

⑤④ Procédé de détection d'une limite d'une voie de circulation.

②② Date de dépôt : 14.10.21.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *RENAULT s.a.s. Société par actions
simplifiée —FR, CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS) Etablissement
public à caractère scientifique et technologique FR et
Université de technologie de Compiègne (UTC)
Etablissement Public à caractère Scientifique, Culturel
et Professionnel — FR.*

⑦② Inventeur(s) : CAMARDA Federico, CHERFAOUI
Veronique, DAVOINE Franck et DURAND Bruno.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 21.04.23 Bulletin 23/16.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 01.12.23 Bulletin 23/48.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦③ Titulaire(s) : *RENAULT s.a.s. Société par actions
simplifiée, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (CNRS) Etablissement public à caractère
scientifique et technologique, Université de technologie de
Compiègne (UTC) Etablissement Public à caractère
Scientifique, Culturel et Professionnel.*

⑦④ Mandataire(s) : NOVAIMO.



Description

Titre de l'invention : Procédé de détection d'une limite d'une voie de circulation

Domaine technique de l'invention

[0001] L'invention concerne le domaine des procédés de détection de limites de voies de circulation pour véhicule automobile. L'invention concerne aussi le domaine des procédés de détermination de la position d'un véhicule sur une route. L'invention concerne enfin un véhicule automobile équipé de moyens de mise en œuvre de tels procédés.

Etat de la technique antérieure

[0002] La détection des limites des voies de circulation joue un rôle primordial dans le développement des véhicules autonomes. Une détection correcte est nécessaire pour construire une représentation exacte de l'environnement du véhicule et pour prendre des décisions appropriées de contrôle du véhicule. Notamment, une fausse détection d'une limite de voie de circulation, couramment dénommée "faux positif", peut avoir des conséquences néfastes comme par exemple une mauvaise orientation du véhicule ou une manœuvre de freinage intempestive.

[0003] Les limites des voies de circulation peuvent prendre de nombreuses formes, telles que des lignes peintes au sol, des limites de revêtement routier, des barrières, des trottoirs, etc ... La détection de ces limites est donc particulièrement complexe. Pour détecter ces limites, on utilise classiquement des moyens de détection de l'environnement tels que des caméras, des radars ou des lidars. Bien que ces moyens de détection soient de plus en plus perfectionnés, les données qu'ils fournissent comportent parfois des incertitudes ou des erreurs. La complexité des moyens de détection, lesquels sont généralement basés sur des réseaux de neurones, rend la compréhension ou l'analyse des faux positifs particulièrement difficile. De tels défauts limitent le déploiement des véhicules autonomes.

[0004] Pour améliorer la détection des limites des voies de circulation, on connaît des procédés consistants à combiner des données reçues par des moyens de détection de l'environnement avec des données cartographiques. Le document US20210004017A1 divulgue un exemple d'un tel procédé. Toutefois, les procédés connus sont encore insuffisamment efficaces. Notamment, ils ne permettent pas toujours d'éviter la détection de faux positifs.

Présentation de l'invention

[0005] Un premier objet de l'invention est un procédé de détection d'une limite d'une voie de circulation pour un véhicule automobile permettant d'éviter la détection de faux positifs.

[0006] Un second objet de l'invention est un procédé de détection permettant d'améliorer la détermination de la position d'un véhicule sur une route donnée.

Résumé de l'invention

[0007] L'invention se rapporte à un procédé de détection d'une limite d'une voie de circulation pour un véhicule automobile, le procédé comprenant :

- une étape de détection de ladite limite par un moyen de détection de l'environnement du véhicule, ledit moyen de détection étant embarqué dans le véhicule, la limite détectée par le moyen de détection étant définie par une fonction, notamment une fonction polynomiale,
- une étape de détermination d'une pluralité de premiers vecteurs caractérisant ladite limite, les premiers vecteurs étant déterminés sur la base de données cartographiques et sur la base de données sur la position et l'orientation courante du véhicule,
- une étape de détermination de données relatives à l'incertitude de chacun des premiers vecteurs,
- une étape de détermination d'une pluralité de deuxièmes vecteurs caractérisant ladite limite, chaque deuxième vecteur étant déterminé par une projection orthogonale d'un premier vecteur sur ladite fonction,
- une étape de détermination de données relatives à l'incertitude de chacun des deuxièmes vecteurs,
- une étape de calcul de distances de Mahalanobis entre chaque premier vecteur et chaque deuxième vecteur résultant de la projection orthogonale du premier vecteur considéré, chaque distance de Mahalanobis étant calculée en fonction des données relatives à l'incertitude de chaque premier vecteur et de chaque deuxième vecteur considéré,
- une étape de classification de la limite détectée par le moyen de détection en vrai positif ou en faux positif en fonction des distances de Mahalanobis précédemment calculées.

[0008] Les premiers vecteurs et les deuxièmes vecteurs peuvent être formulés dans un même référentiel lié au véhicule.

[0009] Chaque premier vecteur peut comprendre :

- une première composante égale à une distance d'une origine du premier vecteur considéré au véhicule, suivant un axe longitudinal du véhicule,
 - une deuxième composante égale à une distance de l'origine du premier vecteur considéré au véhicule, suivant un axe transversal du véhicule,
 - une troisième composante caractérisant l'orientation d'une tangente à ladite limite au niveau de l'origine du premier vecteur,
- et chaque deuxième vecteur peut comprendre:

- une première composante égale à une distance d'une origine du deuxième vecteur considéré au véhicule, suivant un axe longitudinal du véhicule,
- une deuxième composante égale à une distance de l'origine du deuxième vecteur considéré au véhicule, suivant un axe transversal du véhicule,
- une troisième composante caractérisant l'orientation d'une tangente à ladite limite au niveau de l'origine du deuxième vecteur,

- [0010] Chaque premier vecteur peut être déterminé de sorte que son origine soit comprise dans une portée du moyen de détection.
- [0011] Les données relatives à l'incertitude de chacun des premiers vecteurs peuvent être calculées en fonction de valeurs d'incertitude de positionnement et d'orientation courante du véhicule et en fonction de valeurs d'incertitude des données cartographiques.
- [0012] Les données relatives à l'incertitude de chacun des deuxièmes vecteurs peuvent être calculées par le moyen de détection.
- [0013] Le procédé de détection peut comprendre une étape de calcul de la distance de Mahalanobis maximale parmi les distances de Mahalanobis calculées entre chaque premier vecteur et chaque deuxième vecteur résultant de la projection orthogonale du premier vecteur considéré, l'étape de classification de la deuxième limite de voie de circulation en vrai positif ou en faux positif étant réalisée en fonction de la distance de Mahalanobis maximale calculée.
- [0014] L'invention se rapporte également à un procédé de détection d'une pluralité de limites de voies de circulation pour un véhicule automobile, le procédé comprenant :
- une étape de détection d'un premier ensemble de limites de voies de circulation par un moyen de détection de l'environnement du véhicule, ledit moyen de détection étant embarqué dans le véhicule,
 - une étape de détection d'un deuxième ensemble de limites de voies de circulation à partir de données cartographiques et de données sur la position et l'orientation courante du véhicule,
 - une étape de calcul d'une matrice de distances de Mahalanobis entre chaque limite du premier ensemble et chaque limite du deuxième ensemble, chaque élément de la matrice étant égal à la distance de Mahalanobis maximale calculée par la mise en œuvre du procédé de détection d'une limite tel que défini précédemment avec une limite du premier ensemble de limites et une limite du deuxième ensemble de limites,
 - une étape de classification des limites du premier ensemble en vrai positif ou en faux positif au moyen de la matrice de distances de Mahalanobis, par la mise en œuvre d'un algorithme de détermination du plus proche voisin sur la matrice de distances de Mahalanobis.
- [0015] Le procédé de détection d'une pluralité de limites peut comprendre une étape de com-

paraison d'un type de chaque limite du premier ensemble avec un type de chaque limite du deuxième ensemble, et en lors de l'étape de calcul de la matrice de distances de Mahalanobis, seuls les éléments de la matrice satisfaisant à une comparaison des types peuvent être calculés.

- [0016] L'invention se rapporte également à un procédé de détermination de la position d'un véhicule sur une route, le procédé comprenant :
- une étape de détermination d'au moins deux hypothèses de positionnement du véhicule,
 - puis, pour chaque hypothèse de positionnement du véhicule :
 - la mise en œuvre du procédé de détection d'une pluralité de limites tel que défini précédemment,
 - une étape de calcul d'un indice de précision en fonction du nombre de vrais positifs et de faux positifs déterminés,
 - puis :
 - une étape de sélection d'une hypothèse de positionnement par comparaison des indices de précision calculés pour les différentes hypothèses.
- [0017] L'invention se rapporte également à un produit programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme enregistrées sur un support lisible par ordinateur pour mettre en œuvre les étapes des procédés tels que définis précédemment.
- [0018] L'invention se rapporte également à un support d'enregistrement de données, lisible par un ordinateur, sur lequel est enregistré un programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme de mise en œuvre des procédés tels que définis précédemment.
- [0019] L'invention se rapporte également à un véhicule automobile comprenant un moyen de détection de l'environnement du véhicule, un moyen de géolocalisation du véhicule, un moyen de détermination de l'orientation du véhicule, une mémoire ou un moyen d'accès à une mémoire dans laquelle sont enregistrées des données cartographiques, et une unité de calcul équipée d'un support d'enregistrement de données tel que défini précédemment.

Présentation des figures

- [0020] La [Fig.1] est une vue schématique d'un véhicule automobile selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0021] La [Fig.2] est une première vue schématique de dessus du véhicule sur une route comprenant deux voies de circulation, sur laquelle sont représentées des limites d'une voie de circulation telle que détectées par un moyen de détection embarqué dans le véhicule.
- [0022] La [Fig.3] est un synoptique d'un procédé de détection d'une limite d'une voie de cir-

culution selon un mode de réalisation de l'invention.

- [0023] La [Fig.4] est une deuxième vue schématique de dessus du véhicule, sur laquelle sont représentées des limites de la voie de circulation telles que déterminées au moyen de données cartographiques.
- [0024] La [Fig.5] est une troisième vue schématique de dessus du véhicule, sur laquelle sont représentées, par une modélisation vectorielle, les limites de la voie de circulation telle que détectées par le moyen de détection embarqué dans le véhicule.
- [0025] La [Fig.6] est un synoptique d'un procédé de détection d'une pluralité de limites de voies de circulation selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0026] La [Fig.7] est une vue schématique de dessus du véhicule sur une route comprenant cinq voies de circulation.
- [0027] La [Fig.8] est un synoptique d'un procédé de détermination de la position d'un véhicule sur une route selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0028] La [Fig.9] est un graphique représentant l'évolution temporelle d'un indice de précision calculé pour trois hypothèses de positionnement du véhicule.

