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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
14 septembre 2017 (14.09.2017)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2017/153896 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G05D 1/02 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/IB2017/051301

(22) Date de dépôt international :
6 mars 2017 (06.03.2017)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
16/00389 7 mars 2016 (07.03.2016) FR

(71) Déposant : **EFFIDENCE** [FR/FR]; 23 rue de la Roseraie, 63540 Romagnat (FR).

(72) Inventeur : **BONNET, Sébastien**; c/o Effidence, 23 rue de la Roseraie, 63540 Romagnat (FR).

(74) Mandataire : **TWENANS**; 29 Rue des Chandiots, 63100 Clermont-Ferrand (FR).

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

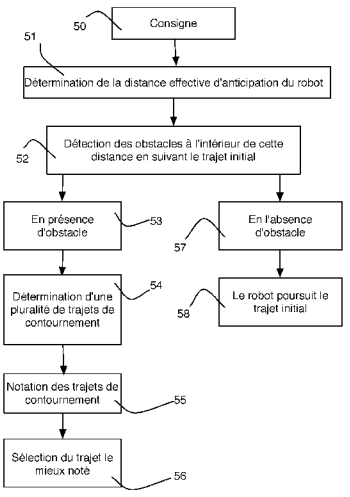
(84) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR,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

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*

(54) **Title** : MOTOR-DRIVEN AUTONOMOUS ROBOT WITH OBSTACLE ANTICIPATION

(54) **Titre** : ROBOT AUTONOME MOTORISÉ AVEC ANTICIPATION D'OBSTACLE



50 Instruction
51 Determination of the effective anticipation distance of the robot
52 Detection of the obstacles within said distance following the initial path
53 In the presence of an obstacle
54 Determination of a plurality of avoidance paths
55 Grading of avoidance paths
56 Selection of path with best grade
57 In the absence of an obstacle
58 The robot continues on the initial path

Figure 2

(57) **Abstract** : The invention relates to a guidance method for an autonomous robot, with obstacle avoidance, comprising steps consisting in: establishing a setpoint for the advancement of the robot; determining (51) an effective anticipation distance of the robot; receiving (52) data about possible obstacles within the anticipation distance on the initial path, in the event that the robot may hit an obstacle within the effective anticipation distance after the speed setpoint has been applied thereto; and determining (54) a plurality of avoidance paths, grading the avoidance paths and selecting the path with the best grade, the effective anticipation distance of the robot corresponding to the minimum observation distance in front of the vehicle, for the avoidance of obstacles.

(57) **Abrégé** :

[Suite sur la page suivante]

WO 2017/153896 A1

Procédé de conduite pour robot autonome avec contournement d'obstacles comprenant les étapes consistant à : - établir une consigne d'avancement du robot; - déterminer (51) une distance d'anticipation effective du robot; - recevoir (52) les données d'obstacles éventuels à l'intérieur de la distance d'anticipation sur le trajet initial; - dans le cas ou le robot heurterait un obstacle dans la distance effective d'anticipation après lui avoir appliqué la consigne de vitesse, - déterminer (54) une pluralité de trajets de contournement, noter les trajets de contournement et sélectionner le trajet dont la note est la plus favorable; - la distance d'anticipation effective du robot correspond à la distance minimale d'observation devant le véhicule pour éviter les obstacles.

ROBOT AUTONOME MOTORISÉ AVEC ANTICIPATION D'OBSTACLE

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

[0001] La présente invention concerne un robot autonome. Elle concerne plus particulièrement un robot capable d'anticiper la présence d'obstacle sur son parcours.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

[0002] Les robots autonomes motorisés sont aujourd'hui bien connus et utilisés dans de nombreux domaines tels que la logistique, l'agriculture, la production industrielle, etc. Une part importante des robots utilisés est destinée à transporter des charges sur de courtes distances. Pour assurer leur déplacement de façon autonome, les robots doivent comporter des moyens de repérage et de guidage. Ils doivent pouvoir détecter les éventuels obstacles présents devant eux, et prévoir des moyens afin d'éviter les collisions avec ces obstacles. De nombreuses formes de mises en œuvre existent aujourd'hui, avec des capteurs et/ou caméras agencés à des endroits permettant de mettre en œuvre les fonctions de repérage, tout en permettant au robot de réaliser sa mission de base, le transport de charge. On observe plusieurs exigences contradictoires entre le fait de doter le robot des équipements lui permettant d'être autonome, le fait de conserver des espaces de chargement facilement accessibles et la protection des moyens de repérage contre les chocs et autres aléas liés à une utilisation intensive. Une des solutions les plus utilisées à ce jour consiste à prévoir un mât ou autre système de bras permettant de positionner en hauteur un ou plusieurs capteurs. La position surélevée par rapport au robot et à la zone de manipulation des charges permet de protéger les capteurs. D'autres exemples de solutions sont présentés ci-après.

[0003] Le document US2015314443 décrit un procédé de détection d'obstacle visuel. Le procédé comprend la réception d'informations d'image d'un environnement capté par au moins un capteur visuel pour obtenir un espace à trois dimensions et un plan à deux dimensions. Le procédé consiste également à reconstruire les coordonnées et les positions géométriques des obstacles. Enfin, le procédé permet le tracé d'un trajet pour un mouvement automatique du robot mobile sur la base des obstacles détectés.

[0004] Le document US2013223673 décrit une méthode permettant d'identifier les objets notamment dans un entrepôt.

[0005] Le document US2015066201 décrit un système pour effectuer une inspection en temps réel à plusieurs dimensions d'objets multiples. Le document prévoit une pluralité de capteurs en temps réel de vision et d'autres capteurs sont positionnés au dessus de la bande transporteuse pour observer et enregistrer des données en temps réel des paquets et des boîtes qui se déplacent sur la bande.

[0006] Le document US2010034422 décrit une méthode de suivi d'objets dans un environnement comprenant des capteurs d'acquisition liés à l'environnement.

[0007] Le document US2007058838 décrit un appareil de détection d'objets comprenant des capteurs de distance, chaque détection d'un objet dans une zone de détection permet d'obtenir une information d'objet indiquant l'existence de l'objet et la capture d'image. Une unité de calcul de distance calcule les valeurs approximatives des distances entre les capteurs de distance respective à l'objet.

[0008] Le document EP2124122 décrit la génération d'une carte d'environnement pour un robot mobile. Le robot mobile génère un ensemble de données de position en trois dimensions représentant un environnement externe en utilisant des informations de mesure provenant des capteurs de distance. A partir d'une ancienne carte d'environnement, une nouvelle carte de l'environnement est générée par l'intégration de la région et des obstacles.

[0009] Le document EP2952993 décrit un procédé permettant de calculer une carte de pixels de la probabilité d'une absence et/ou d'une présence d'obstacle dans l'environnement du robot autonome. Le robot autonome comprend au moins un capteur regroupés dans au moins un ensemble de capteurs qui détectent les obstacles de types similaires.

