

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
12 décembre 2024 (12.12.2024)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2024/251741 A1

- (51) Classification internationale des brevets :
B60W 40/10 (2012.01) *B60W 40/103* (2012.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2024/065349
- (22) Date de dépôt international :
04 juin 2024 (04.06.2024)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
FR2305869 09 juin 2023 (09.06.2023) FR
- (71) Déposant : AMPERE S.A.S. [FR/FR] ; 122-122 bis avenue
du Général Leclerc, 92100 Boulogne Billancourt (FR).
- (72) Inventeurs : ATHEUPE-GATCHEU, Gael-Parfait ; 1
Avenue du Golf, FR TCR RUC 28A, 78 084 Guyancourt
cedex (FR). DEVELAY, Christophe ; 1, allée Cornuel,
FRCTLL23152, LARDY 91510 (FR). FANG, Zhou ; 1
avenue du golf, FRTCRAVA013, 78084 Guyancourt ce-
dex (FR). MOUTON, Xavier ; 1 avenue du golf, FRTCRC-
RUC31B, 78084 Guyancourt cedex (FR).

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

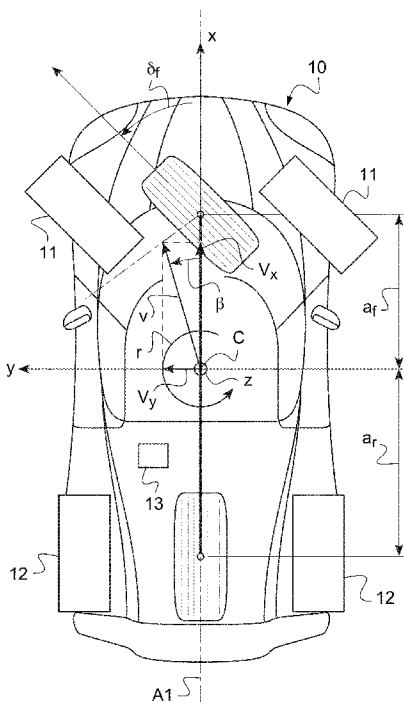
(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA,
CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IQ, 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,
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), eurasien (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,

(54) Title: METHOD FOR CALCULATING A SLIP ANGLE OF A MOTOR VEHICLE

(54) Titre : PROCÉDÉ DE CALCUL D'UN ANGLE DE DÉRIVE D'UN VÉHICULE AUTOMOBILE

[Fig. 1]



(57) Abstract: The invention relates to a method for calculating a slip angle (β) of a motor vehicle (10), the method being implemented by a computer (13) of the motor vehicle, the method comprising the following steps: - acquiring a value of at least one kinematic parameter (V_x , r) of the vehicle; - selecting a model and a filter, on the basis of the value of the at least one kinematic parameter, from a predetermined list of models and a predetermined list of filters, respectively, the model describing a movement of the vehicle, the filter being suitable for estimating an instantaneous state of the model on the basis of at least one observable data item (V_y) and a predetermined prior state of the model; - determining the at least one observable data item; - calculating, by iteration of the filter, the instantaneous state of the model; and - deducing, from the instantaneous state, the slip angle.

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de calcul d'un angle de dérive (β) d'un véhicule automobile (10), le procédé étant mis en œuvre par un calculateur (13) du véhicule automobile, le procédé comprenant les étapes suivantes : - acquisition d'une valeur d'au moins un paramètre cinématique (V_x , r) du véhicule; - sélection d'un modèle et d'un filtre, sur la base de ladite valeur dudit au moins un paramètre cinématique, parmi respectivement une liste prédéterminée de modèles et une liste prédéterminée de filtres, ledit modèle décrivant un mouvement du véhicule, ledit filtre étant adapté à estimer un état instantané dudit modèle sur la base d'au moins une donnée observable (V_y) et d'un état antérieur prédéterminé dudit modèle; - détermination de ladite au moins une donnée observable; - calcul, par itération dudit filtre, de l'état instantané dudit modèle; - déduction, à partir de l'état instantané, de l'angle de dérive.

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.*

Description

Titre de l'invention : Procédé de calcul d'un angle de dérive d'un véhicule automobile

Domaine technique de l'invention

- [0001] La présente invention concerne de manière générale le domaine de l'estimation de paramètres de conduite d'un véhicule automobile.
- [0002] Elle concerne plus particulièrement un procédé de calcul d'un angle de dérive d'un véhicule automobile.
- [0003] Elle concerne également un véhicule automobile comprenant un calculateur adapté à mettre en œuvre ce procédé.
- [0004] L'invention trouve une application particulièrement avantageuse dans des fonctions d'aide à la conduite ou des fonctions de contrôle de la trajectoire du véhicule automobile.

Etat de la technique

- [0005] La plupart des constructeurs automobiles intègrent dans leurs véhicules des procédés d'estimation de l'angle de dérive à partir de données mesurées par des capteurs embarqués.
- [0006] Un capteur permettant de mesurer directement l'angle de dérive étant en effet très coûteux, plusieurs fois le prix du véhicule lui-même, les constructeurs ont donc recours à une estimation de cet angle de dérive selon des techniques de détection virtuelle.
- [0007] La connaissance de l'angle de dérive est particulièrement utile pour mettre en œuvre des systèmes d'aide à la conduite ou de contrôle de la trajectoire du véhicule automobile comme : le contrôle vectoriel du couple, le contrôle direct du lacet ou encore le correcteur électronique de trajectoire (plus connu sous l'acronyme anglais ESP pour « electronic stability control »)
- [0008] Il est par exemple connu d'estimer l'angle de dérive au moyen d'un filtre adapté à estimer l'état du véhicule en fonction des états antérieurs du véhicule et de grandeurs observables. L'angle de dérive est ensuite déduit de cet état du véhicule. Le filtre se base pour cela sur un modèle du véhicule décrivant son mouvement. Le modèle relie par exemple les accélérations et les vitesses du véhicule au moyen d'équations de type équations différentielles discrétisées.
- [0009] Toutefois, selon la situation de conduite, qui est par exemple représentative de l'adhérence du véhicule à la chaussée, de la pente de la chaussée ou encore des vitesses du véhicule, le filtre et le modèle peuvent donner des estimations plus ou moins précises de l'angle de dérive.

Présentation de l'invention

- [0010] Dans ce contexte, la présente invention propose Procédé de calcul d'un angle de dérive d'un véhicule automobile, le procédé étant mis en œuvre par un calculateur du véhicule automobile, le procédé comprenant les étapes suivantes :
- acquisition d'une valeur d'au moins un paramètre cinématique du véhicule automobile ;
 - sélection d'un modèle et d'un filtre, sur la base de ladite valeur dudit au moins un paramètre cinématique, parmi respectivement une liste prédéterminée de modèles et une liste prédéterminée de filtres, ledit modèle décrivant un mouvement du véhicule automobile, ledit filtre étant adapté à estimer un état instantané dudit modèle sur la base d'au moins une donnée observable et d'un état antérieur prédéterminé dudit modèle ;
 - détermination de ladite au moins une donnée observable ;
 - calcul, par itération dudit filtre, de l'état instantané dudit modèle ;
 - déduction, à partir de l'état instantané, de l'angle de dérive.
- [0011] Ainsi, grâce à l'invention un couple modèle/filtre est sélectionnée parmi plusieurs de manière à donner une estimation précise de l'angle de dérive, quelle que soit la situation de conduite. En effet, cette sélection est précisément effectuée en fonction de la situation de conduite au travers des paramètres cinématiques du véhicule. Cette solution permet notamment de garantir que l'angle estimé soit toujours précis, avec une erreur inférieure à un seuil donné, par exemple de 2 degrés voire de 1,5 degré.
- [0012] A titre d'exemple, lorsque le véhicule automobile effectue un virage à faible courbure sur route sèche (donc avec une bonne adhérence), le bruit sur les mesures fournies par les capteurs du véhicule automobile est sensiblement gaussien. Dans ce cas, un filtre de Kalman basé sur un modèle cinématique du véhicule est particulièrement précis pour estimer l'angle de dérive. Cependant, lorsque la vitesse latérale, longitudinale ou de lacet est proche de la valeur nulle, le modèle cinématique ne permet pas une bonne estimation de l'angle de dérive et, il est préférable, pour ces situations de conduite, d'utiliser un modèle dynamique avec un filtre de Kalman étendu ou un filtre particulière.
- [0013] Avantagusement, les filtres et les modèles sont sélectionnés parmi des listes prédéterminées. Ces listes peuvent notamment être mises à jour avec de nouveaux filtres et modèles, par exemple moins coûteux en puissance de calcul ou plus adaptés à certaines situations de conduite particulières. Le procédé selon l'invention peut donc bénéficier de futurs développements technologiques. De préférence, les filtres et les modèles choisis et enregistrés sur le calculateur du véhicule automobile sont économes en puissance de calcul.
- [0014] Enfin, le procédé selon l'invention ne nécessite pas de déterminer l'état de la chaussée (par exemple le fait qu'elle soit sèche ou mouillée). En effet, la sélection est

uniquement basée sur des paramètres relatifs au véhicule automobile lui-même. Le procédé permet donc de se passer de système de détection dédié à la détermination de l'état de la chaussée tels que des caméras.

[0015] De façon optionnelle et avantageuse, l'étape de sélection est basée sur un algorithme d'apprentissage automatique. Pendant l'apprentissage, l'algorithme apprend quel est le couple modèle/filtre le plus précis selon les valeurs de paramètres cinématiques qui lui sont fournies (autrement dit, selon la situation de conduite). Le calculateur peut donc déterminer précisément la situation de conduite (puisque'il a appris à les distinguer) de manière à sélectionner le couple modèle/filtre approprié. De plus, le calculateur peut alors prendre en compte un grand nombre de paramètres cinématiques du véhicule automobile, ce qui permet d'affiner davantage sa sélection.

[0016] A ce sujet, l'apprentissage de l'algorithme d'apprentissage automatique est pré-effectué hors ligne avant que l'algorithme d'apprentissage automatique soit mis en œuvre par le calculateur du véhicule automobile, si bien que seuls des calculs simples sont effectués par le calculateur pour sélectionner le filtre et le modèle. L'invention est ainsi simple à implémenter.

[0017] 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 :

[0018] - il est prévu d'entraîner l'algorithme d'apprentissage automatique sur la base d'une base de données associant des valeurs de paramètres cinématiques du véhicule avec des couples formés d'un des modèles et d'un des filtres desdites listes, la base de donnée étant établie en équipant un véhicule de test d'un capteur adapté à mesurer l'angle de dérive et en déterminant, pour plusieurs ensembles de valeurs de paramètres cinématiques, lequel desdits couples fournit l'estimation de l'angle de dérive la plus proche de la mesure de l'angle de dérive fournie par le capteur ;

- le paramètre cinématique est relatif au mouvement du véhicule automobile par rapport à une chaussée sur laquelle circule le véhicule automobile ou à un mouvement d'un élément mobile du véhicule destiné au roulage ;

- chaque filtre de la liste prédéterminée est un filtre numérique récursif, bayésien ou particulière, qui est basé sur une chaîne de Markov cachée ;

- chaque modèle de ladite liste prédéterminée est choisi dans le groupe comprenant : un modèle cinématique linéaire, un modèle dynamique non-linéaire, un modèle dynamique avec marche aléatoire, un modèle de type bicyclette ;

- le modèle comprend au moins une équation de mouvement relative à une évolution temporelle d'un état du véhicule automobile et au moins une équation de mesure permettant de calculer ladite donnée observable sur la base d'une mesure d'au moins un paramètre cinématique ;

- ladite donnée observable est relative au mouvement du véhicule automobile ;
- il est prévu, à chaque itération, de calculer plusieurs angles de dérive préliminaires au moyen de plusieurs couples formés d'un des modèles et d'un des filtres desdites listes, et de déterminer l'angle de dérive en sélectionnant l'un des angles de dérive préliminaires sur la base de ladite valeur dudit au moins un paramètre cinématique.

[0019] L'invention propose aussi un véhicule automobile comprenant un calculateur, ledit calculateur comprenant :

- une interface adaptée à l'acquisition d'une valeur d'au moins un paramètre cinématique du véhicule automobile ;
- une mémoire sur laquelle sont enregistrées une liste prédéterminée de modèles décrivant un mouvement du véhicule automobile et une liste prédéterminée de filtres ;
- un processeur programmé pour :
 - sélectionner un modèle et un filtre, sur la base de ladite valeur dudit au moins un paramètre cinématique, parmi respectivement une liste prédéterminée de modèles et une liste prédéterminée de filtres, ledit modèle décrivant un mouvement du véhicule automobile, ledit filtre étant adapté à estimer un état instantané dudit modèle sur la base d'au moins une donnée observable et d'un état antérieur prédéterminé dudit modèle ;
 - déterminer ladite au moins une donnée observable ;
 - calculer, par itération dudit filtre, l'état instantané dudit modèle ;
 - déduire, à partir de l'état instantané, l'angle de dérive.

[0020] 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

[0021] 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.

[0022] Sur les dessins annexés :

[0023] [Fig.1] est une vue schématique de dessus d'un véhicule automobile et de sa représentation dans le modèle bicyclette ;

[0024] [Fig.2] est un schéma bloc d'une séquence d'étapes permettant de mettre en œuvre un procédé selon l'invention pour calculer un angle de dérive du véhicule automobile de la [Fig.1] ;

[0025] [Fig.3] est une représentation schématique d'une itération d'un filtre de Kalman mis en œuvre dans le procédé de la [Fig.2] ;

[0026] [Fig.4] est une représentation schématique d'une itération d'un filtre de Kalman

étendu mis en œuvre dans le procédé de la [Fig.2] ;

[0027] [Fig.5] est une représentation schématique d'une itération d'un filtre particulaire mis en œuvre dans le procédé de la [Fig.2].

[0028] Sur la [Fig.1], on a représenté un véhicule automobile 10 comprenant classiquement un châssis qui délimite notamment un habitacle et un compartiment moteur, deux roues avant 11 directrices, et deux roues arrière 12 non directrices. En variante, ces deux roues arrière pourraient également être directrices. Ce véhicule automobile 10 comporte un système de direction conventionnel permettant d'agir sur l'orientation des roues directrices de façon à pouvoir faire tourner le véhicule automobile 10. Le véhicule automobile 10 comporte un groupe motopropulseur, comprenant notamment un actionneur de propulsion permettant de commander ce groupe afin de faire accélérer le véhicule automobile 10.

[0029] Comme le montre la [Fig.1], l'angle de dérive β du véhicule automobile 10 est défini comme l'angle entre le vecteur représentant la vitesse du véhicule automobile 10 notée v (représentée au niveau du centre de gravité C du véhicule sur la [Fig.1]) et l'axe longitudinal A1 du véhicule automobile 10. Dans le cadre du modèle bicyclette représentée en [Fig.1], les deux roues avant 11 sont considérées comme étant confondues, et il en va de même des deux roues arrière 12. Le châssis du véhicule est quant à lui modélisé par un corps qui relie les deux modèles de roues. L'axe longitudinal A1 est alors parallèle à la droite passant par les centres des deux modèles de roues.

[0030] Le véhicule automobile 10 comprend également un calculateur 13. Grâce à ses interfaces d'entrée, le calculateur 13 est adapté à recevoir des signaux d'entrée provenant de différents capteurs embarqués sur le véhicule automobile 10.

[0031] Parmi ces capteurs, il est par exemple prévu :

- un dispositif d'observation tel qu'une caméra frontale ou un télédéetecteur RADAR ou LIDAR,
- un dispositif tel qu'un gyromètre, permettant de déterminer la vitesse de rotation en lacet (autour d'un axe vertical) du véhicule automobile 10, et
- différents capteurs tel qu'une centrale inertielle permettant d'estimer par exemple la vitesse longitudinale.

[0032] Ici, les interfaces d'entrée du calculateur 13 lui permettent d'avoir accès au bus de données CAN du véhicule automobile 10.

[0033] De façon générale, le calculateur 13 peut acquérir, grâce à ses interfaces d'entrée, un grand nombre de paramètres cinématiques du véhicule automobile 10. Les paramètres cinématiques du véhicule automobile 10 sont ici des paramètres relatifs au mouvement du véhicule automobile 10 par rapport à une chaussée sur laquelle il roule (ou à sa voie de circulation), ou à un mouvement d'un élément mobile du véhicule automobile 10

destiné au roulage. Les paramètres cinématiques relatifs au mouvement par rapport à la chaussée sont par exemple : une vitesse de lacet, une vitesse longitudinale, une accélération latérale, une accélération longitudinale, un angle au volant induit par le conducteur, des angles de braquage roues (par exemple déterminées par l'angle au volant), une position GPS, une accélération et vitesse verticale, une valeur estimée de la pente de la route. Les paramètres cinématiques relatifs à un élément mobile sont par exemple : une vitesse de rotation des roues, un couple moteur, une pression des pneus, un taux de compressions des suspensions, un couple de freinage, des vitesses angulaires des roues, une pression de frein du maître-cylindre, un couple d'assistance de la direction assisté électrique, une course des suspensions, un couple machine de la chaîne de traction.

[0034] Le calculateur 13 comprend au moins une mémoire et au moins un processeur. Grâce à sa mémoire, il mémorise des données utilisées dans le cadre du procédé décrit ci-dessous. Il mémorise notamment une application informatique, constituée de programmes d'ordinateur comprenant des instructions dont l'exécution par le processeur permet la mise en œuvre par le calculateur 13 du procédé décrit ci-après. En d'autres termes, le processeur est programmé pour mettre en œuvre le procédé décrit ci-après.

[0035] Le calculateur 13 a plus particulièrement en mémoire une liste prédéterminée de modèles et une liste prédéterminée de filtres.

[0036] Chaque modèle de la liste prédéterminée de modèles permet de décrire un mouvement du véhicule automobile 10 et plus particulièrement une évolution du véhicule automobile 10 dans sa voie de circulation. Chaque modèle est donc représentatif au moins partiellement de la trajectoire et la dynamique du véhicule automobile 10.

[0037] Pour cela chaque modèle comprend notamment au moins une équation de mouvement relative à une évolution temporelle d'un état du véhicule automobile 10. Dans la suite, ces équations sont appelées « équations d'état », comme cela est courant dans le domaine de la modélisation. Ici, les équations d'état sont du type équation différentielle, dans le sens où elles relient au moins un paramètre cinématique et sa dérivée, par exemple la vitesse et l'accélération du véhicule automobile 10. Les équations d'état sont par exemple issues du principe fondamental de la dynamique.

[0038] Chaque modèle comprend aussi une équation de mesure permettant de calculer une donnée observable sur la base d'une mesure d'au moins un paramètre cinématique. Chaque donnée observable est donc elle aussi relative au mouvement du véhicule automobile 10. Comme détaillé dans les exemples ultérieurs, une donnée observable est par exemple égale directement à la mesure d'un paramètre cinématique ou à une combinaison de mesures de paramètres cinématiques.

