



DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
08.06.2016 Bulletin 2016/23

(51) Int Cl.:
B61L 23/04 (2006.01) **B61L 27/00** (2006.01)
B61L 15/00 (2006.01) **B61L 25/02** (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **15197819.4**

(22) Date de dépôt: **03.12.2015**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
MA MD

(72) Inventeurs:
• **LE-CORRE, Frédéric**
95210 SAINT-GRATIEN (FR)
• **HALLONET, Frédéric**
17220 LA JARNE (FR)
• **FARGUETTE, Jean-Yves**
92500 RUEIL MALMAISON (FR)

(30) Priorité: **04.12.2014 FR 1461926**

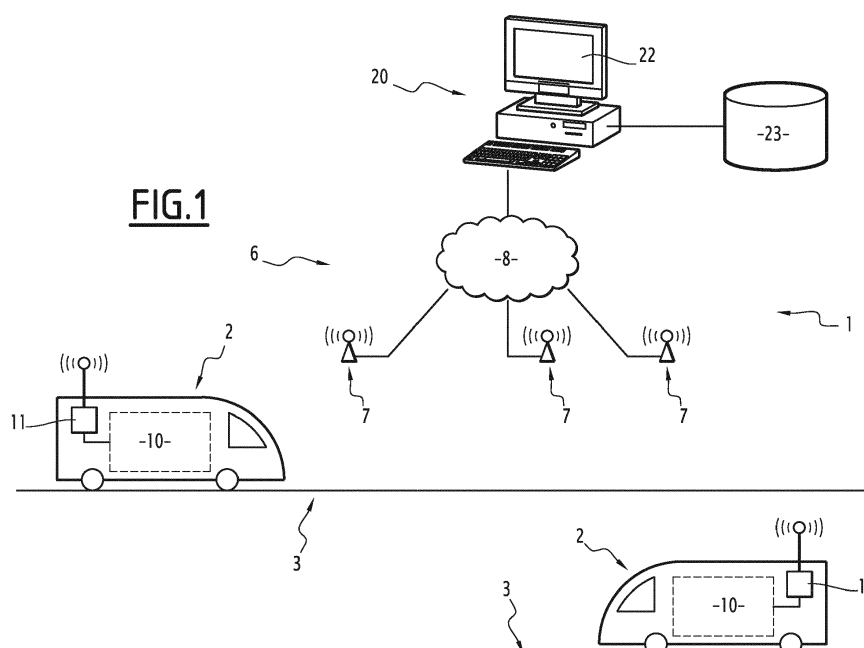
(74) Mandataire: **Blot, Philippe Robert Emile**
Cabinet Lavoix
2, place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)

(71) Demandeur: **ALSTOM Transport Technologies**
93400 Saint-Ouen (FR)

(54) **SYSTÈME DE SURVEILLANCE DES CONDITIONS D'EXPLOITATION D'UN TRAIN**

(57) Ce système (1) comporte une composante embarquée (10), intégrant un dispositif de géolocalisation, une pluralité de capteurs et au moins un module de mise en forme des signaux bruts de mesure délivrés par un ou plusieurs desdits capteurs pour générer au moins un signal formaté, et une composante au sol (20), intégrant un calculateur propre à analyser ledit au moins un signal formaté, pour générer au moins un indicateur relatif à la

voie et/ou au matériel roulant, ledit indicateur permettant de détecter des dommages et de suivre leurs variations de manière à optimiser une maintenance de la voie et/ou du matériel roulant. Le calculateur est un module de dommage propre, à partir dudit au moins un signal formaté et d'un modèle du type de dommage surveillé, à calculer ledit indicateur de dommages.



Description

[0001] La présente invention concerne un système de surveillance des conditions d'exploitation d'un train.

[0002] Le dimensionnement d'un train repose sur des hypothèses relatives aux conditions dans lesquelles il est prévu d'exploiter ce train. Sont par exemple pris en compte le profil de mission envisagé pour le train, la qualité de la voie ferrée sur laquelle le train sera amené à circuler, la masse des passagers transportés, les distances à parcourir, les effets de souffle lors de passages en tunnel ou de croisements avec d'autres trains, etc.

[0003] Ces hypothèses sont définies très en amont de la phase d'exploitation du train, si bien que les conditions d'exploitation réelles peuvent différer de ces hypothèses initiales.

[0004] De plus, la volonté européenne d'étendre les profils de mission, la dégradation progressive des voies, l'ouverture de nouvelles lignes sur lesquelles le train circule, la fréquentation plus élevée, etc. font que l'exploitation réelle d'un train s'écarte énormément des hypothèses initialement formulées.

[0005] Ces écarts influent directement sur le vieillissement du train et, par conséquent, sur sa maintenance et sur sa garantie, aussi bien en termes de sécurité que d'obligations contractuelles.

[0006] Il est donc nécessaire de créer une base de connaissances permettant le suivi des conditions d'exploitation réelles d'un train, ou plus généralement d'une flotte de trains, pour garantir la durée de vie du matériel et permettre la conception en fiabilité de nouveaux trains.

[0007] L'article de H. Tsunashima et al, "Japanese Railway Condition Monitoring Of Tracks Using In-Service Vehicle", CBM conference 2011, divulgue un système de surveillance de l'état d'une voie ferrée. Un train est équipé de différents capteurs permettant par exemple de détecter une irrégularité dans la voie à partir de l'accélération verticale et de l'accélération latérale de la caisse du train (l'angle de roulis de la caisse étant mesuré en utilisant un gyroscope afin de faire la distinction entre une irrégularité de la voie et une irrégularité du terrain), ou, par exemple encore, de détecter une usure ondulatoire des rails à partir du bruit mesuré en cabine et le calcul d'un pic spectral. Le train est également équipé d'un système comportant un dispositif de positionnement par satellites, du type GPS, propre à mettre en oeuvre un algorithme de localisation du train sur une carte géographique pour identifier la localisation précise du train et, par conséquent, celle d'un défaut détecté par les capteurs embarqués.

[0008] Le document US 8 504 225 B2 divulgue un procédé de détermination d'une durée de vie restante pour un composant d'un véhicule ferroviaire exploité sur une voie connue. Le train est équipé de différents capteurs permettant, au cours de l'exploitation normale du train, l'acquisition de mesures. En particulier, le train est équipé d'un dispositif de localisation par satellites permettant d'étiqueter géographiquement les mesures acquises par

les capteurs embarqués. Ces mesures sont ensuite transmises à un central de traitement distant, au sol, propre à agréger les mesures reçues au cours du temps et à mettre à jour en conséquence la valeur d'une durée de vie restante d'un composant du train.

[0009] La présente invention a pour but de proposer un système de surveillance amélioré.

[0010] À cet effet, l'invention a pour objet un système de surveillance des conditions d'exploitation d'un véhicule ferroviaire, comportant une composante embarquée, intégrant un dispositif de géolocalisation, une pluralité de capteurs et au moins un module de mise en forme des signaux bruts de mesure délivrés par un ou plusieurs desdits capteurs pour générer au moins un signal formaté, et une composante au sol, intégrant un calculateur propre à analyser ledit au moins un signal formaté, pour générer au moins un indicateur relatif à la voie et/ou au matériel roulant, ledit indicateur permettant de détecter des dommages et de suivre leurs variations de manière à optimiser une maintenance de la voie et/ou du matériel roulant, caractérisé en ce que le calculateur est un module de dommage propre, à partir dudit au moins un signal formaté et d'un modèle du type de dommage surveillé, à calculer ledit indicateur de dommages.

[0011] Suivant d'autres aspects avantageux de l'invention, le procédé comprend une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- la composante au sol comporte un module de variation de dommage propre, à partir de plusieurs valeurs de l'indicateur de dommage obtenues en sortie du calculateur de dommage, à calculer une variation dudit indicateur.
- la composante au sol comporte un module de réduction utilisant une matrice d'occurrences prenant en entrée ledit au moins un signal formaté, le module de dommage utilisant en entrée ladite matrice.
- un module de supervision propre à comparer, à chaque instant, la valeur d'un dommage calculée par le module de dommage et/ou la valeur d'une variation de dommage calculée par le module de variation de dommage, par rapport à un seuil d'alerte, et, en cas de dépassement dudit seuil d'alerte, le module de supervision est propre à générer une alerte.
- le système comporte une base de données de stockage des dommages et/ou variations de dommage, de préférence étiquetés en fonction du temps et/ou de la localisation géographique.

[0012] L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en se référant aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique de l'architecture matérielle du système selon l'invention ;
- la figure 2 est une représentation schématique de la

composante embarquée du système de la figure 1 ;
et,

- la figure 3 est une représentation du traitement effectué par le système de la figure 1.

[0013] De manière générale le système de surveillance 1 selon l'invention comporte une composante embarquée 10 et une composante au sol 20, les données collectées par la composante embarquée 10 étant communiquées à la composante au sol 20, via une infrastructure de radiocommunication 6.

[0014] De manière connue en soi, l'infrastructure de communication 6 comporte, à bord de chaque train de la flotte, un module de transmission 11 propre à établir une communication sans fil avec une station de base 7, elle-même connectée à un réseau filaire 8. La composante au sol 20 étant connectée par ailleurs au réseau 8.

[0015] La composante embarquée 10 comporte un dispositif de géolocalisation et une pluralité de dispositifs de mesure couplés à une pluralité de capteurs de manière à effectuer des mesures en temps réel et en continu de plusieurs grandeurs physiques pertinentes. Ces grandeurs physiques sont géolocalisées et transmises à la composante au sol.

[0016] La composante au sol 20 permet le traitement en temps réel des mesures de ces grandeurs physiques pertinentes pour une surveillance à moyen et long terme évaluer des indicateurs de dommage et de variation de dommage et pour une surveillance à court terme détecter des événements exceptionnels.

[0017] Comme représentée sur la figure 2, pour chaque train 2 d'une flotte de trains, la composante embarquée 10 comporte une pluralité de capteurs 12. Ces capteurs sont éventuellement redondés. Ils sont choisis pour leur pertinence dans la mesure de l'état instantané d'exploitation d'un composant particulier du train 2, de la voie ferrée 3, ou de la caténaire (non représentée sur les figures), etc. Ce choix peut résulter d'une première campagne d'essais, permettant la sélection d'un groupe de capteurs dans un large choix de capteurs possibles.

[0018] Comme représenté sur la figure 2, un capteur peut être un accéléromètre 12.1, un moyen optique de surveillance de la voie 12.2, un capteur de mesure du courant 12.3, un accéléromètre 12.4, un moyen d'imagerie de la surface d'un rail 12.5, un accéléromètre 12.6, un moyen d'imagerie des soudures entre rails 12.7, une caméra 12.8, un système laser 12.9, etc.

[0019] La composante embarquée 10 comporte plusieurs modules 14 de conditionnement des signaux bruts délivrés par les différents capteurs 12. Un module 14 permet d'associer, au moyen d'une fonction mathématique adaptée, plusieurs signaux bruts entrant pour générer un signal formaté en sortie, propre à être exploité directement par des modules de la composante au sol 20, comme ceci sera décrit ci-après.

[0020] Par exemple sur la figure 2, le module 14.1 permet de générer un signal formaté correspondant à l'état instantané de la voie ferrée. Ce signal est élaboré à partir

des signaux bruts délivrés par les capteurs 12.1 et 12.2.

[0021] Par exemple encore, le module 14.2 permet de générer un signal formaté correspondant à l'état instantané de la surface d'un rail. Ce signal est élaboré à partir des signaux bruts délivrés par les capteurs 12.3 à 12.5.

[0022] Par exemple encore, le module 14.3 permet de générer un signal formaté correspondant à l'état instantané des soudures entre deux rails successifs. Ce signal est élaboré à partir des signaux bruts délivrés par les capteurs 12.6 et 12.7.

[0023] Par exemple encore, le module 14.4 permet de générer un signal formaté correspondant à l'état instantané de dilatation des soudures entre deux rails successifs. Ce signal est également élaboré à partir des signaux bruts délivrés par les capteurs 12.6 et 12.7.

[0024] Par exemple encore, le module 14.5 permet de générer un signal formaté correspondant à l'état instantané de la caténaire. Ce signal est élaboré à partir des signaux bruts délivrés par les capteurs 12.8 et 12.9.

[0025] Ces signaux formatés sont transmis à la composante au sol 20 via l'infrastructure de radiocommunication 6.

[0026] Avantagusement, chaque module 14 comporte une mémoire tampon permettant l'enregistrement des signaux entrant sur une fenêtre de temps paramétrable. Cette fenêtre possède par exemple une durée de quelques heures de manière à permettre une reprise du traitement des signaux bruts en cas par exemple d'une interruption de la communication bord/sol.