[0010] Les solutions présentées ci-dessus impliquent des moyens complexes avec plusieurs capteurs, des moyens permettant d'établir une cartographie du site sur lequel le robot est appelé à se déplacer, etc. Ces solutions ne sont pas applicables pour des environnements qui changent régulièrement, voire en temps réel, ou des environnements naturels tels que des champs, ou site de construction.

[0011] L'absence de prise en compte des données de position des obstacles peut non seulement entraîner des collisions, mais risque aussi de causer une immobilisation du robot si un mécanisme de sécurité est mis en œuvre. Par exemple, un robot qui ne connaît pas obstacle présent devant lui, finira par se trouver très proche de l'obstacle, et même s'il

braque à fond, le coin du robot risque de heurter l'obstacle. Le robot risque alors une collision ou une immobilisation par mise en sécurité.

[0012] Un autre cas fréquent est celui où un robot suit une personne. La personne se dirige vers un mur perpendiculaire et tourne ensuite de 90° quand elle est proche du mur. Même en braquant à fond, le robot risque de heurter le mur. Même dans le cas d'un véhicule « type char » qui a un mouvement de pivot sur lui-même, quand ce dernier est trop proche du mur, un des coins du robot risque de heurter le mur.

[0013] Par ailleurs, on retrouve de nombreuses situations où un robot se trouve involontairement trop près d'un obstacle et voit son mode de sécurisation automatique se déclencher.

[0014] Par exemple lorsque le robot est très proche d'un obstacle, si une roue passe dans un trou, cela a pour effet de rapprocher le robot encore plus, déclenchant un arrêt de sécurité.

[0015] Lorsque le robot se déplace dans un couloir, par exemple en suivant une personne, si la personne longe les murs, le robot va s'en approcher de très près sans les toucher. Cependant, si le conducteur tourne à 90° pour prendre un autre couloir, le robot va se bloquer car à cause de son gabarit, notamment s'il dispose d'un plateau sur le dessus. Par exemple, si le robot tourne, le porte-à faux arrière, par effet de bras de levier, risque de toucher le mur. Un arrêt de mise en sécurité est alors probable.

Le document US2006/0235610 décrit un procédé classique de calcul d'itinéraire entre un point de départ et une destination finale d'un utilisateur dans lequel les routes potentielles dans lesquelles se trouvent des obstacles sont simplement éliminées.

[0016] Pour pallier ces différents inconvénients, l'invention prévoit différents moyens techniques.

EXPOSE DE L'INVENTION

[0017] Tout d'abord, un premier objet de l'invention consiste à prévoir un robot motorisé autonome permettant d'anticiper les obstacles sur son parcours.

[0018] Un autre objet de l'invention consiste à prévoir une méthode d'évitement d'obstacle sans manœuvre.

[0019] Un autre objet de l'invention consiste à prévoir un robot aux trajectoires ayant des courbures les plus faibles possibles.

[0020] Un autre objet de l'invention consiste à prévoir un robot dont la mise en œuvre est simple.

[0021] Pour ce faire, l'invention prévoit un procédé de conduite pour robot autonome avec contournement d'obstacles comprenant les étapes consistant à :

- établir une consigne d'avancement du robot (par exemple avec une vitesse linéaire et une direction constante ou variable) ;
- déterminer une distance d'anticipation effective du robot ;
- recevoir les données d'obstacles éventuels à l'intérieur de la distance d'anticipation sur le trajet initial ;
- dans le cas ou le robot heurterait un obstacle dans la distance effective d'anticipation après lui avoir appliqué la consigne de vitesse ;
- déterminer une pluralité de trajets de contournement, noter les trajets de contournement et sélectionner le trajet dont la note est la plus favorable ;
- la distance d'anticipation effective du robot correspondant à la distance minimale d'observation devant le véhicule pour éviter les obstacles.

[0022] Selon une telle architecture, le robot est apte à anticiper un virage suffisamment tôt, permettant d'obtenir des trajectoires avec des courbures les plus faibles possibles. Ceci permet de maintenir une vitesse élevée sans risque de se renverser ou de perdre du chargement. En présence d'un robot de type « char » l'anticipation permet d'éviter la dénaturation du sol et de réduire l'énergie nécessaire pour tourner, permettant ainsi d'éviter de sur-dimensionner les moteurs. Enfin, une telle architecture permet d'éviter le phénomène de glissement latéral, ce qui contribue à améliorer la localisation du robot.

[0023] Selon un mode de réalisation avantageux, la distance d'anticipation effective correspond à la somme de la distance d'anticipation théorique et de la distance d'obtention du braquage.

[0024] Selon encore un mode de réalisation avantageux, la distance d'anticipation théorique du robot correspond à la distance théorique minimale pour rechercher des obstacles devant

le véhicule afin d'être en mesure de l'éviter en braquant à fond les roues (vers la gauche ou la droite). Pour cela, on considère que le robot est théoriquement capable de braquer ses roues instantanément .Cette distance permet de contourner l'obstacle avec le braquage maximal dès le début du contournement. Cette distance est donc relativement courte du fait que le braquage maximal est utilisé dès l'amorce du contournement. En pratique, on peut rechercher une trajectoire plus progressive, sur des rayons de courbure plus élevés.

[0025] De manière avantageuse, la distance d'obtention du braquage correspond à la distance parcourue par le véhicule en fonction de sa vitesse de déplacement et de la variation de courbure autorisée jusqu'à obtention du braquage souhaité. En pratique, puisque l'on souhaite en général éviter d'immobiliser le robot pendant le temps de braquage des roues (car ceci rendrait la conduite saccadée, voire brutale) le robot parcourt une certaine distance entre le moment de l'amorce du braquage et celui où le braquage souhaité (maximum on non) est obtenu. Ainsi, pour un braquage progressif obtenu en avançant, la distance totale correspond à la distance d'obtention du braquage et de la distance restante pour contourner avec les roues braquées, éventuellement en réduisant ensuite le braquage, en fonction d'un nouvel obstacle à franchir. En fonction de la vitesse, afin d'assurer la stabilité du robot mobile, le rayon de courbure peut être augmenté, et donc le rayon de braquage réduit, augmentant la distance d'anticipation effective.

[0026] Selon un mode de réalisation avantageux, la distance d'anticipation théorique se mesure à partir du point remarquable du robot, cette distance correspondant:
- pour un robot type char (avec chenilles), il s'agit de son point de pivot ;
- pour un robot à essieu avant directeur et arrière fixe, il s'agit du milieu de l'essieu arrière ;
- pour un robot à essieu avant et arrière directeur, il s'agit du milieu des deux essieux.

[0027] Selon encore un mode de réalisation avantageux, le procédé de conduite de robot comprend également les étapes consistant à :
- pour le trajet élu, déterminer une enveloppe d'évitement d'obstacle ;
- effectuer le trajet élu en tenant compte de l'enveloppe d'évitement d'obstacle.

[0028] Selon une variante avantageuse, l'étape de détermination d'enveloppe d'évitement d'obstacle comporte les étapes suivantes :
- détermination d'une première enveloppe d'évitement d'obstacle ;
- évaluer, avec cette première enveloppe, la possibilité de contournement;
- si le test avec la première enveloppe est positif, déterminer une seconde enveloppe plus large ;

- évaluer les possibilités de contournement pour la seconde enveloppe ;
- si le test avec la seconde enveloppe est positif, utiliser le trajet élu modifié en tenant compte de cette enveloppe d'évitement d'obstacle.

[0029] De manière avantageuse, le test est effectué pour au moins une autre enveloppe de plus grande largeur.

[0030] L'invention prévoit également un système de conduite pour robot autonome pour la mise en œuvre du procédé de conduite préalablement décrit, comprenant un dispositif de repérage apte à communiquer avec un module de conduite pourvu d'un microprocesseur et d'instructions de mise en œuvre, d'un module de consigne, un module de détection d'obstacle, un module de détermination de distance d'anticipation effective du robot, un module de détermination de trajet de contournement, conçu pour déterminer une pluralité de trajets de contournement, noter les trajets de contournement et sélectionner le trajet dont la note est la plus favorable ; un module de notation, le module de détermination de distance d'anticipation effective du robot étant prévu pour déterminer la distance d'anticipation effective du robot correspondant à la distance minimale d'observation devant le véhicule pour éviter les obstacles.

[0031] De manière avantageuse, le système de conduite pour robot autonome comprend un module de détermination d'enveloppe d'évitement, conçu pour déterminer une enveloppe d'évitement d'obstacle et effectuer le trajet élu en tenant compte de l'enveloppe d'évitement d'obstacle,

[0032] L'invention prévoit enfin un robot autonome motorisé, comprenant un corps monté sur roues ou chenilles, comprenant également un système de conduite tel que préalablement décrit.

[0033] De manière avantageuse, le dispositif de repérage comporte un seul capteur, de préférence un Lidar, avantageusement adapté pour émettre un faisceau rotatif sur une plage angulaire de 360°.

DESCRIPTION DES FIGURES

[0034] Tous les détails de réalisation sont donnés dans la description qui suit, complétée par les figures 1 à 4, présentées uniquement à des fins d'exemples non limitatifs, et dans lesquelles:

-la figure 1A illustre de façon schématique un robot se déplaçant selon un mode permettant d'anticiper les obstacles présents devant lui;

-la figure 1B illustre schématiquement la dimension correspondant au Centre Instantané de Rotation (CIR) ;

-la figure 2 est un organigramme fonctionnel illustrant une partie des étapes clés du procédé de conduite de robot selon l'invention (pour la partie anticipation des obstacles) ;

-la figure 3 est un organigramme fonctionnel illustrant la suite des étapes clés du procédé de conduite de robot selon l'invention (pour la partie délimitation d'une enveloppe d'évitement optimal) ;

-la figure 4 est une représentation schématique d'un exemple de système de conduite.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

[0030] La figure 1A illustre un exemple de réalisation d'un robot 1 comprenant un corps 2 monté sur roues 3. Dans cet exemple, le corps 2 est de forme rectangulaire, et sensiblement plat, pour maintenir le centre de gravité près du sol et faciliter les opérations de chargement et de déchargement par l'opérateur. En variante, le corps peut être conçu selon une vaste panoplie de formes et de profils, en fonction des utilisations prévues, et des qualités esthétiques requises. De façon classique, le robot comporte au moins un moteur, électrique ou thermique, et des moyens permettant de gérer les déplacements de façon autonome.

[0031] Le robot est conçu pour avancer dans au moins une direction, avantageusement deux, et de préférence plusieurs directions angulaires. Le changement de direction angulaire est assuré soit par pivotement des roues (deux ou quatre roues directionnelles) ou par variation de vitesse angulaire relative entre les roues de chaque côté du robot. A cet effet, le robot est avantageusement équipé de quatre moteurs électriques, implantés dans les axes des roues. Le corps 2 permet de loger une ou plusieurs batteries et les éléments électroniques requis pour assurer la gestion et le guidage du robot. Toujours dans l'exemple des figures 1A et 1B, le dispositif de repérage 4 comprend un laser radar (ou LIDAR) adapté pour permettre de repérer les objets environnants sur une plage angulaire de 360°.

[0032] En variante, d'autres types de capteurs peuvent être utilisés, tels que une ou plusieurs caméras, un ou plusieurs capteurs inductifs, ou autres. Des solutions hybrides, avec plusieurs types de capteurs, peuvent aussi être mises en œuvre.

SYSTEME DE CONDUITE

[0033] La figure 4 illustre de façon schématique un exemple de système de conduite pour robot autonome comprenant un dispositif de repérage 4 tel que préalablement décrit, apte à communiquer par liaison filaire ou sans fil avec un module de conduite 100. Pour sa mise en œuvre, le module de conduite comprend au moins un microprocesseur et des instructions 101 de mise en œuvre par le microprocesseur des différents modules.

[0034] Le module de conduite prévoit également un module 102 de consigne, adapté pour recevoir ou donner et gérer une consigne de conduite du robot avec un vitesse linéaire et une courbure. Un module de détection d'obstacle 103 permet de détecter, en liaison avec le dispositif de repérage 4, les obstacles susceptibles de se trouver sur le trajet prévu, dans la limite de la distance d'anticipation effective du robot.

[0035] Un module de détermination de distance d'anticipation du robot 104 est conçu pour évaluer la distance minimale d'observation devant le véhicule pour éviter les obstacles. Un module de détermination de trajet de contournement 105, permet d'évaluer les trajets susceptibles de permettre au robot de contourner le ou les obstacles identifiés. Un module de notation 106 permet de donner une notation plus ou moins favorable à chacun des trajets de contournement possibles. Un module de détermination d'enveloppe d'évitement 107 est prévu pour ajouter un second niveau de sécurisation en se basant sur un robot virtuel de largeur plus importante que celle du robot effectif.

[0036] Le module de conduite prévoit également des bases de données d'obstacles 109, de données de trajets 110, de données de trajets de contournement 111 et de données d'enveloppe d'évitement 112. Enfin, un bus 108 permet de réaliser, de façon classique, les échanges de données entre les différents modules.

