

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①1 N° de publication : **3 136 864**

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **22 05960**

⑤1 Int Cl⁸ : **G 05 B 13/02** (2022.01), F 02 D 35/00, H 02 P 29/66,
G 06 N 20/00, G 01 K 11/00, G 06 F 30/27

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 Système et procédé de détermination d'une grandeur dans un système de motorisation de véhicule.

②2 Date de dépôt : 17.06.22.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 22.12.23 Bulletin 23/51.

④5 Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 09.08.24 Bulletin 24/32.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *Vitesco Technologies GmbH* — DE.

⑦2 Inventeur(s) : *LEBLON Michael* et *LAMARQUE
Nicolas*.

⑦3 Titulaire(s) : *Vitesco Technologies GmbH*.

⑦4 Mandataire(s) : *Vitesco Technologies France*.

FR 3 136 864 - B1



Description

Titre de l'invention : Système et procédé de détermination d'une grandeur dans un système de motorisation de véhicule

Domaine technique et contexte

[0001] La présente invention est relative aux procédés de détermination d'une grandeur dans un système de motorisation de véhicule, notamment lorsque ladite grandeur n'est pas mesurée directement par un capteur. Dans ce cas, il faut estimer ladite grandeur à partir d'autres prises d'informations et/ou d'autres paramètres.

[0002] Selon un exemple, la grandeur d'intérêt peut être une température de rotor de moteur électrique. Selon un autre exemple, la grandeur d'intérêt peut être une température de carburant en amont de l'injection dans les cylindres. Dans les configurations de véhicule de série, il n'est pas possible d'imaginer qu'un capteur puisse mesurer directement ces grandeurs.

Art antérieur

[0003] On connaît des systèmes d'estimation utilisant un modèle basé sur les lois de la physique, pour déterminer une estimation de la grandeur d'intérêt. Le modèle utilise des grandeurs mesurables. Moyennant l'utilisation de fonctions algorithmiques, il peut fournir en sortie une estimation de la grandeur d'intérêt, non mesurable directement.

[0004] Il est aussi connu d'utiliser un réseau de neurones ('RN' en abrégé) à apprentissage supervisé. Le domaine d'apprentissage est limité à des manipulations d'apprentissage supervisées. Ainsi, il reste des lacunes sur la couverture des cas d'apprentissage du RN. Dans la pratique, cette couverture s'avère donc incomplète. Il existe donc un risque de divergence de la grandeur de sortie, en cas de survenance de cas non couverts par le plan d'expérience des situations d'apprentissage du réseau de neurones.

[0005] Les inventeurs ont cherché à améliorer la situation.

Résumé de l'invention

[0006] A cet effet, selon la présente divulgation, il est proposé un système de détermination itérative d'au moins une grandeur d'intérêt dans un système de motorisation de véhicule, ladite grandeur d'intérêt n'étant pas mesurée directement par un capteur, le système comprenant :

- un module d'estimation à apprentissage supervisé, prenant en entrée un jeu de premières données d'entrée X_i , et fournissant en sortie au moins une grandeur intermédiaire de sortie Y ,
- un module de vérification de vraisemblance, MK , prenant en entrée le jeu de premières données d'entrée X_i et un jeu de deuxièmes données d'entrée C_j , et fournissant en sortie un index de vraisemblance IK ,

- un module de traitement aval prenant en entrée l'index de vraisemblance IK et la grandeur intermédiaire de sortie Y, et fournissant en sortie une grandeur finale de sortie Z correspondant à ladite grandeur d'intérêt,

- le module de traitement aval étant configuré pour :

lorsque l'index de vraisemblance IK est **bon**, la grandeur finale de sortie Z est représentative de la grandeur intermédiaire de sortie Y, de préférence égale à cette dernière ;
lorsque l'index de vraisemblance IK est **mauvais**, la grandeur finale de sortie est issue notamment d'un modèle de représentation physique (ou « modèle physique », simplement).

[0007] On note que le module d'estimation à apprentissage supervisé peut être par exemple un module à réseau de neurones. Toutefois, d'autres types de modules à apprentissage supervisé peuvent être considérés comme par exemple un arbre de décision, une régression à noyau, une séparatrice à vaste marge. La solution du réseau de neurones est maintenant bien connue et facile à mettre en œuvre.

[0008] Un index de vraisemblance classé dans la catégorie « **bon** » se rapporte sensiblement à des conditions couvertes par un plan d'apprentissage du module d'estimation à apprentissage supervisé, par exemple un module à réseau de neurones. Un index de vraisemblance classé dans la catégorie « **mauvais** » se rapporte sensiblement à des conditions non couvertes par un plan d'apprentissage du module d'estimation à apprentissage supervisé.

[0009] Par « bon » ou « mauvais », on désigne donc deux classes, ou catégories, pour l'index de vraisemblance (IK), séparées par exemple par une ou plusieurs valeurs seuil prédéterminées (selon que l'index de vraisemblance est un vecteur à une ou plusieurs dimensions, par exemple). L'au moins une valeur seuil est avantageusement prédéterminée, compte tenu du plan d'apprentissage connu du module d'estimation à apprentissage supervisé, et enregistrée dans une mémoire du module de traitement aval.

[0010] Dit autrement :

- lorsque l'index de vraisemblance (IK) est **bon**, la grandeur finale de sortie Z est obtenue à l'aide d'un modèle basé sur l'intelligence artificielle, obtenu à l'issue d'une étape préliminaire d'apprentissage ; et

- lorsque l'index de vraisemblance (IK) est **mauvais**, la grandeur finale de sortie Z est obtenue notamment à l'aide d'un modèle de représentation physique basé sur les lois de la physique.

[0011] Le basculement d'un index de vraisemblance bon à un index de vraisemblance mauvais, se traduit donc par un basculement d'une détermination de la grandeur finale par intelligence artificielle, à l'aide du module d'estimation à apprentissage supervisé, vers une détermination de la grandeur finale à l'aide d'un modèle physique représentant l'évolution de ladite grandeur en fonction de paramètres physiques prédé-

terminés.

[0012] Grâce à quoi, on peut éviter d'avoir à utiliser une sortie du module d'estimation à apprentissage supervisé aberrante dans le cas où les conditions circonstancielles particulières diffèrent beaucoup du domaine couvert par l'apprentissage supervisé. Dit autrement, lorsque les conditions opérationnelles courantes sont substantiellement en dehors du domaine où l'apprentissage supervisé a été pratiqué, on se rabat sur un modèle physique en boucle ouverte. Ce modèle physique en boucle ouverte, qui même s'il n'est pas très précis, ou en tout cas moins précis que la sortie du module d'estimation à apprentissage supervisé, permet d'éviter de tomber sur des valeurs aberrantes qui résulteraient d'une divergence module d'estimation à apprentissage supervisé (e.g. du réseau de neurones).

