

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ **SYSTEME D'ORGANES DE COMMANDE.**

②② **Date de dépôt :** 25.08.11.

③③ **Priorité :** 30.08.10 DE 102010035823.1.

④③ **Date de mise à la disposition du public
de la demande :** 02.03.12 Bulletin 12/09.

④⑤ **Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention :** 19.07.19 Bulletin 19/29.

⑤⑥ **Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :**

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ **Références à d'autres documents nationaux
apparentés :**

○ **Demande(s) d'extension :**

⑦① **Demandeur(s) :** *LIEBHERR-AEROSPACE
LINDENBERG GMBH SN — DE.*

⑦② **Inventeur(s) :** *STIEFENHOFER MATTHIAS,
LUDWIG MATTHIAS, ROTTACH MICHAEL,
NEUMANN RALPH et SCHLOSSER MANFRED.*

⑦③ **Titulaire(s) :** *LIEBHERR-AEROSPACE
LINDENBERG GMBH SN.*

⑦④ **Mandataire(s) :** *CABINET WEINSTEIN Société
civile.*

FR 2 964 207 - B1



L'invention concerne un système d'organes de commande actif pour la commande d'un aéronef avec au moins un organe de commande déplaçable mécaniquement, au moins une régulation d'au moins un organe de positionnement ou d'actionneur pour la commande de l'organe de commande et au moins un moyen de détection pour la détection d'au moins une grandeur d'état de l'organe de commande.

De tels systèmes d'organes de commande utilisent un organe de commande apte à être déplacé mécaniquement autour de plusieurs axes, en particulier sous la forme d'un manche à balai qui est actionnable par le pilote pour la commande de vol d'un aéronef. L'inclinaison de l'organe de commande autour d'un des axes agit par exemple sur l'inclinaison longitudinale et/ou latérale d'un avion ou sur le mouvement de tangage et de roulis ainsi que sur le mouvement vertical d'un hélicoptère.

A la différence de la commande classique, lors de laquelle les mouvements de commande du pilote sont transmis par des câbles en acier, des tiges de poussée ou des systèmes hydrauliques aux dispositifs de positionnement commandants de l'aéronef, la position de réglage modifiable de l'organe de commande actionnable mécaniquement est détectée par des capteurs associés et est transmise par des lignes électriques au dispositif de positionnement correspondant de l'aéronef.

Dans la réalisation sous la forme d'un système de commandes de vol électriques (Fly-by-Wire), en comparaison à la réalisation classique à manche à balais, les forces de commande produites ne sont pas resignalées ou retransmises à l'organe de commande. Cependant, le pilote dépend fréquemment de cette forme de transmission d'informations haptiques pour sentir la position de vol respective de l'aéronef.

Les systèmes d'organes de commande actifs permettent la simulation des forces de commande produites et adaptent celles-ci à la situation de vol respective

pour fournir ainsi un soutien optimal au pilote. Les resignalisations ou retransmissions sont transférées par exemple sous forme de mouvements ou de signaux au dispositif de commande en facilitant une réaction intuitive du pilote à la situation de vol respective. En outre, le pilote reçoit une retransmission ou retour précis des entrées de commande qu'il a effectuées. Le pilote a donc la possibilité, également lors de l'utilisation d'un système de commande électrique, de sentir le comportement de l'aéronef pendant le vol.

La présente invention a pour objectif de proposer un système d'organes de commande pour des aéronefs avec une meilleure génération de sensations, surmontant les inconvénients des systèmes mécaniques connus.

A cet effet, l'invention concerne un système d'organes de commande actif pour la commande d'un aéronef avec au moins un organe de commande déplaçable mécaniquement, au moins une régulation d'au moins un organe de positionnement ou d'actionneur pour la commande de l'organe de commande et au moins un moyen de détection pour la détection d'au moins une grandeur d'état de l'organe de commande.