Description détaillée

- [0029] La [Fig.1] illustre schématiquement un véhicule 1 automobile selon un mode de réalisation de l'invention. Le véhicule 1 peut être de toute nature. Notamment, il peut être par exemple un véhicule particulier, un véhicule utilitaire, un camion ou un bus. Le véhicule 1 comprend une unité de calcul 2 à laquelle sont reliés un moyen de détection 3 de l'environnement du véhicule, un moyen de géolocalisation 4, un moyen de détermination de l'orientation du véhicule 5, et une mémoire 6 dans laquelle sont enregistrées des données cartographiques.
- [0030] Le moyen de détection 3 peut être par exemple une caméra, un radar ou un lidar. Le moyen de détection 3 peut aussi être formé par l'association d'une ou plusieurs caméras, radars ou lidars. Il est apte à détecter des objets présents dans l'environnement du véhicule comme par exemple des lignes de délimitation peinte sur le sol, des barrières, des trottoirs ou même tout autre forme de limite matérialisant des bords d'une voie de circulation. Avantageusement, le moyen de détection 3 est un moyen de détection intelligent, c'est-à-dire qu'il est apte à interpréter les signaux qu'il perçoit et à transmettre à l'unité de calcul des données résultant d'un premier traitement de ces signaux.
- [0031] Le moyen de géolocalisation 4 est apte à fournir une information de position géographique du véhicule 1, telle que des coordonnées GPS. Il peut par exemple comprendre un capteur GPS. Le moyen de détermination de l'orientation du véhicule 5 est apte à fournir une donnée relative à l'orientation du véhicule autour d'un axe perpendiculaire au plan sur lequel repose le véhicule. Pour simplifier la description, on

considère que le véhicule repose sur un sol horizontal. Le moyen de détermination de l'orientation du véhicule 5 est donc apte à fournir une donnée relative à l'orientation du véhicule autour d'un axe vertical. La donnée relative à l'orientation du véhicule peut être égale ou établie en fonction d'un cap, ou azimut, suivi par le véhicule. Cette donnée peut être fournie par exemple par un capteur GPS, un gyroscope ou encore par une boussole embarquée dans le véhicule.

[0032] La mémoire 6 est un support d'enregistrement de données dans laquelle sont mémorisées des données cartographiques haute définition. Ces données cartographiques comprennent des informations de positionnement et d'orientation des limites des voies de circulation sur un territoire donné. Chaque limite d'une voie de circulation peut notamment être mémorisée sous la forme d'une pluralité de vecteurs dont la composition sera détaillée par la suite. Les données cartographiques peuvent notamment être présentées sous la forme du standard ADASISv3. En variante, la mémoire 6 pourrait être extérieure au véhicule 1, le véhicule comprenant alors un moyen d'accès à cette mémoire, comme par exemple un moyen de communication de type 4G ou 5G. La mémoire 6 peut aussi être intégrée à l'unité de calcul 2.

[0033] L'unité de calcul 2 comprend notamment une mémoire 7 et un microprocesseur 8. La mémoire 7 est un support d'enregistrement de données sur lequel est enregistré un programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme de mise en œuvre d'un procédé de détection des limites selon un mode de réalisation de l'invention. Le microprocesseur 8 est apte à exécuter ledit programme d'ordinateur.

[0034] Le moyen de détection 3, le moyen de localisation 4 et le moyen de détermination de l'orientation du véhicule 5 sont des capteurs embarqués dans le véhicule. Ils sont aptes à fournir des informations avec une incertitude donnée, ou autrement dit avec une résolution donnée. De même, les données cartographiques enregistrées dans la mémoire 6 possèdent une incertitude donnée. L'incertitude caractérise donc la précision des informations transmises. Ces incertitudes sont quantifiables. Elles peuvent être présentées sous la forme d'une matrice de covariance propre à chaque information fournie par les différents capteurs ou propre à chaque donnée cartographique. Avantageusement, et comme cela va être expliqué par la suite, ces valeurs d'incertitude sont exploitées dans le procédé de détection pour parvenir à une meilleure détection desdites limites. Par la suite, on suppose l'incertitude associée à chaque information comme étant non biaisée et obéissant à une loi de type gaussienne.

[0035] Sur la [Fig.2], on a représenté le véhicule 1 sur une route comprenant deux voies de circulation VC1 et VC2. La première voie de circulation VC1 est délimitée de part et d'autre par deux limites L1 et L2. En l'espèce les deux limites L1, L2 sont respectivement une ligne continue et une ligne en pointillées, toutes deux peintes au sol. En variante, ces deux limites pourraient être de nature différente, comme par exemple, une

barrière, un trottoir ou un bord de revêtement. La deuxième voie de circulation VC2 est adjacente à la première voie de circulation VC1 et délimitée par les limites L2 et L3.

- [0036] On définit un premier repère, dit référentiel global, fixe par rapport aux voies de circulation et indépendant du véhicule 1. Ce premier repère est formé par les axes X1 et Y1. L'axe X1 peut être par exemple orienté selon l'axe Nord-Sud et l'axe Y1 peut être orienté selon l'axe Est-Ouest. On définit également un deuxième repère, dit référentiel véhicule, solidaire du véhicule 1 et formé par les axes X2 et Y2. L'axe X2 correspond à l'axe longitudinal du véhicule (c'est-à-dire l'axe selon lequel le véhicule se dirige en ligne droite). L'axe Y2 correspond à l'axe transversal du véhicule et est perpendiculaire à l'axe longitudinal X2.
- [0037] Le moyen de détection 3 comprend une certaine portée, représentée schématiquement par une ligne en pointillés ZP à l'avant du véhicule. La portée du moyen de détection est notamment délimitée par une portée longitudinale minimale Xmin et une portée longitudinale maximale Xmax. Dans certains cas, la portée longitudinale minimale peut être considérée comme égale à zéro. La portée maximale Xmax peut être par exemple de l'ordre de quelques dizaines de mètres ou de quelques centaines de mètres.
- [0038] La [Fig.3] est un synoptique illustrant les différentes étapes d'un procédé P1 de détection d'une limite d'une voie de circulation selon un mode de réalisation de l'invention. Comme nous le verrons par la suite, ce procédé peut être mis en œuvre pour détecter un nombre quelconque de limites de voies de circulation. Pour simplifier la description, on explique dans un premier temps la mise en œuvre du procédé de détection pour détecter une seule limite, par exemple la limite L2 représentée sur la [Fig.2].
- [0039] Le procédé de détection vise à vérifier si la détection d'une limite par le moyen de détection 3 correspond à un vrai positif (c'est-à-dire que la limite détectée est bel et bien existante réellement) ou à un faux positif (c'est-à-dire que la limite détectée résulte d'une mauvaise interprétation des signaux reçus par le moyen de détection 3 et ne correspond à aucune limite réelle). On décrit à présent les différentes étapes d'un mode de réalisation particulier de ce procédé.
- [0040] Dans une première étape E1, le moyen de détection 3 détecte la portion d'une limite incluse dans sa portée. Il fournit, à l'unité de calcul 2 selon une fréquence préétablie, des données numériques caractérisant la limite détectée. La limite est caractérisée par une fonction de type $y = f(x)$ définie par le moyen de détection 3. En particulier cette fonction est une fonction polynomiale, notamment une fonction polynomiale du troisième degré. En variante, la fonction pourrait être une fonction polynomiale de degré différent, voire même toute autre fonction mathématique.
- [0041] Pour chaque limite Mi détectée par le moyen de détection 3, ces données numériques peuvent être transmises sous la forme suivante:

$$M_i = [c_0, c_1, c_2, c_3, x_{min}, x_{max}, {}^M\Sigma_P, M_{type}] \in \mathbf{z}_t^{\text{Sens}}$$

où :

- c_0, c_1, c_2 et c_3 sont les coefficients de la fonction polynomiale $P(x)$ du troisième degré
- X_{min} et X_{max} sont la portée longitudinale minimale et maximale du moyen de détection 3,
- ${}^M\Sigma_P$ est une matrice de covariance représentant l'incertitude de détection de la limite L2 du moyen de détection 3, et
- M_{type} est une donnée représentative de la nature ou du type de limite détectée (parmi lesquels peuvent figurer par exemple des lignes peintes au sol, des barrières, des trottoirs, etc ...)

[0042] Chaque limite est ainsi définie dans le référentiel véhicule par une courbe $y = P(x)$, avec :

$$P(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3, x \in [x_{min}, x_{max}]$$

[0043] La fonction polynomiale $P(x)$ caractérise la forme de la limite considérée. Cette fonction est définie pour toute valeur x comprise entre X_{min} et X_{max} . A un instant donné, une limite détectée par le moyen de détection 3 est donc caractérisée par quatre coefficients d'une fonction polynomiale. Une telle manière de représenter une limite permet de réduire la quantité de données échangées entre le moyen de détection 3 et l'unité de calcul 2, comparativement à un modèle où l'ensemble des points appartenant à une limite serait transmis à l'unité de calcul 2.

[0044] La matrice de covariance ${}^M\Sigma_P$ peut être exprimée sous la forme suivante :

$${}^M\Sigma_P = \begin{bmatrix} \sigma_{xx}^2 & & & 0 & 0 \\ & \sigma_{c_0c_0}^2 & & & 0 \\ & & \sigma_{c_1c_1}^2 & & \\ 0 & & & \sigma_{c_2c_2}^2 & \\ 0 & 0 & & & \sigma_{c_3c_3}^2 \end{bmatrix}$$

où $\sigma_{xx}, \sigma_{c_0c_0}, \sigma_{c_1c_1}, \sigma_{c_2c_2}, \sigma_{c_3c_3}$ sont des paramètres d'écart type.

[0045] Sur la [Fig.2], on a représenté par trois lignes courbes M1, M2 et M3, la représentation de chacune des limites L1, L2 et L3 telle que calculée par le moyen de détection 3. Pour la ligne M2, on a représenté schématiquement par une zone Z1 l'incertitude associée à la détection de la limite L2. La zone Z1 indique une zone dans laquelle la limite L2 est probablement située. Lorsque, la limite L2 est bien reconnue par le moyen de détection 3 (par exemple, lorsque la ligne peinte au sol est bien

contrastée et que la visibilité est bonne), la zone Z1 peut être particulièrement resserrée autour de la ligne M2. Au contraire, lorsque, la limite L2 est mal reconnue par le moyen de détection 3 (par exemple, lorsque la ligne peinte au sol est mal contrastée et/ou lorsque la visibilité est mauvaise), la zone Z1 peut être particulièrement évasée autour de la ligne M2. Bien sûr, de telles zones pourraient également être représentées pour les lignes M1 et M3.

[0046] Dans une deuxième étape E2, le moyen de géolocalisation 4 et le moyen de détermination de l'orientation du véhicule 5 déterminent respectivement la position et l'orientation courante du véhicule 1, dans le référentiel global. Ils fournissent des données numériques à l'unité de calcul 2 selon une fréquence préétablie. Ces données numériques peuvent être représentées sous la forme suivante :

$${}^O\mathbf{X}_M = \begin{bmatrix} {}^Ox_M \\ {}^Oy_M \\ {}^O\theta_M \end{bmatrix}$$

où :

- Ox_M désigne la position du véhicule selon l'axe X1 dans le référentiel global,
- Oy_M désigne la position du véhicule selon l'axe Y1 dans le référentiel global, et
- ${}^O\theta_M$ désigne l'orientation du véhicule dans le référentiel global.

[0047] Dans une troisième étape E3, on détermine l'incertitude de mesure du moyen de géolocalisation 4 et du moyen de détermination de l'orientation du véhicule 5. Cette incertitude peut être quantifiée par le moyen de géolocalisation 4 et le moyen de détermination de l'orientation du véhicule 5 et transmise à l'unité de calcul 2. Cette incertitude peut par exemple dépendre de la qualité du signal GPS reçu par le moyen de géolocalisation 4, ou de tout autre facteur susceptible d'influencer le fonctionnement du moyen de géolocalisation 4 et/ou du moyen de détermination de l'orientation du véhicule 5. En variante, cette incertitude pourrait également être calculée par l'unité de calcul 2 ou être fixée à une valeur prédéterminée. Cette incertitude peut être exprimée sous la forme d'une matrice de covariance ${}^O\Sigma_M$ de dimension 3x3 et dont la forme est la suivante :

$${}^O\Sigma_M = Var\left(\begin{bmatrix} {}^Ox_M \\ {}^Oy_M \\ {}^O\theta_M \end{bmatrix} \right)$$

[0048] Dans une quatrième étape E4, on détermine une pluralité de premiers vecteurs MX_i caractéristiques d'une limite à partir de données cartographiques et à partir des données sur la position et l'orientation courante du véhicule. Avantagusement, l'ensemble des

premiers vecteurs MXi déterminés est circonscrit à un périmètre donné autour du véhicule. Ce périmètre, également dénommé e-horizon ou horizon électronique peut correspondre à la portée du moyen de détection 3.

[0049] Dans une cinquième étape E5, on détermine des données relatives à l'incertitude de chacun des premiers vecteurs MXi.

[0050] Plus précisément, la mémoire 6 fournit à l'unité de calcul 2 des données numériques sur les différentes limites présentes dans un périmètre donné autour du véhicule. La mémoire 6 contenant les données cartographiques peut être vue comme un capteur embarqué dans le véhicule et fournissant des informations avec une précision donnée. Chaque limite est définie par un ensemble de premiers vecteurs MXi. Les données cartographiques fournissent donc une information discrète pour définir chacune des limites. Chaque limite MLi présente dans un périmètre autour du véhicule peut être définie sous la forme suivante:

$${}^M L_i = [{}^M \mathbf{X}_{i=1..N_i}, Var({}^O \mathbf{X}_{i=1..N_i}), L_{type}]$$

où :

- MXi=1...Ni désigne l'ensemble de premiers vecteurs exprimés dans le référentiel véhicule et appartenant à la limite MLi,

- Var(OXi=1...Ni) désigne un ensemble de matrices de covariance Var(OXi) exprimées dans le référentiel global, les matrices de covariance Var(OXi) représentant l'incertitude associée à la position et à l'orientation de chacun des vecteurs MXi, et

- Ltype est une donnée représentative de la nature ou du type de limite détecté.

[0051] Chacun des premiers vecteurs MXi peut être exprimé, dans le référentiel véhicule, sous la forme suivante :

$${}^M \mathbf{X}_i = \begin{bmatrix} {}^M x_i \\ {}^M y_i \\ {}^M h_i \end{bmatrix}$$

où :

- Mxi désigne la coordonnée selon l'axe X2 de l'origine du vecteur MXi. Il s'agit de la distance au véhicule d'un point donné d'une limite telle que définie par les données cartographiques, suivant l'axe longitudinal X2 du véhicule,

- Myi désigne la coordonnée selon l'axe Y2 de l'origine du vecteur MXi. Il s'agit de la distance au véhicule du point donné suivant l'axe transversal Y2 du véhicule, et

- Mhi désigne l'orientation du vecteur MXi dans le référentiel véhicule. Il caractérise l'orientation de la tangente à la limite considérée au niveau du point donné.

[0052] Chaque matrice de covariance Var(OXi) de l'ensemble de matrices de covariance

$\text{Var}(\text{OXi}=1\dots\text{Ni})$ est une matrice de dimension 3×3 et peut être exprimée sous la forme suivante :

$$\text{Var}({}^O\mathbf{X}_i) = \text{Var}\left(\begin{bmatrix} {}^Ox_i \\ {}^Oy_i \\ {}^Oh_i \end{bmatrix}\right)$$

Ces matrices représentent l'incertitude associée aux données cartographique pour chaque vecteur MXi . Cette incertitude peut provenir des moyens mis en œuvre pour l'élaboration des données cartographiques. Les données caractérisant l'incertitude des données cartographiques sont également mémorisées dans la mémoire 6.

[0053] Avantageusement, les premiers vecteurs MXi sont formulés dans le référentiel véhicule et les matrices de covariance $\text{Var}(\text{OXi})$ caractérisant l'incertitude des premiers vecteurs MXi sont formulés dans le référentiel global. Comme les données cartographiques initialement disponibles dans la mémoire 6 sont formulées dans le référentiel global, la quatrième étape E4 comprend avantageusement une sous-étape E41 de calcul des premiers vecteurs dans le référentiel véhicule à partir des premiers vecteurs exprimés dans le référentiel global. Lors de cette sous-étape, chaque premier vecteur MXi est calculé en fonction des données sur la position et l'orientation du véhicule déterminées à l'étape E2. On peut notamment utiliser la formule suivante :

$${}^M\mathbf{X}_i = \begin{bmatrix} {}^Mx_i \\ {}^My_i \\ {}^Mh_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^M\mathbf{R}_O \left(\begin{bmatrix} {}^Ox_i \\ {}^Oy_i \\ {}^Oh_i \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} {}^Ox_M \\ {}^Oy_M \\ {}^O\theta_M \end{bmatrix} \right) \end{bmatrix}$$

où :

- ${}^M\mathbf{R}_O$ désigne une matrice de rotation,
- Ox_i désigne la coordonnée selon l'axe X1 de l'origine du vecteur MXi exprimé dans le référentiel global,
- Oy_i désigne la coordonnée selon l'axe Y1 de l'origine du vecteur MXi exprimé dans le référentiel global, et
- Oh_i désigne l'orientation du vecteur MXi exprimé dans le référentiel global.

[0054] La matrice de rotation ${}^M\mathbf{R}_O$ peut être exprimée de la manière suivante :

$${}^M\mathbf{R}_O = {}^O\mathbf{R}_M^T = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix}$$

où $\theta = O\theta_M$ et désigne l'orientation du véhicule dans le référentiel global.

[0055] De même, la cinquième étape E5 comprend une sous-étape E51 de calcul de l'ensemble des matrices de covariances $\text{Var}(\text{OXi})$ dans le référentiel véhicule. Ce

calcul peut être réalisé suivant la formule suivante :

$$Var({}^M\mathbf{X}_i) = \begin{bmatrix} \frac{\partial {}^M\mathbf{X}_i}{\partial {}^O\mathbf{X}_6} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^O\Sigma_M & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & Var({}^O\mathbf{X}_i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial {}^M\mathbf{X}_i}{\partial {}^O\mathbf{X}_6} \end{bmatrix}^T$$

où :

- Var(MXi) désigne une matrice de covariance caractérisant l'incertitude associée à la position et à l'orientation du vecteur MXi, dans le référentiel véhicule,
- $\delta MXi / \delta OX_6$ désigne une matrice jacobienne définie plus bas,
- $O\Sigma_M$ est la matrice de covariance caractérisant l'incertitude de mesure du moyen de géolocalisation 4 et du moyen de détermination de l'orientation du véhicule 5, telle que définie précédemment, et
- Var(OXi) désigne la matrice de covariance représentant l'incertitude associée à la position et à l'orientation du vecteur MXi, dans le référentiel global.

[0056] La matrice jacobienne $\delta MXi / \delta OX_6$ peut être définie par la formule suivante :

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial {}^M\mathbf{X}_i}{\partial {}^O\mathbf{X}_6} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos(\theta) & -\sin(\theta) & {}^My_i & \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & -\cos(\theta) & -{}^Mx_i & -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

où :

- $\theta = O\theta_M$ et désigne l'orientation du véhicule dans le référentiel global
- Mx_i désigne la coordonnée selon l'axe X2 de l'origine du vecteur MXi exprimé dans le référentiel véhicule, et
- My_i désigne la coordonnée selon l'axe Y2 de l'origine du vecteur MXi exprimé dans le référentiel véhicule.

[0057] Finalement, à ce stade du procédé de détection, on dispose d'une part d'une modélisation vectorielle d'une limite à partir des données cartographiques. La limite est caractérisée par un ensemble de premiers vecteurs MXi exprimés dans le référentiel véhicule. On dispose également des données caractérisant l'incertitude de cet ensemble de premiers vecteurs. Cette incertitude est également exprimée dans le référentiel véhicule. La [Fig.4] illustre schématiquement les limites ML1, ML2 et ML3 issues des données cartographiques et définies par une mise en œuvre de la quatrième étape E4 pour chacune des limites L1, L2 et L3. L'origine de chaque vecteur MXi est identifié par un point appartenant aux limites ML1, ML2 et ML3. En particulier, pour chaque vecteur MXi caractérisant la limite L2, on a représenté par des zones Z2 l'incertitude sur la position de l'origine des vecteurs MXi. La modélisation des limites par les données cartographiques est une modélisation discrète, c'est-à-dire que les limites sont définies par un ensemble fini de vecteurs. D'autre part, on dispose d'une modélisation

continue des limites par l'intermédiaire du moyen de détection 3. En effet, les limites étant exprimées sous la forme d'une fonction de type $y = f(x)$, elles sont définies en tout point compris dans la portée du moyen de détection 3. Pour comparer ces deux modélisations, on procède à une discrétisation de la modélisation continue des limites issues du moyen de détection 3.

[0058] Dans une sixième étape E6, on détermine une pluralité de deuxièmes vecteurs F_j caractéristiques de la limite telle qu'identifiée par le moyen de détection 3. Chaque deuxième vecteur F_j est déterminé par une projection orthogonale d'un vecteur MX_i parmi l'ensemble de premiers vecteurs, sur la fonction $y = P(x)$ définie précédemment. Autrement dit, chaque deuxième vecteur F_j est déterminé de sorte à ce que son origine appartienne à la fonction $y=P(x)$, et que la droite passant par l'origine du vecteur F_j et par l'origine du vecteur MX_i soit perpendiculaire à la fonction $y = P(x)$, et que l'orientation du vecteur F_j soit égale à l'orientation d'une tangente à la fonction $y = P(x)$ au niveau de l'origine du vecteur F_j . En remarque, la fonction $y=P(x)$ présente en général des rayons de courbure suffisamment importants pour qu'il existe une unique projection orthogonale du vecteur MX_i sur la fonction $y = P(x)$. Dans l'hypothèse très rare où il existerait plusieurs projections orthogonales possible du vecteur MX_i sur la fonction $y = P(x)$, on peut utiliser arbitrairement l'une de ces projections, par exemple la première projection trouvée, c'est-à-dire que la recherche d'une projection orthogonale serait arrêtée dès qu'on en trouve une.

[0059] Ainsi, on discrétise la modélisation de la limite telle que détectée par le moyen de détection 3. Une discrétisation de cette modélisation consiste à représenter chaque limite non pas par une fonction (laquelle est définie en tout point compris entre X_{min} et X_{max}) mais par un ensemble fini de vecteurs F_j . Chaque vecteur F_j caractérise localement une limite avec les coordonnées d'un point de la limite dans le référentiel véhicule et une composante caractérisant l'orientation de la limite considérée au niveau de ce point. Pour une limite donnée, le vecteur F_j peut donc être exprimé, dans le référentiel véhicule, de la manière suivante :

$$F_j = \begin{bmatrix} x_j \\ P(x_j) \\ \arctan(P'(x_j)) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_j \\ c_0 + c_1 x_j + c_2 x_j^2 + c_3 x_j^3 \\ \arctan(c_1 + 2c_2 x_j + 3c_3 x_j^2) \end{bmatrix}$$

où :

- x_j désigne la coordonnée selon l'axe X2 d'un point donné d'une limite détectée par le moyen de détection 3. Il s'agit donc de la distance du point donné au véhicule suivant l'axe longitudinal X2 du véhicule.

- $P(x_j)$ désigne la coordonnée selon l'axe Y2 du point donné. Il s'agit donc de la distance du point donné au véhicule suivant l'axe transversal Y2 du véhicule.

- $\arctan(P'(x_j))$ désigne la fonction arc-tangente de la dérivée de la fonction (P_x) au point considéré. Cette composante caractérise l'orientation de la tangente à la courbe $y = P(x)$ au niveau du point considéré.

[0060] Sur la [Fig.5], on a représenté un exemple de discrétisation des lignes M1, M2 et M3. Chaque ligne M1, M2 ou M3 est représentée par un ensemble de vecteurs F_j dont l'origine est un point de coordonnée $(x(j), P(x(j)))$ dans le référentiel véhicule et dont l'orientation est égale à $\arctan(P'(x_j))$.

[0061] Dans une septième étape E7, on détermine l'incertitude associée à chacun des deuxièmes vecteurs F_j . En effet, l'incertitude du moyen de détection 3 quant à la détection de chacune des limites peut également être discrétisée. Pour chaque vecteur $F(j)$, l'incertitude de mesure peut être calculée par la formule suivante :

$${}^M\Sigma_F = Var\left(\begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ \theta_j \end{bmatrix}\right) = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_j}{\partial M_i} \end{bmatrix} {}^M\Sigma_P \begin{bmatrix} \frac{\partial F_j}{\partial M_i} \end{bmatrix}^T$$

où :

- ${}^m\Sigma_F$ désigne une matrice de covariance de dimension 3x3,
- $y_j = P(x_j)$,
- $\theta_j = \arctan(P'(x_j))$,
- $\delta F_j / \delta M_i$ désigne une dérivée partielle du vecteur F_j , notamment la matrice jacobienne du vecteur F_j , fonction des variables x_j, c_0, c_1, c_2, c_3 et
- ${}^M\Sigma_P$ est la matrice de covariance représentant l'incertitude de mesure du moyen de détection 3, précédemment décrite.

[0062] Sur la [Fig.5], pour chaque vecteur F_j caractérisant la limite L2, on a représenté par des zones Z11 l'incertitude sur la position de l'origine des vecteurs F_j , et par des zones Z12 l'incertitude sur l'orientation des vecteurs F_j . En raison de l'incertitude sur l'orientation du véhicule, l'incertitude sur les vecteurs F_j les plus éloignés du véhicule est plus importante. Les zones Z11 et Z12 sont donc plus grandes à mesure qu'on s'éloigne du véhicule.

[0063] Dans une huitième étape E8, on calcule les distances de Mahalanobis entre chaque premier vecteur MX_i et chaque deuxième vecteur F_j résultant de la projection orthogonale du premier vecteur MX_i considéré. Le calcul d'une distance Mahalanobis est basé non seulement sur les composantes des vecteurs MX_i et F_j mais également sur les données relatives à l'incertitude de ces deux vecteurs. La distance de Mahalanobis entre les vecteurs F_j et MX_i peut être calculée au moyen de la formule suivante :

$$d(MXi, Fj) = \sqrt{(MXi - Fj)^T (M \sum F + Var(MXi))^{-1} (MXi - Fj)}$$

où :

- MXi désigne un vecteur parmi l'ensemble de premiers vecteurs,
- Fj désigne le vecteur de l'ensemble de deuxièmes vecteurs résultant de la projection orthogonale du premier vecteur MXi sur la fonction $y = P(x)$,
- $m \sum F$ est la matrice de covariance caractérisant l'incertitude du vecteur Fj,
- $Var(MXi)$ est la matrice de covariance caractérisant l'incertitude du vecteur MXi.

[0064] La distance de Mahalanobis ainsi calculée est une valeur représentative de la similitude entre le vecteur Fj et le vecteur MXi. Cette distance de Mahalanobis peut être calculée pour chaque vecteur MXi dont l'origine se situe dans la portée du moyen de détection 3.

[0065] Dans une neuvième étape E9, on calcule la distance de Mahalanobis maximale parmi les distances de Mahalanobis calculées entre chaque premier vecteur d'une même limite et chaque deuxième vecteur associé au premier vecteur considéré. Cette valeur maximale est un indicateur de la similitude entre une limite telle que détectée par le moyen de détection 3 et une limite telle qu'identifiée dans les données cartographiques. Plus la valeur maximale est faible et plus la limite telle que détectée par le moyen de détection 3 sera considérée comme proche de la limite telle qu'identifiée dans les données cartographiques. La distance de Mahalanobis entre une limite telle que détectée par le moyen de détection 3 et une limite telle qu'identifiée dans les données cartographiques peut être définie comme égale à cette valeur maximale.

[0066] Dans une dixième étape E10, on classe la limite de la voie de circulation telle que détectée par le moyen de détection 3 en vrai positif ou en faux positif en fonction de la distance maximale calculée lors de l'étape E9. A cet effet, on peut par exemple comparer la valeur maximale précédemment calculé avec un seuil prédéfini, déterminé lors d'une phase de calibration du procédé.

[0067] En variante, la classification en vrai positif ou en faux positif de la limite de la voie de circulation telle que détectée par le moyen de détection 3 pourrait être basée sur d'autres indicateurs, eux même basé sur l'ensemble des distances de Mahalanobis précédemment calculées. Par exemple, on pourrait comparer une valeur moyenne ou une valeur minimale de l'ensemble des distances de Mahalanobis calculées entre les vecteurs MXi et Fj avec seuil. Toutefois, une comparaison de la valeur maximale est simple à mettre en œuvre et permet une classification en vrai positif ou en faux positif fiable.

[0068] En relation avec la [Fig.6], on décrit à présent à un mode de réalisation d'un procédé

P2 de détection d'une pluralité de limites de voies de circulation. Le procédé P2 comprend une étape E01 de détection d'un premier ensemble de limites de voies de circulation à partir de données fournies par un moyen de détection du véhicule, et une étape E02 de détection d'un deuxième ensemble de limites de voies de circulation à partir de données cartographiques et de données sur la position et l'orientation courante du véhicule, Les étapes E01 et E02 sont exécutées préalablement à la mise en œuvre du procédé P1 tel que décrit précédemment.

[0069] Selon une première variante de réalisation de l'invention, on peut exécuter le procédé P1 tel que défini par les étapes E1 à E10 pour chaque binôme possible formé par une limite du premier ensemble et par une limite du deuxième ensemble. S'il y a un nombre N1 de limites détectées par le moyen de détection 3 et un nombre M1 de limites identifiées dans les données cartographiques, le procédé P1 est répété un nombre de fois égal à $N1 \times M1$. Une telle variante peut exiger des ressources en calcul particulièrement importantes.

[0070] Selon une deuxième variante de réalisation de l'invention plus avantageuse, le procédé de détection peut comprendre une étape E03 de comparaison d'un type de limite détecté par le moyen de détection 3 avec un type de limite identifié dans les données cartographiques. Le procédé n'est alors mis en œuvre que pour calculer la distance de Mahalanobis entre des limites de même type, et éventuellement entre une limite de type quelconque et une limite de type inconnu. Par exemple, le moyen de détection peut détecter trois limites M1, M2 et M3 respectivement du type "ligne peinte au sol", de type inconnu et de type barrière. Dans le même temps les données cartographiques peuvent identifier trois limites ML1, ML2 et ML3 respectivement de type "ligne peinte au sol", de type inconnu, et de type "barrière". Dans ce cas le procédé sera mis en œuvre pour calculer la distance de Mahalanobis entre les binômes de limites suivants :

- M1, ML1
- M1, ML2
- M2, ML1
- M2, ML2
- M2, ML3
- M3, ML2
- M3, ML3

Le procédé ne sera pas mis en œuvre pour calculer la distance de Mahalanobis entre les binômes de limites suivants :

- M1, ML3
- M3, ML1

La mise en œuvre de cette étape de comparaison permet donc de réduire la quantité

de calculs exécutés par l'unité de calcul 2.

- [0071] Ensuite, dans une onzième étape E11, le procédé P1 tel que défini par les étapes E1 à E10 est mis en œuvre pour chaque binôme de limites identifié et conduit à la détermination d'une distance de Mahalanobis maximale pour chacun de ces binômes. Ensuite, dans une douzième étape E12, on calcule une matrice de distances de Mahalanobis entre chaque limite du premier ensemble et chaque limite du deuxième ensemble, chaque élément de la matrice étant égal à la distance de Mahalanobis maximale calculée par la mise en œuvre du procédé P1 avec une limite du premier ensemble de limites et une limite du deuxième ensemble de limites. Bien sûr, dans l'hypothèse où on effectue préalablement l'étape E03 de comparaison des types de limites, seuls les éléments de la matrice satisfaisant à la comparaison des types telle qu'expliquée plus haut, sont calculés.
- [0072] Ensuite, dans une treizième étape E13, on classifie les limites du deuxième ensemble en vrai positif ou en faux positif au moyen de la matrice de distances de Mahalanobis, par la mise en œuvre d'un algorithme de détermination du plus proche voisin à la matrice de distances de Mahalanobis. Un tel algorithme est également couramment dénommé par l'anglicisme " Global Neighbourhood (GNN)". Il permet d'obtenir la meilleure association possible entre une limite du deuxième ensemble et une la limite du premier ensemble. S'il est impossible d'associer une limite du premier ensemble à une limite du deuxième ensemble, on peut en déduire que la limite du premier ensemble correspond à un faux positif, c'est-à-dire qu'elle résulte d'une fausse détection réalisée par le moyen de détection 3.
- [0073] La [Fig.7] illustre les résultats d'une mise en œuvre du procédé P2 sur une route comprenant cinq voies de circulation parallèles. Le véhicule 1 est positionné sur la voie de circulation centrale. Le moyen de détection 3 détecte quatre limites M1, M2, M3 et M4, représentées en trait plein sur la [Fig.7]. Trois limites M1, M2 et M3 ont une allure rectiligne tandis que la quatrième limite M4 a une allure courbe. Pour chaque limite on a représenté par un rond ou un ovale les zones Z11 représentant les incertitudes de position de l'origine des vecteurs F_j . Par ailleurs les données cartographiques, on conduit à l'identification de huit limites ML1 à ML8, représentées en pointillés sur la [Fig.7]. On met alors en œuvre de procédé P2 de détection d'une pluralité de limites de voies de circulation. Suite à l'exécution de l'algorithme de détermination du plus proche voisin, Les limites M1, M2 et M3 sont alors associées respectivement aux limites ML3, ML4 et ML5. Aucune des limites définies par les données cartographiques ne peut être associée à la limite M4. Cette dernière est alors classée à juste titre comme un faux positif.
- [0074] Le procédé de détection d'une pluralité de limites de voies de circulation peut également être utilisé dans un procédé P3 de détermination de la position d'un véhicule

sur une route. Un mode de réalisation d'un tel procédé est illustré sur la [Fig.8].

[0075] Dans une première étape E21, on détermine au moins deux hypothèses de positionnement du véhicule. Par exemple, si on suppose que le véhicule 1 est sur une route, telle qu'une autoroute, comprenant trois voies de circulation parallèles, une première hypothèse H1 consiste à supposer que le véhicule 1 est positionné sur la voie de circulation la plus à droite. Une deuxième hypothèse H2 consiste à supposer que le véhicule 1 est positionné sur la voie de circulation centrale. Une troisième hypothèse H3 consiste à supposer que le véhicule 1 est positionné sur la voie de circulation la plus à gauche.

[0076] Puis, dans une deuxième étape E22, on met en œuvre le procédé P2 de détection d'une pluralité de limites de voies de circulation décrit plus haut pour chaque hypothèse de positionnement H1, H2, H3 du véhicule. Lors des mises en œuvre successives du procédé P2, la position courante du véhicule déterminée par le moyen de géolocalisation 4 est modifiée de sorte à positionner le véhicule selon chacune des hypothèses de positionnement. En l'espèce, la position courante du véhicule déterminée est corrigée de sorte à positionner le véhicule successivement au centre de la voie de circulation de droite, puis au centre de la voie de circulation centrale, puis au centre de la voie de circulation de gauche. Cette correction peut être effectuée en appliquant un offset sur la composante My_i , correspondant à la coordonnée selon l'axe Y2 de l'origine de chaque vecteur MX_i .

[0077] Ensuite, dans une troisième étape E23, on calcule un indice de précision en fonction du nombre de vrais positifs et de faux positifs déterminés pour chaque hypothèse H1, H2, H3. Par exemple, l'indice de précision peut être calculé au moyen de la formule suivante :

$$Precision(t, t + 5) = \frac{TP}{TP + FP}$$

où :

- Precision (t, t+5) désigne l'indice de précision calculé sur une fenêtre de temps de cinq secondes,

- TP désigne le nombre de vrais positifs calculés sur la fenêtre de temps de cinq secondes, et

- FP désigne le nombre de faux positifs calculés sur la fenêtre de temps de cinq secondes.

[0078] La [Fig.9] représente l'évolution de l'indice de précision pour chaque des hypothèses H1, H2 et H3. On observe que l'indice de précision associé à l'hypothèse H1 est globalement plus élevé que l'indice de précision associé à l'hypothèse H2 et qui est lui-

même globalement plus élevé que l'indice de précision associé à l'hypothèse H3. Il est ainsi possible de discriminer les différentes hypothèses. Ainsi, dans une quatrième étape E24, on sélectionne une hypothèse de positionnement par comparaison des indices de précision calculés pour les différentes hypothèses. A cet effet on peut par exemple retenir l'hypothèse dont l'indice de précision présente la valeur moyenne la plus élevée sur une fenêtre de temps donné, soit l'hypothèse H1 selon l'exemple de la [Fig.9]. On parvient ainsi à déterminer sur quelle voie de circulation le véhicule circule effectivement. Cette information peut être mise à profit dans des systèmes de contrôle autonome du véhicule ou encore dans des systèmes de navigation.

[0079] Grâce à l'invention on dispose d'un procédé de détection d'une ou plusieurs limites d'une voie de circulation permettant d'identifier la détection de faux positifs par le moyen de détection de l'environnement embarqué dans le véhicule. Ce procédé de détection peut avantageusement être mis en œuvre dans un procédé de détermination de la position d'un véhicule sur une route pour déterminer de manière plus fiable la position du véhicule.

[0080] En remarque, les termes d'énumération tels que premier, deuxième, etc... ont uniquement vocation à distinguer les différentes étapes du procédé. Ces termes ne caractérisent pas une relation d'ordre entre les différentes étapes, lesquelles peuvent être effectuées dans un ordre quelconque pourvue que les données nécessaires en entrée soient disponibles. Les synoptiques représentés en figures 3, 6 et 8 indiquent par des flèches un ordre possible entre les différentes étapes. Toutefois, un ordre différent pourrait être envisagé par l'homme du métier pour parvenir aux mêmes résultats. Les procédés décrits peuvent être répétés indéfiniment selon une fréquence d'itération prédéfinie.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé (P1) de détection d'une limite (L1, L2, L3) d'une voie de circulation (VC1, VC2) pour un véhicule (1) automobile, caractérisé en ce qu'il comprend :
- une étape (E1) de détection de ladite limite par un moyen de détection (3) de l'environnement du véhicule, ledit moyen de détection étant embarqué dans le véhicule, la limite détectée par le moyen de détection étant définie par une fonction, notamment une fonction polynomiale,
 - une étape (E4) de détermination d'une pluralité de premiers vecteurs (MXi) caractérisant ladite limite, les premiers vecteurs étant déterminés sur la base de données cartographiques et sur la base de données sur la position et l'orientation courante du véhicule,
 - une étape (E5) de détermination de données relatives à l'incertitude de chacun des premiers vecteurs,
 - une étape (E6) de détermination d'une pluralité de deuxièmes vecteurs (Fj) caractérisant ladite limite, chaque deuxième vecteur étant déterminé par une projection orthogonale d'un premier vecteur sur ladite fonction,
 - une étape (E7) de détermination de données relatives à l'incertitude de chacun des deuxièmes vecteurs,
 - une étape (E8) de calcul de distances de Mahalanobis entre chaque premier vecteur et chaque deuxième vecteur résultant de la projection orthogonale du premier vecteur considéré, chaque distance de Mahalanobis étant calculée en fonction des données relatives à l'incertitude de chaque premier vecteur et de chaque deuxième vecteur considéré,
 - une étape (E10) de classification de la limite détectée par le moyen de détection en vrai positif ou en faux positif en fonction des distances de Mahalanobis précédemment calculées.
- [Revendication 2] Procédé (P1) de détection selon la revendication précédente, caractérisé en ce que les premiers vecteurs et les deuxièmes vecteurs sont formulés dans un même référentiel lié au véhicule.
- [Revendication 3] Procédé (P1) de détection selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque premier vecteur comprend :
- une première composante égale à une distance d'une origine du premier vecteur considéré au véhicule, suivant un axe longitudinal du véhicule,
 - une deuxième composante égale à une distance de l'origine du premier vecteur considéré au véhicule, suivant un axe transversal du véhicule,

- une troisième composante caractérisant l'orientation d'une tangente à ladite limite au niveau de l'origine du premier vecteur,
- et en ce que chaque deuxième vecteur comprend :
 - une première composante égale à une distance d'une origine du deuxième vecteur considéré au véhicule, suivant un axe longitudinal du véhicule,
 - une deuxième composante égale à une distance de l'origine du deuxième vecteur considéré au véhicule, suivant un axe transversal du véhicule,
 - une troisième composante caractérisant l'orientation d'une tangente à ladite limite au niveau de l'origine du deuxième vecteur,

[Revendication 4] Procédé (P1) de détection selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque premier vecteur est déterminé de sorte que son origine soit comprise dans une portée (ZP) du moyen de détection (3).

[Revendication 5] Procédé (P1) de détection selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que :

- les données relatives à l'incertitude de chacun des premiers vecteurs sont calculées en fonction de valeurs d'incertitude de positionnement et d'orientation courante du véhicule et en fonction de valeurs d'incertitude des données cartographiques, et/ou en ce que
- les données relatives à l'incertitude de chacun des deuxièmes vecteurs sont calculées par le moyen de détection (3).

[Revendication 6] Procédé (P1) de détection selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend une étape (E9) de calcul de la distance de Mahalanobis maximale parmi les distances de Mahalanobis calculées entre chaque premier vecteur et chaque deuxième vecteur résultant de la projection orthogonale du premier vecteur considéré, l'étape (E10) de classification de la deuxième limite de voie de circulation en vrai positif ou en faux positif étant réalisée en fonction de la distance de Mahalanobis maximale calculée.

[Revendication 7] Procédé (P2) de détection d'une pluralité de limites (L1, L2, L3) de voies de circulation (VC1, VC2) pour un véhicule (1) automobile, caractérisé en ce qu'il comprend :

- une étape (E01) de détection d'un premier ensemble de limites de voies de circulation par un moyen de détection de l'environnement du véhicule, ledit moyen de détection étant embarqué dans le véhicule,
- une étape (E02) de détection d'un deuxième ensemble de limites de

voies de circulation à partir de données cartographiques et de données sur la position et l'orientation courante du véhicule,

- une étape (E12) de calcul d'une matrice de distances de Mahalanobis entre chaque limite du premier ensemble et chaque limite du deuxième ensemble, chaque élément de la matrice étant égal à la distance de Mahalanobis maximale calculée par la mise en œuvre du procédé (P1) de détection selon la revendication précédente avec une limite du premier ensemble de limites et une limite du deuxième ensemble de limites,
- une étape (E13) de classification des limites du premier ensemble en vrai positif ou en faux positif au moyen de la matrice de distances de Mahalanobis, par la mise en œuvre d'un algorithme de détermination du plus proche voisin sur la matrice de distances de Mahalanobis.

[Revendication 8] Procédé (P2) de détection selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comprend une étape (E03) de comparaison d'un type de chaque limite du premier ensemble avec un type de chaque limite du deuxième ensemble, et en ce que lors de l'étape (E12) de calcul de la matrice de distances de Mahalanobis, seuls les éléments de la matrice satisfaisant à une comparaison des types sont calculés.

[Revendication 9] Procédé (P3) de détermination de la position d'un véhicule (1) sur une route, caractérisé en ce qu'il comprend :

- une étape (E21) de détermination d'au moins deux hypothèses (H1, H2, H3) de positionnement du véhicule,

puis, pour chaque hypothèse de positionnement du véhicule :

- la mise en œuvre du procédé (P2) de détection selon la revendication 7 ou 8,
- une étape (E23) de calcul d'un indice de précision en fonction du nombre de vrais positifs et de faux positifs déterminés,

puis :

- une étape (E24) de sélection d'une hypothèse de positionnement par comparaison des indices de précision calculés pour les différentes hypothèses.

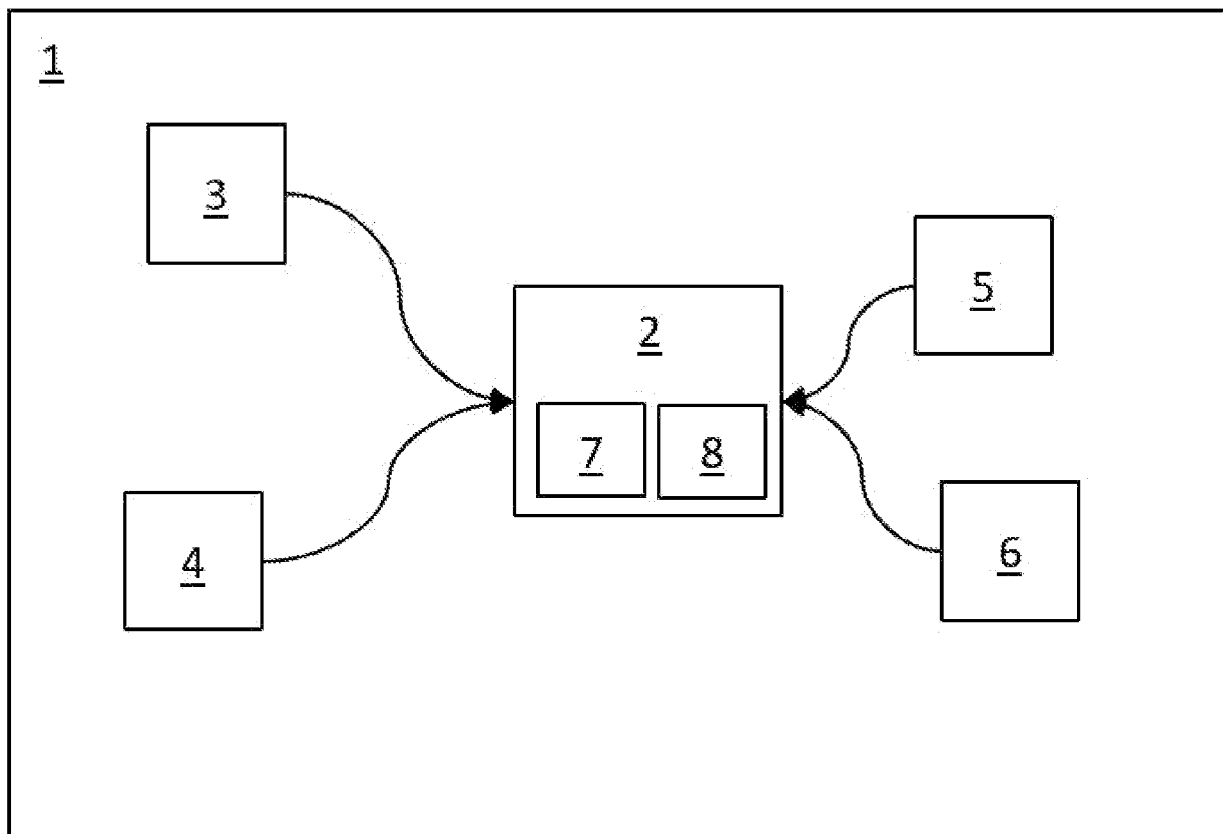
[Revendication 10] Produit programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme enregistrées sur un support lisible par ordinateur pour mettre en œuvre les étapes du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes lorsque ledit programme fonctionne sur un ordinateur.

[Revendication 11] Support d'enregistrement de données (7), lisible par un ordinateur, sur lequel est enregistré un programme d'ordinateur comprenant des ins-

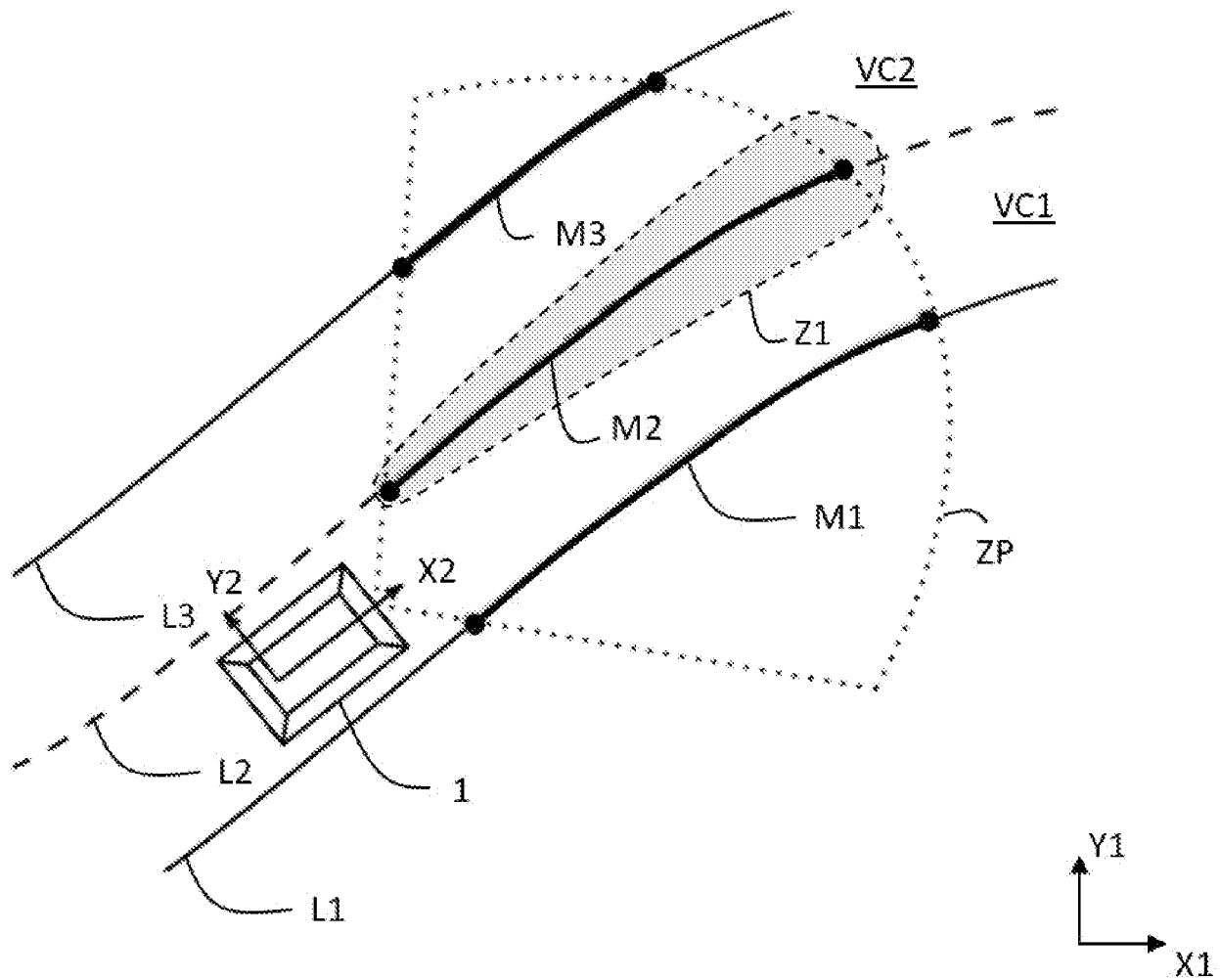
tructions de code de programme de mise en œuvre d'un procédé selon l'une des revendications 1 à 9.

[Revendication 12] Véhicule (1) automobile, caractérisé en ce qu'il comprend un moyen de détection (3) de l'environnement du véhicule, un moyen de géolocalisation (4) du véhicule, un moyen de détermination de l'orientation du véhicule (5), une mémoire (6) ou un moyen d'accès à une mémoire dans laquelle sont enregistrées des données cartographiques, et une unité de calcul (2) équipée d'un support d'enregistrement de données (7) selon la revendication précédente.