[0013] Dans les cas les plus courants, la grandeur finale de sortie Z est déterminée à l'aide du module d'estimation à apprentissage supervisé. Elle présente alors une précision élevée, et son obtention ne nécessite qu'une puissance de calcul limitée.

[0014] Les cas où la grandeur finale de sortie est déterminée à l'aide d'un modèle de représentation physique restent rares. Il n'est donc pas nécessaire que le modèle de représentation physique présente une précision très élevée, de sorte que là encore la détermination de la grandeur finale de sortie ne nécessite qu'une puissance de calcul limitée. Ainsi, l'invention permet d'offrir un système de détermination itérative d'au moins une grandeur d'intérêt, qui requiert une puissance de calcul limitée (avec par conséquent un coût de fabrication réduit et/ou une rapidité de calcul élevée), tout en offrant en moyenne une précision élevée.

[0015] Il faut bien noter que les grandeurs X_i C_j Y Z sont des séries temporelles de valeurs. X_i et C_i sont issues d'un processus d'échantillonnage et Y et Z sont calculées itérativement par les modules susmentionnés. Ainsi, la notation X_i représente en réalité une série temporelle $X_i(t_k)$, la notation C_j représente une série temporelle $C_j(t_k)$, la notation Y représente une série temporelle $Y(t_k)$, la notation Z représente une série temporelle $Z(t_k)$. La variable k est ici un indice de récurrence de l'échantillonnage et du calcul. Par la locution « *la grandeur finale de sortie Z est représentative de la grandeur intermédiaire de sortie Y* », il faut comprendre que la grandeur finale de sortie Z peut être directement égale à Y , ou bien correspondre à des valeurs Y après application d'un filtre, par exemple un filtre de lissage. Autrement dit, $Z(t_k) = F3(Y(t_k))$, où la fonction $F3$ est par exemple un filtre numérique avec lissage et écrêtage.

[0016] De préférence, on a :

$$Z = F(C_i, X_j, Y, t) + CT ;$$

avec :

C_i une partie au moins des données d'entrée appartenant au jeu de deuxièmes données d'entrée, de préférence tout le jeu de deuxièmes données d'entrée ;

Xj une partie au moins des données d'entrée appartenant au jeu de premières données d'entrée, de préférence tout le jeu de premières données d'entrée ;

Y la grandeur intermédiaire de sortie ;

t un instant mesuré à compter d'un dernier instant de basculement d'un index de vraisemblance bon à un index de vraisemblance mauvais (basculement vers le modèle physique) ; et

CT est une constante.

[0017] De préférence, la constante CT est apte à établir une continuité des valeurs prises par la grandeur finale de sortie Z, lors du basculement vers le modèle physique.

[0018] Dans divers modes de réalisation de l'invention, on peut éventuellement avoir recours en outre à l'une et/ou à l'autre des dispositions suivantes, prises isolément ou en combinaison.

[0019] Selon un aspect, il peut être prévu que lorsque l'index de vraisemblance IK passe de **bon à mauvais**, à un instant t1, CT est tel que la sortie Z est **dépourvue de discontinuité** à l'instant t1. Avantagusement, même en cas de basculement vers la solution du modèle de boucle ouverte, il n'y a pas de discontinuité pour les fonctions de pilotage qui utilise la grandeur d'intérêt.

[0020] Selon un aspect, la fonction F est ou utilise une fonction (**YR**) de modèle de boucle ouverte. Une telle fonction est simple de mise en œuvre et nécessite très peu de mémoire. La fonction de modèle de boucle ouverte YR représente une bonne solution de repli fiable, même si elle peut être un peu moins précise que la sortie du réseau de neurones.

[0021] Selon un aspect, dans le module de vérification de vraisemblance, l'**index de vraisemblance** caractérise une métrique de **distance** entre le jeu de premières données d'entrée (Xi) et un domaine de premières données d'entrée de référence, et/ou entre le jeu de deuxièmes données d'entrée (Ci) et un domaine de deuxièmes données d'entrée de référence et l'index **de vraisemblance** est d'autant plus « **mauvais** » que la valeur de la métrique de distance (MD) est grande.

[0022] À l'inverse l'index **de vraisemblance** est d'autant plus « **bon** » que la valeur de la métrique de distance est petite.

[0023] Le basculement vers le modèle physique peut ainsi se produire lorsque la valeur de la métrique de distance dépasse un premier seuil prédéterminé (MD1). Le retour à la normale c'est-à-dire à l'utilisation de la sortie du réseau de neurones peut se produire lorsque la valeur de la métrique de distance passe en dessous d'un deuxième seuil prédéterminé (MD2).

[0024] Selon un aspect, la grandeur d'intérêt est une **température** d'un organe lié au système de motorisation de véhicule, par exemple une température d'un rotor de moteur électrique, ou une température de cellules de batteries. Les inventeurs ont

remarqué qu'une mesure de température se prêtait particulièrement bien à l'application du procédé et du système promus ici.

- [0025] Selon un aspect, la grandeur d'intérêt est une **température** d'un **fluide** du système de motorisation de véhicule, par exemple une température d'un carburant. Dans un véhicule à moteur thermique, la température de certains fluides peut influencer substantiellement sur la calibration du pilotage de l'injection de carburant et de l'allumage.
- [0026] Selon d'autres variantes encore, la grandeur d'intérêt peut être un débit de fluide (par exemple de l'air dans un moteur thermique) ou de liquide (par exemple un carburant ou un liquide de refroidissement de composants du moteur thermique ou électrique).
- [0027] Selon un aspect, les grandeurs Y et Z peuvent être des grandeurs multidimensionnelles. Il peut s'agir par exemple de plusieurs températures estimées à des positions différentes ; par exemple pour un rotor de moteur de traction électrique, on peut considérer la température de l'arbre, la température des enroulements ou des aimants permanents, un gradient de température entre un côté axial et l'autre côté axial du rotor.
- [0028] Selon un aspect, le module de traitement aval comprend une fonction de **filtrage** numérique et/ou une fonction **d'écrtage**. La fonction d'écrtage permet d'exclure toute valeur aberrante ou en dehors d'un intervalle normalement attendu, et la fonction filtrage permet d'éviter des changements brusques dans la fonction pilotage qui utilise la grandeur d'intérêt.
- [0029] Selon un autre aspect, il peut être prévu que les trois modules, à savoir le module d'estimation à apprentissage supervisé, le module de vérification de vraisemblance, et le module de traitement aval sont contenus dans une seule **unité de commande**. Ainsi, dans le cas de système de motorisation à moteur thermique, les trois modules sont hébergés dans le calculateur de contrôle moteur ou dans un superviseur de groupe moto propulseur. Il en est de même pour le cas d'une motorisation électrique où les trois modules peuvent être implémentés dans le calculateur de contrôle de traction ou dans un superviseur de fonctionnement.
- [0030] Selon d'autres implémentations, les modules peuvent se trouver dans des unités différentes.
- [0031] Selon un autre aspect, le **calcul** de la grandeur finale de sortie (Z) est réalisé avec une **fréquence** au moins égale à une fois par seconde. Ainsi, l'itération de calcul est assez rapide et la fourniture d'une information de la grandeur d'intérêt est faite et rafraîchie en temps réel.
- [0032] Selon un autre aspect, l'invention concerne aussi un **procédé de détermination** itérative d'au moins une **grandeur d'intérêt** dans un système de motorisation de véhicule, ladite grandeur d'intérêt n'étant **pas mesurée** directement par un capteur, le procédé comprenant :