- [0039] Chaque filtre de la liste prédéterminée de filtres est quant à lui adapté à estimer un état instantané d'au moins un des modèles sur la base d'au moins une donnée observable et d'au moins un état antérieur prédéterminé dudit modèle. Chaque filtre est ainsi un filtre récursif. Cela signifie qu'il se base sur les états antérieurs pour estimer, par itération, l'état instantané. Un état antérieur prédéterminé est ici considéré connu. Un état antérieur correspond par exemple à un état initial dudit modèle ou un à état précédant, d'une ou plusieurs itérations, l'état instantané.
- [0040] Un état est ici caractérisé par un ensemble de paramètres décrivant le véhicule automobile 10. Les états sont par la suite appelés « vecteurs d'état », ce qui signifie qu'ils regroupent plusieurs variables d'état, par exemple les positions et les vitesses du véhicule automobile 10 ou les vitesses et les accélérations du véhicule automobile 10. On parle de « variables » d'état dans le sens où leur valeur peut varier, notamment lors de l'itération du filtre comme décrit ultérieurement. Ainsi, les variables d'état sont elles aussi relatives au mouvement du véhicule automobile 10. Elles peuvent, mais pas nécessairement, correspondre à des paramètres cinématiques mesurables par les capteurs du véhicule automobile 10. En variante, un état peut être caractérisé par une seule variable d'état.
- [0041] Ici, chaque filtre de la liste prédéterminée est de préférence un filtre numérique, bayésien ou particulaire, qui est basé sur une chaîne de Markov cachée.
- [0042] Avant de décrire ce procédé, on peut introduire les différents paramètres et variables qui seront utilisés, dont certains sont illustrés sur la [Fig.1].
- [0043] La masse totale du véhicule automobile sera notée m .
- [0044] Le centre de gravité du véhicule sera noté C .
- [0045] On considérera ici principalement un repère orthogonal (C, X, Y, Z) attaché au véhicule. Son origine est confondue avec le centre de gravité C . L'axe X correspond à l'axe longitudinal $A1$ du véhicule. L'axe Y correspond à l'axe latéral tourné vers la gauche du véhicule. En pratique, cet axe Z est l'axe normal à la route.
- [0046] Le moment d'inertie vertical du véhicule automobile autour de l'axe Z sera noté I_z .
- [0047] La distance entre le centre de gravité C et l'essieu avant du véhicule sera notée a_f . De manière générale, dans la suite, l'indice f sera associé aux roues avant.
- [0048] La distance entre le centre de gravité C et l'essieu arrière sera notée a_r . Dans la suite, l'indice r sera associé aux roues arrière.
- [0049] La rigidité de dérive des pneus des roues avant sera notée c_{af} .
- [0050] La rigidité de dérive des pneus des roues arrière sera notée c_{ar} .
- [0051] L'angle de braquage que font les roues avant directrices avec l'axe longitudinal X du véhicule sera noté δ_f .
- [0052] L'angle de braquage que font les roues arrière avec l'axe longitudinal X du véhicule sera noté δ_r . On notera ici que dans la suite, cet angle sera nul. En variante, il pourrait

être non nul et s'exprimer en fonction de l'angle de braquage δ_f .

- [0053] La vitesse de lacet du véhicule (autour de l'axe Z) sera notée r .
- [0054] La vitesse longitudinale du véhicule, selon l'axe X, sera notée V_x .
- [0055] La vitesse latérale du véhicule, selon l'axe Y, sera notée V_y .
- [0056] L'accélération longitudinal du véhicule, selon l'axe X, sera notée a_x .
- [0057] L'accélération latérale du véhicule, selon l'axe Y, sera notée a_y .
- [0058] La force latérale de traction de l'essieu avant (i.e. des roues avant) sera notée F_{yf} .
- [0059] La force latérale de traction de l'essieu arrière (i.e. des roues arrière) sera notée F_{yr} .
- [0060] La force longitudinale de traction de l'essieu avant (i.e. des roues avant) sera notée F_{xf} .

- [0061] Enfin, l'opérateur « $\cdot$ » signifiera une dérivation par rapport au temps, l'opérateur « T » la transposée d'une matrice et l'opérateur « $^{-1}$ » l'inverse d'une matrice.

- [0062] Le procédé selon l'invention est prévu pour permettre d'estimer avec précision l'angle de dérive β . Comme le montre la [Fig.2], le procédé comprend les étapes suivantes :

- acquisition d'une valeur d'au moins un paramètre cinématique ;
- sélection d'un modèle et d'un filtre, sur la base de ladite au moins une valeur, parmi respectivement la liste prédéterminée de modèles et la liste prédéterminée de filtres ;
- détermination d'au moins une donnée observable associée au modèle sélectionné ;
- calcul, par itération du filtre sélectionné, du vecteur d'état instantané du modèle sélectionné ;
- déduction, à partir du vecteur d'état instantané, de l'angle de dérive β .

- [0063] Les étapes du procédé sont ici mises en œuvre de façon répétée. Le calculateur 13 est ainsi programmé pour mettre en œuvre le procédé de façon récursive, c'est-à-dire pas à pas. L'angle de dérive β est ainsi estimé à chaque instant (par exemple à partir du moment où le véhicule automobile 10 démarre) ce qui permet ensuite au calculateur 13 de mettre en œuvre des fonctions d'aide à la conduite ou de contrôle de trajectoire.

- [0064] En particulier, le filtre sélectionné est itéré à des instants successifs qui sont par exemple séparés d'un pas de temps constant. Dans la suite, le qualificatif « instantané » fait référence à l'instant présent, c'est-à-dire à la dernière itération du filtre. Cet instant présent est référencé « k », il est ici égal à k fois le pas de temps à compter d'un instant initial référencé « k_0 » (k étant un entier strictement positif). De même, le vecteur d'état représentatif de l'instant présent est référencé « k » en indice. On parle aussi dans la suite d'itération « k » d'un filtre, ce qui signifie qu'il a été itéré k fois. Le qualificatif « antérieur » fait référence à un instant passé, plus ancien que l'instant présent. Un instant passé correspond par exemple l'instant précédent (i.e. immédiatement avant) l'instant présent. L'instant précédent est alors référencé « $k-1$ », il est par exemple égal à $k-1$ fois le pas de temps à compter de l'instant initial.

- [0065] L'objectif du procédé est précisément d'estimer l'angle de dérive β « instantané », c'est-à-dire à l'itération « k » du filtre sélectionné. L'angle de dérive β à l'instant « antérieur » est connu puisque le vecteur d'état antérieur est prédéterminé (typiquement car déjà calculé à une itération antérieure). On entend par « estimer » le fait de déterminer par le calcul par opposition à une mesure directe. On utilisera donc dans la suite, les termes calculer ou estimer par opposition à mesurer ou acquérir.
- [0066] On décrit dans la suite l'itération k du filtre, sur la base de la [Fig.2].
- [0067] Le procédé commence ainsi par une étape E1 d'acquisition, aux moyens des interfaces d'entrées du calculateur 13, d'une valeur d'au moins un paramètre cinématique. De préférence, les valeurs de plusieurs paramètres cinématiques sont acquises, par exemple une valeur de vitesse de lacet r et une valeur de vitesse longitudinale V_x . Encore en exemple, l'étape E1 peut comprendre l'acquisitions de valeurs d'accélération latérale a_y et de vitesse de lacet r .
- [0068] Le procédé comprend ensuite une étape E2 de sélection d'un couple formé par un modèle et un filtre, appelé couple « modèle/filtre ». Cette sélection est effectuée sur la base des valeurs des paramètres cinématiques acquises à l'étape E1.
- [0069] Ici, l'étape E2 de sélection est plus particulièrement basée sur un algorithme d'apprentissage automatique. L'algorithme d'apprentissage automatique est par exemple : une régression linéaire, une machine à vecteur support, ou encore un réseau de neurones.
- [0070] Il est ici prévu d'entraîner l'algorithme d'apprentissage automatique préalablement à la mise en œuvre du procédé par le calculateur 13, c'est-à-dire hors ligne (par exemple lors de la conception du véhicule automobile). Pour effectuer cet apprentissage, une base de données est construite. Cette base de données associe des valeurs de paramètres cinématiques du véhicule automobile 10 avec des couples modèle/filtre, les modèles et les filtres étant ceux des listes enregistrées sur la mémoire du calculateur 13.
- [0071] Cette association entre les valeurs des paramètres cinématiques et les couples modèle/filtre est établie au cours de tests réalisés avec un véhicule de test équipé d'un capteur adapté à mesurer l'angle de dérive β . Au cours de ces tests, le véhicule test se trouve dans plusieurs situations de conduite correspondant à plusieurs ensembles de valeurs de paramètres cinématiques. Pour chaque ensemble de valeurs, l'angle de dérive β est à la fois mesuré au moyen du capteur et estimé au moyen des couples modèle/filtre par le procédé selon l'invention. La base de données associe alors par exemple le couple modèle/filtre donnant l'estimation de l'angle de dérive β la plus proche de la valeur mesurée au moyen du capteur.
- [0072] Il est aussi possible, lors de ces tests, d'acquérir plusieurs valeurs de paramètres cinématiques à plusieurs pas de temps successifs, par exemple dix valeurs acquises toutes

les 200 ms. Le couple modèle/filtre associé à l'ensemble de ces valeurs dans la base de données est alors celui présentant l'erreur quadratique moyenne la plus faible, sur l'ensemble des pas de temps, entre les angles de dérive β mesurés et estimés.

- [0073] En pratique, l'apprentissage permet ici de construire un arbre de décision avec en entrée des valeurs de paramètres cinématiques et en sortie des couples modèle/filtre. L'arbre de décision permet, lors de l'étape E2, de sélectionner le couple modèle/filtre le plus adapté, c'est-à-dire le plus approprié à la situation de conduite reflétée par lesdites valeurs des paramètres cinématiques. Cet arbre de décision est enregistré sur la mémoire du calculateur 13 pour la mise en œuvre de l'étape E2. L'apprentissage est par exemple réalisé au moyen du logiciel Matlab, ici grâce aux applications : Deep learning toolbox, Statistics and Machine learning toolbox. De préférence, plusieurs algorithmes d'apprentissage sont comparés lors de la phase de tests et seul le plus précis (en comparaison avec les mesures d'angle de dérivé issues du capteur) est utilisé pour générer l'arbre de décision.
- [0074] A l'étape E3 du procédé, le calculateur 13 détermine chaque donnée observable associée au modèle sélectionné. Le calculateur 13 détermine ainsi une (cf. Exemple 1 ci-après) ou plusieurs données observables (cf. Exemple 4 ci-après). Chaque donnée observable est ici déterminée grâce à une équation de mesure du modèle sélectionné. Chaque donnée observable est donc déterminée sur la base d'une mesure d'au moins un paramètre cinématique, le au moins un paramètre cinématique pouvant avoir servi ou non à sélectionner le couple modèle/filtre à l'étape E2.
- [0075] Le procédé comprend une étape E4 d'itération du filtre sélectionné. Cette itération permet de calculer le vecteur d'état instantané du véhicule automobile 10.
- [0076] Classiquement, comme le montre par exemple la [Fig.3], cette itération comprend :
- une étape F1 de prédiction du vecteur d'état instantané sur la base d'au moins un vecteur d'état antérieur prédéterminé du modèle sélectionné,
 - une étape F2 de correction du vecteur d'état instantané sur la base de chaque donnée observable déterminée à l'étape E3.
- [0077] Ici, le vecteur d'état antérieur prédéterminé sur lequel est basée la prédiction est celui précédent le vecteur d'état instantané, c'est-à-dire celui issu de l'itération k-1. Ainsi, dans un premier temps, l'étape F1 de prédiction permet de calculer un vecteur d'état prédit à l'instant k sur la base du vecteur d'état précédent à l'instant k-1. La prédiction est ainsi basée uniquement sur les vecteurs d'états antérieurs, et en particulier sur le vecteur d'état précédent. Dans un second temps, l'étape F2 de correction permet d'ajuster la prédiction, i.e. le vecteur d'état prédit de l'étape F1, en confrontant le vecteur d'état prédit à des mesures via les données observables. Le résultat de cette étape de correction F2 est notamment le vecteur d'état instantané. Classiquement, l'étape F2 de correction comprend aussi une étape d'ajustement du filtre, par exemple

d'un gain du filtre, de manière à affiner ses prédictions ultérieures.

- [0078] Le procédé comprend enfin une étape E5 de déduction, à partir du vecteur d'état instantané, de l'angle de dérive β . Ici, l'angle de dérive β est déduit soit en le calculant à partir d'une ou plusieurs variables d'état, soit en étant lui-même directement une des variables d'état.
- [0079] Ici, plusieurs couples modèle/filtre effectuent en parallèle des estimations d'angles de dérive préliminaires. De préférence, à chaque instant, i.e. à chaque pas de temps, et en particulier à l'instant k , un angle de dérive préliminaire est calculé pour chaque couple modèle/filtre enregistré sur la mémoire du calculateur 13. A titre d'exemple, quatre angles de dérive préliminaires sont déterminés à chaque instant en utilisant respectivement un des couples modèle/filtre des Exemples 1 à 4 décrits ci-dessous.
- [0080] Ensuite, comme décrit précédemment, le calculateur 13 sélectionne, sur la base des valeurs des paramètres cinématiques et à l'aide de l'algorithme d'apprentissage, un des couples modèle/filtre. L'angle de dérive β est alors déterminé comme l'angle de dérive préliminaire du couple modèle/filtre sélectionné. En pratique, l'arbre de décision permet attribuer des coefficients aux différents angles de dérive préliminaires en fonction des valeurs des paramètres cinématiques qu'il reçoit en entrée. Ici, l'angle de dérive préliminaire du couple modèle/filtre sélectionné se voit attribuer un coefficient un quand les autres se voient attribuer un coefficient zéro. En variante, différents coefficients non-nuls (par exemple compris entre zéro et un) pourraient être appliqués aux angles de dérive préliminaires.
- [0081] On décrit maintenant l'implémentation de plusieurs couples modèle/filtre. Pour chacun d'entre eux, on décrit en détail les étapes E3, E4 et E5 mises en œuvre, l'itération k du filtre, pour le couple modèle/filtre sélectionné à l'étape E2. Le modèle sélectionné est simplement appelé « modèle » et le filtre sélectionné est simplement appelé « filtre ». L'idée de cette partie est notamment de donner des exemples non limitatifs de filtres et de modèles qui peuvent être enregistrés sur le calculateur 13 préalablement à la mise en œuvre du procédé selon l'invention.
- [0082] Exemple 1 : Modèle cinématique et filtre de Kalman
- [0083] Dans ce premier exemple de couple modèle/filtre, le filtre est un filtre de Kalman. On ne rappellera pas ici la théorie (qui peut être retrouvée dans tout ouvrage d'ingénierie approprié) du filtre de Kalman, qui est un filtre bayésien basé sur les équations de Chapman-Kolmogorov et les chaînes de Markov cachées. On explicitera cependant son application particulière au modèle cinématique afin de bien comprendre sa mise en œuvre pratique par le calculateur 13.
- [0084] Le modèle cinématique est ici défini par les deux équations suivantes :
- [0085] - une équation d'état :

[0086] [Math.1]

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & r \\ r & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \end{bmatrix}$$

[0087] - une équation de mesure :

[0088] [Math.2]

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix}$$

[0089] L'opérateur $d[.] / dt$ représentant la dérivée par rapport au temps. La vitesse de lacet r est mesurée à chaque instant au moyen des capteurs du véhicule automobile 10.

[0090] Dans la suite, la variable y représente de façon générale une donnée observable. En particulier, dans ce premier exemple, y est directement égale à la mesure de la vitesse longitudinale V_x .

[0091] On note aussi x le vecteur d'état, c'est-à-dire l'état du véhicule automobile 10. Le vecteur d'état comprend, dans ce modèle cinématique, la vitesse longitudinale V_x et la vitesse latérale V_y . Ici, le vecteur d'état instantané est noté $x_k = \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix}_k$ et est donc ca-

ractérisé par la vitesse longitudinale V_x et la vitesse latérale V_y à l'instant k . Le vecteur d'état est par exemple initialisé comme un vecteur nul à l'instant k_0 , ce qui correspond au véhicule automobile 10 à l'arrêt. Quand le véhicule automobile 10 démarre, le filtre commence à être itéré pour déterminer les états successifs.

[0092] Avantagusement, ce modèle utilise uniquement des grandeurs (vitesse de lacet r , accélération a_x , a_y) facilement accessibles, fournies par des capteurs bon marché.

[0093] Le filtre de Kalman permet l'estimation du vecteur d'état x régi par l'équation différentielle stochastique linéaire de type :

[0094] [Math.3]

$$\hat{x}_{k|k-1} = A_{k-1} \hat{x}_{k-1|k-1} + B_{k-1} u_{k-1} + q_{k-1}$$

[0095] avec pour équation de mesure de la donnée observable y à l'instant k

[0096] [Math.4]

$$y_k = H_k x_k + m_k$$

[0097] Les matrices A , B et H représentent respectivement la matrice de transition, la matrice liée à la commande u et la matrice d'observation. Ici, la commande u à l'instant $k-1$ est le vecteur $u_{k-1} = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \end{bmatrix}_{k-1}$ comprenant les accélérations longitudinal a_x

et latérale a_y à l'instant $k-1$. Le vecteur u est ici mesuré au moyen de la centrale inertielle du véhicule automobile 10. Ces matrices sont définies par les équations suivantes :

[0098] [Math.5]

$$A_{k-1} = \begin{bmatrix} 0 & r \\ r & 0 \end{bmatrix}_{k-1}, \quad B_{k-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad H_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}$$

[0099] Les variables aléatoires q_{k-1} et m_k représente le bruit du modèle (bruit d'état) et le bruit de mesure, elles sont considérées gaussiennes et indépendantes l'une de l'autre. Cela est par exemple le cas lorsque qu'il n'y a pas de pente (chaussée horizontale) et que le contact avec la chaussée au niveau des roues 11, 12 est un roulement sans glissement.

[0100] L'itération du filtre de Kalman est schématisée en [Fig.3].

[0101] Dans ce premier exemple (ainsi que dans l'Exemple 2 ci-après), la notation $\hat{x}_{k|k-1}$ représente le vecteur d'état prédit à l'étape F1 et à l'itération k du filtre. La notation $\hat{x}_{k|k}$ représente le vecteur d'état corrigé à l'étape F2 et à l'itération k du filtre. La notation $\hat{x}_{k-1|k-1}$ représente le vecteur d'état calculé à l'itération k-1 du filtre (i.e. l'état précédent prédéterminé du modèle).

[0102] Le vecteur d'état corrigée à l'étape F2 est calculé selon la formule :

[0103] [Math.6]

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k (y_k - H_k \hat{x}_{k|k-1})$$

[0104] La donnée observable y_k est obtenue à l'étape E4, ici par la mesure de la vitesse longitudinale V_x comme le montre [Math. 2]. La variable K_k est le gain de correction du filtre à l'itération k (cf. [Fig.3] pour sa formule). Sur la [Fig.3], P représente la co-variance de l'erreur et Q la covariance du bruit d'état.

[0105] A la fin de l'étape E4, le vecteur d'état à l'instant k (i.e. l'état instantané du véhicule automobile 10) est estimé. Dans ce premier exemple, le couple modèle/filtre est donc basé sur une estimation de la vitesse latérale V_y sur la base, notamment, d'une mesure de la vitesse longitudinale V_x .

[0106] Dans ce premier exemple de couple filtre/modèle, l'étape E5 comprend le calcul de l'angle de dérive β au moyen des deux variables d'état, à savoir la vitesse longitudinale V_x et la vitesse latérale V_y . L'angle de dérive β est ici calculé selon la formule :

$$\beta = \arctan\left(\frac{V_y}{V_x}\right). \text{ Ici, on fait l'hypothèse des petits angles : pour } x \text{ proche de zéro } \sin(x) \approx x \text{ et } \cos(x) \approx 1, \text{ donc } \beta \approx \frac{V_y}{V_x}.$$

[0107] D'après [Math. 1], on remarque que le modèle n'est observable que pour des valeurs de vitesse de lacet r non nulles. L'estimation est aussi moins précise lorsque la vitesse longitudinale V_x est faible. En pratique, l'algorithme d'apprentissage automatique est conçu de sorte que le calculateur 13 sélectionne le couple modèle/filtre de ce premier exemple seulement si la vitesse de lacet r et la vitesse longitudinale V_x sont suffisamment élevées (i.e. supérieures à des valeurs seuils).

[0108] Exemple 2 : Modèle dynamique et filtre de Kalman étendu

[0109] Ce deuxième exemple est basé sur l'utilisation d'un modèle dynamique. Le modèle dynamique, contrairement au modèle cinématique présenté ci-dessus, prend en compte les efforts subis par les roues. Ce modèle dynamique permet de pallier les carences du modèle cinématique qui est peu adapté lorsque la vitesse de lacet r est au proche de zéro. Le modèle dynamique est plus complet et prend en compte d'autres aspects intrinsèques au véhicule automobile 10 ainsi que sa dynamique.

[0110] Le modèle dynamique est ici défini par les deux équations suivantes :

[0111] - une équation d'état :

[0112] [Math.7]

$$\begin{bmatrix} \dot{\beta} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{(c_{af}+c_{ar})}{mV_x} & -\left(\left(\frac{a_f c_{af}-a_r c_{ar}}{mV_x^2}\right)+1\right) \\ -\frac{(a_f c_{af}-a_r c_{ar})}{I_z} & -\frac{(a_f^2 c_{af}+a_r^2 c_{ar})}{I_z V_x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{c_{af}}{mV_x} & \frac{c_{ar}}{mV_x} & 0 \\ \frac{a_f c_{af}}{I_z} & -\frac{a_r c_{ar}}{I_z} & \frac{1}{I_z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_f \\ \delta_r \\ M_{yawC} \end{bmatrix}$$

[0113] - une équation de mesure :

[0114] [Math.8]

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_f \\ \delta_r \\ M_{yawC} \end{bmatrix}$$

[0115] dans laquelle M_{yawC} représente le moment de lacet au centre de gravité C.

[0116] Dans ce modèle le vecteur d'état comprend comme variables d'état l'angle de dérive β et la vitesse de lacet r . A l'instant k , le vecteur d'état instantané est noté $x_k = \begin{bmatrix} \beta \\ r \end{bmatrix}_k$.

La donnée observable y est quant à elle la mesure de la vitesse de lacet r .

[0117] Ce modèle dynamique comprend ici un modèle de pneu de Dugoff permettant d'estimer les variations de rigidité de dérive des trains avant et arrière. En variante, les rigidités de dérive peuvent être supposées constantes.

[0118] Le filtre mis en œuvre dans ce deuxième exemple est un filtre de Kalman étendu. Ce filtre, qui dérive du filtre de Kalman, permet l'estimation d'un vecteur état d'un modèle non linéaire, c'est-à-dire un modèle où la relation entre la mesure et le vecteur d'état est non linéaire.

[0119] D'après [Math. 7] et [Math. 8], le modèle dynamique peut être écrit sous la forme :

[0120] [Math.9]

$$\hat{x}_{k|k-1} = f(\hat{x}_{k-1|k-1}, u_{k-1}, q_{k-1})$$

[0121] avec pour équation de mesure :

[0122] [Math.10]

$$y_k = h(x_k, m_k).$$

[0123] Comme dans le premier exemple (filtre de Kalman), les variables aléatoires q_{k-1} et m_k désignent le bruit d'état et le bruit de mesure.

[0124] Ici, la méthode explicite d'Euler est utilisée pour exprimer le modèle sous une forme convenant à l'implémentation du filtre. Cette méthode donne :

[0125] [Math.11]

$$x_k = f_{k-1}(x_{k-1}) + q_{k-1}$$

$$[0126] \quad y_k = h_{k-1}(x_{k-1}) + m_{k-1}$$

[0127] où x_{k-1} et x_k représentent le vecteur d'état.

[0128] La méthode d'Euler permet de relier simplement les vecteurs d'état aux différents instants. La période d'échantillonnage T_e est choisie en fonction de la fréquence à laquelle les mesures sont acquises pour déterminer les données observables et permet de relier les états aux instants k et $k-1$: $x_k = x_{k-1} + T_e \dot{x}_{k-1}$. Ici, la période d'échantillonnage est égale au pas de temps.

[0129] Les fonctions f_{k-1} et h_{k-1} sont respectivement les fonctions d'état et d'observation reliant les vecteurs d'état des instants k et $k-1$. Elles sont ici données par :

[0130] [Math.12]

$$f_{k-1}(x_{k-1}) = \begin{cases} \beta_k = \beta_{k-1} + T_e \left[-\beta_{k-1} \frac{C_{af} + C_{ar}}{mV_x} - \psi_{k-1} \left(1 + \frac{a_1 C_{af} - a_2 C_{ar}}{mV_x^2} \right) + \delta_{f_{k-1}} \frac{C_{af}}{mV_x} \right] \\ \psi_k = \psi_{k-1} + T_e \left[-\beta_{k-1} \frac{a_1 C_{af} - a_2 C_{ar}}{I_z} - \psi_{k-1} \frac{a_1^2 C_{af} - a_2^2 C_{ar}}{I_z V_x} + \delta_{f_{k-1}} \frac{a_1 C_{af}}{I_z} \right] \end{cases}$$

[0131] et

[0132] [Math.13]

$$h_k(x_k) = \begin{cases} a_{y_k} = -\beta_k \frac{C_{af} + C_{ar}}{m} + \psi_k \left(\frac{a_2 C_{ar} - a_1 C_{af}}{mV_x} - V_x \right) + \delta_{f_k} \frac{C_{af}}{m} \\ \psi_k = \psi_k \end{cases}$$

[0133] avec

[0134] [Math.14]

$$x_k = \begin{bmatrix} \beta_k \\ \psi_k \end{bmatrix}$$

[0135] L'itération du filtre de Kalman étendu est schématisée en [Fig.4].

[0136] Pour itérer ce filtre de Kalman étendu, le calculateur 13 calcule les dérivées partielles de la fonction f et de la fonction h autour de $\hat{x}_{k-1|k-1}$. L'itération du filtre de Kalman étendue est ensuite semblable à celle du filtre de Kalman un fois le modèle dynamique linéarisée, comme le montre la [Fig.4].

[0137] Ici, le filtre de Kalman étendu est appliqué au modèle dynamique linéarisé et discrétisé selon la méthode d'Euler. Les paramètres intervenant dans l'itération du filtre et apparaissant sur la [Fig.4] sont :

[0138] - la matrice jacobienne des dérivées partielles de f par rapport à x , c'est-à-dire

- [0139] $f'(\hat{x}_{k-1|k-1}) = \frac{\partial f_{[i]}}{\partial x_{[j]}}(\hat{x}_{k-1|k-1}, u_{k-1}, 0)$
- [0140] - $Q_{[i,j]}$, la matrice jacobienne des dérivées partielles de f par rapport à q , c'est-à-dire
- [0141] $Q'(\hat{x}_{k-1|k-1}) = \frac{\partial f_{[i]}}{\partial q_{[j]}}(\hat{x}_{k-1|k-1}, u_{k-1}, 0) = Q_{[i,j]}$
- [0142] - $H_{[i,j]}$, la matrice jacobienne des dérivées partielles de h par rapport à x , c'est-à-dire
- [0143] $H'(\hat{x}_{k-1|k-1}) = \frac{\partial h_{[i]}}{\partial x_{[j]}}(\hat{x}_k, 0) = H_{[i,j]}$
- [0144] - $R_{[i,j]}$, est la matrice jacobienne des dérivées partielles de h par rapport à m ,
c'est-à-dire
- [0145] $R'(\hat{x}_{k-1|k-1}) = \frac{\partial h_{[i]}}{\partial m_{[j]}}(\hat{x}_k, 0) = R_{[i,j]}$
- [0146] Sur la [Fig.4], P représente la covariance de l'erreur.
- [0147] Dans ce deuxième exemple de couple filtre/modèle, l'étape E5 comprend la détermination de l'angle de dérive β directement à partir du vecteur d'état. En effet, l'angle de dérive β est une des variables d'état, il est donc estimé à l'étape E4.
- [0148] Exemple 3 : Modèle bicyclette et filtre particulaire
- [0149] Dans ce troisième exemple de couple modèle/filtre, le filtre est un filtre particulaire. On ne rappellera pas ici la théorie (qui peut être retrouvée dans tout ouvrage d'ingénierie approprié) des filtres particuliers qui sont basés sur les chaînes de Markov cachées, les méthodes Monte-Carlo (en particulier l'échantillonnage préférentiel) et l'inférence bayésienne. On explicitera cependant son application particulière au modèle bicyclette, c'est-à-dire sa mise en œuvre pratique par le calculateur 13.
- [0150] Les filtres particuliers permettent d'estimer le vecteur d'état instantané d'un modèle fortement non linéaire et non gaussien. Les filtres particuliers permettent de calculer des densités de probabilité comme étant des sommes pondérées de Dirac.
- [0151] Le modèle bicyclette est ici défini par les deux systèmes d'équations suivants :
- [0152] - deux équations d'état :
- [0153] [Math.15]
- $$\begin{cases} \dot{\beta} = -\beta \frac{C_{af} + C_{ar}}{mV_x} - r \left(1 + \frac{a_f C_{af} - a_r C_{ar}}{mV_x^2} \right) + \delta_f \frac{C_{af}}{mV_x} \\ \dot{r} = -\beta \frac{a_f C_{af} - a_r C_{ar}}{I_z} - r \frac{a_f^2 C_{af} - a_r^2 C_{ar}}{I_z V_x} + \delta_f \frac{a_f C_{af}}{I_z} \end{cases}$$
- [0154] - deux équations de mesure :
- [0155] [Math.16]
- $$\begin{cases} a_y = -\beta \frac{C_{af} + C_{ar}}{m} + r \frac{a_f C_{ar} - a_r C_{af}}{mV_x} + \delta_f \frac{C_{af}}{m} \\ r = r \end{cases}$$