PROCEDE DE CONDUITE AVEC ANTICIPATION

DEFINITIONS

[0037] On entend par « Centre Instantané de Rotation » (CIR) : la position du centre d'un cercle virtuel passant par le centre du véhicule. Tout véhicule (y compris un char) possède un « Centre Instantanée de Rotation ». La position du CIR change en fonction de l'angle de braquage des roues, tel que montré à la figure 1B.

[0038] On entend par la « Distance d'Anticipation Théorique du Robot » (ou Dist Ant Théo)

la distance théorique minimale pour rechercher des obstacles devant le véhicule afin d'être en mesure de l'éviter en braquant à fond les roues vers la gauche ou la droite pour l'éviter (cette formule est vraie si on considère que le véhicule peut braquer instantanément et se dirige perpendiculairement à un mur). Pour évaluer cette distance, les roues du robot sont braquées à fond, ce qui permet de déduire le CIR associé. La distance d'anticipation théorique est la distance entre le coin du robot le plus éloigné du CIR et le CIR associé au braquage maximal.

[0039] La distance d'anticipation théorique se mesure à partir du point remarquable du robot :
- pour un robot type char (avec chenilles), il s'agit de son point de pivot ;
- pour un robot à essieu avant directeur et arrière fixe, il s'agit du milieu de l'essieu arrière ;
- pour un robot à essieu avant et arrière directeur, il s'agit du milieu des deux essieux.

[0040] On entend par la « Fonction Distance de Braquage » ou Fct Dist Bra (vitesse, variation_courbure), la fonction qui retourne la distance parcourue par le véhicule en fonction de sa vitesse de déplacement et de la variation de courbure autorisée.

[0041] On entend par la « Distance d'Anticipation Effective du Robot », ou Dist Ant Eff (vitesse, variation_courbure), la fonction qui retourne la distance minimale d'observation devant le véhicule pour éviter les obstacles :
-Dist_Ant Eff (vitesse, variation_courbure) = Dist Ant Théo + Fct Dist Bra (vitesse, variation_courbure).

[0042] L'anticipation a pour but d'avoir des trajectoires avec des courbures les plus faibles possibles (ou avec un grand rayon). Plus la distance d'anticipation est grande, plus la trajectoire du robot aura des chances d'avoir une courbure faible.

[0043] Pour tenir compte de cette contrainte technique, on entend par «Variation de Courbure » :
- pour un robot à trains directeurs : la variation de courbure définit de combien on autorise à tourner en plus ou en moins l'angle de braquage des roues ;
- pour un robot de type char : la variation de courbure définit de combien on autorise à modifier en plus ou en moins la vitesse angulaire du robot.

MISE EN ŒUVRE DU PROCEDE DE CONDUITE AVEC ANTICIPATION

[0044] Les figures 2 et 3 illustrent les principales étapes permettant la mise en œuvre du procédé et du système de conduite avec anticipation des obstacles.

[0045] A l'étape 50, une consigne de conduite est reçue, comme par exemple une vitesse linéaire d'avancement et une courbure.

[0046] L'étape 51 concerne la détermination d'une distance effective d'anticipation du robot. Cette étape peut être effectuée préalablement, avant que le robot effectue un trajet. Elle n'a pas à être répétée à chaque trajet, tant que les données de base ne changent pas.

[0047] A l'étape suivante 52, les données correspondant aux éventuels obstacles sont obtenues. Cette étape permet de prédéterminer un trajet que va effectuer le robot si on lui applique la consigne sur une distance d'anticipation effective (vitesse, variation_courbure), dans lequel :
- la vitesse est la vitesse de consigne ;
- la variation courbure est la variation de la courbure autorisée pour le véhicule. Si la variation vaut 0, alors on n'autorise pas le robot à modifier l'angle de braquage de ses roues dans le cas d'un véhicule à trains directeurs ;
- le robot a une forme donnée (par exemple un rectangle) ;
- pour prédire la position, on définit la position où se trouvera le robot 100 ms plus tard, puis on définit la position où se trouvera le robot 200 ms plus tard, et ainsi de suite, jusqu'à ce que le robot ait parcouru la distance d'anticipation effective. Cette distance est une fonction de la vitesse et de la variation de courbure.

[0048] Pour la prédétermination du trajet, on vérifie que pour chaque position prédite, il n'y a pas un obstacle, sinon on considère qu'il y a une collision.

[0049] Aux étapes 53 et 54, un test de collision avec l'obstacle est effectué : on liste tous les trajets autorisés, c'est-à-dire qu'on liste toutes les courbures de trajectoires autorisées. On utilise la consigne de courbure demandée du robot plus ou moins une fonction de variation de courbure.

[0050] Ensuite, pour chaque trajet possible avec sa courbure, on en déduit la consigne de courbure qu'il faudrait envoyer au robot pour qu'il réalise le trajet avec la courbure demandée. On réalise une prédiction du trajet tenant compte de la latence du véhicule, du temps de montée pour atteindre la consigne de courbure. La prédiction s'étend sur la

distance effective d'anticipation du robot.

[0051] Selon un mode de réalisation préférentiel, le but de l'évitement d'obstacle n'est pas de faire demi-tour. Aussi, lors de la prédiction, lorsque le robot a tourné de 90° par rapport à sa position de départ, on prolonge la trajectoire en ligne droite.

[0052] Enfin, à l'étape 55, une notation est effectuée. Pour chaque trajet possible avec sa courbure, on mesure la distance parcourue par le robot avant de heurter un obstacle. On utilise de préférence l'abscisse curviligne. La commande de courbure qui a la notation d'obstacle la plus favorable est élue à l'étape 56.

[0053] En cas d'absence d'obstacle (étape 57), le robot poursuit le trajet initial (étape 58).

[0054] La figure 3 illustre, à titre d'exemple, les étapes permettant de prendre en compte une enveloppe d'évitement des obstacles. L'étape 60 correspond à la détermination d'une enveloppe d'évitement d'obstacles. L'étape 61correspond à la détermination pour un obstacle du trajet de contournement pour un robot avec une enveloppe d'évitement d'obstacle d'une largeur par exemple 10% plus grande que l'enveloppe réelle du robot. Si le trajet de contournement avec l'enveloppe d'évitement du robot ne heurte pas l'obstacle (étape 62), il est déterminé un trajet de contournement pour une enveloppe d'évidemment d'obstacle d'une surface de 20% plus grande que l'enveloppe réelle du robot (étape 63). Si ce trajet de contournement avec l'enveloppe de 20% ne heurte pas l'obstacle (étape 64) alors il est déterminé un trajet de contournement pour une enveloppe de 30% plus grande que l'enveloppe réelle du robot (étape 65). Si le trajet ne heurte pas l'obstacle alors le robot poursuivra ce trajet (étape 67). Néanmoins, à chaque étape de test du trajet, si celui-ci heurte un obstacle (étape 68) alors le robot poursuit le trajet initial si aucun trajet comportant une enveloppe plus grande que l'enveloppe réelle n'est satisfaisant, ou il poursuit le dernier trajet ne heurtant pas d'obstacle comportant une enveloppe d'évitement plus grande que l'enveloppe réelle du robot (étape 69). Les valeurs de pourcentage données en exemple peuvent varier selon les cas. Le nombre d'itérations peut aussi varier.