- fournir un jeu de premières données d'entrée X,
 - injecter le jeu de premières données d'entrée dans un module d'estimation à apprentissage supervisé,
 - obtenir en sortie au moins une grandeur intermédiaire de sortie Y,
- [0033] - fournir un jeu de deuxièmes données d'entrée C,
- injecter le jeu de premières données d'entrée X le jeu de deuxièmes données d'entrée C dans un module de vérification de vraisemblance et obtenir en sortie un index de vraisemblance (IK),
 - injecter la grandeur intermédiaire de sortie Y et l'index de vraisemblance IK dans un **module de traitement aval** fournissant en sortie une **grandeur finale de sortie Z** correspondant à ladite grandeur d'intérêt,
 - Lorsque l'index de vraisemblance IK est **bon**, choisir pour la grandeur finale de sortie Z une valeur représentative de la grandeur intermédiaire de sortie Y
 - Lorsque l'index de vraisemblance IK est **mauvais**, choisir pour la grandeur finale de sortie des valeurs issues notamment d'un modèle de représentation physique.
- [0034] Comme détaillé ci-avant, de manière avantageuse, lorsque l'index de vraisemblance (IK) est **mauvais**, la grandeur finale de sortie est issue d'une fonction F définie par :
- [0035] $Z = F(C_i, X_j, Y, t) + CT$;
- avec :
- Ci une partie au moins des données du jeu de deuxièmes données d'entrée;
 - Wj une partie au moins des données du jeu de premières données d'entrée ;
 - Y la grandeur intermédiaire de sortie ;
 - t un instant depuis un dernier basculement d'un index de vraisemblance bon à un index de vraisemblance mauvais ; et
 - CT est une constante.
- [0036] Selon un aspect, dans le module de vérification de vraisemblance, l'**index de vraisemblance** caractérise une métrique de **distance** entre le jeu de premières données d'entrée (Xi) et un domaine de premières données d'entrée de référence, et/ou entre le jeu de deuxièmes données d'entrée (Ci) et un domaine de deuxièmes données d'entrée de référence et l'index **de vraisemblance** est d'autant plus « **mauvais** » que la valeur de distance (MD) est grande.
- [0037] À l'inverse l'index **de vraisemblance** est d'autant plus « **bon** » que la distance est petite.
- [0038] Le basculement vers le modèle physique peut ainsi se produire lorsque la valeur de la métrique de distance dépasse un premier seuil prédéterminé (MD1). Le retour à la normale c'est-à-dire à l'utilisation de la sortie du réseau de neurones peut se produire lorsque la valeur de la métrique de distance passe en dessous d'un deuxième seuil prédéterminé (MD2).

- [0039] Selon un aspect, lorsque l'index de vraisemblance IK passe de **bon** à mauvais, à un instant t1, CT est tel que la sortie Z est **dépourvue de discontinuité** à l'instant t1.
- [0040] Et lorsque l'index de vraisemblance IK passe de **mauvais** à **bon**, à un instant t2, la sortie Z bascule sur la sortie du réseau de neurone, avec possiblement une **discontinuité** à l'instant t2.
- [0041] De plus grâce à un système de basculement progressif (poids relatifs W1 W2 qui se croisent) on peut éviter les discontinuités de sortie dans les deux situations de basculement. On peut également stabiliser le basculement par un mécanisme d'hystérésis, notamment si les seuils prédéterminés MD1 et MD2 décrits plus haut sont différents.
- [0042] La présente invention vise également un calculateur de contrôle moteur caractérisé en ce qu'il inclut un système tel que décrit plus haut, ou en ce qu'il met en œuvre un procédé tel que décrit plus haut.
- [0043] D'autres aspects, buts et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation de l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif. L'invention sera également mieux comprise en regard des dessins joints sur lesquels :
- [0044] - la [Fig.1] illustre un bloc diagramme d'un exemple de système de détermination itérative d'au moins une grandeur d'intérêt selon la présente invention,
- [0045] - la [Fig.2] représente un exemple illustratif de chronogramme concernant une sortie du système de détermination itérative,
- [0046] - la [Fig.3] est analogue à la [Fig.1] et montre le bloc diagramme dans la situation normale où le réseau de neurones est utilisé complètement,
- [0047] - la [Fig.4] est analogue à la [Fig.1] et montre le bloc diagramme dans la situation où un module de vérification de vraisemblance prévaut et où le réseau de neurones est court-circuité,
- [0048] - la [Fig.5] est analogue à la [Fig.1] et illustre des éléments de variation,
- [0049] - la [Fig.6] représente schématiquement un exemple de réseau de neurones à apprentissage supervisé,
- [0050] - la [Fig.7] illustre une métrique de mesure de distance utilisée dans le calcul de l'index de vraisemblance.

Description détaillée de modes de réalisation

- [0051] Sur les différentes figures, les mêmes références désignent des éléments identiques ou similaires. Pour des raisons de clarté de l'exposé, certains éléments ne sont pas nécessairement représentés à l'échelle.
- [0052] Dans le présent document, on désigne par le terme « *module* » un ensemble de circuits électroniques capables de réaliser une fonction donnée, l'ensemble desdits circuits électroniques pouvant être programmables et supporter l'exécution des instructions d'un code logiciel. Par extension ; le terme module peut désigner un bloc

fonctionnel complet voire un bloc physique bien identifié.

- [0053] On s'intéresse ici aux systèmes de motorisation de véhicule, qu'ils fassent appel à un moteur à combustion interne brûlant du carburant, ou un moteur électrique de traction, ou les deux en même temps.
- [0054] Il y a certaines grandeurs d'intérêt qui ne peuvent être mesurées directement sur les configurations de véhicule de série. Selon un exemple, la grandeur d'intérêt peut être une température de rotor de moteur électrique. Selon un autre exemple, la grandeur d'intérêt peut être une température de carburant en amont de l'injection dans les cylindres.
- [0055] Selon encore un autre exemple, la grandeur d'intérêt peut être une température des cellules de batterie dans le cas d'un véhicule hybride ou 100 % électrique.
- [0056] Selon encore un autre exemple, la grandeur d'intérêt peut être un débit de fluide par exemple en phase gazeuse, par exemple de l'air d'admission dans un moteur thermique ; ou bien en phase liquide, par exemple un débit de carburant ou un débit de liquide de refroidissement.
- [0057] Les grandeurs d'intérêt présentées ci-dessus sont utilisées dans un **calculateur** de contrôle moteur, qui selon les cas pilote le fonctionnement d'un moteur thermique ou d'un moteur électrique de traction du véhicule.
- [0058] Dans les phases de développement du véhicule ou du système de motorisation, les ingénieurs utilisent des moyens de laboratoire qui permettent d'avoir accès à ces grandeurs d'intérêt. Toutefois dans les véhicules ou les systèmes de motorisation produits en grande série, il n'est pas réaliste d'avoir de tels capteurs installés et par conséquent la mesure de la grandeur d'intérêt n'est pas disponible directement. Il faut alors utiliser à la place un système d'estimation de cette grandeur d'intérêt.
- [0059] A cet égard, l'invention propose un système 10, pour fournir une estimation de la valeur courante d'une grandeur d'intérêt, lorsqu'il n'est pas possible de mesurer directement cette valeur courante.
- [0060] Le système 10 comprend un module à réseau de neurones, repéré **1** ou RN, voir [Fig.1]. Le module à réseau de neurones 1 comporte un calculateur, et une mémoire stockant un modèle prédictif construit lors d'une phase préalable d'apprentissage. Ladite phase de construction du modèle prédictif met en œuvre des algorithmes d'apprentissage de type « machine learning », c'est pourquoi on parle dans l'exemple illustré en pratique d'un module « à réseau de neurones ». Le modèle prédictif est construit en utilisant des mesures obtenues à l'aide de capteurs qui ne sont implémentés que durant cette phase d'apprentissage, et qui ne seront plus disponibles ensuite, lorsque le système 10 est utilisé en conditions réelles d'utilisation.
- [0061] Il faut bien remarquer que le module à réseau de neurones n'est qu'un exemple parmi d'autres types de modules à apprentissage supervisé comme par exemple un arbre de

décision, une régression à noyau, une séparatrice à vaste marge. C'est ainsi que l'on peut énoncer que le système 10 selon la présente invention comprend de manière générique un « module à apprentissage supervisé ».

- [0062] Le module à réseau de neurones 1 prend en entrée un jeu 41 **de premières données d'entrée** (X_1-X_m), et il est configuré pour fournir en sortie au moins une **grandeur intermédiaire de sortie Y**.
- [0063] La grandeur intermédiaire de sortie **Y** est une estimation de la valeur courante de la grandeur d'intérêt, obtenue à l'aide du modèle prédictif stocké dans le module à réseau de neurones 1.
- [0064] Les premières données d'entrées **X_i** peuvent comprendre un débit volumique de liquide, au moins une température de fluide, et/ou au moins une pression de fluide, et/ou au moins une température de composant(s) mécanique(s), et/ou au moins une vitesse, et/ou l'état d'au moins un actionneur, et/ou au moins une donnée relative aux conditions environnantes.
- [0065] Dans le cas de figure d'une température de carburant, les premières données d'entrées **X_i** peuvent comprendre la température du liquide de refroidissement moteur, la température extérieure de l'air, la vitesse moyenne du véhicule sur la dernière minute, la charge moteur, une requête de débit de carburant, le débit ou la quantité de carburant consommé au cours des 10 dernières secondes, la température d'air sous capot moteur, etc...
- [0066] Dans le cas de figure d'une température de rotor du moteur électrique de traction, les premières données d'entrées **X_i** peuvent comprendre, la température extérieure, la vitesse moyenne du véhicule sur la dernière minute, la charge demandée au moteur sur les 10 dernières secondes, la vitesse moyenne du véhicule, la température du stator, la température ou les températures de la ou des batteries électriques, la température d'air sous capot moteur, etc...
- [0067] Il est important de noter que le nombre **m** des premières données d'entrées ne doit pas être trop important pour que les calculs itératifs temps réel puissent être réalisés en limitant la quantité de ressources mémoire et CPU (puissance de calcul) consommées. Autrement dit le réseau de neurones doit être de taille raisonnable voire minimale.
- [0068] Selon un exemple, **m** peut être compris entre 5 et 20.
- [0069] Le système 10 selon l'invention comprend en outre un module de vérification de vraisemblance, repéré **2** ou **MK**, prenant en entrée le jeu 41 de premières données d'entrée (**X₁-X_m**) et un jeu 42 de deuxièmes données d'entrée (**C₁-C_n**).
- [0070] Le module de vérification de vraisemblance **2** est configuré pour fournir en sortie un index de vraisemblance note **IK**.
- [0071] Selon un exemple, pour le jeu de deuxièmes données d'entrée, **n** peut être compris entre 10 et 30.

- [0072] Comme illustré sur la [Fig.7], l'**index de vraisemblance IK** caractérise avantageusement une métrique de **distance MD** entre le jeu de premières données d'entrée X_i et un domaine de premières données d'entrée de référence **Eapp**.
- [0073] L'espace multidimensionnel pris en compte peut aussi englober les deuxièmes données d'entrée **Ci** de sorte que la métrique de distance **MD** peut aussi prendre en compte une distance entre le jeu de deuxièmes données d'entrée et un domaine de deuxièmes données d'entrée de référence.
- [0074] Si pour chaque dimension correspondant à une information en entrée, par exemple **X1**, on dispose d'un intervalle de couverture de l'apprentissage supervisé exprimé sous forme $[X1_{min} - X1_{max}]$, et si la valeur courante est en dehors de cet intervalle, on détermine la distance **X1d** qui sépare **X1** courante de la borne la plus proche ($X1_{min}$ ou $X1_{max}$). Ce calcul est réalisé **m** fois, à savoir pour toutes les variables /dimensions, et ensuite on additionne les distances **Xid**. Ceci est un exemple de métrique de distance appliqué à un espace multidimensionnel. On peut choisir pour métrique une somme des carrés des distances individuelles, ou toute autre combinaison connue de l'homme du métier
- [0075] Comme évoqué plus haut, l'index de vraisemblance **IK** peut également prendre en compte le deuxième jeu de données d'entrée (variables **Cj**), selon la même logique, pour calculer des distance **Cjd**. La métrique de distance **MD** peut être la somme des **Xid** et des **Cjd**.
- [0076] De préférence, le calcul de la métrique de distance **MD** est réalisé dans un espace multidimensionnel.
- [0077] On peut choisir par exemple **IK = 1 / MD**. Donc si **MD** est petit ou nul, l'index de vraisemblance **IK** est élevé, autrement dit **bon**. Dans ce cas, et comme détaillé dans la suite, on peut considérer que la confiance peut être donnée à la sortie intermédiaire **Y** du réseau de neurones **RN**.
- [0078] A l'inverse, si **MD** est grand, l'index de vraisemblance **IK** est faible, autrement dit **Mauvais**. Dans ce cas, et comme détaillé dans la suite, on peut considérer que la confiance ne peut pas être donnée à la sortie intermédiaire **Y** du réseau de neurones **RN**. Comme détaillé dans la suite, le système selon l'invention peut alors basculer vers une sortie représentant un modèle physique, de préférence un modèle en boucle ouverte.
- [0079] Par exemple, sur la [Fig.7], les premières conditions opérationnelles courantes représentées par le point **P1** sont à l'intérieur du domaine **Eapp** ayant fait l'objet d'un apprentissage supervisé. Dans ce cas, l'index de vraisemblance **IK** est **bon**, et on peut considérer que la confiance peut être donnée à la sortie intermédiaire **Y** du réseau de neurones **RN**.
- [0080] A l'inverse, les secondes conditions opérationnelles représentées par le point **P2** sont

à une certaine distance **MD** du domaine **Eapp**, et il peut alors être décidé de basculer vers une sortie représentant un modèle physique, de préférence un modèle en boucle ouverte.

- [0081] Comme illustré la [Fig.7], le basculement vers le modèle physique peut se produire lorsque la valeur de la métrique de distance **MD** dépasse un premier seuil prédéterminé **MD1**. Le retour à la normale c'est-à-dire à l'utilisation de la sortie du réseau de neurones peut se produire lorsque la valeur de métrique de distance passe en dessous d'un deuxième seuil prédéterminé **MD2** (hystérésis).
- [0082] L'index de vraisemblance **IK** peut aussi donner une valeur faible en cas de discordance forte ou d'incohérence dans l'ensemble des données **Xi, Cj**. Le module de vérification de vraisemblance **2** peut ainsi comporter une algorithmique de vérification de cohérence entre certaines données, ce qui permet de détecter un dysfonctionnement manifeste d'une des sources d'information. L'index de vraisemblance, en complément de la mesure de distance mentionnée ci-dessus ou en remplacement de celle-ci peut être représentatif d'un indice d'incohérence des données d'entrée.
- [0083] Selon l'invention, le système 10 comporte en outre un calculateur, configuré pour calculer des valeurs refuges notées **YR**. Les valeurs refuge **YR** sont calculées à l'aide d'un modèle de représentation physique, ou modèle physique, en boucle ouverte. Plus précisément, il est calculé une série temporelle **YR(t_k)**.
- [0084] Ici, les valeurs refuge **YR** sont calculées au sein du module de vérification de vraisemblance **2**. En variante, elles peuvent être calculées dans un module dédié, ou dans le module de traitement aval décrit dans la suite.
- [0085] On a par exemple **YR = FR (Ci,Xj)**, la fonction refuge **FR** ayant été caractérisée par des essais antérieurs sur des systèmes ou sur des véhicules de développement.
- [0086] Enfin, le système 10 selon l'invention comprend en outre un module de traitement aval **3**, prenant en entrée l'index de vraisemblance **IK** et la grandeur intermédiaire de sortie **Y**.
- [0087] Le module de traitement aval **3** prend aussi en compte les valeurs refuges notées **YR**, qui peuvent être calculées directement par ledit module de traitement aval 3, ou être reçues en entrée par ce dernier comme illustré à la [Fig.1]. Le module de traitement aval **3** configuré pour fournir en sortie une grandeur finale de sortie **Z**, correspondant à ladite grandeur d'intérêt.
- [0088] Selon l'invention, le module de traitement aval **3** est configuré pour déterminer la valeur de la grandeur finale de sortie **Z**, sur la base de la logique ci-après :
- lorsque l'index de vraisemblance **IK** est **bon**, la grandeur finale de sortie **Z** est représentative de la grandeur intermédiaire de sortie **Y** ; et
 - lorsque l'index de vraisemblance **IK** est **mauvais**, la grandeur finale de sortie **Z** est issue notamment d'un modèle de représentation physique. Dit autrement, la grandeur

finale de sortie est alors fonction des valeurs refuge **YR** mentionnée ci-dessus.

- [0089] En régime établi, dans le cas fonctionnel normal, illustré la [Fig.3], la sortie est issue essentiellement de la grandeur intermédiaire de sortie **Y**.
- [0090] À l'inverse dans le cas illustré à la [Fig.4], la sortie **Z** est issue essentiellement d'une fonction des valeurs refuges **YR**.
- [0091] Pour assurer la continuité de la sortie, le basculement entre la valeur intermédiaire **Y** et la valeur refuge **YR** peut être progressif, sur un intervalle temporel de quelques secondes.
- [0092] On peut par exemple appliquer la logique suivante :
- [0093] $Z = W1 \times Y + W2 \times YR$.
- [0094] Avec $W1 + W2 = 1$, **W1** et **W2** étant des poids respectifs de la valeur intermédiaire de sortie **Y** et de la valeur refuge **YR**. Cette configuration est illustrée la [Fig.5].
- [0095] Un basculement de $W1=1$ à $W1=0$ peut être fait graduellement, par exemple sur une fenêtre de temps de 5 à 10 secondes. De façon similaire, un basculement de $W1=0$ à $W1=1$ peut être fait graduellement, par exemple sur une fenêtre de temps de 5 à 10 secondes.
- [0096] Sur la [Fig.2], il est illustré l'évolution, en fonction du temps, de la grandeur finale de sortie telle que fournie en sortie du système 10 selon l'invention.
- [0097] Jusqu'à l'instant **t1**, le module de traitement aval **3** fonctionne dans un mode nominal dans lequel la grandeur finale de sortie est issue essentiellement de la grandeur intermédiaire **Y** issue du module à réseau de neurones 1.
- [0098] À l'instant **t1**, il se produit un basculement, sans discontinuité, vers la fonction de boucle ouverte avec les valeurs refuges **YR**.
- [0099] À l'instant **t2**, il se produit un nouveau basculement, de retour vers le cas dans lequel la grandeur finale de sortie est issue essentiellement de la grandeur intermédiaire **Y** issue du module à réseau de neurones 1.
- [0100] En tout état de cause, on peut définir une fonction **F** déterminant la valeur prise par la grandeur finale de sortie lorsque l'index de vraisemblance **IK** est **mauvais**.
- [0101] Cette fonction **F** dépend, au moins, de la valeur refuge **YR**, laquelle dépend des **Ci** et **Xj** (voir fonction refuge **FR** mentionnée ci-dessus).
- [0102] La fonction **F** peut dépendre également de :
- la valeur intermédiaire **Y**, pour assurer la continuité de la sortie,
 - le temps **t** depuis un dernier basculement d'un index de vraisemblance bon à un index de vraisemblance mauvais, la continuité de la sortie n'ayant besoin d'être assurée que sur un intervalle de temps prédéterminé à compter de ce basculement.
- La fonction **F** peut également être fonction d'une constante **CT**, pour une continuité optimale de la sortie.
- [0103] Comme mentionné ci-avant, en régime établi, la sortie est issue essentiellement de la

grandeur intermédiaire de sortie **Y**, ou des valeurs refuge **YR**, selon le cas.

- [0104] Par « issue essentiellement », on entend que la sortie peut être exactement égale à ladite grandeur intermédiaire de sortie **Y**, respectivement valeurs refuge **YR**, ou bien que la sortie peut être issue du filtrage et/ou de l'écrêtage de ladite grandeur intermédiaire de sortie **Y**, respectivement lesdites valeurs refuge **YR**.
- [0105] Le module de traitement aval **3** peut donc comprendre un module **5** réalisant une fonction de filtrage numérique et/ou une fonction d'écrêtage.
- [0106] On illustre ensuite, en référence à la [Fig.6], le réseau de neurones mis en œuvre dans le module à réseau de neurones 1.
- [0107] Le jeu de premières données d'entrée **X1** à **Xm** est fourni à une couche d'entrée **11** du réseau de neurones. Les couches intermédiaires du réseau de neurones sont repérées **12,13, 14, 15**, la couche de sortie donnant la valeur qui est ici la grandeur intermédiaire de sortie **Y**.
- [0108] Les flèches en traits mixtes de la [Fig.6] illustrent le processus d'apprentissage dans lequel les coefficients et poids des nœuds du réseau de neurones sont ajustés au moyen d'une fonction de coût calculer sur les sorties pour l'ensemble du domaine où l'apprentissage supervisé est réalisé. Une fois l'apprentissage réalisé, les coefficients et poids des nœuds sont fixes dans le réseau de neurones.
- [0109] De manière avantageuse, les trois modules 1,2,3 du système 10 selon l'invention sont contenues dans une **unité de commande**.
- [0110] Bien entendu, le calcul de la grandeur intermédiaire **Y** et le calcul de la grandeur finale de sortie **Z** sont itératifs. De préférence, le **calcul** de la grandeur finale de sortie **Z** est réalisé avec une **fréquence** au moins égale à une fois par seconde. Ceci s'avère suffisant si la grandeur d'intérêt est une température. Selon un exemple particulier, le **calcul** de la grandeur finale de sortie **Z** est réalisé avec une **fréquence** au moins égale à une fois par seconde, voire 4 fois par seconde.
- [0111] Dans le cas où la grandeur d'intérêt est un débit de fluide, la fréquence de calcul peut être au moins égale à 10 fois par seconde. Il faut ici noter que le module à réseau de neurones réalise les calculs impliqués en un temps infime, et c'est le processus d'échantillonnage en amont qui est le facteur limitant. Bien entendu on peut monter à une fréquence supérieure à 10 fois par seconde pour certaines applications.

Revendications

[Revendication 1]

Système de détermination itérative d'au moins une **grandeur d'intérêt** dans un système de motorisation de véhicule, ladite grandeur d'intérêt n'étant **pas mesurée** directement par un capteur,

le système comprenant :

- un module d'estimation à apprentissage supervisé (1), prenant en entrée un jeu de **premières données d'entrée** (X1-Xm), et fournissant en sortie au moins une **grandeur intermédiaire de sortie** (Y),

- un module de vérification de vraisemblance (2,MK), prenant en entrée le jeu de premières données d'entrée (X1-Xm) et un jeu de **deuxièmes données d'entrée** (C1-Cn), et fournissant en sortie un **index de vraisemblance** (IK), l'**index de vraisemblance** caractérisant une métrique de **distance** entre le jeu de premières données d'entrée (Xi) et un domaine de premières données d'entrée de référence, et/ou entre le jeu de deuxièmes données d'entrée (Ci) et un domaine de deuxièmes données d'entrée de référence, et l'**index de vraisemblance** étant d'autant plus « mauvais » que la valeur de la métrique de distance (MD) est grande,

- un module de traitement aval (3) prenant en entrée l'index de vraisemblance (IK) et la **grandeur intermédiaire de sortie** (Y), et fournissant en sortie une **grandeur finale de sortie** (Z) correspondant à ladite grandeur d'intérêt,

- le **module de traitement aval** étant configuré pour :

lorsque l'index de vraisemblance (IK) est **bon**, la grandeur finale de sortie Z est représentative de la grandeur intermédiaire de sortie Y, la grandeur finale de sortie Z étant alors directement égale à Y, ou correspondant à des valeurs Y après application d'un filtre,

lorsque l'index de vraisemblance (IK) est **mauvais**, la grandeur finale de sortie est issue notamment d'un modèle de représentation physique défini par une fonction F, laquelle est définie par :

$$Z = F (Ci, Xj, Y, t) + CT ;$$

avec :

Ci une partie au moins des données du jeu de deuxièmes données d'entrée;

Xj une partie au moins des données du jeu de premières données d'entrée ;

Y la grandeur intermédiaire de sortie ;

t un instant depuis un dernier basculement d'un index de vraisemblance bon à un index de vraisemblance mauvais ; et
CT est une constante.

- [Revendication 2] Système selon la revendication 1, dans lequel, module d'estimation à apprentissage supervisé est un module à réseau de neurones (RN).
- [Revendication 3] Système selon la revendication 1 ou 2, dans lequel lorsque l'index de vraisemblance (IK) passe de **bon** à **mauvais**, à un instant t1, CT est tel que la sortie Z est **dépourvue de discontinuité** à l'instant t1.
- [Revendication 4] Système selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel la fonction F est ou utilise une fonction (**YR**) de modèle de boucle ouverte.
- [Revendication 5] Système selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel la grandeur d'intérêt est une **température** d'un organe lié au système de motorisation de véhicule.
- [Revendication 6] Système selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel la grandeur d'intérêt est une **température** d'un **fluide** du système de motorisation de véhicule.
- [Revendication 7] Système selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel le module de traitement aval comprend une fonction de **filtrage** numérique et/ou une fonction **d'écrtage** pour former la grandeur finale de sortie Z à partir de la grandeur intermédiaire de sortie Y.
- [Revendication 8] Système selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel les trois modules, à savoir le module d'estimation à apprentissage supervisé (1), le module de vérification de vraisemblance (2), et le module de traitement aval (3) sont contenus dans une seule **unité de commande**.
- [Revendication 9] **Procédé de détermination** itérative d'au moins une **grandeur d'intérêt** dans un système de motorisation de véhicule, ladite grandeur d'intérêt n'étant **pas mesurée** directement par un capteur, le procédé comprenant :
- fournir un jeu de premières données d'entrée (Xi),
 - injecter le jeu de premières données d'entrée dans un module d'estimation à apprentissage supervisé (1),
 - obtenir en sortie au moins une grandeur intermédiaire de sortie Y,
 - fournir un jeu de deuxièmes données d'entrée (Cj),
 - injecter le jeu de premières données d'entrée le jeu de deuxièmes données d'entrée dans un module de vérification de vraisemblance et obtenir en sortie un index de vraisemblance (IK), **l'index de vraisemblance** caractérisant une métrique de **distance** entre le jeu de premières données d'entrée (Xi) et un domaine de premières données

d'entrée de référence, et/ou entre le jeu de deuxièmes données d'entrée (Ci) et un domaine de deuxièmes données d'entrée de référence, et l'index **de vraisemblance** étant d'autant plus « mauvais » que la valeur de la métrique de distance (MD) est grande,

