

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 23.07.18.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 24.01.20 Bulletin 20/04.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : SAFRAN Société anonyme — FR.

72 Inventeur(s) : BARRAU AXEL.

73 Titulaire(s) : SAFRAN Société anonyme.

74 Mandataire(s) : REGIMBEAU.

54 PROCÉDE ET DISPOSITIF D'AIDE A LA NAVIGATION D'UNE FLOTTE DE VEHICULES A L'AIDE D'UN FILTRE DE KALMAN INVARIANT.

57 L'invention concerne un procédé d'aide à la navigation d'une flotte de véhicules comprenant un véhicule principal (1) et un véhicule secondaire (2) mobile par rapport au véhicule principal (1), l comprenant des étapes de :

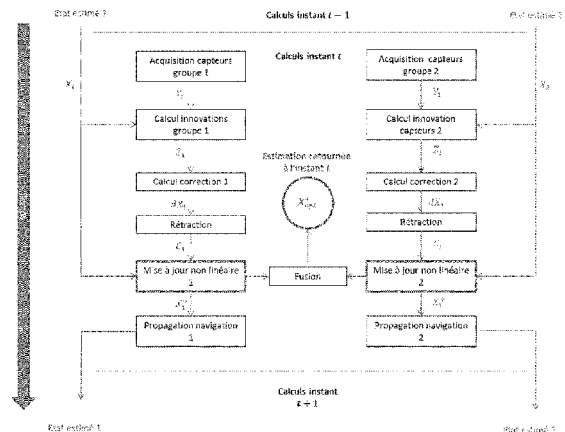
- réception de données ( $Y_{>1}$ ,  $Y_{>2}$ ) cinématiques relatives entre le véhicule principal (1) et le véhicule secondaire (2), acquises par au moins un capteur (2, 12),

- estimation (100, 200) d'un état de navigation de la flotte de véhicules par un filtre de Kalman invariant utilisant les données reçues ( $Y_{>1}$ ,  $Y_{>2}$ ) comme observations, l'état de navigation comprenant

- des premières variables représentatives d'une première transformation rigide liant un repère attaché au véhicule principal (1) à un repère de référence et

- des deuxième variables représentatives d'une deuxième transformation rigide liant un repère attaché au véhicule principal (1) à un repère attaché au véhicule secondaire (2),

le filtre de Kalman invariant utilisant comme loi de composition interne une loi comprenant une composition terme à terme de la première transformation rigide et de la deuxième transformation rigide.



## DOMAINE DE L'INVENTION

La présente invention concerne un procédé d'aide à la navigation d'une flotte de véhicules, et un dispositif adapté pour mettre en œuvre un tel procédé.

## 5 ETAT DE LA TECHNIQUE

Le problème de l'estimation de l'état d'un système physique se pose en général de la façon suivante. L'état du système à un instant  $n$  est représenté par un vecteur  $X_n$ , et une observation disponible à l'instant  $n$  est représentée par un autre vecteur  $Y_n$ . L'évolution du système s'écrit :

$$10 \quad X_{n+1} = f(X_n)$$

où  $f$  est une fonction connue (généralement appelée fonction de propagation). Les observations  $Y_n$  sont reliées à l'état du système par une fonction d'observation  $h$  connue :

$$Y_n = h(X_n)$$

15 Construire une bonne estimation  $\hat{X}_n$  de l'état  $X_n$  à partir de la séquence  $(Y_n)_{n \geq 0}$  est en général un problème difficile, pouvant néanmoins être simplifié dans certains cas.

On appelle « systèmes linéaires » le cas particulier des systèmes de la forme :

$$X_{n+1} = FX_n + w_n$$

$$Y_n = HX_n + V_n$$

20 où  $F$  est une matrice de propagation,  $H$  est une matrice d'observation,  $w_n$  et  $V_n$  sont des bruits venant perturber les prédictions et les mesures.

Dans ce cas linéaire, une méthode connue consiste à construire un estimateur désigné sous le nom de filtre de Kalman. Ce filtre de Kalman met en œuvre les calculs suivants :

$$\hat{X}_{n+1|n} = F\hat{X}_{n|n}$$

$$\hat{X}_{n+1|n+1} = \hat{X}_{n+1|n} + K_{n+1}(Y_{n+1} - H\hat{X}_{n+1|n})$$

25 où les indices  $n+1|n$  et  $n+1|n+1$  désignent respectivement l'estimation calculée à l'instant  $n+1$  sans tenir compte de l'observation  $Y_{n+1}$  et à l'instant  $n+1$  en tenant compte de l'observation  $Y_{n+1}$ . La matrice  $K_n$  est appelée « matrice de gains », elle peut être calculée à l'aide d'une équation de Riccati. L'erreur d'estimation est alors définie comme :

$$e_{n|n} = X_n - \hat{X}_{n|n} \quad (\text{après la prise en compte de l'observation } Y_n)$$

30  $e_{n+1|n} = X_{n+1} - \hat{X}_{n+1|n}$  (avant la prise en compte de l'observation  $Y_{n+1}$ )

On peut facilement vérifier que cette erreur suit l'évolution suivante :

$$e_{n+1|n} = Fe_{n|n} \quad (\text{avant la prise en compte de l'observation } Y_{n+1})$$

$$e_{n+1|n+1} = (I - K_{n+1}H)e_{n+1|n} \quad (\text{après la prise en compte de l'observation } Y_{n+1})$$

où  $I$  désigne la matrice identité.

Les équations ci-dessus ne dépendent pas de  $X_n$ , on peut donc construire un estimateur fonctionnant pour toute trajectoire réelle du système, ce qui n'est pas le cas pour un système non-linéaire quelconque.

Dans le cas d'un système non linéaire, un filtre de Kalman ordinaire ne peut être mis en œuvre. Il a ainsi été proposé une variante du filtre de Kalman appelée filtre de Kalman « étendu », lequel est adapté à un système non linéaire. Toutefois, lorsqu'un filtre de Kalman étendu est utilisé, les simplifications constatées dans le cas linéaire ne se produisent plus, si bien qu'on obtient une équation d'erreur faisant intervenir  $X_n$  et  $\hat{X}_n$ . Ce problème est à l'origine de la plupart des cas de divergence que l'on rencontre lorsque l'on utilise un filtre de Kalman étendu.

Néanmoins, un deuxième cas particulier rendant le problème d'estimation plus facile est celui des systèmes d'observation « groupe-affines », c'est-à-dire les systèmes pour lesquels on dispose d'une loi de groupe (c'est-à-dire une loi de composition interne que l'on notera dans la suite par une étoile \*) définie sur l'espace de l'état considéré et telle que les deux propriétés suivantes soient vérifiées :

- a. La fonction de propagation  $f$  vérifie pour tout couple  $a, b$  d'éléments de l'espace d'état la relation :

$$f(a * b) = f(a) * f(Id)^{-1} * f(b)$$

Où  $Id$  est l'élément identité du groupe induit par la loi \*.

- b. La fonction d'observation  $h$  est de la forme  $h(X) = l(x, y_0)$ , avec  $y_0$  un élément de l'espace des observations (auquel appartiennent les  $Y_n$ ) et  $l(\cdot, \cdot)$  une action de groupe, c'est-à-dire une fonction vérifiant

$$l(a * b, y) = l(a, l(b, y))$$

Sous ces deux conditions, on peut définir un filtre de Kalman étendu dit « invariant » (généralement appelé plus simplement « filtre de Kalman invariant ») qui est régi par les équations suivantes :

$$\begin{aligned} \hat{X}_{n+1|n} &= f(\hat{X}_{n|n}) \\ \hat{X}_{n+1|n+1} &= \hat{X}_{n+1|n} * \exp(K_n[l(\hat{X}_{n+1|n}^{-1}, Y_{n+1}) - l(Id, y_0)]) \end{aligned}$$

où  $\exp(\cdot)$  est l'application exponentielle (cette fonction est connue dès que l'opération de groupe est connue, si elle définit un groupe de Lie) et  $K_n$  est une « matrice de gain » comme dans le cas linéaire. On peut alors montrer que l'erreur d'estimation aura là aussi une évolution autonome, comme dans le cas linéaire. Le problème d'estimation de l'état est donc simplifié, et ce même si le système considéré n'est pas linéaire.

Lorsque la condition b. n'est pas vérifiée on peut utiliser un filtre de la forme :

$$\hat{X}_{n+1|n} = f(\hat{X}_{n|n})$$

$$\hat{X}_{n+1|n+1} = \hat{X}_{n+1|n} * \exp(K_{n+1}[Y_{n+1} - h(\hat{X}_{n+1|n})])$$

Des filtres de Kalman invariants ont ainsi été utilisés pour aider à la navigation d'un porteur. Un filtre de Kalman invariant utilisé dans un tel contexte d'aide à la navigation estime un état de navigation représentatif d'un mouvement du porteur considéré.

5 Comme expliqué précédemment, l'utilisation d'un filtre de Kalman invariant réclame de trouver une opération (ou loi de composition interne) \* pour laquelle les conditions a. et b. sont vérifiées afin de rendre le problème de l'estimation plus facile. Il n'existe pas de méthode générique permettant de trouver une telle opération, et des publications diverses ont eu pour objet de fournir la bonne opération pour des systèmes particuliers. A titre  
10 d'exemples :

- L'opération à utiliser pour un problème d'estimation d'orientation et de vitesse est décrit dans le document suivant : Bonnabel, S., Martin, P., & Salaün, E. (2009, December). Invariant Extended Kalman Filter: theory and application to a velocity-aided attitude estimation problem. In Decision and Control, 2009 held jointly with the  
15 2009 28th Chinese Control Conference. CDC/CCC 2009. Proceedings of the 48th IEEE Conference on (pp. 1297-1304). IEEE.
- L'opération à utiliser pour une navigation inertielle avec estimation de l'orientation, la vitesse et la position est décrite dans le document suivant : Barrau, A., & Bonnabel, S. (2017). The invariant extended Kalman filter as a stable observer. IEEE Transactions  
20 on Automatic Control, 62(4), 1797-1812.
- L'opération à utiliser pour le SLAM (acronyme anglais de Simultaneous Localization And Mapping), c'est-à-dire une navigation utilisant des points de repère fixes de l'environnement du véhicule, est décrite dans le document Barrau, A., & Bonnabel, S. (2015). An EKF-SLAM algorithm with consistency properties. arXiv preprint  
25 arXiv:1510.06263.
- Une liste de systèmes pratiques pour lesquels une opération est connue est en outre décrite dans le document Barrau, A., & Bonnabel, S. (2017). Linear observation systems on groups (I).

Dans chacune de ces applications, un filtre de Kalman invariant est utilisé pour estimer  
30 l'état de navigation d'un porteur unique.

Le document Zou, D., & Tan, P. (2013). Coslam: Collaborative visual slam in dynamic environments. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 35(2), 354-366 poursuit un autre objectif : celui de fournir une aide à la navigation non pas d'un porteur unique, mais d'une flotte de véhicules comprenant un véhicule principal et au moins un  
35 véhicule secondaire mobile par rapport au véhicule principal.

Dans chacune de ces applications, le filtre de Kalman utilise des données proprioceptives du véhicule complétées par des mesures relatives à des objets de l'environnement considérés comme fixes (points de repère visuels connus ou inconnus, champ magnétique terrestre, Terre elle-même, etc.). Les coordonnées de ces objets peuvent être connues ou non dans le repère de référence, mais dans tous les cas elles ne varient pas au cours du temps. Toutefois, cette hypothèse ne tient plus si le porteur est entouré d'autres véhicules potentiellement en mouvement.

### EXPOSE DE L'INVENTION

Un but de l'invention est de fournir une aide à la navigation d'une flotte de plusieurs véhicules simple à mettre en œuvre.

Il est dès lors proposé, selon un premier aspect de l'invention, un procédé d'aide à la navigation d'une flotte de véhicules comprenant un véhicule principal et un véhicule secondaire mobile par rapport au véhicule principal, le procédé comprenant des étapes de :

- réception de données acquises par au moins un capteur, les données reçues comprenant des données cinématiques relatives entre le véhicule principal et le véhicule secondaire,
- estimation d'un état de navigation de la flotte de véhicules par un filtre de Kalman invariant utilisant les données reçues comme observations, dans lequel l'état de navigation comprend
  - des premières variables représentatives d'une première transformation rigide liant un repère attaché au véhicule principal à un repère de référence et
  - des deuxièmes variables représentatives d'une deuxième transformation rigide liant un repère attaché au véhicule principal à un repère attaché au véhicule secondaire,

et dans lequel le filtre de Kalman invariant utilise comme loi de composition interne une loi comprenant une composition terme à terme de la première transformation rigide et de la deuxième transformation rigide.

Le procédé selon le premier aspect de l'invention proposé exploite avantageusement le fait que les porteurs entourant le porteur principal disposent eux aussi de capteurs de mouvement et qu'ils transmettent leurs mesures au porteur principal. Ces mesures permettront au porteur principal d'utiliser les porteurs qui l'entourent comme points de repère bien que ceux-ci soient mobiles.

Il se trouve par ailleurs que la loi de composition interne utilisée dans ce procédé permet de s'approcher des conditions a. et b. énoncées en introduction. Les calculs mis en

œuvre par le filtre de Kalman invariant sont donc particulièrement simples à mettre en œuvre.

Le procédé selon le premier aspect de l'invention peut comprendre les caractéristiques suivantes prises seules ou en combinaison lorsque cela est techniquement possible.

5 De préférence, l'état de navigation de la flotte comprend en outre au moins un état d'erreur propre au capteur, et dans lequel la loi de composition interne est additive pour cette variable d'erreur propre au capteur.

De préférence, le procédé comprend la réception de données de mouvement proprioceptif du véhicule principal et du véhicule secondaire, dans lequel l'estimation  
10 comprend des phases de

- propagation d'un état de navigation de la flotte préalablement estimé par le filtre de Kalman invariant à l'aide des données de mouvement proprioceptif du véhicule principal et du véhicule secondaire pour obtenir un état propagé,
- mise à jour de l'état propagé à l'aide des observations, pour obtenir un nouvel état  
15 de navigation de la flotte.

De préférence, les données de mouvement proprioceptif sont acquises par des capteurs proprioceptifs respectifs du véhicule principal et du véhicule secondaire, et l'état de navigation de la flotte comprend en outre au moins un état d'erreur propre à au moins un des capteurs proprioceptifs pour laquelle la loi de composition interne est additive.

20 De préférence :

- les premières variables comprennent une matrice de rotation représentant une orientation du véhicule principal et un vecteur de position du véhicule principal, et
- dans lequel les deuxièmes variables comprennent une matrice de rotation représentant l'orientation du véhicule principal par rapport au véhicule secondaire  
25 et un vecteur de position du véhicule principal par rapport au véhicule secondaire.

De préférence :

- l'état de navigation de la flotte comprend en outre un vecteur de vitesse  $v_p$  du véhicule principal dans le repère de référence, et un vecteur de vitesse égal à  $R_S^T(v_p - v_S)$ , où  $v_S$  est une vitesse du véhicule secondaire dans le repère de référence,  
30 et  $R_S$  est une matrice de rotation représentant l'orientation du véhicule principal par rapport au véhicule secondaire,
- la loi de composition interne applique des transformations identiques à l'un des vecteurs de position et l'un des vecteurs vitesse.

L'estimation peut être mise en œuvre par le véhicule principal, et les données reçues peuvent comprendre des données de position du véhicule secondaire dans un repère fixé au véhicule principal acquises par au moins un premier capteur du véhicule principal comprenant par exemple un lidar, une caméra ou un odomètre. En variante, l'estimation

5 peut être mise en œuvre par le véhicule principal, et les données reçues peuvent comprendre des données de position du véhicule principal dans un repère fixé au véhicule secondaire acquises par au moins un deuxième capteur du véhicule secondaire comprenant par exemple un lidar, une caméra ou un odomètre.

10 Les données reçues peuvent comprendre des données cinématiques relatives entre le véhicule principal et un objet tiers distinct du véhicule principal et du véhicule secondaire, les données cinématiques relatives entre le véhicule principal et l'objet tiers étant également utilisées comme observations par le filtre de Kalman invariant. L'objet tiers est par exemple un amer.

15 Les données cinématiques relatives entre le véhicule principal et un objet tiers peuvent comprendre des données acquises par un récepteur GPS/GNSS du véhicule principal.

De préférence, le procédé comprend des étapes de

- mise en œuvre de l'étape d'estimation sur la base des données de position de l'objet secondaire dans le repère fixé au véhicule principal de sorte générer une première estimation de l'état de navigation de la flotte,
- 20 • mise en œuvre de l'étape d'estimation sur la base des données de position du véhicule principal dans un repère fixé à l'objet secondaire, de sorte générer une deuxième estimation de l'état de navigation de la flotte,
- fusion des première et deuxième estimations de l'état de navigation de la flotte, de sorte à produire une troisième estimation de l'état de navigation la flotte, la fusion
- 25 comprenant par exemple le calcul d'une moyenne des première et deuxième estimations de l'état de navigation de l'ensemble d'objets.

Afin de rendre l'évolution de l'erreur indépendante de l'état du système, il est de préférence prévu ce qui suit :

- les données reçues utilisées comme observations s'écrivent comme un vecteur  $Y_1$  de la forme  $Y_1 = l(X_1, y_0)$ , où  $l(.,.)$  est une action de groupe à gauche pour la loi de composition interne,  $X_1$  est l'état de navigation de la flotte, et  $y_0$  est un vecteur de même dimension que  $Y_1$ , et dans lequel le filtre de Kalman invariant utilise une innovation  $Z = l(\hat{X}_1^{-1}, Y_1)$ , ou dans lequel
- 30 • les données reçues utilisées comme observations s'écrivent comme un vecteur  $Y_2$  de la forme  $Y_2 = l(X_2^{-1}, y_0)$  où  $l(.,.)$  est une action de groupe à gauche pour la loi de
- 35

composition interne,  $X_2$  est l'état de navigation de la flotte, et  $y_0$  est un vecteur de même dimension que  $Y_2$ , et dans lequel le filtre de Kalman invariant utilise une innovation  $Z = l(\hat{X}_2, Y_2)$ .

Il est également proposé selon un deuxième aspect de l'invention un dispositif d'aide à la navigation d'une flotte de véhicules comprenant un véhicule principal et un véhicule secondaire mobile par rapport au véhicule principal, le dispositif comprenant :

- une interface de réception pour recevoir des données acquises par au moins un capteur, les données comprenant des données cinématiques relatives entre le véhicule principal et le véhicule secondaire,
- une unité de traitement configurée pour mettre en œuvre un filtre de Kalman invariant de manière à estimer un état de navigation de la flotte de véhicules, dans lequel le filtre de Kalman invariant est configuré pour utiliser les données reçues comme observations, dans lequel l'état de navigation comprend des premières variables représentatives d'une première transformation rigide liant un repère attaché au véhicule principal à un repère de référence et des deuxièmes variables représentatives d'une deuxième transformation rigide liant un repère attaché au véhicule secondaire à un repère attaché au véhicule principal, et dans lequel le filtre de Kalman invariant est configuré pour utiliser comme loi de composition interne une composition terme à terme de la première transformation rigide et de la deuxième transformation rigide.

#### DESCRIPTION DES FIGURES

D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit, qui est purement illustrative et non limitative, et qui doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- La figure 1 illustre différents objets mobiles les uns par rapport aux autres, notamment une flotte de véhicules.
- La figure 2 illustre de façon schématique des composants interne d'un véhicule principal et d'un véhicule secondaire d'une flotte de véhicules, selon un mode de réalisation de l'invention.
- La figure 3 est un organigramme d'étapes d'un procédé d'aide à la navigation, selon un mode de réalisation de l'invention.

Sur l'ensemble des figures, les éléments similaires portent des références identiques.

#### DESCRIPTION DETAILLÉE DE L'INVENTION



## 1/ Flotte de véhicules

En référence à la **figure 1**, une flotte de véhicules comprend un véhicule principal 1 et au moins un véhicule secondaire 2 mobile par rapport au véhicule principal 1. Chaque véhicule 1, 2 peut être de tout type : véhicule terrestre, navire, aéronef, etc.

5 Est également représenté sur la figure 1 des objets extérieurs à la flotte de véhicules : des amers (lampadaires et tour Eiffel), ainsi que la Terre elle-même. Comme on le verra dans la suite ces objets sont des points de repère pour la navigation de la flotte.

Dans ce qui suit, on considère différents repères : un repère principal attaché au véhicule principal 1, un repère secondaire attaché au véhicule secondaire 2, et un repère de  
10 référence. Le repère de référence est par exemple un repère céleste attaché à des étoiles ou à la Terre.

En référence à la **figure 2**, le véhicule principal 1 comprend une interface de réception de données.

L'interface de réception comprend au moins un premier capteur 3 embarqué dans le  
15 véhicule principal 1. Ce premier capteur 3 est configuré pour acquérir des données cinématiques du véhicule secondaire 2 dans le repère principal. Le premier capteur 3 comprend par exemple un lidar, une caméra ou un odomètre.

Dans le présent texte, on considère que l'expression « données cinématiques » couvre notamment des positions, des vitesses, ou des accélérations.

20 L'interface de réception comprend également une interface de communication 4 adaptée pour communiquer avec le véhicule secondaire 2, notamment recevoir de ce dernier des données cinématiques du véhicule principal 1 dans le repère fixé au véhicule secondaire 2. L'interface de communication 4 est de type radio sans fil, et comprend par exemple une antenne.

25 Le véhicule principal 1 comprend par ailleurs au moins un capteur proprioceptif 6.

Le capteur proprioceptif 6 comprend par exemple une centrale inertielle. La centrale inertielle comprend une pluralité de capteurs inertiels tels que des gyromètres et des accéléromètres. En variante, le capteur proprioceptif 6 comprend au moins un odomètre.

30 Le véhicule principal 1 comprend en outre un récepteur 8 configuré pour acquérir des données cinématiques relatives entre le véhicule principal 1 et un objet tiers distinct du véhicule principal 1 et du véhicule secondaire 2. Ce récepteur est par exemple un récepteur GPS/GNSS, auquel cas l'objet tiers est la Terre ou l'une des étoiles auxquelles le repère céleste est attaché. En variante ou complément, ce récepteur comprend un lidar, une caméra, auquel cas l'objet tiers peut être un amer se trouvant à proximité du véhicule

principal 1. Dans une autre variante, le récepteur comprend un odomètre qui une vitesse relative du porteur par rapport à la Terre.

Le véhicule principal 1 comprend par ailleurs une unité de traitement de données 10. L'unité de traitement 10 est agencée pour traiter des données reçues par l'interface de réception (donc reçues par le premier capteur 3 ou reçues par l'interface de communication 4), par la centrale inertielle 6, ou par le récepteur 8.

L'unité de traitement de données 10 comprend typiquement au moins un processeur configuré pour mettre en œuvre un procédé d'aide à la navigation qui sera décrit ci-après, au moyen d'un filtre de Kalman de type invariant. Le filtre de Kalman invariant se présente typiquement sous la forme d'un programme informatique exécutable par le processeur de l'unité de traitement de données. Le fonctionnement général d'un filtre de Kalman invariant est connu en lui-même. Toutefois, on verra dans la suite que la loi de composition interne utilisée pour configurer le filtre de Kalman invariant mis en œuvre par l'unité de traitement 10 est choisie de manière particulière, de manière à s'adapter au contexte de l'aide à la navigation de la flotte de véhicules comprenant les véhicules 1 et 2.

De préférence, l'unité de traitement 10 comprend au moins deux processeurs, de manière à mettre en œuvre deux filtres de Kalman en parallèle. On verra dans la suite que ces deux filtres de Kalman n'utilisent pas exactement les mêmes données d'entrée.

Par ailleurs, le véhicule secondaire 2 comprend au moins un deuxième capteur 12 et une interface de communication 14 pour transmettre des données acquises par le deuxième capteur 12 à l'interface de communication 4 du véhicule principal 1.

Le deuxième capteur 12 est configuré pour acquérir des données de mouvement du véhicule principal 1 dans le repère fixé au véhicule secondaire 2. Le deuxième capteur 12 comprend par exemple un lidar, une caméra ou un odomètre.

Le véhicule secondaire 2 comprend des moyens pour fournir des données de mouvement proprioceptif du véhicule secondaire.

Ces moyens de fourniture comprennent par exemple au moins un capteur proprioceptif 16. Le capteur proprioceptif est par exemple de l'un ou plusieurs des types de capteurs envisagés pour le capteur proprioceptif 6.

En variante, ces moyens de fourniture comprennent une mémoire mémorisant un modèle a priori d'évolution du véhicule secondaire 2. Cette mémoire peut être aussi bien être intégrée au véhicule secondaire 2 qu'au véhicule principal 1.

## 35 **2/ Configuration du filtre de Kalman invariant**

Le filtre de Kalman invariant mis en œuvre par l'unité de traitement 10 est configuré pour estimer un état de navigation de la flotte comprenant le véhicule principal 1 et le véhicule secondaire 2.

L'état de navigation comprend des premières variables représentatives d'une première transformation rigide liant le repère principal (attaché au véhicule principal 1) au repère de référence et des deuxièmes variables représentatives d'une deuxième transformation rigide liant le repère secondaire (attaché au véhicule secondaire 2) au repère principal.

La première transformation rigide permet par exemple de passer du repère lié au véhicule principale 1 au repère de référence, et la deuxième permet de passer du repère lié au véhicule principal 1 au repère lié au véhicule secondaire 2.

De façon bien connue, une transformation rigide (également connue sous le nom d'isométrie affine), est une transformation qui conserve les distances entre chaque paire de points d'un solide. Ainsi, chacune des première et deuxième transformations rigides peut être caractérisée par la composition d'une rotation et d'une translation.

Dans la suite, on détaillera un mode de réalisation dans lequel l'état de navigation, noté  $X$ , comprend les éléments suivants :

$$X = (R_p, x_p, R_{sp}, x_{sp})$$

où  $R_p, x_p, R_{sp}, x_{sp}$  sont définis comme suit :

- $R_p$  et  $x_p$  sont respectivement une matrice de rotation et un vecteur de dimension 3, représentant l'orientation et la position du véhicule principal : un vecteur  $u$  écrit dans le repère du véhicule principal 1 devient le vecteur  $R_p u + x_p$  dans le repère fixe.
- $R_{sp}$  et  $x_{sp}$  sont respectivement une matrice de rotation et un vecteur de dimension 3, représentant l'orientation et la position relatives du véhicule principal par rapport au véhicule secondaire : un vecteur  $u$  écrit dans le repère du véhicule principal 1 devient le vecteur  $R_{sp} u + x_{sp}$  dans le repère du véhicule secondaire.

Dans ce mode de réalisation particulier, les premières variables sont  $R_p, x_p$  et les deuxièmes variables sont  $R_{sp}, x_{sp}$ .

L'expression « l'objet  $X'$  est de même nature que le vecteur d'état », utilisée plus bas, signifiera que  $X'$  est une succession de matrices et de vecteurs semblable à  $X$ .

On appellera aussi « dimension de l'état  $X$  » le nombre  $3 \times (r + v) = 12$  où  $r$  est le nombre de matrices de rotation apparaissant dans  $X$  et  $v$  le nombre de vecteurs apparaissant dans  $X$ . Dans des modes de réalisation différents ce nombre peut être différent.

Par ailleurs, le filtre de Kalman invariant est en outre configuré pour utiliser comme observations des données cinématiques relatives entre le véhicule principal 1 et le véhicule

secondaire 2 reçues par l'interface de réception, provenant du premier capteur 3 du véhicule principal 1.

L'observation sera ici la position relative du véhicule secondaire vue dans le repère du véhicule principal :

$$5 \quad Y = -R_{sp}^T x_{sp}$$

Le filtre de Kalman invariant est configuré pour utiliser comme loi de composition interne une loi comprenant une composition terme à terme de la première transformation rigide et de la deuxième transformation rigide.

10 Cette loi de composition interne, notée \*, applique la transformation suivante à deux objets  $(R_p, x_p, R_{sp}, x_{sp})$  et  $(R'_p, x'_p, R'_{sp}, x'_{sp})$  dans un mode de réalisation :

$$(R_p, x_p, R_{sp}, x_{sp}) * (R'_p, x'_p, R'_{sp}, x'_{sp}) = (R_p R'_p, x_p + R_p x'_p, R_{sp} R'_{sp}, x_{sp} + R_{sp} x'_{sp})$$

### 3/ Procédés d'aide à la navigation de la flotte

15 En référence à la **figure 3**, un procédé 100 d'aide à la navigation de la flotte selon un premier mode de réalisation, et mettant en œuvre un filtre de Kalman invariant configuré de la manière indiquée en section 2/, comprend les étapes suivantes.

On suppose qu'une estimation  $\hat{X}_1$  de l'état de navigation de la flotte a été estimée par le filtre de Kalman invariant.

20 Dans une étape d'acquisition 102, le premier capteur 3 acquiert un premier groupe de données  $Y_1$  de mouvement d'objets extérieurs au véhicule principal 1 dans le repère principal. Ces données peuvent comprendre :

- des données de position du véhicule secondaire 2 dans le repère principal (l'objet extérieur correspondant est alors le véhicule secondaire 2)
- 25 • des données de position d'au moins un amer dans le repère principal (l'objet extérieur correspondant est alors cet amer). L'amer est de position connue dans le repère de référence.

Ces données  $Y_1$  sont transmises à l'unité de traitement 10.

30 Dans une étape 104, l'unité de traitement 10 calcule la différence entre les mesures observées  $Y_1$  et des mesures attendues (cette différence, notée  $Z_1$ , est appelée innovation dans la littérature traitant des filtres de Kalman). Les mesures attendues sont déduites de l'état  $X_1$  précédemment estimé par le filtre de Kalman invariant.

35 Dans une étape de correction 106, l'unité de traitement 10 de données multiplie l'innovation  $Z_1$  par une matrice  $K_1$  dite de « gain », ce qui traduit  $Z_1$  en une correction linéaire  $dx_1 = K_1 Z_1$  à appliquer à l'état du système.

Le choix des gains est une question classique commune à la plupart des méthodes d'estimation (voir plus bas).

Dans une étape de rétraction 108, l'unité de traitement 10 transforme la correction linéaire  $dx_1$  en une correction non linéaire  $C_1$  de même nature que  $\hat{X}_1$  (l'état  $\hat{X}_1$  n'est pas un vecteur car il contient des rotations). La transformation utilisée est une fonction quelconque  
 5 prenant en argument un vecteur de la dimension de l'état  $X$  (12 dans notre cas) et retournant un objet de même nature que  $X$  mais un choix particulièrement performant est l'exponentielle terme à terme du groupe de Lie des couples de transformations rigides.

Est ensuite mise en œuvre par l'unité de traitement 10 une étape de mise à jour non  
 10 linéaire 110. Dans cette étape 110, l'unité de traitement 10 combine l'estimation  $X_1$  de l'état du système à la correction non linéaire  $C_1$  pour construire une estimation corrigée :

$$\hat{X}_1^+ = C_1 * \hat{X}_1$$

Où le symbole  $*$  est la loi composition interne définie plus haut. La matrice  $K_1$  de gain est choisie de manière à stabiliser l'erreur d'estimation non linéaire  $e$  définie par :

$$15 \quad e = \hat{X}_1 * X^{-1}$$

Où le symbole  $\cdot^{-1}$  est l'inversion usuelle associée à la loi  $*$  :

$$(R_p, x_p, R_{sp}, x_{sp})^{-1} = (R_p^T, -R_p^T x_p, R_{sp}^T, -R_{sp}^T x_{sp})$$

On peut aussi écrire explicitement l'erreur de la façon suivante :

$$e = (\hat{R}_p R_p^T, \hat{x}_p - \hat{R}_p R_p^T x_p, \hat{R}_p R_p^T, \hat{x}_p - \hat{R}_p R_p^T x_p)$$

20 Cette erreur est utilisée pour construire le système linéarisé selon la procédure habituelle du filtrage invariant, duquel on déduit la matrice  $K_1$ , par exemple en intégrant une équation de Riccati.

Dans une étape de propagation 112, en soi connue de l'homme du métier, l'unité de traitement 10 génère un état de navigation propagé, à partir de l'état  $X_1^+$ . Pour cela, l'unité  
 25 de traitement 10 applique le modèle d'évolution qui peut être par exemple une odométrie, un modèle a priori ou une intégration classique de mesures inertielles acquises par les capteurs proprioceptifs 6, 16 présents dans les véhicules 1, 2.

Les étapes décrites précédemment forment une itération du filtre de Kalman invariant.

On obtient grâce au filtre de Kalman invariant une propriété qu'on obtiendrait  
 30 également dans un cas linéaire : l'évolution de l'erreur d'estimation est autonome (elle ne dépend ni de  $X$  ni de  $\hat{X}_1$ ).

L'unité de traitement 10 répète ces mêmes étapes 102, 104, 106, 108, 110, 112 dans de nouvelles itérations du filtre de Kalman invariant. L'état estimé au cours de l'étape de propagation 112 d'une itération donnée est utilisé comme donnée d'entrée des étapes de  
 35 calcul d'innovation 104 et de mise à jour non linéaire 110 d'une itération suivante.

En définitive, grâce au procédé 100, le véhicule principal 1 peut obtenir une aide non seulement sur sa propre navigation, mais également sur la navigation du véhicule secondaire 2, sur la base des différentes données mesurées par le premier capteur 3 et les capteurs proprioceptifs 6, 16.

5 Un procédé 200 d'aide à la navigation de la flotte selon un deuxième mode de réalisation, et mettant en œuvre un filtre de Kalman invariant également configuré de la manière indiquée ci-dessus, est également montré en partie droite de la figure 3 ; ce procédé 200 comprend les étapes suivantes.

10 Dans une étape d'acquisition 202, des données  $Y_2$  de mouvement du véhicule principal 1 dans au moins un repère attaché à un objet extérieur au véhicule principal sont acquises. Ces données  $Y_2$  peuvent comprendre :

- des données cinématiques du véhicule principal 1 dans le repère secondaire acquises par le deuxième capteur 12, par exemple des données de position du véhicule principal 1 dans le repère secondaire (auquel cas l'objet extérieur correspondant est le véhicule secondaire)
- 15 • des données acquises par le récepteur 8 (l'objet correspondant peut alors être considéré comme étant la Terre, puisque ces données permettent de géolocaliser le véhicule principal par rapport à la Terre).

20 Ces données  $Y_2$  sont transmises au véhicule principal 1, le cas échéant via les interfaces de communication 14 et 4 lorsqu'elles proviennent du véhicule secondaire 2. Les données  $Y_2$  sont transmises à l'unité de traitement 10.

Dans une étape 204 similaire à l'étape 104, l'unité de traitement 10 calcule la différence (innovation  $Z_2$ ) entre les mesures observées  $Y_2$  et des mesures attendues. Les mesures attendues sont déduites d'un état précédemment estimé par le filtre de Kalman invariant, noté  $\hat{X}_2$ .

Dans une étape de correction 206, l'unité de traitement 10 multiplie l'innovation  $Z_2$  par une matrice de gain  $K_2$  ce qui traduit  $Z_2$  en une correction linéaire  $dx_2 = K_2 Z_2$  à appliquer à l'état du système.

30 Cette étape de correction 206 est similaire à l'étape 106, à la différence près que la matrice  $K_2$  de gain est choisie de manière à stabiliser une deuxième variable d'erreur non linéaire  $e$  définie par :

$$e = X^{-1} * \hat{X}_2$$

Dans une étape de rétraction 208 identique à l'étape 108, l'unité de traitement 10 transforme la correction linéaire  $dx_2$  en une correction non linéaire  $C_2$  de même nature que  $\hat{X}_2$  (l'état  $\hat{X}_2$  n'est pas un vecteur car il contient des rotations).

Est ensuite mise en œuvre par l'unité de traitement 10 une étape de mise à jour non linéaire 210 similaire à l'étape 110. Dans cette étape 210, l'unité de traitement 10 combine l'estimation  $\hat{X}_2$  de l'état du système à la correction non linéaire  $C_2$  pour construire une estimation corrigée de la manière suivante :

$$5 \quad \hat{X}_2^+ = \hat{X}_2 * C_2$$

Dans une étape de propagation 212 identique à l'étape 112, l'unité de traitement 10 génère un état propagé à partir de l'état  $\hat{X}_2^+$ .

Les étapes décrites précédemment forment une itération du filtre de Kalman invariant.

10 L'unité de traitement 10 répète ces mêmes étapes 202, 204, 206, 208, 210, 212 dans de nouvelles itérations du filtre de Kalman invariant. L'état estimé au cours de l'étape de propagation 212 d'une itération donnée est utilisé comme donnée d'entrée des étapes de calcul d'innovation 204 et de mise à jour non linéaire 210 d'une itération suivante.

Comme dans le procédé 100 selon le premier mode de réalisation, la dépendance de l'évolution de l'erreur par rapport à l'état du système est réduite.

15 L'un ou l'autre des procédés 100, 200 décrits ci-dessus peut être mis en œuvre par le véhicule principal 1.

20 La différence fondamentale entre le procédé 100 selon le premier mode de réalisation et le procédé 200 selon le deuxième mode de réalisation réside dans les données cinématiques relatives entre le véhicule principal 1 et le véhicule secondaire 2 utilisées comme observation par le filtre de Kalman invariant : dans le cas du procédé 100, ces données sont exprimées dans le repère attaché au véhicule principal 1, alors que dans le cas du procédé 200, ces données sont exprimées dans un repère extérieur.

25 L'unité de traitement 10 du véhicule principal 1 met avantageusement en œuvre un procédé selon un troisième mode de réalisation, combinant la mise en œuvre des deux procédés qui précèdent 100 et 200, en parallèle.

30 Le premier procédé 100 conduisant à l'obtention de la donnée  $\hat{X}_1^+$  est par exemple mis en œuvre par un premier processeur de l'unité de traitement 10, tandis que le deuxième procédé 200 conduisant à l'obtention de la donnée  $\hat{X}_2^+$  est mis en œuvre par un deuxième processeur de l'unité de traitement. Autrement dit, deux filtres de Kalman invariants sont mis en œuvre en parallèle par ces deux processeurs.

35 Dans une étape de fusion 302, l'unité de traitement 10 fusionne les données  $\hat{X}_1^+$  et  $\hat{X}_2^+$  afin d'obtenir une estimation optimisée de l'état de navigation de la flotte, notée  $X_{opt}^+$ . Par exemple,  $X_{opt}^+$  est la moyenne de  $\hat{X}_1^+$  et  $\hat{X}_2^+$ . Les états  $\hat{X}_1^+$  et  $\hat{X}_2^+$  n'étant pas des vecteurs, on remplace leur moyenne classique par une quelconque définition de moyenne adaptée aux variétés. L'homme du métier pourra trouver des définitions de moyenne généralisées à des

variétés dans le document Markley, F. L., Cheng, Y., Crassidis, J. L., & Oshman, Y. (2007). Averaging quaternions. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 30(4), 1193-1197.

Le cas échéant, cette moyenne est pondérée par des matrices de covariance associées aux données  $\hat{X}_1^+$  et  $\hat{X}_2^+$  exprimant l'incertitude de ces estimations. Ces matrices de covariances sont également produites par les deux filtres de Kalman invariants des procédés 5 100 et 200.

L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation précédemment décrits.

Il est possible d'inclure dans l'état de navigation de la flotte des vitesses ou les vecteurs représentant les positions de points caractéristiques  $q_i$  (ou amers). Cet état de navigation 10 peut se borner à comprendre des données de position et de rotations.

Par ailleurs, la flotte de véhicules considérée peut comprendre plusieurs véhicules secondaires, et l'état de navigation être étendu de sorte à comprendre des éléments propres à chacun des véhicules secondaires de la flotte.

En outre, il n'est pas obligatoire d'utiliser des données inertielles acquises par une 15 centrale inertielle au cours de la mise en œuvre de l'un ou l'autre des procédés décrits ci-dessus. Néanmoins, quand des telles données inertielles sont utilisées, l'état du système doit comporter des états représentatifs de la vitesse de chaque véhicule muni d'une centrale inertielle. Il s'agira :

- de la vitesse  $v_p$  du véhicule principal dans le repère de référence,
- 20 - de l'écart  $v_{sp}$  de vitesse, par rapport au repère fixe, entre les eux véhicules, projeté dans le repère attaché au véhicule secondaire. Pour dire les choses autrement  $v_{sp}$  est définie par

$$v_{sp} = R_s^T(v_p - v_s)$$

Où  $v_p$  est la vitesse du porteur principal dans le repère fixe,  $v_s$  la vitesse du porteur 25 secondaire dans le repère fixe et  $R_s = R_p R_{sp}^T$  la matrice de rotation permettant le passage des coordonnées d'un point dans le repère secondaire à ses coordonnées dans le repère fixe. Un seul de ces deux états peut aussi être ajouté au système.

Il est à noter que l'état de navigation pourrait, dans un autre mode de réalisation être formé par les variables naturelles  $(R_p, x_p, R_s, x_s)$ , où la matrice de rotation  $R_s$  et le vecteur 30  $x_s \in \mathbb{R}^3$  sont tels qu'un point de coordonnées  $u \in \mathbb{R}^3$  dans le repère attaché au véhicule secondaire aura les coordonnées  $R_s u + x_s$  dans le repère fixe. Dans ce cas, la loi de composition interne à utiliser est plus complexe :



$$(R_p, x_p, R_s, x_s) * (R'_p, x'_p, R'_s, x'_s) = \begin{pmatrix} R_p R'_p \\ x_p + R_p x'_p \\ R_p R'_s R'^T_p R_s \\ R_p R'_s R'^T_p (x_s - x_p) + R_p x'_s + x_p \end{pmatrix}$$

## REVENDEICATIONS

1. Procédé d'aide à la navigation d'une flotte de véhicules comprenant un véhicule principal (1) et un véhicule secondaire (2) mobile par rapport au véhicule principal (1), le procédé
- 5 comprenant des étapes de :
- réception de données ( $Y_1, Y_2$ ) acquises par au moins un capteur (2, 12), les données reçues comprenant des données cinématiques relatives entre le véhicule principal (1) et le véhicule secondaire (2),
  - estimation (100, 200) d'un état de navigation de la flotte de véhicules par un filtre
- 10 de Kalman invariant utilisant les données reçues ( $Y_1, Y_2$ ) comme observations, dans lequel l'état de navigation comprend
- des premières variables représentatives d'une première transformation rigide liant un repère attaché au véhicule principal (1) à un repère de référence et
  - des deuxièmes variables représentatives d'une deuxième transformation
- 15 rigide liant un repère attaché au véhicule principal (1) à un repère attaché au véhicule secondaire (2),
- et dans lequel le filtre de Kalman invariant utilise comme loi de composition interne une loi comprenant une composition terme à terme de la première transformation rigide et de la deuxième transformation rigide.
- 20
2. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel l'état de navigation de la flotte comprend en outre au moins un état d'erreur propre au capteur (2, 12), et dans lequel la loi de composition interne est additive pour cet état d'erreur propre au capteur.
- 25
3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, comprenant la réception de données de mouvement proprioceptif du véhicule principal (1) et du véhicule secondaire (2), dans lequel l'estimation comprend des phases de
- propagation (112, 212) d'un état de navigation de la flotte préalablement estimé par le filtre de Kalman invariant à l'aide des données de mouvement proprioceptif du
- 30 véhicule principal (1) et du véhicule secondaire (2) pour obtenir un état propagé,
- mise à jour (110, 210) de l'état propagé à l'aide des observations, pour obtenir un nouvel état de navigation de la flotte.
- 35
4. Procédé selon les revendications précédentes, dans lequel les données de mouvement proprioceptif sont acquises par des capteurs proprioceptifs respectifs du véhicule principal

(1) et du véhicule secondaire (2), et l'état de navigation de la flotte comprend en outre au moins un état d'erreur propre à au moins un des capteurs proprioceptifs pour laquelle la loi de composition interne est additive.

- 5 5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel
- les premières variables comprennent une matrice de rotation représentant une orientation du véhicule principal (1) et un vecteur de position du véhicule principal (1), et
  - dans lequel les deuxièmes variables comprennent une matrice de rotation
- 10 représentant l'orientation du véhicule principal (1) par rapport au véhicule secondaire (2) et un vecteur de position du véhicule principal (1) par rapport au véhicule secondaire (2).
6. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel :
- 15 • l'état de navigation de la flotte comprend en outre un vecteur de vitesse  $v_p$  du véhicule principal dans le repère de référence, et un vecteur de vitesse égal à  $R_S^T(v_p - v_S)$ , où  $v_S$  est une vitesse du véhicule secondaire dans le repère de référence, et  $R_S$  est une matrice de rotation représentant l'orientation du véhicule secondaire (2) par rapport au repère de référence,
- 20 • la loi de composition interne applique des transformations identiques à l'un des vecteurs de position et l'un des vecteurs vitesse.
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'estimation est mise en œuvre par le véhicule principal (1), et les données reçues comprennent des données de
- 25 position du véhicule secondaire (2) dans un repère fixé au véhicule principal (1) acquises par au moins un premier capteur (3) du véhicule principal (1) comprenant par exemple un lidar, une caméra.
8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'estimation est mise en œuvre par le véhicule principal (1), et les données reçues comprennent des données de
- 30 position du véhicule principal (1) dans un repère fixé au véhicule secondaire (2) acquises par au moins un deuxième capteur (12) du véhicule secondaire (2) comprenant par exemple un lidar, une caméra.

9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les données reçues comprennent des données cinématiques relatives entre le véhicule principal (1) et un objet tiers distinct du véhicule principal (1) et du véhicule secondaire (2), les données cinématiques relatives entre le véhicule principal (1) et l'objet tiers étant également  
5 utilisées comme observations par le filtre de Kalman invariant.

10. Procédé selon la revendication 6, dans lequel l'objet tiers est un amer.

11. Procédé selon l'une des revendications 9 et 10, dans lequel les données cinématiques  
10 relatives entre le véhicule principal (1) et un objet tiers comprennent des données acquises par un récepteur GPS/GNSS (8) du véhicule principal (1).

12. Procédé selon l'une des revendications 7 et 8 prises en combinaison, comprenant des étapes des

- 15
- mise en œuvre (100) de l'étape d'estimation sur la base des données de position de l'objet secondaire dans le repère fixé au véhicule principal (1) de sorte générer une première estimation ( $X_1^+$ ) de l'état de navigation de la flotte,
  - mise en œuvre (200) de l'étape d'estimation sur la base des données de position du  
20 véhicule principal (1) dans un repère fixé à l'objet secondaire, de sorte générer une deuxième estimation ( $X_2^+$ ) de l'état de navigation de la flotte,
  - fusion des première et deuxième estimations ( $X_1^+$ ,  $X_2^+$ ) de l'état de navigation de la flotte, de sorte à produire une troisième estimation ( $X_{opt}^+$ ) de l'état de navigation la flotte, la fusion comprenant par exemple le calcul d'une moyenne des première et  
25 deuxième estimations de l'état de navigation de l'ensemble d'objets.

25

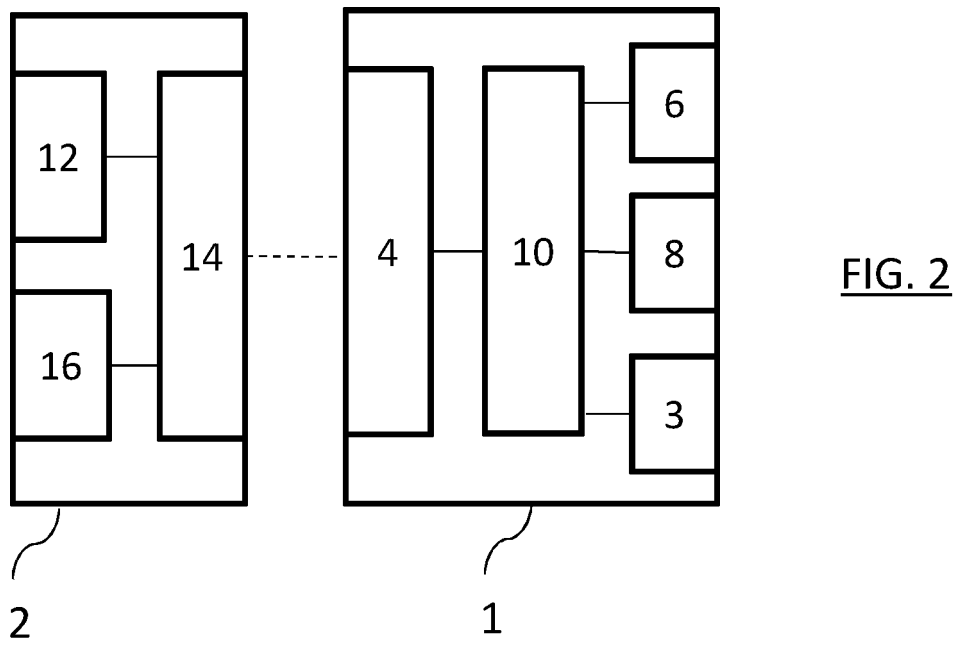
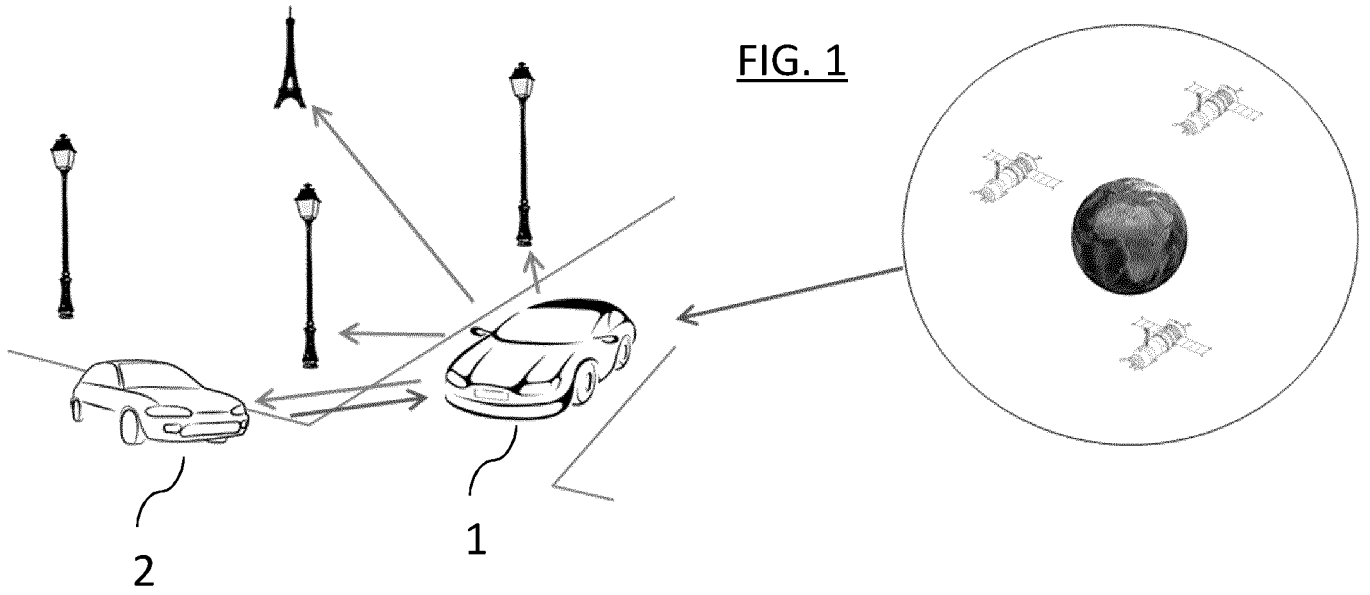
13. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel :

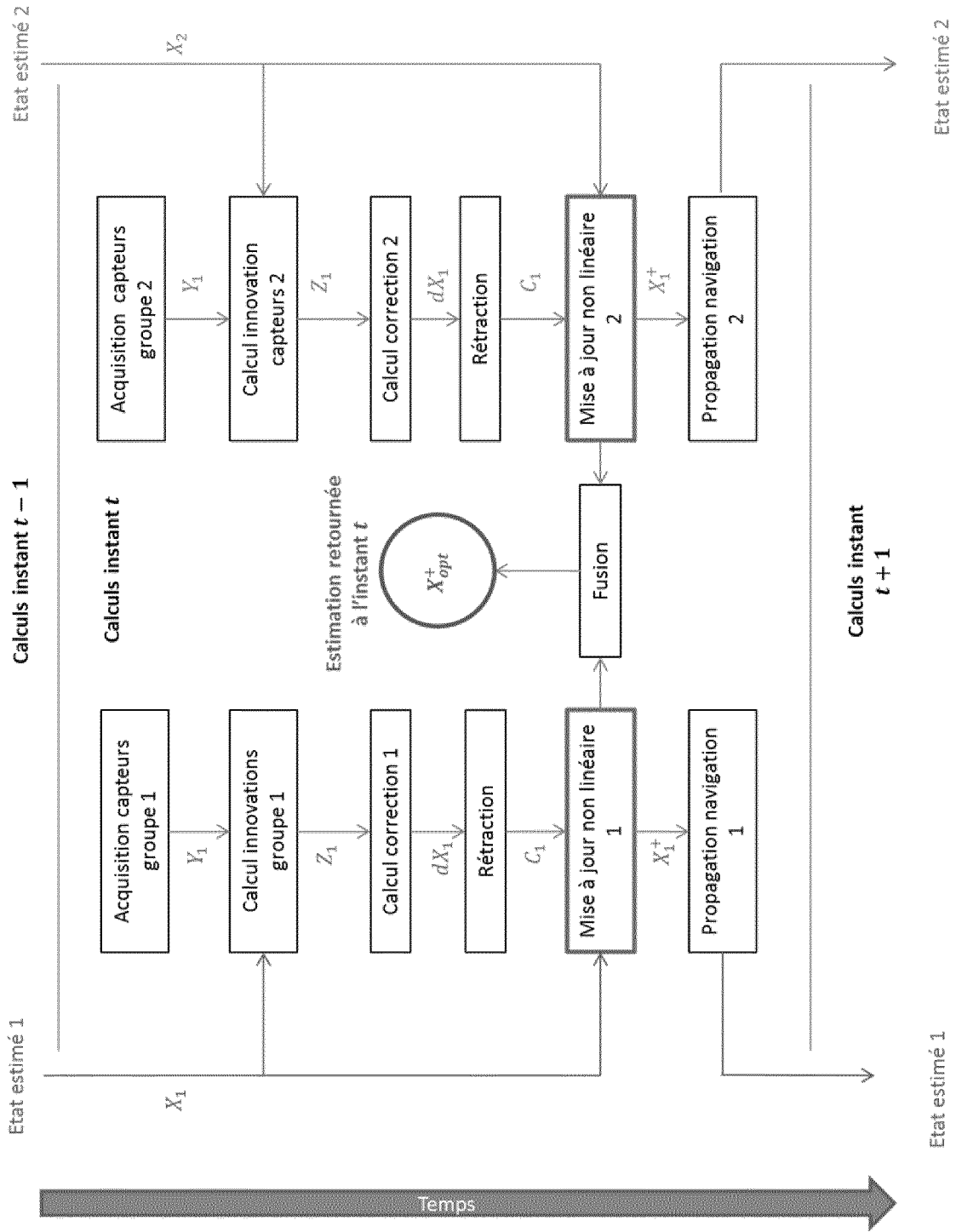
- les données reçues utilisées comme observations s'écrivent comme un vecteur  $Y_1$  de la forme  $Y_1 = l(X_1, y_0)$ , où  $l(.,.)$  est une action de groupe à gauche pour la loi de composition interne,  $X_1$  est l'état de navigation de la flotte, et  $y_0$  est un vecteur de  
30 même dimension que  $Y_1$ , et dans laquelle filtre de Kalman invariant utilise une innovation  $Z = l(\hat{X}_1^{-1}, Y_1)$ , ou dans lequel
- les données reçues utilisées comme observations s'écrivent comme un vecteur  $Y_2$  de la forme  $Y_2 = l(X_2^{-1}, y_0)$  où  $l(.,.)$  est une action de groupe à gauche pour la loi de composition interne,  $X_2$  est l'état de navigation de la flotte, et  $y_0$  est un vecteur de

même dimension que  $Y_2$ , et dans lequel où le filtre de Kalman invariant utilise une innovation  $Z = l(\hat{X}_2, Y_2)$ .

14. Dispositif d'aide à la navigation d'une flotte de véhicules comprenant un véhicule principal (1) et un véhicule secondaire (2) mobile par rapport au véhicule principal (1), le dispositif comprenant :
- une interface de réception (3, 4) pour recevoir des données ( $Y_1, Y_2$ ) acquises par au moins un capteur, les données comprenant des données cinématiques relatives entre le véhicule principal (1) et le véhicule secondaire (2),
  - une unité de traitement (1) configurée pour mettre en œuvre un filtre de Kalman invariant de manière à estimer un état de navigation de la flotte de véhicules, dans lequel le filtre de Kalman invariant est configuré pour utiliser les données reçues comme observations, dans lequel l'état de navigation comprend des premières variables représentatives d'une première transformation rigide liant un repère attaché au véhicule principal (1) à un repère de référence et des deuxièmes variables représentatives d'une deuxième transformation rigide liant un repère attaché au véhicule principal (1) à un repère attaché au véhicule secondaire (2), et dans lequel le filtre de Kalman invariant est configuré pour utiliser comme loi de composition interne une composition terme à terme de la première transformation rigide et de la deuxième transformation rigide.

1/2





**FIG. 3**

**RAPPORT DE RECHERCHE  
 PRÉLIMINAIRE**

 établi sur la base des dernières revendications  
 déposées avant le commencement de la recherche

 N° d'enregistrement  
 national

 FA 857631  
 FR 1856803

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	Solmaz S Kia ET AL: "Cooperative localization for mobile agents: a recursive decentralized algorithm based on Kalman filter decoupling",  21 mai 2015 (2015-05-21), XP055595143, Extrait de l'Internet: URL:https://arxiv.org/pdf/1505.05908.pdf * pages 11-15; figure 3 * * pages 25-26 *	1-14	G01C21/16 G01C21/26 B60W30/00
A,D	DANPING ZOU ET AL: "CoSLAM: Collaborative Visual SLAM in Dynamic Environments", IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, IEEE COMPUTER SOCIETY, USA, vol. 35, no. 2, 1 février 2013 (2013-02-01), pages 354-366, XP011490796, ISSN: 0162-8828, DOI: 10.1109/TPAMI.2012.104 * section 3,4 *	1-14	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	MAHMOUD MAGDI S ET AL: "Distributed Kalman filtering: a bibliographic review", IET CONTROL THEORY AND APPLICAT, THE INSTITUTION OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY, GB, vol. 7, no. 4, 7 mars 2013 (2013-03-07), pages 483-501, XP006045415, ISSN: 1751-8644, DOI: 10.1049/IET-CTA.2012.0732 * section 2 *	1-14	G01C G01S
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
11 juin 2019		Gagin, Thibaut	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant	