

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 28.05.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 01.12.23 Bulletin 23/48.

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

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : Matisa Matériel Industriel SA Société
Anonyme — CH.

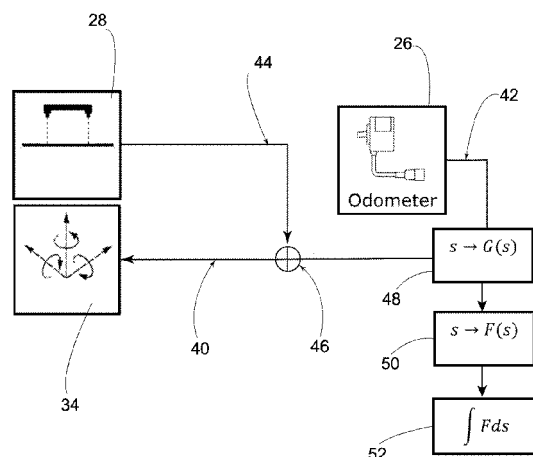
72 Inventeur(s) : Savoyat Marc-Antoine et Richoz Guil-
laume.

73 Titulaire(s) : Matisa Matériel Industriel SA Société
Anonyme.

74 Mandataire(s) : ALTA ALATIS PATENT Speas.

54 PROCÉDÉ DE DÉTERMINATION D'AU MOINS un paramètre de la géométrie D'UNE VOIE FERRÉE, ET
SYSTÈME POUR LA MISE EN œuvre DU PROCÉDÉ.

57 Pour déterminer au moins un paramètre géométrique
d'une voie ferrée (1), on fait rouler sur la voie ferrée (1) un
véhicule (10) portant une centrale inertielle (34), un équipe-
ment de mesure (28) d'au moins une composante d'orienta-
tion relative d'au moins files de rails par rapport à la centrale
inertielle, et un ou plusieurs odomètres (26), on calcule, en
fonction de signaux délivrés par les odomètres (26), l'équi-
pement de mesure (28) et la centrale inertielle (34) des va-
leurs successives d'au moins une composante d'orientation
ou de positionnement absolu de la file de rails observée (2),
on construit une fonction liant des valeurs successives
d'abscisse curviligne à des valeurs concomitantes parmi les
valeurs successives de la composante d'orientation ou de
positionnement absolu de la file de rails observée dans l'es-
pace, on applique un filtre linéaire passe-haut ou passe-
bande à la fonction, de manière à construire une fonction
filtrée, puis on estime l'intégrale
(Figure d'abrégié : figure.4)



Description

Titre de l'invention : PROCÉDÉ DE DÉTERMINATION D'AU MOINS un paramètre de la géométrie D'UNE VOIE FERRÉE, ET SYSTÈME POUR LA MISE EN œuvre DU PROCÉDÉ

Domaine technique de l'invention

[0001] L'invention se rapporte à la détermination de certains paramètres de la géométrie d'une voie ferrée, en vue notamment de son inspection ou de son contrôle, par exemple lors de sa pose, de sa surveillance, de sa maintenance ou de sa réfection.

état de la technique antérieure

[0002] Les principaux paramètres de la géométrie d'une voie définis dans la norme EN 13848 sont :

- l'écartement : plus petite distance entre les rails jusqu'à 14mm sous le plan de roulement ;
- le nivellement longitudinal : variation des altitudes successives de la table de roulement par rapport à une altitude de référence qui est une moyenne glissante ;
- le dévers : différence d'altitude entre les tables de roulement des rails gauche et droit ;
- le dressage : variation des positions dans le plan horizontal de la position de chaque fil de rail par rapport à une position de référence qui est une moyenne glissante ;
- le gauche : variation du dévers.

[0003] Les mesures de nivellement longitudinal, de dressage et de gauche sont des mesures de variation. On parle alors de mesures relatives en oppositions au dévers et à l'écartement qui sont des mesures absolues. Suivant la norme, le nivellement longitudinal et le dressage sont étudiées dans différents domaines de longueurs d'ondes :

- D1 : 3m à 25m
- D2 : 25m à 70m
- D3 : 70m à 150m

[0004] Pour déterminer la géométrie d'une voie ferrée, il est connu de faire circuler sur la voie un véhicule instrumenté, dont le châssis de caisse ou de bogie est équipé d'une centrale inertielle délivrant des mesures gyroscopiques d'angles lacet, de tangage et de roulis et des mesures accélérométriques suivant trois axes. Le véhicule est en outre équipé de lasers de détection permettant de déterminer la position relative du châssis, donc de la centrale inertielle, par rapport aux files de rails de la voie ferrée.

[0005] Un tel dispositif à mesure inertielle sans contact est notamment mis en œuvre dans la

rame de mesure à grande vitesse IRIS 320 (TGV d'Inspection Rapide des Installations de Sécurité à 320 km/h), qui permet une mesure de l'ensemble des paramètres de la géométrie voie jusqu'à une vitesse de circulation sur la voie du train de 360 km/h.

[0006] Un inconvénient de ce dispositif est qu'il impose une vitesse minimale de circulation du véhicule de mesure sur la voie. À faible vitesse en effet, les signaux accélérométriques qui, par double intégration temporelle, permettent d'accéder aux déplacements dans les trois dimensions de l'espace, sont faibles et n'exploitent pas la pleine dynamique des capteurs. Il s'en suit que les mesures accélérométriques sont potentiellement entachées d'imprécisions ou de biais systématiques, qui se trouvent amplifiés par les opérations de double intégration, au point de générer une dérive temporelle constante dans l'estimation des déplacements dans les trois dimensions. En pratique, on constate que ces dérives ne sont plus négligeable en dessous d'une certaine vitesse de circulation, qui en pratique peut être de 60 km/h, de sorte qu'il n'est pas possible d'obtenir de mesures pour des marches lentes ou avec des arrêts. Le champ d'application des véhicules de mesure équipés d'un tel système à mesure inertielle classique est donc limité. En particulier, ils ne peuvent être employés sur un chantier de réfection d'une voie ferrée, qui progresse à une vitesse de travail bien inférieure à la vitesse minimale de fonctionnement de dispositif de mesure et qui peut avoir une vitesse nulle lors d'arrêts de durée arbitrairement grande.

Exposé de l'invention

[0007] L'invention vise à remédier aux inconvénients de l'état de la technique et à proposer des moyens pour déterminer, avec la précision souhaitée en pratique, la géométrie d'une voie ferrée, qui puisse être mise en œuvre à faible vitesse de circulation sur la voie incluant des arrêts arbitrairement long.

[0008] Pour ce faire est proposé, selon un premier aspect de l'invention, un procédé de détermination d'au moins un paramètre géométrique d'une voie ferrée à deux files de rails, dans lequel :

- on fait rouler sur la voie ferrée un véhicule portant une centrale inertielle, un équipement de mesure d'au moins une composante d'orientation relative d'au moins une des deux files de rails par rapport à la centrale inertielle, et un ou plusieurs odomètres,
- on détermine, en fonction au moins de signaux délivrés par la centrale inertielle, des valeurs successives d'au moins une composante d'orientation absolue de la centrale inertielle dans un référentiel géostationnaire,
- pour au moins une file de rails observée parmi les deux files de rails, et de préférence pour chacune des deux files de rails prise comme file de rails observée,

- on détermine, en fonction au moins de signaux délivrés par le ou les odomètres, des valeurs successives d'abscisse curviligne du véhicule sur la file de rails observée,
- on détermine, en fonction au moins de signaux délivrés par l'équipement de mesure, des valeurs successives d'au moins une composante d'orientation relative de la file de rails observée par rapport à la centrale inertielle,
- on calcule, en fonction au moins des valeurs successives de la composante d'orientation absolue de la centrale inertielle et des valeurs successives de la composante d'orientation relative de la file de rails observée par rapport à la centrale inertielle, des valeurs successives d'au moins une composante d'orientation absolue ou de positionnement absolu de la file de rails observée,
- on construit une fonction $s \rightarrow G(s)$ liant certaines au moins des valeurs successives d'abscisse curviligne à des valeurs concomitantes parmi les valeurs successives de la composante d'orientation absolue ou de positionnement absolu de la file de rails observée dans l'espace,
- on applique un filtre linéaire passe-haut ou passe-bande à la fonction $s \rightarrow G(s)$, de manière à construire une fonction filtrée $s \rightarrow F(s)$,
- on estime, pour une succession de valeurs courantes d'abscisse curviligne l parmi les valeurs d'abscisse curviligne, une intégrale $I(l)$, sur un intervalle donné d'abscisses curvilignes borné par une valeur d'abscisse curviligne de référence l_0 et par la valeur courante d'abscisse curviligne l , de la fonction filtrée

[Math.1]

$$I(l) = \int_{s=l_0}^{s=l} F(s) ds$$

[0009] En procédant, pour chaque file de rails observée, à une unique intégration spatiale plutôt qu'une double intégration temporelle d'une fonction filtrée liant l'abscisse curviligne du véhicule sur la file de rails observée à une composante d'orientation absolue ou de positionnement absolu, on élimine tous les effets liés au temps et en particulier les effets de dérive.

