



(22) Date de dépôt/Filing Date: 2001/12/03

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2002/06/04

(45) Date de délivrance/Issue Date: 2007/02/06

(30) Priorité/Priority: 2000/12/04 (FR00 15 696)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *B61L 25/02* (2006.01),
G01C 21/16 (2006.01)

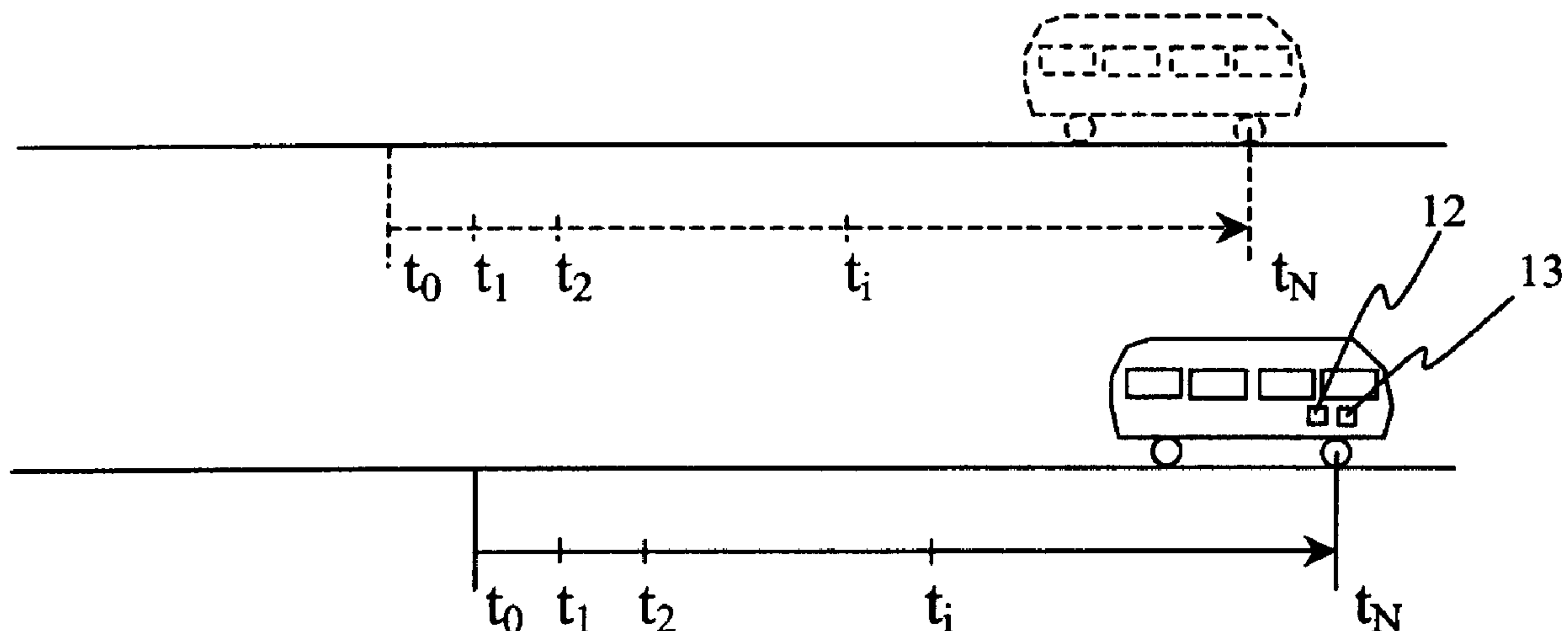
(72) Inventeurs/Inventors:
ALACOQUE, JEAN-CLAUDE, FR;
ALAMIR, MAZEN, FR

(73) Propriétaire/Owner:
ALSTOM, FR

(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : PROCÉDE ET DISPOSITIF DE LOCALISATION D'UN VÉHICULE SUR UNE VOIE

(54) Title: PROCESS AND DEVICE FOR LOCATING A VEHICLE ON A TRACK



(57) Abrégé/Abstract:

Procédé de localisation d'un véhicule ferroviaire sur une voie ferrée, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- mesure de la vitesse du véhicule en différents instants par des moyens (13) donnant une valeur approximative de la vitesse réelle du véhicule ;
- mesure d'une grandeur inertielle en différents instants à l'aide d'un seul capteur inertielle (12) disposé à bord du véhicule, ladite grandeur inertielle étant choisie de manière à dépendre uniquement de la vitesse du véhicule et d'une caractéristique géométrique propre à la voie ;
- calcul de l'abscisse du véhicule sur la voie, au moyen d'un procédé algorithmique convergent basé sur un observateur non linéaire, à partir de la connaissance en différents instants précédents l'instant où l'on souhaite localiser le véhicule, des mesures de la vitesse approximative du véhicule, des mesures de ladite grandeur inertielle et d'une base de données (16) dans laquelle sont stockées ladite caractéristique géométrique propre de la voie et sa dérivée spatiale pour différentes abscisses curvilignes, ladite base de données étant obtenue par un apprentissage préalable.

ABREGE

Procédé de localisation d'un véhicule ferroviaire sur une voie ferrée, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- mesure de la vitesse du véhicule en différents instants par des moyens (13) donnant une valeur approximative de la vitesse réelle du véhicule ;
- mesure d'une grandeur inertielle en différents instants à l'aide d'un seul capteur inertielle (12) disposé à bord du véhicule, ladite grandeur inertielle étant choisie de manière à dépendre uniquement de la vitesse du véhicule et d'une caractéristique géométrique propre à la voie ;
- calcul de l'abscisse du véhicule sur la voie, au moyen d'un procédé algorithmique convergent basé sur un observateur non linéaire, à partir de la connaissance en différents instants précédents l'instant où l'on souhaite localiser le véhicule, des mesures de la vitesse approximative du véhicule, des mesures de ladite grandeur inertielle et d'une base de données (16) dans laquelle sont stockées ladite caractéristique géométrique propre de la voie et sa dérivée spatiale pour différentes abscisses curvilignes, ladite base de données étant obtenue par un apprentissage préalable.

PROCEDE ET DISPOSITIF DE LOCALISATION D'UN VEHICULE SUR UNE VOIE

La présente invention est relative à un procédé de localisation d'un
5 véhicule sur une voie, et notamment d'un véhicule ferroviaire sur une voie ferrée,
permettant d'obtenir une grande précision sur la position du véhicule à partir de la
mesure approximative de la vitesse du véhicule et de la mesure d'une seule grandeur
inertielle à bord du véhicule. L'invention se rapporte également à un dispositif de
localisation mettant en œuvre un tel procédé et pouvant notamment être utilisé pour la
10 commande d'éléments pilotés destinés à améliorer le confort des passagers.

La technique la plus simple habituellement utilisée pour localiser un
véhicule ferroviaire sur une voie ferrée consiste à mesurer la distance kilométrique
parcourue sur la voie depuis un point de départ par intégration de la vitesse du véhicule.
Toutefois, la mesure de la vitesse du véhicule est habituellement réalisée en mesurant la
15 vitesse de rotation des essieux, or la diminution du diamètre des roues avec l'usure et le
patinage des roues sous faible adhérence et fort couple moteur conduisent, lors de
l'intégration de la vitesse, à des écarts importants entre la position mesurée et la position
réelle du véhicule après quelques dizaines de kilomètres.

Une autre technique connue pour localiser un véhicule consiste à équiper
20 les voies ferrées de balises permettant de localiser précisément le véhicule ferroviaire
sur la voie sur laquelle il circule. Cette technique présente cependant l'inconvénient de
nécessiter la pose de balises le long de toutes les voies ferrées d'un réseau ferroviaire et
est donc d'un coût prohibitif. La technique consistant à localiser un véhicule par
système GPS présente quant à elle l'inconvénient de ne pas permettre la localisation du
25 véhicule dans les zones d'ombre telles que les tunnels.

Il est connu de la demande de brevet FR-99 07 435 déposée par la
demanderesse de remédier à ces inconvénients en localisant un véhicule ferroviaire sur
une voie ferrée par corrélation d'un profil de voie calculé à partir de plusieurs capteurs
inertiels disposés à bord du véhicule avec une carte de la voie de chemin de fer
30 préenregistré lors d'un précédent passage. Toutefois, une telle technique de localisation
nécessite la présence de plusieurs capteurs inertiels qui présentent l'inconvénient

d'augmenter le coût du véhicule ferroviaire. De plus, la localisation par un tel procédé ne garantit pas forcément la localisation permanente puisqu'il est basé sur la recherche dans une base de donnée d'une corrélation entre des mesures et un profil de voie enregistré.

5 Le but de l'invention est de pallier ces inconvénients en proposant un procédé qui permette la localisation précise, par convergence continue, d'un véhicule sur une voie et ce sans nécessiter d'équipement complémentaire de la voie et en n'utilisant qu'un seul capteur inertiel, afin d'être simple et économique à mettre en œuvre.

10 L'invention a donc pour objet un procédé de localisation, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- mesure de la vitesse du véhicule en différents instants par des moyens donnant une valeur approximative de la vitesse réelle du véhicule ;
- mesure d'une grandeur inertielle en différents instants à l'aide d'un seul capteur inertiel disposé à bord du véhicule, la grandeur inertielle étant choisie de manière à dépendre uniquement de la vitesse du véhicule et d'une caractéristique géométrique propre à la voie, telle que le dévers ou le rayon de courbure ;
- calcul de l'abscisse du véhicule sur la voie, au moyen d'un procédé algorithmique convergent basé sur un observateur non linéaire, à partir de la connaissance en différents instants précédant l'instant où l'on souhaite localiser le véhicule, des mesures de la vitesse approximative du véhicule, des mesures de la grandeur inertielle et d'une base de données dans laquelle sont stockées la caractéristique géométrique propre de la voie et sa dérivée spatiale pour différentes abscisses curvilignes, la base de données étant obtenue par un apprentissage préalable.

25 Selon une autre caractéristique du procédé selon l'invention :

- la mesure de la vitesse V_m du véhicule est effectuée à intervalles de temps constant DT_0 , les mesures de la vitesse $V_m(t_i)$ étant effectuées aux instants t_i , $i \in [1, N]$ d'une fenêtre temporelle d'observation T_0 précédant l'instant t_N de mesure où l'on souhaite localiser le véhicule et étant stockées dans une mémoire ;
- 30 - on stocke dans une mémoire les mesures de la grandeur inertielle $y(t_i)$ effectuée à bord du véhicule pour les différents instants t_i ; et

- on calcule par itérations successives une abscisse curviligne estimée $\tilde{s}_N$ du véhicule à l'instant t_N , chaque nouvel instant de mesure t_N engendrant une nouvelle itération de calcul pour laquelle la fenêtre d'observation est décalée de l'intervalle DT_o de manière à faire correspondre le point de départ $i=0$ de la nouvelle fenêtre d'observation T_o avec
 5 l'abscisse du point de mesure $i=1$ de la fenêtre d'observation T_o de l'itération précédente, l'abscisse curviligne estimée $\tilde{s}_N$ étant calculée à l'aide de la relation :

$$\tilde{s}_N = \hat{s}_0 + \sum_{i=1}^{i=N} \tilde{V}_i \cdot DT_o, \text{ avec } \tilde{V}_i = (1 + e(\hat{s}_0)) \cdot V_m(t_i)$$

où $\tilde{V}_i$ est la vitesse corrigée du véhicule à chaque instant t_i de la fenêtre d'observation T_o , $e(\hat{s}_0)$ est l'erreur relative sur la vitesse et $\hat{s}_0$ est l'abscisse curviligne corrigée du
 10 point de départ de la fenêtre d'observation T_o , $e(\hat{s}_0)$ et $\hat{s}_0$ étant obtenues, à l'itération précédente, par un procédé algorithmique convergent basé sur un observateur non linéaire à partir des mesures de la vitesse $V_m(t_i)$, de la seule grandeur inertielle $y(t_i)$ à chaque instant t_i , et de la caractéristique géométrique $RO(\tilde{s}_i)$ et de sa dérivée spatiale $DRO(\tilde{s}_i)$ au niveau de l'abscisse curviligne $\tilde{s}_i$ estimée par $\tilde{s}_i = \hat{s}_0 + \sum_{n=1}^i \tilde{V}_n \cdot DT_o$.

15 Le procédé conforme à l'invention peut en outre comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles:

- la base de données contient des triplets (s_j, RO_j, DRO_j) obtenus par la mesure de la grandeur inertielle $y(s_j)$ en différentes abscisses s_j lors d'un passage préalable
 20 d'un véhicule le long de la voie dans des conditions de fonctionnement garantissant une connaissance précise des données des triplets ;
- les valeurs, en une abscisse $\tilde{s}_i$ estimée quelconque de la voie, des caractéristiques géométriques $RO(\tilde{s}_i)$ et de la dérivée spatiale $DRO(\tilde{s}_i)$, sont calculées par interpolation entre deux triplets (s_j, RO_j, DRO_j) stockés dans la base
 25 de données ;
- le capteur inertielle est un gyromètre de lacet ;
- le capteur inertielle est un gyromètre de roulis ;
- le véhicule est un véhicule ferroviaire circulant le long d'une voie ferrée ;
- le procédé de localisation est utilisé dans un procédé de commande servant à

commander des éléments pilotés de véhicule ferroviaire nécessitant un pilotage en phase avec la géométrie de la voie tels que des éléments de pendulation, une suspension transversale active, des annonces automatiques aux voyageurs ou bien encore des profils de vitesse imposée au véhicule.

5

L'invention a également pour objet un dispositif de localisation d'un véhicule sur une voie mettant en œuvre le procédé de localisation selon l'invention et caractérisé en ce qu'il comporte :

- des moyens de mesure donnant la vitesse approximative du véhicule ;
- 10 - un seul capteur inertiel ;
- une base de données dans laquelle sont stockées une caractéristique géométrique propre de la voie et sa dérivée spatiale pour différentes abscisses curvilignes de la voie ; et
- un calculateur recevant les informations des moyens de mesure de la vitesse et du
- 15 capteur inertiel, le calculateur étant relié à la base de données pour calculer l'abscisse du véhicule sur la voie.

D'autres caractéristiques et avantages ressortiront de la description suivante d'un exemple de réalisation du procédé de localisation selon l'invention, donnée uniquement à titre d'exemple, et faite en référence aux dessins annexes sur

20 lesquels:

- La figure 1 est un schéma illustrant le principe de la fenêtre temporelle d'observation utilisée dans un mode particulier de réalisation du procédé de localisation selon l'invention ;
- la figure 2 est un schéma synoptique illustrant la structure d'un
- 25 dispositif de localisation conforme à l'invention ; et
- la figure 3 est un organigramme représentant les principales phases de fonctionnement du procédé de localisation selon l'invention.

La figure 1 illustre un véhicule ferroviaire se déplaçant sur une voie ferrée, le véhicule ferroviaire comportant un capteur inertiel 12 avantageusement

constitué par un gyromètre de lacet et des moyens 13 de mesure approximative de la vitesse réelle du véhicule habituellement disposés à bord d'un véhicule ferroviaire se basant sur la vitesse de rotation des essieux. Dans une variante de réalisation du procédé de localisation, le capteur inertiel 12 pourra être constitué par un gyromètre de roulis ou
5 par un capteur d'accélération transversale.

On a représenté sur la figure 2 un schéma synoptique d'un dispositif de localisation d'un véhicule ferroviaire permettant de localiser précisément un véhicule sur une voie ferrée. Comme on le voit sur cette figure, le dispositif de localisation comporte un calculateur 14 qui est raccordé au gyromètre de lacet 12 et aux moyens 13
10 de mesure approximative de la vitesse du véhicule. Le calculateur 14 est associé à une base de données 16 dans laquelle sont stockées, sous forme de triplets (s_j , RO_j , DRO_j), une caractéristique géométrique RO_j propre à la voie ainsi que sa dérivée spatiale DRO_j pour différents abscisses s_j de la voie. La caractéristique géométrique stockée dans la base de données 16 sera fonction du capteur inertiel 12 utilisé et devra permettre de
15 calculer, en combinaison avec la vitesse du véhicule, une valeur théorique de la mesure inertielle fournie par le capteur 12.

Ainsi, dans le cas de l'utilisation du gyromètre de lacet 12, la caractéristique RO contenue dans la base de données 16 est la courbure de la voie. En effet, la courbure $\rho(s)$ d'une voie ferrée ne variant que très lentement en fonction de
20 l'abscisse s à l'intérieur d'une courbe, la mesure $y(t)$ fournie par un gyromètre de lacet peut s'écrire $y(t) \approx \rho(s) \cdot V(s)$ où $\rho(s)$ est la courbure de la voie à l'abscisse s et $V(s)$ est la vitesse du véhicule.

Dans le cas de l'utilisation d'un gyromètre de roulis comme capteur inertiel 12, la caractéristique RO contenue dans la base de donnée 16 sera le gradient du
25 dévers. En effet, le dévers des voies $D(s)$ étant généralement faible par rapport à l'écartement L des voies, la mesure $y(t)$ fournie par le gyromètre de roulis peut s'écrire :

$$y(t) \approx \frac{1}{L} \cdot \frac{dD(s)}{ds} \cdot V(s).$$

Les triplets (RO_j , DRO_j , s_j) de la base de données 16 sont obtenus par apprentissage préalable en faisant circuler un véhicule ferroviaire sur les voies ferrées et
30 en mesurant, pour différentes abscisses s_j obtenues par intégration de la vitesse du

véhicule, la grandeur inertielle à l'aide des moyens 12 de mesure inertielle. Bien entendu, lors de cette circulation du véhicule pour apprentissage de la base de données 16, les moyens de mesure de la vitesse 13 sont étalonnés et les conditions de circulation sont choisies afin qu'il n'y ait pas de glissement entre les roues et les rails pour obtenir
 5 une valeur précise de la vitesse mesurée et donc de l'abscisse de la voie. Le calcul de la caractéristique géométrique de la voie ainsi que celui du gradient sont obtenus, en temps différé, par application inverse d'une des formules précédentes, puis par dérivation en fonction de l'abscisse.

Comme cela va maintenant être décrit en référence à la figure 3, qui
 10 représente un organigramme décrivant le fonctionnement général du dispositif de localisation, le calculateur 14 procède par itérations successives d'une série d'étapes de calculs à partir des valeurs mesurées par le gyromètre de lacet 12 et par les moyens 13 de mesure de la vitesse dans une fenêtre temporelle d'observation de largeur T_0 illustrée sur la figure 1.

15 Comme cela va maintenant être décrit en référence à la figure 3, qui représente un organigramme décrivant le fonctionnement général du dispositif de localisation, le calculateur 14 procède par itération d'une série d'étapes de calculs dans une fenêtre temporelle d'observation de largeur T_0 dans laquelle on mémorise en différents instants t_i , $i \in [1, N]$, correspondant à une abscisse curviligne $\hat{s}_i$ du véhicule,
 20 les valeurs $y(t_i)$ données par le gyromètre de lacet 12 et les valeurs $V_m(t_i)$ données par les moyens 13 de mesure de la vitesse, les différents instants t_i étant séparés d'une période fixe DT_0 . Conformément à la figure 1, sur laquelle la fenêtre d'observation T_0 de l'itération précédente est représentée en pointillés, la fenêtre d'observation T_0 est décalée à chaque nouvelle itération de l'intervalle de temps DT_0 afin que la nouvelle
 25 abscisse $\hat{s}_0$, correspondant au point de départ de la nouvelle fenêtre d'observation, corresponde à l'abscisse $\hat{s}_1$ de la fenêtre d'observation utilisée à l'itération précédente.

Pour simplifier les calculs, on suppose dans l'exemple particulier de réalisation du procédé de localisation décrit ci-dessous que la vitesse est lentement variable et donc que la dérivée $\dot{e}(\hat{s}_0)$ de l'erreur relative sur la vitesse mesurée est nulle
 30 sur la fenêtre d'observation T_0 . On décrit ci-après la série d'étapes de calculs effectuées par le calculateur 14 à chaque itération c'est à dire à chaque fois que la fenêtre

d'observation est décalée de DT_o dans le temps, le dernier point t_N correspondant au dernier point de mesure effectué.

Dans une première étape 18, le calculateur 14 réceptionne et stocke dans une mémoire la $N^{ième}$ valeur $y(t_N)$ et la $N^{ième}$ valeur $V_m(t_N)$, respectivement données par le gyromètre de lacet 12 et par les moyens 13 de mesure de la vitesse et venant s'ajouter dans la mémoire aux mesures obtenues aux différents instants t_i situés dans la fenêtre temporelle d'observation de largeur T_o précédant l'instant t_N actuel où l'on souhaite localiser le véhicule.

Lors de cette première étape 18, le calculateur 14 réceptionne également l'abscisse curviligne observée $\hat{s}_0$ et l'erreur relative sur la vitesse $e(\hat{s}_0)$ calculées lors de l'itération précédente par le calculateur 14, l'abscisse $\hat{s}_0$ correspondant au point de départ de la nouvelle fenêtre d'observation. Pour amorcer le procédé de calcul, on suppose lors de la toute première itération de calcul, aucune itération de calcul n'ayant été faite auparavant, que l'abscisse curviligne de départ $\hat{s}_0$ est connue de manière approximative, et par exemple que $e(\hat{s}_0)$ est nulle.

A partir de ces données, le calculateur 14 procède au calcul de la vitesse corrigée $\tilde{V}(t_i)$ pour chaque instant t_i de la fenêtre d'observation T_o à partir de la relation : $\tilde{V}(t_i) = (1 + e(\hat{s}_0)) \cdot V_m(t_i)$.

Lors de l'étape 20 suivante, le calculateur 14 procède au calcul d'une estimation $\tilde{s}_i$ de chaque abscisse curviligne par intégration temporelle de la vitesse corrigée $\tilde{V}(t_i)$ dans la fenêtre d'observation T_o , soit : $\tilde{s}_i = \hat{s}_0 + \sum_{n=1}^i \tilde{V}(t_n) \cdot DT_o$.

On connaît ainsi à la sortie de l'étape 20, pour $i=N$ l'estimation de la position du véhicule à l'instant t_N actuel par la relation : $\tilde{s}_N = \hat{s}_0 + \sum_{i=1}^N \tilde{V}(t_i) \cdot DT_o$, cette abscisse correspondant à la position corrigée du véhicule ferroviaire sur la voie ferrée obtenue par le procédé de localisation.

Les étapes de calculs suivantes correspondent au calcul de l'abscisse corrigé $\hat{s}_1$ du point 1 de la fenêtre d'observation T_o ainsi qu'au calcul de l'erreur

relative $e(\hat{s}_1)$ sur la vitesse observée au niveau de ce même point 1, ces valeurs $\hat{s}_1$ et $e(\hat{s}_1)$ servant respectivement de données de référence $\hat{s}_0$ et $e(\hat{s}_0)$ pour le calcul de la position corrigée du véhicule à l'itération de calcul suivante.

Dans un premier temps, au cours de l'étape 22, le calculateur 14 procède
5 au calcul des valeurs du rayon de courbure $RO(\tilde{s}_i)$ et de sa dérivée spatiale $DRO(\tilde{s}_i)$ pour chaque abscisse curviligne estimée $\tilde{s}_i$ lors de l'étape 22. Ces valeurs $RO(\tilde{s}_i)$ et $DRO(\tilde{s}_i)$ sont calculées par interpolation linéaire entre deux triplets adjacents (RO_j, DRO_j, s_j) extraits de la base de données 16.

Lors de cette même étape 22, une estimation de la mesure inertielle
10 $\tilde{y}(\tilde{s}_i)$ en chaque abscisse curviligne estimée $\tilde{s}_i$ est réalisée à l'aide de la relation $\tilde{y}(\tilde{s}_i) = RO(\tilde{s}_i) \cdot \tilde{V}(t_i)$.

Lors de l'étape 24 suivante, le calculateur 14 procède au calcul de la dérivée de l'abscisse observée $\dot{s}(\hat{s}_1)$ et de la dérivée de l'erreur relative sur la vitesse mesurée $\dot{e}(\hat{s}_1)$ au niveau du point 1 de la fenêtre d'observation T_o par la méthode
15 mathématique d'observateurs d'état à horizon glissant, dont la théorie est décrite dans l'article de Mazen ALAMIR publié de la revue « International Journal of Control » de 1999, volume 72, N°13, pages 1204 à 1217.

Le calcul de $\dot{s}(\hat{s}_1)$ et $\dot{e}(\hat{s}_1)$ est effectué à partir des relations suivantes, obtenues par l'application de la méthode mathématique défini ci-dessus à la localisation
20 du véhicule ferroviaire :

$$\begin{bmatrix} \dot{s}(\hat{s}_1) \\ \dot{e}(\hat{s}_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1 + e(\hat{s}_0)) \cdot V_m(t_1) \\ 0 \end{bmatrix} - k \cdot G^T \cdot (G \cdot G^T + \alpha)^{-1} \cdot \sqrt{J},$$

$$\text{avec } G = \begin{bmatrix} G_1 & G_2 \end{bmatrix} \text{ où } G_1 = \sum_{i=1}^N \chi_{1i} \cdot DT_o, \quad G_2 = \sum_{i=1}^N (\chi_{1i} \cdot V_m(t_i) + \chi_{2i}) \cdot DT_o$$

$$\text{et } J = \sum_{i=1}^N \left(\tilde{V}(t_i) \cdot RO(\tilde{s}_i) - y(t_i) \right)^2 \cdot DT_o,$$

Les variables intermédiaires χ_{1i} et χ_{2i} étant déterminées par les relations :

$$25 \quad \chi_{1i} = 2 \cdot \left(RO(\tilde{s}_i) \cdot \tilde{V}(t_i) - y(t_i) \right) \cdot \tilde{V}(t_i) \cdot DRO(\tilde{s}_i),$$

$$\chi_{2i} = 2 \cdot (RO(\tilde{s}_i) \cdot \tilde{V}(t_i) - y(t_i)) \cdot V_m(t_i) \cdot RO(\tilde{s}_i),$$

Et k et α sont des paramètres qui, à titre d'exemple, peuvent être égale à $k = \frac{0,2}{\sqrt{DT_0}}$ pour garantir que l'observateur réalise une estimation avec une erreur minime et $\alpha = 1$ pour garantir une stabilité en ligne droite.

5 Le calcul de $\dot{s}(\hat{s}_1)$ et $\dot{e}(\hat{s}_1)$ permet ensuite d'obtenir, par intégration temporelle, la valeur de $\hat{s}_1$ corrigée ainsi que la valeur $e(\hat{s}_1)$ correspondant respectivement à l'abscisse corrigée et à l'erreur relative sur la vitesse au niveau du point 1 de la fenêtre d'observation T_0 .

10 Ces valeurs $\hat{s}_1$ et $e(\hat{s}_1)$ extraite de l'étape 24 sont ensuite réinjectées à l'entrée de la première étape 18 de calcul pour être utilisées au cours de l'itération de calcul suivante, les valeurs $\hat{s}_1$ et $e(\hat{s}_1)$ ainsi obtenues correspondant aux valeurs de $\hat{s}_0$ et $e(\hat{s}_0)$ utilisées dans la nouvelle itération de calcul pour laquelle la fenêtre d'observation T_0 à été décalée de manière à faire correspondre le point de départ $i=0$ de la nouvelle fenêtre d'observation avec le point $i=1$ de la fenêtre d'observation précédente.

15 Un tel procédé de localisation présente l'avantage de localiser avec une bonne précision le véhicule ferroviaire à chaque instant t_N de mesure.

20 Le procédé de localisation selon l'invention peut être avantageusement utilisé dans un procédé de commande servant à commander des éléments pilotés de véhicule ferroviaire nécessitant un pilotage en phase avec la géométrie de la voie ferrée, tels que des éléments de pendulation, une suspension transversale active ou bien encore des profils de vitesse imposée au véhicule.

25 On conçoit que l'invention qui vient d'être décrite présente l'avantage d'être économique à mettre en œuvre, en ne nécessitant qu'un seul capteur inertiel à bord du véhicule, la vitesse approximative du véhicule et une base de données contenant une caractéristique géométrique propre à la voie.

Bien entendu, l'invention n'est nullement limitée à l'exemple précédemment décrit dans lequel nous avons supposé que la vitesse variait lentement et

donc que la dérivée de l'erreur relative sur la vitesse était nulle sur la fenêtre d'observation T_0 , ceci afin de simplifier les calculs. Au contraire, le procédé de localisation peut utiliser de manière plus générale la théorie des observateurs d'état à horizon glissant et tenir compte de variations plus rapides de la vitesse à l'aide des

5 équations suivantes :

$$\begin{pmatrix} \dot{s} \\ \dot{e} \\ \dot{f} \\ \vdots \\ \dot{j} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1+e) \cdot V_m \\ f \\ g \\ \vdots \\ \|RO \cdot \dot{s} - y\|^2 \end{pmatrix} - k \cdot G^T \cdot (G \cdot G^T + \alpha)^{-1} \cdot \sqrt{J}$$

où $\dot{e}, \dot{f}, \dot{g} \dots$ représentent les dérivées successives de l'erreur relative e sur la vitesse, avec $f = \dot{e}, g = \dot{f}$, et ainsi de suite.

Et k et α sont des paramètres réglables.

10 et G est le gradient du critère J en fonction de l'état du système qui est donné par la solution A de l'équation matricielle différentielle suivante :

$$\dot{A} = \begin{pmatrix} 0 & V_m & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \chi_1 & \chi_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot A \quad \text{et} \quad A(0) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & 1 \end{pmatrix}$$

$$\text{avec } \chi_1 = \frac{\delta J}{\delta s} = 2 \cdot (RO \cdot \dot{s} - y) \cdot \dot{s} \cdot DRO$$

$$\chi_2 = \frac{\delta J}{\delta e} = 2 \cdot (RO \cdot \dot{s} - y) \cdot V_m \cdot RO$$

15

Ainsi, si l'on prend le cas d'un observateur d'ordre 0, c'est à dire que $\dot{e} = 0$ sur la fenêtre d'observation T_0 on retrouve alors les relations utilisées dans le mode particulier de réalisation précédemment décrit, soit :

$$G^T = \int_0^{T_0} \begin{pmatrix} \chi_1 \\ \chi_1 \cdot V_m + \chi_2 \end{pmatrix} \cdot dt$$

20

Dans le cas d'un observateur d'ordre 2, c'est à dire que $\dot{g} = 0$ sur la

fenêtre d'observation T_o , on obtient alors la relation

$$G^T = \int_0^{T_o} \left| \begin{array}{c} \chi_1 \\ \chi_1 \cdot V_m + \chi_2 \\ \chi_1 \cdot \int_0^t (V_m(\tau) \cdot \tau \cdot d\tau) + \chi_2 \cdot t \\ \frac{1}{2} \cdot \chi_1 \cdot \int_0^t (V_m(\tau) \cdot \tau^2 \cdot d\tau) + \frac{1}{2} \cdot \chi_2 \cdot t^2 \end{array} \right| \cdot dt$$

REVENDICATIONS

1) Procédé de localisation d'un véhicule ferroviaire sur une voie ferrée, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- 5 - mesure de la vitesse du véhicule en différents instants par des moyens (13) donnant une valeur approximative de la vitesse réelle du véhicule ;
- mesure d'une grandeur inertielle en différents instants à l'aide d'un seul capteur inertielle (12) disposé à bord du véhicule, ladite grandeur inertielle étant choisie de manière à dépendre uniquement de la vitesse du véhicule et d'une caractéristique géométrique propre à la voie ;
- 10 - calcul de l'abscisse du véhicule sur la voie, au moyen d'un procédé algorithmique convergent basé sur un observateur non linéaire, à partir de la connaissance en différents instants précédents l'instant où l'on souhaite localiser le véhicule, des mesures de la vitesse approximative du véhicule, des mesures de ladite grandeur inertielle et d'une base de données (16) dans laquelle sont stockées ladite
- 15 caractéristique géométrique propre de la voie et sa dérivée spatiale pour différentes abscisses curvilignes, ladite base de données étant obtenue par un apprentissage préalable.

2) Procédé de localisation d'un véhicule ferroviaire sur une voie ferrée selon la revendication 1, dans lequel $\hat{s}_i$ représente l'abscisse curviligne du véhicule à l'instant t_i , caractérisé en ce que :

- 20 - la mesure de la vitesse V_m du véhicule est effectuée à intervalles de temps constant DT_o , lesdites mesures de la vitesse $V_m(t_i)$ étant effectuées aux instants t_i , $i \in [1, N]$ d'une fenêtre temporelle d'observation T_o précédant l'instant t_N de mesure où l'on souhaite localiser le véhicule et étant stockées dans une mémoire ;
- 25 - on stocke dans une mémoire les mesures de la grandeur inertielle $y(t_i)$ effectuée à bord du véhicule pour les différents instants t_i ;

et en ce qu'on calcule par itérations successives une abscisse curviligne estimée $\tilde{s}_N$ du véhicule à l'instant t_N , chaque nouvel instant de mesure t_N engendrant une nouvelle itération de calcul pour laquelle la fenêtre d'observation T_o est décalée d'un

30 intervalle DT_o de manière à faire correspondre le point de départ $i=0$ de la nouvelle

fenêtre d'observation T_o avec l'abscisse du point de mesure $i=1$ de la fenêtre d'observation T_o de l'itération précédente, ladite abscisse curviligne estimée $\tilde{s}_N$ étant calculée à l'aide de la relation :

$$\tilde{s}_N = \hat{s}_0 + \sum_{i=1}^{i=N} \tilde{V}_i \cdot DT_o, \text{ avec } \tilde{V}_i = (1 + e(\hat{s}_0)) \cdot Vm(t_i)$$

- 5 où $\tilde{V}_i$ est la vitesse corrigée du véhicule à chaque instant t_i de la fenêtre d'observation T_o , $e(\hat{s}_0)$ est l'erreur relative sur la vitesse et $\hat{s}_0$ est l'abscisse curviligne corrigée du point de départ de la fenêtre d'observation T_o , $e(\hat{s}_0)$ et $\hat{s}_0$ étant obtenues, à l'itération précédente, par le procédé algorithmique convergent basé sur un observateur non linéaire à partir des mesures de la vitesse $Vm(t_i)$, de la seule
10 grandeur inertielle $y(t_i)$ à chaque instant t_i et de la caractéristique géométrique $RO(\tilde{s}_i)$ et de sa dérivée spatiale $DRO(\tilde{s}_i)$ au niveau de l'abscisse curviligne $\tilde{s}_i$ estimée par $\tilde{s}_i = \hat{s}_0 + \sum_{n=1}^i \tilde{V}_n \cdot DT_o$.

- 3) Procédé de localisation d'un véhicule sur une voie selon l'une quelconque des revendications 1 à 2, caractérisé en ce que la base de données (16) contient des
15 triplets (s_j, RO_j, DRO_j) obtenus par la mesure de la grandeur inertielle $y(t_j)$ en différentes abscisses s_j lors d'un passage préalable d'un véhicule le long de la voie dans des conditions de fonctionnement garantissant une connaissance précise des données desdits triplets.

- 4) Procédé de localisation d'un véhicule sur une voie selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'en une abscisse $\tilde{s}_i$ estimée quelconque de la voie, les valeurs
20 des caractéristiques géométriques $RO(\tilde{s}_i)$ et de la dérivée spatiale $DRO(\tilde{s}_i)$ sont calculées par interpolation entre deux triplets (s_j, RO_j, DRO_j) stockés dans la base de données.

- 5) Procédé de localisation d'un véhicule sur une voie selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que ledit capteur inertiel (12) est un
25 gyromètre de lacet.

- 6) Procédé de localisation d'un véhicule sur une voie selon l'une quelconque des

revendications 1 à 4, caractérisé en ce que ledit capteur inertiel (12) est un gyromètre de roulis.

- 7) Procédé de localisation d'un véhicule selon l'une quelconque des revendications 2 à 6, caractérisé en ce que l'erreur relative $e(\hat{s}_1)$ sur la vitesse mesurée et l'abscisse corrigée $\hat{s}_1$ sont calculées sur chaque fenêtre d'observation T_0 à partir des équations d'observateurs d'état à horizon glissant suivantes :

$$\begin{pmatrix} \dot{s} \\ \dot{e} \\ \dot{f} \\ \dot{g} \\ \dot{j} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1+e) \cdot V_m \\ f \\ g \\ \cdot \\ \|RO \cdot \dot{s} - y\|^2 \end{pmatrix} - k \cdot G^T \cdot (G \cdot G^T + \alpha)^{-1} \cdot \sqrt{J}$$

où $\dot{e}, \dot{f}, \dot{g} \dots$ représentent les dérivées successives de l'erreur relative e sur la vitesse, et k et α sont des paramètres.

- et G est le gradient du critère J en fonction de l'état du système qui est donné par la solution A de l'équation matricielle différentielle suivante :

$$\dot{A} = \begin{pmatrix} 0 & V_m & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \chi_1 & \chi_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot A \quad \text{et} \quad A(0) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & 1 \end{pmatrix}$$

$$\text{avec } \chi_1 = \frac{\delta J}{\delta s} = 2 \cdot (RO \cdot \dot{s} - y) \cdot \dot{s} \cdot DRO$$

$$\chi_2 = \frac{\delta J}{\delta e} = 2 \cdot (RO \cdot \dot{s} - y) \cdot V_m \cdot RO$$

- 8) Procédé de localisation d'un véhicule sur une voie selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'on considère que la dérivée $\dot{e}(\hat{s}_0)$ de l'erreur relative sur la vitesse mesurée est nulle dans la fenêtre observation T_0 et en ce que l'erreur relative sur la vitesse $e(\hat{s}_1)$ et l'abscisse corrigée $\hat{s}_1$ de la fenêtre d'observation T_0 ,

correspondant respectivement à $e(\hat{s}_0)$ et $\hat{s}_0$ de la fenêtre d'observation T_o à l'itération de calcul suivante, sont calculées à partir des relations suivantes :

$$\begin{pmatrix} \dot{\hat{s}}_1 \\ \dot{e}(\hat{s}_1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1 + e(\hat{s}_0)) \cdot V_m(t_1) \\ 0 \end{pmatrix} - k \cdot G^T \cdot (G \cdot G^T + \alpha)^{-1} \cdot \sqrt{J} \quad \text{avec } k \text{ et } \alpha \text{ des paramètres}$$

réglables.

$$5 \quad G = \begin{bmatrix} G_1 & G_2 \end{bmatrix} \text{ où } G_1 = \sum_{i=1}^N \chi_{1i} \cdot DT_o \text{ et } G_2 = \sum_{i=1}^N (\chi_{1i} \cdot V_m(t_i) + \chi_{2i}) \cdot DT_o$$

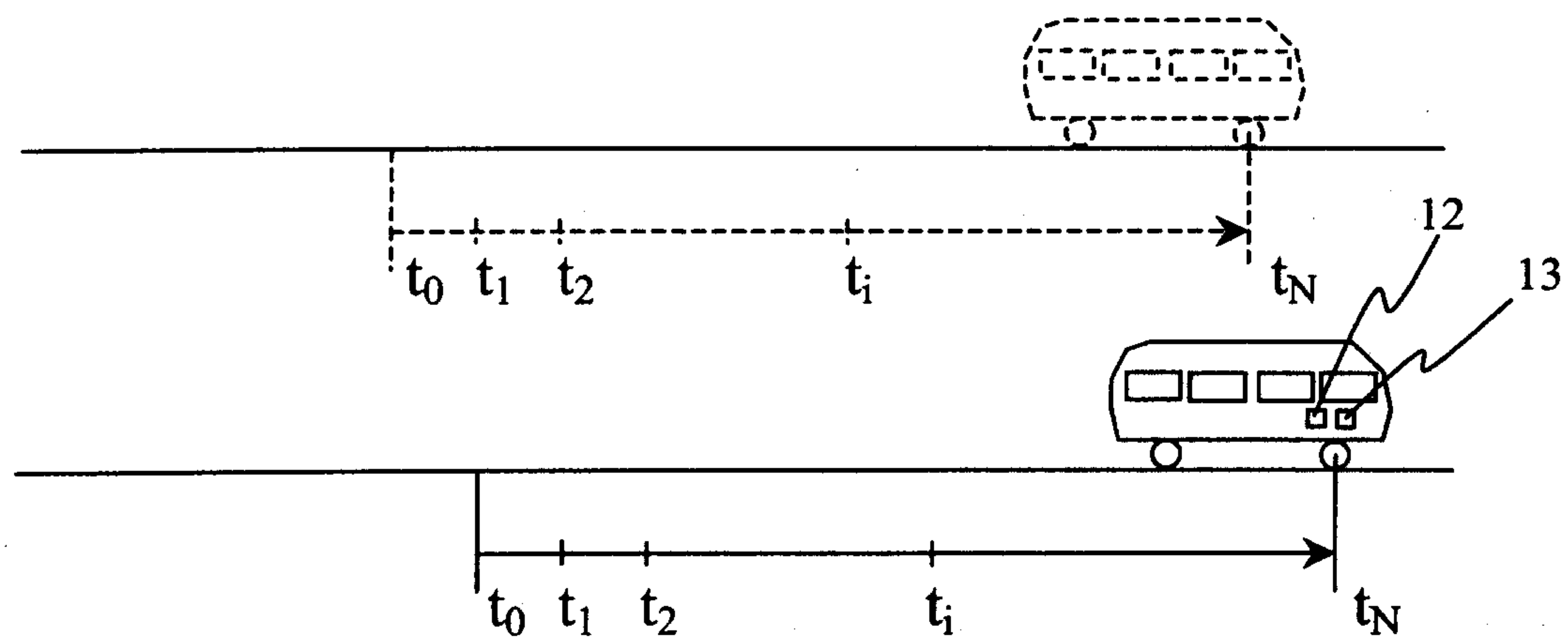
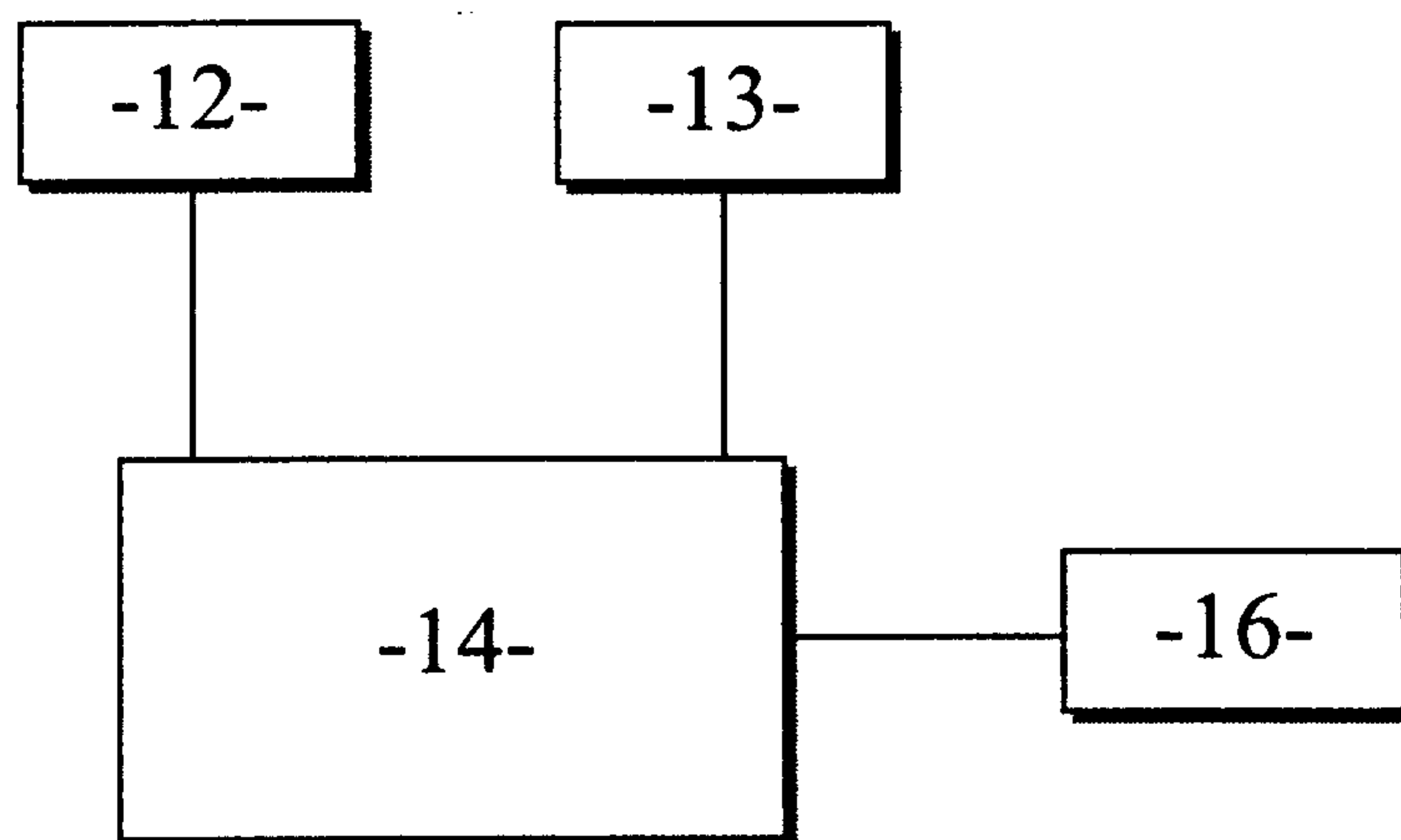
$$\text{et } J = \sum_{i=1}^N \left(\tilde{V}(t_i) \cdot RO(\tilde{s}_i) - y(t_i) \right)^2 \cdot DT_o$$

9) Procédé de localisation d'un véhicule sur une voie selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il est utilisé dans un procédé de commande servant à commander des éléments pilotés de véhicule ferroviaire nécessitant un pilotage en phase avec la géométrie de la voie tels que des éléments de pendulation, une suspension transversale active ou bien encore un profil de vitesse imposée au véhicule.

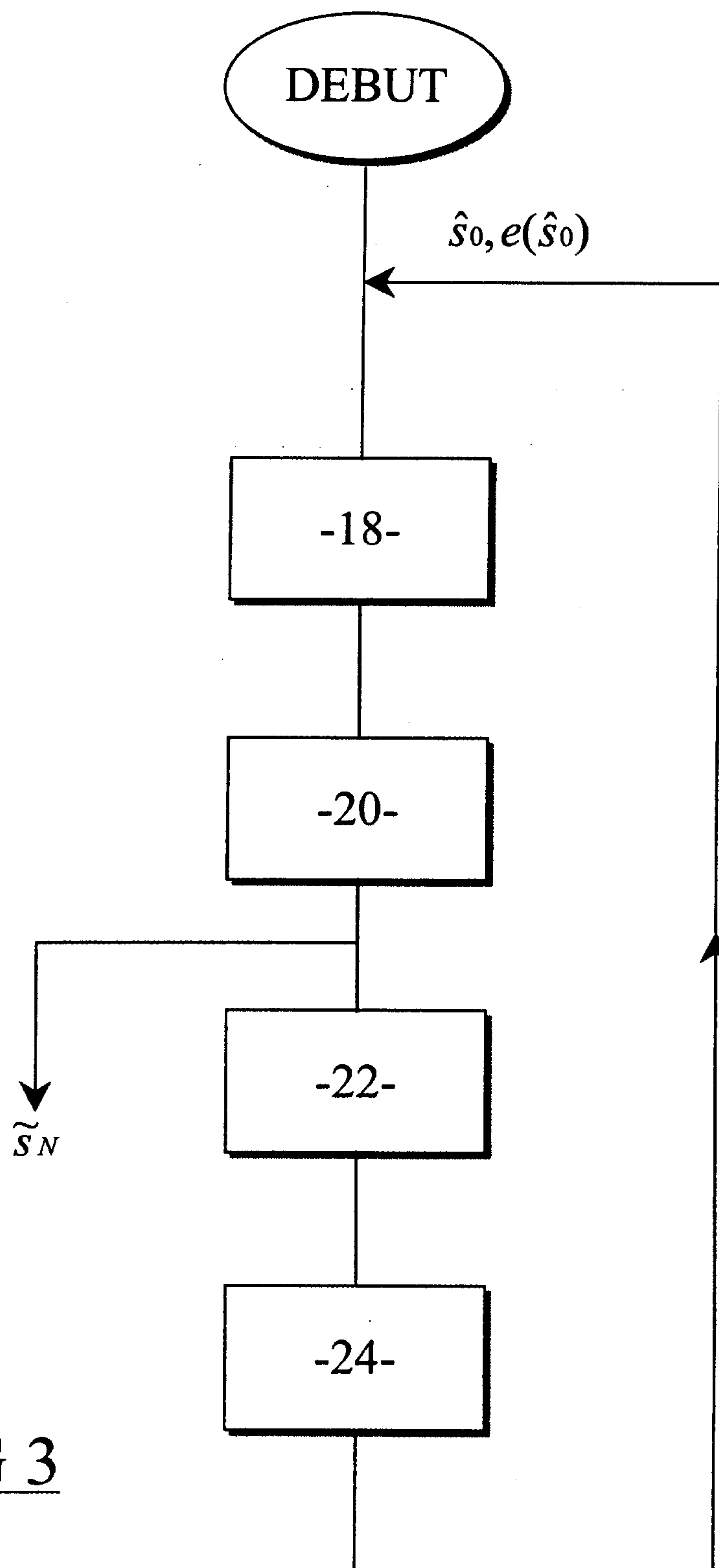
10) Dispositif pour la localisation d'un véhicule sur une voie mettant en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comporte :

- des moyens (13) de mesure donnant la vitesse approximative du véhicule ;
- un seul capteur (12) inertiel ;
- une base de données (16) dans laquelle sont stockés une caractéristique géométrique propre de la voie et sa dérivée spatiale pour différentes abscisses curvilignes de la voie ; et
- un calculateur recevant les informations des moyens (13) de mesure et du capteur (12), ledit calculateur étant relié à la base de données (16) pour calculer l'abscisse du véhicule sur la voie.

1 / 2

FIG 1FIG 2

2 / 2

FIG 3