[0055] Il est à noter que ce procédé et ce système sont particulièrement avantageux pour des robots fonctionnants selon un mode de conduite dans lequel le robot précède une personne qui lui sert de conducteur.

[0056] Dans un exemple de réalisation, l'enveloppe d'évitement d'obstacle est déterminée par itérations successives, à partir d'une enveloppe minimale, jusqu'à une enveloppe plus

grande, afin de trouver l'enveloppe optimale assurant de contourner l'obstacle sans trop s'en rapprocher, et en utilisant une courbure faible (ou grand rayon).

[0057] Exemple de mise en œuvre :
- On applique l'évitement d'obstacle anticipation et on trouve une solution de commande de courbure. On délimite la liste des courbures valides qui ne sont pas séparées par un obstacle : zone d'optimisation à 0 cm.
- On applique l'évitement d'obstacle anticipation avec une largeur de véhicule virtuellement plus grande de 10 cm, uniquement sur les courbures de la zone d'optimisation 0 cm. On trouve une solution. On délimite la zone d'optimisation associée à 10 cm.
- On applique l'évitement d'obstacle anticipation avec une largeur de véhicule virtuellement plus grande de 20 cm, uniquement sur les courbures de la zone d'optimisation 10cm. On trouve une solution.
- On applique l'évitement d'obstacle anticipation avec une largeur de véhicule virtuellement plus grande de 30 cm, uniquement sur les courbures de la zone d'optimisation 20cm. On ne trouve pas de solution.
- Aussi, on retient la dernière solution trouvée à savoir dans cet exemple la consigne trouvée pour une largeur de véhicule de 20 cm.

[0058] On observe que le procédé de conduite selon l'invention permet un évitement d'obstacle réactif et non d'une méthode pour trouver un trajet pour rejoindre une position sans toucher d'obstacles. L'objectif est de voir suffisamment devant le véhicule, pour tourner suffisamment tôt. En revanche, l'objectif n'est pas de modifier la vitesse d'avancement. Aussi, si on demande au robot d'avancer dans une impasse il va se bloquer. En revanche, si on demande au robot de se diriger vers un mur (et perpendiculairement à celui-ci), le robot va éviter la collision en braquant au bon moment. L'apport de la méthode est de braquer avant qu'il ne soit trop tard. C'est une méthode d'évitement d'obstacles qui permet d'éviter de devoir intervenir sur un robot mis en situation de blocage soit suite à une collision, soit suite à une mise en sécurité.

REVENDICATIONS

1. Procédé de conduite pour robot autonome avec contournement d'obstacles comprenant les étapes consistant à :

- Etablir (50) une consigne d'avancement du robot ;
- déterminer (51) une distance d'anticipation effective du robot ;
- recevoir (52) les données d'obstacles éventuels à l'intérieur de la distance d'anticipation sur le trajet initial ;
- dans le cas (53) ou le robot heurterait un obstacle dans la distance effective d'anticipation après lui avoir appliqué la consigne de vitesse,
- déterminer (54) une pluralité de trajets de contournement, noter les trajets de contournement et sélectionner le trajet dont la note est la plus favorable ;
- caractérisé en ce que la distance d'anticipation effective du robot correspond à la distance minimale d'observation devant le véhicule pour éviter les obstacles.

2. Procédé de conduite de robot selon la revendication 1, dans lequel la distance d'anticipation effective correspond à la somme de la distance d'anticipation théorique et de la distance d'obtention du braquage.

3. Procédé de conduite de robot selon la revendication 2, dans lequel la distance d'anticipation théorique du robot correspond à la distance théorique minimale pour rechercher des obstacles devant le véhicule afin d'être en mesure de l'éviter en braquant à fond les roues.

4. Procédé de conduite de robot selon la revendication 2, dans laquelle la distance d'obtention du braquage correspond à la distance parcourue par le véhicule en fonction de sa vitesse de déplacement et de la variation de courbure autorisée jusqu'à obtention du braquage souhaité.

5. Procédé de conduite de robot selon l'une des revendications 2 à 4, dans lequel la distance d'anticipation théorique se mesure à partir du point remarquable du robot, cette distance correspondant:

- pour un robot type char, il s'agit de son point de pivot ;
- pour un robot à essieu avant directeur et arrière fixe, il s'agit du milieu de l'essieu arrière ;
- pour un robot à essieu avant et arrière directeur, il s'agit du milieu des deux essieux.

6. Procédé de conduite de robot selon l'une des revendications 1 à 5, comprenant également

les étapes consistant à :

- pour le trajet élu, déterminer (60) une enveloppe d'évitement d'obstacle ;
- effectuer le trajet élu en tenant compte de l'enveloppe d'évitement d'obstacle.

7. Procédé de conduite de robot selon la revendication 6, dans lequel l'étape de détermination d'enveloppe d'évitement d'obstacle comporte les étapes suivantes :

- détermination d'une première enveloppe (61) d'évitement d'obstacle ;
- évaluer, avec cette première enveloppe (62), la possibilité de contournement;
- si le test avec la première enveloppe est positif, déterminer une seconde enveloppe (63) plus large ;
- évaluer les possibilités de contournement (64) pour la seconde enveloppe ;
- si le test avec la seconde enveloppe est positif, utiliser le trajet élu modifié en tenant compte de cette enveloppe d'évitement d'obstacle.

8. Procédé de conduite de robot selon la revendication 7, dans lequel le test est effectué pour au moins une autre enveloppe de plus grande largeur.

9. Système de conduite pour robot autonome (1) pour la mise en œuvre du procédé de conduite selon l'une des revendications 1 à 8, comprenant un dispositif de repérage (4) apte à communiquer avec un module de conduite (100) pourvu d'un microprocesseur (101) et d'instructions de mise en œuvre, d'un module (102) de consigne, un module de détection d'obstacle (103), un module de détermination de distance d'anticipation effective du robot (104), un module de détermination de trajet de contournement (105), conçu pour déterminer une pluralité de trajets de contournement, noter les trajets de contournement et sélectionner le trajet dont la note est la plus favorable, un module de notation (106), caractérisé en ce que le module de détermination de distance d'anticipation effective du robot (104) est prévu pour déterminer la distance d'anticipation effective du robot correspondant à la distance minimale d'observation devant le véhicule pour éviter les obstacles.