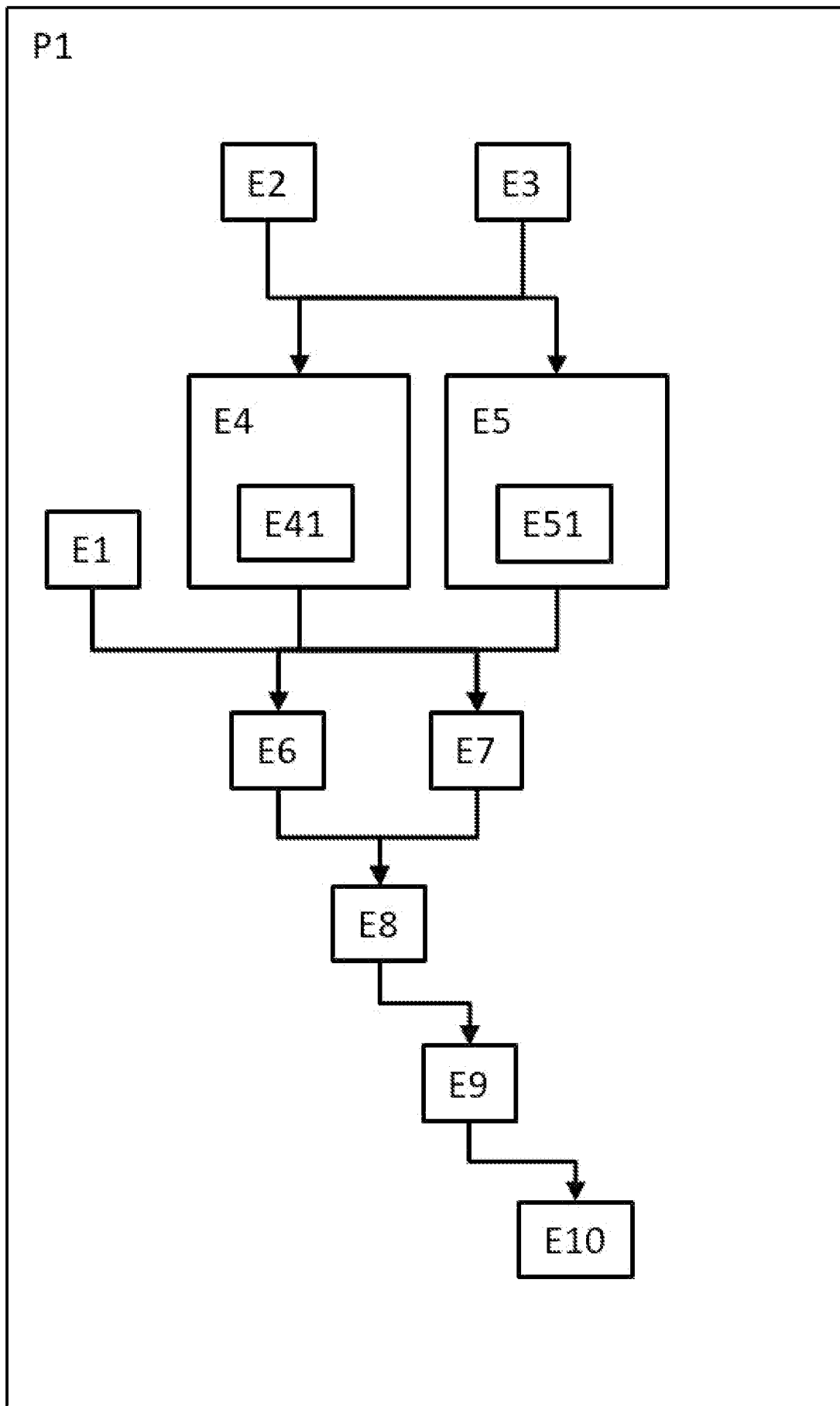
[Fig. 1]



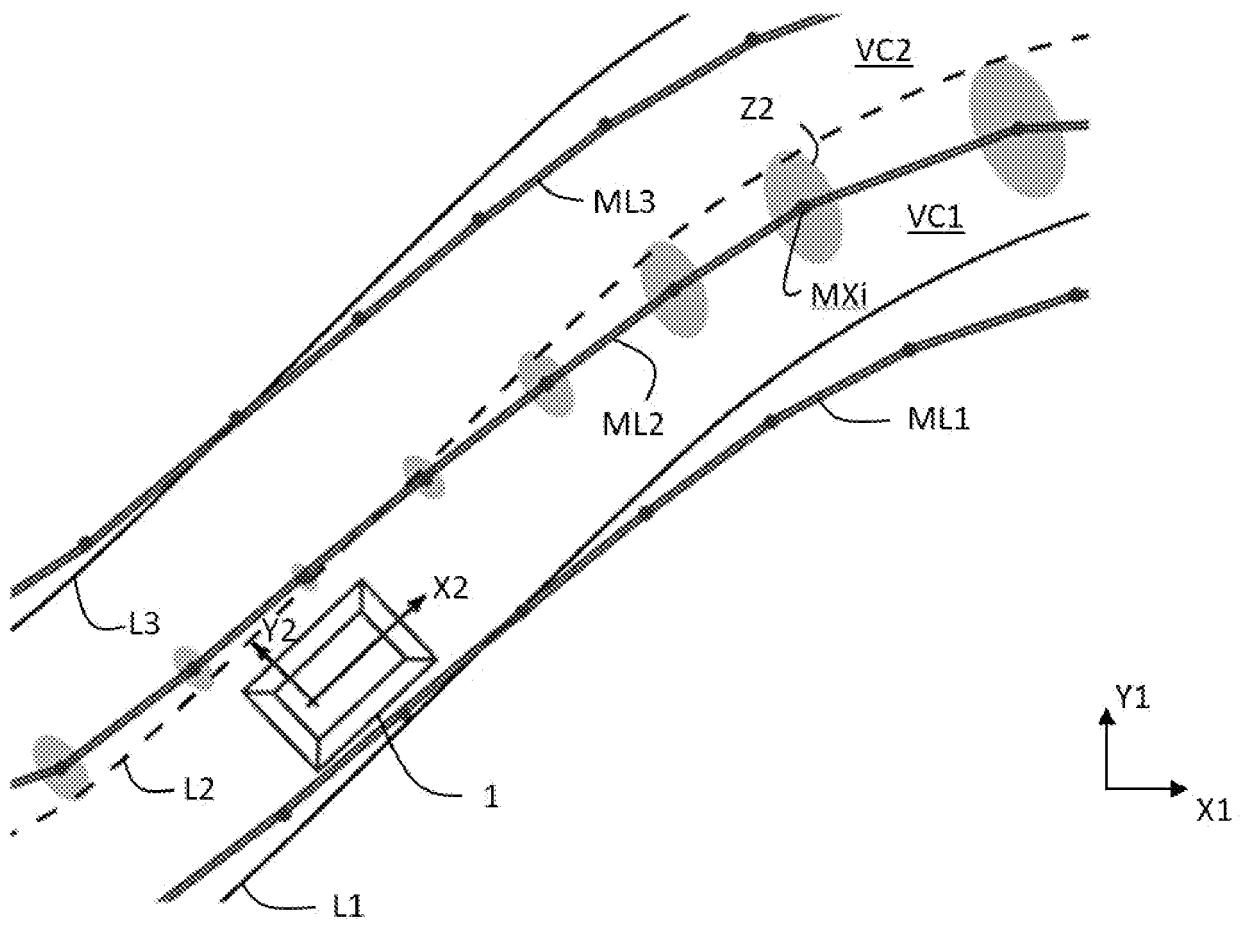
[Fig. 2]



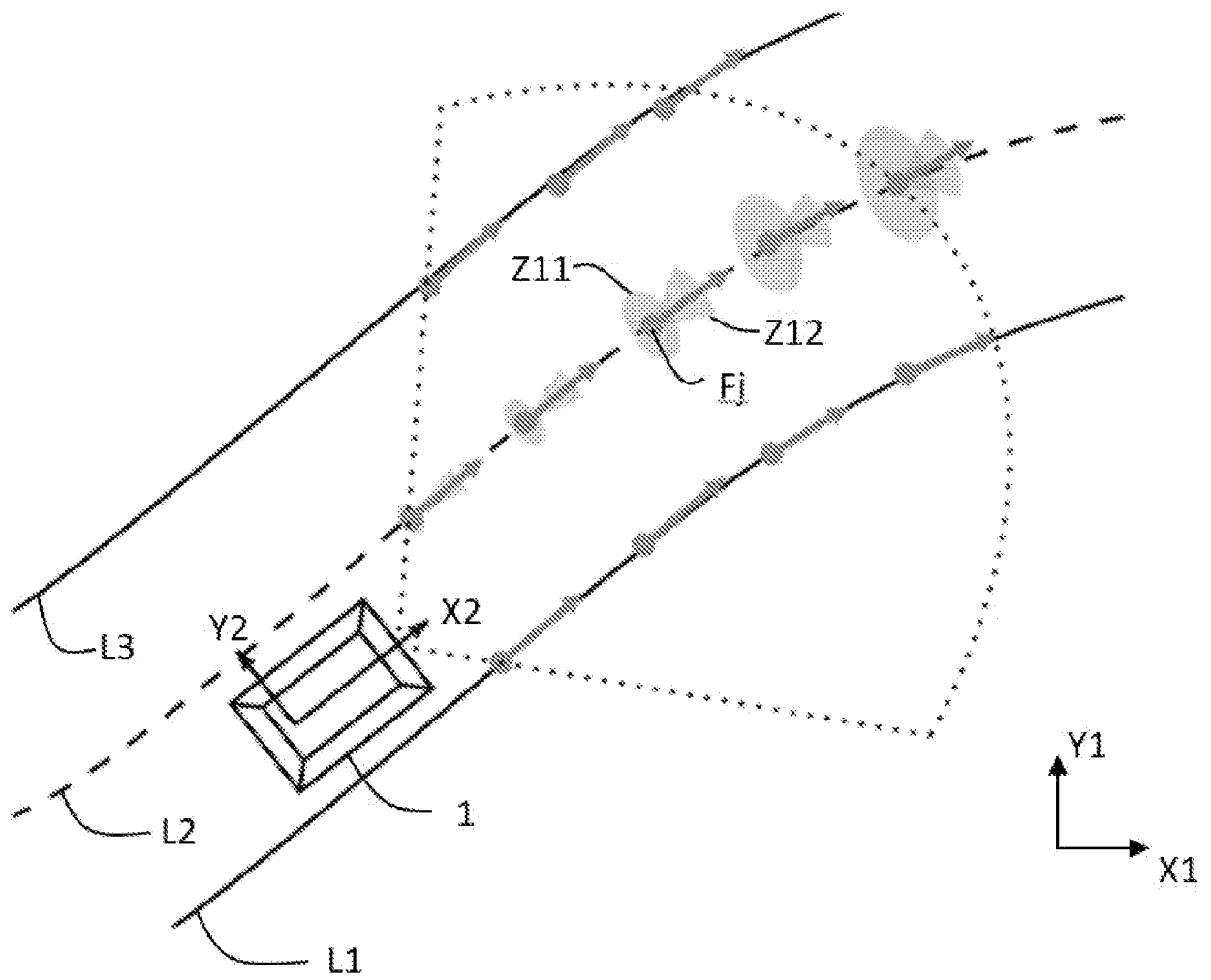
[Fig. 3]



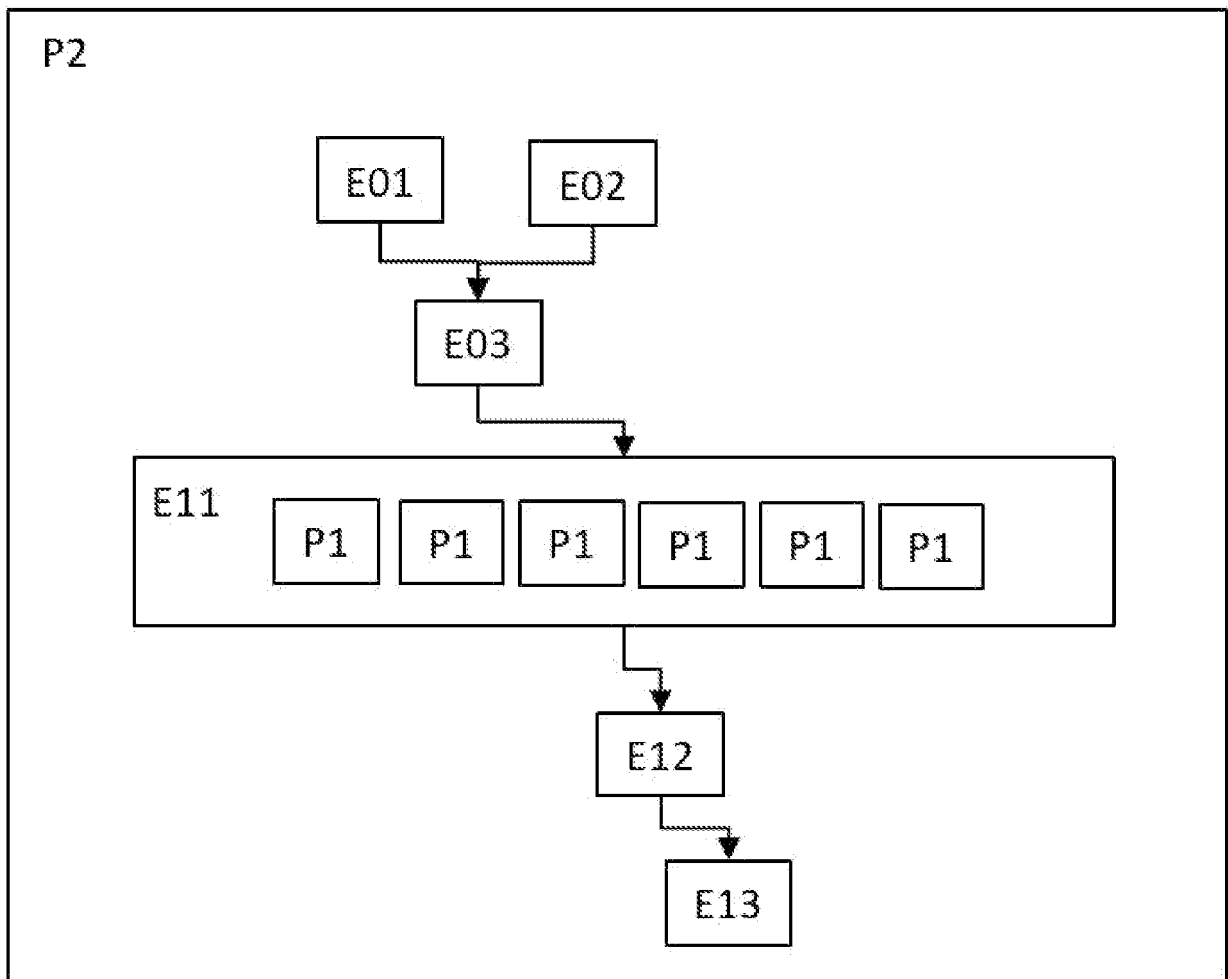
[Fig. 4]



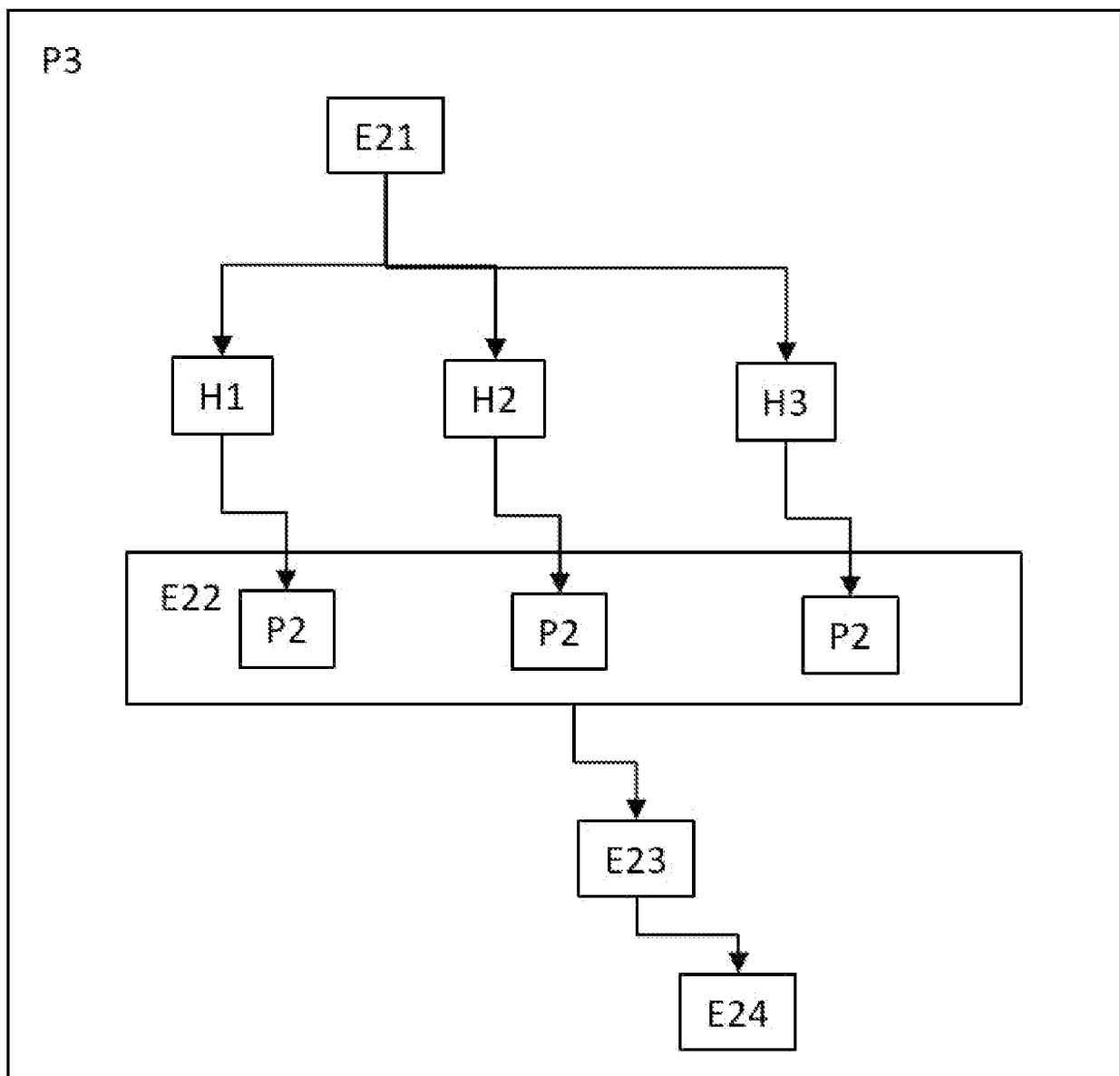
[Fig. 5]



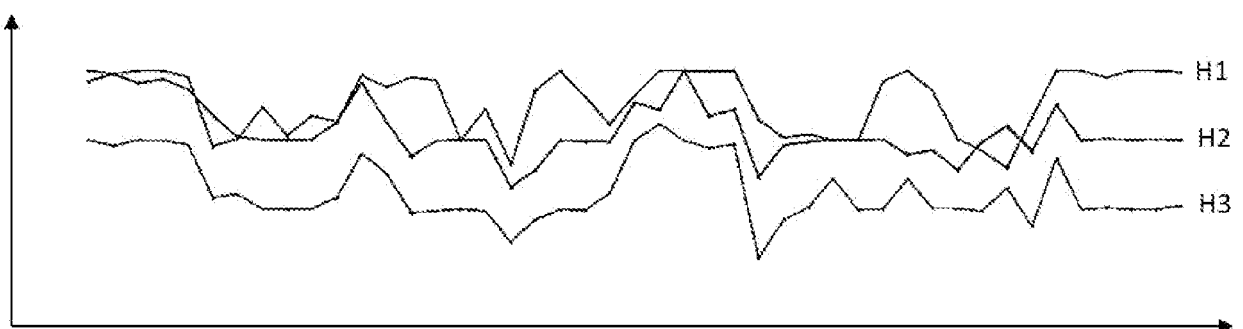
[Fig. 6]



[Fig. 8]



[Fig. 9]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☒ Le demandeur a maintenu les revendications.

☐ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

US 2021/041248 A1 (LI FRANCK [FR] ET AL)
11 février 2021 (2021-02-11)

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

MIRKO MEUTER ET AL: "A novel approach to lane detection and tracking",
INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, 2009.
ITSC '09. 12TH INTERNATIONAL IEEE
CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA,
4 octobre 2009 (2009-10-04), pages 1-6,
XP031560119,
ISBN: 978-1-4244-5519-5

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT