(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** ***3 144 089***

(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **22 14150**

(51) Int Cl[8] : ***B 60 W 30/09*** *(2023.01), B 60 W 30/095, G 05 D 1/43*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 21.12.22.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 28.06.24 Bulletin 24/26.

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

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

( ) **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *RENAULT SAS* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** KAPSALIS Dimitrios, MARTINEZ John-Jairo, MILANES Vicente et SENAME Olivier.

(73) **Titulaire(s) :** RENAULT SAS.

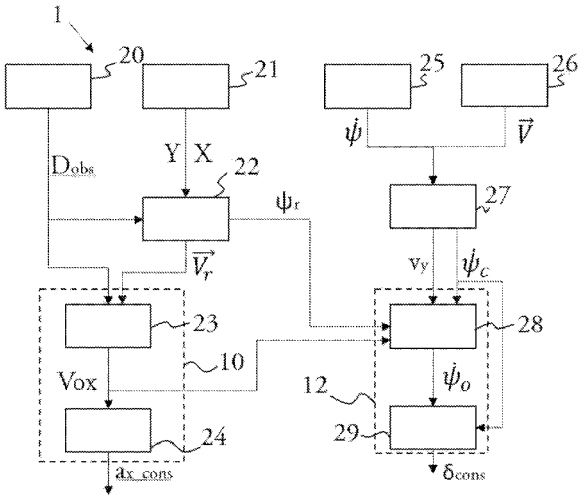
(74) **Mandataire(s) :** EX MATERIA.

(54) Procédé de contrôle de la trajectoire d'un véhicule permettant l'évitement d'obstacle.

(57) Procédé de contrôle de la trajectoire d'un véhicule permettant l'évitement d'obstacle

La présente invention concerne un procédé de contrôle (1) de la trajectoire d'un véhicule à l'approche d'un obstacle, comportant une étape (12) de contrôle d'un angle de braquage des roues mettant en œuvre un calcul d'une consigne de vitesse de lacet () du véhicule et une boucle de contrôle de l'angle de braquage des roues en fonction de la consigne de vitesse de lacet) calculée, l'étape (12) de contrôle de l'angle de braquage des roues utilisant une vitesse longitudinale du véhicule,le procédé de contrôle (1) étant caractérisé en ce qu'il comporte en outre une étape (10) de contrôle d'une vitesse du véhicule, et en ce que ladite vitesse longitudinale du véhicule est une vitesse longitudinale de consigne (Vox) déterminée lors de l'étape (12) de contrôle de la vitesse du véhicule.

(figure 2)



FR 3 144 089 - A1

Description

Titre de l'invention : Procédé de contrôle de la trajectoire d'un véhicule permettant l'évitement d'obstacle

[0001] La présente invention se rapporte au domaine de l'industrie automobile, et concerne plus précisément un procédé de contrôle de la trajectoire d'un véhicule autonome ou équipé d'un système avancé d'aide à la conduite.

[0002] Ces véhicules sont équipés de capteurs permettant d'appréhender leur environnement, et d'actionneurs permettant d'agir sur la transmission et la direction du véhicule, sans intervention du conducteur, les actionneurs étant eux-mêmes commandés par un ou plusieurs calculateurs généralement embarqués dans le véhicule. Un tel véhicule gère donc lui-même la trajectoire du véhicule, au moins dans certains contextes de roulage du véhicule.

[0003] Un tel véhicule doit traiter des scénarios généralement complexes. Pour qu'un calculateur du véhicule puisse prendre et exécuter une décision optimale quant à la trajectoire à suivre, par exemple en termes d'angle au volant ou de vitesse à faire prendre au véhicule, il est nécessaire de faire coopérer plusieurs modules logiciels et de fusionner des informations issues de ces modules en temps réel.

[0004] Un des problèmes complexes récurrents que doit résoudre un tel véhicule est l'évitement d'obstacles à haute vitesse. En effet ce problème requiert une coopération entre un système de contrôle latéral du véhicule, gérant l'angle de braquage des roues du véhicule, et un système de contrôle longitudinal du véhicule, gérant la vitesse du véhicule. Une intégration des données de ces systèmes pour résoudre ce problème résulte en une équation non linéaire et difficile à résoudre en temps réel pour réguler à la fois la vitesse du véhicule et l'angle de braquage des roues du véhicule.

[0005] Les solutions de contrôle existantes pour les manœuvres d'évitement d'obstacles sont principalement basées sur une régulation de la direction du véhicule uniquement, qui en fonction d'une vitesse longitudinale mesurée du véhicule, modifie dynamiquement une vitesse de lacet du véhicule vers une nouvelle trajectoire de référence générée par le calculateur du véhicule.

[0006] Du fait que la génération d'une consigne de vitesse de lacet est intimement liée à la vitesse longitudinale mesurée du véhicule, à haute vitesse lors d'une manœuvre d'évitement d'obstacle le véhicule va atteindre ses limites physiques et sera incapable de tourner aussi vite que demandé et de suivre la consigne de vitesse de lacet. Cela peut causer des oscillations ou même une instabilité du véhicule même si celui-ci parvient finalement à éviter l'obstacle et à rejoindre une nouvelle trajectoire de référence.

[0007] Ces solutions ne tiennent pas compte de l'évolution longitudinale du véhicule dans leur calcul de la vitesse de lacet, ni des limites physiques des systèmes de freinage et de direction du véhicule, ce qui peut empêcher le véhicule de réaliser la manœuvre d'évitement de manière satisfaisante.

[0008] L'invention vise à remédier au moins en partie aux inconvénients de l'état de la technique en fournissant un procédé de contrôle de la trajectoire d'un véhicule à l'approche d'un obstacle, dans lequel des consignes de vitesse longitudinale et de lacet du véhicule sont optimisées de sorte que les limites physiques d'un système de direction du véhicule puissent être respectées à haute vitesse, permettant ainsi au véhicule d'éviter l'obstacle par une manœuvre rapide sans créer d'instabilité.

[0009] A cette fin, l'invention propose un procédé de contrôle de la trajectoire d'un véhicule à l'approche d'un obstacle, comportant une étape de contrôle d'un angle de braquage des roues mettant en œuvre un calcul d'une consigne de vitesse de lacet du véhicule et une boucle de contrôle de l'angle de braquage des roues en fonction de la consigne de vitesse de lacet calculée, l'étape de contrôle de l'angle de braquage des roues utilisant une vitesse longitudinale du véhicule,

le procédé de contrôle étant caractérisé en ce qu'il comporte en outre une étape de contrôle d'une vitesse du véhicule, et en ce que ladite vitesse longitudinale du véhicule est une vitesse longitudinale de consigne déterminée lors de l'étape de contrôle de la vitesse du véhicule.

[0010] Grâce à l'invention, un problème complexe d'évitement d'obstacle est réalisé simplement grâce au découplage de l'étape de contrôle de la vitesse du véhicule d'une part et de l'étape de contrôle de l'angle de braquage des roues du véhicule d'autre part, l'étape de contrôle de l'angle de braquage des roues n'utilisant qu'un paramètre exogène issu de l'étape de contrôle de la vitesse du véhicule. En effet ces deux étapes sont exécutées en parallèle, et l'étape de contrôle de l'angle de braquage des roues du véhicule n'influence aucunement l'étape de contrôle de la vitesse du véhicule. Inversement, seule la vitesse longitudinale de consigne du véhicule influe sur l'étape de contrôle de l'angle de braquage des roues du véhicule. Dans cette demande, la direction longitudinale du véhicule est orientée parallèlement à la longueur du véhicule. En utilisant ce découplage, chaque étape peut tenir compte des limites propres au système de freinage ou au système de direction du véhicule.

[0011] Selon une caractéristique avantageuse du procédé de contrôle de la trajectoire selon l'invention, l'étape de contrôle de la vitesse du véhicule comporte une sous-étape d'optimisation d'une fonction objectif tenant compte d'une distance calculée en fonction d'une part d'une distance mesurée entre le véhicule et l'obstacle et d'autre part d'un angle de lacet du véhicule, la sous-étape d'optimisation étant apte à fournir une accélération longitudinale de consigne du véhicule, dont l'intégration fournit ladite

vitesse longitudinale de consigne. Grâce à cette caractéristique, on ajoute à la boucle de contrôle des informations issues des capteurs du véhicule. En effet la vitesse longitudinale de consigne tient compte de ces informations, et impose au véhicule de ralentir à l'approche de l'obstacle, ce qui permet à la vitesse de lacet de s'adapter à une vitesse longitudinale de consigne plus faible que dans l'art antérieur, et d'effectuer un évitement sans oscillations. La distance calculée est fonction de la distance mesurée au moins pendant une certaine durée précédant le contournement de l'obstacle. L'accélération longitudinale de consigne est ici une valeur pouvant être positive ou négative, c'est-à-dire qu'il peut s'agir d'une consigne d'accélération ou de décélération longitudinale.

[0012] Dans un mode de réalisation de l'invention, la distance calculée est fonction d'une distance minimale de sécurité entre le véhicule et l'obstacle à contourner. Ainsi l'évitement de l'obstacle se fait avec une marge de sécurité paramétrable.

[0013] Avantageusement, la distance calculée augmente en fonction de l'angle de lacet du véhicule au moins jusqu'à ce que l'angle de lacet permette de contourner l'obstacle. Ainsi au fur et à mesure que le véhicule est proche de son objectif d'évitement de l'obstacle, le freinage est diminué ce qui permet au véhicule de reprendre la direction d'une nouvelle trajectoire sans décélération excessive.

[0014] Dans un mode de réalisation de l'invention, la sous-étape d'optimisation répond à une contrainte selon laquelle une distance parcourue par le véhicule pendant un nombre prédéterminé de pas de calcul est inférieure à ladite distance calculée. Cette réalisation de la sous-étape d'optimisation permet une adaptation de la distance de freinage en temps réel et paramétrable.

[0015] Selon une caractéristique avantageuse du procédé de contrôle de la trajectoire selon l'invention, dès que l'angle de lacet permet de contourner l'obstacle, la distance calculée est réactualisée de sorte à ne plus la faire dépendre de la distance mesurée entre le véhicule et l'obstacle, selon un choix de mode de conduite prédéfini. Ainsi la décélération du véhicule une fois que celui-ci est dirigé de sorte à éviter l'obstacle est paramétrable en fonction d'un choix de conduite, par exemple sélectionné par un utilisateur du véhicule. Notamment l'utilisateur peut choisir la vitesse d'exécution de la manœuvre complète d'évitement de l'obstacle en sélectionnant un mode rapide ou sportif ou bien un mode au ressenti plus sécuritaire et plus souple.

[0016] Par exemple, dès que l'angle de lacet permet de contourner l'obstacle, la distance calculée est réactualisée de sorte à ne plus contraindre la fonction objectif, ou à la contraindre en fonction d'un autre obstacle sur la trajectoire du véhicule, au lieu dudit obstacle à contourner. En variante la contrainte sur la distance calculée est supprimée dans la sous-étape d'optimisation de la fonction objectif. Cette suppression de la dépendance de la vitesse longitudinale de consigne à la distance calculée permet au

véhicule de reprendre de la vitesse dès qu'il ne se dirige plus vers l'obstacle, et de gagner sa nouvelle trajectoire très rapidement.

[0017] Alternativement, l'environnement du véhicule étant découpé orthogonalement à une trajectoire initiale du véhicule, en une première zone ne comportant pas l'obstacle et comprise entre le véhicule et une première extrémité de l'obstacle, et une deuxième zone comportant l'obstacle et comprise entre la première extrémité de l'obstacle et une deuxième extrémité de l'obstacle, tant que le véhicule est dans la première zone, dès que l'angle de lacet permet de contourner l'obstacle, la distance calculée est réactualisée de sorte à ne plus dépendre que de l'angle de lacet et d'une distance entre le véhicule et une trajectoire cible du véhicule. Dans cette alternative, le véhicule ne reprend vraiment de la vitesse que lorsque le véhicule commence à dépasser l'obstacle, ce qui rend sa manœuvre plus souple que dans l'exemple précédent.

[0018] Dans encore une autre alternative, l'environnement du véhicule étant découpé orthogonalement à une trajectoire initiale du véhicule, en une première zone ne comportant pas l'obstacle et comprise entre le véhicule et une première extrémité de l'obstacle, et une deuxième zone comportant l'obstacle et comprise entre la première extrémité de l'obstacle et une deuxième extrémité de l'obstacle, tant que le véhicule est dans la première ou la deuxième zone, dès que l'angle de lacet permet de contourner l'obstacle, la distance calculée est réactualisée de sorte à ne plus dépendre que de l'angle de lacet et d'une distance entre le véhicule et une trajectoire cible du véhicule. Dans cette autre alternative, le véhicule ne reprend vraiment de la vitesse que lorsque le véhicule a dépassé l'obstacle, ce qui rend sa manœuvre encore confortable et plus souple que dans l'alternative précédente.

[0019] L'invention concerne aussi un programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution des étapes du procédé de contrôle selon l'invention, lorsque ledit programme est exécuté sur un ou plusieurs calculateurs d'un véhicule. Le programme d'ordinateur selon l'invention comporte des avantages analogues à ceux du procédé de contrôle selon l'invention.

[0020] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront encore au travers de la description qui suit d'une part, et de plusieurs exemples de réalisation donnés à titre indicatif et non limitatif en référence aux dessins schématiques annexés d'autre part, sur lesquels :

[0021] [Fig.1] illustre schématiquement des repères pour le positionnement d'un véhicule implémentant un procédé de contrôle selon l'invention, ces repères étant utilisés par ce procédé de contrôle selon l'invention, dans un mode de réalisation de l'invention,

[0022] [Fig.2] illustre des moyens et des étapes utilisés ou mis en œuvre par le procédé de contrôle selon l'invention, dans ce mode de réalisation de l'invention,

[0023] [Fig.3] illustre un environnement du véhicule tel que modélisé par le procédé de

contrôle de la [Fig.2],

[0024] [Fig.4] représente la trajectoire prise par un véhicule n'implémentant par le procédé de contrôle selon l'invention, lors d'une manœuvre d'évitement d'obstacle,

[0025] [Fig.5] représente des vitesses de lacet du véhicule de la [Fig.4] pendant cette manœuvre d'évitement d'obstacle,

[0026] [Fig.6] représente des trajectoires prises par le véhicule de la [Fig.1] implémentant le procédé de contrôle de la [Fig.2] lors d'une manœuvre d'évitement d'obstacle,

[0027] [Fig.7] représente des vitesses longitudinales du véhicule de la [Fig.1] lors des trajectoires prises par celui-ci et représentées [Fig.6],

[0028] [Fig.8] représente des angles au volant du véhicule de la [Fig.1] lors des trajectoires prises par celui-ci et représentées [Fig.6], et

[0029] [Fig.9] représente des accélérations latérales du véhicule de la [Fig.1] lors des trajectoires prises par celui-ci et représentées [Fig.6].

[0030] Dans un mode de réalisation de l'invention, un véhicule 2 représenté figure 1 selon un modèle dit « bicyclette » implémente un procédé de contrôle 1 de trajectoire selon l'invention (référencé figure 2), et présente un centre de gravité G. Sa position est repérée dans un repère orthonormé (O, X, Y) fixe par rapport au véhicule 2, et dans lequel est mesurée une vitesse de lacet $\dot{\psi}$ du véhicule. L'axe (OX) est parallèle à une trajectoire initiale du véhicule, sur laquelle se trouve un obstacle Obs (référencé [Fig.3]).

[0031] Dans le modèle dit « bicyclette », les roues arrière du véhicule 2 sont fusionnées en une seule roue Wr et les roues avant du véhicule 2 en une seule roue Wf. Un repère orthonormé (G,x,y) solidaire du véhicule 2 comporte un axe longitudinal (Gx) passant par le centre de gravité G du véhicule 2, par le centre des roues fusionnées Wr, Wf, et orienté vers l'avant du véhicule 2. Cet axe longitudinal (Gx) est appelé axe longitudinal du véhicule 2. Le repère orthonormé (G,x,y) comporte un axe latérale (Gy) passant par le centre de gravité G du véhicule, parallèle au plancher du véhicule et orthogonal à l'axe longitudinal (Gx) du véhicule 2. Cet axe latéral (Gy) est dirigé ici vers le côté gauche du véhicule 2 et il est appelé axe latéral du véhicule 2.