[0010] En pratique, les valeurs successives d'abscisse curviligne ne sont pas nécessairement déterminées à intervalle de distance constant. Les différents signaux peuvent notamment être échantillonnés à intervalle de temps constant, de préférence de façon synchronisée de façon à obtenir une bonne concomitance entre les valeurs déterminées à partir des signaux de la centrale inertielle, du ou des odomètres et de l'équipement de

mesure.

- [0011] La centrale inertielle mise en œuvre doit être d'un niveau de précision permettant effectivement d'accéder à des composantes d'orientation absolue dans un référentiel géostationnaire, c'est-à-dire sans dérive. Il s'agit donc d'un type de centrale dont les gyroscopes sont en mesure de détecter la projection de la rotation de la terre et dont les accéléromètres sont en mesure de détecter la projection de la gravité.
- [0012] En appliquant le filtre passe bande ou passe haut à la fonction d'entrée $s \rightarrow G(s)$ avant l'opération d'intégration, on évite les potentielles instabilités numériques qui résulteraient d'une intégration de la composante continue de la fonction d'entrée. Le filtre linéaire mis en œuvre est de préférence un filtre à réponse impulsionnelle finie d'ordre N quelconque, de préférence supérieur ou égal à 2.
- [0013] De préférence, le filtre linéaire est un filtre passe-bande, de préférence dans l'une des trois bandes suivantes : 3m à 25m, 25m à 70m, 70m à 150m, ou une fonction de calcul de flèche. En pratique, on peut naturellement construire à partir de la même fonction $s \rightarrow G(s)$ plusieurs fonctions filtrées en parallèle, chacune pour une bande de longueurs d'onde ou un type de filtre.
- [0014] En pratique, l'estimation de l'intégrale est obtenue par une somme discrète, de préférence, l'intégrale $I(l)$ est estimée par une somme de Riemann ou par la méthode des trapèzes sur l'intervalle donné, avec un pas inférieur à 25cm, et de préférence inférieur à 1cm.
- [0015] Suivant un mode de réalisation, l'opération de calcul des valeurs successives d'au moins une composante d'orientation ou de positionnement absolue de la file de rails observée consiste, à des instants successifs, en une somme algébrique d'une valeur instantanée de la composante d'orientation absolue de la centrale inertielle et d'une valeur instantanée simultanée de la composante d'orientation relative de chacune de la file de rails observée par rapport à la centrale inertielle.
- [0016] Suivant un mode de réalisation, la composante d'orientation relative de la file de rails observée par rapport à la centrale inertielle est un angle d'orientation dans un plan horizontal, et la composante d'orientation absolue de la centrale inertielle est un angle de lacet, l'intégrale $I(l)$ étant un paramètre de dressage. Si l'on note ψ_R la valeur instantanée de l'angle déterminé par l'équipement de mesure dans le plan horizontal entre la direction longitudinale de la centrale inertielle et la direction de la file de rails observée, et ψ_C la valeur instantanée de l'angle de lacet déterminé simultanément par la centrale inertielle, la composante d'orientation absolue ψ_A de la file de rails observée peut s'exprimer comme la somme algébrique :

[Math.2]

$$\psi_A = \psi_R + \psi_C$$

- [0017] Suivant un autre mode de réalisation, la composante d'orientation relative de la file

de rails observée par rapport à la centrale inertielle est un angle d'orientation par rapport à un plan vertical longitudinal (V) du véhicule, et la composante d'orientation absolue de la centrale inertielle est un angle de tangage, l'intégrale $I(l)$ étant un paramètre de nivellement longitudinal. Si l'on note θ_R la valeur instantanée de l'angle déterminé par l'équipement de mesure dans le plan vertical longitudinal entre la direction longitudinale de la centrale inertielle et la direction de la file de rails observée, et θ_C la valeur instantanée de l'angle de tangage déterminé simultanément par la centrale inertielle, la composante d'orientation absolue de la file de rails peut s'exprimer comme la somme algébrique :

[Math.3]

$$\theta_A = \theta_R + \theta_C$$

[0018] De façon préférentielle, les opérations de calcul des valeurs successives d'au moins une composante d'orientation absolue d'une file de rails observée parmi les deux files de rails, de construction de la fonction $s \rightarrow G(s)$, d'application d'un filtre linéaire, de construction de la fonction filtrée $s \rightarrow F(s)$ et d'estimation de l'intégrale $I(l)$ sont effectuées en parallèle pour obtenir la coordonnée intrinsèque de dressage et la coordonnée intrinsèque de nivellement longitudinal.

[0019] Suivant un mode de réalisation, on prévoit que pour chaque file de rails observée, l'équipement de mesure délivre au moins deux signaux simultanés de mesure de distance latérale entre deux points de référence du véhicule et la file de rails observée, les deux points de référence étant à une distance (A) l'un de l'autre supérieure à 250mm, et de préférence supérieure à 500mm. Si l'on note A la distance entre les deux points de référence visant une même file de rails observée, y_1 et y_2 les distances latérales mesurées entre la file de rails observée et chaque point de référence et en supposant que lorsque $y_1 = y_2$, l'axe longitudinal de la centrale inertielle est aligné avec l'axe longitudinal de la file de rails, l'équipement de mesure permet d'accéder à la composante d'orientation relative constituée par l'angle de lacet ψ_R de la centrale inertielle par rapport à la file de rails observée, par l'équation :

[Math.4]

$$\psi_R = \arctan\left(\frac{y_1 - y_2}{A}\right)$$

[0020] Suivant un mode de réalisation, on prévoit que pour chaque file de rails observée, l'équipement de mesure délivre au moins deux signaux simultanés de mesure de distance verticale entre deux points de référence du véhicule et la file de rails observée, les deux points de référence étant à une distance (B) l'un de l'autre supérieure à 250mm, et de préférence supérieure à 500mm. Si l'on note B la distance entre les deux points de référence visant une même file de rails observée, z_1 et z_2 les distances verticales mesurées entre la file de rails observée et chaque point de référence et en

supposant que lorsque $z_1 = z_2$, l'axe longitudinal de la centrale inertielle est aligné avec l'axe longitudinal de la file de rails, l'équipement de mesure permet d'accéder à la composante d'orientation relative constituée par l'angle de lacet θ_R de la centrale inertielle par rapport à la file de rails observée, par l'équation :

[Math.5]

$$\theta_R = \arctan\left(\frac{z_1 - z_2}{B}\right)$$

- [0021] Les capteurs de l'équipement de mesure peuvent fonctionner suivant différents principes (optique, magnétique, capacitif, etc.), qui fonctionnent de manière linéaire et optimale dans une plage de fonctionnement relativement étroite. On a donc intérêt à ce que le positionnement du véhicule sur la voie ferrée, tant vertical que latéral, soit proche d'une position « idéale » d'alignement à chaque instant. À cet effet, on peut prévoir que l'on commande au moins un actionneur de correction d'inscription du véhicule sur la voie ferrée en fonction des signaux délivrés par l'équipement de mesure ou des valeurs successives de la composante d'orientation relative de la file de rails observée par rapport à la centrale inertielle pour réduire un écart entre les signaux délivrés par l'équipement de mesure et des valeurs prédéterminées, ou pour réduire un écart entre les valeurs successives de la composante d'orientation relative de la file de rails observée et une valeur prédéterminée de la composante d'orientation relative de la file de rails observée. L'opération de correction sera particulièrement utile pour un véhicule roulant sur une seule paire de roues.
- [0022] Suivant un mode de réalisation, l'opération de détermination des valeurs successives d'abscisse curviligne du véhicule sur la file de rails observée est faite en fonction au moins de signaux délivrés par un odomètre associé à la file de rail observée parmi le ou les odomètres. Dans le cas où chacune des files de rails est associée à au moins un odomètre, cette opération pourra être effectuée pour chacune des files de rails.
- [0023] Suivant un mode de réalisation, l'opération de détermination des valeurs successives d'abscisse curviligne du véhicule sur la file de rails observée est faite en fonction au moins de signaux délivrés par un odomètre qui n'est pas associé à la file de rail observée parmi le ou les odomètres et de signaux délivrés par l'équipement de mesure. Dans le cas où une seule des files de rails est associée à un odomètre, cette opération pourra être effectuée pour l'autre file de voie.
- [0024] En pratique, les roues auxquelles sont liées le ou les odomètres, peuvent de façon transitoire perdre le contact avec la file de rails observée, auquel cas les signaux délivrés ne renseignent plus de façon fiable sur le positionnement du véhicule par rapport à la file de rails observée. Suivant un mode de réalisation, on détecte des défaillances du ou des odomètres en comparant des valeurs d'accélération longitudinale délivrées par la centrale inertielle à des valeurs accélération moyenne déterminée en

fonction des signaux délivrés par le ou les odomètres et/ou en comparant des valeurs de vitesse angulaire autour d'un axe vertical délivrées par la centrale inertielle à des valeurs de vitesse angulaire déduite des signaux délivrés par le ou les odomètres. De préférence, on prévoit que lorsqu'une défaillance est détectée, on exécute une procédure de sécurité, dans laquelle on détermine les valeurs successives d'abscisse curviligne du véhicule sur chacune des deux files de rails en fonction au moins de signaux accélérométriques ou de vitesse angulaire délivrés par la centrale inertielle.