10. Système de conduite pour robot autonome (1) selon la revendication 9, comprenant un module de détermination d'enveloppe d'évitement (107), conçu pour déterminer une enveloppe d'évitement d'obstacle et effectuer le trajet élu en tenant compte de l'enveloppe d'évitement d'obstacle,

11. Robot (1) autonome motorisé, comprenant un corps (2) monté sur roues (3) ou chenilles, comprenant également un système de conduite selon l'une des revendications 9 ou 10.

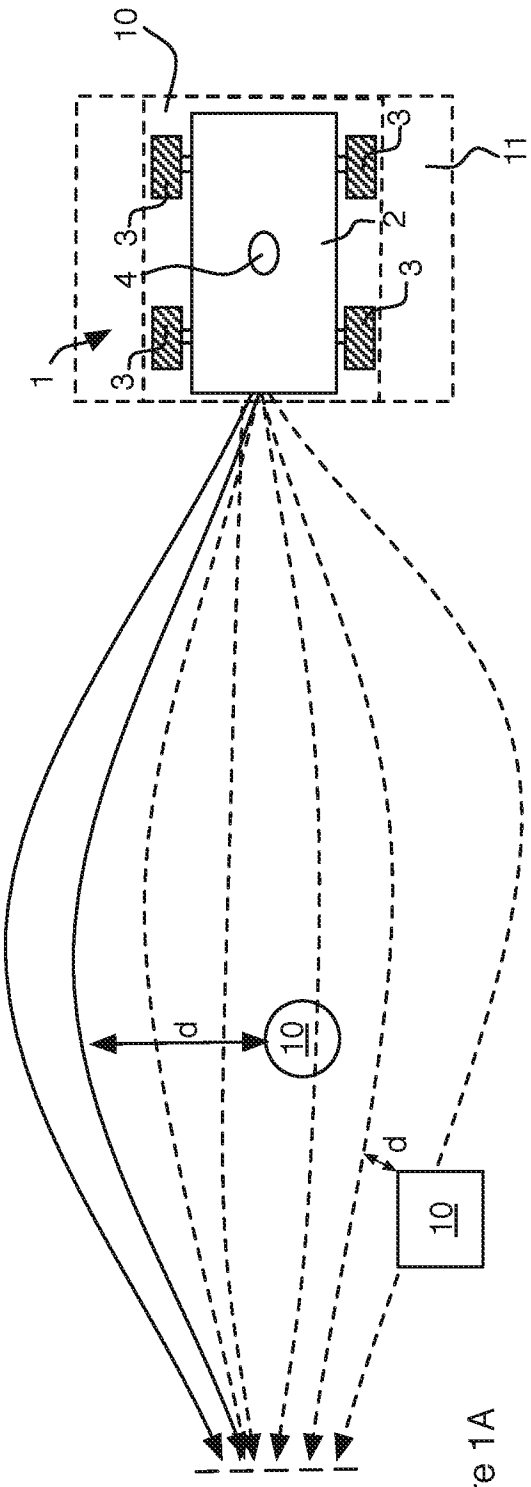


Figure 1A

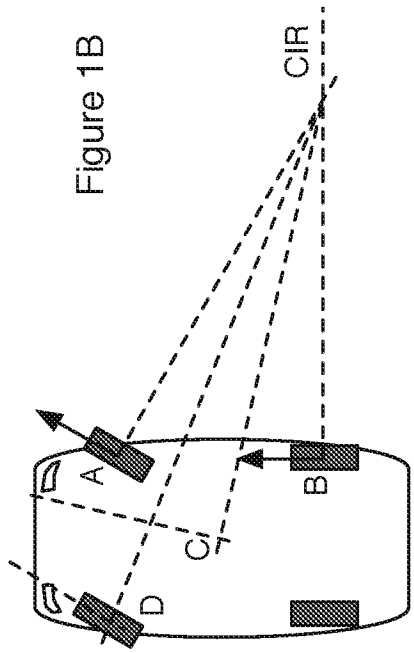


Figure 1B

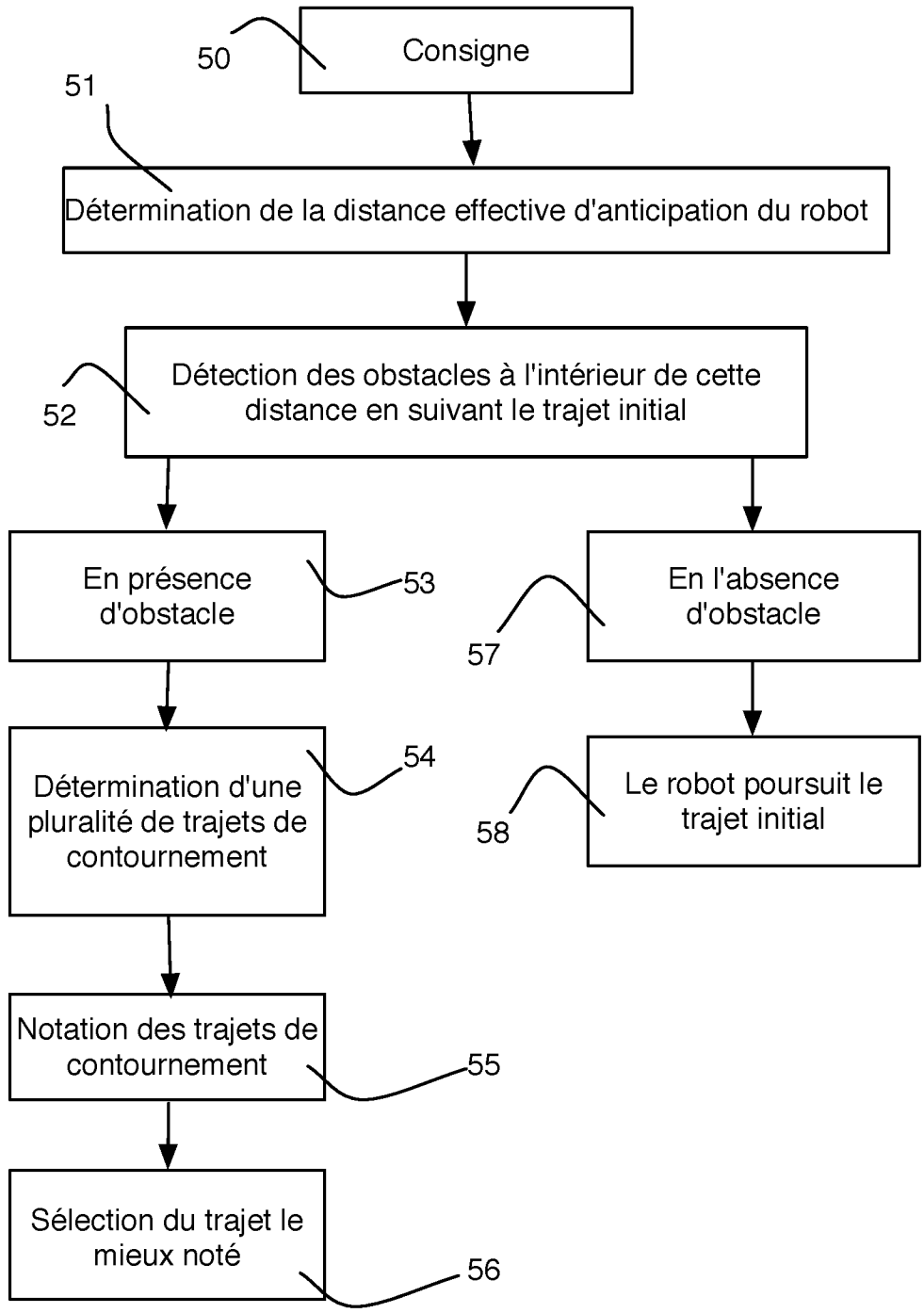

50
Consigne
51
Détermination de la distance effective d'anticipation du robot
52
Détection des obstacles à l'intérieur de cette distance en suivant le trajet initial
En présence d'obstacle
53
En l'absence d'obstacle
57
Détermination d'une pluralité de trajets de contournement
54
Le robot poursuit le trajet initial
58
Notation des trajets de contournement
55
Sélection du trajet le mieux noté
56

Figure 2

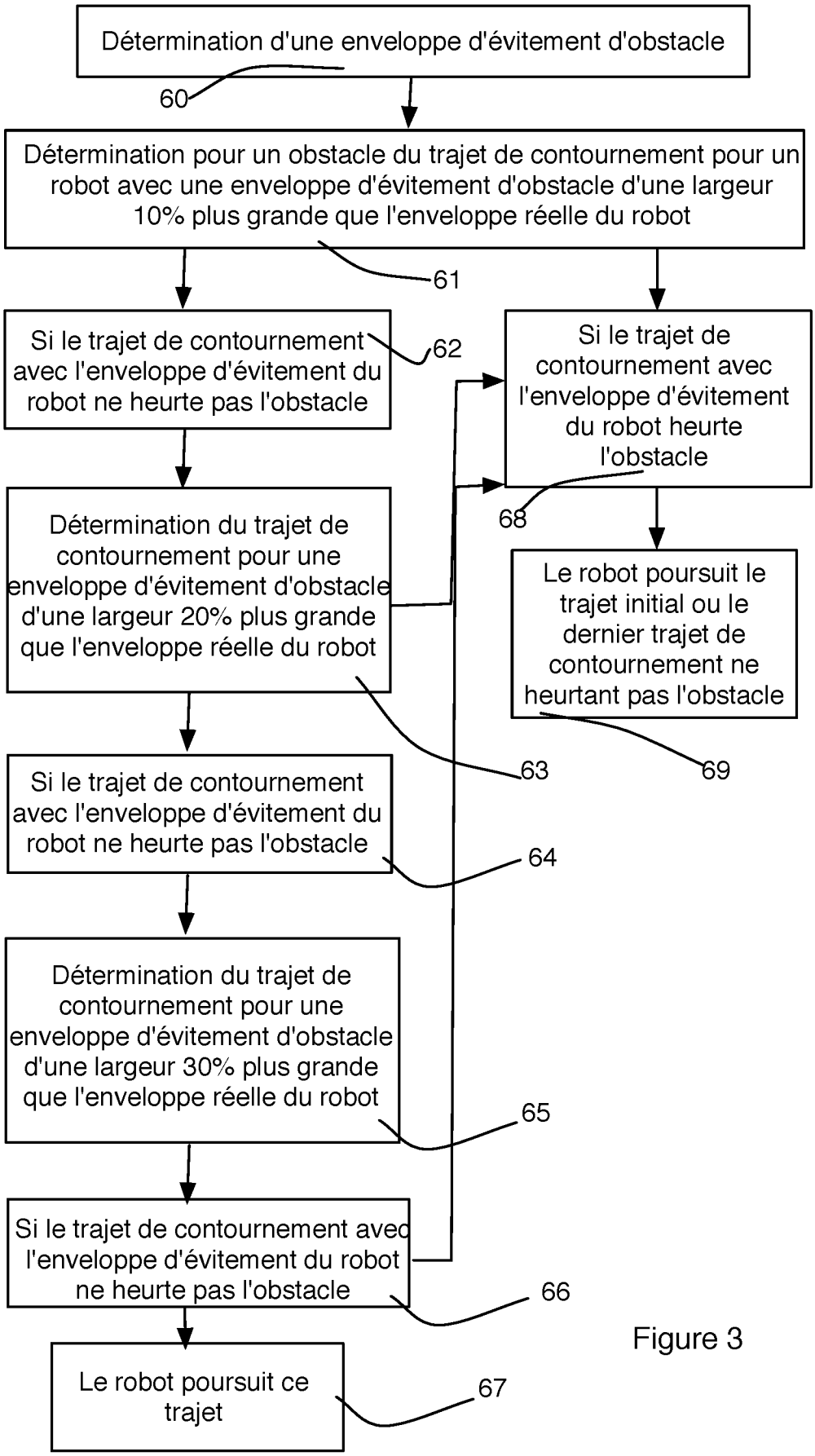

Détermination d'une enveloppe d'évitement d'obstacle
60
Détermination pour un obstacle du trajet de contournement pour un robot avec une enveloppe d'évitement d'obstacle d'une largeur 10% plus grande que l'enveloppe réelle du robot
61
Si le trajet de contournement avec l'enveloppe d'évitement du robot ne heurte pas l'obstacle
62
Si le trajet de contournement avec l'enveloppe d'évitement du robot heurte l'obstacle
68
Détermination du trajet de contournement pour une enveloppe d'évitement d'obstacle d'une largeur 20% plus grande que l'enveloppe réelle du robot
63
Le robot poursuit le trajet initial ou le dernier trajet de contournement ne heurtant pas l'obstacle
69
Si le trajet de contournement avec l'enveloppe d'évitement du robot ne heurte pas l'obstacle
64
Détermination du trajet de contournement pour une enveloppe d'évitement d'obstacle d'une largeur 30% plus grande que l'enveloppe réelle du robot
65
Si le trajet de contournement avec l'enveloppe d'évitement du robot ne heurte pas l'obstacle
66
Le robot poursuit ce trajet
67

Figure 3

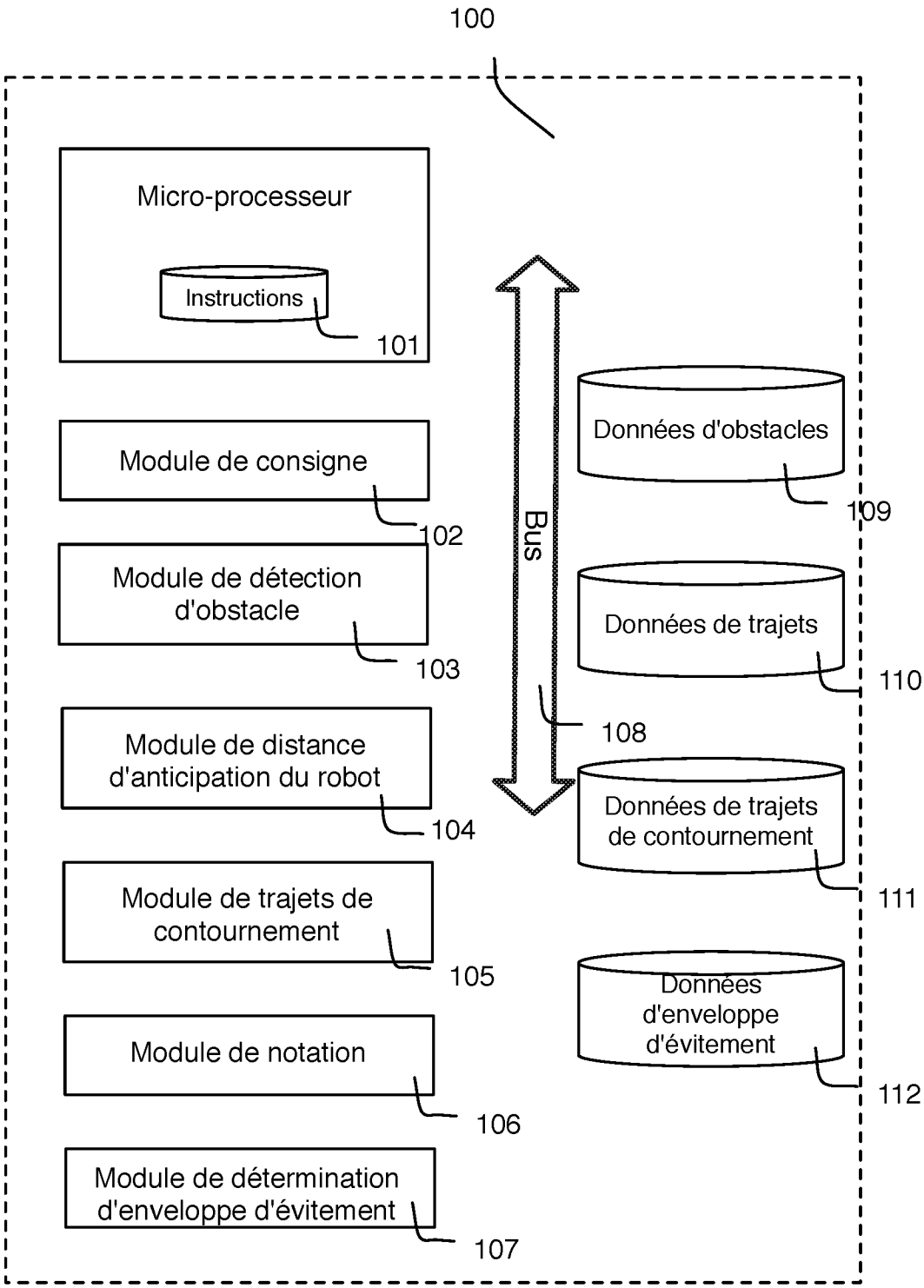

100
Micro-processeur
Instructions
101
Module de consigne
102
Module de détection d'obstacle
103
Module de distance d'anticipation du robot
104
Module de trajets de contournement
105
Module de notation
106
Module de détermination d'enveloppe d'évitement
107
Bus
108
Données d'obstacles
109
Données de trajets
110
Données de trajets de contournement
111
Données d'enveloppe d'évitement
112

Figure 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/IB2017/051301

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G05D1/02
ADD.

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G05D

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

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2006/235610 A1 (ARIYUR KARTIK B [US] ET AL) 19 October 2006 (2006-10-19) the whole document -----	1-11
Y	Jinglin Rayomandvatcha ET AL: "Dynamic Envelopes and Robustly, Continuously Collision-free Trajectories", , 12 October 2012 (2012-10-12), XP055314233, 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS 2012 Vilamoura, Algarve, Portugal, October 7-12, 2012 Retrieved from the Internet: URL:http://www.reflexxes.ws/iros2012ws/Paper_A09.pdf [retrieved on 2016-10-26] the whole document -----	1-11
	-/--	

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
9 May 2017	16/05/2017

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Lalinde, Rafael

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/IB2017/051301

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 10 2012 203228 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 5 September 2013 (2013-09-05) the whole document	1-11
Y	EP 2 862 766 A2 (AUDI AG [DE]) 22 April 2015 (2015-04-22) the whole document	1-11

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/IB2017/051301

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2006235610 A1	19-10-2006	GB 2440688 A	06-02-2008
		US 2006235610 A1	19-10-2006
		WO 2006113104 A2	26-10-2006
DE 102012203228 A1	05-09-2013	DE 102012203228 A1	05-09-2013
		FR 2987588 A1	06-09-2013
		GB 2501167 A	16-10-2013
EP 2862766 A2	22-04-2015	DE 102013016422 A1	02-04-2015
		EP 2862766 A2	22-04-2015

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/IB2017/051301

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. G05D1/02
ADD.

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

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
G05D

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

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

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US 2006/235610 A1 (ARIYUR KARTIK B [US] ET AL) 19 octobre 2006 (2006-10-19) le document en entier -----	1-11
Y	Jinglin Rayomandvatcha ET AL: "Dynamic Envelopes and Robustly, Continuously Collision-free Trajectories", , 12 octobre 2012 (2012-10-12), XP055314233, 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS 2012 Vilamoura, Algarve, Portugal, October 7-12, 2012 Extrait de l'Internet: URL:http://www.reflexxes.ws/iros2012ws/Paper_A09.pdf [extrait le 2016-10-26] le document en entier ----- -/--	1-11

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

[X] Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
9 mai 2017	16/05/2017

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Lalinde, Rafael

1

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	DE 10 2012 203228 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 5 septembre 2013 (2013-09-05) le document en entier	1-11
Y	EP 2 862 766 A2 (AUDI AG [DE]) 22 avril 2015 (2015-04-22) le document en entier	1-11

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/IB2017/051301

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2006235610 A1	19-10-2006	GB 2440688 A	06-02-2008
		US 2006235610 A1	19-10-2006
		WO 2006113104 A2	26-10-2006
DE 102012203228 A1	05-09-2013	DE 102012203228 A1	05-09-2013
		FR 2987588 A1	06-09-2013
		GB 2501167 A	16-10-2013
EP 2862766 A2	22-04-2015	DE 102013016422 A1	02-04-2015
		EP 2862766 A2	22-04-2015