

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 15.03.21.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 16.09.22 Bulletin 22/37.

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 **Demander(s)** : Renault s.a.s Société par actions simplifiée — FR, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS) Etablissement public national à caractère administratif — FR et UNIVERSITE DE TECHNOLOGIE DE COMPIEGNE (UTC) Etablissement public national à caractère scientifique culturel et professionnel — FR.

72 **Inventeur(s)** : BONNIFAIT Philippe, WELTE Anthony, XU Philippe et ZINOUNE Clément.

73 **Titulaire(s)** : Renault s.a.s Société par actions simplifiée, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS) Etablissement public national à caractère administratif, UNIVERSITE DE TECHNOLOGIE DE COMPIEGNE (UTC) Etablissement public national à caractère scientifique culturel et professionnel.

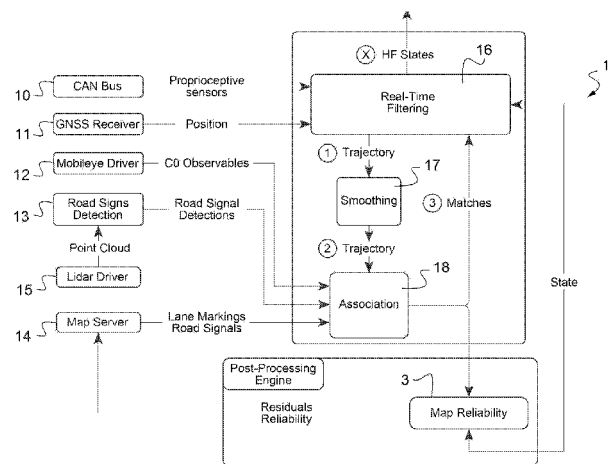
74 **Mandataire(s)** : FEDIT-LORIOT.

54 **Procédé de supervision automatique et embarqué de la précision des informations cartographiques par un véhicule autonome.**

57 Procédé de supervision (3) d'une carte de navigation (14) numérique d'un véhicule automobile autonome, comprenant :

Une étape de lissage (322) des données de la trajectoire du véhicule au cours dudit trajet réalisé ; Une étape de recalcul (323) des résidus d'observations associés à des éléments de la carte de navigation (13) ; Une étape de fusion (324, 325) des résidus associés à un même élément de la carte de navigation numérique ; Une étape d'estimation (326) de la fiabilité de chaque résidu obtenu après ladite étape de fusion ; et Une étape de correction (327) de ladite carte de navigation numérique en fonction de l'estimation de fiabilité de chaque résidu.

Figure de l'abrégé : Figure 1



Description

Titre de l'invention : Procédé de supervision automatique et embarqué de la précision des informations cartographiques par un véhicule autonome

- [0001] L'invention concerne le domaine du guidage de véhicules automobiles autonomes et plus particulièrement la supervision automatique et embarquée de la précision des informations cartographiques du véhicule autonome.
- [0002] Lorsqu'un véhicule automobile fonctionne selon un mode de conduite autonome, il calcule son trajet en faisant correspondre sa position géographique avec les données d'une carte de navigation numérique.
- [0003] Le positionnement géographique général du véhicule et des éléments de la carte se base sur un positionnement par Géolocalisation et Navigation par un Système de Satellites, plus connu sous son acronyme GNSS de l'anglais *Global Navigation Satellite System*.
- [0004] Toutefois, ce système n'étant pas assez précis pour garantir un bon cheminement sur une route, il est couplé à d'autres moyens de positionnement, notamment des caméras ou des capteurs lasers, tels que des Lidars, permettant de détecter les marquages au sol, les panneaux routiers, ou d'autres informations extéroceptives, représentatives de l'environnement du véhicule automobile.
- [0005] Ainsi, le véhicule automobile se positionne en faisant correspondre les éléments détectés par les moyens embarqués, caméras, Lidars, etc, avec le positionnement GNSS et la carte de navigation associée.
- [0006] En particulier, le système fait correspondre les panneaux routiers détectés par le véhicule automobile avec les panneaux routiers connus de la carte de navigation numérique.
- [0007] Toutefois, le réseau routier évoluant rapidement, certains panneaux présents dans la carte de navigation numérique peuvent avoir disparu en réalité ; et réciproquement, certains panneaux existant en réalité peuvent ne pas être renseignés dans la carte.
- [0008] L'objectif de la présente demande est dès lors d'évaluer automatiquement la qualité de la carte de navigation numérique afin de fournir une méthode de localisation du véhicule automobile précise, et ce malgré les potentielles erreurs d'information de la carte de navigation numérique.
- [0009] On connaît notamment la publication scientifique «*HD Map Change Detection with a Boosted Particle Filter*», D. Pannen, M. Liebner and W. Burgard, 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Montreal, QC, Canada, 2019, pp. 2561-2567. Cette publication décrit une détection d'erreurs sur une carte de navigation

numérique basée sur un filtre à particules. Or un filtrage particulière tel que décrit dans cette publication est relativement complexe à mettre en œuvre et implique une importante charge calculatoire.

