et la seconde zone non sécurisée Z2. Le second point intermédiaire P'2 est également à l'interface entre la première zone sécurisée Z1 et la seconde zone non sécurisée Z2. Le troisième point intermédiaire P'3 est à l'interface entre la première zone sécurisée Z1 et la quatrième zone non sécurisée Z4. Le quatrième point intermédiaire P'4 est à l'interface entre la quatrième zone non sécurisée Z4 et la troisième zone sécurisée Z3. La trajectoire du second aéronef 10' comprend deux types de tronçons. Dans un premier type de tronçons, un second tronçon T'2 et un quatrième tronçon T'4 présentent des formes rectilignes qui s'étendent respectivement dans la seconde zone non sécurisées Z2 et dans la quatrième zone non sécurisée Z4. Le premier type de tronçons de forme rectiligne permet ainsi de limiter le temps passé par le second aéronef 10' dans les zones non sécurisées Z2, Z4. Dans un second type de tronçons, un premier tronçon T'1 et un troisième tronçon T'3 présentent des formes sinueuses qui s'étendent respectivement dans la première zone sécurisée Z1 et dans la troisième zone sécurisée Z3. Le second type de tronçons de forme sinueuse permet d'autoriser une réserve de temps pour ajuster une position du second aéronef 10' sur la cible 13 à l'instant donné T'_{id} en vue de réaliser l'action sur la cible 13. Les actions du premier aéronef 10 et du second aéronef 10' sur la cible 13 doivent être synchronisées pour un bon succès de l'opération.

[0034] La figure 6 illustre un dispositif de synchronisation 200 pour la synchronisation d'actions sur la cible 13. Ce dispositif 200 comprend, de la même manière que pour le dispositif 100 de la figure 3 :

- une base de données de situation tactique SITAC ;
- un algorithme intelligent 201 ;
- un module de discrétisation 202 ;
- un module de calcul 203 ;
- une base de données 204 de primitives.

[0035] Le module de discrétisation 202 est adapté pour déterminer une première trame de trajectoire pour le premier aéronef 10 et une seconde trame de trajectoire pour le second aéronef 10' sur les zones sécurisées Z1, Z3 et sur les zones non sécurisées Z2, Z4. La première trame de trajectoire est déterminée à partir de la planification de trajectoire Planif et de la contrainte temporelle T_{id} associée au premier aéronef 10. La seconde trame de trajectoire est déterminée à partir de la planification de trajectoire Planif et de la contrainte temporelle T'_{id} associée au second aéronef 10'. Le premier instant donné T_{id} et le second instant donné T'_{id} sont préalablement sélectionnés de sorte à synchroniser la première action réalisée par le premier aéronef 10 et la seconde action réalisée par le second aéronef 10' sur la cible 13.

[0036] Le module de calcul 203 est adapté pour déterminer un premier ensemble de tronçons T1, T2, T3, T4 entre le premier point de départ 12, le premier groupe de points intermédiaires P1, P2, P3, P4 et la cible 13. Ce

module de calcul 203 reçoit ainsi la localisation de la pluralité du premier groupe de points intermédiaires P1, P2, P3, P4 sur le terrain d'opération 11. De la même manière, le module de calcul 203 est adapté pour déterminer un second ensemble de tronçons T'1, T'2, T'3, T'4 entre le second point de départ 12', le premier groupe de points intermédiaires P1, P2, P3, P4 et la cible 13. Ce module de calcul 203 est apte ainsi à recevoir la localisation de la pluralité du second groupe de points intermédiaires P'1, P'2, P'3, P'4 sur le terrain d'opération 11.

[0037] Le module de calcul 203 est apte à recevoir également une première primitive Prim pour la détermination du premier ensemble de tronçons T1, T2, T3, T4 et une seconde primitive Prim' pour la détermination du second ensemble de tronçons T'1, T'2, T'3, T'4. La première primitive Prim et la seconde primitive Prim' sont identiques. En variante, la première primitive Prim et la seconde primitive Prim' sont différentes.

[0038] Le dispositif de synchronisation 200 peut être disposé sur une plateforme 10", par exemple une plateforme installée sur un autre aéronef. Cette plateforme 10" est adaptée pour communiquer avec le premier aéronef 10 et le second aéronef 10' pour la synchronisation des actions sur la cible 13. Préférentiellement, la synchronisation se fait sur l'aéronef (10 ou 10') auquel est associé l'instant donné (Id ou Id') le plus imminent en vue de réaliser l'action sur la cible. Dans un mode de réalisation particulier le premier aéronef 10 et le second aéronef 10' ont une vitesse constante et une altitude constante, la synchronisation consiste alors à modifier le temps de départ du second aéronef 10'. Dans un autre mode de réalisation, le premier aéronef 10 et le second aéronef 10' sont synchronisés en modifiant les caractéristiques de longueur, de variation d'angle de route entre segments, de vitesse et/ou d'altitude des trajectoires respectives du premier aéronef 10 et/ou du second aéronef 10'.

[0039] La figure 7 illustre les étapes d'un procédé de synchronisation d'actions sur la cible 13 entre le premier aéronef 10 et le second aéronef 10'. Ce procédé de détermination comprend une étape E'1 de découpage du terrain d'opération 11 en une pluralité de zones Z1, Z2, Z3, Z4. Pour chacune de ces zones, un niveau de risque N1, N2 est associé. Dans une étape E'2 de discrétisation, la première trame de trajectoire du premier aéronef 10 et la seconde trame de trajectoire du second aéronef 10' sont déterminées sur les zones sécurisées Z1, Z3 et sur les zones non sécurisée Z2, Z4. La première trame de trajectoire est obtenue à partir de la planification de trajectoire Planif et de la première contrainte temporelle T_{id} . La seconde trame de trajectoire est obtenue à partir de la planification de trajectoire Planif et de la seconde contrainte temporelle T'_{id} . Le premier instant donné T_{id} et le second instant donné T'_{id} sont préalablement sélectionnés de sorte à synchroniser la première action réalisée par le premier aéronef 10 et la seconde action réalisée par le second aéronef 10' sur la cible 13.

[0040] Dans une étape E'3, un premier ensemble de

tronçons T1, T2, T3, T4 et un second ensemble de tronçons T'1, T'2, T'3, T'4 sont calculés. Le premier ensemble de tronçons est déterminé à partir de la première trame de trajectoire et d'au moins une première primitive de trajectoire Prim choisie parmi une pluralité de primitives de trajectoire. Le second ensemble de tronçons est déterminé à partir de la seconde trame de trajectoire et d'au moins une seconde primitive de trajectoire Prim' choisie parmi une pluralité de primitives de trajectoire.

[0041] L'invention propose ainsi de combiner des méthodes d'optimisations globales et locales augmentées par l'apport de données via du data-fusion et/ou de l'intelligence artificielle. Des zones acceptables pour une perte de temps sont déterminées ainsi que des patterns plus réalistes (trajectoire volatile) pour les tronçons fusibles.

[0042] L'invention propose également de déterminer par un algorithme intelligent des zones sûres pour introduire ces patterns de temps et assurer le respect des contraintes de temps, d'utiliser différentes primitives de trajectoires pour créer la trajectoire sous contraintes en fonction du contexte opérationnelle de la zone, ces primitives de trajectoire étant en adéquation avec un niveau de menace/dangerosité exprimé par l'algorithme intelligent. L'invention permet également de déterminer des routes et trajectoires pour chaque aéronef, dans un environnement contraint avec insertion de pattern de perte de temps.

[0043] L'invention facilite ainsi la planification des missions mais également la planification de nouveaux vols lors d'une évolution de la situation tactique ou lors d'un événement imprévu.

[0044] En outre, au niveau opérationnel, la synchronisation spatio-temporelle multi-porteur permet de faire diminuer la charge mentale du pilote tout en automatisant les calculs.

Revendications

1. Procédé de détermination d'une trajectoire d'un aéronef (10) destiné à voler sur un terrain d'opération (11) en vue de réaliser une action sur une cible (13) à un instant donné (Id), ledit terrain d'opération (11) comportant une pluralité de zones sécurisées (Z1, Z3) et une pluralité de zones non sécurisées (Z2, Z4), ladite trajectoire comportant une pluralité de points intermédiaires (P1, P2, P3, P4) entre un point de départ (12) de ladite trajectoire et la cible (13), lesdits points intermédiaires (P1, P2, P3, P4, P5) étant positionnés sur des frontières entre des zones sécurisées et des zones non sécurisées, ledit procédé étant mis en œuvre par des moyens informatiques, **caractérisé en ce que** ledit procédé de détermination comprend une étape de calcul (E3) d'un ensemble de tronçons (T1, T2, T3, T4, T5) entre ledit point de départ (12), lesdits points intermédiaires (P1, P2, P3, P4) et ladite cible (13), ledit ensemble de tron-

çons (T1, T2, T3, T4) comportant un premier type de tronçons (T2, T4) s'étendant sur des zones non sécurisées (Z2, Z4) et un second type de tronçons (T1, T3) s'étendant sur des zones sécurisées (Z1, Z3), ledit premier type de tronçons (T2, T4) ayant une forme globalement rectiligne de sorte à limiter le temps passé par l'aéronef (10) dans les zones non sécurisées (Z2, Z4) et ledit second type de tronçons (T1, T3) ayant une forme sinueuse de sorte à autoriser une réserve de temps pour ajuster une position de l'aéronef (10) sur la cible (13) audit instant donné (T_{id}) en vue de réaliser l'action.

2. Procédé de détermination d'une trajectoire selon la revendication 1, dans lequel l'étape de calcul (E3) de l'ensemble de tronçons (T1, T2, T3, T4, T5) est réalisée à partir :

- d'une trame de trajectoire, ladite trame de trajectoire comportant une succession de segments (S1, S2, S3, S4, S5) entre le point de départ (12), les points intermédiaires (P1, P2, P3, P4) et la cible (13) ;
- d'au moins une primitive de trajectoire (Prim) choisie parmi une pluralité de primitives de trajectoire.

3. Procédé de détermination d'une trajectoire selon la revendication 2, dans lequel la trame de trajectoire est obtenue à partir d'une planification de trajectoire (Planif) et d'une contrainte temporelle associée à l'instant donné (T_{id}) de réalisation de l'action sur la cible (13).

4. Procédé de détermination d'une trajectoire selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel ladite trajectoire est mise à jour au cours du vol de l'aéronef (10) sur le terrain d'opération (11).

5. Dispositif pour la détermination d'une trajectoire d'un aéronef (10) destiné à voler sur un terrain d'opération (11) en vue de réaliser une action sur une cible (13) à un instant donné (Id), ledit terrain d'opération (11) comportant une pluralité de zones sécurisées (Z2, Z4) et une pluralité de zones non sécurisées (Z1, Z3), ladite trajectoire comportant une pluralité de points intermédiaires (P1, P2, P3, P4) entre un point de départ (12) de ladite trajectoire et la cible (13), lesdits points intermédiaires (P1, P2, P3, P4, P5) étant positionnés sur des frontières entre des zones sécurisées et des zones non sécurisées, ledit dispositif comprenant :

- un module de calcul (103) d'un ensemble de tronçons (T1, T2, T3, T4, T5) entre ledit point de départ (12), lesdits points intermédiaires (P1, P2, P3, P4) et ladite cible (13), ledit ensemble de tronçons (T1, T2, T3, T4) comportant un pre-

- mier type de tronçons (T2, T4) s'étendant sur des zones non sécurisées (Z2, Z4) et un second type de tronçons (T1, T3) s'étendant sur des zones sécurisées (Z1, Z3), ledit premier type tronçons (T2, T4) ayant une forme globalement rectiligne de sorte à limiter le temps passé par l'aéronef (10) dans les zones non sécurisées (Z2, Z4) et ledit second type de tronçons (T1, T3, T5) ayant une forme sinueuse de sorte à autoriser une réserve de temps pour ajuster une position de l'aéronef (10) sur la cible (13) audit instant donné (T_{id}) en vue de réaliser l'action.
6. Dispositif pour la détermination d'une trajectoire selon la revendication 5, dans lequel ledit dispositif (100) comprend une base de données de situation tactique (SITAC) et un algorithme intelligent (101) adapté pour déterminer un niveau de risque (N1, N2) pour chacune des zones (Z1, Z2, Z3, Z4) à partir de ladite base de données de situation tactique (SITAC).
7. Procédé de synchronisation d'actions sur une cible (13) entre un premier aéronef (10) destiné à voler sur un terrain d'opération (11) en vue de réaliser une première action sur ladite cible (13) à un premier instant donné (T_{id}) et au moins un second aéronef (10') destiné à voler sur ledit terrain d'opération (11) en vue de réaliser une seconde action sur ladite cible (13) à un second instant donné (T'_{id}), ledit terrain d'opération (11) comportant une pluralité de zones sécurisées (Z1, Z3) et une pluralité de zones non sécurisées (Z2, Z4), chaque aéronef (10, 10') ayant une trajectoire comportant une pluralité de points intermédiaires (P1, P2, P3, P4 ; P'1, P'2, P'3, P'4) entre un point de départ (12, 12') et la cible (13), lesdits points intermédiaires étant positionnés sur des frontières entre des zones sécurisées et des zones non sécurisées, ledit procédé étant mis en œuvre par des moyens informatiques, ledit procédé comprend pour chaque aéronef (10 ; 10'), une étape de calcul (E'3) d'un ensemble de tronçons (T1, T2, T3, T4, T5 ; T'1, T'2, T'3, T'4, T'5) entre ledit point de départ (12, 12'), lesdits points intermédiaires (P1, P2, P3, P4 ; P'1, P'2, P'3, P'4) et ladite cible (13), ledit ensemble de tronçons (T1, T2, T3, T4, T5 ; T'1, T'2, T'3, T'4, T'5) comportant un premier type de tronçons (T2, T4 ; T'2, T'4) s'étendant sur des zones non sécurisées (Z2, Z4) et un second type de tronçons (T1, T3 ; T'1, T'3) s'étendant sur des zones sécurisées (Z1, Z3), ledit premier type de tronçons (T2, T4 ; T'2, T'4) ayant une forme globalement rectiligne de sorte à limiter le temps passé par l'aéronef (10 ; 10') dans les zones non sécurisées (Z2, Z4) et ledit second type de tronçons (T1, T3, T5 ; T'1, T'3, T'5) ayant une forme sinueuse de sorte à autoriser une réserve de temps pour ajuster la position de l'aéronef (10 ; 10') sur la cible (13) audit instant donné (T_{id} ; T'_{id}) en vue de réaliser l'action, ledit premier instant donné (T_{id}) et ledit second instant donné (T'_{id}) étant sélectionnés de sorte à synchroniser la première action réalisée par le premier aéronef (10) et la seconde action réalisée par le second aéronef (10') sur ladite cible (13).
8. Dispositif de synchronisation pour la synchronisation d'actions sur une cible (13) entre un premier aéronef (10) destiné à voler sur un terrain d'opération (11) en vue de réaliser une première action sur ladite cible (13) à un premier instant donné (T_{id}) et au moins un second aéronef (10') destiné à voler sur ledit terrain d'opération (11) en vue de réaliser une seconde action sur ladite cible (13) à un second instant donné (T'_{id}), ledit terrain d'opération (11) comportant une pluralité de zones sécurisées (Z1, Z3) et une pluralité de zones non sécurisées (Z2, Z4), chaque aéronef (10, 10') ayant une trajectoire comportant une pluralité de points intermédiaires (P1, P2, P3, P4 ; P'1, P'2, P'3, P'4) entre un point de départ (12, 12') et la cible (13), lesdits points intermédiaires étant positionnés sur des frontières entre des zones sécurisées et des zones non sécurisées, ledit dispositif de synchronisation (200) comprend un module de calcul (203) adapté pour calculer, pour chacun desdits aéronefs (10, 10'), un ensemble de tronçons (T1, T2, T3, T4, T5 ; T'1, T'2, T'3, T'4, T'5) entre ledit point de départ (12, 12'), lesdits points intermédiaires (P1, P2, P3, P4 ; P'1, P'2, P'3, P'4) et ladite cible (13), ledit ensemble de tronçons comportant un premier type de tronçons (T2, T4 ; T'2, T'4) s'étendant sur des zones non sécurisées (Z2, Z4) et un second type de tronçons (T1, T3, T5 ; T'1, T'3, T'5) s'étendant sur des zones sécurisées (Z1, Z3), ledit premier type de tronçons (T2, T4 ; T'2, T'4) ayant une forme globalement rectiligne de sorte à limiter le temps passé par l'aéronef (10, 10') dans les zones non sécurisées (Z2, Z4) et ledit second type de tronçons (T1, T3, T5 ; T'1, T'3, T'5) ayant une forme sinueuse de sorte à autoriser une réserve de temps pour ajuster la position de l'aéronef (10, 10') sur la cible (13) audit instant donné (T_{id} ; T'_{id}) en vue de réaliser l'action, ledit premier instant donné (T_{id}) et ledit second instant donné (T'_{id}) étant sélectionnés de sorte à synchroniser la première action réalisée par le premier aéronef (10) et la seconde action réalisée par le second aéronef (10') sur ladite cible (13).
9. Plateforme adaptée pour communiquer avec un premier aéronef (10) et au moins avec un second aéronef (10') pour la synchronisation d'actions sur une cible (13), ladite plateforme (10'') comprenant un dispositif de synchronisation (200) selon la revendication 8.

Figure 1

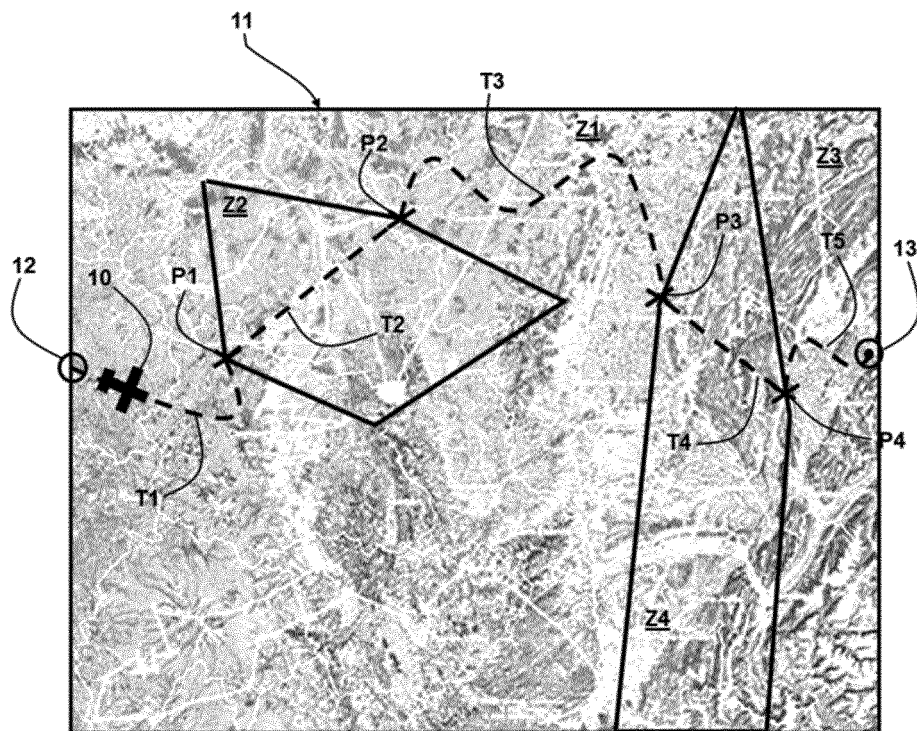


Figure 2

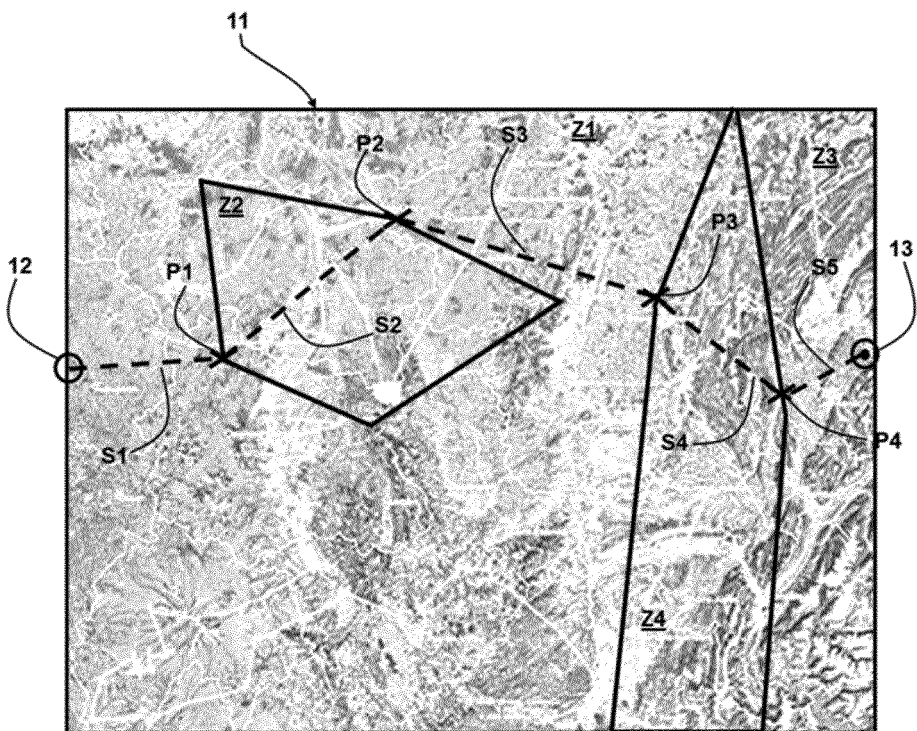


Figure 3

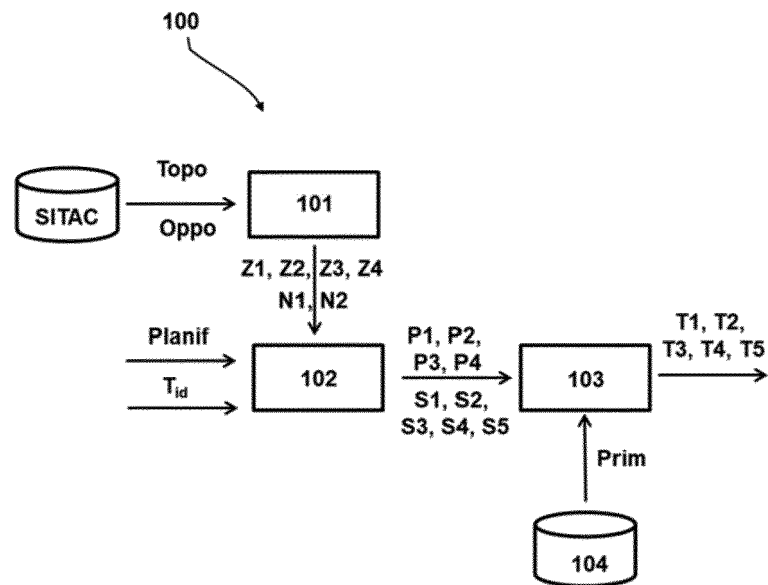


Figure 4

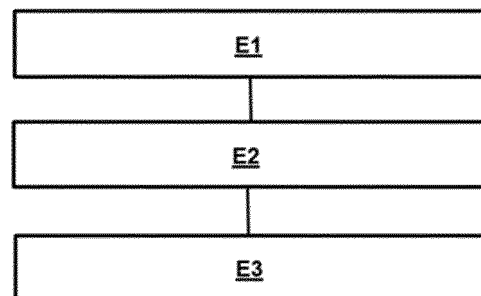


Figure 5

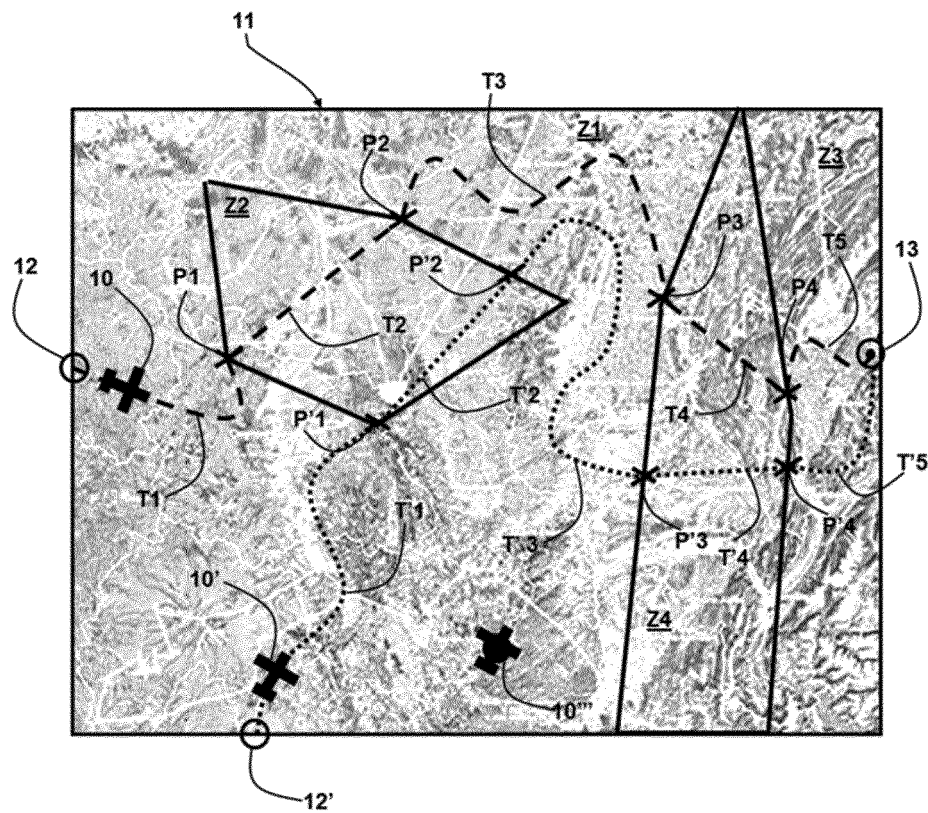


Figure 6

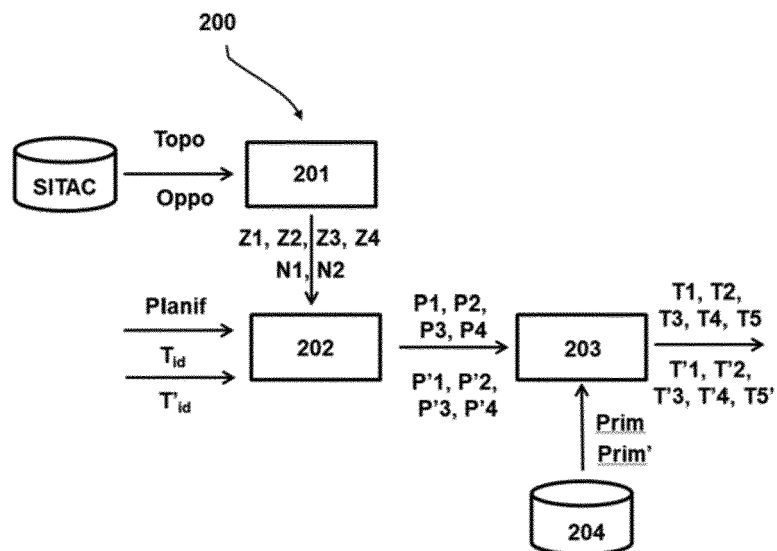
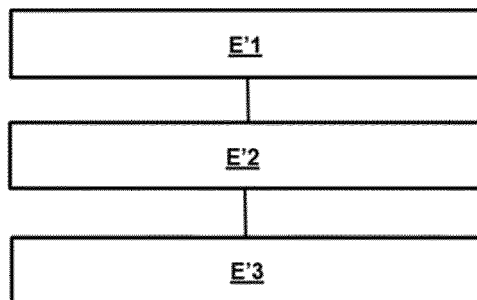


Figure 7





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 22 18 2113

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	US 8 843 303 B1 (YOUNG SHIH-YIH [US] ET AL) 23 septembre 2014 (2014-09-23) * colonne 1, lignes 46-52 *	1-9	INV. G08G5/00
A	US 2020/369384 A1 (KELLY GRAHAM LEE [GB]) 26 novembre 2020 (2020-11-26) * alinéa [0098] - alinéa [0099] *	1-9	
A	WO 2021/001768 A1 (UAVIA [FR]) 7 janvier 2021 (2021-01-07) * page 22, ligne 13 - page 23, ligne 4 *	1-9	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) G08G

1

Lieu de la recherche

Date d'achèvement de la recherche

Examineur

La Haye

8 décembre 2022

de la Cruz Valera, D

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

X : particulièrement pertinent à lui seul
 Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
 A : arrière-plan technologique
 O : divulgation non-écrite
 P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
 E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date
 D : cité dans la demande
 L : cité pour d'autres raisons
 & : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 22 18 2113

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

08-12-2022

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 8843303	B1	23-09-2014	AUCUN
US 2020369384	A1	26-11-2020	AU 2018390378 A1 23-07-2020
		CA 3085800 A1 27-06-2019	
		CN 111601755 A 28-08-2020	
		EP 3717352 A1 07-10-2020	
		GB 2569789 A 03-07-2019	
		IL 275513 A 31-08-2020	
		JP 2021509096 A 18-03-2021	
		US 2020369384 A1 26-11-2020	
		WO 2019122842 A1 27-06-2019	
WO 2021001768	A1	07-01-2021	CA 3144577 A1 07-01-2021
		CN 114207545 A 18-03-2022	
		EP 3994678 A1 11-05-2022	
		FR 3098336 A1 08-01-2021	
		IL 289500 A 01-02-2022	
		JP 2022539232 A 07-09-2022	
		KR 20220027218 A 07-03-2022	
		US 2022270495 A1 25-08-2022	
		WO 2021001768 A1 07-01-2021	

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82