

(19)



(11)

EP 2 339 318 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:

29.06.2011 Bulletin 2011/26

(51) Int Cl.:

G01M 15/05 ^(2006.01)**G01M 17/007** ^(2006.01)**G01R 31/00** ^(2006.01)**G07C 5/08** ^(2006.01)(21) Numéro de dépôt: **10306490.3**(22) Date de dépôt: **22.12.2010**

(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(30) Priorité: **23.12.2009 FR 0959513**

(71) Demandeurs:

- **ACTIA Automotive**
31400 Toulouse (FR)
- **Centre National de la Recherche Scientifique (C.N.R.S)**
75016 Paris (FR)

(72) Inventeurs:

- **Trave-Massuyes, Louise**
31460, CARAMAN (FR)
- **Ressencourt, Hervé**
31400, TOULOUSE (FR)
- **Poulard, Hervé**
31432, TOULOUSE CEDEX 4 (FR)
- **Thomas, Jérôme**
31432, TOULOUSE CEDEX 4 (FR)

(74) Mandataire: **Blot, Philippe Robert Emile**

Cabinet Lavoix
2, place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)

(54) **Procédé de diagnostic d'un dysfonctionnement d'un système mécatronique**

(57) Procédé de diagnostic d'un dysfonctionnement d'un système mécatronique, dans lequel :

- en réponse à l'observation d'un dysfonctionnement d'une fonction dudit système, on choisit un premier parmi une pluralité de tests (Ti) prédéterminés de ladite fonction,
- on met en oeuvre ledit premier test choisi (Ti) pour recueillir un signal temporel de test représentatif d'une première variable observable de ladite fonction,
- on compare le signal temporel de test recueilli à un ensemble de signaux temporels de référence associés chacun à l'un de plusieurs modes de dysfonctionnement

(Fi) connus de ladite fonction,

d) on sélectionne, par ressemblance entre ledit signal temporel de test et lesdits signaux de référence, auquel desdits signaux de référence correspond le signal temporel de test recueilli,

e) on identifie ledit dysfonctionnement observé si le signal de référence sélectionné est spécifique à un seul desdits modes de dysfonctionnement (Fi) connus, et

f) dans le cas contraire, on répète les étapes a) à d) avec un nouveau test (Ti) jusqu'à l'obtention d'une séquence de signaux de référence sélectionnés qui, pour les tests mis en oeuvre successivement, est spécifique à un seul desdits modes de dysfonctionnement connus.

	01		02		03		---
	C0	C1	C0	C1	C0	C1	---
F0	M11	M21	M31	M41	M51	M61	
F1	M12	M21	M31	M42	M52	M62	
F2	M11	M23	M31	M43	M52	M63	
F3	M13	M23	M32	M41	M53	M63	
---	---	---	---	---	---	---	---
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	

M

FIG.1

Description

[0001] La présente invention concerne un procédé de diagnostic d'un dysfonctionnement d'un système mécanique, un outil pour la mise en oeuvre de ce procédé, ainsi qu'un procédé de génération d'une table de signa-

[0002] L'électronique est utilisée dans l'industrie automobile pour la mise en oeuvre d'une multitude de fonctionnalités. Les systèmes électroniques embarqués dans les véhicules sont aujourd'hui architecturés autour d'Unités Electroniques de Contrôle (UEC). Ces UEC sont connectées les unes aux autres via des réseaux informatiques, généralement des réseaux ou bus CAN, et sont reliées aux systèmes physiques via des capteurs et des actionneurs.

[0003] Les composants physiques, qu'ils soient électroniques, mécaniques, hydrauliques ou thermiques par exemple, sont constamment surveillés et contrôlés par les UEC. Les UEC forment ainsi des systèmes de commande, et les composants physiques les systèmes commandés.

[0004] L'ensemble de l'électronique véhicule permet la réalisation de différentes fonctions, la réalisation d'une fonction pouvant nécessiter un ou plusieurs UEC. Cette notion de fonction est importante car c'est en termes de défaut sur cette fonction qu'un usager décrit son problème à un garagiste. C'est la première information que reçoit le garagiste. Une fonction est l'ensemble des ressources (UEC, partie de logiciel, réseaux, composants électroniques et mécaniques...) nécessaires à la réalisation d'une prestation.

[0005] La maintenance des véhicules, et notamment le diagnostic de panne en garage, est ainsi devenu un véritable problème. Les systèmes de diagnostic connus font appel à des méthodes basées sur la modélisation des composants physiques, qui déterminent des valeurs statiques, à comparer avec la mesure effectuée lors d'un test. Ces méthodes demeurent assez rudimentaires de sorte qu'aujourd'hui, dans les garages, le diagnostic des systèmes mécaniques basé sur ces méthodes repose principalement sur les connaissances du garagiste ou sur des arbres de diagnostic construits manuellement.

[0006] Il est indispensable de donner aux opérateurs des outils d'aide à la maintenance de plus en plus performants. La présente invention vise à proposer un procédé performant de diagnostic d'un système mécanique et un outil adapté à la mise en oeuvre de ce procédé.

[0007] A cet effet, la présente invention propose un procédé de diagnostic d'un système mécanique, suivant lequel :

- a) en réponse à l'observation d'un dysfonctionnement d'une fonction dudit système, on choisit un premier parmi une pluralité de tests (Ti) prédéterminés de ladite fonction,
- b) on met en oeuvre ledit premier test choisi (Ti) pour recueillir un signal temporel de test représentatif

d'une première variable observable de ladite fonction,

c) on compare le signal temporel de test recueilli à un ensemble de signaux temporels de référence associés chacun à l'un de plusieurs modes de dysfonctionnement (Fi) connus de ladite fonction,

d) on sélectionne, par ressemblance entre ledit signal temporel de test et lesdits signaux de référence, auquel desdits signaux de référence correspond le signal temporel de test recueilli,

e) on identifie ledit dysfonctionnement observé si le signal de référence sélectionné est spécifique à un seul desdits modes de dysfonctionnement (Fi) connus, et

f) dans le cas contraire, on répète les étapes a) à d) avec un nouveau test (Ti) jusqu'à l'obtention d'une séquence de signaux de référence sélectionnés qui, pour les tests mis en oeuvre successivement, est spécifique à un seul desdits modes de dysfonctionnement connus.

[0008] Grâce au procédé selon l'invention, la comparaison opérée entre un signal représentant l'évolution dans le temps d'une variable observable et un signal de référence permet, par la richesse des informations qu'elle met en jeu, de rendre compte avec une pertinence bien supérieure d'un beaucoup plus grand nombre de dysfonctionnements que la simple comparaison conventionnelle entre la valeur prise à un instant donné par cette variable observable et une valeur, une fourchette ou un seuil de référence. En effet, une telle comparaison selon l'état de la technique porte sur une valeur statique et ignore tout régime transitoire ou périodique.

[0009] Selon d'autres caractéristiques du procédé de diagnostic selon l'invention considérées seules ou en combinaison :

- on compare également ledit signal temporel de test à un signal de référence représentatif d'un mode de bon fonctionnement de ladite fonction ;
- le procédé comprend également une étape de sélection de l'un desdits signaux de référence en réponse à une observation directe par un opérateur de ladite variable observable (Oi).
- ladite variable observable (Oi) est un paramètre de ladite fonction ;
- ladite variable observable (Oi) est une grandeur physique mesurée sur un composant physique de ladite fonction;
- chaque test de ladite pluralité de tests (Ti) consiste à recueillir ledit signal de test dans une configuration donnée de ladite variable observable (Oi) ;
- ledit nouveau test porte sur ladite première variable observable (Oi) dans une configuration différente de celle dudit premier test ou sur une variable observable (Oi) différente de ladite première variable observable ;
- chacun desdits signaux de référence est représen-

tatif d'une classe d'équivalence (M_{ij}) de signaux de signature individuelle regroupés par ressemblance et dont chacun est la signature de l'une desdites variables observables dans une configuration donnée et un mode de fonctionnement donné ;

- lesdits signaux de référence sont stockés dans une table dans laquelle l'un desdits tests est associé à chacune desdites variables observables dans chacune de ses configurations, dans ses différents modes de fonctionnement anticipés.

[0010] L'invention concerne également un outil de diagnostic, pour la mise en oeuvre du procédé de diagnostic précité, comprenant un calculateur, au moins une mémoire, des moyens d'interface homme-machine comportant au moins des moyens d'affichage, et des moyens d'acquisition de variables dudit système reliés au calculateur, cet outil étant remarquable en ce que :

- lesdits signaux temporels de référence sont stockés dans ladite mémoire (6),
- ledit calculateur est adapté pour mettre en oeuvre ledit test et acquérir ledit signal temporel de test à partir desdits moyens d'acquisition,
- ledit calculateur est adapté pour remplir l'une au moins des deux fonctions comprenant :
- l'affichage dudit premier signal temporel de test et ledit ensemble de signaux de référence associés audit test,
- la comparaison dudit premier signal temporel de test avec ledit ensemble de signaux de référence associés audit test et la détermination de ladite classe d'équivalence dudit premier signal temporel de test.

[0011] Selon d'autres caractéristiques de l'outil de diagnostic selon l'invention considérées seules ou en combinaison :

- ledit premier signal temporel de test et ledit ensemble de signaux de référence associés audit test sont affichés sur lesdits moyens d'affichage pour permettre visuellement ladite comparaison par un opérateur
- la comparaison dudit premier signal temporel de test avec ledit ensemble de signaux de référence associés audit test est faite visuellement par l'opérateur, par l'intermédiaire des moyens d'affichage de l'outil ou, avantageusement, le calculateur est programmé pour opérer la comparaison dudit premier signal temporel de test avec ledit ensemble de signaux de référence associés audit test ;
- les moyens d'acquisitions de variables comportent un circuit électronique de diagnostic doté d'une prise de diagnostic, et/ou un circuit électronique de mesure de grandeurs physiques.

[0012] L'invention concerne en outre un procédé d'obtention d'une table de signatures pour la mise en oeuvre du procédé de diagnostic précité, ce procédé étant re-

marquable en ce que :

- on modélise l'ensemble des ressources nécessaires à la réalisation d'une fonction du système mécatronique,
- on simule un ensemble de tests de ladite fonction en mode de bon fonctionnement, et dans les divers modes de dysfonctionnement anticipés, pour toutes les configurations possibles des ressources de la fonction,
- on génère un signal de signature individuelle pour chacune des simulations, on compare ces signaux de signature individuelle entre eux,
- on regroupe, en fonction de leur ressemblance, lesdits signaux de signature individuelle en une pluralité de classes d'équivalence dont chacune est représentée par un signal de référence, et
- on construit ladite table en associant à chacun desdits modes de fonctionnement, pour chacun desdits tests, l'un desdits signaux de référence.

[0013] Selon d'autres caractéristiques du procédé d'obtention d'une table de signatures selon l'invention considérées seules ou en combinaison :

- la modélisation à l'étape i) est réalisée hiérarchiquement, et décomposée jusqu'aux composants élémentaires de la fonction ;
- la modélisation à l'étape i) est une modélisation causale des systèmes de commande, et une modélisation acausale des systèmes commandés.
- la simulation à l'étape ii) est réalisée uniquement pour des variables observables par l'opérateur.
- le regroupement des signaux de signature individuelle à l'étape v) est opéré par un algorithme de ressemblance de signaux.
- un signal temporel de référence représentatif d'une première classe d'équivalence doit être distinct du signal temporel de référence représentatif d'une deuxième classe d'équivalence, afin de pouvoir être distingués visuellement par le garagiste.

[0014] L'invention va maintenant être décrite plus en détails, seulement à titre d'exemple et de façon non limitative, en regard des figures annexées et dans lesquelles :

- les figures 1, 1a, 1 b sont des tables de signature selon un mode de réalisation de la présente invention ;
- les figures 2, 2a sont des représentations schématiques d'un outil de diagnostic selon l'invention ;
- la figure 3 est une représentation du modèle global de la fonction d'essuyage de la glace arrière d'un véhicule;
- la figure 4 est une représentation du modèle du calculateur habitacle de la fonction modélisé à la figure 3 ;

- la figure 5 est une représentation du modèle du logiciel du calculateur modélisé à la figure 4 ;
- la figure 6 est une représentation du modèle du moteur d'essuyage de la fonction modélisé à la figure 3 ;
- la figure 7 est un exemple d'une modélisation par automate d'un composant de la fonction modélisé à la figure 3 ;
- la figure 8 représente une matrice de résultats obtenue par une simulation de la fonction d'essuyage de la glace arrière d'un véhicule; et
- la figure 9 représente une matrice de signature de fautes dérivée de la matrice de résultats de la figure 8.

[0015] Les systèmes mécatroniques, tels que les véhicules automobiles, comportent des composants électroniques associés à des composants mécaniques, et/ou électromécaniques, et/ou hydrauliques, et/ou pneumatiques, etc., et de plus en plus fréquemment à des composants logiciels. Le dysfonctionnement d'un tel système mécatronique s'avère difficile à diagnostiquer.

[0016] Depuis que les véhicules automobiles comportent beaucoup d'électronique, quand un usager détecte un dysfonctionnement de son véhicule et le signale à un garagiste, celui-ci procède au diagnostic au moyen d'un outil électronique de diagnostic qui peut être connecté à une prise de diagnostic du véhicule pour mettre en oeuvre un procédé de diagnostic.

[0017] Le procédé de diagnostic suivant l'invention sera maintenant décrit à propos d'un véhicule automobile, mais il doit être compris que l'invention est applicable à d'autres systèmes mécatroniques que des véhicules automobiles.

[0018] Dans un véhicule automobile, une fonction peut être définie comme l'ensemble des ressources (UEC, partie de logiciel, réseaux, composants physiques, électroniques, mécaniques, thermiques...) nécessaires à la réalisation d'une prestation. Ces ressources constituent des variables de la fonction qui peuvent prendre différentes configurations. Par exemple, s'agissant d'un interrupteur, celui-ci peut être à l'état fermé ou ouvert. On appelle configuration de la fonction l'ensemble constitué de la configuration de chaque ressource.

[0019] Les variables du système mécatronique qui sont susceptibles d'être observées et testées par le garagiste sont dénommées ci-après variables observables, ou simplement observables.

[0020] Ces observables peuvent être de trois catégories.

[0021] Les observables fonctionnelles sont les abstractions d'une variable physique, directement appréhendable par le garagiste. A titre d'exemple, une vitesse de rotation des balais d'essuie glace dont le signal est une sinusoïde peut être traduite en observation fonctionnelle par une information à deux paramètres, à savoir les balais sont en mouvement, ou les balais sont à l'arrêt.

[0022] Les observables de type paramètre sont l'ensemble des paramètres que l'on peut obtenir directement

grâce à un outil de diagnostic connecté à une prise diagnostic du véhicule.

[0023] Enfin les observables de type grandeurs physiques sont toutes les grandeurs physiques susceptibles d'être mesurées sur un système commandé, c'est-à-dire sur des composants physiques. Ces mesures physiques peuvent être par exemple électriques, comme des mesures de potentiel, hydrauliques, comme des mesures de pression, etc.

[0024] Le procédé de diagnostic suivant l'invention implique de procéder à un ou plusieurs tests sur un ou plusieurs observables d'une fonction dont un dysfonctionnement a été détecté. Un test est l'observation d'un observable dans une configuration de la fonction donnée. C'est donc un couple (observable, configuration).

[0025] Les observations fonctionnelles relatives au dysfonctionnement détecté effectuées par un usager ou un garagiste permettent de déterminer quel est le test, ou la série de tests, le plus approprié à l'étude de ce dysfonctionnement. Un test Ti est initialement choisi par le garagiste. Le choix de ce test à effectuer peut être laissé à l'initiative du garagiste, ou être guidé par un algorithme déterminant la pertinence de tel ou tel test en fonction des observations fonctionnelles précédentes.

[0026] Au cours de ce test Ti, on recueille soit au moyen d'une prise de diagnostic, soit par mesure de grandeurs physiques, soit au moyen d'une observation fonctionnelle un premier signal temporel de test correspondant à un observable O_i dans une configuration du système donnée C_j . Ce test doit être réalisé durant un certain temps. Sa durée doit être de l'ordre de grandeur de deux fois la période maximale des phénomènes périodiques qui existent dans le système, et supérieure à la durée de tous les transitoires.

[0027] Ce premier signal temporel de test est alors comparé à un ensemble de signaux temporels de référence présents dans une table ou matrice des signatures M, représentée à la figure 1. Ces signaux temporels de référence, qui peuvent être générés par simulation comme décrit dans la suite, ont également des durées de l'ordre de grandeur de deux fois la période maximale des phénomènes périodiques qui existent dans le système afin de pouvoir comparer des signaux ayant sensiblement la même durée.

[0028] La table des signatures M, ou table des modalités, associe une signature à chacun des modes de fonctionnement, à savoir le mode de bon fonctionnement et l'ensemble des modes de dysfonctionnement anticipés, des observables de la fonction étudiée dans chacune de leur différentes configurations.

[0029] Dans l'exemple de table des signatures représentée à la figure 1, trois modes de dysfonctionnement F1, F2, F3 ont été représentés, ainsi que le mode de bon fonctionnement F0, pour trois observables O1, O2, O3 qui peuvent être observées dans une configuration de la fonction C0 et une configuration de la fonction C1. A chaque mode de fonctionnement donné d'un observable donné dans une configuration donnée est associé dans

la table des signatures de la figure 1 une signature constituée par un signal temporel de référence M_{ij} .

[0030] Chaque signal de référence M_{ij} est représentatif d'une classe d'équivalence, aussi nommée modalité et également désignée par la référence M_{ij} , qui regroupe par ressemblance un certain nombre de signaux temporels de signature individuelle. Ces signaux de signature individuelle sont les véritables signatures des différents modes de fonctionnement des observables dans les différentes configurations de la fonction. Ces signaux de signature individuelle sont obtenus de préférence par simulation des différentes fonctions à diagnostiquer, selon un procédé qui sera décrit ci-après.

[0031] Dans l'exemple représenté à la figure 1, le même signal de référence M_{11} constitue la signature du mode de fonctionnement F0 pour l'observable O1 dans une configuration C0 et celle du mode de fonctionnement F2 pour l'observable O1 dans cette même configuration C0. Autrement dit, un observable peut avoir un même signal de référence ou classe d'équivalence M_{ij} , pour plusieurs modes de fonctionnement distincts dans une configuration donnée.

[0032] On appelle ensemble d'ambiguïté l'ensemble des modes de fonctionnement suspects à un moment donné de la session de diagnostic, c'est-à-dire le bon fonctionnement F0 ou les dysfonctionnements F1, F2 ou F3 dans le cas de la figure 1. Au début d'une session de diagnostic, tous les modes de fonctionnement sont suspects. C'est l'ensemble d'ambiguïté total. Pour la figure 1 nous avons {F0, F1, F2, F3}. Ensuite la réalisation des tests va permettre de réduire cet ensemble d'ambiguïté. Le processus s'arrête quand l'ensemble d'ambiguïté ne comporte qu'un seul élément, même si cet élément est le bon fonctionnement.

[0033] Le signal temporel de test recueilli lors du test T_i effectué par le garagiste est comparé aux signaux de référence contenus dans la table des signatures M pour ce test T_i afin de déterminer par ressemblance à quelle classe d'équivalence appartient ce signal de test. Cette détermination par ressemblance peut être faite par un algorithme tel que l'algorithme DTW (Dynamic Time Warping), ou visuellement par le garagiste, comme décrit ci après.

[0034] Si pour ce test T_i , le signal de référence sélectionné correspond à une classe d'équivalence spécifique à un seul des modes de fonctionnement de l'observable dans la configuration testée, ledit mode de fonctionnement F_i se trouve directement identifié. Par exemple dans la figure 1, si le test choisi est T_1 et que le signal correspond à la modalité M_{12} le diagnostic s'arrête car l'ensemble d'ambiguïté n'est plus que {F1}. De la même manière si le signal correspond à M_{13} , l'ensemble d'ambiguïté est alors {F3}. Et le diagnostic s'arrête sur cette faute.

[0035] Dans le cas où la classe d'équivalence sélectionnée à partir du signal de test est commune à plusieurs modes de fonctionnement, un nouveau test doit être effectué pour déterminer lequel de ces modes de fonction-

nement est à retenir. Plus généralement quand l'ensemble d'ambiguïté contient plus d'un mode de fonctionnement on doit procéder à d'autres tests. A titre d'exemple, comme représenté à la figure 1a, si pour le test T_1 le signal de référence sélectionné correspond à la classe d'équivalence M_{11} , les modes de fonctionnement peuvent être F0 et F2. L'ensemble d'ambiguïté est alors {F0, F2}. Le diagnostic doit continuer, il convient alors de procéder à un nouveau test, différent du test précédent.

[0036] Ce nouveau test peut porter sur un observable différent de celui testé précédemment, ou peut porter sur le même observable dans une configuration différente. Le choix de ce nouveau test à effectuer peut être laissé à l'initiative du garagiste, ou être guidé par un algorithme déterminant la pertinence de tel ou tel test en fonction du test précédent et des résultats trouvés.

[0037] Au cours de ce nouveau test, on recueille un second signal temporel de test T_i , représentatif d'un observable de ladite fonction, dans une configuration donnée. Ce second signal temporel est alors comparé aux signaux de référence présents dans la table de signatures pour les modes de fonctionnement de l'observable dans la configuration qui est celle du test.

[0038] On détermine alors par ressemblance à quel signal de référence, donc à quelle classe d'équivalence, le second signal temporel correspond. Cette détermination par ressemblance peut être faite par un algorithme tel que l'algorithme DTW (Dynamic Time Warping), ou visuellement par le garagiste.

[0039] Les enseignements des tests successifs pratiqués sont combinés pour déterminer si la séquence des classes d'équivalence M_{ij} sélectionnées successivement est spécifique à un seul des modes de fonctionnement F_i . Si c'est le cas, ledit mode de fonctionnement F_i est identifié.

[0040] A titre d'exemple, comme représenté à la figure 1 b, si le test T_1 de l'observable O1 dans la configuration C0 a conduit à sélectionner la classe d'équivalence M_{11} , l'ensemble d'ambiguïté est {F0, F2}. Puis, si le test T_2 du même observable dans la configuration C1 a conduit à sélectionner la classe d'équivalence M_{23} , l'ensemble d'ambiguïté n'est alors plus que {F2}. La séquence M_{11} , M_{23} est spécifique au mode de dysfonctionnement F2 de l'observable O1. Un dysfonctionnement est identifié, le diagnostic peut s'arrêter.

[0041] Le procédé de diagnostic décrit ci-dessus peut être mis en oeuvre au moyen d'un outil de diagnostic tel que celui représenté à la figure 2. Avantageusement, cet outil de diagnostic 2 se présente sous la forme d'un ordinateur portable, facilement transportable par le garagiste vers le véhicule sur lequel il doit intervenir.

[0042] En se reportant également à la figure 2a, cet outil de diagnostic 2 comporte un calculateur 4 et au moins une mémoire 6, dans laquelle la table des signatures M est mémorisée. Il comporte en outre des moyens d'interface homme-machine comme un clavier 8 et des moyens d'affichage 10. L'outil de diagnostic 2 comporte également des moyens d'acquisition 12 de variables du

système mécatronique du véhicule, à savoir un circuit électronique de diagnostic 14 doté d'une prise de diagnostic (non représentée) susceptible d'être connectée à une prise de diagnostic complémentaire d'un véhicule automobile et un circuit électronique de mesure de grandeurs physiques 16, par exemple une tension ou une pression hydraulique, doté également de moyens capteurs appropriés. (non représentés) Le circuit électronique de diagnostic et le circuit électronique de mesure sont reliés par des moyens de connectique 18 appropriés au calculateur 4. Le circuit électronique de diagnostic 14 et le circuit électronique de mesure 16 peuvent être physiquement séparés de l'ordinateur ou bien se présenter sous forme de cartes électroniques intégrées à celui-ci.

[0043] En fonctionnement, une fois en possession d'une description fonctionnelle d'un dysfonctionnement d'une fonction d'un véhicule, et le cas échéant après une première observation fonctionnelle, le garagiste choisit un premier test sur l'ordinateur, procède aux connections requises et effectue ce premier test sur une des variables observables permettant de réaliser la fonction incriminée.

[0044] Le calculateur 4 commande les moyens d'acquisition 12 pour acquérir le signal temporel de test.

[0045] Selon une première forme de réalisation, le calculateur 4 est adapté pour permettre l'affichage simultané, sur les moyens d'affichage 10, d'une part du signal temporel de test recueilli, et d'autre part de l'ensemble des signaux de référence associés à ce test donné dans la table des signatures. Cet affichage simultané permet au garagiste de comparer visuellement ces signaux temporels et de déterminer lui-même quel est le signal de référence qui présente la plus grande ressemblance avec le signal de test recueilli. Du fait qu'ils correspondent à des classes d'équivalences, les signaux de référence sont en nombre limité de sorte qu'ils se distinguent les uns des autres par des formes caractéristiques débarrassées de certaines singularités, ce qui facilite leur comparaison avec le signal de test et le classement de celui-ci dans une parmi plusieurs classes d'équivalences.

[0046] Dans une variante de réalisation, le calculateur 4 est programmé pour opérer la comparaison du premier signal temporel de test recueilli avec l'ensemble des signaux de référence correspondant audit test dans la table des signatures M, et pour déterminer à quelle classe d'équivalence appartient le premier signal temporel de test.

[0047] Si la comparaison entre le premier signal temporel et les signaux de référence aboutit à une classe d'équivalence spécifique à l'un des modes de dysfonctionnement associés au test, l'outil de diagnostic 2 signale à l'opérateur par les moyens d'affichage 10 quel est le dysfonctionnement est identifié. Sinon l'outil signale à l'opérateur qu'un nouveau test doit être effectué.

[0048] Suivant le mode de réalisation, le nouveau test peut être choisi manuellement par l'opérateur ou proposé par le calculateur 4 par un calcul d'optimisation locale ou globale du choix du test.

[0049] En effet, le calculateur 4 peut être avantageusement programmé pour déterminer quelle est la séquence de tests à mettre en oeuvre pour effectuer avec un coût minimum le diagnostic de la fonction du système. Cette détermination peut être faite au moyen d'un algorithme qui utilise la table des signatures comme entrée, et prend en compte en outre des informations telles que les coûts intrinsèques des tests, les coûts de changement de configuration, les coûts d'instrumentation, ou encore les probabilités des dysfonctionnements.

[0050] Une optimisation locale du choix du test, c'est-à-dire décider quel est le prochain meilleur test, peut être mise en place et actualisée après chaque test effectué par le garagiste. Une seconde solution peut être la mise en place d'un graphe formant une arborescence générale des tests, et d'un algorithme de recherche dans ce graphe, pour l'optimisation globale du choix des tests.

[0051] La séquence des classes d'équivalences sélectionnées lors des tests successifs est mise à jour et mémorisée au moins jusqu'à l'obtention d'un diagnostic. Une liste des tests à venir par ordre de pertinence peut être présentée au garagiste sur les moyens d'affichage 10, sans que le garagiste soit contraint dans son choix. Si le test conseillé est une observation fonctionnelle à effectuer par le garagiste, celui-ci peut utiliser le clavier 8 pour entrer dans le calculateur 4 le résultat observé visuellement.

[0052] Le procédé permettant de construire, pour une fonction donnée, la table ou matrice des signatures par modélisation et simulation de cette fonction sera maintenant décrit. La construction de la table des signatures nécessite dans un premier temps une modélisation de l'ensemble des ressources (UEC, réseaux, composants physiques et électroniques) nécessaires à la réalisation d'une fonction du système mécatronique.

[0053] Le principe de la modélisation consiste en une approche basée sur des modèles de l'ensemble de la fonction. Celle-ci se décompose en un système commandé et un système de commande.

[0054] Deux types de modélisation sont mis en oeuvre pour un système mécatronique, une modélisation causale du système de commande et une modélisation acausale du système commandé.

[0055] Le système commandé qu'il soit électronique, mécanique, hydraulique ou thermique par exemple, est modélisé d'une manière acausale par les équations de la physique du domaine correspondant. La modélisation acausale prend en compte deux types d'information, la connaissance structurelle du système commandé, et la connaissance comportementale de chaque composant physique de ce système commandé, dans les divers modes de fonctionnement, tant dans un mode de bon fonctionnement que dans un mode de dysfonctionnement.

[0056] Dans la modélisation acausale, les composants sont reliés entre eux avec des ports acausaux. Par exemple, pour les composants électroniques, ces ports sont les broches du composant. Les ports sont les points de partage des variables de flux et d'effort, à titre d'exemple,

pour l'électronique, l'intensité du courant I qui traverse le port et le potentiel U au niveau du port.

[0057] Les équations correspondant à chaque port sont indépendantes du type de composant, ce sont des équations de structure. Ainsi, pour un port électronique, ces équations sont relatives à la loi des noeuds ainsi qu'à l'égalité des potentiels.

[0058] A titre d'exemple, une résistance R sera connectée aux autres composants par l'intermédiaire d'un port positif p et d'un port négatif n . Deux variables sont présentes à chacun de ces ports, le courant ($p.i$ et $n.i$) et le potentiel ($p.v$ et $n.v$). Le sens des courants est positif en direction du dipôle. De plus, le port négatif $R1.n$ du composant $R1$ est connecté à $R.p$ et le port positif $R2.p$ du composant $R2$ est connecté à $R.n$. Cette connaissance structurelle permet d'écrire quatre équations de structure, indépendantes du type de composant :

$$R1.n.i + R.p.i = 0 ; R2.p.i + R.n.i = 0 ; R.p.v = R1.n.v ; R.n.v = r2.p.v$$

[0059] Tel qu'évoqué ci-dessus, la modélisation doit prendre en outre en considération la connaissance comportementale de chaque composant. Dans le cas d'une résistance en bon fonctionnement, il y a deux équations propres au dipôle, à savoir la conservation du courant et la loi d'Ohm.

$$R.p.i + R.n.i = 0 ; R.p.v - R.n.v = R.R * R.p.i$$

[0060] Les équations de structure doivent être considérées comme des équations partagées entre deux dipôles, et les équations comportementales comme des équations propres à chaque dipôle. Dans le cas présent, la modélisation d'une résistance aboutit à quatre équations et quatre variables.

[0061] Les deux équations de comportement correspondent à un mode de fonctionnement particulier, le bon fonctionnement. Il faut également intégrer le fonctionnement du composant pour les modes de dysfonctionnement anticipés. Parallèlement, les équations de structure restent les mêmes pour tous les modes de fonctionnement.

[0062] Le comportement de chaque composant est modélisé par un automate hybride à deux niveaux.

[0063] Le premier niveau correspond au mode de bon fonctionnement et aux différents modes de dysfonctionnement. Les transitions entre le mode de bon fonctionnement et un mode de dysfonctionnement représentent les défaillances anticipées pour le composant, par exemple un relais qui grille. Dans la modélisation décrite, seuls les dysfonctionnements permanents sont considérés, et les transitions d'un mode de dysfonctionnement vers le mode de bon fonctionnement ne sont donc pas prises en compte. A chaque transition est associée une condition, par exemple pour le relais l'intensité qui dépasse un seuil.

[0064] Le second niveau va décrire chaque mode du

premier niveau par un automate. Ainsi un commutateur commandé aura un mode de bon fonctionnement qui sera décrit par un automate à deux états, passant et bloqué. La condition de transition entre ces deux états est liée à un signal de commande cmd . Le modèle du commutateur peut ainsi être représenté par la figure 7. Dans cette figure, le signal cmd est un signal causal qui détermine le sous mode à utiliser, fermé ou ouvert. Un premier dysfonctionnement F_i correspond au commutateur bloqué en circuit ouvert, un deuxième dysfonctionnement F_{ii} correspond au commutateur ouvert en circuit fermé.

[0065] Le système de commande est modélisé d'une manière causale avec, entres autres, des automates à états finis pour les parties logicielles. De plus, il est tenu compte que certains composants physiques du système commandé peuvent avoir une entrée causale.

[0066] La modélisation causale de la partie de commande et des modèles de comportement causaux distingue principalement quatre types d'éléments. Ces types d'éléments sont soit :

- des capteurs en entrée, qui proviennent des composants acausaux, ou des paramètres de configuration,
- des commandes en sortie, qui vont sur les composants acausaux, tels que des commutateurs commandés par logiciel,
- des bus en entrée/sortie qui regroupent des signaux causaux d'un point à un autre, par exemple d'une Unité Electronique de Contrôle à une autre, ou encore
- des éléments de traitement des signaux simples sous forme de schémas blocs, ou des automates à états finis pour représenter les composants logiciels.

[0067] Cette modélisation causale est une abstraction du fonctionnement des Unités Electroniques de Contrôle. Il est toutefois inutile de considérer des dysfonctionnements sur la partie logicielle, sur lesquels le garagiste ne pourra pas intervenir. Avantagusement, seuls les dysfonctionnements entrées/sorties des signaux causaux sont pris en compte.

[0068] Les observables de cette modélisation causale seront des variables accessibles par le garagiste via la prise diagnostic du véhicule.

[0069] Grâce à ces modèles on peut simuler la globalité de la fonction en mode de bon fonctionnement et dans les divers modes de dysfonctionnement anticipés. Il est à noter que la simulation d'une fonction donnée rend possible l'étude de très nombreuses variables, tant au niveau du système de commande que du système commandé.

[0070] L'implémentation du modèle obtenu est effectuée sur un simulateur hybride et multi physique. Cette simulation peut être basée sur le langage Modelica, dont on trouvera des éléments dans l'article de P. Fritzson, "Principles of Object-oriented Modelling and Simulation with Modelica" (Wiley-IEEE Computer Society Pr, 2003,

ISBN 0471471631). Un tel simulateur pourra être par exemple l'environnement Dymola (société Dynasim, Dassault Systèmes).

[0071] La construction de la table des signatures pour une fonction implique de simuler cette fonction en mode de bon fonctionnement, et dans les divers modes de disfonctionnement anticipés, pour toutes les configurations possibles des N_o observables de la fonction.

[0072] Si, pour la fonction, N_f est le nombre de disfonctionnements anticipés dans les composants physiques et la partie de commande, et N_c est le nombre de configurations différentes, et sachant que pour chaque configuration il faut aussi simuler le bon fonctionnement, il sera effectué un nombre de simulations différentes égal à $(N_f + 1) \times N_c$.

[0073] Un signal temporel de signature individuelle est généré pour chaque observable donné O_i dans chacune de ses configurations données C_i et chacun de ses modes de fonctionnement anticipés F_i , à savoir un mode de bon fonctionnement et un ou plusieurs modes de disfonctionnement. Pour une simulation d'un test donné T_i d'un observable donné O_i dans une configuration donnée C_i , le signal temporel de signature individuelle recueilli peut donc prendre la forme de l'une de $N_f + 1$ courbes différentes.

[0074] Chaque simulation doit être réalisée pendant une certaine durée. Cette durée doit être de l'ordre de grandeur de deux fois la période maximale des phénomènes périodiques qui existent dans le système, et supérieur à la durée de tous les transitoires. Dans l'exemple de l'essuyage d'une vitre arrière de véhicule dont la modélisation sera décrite ci-après, la durée est de l'ordre de 20 secondes.

[0075] Les signaux temporels de signature individuelle sont comparés entre eux, avantageusement par un algorithme de ressemblance de signaux, puis ces signaux de signature individuelle sont regroupés, en fonction de leur ressemblance, en une pluralité de classes d'équivalence ou modalités dont chacune est représentée par un signal de référence. Pour ce faire, un algorithme de comparaison de signaux détermine la ressemblance qu'il y a entre deux signaux, et les regroupe si la ressemblance est avérée.

[0076] A titre d'exemple, l'algorithme DTW (Dynamic Time Warping) pourra être utilisé. On trouvera des informations sur cet algorithme par exemple dans l'article de H. Sakoe et S. Chiba, "Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition" (IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. 26, no. 1, pp 43-49, Feb 1978), ou encore dans l'article de L. Rabiner et B.H. Juang, "Fundamentals of Speech Recognition" (Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458, 1993).

[0077] Ainsi, comme le montre la figure 1, pour chaque test T_i d'un observable donné O_i dans une configuration donnée C_i , un signal de référence ou classe d'équivalence M_{ij} est associé à chacun des modes de fonctionnement F_i anticipés.

[0078] Un signal temporel de référence représentatif d'une première classe d'équivalence doit être distinct du signal temporel de référence représentatif d'une deuxième classe d'équivalence, afin de pouvoir être distingués visuellement par le garagiste. C'est le rôle de l'algorithme de comparaison, qui détermine les classes d'équivalence traduites en signaux de référence, de gérer cette notion de tolérance visuelle.

[0079] De préférence, la modélisation et la simulation d'une fonction donnée portent de façon ciblée sur des observables, c'est-à-dire des variables que le garagiste ou autre opérateur peut observer.

[0080] La table des signatures est construite en répétant les opérations de simulation décrites ci-dessus pour chacune des fonctions du système mécatronique qui sont susceptibles d'être diagnostiquées.

[0081] Un exemple de modélisation et de simulation d'une fonction pour l'obtention d'une table des signatures va être décrit ci-dessous pour la fonction d'essuyage de la glace arrière d'un véhicule automobile.

[0082] Le principe de fonctionnement de cette fonction est tel que l'utilisateur effectue une demande d'essuyage arrière par l'intermédiaire d'un levier de commande, cette demande est transmise à un calculateur associé à l'habitacle du véhicule via un réseau d'information de type CAN. Le calculateur du véhicule gère le comportement intermittent de l'essuyage en appliquant une tension au moteur de l'essuie glace jusqu'à obtenir l'information que le balai est revenu à sa position repos. Il suspend alors l'application de la tension pendant quelques secondes avant de recommencer un cycle.

[0083] La modélisation de cette fonction s'effectue par hiérarchisation. Sur l'ensemble des figures qui vont suivre, il convient de noter que les ports sont des carrés pour les signaux acausaux et des flèches pour les signaux causaux. Un signal causal part d'un point pour aller à un autre point. Il y a un sens de circulation de l'information d'où la flèche. Un signal acausal correspond à une variable dans une équation algébrique. Il n'y pas de sens clairement défini (même par exemple pour les intensités des courant, les sens sont des conventions, les intensités peuvent être positives ou négatives suivant la valeur des composants).

[0084] Les figures 3, 4, 5, 6 et 7 sont des modèles graphiques réalisés dans l'environnement Dymola qui est un environnement de développement Modelica (Société Dynasim, Dassault Systèmes). Les composants de modélisation utilisés dans ces modèles sont de deux types :

1. des composants directement issus des bibliothèques Modelica / Dymola
2. des composants créés pour la modélisation des différents modes de fonctionnement. Ces composants dits de « diagnostic » sont regroupés dans une bibliothèque de composants de diagnostic. Ces composants sont des automates hybrides comme décrit précédemment et ont des modes de fautes.

[0085] Quand on dit que le système est en disfonctionnement, Fi par exemple, cela veut dire qu'un des composants de diagnostic est dans un mode de disfonctionnement. Un composant de diagnostic peut avoir plusieurs modes de disfonctionnement : par exemple une résistance peut avoir $1/R=0$ ou $R=0$ comme mode de disfonctionnement.

[0086] Un premier niveau de modélisation est illustré à la figure 3. Sur cette figure sont représentés le calculateur 31 associé au levier de commande et le calculateur de l'habitacle 32, reliés entre eux par un bus CAN 33. Au calculateur consacré à l'habitacle 32 sont connectés une source d'alimentation 34, des connecteurs de faisceaux 35, des fils 36 et le moyen d'essuyage arrière 37 constitué par le moteur et la partie mécanique de l'essuyage de la glace arrière.

[0087] La figure 4 illustre un deuxième niveau de modélisation, à savoir le modèle du calculateur habitacle 32 évoqué ci-dessus. Sur cette figure sont représentés le logiciel 41 de commande de la fonction essuyage arrière, des éléments d'électronique de puissance 42, et le logiciel 43 de test du moteur du moyen d'essuyage. Les éléments d'électronique de puissance comprennent entre autres un fusible 44, une résistance de protection 45 et un interrupteur 46..

[0088] La modélisation de la partie de commande purement logicielle 41 du calculateur habitacle 32 est illustrée sous forme d'un automate à états finis à la figure 5, sur laquelle les carrés représentent des états et les barres des transitions entre ces états.

[0089] Le premier état E0 correspond à un état où la fonction d'essuie-vitre arrière ne peut pas être activée car le contact du véhicule n'a pas été fermé au moyen de la clé de contact. La première transition T1 correspond à l'information selon laquelle la clé de contact a été tournée et le contact du véhicule fermé. L'état suivant E1 correspond à l'état de fermeture du contact par la clé de contact. La transition qui suit T2 correspond à une demande de balayage de la vitre arrière à petite vitesse faite par l'utilisateur du véhicule. L'état E2 est celui dans lequel il y a balayage de la vitre arrière à petite vitesse. La transition suivante T3 est représentative d'une information d'« arrêt fixe » fournie par un capteur de détection de la position angulaire du balai, pour arrêter celui-ci lorsqu'il est revenu à sa position initiale.

[0090] L'état E3 correspond à la position au repos du balai après un aller et un retour de celui-ci sur la vitre. La transition T4 représente l'information fournie par un temporisateur de passer à l'état de balayage après l'écoulement d'un temps déterminé, par exemple 12 secondes. La transition T4 amène à l'entrée de l'état E2 qui est l'état de balayage.

[0091] La transition T5 connectée à la sortie de l'état E2 correspond à une commande fournie par un temporisateur afin de couper l'alimentation du moteur électrique de balayage si le balai d'essuie-vitre est en état de balayage depuis plus de 7 secondes. L'état E4 est un état de protection du moteur dans lequel celui-ci n'est

plus alimenté électriquement. La transition T6 entre la sortie de E4 et l'entrée de E2 correspond à une commande délivrée par un temporisateur pour déclencher à nouveau le balayage au bout d'un temps déterminé, par exemple 30 secondes, après que le moteur de balayage se soit trouvé mis dans l'état de protection E4. La transition T7 entre la sortie de l'état E4 et l'entrée de l'état E1 correspond à une commande de l'utilisateur pour mettre fin au balayage en petite vitesse. De même, la transition T8 entre la sortie de E2 et l'entrée de E1 et la transition T9 entre la sortie de E3 et l'entrée de E1 correspondent également à une commande par l'utilisateur d'interruption du balayage en petite vitesse. Enfin, la transition T10 entre la sortie de E1 et l'entrée de E0 correspond à la coupure du contact du véhicule par l'utilisateur au moyen de la clé de contact.

[0092] La figure 6 est un exemple de modèle global acausal multi physique de la partie moteur électrique et tringlerie de la fonction essuyage de la vitre arrière, qui intègre des composants électroniques, électromécaniques et mécaniques.

[0093] La partie électrique du moteur est représentée par une inductance 60 en parallèle avec une résistance 61 qui représente la valeur ohmique de cette inductance. L'inductance 60 est représentée montée en série par l'une de ses bornes avec une résistance 62 et un fil 63 relié à un port acausal P3 représentant un pôle d'une source d'alimentation électrique. L'autre borne de l'inductance 60 est connectée au port P2, qui constitue l'autre pôle de la source d'alimentation, par l'intermédiaire d'un composant 64 constituant un « transformateur électrique-mécanique », et d'un interrupteur d'arrêt fixe 65 commandé par un capteur (modélisé par le composant 68) qui détecte le retour du balai au voisinage de sa position de départ.

[0094] Quand le balai d'essuie-vitre revient à sa position de départ, le capteur ferme l'interrupteur 65 dont la borne opposée au port P2 est connectée à un port P1 par l'intermédiaire d'un fil 66. La circulation du courant dans la boucle port P1, interrupteur 65, fil 66, port P2 est détectée par le calculateur d'habitacle 32 pour interrompre le balayage comme illustré par l'état E3 de la figure 5.

[0095] Le composant 64, appelé « transformateur électrique-mécanique » du point de vue de la modélisation, représente la transformation d'un courant qui le traverse en un mouvement mécanique de rotation continue. Le composant 67 connecté au composant 64 illustre la transformation en un mouvement alternatif du mouvement de rotation continue à la sortie du composant 64. Ce composant 67 peut être représenté sous la forme d'un automate hybride à deux états et deux transitions. Enfin, le composant 68 correspond à une modélisation du capteur mécanique précitée qui détecte l'angle de rotation du balai d'essuie-vitre et ferme l'interrupteur 65 lorsque sa position angulaire par rapport à la position de repos devient inférieure à un seuil donné.

[0096] Enfin, le composant 69 représente un modèle de l'isolant entre les fils aboutissant aux ports P2 et P3

et correspond en fonctionnement normal à un circuit ouvert, et à un circuit fermé en cas de court-circuit.

[0097] Le modèle de la fonction d'essuie-vitre arrière est ainsi réalisé de manière hiérarchique, la fonction est décomposée successivement jusqu'aux composants élémentaires. Pour la clarté de la description, il a été donné ici une illustration de la modélisation sous forme graphique, et non sous forme d'équations. Mais, bien entendu, ce sont ces équations à la disposition de l'homme de métier grâce aux outils de modélisation (Modelica) qui permettent de générer par simulation les signaux temporels de signature individuelle des variables observables.

[0098] Ainsi, la matrice de résultats de la figure 8 illustre les signaux temporaires de signature individuelle qui sont obtenus par simulation, grâce au modèle qui vient d'être décrit ci-dessus au regard des figures 3 à 6, pour la fonction d'essuie-vitre arrière.

[0099] Les lignes V1, V2 et V3 de la matrice correspondent à des signaux qui sont présents aux bornes V1, V2 et V3 à l'entrée du moteur d'essuyage (figure 3), pour différents modes de fonctionnement qui seront détaillés ci-après.

[0100] La ligne « arrêt-fixe » correspond à un paramètre du calculateur habitacle relatif à la circulation ou non circulation d'un courant dans la boucle P1, 66, 65, P2 comme décrit ci-dessus en regard de la figure 6. Lors d'un test sur un système mécatronique, ce paramètre sera lu par l'outil de diagnostic au moyen de la prise diagnostic du véhicule.

[0101] De même, la ligne « CMB_PV_AR » est également un paramètre qui traduit le fait que le calculateur d'habitable 31 commande ou non le moteur électrique 37 du système d'essuie-vitre.

[0102] Enfin, la ligne « vitesse balais » montre sous forme de signal temporel la vitesse du ou des balais dans un certain nombre de modes de fonctionnement. Lors d'un diagnostic, cette observable correspond à une observation fonctionnelle faite par le garagiste et rentrée par ses soins dans l'outil de diagnostic sous forme d'une information.

[0103] La colonne BF correspond au mode de bon fonctionnement.

[0104] La colonne I46.RC correspond à un dysfonctionnement selon lequel le calculateur d'habitable voit l'interrupteur 46 de la figure 4 fermé en permanence, c'est-à-dire qu'il reste collé.

[0105] La colonne FIL 36₁.CO signifie que le fil 36₁ de la figure 3 est en circuit ouvert. De même, la colonne suivante FIL 36₂.CO correspond au dysfonctionnement selon lequel le fil 36₂ de la figure 3 est en circuit ouvert.

[0106] La colonne Cal 31.VR correspond à la situation dans laquelle la commande sortant du calculateur 31 reste toujours dans l'état « vrai », c'est-à-dire un état de commande.

[0107] La matrice de la figure 8 montre à chaque intersection d'une ligne et d'une colonne le signal temporel de signature individuelle, généré par simulation au

moyen des équations appropriées, qui est obtenu pour la variable concernée dans le mode de fonctionnement concerné.

[0108] On peut voir d'après cette matrice qu'un certain nombre de signaux temporels de signatures individuelles présentent des parentés. Comme décrit précédemment, ces signaux sont comparés entre eux et regroupés en classes d'équivalences si ces parentés sont suffisantes.

[0109] C'est ainsi, par exemple, que pour la ligne V1 les signaux des colonnes I46.RC et Cal 31.VR sont suffisamment proches au point de pouvoir être regroupés dans une modalité mod12.

[0110] Le processus de comparaison et de classement en modalités ou classes d'équivalences est réalisé pour l'ensemble de la matrice de résultats de la figure 8 et donne lieu, à la fin du processus, à l'obtention de la matrice de signature des fautes de la figure 9.

[0111] Dans cette matrice de signature des fautes, une modalité mo_{ii} est associée à chacune des lignes et des colonnes de la matrice, les modalités étant identiques dans une même ligne lorsque les signaux temporels de signatures individuelles obtenus dans la matrice de résultats de la figure 8 ont été estimés suffisamment ressemblants.

[0112] Il doit être compris qu'à chacune des désignations mo_{ii} des cellules de la figure 9 de la matrice correspond un signal de référence qui est le signal de la cellule correspondante de la matrice de la figure 8 ou un signal approchant en cas de regroupement par ressemblance de plusieurs signaux dans une même classe d'équivalence.

[0113] C'est cette matrice de signature des fautes qui permet de construire la table de signatures de la figure 1, qui est utilisée pour le diagnostic comme décrit précédemment.

[0114] Bien entendu, le réalisme des signaux de référence générés par modélisation et simulation dépend du degré d'abstraction de la modélisation de la fonction. En d'autres termes, plus cette abstraction est élevée, plus la forme de ces signaux s'éloigne de celle des signaux réels que l'on peut retrouver sur le système mécatronique. C'est ainsi, par exemple, que le signal de « vitesse balais » dans le mode BF de la matrice de la figure 8 correspond à une modélisation relativement idéalisée de la fonction. Afin de générer un signal simulé plus proche de la réalité physique, il conviendrait d'introduire dans le modèle, comme cela est bien connu des spécialistes de la technique, un certain nombre de composants qui permettent de tenir compte de phénomènes supplémentaires de nature électrique, mécanique ou autre tels que, par exemple, l'inertie, les frottements, etc. de l'ensemble balais et tringlerie. Le choix du degré d'abstraction est une question de compromis entre la complexité du modèle et le minimum de réalisme des signaux jugé nécessaire pour permettre à l'opérateur de mettre en oeuvre le diagnostic.

Revendications

1. Procédé de diagnostic d'un dysfonctionnement d'un système mécatronique, suivant lequel :

a) en réponse à l'observation d'un dysfonctionnement d'une fonction dudit système, on choisit un premier parmi une pluralité de tests (Ti) prédéterminés de ladite fonction,
 b) on met en oeuvre ledit premier test choisi (Ti) pour recueillir un signal temporel de test représentatif d'une première variable observable de ladite fonction,
 c) on compare le signal temporel de test recueilli à un ensemble de signaux temporels de référence associés chacun à l'un de plusieurs modes de dysfonctionnement (Fi) connus de ladite fonction,
 d) on sélectionne, par ressemblance entre ledit signal temporel de test et lesdits signaux de référence, auquel desdits signaux de référence correspond le signal temporel de test recueilli,
 e) on identifie ledit dysfonctionnement observé si le signal de référence sélectionné est spécifique à un seul desdits modes de dysfonctionnement (Fi) connus, et
 f) dans le cas contraire, on répète les étapes a) à d) avec un nouveau test (Ti) jusqu'à l'obtention d'une séquence de signaux de référence sélectionnés qui, pour les tests mis en oeuvre successivement, est spécifique à un seul desdits modes de dysfonctionnement connus.

2. Procédé de diagnostic selon la revendication 1, suivant lequel on compare également ledit signal temporel de test à un signal de référence représentatif d'un mode de bon fonctionnement de ladite fonction.

3. Procédé de diagnostic selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, **caractérisé en ce que** ladite variable observable (Oi) est un paramètre de ladite fonction.

4. Procédé de diagnostic selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, **caractérisé en ce que** ladite variable observable (Oi) est une grandeur physique mesurée sur un composant physique de ladite fonction.

5. Procédé de diagnostic selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'il** comprend également une étape de sélection de l'un desdits signaux de référence en réponse à une observation directe par un opérateur de ladite variable observable (Oi).

6. Procédé de diagnostic selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque test de ladite pluralité de tests (Ti) consiste à recueillir

ledit signal de test dans une configuration donnée de ladite variable observable (Oi).

7. Procédé de diagnostic selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** ledit nouveau test porte sur ladite première variable observable (Oi) dans une configuration différente de celle dudit premier test.

8. Procédé de diagnostic selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** ledit nouveau test porte sur une variable observable (Oi) différente de ladite première variable observable.

9. Procédé de diagnostic selon l'une quelconque des revendications précédentes, suivant lequel chacun desdits signaux de référence est représentatif d'une classe d'équivalence (M_{ij}) de signaux de signature individuelle regroupés par ressemblance et dont chacun est la signature de l'une desdites variables observables dans une configuration donnée et un mode de fonctionnement donné.

10. Procédé de diagnostic selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, suivant lequel lesdits signaux de référence sont stockés dans une table dans laquelle l'un desdits tests est associé à chacune desdites variables observables dans chacune de ses configurations, dans ses différents modes de fonctionnement anticipés.

11. Outil de diagnostic (2) pour la mise en oeuvre du procédé de diagnostic d'un dysfonctionnement d'un système mécatronique selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, comprenant un calculateur (4), au moins une mémoire (6), des moyens d'interface homme-machine comportant au moins des moyens d'affichage (10), et des moyens d'acquisition de variables (14, 16) dudit système reliés au calculateur, **caractérisé en ce que** :

- lesdits signaux temporels de référence sont stockés dans ladite mémoire (6);
- ledit calculateur (4) est adapté pour mettre en oeuvre ledit test et acquérir ledit signal temporel de test à partir desdits moyens d'acquisition (14, 16), et
- ledit calculateur (4) est adapté pour remplir l'une au moins des deux fonctions comprenant :
 - l'affichage dudit premier signal temporel de test et ledit ensemble de signaux de référence associés audit test ;
 - la comparaison dudit premier signal temporel de test avec ledit ensemble de signaux de référence associés audit test et la détermination de ladite classe d'équivalence dudit premier signal temporel de test.

12. Outil de diagnostic (2) selon la revendication 11, **ca-**

- ractérisé en ce qu'il** est adapté pour afficher sur lesdits moyens d'affichage ledit premier signal temporel de test et ledit ensemble de signaux de référence associés audit test, et permettre visuellement ladite comparaison par un opérateur.
13. Outil de diagnostic (2) selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** le calculateur (4) est programmé pour opérer la comparaison dudit premier signal temporel de test avec ledit ensemble de signaux de référence associés audit test.
14. Outil de diagnostic (2) selon l'une des revendications 11 à 13, **caractérisé en ce que** les moyens d'acquisitions de variables comportent un circuit électronique de diagnostic (14) doté d'une prise de diagnostic.
15. Outil de diagnostic (2) selon l'une des revendications 11 à 13, **caractérisé en ce que** les moyens d'acquisitions de variables comportent un circuit électronique de mesure de grandeurs physiques (16).
16. Procédé d'obtention d'une table des signatures (M), pour la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** :
- i) on modélise l'ensemble des ressources nécessaires à la réalisation d'une fonction du système mécatronique,
 - ii) on simule un ensemble de tests de ladite fonction en mode de bon fonctionnement (F0), et dans les divers modes de dysfonctionnement (F1, F2, F3,...) anticipés, pour toutes les configurations (Ci) possibles des ressources de la fonction,
 - iii) on génère un signal de signature individuelle pour chacune des simulations,
 - iv) on compare ces signaux de signature individuelle entre eux,
 - v) on regroupe, en fonction de leur ressemblance, lesdits signaux de signature individuelle en une pluralité de classes d'équivalence (M_{ij}) dont chacune est représentée par un signal de référence, et
 - vi) on construit ladite table (M) en associant à chacun desdits modes de fonctionnement (Fi), pour chacun desdits tests (Ti), l'un desdits signaux de référence.
17. Procédé d'obtention d'une table de signatures selon la revendication 16, **caractérisé en ce que** la modélisation à l'étape i) est réalisée hiérarchiquement, et décomposée jusqu'aux composants élémentaires de la fonction.
18. Procédé d'obtention d'une table de signatures selon l'une des revendications 16 ou 17, **caractérisé en ce que** la modélisation à l'étape i) est une modélisation causale des systèmes de commande, et une modélisation acausale des systèmes commandés.
19. Procédé d'obtention d'une table de signatures selon la revendication 16, **caractérisé en ce que** la simulation à l'étape ii) est réalisée uniquement pour des variables observables par l'opérateur.
20. Procédé d'obtention d'une table de signatures selon la revendication 16, **caractérisé en ce que** le regroupement des signaux de signature individuelle à l'étape v) est opéré par un algorithme de ressemblance de signaux.
21. Procédé d'obtention d'une table de signatures selon la revendication précédente, **caractérisé en ce qu'un** signal temporel de référence représentatif d'une première classe d'équivalence doit être distinct du signal temporel de référence représentatif d'une deuxième classe d'équivalence, afin de pouvoir être distingués visuellement par le garagiste.

	01		02		03	
	C0	C1	C0	C1	C0	C1
F0	M11	M21	M31	M41	M51	M61
F1	M12	M21	M31	M42	M52	M62
F2	M11	M23	M31	M43	M52	M63
F3	M13	M23	M32	M41	M53	M63
---	---	---	---	---	---	---
	T1	T2	T3	T4	T5	T6

FIG.1a

	01		02		03	
	C0	C1	C0	C1	C0	C1
F0	M11	M21	M31	M41	M51	M61
F1	M12	M21	M31	M42	M52	M62
F2	M11	M23	M31	M43	M52	M63
F3	M13	M23	M32	M41	M53	M63
---	---	---	---	---	---	---
	T1	T2	T3	T4	T5	T6

FIG.1b

	01		02		03	
	C0	C1	C0	C1	C0	C1
F0	M11	M21	M31	M41	M51	M61
F1	M12	M21	M31	M42	M52	M62
F2	M11	M23	M31	M43	M52	M63
F3	M13	M23	M32	M41	M53	M63
---	---	---	---	---	---	---
	T1	T2	T3	T4	T5	T6

FIG.1

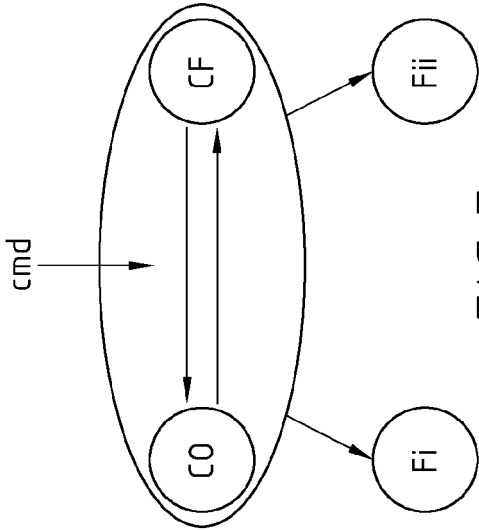


FIG.7

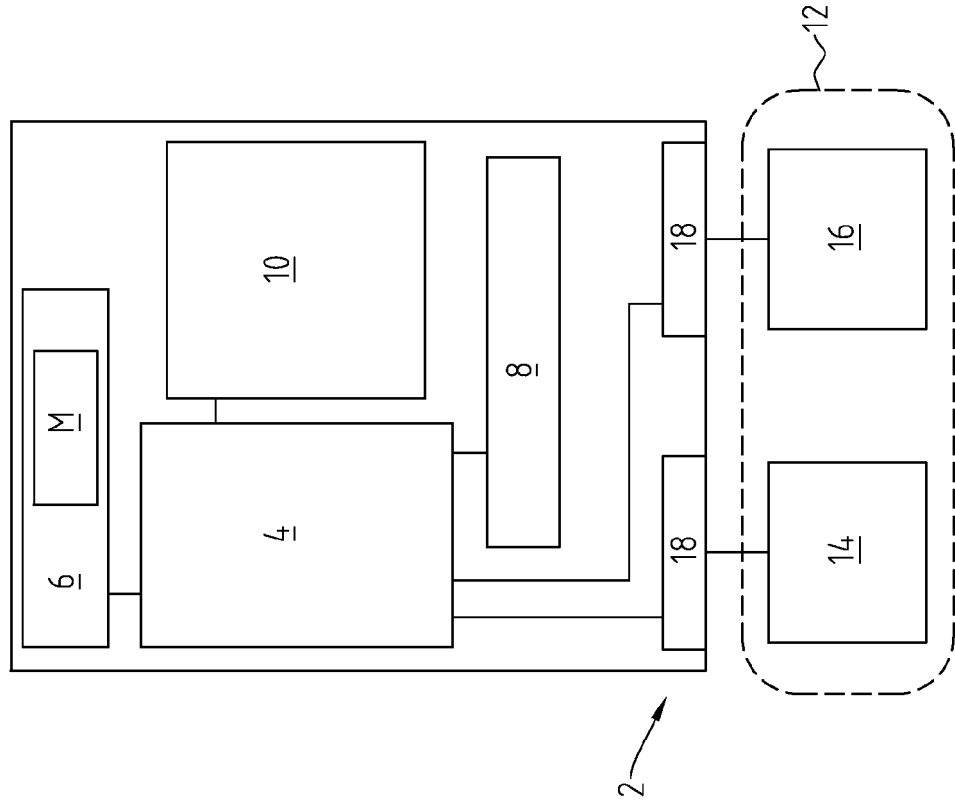


FIG.2a

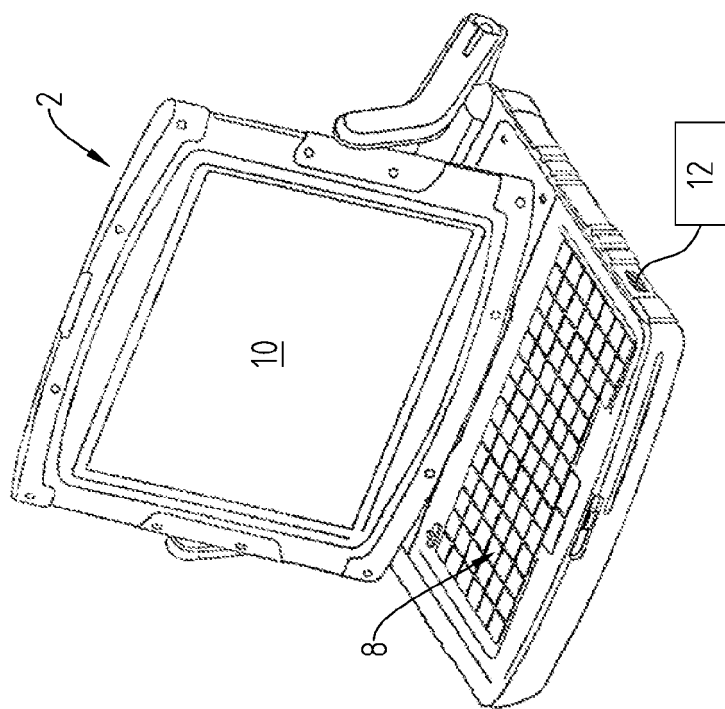
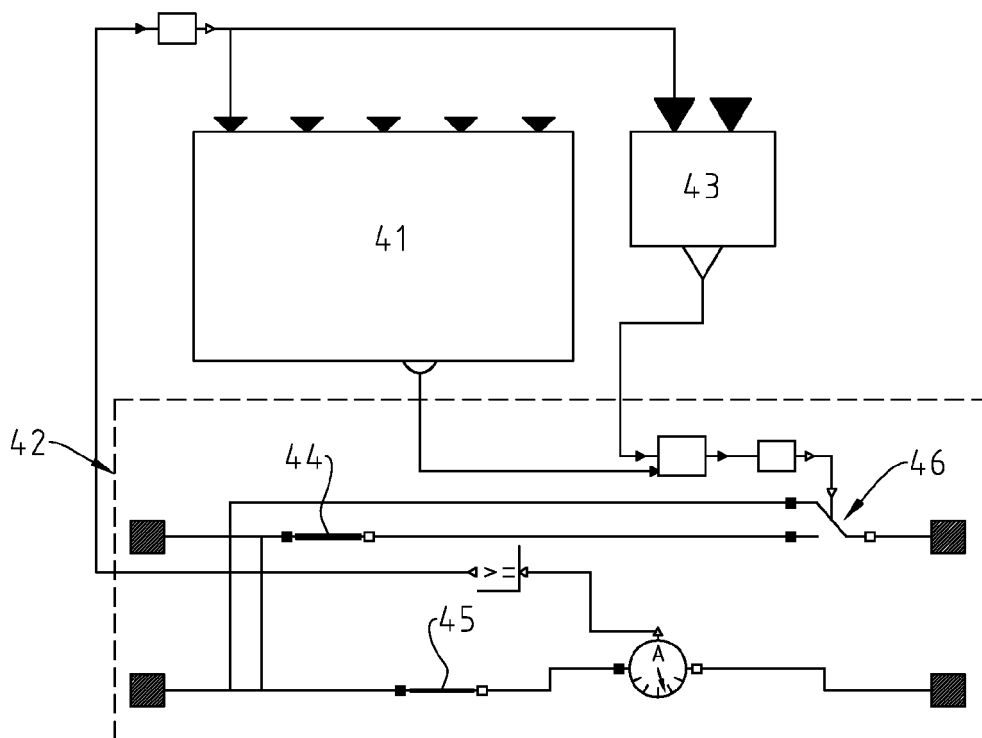
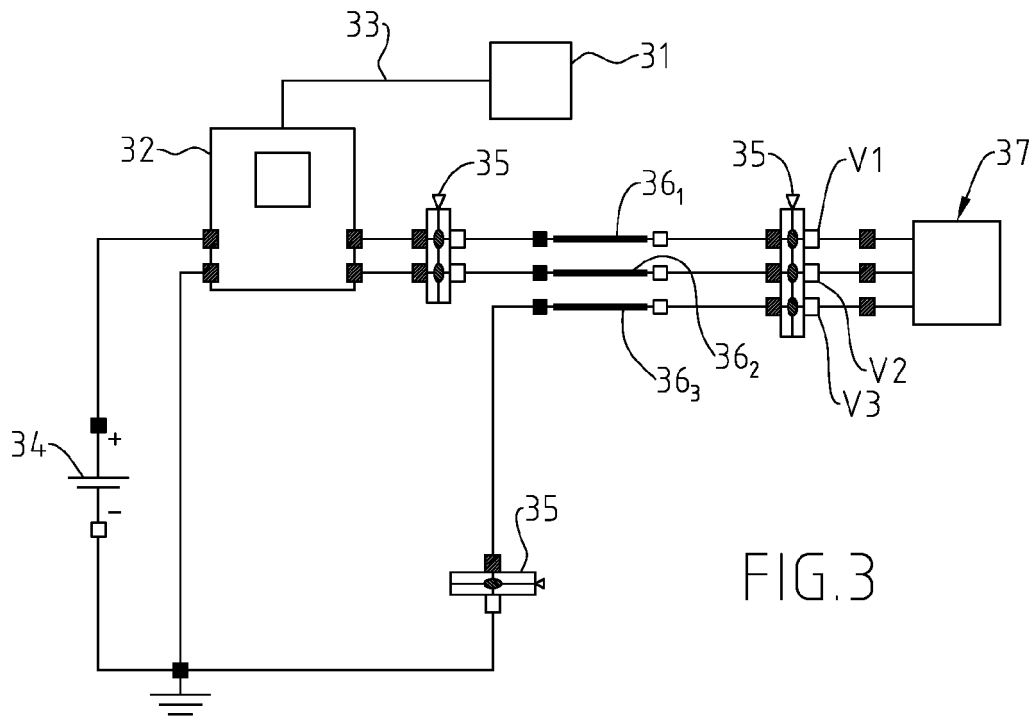


FIG.2



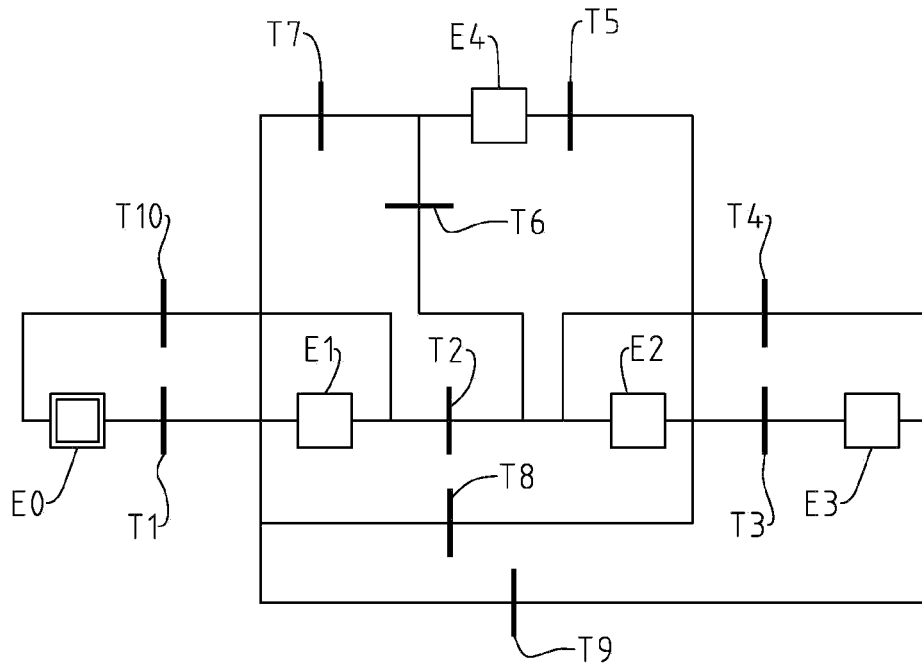


FIG.5

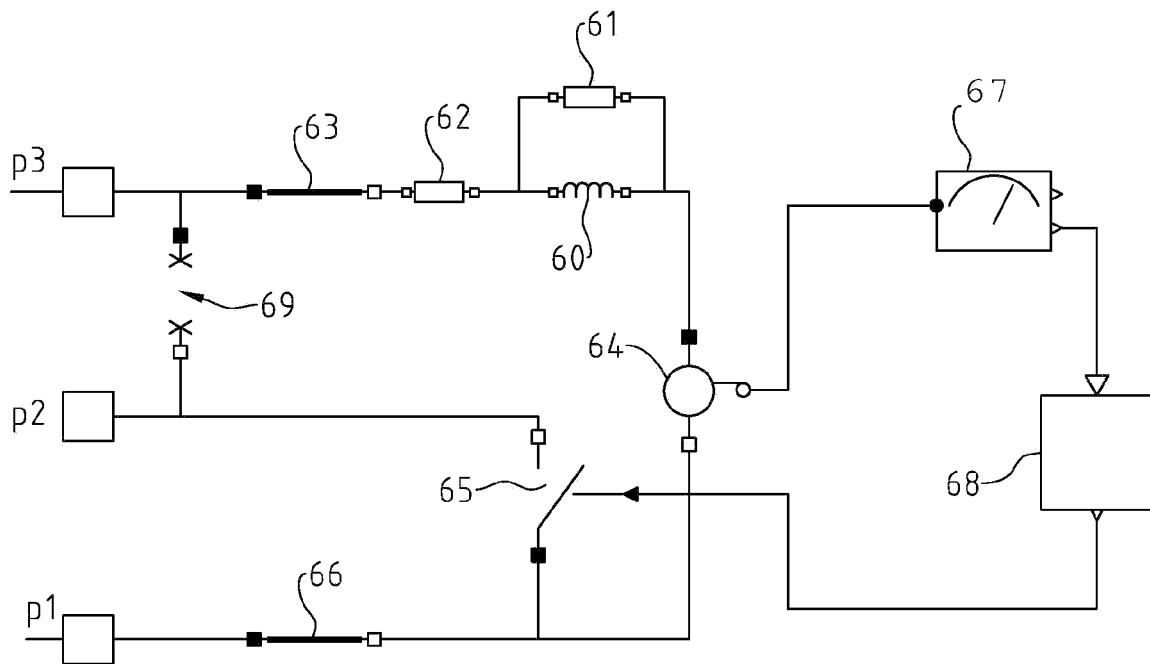


FIG.6

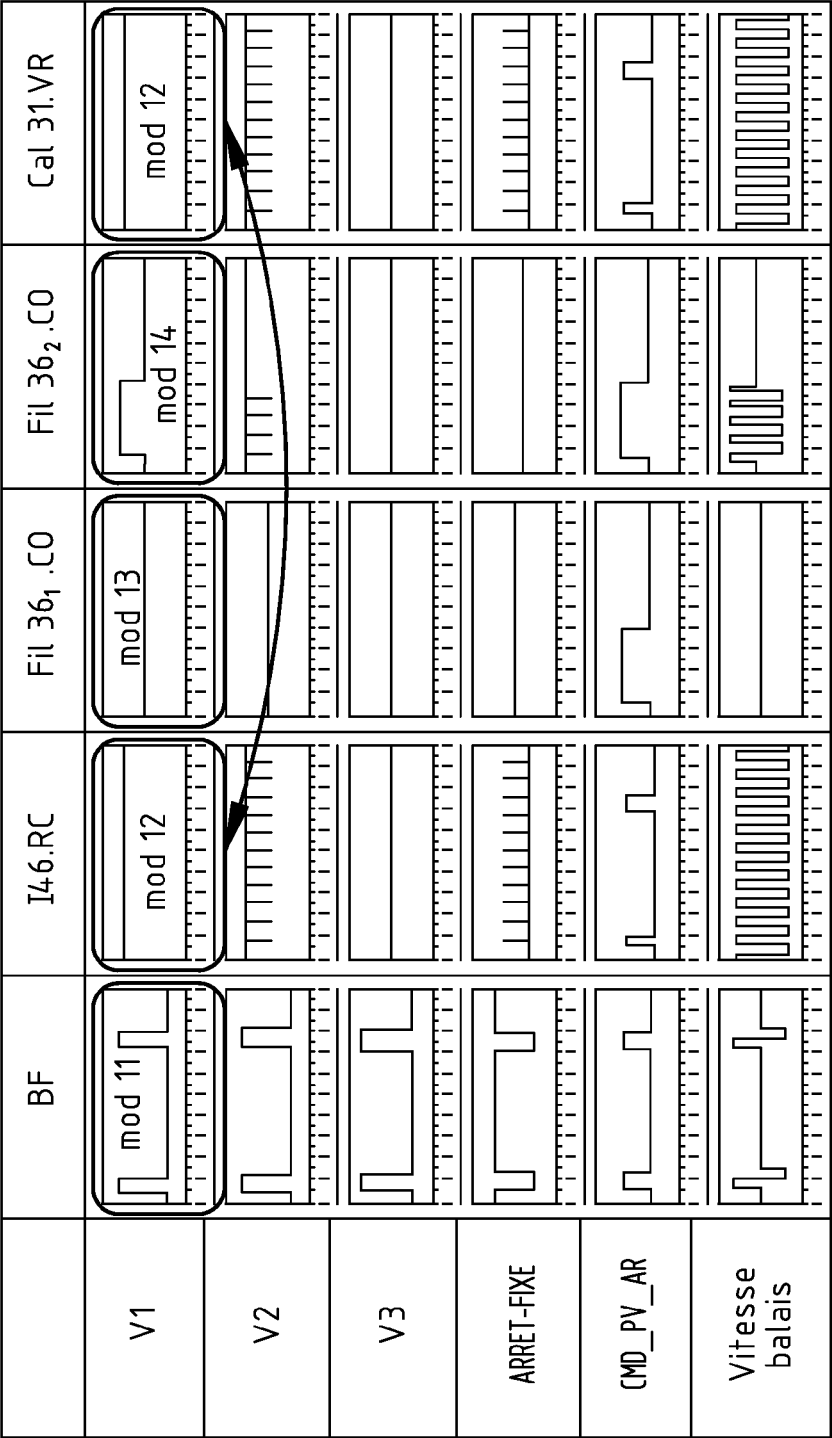


FIG.8

	BF	I46.RC	Fil 36 ₁ .C0	Fil 36 ₂ .C0	Cal 31.VR
V1	mo_11	mo_12	mo_13	mo_14	mo_12
V2	mo_21	mo_22	mo_23	mo_24	mo_22
V3	mo_31	mo_32	mo_33	mo_34	mo_32
ARRET-FIXE	mo_41	mo_42	mo_43	mo_43	mo_42
CMD_PV_AR	mo_51	mo_52	mo_53	mo_53	mo_52
Vitesse balais	mo_61	mo_62	mo_63	mo_64	mo_62

FIG.9



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 10 30 6490

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	DE 103 15 344 A1 (AUDI NSU AUTO UNION AG [DE]; UNIV SIEGEN [DE]) 30 décembre 2004 (2004-12-30) * abrégé * * figures 1,4 * * alinéas [0015] - [0019] * * alinéas [0037] - [0038] *	1-21	INV. G01M15/05 G01M17/007 G01R31/00 G07C5/08
A	US 5 592 614 A (PETERS MICHAEL [GB]) 7 janvier 1997 (1997-01-07) * abrégé * * figures 1,12 * * colonne 2 *	1-21	
A	DE 10 2008 016801 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]) 8 octobre 2009 (2009-10-08) * abrégé * * alinéa [0008] * * revendication 1 *	1-21	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G01M G01R G07C G06F
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 16 février 2011	Examineur Nelva-Pasqual, F
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	

1
EPO FORM 1503 (03.02) (P04C02)

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

EP 10 30 6490

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.

16-02-2011

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 10315344 A1	30-12-2004	AUCUN	
US 5592614 A	07-01-1997	DE 4129891 A1 GB 2249398 A	30-04-1992 06-05-1992
DE 102008016801 A1	08-10-2009	AUCUN	

EPO FORM P0460

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.

Littérature non-brevet citée dans la description

- **P. FRITZSON.** Principles of Object-oriented Modeling and Simulation with Modelica. Wiley-IEEE Computer Society Pr, 2003 **[0070]**
- **H. SAKOE ; S. CHIBA.** Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition. *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, Février 1978, vol. 26 (1), 43-49 **[0076]**
- **L. RABINER ; B.H. JUANG.** Fundamentals of Speech Recognition. Prentice Hall, 1993 **[0076]**