- [0025] Suivant un autre aspect de l'invention, celle-ci a trait à un système pour la mise en œuvre du procédé selon le premier aspect de l'invention, ou un de ses modes de réalisation, comportant un véhicule apte à rouler sur une voie ferrée à deux files de rails parallèles, le véhicule portant une centrale inertielle à au moins trois gyromètres et trois accéléromètres, un équipement de mesure d'une orientation relative de chacune des deux files de rails par rapport à la centrale inertielle, et un ou plusieurs odomètres, caractérisé en ce que le système comporte en outre des moyens de calcul programmés pour exécuter les opérations de calcul des valeurs successives d'au moins une composante d'orientation ou de positionnement absolue d'une file de rails observée parmi les deux files de rails, de construction de la fonction $s \rightarrow G(s)$, d'application d'un filtre linéaire, de construction de la fonction filtrée $s \rightarrow F(s)$ et d'estimation de l'intégrale $I(l)$.
- [0026] Suivant un mode de réalisation, l'équipement de mesure comporte, associés à chacune des deux files de rails, au moins deux capteurs de mesure de distance latérale entre deux points de référence du véhicule et la file de rails associée, les deux points de référence étant à une distance (A) l'un de l'autre supérieure à 250mm, et de préférence supérieure à 500mm. Chacun des capteurs est ici dédié à la mesure d'une distance latérale au niveau d'un des points de référence.
- [0027] Suivant un mode de réalisation, l'équipement de mesure comporte, associés à chacune des deux files de rails, au moins deux capteurs de mesure de distance verticale entre deux points de référence du véhicule et la file de rails associée, les deux points de référence étant à une distance (B) l'un de l'autre supérieure à 250mm, et de préférence supérieure à 500mm. Chacun des capteurs est ici dédié à la mesure d'une distance verticale au niveau d'un des points de référence.
- [0028] D'autres principes de mesure de l'orientation relative de la centrale inertielle par rapport à chacune des files de rails sont envisagés. Suivant un mode de réalisation, l'équipement de mesure comporte au moins une et de préférence au moins deux caméras de détection d'un ou plusieurs faisceaux laser linéiques projetés sur chacune des files de rails. Par exemple, chaque caméra peut capturer la position d'une ligne laser projetée sur la file de rails observée, l'équipement de mesure déterminant par triangulation la position verticale et latérale relative entre la file de rails observée et la

caméra, placée dans le repère de la centrale inertielle.

- [0029] Suivant un autre mode de réalisation, l'équipement de mesure comporte au moins un et de préférence au moins deux télémètres lasers scrutant les files de rails de la voie ferrée. Suivant le principe de télémétrie par laser, la distance est donnée par la mesure du délai entre l'émission d'une impulsion et la détection d'une impulsion réfléchie. Le faisceau laser projeté est orienté par un miroir tournant, ce qui permet de scruter un plan de l'espace qui peut couvrir les deux files de rails et d'en déduire par triangulation pour chaque file de rails une mesure de distance latérale et une mesure de distance verticale. Avec deux télémètres laser placés à distance l'un de l'autre dans la direction longitudinale du véhicule, on peut ainsi obtenir les huit dimensions recherchées, à savoir quatre distances latérales et quatre distances verticales.
- [0030] Le cas échéant, l'équipement de mesure peut comporter en outre un capteur d'écartement de la voie ferrée, bien que cette dimension puisse être déduite par les mesures de distance latérale entre les divers points de référence et les deux files de rails. Le cas échéant, l'équipement de mesure peut comporter en outre un capteur de dévers de la voie ferrée.
- [0031] Suivant un mode de réalisation, le véhicule est un chariot à deux roues, mû par une machine et relié à la machine par l'intermédiaire d'au moins trois liaisons permettant de piloter l'assiette et l'inscription du chariot en fonction des composantes d'orientation relative.
- [0032] Suivant un mode de réalisation alternatif, le véhicule est un chariot à au moins quatre roues.

brève description des figures

- [0033] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description qui suit, en référence aux figures annexées, qui illustrent :
- la [Fig.1], une vue schématique de côté d'un système de détermination de paramètres géométrique d'une voie ferrée suivant un mode de réalisation de l'invention ;
 - la [Fig.2], une vue schématique de dessus du système de la [Fig.1] ;
 - la [Fig.3], une vue schématique de capteurs de distance intégrés à un équipement de mesure du système de la [Fig.1] ;
 - La [Fig.4], un schéma de visualisation d'un procédé de détermination de paramètre géométrique d'une voie ferrée selon un mode de réalisation de l'invention ;
 - La [Fig.5], un schéma de visualisation d'une opération de filtrage du procédé de la [Fig.4].
- [0034] Pour plus de clarté, les éléments identiques ou similaires sont repérés par des signes

de référence identiques sur l'ensemble des figures.

description DÉTAILLÉE de modes de réalisation

- [0035] Sur les figures 1 et 2 est illustré un système 10 de détermination d'au moins un paramètre géométrique d'une voie ferrée 1 à deux files de rails 2, comportant un véhicule 12 apte à rouler sur la voie ferrée, attelé à une machine ferroviaire 14, qui peut notamment être une machine de pose, de réfection ou de renouvellement de la voie ferrée. Le véhicule 12 est ici un chariot comportant un châssis indéformable 16 reposant sur unique paire de roues 18 le cas échéant avec interposition d'une suspension primaire. Le chariot 12 est de préférence sans moyen de propulsion, et simplement tracté ou poussé par la machine ferroviaire 14 au fur et à mesure de l'avancée de cette dernière sur la voie. L'attelage 20 liant le chariot 12 à la machine ferroviaire 14 est ici constitué par une liaison à deux rotules 22 et deux vérins 24 pour permettre d'ajuster l'orientation angulaire du châssis 16 par rapport à la machine ferroviaire 14 et à la voie ferrée 1, notamment dans un plan vertical et dans un plan transversal. On notera toutefois que l'ajustement de l'orientation du châssis 16 par rapport à la voie ferrée 1 peut le cas échéant être obtenu par d'autres moyens d'ajustement, notamment en contrôlant des actionneurs disposés au niveau d'une suspension primaire entre le châssis 16 et les roues 18. On notera également que les roues 18 sont de préférence indépendantes, au sens où elles tournent indépendamment l'une de l'autre.
- [0036] Le chariot 12 est instrumenté avec divers dispositifs de mesure, et notamment au moins un odomètre 26 équipant par exemple une des roues 18 du chariot 12 pour déterminer la distance parcourue sur la file de rails 2 sur laquelle roule la roue 18, ou l'abscisse curviligne du chariot 12 par rapport à cette file de rails 2. De préférence, chacune des deux roues 18 est équipée d'un odomètre 26, de façon à pouvoir déterminer directement l'abscisse curviligne du chariot 12 par rapport à chacune des deux lignes de rails 2 de la voie ferrée 1.
- [0037] Le chariot 12 comporte en outre un équipement de mesure 28 destiné à déterminer l'orientation du châssis 16 par rapport à chaque file de rail 2, au moins dans un plan de référence du châssis 16, et de préférence dans au moins deux plans orthogonaux, à savoir un plan horizontal H et un plan vertical longitudinal V.
- [0038] À cet effet, l'équipement de mesure comporte, associés à au moins une des deux files de rails 2, et de préférence à chacune des deux files de rails 2, au moins deux capteurs de mesure de distance latérale 30 entre deux points de référence du véhicule et la file de rails associée, les deux points de référence étant à une distance A l'un de l'autre, comme illustré sur la figure 2. Si l'on note y_1 et y_2 les distances latérales mesurées entre la file de rails 2 observée et chaque point de référence 30 et en supposant que lorsque $y_1 = y_2$, l'axe longitudinal du châssis 16 est aligné avec l'axe longitudinal de

la file de rails 2, l'équipement de mesure permet d'accéder à la composante d'orientation relative constituée par l'angle de lacet ψ_R du châssis par rapport à la file de rails observée dans un plan horizontal, par l'équation :

[Math.6]

$$\psi_R = \arctan\left(\frac{y_1 - y_2}{A}\right)$$

[0039] La précision du résultat augmente naturellement avec la distance A, que l'on choisira de préférence supérieure à 250mm, et de préférence supérieure à 500.