- [0010] Par conséquent il existe le besoin d'un procédé de supervision d'une carte de navigation numérique, robuste et plus léger d'un point de vue calculatoire.
- [0011] À cet effet on propose un procédé de supervision d'une carte de navigation numérique d'un véhicule automobile autonome, ledit véhicule automobile comprenant un module de localisation adapté pour acquérir, stocker et associer à des éléments de la carte de navigation une pluralité de données d'état de la trajectoire du véhicule automobile et des mesures d'observation de l'environnement du véhicule automobile au cours d'un trajet, lesdites mesures d'observation étant associés à des éléments présents sur ladite carte de navigation de sorte que le module calcule les résidus d'observation du véhicule automobile par rapport aux données de la carte de navigation, et lorsque le trajet du véhicule automobile est terminé, ledit module de localisation est alors adapté pour mettre en œuvre les étapes dudit procédé de supervision comprenant :
- [0012] – Une étape de lissage des données de la trajectoire du véhicule au cours dudit trajet réalisé ;
- [0013] – Une étape de recalcul des résidus d'observations associés à des éléments de la carte de navigation après ledit lissage des données de la trajectoire et le calcul de la matrice de covariance associée à chaque résidu ;
- [0014] – Une étape de fusion des résidus associés à un même élément de la carte de navigation numérique ;
- [0015] – Une étape d'estimation de la fiabilité de chaque résidu obtenu après ladite étape de fusion ; et
- [0016] – Une étape de correction de ladite carte de navigation numérique en fonction de l'estimation de fiabilité de chaque résidu.
- [0017] Le procédé de supervision est ainsi robuste, rapide, performant et ne nécessite pas d'être réalisé en temps réel pendant le fonctionnement du véhicule automobile.
- [0018] Avantageusement, ladite étape de lissage comprend la mise en œuvre d'un lissage de Kalman par propagation rétroactive des corrections de position du véhicule automobile. Ainsi, on peut obtenir un lissage performant et peu coûteux en temps de calcul permettant une amélioration importante de la position réelle du véhicule automobile par rapport à la carte de navigation.
- [0019] Avantageusement, ladite étape de fusion comprend une première fusion des résidus recalculés associés à un même élément de la carte de navigation numérique par la méthode de l'intersection de covariance. Ainsi, on obtient une méthode de calcul de la première fusion des résidus robuste et performante.
- [0020] Avantageusement, ladite étape de fusion comprend une seconde fusion du résidu

obtenu par la première fusion avec, s'il existe, un résidu déjà enregistré lors d'une mise en œuvre précédente du procédé pour le même élément de la carte de navigation numérique, de sorte que le résidu restant comprend l'ensemble des informations des résidus précédents. Ainsi, on s'assure d'obtenir un résidu pertinent pour corriger la carte de navigation numérique.

- [0021] Avantageusement, l'étape d'estimation de la fiabilité de chaque résidu comprend la mise en œuvre d'un test du χ^2 , en fonction d'une valeur de sensibilité α prédéterminée. Ce test statistique assure ainsi une détection robuste et performante des erreurs d'observations détectées.
- [0022] Avantageusement, lorsque ledit test du χ^2 échoue, on attribue à l'élément de la carte de navigation associé audit résidu ayant échoué une variable d'exclusion indiquant que ladite carte est erronée pour ledit élément associé audit résidu. Ainsi, on peut de manière très efficace et simple identifier les éléments erronés sur ladite carte de navigation.
- [0023] Avantageusement, ladite étape de correction de ladite carte de navigation numérique comprend la correction des résidus associés à une variable d'exclusion. Ainsi, on peut de manière relativement performante identifier les éléments à corriger.
- [0024] L'invention concerne aussi un module de localisation d'un véhicule automobile autonome comprenant des moyens d'acquisition, de stockage et d'association à des éléments de la carte de navigation d'une pluralité de données d'état de la trajectoire du véhicule automobile et des mesures d'observation de l'environnement du véhicule automobile au cours d'un trajet, lesdites mesures d'observation étant associés à des éléments présents sur ladite carte de navigation de sorte que le module est adapté pour calculer les résidus d'observation du véhicule automobile par rapport aux données de la carte de navigation, et lorsque le trajet du véhicule automobile est terminé, ledit module de localisation comprend des moyens pour mettre en œuvre les étapes de supervision suivantes :
- [0025] – Une étape de lissage des données de la trajectoire du véhicule au cours dudit trajet réalisé ;
- [0026] – Une étape de recalcul des résidus d'observations associés à des éléments de la carte de navigation après ledit lissage des données de la trajectoire et le calcul de la matrice de covariance associée à chaque résidu ;
- [0027] – Une étape de fusion des résidus associés à un même élément de la carte de navigation numérique ;
- [0028] – Une étape d'estimation de la fiabilité de chaque résidu obtenu après ladite étape de fusion ; et
- [0029] – Une étape de correction de ladite carte de navigation numérique en fonction de l'estimation de fiabilité de chaque résidu.

- [0030] L'invention concerne aussi un véhicule automobile autonome comprenant un module de localisation tel que décrit précédemment.
- [0031] D'autres particularités et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description faite ci-après d'un mode de réalisation particulier de l'invention, donné à titre indicatif mais non limitatif, en référence aux dessins annexés sur lesquels :
- [0032] [Fig.1] est une vue schématique d'un module de localisation selon un mode de réalisation de l'invention ;
- [0033] [Fig.2] est une représentation schématique du modèle d'observation d'un panneau de signalisation par un véhicule autonome selon l'invention ;
- [0034] [Fig.3] est un organigramme du procédé de supervision d'une carte de navigation selon le mode de réalisation de l'invention.
- [0035] En référence à la [Fig.1], un véhicule automobile autonome comprend un module de localisation 1, que l'on appellera aussi plus simplement le module 1.
- [0036] Le module 1 communique avec une pluralité d'autres modules parmi lesquels :
- [0037] – un Bus CAN 10 (Controller Area Network) adapté pour fournir des signaux numérisés issus de capteurs proprioceptifs ;
- [0038] – Un récepteur GNSS 11 adapté pour fournir la position géographique du véhicule automobile ;
- [0039] – Une caméra intelligente 12 adaptée pour détecter et identifier les lignes démarquant les voies de circulation;
- [0040] – Un module 13 de détection d'éléments du réseau routier, tels que les panneaux de signalisation ou les marquages au sol, ici à partir de données notamment issues d'un capteur Lidar 15 ou de caméras embarquées ;
- [0041] – Un module 14 de fourniture d'une carte de navigation numérique.
- [0042] Ce module de localisation 1 met alors en œuvre des étapes générales suivantes :
- [0043] – une première étape dite *Real time filtering* 16, en français filtrage temps réel 16, au cours duquel on estime à haute fréquence l'état du véhicule à l'aide des données inertielles fournies par les capteurs de série du véhicule via le bus CAN 10 ainsi que les mesures issues du récepteur GNSS 11.
- [0044] Le module de localisation 1 fournit ainsi un état à jour du véhicule incluant sa position estimée, sa vitesse longitudinale ainsi que sa vitesse de lacet.
- [0045] Ces états estimés sont disponibles à haute fréquence mais peuvent être entachés d'erreurs, dues aux limitations du filtrage temps réel.
- [0046] - Une seconde étape de lissage 17, en anglais *Smoothing* consiste alors à retraiter l'état présent en fonction des états futurs afin d'améliorer sa précision et diminuer son incertitude.
- [0047] - Le niveau de qualité de la trajectoire lissée permet ensuite de mettre en œuvre une étape d'association 18 faisant correspondre les éléments perçus par les capteurs exté-

roceptifs du véhicule (panneaux de signalisation, marquages au sol) avec les éléments référencés dans la carte de navigation numérique.

[0048] Cette étape d'association 18 apporte de nouvelles informations sur la position du véhicule relativement à son environnement et permet d'affiner l'estimation de sa pose par la fonction de filtrage temps réel 16.

[0049] Cependant, le réseau routier étant en perpétuelle évolution, les éléments référencés dans la carte de navigation numérique peuvent être imprécis ou erronés.

[0050] - L'étude des associations calculées à l'étape précédente permet alors d'évaluer leur fiabilité à l'issue de chaque trajet. À cet effet on met en œuvre un procédé de supervision 3 de la carte de navigation numérique, en anglais *Map reliability*.

[0051] Ce procédé de supervision 3, en référence à la [Fig.3], est mis en œuvre après la fin du roulage dudit véhicule automobile.

[0052] Toutefois de manière préalable, au cours du roulage, le procédé 3 met en œuvre une étape de stockage 321 en mémoire de tous les états reçus du véhicule automobile et des associations effectuées lors du roulage depuis le démarrage du module de navigation autonome.

[0053] On entend par « tous les états reçus » l'ensemble des informations acquises par le module de localisation 1 exposées précédemment.

[0054] En effet, pour analyser la qualité des éléments référencés dans la carte, les mesures et les états estimés sont utilisés. Ces données sont enregistrées au cours de la trajectoire pour n'être traitées qu'après la fin du roulage du véhicule automobile.

[0055] Le module 1 reçoit des observations $\mathbf{z}_i^{(k)}$ (où k est l'instant de mesure et i est l'indice de la mesure à cet instant) et leur élément de carte associé \mathbf{m}_i du module de perception. Ces données sont stockées dans une mémoire tampon, aussi appelée en anglais *buffer*, de sorte à obtenir en fin de trajectoire, un *buffer* d'observation :

$$[0056] \quad \mathbf{Z} = \{ \mathbf{Z}^{(1)}, \mathbf{Z}^{(2)}, \dots, \mathbf{Z}^{(N)} \}$$

[0057] où $\mathbf{Z}^{(k)}$ Contient les observations obtenues à l'instant k :

$$[0058] \quad \mathbf{Z}^{(k)} = \{ z_1^{(k)}, z_2^{(k)}, \dots \}$$

[0059] En parallèle, les estimations du module de localisation 1 sont aussi enregistrées.

[0060] Le module de localisation 1 fournit ainsi une estimation de la pose (position dans le plan et orientation) du véhicule, de sa vitesse longitudinale et de rotation. Ces données sont estimées par le module de localisation 1 à l'instant k en utilisant au plus les observations de l'instant 0 à k .

[0061] Ces états $\hat{x}_{k|k}$ et leurs matrices de covariances associées $P_{k|k}$ sont conservés en mémoire de sorte à obtenir en fin de trajectoire le *buffer* d'état :

$$[0062] \quad \mathbf{X} = \left\{ \left(\hat{x}_{k|k}, P_{k|k} \right) \right\}_{k \in \llbracket 0, N \rrbracket}$$

