



(11)

**EP 4 819 106 A1**

(12)

# DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:  
**07.10.2026 Bulletin 2026/41**

(21) Numéro de dépôt: **26168874.1**

(22) Date de dépôt: **30.03.2026**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):

**G08G 5/22** (2025.01) **G08G 5/26** (2025.01)

**G08G 5/53 (2025.01)**

**G08G 5/56 (2025.01)**

**G08G 5/72 (2025.01)**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):

**G08G 5/22; G08G 5/26; G08G 5/53; G08G 5/55:**

**G08G 5/56; G08G 5/57; G08G 5/727**

(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 ME MK MT NL  
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

Etats d'extension désignés:

BA

Etats de validation désignés:

GE KH LA MA MD TN

(30) Priorité: 31.03.2025 FR 2503308

(71) Demandeur: **THALES**  
**92190 Meudon (FR)**

(72) Inventeurs:

- **HONORE, Nicolas**  
**94628 RUNGIS (FR)**
- **JULIEN-SAINT-AMAND, Sander**  
**94628 RUNGIS CEDEX (FR)**
- **FRAGU, Marc**  
**94628 RUNGIS CEDEX (FR)**

(74) Mandataire: **Lavoix**

**2, place d'Estienne d'Orves  
75441 Paris Cedex 09 (FR)**

(54) **PROCÉDÉ DE PISTAGE D'AÉRONEFS, PROGRAMME D'ORDINATEUR ET ENSEMBLE DE SERVEURS ASSOCIÉS**

(57) La présente invention concerne un procédé de pistage d'aéronefs dans un espace aérien, comprenant une étape de:

- acquisition de plots représentatifs d'une position d'un aéronef ;
- association de chaque plot à un sous-espace initial respectif, chaque sous-espace initial comprenant une piste initiale qui est un ensemble de positions instantanées de l'aéronef,
- pour chaque sous-espace initial, fusion de chaque plot associé au sous-espace initial avec une piste initiale du sous-espace initial, fournissant une piste actualisée, et
- redéfinition des sous-espaces initiaux en fonction des pistes actualisées, fournissant des sous-espaces aériens actualisés, les pistes actualisées permettant de caractériser une trajectoire de l'aéronef et les pistes actualisées ainsi que les sous-espaces aériens actualisés permettant une nouvelle itération du procédé de pistage.

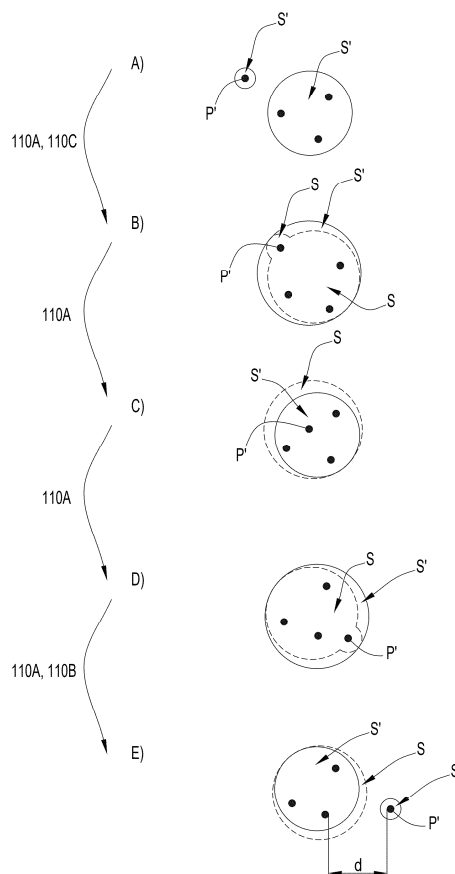


FIG.4

## Description

**[0001]** La présente invention concerne un procédé de pistage d'aéronefs dans un espace aérien. Elle concerne également un programme d'ordinateur et un ensemble de serveurs associés.

**[0002]** L'invention se situe dans le domaine du contrôle de trafic aérien et des systèmes de surveillance des drones.

**[0003]** Ce domaine vise à mettre en place un système de pistage destiné à calculer à partir de données issues de capteurs la meilleure estimation possible de la position, du cap et de la vitesse de chaque aéronef dans une région prédéfinie. Ces données estimées forment des pistes et ce processus de pistage est réalisé par un logiciel.

**[0004]** Pour obtenir ces pistes, il est connu des techniques comprenant la division de la région prédéfinie en sous-espaces géographiques, l'attribution du calcul des pistes sur chaque sous-espace à un module physique distinct et la gestion de l'interopérabilité entre les sous-espaces en utilisant des modules de corrélation de pistes. La fonction des modules de corrélation est de fusionner des pistes identiques déterminées par plusieurs modules physiques dans des zones frontalières, qui sont des zones se recoupant d'un sous-espace à un autre.

**[0005]** D'une part, de telles techniques sont coûteuses en terme de calcul car certaines pistes sont calculées plusieurs fois sur les zones de chevauchement entre plusieurs sous-espace et car un module supplémentaire de corrélation avec les sous-espaces adjacents est utilisé afin d'amalgamer une situation de pistage unique.

**[0006]** D'autre part, ces techniques sont coûteuses en terme de ressources physiques car elles monopolisent une puissance de calcul par sous-espace quel que soit le niveau de trafic.

**[0007]** Il existe ainsi un besoin pour un procédé de pistage d'aéronefs permettant d'optimiser l'utilisation des ressources matérielles et logicielles.

**[0008]** A cet effet, la description a pour objet un procédé de pistage d'aéronefs dans un espace aérien, comprenant:

- une étape d'acquisition de plots, chaque plot étant représentatif d'une position instantanée d'un aéronef ;
- une étape d'association de chaque plot à un sous-espace initial respectif de l'espace aérien, chaque sous-espace initial étant un ensemble de positions de l'espace aérien et comprenant au moins une piste initiale, une piste initiale étant un ensemble de positions instantanées de l'aéronef, une piste appartenant à un sous-espace si sa position instantanée la plus récente appartient au sous-espace ;
- pour chaque sous-espace initial, une étape de fusion de chaque plot associé au sous-espace initial avec une piste initiale appartenant au sous-espace initial, fournissant une piste actualisée ; et

- une étape de redéfinition des sous-espaces initiaux en fonction des pistes actualisées, fournissant des sous-espaces aériens actualisés ;

les pistes actualisées permettant de caractériser une trajectoire de l'aéronef et les pistes actualisées ainsi que les sous-espaces aériens actualisés permettant une nouvelle itération du procédé de pistage.

**[0009]** Grâce ce procédé de pistage, les sous-espaces aériens sont redéfinis dynamiquement en fonction de l'évolution du trafic à chaque itération du procédé de pistage.

**[0010]** En particulier, les sous-espaces aériens sont optimisés pour permettre une parallélisation des calculs entre plusieurs modules sans introduire de redondance dans les calculs.

**[0011]** En outre, puisque les sous-espaces aériens se limitent aux zones comprenant effectivement des pistes, l'espace aérien couvert par le procédé peut être bien supérieur aux zones de contrôle couvertes par les solutions existantes, ce qui répond aux besoins de pistage d'un trafic aérien en croissance.

**[0012]** Suivant d'autres aspects avantageux, le procédé de pistage comprend une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- l'étape de redéfinition des sous-espaces aériens initiaux comprend une mise à jour de chaque sous-espace aérien initial comprenant une piste actualisée de manière à ce que le sous-espace aérien actualisé contienne la piste actualisée.
- l'étape de redéfinition des sous-espaces aériens initiaux comprend une séparation d'un sous-espace aérien initial en deux sous-espaces aériens actualisés distincts, la séparation étant mise en œuvre lorsqu'un critère de séparation est vérifié.
- le critère de séparation est que la plus petite distance entre deux pistes actualisées appartenant à un même sous-espace aérien initial est supérieure à un seuil maximal prédéterminé, chacune des deux pistes actualisées appartenant alors respectivement à l'un ou l'autre des sous-espaces aériens actualisés distincts.
- l'étape de redéfinition des sous-espace aériens initiaux comprend une union de deux sous-espaces aériens initiaux en un seul sous-espace aérien actualisé, l'union étant mise en œuvre lorsque qu'un critère d'union est vérifié.
- le critère d'union est que la plus petite distance entre deux sous-espaces aériens initiaux est inférieure à une marge extérieure prédéterminée.
- chaque sous-espace aérien est le plus petit disque contenant l'ensemble des pistes appartenant audit sous-espace aérien.
- chaque sous-espace aérien est le plus petit disque contenant l'ensemble des pistes appartenant audit sous-espace aérien et une marge intérieure prédé-

terminée autour de chacune desdites pistes.

- chaque sous-espace aérien est le plus petit polygone contenant l'ensemble des pistes appartenant audit sous-espace aérien.
- chaque sous-espace aérien est le plus petit ensemble, appelé graphe, contenant l'ensemble des pistes appartenant audit sous-espace aérien.
- le procédé comporte une étape de répartition de charge, l'étape de répartition de charge comprenant une attribution de chaque étape du procédé à un serveur d'exécution parmi un ensemble de serveurs d'exécution en fonction de la charge de chaque serveur d'exécution.
- l'étape d'association est mise en œuvre en utilisant une base de données de sous-espaces aérien, un plot étant associée au sous-espace initial lorsque la position représentée par le plot appartient à un sous-espace aérien de la base de données de sous-espaces aériens.
- l'étape de fusion est mise en œuvre en utilisant une base de données d'association entre pistes et sous-espaces aérien, une fusion étant mise en œuvre en fonction de la cohérence d'un plot avec une piste appartenant au sous-espace initial associé.

**[0013]** La description concerne également un programme d'ordinateur comportant des instructions logicielles qui, lorsqu'elles sont exécutées par un ordinateur, mettent en œuvre un procédé de pistage tel que défini ci-dessus.

**[0014]** La description concerne également un ensemble de serveurs comprenant :

- un serveur maître, configuré pour mettre en œuvre l'étape de répartition de charge d'un procédé de pistage tel que précédemment décrit, et
- au moins un serveur d'exécution, configuré pour mettre en œuvre au moins une étape du procédé de pistage attribuée par le serveur maître.

**[0015]** L'invention apparaîtra plus clairement à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins dans lesquels :

- la figure 1 est un schéma d'un exemple d'ensemble de serveurs,
- la figure 2 est un logigramme d'un exemple de mise en œuvre d'un procédé de pistage,
- la figure 3 est un schéma de trois types de sous-espaces aériens utilisés dans le procédé de la figure 2, et
- la figure 4 est un schéma représentant différentes étapes de redéfinition des sous-espaces aériens selon le procédé de la figure 2.

**[0016]** Il est considéré un espace aérien dans lequel circulent des aéronefs.

**[0017]** Les aéronefs sont, par exemple, des avions de ligne ou des drones.

**[0018]** Chaque aéronef est équipé d'au moins un capteur fournissant une donnée représentative de la position de l'aéronef, appelée plot P.

**[0019]** A titre d'exemple, le capteur est un capteur GPS (de l'anglais *Global Positionning System*, qui peut se traduire littéralement par système de positionnement global) et la donnée de position est une coordonnée GPS.

**[0020]** En d'autres termes, chaque plot P est représentatif d'une position instantanée de l'aéronef.

**[0021]** A ce titre, chaque plot P peut comporter une ou plusieurs données mesurées relatives à cette position instantanée.

**[0022]** A titre d'illustration, il peut également être envisagé qu'un plot P comporte des informations de distance à plusieurs points de référence, notamment des balises prédéfinies.

**[0023]** Les plots P sont transmis par chaque aéronef à un ensemble de serveurs 1, représenté sur la figure 1, par exemple par radio.

**[0024]** L'ensemble de serveurs 1 a pour fonction d'effectuer un pistage des aéronefs dans l'espace aérien, c'est-à-dire de déterminer une piste associée à chaque aéronef de l'espace aérien, à partir des plots P reçus.

**[0025]** Une piste est un ensemble de positions instantanées d'un aéronef.

**[0026]** Pour ce faire, selon l'exemple décrit, l'ensemble de serveurs 1 fusionne chaque plot P entrant à une piste existante ou à une nouvelle piste.

**[0027]** En d'autres termes, l'ensemble de serveurs 1 est configuré pour exécuter un procédé de pistage qui sera décrit dans la suite.

**[0028]** L'ensemble de serveurs 1 est composé d'un serveur maître 3 et d'au moins un serveur d'exécution 5A, 5B, 5C et/ou 5D.

**[0029]** Chaque serveur 3, 5A, 5B, 5C et 5D comprend avantageusement un processeur, configuré pour exécuter au moins un module fonctionnel parmi un ensemble de modules fonctionnels, et une mémoire, configurée pour mémoriser une base de données parmi un ensemble de bases de données.

**[0030]** Un module fonctionnel est avantageusement un logiciel, ou une brique logicielle, exécutable sur le processeur de l'un des serveurs 3, 5A, 5B, 5C ou 5D.

**[0031]** Chaque module fonctionnel est en outre apte à être enregistré sur un support, non représenté, lisible par ordinateur.

**[0032]** Le support lisible par ordinateur est par exemple, un médium apte à mémoriser des instructions électroniques et à être couplé à un bus d'un système informatique. A titre d'exemple, le support lisible est un disque optique, un disque magnéto-optique, une mémoire ROM, une mémoire RAM, tout type de mémoire non volatile (par exemple EPROM, EEPROM, FLASH, NVRAM), une carte magnétique ou une carte optique. Sur le support lisible est alors mémorisé un programme

d'ordinateur comprenant des instructions logicielles.

**[0033]** Selon l'exemple illustré, l'ensemble de modules fonctionnels comprend avantageusement un module d'association 7, un module de répartition 9, au moins un module de fusion 11A, 11B et/ou 11C, un module de redéfinition 13 et un module de détection 15.

**[0034]** La fonction de chaque module fonctionnel est décrite dans la suite.

**[0035]** Le module d'association 7 est exécuté sur le serveur 5D dans l'exemple de la figure 1.

**[0036]** Le module d'association 7 est propre à acquérir un ensemble de plots P et à associer chaque plot P à un sous-espace comme explicité ultérieurement.

**[0037]** Le module de répartition 9 est exécuté sur le serveur maître 3 et est configuré pour mettre en œuvre une étape de répartition de charge 106. En d'autres termes, le serveur maître 3 est configuré pour répartir l'exécution de chaque module de l'ensemble de modules fonctionnels, hormis le module de répartition, entre les serveurs 3, 5A, 5B, 5C et 5D et lui-même.

**[0038]** L'ensemble de bases de données comprend avantageusement une base de données de sous-espaces 17, une base de données de pistes 19 et une base de données d'association pistes/sous-espaces 21.

**[0039]** En variante non représentée, les sous-espaces, les pistes et les associations pistes/sous-espaces sont mémorisées dans une seule et même base de données.

**[0040]** De même que pour les modules fonctionnels, le module de répartition 9 du serveur maître 3 est configuré pour répartir la mémorisation de chaque base de données de l'ensemble de bases de données entre les serveurs 3, 5A, 5B, 5C et 5D, et plus spécifiquement entre leur mémoire respective.

**[0041]** La répartition permet une adaptation de l'emploi des ressources matérielles et logicielles disponibles à la demande.

**[0042]** En outre, la mémorisation des bases de données sur des serveurs potentiellement différents des serveurs exécutant les modules fonctionnels permet de limiter une potentielle perte de données ainsi que d'offrir une plus grande modularité dans l'architecture.

**[0043]** En variante non représentée, le procédé de pistage est exécuté par un ou plusieurs composant(s) logique(s) programmable(s), tel qu'un FPGA (de l'anglais *Field Programmable Gate Array* souvent traduit par réseau de portes programmables *in situ*), ou encore sous forme d'un ou plusieurs circuit(s) intégré(s) dédié(s), tel qu'un ASIC (de l'anglais *Application Specific Integrated Circuit* qui peut être traduit littéralement par circuit intégré propre à une application).

**[0044]** Le procédé de pistage, mis en œuvre par l'ensemble de serveurs 1, est décrit dans la suite en référence au logigramme de la figure 2.

**[0045]** Le procédé de pistage comprend une étape d'acquisition de plots 102, une étape d'association 104, au moins une étape de fusion 108A, 108B et/ou 108C et une étape de redéfinition 110, ces étapes étant

mis en œuvre en plus de l'étape de répartition de la charge 106 précitée.

**[0046]** Les étapes d'acquisition 102 et d'association 104 sont mises en œuvre par le module d'association 7.

5 **[0047]** Lors de l'étape d'acquisition 102, le module d'association 7 acquiert un ensemble 23 de plots P, c'est-à-dire une variable contenant plusieurs plots P.

**[0048]** Un tel ensemble 23 est parfois désigné par le terme « tampon » (en anglais *buffer*) en référence au fait que cet ensemble est mémorisé dans une zone prédéfinie de la mémoire. Cette appellation est utilisée dans la suite pour clarifier le propos et éviter toute confusion avec d'autres ensembles.

10 **[0049]** Le module d'association 7 acquiert ainsi un tampon 23 de plots P.

**[0050]** Cette constitution du tampon 23 se fait progressivement à réception de chaque plot P jusqu'à ce qu'une condition soit remplie.

**[0051]** Cette condition peut être la réception d'un nombre prédéterminé de plots P, ou bien l'écoulement d'un intervalle de temps prédéfini.

20 **[0052]** Le module d'association 7 dispose alors d'un tampon 23 complet et met en œuvre l'étape d'association 104.

25 **[0053]** Lors de cette étape, à partir du tampon 23 de plots P et d'une lecture de la base de données de sous-espaces 17, le module d'association 7 associe chaque plot P à un sous-espace initial S de la base de données de sous-espaces 17.

30 **[0054]** Un sous-espace S est un ensemble de positions de l'espace aérien. Chaque sous-espace initial S comprend au moins une piste initiale, où une piste est un ensemble de positions instantanées d'un aéronef.

35 **[0055]** Par définition, une piste appartient à un sous-espace si sa position instantanée la plus récente appartient au sous-espace.

**[0056]** Plus précisément, une piste appartient à un sous-espace à un instant donné si la position instantanée la plus récente (c'est-à-dire la position la plus proche de l'instant donné) parmi les positions instantanées de la piste considéré appartient au sous-espace.

**[0057]** Cette position instantanée la plus récente est notée P' dans la suite.

40 **[0058]** Pour chaque plot P, si la position représentée par le plot P appartient à un sous-espace initial S de la base de données de sous-espaces 17, alors le plot P est associé audit sous-espace initial S. Sinon, le plot P est associé à un sous-espace non existant dans la base de données de sous-espaces 17, dit sous-espace non confirmé.

45 **[0059]** L'association de chaque plot P à un sous-espace initial S est mémorisée dans un tampon d'association plots/sous-espace 25 qui est transmis au module de répartition 9.

50 **[0060]** A réception du tampon 25, le module de répartition 9 met en œuvre une étape de répartition de charge 106.

**[0061]** L'étape de répartition de charge 106 comprend

une attribution de chaque étape du procédé à l'un des serveurs d'exécution 5A, 5B, 5C et 5D.

**[0062]** En particulier, l'étape de répartition de charge 106 comprend une répartition de chaque étape de fusion 108A, 108B et 108C à l'un des serveurs d'exécution 5A, 5B, 5C et 5D, en fonction des ressources nécessaires pour chaque étape de fusion 108A, 108B et 108C et des ressources disponibles sur chaque serveur d'exécution 5A, 5B, 5C et 5D.

**[0063]** Comme expliqué précédemment, il est entendu ici par « répartition des étapes », une répartition de la mise en œuvre des étapes, c'est-à-dire que l'attribution d'une étape à un serveur d'exécution 5A, 5B, 5C ou 5D entraîne la mise en œuvre de cette étape par le serveur d'exécution 5A, 5B, 5C ou 5D.

**[0064]** Chaque étape de fusion 108A, 108B et 108C est mise en œuvre par un module de fusion 11A, 11B et 11C respectif.

**[0065]** Dans l'exemple de la figure 1, les étapes de fusion 108A et 108B sont attribuées au serveur d'exécution 5A et l'étape de fusion 108C au serveur d'exécution 5B.

**[0066]** En d'autres termes, les modules de fusion 11A et 11B sont exécutés sur le serveur d'exécution 5A et le module de fusion 11C sur le serveur d'exécution 5B.

**[0067]** Le procédé comprend autant d'étapes de fusion 108A, 108B et 108C que de sous-espace(s) initial(ux) S dans le tampon d'association plots/sous-espace 25.

**[0068]** En d'autres termes, chaque étape de fusion 108A, 108B et 108C correspond à un sous-espace initial S du tampon d'association plots/sous-espace 25.

**[0069]** Pour chaque sous-espace initial S du tampon 25, l'étape de fusion 108A, 108B ou 108C associée comprend une fusion de chaque plot P associé au sous-espace initial S avec une piste initiale appartenant au sous-espace initial S, fournissant une piste actualisée.

**[0070]** La fusion d'un plot P avec une piste initiale consiste à ajouter à la piste initiale la position associée au plot P. Ainsi, chaque piste actualisée comprend une position de plus que la piste initiale dont elle est issue.

**[0071]** Pour réaliser cette opération, le module de fusion 11A, 11B ou 11C lit et écrit dans la base de données de pistes 19 et la base de données d'association pistes/-sous-espaces 21.

**[0072]** La fusion est réalisée au moyen d'un algorithme de fusion connu.

**[0073]** En particulier, si un plot P donné n'est cohérent avec aucune piste appartenant au sous-espace initial S associé, ou bien si le sous-espace initial S associé est un sous-espace non-confirmé, alors l'algorithme de fusion détermine si le plot P correspond à une nouvelle piste ou à une erreur. Si le plot P correspond à une nouvelle piste, la nouvelle piste, comprenant une unique position correspondant au plot P, est ajoutée dans la base de données de pistes 19. Pour une piste donnée, la position P' correspond au dernier plot P fusionné avec ladite piste.

**[0074]** Les pistes actualisées, mémorisées dans la

base de données de pistes 19 au terme des étapes de fusion 108A, 108B et 108C, permettent de suivre en temps réel une position, un cap et une vitesse de chaque aéronef circulant dans l'espace aérien.

**[0075]** L'étape de redéfinition 110 est mise en œuvre par les modules de fusion 11A, 11B et 11C, le module de détection 15 et le module de redéfinition 13.

**[0076]** L'étape de redéfinition 110 comprend une redéfinition des sous-espaces initiaux S en fonction des pistes actualisées, conduisant à obtenir des sous-espaces aériens actualisés S'.

**[0077]** Plusieurs formes sont possibles pour les sous-espaces actualisés S', comme illustré sur la figure 3.

**[0078]** Sur chaque insert A, B et C, correspondant chacun à un exemple différent, les positions P' sont représentées par des points et les frontières des sous-espaces actualisés S' sont représentées par des traits.

**[0079]** Dans l'exemple représenté sur l'insert A de la figure 3, chaque sous-espace aérien S' est le plus petit disque contenant l'ensemble des pistes appartenant audit sous-espace aérien S' et une marge intérieure prédéterminée M autour de chacune desdites pistes. En d'autres termes, chaque sous-espace aérien S' est le plus petit disque contenant la position la plus récente P' de chacune des pistes appartenant audit sous-espace aérien S' et une marge intérieure prédéterminée M autour de chacune desdites positions P'.

**[0080]** En variante non représentée, chaque sous-espace aérien est le plus petit disque contenant la position la plus récente P' de chacune des pistes appartenant audit sous-espace aérien S', sans la marge intérieure M.

**[0081]** Dans l'exemple représenté sur l'insert B de la figure 3, chaque sous-espace aérien S' est le plus petit polygone convexe contenant l'ensemble des pistes appartenant audit sous-espace aérien S'. En d'autres termes, chaque sous-espace aérien S' est le plus petit polygone convexe contenant la position la plus récente P' de chacune des pistes appartenant audit sous-espace aérien S'.

**[0082]** Dans l'exemple représenté sur l'insert C de la figure 3, chaque sous-espace aérien S' est le plus petit ensemble, appelé graphe, contenant l'ensemble des pistes appartenant audit sous-espace aérien. En d'autres termes, chaque sous-espace aérien S' est le plus petit ensemble contenant la position la plus récente P' de chacune des pistes appartenant audit sous-espace aérien S'.

**[0083]** Les expériences de la Demanderesse ont montré que la forme permettant d'obtenir le meilleur compromis en termes de complexité de calcul et de représentativité par rapport au pistage est la forme de polygone convexe.

**[0084]** Quelle que soit la forme retenue, la redéfinition 110 de chaque sous-espace initial S en fonction des pistes actualisées comprend avantageusement une opération de mise à jour O1 des sous-espaces aériens initiaux S, une opération de séparation O2 des sous-espaces aériens initiaux S et une opération d'union O3

des sous-espaces aériens initiaux S.

**[0085]** La figure 4 illustre l'évolution au cours du temps de sous-espaces aériens S selon le premier exemple de forme de sous-espaces aériens S.

**[0086]** Sur la figure 4, les traits en pointillés représentent des frontières du ou des sous-espace(s) initiaux S, tandis que les traits pleins représentent des frontières du ou des sous-espace(s) actualisés S'. Chaque insert correspond par exemple à une itération du procédé. Par souci de clarté, une seule position P' est variable d'un insert à un autre, les autres positions étant fixes.

**[0087]** L'opération de mise à jour O1 consiste en une mise à jour de chaque sous-espace aérien initial S comprenant une piste actualisée de manière à ce que le sous-espace aérien actualisé S' contienne la piste actualisée.

**[0088]** Lors du passage de l'instant représenté à l'insert B à l'instant représenté à l'insert C de la figure 2, la position P' variable s'est rapprochée des autres positions.

**[0089]** Ainsi, sur l'insert C, le plus petit disque S' contenant la position la plus récente de chacune des pistes actualisées est plus petit que le plus petit disque S contenant la position la plus récente de chacune des pistes initiales.

**[0090]** A l'inverse, lors du passage de l'instant représenté à l'insert C à l'instant représenté à l'insert D de la figure 2, la position P' variable s'est éloignée des autres positions, de sorte le plus petit disque S' contenant la position la plus récente de chacune des pistes actualisées est plus grand que le plus petit disque S contenant la position la plus récente de chacune des pistes initiales.

**[0091]** On comprend alors que l'opération de mise à jour O1 permet aux sous-espaces actualisés S' de toujours contenir la dernière position P' de chaque piste qu'il contient, ainsi que la marge intérieure M dans l'exemple illustré.

**[0092]** Dans l'exemple d'architecture représenté sur la figure 1, les sous-espaces actualisés S' sont transmis par les modules de fusion 11A, 11B et 11C au module de redéfinition 13 via un tampon de redéfinition 27.

**[0093]** A réception du tampon de redéfinition 27, le module de redéfinition 13 modifie la base de données de sous-espaces 17 en conséquence.

**[0094]** En variante non représentée, les modules de fusion 11A, 11B et 11C modifient directement la base de données de sous-espaces 17.

**[0095]** En variante non représentée, le module de redéfinition 13 détermine lui-même les opérations de mises à jour O1 à effectuer à partir de la base de données de pistes 19 et de la base de données d'association pistes/sous-espaces 21 actualisées par les modules de fusion 11A, 11B et 11C.

**[0096]** L'opération de séparation O2 consiste en une séparation d'un sous-espace aérien initial S en deux sous-espaces aériens actualisés S' distincts.

**[0097]** Cette séparation a lieu lorsqu'un critère de séparation est vérifié.

**[0098]** Selon un exemple particulier de critère de séparation, la séparation est mise en œuvre lorsque la plus petite distance d entre deux pistes actualisées appartenant à un même sous-espace aérien initial S est supérieure à un seuil maximal prédéterminé, chacune des deux pistes actualisées appartenant alors respectivement à l'un ou l'autre des sous-espaces aériens actualisés S' distincts.

**[0099]** La plus petite distance d entre deux pistes est définie comme la distance séparant la dernière position P' de chacune des deux pistes respectivement.

**[0100]** L'opération de séparation O2 a lieu entre les instants correspondant aux inserts D et E de la figure 4. La distance d entre la position P' et l'autre position la plus proche de P' appartenant au sous-espace initial S étant supérieure au seuil, le sous-espace initial S est séparé en deux sous-espaces actualisés S'.

**[0101]** On comprend alors que l'opération de séparation O2 permet de réduire le nombre de pistes dans chaque sous-espace actualisé S'.

**[0102]** La réduction du nombre de pistes par sous-espace actualisé S' permet une meilleure répartition de la charge entre les différents serveurs d'exécution 5A, 5B, 5C et 5D.

**[0103]** En outre, le critère de séparation portant sur la distance d permet de conserver dans un même sous-espace actualisé S' des pistes proches, ce qui permet de traiter la fusion de ces pistes ensemble et limiter les effets de frontières existants dans les solutions actuelles.

**[0104]** Dans l'exemple d'architecture représenté sur la figure 1, les opérations de séparations O2 sont détectées par les modules de fusion 11A, 11B et 11C puis transmis au module de redéfinition 13 via le tampon de redéfinition 27.

**[0105]** A réception du tampon de redéfinition 27, le module de redéfinition 13 modifie la base de données de sous-espaces 17 en conséquence.

**[0106]** En variante non représentée, les modules de fusion 11A, 11B et 11C modifient directement la base de données de sous-espaces 17.

**[0107]** En variante non représentée, le module de redéfinition 13 détermine lui-même l'opération de sélection O2 à effectuer à partir de la base de données de pistes 19 et de la base de données d'association pistes/sous-espaces 21 actualisées par les modules de fusion 11A, 11B et 11C.

**[0108]** L'opération d'union O3 consiste en une fusion de deux sous-espaces aériens initiaux S en un seul sous-espace aérien actualisé S', la fusion étant mise en œuvre lorsqu'une condition d'union est vérifiée.

**[0109]** Un exemple de condition de fusion est que la plus petite distance entre deux sous-espaces aériens initiaux est inférieure à une marge extérieure prédéterminée.

**[0110]** En variante, lorsque la définition des sous-espaces S inclut une marge intérieure M, le critère d'union est que les frontières de deux sous-espaces initiaux S se recoupent. Cela revient à prendre une marge extérieure

égale à 0.

**[0111]** L'opération d'union O3 selon cette variante est représentée sur l'insert B de la figure 4. Les deux sous-espaces initiaux S se recoupant, ceux-ci sont réunis de façon à définir un unique sous-espace aérien S', qui est, dans l'exemple, le plus petit disque contenant la position la plus récente P' de chacune des pistes des deux sous-espaces initiaux S.

**[0112]** On comprend alors que l'opération d'union O3 permet de traiter ensemble des pistes qui sont proches l'une de l'autre, le sens de « proche » étant déterminé par la marge extérieure prédéterminée ou par la marge intérieure M lors de la définition des sous-espaces S.

**[0113]** A titre d'exemple, la marge extérieure prédéterminée ou la marge intérieure M est égale à 4 miles nautiques.

**[0114]** Ainsi, l'opération d'union O3 permet de limiter les effets de frontières existants dans les solutions actuelles.

**[0115]** Dans l'exemple d'architecture représenté sur la figure 1, le module de détection 15 est dédié à la détection d'union de sous-espaces S. La modification de la base de données de sous-espaces 17 est ensuite effectuée par le module de redéfinition 13 en conséquence. En variante non représentée, le module de détection 15 modifie directement la base de données de sous-espaces 17.

**[0116]** En variante non représentée, le module de redéfinition 13 détermine lui-même les opérations d'union O3 à réaliser.

**[0117]** Selon une autre variante non représentée, le module de détection 15 est en outre configuré pour détecter les opérations de séparation O2.

**[0118]** Au terme de l'étape de redéfinition 110, le procédé fournit un ensemble de sous-espaces aériens actualisés S', qui permet une nouvelle itération du procédé avec de nouveaux plots P, en optimisant au mieux les ressources matérielles et logicielles de l'ensemble de serveurs 1.

**[0119]** Pour assurer un bon fonctionnement du procédé, il est avantageux qu'au moins un serveur d'exploitation 5A, 5B, 5C ou 5D soit apte à mettre en œuvre chacune étape de fusion 108A, 108B et 108C.

**[0120]** En d'autres termes, chaque sous-espaces S doit contenir un nombre suffisamment faible de pistes, c'est-à-dire moins qu'une limite haute, pour pouvoir être traité par même module de fusion 11A, 11B ou 11C. La limite haute est déterminée par la capacité de calcul des serveurs.

**[0121]** Des simulations ont montré que, en prenant des sous-espaces S en forme de graphe, le nombre maximal atteint de pistes dans un sous-espace S reste 3 fois inférieur à la limite haute, lorsque le trafic aérien est multiplié par 10 par rapport au trafic aérien actuel.

**[0122]** En variante non représentée, un module de surveillance est dédié au contrôle du nombre de pistes par sous-espace S. Si une opération d'union O3 fait passer le nombre de pistes dans un sous-espace S au-dessus de la limite haute, alors l'opération de fusion

108C n'est pas réalisée.

**[0123]** De préférence, Une opération d'union O3 n'est mise en œuvre que si le nombre de pistes dans l'ensemble résultant est inférieur à la limite. De cette manière les opérations de fusions peuvent continuer de mettre à jour les pistes de leurs sous-espaces respectifs, seule la zone de chevauchement des deux sous-espaces est dégradée. Cela est préférable à avoir un sous-espace trop gros et devoir abandonner la fusion de toutes les pistes de ce sous-espace.

**[0124]** Il peut être remarqué ici que le procédé de pistage est aussi utilisable dans un contexte non-coopératif, c'est-à-dire lorsque l'aéronef n'est pas doté de transpondeur ou que le transpondeur n'est pas actif. Un tel type de cible non-coopérative est détecté par des radars primaires par exemple en émettant des ondes et détectant leur rebond sur la cible.

**[0125]** Toute caractéristique décrite ci-dessus pour un exemple ou une variante, peut être mise en œuvre également pour les autres exemples et variantes décrits ci-dessus, pour autant que techniquement possible.

## Revendications

1. Procédé de pistage d'aéronefs dans un espace aérien, comprenant:

- une étape d'acquisition (102) de plots (P), chaque plot (P) étant représentatif d'une position instantanée d'un aéronef ;
- une étape d'association (104) de chaque plot (P) à un sous-espace aérien initial (S) respectif de l'espace aérien, chaque sous-espace aérien initial (S) étant un ensemble de positions de l'espace aérien et comprenant au moins une piste initiale, une piste initiale étant un ensemble de positions instantanées de l'aéronef, une piste appartenant à un sous-espace aérien si sa position instantanée la plus récente appartient au sous-espace aérien ;
- pour chaque sous-espace aérien initial (S), une étape de fusion (108A, 108B, 108C) de chaque plot (P) associé au sous-espace aérien initial (S) avec une piste initiale appartenant au sous-espace aérien initial (S), fournissant une piste actualisée ; et
- une étape de redéfinition (110) des sous-espaces aériens initiaux (S) en fonction des pistes actualisées, fournissant des sous-espaces aériens actualisés (S') ;

les pistes actualisées permettant de caractériser une trajectoire de l'aéronef et les pistes actualisées ainsi que les sous-espaces aériens actualisés (S') permettant une nouvelle itération du procédé de pistage.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'étape de redéfinition (110) des sous-espaces aériens initiaux (S) comprend une mise à jour de chaque sous-espace aérien initial (S) comprenant une piste actualisée de manière à ce que le sous-espace aérien actualisé (S') contienne la piste actualisée. 5
  3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel l'étape de redéfinition (110) des sous-espaces aériens initiaux (S) comprend une séparation d'un sous-espace aérien initial (S) en deux sous-espaces aériens actualisés (S') distincts, la séparation étant mise en œuvre lorsqu'un critère de séparation est vérifié. 10
  4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel le critère de séparation est que la plus petite distance (d) entre deux pistes actualisées appartenant à un même sous-espace aérien initial (S) est supérieure à un seuil maximal prédéterminé, chacune des deux pistes actualisées appartenant alors respectivement à l'un ou l'autre des sous-espaces aériens actualisés (S') distincts. 20
  5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel l'étape de redéfinition (110) des sous-espaces aériens initiaux (S) comprend une union de deux sous-espaces aériens initiaux (S) en un seul sous-espace aérien actualisé (S'), l'union étant mise en œuvre lorsque qu'un critère d'union est vérifié. 25 30
  6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel le critère d'union est que la plus petite distance entre deux sous-espaces aériens initiaux est inférieure à une marge extérieure prédéterminée. 35
  7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel chaque sous-espace aérien (S, S') est le plus petit disque contenant l'ensemble des pistes appartenant audit sous-espace aérien (S, S'). 40
  8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel chaque sous-espace aérien (S, S') est le plus petit disque contenant l'ensemble des pistes appartenant audit sous-espace aérien (S, S') et une marge intérieure prédéterminée (M) autour de chacune desdites pistes. 45
  9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel chaque sous-espace aérien (S, S') est le plus petit polygone contenant l'ensemble des pistes appartenant audit sous-espace aérien. 50
  10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel chaque sous-espace aérien (S, S') est le plus petit ensemble, appelé graphe, contenant l'ensemble des pistes appartenant audit sous-es- 55
- pace aérien (S, S').
11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, comprenant une étape de répartition de charge (106), l'étape de répartition de charge (106) comprenant une attribution de chaque étape du procédé à un serveur d'exécution parmi un ensemble de serveurs d'exécution (5A, 5B, 5C, 5D) en fonction de la charge de chaque serveur d'exécution.
  12. Programme d'ordinateur comportant des instructions logicielles qui, lorsqu'elles sont exécutées par un ordinateur, mettent en œuvre un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11.
  13. Ensemble de serveurs (1), comprenant :
    - un serveur maître (3), configuré pour mettre en œuvre l'étape de répartition de charge (106) d'un procédé de pistage selon la revendication 11, et
    - au moins un serveur d'exécution (5A, 5B, 5C, 5D), configuré pour mettre en œuvre au moins une étape du procédé de pistage attribuée par le serveur maître (3).

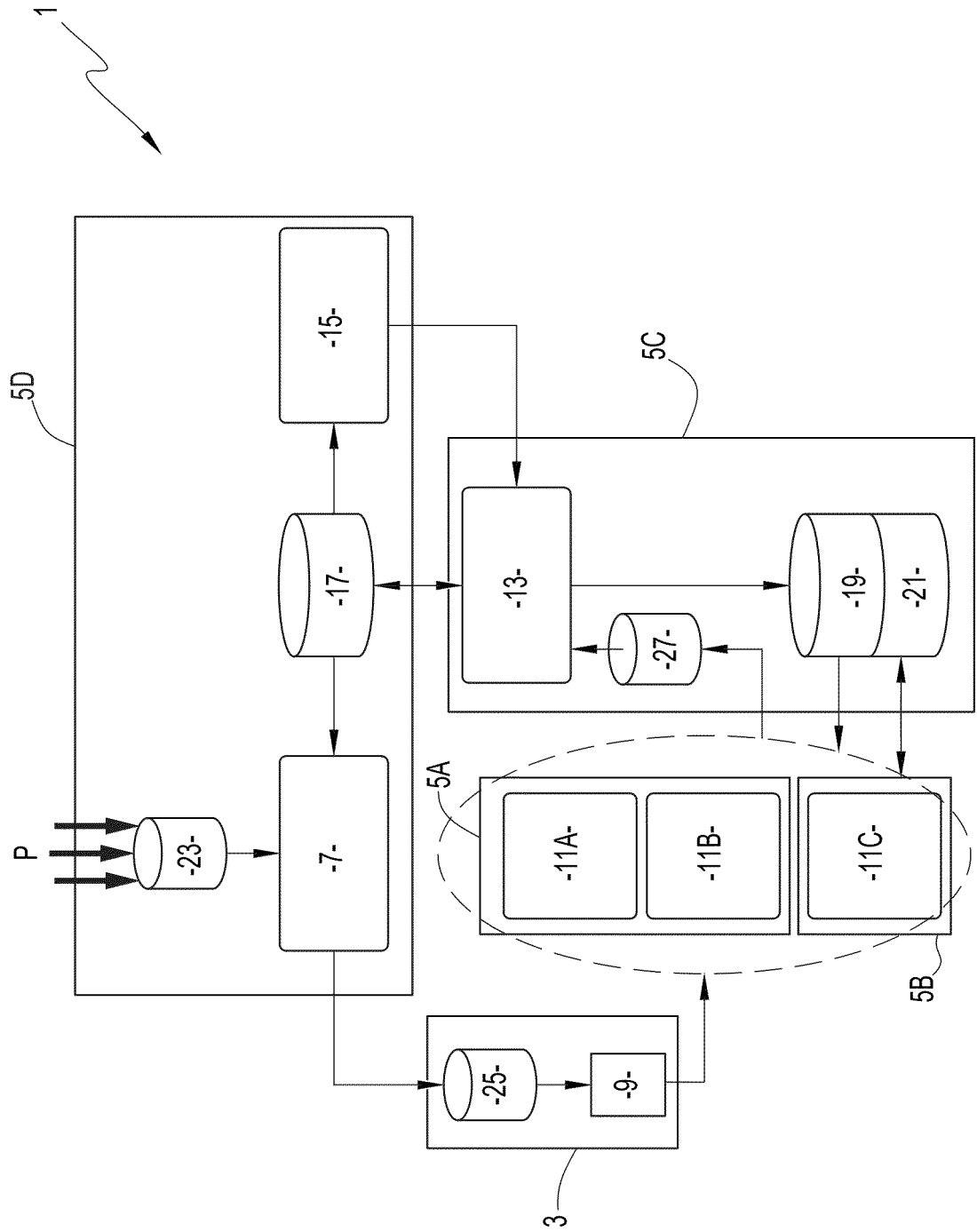


FIG.1

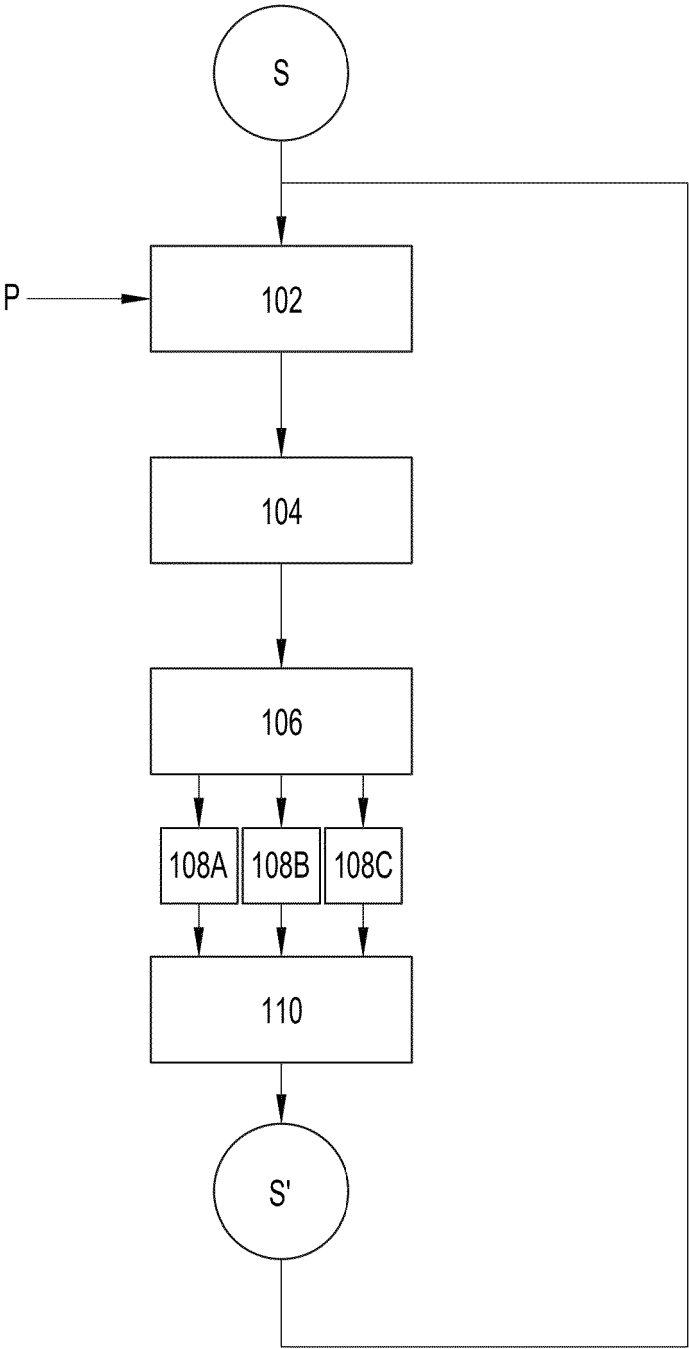


FIG.2

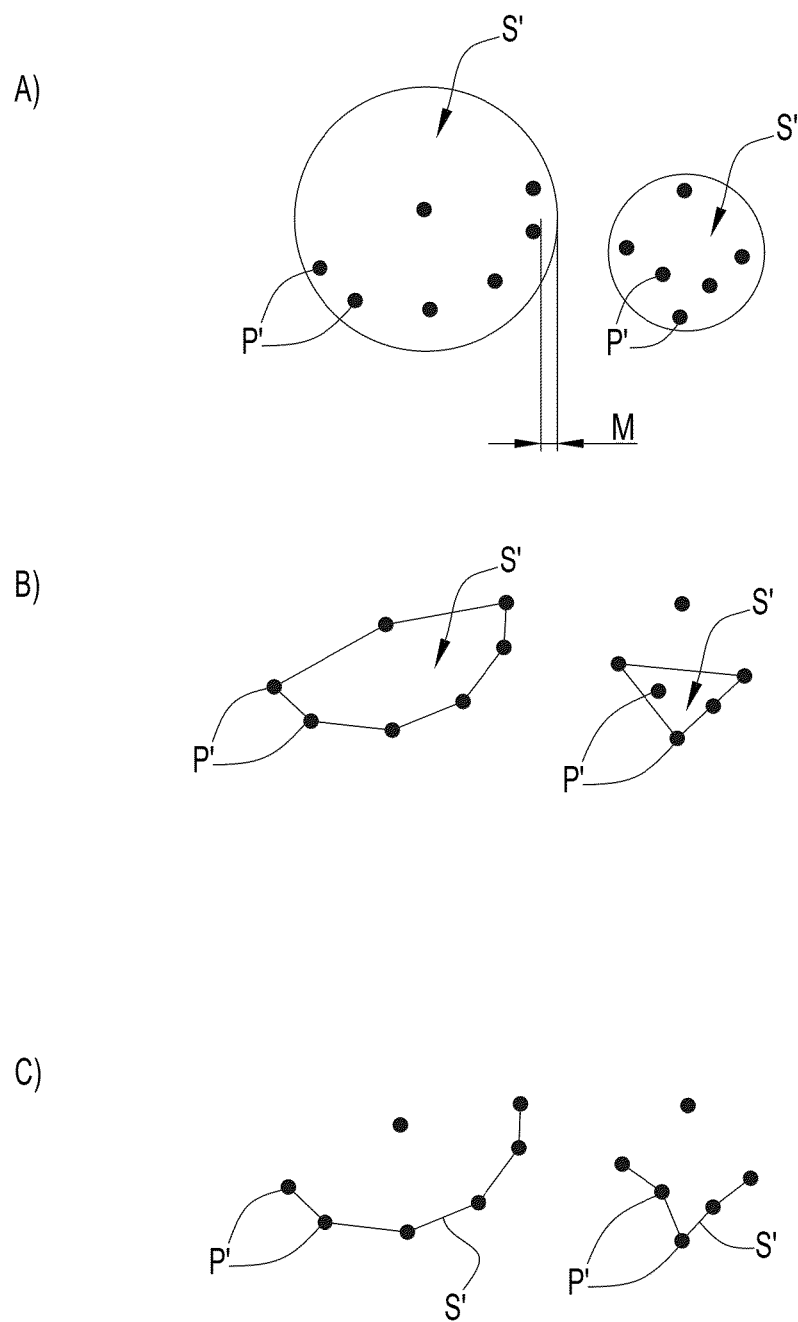


FIG.3

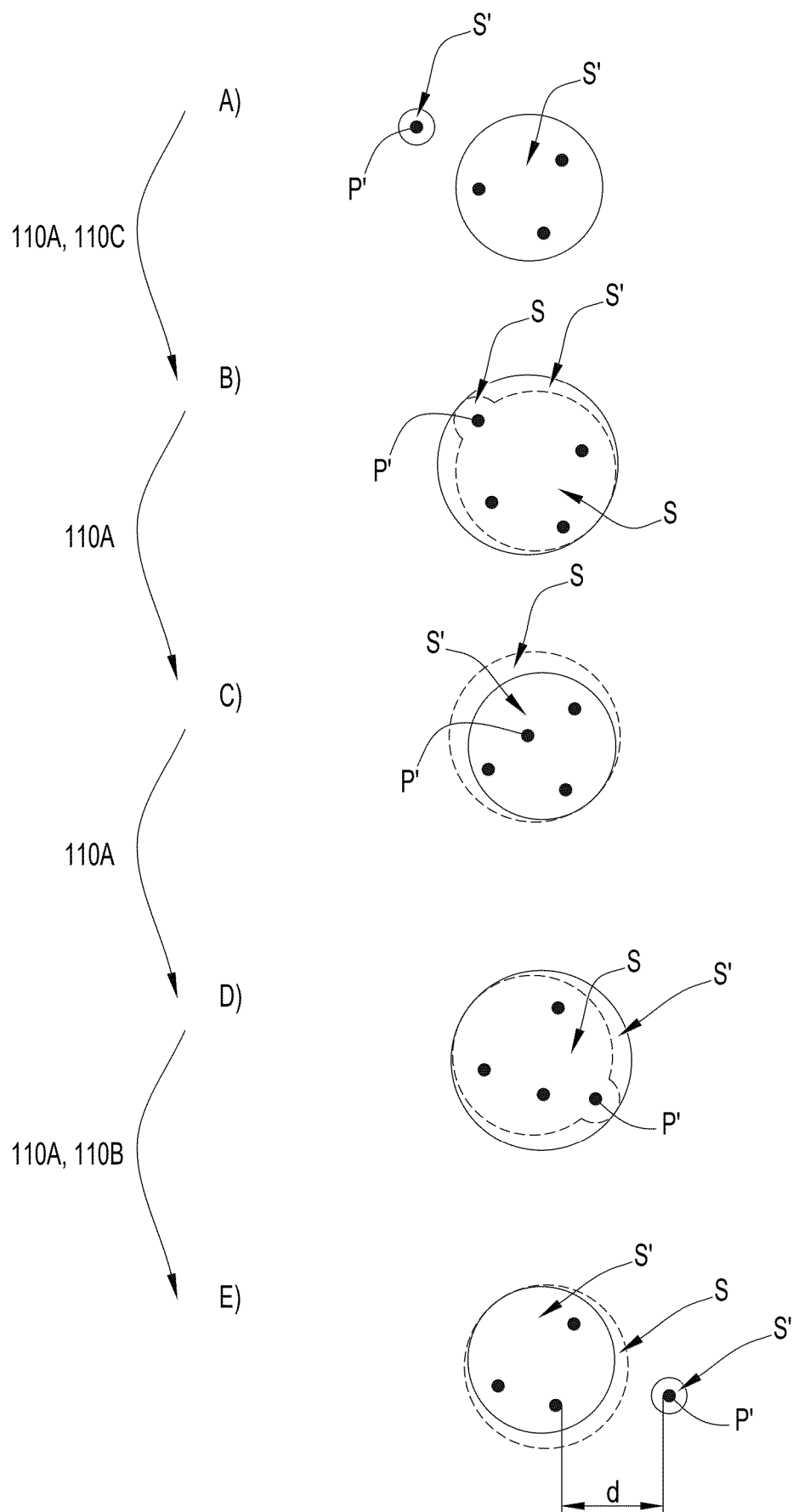


FIG. 4



## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 26 16 8874

## DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

| Catégorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Revendication concernée           | CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p>EP 2 202 534 A1 (THALES SA [FR])<br/> 30 juin 2010 (2010-06-30)</p> <p>* alinéa [0008] *</p> <p>* alinéa [0010] *</p> <p>* alinéa [0027] *</p> <p>* alinéa [0031] *</p> <p>* alinéa [0036] *</p> <p>* alinéa [0066] *</p> <p>* alinéa [0068] *</p> <p>* alinéa [0070] - alinéa [0074] *</p> <p>* alinéa [0077] *</p> <p>* revendication 1 *</p> <p>* alinéa [0079] - alinéa [0083] *</p> <p>* figures 3a, 5a, 5b *</p> <p>-----</p> | 1-13                              | <p>INV.</p> <p>G08G5/22</p> <p>G08G5/26</p> <p>G08G5/53</p> <p>G08G5/55</p> <p>G08G5/56</p> <p>G08G5/57</p> <p>G08G5/72</p> |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                   | DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)                                                                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                   | <p>G08G</p> <p>G01S</p>                                                                                                     |
| Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                   |                                                                                                                             |
| Lieu de la recherche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Date d'achèvement de la recherche | Examineur                                                                                                                   |
| La Haye                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 11 mai 2026                       | Renaudie, Cécile                                                                                                            |
| <p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul</p> <p>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie</p> <p>A : arrière-plan technologique</p> <p>O : divulgation non-écrite</p> <p>P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention</p> <p>E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date</p> <p>D : cité dans la demande</p> <p>L : cité pour d'autres raisons</p> <p>&amp; : membre de la même famille, document correspondant</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                   |                                                                                                                             |

EPO FORM 1503 03.82 (P24C02)

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

EP 26 16 8874

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.

11-05-2026

| Document brevet cité<br>au rapport de recherche | Date de<br>publication | Membre(s) de la<br>famille de brevet(s) | Date de<br>publication |
|-------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| <b>EP 2202534 A1</b>                            | <b>30-06-2010</b>      | <b>CN 101793961 A</b>                   | <b>04-08-2010</b>      |
|                                                 |                        | <b>EP 2202534 A1</b>                    | <b>30-06-2010</b>      |
|                                                 |                        | <b>ES 2536525 T3</b>                    | <b>26-05-2015</b>      |
|                                                 |                        | <b>FR 2939904 A1</b>                    | <b>18-06-2010</b>      |
|                                                 |                        | <b>US 2010156698 A1</b>                 | <b>24-06-2010</b>      |
| -----                                           |                        |                                         |                        |

EPO FORM P0460

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