[0040] De façon similaire pour l'orientation du châssis du chariot observée dans un plan vertical V, l'équipement de mesure comporte, associés à au moins une des deux files de rails 2, et de préférence à chacune des deux files de rails 2, au moins deux capteurs de mesure de distance verticale 32 entre deux points de référence du véhicule et la file de rails associée, comme illustré sur la figure 1. Si l'on note B la distance entre les deux points de référence 32 visant une même file de rails observée, que l'on choisira de préférence supérieure à 250mm, et de préférence supérieure à 500, et z_1 et z_2 les distances verticales mesurées entre la file de rails observée et chaque point de référence et en supposant que lorsque $z_1 = z_2$, l'axe longitudinal du châssis 16e est aligné avec l'axe longitudinal de la file de rails, l'équipement de mesure permet d'accéder à la composante d'orientation relative constituée par l'angle de tangage θ_R du châssis par rapport à la file de rails observée dans un plan longitudinal vertical du châssis, par l'équation :

[Math.7]

$$\theta_R = \arctan\left(\frac{z_1 - z_2}{B}\right)$$

[0041] La mesure de distance à la file de rails 2 peut se faire avec des capteurs sans contact 30, 32 comme illustré sur la [Fig.3], notamment des capteurs de proximité, notamment des capteurs inductifs, photoélectriques, magnétiques, capacitifs, à ultrasons. Pour éviter les interférences entre capteurs visant la même région d'une file de rails, on pourra choisir deux types de capteurs différents pour les mesures de distances latérales et verticales.

[0042] Au châssis indéformable 16 du chariot 12 est fixé une centrale inertielle 34 à au moins trois gyromètres et trois accéléromètres, cette centrale inertielle 34 étant dite de précision, au sens où elle est en mesure de délivrer des signaux d'orientation absolue, c'est-à-dire sans dérive, dans un référentiel géostationnaire. Il s'agit donc d'un type de centrale dont les gyroscopes sont en mesure de détecter la projection de la rotation de la terre et dont les accéléromètres sont en mesure de détecter la projection de la gravité.

[0043] Ainsi instrumenté, le chariot 12 permet de déterminer d'une part l'orientation absolue de la centrale inertielle 34 dans un référentiel géostationnaire, et d'autre part l'orientation relative de chacune des files rails 2 par rapport au châssis 16, donc à la

centrale inertielle 34 solidaire du châssis 16. Pour déduire de ces données métrologiques des paramètres de la géométrie de chacune des files de rails 2 dans un repère absolu, est proposé un procédé spécifique, illustré sur les figures 4 et 5.

- [0044] Alors que le chariot 12 roule à faible vitesse, notamment à une vitesse inférieure à 10km/h, vitesse qui peut ne pas être constante et la machine 14 étant susceptible de ralentir, voire de s'arrêter de façon prolongée au rythme des travaux engagés sur la voie ferrée 1, on échantillonne simultanément à intervalles de temps constants les signaux issus des odomètres 26, de l'équipement de mesure 28 et de la centrale inertielle 34.
- [0045] On détermine, en fonction au moins de signaux délivrés par la centrale inertielle 34, des valeurs successives d'au moins une composante d'orientation absolue de la centrale inertielle 34 dans un référentiel géostationnaire, par exemple des valeurs successives de l'angle de roulis et/ou des valeurs successives de l'angle de tangage (opération 40).
- [0046] On détermine pour au moins une file de rails observée 2 parmi les deux files de rails, et de préférence pour chacune des deux files de rails 2 prise comme file de rails observée, des valeurs successives d'abscisse curviligne du véhicule sur la file de rails observée 2, en fonction au moins de signaux délivrés par l'odomètre 26 associé à la file de rail observée (opération 42).
- [0047] On détermine, en fonction au moins de signaux délivrés par l'équipement de mesure 28, des valeurs successives d'au moins une composante d'orientation relative de la file de rails observée 2 par rapport à la centrale inertielle 34, et de préférence des deux composantes discutées précédemment que sont l'angle de lacet ψ_R du châssis par rapport à la file de rails observée 2, et l'angle de tangage θ_R du châssis par rapport à la file de rails observée (opération 44).
- [0048] À partir de ces éléments, on est en mesure de calculer, en fonction au moins des valeurs successives de la composante d'orientation absolue de la centrale inertielle et des valeurs successives de la composante d'orientation relative de la file de rails observée par rapport à la centrale inertielle, des valeurs successives d'au moins une composante d'orientation ou de positionnement absolue de la file de rails observée 2. En pratique, on effectue simplement une somme algébrique d'une valeur instantanée de la composante d'orientation absolue de la centrale inertielle et d'une valeur instantanée simultanée de la composante d'orientation relative de chacune de la file de rails observée par rapport à la centrale inertielle (opération 46).
- [0049] Ainsi, Si l'on note $\psi_R(t)$ la valeur à un instant t de mesure de l'angle déterminé par l'équipement de mesure 28 dans le plan horizontal entre la direction longitudinale de la centrale inertielle 34 et la direction de la file de rails observée 2, et $\psi_C(t)$ la valeur au même instant t de l'angle de lacet déterminé simultanément par la centrale inertielle

34, la composante d'orientation absolue $\psi_A(t)$ de la file de rails observée peut s'exprimer comme la somme algébrique :

[Math.8]

$$\psi_A(t) = \psi_R(t) + \psi_C(t)$$

- [0050] De façon analogue, si l'on note $\theta_R(t)$ la valeur instantanée de l'angle déterminé par l'équipement de mesure dans le plan vertical longitudinal entre la direction longitudinale de la centrale inertielle 34 et la direction de la file de rails observée 2, et $\theta_C(t)$ la valeur instantanée de l'angle de tangage déterminé simultanément par la centrale inertielle 34, la composante d'orientation absolue $\theta_A(t)$ de la file de rails peut s'exprimer comme la somme algébrique :

[Math.9]

$$\theta_A(t) = \theta_R(t) + \theta_C(t)$$

- [0051] On est alors en mesure de construire une ou plusieurs fonctions $s \rightarrow G(s)$ liant certaines au moins des valeurs successives d'abscisse curviligne à des valeurs concomitantes parmi les valeurs successives de la composante d'orientation ou de positionnement absolue de la file de rails observée dans l'espace. (opération 48)
- [0052] Ainsi, pour la composante de lacet d'une des files de rails, la fonction $s \rightarrow G_L(s)$ sera construite en reliant pour tous les instants t de mesure ou pour au moins certains d'entre eux, la valeur $s(t)$ mesurée par l'odomètre associé à la file de rails observée à la valeur $\psi_A(t)$. De façon similaire, la fonction $s \rightarrow G_T(s)$ sera construite en reliant pour tous les instants t de mesure ou pour au moins certains d'entre eux, la valeur $s(t)$ mesurée par l'odomètre associé à la file de rails observée à la valeur $\theta_A(t)$.
- [0053] Une fois cette étape accomplie dans le domaine temporel, on a construit une ou plusieurs fonctions $s \rightarrow G(s)$ où le temps n'apparaît plus comme variable. On est alors en mesure d'appliquer à chaque fonction ainsi construite un filtre linéaire passe bande ou passe haut, qui n'est pas un filtre temporel, mais un filtre spatial, de manière à construire une fonction filtrée $s \rightarrow F(s)$ (opération 50). Le filtre linéaire mis en œuvre est de préférence un filtre à réponse impulsionnelle finie d'ordre N quelconque, de préférence supérieur ou égal à 2, qui se traduit par la combinaison linéaire suivante :
- [Math.10]

$$F(s_n) = \sum_{k=0}^{N-1} b_k \cdot G(s_{n-k})$$

où b_k désigne le coefficient d'ordre k de la fonction de transfert du filtre, et s_i désigne pour $1 \leq i \leq n$ les valeurs successives de l'abscisse curviligne de la file de rails observée.

- [0054] En pratique, si le souhait est d'observer les paramètres de la géométrie de la voie ferrée suivant les domaines de longueurs d'ondes définies par la norme, on mettra en œuvre au moins un filtre passe-bande dans l'une des trois bandes suivantes : 3m à 25m

(D1), 25m à 70m (D2), 70m à 150m (D3), ou un filtre passe-bande réalisé par une fonction de calcul de flèche (CF), et en pratique, l'opération 50 sera menée en parallèle pour chacun des domaines de longueurs d'ondes souhaités parmi ceux disponibles, ce que l'on a schématisé en [Fig.5] par les sous-opérations parallèles 510, 512, 514, 516.

- [0055] Enfin, on est en mesure d'estimer (opération 52), pour une succession de valeurs courantes d'abscisse curviligne l parmi les valeurs d'abscisse curviligne, une intégrale $I(l)$, sur un intervalle donné d'abscisses curvilignes borné par une valeur d'abscisse curviligne de référence l_0 et par la valeur courante d'abscisse curviligne l , de la fonction filtrée

[Math.11]

$$I(l) = \int_{s=l_0}^{s=l} F(s) ds$$

- [0056] En pratique, l'intégrale $I(l)$ est estimée par une somme de Riemann ou par la méthode des trapèzes sur l'intervalle donné, avec un pas inférieur à 25cm, et de préférence inférieur à 1cm. Par exemple, avec une somme de Riemann :

[Math.12]

$$I(l) \approx \sum_{n=1}^P F(s_n) \cdot (s_n - s_{n-1})$$

où $s_0 = l_0$ et $s_P = l$ sont les bornes de l'intégrale d'intégration.

- [0057] Le cas échéant, cette opération 52 est effectuée en parallèle pour chacun des domaines de longueurs d'ondes observés, d'où les sous-opérations parallèles 520, 522, 524, 526.

- [0058] Dans l'hypothèse où la composante d'orientation relative de la file de rails observée 2 par rapport à la centrale inertielle 34 est un angle d'orientation dans un plan horizontal, et la composante d'orientation absolue de la centrale inertielle est un angle de lacet, l'intégrale $I(l)$ sera un paramètre de dressage.

- [0059] Dans l'hypothèse où la composante d'orientation relative de la file de rails observée 2 par rapport à la centrale inertielle 34 est un angle d'orientation par rapport à un plan vertical longitudinal du véhicule, et la composante d'orientation absolue de la centrale inertielle est un angle de tangage, l'intégrale $I(l)$ sera un paramètre de nivellement longitudinal.

- [0060] En pratique, les calculs peuvent être effectués en temps réel par un calculateur embarqué sur le véhicule 12, sur la machine 14 ou situé à distance.

- [0061] En parallèle avec ces opérations de calcul, on peut utiliser des signaux délivrés par l'équipement de mesure 28 ou des valeurs successives de la composante d'orientation relative de la file de rails observée 2 par rapport à la centrale inertielle 34 pour piloter les vérins 24 d'attelage du chariot à la machine, dans le but de minimiser l'écart d'alignement entre le châssis 16 du chariot 12 et la voie ferrée 1.

- [0062] Si l'on s'intéresse à l'alignement par rapport à la direction longitudinale dans le plan horizontal, on peut par exemple construire une boucle de rétroaction négative visant à minimiser l'angle ψ_R observé pour l'une des files de rails 2, ou plus simplement visant à minimiser en valeur absolue la différence $|y_1 - y_2|$ constatée sur une file de rails 2. Si l'on s'intéresse aux deux files de rails, on pourra construire une boucle de rétroaction visant à minimiser la somme des valeurs absolues des écarts observés pour chacune des deux files de rails : $(|y_1 - y_2| + |y_1 - y_2|)$.
- [0063] De façon analogue, si l'on s'intéresse à l'alignement par rapport à la direction longitudinal dans le plan horizontal, on peut par exemple construire une boucle de rétroaction négative visant à minimiser l'angle θ_R observé pour l'une des files de rails, ou plus simplement visant à minimiser en valeur absolue la différence $|z_1 - z_2|$ constatée sur une file de rails. Si l'on s'intéresse aux deux files de rails, ou visant à minimiser la somme des valeurs absolues des écarts observés pour chacune des deux files de rails : $(|z_1 - z_2| + |z_1 - z_2|)$.
- [0064] On peut le cas échéant détecter des défaillances du ou des odomètres 26 en comparant des valeurs d'accélération longitudinale délivrées par la centrale inertielle 34 à des valeurs d'accélération moyenne déterminée en fonction des signaux délivrés par le ou les odomètres 26 et/ou en comparant des valeurs de vitesse angulaire autour d'un axe vertical délivrées par la centrale inertielle 34 à des valeurs de vitesse angulaire déduite des signaux délivrés par le ou les odomètres 26. Lorsqu'une défaillance est détectée, on exécute une procédure de fonctionnement en mode dégradé, dans laquelle on détermine les valeurs successives d'abscisse curviligne du véhicule 12 sur chacune des deux files de rails 2 en fonction au moins de signaux accélérométriques ou de vitesse angulaire délivrés par la centrale inertielle 34.
- [0065] Naturellement, les exemples représentés sur les figures et discutés ci-dessus ne sont donnés qu'à titre illustratif et non limitatif. Il est explicitement prévu que l'on puisse combiner entre eux les différents modes de réalisation illustrés pour en proposer d'autres.
- [0066] Comme énoncé dans l'exposé de l'invention, d'autres principes de mesure de l'orientation relative de la centrale inertielle par rapport à chacune des files de rails sont envisagés.
- [0067] On peut également envisager de n'équiper le chariot que d'un seul odomètre, permettant de mesurer directement l'abscisse curviligne d'une des files de rails. L'opération de détermination des valeurs successives d'abscisse curviligne de la file de rails opposée peut alors être effectuée en fonction au moins de signaux délivrés par l'odomètre de signaux délivrés par l'équipement de mesure.
- [0068] Le procédé de détermination des paramètres de géométrie de la voie ferrée décrit ci-

dessus peut également être déroulé en utilisant un chariot à quatre roues, ou plus généralement un véhicule ferroviaire qui peut reposer sur plusieurs trains de roue ou sur plusieurs bogies. Le cas échéant, le châssis auquel la centrale inertielle est solidarisée peut être lié aux roues par un ou plusieurs étages de suspension, par exemple une suspension primaire et/ou une suspension secondaire.

- [0069] Dans ces hypothèses, l'équipement de mesure de l'orientation relative de chacune des files de rails par rapport à la centrale inertielle fera de préférence appel à d'autres principes de mesure que ceux décrits jusqu'ici.
- [0070] Suivant un mode de réalisation, l'équipement de mesure comporte au moins une et de préférence au moins deux caméras de détection d'un ou plusieurs faisceaux laser linéiques projetés sur chacune des files de rails. Par exemple, chaque caméra est fixée au châssis portant la centrale inertielle de manière fixe dans le repère de la centrale inertielle, et orientée de manière à viser et capturer la position d'une ligne laser projetée sur la file de rails observée, l'équipement de mesure déterminant par triangulation la position verticale et latérale relative entre la file de rails observée et la caméra.
- [0071] Suivant un autre mode de réalisation, l'équipement de mesure comporte au moins un et de préférence au moins deux télémètres lasers également placés dans le repère de la centrale inertielle de manière à scruter les files de rails de la voie ferrée. Suivant le principe de télémétrie par laser, la distance est donnée par la mesure du délai entre l'émission d'une impulsion et la détection d'une impulsion réfléchie. Le faisceau laser projeté est orienté par un miroir tournant, ce qui permet de scruter un plan de l'espace qui peut couvrir les deux files de rails et d'en déduire par triangulation pour chaque file de rails une mesure de distance latérale et une mesure de distance verticale. Avec deux télémètres laser placés à distance l'un de l'autre dans la direction longitudinale du véhicule, on peut ainsi obtenir les huit dimensions recherchées, à savoir quatre distances latérales et quatre distances verticales.
- [0072] Suivant une autre variante, l'équipement de mesure comporte au moins une caméra à temps de vol (caméra ToF, « time of flight ») placée dans le repère de la centrale inertielle, permettant de visualiser une scène en trois dimensions dans son champ de vision. Dans la mesure où le champ de vision de ce type de caméra est relativement étroit, on pourra avantageusement utiliser une caméra de ce type par file de rails.