- [0063] Une fois que le roulage est terminé, les étapes du procédé d'estimation 3 sont alors mises en œuvre.
- [0064] On met tout d'abord en œuvre une étape de lissage 322 réalisée sur l'intégralité de la trajectoire.
- [0065] Dans ce mode de réalisation, le lissage est mis en œuvre depuis la fin du trajet jusqu'au démarrage.
- [0066] Les états enregistrés dans le buffer n'ayant pu être estimés qu'en utilisant les observations disponibles en temps réel, ces estimations peuvent être améliorées une fois le roulage et la trajectoire terminés, pour propager les informations obtenues grâce aux nouvelles mesures.
- [0067] Ceci est réalisé par un lissage de Kalman, qui consiste à appliquer à chaque état un facteur correctif.
- [0068] Ce facteur dépend des estimations suivantes et est appliqué en partant du dernier état jusqu'au premier.
- [0069] Ainsi, lorsque des observations permettent une meilleure estimation de l'état x_{k+1} comparé à l'état x_k . Le terme correctif permet de propager cette amélioration à l'état x_k . Ainsi tout le *buffer* d'état peut être amélioré en appliquant les fonctions :
- [0070]
$$X_{k|N} = x_{k|k} + J_k(x_{k+1|N} - x_{k+1|k})$$
- [0071]
$$P_{k|N} = P_{k|k} + J_k(P_{k+1|N} - P_{k+1|k})J_k^T$$
- [0072] avec
- [0073]
$$J_k = P_{k|k} F_{k+1}^T P_{k+1|k}^{-1}$$
- [0074] Pour la mise en œuvre de l'étape de lissage 322, les observations nécessaires ne concernent que les éléments de la carte de navigation, les autres observations n'ayant alors pas besoin d'être conservées.
- [0075] Une fois le lissage effectué, on met alors en œuvre une étape de recalcul 323 de nouveaux résidus d'observation ainsi que la matrice de covariance de chaque résidu d'observation.
- [0076] On entend par résidu la différence entre une observation et la valeur prédite issue d'une régression statistique.
- [0077] En effet, pour évaluer la qualité des éléments de la carte de navigation, des résidus d'observations sont utilisés.
- [0078] Une erreur d'observation est modélisée par une distribution gaussienne centrée sur l'élément de la carte et une matrice de covariance dépendant de la précision a priori de la carte et de la précision de la détection.
- [0079] Si l'élément de la carte est bien référencé, on sait alors que $y^T S^{-1} y$
- [0080] (où y est le résidu de mesure et S sa matrice de covariance associée) suit une loi du

χ^2 .

- [0081] En fixant un risque α , supprimer les éléments de la carte s'il ne vérifie pas le test du χ^2 va provoquer la suppression de 1 élément sur $1/\alpha$.
- [0082] Dans le cas où la carte contient une erreur, le taux de suppression va être beaucoup plus important. En effet si un élément est bien référencé, au fur et à mesure des résidus utilisés, l'incertitude du résidu va diminuer et le résidu va tendre vers 0.
- [0083] Par contre si l'élément est mal référencé, l'incertitude va toujours diminuer mais le résidu va tendre vers une constante non nulle. Ainsi en cas d'erreur de carte le test échoue beaucoup plus souvent.
- [0084] Les résidus calculés doivent être comparables. Quel que soit le point de vue, les résidus doivent représenter les mêmes grandeurs.
- [0085] Là où pour la localisation en utilisant un amer $[^s x_i \ ^s y_i]^T$ observé dans le repère véhicule, le modèle d'observation en référence à la [Fig.2] est applicable :
- [0086]
$$h_i(x_k) = \begin{bmatrix} \cos\theta_k & \sin\theta_k \\ -\sin\theta_k & \cos\theta_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i - x_k \\ y_i - y_k \end{bmatrix}$$
- [0087] Avec l'observation :
- [0088]
$$z = \begin{bmatrix} s_{x_i} & s_{y_i} \end{bmatrix}^T$$
- [0089] Un tel modèle n'est toutefois pas adapté à l'évaluation des éléments de cartes car les résidus dépendent du point de vue (puisque'ils représentent des grandeurs exprimées dans le repère véhicule.
- [0090] Ainsi, pour obtenir un résidu utilisable, on choisit un modèle de la forme :
- [0091]
$$h_i(x_k) = \begin{bmatrix} \cos\theta_k & -\sin\theta_k \\ \sin\theta_k & \cos\theta_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_{x_i} \\ s_{y_i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \end{bmatrix}$$
- [0092] Avec l'observation :
- [0093]
$$z = \begin{bmatrix} x_i & y_i \end{bmatrix}^T$$
- [0094] Ce modèle produit des résidus d'observations exprimés dans le repère local à la carte de navigation. Ainsi, quel que soit le point de vue de l'élément de la carte, les résidus représentent la même grandeur. Ils peuvent donc être comparés et fusionnés d'une trajectoire à l'autre.
- [0095] Pour calculer le résidu et sa matrice de covariance associée, deux cas doivent être distingués.
- [0096] – Si l'observation a été utilisée pour estimer l'état, l'erreur de l'estimation d'état est corrélée avec l'erreur d'observation. Le résidu est donc calculé avec :
- [0097]
$$z_j^{(k)} - h(x_k, m_i)$$
- [0098] Et sa matrice de covariance est :

$$[0099] \quad S_j^{(k)} = R - HP_k H^T$$

[0100] où \mathbf{R} est la matrice de covariance du bruit de mesure et \mathbf{H} est la Jacobienne du modèle d'observation par rapport à \mathbf{x}_k

[0101] – Si l'observation n'a pas été utilisée pour estimer l'état, son erreur n'est pas corrélée à l'erreur d'état et la matrice de covariance du résidu est calculée avec :

$$[0102] \quad S_j^{(k)} = R + HP_k H^T$$

[0103] Une fois les résidus recalculés 323, il se peut que pour un même élément de la carte on possède plusieurs résidus calculés et les matrices de covariance associées.

[0104] On procède alors à la fusion des résidus recalculés 324.

[0105] Cette étape de fusion des résidus recalculés 324 est réalisée par la méthode de d'intersection de covariance.

[0106] Toutefois l'invention n'est pas limitée à cette seule méthode.

[0107] On peut notamment réduire encore plus les besoins calculatoires en approximant la fusion avec une méthode connue sous le nom d'intersection de covariance rapide, plus connu en anglais sous le nom de « *Fast Covariance Intersection* » qui propose une solution approximée analytique pour les paramètres ω .

[0108] La méthode peut aussi être approximée davantage en sélectionnant le pire résidu à la place de tous les fusionner. Le pire résidu peut être sélectionné en choisissant le résidu ayant la plus grande distance de *Mahalanobis*.

[0109] Toutefois en revenant à la méthode d'intersection de covariance mise en œuvre pour ce mode de réalisation, pour chaque élément de carte, on fusionne les L résidus \mathbf{y}_1 à \mathbf{y}_L (et matrices de covariance associées \mathbf{S}_1 à \mathbf{S}_L) avec :

$$[0110] \quad S = \left(\omega_1 S_1^{-1} + \dots + \omega_L S_L^{-1} \right)^{-1}$$

$$[0111] \quad y = S \left(\omega_1 S_1^{-1} y_1 + \dots + \omega_L S_L^{-1} y_L \right)$$

[0112] où les paramètres ω sont positifs et tels que $\omega_1 + \dots + \omega_L = 1$. Ces paramètres étant estimés par optimisation pour minimiser $\text{Tr}(S)$, la trace de la matrice S .

[0113] Toutefois il se peut que pour un élément donné de la carte on ait déjà calculé, lors d'une mise en œuvre précédente du procédé, un résidu antérieur, aussi appelé résidu sauvegardé.

[0114] Dans ce cas on procède alors à la fusion 325 du résidu sauvegardé avec le résidu issu de la fusion de l'étape 324.

[0115] Le résidu sauvegardé en mémoire est alors être fusionné aux nouveaux résidus de sorte à obtenir un unique résidu contenant toute l'information.

[0116] Cette fusion est réalisée comme suit :

$$[0117] \quad y = \left(S_1^{-1} + S_2^{-1} \right)^{-1} \left(S_1^{-1} y_1 + S_2^{-1} y_2 \right)$$

[0118]
$$\bar{\mathbf{S}} \leftarrow (\bar{\mathbf{S}}^{-1} + \mathbf{S}^{-1})^{-1}$$

[0119] Ensuite on procède à une étape d'évaluation 326 de la fiabilité de l'élément en fonction du résidu obtenu après les étapes de fusion 324, 325.

[0120] En effet, les résidus contiennent dorénavant toute l'information obtenue lors de ce passage au voisinage de l'élément de la carte et des potentiels passages précédents.

[0121] Ces résidus peuvent maintenant être utilisés pour évaluer la fiabilité des éléments de la carte.

[0122] Comme exposé précédemment, si la carte n'a pas d'erreur, chaque résidu suit une distribution gaussienne centré en 0 et de matrice de covariance \mathbf{S} .

[0123] En cas d'erreur de carte, cette distribution ne sera pas centrée en 0, elle sera centrée autour du biais de carte, autrement dit de l'erreur.

[0124] Ainsi pour détecter les erreurs de carte, un test du χ^2 est réalisé sur le résidu avec :

[0125]
$$\mathbf{y}^T \mathbf{S}^{-1} \mathbf{y} < \gamma^{-1}(\dim(\mathbf{y})/2, (1 - \alpha)/2) / \Gamma(\dim(\mathbf{y})/2)$$

[0126] $\dim(\mathbf{y})$ étant la dimension de la matrice de chaque résidu.

[0127] Si le test échoue, deux cas sont possibles :

[0128] – S'il n'y a pas d'erreur dans la carte, le test va échouer dans α Pourcents des cas. α devant être choisi suffisamment faible pour limiter ces occurrences.

[0129] – S'il y a une erreur de carte, le test va échouer dans une proportion bien plus importante. Dans les deux cas, une variable d'exclusion, par exemple une variable « ne pas utiliser » ou en anglais *don't use* est renseignée dans la carte pour permettre au système de localisation de ne pas utiliser ces amers lors des prochains passages.

[0130] Une telle variable peut évoluer à chaque répétition du procédé, se reproduisant après différents trajets ou passages devant un élément de la carte. Lorsque le test échoue malgré l'absence d'erreur de carte, il est possible que lors de prochain passage, le résidu diminue suffisamment pour passer le test.

[0131] Ainsi chaque nouvelle observation permet de faire évoluer les connaissances sur la fiabilité de l'élément de carte.

[0132] Dans une mise en œuvre alternative de l'invention, le test du χ^2 permettant de déterminer la création de la variable d'exclusion n'est pas réalisé directement par le procédé selon l'invention, mais par les systèmes cherchant à utiliser l'élément de la carte en question. Cela peut être utile car différents systèmes peuvent avoir des tolérances au risque différentes. Aussi un système peut tolérer un risque variable en fonction de la situation. Le test du χ^2 peut être réalisé par chaque système car les résidus et matrices de covariances sont stockés dans la carte.

[0133] Enfin on met en œuvre une étape de correction 327 de la carte.

[0134] Lorsqu'une erreur de carte est détectée, la variable *don't use* est renseignée.

- [0135] Cela permet au système de localisation de ne pas utiliser d'éléments erronés. Perdre un amer pour la localisation n'est pas idéal car cela peut engendrer des erreurs trop importantes pour l'application de conduite autonome.
- [0136] Il est alors préférable de corriger cette erreur pour permettre au système de localisation de continuer à utiliser les amers connus.
- [0137] Pour corriger l'erreur, le modèle d'observation est utilisé. On connaît la relation :
- [0138] $E [z - h (x_k, m_i)] = y$
- [0139] On peut alors trouver la correction Δm à appliquer sur les références de l'amer pour obtenir un résidu nul.
- [0140] $E [z - h (x_k, m_i + \Delta m)] = 0$
- [0141] Ainsi pour l'exemple d'une observation de panneau, on a la relation :
- [0142]
$$E \left[\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} c\theta_k & -s\theta_k \\ s\theta_k & c\theta_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s x_i \\ s y_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \end{bmatrix} \right] = y$$
- [0143] On en déduit donc que pour obtenir un résidu nul, les nouvelles coordonnées de l'amer doivent être :
- [0144]
$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} - y$$
- [0145] Dans le cas où le résidu à la même dimension que la référence de l'amer, il y a une unique solution Δm qui peut être trouvé. Dans le cas où le résidu est de dimension inférieure à la dimension des éléments décrivant l'amer il n'y a pas unicité de la correction à apporter.
- [0146] Par exemple, une mesure de distance à un marquage a un résidu de dimension 1 tandis que le marquage référencé par une droite est paramétré par deux termes.
- [0147] Pour résoudre le système, une contrainte supplémentaire doit être ajoutée.
- [0148] Dans ce mode de réalisation, l'ajout d'une contrainte de parallélisme permet de trouver une unique correction.
- [0149] Le procédé selon l'invention permet ainsi d'améliorer la fiabilité de la localisation par l'intermédiaire de la détection d'éléments de carte erronés.
- [0150] De plus l'invention présente plusieurs avantages :
- [0151] – la méthode s'intègre à une architecture de fusion standard sans nécessiter de modification interne au système de localisation. La seule contrainte supplémentaire est de sauvegarder les états et observations traitées par le système de localisation ce qui est peu coûteux. Cela rend cette méthode facilement intégrable à des systèmes existants.
- [0152] – la méthode ne nécessite aucun calcul en temps réel mais exploite les calculs temps-réel déjà réalisé par le système de localisation. Le reste des calculs est fait a posteriori. Ainsi cette stratégie n'alourdit pas le système temps réel et est applicable à des systèmes où les ressources disponibles en temps réel sont limitées.

- [0153] – la méthode est adaptée pour exploiter plusieurs trajectoires afin de détecter des erreurs. Cette capacité permet à cette méthode de détecter des erreurs qui n'aurait pas pu être observée au cours d'une seule trajectoire.
- [0154] – la réduction du nombre d'éléments de la carte réduit également le nombre d'observations possibles et peut donc résulter en une moins bonne localisation. Il est donc préférable de corriger les erreurs détectées. La correction proposée permet ainsi de conserver l'élément plutôt que de ne plus l'utiliser pour la localisation. Cela permet à la méthode proposée de conduire à une meilleure localisation.

Revendications

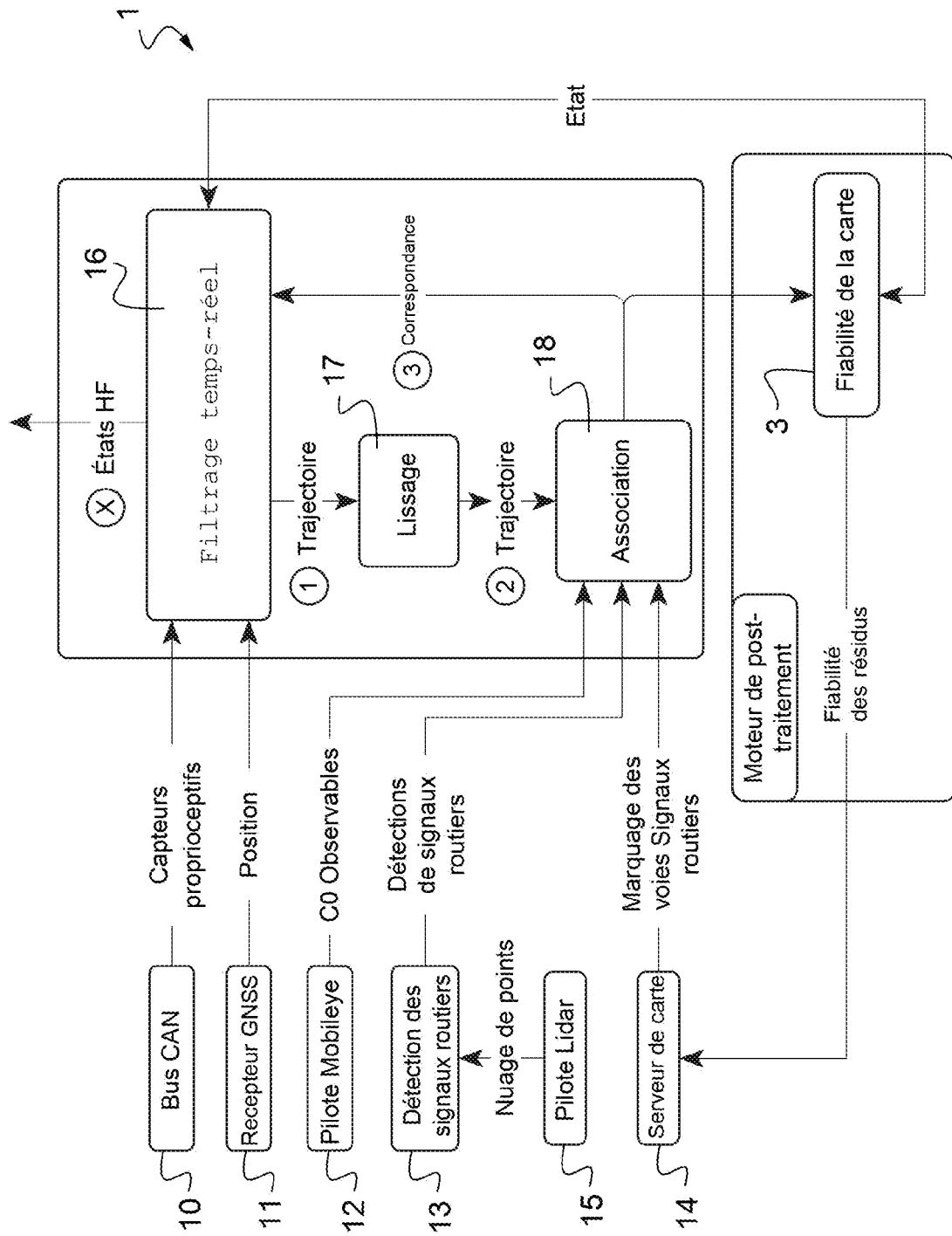
- [Revendication 1] Procédé de supervision (3) d'une carte de navigation (14) numérique d'un véhicule automobile autonome, ledit véhicule automobile comprenant un module de localisation (1) adapté pour acquérir, stocker (321) et associer à des éléments de la carte de navigation (14) une pluralité de données d'état (10, 11) de la trajectoire du véhicule automobile et des mesures d'observation (10, 12, 13, 15) de l'environnement du véhicule automobile au cours d'un trajet, lesdites mesures d'observation (10,12,13,15) étant associées à des éléments présents sur ladite carte de navigation (14) de sorte que le module calcule les résidus d'observation du véhicule automobile par rapport aux données de la carte de navigation (14), et lorsque le trajet du véhicule automobile est terminé, ledit module de localisation (1) est alors adapté pour mettre en œuvre les étapes dudit procédé de supervision (3) comprenant :
- Une étape de lissage (322) des données de la trajectoire du véhicule au cours dudit trajet réalisé ;
 - Une étape de recalcul (323) des résidus d'observations associés à des éléments de la carte de navigation (13) après ledit lissage des données de la trajectoire et le calcul de la matrice de covariance associée à chaque résidu ;
 - Une étape de fusion (324, 325) des résidus associés à un même élément de la carte de navigation numérique ;
 - Une étape d'estimation (326) de la fiabilité de chaque résidu obtenu après ladite étape de fusion ; et
 - Une étape de correction (327) de ladite carte de navigation numérique en fonction de l'estimation de fiabilité de chaque résidu.
- [Revendication 2] Procédé (3) selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite étape de lissage (322) comprend la mise en œuvre d'un lissage de Kalman par propagation rétroactive des corrections de position du véhicule automobile.
- [Revendication 3] Procédé (3) selon la revendication 1 ou 2 caractérisé en ce que ladite étape de fusion (324, 325) comprend une première fusion (324) des résidus recalculés associés à un même élément de la carte de navigation

- numérique par la méthode de l'intersection de covariance.
- [Revendication 4] Procédé (3) selon la revendication 3, caractérisé en ce que ladite étape de fusion (324, 325) comprend une seconde fusion (325) du résidu obtenu par la première fusion (324) avec, s'il existe, un résidu déjà enregistré lors d'une mise en œuvre précédente du procédé (3) pour le même élément de la carte de navigation numérique, de sorte que le résidu restant comprend l'ensemble des informations des résidus précédents.
- [Revendication 5] Procédé (3) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'étape d'estimation (326) de la fiabilité de chaque résidu comprend la mise en œuvre d'un test du χ^2 , en fonction d'une valeur de sensibilité α prédéterminée.
- [Revendication 6] Procédé (3) selon la revendication 5, caractérisé en ce que lorsque ledit test du χ^2 échoue, on attribue à l'élément de la carte de navigation associé audit résidu ayant échoué, résidu une variable d'exclusion indiquant que ladite carte est erronées pour ledit élément associé audit résidu.
- [Revendication 7] Procédé (3) selon la revendication 6, caractérisé en ce que ladite étape de correction (327) de ladite carte de navigation numérique comprend la correction des résidus associés à une variable d'exclusion.
- [Revendication 8] Module de localisation (1) d'un véhicule automobile autonome comprenant des moyens d'acquisition, de stockage et d'association à des éléments de la carte de navigation (14) d'une pluralité de données d'état (10, 11) de la trajectoire du véhicule automobile et des mesures d'observation (10, 12, 13, 15) de l'environnement du véhicule automobile au cours d'un trajet, lesdites mesures d'observation (10,12,13,15) étant associés à des éléments présents sur ladite carte de navigation (14) de sorte que le module est adapté pour calculer les résidus d'observation du véhicule automobile par rapport aux données de la carte de navigation (14), et lorsque le trajet du véhicule automobile est terminé, ledit module de localisation (1) comprend des moyens pour mettre en œuvre les étapes de supervision (3) suivantes :
- Une étape de lissage (322) des données de la trajectoire du véhicule au cours dudit trajet réalisé ;
 - Une étape de recalcul (323) des résidus d'observations associés à des éléments de la carte de navigation (13) après ledit lissage des données de la trajectoire et le calcul de la

- matrice de covariance associée à chaque résidu ;
- Une étape de fusion (324, 325) des résidus associés à un même élément de la carte de navigation numérique ;
- Une étape d'estimation (326) de la fiabilité de chaque résidu obtenu après ladite étape de fusion ; et
- Une étape de correction (327) de ladite carte de navigation numérique en fonction de l'estimation de fiabilité de chaque résidu.

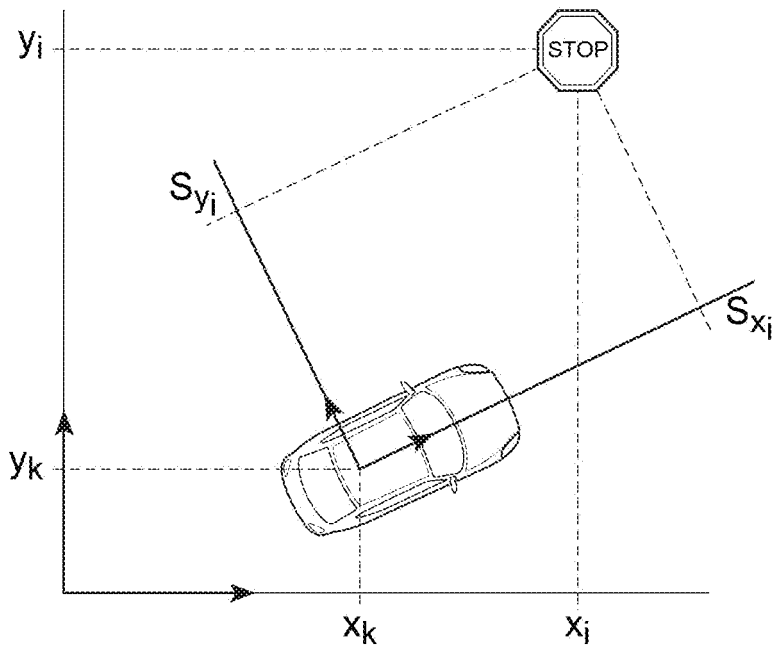
[Revendication 9] Véhicule automobile autonome comprenant un module de localisation (1) selon la revendication 8.

[Fig. 1]



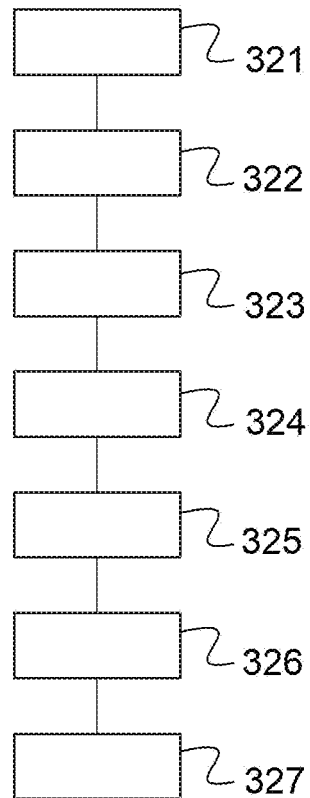
[Fig. 2]

Fig.2



[Fig. 3]

Fig.3



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 892590
FR 2102541

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		
X	<p>WELTE ANTHONY ET AL: "Estimating the reliability of georeferenced lane markings for map-aided localization", 2019 IEEE INTELLIGENT VEHICLES SYMPOSIUM (IV), IEEE, 9 juin 2019 (2019-06-09), pages 1225-1231, XP033606193, DOI: 10.1109/IVS.2019.8814214 [extrait le 2019-08-26]</p> <p>* abrégé * *</p> <p>* page 1225, colonne de gauche, alinéas 1,2 *</p> <p>* page 1226, colonne de gauche, alinéa 3 - colonne de droite, alinéa 4 *</p> <p>* page 1229, colonne de gauche, alinéa 1 - alinéa 4 *</p> <p>* figures 1,2,5 *</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-9	G01C21/36
A	<p>US 2020/370920 A1 (AHMED AMR SHEBL [CA] ET AL) 26 novembre 2020 (2020-11-26)</p> <p>* alinéa [0068] - alinéa [0080] *</p> <p>* alinéa [0090] - alinéa [0097] *</p> <p>* figures 5-7 *</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-9	<p>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)</p> <p>G01C G01S G05D G06K G08G</p>
A	<p>US 2014/088855 A1 (FERGUSON DAVID I [US]) 27 mars 2014 (2014-03-27)</p> <p>* alinéas [0039], [0040] *</p> <p>* alinéa [0059] - alinéa [0070] *</p> <p>* alinéas [0091], [0101] - [0108] *</p> <p>* figures 1,8 *</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-9	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
6 décembre 2021		Yosri, Samir	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>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</p> <p>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</p>			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2102541 FA 892590**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **06-12-2021**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2020370920 A1	26-11-2020	EP 3904908 A1	03-11-2021
		US 2020370920 A1	26-11-2020

US 2014088855 A1	27-03-2014	CN 104812645 A	29-07-2015
		EP 2900531 A2	05-08-2015
		KR 20150060953 A	03-06-2015
		US 2014088855 A1	27-03-2014
		US 2017278400 A1	28-09-2017
		US 2019197903 A1	27-06-2019
		US 2021225172 A1	22-07-2021
		WO 2014099069 A2	26-06-2014