[0027] La composante embarquée 10 comporte également un module 13 de localisation par satellites du type GPS, de manière à pouvoir étiqueter géographiquement les signaux formatés délivrés à chaque instant par les différents modules 14.

[0028] La composante au sol 20 est par exemple constituée par un ordinateur central 22, tel que représenté sur la figure 1.

[0029] Cet ordinateur central 22 est propre à exécuter différents modules logiciels 24, pour la mise en oeuvre du procédé représenté sur la figure 3.

[0030] Ainsi, l'ordinateur central 22 comporte un module 24.1 de réduction en temps réel du flux de données, qui permet de réduire considérablement la quantité de données correspondant aux signaux formatés en provenance de la composante embarquée 10 d'un train 2 particulier.

[0031] Pour ce faire, le module 24.1 est propre à tenir compte d'un signal formaté en fonction de son amplitude. Plus précisément, le module 24.1 utilise une matrice d'occurrences M, qui est une matrice carrée à N colonnes Ci. Par exemple la matrice M est une matrice 64x64. Une colonne Ci correspond à un signal formaté particulier, chaque élément $m_{i,j}$ de la colonne Ci étant associé à un intervalle d'amplitude maximum dj du signal formaté correspondant. La valeur de l'élément $m_{i,j}$ est égal au nombre d'occurrences du signal formaté associé à la colonne Ci dont l'amplitude maximum se situe dans l'intervalle dj. La matrice d'occurrences M permet de comptabiliser,

pour chaque type de signal formaté, les différentes formes du signal formaté. La matrice M sera exploitée pour une surveillance à moyen ou long terme d'un composant par un calculateur 70 propre à calculer les dommages D affectant le train surveillé.

[0032] L'ordinateur central 22 comporte un module 24.2 de détection d'événements exceptionnels E pour la surveillance à court terme. Un événement exceptionnel E est défini lors du dépassement par un signal formaté donné d'un seuil en amplitude. Ce seuil a été préalablement défini par un opérateur lors de la configuration du système de surveillance, via une interface utilisateur. Avantagusement, ce seuil est une fonction de la position du train le long de la voie par rapport à une origine prédéfinie. En définissant un seuil élevée pour un intervalle de positions le long de la voie où l'on sait qu'il existe un défaut, et un seuil faible ailleurs, il est possible de détecter la survenue de nouveaux défauts sur la voie.

[0033] L'ordinateur central comporte un module 24.3 de reconnaissance de la voie sur laquelle circule le train 2 à l'instant courant, à partir de la position instantanée P délivrée par le module de localisation par satellites 13 du train 2 et d'un ensemble de cartographies du réseau ferroviaire sur lequel le train est amené à circuler.

[0034] L'ordinateur central 22 comporte un module de dommage 24.4 propre à calculer, à partir de la valeur courante de la matrice d'occurrences M, maintenue à jour par le module 24.1 et des informations de position géographique du train et de reconnaissance de la voie tenues à jour par le module 24.3, une grandeur D relative à un dommage mécanique pouvant affecter un composant surveillé. Le module 24.4 utilise pour cela un modèle de fatigue du composant surveillé. Ce modèle est choisi dans un catalogue de modèles possibles, en fonction du type de dommages que l'on surveille : dommage dû aux passages en tunnel, dommage dû aux croisements en plein air, etc.

[0035] L'ordinateur central 22 comporte un module de variation de dommage 24.5 propre à calculer, par rapport au temps ou à la distance parcourue par le train, ou encore pour une voie ou un profil de voie donné, une variation d'un dommage D à partir d'une pluralité de valeurs de la grandeur de dommage D en sortie du module 24.4.

[0036] L'ordinateur central 22 comporte une interface homme/machine permettant à un opérateur d'interagir avec le système, par exemple pour définir les valeurs de seuil d'alerte pour les dommages ou leurs variations et des seuils pour la définition des événements exceptionnels, ou encore pour l'initialisation de la matrice d'occurrences M.

[0037] L'ordinateur central 22 comporte un module 26 de supervision propre à comparer, à chaque instant, la valeur d'un dommage D ou la valeur d'une variation de dommage ΔD par rapport à un seuil d'alerte. En cas de dépassement de ce seuil d'alerte, le module 26 est propre à générer une alerte de maintenance.

[0038] Enfin, la composante au sol comporte une base de données 23 enregistrant :

- les différents dommages D calculés par le module de calcul de dommage 24.4 et le module de calcul de variations : dommage absolu, relatif, par voie, etc.
- les variations premières et éventuellement secondes des dommages, par rapport à la distance parcourue ou au temps ou à d'autres paramètres. Ceci permet de caractériser la vitesse de dégradation et donc de prévoir la prochaine phase de maintenance du matériel roulant et/ou de la voie concernée, et éventuellement détecter une accélération de la dégradation nécessitant une anticipation de la phase de maintenance pour réaliser une intervention rapide de nature à garantir la sécurité.

[0039] Les indicateurs calculés par le présent système sont plus pertinents que le seul kilométrage parcouru par le train.

[0040] Le système permet d'analyser à la fois les événements à durée de vie courte (défauts locaux d'appareils de voies générant des sollicitations anormales, accostages en sur-vitesse, mouvement de voies, etc.) et les événements à durée de vie longue (vieillessement des voies et du matériel).

[0041] Grâce à ces indicateurs, la durée de vie et/ou le pas de maintenance du train peut être optimisé(e), notamment en adaptant le profil de mission par rapport à un indicateur correspondant à un indice de sollicitation des voies.

[0042] De plus, des données factuelles sur la qualité des voies du réseau sont obtenues afin de procéder à l'entretien des voies.

[0043] Ainsi, cette surveillance permet de réaliser l'optimisation de la maintenance d'une flotte de trains et de détecter toute apparition de défauts de la voie dégradant anormalement le confort des passagers et la durée de vie du train.

[0044] Par ailleurs, le constructeur peut disposer d'éléments objectifs vis à vis d'une garantie sur le matériel. Les garanties contractuelles peuvent donc être assujetties à des clauses d'exploitations pouvant être surveillées par le système selon l'invention.

[0045] L'enrichissement progressif de la base de données permet à terme de définir des hypothèses d'exploitation plus réalistes pour le dimensionnement des futurs produits.

Revendications

1. Système (1) de surveillance des conditions d'exploitation d'un véhicule ferroviaire (2), comportant une composante embarquée (10) à bord dudit véhicule ferroviaire, intégrant un dispositif de géolocalisation (13), une pluralité de capteurs (12) choisis pour leur pertinence pour mesurer un état instantané d'exploitation d'un composant surveillé dudit véhicule ferroviaire, et au moins un module (14) de mise en forme des signaux bruts de mesure délivrés par un ou plu-

sieurs desdits capteurs pour générer au moins un signal formaté correspondant audit état instantané d'exploitation dudit composant surveillé, et une composante au sol (20), intégrant un calculateur propre à analyser ledit au moins un signal formaté, pour générer au moins un indicateur relatif audit composant surveillé, ledit indicateur permettant de détecter des dommages et de suivre leurs variations de manière à optimiser une maintenance dudit composant surveillé, **caractérisé en ce que** le calculateur est un module de dommage (24.4) propre, à partir dudit au moins un signal formaté et d'un modèle de fatigue dudit composant surveillé, à calculer ledit indicateur de dommage.

2. Système selon la revendication 1, dans lequel la composante au sol (20) comporte un module de variation de dommage (24.5) propre, à partir de plusieurs valeurs de l'indicateur de dommage obtenues en sortie du calculateur de dommage (24.4), à calculer une variation dudit indicateur.
3. Système selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel la composante au sol (20) comporte un module de réduction (24.1) utilisant une matrice d'occurrences (M) prenant en entrée ledit au moins un signal formaté, le module de dommage (24.4) utilisant en entrée ladite matrice.
4. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, comportant un module de supervision (26) propre à comparer, à chaque instant, la valeur de l'indicateur de dommage calculée par le module de dommage (24.4) et/ou la valeur d'une variation de l'indicateur de dommage calculée par le module de variation de dommage (24.5), par rapport à un seuil d'alerte, et, en cas de dépassement dudit seuil d'alerte, le module de supervision (26) est propre à générer une alerte.
5. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, comportant une base de données (23) de stockage des valeurs des indicateurs de dommage et/ou des indicateurs de variation de dommage, de préférence étiquetés en fonction du temps et/ou de la localisation géographique.

50

55

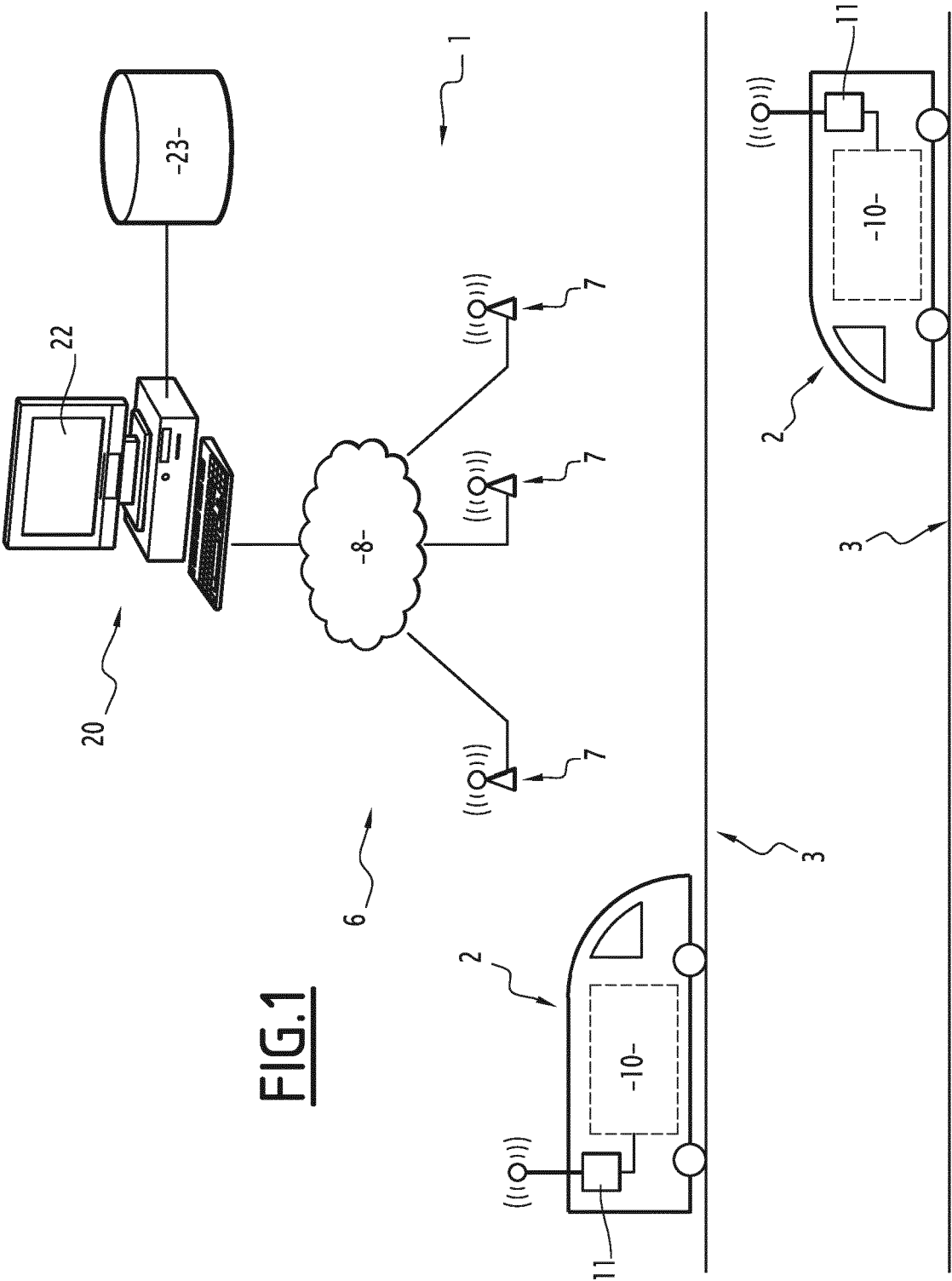


FIG.1

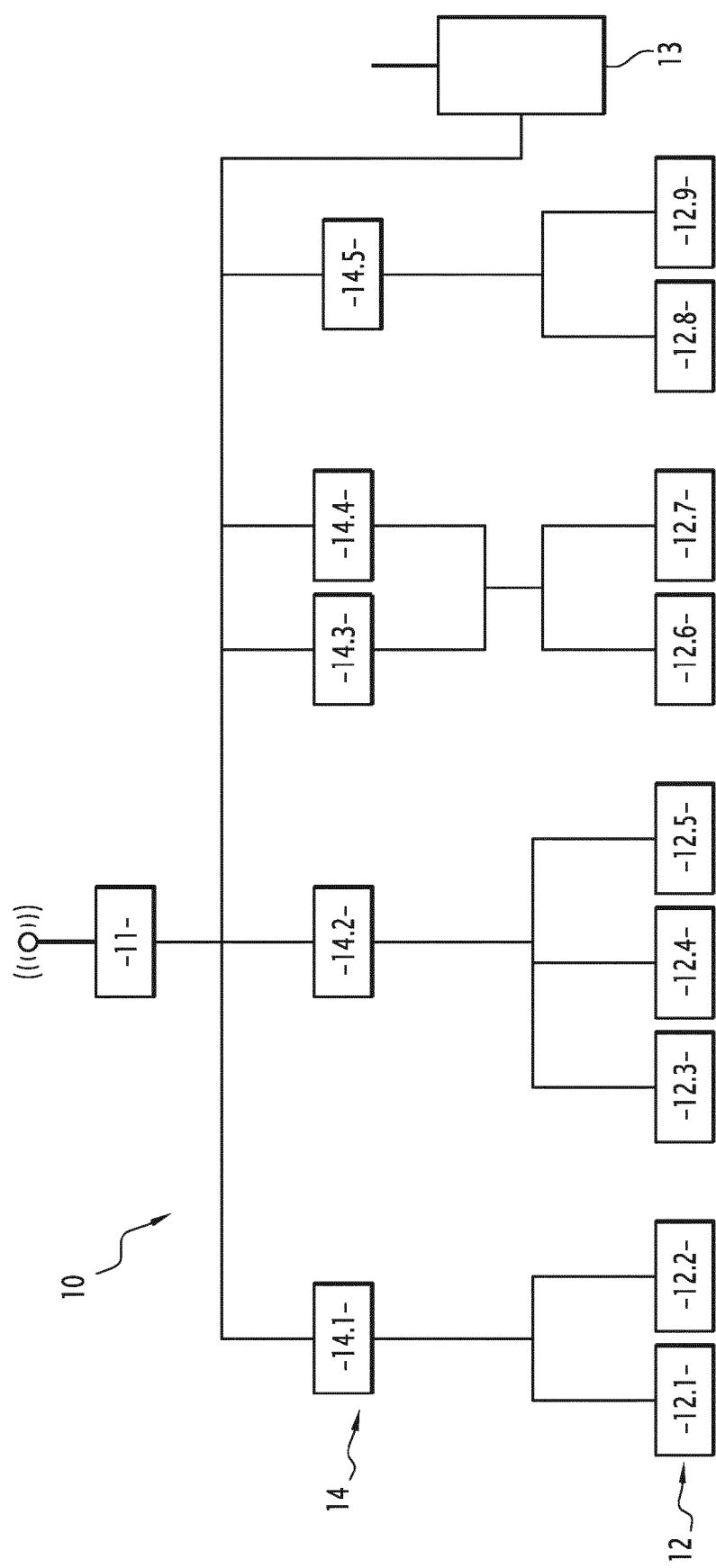


FIG.2

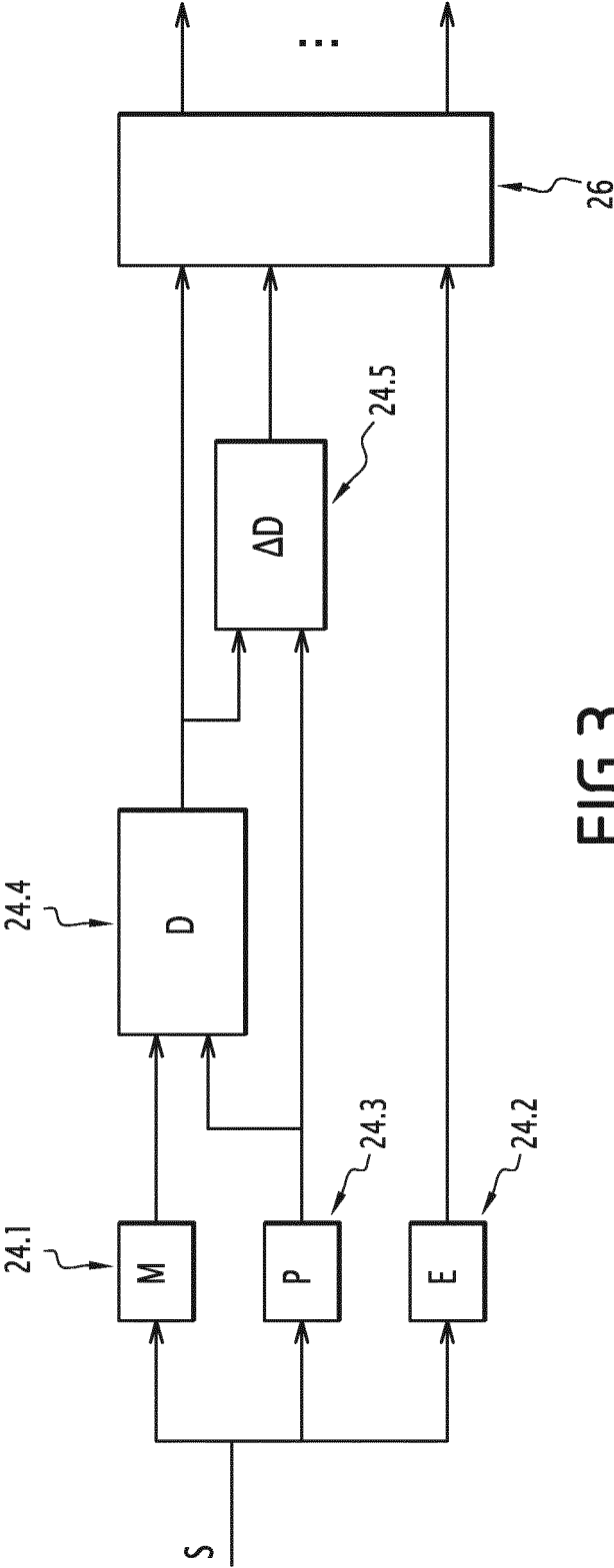


FIG. 3



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 15 19 7819

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	DE 10 2013 105397 A1 (DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT UND RAUMFAHRT E V [DE]) 27 novembre 2014 (2014-11-27) * alinéa [0037] - alinéa [0076]; figures 1-11 *	1-5	INV. B61L23/04 B61L27/00
X	US 2014/200827 A1 (BHATTACHARJYA DEBARUN [US] ET AL) 17 juillet 2014 (2014-07-17) * alinéas [0038] - [0096]; figures 2-9 *	1,2,5	ADD. B61L15/00 B61L25/02
X	WO 2013/121344 A2 (VENKATRAMAN BALAJI [IN]) 22 août 2013 (2013-08-22) * page 29, alinéa 2; figures 2,6 * * page 23, alinéa 3 - page 24, alinéa 1 *	1,5	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			B61L G05B
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 6 avril 2016	Examineur Mäki-Mantila, M
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES 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 antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 15 19 7819

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

06-04-2016

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 102013105397 A1	27-11-2014	AUCUN	
US 2014200827 A1	17-07-2014	US 2014200827 A1	17-07-2014
		US 2014200828 A1	17-07-2014
		US 2014200829 A1	17-07-2014
		US 2014200830 A1	17-07-2014
		US 2014200869 A1	17-07-2014
		US 2014200870 A1	17-07-2014
		US 2014200872 A1	17-07-2014
		US 2014200873 A1	17-07-2014
		US 2014200951 A1	17-07-2014
		US 2014200952 A1	17-07-2014
		WO 2014110099 A2	17-07-2014
WO 2013121344 A2	22-08-2013	US 2015009331 A1	08-01-2015
		WO 2013121344 A2	22-08-2013

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 8504225 B2 [0008]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **H. TSUNASHIMA et al.** Japanese Railway Condition Monitoring Of Tracks Using In-Service Vehicle. *CBM conference 2011* [0007]