[0032] Dans le repère orthonormé (G,x,y) solidaire du véhicule 2, une vitesse $\vec{V}$ mesurée (par rapport au repère orthonormé (O,X,Y) fixe) du véhicule 2 est décomposée selon l'axe longitudinal (Gx) en une vitesse longitudinale v_x, et selon l'axe latéral (Gy) du véhicule 2, en une vitesse latérale v_y. La roue avant Wf présente un angle de braquage δ avec l'axe longitudinal (Gx) du véhicule 2. Cet angle de braquage δ est un angle de braquage des roues du véhicule 2, représentatif de la direction prise par celui-ci à un instant donné.

[0033] Comme représenté [Fig.2], le véhicule 2 comporte des moyens de perception 20 de l'environnement immédiat du véhicule 2, ces moyens de perception 20 comportant un

ou plusieurs capteurs tels que des radars, LiDAR (d'après l'anglais « Light Detection And Ranging) ou caméras. Les moyens de perception 20 déduisent de ces capteurs, une distance mesurée Dobs entre le véhicule 2 et l'obstacle Obs se présentant sur la trajectoire initiale du véhicule 2.

[0034] Le véhicule 2 comporte de plus un moyen de positionnement 21 tel qu'un module GPS (d'après l'anglais « Global Positioning System ») apte à fournir une position (X,Y) du véhicule 2 dans le repère orthonormé (O,X,Y) fixe.

[0035] Le véhicule 2 comporte également un gyroscope 25 fournissant la vitesse de lacet mesurée $\dot{\psi}$ du véhicule 2, et un capteur de vitesse 26 fournissant la vitesse $\vec{V}$ mesurée du véhicule 2.

[0036] Dans ce mode de réalisation de l'invention, le procédé de contrôle 1 est mis en œuvre dans un calculateur du véhicule 2, qui reçoit par exemple via un bus informatique central du véhicule 2 (aussi appelé « bus CAN » pour l'anglais « Controller Area Network »), la distance mesurée Dobs à l'obstacle Obs, la position (X,Y) du véhicule 2 dans le repère orthonormé (O,X,Y) fixe, la vitesse de lacet mesurée $\dot{\psi}$ et la vitesse $\vec{V}$ mesurée du véhicule 2, ces données étant mises à jour en temps réel par les différents moyens et capteurs du véhicule 2.

[0037] Le calculateur du véhicule 2 comporte un module de navigation 22 qui établit à partir de la position (X, Y) du véhicule 2, et de la distance mesurée Dobs à l'obstacle Obs, une nouvelle trajectoire Tr (référencée figure 3) à suivre pour le véhicule 2, avec une vitesse de référence $\vec{V}_r$ et un angle de lacet de référence ψr qui suit la courbe de cette nouvelle trajectoire Tr.

[0038] Le calculateur du véhicule 2 comporte aussi un module d'estimation 27 de l'état latéral du véhicule 2. Ce module d'estimation 27 estime une vitesse latérale v_y du véhicule 2 dans le repère orthonormé (G,x,y) du véhicule 2, et utilise un modèle pour fournir une vitesse de lacet corrigée $\dot{\psi}$c à partir notamment de la vitesse de lacet mesurée $\dot{\psi}$.

[0039] Le calculateur du véhicule 2 met en œuvre une étape 10 de contrôle de la vitesse du véhicule 2, cette étape 10 utilisant un planificateur longitudinal 23, qui optimise la vitesse de référence $\vec{V}_r$ notamment en fonction des caractéristiques physiques de systèmes de freinage, de propulsion et de transmission du véhicule 2, et de la distance mesurée Dobs à l'obstacle Obs. Le planificateur longitudinal 23 fournit en sortie une vitesse longitudinale de consigne Vox, dont l'obtention sera détaillée plus loin en relation avec la [Fig.3].

[0040] L'étape 10 de contrôle de la vitesse du véhicule utilise également un contrôleur longitudinal 24 qui applique une accélération ou une décélération ax_cons de consigne à des actionneurs du véhicule 2 pour lui faire prendre la vitesse longitudinale de

consigne Vox.

[0041] En parallèle de cette étape 10 de contrôle de la vitesse du véhicule 2, le calculateur du véhicule 2 met en œuvre une étape 12 de contrôle de la vitesse de lacet du véhicule 2, utilisant un planificateur latéral 28 dont le fonctionnement sera détaillé plus loin en relation avec la figure 3. Le planificateur latéral 28 reçoit en entrée la vitesse latérale v_y du véhicule 2 estimée par le module d'estimation 27, la vitesse de lacet corrigée $\dot{\psi}$c par le module d'estimation 27, l'angle de lacet de référence ψr fourni par le module de navigation 22, et la vitesse longitudinale de consigne Vox issue du planificateur longitudinal 23. Le planificateur latéral 28 utilise ces entrées pour fournir une consigne de vitesse de lacet $\dot{\psi}$o. Cette consigne tient compte des limites physiques du système de direction du véhicule 2.

[0042] L'étape 12 de contrôle de la vitesse de lacet du véhicule 2 utilise également un contrôleur latéral 29 qui met en œuvre une boucle de contrôle, en fonction de la consigne de vitesse de lacet $\dot{\psi}$o, d'une consigne d'angle de braquage des roues δcons, envoyée à des actionneurs du véhicule 2 pour lui faire prendre cette consigne de vitesse de lacet $\dot{\psi}$o.

[0043] Lors de l'étape 10 de contrôle de la vitesse du véhicule 2, le planificateur longitudinal 23 détermine une distance calculée Dmax représentée [Fig.3], comme suit :

[0044] Dmax = Dobs – Ds, où Ds est une distance de sécurité de quelques mètres autour de l'obstacle Obs.

[0045] Puis le planificateur longitudinal 23 détermine une variable Ytr (référencée [Fig.3]) telle que :

[0046] Ytr = Wobs – Dmax/tan(ψ) où Wobs est la dimension de l'obstacle orthogonalement à l'axe OX donc à la trajectoire initiale du véhicule 2, et tan(ψ) la tangente à l'angle de lacet ψ du véhicule mesuré par le module d'estimation 27 de l'état latéral du véhicule 2, cet angle de lacet ψ étant représentatif du changement de direction du véhicule 2 par rapport à l'axe (OX) du repère orthonormé (O, X, Y) fixe, donc par rapport à sa trajectoire initiale.

[0047] Si la variable Ytr est de valeur négative, cela signifie que la direction immédiate du véhicule 2 vers sa nouvelle trajectoire Tr est telle que le véhicule 2 ne devrait pas rencontrer l'obstacle Obs. Si au contraire la variable Ytr est de valeur strictement positive, c'est que la direction immédiate du véhicule 2 vers sa nouvelle trajectoire Tr est telle que le véhicule 2 rencontrerait l'obstacle Obs s'il maintenait cette direction. Sur la [Fig.3], le point critique Pc correspond à la valeur nulle de la variable Ytr et donc au point cible que l'axe longitudinal (Gx) du véhicule 2 doit s'efforcer de rencontrer en tournant vers sa nouvelle trajectoire Tr.

[0048] Le planificateur longitudinal 23 modifie ensuite la valeur de la distance calculée Dmax en fonction de la variable Ytr et d'un mode de conduite, sélectionné par

exemple par un utilisateur du véhicule 2.

[0049] Selon un premier mode de conduite sportif, lorsque la variable Ytr est de valeur strictement positive, le planificateur longitudinal 23 augmente la distance calculée Dmax en fonction de l'angle de lacet ψ du véhicule, plus précisément de manière inversement proportionnelle au cosinus de cet angle de lacet ψ mesuré :

[0050] $Dmax = Dmax/\cos(\psi)$

[0051] Autrement dit la distance calculée Dmax est prise égale non pas à la distance réelle Dobs à l'obstacle Obs mais à une distance de parcours du véhicule jusqu'à l'obstacle Obs à direction du véhicule constante et orientée selon l'angle de lacet ψ mesuré à un instant de traitement par le planificateur longitudinal 23, une distance de sécurité $(Ds/\cos(\psi))$ étant retranchée à cette distance de parcours.

[0052] Lorsqu'au contraire la variable Ytr est de valeur négative, dans ce premier mode de conduite sportif, le planificateur longitudinal 23 donne à la distance calculée Dmax une valeur très importante, par exemple de cent mètres, de manière à ne plus imposer de freinage au véhicule 2 :

[0053] $Dmax = 100$

[0054] La distance Dobs à l'obstacle étant mis à jour en temps réel, la distance calculée Dmax l'est aussi avant modification par le planificateur longitudinal 23 en fonction de la variable Ytr. La distance calculée Dmax étant utilisée pour déterminer la vitesse longitudinale de consigne Vox, plus cette distance calculée Dmax est petite plus la vitesse longitudinale de consigne Vox freine le véhicule 2. Dans ce premier mode de conduite sportif, les modifications du planificateur 23 laissent le véhicule 2 freiner jusqu'à ce que le véhicule 2 soit dirigé de manière à éviter l'obstacle Obs, puis lorsque le point cible Pc est atteint par l'axe longitudinal (Gx) du véhicule 2, celui-ci n'est plus freiné par l'obstacle Obs, mais peut l'être par d'autres contraintes de trajectoire.

[0055] Selon un deuxième mode de conduite souple, on distingue trois zones distinctes dans lesquelles évolue le véhicule 2 lors de sa manœuvre d'évitement d'obstacle. Une première zone z1 s'étend parallèlement à la trajectoire initiale du véhicule 2, dans le repère orthonormé (O, X, Y) fixe, entre une position initiale du véhicule 2 et l'obstacle Obs. Une deuxième zone z2 s'étend parallèlement à la trajectoire initiale du véhicule 2, dans le repère orthonormé (O, X, Y) fixe, sur toute la dimension Lobs de l'obstacle Obs parallèlement à l'axe (OX), c'est-à-dire entre une première extrémité de l'obstacle Obs située sur une droite orthogonale à la trajectoire initiale du véhicule 2, proximale au véhicule 2, et une deuxième extrémité de l'obstacle Obs située sur une droite orthogonale à la trajectoire initiale du véhicule 2, distale du véhicule 2. Une troisième zone z3 s'étend parallèlement à la trajectoire initiale du véhicule 2, dans le repère orthonormé (O, X, Y) fixe, à partir de la deuxième extrémité de l'obstacle Obs.

[0056] Dans ce deuxième mode de conduite souple, lorsque la variable Ytr est de valeur

strictement positive, le planificateur longitudinal 23 augmente également la distance calculée Dmax en fonction de l'angle de lacet ψ du véhicule, de manière inversement proportionnelle au cosinus de cet angle de lacet ψ mesuré :

[0057] $Dmax = Dmax/\cos(\psi)$

[0058] Lorsqu'au contraire la variable Ytr est de valeur négative, dans ce deuxième mode de conduite souple, tant que le véhicule se trouve dans la zone z1, le planificateur longitudinal 23 donne à la distance calculée Dmax une valeur qui ne dépend plus de la distance Dobs mesurée à l'obstacle, mais qui dépend de l'angle de lacet ψ mesuré et d'une distance Ycg entre le véhicule et la nouvelle trajectoire Tr du véhicule 2, qui est une trajectoire cible :

[0059] $Dmax = Ycg/\sin(\psi)$

[0060] Il est à noter que la trajectoire cible Tr est parallèle à la trajectoire initiale du véhicule mais déportée latéralement par rapport à cette trajectoire initiale.

[0061] Dmax étant prise égale à la distance Ycg entre le véhicule 2 et la nouvelle trajectoire Tr du véhicule 2, divisée par le sinus de l'angle de lacet ψ mesuré, cela signifie qu'une fois le véhicule 2 dirigé de manière à éviter l'obstacle Obs, le freinage du véhicule 2 est fonction de la distance de parcours du véhicule 2 jusqu'à la nouvelle trajectoire Tr à direction du véhicule constante et orientée selon l'angle de lacet ψ mesuré à l'instant de traitement par le planificateur longitudinal 23. Autrement dit le véhicule 2 continue à freiner dans la zone z1 après s'être dirigé de manière à éviter l'obstacle Obs, afin qu'il se dirige plus doucement que dans le premier mode de conduite, vers sa nouvelle trajectoire Tr.

[0062] Selon un troisième mode de conduite ressenti comme plus sécuritaire par un utilisateur, lorsque la variable Ytr est de valeur strictement positive, la distance calculée Dmax est toujours prise égale, par le planificateur longitudinal 23, à :

[0063] $Dmax = Dmax/\cos(\psi)$

[0064] Lorsqu'au contraire la variable Ytr est de valeur négative, dans ce troisième mode de conduite, tant que le véhicule se trouve dans les zones z1 et z2, le planificateur longitudinal 23 donne à la distance calculée Dmax une valeur qui ne dépend plus de la distance Dobs mesurée à l'obstacle, mais qui dépend de l'angle de lacet ψ mesuré et de la distance Ycg entre le véhicule et la nouvelle trajectoire Tr du véhicule 2 :

[0065] $Dmax = Ycg/\sin(\psi)$

[0066] Autrement dit, comme dans le deuxième mode de conduite, dans ce troisième mode, une fois le véhicule 2 dirigé de manière à éviter l'obstacle Obs, le freinage du véhicule 2 est fonction de la distance de parcours du véhicule 2 jusqu'à la nouvelle trajectoire Tr à direction du véhicule constante et orientée selon l'angle de lacet ψ mesuré à l'instant de traitement par le planificateur longitudinal 23. Ainsi le véhicule 2 continue à freiner jusqu'à dépasser l'obstacle Obs, dans sa manœuvre de redirection vers la

nouvelle trajectoire Tr, ce qui permet un ressenti plus sécuritaire que dans le deuxième mode de conduite.

[0067] La distance calculée Dmax modifiée par le planificateur longitudinal 23, est utilisée par celui-ci dans une sous-étape d'optimisation d'une fonction objectif J qui fournit en sortie l'accélération (ou décélération) longitudinale ax_cons de consigne du véhicule, dont l'intégration fournit la vitesse longitudinale de consigne Vox. Il s'agit donc d'une commande prédictive de la vitesse longitudinale du véhicule, sujette à des contraintes données. On a :

[0068] $\dot{v}_x = a_x$ et $\dot{d} = v_x$

où a_x est l'accélération longitudinale instantanée du véhicule 2, sur l'axe longitudinal (Gx) du véhicule 2, v_x est la vitesse longitudinale instantanée du véhicule 2, sur l'axe longitudinal (Gx) du véhicule 2, et d est la distance parcourue par le véhicule 2 depuis une position initiale du véhicule 2, prise par exemple lorsque le véhicule 2 est sur sa trajectoire initiale. Ces données sont discrétisées par pas de calcul et notées $a_x(k)$, $v_x(k)$ et $d(k)$ pour désigner leur valeur à un pas de calcul k quelconque.

[0069] La commande prédictive consiste à trouver, à chaque pas de calcul k, l'accélération longitudinale $a_x(k)$ qui minimise la fonction objectif J :

[0070] $J = \sum_{i=1}^{N} \left(\left(v_x(k+i) - v_{x,ref} \right)^2 + a_x(k)^2 \right)$

[0071] Avec les contraintes : $\forall\ i = 1, \ldots, N$

[0072] $d(k+i) \leq Dmax$

[0073] $a_x(k+i) \leq a_{x,max}$

[0074] $\left| a_x(k+i) - a_x(k) \right| \leq D_a$

[0075] Où :

[0076] - $a_{x,max}$ est une valeur maximale d'accélération à ne pas dépasser,

[0077] - $v_{x,ref}$ est une vitesse longitudinale de référence du véhicule 2 correspondant à la projection de la vitesse de référence $\vec{V}_r$ fournie par le module de navigation 22, sur l'axe longitudinal (Gx) du véhicule 2, et

- D_a est un incrément ou décrément d'accélération maximal entre un pas de calcul k+i et le pas de calcul k.

[0078] Le nombre N de pas de calcul considéré dans la fonction objectif J est fixé par l'Homme du métier par exemple suite à différents essais de fonctionnement du planificateur longitudinal 23 sur un système de freinage ou motopropulseur donné.

