

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2024/256350 A1**

(43) Date de la publication internationale  
19 décembre 2024 (19.12.2024)

(51) Classification internationale des brevets :  
G08G 1/056 (2006.01) B60W 40/072 (2012.01)  
G08G 1/16 (2006.01) G06V 20/56 (2022.01)

(72) Inventeurs : **BALLESTEROS-TOLOSANA, Iris** ; 1 avenue du golf, FRTCRRUC181, 78084 Guyancourt cedex (FR). **PAPAMICHAIL, Chrysanthi** ; 1 avenue du golf, FRTCRRUC17B, 78084 Guyancourt cedex (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/EP2024/065979

(74) Mandataire : **RENAULT GROUP** ; 1 avenue du golf FR TCR AVA 0 55, 78084 GUYANCOURT CEDEX (FR).

(22) Date de dépôt international :  
10 juin 2024 (10.06.2024)

(81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH,

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

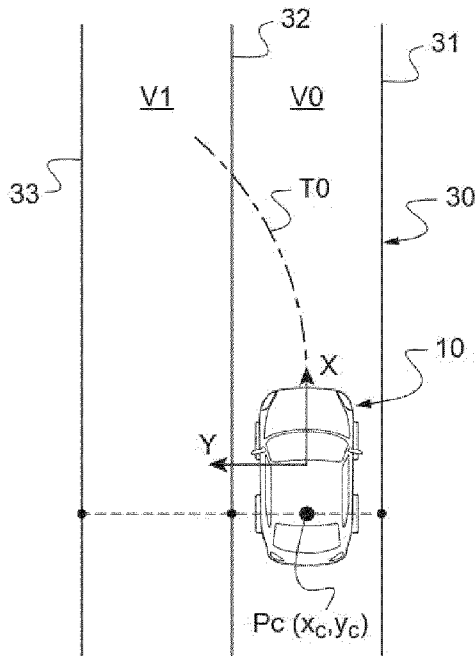
(30) Données relatives à la priorité :  
FR2305988 13 juin 2023 (13.06.2023) FR

(71) Déposant : **AMPERE S.A.S.** [FR/FR] ; 122-122 bis avenue du Général Leclerc, 92100 Boulogne Billancourt (FR).

(54) Title: METHOD FOR CHARACTERISING A POSITION OF A MOVING OBJECT TRAVELLING ON A TRAFFIC ROUTE

(54) Titre : PROCÉDÉ DE CARACTÉRISATION D'UNE POSTURE D'UN OBJET MOBILE SE DÉPLAÇANT SUR UN AXE DE CIRCULATION

[Fig. 2]



(57) Abstract: The invention relates to a method for characterising the position of a motor vehicle travelling on a road (30) comprising a plurality of traffic lanes (VO, VI), the method comprising the following steps: - acquiring data characterising edge lines (31, 32, 33) delimiting each traffic lane; - projecting a critical point (Pc) attached to the moving object onto curves representative of the edge lines inferred from the acquired data; and - selecting the traffic lane in which the critical point is located, taking into account the projections of the critical point.

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de caractérisation de la posture d'un véhicule automobile se déplaçant sur une route (30) comportant plusieurs voies de circulation (VO, VI), le procédé comprenant des étapes : - d'acquisition de données caractérisant des



WO 2024/256350 A1

TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS,  
ZA, ZM, ZW.

- (84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée:**

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- en noir et blanc ; la demande internationale telle que déposée était en couleur ou en échelle de gris et est disponible sur PATENTSCOPE pour téléchargement.

---

lignes de bord (31, 32, 33) délimitant chaque voie de circulation, - de projection d'un point critique (Pc) attaché audit objet mobile sur des courbes représentatives desdites lignes de bord déduites des données acquises, et - de sélection de la voie de circulation sur laquelle se trouve le point critique, compte tenu des projections du point critique.

## Description

### **Titre de l'invention : Procédé de caractérisation d'une posture d'un objet mobile se déplaçant sur un axe de circulation**

#### **Domaine technique de l'invention**

- [0001] La présente invention concerne de manière générale le pilotage d'objets mobiles.
- [0002] Elle s'applique plus particulièrement aux voitures et autres engins motorisés circulant sur routes, mais pourrait s'appliquer également à d'autres domaines tels que la robotique.
- [0003] L'invention concerne un procédé de caractérisation d'une posture d'un objet mobile se déplaçant sur un axe de circulation comportant plusieurs voies de circulation.
- [0004] L'invention concerne également un procédé de pilotage d'un véhicule automobile et un véhicule automobile adapté à mettre en œuvre un tel procédé.

#### **Etat de la technique**

- [0005] Dans un souci de sécurisation des véhicules automobiles, on équipe actuellement ces derniers de systèmes d'aide à la conduite voire de systèmes de conduite hautement automatisée.
- [0006] Il s'agit typiquement de systèmes de maintien au centre de la voie (plus connus sous l'acronyme anglais de LCA pour « Lane Centering Assist »), de systèmes de régulation de vitesse adaptative...
- [0007] Nombre de ces systèmes ont besoin, pour fonctionner, de connaître sur quelle voie de circulation le véhicule automobile (EGO) roule, si le véhicule change de voie de circulation ou s'il s'apprête à en changer...
- [0008] De la même manière, il est souhaitable pour ces systèmes de connaître sur quelles voies de circulation les véhicules environnants roulent.
- [0009] Pour cela, on connaît du document EP2826687 une méthode d'assignation de voie. Cette méthode propose d'utiliser un capteur, tel qu'un RADAR, afin de déterminer les positions des véhicules environnants par rapport au véhicule EGO. L'historique des positions successives des véhicules environnants est plus précisément utilisé pour déterminer leurs trajectoires. Il est ainsi possible de savoir, lorsque leurs trajectoires se superposent, si des véhicules environnants empruntent ou non la même voie de circulation que le véhicule EGO, ou une voie plus à droite ou plus à gauche.
- [0010] Cette méthode a pour inconvénient de ne pas être très fiable dans le cas où la circulation est peu dense. Typiquement, si le véhicule EGO suit un véhicule et que ces deux véhicules sont seuls dans leur environnement, le changement de voie de circulation du véhicule précédent ne sera détectable que tardivement.

#### **Présentation de l'invention**

- [0011] Afin de remédier à l'inconvénient précité de l'état de la technique, la présente invention propose une solution qui est indépendante de la densité de véhicules circulant sur la route et qui permet de déterminer sur quelles voies de circulation se trouvent le véhicule EGO et les véhicules environnants.
- [0012] Plus particulièrement, on propose selon l'invention un procédé de caractérisation d'une posture d'un objet mobile (par exemple le véhicule EGO ou un véhicule environnant) se déplaçant sur un axe de circulation comportant plusieurs voies de circulation, le procédé comprenant des étapes mises en œuvre par un ordinateur :
- d'acquisition de données caractérisant des lignes de bord délimitant chaque voie de circulation,
  - de projection d'un point critique attaché audit objet mobile sur des courbes représentatives desdites lignes de bord, lesdites courbes représentatives étant déduites des données acquises, et
  - de sélection de la voie de circulation sur laquelle se trouve le point critique, compte tenu des projections du point critique.
- [0013] Préférentiellement, ces étapes sont suivies du calcul du temps nécessaire pour que le véhicule traverse l'une des deux lignes de bord qui bordent cette voie de circulation et/ou de la position de la zone dans laquelle le véhicule franchira cette ligne de bord.
- [0014] Ainsi, grâce à l'invention, la forme des lignes de bord de voies est utilisée pour savoir sur quelle voie se trouve chaque objet (véhicule EGO, véhicule environnant...). Cette méthode n'est donc pas basée sur les positions passées d'objets mais plutôt sur des données instantanées, ce qui la rend plus robuste.
- [0015] Un avantage de l'invention est qu'elle n'engendre aucun surcoût dans la mesure où elle emploie des données déjà utilisés dans les véhicules à des fins autres.
- [0016] L'utilisation d'un point critique dont la position pourra être sélectionnée compte tenu de l'usage qui sera fait de la caractérisation de la posture du véhicule permet en outre au procédé d'être particulièrement adaptable.
- [0017] A titre d'exemple, il sera possible de détecter de manière très précoce un changement de voie de circulation en utilisant un point critique situé sur un des côtés du véhicule.
- [0018] A titre d'autre exemple, il sera possible d'afficher sur un écran visible par le conducteur la position générale du véhicule sur la route, en utilisant pour cela un point critique centré sur le véhicule (c'est-à-dire situé sur l'axe longitudinal du véhicule).
- [0019] La solution proposée a comme autre avantage de pouvoir être facilement évaluée par le conducteur du véhicule. Pour cela, le conducteur pourra comparer les données perçues par le ordinateur et affichées sur l'écran avec la réalité du terrain.
- [0020] D'autres caractéristiques avantageuses et non limitatives du procédé conforme à l'invention, prises individuellement ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles, sont les suivantes :