Selon l'invention, le système d'organes de commande actif comprend au moins un régulateur pour la commande d'au moins un organe de positionnement respectivement d'actionneur et au moins un moyen de génération de sensations, où le moyen de génération de sensations combine des grandeurs d'état internes et/ou externes et, à l'aide d'un ou de plusieurs modèles physiques-mathématiques, détermine la grandeur de consigne de régulation. Le moyen générateur de sensations est donc directement ou indirectement en liaison avec au moins un moyen de détection du système d'organes de commande. En prenant en considération au moins une grandeur d'état interne, à l'aide d'un ou de plusieurs modèles physiques-mathématiques, au moins une grandeur de consigne de régulation pour la commande du régulateur peut être

déterminée. La commande réglée qui en résulte de l'actionneur/organe de positionnement produit une sensation perceptible pour le pilote qui correspond pour l'essentiel aux forces de commande connues de systèmes de commande classiques.

De préférence, des grandeurs d'état internes et des grandeurs d'état externes sont combinées à l'intérieur du moyen de génération de sensations et sont utilisées à l'aide d'un ou de plusieurs modèles physiques-mathématiques pour la détermination des grandeurs de consigne de régulation.

Les grandeurs d'état internes concernent directement l'état de l'organe de commande, c'est-à-dire la position et/ou la vitesse et/ou l'accélération et/ou l'effet des forces au moyen desquels l'organe de commande est actionné par le pilote. Les grandeurs d'état externes décrivent de préférence l'état de composants couplés ou l'état de composants externes qui ont de l'importance pour la commande de l'aéronef.

Le modèle physique-mathématique permet une simulation fidèle dans les détails et adaptable des forces de commande produites dans les systèmes de commande classiques. La combinaison de différents modèles physiques-mathématiques permet une configuration adaptable et réglable sélectivement des réactions ou rétroactions que le pilote peut percevoir. La manière et le type de la génération de sensations respective peuvent être adaptés à l'aéronef ou au comportement en vol.

De préférence, au moins un modèle physique-mathématique contient une ligne caractéristique et/ou un modèle d'amortissement masse-ressort d'ordre et/ou de dimension sélectif.

A l'aide du moyen générateur de sensations, diverses fonctions peuvent être transformées dans le moyen de génération de sensations. La combinaison de diverses fonctions est possible. Des modèles physiques-mathématiques possibles comprennent des lignes

caractéristiques de position de force, des lignes caractéristiques de position de couple de rotation ou des lignes caractéristiques de vitesse d'amortissement qui sont de préférence linéaires ou non linéaires.

5 En outre, un modèle physique-mathématique pour la conversion d'une fonction de positionnement, de percée, d'arrêt dur (limitation de position) ou d'arrêt souple est envisageable. Egalement possible est la réalisation d'un modèle de frottement, d'un décalage de forces, d'un
10 décalage de position ou d'un vibreur de manche. En outre, par le modèle physique-mathématique, la vitesse et/ou l'accélération et/ou la force peuvent être limitées. Une combinaison sélective des fonctions précitées à l'intérieur du moyen de génération de sensations est
15 envisageable.

Les grandeurs d'état internes sont détectées de préférence par les moyens de détection indiqués au début et sont transférées au moyen de génération de sensations. En font partie, par exemple, la force de la main et/ou le
20 couple de rotation exercé à la main qui agit sur l'organe de commande.

Les grandeurs d'état externes comprennent d'une manière appropriée un ou plusieurs signaux d'un pilote automatique. De même, des valeurs de mesure ou des
25 données pertinentes d'autres composants couplés peuvent être prises en considération. En fait partie par exemple un système d'organes de commande actif installé en parallèle. Des données de commande, comme des grandeurs d'état sélectives ainsi que des grandeurs de consigne
30 déterminées d'un système d'organes de commande actif parallèle sont transférées au moyen de génération de sensations du système d'organes de commande actif selon l'invention. Des systèmes d'organes de commande installés en parallèle jouent un rôle par exemple dans des aéronefs
35 qui sont commandés par plus d'une personne. En outre, des systèmes d'organes de commande parallèles peuvent prendre en charge plusieurs fonctions de commande d'un aéronef.

De même, une conception redondante du système d'organes de commande inventif est envisageable sous les aspects déjà cités.

Le moyen de génération de sensations inventif
5 produit, en considérant les grandeurs d'état internes et/ou externes une ou plusieurs grandeurs de consigne de régulation pour l'architecture de régulation du système d'organes de commande inventif. De préférence, l'architecture de régulation est basée sur au moins un
10 régulateur de déplacement.

En particulier, le régulateur est réalisé comme régulateur de position, et le moyen de génération de sensations produit une grandeur de position de consigne pour le régulateur.

15 En outre, le régulateur peut être réalisé comme régulateur de vitesse, et le moyen de génération de sensations produit une grandeur de vitesse de consigne pour le régulateur.

La réalisation du régulateur comme régulateur
20 d'accélération est également envisageable, et le moyen de génération de sensations produit une grandeur d'accélération de consigne pour le régulateur.

Une combinaison de toutes les trois architectures de régulation est également possible.

25 L'invention concerne en outre un aéronef avec un système d'organes de commande actif selon l'une des réalisations avantageuses exposées ci-dessus. Les propriétés et effets de l'aéronef inventif correspondent bien évidemment à ceux des réalisations avantageuses du
30 système d'organes de commande actif, et ils ne seront pas décrits à nouveau ici.

L'invention sera mieux comprise, et d'autres buts, caractéristiques, détails et avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement dans la description
35 explicative qui va suivre faite en référence aux dessins schématiques annexés donnés uniquement à titre d'exemple

illustrant un mode de réalisation de l'invention et dans lesquels:

- la figure 1 est un synoptique modulaire de l'architecture du système d'organes de commande actif et
- 5 - la figure 2 est une représentation schématique du mode de fonctionnement du moyen de génération de sensations.

La figure 1 représente un synoptique modulaire d'une unité d'organes de commande active. L'architecture
10 comprend un organe de commande déplaçable mécaniquement sous la forme d'un manche à balais 10 qui est relié mécaniquement à au moins un organe de positionnement 30 ou au moins à un actionneur actif 40. L'actionneur 40 est réalisé de préférence comme moteur électrique dont
15 l'arbre d'entraînement exerce par une structure d'engrenages une force mécanique sur le manche à balais 10 et produit un mouvement du manche à balais. Etant donné que le manche à balais 10 est déplaçable librement autour d'un nombre sélectif d'axes, il est prévu par axe
20 un organe de positionnement 30 respectivement actionneur 40.

L'architecture comprend en outre des moyens de détection 20 qui sont disposés à la mécanique du manche et qui servent à déterminer la position de réglage
25 actuelle du manche à balais 10. Des paramètres, comme la vitesse, l'accélération et la force qui agissent lors d'un actionnement du manche à balais 10 sur celui-ci, peuvent également être déterminés par les moyens de détection 20. D'autres capteurs déterminent les grandeurs
30 d'état actuelles 31, 41 des actionneurs 40 respectivement organes de positionnement 30 utilisés pour la commande du manche à balais 10.

Le moyen de génération de sensations 50 sert à produire la rétroaction réglée électroniquement en
35 fonction de l'actionnement du manche à balais. A l'entrée du moyen de génération de sensations 50 s'applique les signaux produits par les capteurs des grandeurs d'état

internes 20, 31, 41. En outre, le régulateur de position 70 accède aux lignes de signalisation précitées des capteurs.

Pour prendre en considération la position de vol
 5 actuelle de l'aéronef, des grandeurs d'état externes 90 sont en outre détectées par des systèmes de capteurs externes et sont transférées au moyen de génération de sensations 50. Parmi les grandeurs d'état externes 90 se trouvent par exemple la vitesse de vol actuelle, la
 10 hauteur de vol, l'angle de volet réglé ainsi que les données de mesure des gyroscopes utilisés dans l'avion et des signaux correspondants du pilote automatique.

Le modèle d'organe de commande virtuel 60 est basé en règle générale sur un modèle mathématique qui produit
 15 un manche à balais virtuel. Le modèle d'organe de commande 60 génère, en prenant en considération les grandeurs d'état entrantes 20, 31, 41 une multitude de valeurs de simulation qui comprennent une position virtuelle ainsi que d'autres grandeurs auxiliaires du
 20 manche à balais 10. Les données de simulation sont transférées au régulateur de position 70 et au moyen de génération de sensations 50. On peut renoncer par exemple à une mesure explicite de certaines grandeurs d'état étant donné que celles-ci peuvent être calculées à l'aide
 25 de l'organe de modèle de commande virtuel 60 en tenant compte des grandeurs d'état entrantes 20, 31, 41.

Par l'utilisation du modèle d'organe de commande virtuel 60, on peut renoncer théoriquement complètement à une mesure de force ou une régulation de force.

30 Le moyen de génération de sensations 50 génère à partir des grandeurs d'état amenées 20, 31, 41 des capteurs, les grandeurs d'état et auxiliaires virtuelles du modèle d'organe de commande virtuel 60 et des grandeurs d'état externes 90 une position de consigne
 35 pour le manche à balais 10. La position de consigne peut être produite en utilisant une ligne caractéristique ou un modèle de sensations stocké auquel il faut associer

des caractéristiques de comportement différentes. A titre d'exemple, on indique l'utilisation d'un modèle de masse-ressort ou d'une ligne caractéristique de position de force sélective qui détermine en fonction d'une grandeur d'état de force arrivante une position de consigne prédéfinie pour le manche à balais 10. D'autres réalisations utilisent une ligne caractéristique de vitesse d'amortissement ou simulent une fonction de positionnement et/ou de percée et/ou de limitation de position et/ou d'arrêt doux ou progressif et/ou un modèle de frottement et/ou un décalage de force ou de position et/ou une limitation de force et/ou de vitesse.

A l'entrée réelle du régulateur de position 70 s'appliquent les grandeurs d'état 20, 31, 41 de l'organe de commande 10 ainsi que des actionneurs 40 respectivement des organes de positionnement 30. En prenant en considération la position de consigne produite par le moyen de génération de sensations 50 et en prenant en considération les grandeurs auxiliaires virtuelles déterminées par le modèle d'organe de commande virtuel 60, il est produit une grandeur de positionnement correspondante 71 pour les organes de positionnement 30 de l'architecture des organes de commande. La grandeur de positionnement 71 contient, par exemple, des tensions de commande, courants de commande et autres grandeurs de commande sélectives pour la commande du moteur ou de l'organe de positionnement.

Pour des raisons de technique de sécurité, le système de manche de commande possède un moyen de consolidation ou de surveillance 80 qui surveille les grandeurs produites du régulateur de position 70 ainsi que les grandeurs produites du moyen de génération de sensations 50 et du modèle d'organe de commande virtuel 60 et les soumet le cas échéant à une vérification de plausibilité. Les données respectives du moyen de surveillance ou de consolidation 80 sont émises

optionnellement par un élément d'affichage acoustiquement ou optiquement comme message d'état.

L'esquisse de principe grossière de la figure 2 explique encore une fois le mode de fonctionnement du moyen de génération de sensations 50 selon l'invention. L'architecture de base du moyen de génération de sensations produit, en tenant compte d'une ou de plusieurs grandeurs d'état internes et externes entrantes et sur la base d'un modèle physique-mathématique à sélectionner sélectivement une grandeur de consigne de régulation qui est transmise au régulateur 70 qui fait suite. La grandeur de positionnement 71 produite à la sortie du régulateur est mise à disposition des organes de positionnement individuels 30, 40 pour la commande du manche à balais 10. La grandeur réelle de régulation à la sortie du trajet de régulation est ramenée en tant que grandeur d'état interne au moyen de génération de sensations 50.

Etant donné qu'un aéronef est équipé fréquemment pour des motifs de redondance de plusieurs unités d'organe de commande selon la figure 1, un couplage doit être prévu entre les systèmes utilisés. La communication entre les deux systèmes est réalisée par une liaison électrique. Entre les architectures de commande des systèmes couplés sont échangés entre autres des messages d'état du moyen de surveillance ou de consolidation ou bien les grandeurs d'état utilisées des actionneurs ou des organes de positionnement ainsi que des organes de commande.

Alternativement, une multitude d'organes de commande ou de systèmes d'organe de commande est utilisée non pas pour des raisons de redondance mais au lieu de cela pour la mise en œuvre de diverses tâches de commande. Par exemple, un manche latéral sert à exécuter un mouvement de roulis et de tangage d'un hélicoptère, tandis qu'un deuxième manche latéral commande le mouvement vertical. Ici également, une génération de

sensations synchronisée sur les deux manches ainsi que l'échange de divers messages d'état et de grandeurs d'état sont absolument nécessaires.

REVENDICATIONS

1. Système d'organes de commande actif pour la
5 commande d'un aéronef avec au moins un organe de commande
(10) déplaçable mécaniquement, au moins une régulation
d'au moins un organe de positionnement ou d'actionneur
(40) pour la commande de l'organe de commande et au moins
un moyen de détection (20) pour la détection d'au moins
10 une grandeur d'état de l'organe de commande, le système
d'organes de commande actif comprenant au moins un
régulateur (70) pour la commande d'au moins un organe de
positionnement ou d'actionneur (40) et au moins un moyen
de génération de sensations (50), où le moyen de
15 génération de sensations (50) combine des grandeurs
d'état internes et/ou externes (20, 31, 41, 90) et
détermine à l'aide d'un ou de plusieurs modèles
physiques-mathématiques (60) une grandeur de consigne de
régulation, caractérisé en ce que le modèle physique-
20 mathématique est un modèle pour la réalisation d'une
fonction de positionnement.

2. Système d'organes de commande actif selon la
revendication 1, caractérisé en ce qu'au moins un modèle
physique-mathématique (60) comprend une ligne
25 caractéristique et/ou un modèle d'amortissement masse-
ressort d'ordre et/ou de dimension sélectif.

3. Système d'organes de commande actif selon l'une
des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'une
grandeur d'état interne (20, 31, 41) prend en
30 considération la force de la main et/ou le couple de
rotation exercé par la main qui agit sur l'organe de
commande (10).

4. Système d'organes de commande actif selon l'une
des revendications précédentes, caractérisé en ce que les
35 grandeurs d'état externes (90) comprennent des données du

pilote automatique respectivement des valeurs de mesure ou des données de composants couplés.

5 5. Système d'organes de commande actif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le régulateur utilisé (70) est un régulateur de position, et en ce que le moyen de génération de sensations (50) produit une grandeur de consigne de position.

10 6. Système d'organes de commande actif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le régulateur utilisé (70) est un régulateur de vitesse, et en ce que le moyen de génération de sensations (50) produit une grandeur de consigne de vitesse.

15 7. Système d'organes de commande actif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le régulateur utilisé (70) est un régulateur d'accélération, et en ce que le moyen de génération de sensations (50) génère une grandeur de consigne d'accélération.

20 8. Système d'organes de commande actif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'architecture de régulation est réalisée selon une combinaison sélective des revendications 5 à 7.

9. Aéronef avec un système d'organes de commande actif selon l'une des revendications 1 à 8.

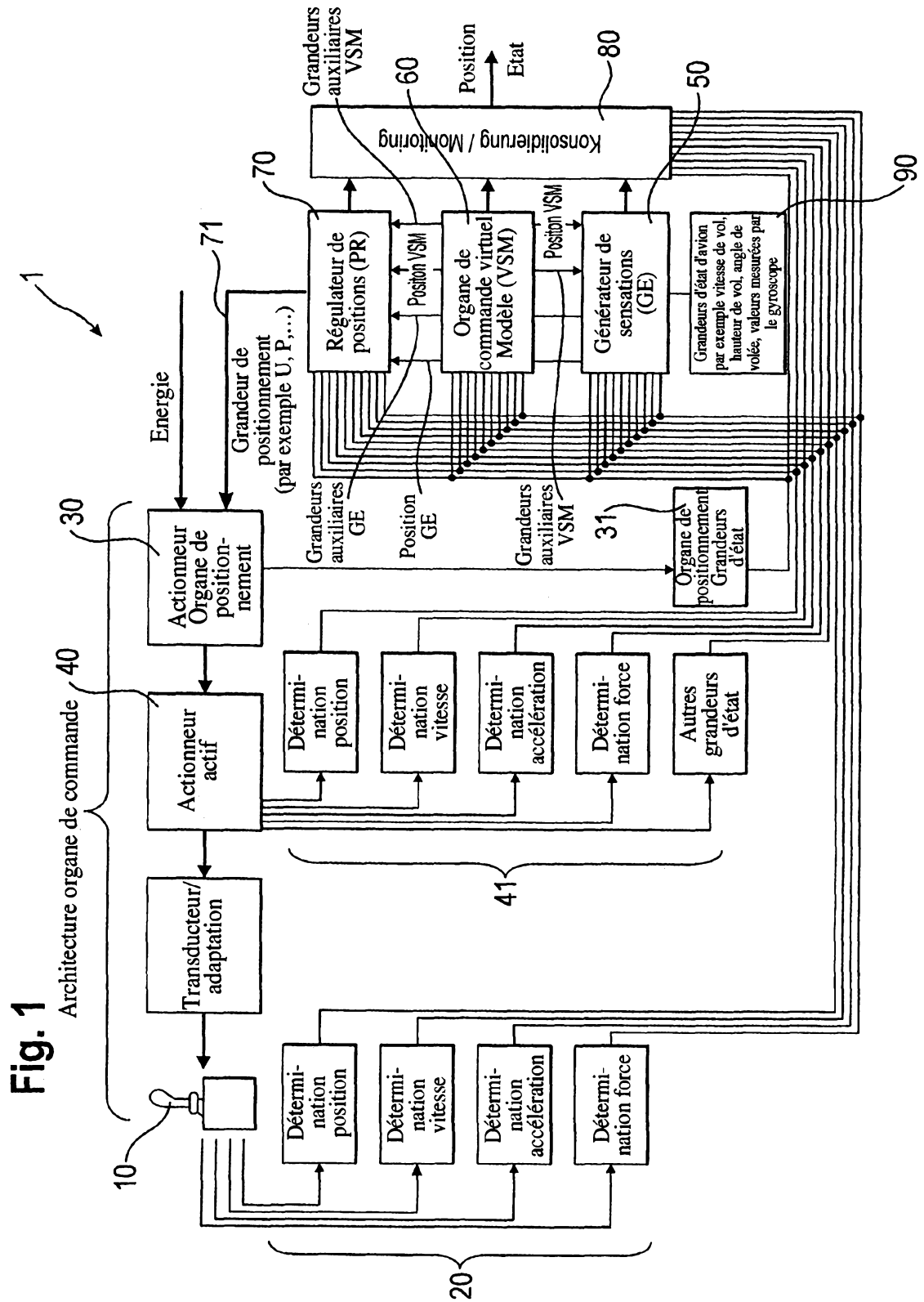
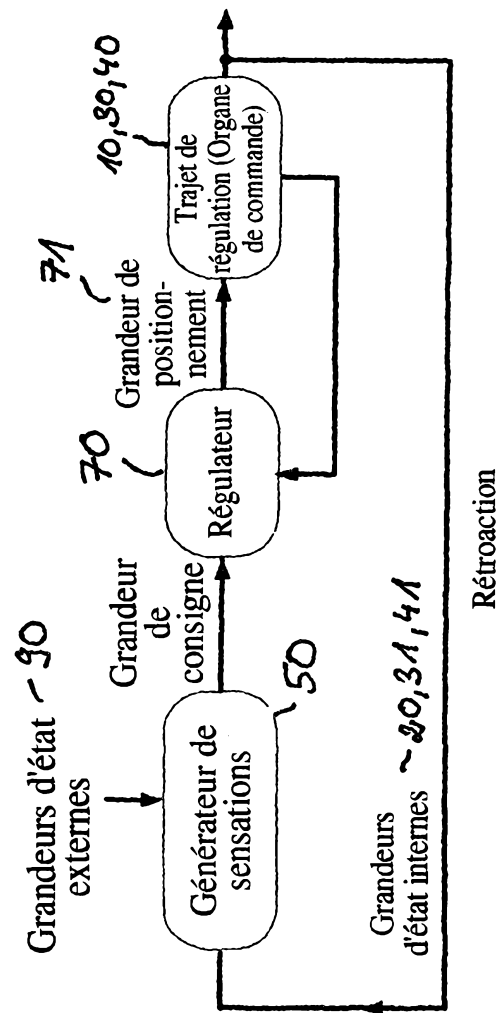


Fig.2



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

WO 03040844 A2 (BOMBARDIER INC [CA]) 15 mai 2003 (2003-05-15)

US2008142642 A1 (MARINO MARK G [US] ET AL.) (2008-06-19)

WO2007001338 A2 (NASA [US]; A HARRAH RALPH C [US]) 04 janvier 2007 (2007-01-04)

EP 0759585 A1 (HONEYWELL INC [US]) 26 février 1997 (1997-02-26)

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