Revendications

[Revendication 1]

Procédé de détermination d'au moins un paramètre géométrique d'une voie ferrée (1) à deux files de rails (2), dans lequel :

- on fait rouler sur la voie ferrée (1) un véhicule (10) portant une centrale inertielle (34), un équipement de mesure (28) d'au moins une composante d'orientation relative d'au moins une des deux files de rails par rapport à la centrale inertielle, et un ou plusieurs odomètres (26),
- on détermine, en fonction au moins de signaux délivrés par la centrale inertielle (34), des valeurs successives d'au moins une composante d'orientation absolue de la centrale inertielle (34) dans un référentiel géostationnaire,
- pour au moins une file de rails observée (2) parmi les deux files de rails (2), et de préférence pour chacune des deux files de rails (2) prise comme file de rails observée,

i) on détermine, en fonction au moins de signaux délivrés par le ou les odomètres (26), des valeurs successives d'abscisse curviligne du véhicule sur la file de rails observée (2),

ii) on détermine, en fonction au moins de signaux délivrés par l'équipement de mesure (28), des valeurs successives d'au moins une composante d'orientation relative de la file de rails observée par rapport à la centrale inertielle (34),

iii) on calcule, en fonction au moins des valeurs successives de la composante d'orientation absolue de la centrale inertielle (34) et des valeurs successives de la composante d'orientation relative de la file de rails observée (2) par rapport à la centrale inertielle (34), des valeurs successives d'au moins une composante d'orientation absolue ou de positionnement absolu de la file de rails observée (2), caractérisé en ce que :

iv) on construit une fonction $s \rightarrow G(s)$ liant certaines au moins des valeurs successives d'abscisse curviligne à des valeurs concomitantes parmi les valeurs successives de la composante d'orientation absolue ou de positionnement absolu de la file de rails observée dans l'espace,

v) on applique un filtre linéaire passe-haut ou passe-bande à la fonction $s \rightarrow G(s)$, de manière à construire une fonction filtrée $s \rightarrow F(s)$,

vi) on estime, pour une succession de valeurs courantes d'abscisse curviligne l parmi les valeurs d'abscisse curviligne, une intégrale $I(l)$, sur un intervalle donné d'abscisses curvilignes borné par une valeur d'abscisse curviligne de référence l_0 et par la valeur courante d'abscisse curviligne l , de la fonction filtrée

[Math.13]

$$I(l) = \int_{s=l_0}^{s=l} F(s) ds$$

- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le filtre linéaire est un filtre passe-bande, de préférence dans l'une des trois bandes suivantes : 3m à 25m, 25m à 70m, 70m à 150m, ou une fonction de calcul de flèche.
- [Revendication 3] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'intégrale $I(l)$ est estimée par une somme de Riemann ou par la méthode des trapèzes sur l'intervalle donné, avec un pas inférieur à 25cm, et de préférence inférieur à 1cm.
- [Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'opération de calcul des valeurs successives d'au moins une composante d'orientation ou de positionnement absolue de la file de rails observée (2) consiste, à des instants successifs, en une somme algébrique d'une valeur instantanée de la composante d'orientation absolue de la centrale inertielle et d'une valeur instantanée simultanée de la composante d'orientation relative de chacune de la file de rails observée par rapport à la centrale inertielle.
- [Revendication 5] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la composante d'orientation relative de la file de rails observée (2) par rapport à la centrale inertielle (34) est un angle d'orientation dans un plan horizontal, et la composante d'orientation absolue de la centrale inertielle est un angle de lacet, l'intégrale $I(l)$ étant un paramètre de dressage.
- [Revendication 6] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la composante d'orientation relative de la file de rails observée (2) par rapport à la centrale inertielle (34) est un angle d'orientation par rapport à un plan vertical longitudinal (V) du véhicule (12), et la composante d'orientation absolue de la centrale inertielle est un angle de tangage, l'intégrale $I(l)$ étant un paramètre de nivellement longitudinal.
- [Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, ca-

ractérisé en ce que pour chaque file de rails observée (2), l'équipement de mesure délivre au moins deux signaux simultanés de mesure de distance latérale entre deux points de référence (30) du véhicule (12) et la file de rails observée (2), les deux points de référence (30) étant à une distance (A) l'un de l'autre supérieure à 250mm, et de préférence supérieure à 500mm.

[Revendication 8]

Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que pour chaque file de rails observée (2), l'équipement de mesure délivre au moins deux signaux simultanés de mesure de distance verticale entre deux points de référence (32) du véhicule (12) et la file de rails observée (2), les deux points de référence (32) étant à une distance (B) l'un de l'autre supérieure à 250mm, et de préférence supérieure à 500mm.

[Revendication 9]

Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on commande au moins un actionneur (24) de correction d'inscription du véhicule (12) sur la voie ferrée (1) en fonction des signaux délivrés par l'équipement de mesure (28) ou des valeurs successives de la composante d'orientation relative de la file de rails observée (2) par rapport à la centrale inertielle (34) pour réduire un écart entre les signaux délivrés par l'équipement de mesure (38) et des valeurs prédéterminées, ou pour réduire un écart entre les valeurs successives de la composante d'orientation relative de la file de rails observée (2) et une valeur prédéterminée de la composante d'orientation relative de la file de rails observée (2).

[Revendication 10]

Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'opération de détermination des valeurs successives d'abscisse curviligne du véhicule (12) sur la file de rails observée (2) est faite en fonction au moins de signaux délivrés par un odomètre (26) associé à la file de rail observée (2) parmi le ou les odomètres.

[Revendication 11]

Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'opération de détermination des valeurs successives d'abscisse curviligne du véhicule sur la file de rails observée (2) est faite en fonction au moins de signaux délivrés par un odomètre (26) qui n'est pas associé à la file de rail observée (2) parmi le ou les odomètres et de signaux délivrés par l'équipement de mesure (28).

[Revendication 12]

Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on détecte des défaillances du ou des odomètres (26) en comparant des valeurs d'accélération longitudinale délivrées par

la centrale inertielle (34) à des valeurs accélération moyenne déterminée en fonction des signaux délivrés par le ou les odomètres (26) et/ou en comparant des valeurs de vitesse angulaire autour d'un axe vertical délivrées par la centrale inertielle (34) à des valeurs de vitesse angulaire déduite des signaux délivrés par le ou les odomètres (26).

- [Revendication 13] Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que lorsqu'une défaillance est détectée, on exécute une procédure de sécurité, dans laquelle on détermine les valeurs successives d'abscisse curviligne du véhicule (12) sur chacune des deux files de rails (2) en fonction au moins de signaux accélérométriques ou de vitesse angulaire délivrés par la centrale inertielle (34).
- [Revendication 14] Système pour la mise en œuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant un véhicule apte à rouler sur une voie ferrée (1) à deux files de rails (2) parallèles, le véhicule (12) portant une centrale inertielle (34) à au moins trois gyromètres et trois accéléromètres, un équipement de mesure (28) d'une orientation relative de chacune des deux files de rails (2) par rapport à la centrale inertielle, et un ou plusieurs odomètres (26), caractérisé en ce que le système comporte en outre des moyens de calcul programmés pour exécuter les opérations de calcul des valeurs successives d'au moins une composante d'orientation ou de positionnement absolue d'une file de rails observée (2) parmi les deux files de rails, de construction de la fonction $s \rightarrow G(s)$, d'application d'un filtre linéaire, de construction de la fonction filtrée $s \rightarrow F(s)$ et d'estimation de l'intégrale $I(l)$.
- [Revendication 15] Système selon la revendication 14, caractérisé en ce que l'équipement de mesure (28) comporte, associés à chacune des deux files de rails (2), au moins deux capteurs de mesure de distance latérale (30) entre deux points de référence du véhicule et la file de rails associée, les deux points de référence étant à une distance (A) l'un de l'autre supérieure à 250mm, et de préférence supérieure à 500mm.
- [Revendication 16] Système selon l'une quelconque des revendications 14 à 15, caractérisé en ce que l'équipement de mesure (28) comporte, associés à chacune des deux files de rails (2), au moins deux capteurs de mesure de distance verticale (32) entre deux points de référence du véhicule et la file de rails associée (2), les deux points de référence étant à une distance (B) l'un de l'autre supérieure à 250mm, et de préférence supérieure à 500mm.
- [Revendication 17] Système selon l'une quelconque des revendications 14 à 16, caractérisé

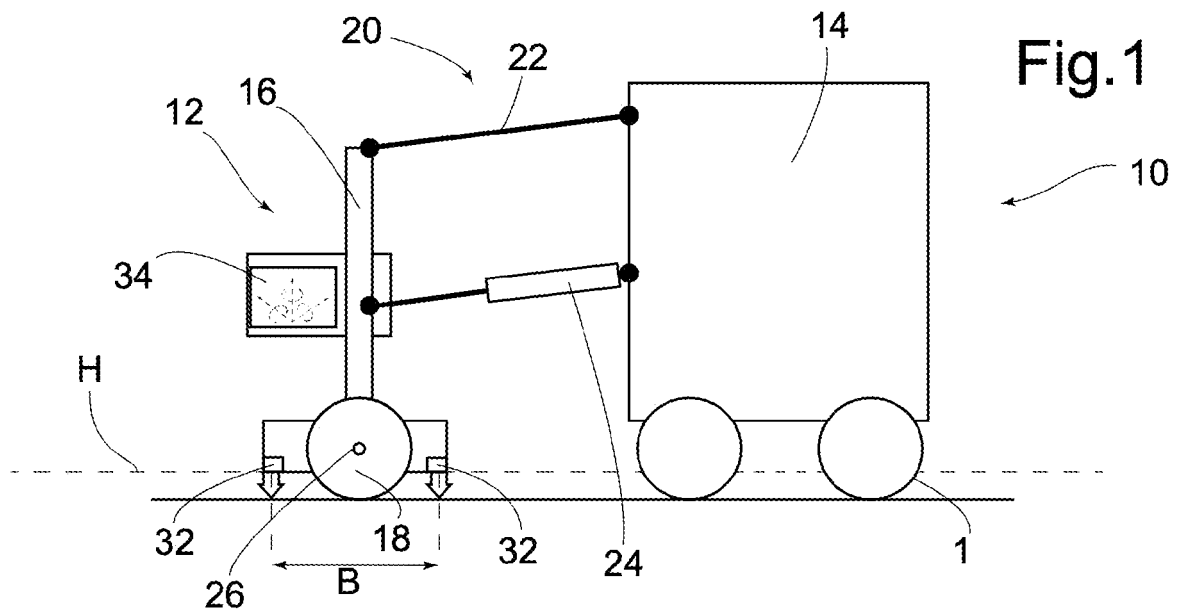
en ce que l'équipement de mesure (28) comporte au moins une et de préférence au moins deux caméras de détection d'un ou plusieurs faisceaux laser linéiques projetés sur chacune des files de rails.

[Revendication 18] Système selon l'une quelconque des revendications 14 à 17, caractérisé en ce que l'équipement de mesure (28) comporte au moins un et de préférence au moins deux télémètres lasers scrutant les files de rails de la voie ferrée.

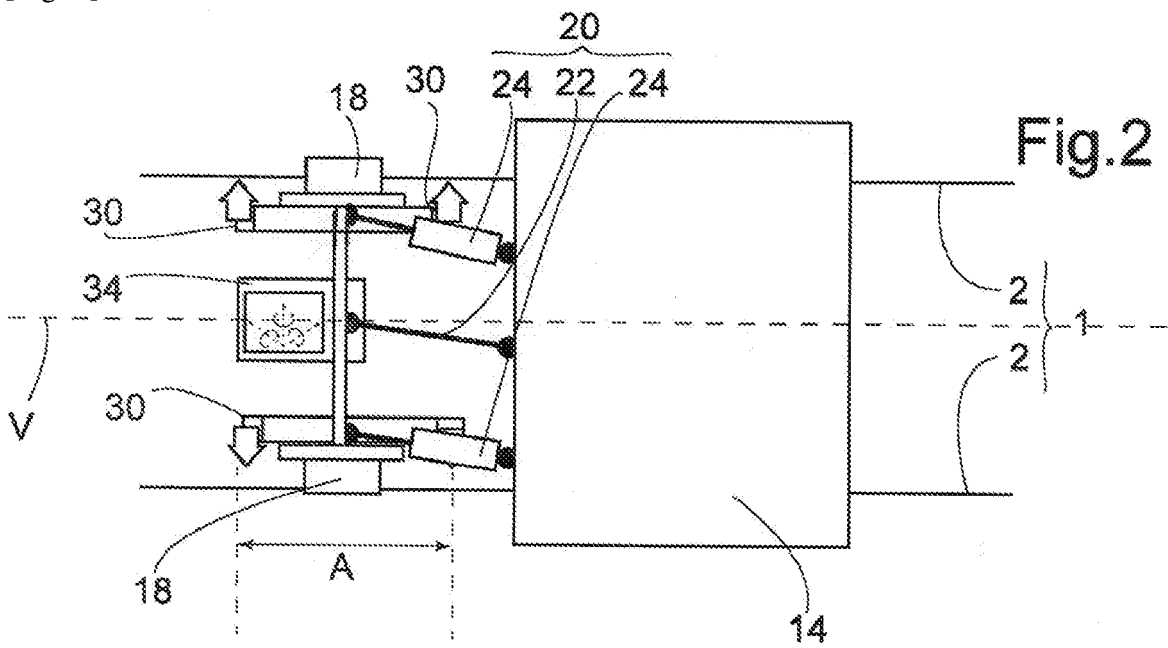
[Revendication 19] Système selon l'une quelconque des revendications 14 à 18, caractérisé en ce que le véhicule (12) est un chariot à deux roues (18), mû par une machine (14) et relié à la machine par l'intermédiaire d'au moins trois liaisons (22, 24) permettant de piloter l'assiette et l'inscription du chariot (12) en fonction des composantes d'orientation relative.

[Revendication 20] Système selon l'une quelconque des revendications 14 à 18, caractérisé en ce que le véhicule (12) est un chariot à au moins quatre roues.

[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]

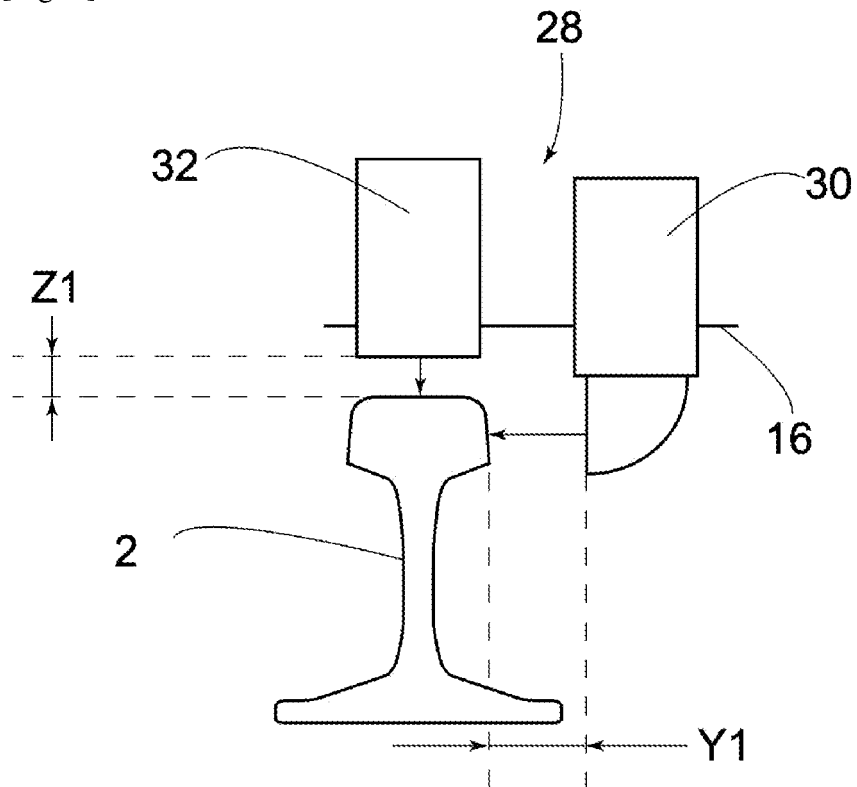


Fig.3

[Fig. 4]

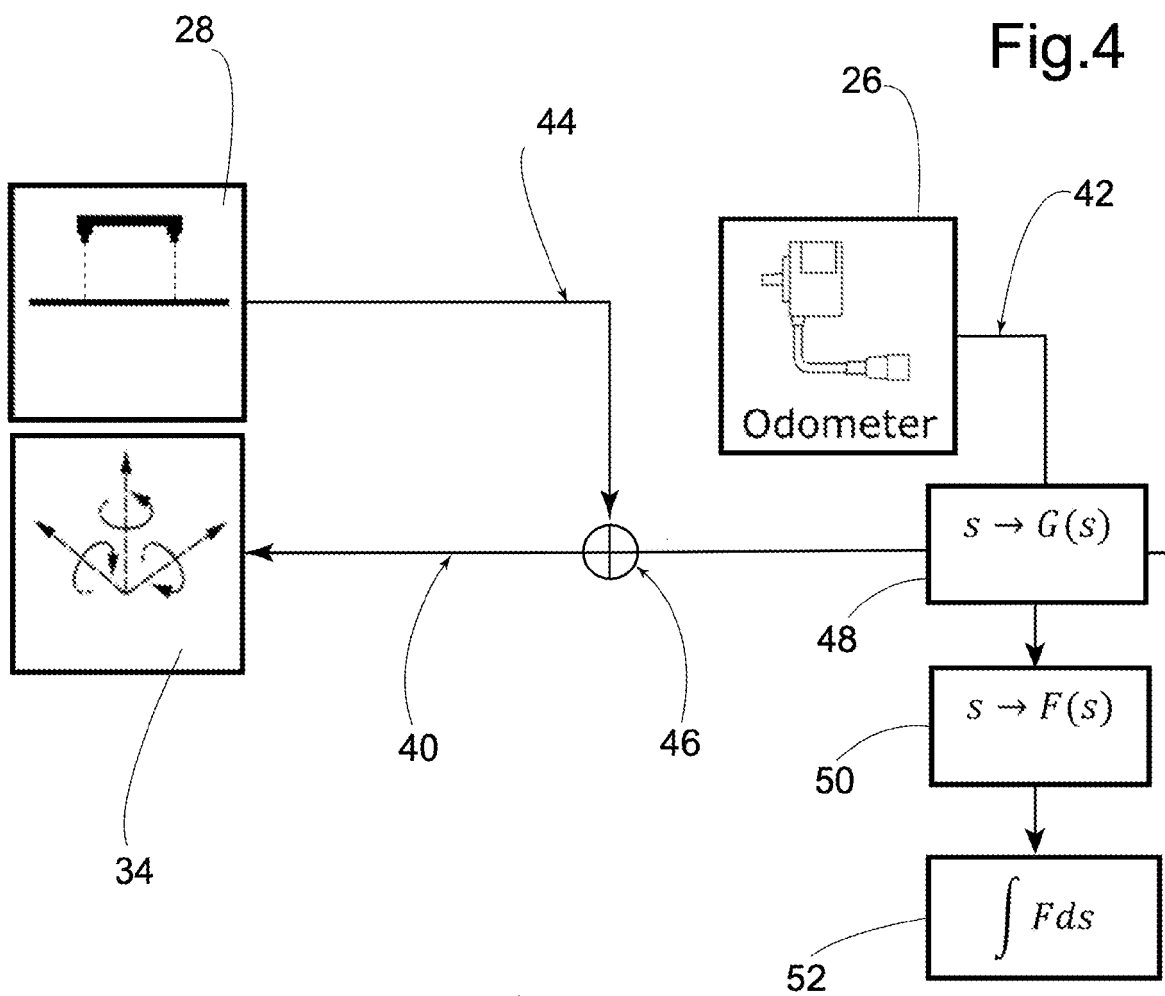


Fig.4

[Fig. 5]