- la voie de circulation sélectionnée est celle pour laquelle le produit de deux produits scalaires est négatif, chaque produit scalaire étant calculé pour l'une des deux courbes représentatives des deux lignes de bord délimitant cette voie de circulation entre, d'une part, le vecteur formé par le point critique et la projection du point critique sur ladite courbe et un vecteur normal à ladite courbe au niveau de la projection du point critique ;
- les étapes de projection et de sélection sont répétées avec au moins un autre point critique attaché audit objet mobile ;
- si deux voies de circulation sont sélectionnées, il est déterminé que l'objet mobile change de voie de circulation ;
- les étapes d'acquisition, de projection et de sélection étant réalisées à un instant courant, il est prévu d'acquies quelle voie de circulation était sélectionnée à un instant précédant l'instant courant, et de déterminer si l'objet mobile a changé de voie de circulation en comparant la voie de circulation sélectionnée à l'instant précédent avec la voie de circulation sélectionnée à l'instant courant ;
- il est prévu de déterminer la largeur de la voie de circulation sélectionnée compte tenu des projections du point critique, et de valider la sélection de la voie de circulation sélectionnée uniquement si ladite largeur est supérieure à une largeur prédéterminée de l'objet mobile ;
- les courbes représentatives desdites lignes de bord présentant des longueurs limitées, si la projection du point critique sur l'une des courbes représentatives n'existe pas, il est prévu de prolonger ladite courbe représentative ;
- il est prévu de déterminer une durée estimée avant que l'objet mobile coupe l'une au moins des lignes de bord bordant la voie de circulation présélectionnée ;
- ladite durée est estimée en modélisant une trajectoire future de l'objet mobile et en déterminant l'intersection entre la trajectoire future et la ligne de bord, de préférence à l'aide d'une méthode de Newton-Raphson ;

[0021] L'invention concerne aussi un procédé de pilotage d'un véhicule automobile roulant sur une route comportant plusieurs voies de circulation, le procédé comportant :

- une opération de caractérisation de la posture du véhicule automobile au moyen d'un procédé de caractérisation tel que précité, et
- une opération de pilotage automatique du véhicule automobile en fonction de la voie de circulation sélectionnée, par exemple pour maintenir ou centrer le véhicule automobile dans la voie de circulation sélectionnée.

[0022] L'invention concerne également un véhicule automobile comportant des moyens d'acquisition de données caractérisant des lignes de bord délimitant chaque voie de circulation d'une route empruntée par le véhicule automobile, et un calculateur programmé pour mettre en œuvre un procédé de caractérisation ou de pilotage tel que

précité.

[0023] Bien entendu, les différentes caractéristiques, variantes et formes de réalisation de l'invention peuvent être associées les unes avec les autres selon diverses combinaisons dans la mesure où elles ne sont pas incompatibles ou exclusives les unes des autres.

### **Description détaillée de l'invention**

[0024] La description qui va suivre en regard des dessins annexés, donnés à titre d'exemples non limitatifs, fera bien comprendre en quoi consiste l'invention et comment elle peut être réalisée.

[0025] Sur les dessins annexés :

[0026] [Fig.1] est une vue schématique d'un véhicule automobile adapté à mettre en œuvre un procédé conforme à la présente invention ;

[0027] [Fig.2] est une vue schématique de dessus du véhicule automobile de la [Fig.1], sur laquelle apparaissent des lignes de bord de voies de circulation ;

[0028] [Fig.3] est un schéma-bloc illustrant les différentes étapes d'un procédé conforme à la présente invention.

[0029] Sur la [Fig.1], on a représenté un véhicule 10 automobile adapté à mettre en œuvre l'invention.

[0030] Il s'agit ici d'une voiture. En variante, il pourrait s'agir d'un autre type de véhicule (camion, moto...).

[0031] Ici, ce véhicule 10 comporte classiquement un habitacle dans lequel se trouvent notamment un siège pour le conducteur 20 du véhicule, une planche de bord avec un écran d'affichage, et un volant 12.

[0032] Ce véhicule 10 comporte un groupe motopropulseur, un système de freinage et un système de direction permettant de faire tourner le véhicule (non visibles sur la figure). Classiquement, le système de direction comporte un actionneur de direction assistée pilotable électroniquement, le groupe motopropulseur comporte un actionneur de commande de moteur pilotable électroniquement, et le système de freinage comporte un actionneur de freinage pilotable électroniquement.

[0033] Le véhicule 10 comporte par ailleurs une unité électronique et/ou informatique de traitement (ci-après appelée calculateur 11) comprenant au moins un microprocesseur ou microcontrôleur, au moins une mémoire et des interfaces d'entrée et de sortie.

[0034] Grâce à ses interfaces d'entrée, le calculateur 11 est adapté à recevoir différentes données d'entrée, qui proviennent de capteurs ou de calculateurs tiers.

[0035] Parmi ces capteurs, il est prévu au moins un capteur permettant de détecter les bords de la route, par exemple :

- une caméra frontale, et/ou
- un télédéetecteur RADAR ou LIDAR.

- [0036] Grâce à ses interfaces de sortie, le calculateur 11 est adapté à commander l'écran d'affichage, l'actionneur de direction assistée, l'actionneur de commande de moteur, et l'actionneur de freinage.
- [0037] Ainsi, le calculateur 11 est adapté à mettre en œuvre des fonctions d'aide à la conduite et/ou des fonctions de conduite automatisée (dans lesquelles le véhicule peut évoluer dans la circulation de façon autonome, sans intervention du conducteur).
- [0038] Grâce à sa mémoire, le calculateur 11 mémorise une application informatique, constituée de programmes d'ordinateur comprenant des instructions dont l'exécution par le calculateur permet la mise en œuvre du procédé décrit ci-après.
- [0039] Sur la [Fig.2], on a représenté le véhicule automobile 10 vu de dessus, alors qu'il emprunte une voie de circulation V0 d'une route.
- [0040] Deux voies de circulation V0, V1 sont ici représentées, à savoir celle empruntée par le véhicule automobile 10 et une voie plus à gauche. Bien entendu, l'invention pourra s'appliquer à toutes les configurations de route possibles.
- [0041] Sur cette [Fig.2], on observe que chaque voie de circulation V0, V1 est délimitée par deux lignes de bord de voie, à savoir des lignes de bord gauche 33 et droite 31 (ici, les termes droite et gauche sont utilisés en considérant la direction d'avance du véhicule), et une ligne de bord intermédiaire 32.
- [0042] Les lignes de bord de voie peuvent être formées par des marquage routiers apposés sur la route (ligne blanche continue, ligne discontinue...), par des barrières de sécurité, par des accotements en relief ou par tout autre élément distinctif.
- [0043] Sur cette [Fig.2], on a également représenté un repère (X, Y) attaché au véhicule automobile 10, qui sera celui considéré pour les calculs développés ci-après. Ce repère comporte une abscisse qui s'étend selon l'axe longitudinal du véhicule, vers l'avant, et une ordonnée qui s'étend vers la gauche du véhicule. Son origine est située par exemple au niveau du centre de gravité du véhicule automobile 10 ou au niveau du centre de son essieu arrière.
- [0044] Sur la [Fig.3], on a illustré le procédé que le calculateur 11 est adapté à mettre en œuvre de façon à caractériser la posture du véhicule 10.
- [0045] Par posture, on entend notamment la position. Ce terme de « posture » peut également faire référence à d'autres concepts, par exemple à l'orientation du véhicule par rapport à la voie ou au fait que le véhicule réalise ou non un changement de voie de circulation.
- [0046] L'idée consiste ici principalement à affecter au véhicule 10 une voie de circulation, c'est-à-dire à identifier sur quelle voie de circulation le véhicule 10 se trouve, cette voie de circulation étant ci-après appelée « voie empruntée ».
- [0047] Le procédé selon l'invention comporte plusieurs étapes successives, l'ensemble de ces étapes étant répété en boucle à intervalles réguliers de façon à régulièrement mettre

à jour l'identification de la voie empruntée.

[0048] Les étapes détaillées de ce procédé sont les suivantes.

[0049] On pourra dans cet exemple considérer que le procédé est mis en œuvre à un instant T, et qu'il était déjà mis en œuvre à des instants précédents (T-1, T-2...).

[0050] Au cours de la première étape S1, le calculateur 11 tente d'acquérir des informations relatives à la route 30 et au véhicule automobile 10.

[0051] Il tente tout d'abord d'acquérir des informations caractérisant les trois lignes de bord de voie 31, 32, 33.

