

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 05.11.14.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 06.05.16 Bulletin 16/18.

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 :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : SNECMA — FR.

72 Inventeur(s) : COLAS STEPHANE et LE GONIDEC
SERGE.

73 Titulaire(s) : SNECMA.

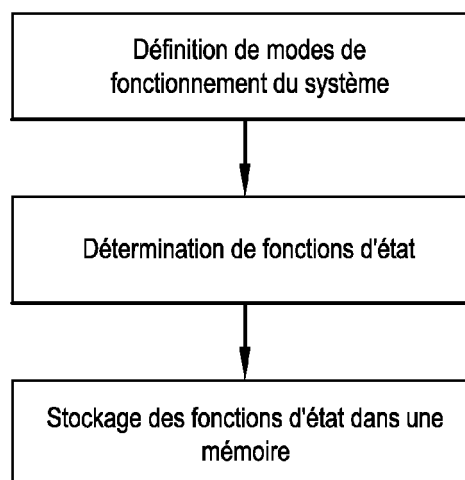
74 Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE.

54 CONTROLEUR AMELIORE D'ETAT D'UN SYSTEME PILOTE PAR UNE COMMANDE.

57 Contrôleur d'état d'un système (1), comprenant un cal-
culateur (4) et une mémoire (5),

le système (1) étant piloté par une commande définis-
sant plusieurs modes de fonctionnement du système (1),
chaque mode de fonctionnement correspondant à l'applica-
tion d'une valeur de commande constante,

la mémoire (5) comprenant un ensemble de matrices
d'état enregistrées, traduisant pour chaque mode de fonc-
tionnement du système (1), la valeur de la projection de son
état dans le temps, le calculateur (4) étant configuré pour,
lors du fonctionnement du système, déterminer des valeurs
estimées d'état du système (1) à un instant donné au moyen
des fonctions d'état et de son état à un instant antérieur.



DOMAINE TECHNIQUE GENERAL

La présente invention concerne le domaine des estimateurs d'état d'un système, et trouve une application particulière pour le contrôleur d'état
5 d'un système, d'un engin spatial ou dans le domaine de l'aéronautique.

ETAT DE L'ART

Lors du fonctionnement d'un système, l'état de différents organes tels
10 que des vannes est contrôlé en continu, ces organes ayant communément un rôle majeur dans le fonctionnement du système.

Afin de détecter une panne, certaines stratégies utilisent deux mesures indépendantes sont réalisées et comparées. Si ces mesures diffèrent au-
15 delà d'un seuil prédéfini, alors une anomalie du système de contrôle est détectée.

Il est alors nécessaire de déterminer laquelle de ces deux mesures est juste et laquelle est défectueuse. Or, dans de nombreuses applications,
20 et en particulier dans les applications spatiales et aéronautiques, l'arrêt du système et sa mise en maintenance n'est pas envisageable.

Un modèle est ainsi utilisé pour former une valeur de référence, qui permettra ainsi de différencier deux mesures distinctes et d'identifier la
25 mesure correcte et la mesure erronée. Les solutions utilisées de manière conventionnelles consistent à estimer un modèle linéaire par une intégration numérique à pas constant en temps réel d'un modèle d'état. Cependant, obtenir une précision élevée nécessite un nombre très important de calculs.

30

A titre d'exemple, en considérant le contrôle d'état d'une vanne dont la vitesse moyenne est de $100^\circ/\text{s}$, l'obtention d'une précision de $0,1^\circ$ nécessite un pas d'intégration de 1 ms. Dès lors, l'obtention d'une telle

précision impose alors un cadencement de 1ms, ou impose un calcul avec un bouclage d'intégration de 1ms. Le nombre de calculs est donc trop important compte tenu des ressources numériques limitées.

5 PRESENTATION DE L'INVENTION

Afin de répondre au moins partiellement à ces diverses problématiques, la présente invention propose un contrôleur d'état d'un système, comprenant un calculateur et une mémoire,

- 10 le système étant piloté par une commande définissant plusieurs modes de fonctionnement du système, chaque mode de fonctionnement correspondant à l'application d'une valeur de commande, la mémoire comprenant un ensemble de matrices d'état enregistrées, traduisant pour chaque mode de fonctionnement du système linéaire la
- 15 valeur de son état dans le temps sous condition de commande constante sur l'espace de temps donné, le calculateur étant configuré pour, lors du fonctionnement du système, déterminer des valeurs estimées d'état du système à un instant donné au moyen des matrices d'état en mémoire et de son état à un instant
- 20 antérieur.

Chaque mode de fonctionnement correspond typiquement à l'application d'une valeur de commande constante au système et permet de réduire significativement le coût de calculs.

- 25 Pour chaque mode de fonctionnement du système, on détermine avantageusement un nombre N de durées unitaires T_i , telles que pour le système considéré, chaque durée de fonctionnement T_f dans un mode de fonctionnement donné peut être décomposée en $T_f = \sum_{i=0}^N k_i * T_i$, avec
- 30 k_i entiers naturels, chaque fonction d'état traduisant une évolution linéaire de l'état du système sur une durée unitaire T_i donnée. Accessoirement un pas plus fin T_j permet d'estimer la valeur à la

résolution T_j , le temps étant décomposé tel que $T = n \cdot T_i + m \cdot T_j$ avec n et m entiers naturels.

- 5 En variante, pour chaque mode de fonctionnement du système, on détermine des nombres N et M de durées unitaires T_i et T_j , telles que pour le système considéré, chaque durée de fonctionnement T_f dans un mode de fonctionnement donné peut être décomposée en
- $$T_f = \sum_{i=0}^N k_i \times T_i + \sum_{j=0}^M k_j \times T_j,$$
- avec k_i et k_j entiers naturels, chaque fonction d'état traduisant une évolution linéaire de l'état du système sur
- 10 une durée unitaire T_i ou T_j donnée.

Lesdites fonctions d'état sont typiquement déterminées au moyen d'une méthode d'ordre zéro.

- 15 Le calculateur est typiquement configuré pour modifier un paramètre traduisant la commande constante appliquée au système afin de modéliser les évolutions du système lors de son fonctionnement.

- 20 L'invention concerne également un procédé de contrôle d'état d'un système piloté par une commande, dans lequel
- on définit un nombre maximum de modes de fonctionnement du système, de manière à ce que pour chaque mode de fonctionnement, le système soit soumis à une commande de valeur constante,
 - on détermine un ensemble de fonctions d'état enregistrées, traduisant
- 25 pour chaque mode de fonctionnement du système son état pour diverses valeurs de temps correspondant aux durées de commande appliquées.
- on stocke les fonctions d'état dans une mémoire, de manière à, lors du fonctionnement du système, déterminer des valeurs estimées d'état du
- 30 système à un instant donné au moyen des fonctions d'état et de son état à un instant antérieur.

Chaque mode de fonctionnement correspond par exemple à l'application d'une valeur de commande constante au système.

- 5 Pour chaque mode de fonctionnement du système, on détermine
avantageusement un nombre N de durées unitaires T_i , accessoirement
un nombre M de durée unitaire T_j d'un pas inférieur à T_i , telles que pour
le système considéré, chaque durée de fonctionnement T_f dans un mode
de fonctionnement donné peut être décomposée en $T_f = \sum_{i=0}^N k_i * T_i +$
 $\sum_{j=0}^M k_j * T_j$, avec k_i , k_j entiers naturels, chaque fonction d'état traduisant
10 une valeur de l'état du système linéaire sur une durée $N * T_i$ ou $M * T_j$
donnée. M et N sont de valeurs limités, la somme $N * T_i + M * T_j$
permettant de couvrir la durée des commande constantes appliquées au
système.
- 15 En variante, pour chaque mode de fonctionnement du système, on
détermine des nombres N et M de durées unitaires T_i et T_j , telles que
pour le système considéré, chaque durée de fonctionnement T_f dans un
mode de fonctionnement donné peut être décomposée en
 $T_f = \sum_{i=0}^N k_i \times T_i + \sum_{j=0}^M k_j \times T_j$, avec k_i et k_j entiers naturels, chaque
20 fonction d'état traduisant une évolution linéaire de l'état du système sur
une durée unitaire T_i ou T_j donnée.

Lesdites fonctions d'état sont par exemple déterminées au moyen d'une
méthode d'ordre zéro.

25

Le calculateur est typiquement configuré pour modifier un paramètre
traduisant la commande constante appliquée au système afin de
modéliser les évolutions du système lors de son fonctionnement.

PRESENTATION DES FIGURES

D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit, qui est purement illustrative et non limitative, et qui doit être lue en regard des figures annexées, sur lesquelles :

- la figure 1 représente schématiquement un contrôleur d'état selon un aspect de l'invention,
- la figure 2 représente schématiquement un processus de préparation des matrices pour un contrôleur ou un procédé selon un aspect de l'invention, et
- la figure 3 illustre schématiquement un exemple d'application d'un contrôleur d'état selon un aspect de l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE

On décrit ci-après un système et un procédé selon un aspect de l'invention, en référence aux figures 1 et 2 qui illustrent schématiquement un tel contrôleur, et un processus de préparation des matrices pour un tel contrôleur ou pour le procédé mis en œuvre.

Le contrôleur d'état tel que présenté comprend un système 1 piloté par un organe de pilotage 2 appliquant une commande, un ou plusieurs capteurs 3 adaptés pour mesurer un état du système 1, et un calculateur 4 comprenant une mémoire 5.

Le système 1 considéré peut être de tout type, il peut par exemple d'agir d'un rotor de moteur, d'un actionneur ou un système quelconque dès lors que celui-ci fonctionne en régime linéaire, comprenant par exemple un ou plusieurs organes.

L'organe de pilotage 2 pilote le système 1 par l'application d'une commande, typiquement une commande de type créneau, c'est-à-dire une commande constante sur un intervalle de temps donné.

Dans le cas de l'application relatif à une validation de mesure, le capteur 3 acquiert une ou plusieurs mesures d'un état du système 1, et transmet ensuite ces mesures au calculateur 4 de manière à ce qu'il les traite. La réalisation de plusieurs mesures pour la détermination d'un même état permet de réduire les imprécisions, par exemple en réalisant une moyenne entre les différentes mesures.

10 Le calculateur 4 détermine de plus une valeur d'état estimée, qui est comparée aux valeurs d'état mesurées par le capteur 3, afin de détecter de potentielles erreurs de mesures ou incohérences, auquel cas les valeurs mesurées litigieuses sont écartées, et la valeur d'état estimée est utilisée à la place des valeurs d'état mesurées.

15 La détermination de cette valeur d'état estimée est réalisée au moyen de fonctions d'état, par exemple déterminées sous la forme de matrices d'état, stockées dans la mémoire 5.

Ces fonctions d'état sont déterminées préalablement au fonctionnement du système 1, et sont constantes lors de son fonctionnement.

20

Les fonctions d'état sont déterminées de manière à, pour chaque mode de fonctionnement du système1, traduire la valeur de la projection dans le temps de l'état du système1.

25 Par mode de fonctionnement du système 1, on entend l'application d'une commande générée par le calculateur 4 et appliquée par l'organe de pilotage 2, un changement de mode de fonctionnement du système1 correspondant typiquement à une rupture de la commande appliquée. Les modes de fonctionnement du système1 peuvent également correspondre aux contraintes externes appliquées au système 1.

30 On définit ainsi comme paramètres d'entrée du contrôleur le mode de fonctionnement, associé à l'amplitude de commande et aux contraintes externes appliquées au système 1.

A titre d'exemple, si l'on considère un système 1 piloté par une commande de type tout ou rien, on peut considérer trois modes de fonctionnement pour le système 1 ;

- un premier mode de fonctionnement dans lequel la commande appliquée est nulle,
- un second mode de fonctionnement dans lequel la commande appliquée est égale à une valeur constante unitaire 1, et
- un troisième mode de fonctionnement dans lequel la commande appliquée est égale à une valeur constante unitaire -1.

Le nombre de modes de fonctionnement dépend bien entendu de l'organe de pilotage 2 et de la commande appliquée.

Une fois le nombre de modes de fonctionnement du système 1 déterminé, on détermine pour chaque mode de fonctionnement du système 1, un ensemble de fonctions d'état, par exemple sous la forme de matrices d'état, qui traduisent la valeur de la projection dans le temps de l'état du système 1 pour un mode de fonctionnement donnée.

On peut par exemple pour chaque mode de fonctionnement du système 1, déterminer un nombre N de durées unitaires T_i , telles que chaque durée de fonctionnement T_f dans un mode de fonctionnement donné peut être décomposée en $T_f = \sum_{i=0}^N k_i * T_i$, avec k_i entiers naturels, chaque fonction d'état traduisant la valeur de la projection de l'état du système 1 sur une durée unitaire T_i donnée.

Pour améliorer la précision, on peut augmenter la résolution en introduisant des durées unitaires T_j sous-multiple de T_i .

Par exemple, en introduisant $T_i=10\text{ms}$ et $T_j=1\text{ms}$ la durée, pour un créneau de 83ms , il suffit de calculer la valeur de l'état pour 80ms puis pour 3ms .

Les fonctions d'état sont avantageusement déterminées au moyen d'une méthode d'ordre zéro, ce qui permet d'obtenir une précision sensiblement égale ou à tout le moins très proche des méthodes

d'intégrations continues, en particulier pour des systèmes 1 linéaires pilotés au moyen d'une commande de type créneau.

5 Lors du fonctionnement du système 1, le calculateur 4 utilise alors les fonctions d'état correspondant au mode de fonctionnement du système1 pour déterminer une estimation de l'état du système1, les fonctions d'état étant stockées dans la mémoire 5 au préalable, et non pas calculées lors du fonctionnement du système 1.

10 Le processus de préparation des matrices s'établit alors en trois étape telles qu'illustrées sur la figure 2 :

- une première étape de définition des modes de fonctionnement du système 1,
- une deuxième étape de détermination de fonctions d'état pour les
15 différents modes de fonctionnement du système 1, et
- une troisième étape de stockage des fonctions d'état dans une mémoire, en l'occurrence la mémoire 5 telle que représentée sur la figure 1.

20 Ainsi, le calculateur 4 peut prendre en compte les variations de fonctionnement du système 1 sans nécessiter de recalculer tout ou partie des fonctions d'état stockées dans la mémoire 5. A chaque cycle de calcul, le calculateur détermine la valeur d'état estimée du système 1 à partir de la valeur d'état antérieure, de la commande appliquée, et des
25 fonctions d'état correspondant au mode de fonctionnement du système, ces fonctions d'état étant stockées dans la mémoire 5 et demeurant constantes lors du fonctionnement du système 1.

La figure 3 représente un exemple d'estimation d'état d'un système.

30 On représente sur cette figure une commande appliquée à un système au cours du temps, ici une commande de type créneau, pouvant prendre deux valeurs : 0 et 1.

On représente également sur cette figure l'état X estimé à l'instant T_2 du système et en fonction du temps son déplacement réel.

5 A l'état initial, la commande appliquée est nulle, et le système est à un état nul ; il demeure dans son état initial. le système est alors dans un premier mode de fonctionnement, correspondant à l'application d'une commande nulle.

10 A un instant T_0 , on applique une commande égale à 1. le système est alors dans un second mode de fonctionnement. Le calculateur 4 applique alors les fonctions d'état correspondant à ce second mode de fonctionnement du système, et l'état calculé du système évolue donc au cours du temps selon sa dynamique linéaire.

15 Le calcul de l'état du système est réalisé par pas successifs, et non pas de manière continue, le nombre de pas dépendant de la résolution souhaitée et de la base retenue.

20 Par exemple, en considérant des ordres d'une durée maximale de 100ms, on définit :

- une base de temps $T_i = 10\text{ms}$, et on stocke en mémoire les matrices d'estimation pour 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 et 100ms ;
- une base de temps $T_j = 1\text{ms}$, et on stocke en en mémoire les matrices d'estimation pour 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9ms.

Une commande d'une durée de 78ms est ainsi calculée en deux calculs à l'aide de la matrice 70ms ($i=7$) et celle de 8ms ($j=8$).

30 A un instant $T_1 > T_0$, la commande redevient nulle. Le système est alors dans un troisième mode de fonctionnement, correspondant à une commande nulle à l'issue d'un mouvement. L'état du système évolue donc, par exemple sous l'effet de l'inertie du système, jusqu'à une

valeur X à un instant $T2 > T1$, auquel l'inertie n'a plus d'effet, et où le système repasse alors dans le premier mode de fonctionnement.

5 Les fonctions d'état déterminées au préalable du fonctionnement du système 1 et stockées dans la mémoire 5 peuvent par exemple être utilisées par un filtre de Kalman afin de calculer l'évolution de l'état du système 1 ou pour toute autre fonction faisant appel à une estimation d'état sous condition de commande par tronçon constant appliqué à un système supposé linéaire.

10

La présente invention permet ainsi de diminuer considérablement la puissance de calcul nécessaire pour la détermination d'un état d'un système considéré linéaire dans son domaine de fonctionnement, tout en conservant une précision proche voire identique à un système
15 utilisant une intégration numérique continue.

Revendications

1. Ensemble comprenant un système (1) et un contrôleur d'état dudit système (1), ledit contrôleur d'état comprenant un calculateur (4) et
5 une mémoire (5),
le système (1) comprenant une commande configurée pour appliquer une valeur de commande constante choisie parmi une pluralité de valeurs, chaque valeur définissant un mode de fonctionnement du système (1),
10 la mémoire (5) comprenant un ensemble de matrices d'état enregistrées, traduisant pour chaque mode de fonctionnement du système (1), la valeur de la projection de son état dans le temps,
le calculateur (4) étant configuré pour, lors du fonctionnement du système, déterminer des valeurs estimées d'état du système (1) à un
15 instant donné au moyen des fonctions d'état et de son état à un instant antérieur.
2. Ensemble selon la revendication 1, dans lequel chaque mode de fonctionnement correspond à l'application d'une valeur de commande
20 constante au système (1).
3. Ensemble selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel pour chaque mode de fonctionnement du système (1), on détermine un nombre N de durées unitaires T_i , telles que pour le système (1)
25 considéré, chaque durée de fonctionnement T_f dans un mode de fonctionnement donné peut être décomposée en $T_f = \sum_{i=0}^N k_i * T_i$, avec k_i entiers naturels, chaque fonction d'état traduisant une évolution linéaire de l'état du système (1) sur une durée unitaire T_i donnée.
- 30 4. Ensemble selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel pour chaque mode de fonctionnement du système (1), on détermine des nombres N et M de durées unitaires T_i et T_j , telles que pour le système

(1) considéré, chaque durée de fonctionnement T_f dans un mode de fonctionnement donné peut être décomposée en

$T_f = \sum_{i=0}^N k_i \times T_i + \sum_{j=0}^M k_j \times T_j$, avec k_i et k_j entiers naturels, chaque fonction d'état traduisant une évolution linéaire de l'état du système (1) sur une durée unitaire T_i ou T_j donnée.

5. Ensemble selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel laquelle lesdites fonctions d'état sont déterminées au moyen d'une méthode d'ordre zéro.

6. Procédé de contrôle d'état d'un système (1) piloté par une commande, dans lequel

- on définit un nombre maximum de modes de fonctionnement du système (1), de manière à ce que pour chaque mode de

- fonctionnement, le système (1) soit soumis à une commande constante,

- on détermine un ensemble de fonctions d'état enregistrées, traduisant pour chaque mode de fonctionnement du système (1) une valeur de la projection de son état dans le temps,

- on stocke les fonctions d'état dans une mémoire (5), de manière à, lors du fonctionnement du système (1), déterminer au moyen d'un calculateur (4) des valeurs estimées d'état du système (1) à un instant donné au moyen des fonctions d'état et de son état à un instant antérieur.

7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel chaque mode de fonctionnement correspond à l'application d'une valeur de commande constante au système (1).

8. Procédé selon l'une des revendications 6 ou 7, dans lequel pour chaque mode de fonctionnement du système (1), on détermine un nombre N de durées unitaires T_i , telles que pour le système (1) considéré, chaque durée de fonctionnement T_f dans un mode de fonctionnement donné peut être décomposée en $T_f = \sum_{i=0}^N k_i * T_i$, avec k_i

entiers naturels, chaque fonction d'état traduisant une évolution linéaire de l'état du système (1) sur une durée unitaire T_i donnée.

9. Procédé selon l'une des revendications 6 ou 7, dans lequel pour chaque mode de fonctionnement du système (1), on détermine des
 5 nombres N et M de durées unitaires T_i et T_j , telles que pour le système (1) considéré, chaque durée de fonctionnement T_f dans un mode de fonctionnement donné peut être décomposée en

$T_f = \sum_{i=0}^N k_i \times T_i + \sum_{j=0}^M k_j \times T_j$, avec k_i et k_j entiers naturels, chaque
 fonction d'état traduisant une évolution linéaire de l'état du système (1)

- 10 sur une durée unitaire T_i ou T_j donnée.

10. Procédé selon l'une des revendications 6 à 9, dans laquelle lesdites fonctions d'état sont déterminées au moyen d'une méthode d'ordre
 zéro.

1/1

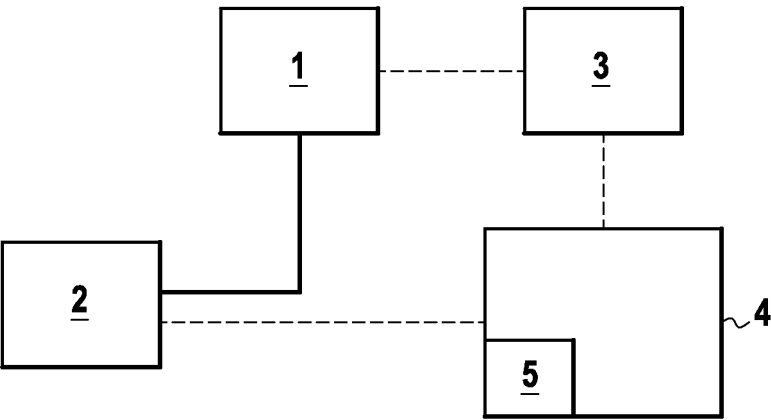


FIG.1

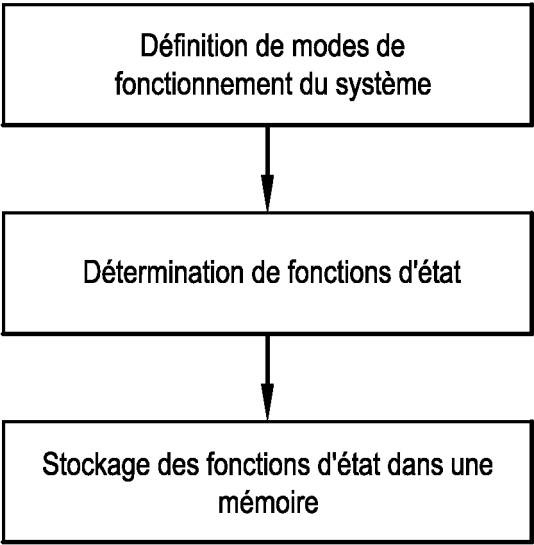


FIG.2

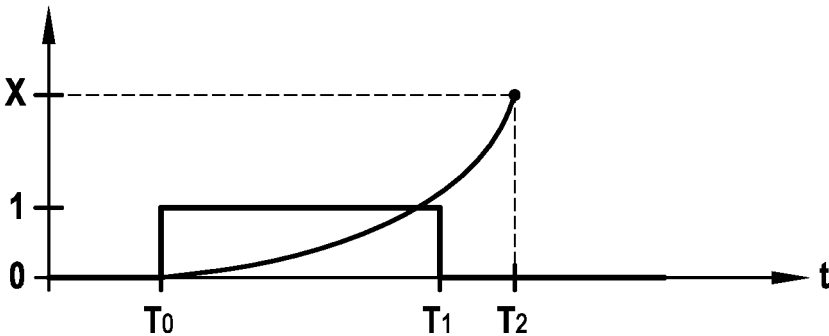


FIG.3



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 809427
FR 1460664

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	US 2007/255446 A1 (BACKSTROM JOHAN U [CA] ET AL) 1 novembre 2007 (2007-11-01) * alinéa [0055] - alinéa [0057] * -----	1,2,5-7, 10	G05B13/04 G05B11/36
X	US 2009/240480 A1 (BARAMOV LUBOMIR [CZ]) 24 septembre 2009 (2009-09-24) * alinéa [0045] - alinéa [0048] * -----	1,6	
X	US 2003/028263 A1 (GORDON GOUGH WILLIAM ALBERT [CA] ET AL) 6 février 2003 (2003-02-06) * alinéa [0024] - alinéa [0051]; figure 1 * -----	1,6	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G05B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
1 octobre 2015		Kelperis, K	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet 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			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1460664 FA 809427

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 **01-10-2015**

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
US 2007255446 A1	01-11-2007	CA 2650657 A1	10-04-2008
		EP 2024560 A2	18-02-2009
		JP 5058249 B2	24-10-2012
		JP 2009535684 A	01-10-2009
		US 2007255446 A1	01-11-2007
		WO 2008041067 A2	10-04-2008

US 2009240480 A1	24-09-2009	AUCUN	

US 2003028263 A1	06-02-2003	AUCUN	