- injecter la grandeur intermédiaire de sortie (Y) et l'index de vraisemblance (IK) dans un **module de traitement aval** fournissant en sortie une **grandeur finale de sortie (Z)** correspondant à ladite grandeur d'intérêt

- lorsque l'index de vraisemblance (IK) est **bon**, choisir pour la grandeur finale de sortie Z une valeur représentative de la grandeur intermédiaire de sortie (Y) la grandeur finale de sortie Z étant alors directement égale à Y, ou correspondant à des valeurs Y après application d'un filtre,

- lorsque l'index de vraisemblance IK est **mauvais**, choisir pour la grandeur finale de sortie des valeurs issues notamment d'un modèle de représentation physique défini par une fonction F, laquelle est définie par :

$$Z = F (C_i, X_j, Y, t) + CT ;$$

avec :

Ci une partie au moins des données du jeu de deuxièmes données d'entrée;

Xj une partie au moins des données du jeu de premières données d'entrée ;

Y la grandeur intermédiaire de sortie ;

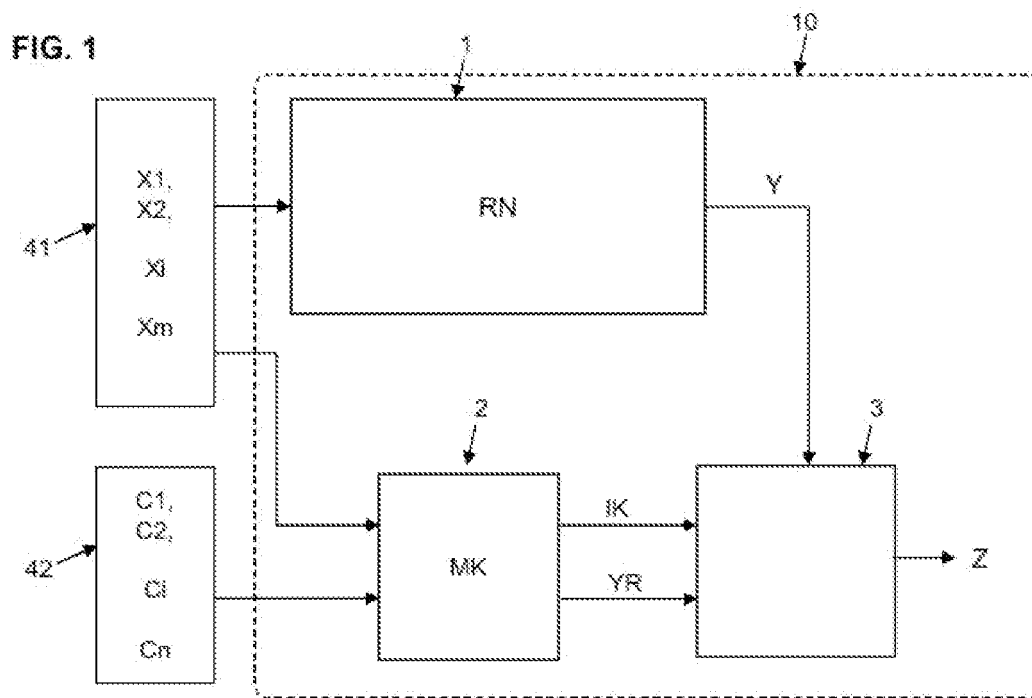
t un instant depuis un dernier basculement d'un index de vraisemblance bon à un index de vraisemblance mauvais ; et

CT est une constante.

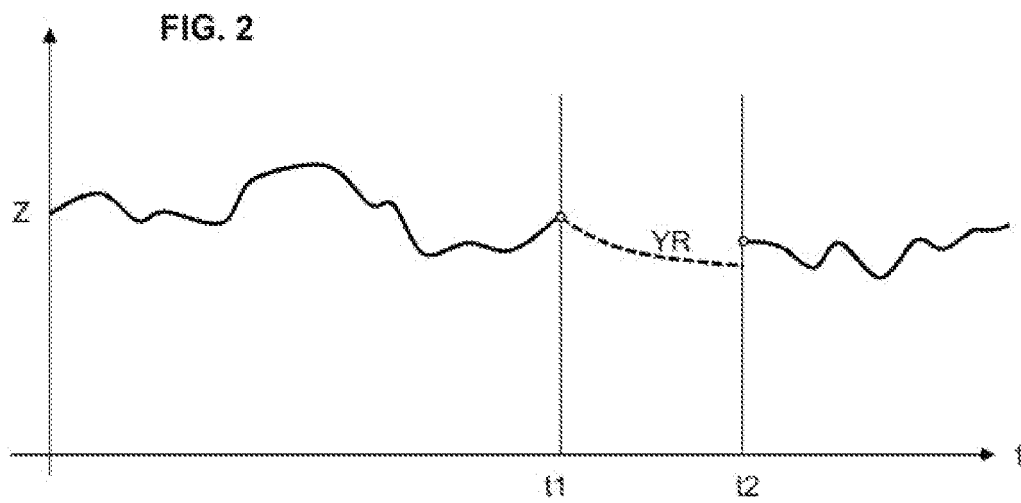
[Revendication 10] Procédé selon la revendication 9, dans lequel lorsque l'index de vraisemblance IK passe de **bon** à **mauvais**, à un instant t1, CT est tel que la sortie Z est **dépourvue de discontinuité** à l'instant t1.

[Revendication 11] **Calculateur** (10) de contrôle moteur, pour moteur thermique ou électrique, caractérisé en ce qu'il inclut un système selon l'une des revendications 1 à 8 ou en ce qu'il met en œuvre un procédé selon la revendication 9 ou 10.