- [0156] Ce modèle est en partie basé sur un modèle pneumatique linéaire reliant les forces latérales sur l'essieu avant F_{yf} et arrière F_{yr} à l'angle de dérive des roues avant β_f et arrière β_r . Ce modèle pneumatique est donné par les équations suivantes :
- [0157] [Math.17]
- $$F_{yf} = C_{af} (\delta_f - \beta_f)$$
- [0158] $F_{yr} = C_{ar} (\delta_r - \beta_r)$
- [0159] Dans ce modèle, le vecteur d'état comprend comme variables d'état l'angle de dérive β et la vitesse de lacet r . Les données observables sont la vitesse de lacet r et l'accélération latérale a_y . Ce modèle fait aussi l'hypothèse des petits angles.
- [0160] L'itération du filtre particulaire est schématisée en figure 5. Sur cette figure, la notation x représente une particule et $\hat{x}_k$ le vecteur d'état. Les particules sont ici vectorielles dans le sens où chacune d'entre elles représente une valeur de l'angle de dérive β et une valeur de la vitesse de lacet r .
- [0161] Le filtrage particulaire débute par une étape F0 d'initialisation comprenant un tirage de particules initiales $x_0^1, x_0^2, \dots, x_0^N$, N étant le nombre de particules initiales, suivant une distribution uniforme q . A l'étape F0 d'initialisation, toutes les particules ont un coefficient de pondération identique ω_0 égale à $1/N$.
- [0162] Le nombre N de particules initiales est par exemple compris entre 1000 et 100 000. De préférence, le nombre de particules est supérieur à 10 000, ce qui permet d'estimer avec précision l'angle de dérive β même lorsque le véhicule automobile 10 manœuvre brusquement. Utiliser davantage de particules requiert cependant plus de puissance de calcul. L'étape F0 d'initialisation a lieu uniquement lors de la première itération du filtre. Sur la [Fig.5], le symbole « $\sim$ » représente une pondération, ici une pondération brute différente d'une pondération normalisée à l'unité.
- [0163] L'étape de prédiction F1 a lieu uniquement à partir de la deuxième itération du filtre en ce sens qu'elle est remplacée par l'étape F0 lors de la première itération. Les particules provenant de l'itération précédente sont ensuite propagées (c'est-à-dire tirée) suivant la distribution q . En d'autres termes, la distribution q est une densité de probabilité q propage les particules en fonction de l'état précédent du modèle.
- [0164] L'étape F2 de correction est ensuite divisée en plusieurs sous-étapes. L'étape F2 de correction a pour rôle principal de calculer les coefficients de pondération ω_k des particules de l'itération k sur la base des coefficients de pondération ω_{k-1} de l'itération précédente $k-1$.
- [0165] Tout d'abord, pour effectuer cette étape, le calculateur 13 calcule deux densités de probabilité (issues d'une chaîne de Markov cachée). Premièrement, le calculateur 13 calcule la probabilité a priori $P(x_k^i | x_{k-1}^i)$ qui est la probabilité de passage d'un état

au suivant. Cette probabilité *a priori* est calculée grâce deux équations d'état (cf. [Math. 11]). Ainsi, les particules x_k^i à l'itération k sont calculés sachant les particules x_{k-1}^i à l'itération k-1 au moyen de de [Math. 11]. Elle ne dépend donc que de l'état précédent. Deuxièmement, le calculateur 13 calcule la vraisemblance $P(y_k | x_k^i)$ qui permet de relier les données observables y_k au vecteur d'état à estimer. Ici, la vraisemblance est une loi gaussienne multidimensionnelle définie par l'équation :

[0166] [Math.18]

$$P(y_k | x_k^i) = \frac{1}{(2\pi)^{Nv/2} \det \Sigma^{1/2}} \exp \left[-\frac{1}{2} (x - \mu)^T \Sigma^{-1} (x - \mu) \right]$$

[0167] dans laquelle Nv représente le nombre de variables d'état, x le vecteur d'état, μ un vecteur de moyennes associées au vecteur d'état, Σ la variance de ce vecteur μ et de l'opérateur déterminant. Ce vecteur μ et sa variance Σ peuvent être calibrés comme la covariance des bruits de mesure et des bruits de modèle.

[0168] Grâce à ces deux densités de probabilité, coefficients de pondération ω_k de l'itération k sont calculés à la sous-étape F21, comme le montre la [Fig.5].

[0169] A la sous-étape F22, les coefficients de pondération ω_k de l'itération k sont normalisés.

[0170] A la sous-étape F23, le vecteur d'état instantané $\hat{x}_k$ est calculé comme la somme des particules x_k^i pondérés de leurs coefficients de pondération normalisé w_k^i .

[0171] Comme le montre la figure 7, de manière optionnelle, les particules peuvent être retirées à une sous-étape F24 lorsque la condition suivante est vérifiée :

$$1 / \sum_{i=1}^N (\omega_k^i)^2 < N / 4, Pk \text{ représentant alors une densité de probabilité.}$$

[0172] Ici, la méthode explicite d'Euler est présentée précédemment est aussi utilisée pour exprimer le modèle bicyclette sous une forme convenant à l'implémentation du filtre particulaire.

[0173] Dans ce troisième exemple, les paramètres suivants peuvent être utilisés pour implémenter le filtre particulaire :

- la covariance des bruits de mesure est égale à 1e-2 pour la vitesse longitudinale V_x ;
- la covariance des bruits d'état est égale à 1e-1 pour la vitesse longitudinale V_x et est comprise entre 1e-2 et 0.2 pour la vitesse latérale V_y ;

[0174] - la distribution initiale est une gaussienne centrée de covariance 1e-2 pour la vitesse longitudinale V_x et pour la vitesse latérale V_y . La distribution initiale intervient lors de la première itération du filtre.

[0175] Exemple 4 : Modèle dynamique avec marche aléatoire et filtre particulaire

[0176] Dans ce quatrième exemple de couple modèle/filtre, le filtre est aussi un filtre particulaire. Son implémentation est identique à celle du filtre présenté dans le troisième exemple.

[0177] Le modèle est ici un modèle dynamique avec marche aléatoire. Ce modèle ne nécessite pas de connaissances liées à un modèle pneumatique. Les équations utilisées sont issues du principe fondamental de la dynamique. Le vecteur d'état inclut notamment les forces latérales sur l'essieu avant F_{yf} et sur l'essieu arrière F_{yr} et la force longitudinale avant F_{xf} . Le principe de la marche aléatoire est de considérer que les forces exercées sur les roues 11, 12 (i.e. les forces latérales sur le l'essieu avant F_{yf} et arrière F_{yr} et la force longitudinale avant F_{xf}) sont constantes, donc que leurs dérivées temporelles sont nulles, et d'ajouter un bruit élevé qui permettra d'avoir des variations de forces aléatoires sur chaque particule.

[0178] Les équations d'état sont :

[0179] [Math.19]

$$\begin{cases} \dot{r} = \frac{a_t(F_{yf}\cos\delta_f + F_{xf}\sin\delta_f) + a_r F_{yr}\sin\delta_f}{-I_z} \\ \dot{\beta} = \frac{F_{yf}\cos(\delta_f - \beta) + F_{yr}\sin\delta_f + F_{xf}\sin(\delta_f - \beta)}{mV_x} - r \\ \dot{F}_{yf} = 0 \\ \dot{F}_{yr} = 0 \\ \dot{F}_{xf} = 0 \end{cases}$$

[0180] Les équations d'observations sont :

[0181] [Math.20]

$$\begin{cases} r = r \\ a_x = \frac{1}{m}(F_{xf} + F_{yf}\sin\delta_f) \\ a_y = \frac{1}{m}(F_{xf}\sin\delta_f + F_{yf} + F_{yr}\cos\delta_f) \end{cases}$$

[0182] Dans ce quatrième exemple, les paramètres suivants peuvent être utilisés pour implémenter le filtre particulaire :

- la covariance des bruits de mesure est par exemple égale à 1e-2 pour la vitesse de lacet r et à 1 pour l'accélération longitudinale a_x ;
- [0183] - la covariance des bruits de modèle est par exemple égale à 1e-2 pour la vitesse de lacet r , 1e-3 pour l'angle de dérive β , 1500 pour la force latérales sur le l'essieu avant F_{yf} , 1500 pour la force latérale sur le l'essieu arrière F_{yr} et 200 pour la force longitudinal sur le l'essieu avant F_{xf} ;
- la distribution initiale est une gaussienne centrée de covariance 1e-4 pour la vitesse de lacet r , 1e-5 pour l'angle de dérive β , 1e3 pour la force latérales sur le l'essieu avant F_{yf} , 1e3 pour la force latérale sur le l'essieu arrière F_{yr} , 1e3 pour la force longitudinal sur le l'essieu avant F_{xf} ;
- le nombre de particules est compris 30 000 et 100 000.

[0184] La présente invention n'est nullement limitée aux modes de réalisation décrits et re-

présentés, mais l'homme du métier saura y apporter toute variante conforme à l'invention.

- [0185] Par exemple, il peut être prévu, au lieu d'utiliser un algorithme d'apprentissage automatique, de sélectionner un couple modèle/filtre dans lequel le modèle linéaire lorsque la valeur d'un paramètre cinématique du véhicule est supérieure à une valeur seuil prédéterminée. Ainsi, par exemple, le couple modèle cinématique et filtre de Kalman (Exemple 1) peut être sélectionné lorsque la vitesse de lacet est supérieure à une valeur seuil. Lorsque la vitesse de lacet est supérieure à ladite valeur seuil, le calculateur sélectionne alors par exemple le couple modèle dynamique et filtre de Kalman étendu (Exemple 2) ou le couple basé sur un filtre particulaire (Exemples 3 et 4). Ce même principe de sélection peut être basé sur la vitesse longitudinal.
- [0186] Encore en variante, il peut être prévu, au lieu d'utiliser un algorithme d'apprentissage automatique, de sélectionner un couple modèle/filtre sur la base de plusieurs valeurs de paramètres cinématiques du véhicule en comparant chaque valeur à une valeur seuil associée. La sélection se fait alors en fonction de ces comparaisons, qui sont par exemple implémentées les unes après les autres. Les comparaisons concernant les paramètres cinématiques les plus importants (i.e. les plus représentatifs de la situation de conduite) peuvent être implémentées en premières.
- [0187] D'autres couples modèle/filtre que ceux décrits en détail ci-dessus peuvent être enregistrés sur la mémoire du calculateur et sélectionnés dans le procédé selon l'invention. A titre d'exemple, le filtre particulaire peut être utilisé en combinaison avec le modèle cinématique (Exemple 1) ou le modèle dynamique (Exemple 2). Il peut aussi être utilisé en combinaison avec un modèle mixte basé sur le modèle dynamique avec marche aléatoire (Exemple 4) incluant de plus l'angle de dérive estimé par un filtre de Kalman avec modèle cinématique. L'angle de dérive du filtre de Kalman est alors comparé avec l'angle estimé par le filtre particulaire pour améliorer l'estimation.
- [0188] Il peut aussi être prévu de sélectionner un seul couple modèle/filtre (toujours en fonction d'au moins un paramètre cinématique) puis d'estimer l'angle de dérive uniquement grâce à ce couple, c'est-à-dire sans passer par la détermination des angles de dérive préliminaires.

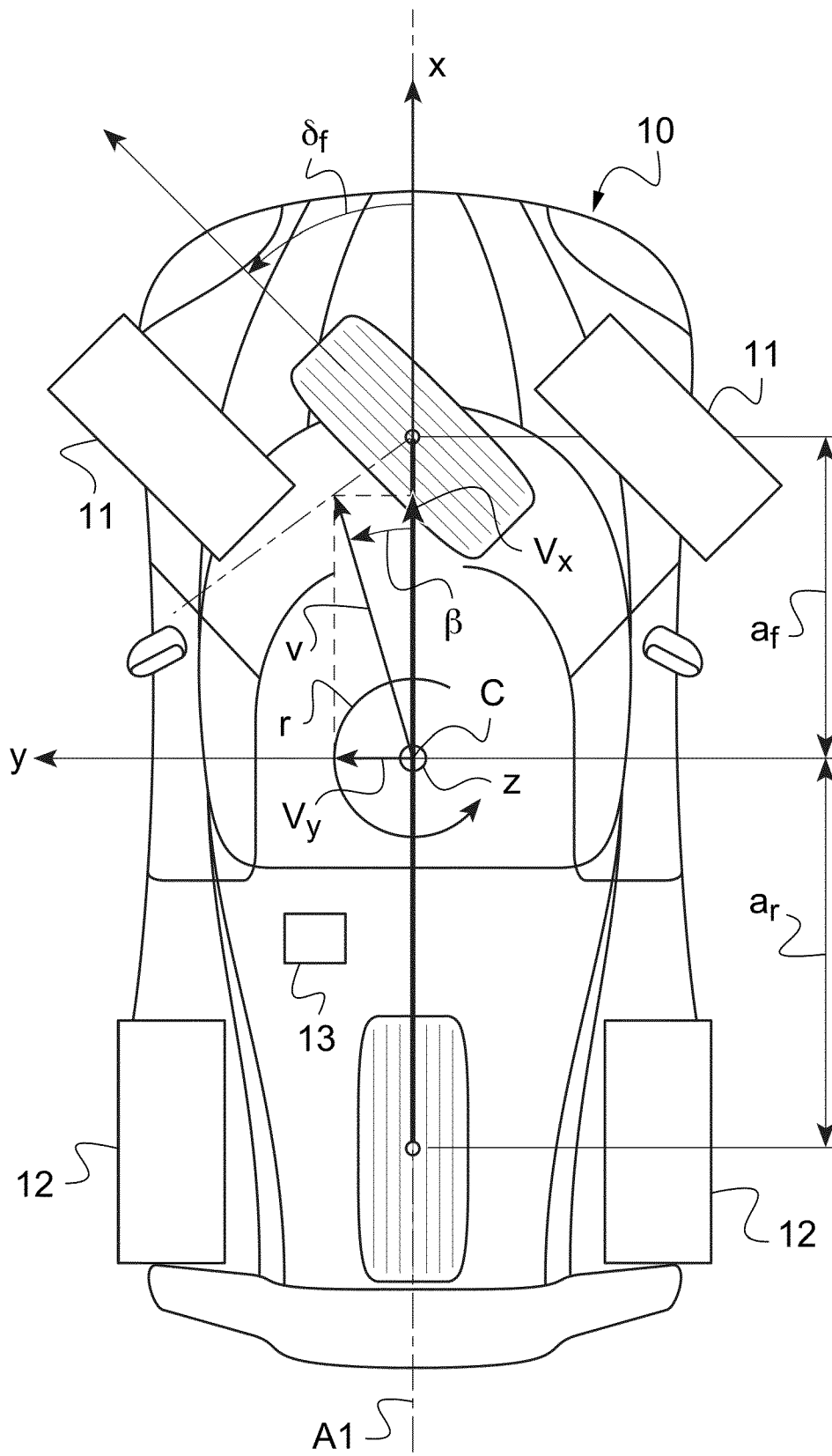
Revendications

- [Revendication 1] Procédé de calcul d'un angle de dérive (β) d'un véhicule automobile (10), le procédé étant mis en œuvre par un calculateur (13) du véhicule automobile (10), le procédé comprenant les étapes suivantes :
- acquisition d'une valeur d'au moins un paramètre cinématique (V_x , r) du véhicule automobile (10) ;
 - sélection d'un modèle et d'un filtre, sur la base de ladite valeur dudit au moins un paramètre cinématique (V_x , r), parmi respectivement une liste prédéterminée de modèles et une liste prédéterminée de filtres, ledit modèle décrivant un mouvement du véhicule automobile (10), ledit filtre étant adapté à estimer un état instantané dudit modèle sur la base d'au moins une donnée observable (V_y) et d'un état antérieur prédéterminé dudit modèle ;
 - détermination de ladite au moins une donnée observable (V_y) ;
 - calcul, par itération dudit filtre, de l'état instantané dudit modèle ;
 - déduction, à partir de l'état instantané, de l'angle de dérive (β).
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, selon lequel l'étape de sélection est basée sur un algorithme d'apprentissage automatique.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 2, dans lequel il est prévu d'entraîner l'algorithme d'apprentissage automatique sur la base d'une base de données associant des valeurs de paramètres cinématiques (V_x , r) du véhicule avec des couples formés d'un des modèles et d'un des filtres desdites listes,
- la base de donnée étant établie en équipant un véhicule de test d'un capteur adapté à mesurer l'angle de dérive et en déterminant, pour plusieurs ensembles de valeurs de paramètres cinématiques (V_x , r), lequel desdits couples fournit l'estimation de l'angle de dérive (β) la plus proche de la mesure de l'angle de dérive fournie par le capteur.
- [Revendication 4] Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, selon lequel le paramètre cinématique (V_x , r) est relatif au mouvement du véhicule automobile (10) par rapport à une chaussée sur laquelle circule le véhicule automobile (10) ou à un mouvement d'un élément mobile du véhicule destiné au roulage.
- [Revendication 5] Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, selon lequel chaque filtre de la liste prédéterminée est un filtre numérique récursif, bayésien ou particulière, qui est basé sur une chaîne de Markov cachée.
- [Revendication 6] Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, selon lequel chaque

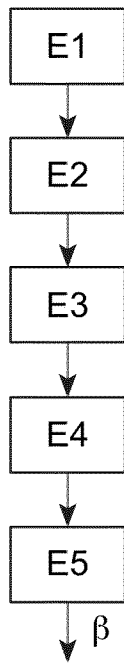
modèle de ladite liste prédéterminée est choisi dans le groupe comprenant : un modèle cinématique linéaire, un modèle dynamique non-linéaire, un modèle dynamique avec marche aléatoire, un modèle de type bicyclette.

- [Revendication 7] Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, selon lequel le modèle comprend au moins une équation de mouvement relative à une évolution temporelle d'un état du véhicule automobile (10) et au moins une équation de mesure permettant de calculer ladite donnée observable (V_y) sur la base d'une mesure d'au moins un paramètre cinématique (V_x, r).
- [Revendication 8] Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, selon lequel ladite donnée observable est relative au mouvement du véhicule automobile (10).
- [Revendication 9] Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel il est prévu, à chaque itération, de calculer plusieurs angles de dérive préliminaires au moyen de plusieurs couples formés d'un des modèles et d'un des filtres desdites listes, et de déterminer l'angle de dérive (β) en sélectionnant l'un des angles de dérive préliminaires sur la base de ladite valeur dudit au moins un paramètre cinématique (V_x, r).
- [Revendication 10] Véhicule automobile (10) comprenant un calculateur (13), ledit calculateur (13) comprenant :
- une interface adaptée à l'acquisition d'une valeur d'au moins un paramètre cinématique (V_x, r) du véhicule automobile (10) ;
 - une mémoire sur laquelle sont enregistrées une liste prédéterminée de modèles décrivant un mouvement du véhicule automobile (10) et une liste prédéterminée de filtres ;
 - un processeur programmé pour :
 - sélectionner un modèle et un filtre, sur la base de ladite valeur dudit au moins un paramètre cinématique (V_x, r), parmi respectivement une liste prédéterminée de modèles et une liste prédéterminée de filtres, ledit modèle décrivant un mouvement du véhicule automobile (10), ledit filtre étant adapté à estimer un état instantané dudit modèle sur la base d'au moins une donnée observable (V_y) et d'un état antérieur prédéterminé dudit modèle ;
 - déterminer ladite au moins une donnée observable (V_y) ;
 - calculer, par itération dudit filtre, l'état instantané dudit modèle ;
 - déduire, à partir de l'état instantané, l'angle de dérive (β).

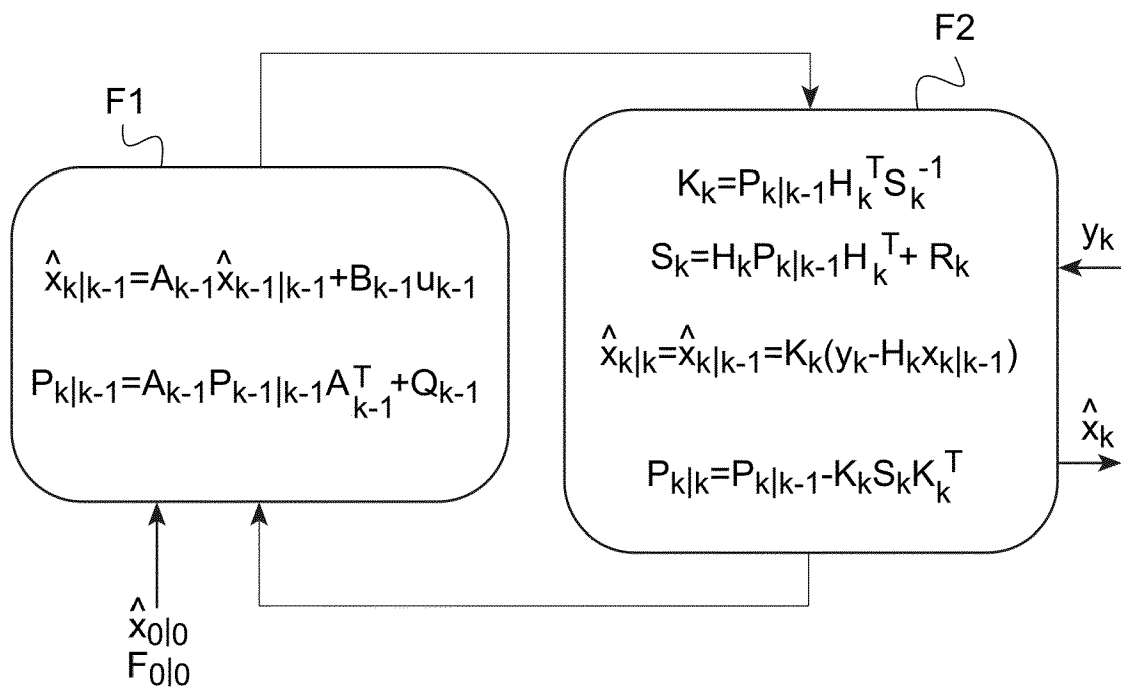
[Fig. 1]



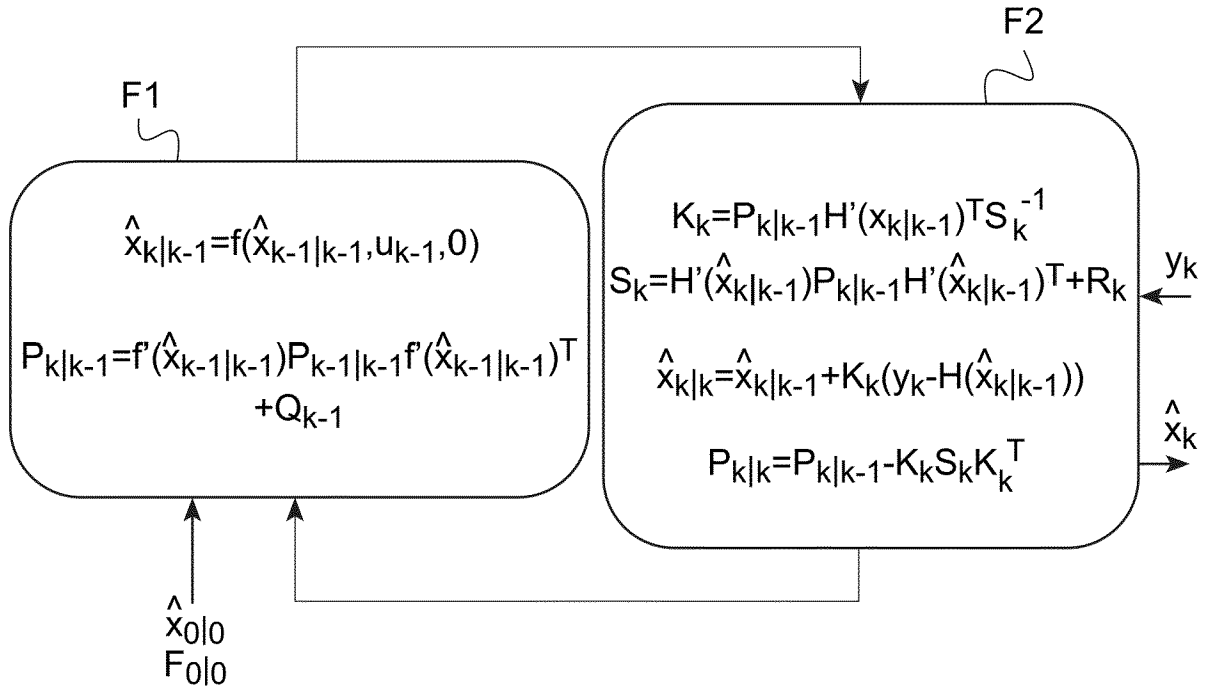
[Fig. 2]



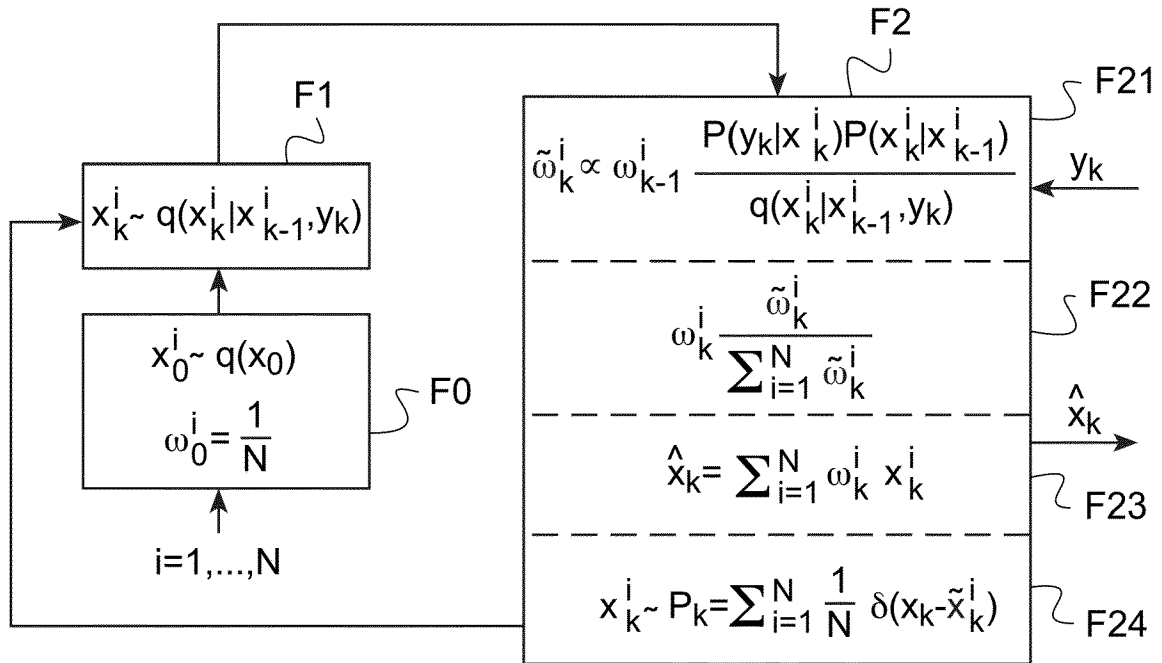
[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/065349

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**B60W 40/10**(2012.01)i; **B60W 40/103**(2012.01)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)

B60W

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, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 10059030 B4 (AISIN SEIKI [JP]) 28 June 2007 (2007-06-28) paragraph [0023]; figure 1	1-10
A	DE 102016214064 A1 (ZAHNRADFAB FRIEDRICHSHAFEN AG) 01 February 2018 (2018-02-01) paragraph [0034]	1-10
A	CN 116101295 A (CHONGQING CHANGAN AUTOMOBILE CO LTD) 12 May 2023 (2023-05-12) paragraphs [0040] - [0050]	1-10

☐ 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

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

05 September 2024

Date of mailing of the international search report

16 September 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

Stolle, Martin

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2024/065349

Patent document cited in search report				Publication date (day/month/year)		Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)	
DE	10059030	B4	28 June 2007	DE	10059030	A1	13 June 2001		
				JP	4042277	B2	06 February 2008		
				JP	2001153678	A	08 June 2001		
				US	6456920	B1	24 September 2002		
DE	102016214064	A1	01 February 2018	CN	109476317	A	15 March 2019		
				DE	102016214064	A1	01 February 2018		
				EP	3490863	A1	05 June 2019		
				JP	2019523176	A	22 August 2019		
				US	2019263421	A1	29 August 2019		
				WO	2018019518	A1	01 February 2018		
CN	116101295	A	12 May 2023	NONE					

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. B60W40/10 B60W40/103 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) B60W		
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, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	DE 100 59 030 B4 (AISIN SEIKI [JP]) 28 juin 2007 (2007-06-28) alinéa [0023]; figure 1 -----	1 - 10
A	DE 10 2016 214064 A1 (ZAHNRADFAB FRIEDRICHSHAFEN AG) 1 février 2018 (2018-02-01) alinéa [0034] -----	1 - 10
A	CN 116 101 295 A (CHONGQING CHANGAN AUTOMOBILE CO LTD) 12 mai 2023 (2023-05-12) alinéas [0040] - [0050] -----	1 - 10
☐ 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 5 septembre 2024		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 16/09/2024
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 Stolle, Martin

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2024/065349

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 10059030 B4	28-06-2007	DE 10059030 A1	13-06-2001
		JP 4042277 B2	06-02-2008
		JP 2001153678 A	08-06-2001
		US 6456920 B1	24-09-2002
DE 102016214064 A1	01-02-2018	CN 109476317 A	15-03-2019
		DE 102016214064 A1	01-02-2018
		EP 3490863 A1	05-06-2019
		JP 2019523176 A	22-08-2019
		US 2019263421 A1	29-08-2019
		WO 2018019518 A1	01-02-2018
CN 116101295 A	12-05-2023	AUCUN	