[0079] L'accélération longitudinale $a_x(k)$ minimisant de la fonction objectif J est ensuite prise comme accélération (ou décélération) longitudinale ax_cons de consigne du véhicule 2, et permet par intégration de cette consigne, de déterminer la vitesse longitudinale de consigne Vox. Cette vitesse longitudinale de consigne Vox est ensuite fournie en entrée du planificateur latéral 28.

[0080] Lors de l'étape 12 de contrôle de l'angle de braquage des roues du véhicule, le planificateur latéral 28 utilise une boucle de contrôle de l'angle δ de braquage des roues en fonction d'une consigne de vitesse de lacet $\dot{\psi}_o$ qui est une référence virtuelle déterminée en temps réel en résolvant un problème d'optimisation, celui-ci étant par exemple de minimiser la distance quadratique entre une vitesse de lacet précédente et une vitesse de lacet permettant d'atteindre la nouvelle trajectoire Tr, en fonction de contraintes, notamment liées au système de direction du véhicule 2.

[0081] Le document intitulé "A Reference Governor approach for Lateral Control of Autonomous Vehicles" de Dimitrios Kapsalis et al, présenté en septembre 2021 à l'occasion de la conférence ITSC2021 (d'après l'anglais « International Conference on Intelligent Transportation Systems ») de l'institut IEEE (d'après l'anglais «Institute of Electrical and Electronics Engineers »), décrit une étape de contrôle similaire, qui utilise une vitesse longitudinale du véhicule 2 mesurée.

[0082] Dans ce mode de réalisation de l'invention, l'étape 12 de contrôle de l'angle de braquage des roues utilise la méthode décrite dans ce document, mais au lieu d'utiliser la vitesse longitudinale mesurée dans la boucle de contrôle latéral, utilise la vitesse longitudinale de consigne Vox. Ainsi la consigne de vitesse de lacet $\dot{\psi}_o$ tient compte de la stratégie d'approche longitudinale du véhicule 2, mise en place par le planificateur longitudinal 23, ce qui rend le procédé de contrôle 1 selon l'invention plus efficace.

[0083] Pour illustrer cette amélioration par rapport à l'art antérieur, des tests ont été effectués d'une part avec un véhicule autonome n'implémentant pas le procédé de contrôle 1 selon l'invention, et d'autre part avec le véhicule 2 implémentant le procédé de contrôle 1 selon l'invention. Lors de ces tests, les véhicules effectuent une manœuvre d'évitement d'obstacle dans les mêmes conditions initiales. Chaque véhicule autonome appréhende à 14 m/s (mètres par seconde) un obstacle positionné à 17 mètres de lui, en étant latéralement à 3,2 mètres d'une nouvelle voie sur laquelle il doit se mettre pour éviter l'obstacle. La nouvelle voie correspond à une nouvelle trajectoire ou trajectoire cible T. La distance minimale de sécurité est fixée à 3,2 mètres devant l'obstacle.

[0084] La figure 4 montre la trajectoire 3(t) prise par le véhicule autonome n'implémentant pas le procédé de contrôle 1 selon l'invention, et la figure 5 montre la vitesse de lacet de référence $\dot{\psi}_{r3}$ déduite d'un angle de lacet de référence fourni par un module de navigation de ce véhicule autonome, la vitesse de lacet mesurée $\dot{\psi}_3$ de ce véhicule autonome, et la consigne de vitesse de lacet $\dot{\psi}_{o3}$ donnée au système de direction de ce véhicule autonome.

[0085] Ces données montrent que le module de navigation du véhicule autonome donne un angle de lacet de référence que le véhicule autonome n'arrive pas à suivre (la vitesse

de lacet mesurée $\dot{\psi}_3$ ne suit pas la vitesse de lacet de référence $\dot{\psi}_{r3}$), car la demande du module de navigation dépasse les limites des capacités du système directionnel du véhicule autonome. Cela est dû au fait que la vitesse longitudinale du véhicule est très élevée et influe sur la vitesse de lacet de référence de sorte que celle-ci change trop vite pour être suivie par le système directionnel du véhicule autonome. C'est pourquoi le véhicule autonome oscille autour de sa trajectoire cible T et présente une instabilité.

[0086] Dans le cas du véhicule 2 implémentant le procédé de contrôle 1 selon l'invention, les différents modes de conduite sont testés. Ainsi la [Fig.6] montre la trajectoire 2_1(t) suivie par le véhicule 2 pendant la manœuvre d'évitement d'obstacle lorsque le premier mode de conduite sportif est sélectionné, la trajectoire 2_2(t) suivie par le véhicule 2 pendant la manœuvre d'évitement d'obstacle lorsque le deuxième mode de conduite souple est sélectionné, et la trajectoire 2_3(t) suivie par le véhicule 2 pendant la manœuvre d'évitement d'obstacle lorsque le troisième mode de conduite au ressenti plus sécuritaire est sélectionné.

[0087] De même, les figures 7, 8 et 9 montrent respectivement la vitesse longitudinale vx_1(t), l'angle de braquage des roues δ_1(t) et l'accélération latérale ay_1(t) du véhicule 2 pendant la manœuvre d'évitement d'obstacle lorsque le premier mode de conduite sportif est sélectionné, la vitesse longitudinale vx_2(t), l'angle de braquage des roues δ_2(t) et l'accélération latérale ay_2(t) du véhicule 2 pendant la manœuvre d'évitement d'obstacle lorsque le deuxième mode de conduite souple est sélectionné, et la vitesse longitudinale vx_3(t), l'angle de braquage des roues δ_3(t) et l'accélération latérale ay_3(t) du véhicule 2 pendant la manœuvre d'évitement d'obstacle lorsque le troisième mode de conduite au ressenti plus sécuritaire est sélectionné. Les angles de braquage des roues sont exprimés en degrés sur la [Fig.8].

[0088] Ces données montrent que lorsque la vitesse longitudinale de consigne Vox est utilisée par le planificateur latéral 28, notamment pour déterminer la consigne de vitesse de lacet $\dot{\psi}$o, le véhicule 2 atteint la trajectoire cible T sans osciller et sans instabilité. Cela est dû au fait que la vitesse du véhicule 2 est réduite avant l'obstacle ce qui permet au planificateur latéral 28 d'émettre une consigne de vitesse de lacet $\dot{\psi}$o qui convient aux limites physiques du système directionnel du véhicule 2. En effet dès la première seconde la vitesse longitudinale du véhicule est réduite ainsi que l'accélération latérale. Ces figures montrent également que le premier mode de conduite correspond à la plus rapide des trois manœuvres montrées aux figures 6 à 9, et que le troisième mode de conduite correspond à la plus lisse et à la plus confortable de ces trois manœuvres.

[0089] Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention.

Revendications

[Revendication 1] Procédé de contrôle (1) de la trajectoire d'un véhicule (2) à l'approche d'un obstacle (Obs), comportant une étape (12) de contrôle d'un angle de braquage des roues (δ) mettant en œuvre un calcul d'une consigne de vitesse de lacet ($\dot{\psi}o$) du véhicule (2) et une boucle de contrôle de l'angle de braquage des roues en fonction de la consigne de vitesse de lacet ($\dot{\psi}o$) calculée, l'étape (12) de contrôle de l'angle de braquage des roues (δ) utilisant une vitesse longitudinale du véhicule (2),
le procédé de contrôle (1) étant caractérisé en ce qu'il comporte en outre une étape (10) de contrôle d'une vitesse du véhicule (2), et en ce que ladite vitesse longitudinale du véhicule (2) est une vitesse longitudinale de consigne (Vox) déterminée lors de l'étape (12) de contrôle de la vitesse du véhicule (2).

[Revendication 2] Procédé de contrôle (1) selon la revendication 1, dans lequel l'étape (10) de contrôle de la vitesse du véhicule (2) comporte une sous-étape d'optimisation d'une fonction objectif (J) tenant compte d'une distance calculée (Dmax) en fonction d'une part d'une distance mesurée (Dobs) entre le véhicule (2) et l'obstacle (Obs) et d'autre part d'un angle de lacet (ψ) du véhicule (2), la sous-étape d'optimisation étant apte à fournir une accélération longitudinale de consigne (ax_cons) du véhicule (2), dont l'intégration fournit ladite vitesse longitudinale de consigne (Vox).

[Revendication 3] Procédé de contrôle (1) selon la revendication 2, dans lequel la distance calculée (Dmax) est fonction d'une distance minimale de sécurité (Ds) entre le véhicule (2) et l'obstacle (Obs) à contourner.

[Revendication 4] Procédé de contrôle (1) selon l'une quelconque des revendications 2 à 3, dans lequel la distance calculée (Dmax) augmente en fonction de l'angle de lacet (ψ) du véhicule (2) au moins jusqu'à ce que l'angle de lacet (ψ) permette de contourner l'obstacle (Obs).

[Revendication 5] Procédé de contrôle (1) selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, dans lequel la sous-étape d'optimisation répond à une contrainte selon laquelle une distance parcourue par le véhicule (2) pendant un nombre prédéterminé de pas de calcul est inférieure à ladite distance calculée (Dmax).

[Revendication 6] Procédé de contrôle (1) selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, dans lequel dès que l'angle de lacet (ψ) permet de contourner l'obstacle (Obs), la distance calculée (Dmax) est réactualisée de sorte à ne plus la

faire dépendre de la distance mesurée (Dobs) entre le véhicule (2) et l'obstacle (Obs), selon un choix de mode de conduite prédéfini.

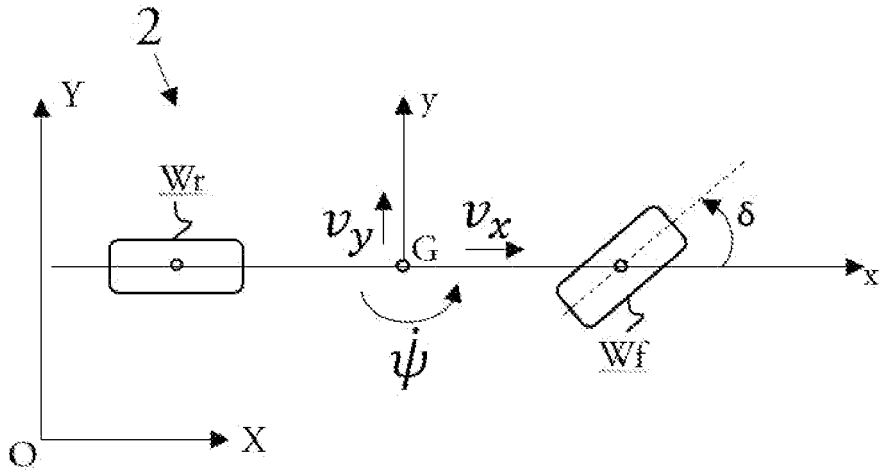
[Revendication 7] Procédé de contrôle (1) selon la revendication 5 ou 6, dans lequel dès que l'angle de lacet (ψ) permet de contourner l'obstacle (Obs), la distance calculée (Dmax) est réactualisée de sorte à ne plus contraindre la fonction objectif (J), ou à la contraindre en fonction d'un autre obstacle sur la trajectoire du véhicule (2), au lieu dudit obstacle (Obs) à contourner.

[Revendication 8] Procédé de contrôle (1) selon la revendication 5 ou 6, dans lequel l'environnement du véhicule (2) étant découpé orthogonalement à une trajectoire initiale du véhicule (2), en une première zone (z1) ne comportant pas l'obstacle (Obs) et comprise entre le véhicule (2) et une première extrémité de l'obstacle (Obs), et une deuxième zone (z2) comportant l'obstacle (Obs) et comprise entre la première extrémité de l'obstacle (Obs) et une deuxième extrémité de l'obstacle (Obs), tant que le véhicule (2) est dans la première zone (z1), dès que l'angle de lacet (ψ) permet de contourner l'obstacle (Obs), la distance calculée (Dmax) est réactualisée de sorte à ne plus dépendre que de l'angle de lacet (ψ) et d'une distance entre le véhicule (2) et une trajectoire cible (Tr) du véhicule (2).

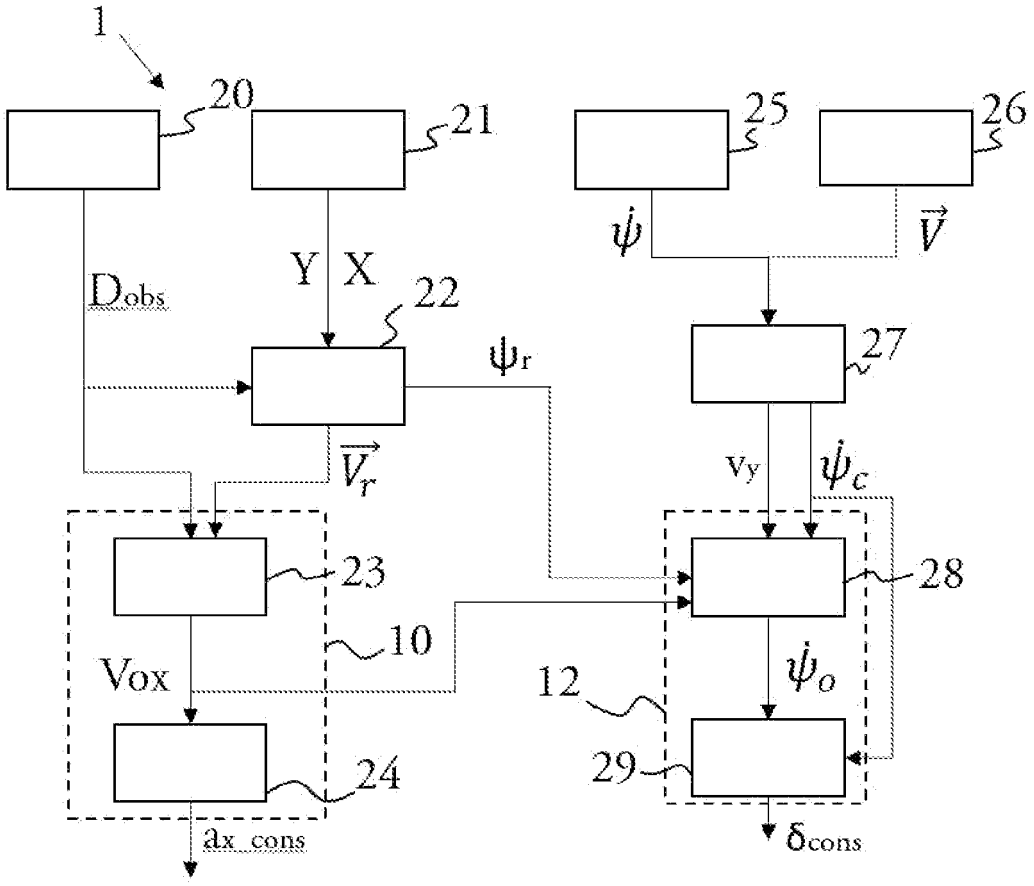
[Revendication 9] Procédé de contrôle (1) selon la revendication 5 ou 6, dans lequel l'environnement du véhicule (2) étant découpé orthogonalement à une trajectoire initiale du véhicule (2), en une première zone (z1) ne comportant pas l'obstacle (Obs) et comprise entre le véhicule (2) et une première extrémité de l'obstacle (Obs), et une deuxième zone (z2) comportant l'obstacle (Obs) et comprise entre la première extrémité de l'obstacle (Obs) et une deuxième extrémité de l'obstacle (Obs), tant que le véhicule (2) est dans la première (z1) ou la deuxième zone (z2), dès que l'angle de lacet (ψ) permet de contourner l'obstacle (Obs), la distance calculée (Dmax) est réactualisée de sorte à ne plus dépendre que de l'angle de lacet (ψ) et d'une distance entre le véhicule (2) et une trajectoire cible (Tr) du véhicule (2).

[Revendication 10] Programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution des étapes du procédé de contrôle (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, lorsque ledit programme est exécuté sur un ou plusieurs calculateurs d'un véhicule (2).

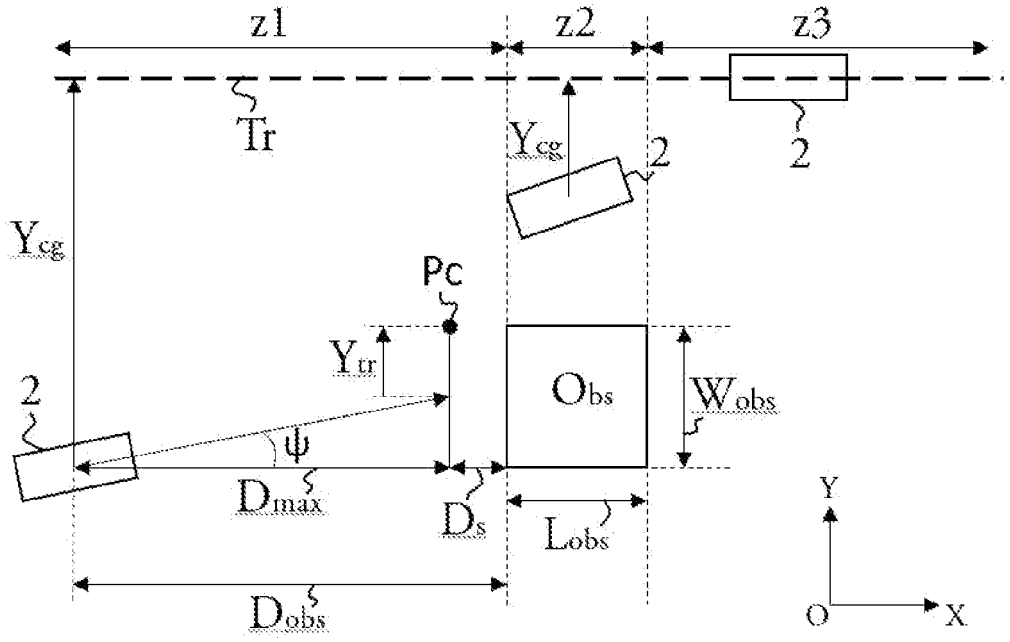
[Fig. 1]


2
Y
y
Wr
v_y
v_x
G
δ
x
$\dot{\psi}$
Wf
O
X

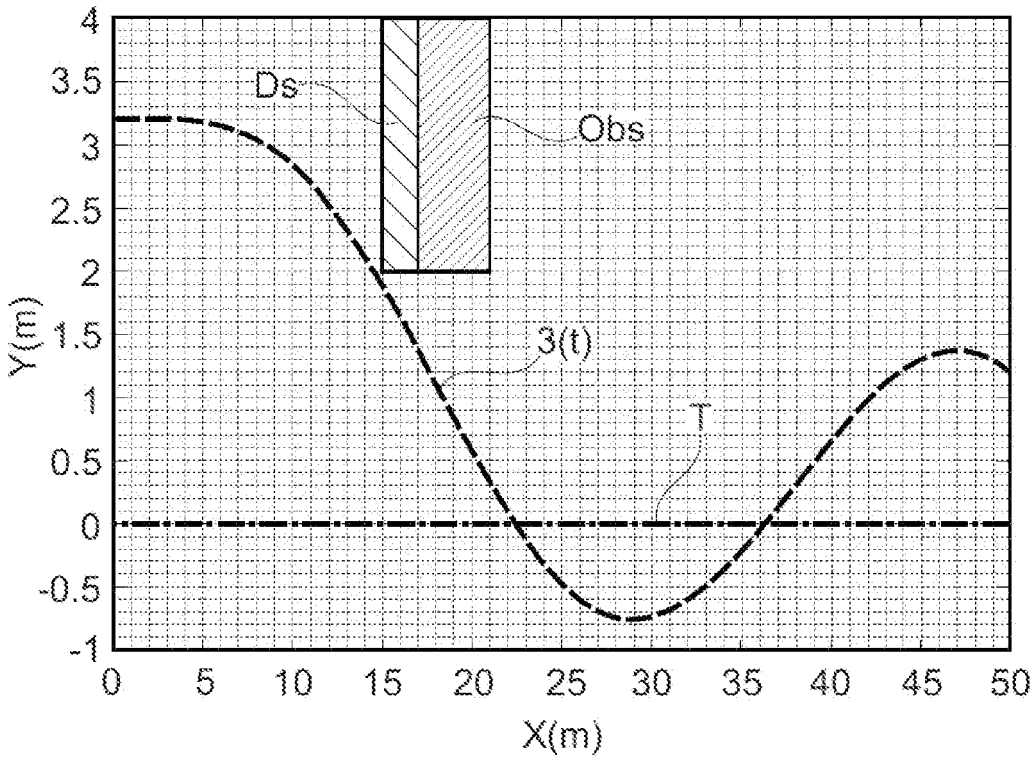
[Fig. 2]


1
20
21
25
26
$\dot{\psi}$
$\vec{V}$
Dobs
Y X
22
ψ_r
27
$\vec{V_r}$
vy
$\dot{\psi}_c$
23
28
10
Vox
12
$\dot{\psi}_o$
24
29
ax_cons
δcons

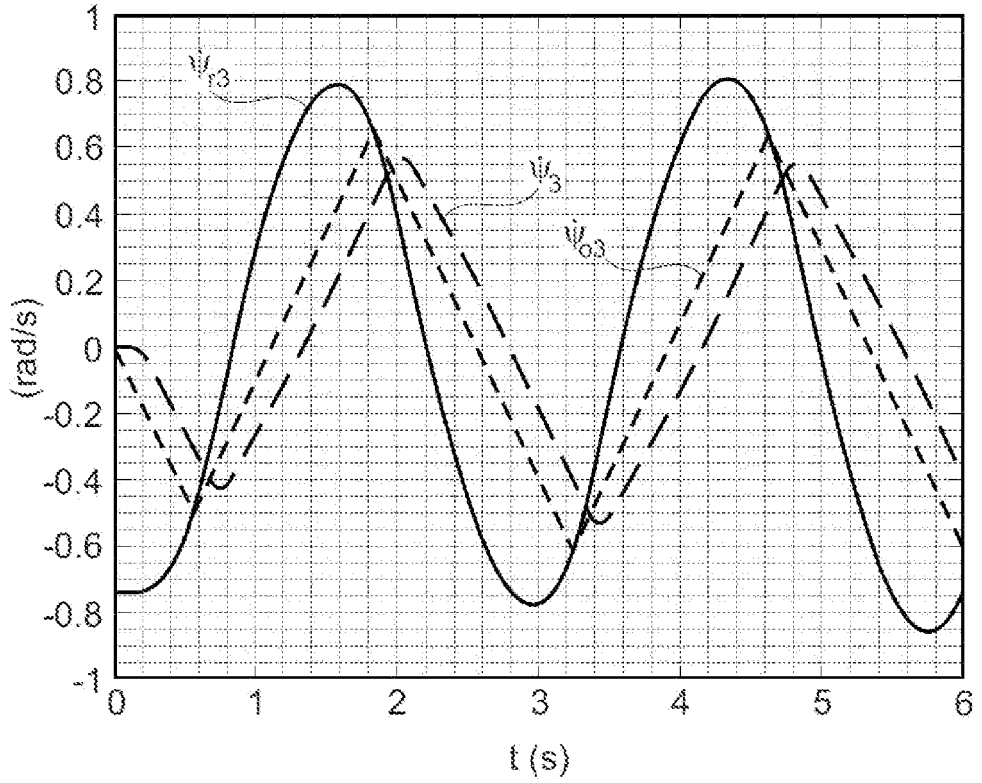
[Fig. 3]


z1
z2
z3
Tr
Ycg
2
2
2
Ycg
Pc
Ytr
Obs
Wobs
ψ
Dmax
Ds
Lobs
Dobs
Y
O
X

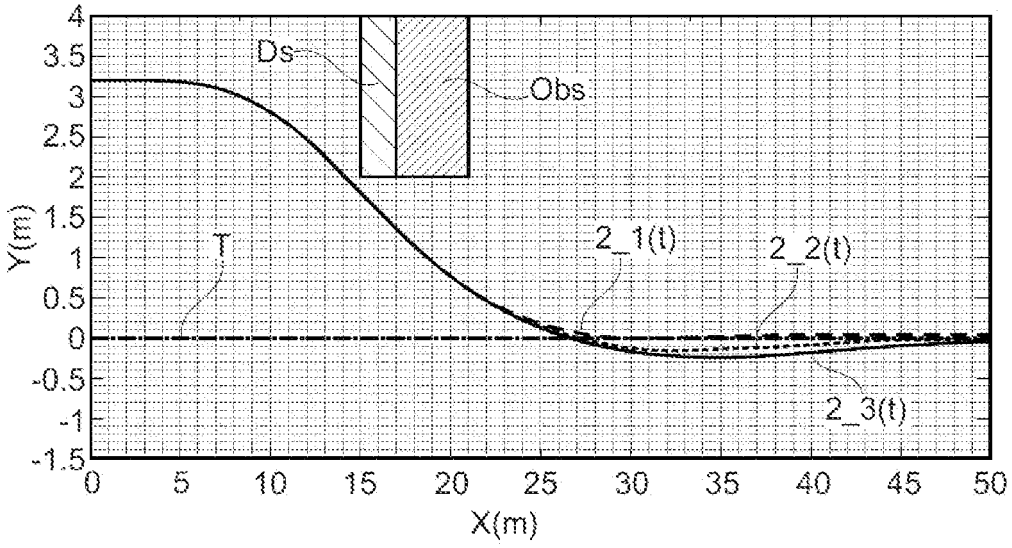
[Fig. 4]


Ds
Obs
3(t)
Y
Y(m)
X(m)
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50

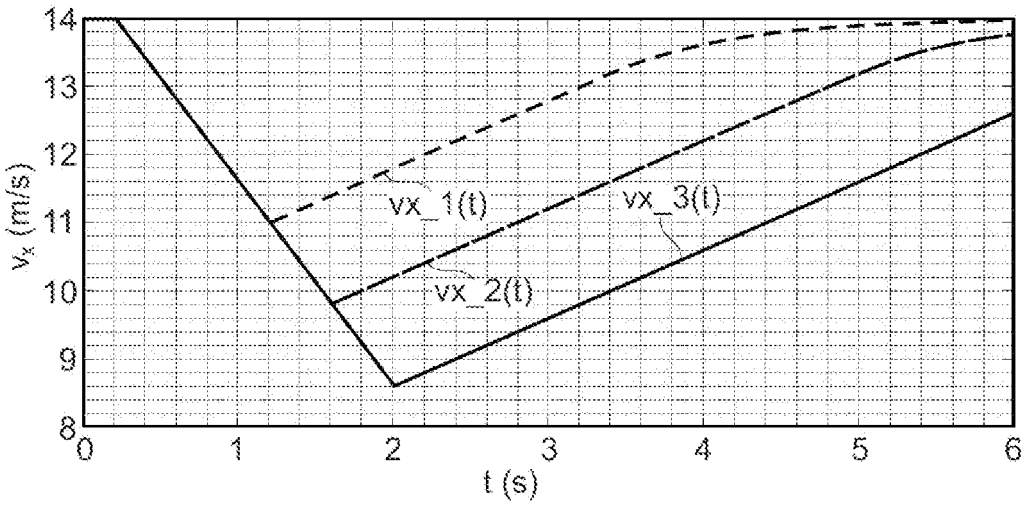
[Fig. 5]



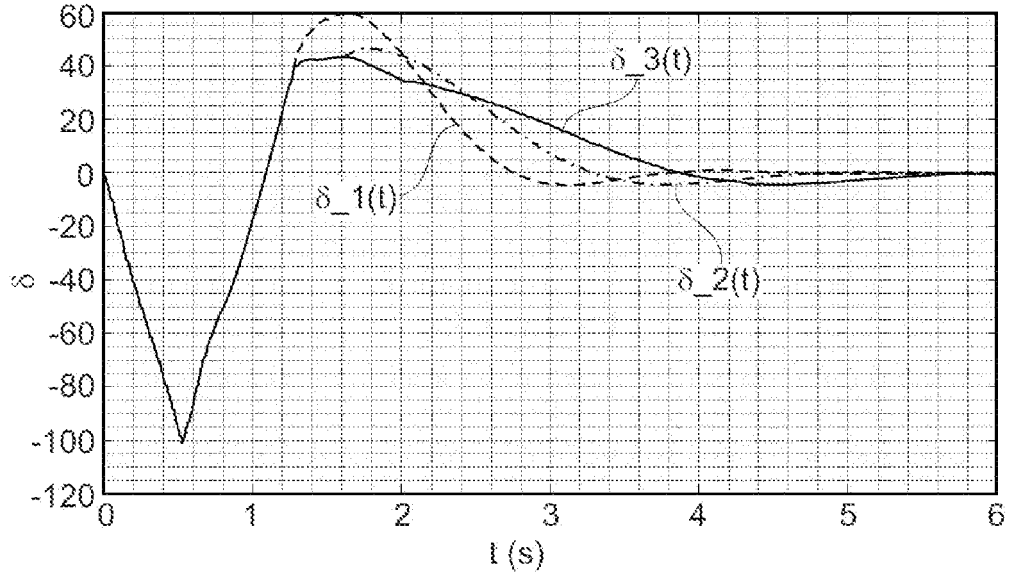
[Fig. 6]



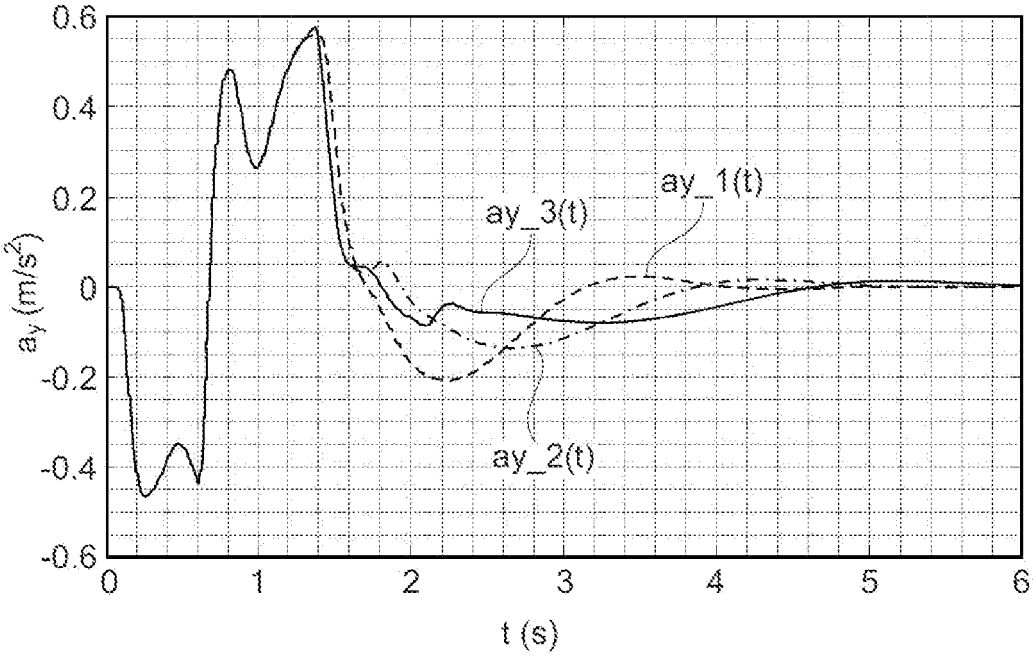
[Fig. 7]



[Fig. 8]



[Fig. 9]



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 914277
FR 2214150

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	JP 2011 063190 A (NISSAN MOTOR) 31 mars 2011 (2011-03-31) * alinéas [0040] - [0050] * -----	1-10	B60W30/09 B60W30/095 G05D1/02
A	Kapsalis Dimitrios: "LPV/Gain-Scheduled lateral control architectures for autonomous vehicles", , 5 avril 2022 (2022-04-05), XP093035700, Extrait de l'Internet: URL:https://theses.hal.science/tel-03716336/document [extrait le 2023-03-29] * page 37 * -----	1-10	
A	US 2015/375744 A1 (KATO DAICHI [JP] ET AL) 31 décembre 2015 (2015-12-31) * le document en entier * -----	1-8	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B60W

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
5 juin 2023	Stolle, Martin

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons
.....
& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2214150 FA 914277

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **05-06-2023**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP 2011063190 A	31-03-2011	JP 5476887 B2	23-04-2014
		JP 2011063190 A	31-03-2011
US 2015375744 A1	31-12-2015	JP 6067623 B2	25-01-2017
		JP 2016012192 A	21-01-2016
		US 2015375744 A1	31-12-2015

EPO FORM P0465