[0052] Ces informations sont fournies directement par un capteur (par exemple sous forme de distance entre la ligne et le capteur).

[0053] De manière préférentielle, seules les informations mesurées par les capteurs du véhicule sont ici employées pour détecter ces lignes. Aucune information reçue d'infrastructures routières ou de véhicules tiers n'est par exemple utilisée.

[0054] Ces informations peuvent être obtenues directement (telles que mesurées) ou être soumises à une procédure de fusion des données (ou toute autre procédure, typiquement d'association des données) afin d'améliorer leur fiabilité.

[0055] Ici, chaque ligne de bord de voie est modélisée par le calculateur sous forme analytique.

[0056] A titre d'exemple, on pourrait prévoir que ces lignes soient modélisées sous une forme polynomiale. Toutefois, ici, elles sont modélisées sous forme de clothoïdes, cette forme étant privilégiée car fournissant de meilleurs résultats (pour un nombre identique de coefficients pris en compte).

[0057] Une telle clothoïde est définie comme présentant une courbure  $c$  qui dépend de sa longueur, ce que l'on peut écrire :

[0058] [Math.1]

$$c(l) = c_0 + c_1 l$$

[0059] Dans cette équation :

- $c$  est donc l'équation de la clothoïde,
- $l$  est l'abscisse curviligne de l'arc de la clothoïde, qui varie entre 0 compris et L compris,
- L est la longueur de l'arc de la clothoïde,
- $c_0$  est la courbure à l'origine de l'arc, et
- $c_1$  est le taux de variation de courbure de l'arc.

[0060] En d'autres termes, une clothoïde peut être définie par six coefficients que sont :

- $x_0$ , l'abscisse du point d'origine M de la clothoïde dans le repère (X, Y),
- $y_0$  l'ordonnée de ce point d'origine M,
- $\Psi_0$  qui est l'angle de cap de la clothoïde à l'origine de l'arc,
- L,

-  $c_0$ , et

-  $c_1$ .

[0061] Dans la suite, chaque clothoïde sera définie par l'ensemble C de ces six coefficients, ce que l'on pourra noter de la façon suivante : C ( $x_0, y_0, \Psi_0, c_0, c_1, L$ ).

[0062] On notera que le point d'origine M de la clothoïde présentera une position qui dépendra de celle du véhicule. En effet, il s'agira du point de la ligne de bord qui est celui le plus proche du véhicule qui a été détecté par les capteurs.

[0063] Pour information, l'angle de cap le long de la clothoïde peut s'écrire de la manière suivante :

[0064] [Math.2]

$$\Psi(l) = \Psi_0 + \int_0^l c(u) \cdot du = \Psi_0 + c_0 l + \frac{c_1}{2} \cdot l^2$$

[0065] Les coordonnées cartésiennes (x, y) d'un point situé le long de la clothoïde peuvent s'écrire de la manière suivante :

[0066] [Math.3]

$$\begin{cases} x(l) = x_0 + \int_0^l \cos(\Psi(u)) \cdot du \\ y(l) = y_0 + \int_0^l \sin(\Psi(u)) \cdot du \end{cases}$$

[0067] Lors de cette première étape E0, on pourrait envisager que le calculateur 11 reçoive les ensembles C caractérisant les lignes de bord de voie de l'un des capteurs embarqués dans le véhicule (par exemple de la caméra si cette dernière est équipée d'un processeur adapté à réaliser les opérations nécessaires à la détermination des coefficients recherchés). Toutefois, de façon préférentielle, le calculateur 11 reçoit des données relevées par plusieurs des capteurs du véhicule (caméra et RADAR et/ou LIDAR), fusionne ces données, et en déduit les coefficients recherchés.

[0068] Lors de l'étape E0, en plus des coefficients précités, le calculateur 11 reçoit les trois matrices de variance-covariance (ci-après appelées matrices de covariance) associées respectivement aux coefficients des trois lignes de bord de voie 31, 32, 33. Chaque matrice de covariance permet de tenir compte de l'incertitude dans la détection de chaque ligne de bord de voie par le ou les capteurs.

[0069] Ces matrices sont par exemple fournies par le constructeur des capteurs employés. En variante, elles peuvent être déterminées lors d'une campagne de test des capteurs et enregistrées dans la mémoire du calculateur. Les coefficients de ces matrices sont de préférence invariables.

[0070] On notera ici que si plusieurs capteurs sont utilisés pour déterminer les coefficients caractérisant une ligne de bord de voie, leurs incertitudes seront associées entre elles afin d'obtenir la matrice de covariance d'une ligne détectée.

[0071] Le calculateur 11 affecte à ce stade un identifiant à chacune des voies de circulation

V0, V1 détectées.

- [0072] Cet identifiant est par exemple un entier  $i$ , 0 pour la voie la plus à gauche, 1 pour la voie immédiatement à droite de cette dernière...
- [0073] On notera à ce sujet qu'avant que le calculateur affecte un nouvel entier pour une nouvelle voie, il peut consulter sa mémoire et chercher si parmi les voies détectées lors de l'itération précédente, il y en avait une dont les bords de voie portaient déjà les mêmes identifiants, auquel cas le même identifiant sera réutilisé.
- [0074] Le calculateur affecte par ailleurs à chaque ligne de bord de voie 31, 32, 33 détectée un type la caractérisant (par exemple : ligne continue, lignes discontinue, barrière de sécurité, accotement...).
- [0075] Enfin, lors de l'étape E0, le calculateur 11 acquiert des données relatives à la posture et/ou à la cinématique du véhicule automobile 10 sur la route 30. Il s'agit ici de données cinématiques qui sont préférentiellement obtenues grâce aux seuls capteurs embarqués dans le véhicule automobile 10.
- [0076] Ici, ces données comprennent des valeurs de :
- vitesse de lacet du véhicule automobile, exprimée en rad/s,
  - vitesse  $V$  du véhicule automobile par rapport au sol, exprimée en m/s,
  - accélération longitudinale  $a_x$  du véhicule automobile selon l'axe X, exprimée en m/s<sup>2</sup>,
  - accélération latérale  $a_y$  du véhicule automobile selon l'axe Y, exprimée en m/s<sup>2</sup>,
  - accélération en lacet du véhicule automobile, exprimée en rad/s<sup>2</sup>,
  - angle  $\alpha_f$  de la roue avant du véhicule automobile par rapport à l'axe X, exprimée en rad,
  - angle  $\alpha_r$  de la roue arrière du véhicule automobile par rapport à l'axe X, exprimée en rad, et
  - courbure instantanée  $c'$  de la trajectoire du véhicule automobile (cette courbure étant ici définie par l'inverse du rayon de courbure, exprimé en m<sup>-1</sup>).
- [0077] On notera ici que la courbure instantanée  $c'$  peut être ici défini comme :
- [0078] [Math.4]
- $$c' = \tan(\alpha_f / D)$$
- [0079] Avec  $D$  la distance entre les essieux avant et arrière.
- [0080] A ce stade, on notera ici que seules les données instantanées (mesurées ou calculées au pas de temps  $T$ ) sont ici utilisées.
- [0081] En variante, on pourrait en outre utiliser des données acquises précédemment afin de lisser les données utilisées.
- [0082] Comme le montre la flèche en pointillés sur la [Fig.3], si toutes ces données n'ont pas pu être obtenues, le procédé passe directement à l'étape S5.

- [0083] Dans le cas contraire, le procédé se poursuit en une étape S2 de détermination d'un point caractéristique du véhicule automobile 10, ci-après appelé « point critique Pc » et dont les coordonnées sont notées  $(x_c, y_c)$ .
- [0084] Ce point critique Pc est de préférence situé sur ou contenu dans l'enveloppe du véhicule automobile (défini notamment par sa carrosserie, ses vitres...). Toutefois, en variante, il pourrait s'agir d'un point disposé, par sécurité, à une distance réduite de cette enveloppe, à l'extérieur de celle-ci.
- [0085] Ce point critique Pc pourrait présenter une position invariable et prédéfinie. Dans ce cas, sa position serait simplement lue dans la mémoire du calculateur.
- [0086] Toutefois, en variante, il pourra présenter une position variable sur le véhicule, cette position étant par exemple différente selon la fonction de pilotage autonome qui utilisera le résultat du présent procédé (fonction d'évitement d'obstacle, fonction de maintien au centre de la voie de circulation...).
- [0087] A titre d'exemple, le point critique pourrait être situé à un coin du véhicule, notamment si l'objectif est de détecter le plus tôt possible un changement de voie de circulation en déterminant le moment où le point critique franchit la ligne de bord intermédiaire 32. Dans ce cas, il s'agira du point avant du véhicule situé du même côté que le volant.
- [0088] Selon un autre exemple, il pourrait s'agir du centre de gravité du véhicule automobile 10. La position de ce centre de gravité pourra être estimée une fois et être invariable, ou pourra être calculée en fonction par exemple du nombre de passagers dans le véhicule 10. Ce point critique centré sur le centre de gravité sera utile notamment pour réaliser un freinage d'urgence tel que le véhicule 10 reste globalement sur sa voie de circulation. Ce point critique centré sur le centre de gravité sera aussi utile lorsque l'on souhaite afficher sur l'écran intérieur du véhicule la voie sur laquelle se trouve principalement le véhicule.
- [0089] En variante, on pourrait définir non pas un seul point critique, mais un ensemble de plusieurs points critiques Pc, typiquement les quatre coins du véhicule automobile. En effet, avec ces quatre coins, la détection d'un changement de voie de circulation sera toujours réalisée de façon très précoce, quel que soit le côté vers lequel se dirige le véhicule 10.
- [0090] La troisième étape S3 consiste ensuite, pour le calculateur 11, à déterminer la voie dans laquelle se trouve ce point critique Pc.
- [0091] En l'espèce, le point critique Pc est affecté à la voie de circulation V0, V1 pour laquelle il se trouve à droite de sa ligne de bord gauche et à gauche de sa ligne de bord droite.
- [0092] Pour effectuer ce contrôle, le point critique Pc est projeté sur les clothoïdes des différentes lignes de bord de voie. Puis le calculateur procède successivement, voie par

voie, en déterminant si les projetés orthogonaux  $Pc^*$  du point critique  $Pc$  sur les deux lignes de bord bordant cette voie présentent des ordonnées l'une positive et l'autre négative.

- [0093] Plus précisément ici, la voie de circulation  $V0$ ,  $V1$  sélectionnée est celle pour laquelle :
- le produit scalaire du vecteur  $\overline{Pc^*Pc}$  et du vecteur  $\vec{n}$  (à savoir le vecteur normal à la clothoïde au niveau du projeté orthogonal  $Pc^*$ ) pour la clothoïde représentative de l'une des deux lignes de bord 31, 32, 33 délimitant cette voie de circulation  $V0$ ,  $V1$ , multiplié par :
  - le produit scalaire du vecteur  $\overline{Pc^*Pc}$  et du vecteur  $\vec{n}$  (à savoir le vecteur normal à la clothoïde au niveau du projeté orthogonal  $Pc^*$ ) pour la clothoïde représentative de l'autre des deux lignes de bord 31, 32, 33 délimitant cette voie de circulation  $V0$ ,  $V1$ , est négatif.
- [0094] En pratique, le calculateur réalise ce calcul successivement pour chaque voie de circulation, en commençant par la voie la plus à gauche. Dès que le produit des produits scalaires est négatif, le point critique  $Pc$  est affecté à la voie de circulation correspondante. Cette voie de circulation est alors dite « présélectionnée ».
- [0095] On notera que dans la variante où un ensemble de plusieurs points critiques  $Pc$  est considéré, on recherchera ici dans quelle(s) voies de circulation ces points critiques se trouve(nt). Il peut ainsi que plusieurs voies de circulation soient présélectionnées.
- [0096] Si jamais cette étape S3 a permis d'affecter le point critique  $Pc$  à une voie de circulation, le procédé se poursuit en une étape S4.
- [0097] Dans le cas contraire, une étape intermédiaire S3' est prévue.
- [0098] Cette étape intermédiaire S3' consiste à prolonger les clothoïdes définissant les lignes de bord de voie avant de remettre en œuvre le processus de l'étape S3.
- [0099] En effet, comme chaque clothoïde présente une longueur  $L$  finie, il peut arriver que le projeté orthogonal  $Pc^*$  du point critique  $Pc$  se situe non pas sur la clothoïde, mais sur la prolongation de celle-ci, en amont de l'original  $M$  de la clothoïde ou en aval du point d'abscisse curviligne  $L$  de la clothoïde.
- [0100] L'idée consiste donc, si aucun projeté orthogonal  $Pc^*$  n'a été trouvé sur une clothoïde, à prolonger cette dernière d'une longueur limitée (cette longueur est inférieure à 5 mètres et peut être typiquement égale à 3 mètres). Cette longueur est limitée puisqu'il est difficile de prolonger une clothoïde de façon fiable.
- [0101] Ici, avant de réaliser cette prolongation, le calculateur réalise un contrôle. Ce contrôle consiste à vérifier, pour chaque voie, si les coefficients  $\Psi_0$  et  $c_0$  des clothoïdes des lignes bordant cette voie sont supérieures ou non à des valeurs seuils prédéterminées. S'ils sont inférieurs à ces seuils, les clothoïdes sont étendues vers l'arrière sur une longueur de 3 mètres. Sinon, elles ne le sont que sur une longueur réduite inférieure

strictement à 3 mètres.

- [0102] Comme le montre la [Fig.3], si cette étape S3' ne permet pas de parvenir à une solution, aucune voie de circulation n'est sélectionnée et le procédé s'achève (étape S5).
- [0103] Sinon, le procédé se poursuit en une étape S4.
- [0104] Avant de décrire cette étape S4, on peut expliquer comment la projection orthogonale du point critique Pc sur une clothoïde est effectuée.
- [0105] Ici, la projection est réalisée sur la base de la méthode de Newton Raphson.
- [0106] Cette méthode permet de trouver une approximation précise d'un zéro (c'est-à-dire d'une racine) d'une fonction réelle f d'une variable réelle t.
- [0107] Pour introduire cette méthode, on peut définir l'ensemble C(t) comme étant l'ensemble des valeurs des coefficients de la clothoïde considéré au niveau du point d'abscisse curviligne l=t.
- [0108] On peut également définir la variable réelle t\* qui est telle que l'ensemble C(t\*) soit la projection orthogonale Pc\* du point critique Pc sur la clothoïde définie par cet ensemble C. Cette variable réelle t\* constitue donc l'abscisse curviligne du projeté orthogonal Pc\* du point critique Pc sur la clothoïde.
- [0109] On peut enfin définir la fonction f sous la forme suivante :
- [0110] [Math.5]
- $$f(t) = \langle Pc - C(t), C'(t) \rangle$$
- [0111] Dans cette équation, les crochets signifient que l'on réalise le produit scalaire de deux vecteurs. Le premier vecteur est formé par la différence entre les coordonnées (xc, yc) du point critique et les coordonnées cartésiennes (x(t), y(t)) d'un point situé le long de la clothoïde, à l'abscisse curviligne t. Le second vecteur est formé par la dérivée par rapport à l'abscisse curviligne t des coordonnées cartésiennes (x, y) dudit point.
- [0112] On peut aussi écrire cette équation sous la forme :
- [0113] [Math.6]
- $$f(t) = (x_c - x(t)) * \cos \psi_{0,proj} + (y_c - y(t)) * \sin \psi_{0,proj}$$
- [0114] Dans cette équation, le terme  $\Psi_{0,proj}$  est égal à l'angle de cap de la clothoïde au niveau du projeté orthogonal Pc\*.
- [0115] Par conséquent, on peut aussi écrire :
- [0116] [Math.7]
- $$f'(t) = \langle P - C(t), C''(t) \rangle - \|C''(t)\|^2$$
- [0117] Ainsi que :
- [0118] [Math.8]
- $$f'(t) = \langle P - C(t), (-\sin(\psi(t)), \cos(\psi(t))) * c_1(t) \rangle - 1$$
- [0119] L'objectif est alors de trouver le zéro de la fonction f.

- [0120] En pratique, pour trouver ce zéro, on considère en entrée les coefficients de la clothoïde considérée, ainsi que les coordonnées du point critique  $P_c$  à projeter.
- [0121] Puis, le calculateur sélectionne un point de départ sur la clothoïde à partir duquel le projeté orthogonal  $P_c^*$  sera recherché. En effet, cette méthode consiste à tester des points de départ différents puis, pour chaque point de départ, à tenter de faire converger l'algorithme vers une solution constituant le projeté orthogonal  $P_c^*$ . Cette tentative de faire converger l'algorithme est réalisée un nombre fini d'itérations (par exemple une vingtaine de fois). Ainsi, tant que la méthode ne converge pas rapidement, on recommence avec d'autres points de départ.
- [0122] A titre d'exemple, les points de départ successivement utilisés pourront être les points de coordonnées :
- $(x(L/2), y(L/2))$ ,
  - $(x(0), y(0))$ ,
  - $(x(L), y(L))$ .
- [0123] En d'autres termes, si on considère que  $s_0$  est l'abscisse curviligne du point de départ sur la clothoïde, alors les points précités correspondent à :
- $s_0 = L/2$ ,
  - $s_0 = 0$ ,
  - $s_0 = L$ .
- [0124] On peut alors formuler l'algorithme de recherche du projeté orthogonal  $P_c^*$  de la manière suivante.
- [0125] Tant que le nombre  $n$  d'itérations reste inférieur à un seuil prédéterminé  $N_{\max}$  et que la solution  $t^*$  n'a pas été trouvée, le procédé suivant est répété en boucle.
- [0126] Ce procédé comporte la détermination des termes de la clothoïde au point d'abscisse curviligne  $s$  considéré (lors de la première boucle  $s=s_0$ ), de façon à obtenir :
- $M_{0,\text{proj}}(x(s), y(s))$ ,
  - $\Psi_{0,\text{proj}} = \Psi(s)$ ,
  - $c_{0,\text{proj}} = c(s)$ .
- [0127] De ce fait, la valeur de la fonction  $f(s)$  peut être obtenue, ainsi que celle de sa dérivée  $f'(s)$ , grâce aux équations Math.6 et math.8.
- [0128] Si la valeur absolue de cette dérivée est inférieure à un seuil  $\varepsilon$  prédéterminé très proche de zéro (de l'ordre de 0,01 mètre), alors on considère que le projeté est le bon, ce qu'on peut écrire  $t^*=s$ .
- [0129] Dans le cas contraire, on recommence en un point décalé du point envisagé d'abscisse  $s$ , ce point décalé ayant une abscisse  $s+ds$ , avec :
- [0130] [Math.9]
- $$ds = - f(s) / f'(s)$$
- [0131] Pour cela, la première étape consiste à vérifier si le nouveau point est sur la clothoïde

(cette dernière présentant une longueur L finie). En d'autres termes, le calculateur vérifie que le point de coordonnées  $(x(s+ds), y(s+ds))$  appartient bien à l'ensemble C considéré.

[0132] Puis, si ds est strictement positif, on affecte à la valeur ds le minimum des valeurs de L-s et ds, tandis que si ds est strictement négatif, on affecte à la valeur ds le maximum des valeurs -s et ds. Ainsi, dans le cas où le point s était en dehors de la clothoïde, on affecte au point s la valeur 0 si s était négatif ou L si s était positif.

[0133] Puis, si le nombre d'itérations n n'a pas atteint le seuil maximum Nmax, on affecte à l'abscisse s la valeur s+ds, et on incrémente le compteur n.

[0134] Pour décider si la solution est conservée, le processus calcule la valeur de la fonction f(s) et vérifie si elle est suffisamment proche de 0 (compte tenu de  $\epsilon$ ). C'est le cas quand le point Pc est très proche de la clothoïde, avec une précision de  $\epsilon$ .

[0135] Si ce n'est pas le cas, le calculateur calcule le cosinus au point de la solution qui doit être assez proche de zéro pour que la solution soit conservée :

[0136] [Math.10]

$$\text{cosinus} = \frac{f(s)}{\sqrt{(x_p - x(s))^2 + (y_p - y(s))^2}}$$

[0137] Ce calcul est opéré lorsque le point critique Pc a une projection orthogonale sur la clothoïde.

[0138] Ainsi, si la projection orthogonal Pc\* du point critique Pc sur la clothoïde existe, alors le calculateur détermine la distance euclidienne entre le point critique Pc et son projeté orthogonal Pc\*, ainsi que le produit scalaire  $\langle \text{Pc}^* \text{Pc}, \vec{n} \rangle$ .

[0139] Les mêmes étapes sont appliquées pour les deux lignes de bord de voie considérées.

[0140] Après que les deux lignes de bord de voie ont été testés, on considère que le point critique Pc appartient bien à la voie de circulation testé si les distances euclidiennes entre les points Pc\* et Pc sont non nulles et si le produit des deux produits scalaires  $\langle \text{Pc}^* \text{Pc}, \vec{n} \rangle$  calculés donne un résultat négatif.

[0141] Au stade de l'étape S4, on considère qu'une voie de circulation a pu être présélectionnée. L'idée consiste alors à vérifier que cette voie de circulation est utilisable par le véhicule automobile 10.

[0142] En effet, il peut arriver que des voies de circulation inexistantes ou inemployables soient détectées. Typiquement, le calculateur peut avoir détecté à tort une voie de circulation entre une ligne de marquage au sol et une barrière de sécurité, ou une voie cyclable.

[0143] Alors, lors de cette étape, le calculateur compare la largeur du véhicule automobile 10 (qui est connue et stockée dans sa mémoire) avec la largeur de la voie de circulation présélectionnée.

[0144] La largeur de la voie de circulation peut être obtenue en déterminant l'écart latéral

entre les deux projections du point critique sur les lignes de bord de la voie de circulation présélectionnée. En variante, elle pourrait être obtenue autrement (par exemple en lisant cette donnée dans un logiciel de cartographie).

[0145] Si la largeur du véhicule est supérieure à celle de la voie de circulation, cette voie n'est pas sélectionnée et le procédé s'achève (étape S5).

[0146] Sinon, le procédé se poursuit en une étape S6.

[0147] On notera que dans la variante où un ensemble de plusieurs points critiques Pc est considéré, s'il a été détecté que le véhicule se trouve dans plusieurs voies de circulation simultanément (une voie principale dans laquelle se trouve le point critique le plus important et une voie secondaire), les trois cas suivants sont envisageables :

- les largeurs des deux voies de circulation sont inférieures à la largeur du véhicule, auquel cas le procédé s'achève (étape S5),

- la largeur de la voie de circulation principale est supérieure à la largeur du véhicule, auquel cas le procédé se poursuit (« étape S6) en considérant cette voie de circulation principale,

- la largeur de la voie de circulation principale est inférieure à la largeur du véhicule mais la largeur de la voie de circulation secondaire est supérieure à la largeur du véhicule, auquel cas le procédé se poursuit (« étape S6) en considérant cette voie de circulation secondaire.

[0148] L'étape S6 consiste alors simplement à passer la voie de circulation présélectionnée en « sélectionnée ».

[0149] A ce stade, au cours d'une étape S7, le calculateur acquiert dans sa mémoire l'identifiant de la voie de circulation sélectionnée au pas de temps précédent T-1.

[0150] Il est ainsi en mesure de déterminer si le véhicule automobile est resté sur sa voie de circulation, a changé de voie vers la gauche, ou a changé de voie vers la droite, en comparant simplement les identifiants des voies de circulation sélectionnées au pas de temps courant T et au pas de temps précédent T-1.

[0151] Dans la variante précitée où plusieurs points critiques sont considérés et où une voie principale et une voie secondaire ont été détectées, cette détection permet de confirmer le résultat de cette étape S7.

[0152] Il peut arriver qu'une voie de circulation sélectionnée à l'itération précédente (T-1) n'existe plus à l'itération courante (T). Cela peut être dû à une configuration de route particulière (fusion de deux voies de circulation en une seule, séparation d'une voie en deux, changement de forme de route pour entrer dans un rond-point...) ou à une défaillance de la détection de voie par les capteurs.

[0153] Ce type d'événement sera perçu en utilisant les identifiants uniques des voies de circulation (lequel disparaîtra entre les instants T-1 et T).

[0154] Ainsi, le calculateur pourra détecter cet événement, si bien que dans cette éventualité,

le calculateur n'émettra pas de signal de changement de voie valide.

- [0155] Au cours d'une étape S8, lorsqu'une voie de circulation a été sélectionnée, le calculateur calcule le temps  $\delta t$  nécessaire pour que le véhicule traverse l'une des deux lignes de bord qui bordent cette voie de circulation et/ou la position de la zone dans laquelle le véhicule franchira cette ligne de bord.
- [0156] Ces deux informations sont en effet utiles pour exécuter une fonction de pilotage automatisé du véhicule 10.
- [0157] En pratique, cette étape est mise en œuvre pour les deux lignes de bord qui bordent la voie de circulation sélectionnée, excepté si l'une ou l'autre de ces deux lignes borde la route (notamment s'il s'agit d'une barrière de sécurité).
- [0158] Pour calculer le temps  $\delta t$  nécessaire pour que le véhicule traverse les lignes de bord, il est nécessaire de générer une trajectoire T0 du véhicule à l'aide d'au moins un modèle (voir [Fig.2]).
- [0159] Différents modèles peuvent être utilisés à cet effet.
- [0160] Typiquement, on pourra utiliser un modèle à courbure et accélération longitudinale constantes (modèle CCLA, de l'anglais « Constant Curvature And Longitudinal Acceleration »), mais en variante, on pourrait utiliser un modèle à courbure et vitesse longitudinale constantes (modèle CCALV de l'anglais « Constant Curvature And Longitudinal Velocity »). D'autres modèles pourraient également être employés.
- [0161] La détermination de la trajectoire est réalisée sur une durée de prédiction prédéterminée, de quelques secondes au maximum (ici 5 secondes).
- [0162] Une fois la trajectoire T0 obtenue, le calculateur détermine la position de l'intersection éventuelle entre la trajectoire T0 et la ou les lignes de bord bordant la voie de circulation sélectionnée.
- [0163] Ici encore, ce calcul est réalisé à l'aide de la méthode de Newton-Raphson en deux dimensions.
- [0164] On notera que lorsqu'aucune intersection n'est détectée, la solution  $\delta t$  sera formé par un temps infini.
- [0165] Sinon, la solution  $\delta t$  sera formée par le temps nécessaire pour arriver à cette intersection.
- [0166] On peut ici décrire plus en détail comment l'intersection entre la trajectoire T0 du véhicule 10 et chaque clothoïde considérée est recherchée.
- [0167] A ce stade, le calculateur connaît l'ensemble C des paramètres définissant la clothoïde illustrant la ligne de bord considérée (les deux lignes étant considérées l'une après l'autre).
- [0168] Le calculateur connaît également les données relatives à la dynamique du véhicule à l'instant T, à savoir :
- sa position  $xx_0, yy_0,$

- son cap  $\theta_0$ ,
- sa vitesse  $v_0$ ,
- son accélération  $a_0$ ,
- la courbure instantanée  $c$  de sa trajectoire (voir équation Math.4), et
- la durée de validité  $\Delta T$  du modèle.

[0169] Il est donc en mesure de calculer la trajectoire du véhicule automobile, par exemple sous forme cartésienne.

[0170] Alors, le calculateur détermine, si elle existe, la racine de l'expression :

[0171] [Math. 11]

[0172]  $[x(s);y(s)] = [xx(t');yy(t')]$

[0173] Cette expression signifie qu'on recherche l'abscisse curviligne  $s$  de la clothoïde considérée et l'instant  $t'$  où la trajectoire du véhicule intersecte cette clothoïde.

[0174] Dans cette expression,  $s$  et  $t'$  sont donc respectivement compris dans les intervalles  $[0; L]$  et  $[0; \Delta T]$ .

[0175] Dans cette expression également,  $[x(s);y(s)]$  sont les coordonnées cartésiennes de la clothoïde considérée, et  $[xx(t');yy(t')]$  sont les coordonnées cartésiennes de la trajectoire considérée, ici de type CCLA.

[0176] On peut alors tout d'abord définir les notions et principes permettant s'appliquer la méthode de Newton à la détermination de cette intersection.

[0177] On peut ainsi introduire une nouvelle fonction  $f: \mathcal{R}^2 \rightarrow \mathcal{R}^2$ .

[0178] Etant donné un point de départ  $u_0$ , on peut écrire la suite suivante :

[0179] [Math.12]

$$u(n+1) = u(n) - \text{inv}(J(u(n))) * f(u(n))$$

[0180] Dans cette équation  $J$  est le jacobien de la fonction  $f$ .

[0181] Ici, la fonction  $f$  est définie de la manière suivante :

[0182] [Math.13]

$$f(s, t') = \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(s) - xx(t') \\ y(s) - yy(t') \end{bmatrix}$$

[0183] Les termes  $x(s)$  et  $y(s)$  sont définis par l'équation Math.3.

[0184] Les termes  $xx(t')$  et  $yy(t')$  sont définis à l'aide du modèle considéré, de la manière suivante :

[0185] [Math.14]

$$\begin{cases} xx(t) = xx0 + \frac{1}{c} \cdot (\sin(\theta(t')) - \sin(\theta_0)) \\ yy(t) = yy0 - \frac{1}{c} \cdot (\cos(\theta(t')) - \cos(\theta_0)) \end{cases}$$

[0186] Dans ces équations, on a utilisé le terme  $\theta$  qui peut être défini par :

[0187] [Math.15]

$$\theta(t) = \theta_0 + c(v_0 \cdot t' + a_0 t' \cdot t' / 2)$$

[0188] Où :

[0189] [Math.16]

$$v(t) = v_0 + a_0 t'$$

[0190] Puisqu'on considère l'accélération constante.

[0191] Le jacobien est quant à lui donné par l'expression :

[0192] [Math.17]

$$J(s, t') = [\cos(\psi(s)), -v(t').\cos(\theta(t')); \sin(\psi(s)), -v(t')*\sin(\theta(t'))]$$

[0193]  $\psi(s)$  est définie dans l'équation Math.2.

[0194] Ainsi, on peut écrire :

[0195] [Math.18]

$$|J(s, t')| = v(t')*\sin(\psi(s) - \theta(t'))$$

[0196] Ainsi que :

[0197] [Math.19]

$$\text{inv}(J(s, t')) = 1/|J|[-v(t')*\sin(\theta(t')), v(t')*\cos(\theta(t')); -\sin(\psi(s)), \cos(\psi(s))]$$

[0198] On peut noter que pour éviter que le couple (s,t') sorte de son intervalle  $[0;L] \times [0;T]$ , nous limitons le déplacement au plus grande déplacement qui garde ce couple de valeurs dans son intervalle.

[0199] On notera aussi qu'il peut exister plus d'une solution, et que la convergence vers une solution n'est pas garantie.

[0200] En pratique, les étapes de détermination de l'intersection sont les suivantes.

[0201] Tant que le nombre d'itérations m déjà effectuées est inférieur à un seuil maximum Mmax, le calculateur détermine la fonction  $f(s,t')$ , tout d'abord pour une valeur initiale d'abscisse curviligne s et sur la base des valeurs acquises des paramètres du véhicule.

[0202] Il vérifie ensuite si la somme  $f_x^2 + f_y^2$  est inférieure à un seuil prédéterminé, proche de zéro.

[0203] Si c'est le cas, le processus s'interrompt puisque la solution trouvée est satisfaisante. En effet la solution est située à proximité immédiate du point d'intersection.

[0204] Dans le cas contraire, il calcule le Jacobien  $J(s,t')$ .

[0205] Si la valeur absolue de ce Jacobien est inférieure à un seuil proche de zéro, on considère qu'aucune solution n'a été trouvé et le processus s'interrompt.

[0206] Sinon, le calculateur calcule le produit  $\text{inv}(J(s,t')).f(s,t')$ .

[0207] On notera ici :

[0208] [Math.20]

$$(ds, dt) = \text{inv}(J(s, t')).f(s, t')$$

[0209] Il est alors nécessaire de définir des contraintes sur le déplacement (ds, dt) pour éviter que le couple (s,t') sorte de l'intervalle, puisque la méthode de Newton ne le prévoit pas.

- [0210] Pour cela, l'idée consiste à calculer la valeur  $l$  positive la plus proche du déplacement jusqu'à 1 dans cette direction, c'est-à-dire trouver la valeur maximum de  $l$  compris dans l'intervalle  $[0;1]$  qui est telle que la somme  $s + l.ds$  se trouve dans l'intervalle  $[0; L]$  et que la somme  $t' + l.dt$  se trouve dans l'intervalle  $[0; T]$ .
- [0211] Le déplacement ( $ds, dt$ ) est alors mis à jour.
- [0212] Si la somme  $ds^2+dt^2$  est trop petite (par exemple inférieure à un seuil de 0.0001), aucune solution n'est trouvée et la boucle s'interrompt.
- [0213] Si le nombre  $m$  d'itérations n'a pas encore atteint le seuil maximum  $M_{max}$ , les valeurs de  $s$  et  $t'$  sont mises à jour, ainsi que celles des sommes  $s+ds$  et  $t'+dt$  associées aux intervalles  $[0; L]$  et  $[0;T]$ .
- [0214] Si le nombre  $m$  d'itérations a atteint le seuil maximum  $M_{max}$ , les itérations cessent.
- [0215] Dès que la solution a déjà été détectée, les valeurs appropriées sur la clothoïde sont indiquées, si bien qu'il est possible d'en déduire le temps nécessaire pour que le véhicule coupe la ligne de bord.
- [0216] Ainsi, ce processus permet de déterminer tant le temps  $\delta t$  nécessaire pour que le véhicule traverse l'une des deux lignes de bord qui bordent la voie de circulation sélectionnée que la position de la zone dans laquelle le véhicule franchira cette ligne de bord.
- [0217] Enfin, au cours d'une étape S9, la voie de circulation sélectionnée est stockée dans la mémoire du calculateur, avec son identifiant et les équations de ses lignes gauche et droite. Sur la base de cette mémoire, à chaque itération, le calculateur pourra, à l'étape S6 obtenir des informations relatives à un changement de voie.
- [0218] A l'étape S10, il est prévu d'élaborer différentes données en vue de leur utilisation par plusieurs « clients », c'est-à-dire en vue de leur utilisation dans différentes fonctions de pilotage automatisé du véhicule 10.
- [0219] Ainsi, un indicateur est élaboré pour indiquer si une voie a bien été sélectionnée.
- [0220] En outre, le calculateur détermine l'identifiant de la voie de circulation sélectionnée.
- [0221] Une donnée est aussi élaborée pour indiquer si un changement de voie de circulation a lieu, et vers quel côté.
- [0222] Enfin, toutes ces données sont regroupées dans un nouvel enregistrement de la mémoire, ainsi que toutes les autres données calculées (notamment la position estimée de franchissement d'une ligne de bord et le temps nécessaire pour y parvenir).
- [0223] A ce stade, on peut décrire l'étape S5 citée supra.
- [0224] Comme cela a été expliqué, cette étape correspond au cas où aucune voie de circulation n'a été sélectionnée, par exemple si la voie pré-sélectionnée était trop étroite ou si les données relatives aux lignes de bord de voie n'étaient pas disponibles, ou encore si le véhicule est placé à côté des voies détectées.
- [0225] Dans ces différentes éventualités, l'étape S5 interrompt une partie du processus, mais

l'étape S7 reste mise en œuvre pour élaborer un indicateur informant qu'aucun changement de voie n'a pu être détecté à cause d'un problème. Cet indicateur est ensuite mis en mémoire à l'étape S10.

- [0226] Les données mises en mémoire sont ensuite soit directement transmises aux clients qui en ont besoin (système de freinage automatique, système de centrage du véhicule dans sa voie, système d'évitement d'obstacle, système d'affichage d'une représentation du véhicule dans sa voie...), soit émises sur le réseau du véhicule de manière que les clients puissent y lire les informations nécessaires à leur bon fonctionnement.
- [0227] La présente invention n'est nullement limitée au mode de réalisation décrit et représenté, mais l'homme du métier saura y apporter toute variante conforme à l'invention.
- [0228] Typiquement, dans le mode de réalisation décrit supra, le calculateur cherche à caractériser la posture du véhicule qui l'embarque sur la route. Bien entendu, il pourra utiliser ce même procédé pour caractériser la posture de chaque objet mobile situé dans l'environnement du véhicule 10.
- [0229] Par ailleurs, le procédé décrit supra pourra s'appliquer dans des domaines autres que le domaine de l'automobile, par exemple dans le domaine de la robotique. Typiquement, elle pourra s'appliquer à des robots prévus pour circuler dans un entrepôt, sur des axes de circulation à plusieurs voies.

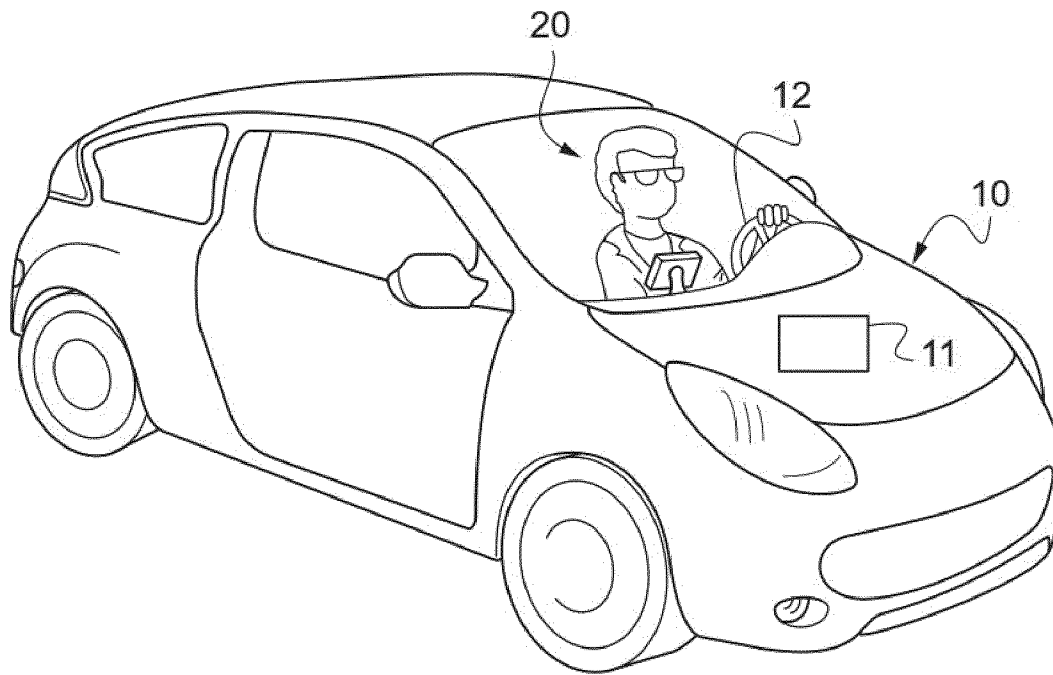
## Revendications

- [Revendication 1] Procédé de caractérisation d'une posture d'un objet mobile se déplaçant sur un axe de circulation comportant plusieurs voies de circulation (V0, V1), le procédé comprenant des étapes mises en œuvre par un calculateur (11) :
- d'acquisition de données caractérisant des lignes de bord (31, 32, 33) délimitant chaque voie de circulation (V0, V1),
  - de projection d'un point critique (Pc) attaché audit objet mobile sur des courbes représentatives desdites lignes de bord (31, 32, 33), lesdites courbes représentatives étant déduites des données acquises, et
  - de sélection de la voie de circulation (V0, V1) sur laquelle se trouve le point critique (Pc), compte tenu desdites projections.
- [Revendication 2] Procédé de caractérisation selon la revendication 1, dans lequel la voie de circulation (V0, V1) sélectionnée est celle pour laquelle le produit de deux produits scalaires est négatif, chaque produit scalaire étant calculé pour l'une des deux courbes représentatives des deux lignes de bord (31, 32, 33) délimitant cette voie de circulation (V0, V1) entre, d'une part, le vecteur formé par le point critique (Pc) et la projection du point critique (Pc) sur ladite courbe et un vecteur normal à ladite courbe au niveau de la projection du point critique (Pc).
- [Revendication 3] Procédé de caractérisation selon la revendication 1 ou 2, dans lequel les étapes de projection et de sélection sont répétées avec au moins un autre point critique (Pc) attaché audit objet mobile.
- [Revendication 4] Procédé de caractérisation selon la revendication 3, dans lequel si deux voies de circulation (V0, V1) sont sélectionnées, il est déterminé que l'objet mobile change de voie de circulation (V0, V1).
- [Revendication 5] Procédé de caractérisation selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel, les étapes d'acquisition, de projection et de sélection étant réalisées à un instant courant, il est prévu d'acquérir quelle voie de circulation (V0, V1) était sélectionnée à un instant précédant l'instant courant, et de déterminer si l'objet mobile a changé de voie de circulation (V0, V1) en comparant la voie de circulation (V0, V1) sélectionnée à l'instant précédent avec la voie de circulation (V0, V1) sélectionnée à l'instant courant.
- [Revendication 6] Procédé de caractérisation selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel il est prévu de déterminer la largeur de la voie de circulation (V0, V1) sélectionnée, par exemple compte tenu des projections du point

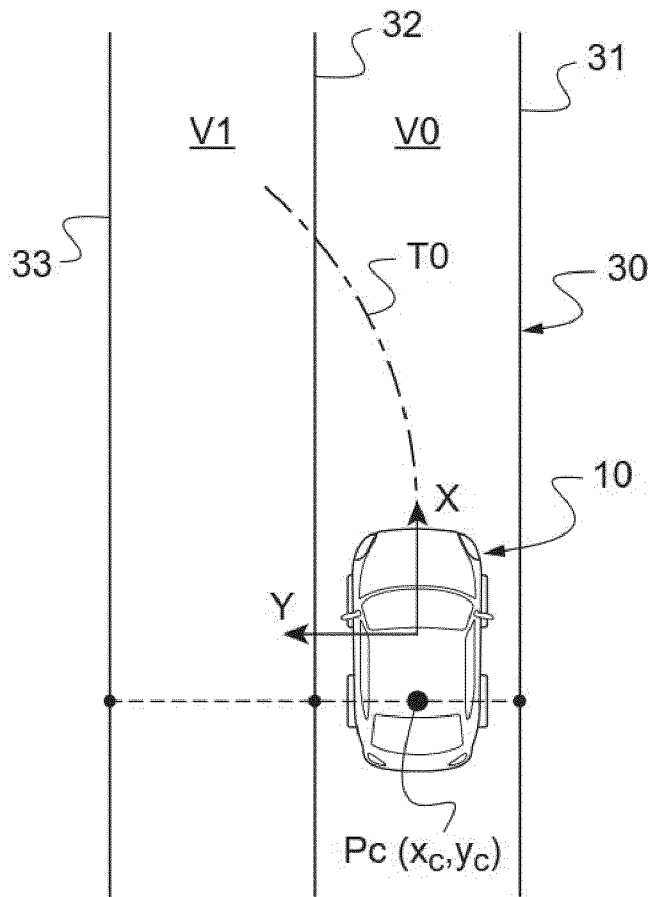
critique (Pc), et de valider la sélection de la voie de circulation (V0, V1) sélectionnée uniquement si ladite largeur est supérieure à une largeur prédéterminée de l'objet mobile.

- [Revendication 7] Procédé de caractérisation selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel les courbes représentatives desdites lignes de bord (31, 32, 33) présentant des longueurs limitées, si la projeté du point critique (Pc) sur l'une des courbes représentatives n'existe pas, il est prévu de prolonger ladite courbe représentative.
- [Revendication 8] Procédé de caractérisation selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel il est prévu de déterminer une durée estimée avant que l'objet mobile coupe l'une au moins des lignes de bord (31, 32, 33) bordant la voie de circulation présélectionnée.
- [Revendication 9] Procédé de caractérisation selon la revendication 8, dans lequel ladite durée est estimée en modélisant une trajectoire future de l'objet mobile et en déterminant l'intersection entre la trajectoire future et la ligne de bord (31, 32, 33), de préférence à l'aide d'une méthode de Newton-Raphson.
- [Revendication 10] Procédé de pilotage d'un véhicule automobile (10) roulant sur une route (30) comportant plusieurs voies de circulation (V0, V1), le procédé comportant :
- une opération de caractérisation de la posture du véhicule automobile (10) au moyen d'un procédé de caractérisation conforme à l'une des revendications 1 à 9, et
  - une opération de pilotage automatique du véhicule automobile (10) en fonction de la voie de circulation sélectionnée, par exemple pour maintenir ou centrer le véhicule automobile (10) dans la voie de circulation sélectionnée.
- [Revendication 11] Véhicule automobile (10) comportant des moyens d'acquisition de données caractérisant des lignes de bord (31, 32, 33) délimitant chaque voie de circulation (V0, V1) d'une route (30) empruntée par le véhicule automobile (10), caractérisé en ce qu'il comporte en outre un calculateur (11) programmé pour mettre en œuvre un procédé de caractérisation conforme à l'une des revendications 1 à 9 et/ou un procédé de pilotage conforme à la revendication 10.

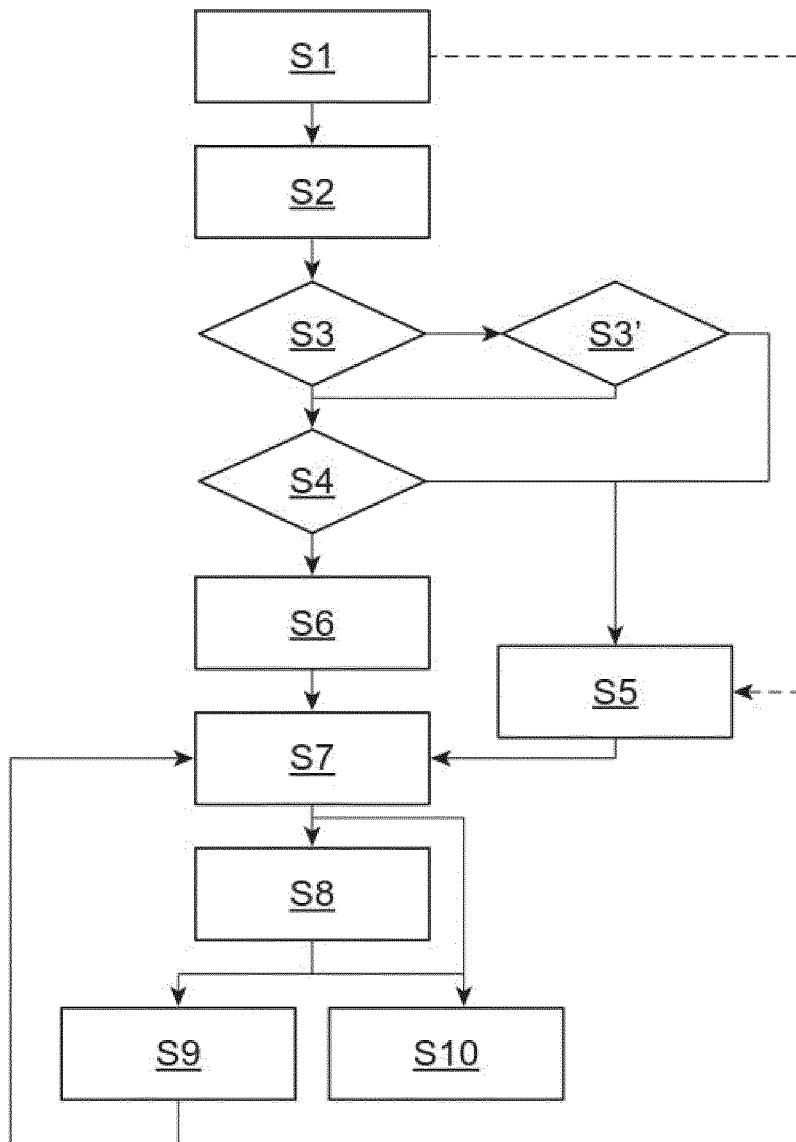
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2024/065979****A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****G08G 1/056**(2006.01)i; **G08G 1/16**(2006.01)i; **B60W 40/072**(2012.01)i; **G06V 20/56**(2022.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G08G; B60W; G06V

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	FR 3098778 A1 (RENAULT SAS [FR]; NISSAN MOTOR [JP]) 22 January 2021 (2021-01-22) abstract; figures 1-8 paragraph [0006] - paragraph [0032] paragraph [0041] - paragraph [0064] paragraph [0069] - paragraph [0096] paragraph [0101] - paragraph [0106]	1-11
A	US 2020094837 A1 (KATO DAICHI [JP]) 26 March 2020 (2020-03-26) paragraphs [0087], [0121], [0123]	1-11
A	FR 3106918 A1 (RENAULT SAS [FR]; NISSAN MOTOR [JP]) 06 August 2021 (2021-08-06) the whole document	1-11

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&amp;” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

**31 July 2024**

Date of mailing of the international search report

**16 August 2024**

Name and mailing address of the ISA/EP

**European Patent Office  
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk  
Netherlands (Kingdom of the)**

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

**Fiorenzo Catalano, M**

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/EP2024/065979**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
FR	3098778	A1	22 January 2021	CN	114762011	A	15 July 2022
				EP	3999997	A1	25 May 2022
				FR	3098778	A1	22 January 2021
				WO	2021008775	A1	21 January 2021
-----							
US	2020094837	A1	26 March 2020	CN	110949388	A	03 April 2020
				JP	7229710	B2	28 February 2023
				JP	2020050086	A	02 April 2020
				US	2020094837	A1	26 March 2020
-----							
FR	3106918	A1	06 August 2021	NONE			
-----							

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2024/065979

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**

INV. G08G1/056 G08G1/16 B60W40/072 G06V20/56  
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)  
G08G B60W G06V

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)  
EPO- Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	FR 3 098 778 A1 (RENAULT SAS [FR]; NISSAN MOTOR [JP]) 22 janvier 2021 (2021-01-22) abrégé; figures 1-8 alinéa [0006] - alinéa [0032] alinéa [0041] - alinéa [0064] alinéa [0069] - alinéa [0096] alinéa [0101] - alinéa [0106] -----	1 - 11
A	US 2020/094837 A1 (KATO DAICHI [JP]) 26 mars 2020 (2020-03-26) alinéas [0087], [0121], [0123] -----	1 - 11
A	FR 3 106 918 A1 (RENAULT SAS [FR]; NISSAN MOTOR [JP]) 6 août 2021 (2021-08-06) le document en entier -----	1 - 11

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

31 juillet 2024

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

16/08/2024

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Fiorenzo Catalano, M

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2024/065979

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
FR 3098778	A1	22-01-2021	CN	114762011 A	15-07-2022
			EP	3999997 A1	25-05-2022
			FR	3098778 A1	22-01-2021
			WO	2021008775 A1	21-01-2021
-----					
US 2020094837	A1	26-03-2020	CN	110949388 A	03-04-2020
			JP	7229710 B2	28-02-2023
			JP	2020050086 A	02-04-2020
			US	2020094837 A1	26-03-2020
-----					
FR 3106918	A1	06-08-2021	AUCUN		
-----					