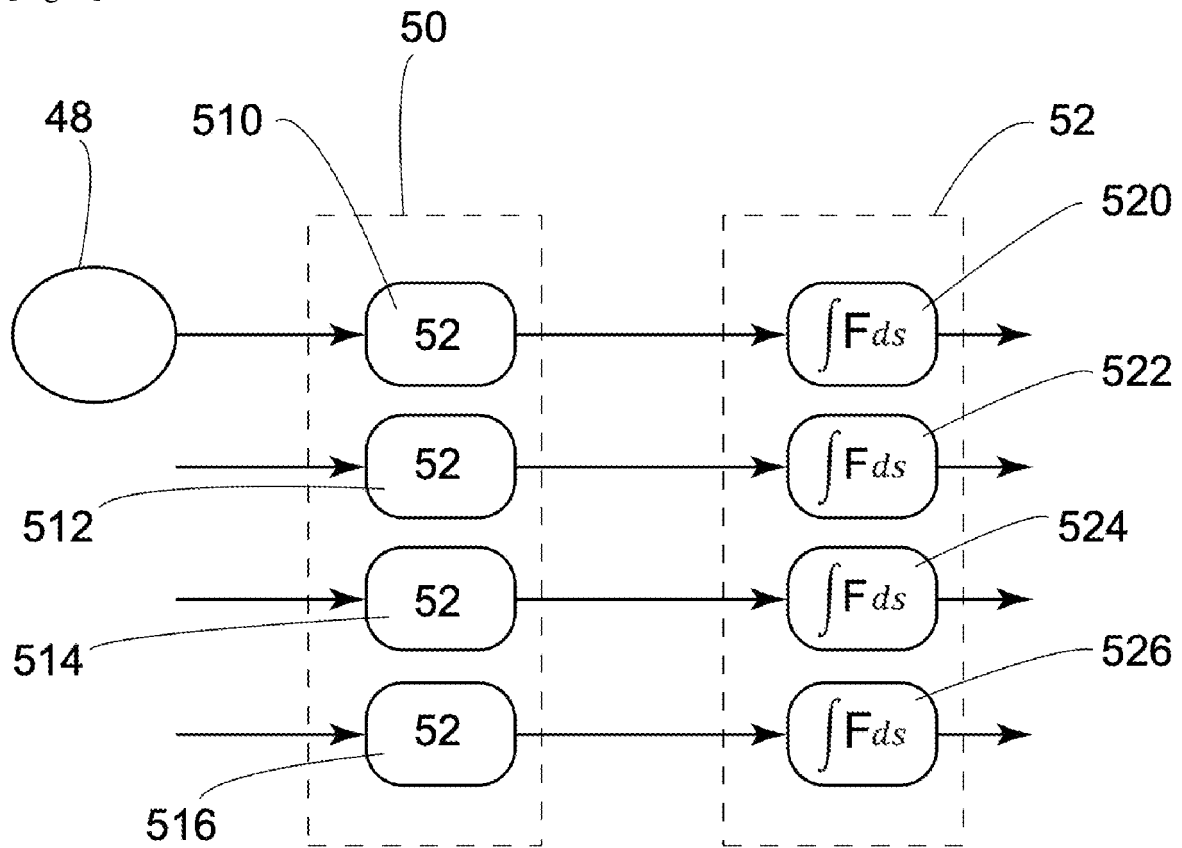


Fig.5

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 908036
FR 2205102

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	JOS\ 'E L ESCALONA: "A methodology for the measurement of track geometry based on computer vision and inertial sensors", ARXIV.ORG, CORNELL UNIVERSITY LIBRARY, 201 OLIN LIBRARY CORNELL UNIVERSITY ITHACA, NY 14853, 9 août 2020 (2020-08-09), XP081737359, * abrégé * * figures 1-20 * * 1 Introduction * * 2 Description of the TGMS * * 3.1 Nomenclature * * 3.3 Kinematics of the irregular track * * 3.4 Kinematics of a body moving along the track * * 5 Detecting the rail cross-section from a camera frame * * 6 Equations for geometry * * 7 Measurement of TGMS to TF relative motion * * 9 Sensor fusion algorithm to find TGMS to TF relative angles * * 11 Summary of the measurement of track irregularities *	1-20	B61K9/08 E01B35/04 E01B35/06
A	MUÑOZ SERGIO ET AL: "Estimation of lateral track irregularity using a Kalman filter. Experimental validation", JOURNAL OF SOUND AND VIBRATION, ELSEVIER, AMSTERDAM , NL, vol. 504, 10 avril 2021 (2021-04-10), XP086572607, ISSN: 0022-460X, DOI: 10.1016/J.JSV.2021.116122 [extrait le 2021-04-10] * abrégé * * 1. Introduction * * 6.3 Estimation of lateral irregularity * ----- -/--	1-20	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G01C B61K E01B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
16 janvier 2023		Toth, Rémy	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 908036
FR 2205102

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	CHEN QIJIN ET AL: "Railway Track Irregularity Measuring by GNSS/INS Integration", NAVIGATION: JOURNAL OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, INSTITUTE OF NAVIGATION, FAIRFAX, VA, US, vol. 62, no. 1, 1 mars 2015 (2015-03-01), pages 83-93, XP056009736, ISSN: 0028-1522, DOI: 10.1002/NAVI.78 * abrégé * * Introduction * * Methodology * -----	1-20	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	WESTON P F ET AL: "Monitoring lateral track irregularity from in-service railway vehicles", PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS. PART F, JOURNAL OF RAIL AND RAPID TRANSIT, vol. 221, no. 1, 1 janvier 2007 (2007-01-01), pages 89-100, XP093013018, GB ISSN: 0954-4097, DOI: 10.1243/0954409JRRT64 Extrait de l'Internet: URL: http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1243/0954409JRRT64> * abrégé * * 1 Introduction * * 2 Vehicle mounted sensors * * 3 Data processing * ----- -/--	1-20	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
16 janvier 2023		Toth, Rémy	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 908036
FR 2205102

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	WESTEON P F ET AL: "Monitoring vertical track irregularity from in-service railway vehicles", PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS. PART F, JOURNAL OF RAIL AND RAPID TRANSIT, vol. 221, no. 1, 1 janvier 2007 (2007-01-01), pages 75-88, XP093013014, GB ISSN: 0954-4097, DOI: 10.1243/0954409JRRT65 Extrait de l'Internet: URL: http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1243/0954409JRRT65 > * abrégé * * 1 Introduction * * 2 Sensors and processing * * 3 Processing * -----	1-20	
A	BOKHMAN E D ET AL: "Optical-inertial system for railway track diagnostics", 2014 DGON INERTIAL SENSORS AND SYSTEMS (ISS), IEEE, 16 septembre 2014 (2014-09-16), pages 1-17, XP032738643, DOI: 10.1109/INERTIALSENSORS.2014.7049477 [extrait le 2015-02-25] * abrégé * * 1. Introduction * * 2. Inertial technologies in measurement of geometrical parameters of a railway * * 3. Concept of Optical-Inertial System for Railway Track * * 4. Navigation algorithm * -----	1-20	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	EP 2 806 065 A1 (LEYFA MEASUREMENT [FR]) 26 novembre 2014 (2014-11-26) * le document en entier * -----	1-20	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
16 janvier 2023		Toth, Rémy	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO.

FR 2205102

FA 908036

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **16-01-2023**

Les données fournies sont destinées à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française.

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
EP 2806065	A1	26-11-2014	EP	2806065 A1		26-11-2014
			EP	3162958 A1		03-05-2017
			FR	3005321 A1		07-11-2014