

ROYAUME DU MAROC  
-----  
OFFICE MAROCAIN DE LA PROPRIETE (19)  
INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE  
-----



المملكة المغربية  
-----  
المكتب المغربي  
للملكية الصناعية و التجارية  
-----

## (12) BREVET D'INVENTION

(11) N° de publication : **MA 39324 B1** (51) Cl. internationale : **G05D 1/00**

(43) Date de publication :  
**31.10.2018**

---

(21) N° Dépôt :  
**39324**

(22) Date de Dépôt :  
**05.09.2016**

(71) Demandeur(s) :  
**ATLAN SPACE SARL, 9, Imm.1180, Ouled Zaer, Ain El Aouda Rabat (MA)**

(72) Inventeur(s) :  
**Moumen Younes**

(74) Mandataire :  
**IDRISSI BADR**

---

(54) Titre : **METHODE DE COORDINATION ENTRE PLUSIEURS APPAREILS SANS PILOTES EQUIPES D'AUTONOMIE DECISIONNELLE**

(57) Abrégé : Une méthode de coordination entre plusieurs appareils sans pilotes pour effectuer des missions de surveillance dans une large zone avec une autonomie décisionnelle et sans besoin de connectivité. La méthode est basée sur une communication centralisée où un serveur central effectue des calculs de détermination et d'attribution de zones et de plans de vols initiaux aux appareils. Ces derniers ont également des ordinateurs de bords capables de recalculer les plans de vol au besoin et de prendre des décisions autonomes selon des règles prédéterminées envoyées par le serveur central. Le système reste flexible avec la possibilité de changer d'objectifs, d'appareils sans pilotes, et d'autres paramètres en cours de mission. 1\ prend en considération la nature du terrain, l'évolution de la météo dans le temps ainsi que d'autres paramètres pour obtenir un plan de vol optimal. 1\ est également fiable dans le sens où le système continue de fonctionner même en cas d'interruption de connectivité.

## Abrégé

Une méthode de coordination entre plusieurs appareils sans pilotes pour effectuer des missions de surveillance dans une large zone avec une autonomie décisionnelle et sans besoin de connectivité. La méthode est basée sur une communication centralisée où un serveur central effectue des calculs de détermination et d'attribution de zones et de plans de vols initiaux aux appareils. Ces derniers ont également des ordinateurs de bords capables de recalculer les plans de vol au besoin et de prendre des décisions autonomes selon des règles prédéterminées envoyées par le serveur central. Le système reste flexible avec la possibilité de changer d'objectifs, d'appareils sans pilotes, et d'autres paramètres en cours de mission. Il prend en considération la nature du terrain, l'évolution de la météo dans le temps ainsi que d'autres paramètres pour obtenir un plan de vol optimal. Il est également fiable dans le sens où le système continue de fonctionner même en cas d'interruption de connectivité.

## Méthode de coordination entre plusieurs appareils sans pilotes équipés d'autonomie décisionnelle

### Description

La présente invention est relative au domaine général de la surveillance continue de larges zones géographiques par des appareils sans pilotes. Elle appartient au domaine particulier des méthodes de coordination entre plusieurs appareils.

La recherche est aujourd'hui très active dans la recherche de solutions de pilotage à distance et de coordination d'un ou de plusieurs appareils sans pilotes avec une faible intervention humaine.

L'utilisation classique d'un appareil sans pilote consiste en une station de control au sol opérée par un humain grâce à une interface graphique ou des lignes de commandes. La station de control au sol est généralement un ordinateur équipé d'un logiciel adapté, de périphériques pour alimenter des données (clavier, souris...), ainsi que des sorties (écran, voyants, hautparleur...). La station au sol communique avec un autopilote embarqué dans l'appareil sans pilote grâce à deux modules de télécommunication compatibles, un de chaque côté. Un protocole prédéfini permet une communication harmonieuse entre la station au sol et l'appareil sans pilote. Cette communication est généralement bidirectionnelle, avec la station au sol qui envoie généralement des commandes et reçoit des données de télémétrie et d'autres données relatives à la mission de l'appareil. L'autopilote est également un ordinateur, souvent doté d'un microcontrôleur ou d'un processeur qui exécute le logiciel de control de vol. Ce logiciel embarqué récupère les données de vol depuis les instruments de capture reliés en entrée et envoie des commandes en réponse aux moteurs et autres circuits électroniques pour exécuter le plan de vol envoyé par la station de control au sol. Une charge utile est généralement embarquée dans l'appareil telle qu'un appareil photo, capteur LiDAR, etc. Cette charge utile est souvent liée à l'autopilote qui transmet les données capturées de la même façon que les données de télémétrie. Dans d'autres cas, tout un système parallèle est utilisé pour la capture et la transmission des données de la charge utile vers la station au sol.

Cette application classique telle que décrite précédemment est utile lorsque l'utilisation de l'appareil sans pilote est ponctuelle pour effectuer une mission spécifique dans une zone prédéfinie, et avec un post-traitement des données capturées. Or, plusieurs nouvelles possibilités d'applications très utiles ont émergé. Beaucoup de ces applications nécessitent entre-autres le déploiement de plusieurs appareils en même temps, la coordination entre les appareils, le traitement des données en vol, et le fonctionnement hors ligne.

L'application classique telle que décrite précédemment peut être améliorée pour inclure la coordination entre plusieurs appareils avec une seule station au sol. Ceci est relaté dans le brevet d'invention US2014249693A1 qui propose qu'une station au sol qui calcule les plans des vols de tous les appareils et les transmet vers leurs contrôleurs de vol respectifs. Mais cette application suppose une connectivité continue avec les appareils, ainsi qu'une intervention humaine intensive pour générer l'ensemble des plans des vols qui doivent être réalisés manuellement.

Une autre approche de coordination entre plusieurs appareils couvrant une large zone et avec une génération automatique des plans de vols est décrite par le brevet d'invention US8935035B1. Cette approche suppose que tous les appareils opèrent dans une seule zone déterminée et se concentre sur la génération itérative de plans de vols optimaux pour chaque appareil de sorte à ce que la couverture de l'ensemble des appareils soit optimale. La zone de couverture est constituée dans ce cas d'un ensemble de points de passage qui doivent être couverts et qui sont représentés par un graphe orienté. L'application de cette approche dans la pratique peut être limitée par un certain nombre de facteurs décisives. D'un côté, la modélisation par graphe doit être dynamique étant donné que des problèmes techniques ou des facteurs d'environnement peuvent changer le nombre et les capacités

de chaque appareil, ou bien les points de passage. Ceci implique que cet algorithme doit être recalculé à chaque changement et communiqué à nouveau à l'ensemble des appareils en même temps pour modifier leurs plans de vols. Autrement, si tous les appareils n'ont pas modifié leurs plans de vols en même temps, il y'a risque de collisions et de résultats aléatoires des opérations. Cette communication globale peut poser de sérieux problèmes d'un point de vue logistique lorsque la zone à couvrir est très large. Encore pire, ce modèle ne laisse pas de place aux défaillances de communications qui peuvent engendrer des résultats inattendus.

Parmi les applications les plus recherchées nous retrouvons également la surveillance de larges zones et le suivi continu de cibles dans le domaine militaire. Ces fonctions peuvent constituer des atouts offrant une supériorité indéniable grâce à l'avantage de renseignement que peuvent offrir ces applications. Nous retrouvons en particulier l'invention décrite dans le brevet US8186589B2. Cette invention propose un système hiérarchique de décision, de control, de coordination et de communication entre plusieurs appareils déployés en formation. Ce système de coordination est basé sur une communication point à point au lieu d'une communication en étoile, où chaque appareil de la formation est représenté comme un nœud dans un arbre. Chaque appareil communique avec les nœuds au-dessus et au-dessous de lui pour coordonner les manœuvres et éviter les collisions. Ce système de coordination est très pratique pour une formation rapprochée où plusieurs appareils doivent effectuer des manœuvres coordonnées. Mais le fait que le système soit basé sur une communication point à point ne permet pas son utilisation pour la surveillance sur de larges zones.

Une autre approche décentralisée est décrite dans le brevet d'invention US2015025713A1. Un système de coordination est décrit où chaque appareil génère un plan de vol qu'il communique aux autres appareils et l'adapte selon les plans de vols reçus des autres appareils. Ce système offre une planification très dynamique capable d'accepter des changements dans la mission, dans le nombre d'appareils, et d'intégrer les imprévus. Toutefois, la méthode suppose là encore une communication globale continue entre l'ensemble des appareils. En même temps, il serait correct de supposer que la méthode peut présenter de graves diminutions d'efficacité dès que le nombre d'appareils devient trop important et que des interruptions de connectivité sont enregistrées.

Aucune des méthodes et systèmes décrits précédemment n'offre une solution pratique et efficace pour assurer la surveillance automatique d'une large zone géographique avec intervention humaine minimale et capable d'éliminer ou de minimiser les accidents lors de problèmes de connectivité et de facteurs externes hostiles, le tout en étant flexible quant aux changements de directives dans les missions des appareils.

Notre invention propose une approche où la communication est centralisée en étoile avec un serveur central qui coordonne automatiquement les plans de vols et les missions de l'ensemble des appareils, sans besoin d'intervention humaine. Nous évitons les méthodes de planification décentralisées à cause des risques de réduction globale des performances et des défaillances graves qui peuvent être causées par les problèmes de connectivité. Mais une communication centralisée, tout en assurant une capacité d'optimisation des plans de vols, reste vulnérable aux problèmes de connectivité. Nous adressons cette vulnérabilité par deux éléments fondamentaux : une autonomie décisionnelle embarquée dans les appareils qui leur permet de continuer leurs missions sans instructions distantes d'un côté. Et d'un autre, un algorithme de coordination qui génère des plans de vol exclusifs où aucun appareil ne peut croiser un autre même en cas d'interruption partielle ou global des communications, le tout en offrant une optimisation optimale non heuristique.

Nous émettons tout d'abord des suppositions qui déterminent le champ d'application de notre invention. Nous supposons que la zone de déploiement n'est pas couverte totalement par une connectivité sans fil. Les conditions météo ainsi que leur évolution dans temps à différents points de la zone de déploiement, et la nature du terrain, en particulier l'élévation, sont prédéterminés ou peuvent être récupérés par le serveur central et les appareils lorsque la connectivité suffisante est établie. L'autopilote est supposé avoir des fonctions standards telles que le décollage automatique,

l'atterrissage automatique, l'exécution d'un plan de vol, la définition d'un périmètre de vol délimité, le suivi de terrain, et l'exécution manuelle de commandes sur les moteurs, servomoteurs et autres instruments au besoin.

Chaque appareil est équipé d'un ordinateur de bord avec une capacité de stockage persistant et d'un périphérique de connectivité sans fil de transmission de données mobiles sans fil basé sur les standards 3GPP par exemple. Cet ordinateur de bord est également connecté à l'autopilote et aux équipements constituant la charge utile de l'appareil. C'est cet ordinateur de bord qui assure les communications avec le serveur central et qui implémente la partie de la méthode qui concerne les appareils dans notre invention.

Selon notre approche, le serveur central fait deux opérations principales relatives à la coordination et la planification. D'abord, il établit ce que nous appelons un zonage équitable. Le résultat de l'opération est une division de l'ensemble de la surface à couvrir en plusieurs zones dont le nombre est égale au nombre d'appareils déployés. Toutes les zones sont définies de façon à ce qu'il faut exactement à tout appareil le même temps ou la même quantité d'énergie pour couvrir chaque zone avec les conditions (météo, mission, et autres) connues à un instant  $t$ . Le choix du temps ou de l'énergie comme variable à optimiser doit être défini auparavant selon les besoins du déploiement. L'avantage principal d'un zonage équitable établi de manière centralisée est que chaque appareil opère dans une zone propre avec l'impossibilité de croiser un autre appareil évitant ainsi tout risque de collision. En même temps, le fait que les zones soient équitables implique que la planification globale reste optimale malgré la décomposition en zones.

Le zonage peut être recalculé régulièrement ou à chaque fois qu'un changement dans les paramètres de déploiement est opéré. Les paramètres de déploiement étant le nombre d'appareils, leurs caractéristiques actuelles, leurs états de fonctionnement incluant les mesures des capteurs embarqués, les données relatives à la zone de déploiement et la nature du terrain (l'élévation en particulier), les conditions météo dans la zone de déploiement selon différentes altitudes ainsi que les paramètres, règles et priorités de la mission.

A chaque fois que les zones équitables sont définies, le serveur central calcule le plan de vol initial optimal pour chaque appareil. Ensuite, il transmet les zones et les plans des vols respectifs à chacun des appareils. Cette transmission se fait en même temps vers tous les appareils en utilisant un protocole de transmission des données capable de gérer les sessions tel que le TCP. Chaque connexion entre le serveur central et chaque appareil utilise une session qui reste ouverte le temps que toutes les données soient transmises à tous les appareils et que tous les appareils aient confirmé la réception. Si une seule session TCP entre le serveur central et un appareil ne peut être initialisée ou est interrompu en cours de transmission, l'ensemble des sessions sont annulées et les appareils gardent les zones et plans de vols précédents en attendant une autre tentative. Cette transmission transactionnelle assure qu'il n'y a pas d'incohérence entre les données des différents appareils entre eux et avec le serveur central.

Lorsque l'appareil reçoit sa zone et son plan de vol depuis le serveur central, il l'enregistre en écrasant les données précédentes s'ils existent et commence à l'exécuter en envoyant les commandes nécessaires à l'autopilote. Toutefois, seule la zone reste inchangeable au niveau de l'appareil. En effet, l'appareil peut changer le plan de vol régulièrement et à chaque fois qu'un paramètre de déploiement est changé. Ces changements sont conditionnés par l'envoi au serveur des changements établis dès qu'une connexion avec celui-ci est établie.

Le calcul des zones au niveau du serveur central se base sur une modélisation selon la théorie des graphes. En effet, un graphe orienté simple structuré est utilisé où les nœuds (10) forment un quadrillage régulier. Chaque nœud (10) représente une position géographique et contient les données relatives à la nature du terrain (terre, mer, flanc de montagne...), l'élévation de terrain et la météo comme fonction qui dépend du temps. Une arête orientée (11) relie chaque deux nœuds (10) adjacents verticalement, horizontalement ou diagonalement. Le poids de chaque arête (11) est soit une fonction  $G(t)$  qui dépend du temps et qui représente le temps passé par l'appareil pour traverser

l'arête (11), soit une fonction  $D(t)$  qui représente l'énergie nécessaire pour traverser l'arête (11). Le choix de la fonction du poids est ainsi effectué selon la variable à optimiser lors du déploiement (temps ou énergie). La formule de calcul des fonctions  $G(t)$  et  $D(t)$  peut se baser sur des principes physiques appliqués aux spécifications et performances de l'appareil. Elle peut également se baser sur des mesures et expériences passées ou sur une combinaison des deux méthodes. Ces fonctions doivent prendre en considération tous les paramètres et combinaisons de paramètres. A titre d'exemple, il est moins coûteux en énergie de traverser une arête qui parcourt le flan d'une montagne lorsque le vent souffle sur le flan et l'appareil peut planer et gagner en altitude.

La méthode de calcul des zones équitables peut se baser sur un algorithme de propagation itérative. Tout d'abord le poids total de l'ensemble des arêtes est calculé, puis divisé par le nombre d'appareils, donnant le poids approximatif de chaque zone équitable. La définition de chaque zone (12) commence par le nœud le plus proche de la position de départ de l'appareil (1) chargé de cette zone et un poids de zone égale à zéro. A chaque itération, les zones sont classées selon le poids cumulé par ordre croissant. Dans chacune des zones en commençant par le poids le plus faible, les nœuds directement adjacents au contour externe de la zone et non actuellement occupés par une autre zone sont successivement ajoutés à la zone et le poids de la zone est incrémenté par les poids des nouvelles arêtes comprises dans la zones. L'ajout des nœuds est interrompu dans une zone dès que le poids de la zone atteint ou dépasse le poids de zone équitable. Si une zone n'a plus de nœuds à ajouter, elle récupère les nœuds des zones adjacentes ayant des poids supérieurs et l'ajout des nœuds dans ces zones et repris dans le cas où il était auparavant interrompu.

Quant au plan de vol, il utilise la même modélisation en graphe utilisée lors du calcul des zones équitables. Sauf que dans ce cas, seul le sous-graphe de la zone intéressée est utilisé. Les poids des arêtes du sous-graphe sont variables en fonction du temps. Le plan de vol optimal est celui où le poids total des arêtes parcourus pour traverser complètement le graphe est minimal ; sachant que les poids changent avec le temps. Une façon de calculer le plan de vol optimal consiste à réaliser une fonction récursive  $R$  ayant comme paramètres le plan de vol actuel (nœuds déjà parcourus) et son poids total, et qui implémente la logique suivante : la fonction cherche s'il y'a des nœuds adjacents au dernier nœud parcouru, sinon elle cherche les nœuds les plus proches. Si elle trouve des nœuds, elle crée de nouveaux plans de vols avec chacun des nœuds comme dernier point de passage, incrémente le poids total avec la somme des poids des arêtes empruntées pour atteindre ce dernier point de passage, et se ré-exécute elle-même avec ces nouveaux plans de vol comme paramètre. Les poids des arêtes sont toujours calculés à l'instant futur où l'arête serait engagée par l'appareil. Sinon, s'il n'y a plus de nœud à parcourir, le plan de vol actuel est enregistré avec son poids total s'il s'agit du premier plan de vol calculé. Sinon, le poids du plan de vol actuel est comparé avec le poids du plan de vol enregistré et le plan de vol au poids le plus faible est enregistré. A la fin de la fonction récursive, le plan de vol enregistré est forcément celui qui a le poids le plus faible et donc celui optimisé en fonction du temps ou de la consommation d'énergie.

Chaque appareil est équipé d'un système décisionnel où toutes les actions possibles sont modélisées comme des automates finis où chaque transition entre deux états est : un ensemble de conditions qui doivent être vraies, des résultats d'actions qui doivent être positifs, et des exceptions qui doivent être fausses. Le système inclue également une file d'attente de tâches relatives à la mission avec des degrés de priorité différents. Les tâches peuvent être envoyées, retirées ou modifiées par le serveur central ou par des transitions des automates. Les automates peuvent être exécutés en parallèle pour assurer plusieurs missions en même temps, la file d'attente des tâches peut servir dans ce cas de jetons pour assurer un fonctionnement correct du parallélisme.

Nous prenons à titre d'exemple un automate fini simplifié qui permet à un appareil équipé d'une caméra thermique et optique qui a détecté une température élevée dans un point de surface déterminée de prendre des mesures immédiates selon les circonstances. L'état initial (100) est un état où l'appareil est en mode croisière selon le plan de vol envoyé par le serveur central et enregistré dans la mémoire persistante. La transition (101) est vérifiée lorsque la température dans un point de surface donné est supérieure à la moyenne des températures de la capture thermique effectuée par

une différence prédéfinie. La transition (101) est également vérifiée si le point en question n'est pas déjà marqué précédemment comme point à ignorer. La transition (102) est vérifiée si une commande du serveur central demande l'investigation d'un point de surface donné. L'état (110) indique que l'appareil a défini un point de surface à investiguer. La transition (111) est vérifiée s'il n'y a pas une tâche plus prioritaire dans la file d'attente des tâches que l'appareil doit faire et que la notification du serveur central est positive et que le changement de l'autopilote vers le mode de survol circulaire est positif. L'état (120) indique que l'appareil est en train d'investiguer un point de surface donné. La transition (121) est vérifiée si un délai déterminé est passé et l'envoi d'une photographie haute résolution au serveur central a réussi. La transition (122) est vérifiée s'il n'y a pas une tâche plus prioritaire dans la file d'attente des tâches et que l'appareil n'arrive pas à se connecter au serveur et qu'au moins une photo a été capturée et qu'un point de connectivité est disponible. La transition (123) est vérifiée si une commande du serveur central indique la fin de l'investigation et le recalcul du plan de vol optimal est réussi. L'état (130) indique que l'appareil est en croisière vers un point de connectivité. La transition (131) est vérifiée si l'envoi d'une photographie haute résolution au serveur central a réussi et le retour vers le point d'investigation est instruit à l'autopilote.

C'est ce système en globalité comprenant la modélisation en graphe dynamique, le zonage équitable, les communications transactionnelles, l'optimisation du plan de vol par zone, et le système décisionnel qui fait que notre solution est unique, robuste, optimale, offrant les avantages de minimisation de l'intervention humaine, de la coordination à large échelle et la flexibilité des changements de tous les paramètres de déploiement tout en évitant les collisions et les problèmes d'efficacité même lors de perte de la connectivité.

La figure 1 montre un échantillon du quadrillage du graphe simple orienté structuré avec la configuration des arêtes entre les nœuds.

La figure 2 montre l'état initial du calcul de zones équitables où chaque zone est définie par le nœud le plus proche de la position initiale de l'appareil chargé de cette zone.

La figure 3 montre le résultat de la première itération dans l'algorithme de propagation utilisé dans le calcul des zones.

La figure 4 montre le résultat final de l'algorithme de propagation utilisé dans le calcul des zones. Il est supposé que toutes les arêtes aient le même poids pour simplifier le modèle.

La figure 5 montre un exemple d'automate fini qui permet à un appareil équipé d'une caméra thermique et optique qui a détecté une température élevée dans un point de surface déterminée de prendre des mesures immédiates selon les circonstances

## Revendications

1. Un procédé d'optimisation de la surveillance d'une large zone géographique en utilisant deux ou plusieurs appareils sans pilotes caractérisé par la modélisation de la zone par un graphe orienté simple structuré en quadrillage. Les arêtes du graphe étant des fonctions variables dans le temps indiquant le temps ou l'énergie nécessaire pour parcourir l'arête par l'appareil. Des sous graphes représentant des zones aux poids équitables sont calculés en utilisant un algorithme de propagation itérative. Dans chaque zone, le plan de vol parcourant l'ensemble de ses nœuds et optimal par minimisation du poids total des arêtes du parcours est calculé. Le plan de vol est enfin exécuté par l'appareil chargé de chaque zone en respectant un système décisionnel basé sur des automates finis associés à une liste d'attente de tâches avec attribution de priorité.

2. Un procédé d'optimisation selon la revendication 1 caractérisé en ce que chaque nœud (10) du graphe orienté simple structuré en quadrillage représente une position géographique et contient les données relatives à la nature du terrain, l'élévation de terrain et la météo comme fonction qui dépend du temps. Une arête orientée (11) relie chaque deux nœuds (10) adjacents verticalement, horizontalement ou diagonalement.

3. Un procédé d'optimisation selon les revendications 1, et 2 caractérisé en ce que l'algorithme de propagation itérative est constitué des étapes qui suivent : tout d'abord le poids total de l'ensemble des arêtes du graphe est calculé, puis divisé par le nombre d'appareils, donnant le poids approximatif de chaque zone équitable. La définition de chaque zone (12) commence par le nœud le plus proche de la position de départ de l'appareil (1) chargé de cette zone et un poids de zone égale à zéro. A chaque itération, les zones sont classées selon le poids cumulé par ordre croissant. Dans chacune des zones en commençant par le poids le plus faible, les nœuds directement adjacents au contour externe de la zone et non actuellement occupés par une autre zone sont successivement ajoutés à la zone et le poids de la zone est incrémenté par les poids des nouvelles arêtes comprises dans la zones. L'ajout des nœuds est interrompu dans une zone dès que le poids de la zone atteint ou dépasse le poids de zone équitable. Si une zone n'a plus de nœuds à ajouter, elle récupère les nœuds des zones adjacentes ayant des poids supérieurs et l'ajout des nœuds dans ces zones est repris dans le cas où il était auparavant interrompu.

4. Un procédé d'optimisation selon les revendications 1, 2 et 3 caractérisé en ce que le calcul du plan de vol optimal consiste à réaliser une fonction récursive R ayant comme paramètres le plan de vol actuel (nœuds déjà parcourus) et son poids total, et qui implémente la logique suivante : la fonction cherche s'il y'a des nœuds adjacents au dernier nœud parcouru, sinon elle cherche les nœuds les plus proches. Si elle trouve des nœuds, elle crée de nouveaux plans de vols avec chacun des nœuds comme dernier point de passage, incrémente le poids total avec la somme des poids des arrêtes empruntées pour atteindre ce dernier point de passage, et se ré-exécute elle-même avec ces nouveaux plans de vol comme paramètre. Les poids des arêtes sont toujours calculés à l'instant futur où l'arête serait engagée par l'appareil. Sinon, s'il n'y a plus de nœud à parcourir, le plan de vol actuel est enregistré avec son poids total s'il s'agit du premier plan de vol calculé. Sinon, le poids du plan de vol actuel est comparé avec le poids du plan de vol enregistré et le plan de vol au poids le plus faible est enregistré. A la fin de la fonction récursive, le plan de vol enregistré est celui qui a le poids le plus faible et donc celui optimisé en fonction du temps ou de la consommation d'énergie.

5. Un procédé d'optimisation selon la revendication 1 caractérisé en ce que le serveur central calcul les zones équitables et les plans de vols optimaux initiaux, puis les transmet régulièrement ou au besoin aux appareils de façon parallèle et transactionnelle.

6. Un procédé d'optimisation selon les revendications 1 et 5 caractérisé en ce que chaque transition entre deux états des automates finis du système décisionnel est constitué de : un ensemble de conditions qui doivent être vraies, de résultats d'actions qui doivent être positifs, et d'exceptions qui doivent être fausses.



7. Un procédé d'optimisation selon les revendications 1, 5 et 6 caractérisé en ce que le serveur central peut changer les paramètres de déploiement à n'importe quel moment.

8. Un procédé d'optimisation selon les revendications 1, 5 et 6 caractérisé par un automate fini contenant au minimum les états et transitions suivantes : L'état initial (100) est un état où l'appareil est en mode croisière selon le plan de vol envoyé par le serveur central et enregistré dans la mémoire persistante. La transition (101) est vérifiée lorsque la température dans un point de surface donné est supérieure à la moyenne des températures de la capture thermique effectuée par une différence prédéfinie. La transition (101) est également vérifiée si le point en question n'est pas déjà marqué précédemment comme point à ignorer. La transition (102) est vérifiée si une commande du serveur central demande l'investigation d'un point de surface donné. L'état (110) indique que l'appareil a défini un point de surface à investiguer. La transition (111) est vérifiée s'il n'y a pas une tâche plus prioritaire dans la file d'attente des tâches que l'appareil doit faire et que la notification du serveur central est positive et que le changement de l'autopilote vers le mode de survol circulaire est positif. L'état (120) indique que l'appareil est en train d'investiguer un point de surface donné. La transition (121) est vérifiée si un délai déterminé est passé et l'envoi d'une photographie haute résolution au serveur central a réussi. La transition (122) est vérifiée s'il n'y a pas une tâche plus prioritaire dans la file d'attente des tâches et que l'appareil n'arrive pas à se connecter au serveur et qu'au moins une photo a été capturée et qu'un point de connectivité est disponible. La transition (123) est vérifiée si une commande du serveur central indique la fin de l'investigation et le recalcul du plan de vol optimal est réussi. L'état (130) indique que l'appareil est en croisière vers un point de connectivité. La transition (131) est vérifiée si l'envoi d'une photographie haute résolution au serveur central a réussi et le retour vers le point d'investigation est instruit à l'autopilote.

Dessins

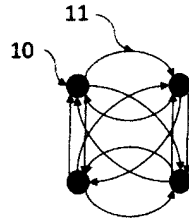


Figure 1

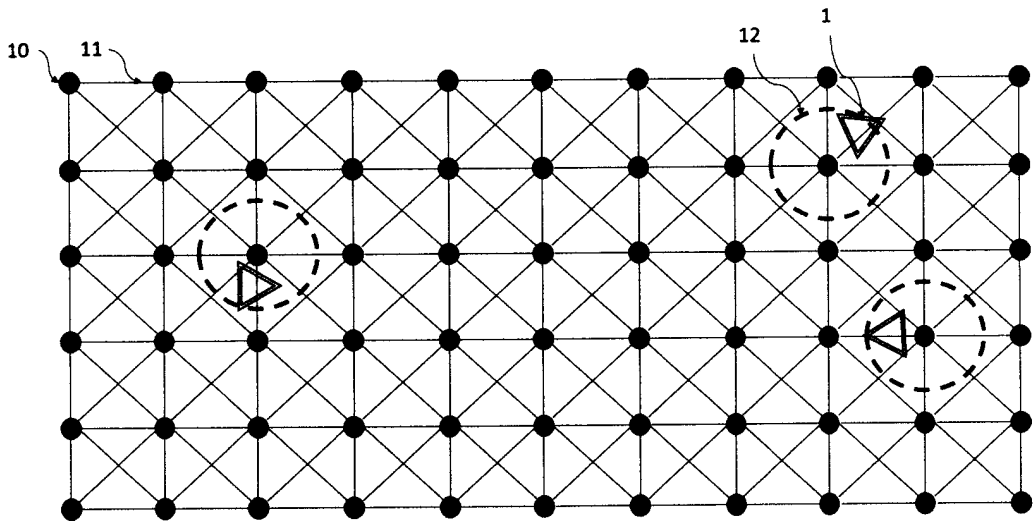


Figure 2

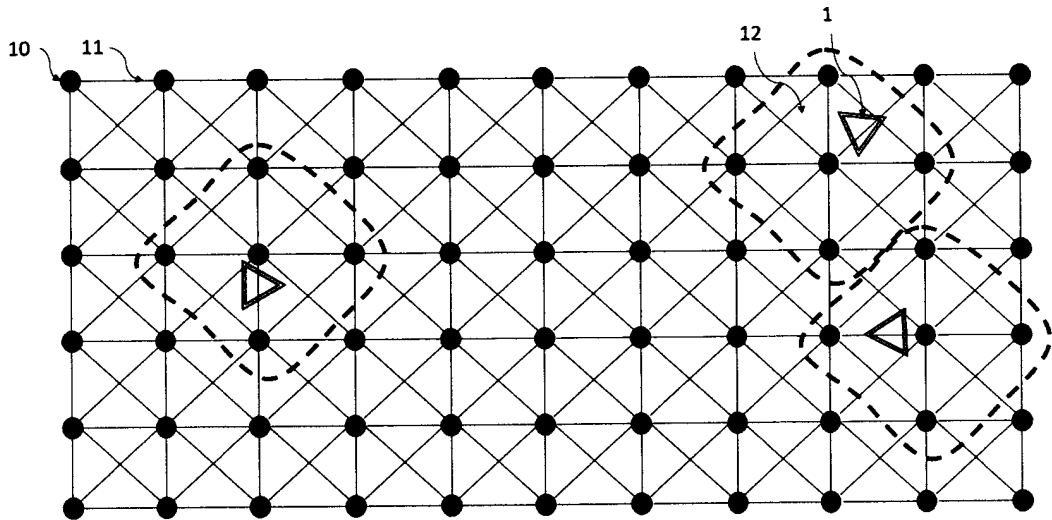


Figure 3

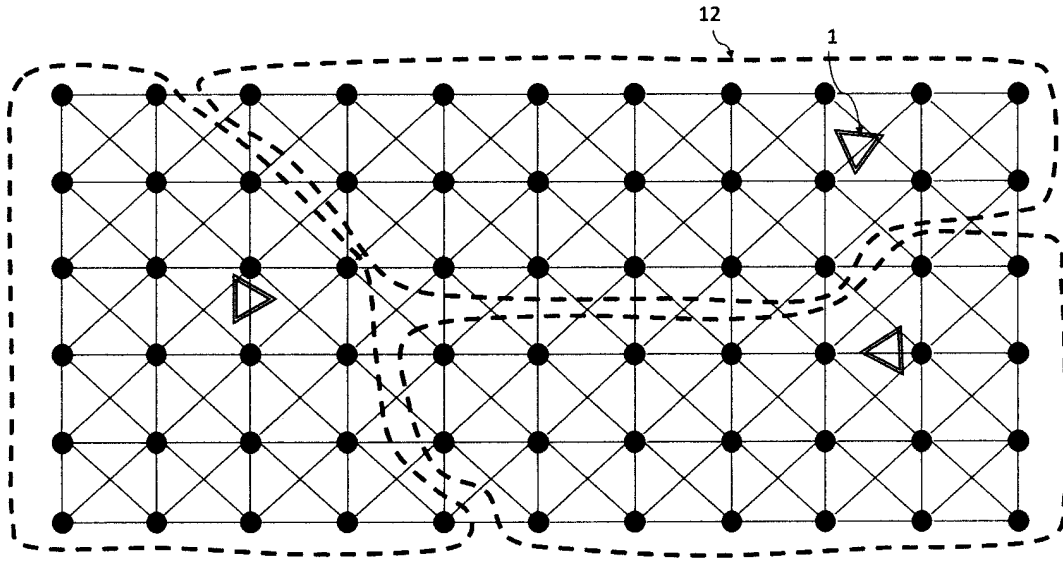


Figure 4

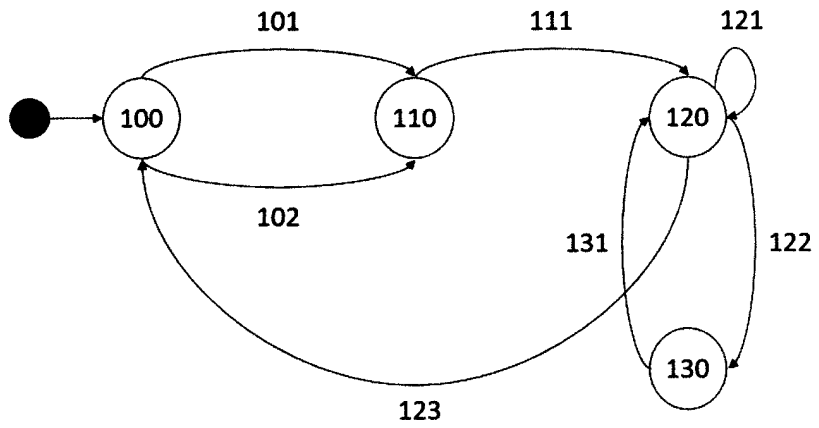


Figure 5



**RAPPORT DE RECHERCHE  
AVEC OPINION SUR LA BREVETABILITE**  
(Conformément aux articles 43 et 43.2 de la loi 17-97 relative à la  
protection de la propriété industrielle telle que modifiée et  
complétée par la loi 23-13)

<b>Renseignements relatifs à la demande</b>	
N° de la demande : 39324	Date de dépôt : 05/09/2016;
Déposant : SMARTER LIFE INNOVATIONS	
Intitulé de l'invention : METHODE DE COORDINATION ENTRE PLUSIEURS APPAREILS SANS PILOTES EQUIPES D'AUTONOMIE DECISIONNELLE	
Le présent document est le rapport de recherche avec opinion sur la brevetabilité établi par l'OMPIC conformément aux articles 43 et 43.2, et notifié au déposant conformément à l'article 43.1 de la loi 17-97 relative à la protection de la propriété industrielle telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.	
Les documents brevets cités dans le rapport de recherche sont téléchargeables à partir du site <a href="http://worldwide.espacenet.com">http://worldwide.espacenet.com</a> , et les documents non brevets sont joints au présent document, s'il y en a lieu.	
Le présent rapport contient des indications relatives aux éléments suivants :	
Partie 1 : Considérations générales	
<input checked="" type="checkbox"/> Cadre 1 : Base du présent rapport	
<input type="checkbox"/> Cadre 2 : Priorité	
<input type="checkbox"/> Cadre 3 : Titre et/ou Abrégé tel qu'ils sont définitivement arrêtés	
Partie 2 : Rapport de recherche	
Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité	
<input type="checkbox"/> Cadre 4 : Remarques de clarté	
<input checked="" type="checkbox"/> Cadre 5 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle	
<input type="checkbox"/> Cadre 6 : Observations à propos de certaines revendications dont aucune recherche significative n'a pu être effectuée	
<input type="checkbox"/> Cadre 7 : Défaut d'unité d'invention	
Examineur: F.Belafkih	Date d'établissement du rapport : 05/12/2016
Téléphone: 212 5 22 58 64 14/00	

<b>Partie 1 : Considérations générales</b>		
<i>Cadre 1 : base du présent rapport</i>		
Les pièces suivantes de la demande servent de base à l'établissement du présent rapport :		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Description</u> 5 Pages</li> <li>• <u>Revendications</u> 8</li> <li>• <u>Planches de dessin</u> 2 Pages</li> </ul>		
<b>Partie 2 : Rapport de recherche</b>		
<b>Classement de l'objet de la demande :</b>		
CIB : G05D1/00, H04N7/18		
CPC : G07C5/008, G08G5/0086, G08G5/0039, G07C5/0866, G08G5/0069		
Bases de données électroniques consultées au cours de la recherche :		
EPOQUE, Orbit		
<b>Catégorie*</b>	<b>Documents cités avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents</b>	<b>N° des revendications visées</b>
A	<b>US 20090219393 A1</b> ; The Boeing Company ; 03 Septembre 2009 Tout le document	1-8
A	<b>EP1835370 A2</b> ; Thales ; 19 Septembre 2007 Tout le document	1-8
A	<b>US9102406 B2</b> ; Disney Enterprises, Inc. ; 11 Août 2015 Tout le document	1-8
<b>*Catégories spéciales de documents cités :</b>		
<p>-« 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</p> <p>-« 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</p> <p>-« A » document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>-« P » documents intercalaires ; Les documents dont la date de publication est située entre la date de dépôt de la demande examinée et la date de priorité revendiquée ou la priorité la plus ancienne s'il y en a plusieurs</p> <p>-« E » Éventuelles demandes de brevet interférentes. Tout document de brevet ayant une date de dépôt ou de priorité antérieure à la date de dépôt de la demande faisant l'objet de la recherche (et non à la date de priorité), mais publié postérieurement à cette date et dont le contenu constituerait un état de la technique pertinent pour la nouveauté</p>		

**Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité***Cadre 5 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle*

Nouveauté (N)	Revendications 1-8 Revendications aucune	Oui Non
Activité inventive (AI)	Revendications 1-8 Revendications aucune	Oui Non
Possibilité d'application Industrielle (PAI)	Revendications 1-8 Revendications aucune	Oui Non

Il est fait référence aux documents suivants. Les numéros d'ordre qui leur sont attribués ci-après seront utilisés dans toute la suite de la procédure

D1 : US 20090219393 A1  
D2 : EP1835370 A2

**1. Nouveauté (N) :**

Aucun des documents ci-dessus ne divulgue l'ensemble des caractéristiques techniques des revendications 1, 3-26, ainsi l'objet desdites revendications est nouveau au sens de l'article 26 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

**2. Activité inventive (AI) :**

L'objet de la revendication 1 (tel qu'interprété à la lumière de la description) implique une activité inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 modifiée et complétée par la loi 23-13.

En effet, le document D1 qui est considéré comme l'état de la technique le plus proche de l'objet de la présente demande divulgue une méthode de surveillance d'une large zone géographique en utilisant plusieurs appareils sans pilotes (D1 : Abrégé). La méthode se caractérise en la division de la zone à surveiller en plusieurs zones à superficies égales (D1 : Paragraphe [0037]) et qu'un plan de vol est exécuté par appareil chargé de chaque zone.

Ainsi, l'objet de la revendication 1 diffère de l'état de la technique le plus proche D1 en ce que :

- a) La zone a surveillée est modélisée par un graphe orienté simple structuré en quadrillage.
- b) Les arêtes du graphe étant des fonctions variables dans le temps indiquant le temps ou l'énergie nécessaire pour parcourir l'arrête par l'appareil.
- c) Dans chaque zone, le plan de vol parcourant l'ensemble de ses nœuds et optimal par minimisation du poids total des arêtes du parcours est calculé.
- d) Des sous graphes représentant des zones équitables sont calculés en utilisant un algorithme de propagation itérative.

- i. L'effet technique lié aux différences a-c est la modélisation du parcours des appareils sans pilotes pour en optimiser la trajectoire.

Le problème objectif lié aux différences a-c peut être considéré comme l'optimisation de la trajectoire des appareils sans pilotes.

La solution proposée ne peut pas être considérée comme impliquant une activité inventive, en effet, la modélisation des trajectoires par des graphes est une pratique courante dans le domaine de l'optimisation des trajectoires, de même pour l'optimisation en se basant sur la trajectoire à moindre coût (Voir par exemple D2 : Paragraphes [0014]-[0017]). Le document D2 anticipe également l'utilisation de variables dans le temps pour estimer le poids (coût) de chaque liaison (D2 : Paragraphe [0010]).

- ii. L'effet technique lié à la différence d) à savoir la division de la zone à surveiller en des sous zones **équitables** en termes d'énergie et de temps nécessaires pour le parcours de ces zones, est d'éviter la collision entre deux appareils tout en ayant une planification globale optimale.

Le problème technique que la présente demande tente de résoudre peut être considéré comme suit : comment coordonner entre plusieurs appareils sans pilotes afin d'éviter la collision et optimiser leurs parcours.

La solution proposée par la présente demande peut être considérée comme impliquant une activité inventive. en effet, quoique le document D1 divulgue le zonage du territoire à surveiller en zones « **égales** », cette égalité se résume uniquement à la superficie des zones contrairement à l'objet de la revendication 1 qui utilise des zones définies de manière à ce qu'il faut exactement à tout appareil le même temps ou la même quantité d'énergie pour couvrir chaque zone avec les conditions connues à un instant t ( la météo, la mission...).

Par conséquent, l'objet de la revendication 1 implique une activité inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

Les revendications dépendantes 2-8 impliquent également, en tant que telles, une activité inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

### **3. Possibilité d'application industrielle (PAI) :**

L'objet de la présente invention est susceptible d'application industrielle au sens de l'article 29 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13, parce qu'il présente une utilité déterminée, probante et crédible .