

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

11 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

3 102 263

21 N° d'enregistrement national : 19 11780

51 Int Cl<sup>8</sup> : G 06 F 17/10 (2019.12)

12

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 22.10.19.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 23.04.21 Bulletin 21/16.

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

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demanda(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public à caractère industriel et commercial — FR, UNIVERSITE DE SAVOIE MONT BLANC Etablissement public à caractère industriel et commercial — FR et CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE Etablissement public à caractère industriel et commercial — FR.

72 Inventeur(s) : LESPINATS Sylvain, COLANGE Benoît, DUTYKH Denys et VUILLON Laurent.

73 Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public à caractère industriel et commercial, UNIVERSITE DE SAVOIE MONT BLANC Etablissement public à caractère industriel et commercial, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE Etablissement public à caractère industriel et commercial.

74 Mandataire(s) : CABINET CAMUS LEBKIRI.

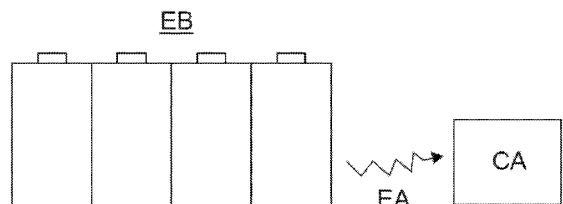
54 PROCEDE DE DETERMINATION DE L'ETAT D'UN SYSTEME ET DISPOSITIF METTANT EN ŒUVRE LESDITS PROCEDES.

57 PROCEDE DE DETERMINATION DE L'ETAT D'UN SYSTEME ET DISPOSITIF METTANT EN ŒUVRE LESDITS PROCEDES

Un aspect de l'invention concerne un procédé de détermination de l'état d'un système parmi une pluralité d'états comprenant une étape (E1) d'acquisition d'une pluralité de valeurs d'au moins une grandeur physique de référence du système correspondant à une pluralité de points dans un espace d'origine, chaque valeur de la pluralité de valeurs étant associée à un point de la pluralité de points et à un état du système; une étape (E2) de plongement d'au moins une partie des points de la pluralité de points, dite partie plongée, dans un espace de représentation, cet espace de représentation étant en bijection avec une sous-variété de l'espace d'origine, chaque point dans l'espace de représentation ainsi obtenu étant associé à un état de la pluralité d'états du système; une étape (E4) de détermination d'une fonction, dite fonction d'association, qui associe à toute position de l'espace d'origine, une position dans l'espace de représentation, la fonction d'association étant obtenue par interpolation au moyen de base de fonctions à symétrie radiale; une étape (E5) de détermination, à l'aide de la fonc-

tion d'association, de la position dans l'espace de représentation d'au moins un point de l'espace d'origine associé à une valeur acquise; une étape (E6) de détermination de l'état du système à partir de la position du point associé à la valeur acquise dans l'espace de représentation.

Figure à publier avec l'abrégié : Figure 2



FR 3 102 263 - A1



## **Description**

### **Titre de l'invention : PROCEDE DE DETERMINATION DE L'ETAT D'UN SYSTEME ET DISPOSITIF METTANT EN ŒUVRE LESDITS PROCEDES**

#### **Domaine technique**

- [0001] Le domaine technique de l'invention est celui de la caractérisation de l'état d'un système.
- [0002] La présente invention concerne un procédé de détermination de l'état d'un système et en particulier un procédé de détermination de l'état d'un système utilisant un plongement. L'invention concerne également un dispositif mettant en œuvre ledit procédé.

#### **ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION**

- [0003] Dans de nombreux domaines technologiques, il est parfois nécessaire d'analyser un grand nombre de mesures d'une grandeur physique observable d'un système afin de les associer à différents états dudit système. Chaque mesure d'une grandeur physique d'un système pouvant être associée à un état dudit système, on peut alors s'interroger sur l'organisation relative de ces états.
- [0004] Cependant, dans certains cas, la grandeur physique mesurée ne peut être représentée que dans un espace ayant un grand nombre de dimensions. On peut par exemple citer le cas de la reconnaissance d'expressions du visage, de la reconnaissance de caractères manuscrits ou bien encore le suivi de batteries à l'aide de mesures acoustiques. Compte tenu de ce nombre élevé de dimensions, on est souvent amené à projeter lesdites valeurs dans un espace de plus petite dimension afin d'en faciliter l'analyse et de pouvoir associer plus aisément chaque valeur mesurée à un état du système. On parle alors parfois de « cartographie » des états du système. Un grand nombre de méthodes existent dans ce cadre ; elles sont généralement regroupées sous le terme de réduction de dimension (ou « Dimensionality Reduction » en anglais). De manière générale, la construction d'une telle représentation est relativement gourmande en termes de ressources de calcul, mais cela ne pose en général pas de problème étant donné que cette dernière n'est mise en œuvre qu'une seule fois lorsque l'on cherche à analyser les mesures a posteriori.
- [0005] En revanche, si l'on cherchait à déduire l'état d'un système par une nouvelle mesure de la grandeur physique de référence à travers ce type de solutions, il serait nécessaire de projeter cette valeur mesurée dans l'espace de plus petites dimensions avant de pouvoir associer la valeur mesurée à un état du système. Or, de manière générale, les méthodes de projection employées ne permettent pas de projeter une valeur unique

issue d'une nouvelle mesure, mais nécessitent au contraire de reprendre l'ensemble des valeurs de la grandeur physique mesurée (les valeurs d'apprentissage et la ou les valeurs nouvellement mesurées) afin de pouvoir effectuer une nouvelle projection. Compte tenu de la ressource en calcul nécessaire pour une telle opération, il est de manière générale difficile d'effectuer le suivi, par exemple en temps réel, d'un système en utilisant une technique de projection. Aussi, ces méthodes sont cantonnées à l'exploration de données passées, et ne sont que très rarement utilisées dans d'autres cas de figure. Afin de réduire la complexité de l'étape de projection d'une nouvelle valeur mesurée, des techniques spécifiques à certaines méthodes de projection permettent de projeter un point unique sur la carte résultante. Mais de par leur rattachement à une méthode de projection spécifique, elles ne sont pas polyvalentes.

[0006] Afin de résoudre en partie ces problèmes, la demande de brevet FR1663011 propose d'utiliser deux maillages : un premier maillage dit maillage de projection et un deuxième maillage, dit maillage d'origine, en bijection avec le maillage de projection. Cette solution permet certes de réduire les temps de calculs, mais la détermination des maillages reste coûteuse. De plus, compte tenu d'effets de bords, la projection des points situés proches de la frontière de la sous-variété dans l'espace de représentation n'est pas toujours fiable.

[0007] Il existe donc un besoin d'une méthode de réduction de dimension qui permette de s'affranchir de la détermination du maillage pour la projection des données de l'espace d'origine à l'espace de représentation. Il existe également un besoin d'une méthode de réduction de dimension permettant de limiter les distorsions liées aux effets de bords.

### **Résumé de l'invention**

[0008] L'invention offre une solution aux problèmes évoqués précédemment, en permettant, à l'aide d'une base de fonctions à symétrie radiale (ou « Radial Basis Function » en anglais), de s'affranchir de l'utilisation d'un maillage. De plus, afin de limiter les effets de bords, l'invention propose d'étendre les données le long de la sous-variété dans l'espace d'origine, ainsi que dans l'espace de représentation.

[0009] Pour cela, un premier aspect de l'invention concerne un procédé de détermination de l'état d'un système parmi une pluralité d'états comprenant

- une étape d'acquisition d'une pluralité de valeurs d'au moins une grandeur physique de référence du système correspondant à une pluralité de points dans un espace d'origine, chaque valeur de la pluralité de valeurs étant associée à un point de la pluralité de points et à un état du système ;
- une étape de plongement d'au moins une partie des points de la pluralité de points, dite partie plongée, dans un espace de représentation, cet espace de représentation étant en bijection avec une sous-variété de l'espace d'origine,

chaque point dans l'espace de représentation ainsi obtenu étant associé à un état de la pluralité d'états du système.

[0010] Le procédé selon un premier aspect de l'invention comprend en outre :

- une étape de détermination d'une fonction, dite fonction d'association, qui associe à toute position de l'espace d'origine, une position dans l'espace de représentation, la fonction d'association étant obtenue par interpolation au moyen d'une base de fonctions à symétrie radiale ;
- une étape de détermination, à l'aide de la fonction d'association, de la position dans l'espace de représentation d'au moins un point de l'espace d'origine associé à une valeur acquise a posteriori ;
- une étape de détermination de l'état du système à partir de la position du point associé à la valeur acquise a posteriori dans l'espace de représentation.

[0011] On entend par point de l'espace d'origine associé à une valeur acquise a posteriori le fait que le point en question est distinct des données utilisées pour réaliser le plongement initial. Ainsi, à l'issue du procédé selon un premier aspect de l'invention, l'état du système est connu sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à une méthode de plongement pour le point correspondant à la valeur acquise a posteriori. Le fait de ne pas avoir recours à un plongement permet de diminuer le temps de calcul nécessaire à la détermination de l'état du système et ainsi de pouvoir réaliser le suivi en temps réel dudit système. Il en résulte également un procédé de détermination de l'état d'un système consommant une énergie moins importante qu'avec les procédés de l'état de l'art antérieur, les ressources de calcul utilisées étant moindres. Cet avantage technique permet notamment de pouvoir considérer l'utilisation d'un tel procédé dans de l'électronique dite embarquée.

[0012] Outre les caractéristiques qui viennent d'être évoquées dans le paragraphe précédent, le procédé selon un premier aspect de l'invention peut présenter une ou plusieurs caractéristiques complémentaires parmi les suivantes, considérées individuellement ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles.

[0013] Dans un mode de réalisation, l'étape de détermination de la fonction d'association comprend :

- une sous-étape de détermination de la valeur du noyau  $\varphi_j(X_i^{app})$  pour le

couple  $(i, j)$  à l'aide de la formule suivante :

$$\varphi_j(X_i^{app}) = \varphi \left( \frac{D(X_i^{app}, X_j^{app})}{\sigma_i} \right) \text{ où } X_n^{app} \text{ est le } n^{\text{ième}} \text{ point}$$

d'apprentissage avec  $n \in \llbracket 1; N \rrbracket$  avec  $N$  le nombre de points d'apprentissage,  $\varphi$  une base de fonctions à symétrie radiale,  $\sigma_j$  est un paramètre d'échelle et

$D(X_i^{app}, X_j^{app})$  la distance entre le point  $i$  et le point  $j$  appartenant à la pluralité de points de l'espace d'origine ;

- pour chaque dimension de l'espace de représentation, une sous-étape de détermination des coefficients  $C_{i,k}$  et d'un polynôme  $P(X_i^{app})$  à l'aide du système d'équation suivant :

$x_{i,k}^{app} = \sum_j \varphi_j(X_i^{app}) \times C_{j,k} + P(X_i^{app})$  où  $x_{i,k}^{app}$  est la coordonnée du  $i^{ième}$  point de l'espace d'origine sur la  $k^{ième}$  dimension de l'espace de représentation, la position d'un point dans l'espace de représentation, pour chaque dimension de l'espace de représentation, étant donnée par :

$x_k^{AP} = \sum_j \varphi_j(X^{AP}) + P(X^{AP})$  où  $X^{AP}$  est le point dans l'espace d'origine à positionner a posteriori et  $x_k^{AP}$  est la coordonnée du point à positionner sur la  $k^{ième}$  dimension de l'espace de représentation.

- [0014] Dans un mode de réalisation, la base de fonctions à symétrie radiale  $\varphi$  est choisie parmi un noyau gaussien ou un noyau de Matérn.
- [0015] Dans un mode de réalisation, les points de la pluralité de points occupent une zone dans l'espace de représentation et dans l'espace d'origine et le procédé comporte en outre, après l'étape de plongement d'au moins une partie des points de la pluralité de points, une étape de prolongation de la zone occupée par les points dans l'espace de représentation et dans l'espace d'origine.
- [0016] Cette étape de prolongation permet de limiter les effets de bords et améliore la précision et la robustesse du positionnement des mesures a posteriori dans l'espace de représentation et donc de la détermination de l'état du système.
- [0017] Dans un mode de réalisation, l'étape de prolongation de la zone occupée par les points dans l'espace de représentation et dans l'espace d'origine comprend :
- une sous-étape de détermination d'au moins un point de l'espace de représentation, dit point de l'espace de représentation considéré, situé à la frontière de la sous-variété de l'espace de représentation, ladite frontière étant définie localement pour chaque point de la sous-variété ; et
  - une sous-étape de détermination, à partir de chaque point de l'espace de représentation considéré et d'au moins un de ses plus proches voisins, d'un nouveau point dans l'espace de représentation, ledit nouveau point dans l'espace de représentation étant conservé si ce dernier se situe au-delà de ladite frontière défini par rapport au point considéré ;
  - une sous-étape de détermination, à partir de chaque point de l'espace

d'origine correspondant au point considéré dans l'espace de représentation et d'au moins un de ses plus proches voisins, d'un nouveau point dans l'espace d'origine.

- [0018] Dans un mode de réalisation, l'étape de prolongation de la zone occupée par les points dans l'espace de représentation et dans l'espace d'origine comprend, après la sous-étape de détermination d'un nouveau point dans l'espace de représentation et avant la sous-étape de détermination d'un nouveau point dans l'espace d'origine associé à son équivalent dans l'espace de représentation, une sous-étape de détermination, du point situé dans l'espace d'origine, dit point de l'espace d'origine considéré, correspondant au point considéré dans l'espace de représentation.
- [0019] Dans un mode de réalisation, le nombre de plus proches voisins considérés est inférieur ou égale à 5.
- [0020] Dans un mode de réalisation, le procédé comporte, lorsqu'au moins deux nouveaux points sont séparés d'une distance inférieure ou égale à une valeur prédéfinie  $d_{inf}$ , une étape de fusion desdits points.
- [0021] Un deuxième aspect de l'invention concerne un dispositif de mesure de l'état d'un système physique comprenant un moyen de calcul et un ou plusieurs capteurs configurés pour acquérir une pluralité de valeurs d'au moins une grandeur physique de référence du système et transmettre lesdites valeurs au moyen de calcul, ledit dispositif étant caractérisé en ce que le moyen de calcul est configuré pour mettre en œuvre un procédé selon un premier aspect de l'invention.
- [0022] Un troisième aspect de l'invention concerne un programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution des étapes du procédé selon un premier aspect de l'invention lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur.
- [0023] Un quatrième aspect de l'invention concerne un support lisible par ordinateur, sur lequel est enregistré le programme d'ordinateur selon un troisième aspect de l'invention.
- [0024] L'invention et ses différentes applications seront mieux comprises à la lecture de la description qui suit et à l'examen des figures qui l'accompagnent.

### **Brève description des dessins**

- [0025] Les figures sont présentées à titre indicatif et nullement limitatif de l'invention.
- La figure 1 montre un ordinogramme d'un procédé selon un premier aspect de l'invention.
  - La figure 2 montre une représentation schématique d'un ensemble de batteries sur lequel est appliqué un procédé selon un premier aspect de l'invention ;
  - La figure 3 montre une représentation schématique en 2D et en 3D d'une

étape de prolongation des sous-variétés selon un premier aspect de l'invention.

### **Description des modes de réalisation**

[0026] Sauf précision contraire, un même élément apparaissant sur des figures différentes présente une référence unique.

[0027] La [fig.1] montre un ordinogramme d'un mode de réalisation d'un procédé 100 de détermination de l'état d'un système parmi une pluralité d'états selon un premier aspect de l'invention.

[0028] Acquisition des données

[0029] Le procédé 100 comprend une étape E1 d'acquisition d'une pluralité de valeurs d'au moins une grandeur physique de référence du système correspondant à une pluralité de points dans un espace d'origine, chaque valeur de la pluralité de valeurs étant associée à un point de la pluralité de points et à un état du système. On entend par « grandeur physique de référence d'un système » une grandeur physique dont la valeur permet, à elle seule, de déterminer l'état d'un système. Cette grandeur physique peut être simple (par exemple la fréquence ou l'amplitude associée à une émission acoustique) ou composite (par exemple la fréquence et l'amplitude associée à une émission acoustique).

[0030] La [fig.2] illustre un exemple de réalisation dans lequel le système prend la forme d'un ensemble de batteries EB, un ensemble de batteries EB pouvant comprendre une ou plusieurs batteries. Le procédé selon un premier aspect de l'invention consiste alors en un procédé de détermination de l'état d'un ensemble de batteries EB. La grandeur physique de référence peut alors consister en une émission acoustique EA. Le procédé de détermination de l'état de l'ensemble de batteries EB comporte donc une étape E1 d'acquisition d'une pluralité d'enregistrements d'émission acoustique EA de l'ensemble de batteries EB, chaque enregistrement étant associé à un point dans un espace d'origine et à un état connu de l'ensemble de batteries. Cet enregistrement acoustique peut par exemple être réalisé à l'aide d'un capteur acoustique CA.

[0031] En effet, lorsqu'un ensemble de batteries EB est en fonctionnement, il émet des « sons » et l'analyse de ces émissions acoustiques permet de déterminer l'état de l'ensemble de batteries EB. Pour cela l'émission acoustique EA mesurée est décomposée à l'aide de séries de Fourier et chaque mesure est représentée par un point dont les coordonnées sont données par les différentes fréquences mesurées et les amplitudes associées à ces fréquences. Les points ainsi obtenus sont alors situés dans un premier espace de grande dimension. Autrement dit, les émissions acoustiques EA de l'ensemble de batteries EB constituent une grandeur physique de référence au sens de l'invention et chaque valeur mesurée de cette grandeur physique de référence est

associée à un point dans un espace d'origine de grande dimension.

[0032] Plongement d'une partie au moins des données acquises

[0033] Le procédé comprend également une étape E2 de plongement d'au moins une partie des points de la pluralité de points, dite partie plongée, dans un espace de représentation, cet espace de représentation étant en bijection avec une sous-variété de l'espace d'origine et définissant une sous-variété dans l'espace de représentation, chaque point dans l'espace de représentation ainsi obtenu étant associé à un état de la pluralité d'états du système.

[0034] La méthode de plongement utilisée lors de cette étape E2 de plongement étant une méthode non linéaire, le plongement est nécessairement effectué une fois la pluralité de valeurs de la grandeur physique de référence acquise. Autrement dit, si le plongement est effectué puis qu'une nouvelle valeur est acquise, la pluralité de valeurs doit à nouveau être plongée. Le choix de la méthode de plongement utilisée dépend notamment du système dont on cherche à déterminer l'état et de la grandeur physique mesurée pour la détermination de cet état. On peut par exemple citer la méthode Classical MDS (pour Classical Multi Dimensional Scaling en anglais), la méthode ISOMAP (pour Isometric Mapping en anglais), la méthode CCA (pour Curvilinear Component Analysis en anglais) et l'ensemble des méthodes de type non-metrics MDS (pour Non-Metric Multi Dimensional Scaling en anglais).

[0035] Dans un exemple de réalisation, le procédé concerne la détermination de l'état d'un ensemble de batteries et comporte une étape E2 de plongement d'au moins une partie des points associés aux enregistrements acoustiques dans un espace de représentation, cet espace de représentation étant en bijection avec une sous-variété de l'espace d'origine, ladite sous-variété pouvant être de dimension deux dans le cas de l'ensemble de batteries EB. De plus chaque point de cet espace de représentation est associé à un état connu de l'ensemble de batteries EB.

[0036] Une fois l'ensemble des points plongés dans l'espace de représentation, on obtient une pluralité de points dans l'espace de représentation, chacun de ces points étant associé à un état connu de l'ensemble de batteries EB. Autrement dit une cartographie des états de l'ensemble de batteries EB dans l'espace de représentation est réalisée. Dans le cas d'un ensemble de batteries EB, la méthode de plongement doit de préférence être choisie parmi les méthodes qui préservent les relations de voisinage. Les avantages à utiliser ce type de plongement sont notamment détaillés dans le document « Mapping from the neighbourhood network », Neurocomputing, vol. 72 (13-15), pp. 2964-2978.

[0037] Prolongation de la sous-variété

[0038] Dans un mode de réalisation, le procédé selon un premier aspect de l'invention comprend, après l'étape E2 de plongement d'au moins une partie des points de la



pluralité de points, une étape E3 de prolongation de la zone occupée par les points dans l'espace de représentation et dans l'espace d'origine. Cette étape E3 de prolongation permet de limiter les effets de bord. En effet, l'espace de représentation est assimilé à une sous-variété de l'espace d'origine, cette sous-variété passant par les zones occupées par les données. De plus, tout point de l'espace d'origine est associé à un point unique dans l'espace de représentation. Si cette relation est triviale quand le point considéré dans l'espace d'origine est situé sur la sous-variété et relativement simple à définir lorsque le point se trouve à proximité, elle est en revanche de plus en plus incertaine lorsque le point s'en éloigne. Ainsi, une partie de l'espace (les zones peuplées par les données) est considérée comme bien connue, au contraire du reste de l'espace. L'estimation de la sous-variété peut être vue en première approximation comme une interpolation dans la partie connue (ce qui est relativement simple), mais aussi comme une extrapolation dans le reste de l'espace (ce qui l'est beaucoup moins). Or, s'il est improbable que les données à positionner a posteriori se trouvent éloignées de la sous-variété, il est une zone où cela est statistiquement probable : sur la sous-variété, à la frontière de la zone peuplée. La prolongation mise en place dans la présente invention permet de renforcer la connaissance des zones périphériques de la sous-variété de l'espace de représentation et de rendre la méthode d'estimation de l'état du système plus robuste, le peuplement de la périphérie des données permettant d'offrir une continuité au bord de l'espace de représentation de sorte à garantir la bonne détermination a posteriori de la position du point dans l'espace de représentation.

[0039] Dans un mode de réalisation, l'étape E3 de prolongation de la zone occupée par les points dans l'espace de représentation et dans l'espace d'origine comprend :

- une sous-étape E31 de détermination d'au moins un point de l'espace de représentation, dit point de l'espace de représentation considéré, situé à la frontière de la sous-variété de l'espace de représentation, ladite frontière étant définie localement pour chaque point de la sous-variété ; et
- une sous-étape E32 de détermination, à partir de chaque point de l'espace de représentation considéré et d'au moins un de ses plus proches voisins, d'un nouveau point dans l'espace de représentation, ledit nouveau point dans l'espace de représentation étant conservé si ce dernier se situe au-delà de ladite frontière définie par rapport au point considéré ;
- une sous-étape E34 de détermination, à partir de chaque point de l'espace d'origine correspondant au point considéré dans l'espace de représentation et d'au moins un de ses plus proches voisins, d'un nouveau point dans l'espace d'origine.

[0040] Il est important de noter que la frontière utilisée est une frontière déterminée localement en fonction du point considéré et de ses plus proches voisins. La position de

la frontière est donc une propriété locale.

[0041] Dans un mode de réalisation, l'étape E3 de prolongation de la zone occupée par les points dans l'espace de représentation et dans l'espace d'origine comprend, après la sous-étape E32 de détermination d'un nouveau point dans l'espace de représentation et avant la sous-étape E34 de détermination d'un nouveau point dans l'espace d'origine associé à son équivalent dans l'espace de représentation, une sous-étape E33 de détermination, du point situé dans l'espace d'origine, dit point de l'espace d'origine considéré, correspondant au point considéré dans l'espace de représentation. Dans un mode de réalisation, le nombre de plus proches voisins considéré est inférieur ou égale à cinq.

[0042] Il se peut cependant que cette prolongation entraîne une trop grande concentration de points potentiellement contradictoires dans une zone hors de la zone de l'espace peuplée par les données originales. Afin de remédier à cela, dans un mode de réalisation, lorsqu'au moins deux nouveaux points sont séparés d'une distance inférieure ou égale à une valeur prédéfinie  $d_{inf}$ , le procédé selon un premier aspect de l'invention comprend une étape de fusion desdits points. Plus particulièrement, les points les plus proches les uns des autres sont supprimés au profit de leur barycentre. Initialement chaque point a un poids identique, et lorsque deux points sont fusionnés, leurs poids s'additionnent. Le processus de fusion est itéré jusqu'à ce que les deux points ajoutés les plus proches soient à une distance supérieure à  $d_{inf}$ . Dans un mode de réalisation,  $d_{inf}$  est défini comme étant la médiane des distances des points à leurs plus proches voisins. Naturellement, une telle fusion de points est mise en œuvre dans l'espace d'origine et dans l'espace de représentation.

[0043] [fig.3] La illustre un exemple de réalisation dans lequel, pour un point  $X_i$  (représenté par un rond plein) et l'ensemble de ses  $k$  plus proches voisins  $\{X_j\}_{j \in n_i([1; k])}$  (représentés par des carrés), le point  $X_i$  est considéré comme étant à la frontière de l'espace de représentation pour un voisinage  $k$  s'il existe au moins un voisin  $X_j$  (représenté par le carré sur lequel la croix est centrée),  $j \in n_i([1; k])$ , pour lequel l'ensemble des  $k$  plus proches voisins sont du même côté de l'hyperplan (en 2D, l'hyperplan est représenté par la droite en tirets – pour des raisons de clarté, ce dernier n'est pas représenté en 3D) passant par  $X_i$  normal à la droite définie par  $X_i$  et  $X_j$ . Les voisins  $X_j$  satisfaisant cette contrainte sont dits « symétrisables » du point de vue de  $X_i$  dans la suite.

[0044] Dans la suite,  $v_i$  désigne la bijection qui a tout  $k$  entre 1 et  $N - 1$  associe l'indice  $j = v_i(k)$  du  $k^{ième}$  voisin  $X_j$  du point  $X_i$  dans l'espace d'origine. Et de même,

dans l'espace de représentation, on définit la bijection  $n_i$  pour laquelle, le point  $\mathbf{x}_{n_i(k)}$  est  $k^{\text{ième}}$  voisin du point  $\mathbf{x}_i$  et  $d_{in_i(k)}$  est la distance qui les sépare dans l'espace de représentation.

[0045] Pour tout point à la périphérie  $\mathbf{x}_i$  et pour tout point  $\mathbf{x}_j$  symétrisable par rapport à  $\mathbf{x}_i$ , on construit un point d'extension du domaine  $\mathbf{x}'_{ij}$  (représenté par un losange)

défini par :

$$[0046] \quad \mathbf{x}'_j = \mathbf{x}_i + \frac{\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j}{\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|} \max \left( \min \left( \|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|, d_{sup} \right), d_{inf} \right)$$

[0047] où  $d_{inf} = \text{median}_{i \in [1; N]} (d_{in_i(1)})$  et

$d_{sup} = \text{median}_{i \in [1; N]} (d_{in_i(k)})$  où  $d_{in_i(k)}$  est la distance entre le point  $\mathbf{x}_i$  et sont  $k^{\text{ième}}$  plus proche voisin (noté  $\mathbf{x}_{n_i(k)}$ ) dans l'espace de représentation.

[0048] À noter que tout nouveau point  $\mathbf{x}'_{ij}$ , distant de moins de  $d_{inf}$  d'un des  $k$  plus proches voisins de  $\mathbf{x}_i$ , est rejeté afin d'éviter que ces nouveaux points ajoutés n'aient trop d'influence sur les zones peuplées par les données originales.

[0049] Pour tout point d'extension du domaine  $\mathbf{x}'_{ij}$ , le processus équivalent est appliqué pour construire un point d'extension associé  $\mathbf{x}'_{ij}$  dans l'espace d'origine, défini par :

$$[0050] \quad \mathbf{X}'_{ij} = \mathbf{X}_i + \frac{\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_j}{\|\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_j\|} \max \left( \min \left( \|\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_j\|, D_{sup} \right), D_{inf} \right)$$

[0051] Avec  $D_{inf} = \text{median}_{i \in [1; N]} (D_{iv_i(1)})$  et

$D_{sup} = \text{median}_{i \in [1; N]} (D_{iv_i(k)})$  où  $D_{iv_i(k)}$  est la distance entre le point  $\mathbf{X}_i$  et son  $k^{\text{ième}}$  plus proche voisin (noté  $\mathbf{X}_{n_i(k)}$  dans l'espace d'origine des données).

[0052] Il est bien entendu que l'exemple donnée ci-dessus n'est qu'une modalité parmi plusieurs pour construire de nouveaux points en dehors du domaine de connaissance et il ne constitue qu'un exemple, de nombreuses alternatives pouvant être envisagées. Il est également important de rappeler ici que la frontière est une frontière locale définie pour un point donné en fonction de son ou de ses plus proches voisins. D'autres méthodes que celle présentée ici sont envisageables pour déterminer cette frontière locale. Cette dernière peut par exemple être déterminée par la méthode dite lasso. Il est également possible d'envisager une méthode dans laquelle la frontière est définie par le plus petit polygone convexe (i.e. enveloppe convexe), par l'ensemble des triangles d'un graphe de Delaunay amputés de leurs arêtes supérieures à une distance donnée ou

bien encore par la surface obtenue par l'algorithme « *alpha shape* », etc.

- [0053] Les points de référence obtenus à l'issue de ces deux étapes, ou de ces trois étapes lorsqu'il y a prolongation de la sous-variété, sont destinés à être comparés à d'autres valeurs de la grandeur physique de référence obtenues lors de mesures ultérieures. Il est donc important de pouvoir ajouter des points dans l'espace de représentation afin de permettre ladite comparaison. Cependant, comme cela a été rappelé précédemment, un tel ajout nécessiterait normalement de plonger à nouveau l'ensemble des points associés aux valeurs de la grandeur physique de référence acquises étant donné que la méthode de plongement utilisée est une méthode non linéaire. Afin de s'affranchir de cet obstacle, il est proposé deux méthodes de positionnement a posteriori d'un point de l'espace d'origine dans l'espace de représentation.
- [0054] Première méthode de positionnement a posteriori
- [0055] Une première façon de faire est de procéder comme décrit dans la demande de brevet FR n°1663011 (publiée sous le numéro FR3060794), à savoir construire un treillis dans l'espace d'origine et dans l'espace de représentation.
- [0056] Pour cela, dans ce mode de réalisation, le procédé comprend une étape de création d'un premier maillage dans l'espace de représentation, dit maillage de projection, les mailles dudit maillage étant des simplexes. Le procédé comprend également une étape de création d'un deuxième maillage en bijection avec le maillage de projection dans l'espace d'origine, dit maillage d'origine, chaque maille du maillage de projection étant associée à une maille du maillage d'origine. Ces deux étapes visent à produire un pavage constitué simplexes réguliers (c'est-à-dire des triangles équilatéraux si la carte est en 2D) sur la carte de données. Les positions des sommets de l'ensemble des simplexes sont ensuite considérées et des valeurs dans chaque dimension sont proposées à partir de leurs positions, de la position des données sur la carte et des valeurs associées aux données pour la dimension considérée dans l'espace d'origine. Ainsi, il est possible d'associer à chaque sommet dans la carte un point dans l'espace d'origine des données et de produire le treillis associé.
- [0057] Avantageusement, le procédé comprend l'estimation de la densité de point selon la zone du treillis de sorte à en déduire une probabilité pour chaque nouveau point d'appartenir à la zone. Cette étape permet de limiter le risque qu'un point se positionne dans une zone improbable, telle que la périphérie de la carte. Ces deux premières étapes sont des calculs à faire avant de positionner de nouveaux points. Pour plus de détails, le lecteur pourra se référer à la demande de brevet FR n°1663011.
- [0058] Deuxième méthode de positionnement a posteriori
- [0059] Une deuxième façon de faire est d'avoir recours à une méthode RBF (*radial basis function* – base de fonctions à symétrie radiale) afin de déterminer une fonction permettant d'associer une position (et donc un point) de l'espace d'origine à une

position (et donc un point) dans l'espace de représentation. Cette méthode permet de s'affranchir de l'étape de pavage de l'espace par le treillis de triangle et de l'étape de calcul de projections. Autrement dit, la méthode selon l'invention permet de réaliser en une étape la projection et l'interpolation. En effet, les RBF permettent de calculer la position dans l'espace de représentation de nouveaux points obtenus lors d'une mesure d'au moins une grandeur physique de référence par un simple calcul d'algèbre linéaire. Ainsi, comparativement au procédé de la demande FR n°1663011, les temps de calcul sont considérablement réduits, ce qui permet d'améliorer la qualité du suivi de l'état du système considéré.

[0060] Pour cela, le procédé selon l'invention comprend une étape de détermination d'une fonction, dite fonction d'association, qui associe à toute position de l'espace d'origine, une position dans l'espace de représentation, la fonction d'association étant obtenue par une résolution à base de fonctions à symétrie radiale.

[0061] Dans un mode de réalisation, cette étape comprend une sous-étape de détermination la valeur du noyau  $\varphi_j(X_i^{app})$  pour le couple  $(i, j)$  à l'aide de la formule

suivante :

$$\varphi_j(X_i^{app}) = \varphi\left(\frac{D(X_i^{app}, X_j^{app})}{\sigma_j}\right)$$

[0062] où  $X_n^{app}$  est le  $n^{ième}$  point d'apprentissage avec  $n \in \llbracket 1; N \rrbracket$  ( $N$  le nombre de points d'apprentissage),  $\varphi$  une base de fonctions à symétrie radiale,  $\sigma_j$  est un paramètre d'échelle et  $D(X_i^{app}, X_j^{app})$  la distance entre le point  $i$  et le

point  $j$  appartenant à la pluralité de points de l'espace d'origine. Le paramètre d'échelle  $\sigma_j$  est de préférence un paramètre réglable de manière uniforme ou de manière adaptative au voisinage du point  $X_j^{app}$ . La base de fonctions à symétrie

radiale  $\varphi$  peut par exemple être choisie parmi le noyau Gaussien, un noyau de Matérn, etc. Il est intéressant de noter que la métrique utilisée n'est pas nécessairement euclidienne. En effet, beaucoup de méthodes dites de *mapping* non-linéaires sont en capacité de traiter des données dont l'espace d'origine n'est pas euclidien. La plupart du temps cependant, l'espace de représentation est bien euclidien bien que cela ne soit pas indispensable. Dans ce cas, il est naturel de calculer la distance

$D(X_i^{app}, X_j^{app})$  selon la métrique de l'espace d'origine, mais il est également possible d'utiliser une norme différente.

[0063] Dans un mode de réalisation, la valeur du noyau  $\varphi_j(X_i^{app})$  pour le couple  $(i, j)$

$$\varphi_j(X_i^{app}) = \exp\left(-\frac{D(X_i^{app}, X_j^{app})}{\sigma_j}\right)$$

[0064] Cette étape comprend également, pour chaque dimension de l'espace de représentation, une sous-étape de détermination des coefficients  $C_{i,k}$  et du polynôme

$P(X_i^{app})$  à l'aide de l'équation suivante :

$$x_{i,k}^{app} = \sum_j \varphi_j(X_i^{app}) \times C_{j,k} + P(X_i^{app}) \text{ où } x_{i,k}^{app} \text{ est la coordonnée}$$

du  $i^{ième}$  point de l'espace d'origine sur la  $k^{ième}$  dimension de l'espace de représentation. Les valeurs des coefficients  $C_{i,k}$  ainsi obtenues appartiennent à une

matrice dont le nombre de lignes est égal au nombre de point données d'apprentissage (c'est-à-dire le nombre de points de la partie de la pluralité de points) et le nombre de colonnes égale la dimension de l'espace de représentation. Dans cet exemple, il est fait l'hypothèse que la matrice  $\varphi_j(X_i^{app})$  est inversible. En pratique, il est même sou-

haitable que son conditionnement ne soit pas trop élevé en regard de la précision machine.

[0065] Les coefficients  $C_{i,k}$  et le polynôme ainsi obtenus permettent d'associer à tout point de l'espace d'origine, un point de l'espace de représentation. Autrement dit, lorsqu'une nouvelle mesure de la grandeur physique de référence est effectuée et associée à un point de l'espace d'origine, la position de ce point de l'espace d'origine dans l'espace de représentation peut ensuite être déterminée, les coordonnées du point dans l'espace de représentation étant calculées à l'aide des coefficients  $C_{j,k}$  et du polynôme  $P(X_i^{app})$ . Plus particulièrement, la position d'un point dans l'espace de représentation, pour chaque dimension de l'espace de représentation, est donnée par :

$$x_k^{AP} = \sum_j \varphi_j(X^{AP}) C_{j,k} + P(X^{AP})$$

[0066] où  $X^{AP}$  est le point de l'espace d'origine à positionner a posteriori et  $x_k^{AP}$  est la coordonnée du point à positionner sur la  $k^{ième}$  dimension de l'espace de représentation. Ce calcul est très rapide car direct (il ne nécessite aucune interpolation) et il est aisé de calculer simultanément la position de très nombreuses données au moyen d'un calcul matriciel. En outre, comme expliqué auparavant, cette détermination est effectuée a posteriori, c'est-à-dire sans avoir recours à un nouveau plongement de l'ensemble de points de l'espace d'origine dans l'espace de représentation.

[0067] Ainsi l'utilisation de base de fonctions à symétrie radiale permet une interpolation d'une valeur cible dans un espace. Ici, l'espace considéré est l'espace d'origine et la valeur cible est une des dimensions de l'espace de représentation. Cette interpolation

est répétée pour chaque dimension de l'espace de représentation. Aussi, après résolution, une application de l'espace d'origine vers l'espace de représentation est obtenue. Il est important de noter que cette application est continue et donne un résultat exact (à l'erreur machine près) pour les points initialement projetés.

[0068] Les étapes du procédé selon un premier aspect de l'invention qui viennent d'être décrites permettent notamment :

- d'obtenir des points de références dans un espace d'origine et de les plonger dans un espace de représentation afin d'obtenir une cartographie des états du système dans l'espace de représentation ;
- éventuellement, d'étendre le domaine de connaissance associés aux points de référence, afin notamment de limiter les effets de bords dans la détermination des méthodes de positionnement a posteriori ;
- pour la première méthode de positionnement a posteriori, de mettre en place un maillage de projection dans l'espace de représentation, ainsi qu'un maillage d'origine dans l'espace d'origine qui en soit le miroir de sorte qu'il existe une bijection entre les sommets des simplexes dans les deux espaces, cette bijection pouvant être exploitée afin de déterminer la position de l'image d'un point de l'espace d'origine dans l'espace de représentation ;
- pour la deuxième méthode de positionnement a posteriori, de déterminer une fonction d'association permettant de déterminer la position de l'image d'un point de l'espace d'origine dans l'espace de représentation.

[0069] Une fois ces différents éléments mis en place, il est possible de positionner le point de l'espace d'origine associé à une mesure acquise dans l'espace de représentation sans avoir recours à un plongement.

[0070] Positionnement a posteriori à l'aide de la première méthode de positionnement a posteriori

[0071] Afin de tirer avantage de la première méthode de positionnement a posteriori, le procédé comprend ensuite une étape de projection orthogonale sur le maillage d'origine d'au moins un point associé à une valeur acquise, ledit point n'appartenant pas à la partie plongée. Cette valeur acquise est préférentiellement acquise lors du fonctionnement du système de sorte à pouvoir déterminer l'état dudit système. Le procédé comprend également une étape de détermination de la position de l'image dudit point dans le maillage de projection en fonction de la position de la projection orthogonale dudit point sur le maillage d'origine, de sorte à obtenir un point dans l'espace de représentation et ainsi déterminer l'état du système. Ces deux étapes permettent de positionner les nouvelles données. Une projection orthogonale sur chaque triangle du treillis dans l'espace d'origine des données est calculée. La proximité de la projection avec le point d'origine sert à calculer une probabilité de

voisinage entre le point et sa projection (plus les points sont proches, plus la probabilité est élevée). Pour plus de détails, le lecteur pourra se référer à la demande de brevet FR n°1663011.

[0072] Positionnement a posteriori à l'aide de la fonction d'association

[0073] Afin de tirer avantage de la fonction d'association, le procédé comprend ensuite une étape E5 de détermination, à l'aide de la fonction d'association, de la position dans l'espace de représentation d'au moins un point de l'espace d'origine associé à une valeur acquise a posteriori. Cette valeur acquise a posteriori est préférentiellement acquise lors du fonctionnement du système de sorte à pouvoir déterminer l'état dudit système.

[0074] Le procédé comprend ensuite une étape E6 de détermination de l'état du système à partir de la position du point associé à la valeur acquise a posteriori dans l'espace de représentation.

[0075] Dans le cas d'un ensemble de batteries, le procédé comprend donc une étape de détermination, à l'aide de la fonction d'association, de la position dans l'espace de représentation d'au moins un point de l'espace d'origine associé à une émission acoustique nouvellement acquise. Le procédé comprend ensuite une étape de détermination de l'état de l'ensemble de batteries à partir de la position du point associé à l'émission acoustique acquise dans l'espace de représentation.

[0076] Etats et classes d'états

[0077] Dans un mode de réalisation, chaque état du système peut être associé à une classe d'états parmi une pluralité de classes d'états, chaque valeur acquise lors de la première étape E1 d'acquisition d'une pluralité de valeurs étant associée à une classe d'états connue. Autrement dit, on choisit différentes classes d'états du système dont on souhaite pouvoir déterminer la nature par des mesures ultérieures et on effectue une pluralité d'acquisitions de la valeur d'au moins une grandeur physique de référence pour chacune desdites classes d'états. Le procédé comprend en outre une étape de détermination de classe d'états du système par comparaison entre la position du point image dans l'espace de représentation et la position des points plongés dans ledit espace de représentation lors de l'étape E2 de plongement.

[0078] Dans un mode de réalisation, la méthode de plongement utilisée lors de l'étape E2 de plongement est une méthode de plongement supervisée. Par exemple, la méthode de plongement est la méthode Classimap. Cela permet notamment d'augmenter la cohérence entre les positions des points et la classe d'états dans l'espace de représentation issu de l'étape de détermination de la position du point associé à la valeur acquise dans l'espace de représentation.

[0079] Les exemples donnés précédemment font référence à un ensemble de batteries, mais un procédé selon un premier aspect de l'invention est adapté à tout système nécessitant



un plongement de points relatifs à des mesures. Par exemple le système peut être relatif au tracé d'un caractère manuscrit. Ce type de problématiques est par exemple classique dans le domaine de la lecture automatique de codes postaux par les agences de transport du courrier ou de chèques par les banques. Dans ce cas-là, chaque état du système correspond à un tracé particulier et la grandeur physique de référence correspond à l'image dudit tracé (la dimension de l'espace d'origine est donc fonction de la résolution de l'image). De plus, les différents états du système peuvent être rattachés à des classes d'état correspondant à différents chiffres (ou lettres) associés à chaque tracé. Par exemple, une première pluralité d'états (donc de tracés) pourra être associée à une première classe d'état (le chiffre 1 par exemple). Le procédé de détermination de l'état d'un système pourra, dans ce cas de figure, constituer, à l'aide d'un plongement, une cartographie dans l'espace de représentation (par exemple un espace à deux dimensions) des différents états (différents tracés) et des différentes classes d'états (différents chiffres ou lettres) à partir d'une première étape d'acquisition d'une pluralité d'images, chaque image étant associée à un état et à une classe d'états du système. Cette cartographie pourra être utilisée en positionnant un point dans l'espace de représentation associé à un caractère manuscrit au moyen d'une maille d'origine et d'un maillage de projection ou bien alors d'une fonction d'association, ledit point correspondant à un tracé manuscrit dont la classe d'état est inconnue, et ce afin d'identifier la classe d'état (le chiffre ou la lettre) représentée par ledit tracé.

Autrement dit, dans cet exemple de réalisation, un procédé selon un premier aspect de l'invention peut également être mis en œuvre afin d'identifier le chiffre représenté par un tracé à partir d'une photographie dudit tracé et notamment être mis en œuvre par un appareil de tri postal ou un appareil de traitement des chèques bancaires.

[0080] Dispositif mettant en œuvre le procédé selon l'invention

[0081] Un deuxième aspect de l'invention concerne un dispositif de mesure de l'état d'un système physique. Le dispositif comprend un moyen de calcul (ou calculateur) et un ou plusieurs capteurs configurés pour acquérir une pluralité de valeurs d'une grandeur physique de référence du système et transmettre lesdites valeurs au moyen de calcul (ou calculateur). De plus le moyen de calcul (ou calculateur) est configuré pour mettre en œuvre un procédé selon un premier aspect de l'invention. Le moyen de calcul peut prendre la forme d'un processeur associé à une mémoire, d'un FPGA (pour Field-Programmable Gate Array en anglais, Circuit Logique Programmable en français) ou d'une carte de type ASIC (pour Application-Specific Integrated Circuit en anglais).

## Revendications

[Revendication 1]

Procédé de détermination de l'état d'un système parmi une pluralité d'états comprenant

- une étape (E1) d'acquisition d'une pluralité de valeurs d'au moins une grandeur physique de référence du système correspondant à une pluralité de points dans un espace d'origine, chaque valeur de la pluralité de valeurs étant associée à un point de la pluralité de points et à un état du système ;
- une étape (E2) de plongement d'au moins une partie des points de la pluralité de points, dite partie plongée, dans un espace de représentation, cet espace de représentation étant en bijection avec une sous-variété de l'espace d'origine, chaque point dans l'espace de représentation ainsi obtenu étant associé à un état de la pluralité d'états du système ;

le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend :

- une étape (E4) de détermination d'une fonction, dite fonction d'association, qui associe à toute position de l'espace d'origine, une position dans l'espace de représentation, la fonction d'association étant obtenue par interpolation au moyen d'une base de fonctions à symétrie radiale ;
- une étape (E5) de détermination, à l'aide de la fonction d'association, de la position dans l'espace de représentation d'au moins un point de l'espace d'origine associé à une valeur acquise a posteriori ;
- une étape (E6) de détermination de l'état du système à partir de la position du point associé à la valeur acquise a posteriori dans l'espace de représentation.

[Revendication 2]

Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que l'étape de détermination de la fonction d'association comprend :

- une sous-étape de détermination la valeur du noyau  $\varphi_j(X_i^{app})$  pour le couple  $(i, j)$  à l'aide de la formule suivante :

$$\varphi_j(X_i^{app}) = \varphi\left(\frac{D(X_i^{app}, X_j^{app})}{\sigma_j}\right)$$

où  $X_n^{app}$  est le  $n^{ième}$  point d'apprentissage avec  $n \in \llbracket 1; N \rrbracket$  et  $N$  le nombre de points d'apprentissage,  $\varphi$  une base de fonctions à symétrie radiale,  $\sigma_j$  est un paramètre d'échelle et

$D(X_i^{app}, X_j^{app})$  la distance entre le point  $i$  et le point  $j$  appartenant à la pluralité de points de l'espace d'origine ;

- pour chaque dimension de l'espace de représentation, une sous-étape de détermination d'un coefficient  $C_{i,k}$  et d'un polynôme  $P(X_i^{app})$  à l'aide de l'équation suivante :

$$x_{i,k}^{app} = \sum_j \varphi_{app}(i,j) \times C_{j,k} + P(X_i^{app}) \text{ où}$$

$x_{i,k}^{app}$  est la coordonnée du  $i^{ième}$  point de l'espace d'origine sur la  $k^{ième}$  dimension de l'espace de représentation, la position d'un point dans l'espace de représentation, pour chaque dimension de l'espace de représentation, étant donné par :

$$x_k^{AP} = \sum_j \varphi_j(X^{AP}) + P(X^{AP})$$

où  $X^{AP}$  est le point de l'espace d'origine à positionner a posteriori et  $x_k^{AP}$  est la coordonnée du point à positionner sur la  $k^{ième}$  dimension de l'espace de représentation.

[Revendication 3]

Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que la base de fonctions à symétrie radiale  $\varphi$  est choisie parmi un noyau gaussien ou un noyau de Matérn.

[Revendication 4]

Procédé de détermination de l'état d'un système selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que les points de la pluralité de points occupent une zone dans l'espace de représentation et dans l'espace d'origine et en ce que le procédé comporte en outre, après l'étape (E2) de plongement d'au moins une partie des points de la pluralité de points, une étape (E3) de prolongation de la zone occupée par les points dans l'espace de représentation et dans l'espace d'origine.

[Revendication 5]

Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que l'étape (E3) de prolongation de la zone occupée par les points dans

l'espace de représentation et dans l'espace d'origine comprend :

- une sous-étape (E31) de détermination d'au moins un point de l'espace de représentation, dit point de l'espace de représentation considéré, situé à la frontière de la sous-variété de l'espace de représentation, ladite frontière étant définie localement pour chaque point de la sous-variété ; et
- une sous-étape (E32) de détermination, à partir de chaque point de l'espace de représentation considéré et d'au moins un de ses plus proches voisins, d'un nouveau point dans l'espace de représentation, ledit nouveau point dans l'espace de représentation étant conservé si ce dernier se situe au-delà de ladite frontière défini par rapport au point considéré ;
- une sous-étape (E34) de détermination, à partir de chaque point de l'espace d'origine considéré et d'au moins un de ses plus proches voisins, d'un nouveau point dans l'espace d'origine associé à son équivalent dans l'espace de représentation.

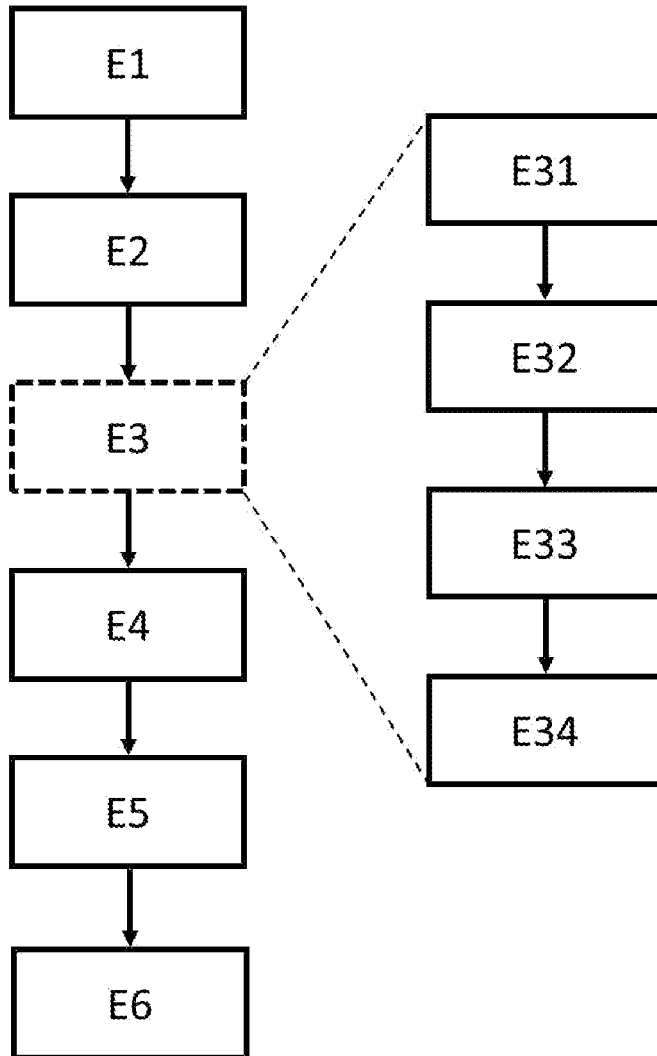
- [Revendication 6] Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que l'étape (E3) de prolongation de la zone occupée par les points dans l'espace de représentation et dans l'espace d'origine comprend, après la sous-étape (E32) de détermination d'un nouveau point dans l'espace de représentation et avant la sous-étape (E34) de détermination d'un nouveau point dans l'espace d'origine associé à son équivalent dans l'espace de représentation, une sous-étape (E33) de de détermination, du point situé dans l'espace d'origine, dit point de l'espace d'origine considéré, correspondant au point considéré dans l'espace de représentation.
- [Revendication 7] Procédé selon l'une des deux revendications précédentes caractérisé en ce que le nombre de plus proches voisins considérés est inférieur ou égale à 5.
- [Revendication 8] Procédé selon l'une des deux revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comporte, lorsqu'au moins deux nouveaux points sont séparés d'une distance inférieure ou égale à une valeur prédéfinie  $d_{inf}$ , une étape de fusion desdits points.
- [Revendication 9] Dispositif de mesure de l'état d'un système physique comprenant un moyen de calcul et un ou plusieurs capteurs configurés pour acquérir

une pluralité de valeurs d'au moins une grandeur physique de référence du système et transmettre lesdites valeurs au moyen de calcul, ledit dispositif étant caractérisé en ce que le moyen de calcul est configuré pour mettre en œuvre un procédé selon l'une des revendications précédentes.

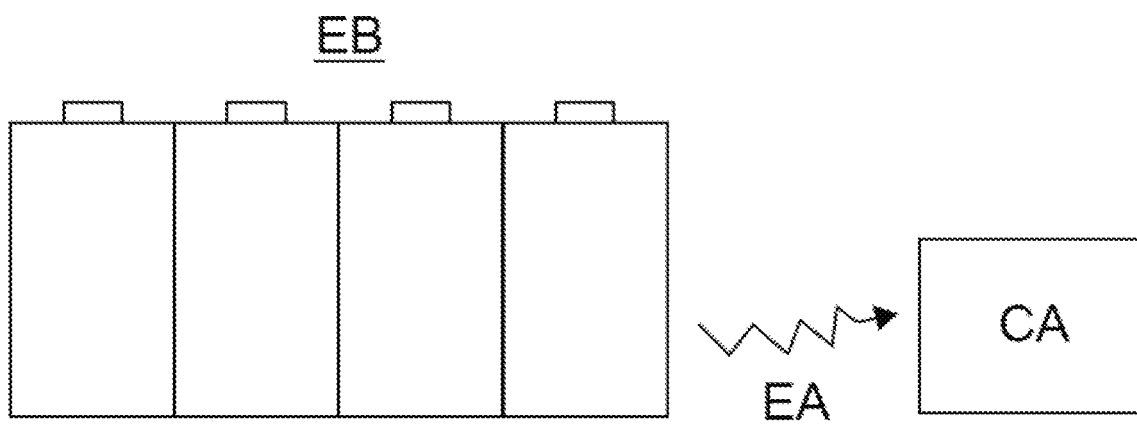
[Revendication 10] Programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution des étapes du procédé selon l'une des revendications 1 à 8 lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur.

[Revendication 11] Support lisible par ordinateur, sur lequel est enregistré le programme d'ordinateur selon la revendication précédente.

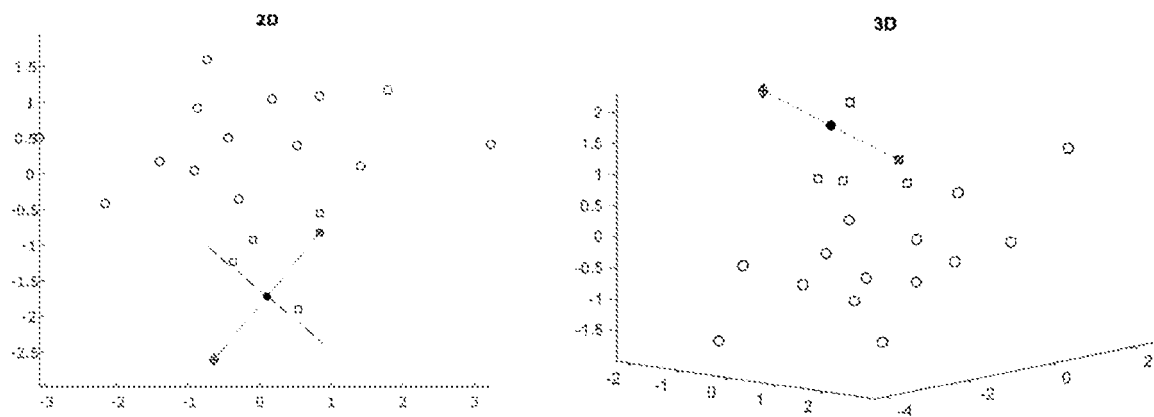
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]





**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

FA 878273  
FR 1911780

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	EP 3 340 065 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 27 juin 2018 (2018-06-27) * alinéas [0001] - [0005], [0048] - [0057], [0065], [0066] * * revendication 1 *	1-11	G06F17/10
A	----- AMORIM ELISA ET AL: "Multidimensional Projection with Radial Basis Function and Control Points Selection", 2014 IEEE PACIFIC VISUALIZATION SYMPOSIUM, IEEE, 4 mars 2014 (2014-03-04), pages 209-216, XP032585049, DOI: 10.1109/PACIFICVIS.2014.59 [extrait le 2014-04-11] * sections 1, 3 *	1-11	
A	----- VLADIMIR TOMENKO ED - ROY ASIM ET AL: "Online dimensionality reduction using competitive learning and Radial Basis Function network", NEURAL NETWORKS, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, BARKING, GB, vol. 24, no. 5, 19 février 2011 (2011-02-19), pages 501-511, XP028188496, ISSN: 0893-6080, DOI: 10.1016/J.NEUNET.2011.02.007 [extrait le 2011-03-03] * sections 1, 2 *	1-11	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G06F G06K G01R
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		24 septembre 2020	Domingo Vecchioni, M
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ----- & : membre de la même famille, document correspondant	
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			



**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1911780 FA 878273**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **24-09-2020**  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 3340065	A1	27-06-2018	EP 3340065 A1	27-06-2018
			FR 3060794 A1	22-06-2018
-----				

EPO FORM P0465