[Fig. 1]

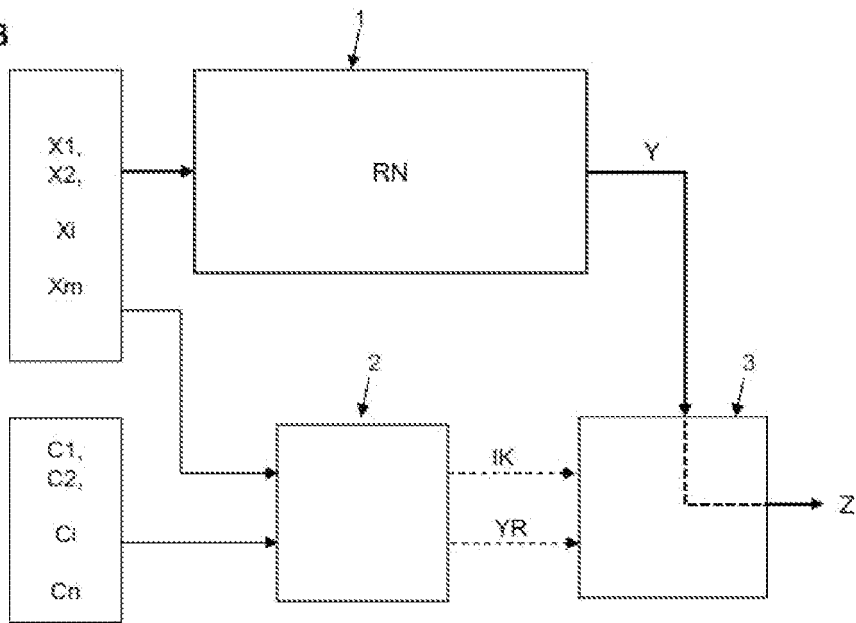


[Fig. 2]



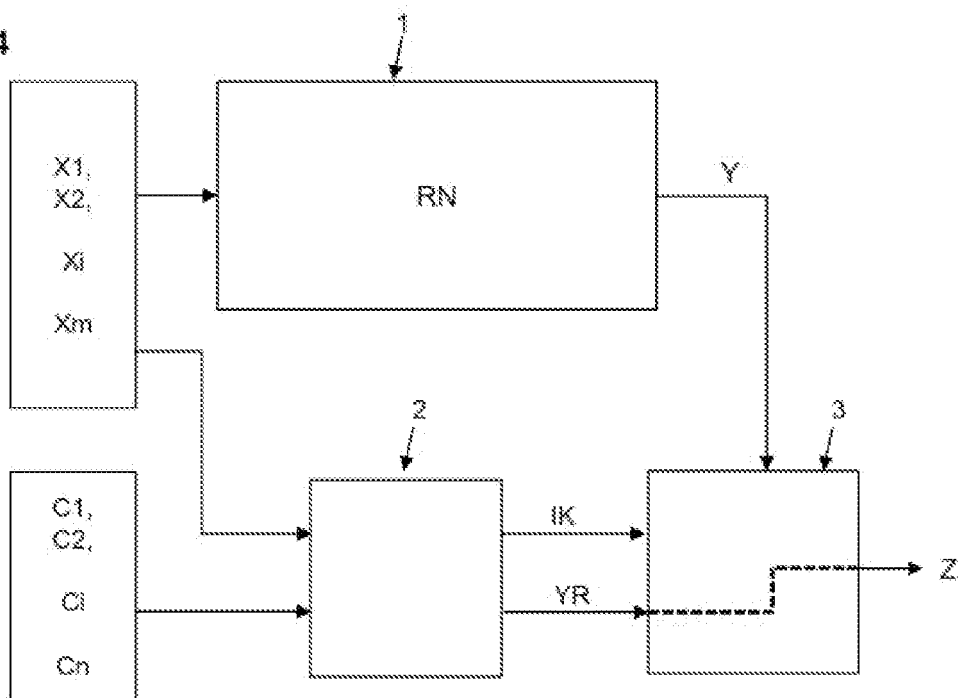
[Fig. 3]

FIG. 3



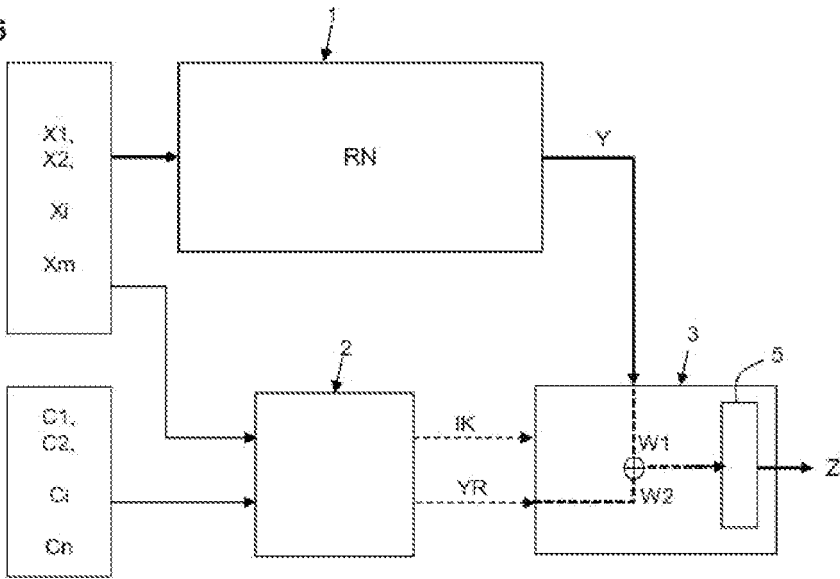
[Fig. 4]

FIG. 4



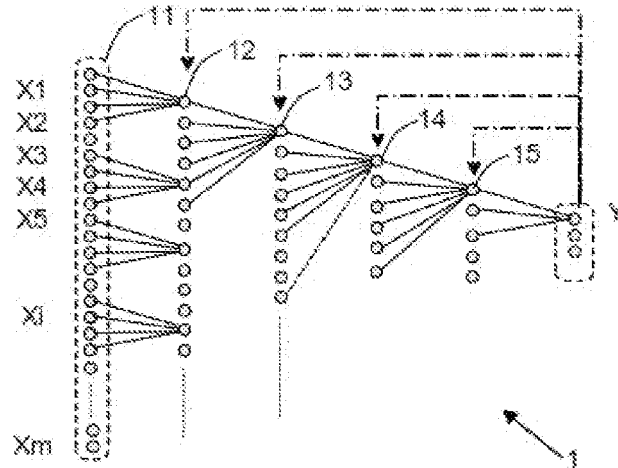
[Fig. 5]

FIG. 5



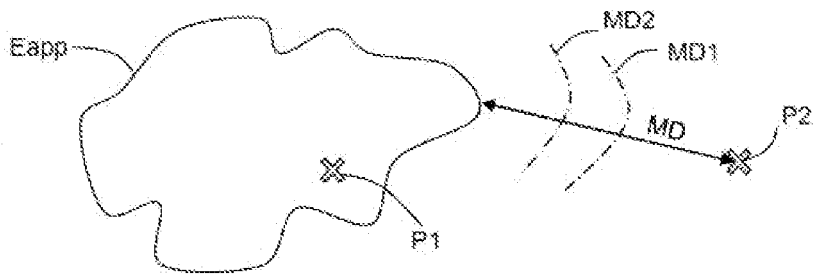
[Fig. 6]

FIG. 6



[Fig. 7]

FIG. 7



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

DE 10 2008 001081 B4 (BOSCH GMBH ROBERT
[DE]) 4 novembre 2021 (2021-11-04)

WO 96/05421 A1 (MECEL AB [SE]; NYTOMT JAN
[SE]) 22 février 1996 (1996-02-22)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT