

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

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

3 038 048

②1 N° d'enregistrement national : 15 55758

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : G 01 C 23/00 (2016.01)

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 23.06.15.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 30.12.16 Bulletin 16/52.

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) : SAGEM DEFENSE SECURITE  
Société anonyme — FR.

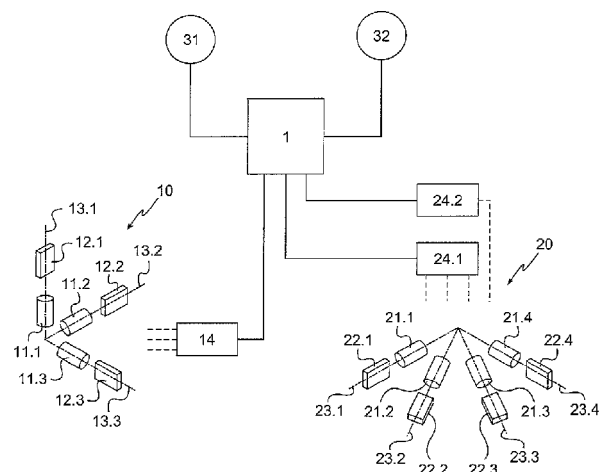
⑦2 Inventeur(s) : ROBERFROID DAVID et KIEFFER  
JEAN-FRANCOIS.

⑦3 Titulaire(s) : SAGEM DEFENSE SECURITE Société  
anonyme.

⑦4 Mandataire(s) : CABINET BOETTCHER.

⑤4 SYSTEME INERTIEL DE MESURE POUR AERONEF.

⑤7 Système de mesure inertielle pour aéronef, comprenant au moins une unité de traitement reliée à au moins deux centrales inertielles, à savoir au moins une centrale inertielle de premier type comportant au moins trois capteurs angulaires et trois capteurs linéaires alignés sur trois axes sensibles distincts, et une centrale inertielle de deuxième type, comportant au moins quatre capteurs angulaires et quatre capteurs linéaires alignés sur quatre axes sensibles distincts. Le système est agencé pour calculer une donnée inertielle à partir des six capteurs de la centrale inertielle de premier type et quatre données inertielles à partir de quatre combinaisons distinctes de trois capteurs angulaires et de trois capteurs linéaires sélectionnés parmi les capteurs de la centrale inertielle de deuxième type et l'unité de traitement est agencée pour comparer entre elles les quatre données inertielles issues des mesures de la centrale inertielle de deuxième type de manière à déterminer si la centrale inertielle de deuxième type est défaillante.



FR 3 038 048 - A1



La présente invention concerne la détection inertielle de paramètres de vol d'un aéronef aux fins notamment de commande des surfaces mobiles de vol de l'aéronef. Ces paramètres de vol comportent notamment l'attitude et le vecteur de déplacement de l'aéronef.

#### ETAT DE LA TECHNIQUE

Il existe des aéronefs équipés d'un système inertiel de mesure de paramètre de vol, ou ADIRS (de l'anglais « Air Data Inertial Reference System »), comprenant trois centrales inertielles de même type (ADIRU 1, ADIRU 2 et ADIRU 3 ; de l'anglais « Air Data Inertial Reference Unit ») qui comportent chacune un jeu nominal de trois capteurs inertiels angulaires et de trois capteurs inertiels linéaires alignés sur trois axes sensibles d'un repère de mesure. Les centrales inertielles sont reliées à une unité de traitement pour fournir chacune à l'unité de traitement des mesures inertielles qui sont exploitables par l'unité de traitement pour la commande des surfaces mobiles de vol de l'aéronef. Généralement, le système inertiel de mesure est agencé pour que les mesures de l'ADIRU 1 soient présentées au pilote, les mesures de l'ADIRU 2 soient présentées au copilote et les mesures de l'ADIRU 3, qui est utilisée comme une unité redondante, puissent être présentées soit au pilote soit au copilote en cas de défaillance de l'ADIRU 1 ou de l'ADIRU 2 respectivement. Pour détecter une telle défaillance, l'unité de traitement compare en permanence les mesures des trois centrales inertielles les unes aux autres pour s'assurer de leur cohérence entre elles. Lorsque les mesures fournies par l'une des centrales inertielles s'écartent des mesures fournies par les deux autres centrales inertielles, ladite centrale inertielle est déclarée défaillante par l'unité de traitement.

Un problème se pose lorsqu'il ne reste plus que deux centrales inertielles et que leurs mesures se met-

tent à diverger car il n'est pas possible de déterminer quelle centrale inertielle est défailante sans recourir à d'autres instruments de mesure.

#### OBJET DE L'INVENTION

5 Un but de l'invention est de fournir un moyen permettant de faciliter la détermination d'une défailance dans un système inertiel de mesure.

#### BREF EXPOSE DE L'INVENTION

10 A cet effet, on prévoit, selon l'invention, un système de mesure inertielle pour aéronef, comprenant au moins une unité de traitement reliée à au moins deux centrales inertielles, à savoir au moins une centrale inertielle d'un premier type comportant au moins trois capteurs angulaires et trois capteurs linéaires alignés sur  
15 trois axes sensibles distincts, et une centrale inertielle d'un deuxième type comportant au moins quatre capteurs angulaires et quatre capteurs linéaires alignés sur quatre axes sensibles distincts. L'unité de traitement est agencée pour recevoir une donnée inertielle à partir  
20 des mesures fournies par les six capteurs de la centrale inertielles du premier type et quatre données inertielles à partir de quatre combinaisons distinctes de trois capteurs angulaires et de trois capteurs linéaires sélectionnés parmi les capteurs de la centrale inertielle du  
25 deuxième type. L'unité de traitement est en outre agencée pour comparer entre elles les quatre données inertielles issues des mesures de la centrale inertielle du deuxième type de manière à déterminer si la centrale inertielle du deuxième type est défailante.

30 Ainsi, la présence de quatre capteurs angulaires et de quatre capteurs linéaires dans la centrale inertielle de deuxième type permet d'obtenir quatre données inertielles (par exemple l'attitude de l'aéronef) pour le calcul desquelles ont été tour à tour exclus un des  
35 quatre capteurs linéaires et un des quatre capteurs ang-

lares. Si tous les capteurs fonctionnent correctement, les données inertielles calculées à partir des mesures de la centrale inertielle de deuxième type sont sensiblement identiques. Dans ce cas, un écart entre la donnée inertielle issue des mesures de la centrale inertielle de premier type et les données inertielles issues de la centrale inertielle de deuxième type révélerait une défaillance de la centrale inertielle de premier type. Si l'un au moins des capteurs de la centrale inertielle de deuxième type est défaillant, les quatre données inertielles ne seront pas affectées de la même manière par cette défaillance de sorte que les données inertielles issues des mesures de la centrale inertielle de deuxième type vont diverger. La détection d'une telle divergence permet donc de révéler la défaillance.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description qui suit de modes de réalisation particuliers non limitatifs de l'invention.

#### BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

Il sera fait référence à la figure unique annexée représentant schématiquement un système selon l'invention.

#### DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

Le système de mesure inertielle selon l'invention est ici décrit en application à un aéronef piloté par un pilote et un copilote et est agencé pour fournir respectivement au pilote et au copilote des données inertielles calculées à partir des données inertielles de deux centrales inertielles distinctes. D'autres applications sont bien entendu possibles.

Ce système inertiel comprend une unité de traitement 1 reliée à deux centrales inertielles, à savoir une centrale inertielle 10 d'un premier type et une centrale inertielle 20 d'un deuxième type. Le système de mesure

inertielle de l'invention est monté sur l'aéronef et est  
relié à une première unité de pilotage 31 présentant de  
façon connue en soi des paramètres de vol au pilote de  
l'aéronef et à une deuxième unité de pilotage 32 présen-  
5 tant de façon connue en soi des paramètres de vol au co-  
pilote de l'aéronef. Ces paramètres de vol sont ici affi-  
chés sur un écran de chaque unité de pilotage 31, 32. Le  
système de mesure inertielle est également relié à un  
calculateur d'assistance au pilotage de l'aéronef, un tel  
10 calculateur étant connu en lui-même.

La centrale inertielle 10 comporte ici trois cap-  
teurs angulaires 11 et trois capteurs linéaires 12 ali-  
gnés sur trois axes sensibles 13 distincts (les capteurs  
et les axes sont ici repérés individuellement au moyen  
15 des indices 1, 2, 3 associés respectivement aux référé-  
nces 11, 12 et 13). Les trois axes sensibles 13 sont  
perpendiculaires les uns aux autres. La centrale iner-  
tielle 10 comporte un circuit de commande 14 des capteurs  
11, 12. Le circuit de commande 14 est agencé pour récupé-  
20 rer des signaux de mesure émanant des capteurs 11, 12 et  
pour transmettre, à l'unité de traitement 1, ces signaux  
de mesure ou des signaux représentatifs des signaux de  
mesure. Dans le cas où au moins l'un des capteurs 11, 12  
nécessite d'être excité pour fonctionner, le circuit de  
25 commande 14 est agencé pour envoyer audit capteur des si-  
gnaux d'excitation. Les capteurs angulaires 11 sont ici  
des gyromètres à résonateur vibrant et les capteurs li-  
néaires 12 sont ici des accéléromètres à résonateur vi-  
brant. Le circuit de commande 14 est donc agencé pour ex-  
30 citer les capteurs angulaires 11 et les capteurs li-  
néaires 12. La centrale inertielle 10 est agencée pour  
calculer une donnée inertielle à partir des trois cap-  
teurs angulaires 11 et trois capteurs linéaires 12.

La centrale inertielle 20 comporte ici quatre  
35 capteurs angulaires 21 et quatre capteurs linéaires 22

alignés sur quatre axes sensibles 23 distincts (les capteurs et les axes sont ici repérés individuellement au moyen des indices 1, 2, 3, 4 associés respectivement aux références 21, 22 et 23). Les quatre axes sensibles 23 forment les diagonales d'un cube. La centrale inertielle 20 comporte en outre un premier circuit de commande 24.1 d'un premier jeu de capteurs comprenant les capteurs angulaires 21.1, 21.2, 21.3 et les capteurs linéaires 22.1, 22.2, 22.3 et un deuxième circuit de commande 24.2 d'un deuxième jeu de capteurs comprenant le capteur angulaire 21.4 et le capteur linéaire 22.4. Dans le cas où au moins l'un des capteurs 21, 22 nécessite d'être excité pour fonctionner, le circuit de commande 24.1, 24.2 est agencé pour envoyer audit capteur des signaux d'excitation. Les capteurs angulaires 21 sont ici des gyromètres à résonateur vibrant et les capteurs linéaires 22 sont ici des accéléromètres à résonateur vibrant. Le circuit de commande 24 est donc agencé pour exciter les capteurs angulaires 21 et les capteurs linéaires 22.

La centrale inertielle 20 est agencée pour calculer quatre données inertielles à partir de quatre combinaisons distinctes de trois capteurs angulaires et de trois capteurs linéaires sélectionnés parmi les capteurs 21, 22, au moyen d'un algorithme différent de celui utilisé dans la centrale inertielle 10. Chaque donnée inertielle comprend une attitude de l'aéronef et un vecteur de déplacement de l'aéronef. Ces quatre données inertielles sont transmises à l'unité de traitement 1.

L'unité de traitement 1 transmet à la première unité de pilotage 31 la donnée inertielle calculée à partir des mesures fournies par les six capteurs 11 et 12 (cette donnée inertielle est appelée dans la suite première donnée inertielle principale), et l'unité de traitement 1 transmet à la deuxième unité de pilotage 32 la donnée inertielle calculée à partir des mesures fournies

par les six capteurs 21.1, 21.2, 21.3 et 22.1, 22.2, 22.3 (cette donnée inertielle est appelée dans la suite deuxième donnée inertielle principale).

Préalablement à la transmission des données inertielles principales aux unités de pilotage 31, 32, l'unité de traitement 1 compare entre elles la première donnée inertielle principale et la deuxième donnée inertielle principale calculées à chaque instant. Si la première donnée inertielle principale et la deuxième donnée inertielle principale calculées à un instant sont identiques ou présentent entre elles un écart inférieur à un seuil prédéterminé (tenant compte de la précision attendue des données inertielles calculées), les données inertielles principales sont transmises aux unités de pilotage 31, 32.

Si la première donnée inertielle principale et la deuxième donnée inertielle principale calculées à un instant présentent entre elles un écart supérieur au seuil prédéterminé, l'unité de traitement 1 compare entre elles les données suivantes :

- la deuxième donnée inertielle principale,
- la donnée inertielle calculée, au même instant que la deuxième donnée inertielle principale, à partir des mesures fournies par les six capteurs 21.1, 21.2, 21.4 et 22.1, 22.2, 22.4 (cette donnée inertielle est appelée première donnée inertielle additionnelle),
- la donnée inertielle calculée, au même instant que la deuxième donnée inertielle principale, à partir des mesures fournies par les six capteurs 21.1, 21.4, 21.3 et 22.1, 22.4, 22.3 (cette donnée inertielle est appelée deuxième donnée inertielle additionnelle),
- la donnée inertielle calculée, au même instant que la deuxième donnée inertielle principale, à

partir des mesures fournies par les six capteurs 21.4, 21.2, 21.3 et 22.4, 22.2, 22.3 (cette donnée inertielle est appelée troisième donnée inertielle additionnelle).

5 Si les données inertielles additionnelles et la deuxième donnée inertielle principale convergent (elles sont identiques ou l'écart entre elles est inférieur au seuil prédéterminé), l'unité de traitement 1 transmet un signal d'alerte aux unités de pilotage 31, 32 informant  
10 que la première unité inertielle 10 est défaillante et que seule la deuxième donnée inertielle principale sera désormais présentée au pilote et au copilote.

Si les données inertielles additionnelles et la deuxième donnée inertielle principale divergent (l'écart  
15 entre elles est supérieur au seuil prédéterminé), l'unité de traitement 1 transmet un signal d'alerte aux unités de pilotage 31, 32 informant que la deuxième unité inertielle 20 est défaillante et que seule la première donnée inertielle principale sera désormais présentée au pilote  
20 et au copilote.

Dans le premier cas, il est possible de maintenir une comparaison des données inertielles additionnelles et de la deuxième donnée inertielle principale pour détecter une défaillance de la deuxième unité inertielle 20.

25 L'unité de traitement 1 est ainsi agencée pour calculer un écart entre la donnée inertielle issue des mesures de la première centrale inertielle et l'une des données inertielles issues de la deuxième centrale inertielle et émettre une alerte lorsque l'écart est supérieur à une valeur prédéterminée.  
30

On comprend que la comparaison des données inertielles permet d'en vérifier l'homogénéité et la cohérence, et donc de vérifier l'intégrité des mesures inertielles des centrales inertielles et le bon fonctionnement des centrales inertielles et de leurs capteurs.  
35



Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits mais englobe toute variante entrant dans le champ de l'invention telle que définie par les revendications.

5           En particulier, les centrales inertielles peuvent comprendre plus de capteurs angulaires et plus de capteurs linéaires que dans l'exemple décrit.

Le système peut comprendre plusieurs unités de traitement.

10           Le système peut comprendre plus de centrales inertielles. Par exemple, on peut avoir deux centrales inertielles de premier type dont les mesures sont exploitées pour fournir deux données inertielles.

15           L'invention est applicable à tout type d'algorithme, par exemple de type ARS ou AHRS avec une stabilisation des attitudes par des mesures accélérométriques, avec ou sans la vitesse air, pour la centrale inertielle de deuxième type.

20           L'invention est applicable à des mesures purement inertielles ou des mesures hybrides comportant des mesures inertielles et des mesures d'un autre type, par exemple des mesures de géolocalisation par satellite ou des mesures issues d'un magnétomètre.

25           La centrale inertielle de deuxième type peut comprendre un unique circuit de commande pour commander tous les capteurs de la centrale ou comprendre deux circuits de commande pour qu'un des circuits de commande soit associé à une partie des capteurs de la centrale inertielle de deuxième type et que l'autre des circuits de commande  
30 soit associé à l'autre partie des capteurs de la centrale inertielle de deuxième type. Idéalement, un des circuits de commande est associé à six des capteurs de la centrale inertielle de deuxième type (trois des capteurs angulaires et trois des capteurs linéaires) et l'autre des  
35 circuits de commande est associé aux deux autres des cap-

teurs de la centrale inertielle de deuxième type. Les circuits de commande sont, de préférence dans ce cas, de technologies différentes.

5 En variante, les axes sensibles des capteurs de la centrale inertielle de deuxième type peuvent comprendre trois axes coïncidant avec trois axes canoniques et un axe disposé selon une trisectrice de ces trois axes.

REVENDEICATIONS

1. Système de mesure inertielle pour aéronef,  
5 comprenant au moins une unité de traitement reliée à au  
moins deux centrales inertielles, à savoir au moins une  
centrale inertielle de premier type comportant au moins  
trois capteurs angulaires et trois capteurs linéaires  
alignés sur trois axes sensibles distincts, et une cen-  
10 trale inertielle de deuxième type, comportant au moins  
quatre capteurs angulaires et quatre capteurs linéaires  
alignés sur quatre axes sensibles distincts, le système  
étant agencé pour calculer une donnée inertielle à partir  
des six capteurs de la centrale inertielle de premier  
15 type et quatre données inertielles à partir de quatre  
combinaisons distinctes de trois capteurs angulaires et  
de trois capteurs linéaires sélectionnés parmi les cap-  
teurs de la centrale inertielle de deuxième type et  
l'unité de traitement étant agencée pour comparer entre  
20 elles les quatre données inertielles issues des mesures  
de la centrale inertielle de deuxième type de manière à  
déterminer si la centrale inertielle de deuxième type est  
défaillante.

2. Système selon la revendication 1, les quatre  
25 données inertielles issues des mesures de la centrale  
inertielle de deuxième type sont calculées au moyen d'un  
même algorithme.

3. Système selon la revendication 1, dans lequel  
la centrale inertielle de deuxième type comporte un pre-  
30 mier circuit de commande d'un premier jeu de capteurs  
comportant trois des capteurs angulaires et trois des  
capteurs linéaires et un deuxième circuit de commande  
d'un deuxième jeu de capteurs comportant le quatrième  
capteur angulaire et le quatrième capteur linéaire.

35 4. Système selon la revendication 1, dans lequel

l'unité de traitement est agencée pour calculer un écart entre la donnée inertielle issue des mesures de la centrale inertielle de premier type et l'une des données inertielles issues de la centrale inertielle de deuxième type et émettre une alerte lorsque l'écart est supérieur à une valeur prédéterminée.

5  
10  
15  
20  
25  
30  
35  
40  
45  
50  
55  
60  
65  
70  
75  
80  
85  
90  
95  
100  
105  
110  
115  
120  
125  
130  
135  
140  
145  
150  
155  
160  
165  
170  
175  
180  
185  
190  
195  
200  
205  
210  
215  
220  
225  
230  
235  
240  
245  
250  
255  
260  
265  
270  
275  
280  
285  
290  
295  
300  
305  
310  
315  
320  
325  
330  
335  
340  
345  
350  
355  
360  
365  
370  
375  
380  
385  
390  
395  
400  
405  
410  
415  
420  
425  
430  
435  
440  
445  
450  
455  
460  
465  
470  
475  
480  
485  
490  
495  
500  
505  
510  
515  
520  
525  
530  
535  
540  
545  
550  
555  
560  
565  
570  
575  
580  
585  
590  
595  
600  
605  
610  
615  
620  
625  
630  
635  
640  
645  
650  
655  
660  
665  
670  
675  
680  
685  
690  
695  
700  
705  
710  
715  
720  
725  
730  
735  
740  
745  
750  
755  
760  
765  
770  
775  
780  
785  
790  
795  
800  
805  
810  
815  
820  
825  
830  
835  
840  
845  
850  
855  
860  
865  
870  
875  
880  
885  
890  
895  
900  
905  
910  
915  
920  
925  
930  
935  
940  
945  
950  
955  
960  
965  
970  
975  
980  
985  
990  
995

5. Système selon la revendication 1, dans lequel les axes de sensibilité des capteurs de la centrale inertielle de deuxième type comprennent trois axes coïncidant avec trois axes canoniques et un axe disposé selon une trisectrice de ces trois axes.

6. Système selon la revendication 1, dans lequel les axes de sensibilité des capteurs de la centrale inertielle de deuxième type sont alignés sur des diagonales d'un cube.

1/1

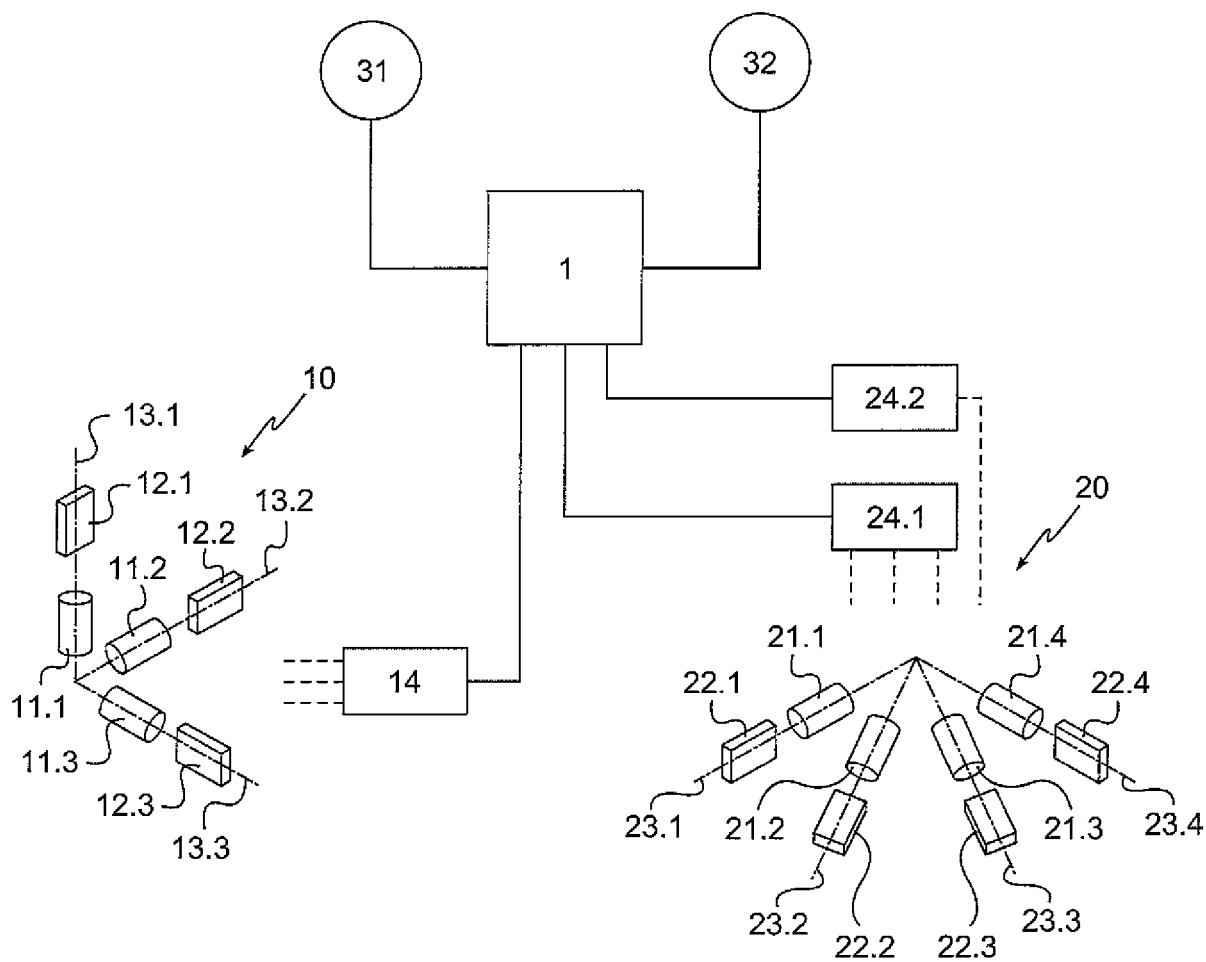


Fig. 1



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 813797  
FR 1555758

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		
Y	FR 2 901 363 A1 (THALES SA [FR]) 23 novembre 2007 (2007-11-23) * figure 1 * * page 1, lignes 1-24 * * page 4, ligne 19 - page 5, ligne 25 * * page 9, lignes 6-27 *	1-3,5,6	G01C23/00  DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)  G01C
Y	US 5 410 487 A (OKAYAMA HIROSHI [JP] ET AL) 25 avril 1995 (1995-04-25) * figure 3 * * colonne 1, lignes 6-56 * * colonne 10, lignes 39-98 *	1-3,5,6	
A	US 4 914 598 A (KROGMANN UWE [DE] ET AL) 3 avril 1990 (1990-04-03) * le document en entier *	4	
A	US 2011/259078 A1 (CARON JEAN-MICHEL [FR]) 27 octobre 2011 (2011-10-27) * le document en entier *	1	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
13 mai 2016		Faivre, Olivier	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>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</p>		<p>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 &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1555758 FA 813797**

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 **13-05-2016**

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
FR 2901363	A1	23-11-2007	CA 2653123 A1	29-11-2007
			EP 2021822 A1	11-02-2009
			FR 2901363 A1	23-11-2007
			RU 2008150349 A	27-06-2010
			US 2012004846 A1	05-01-2012
			WO 2007135115 A1	29-11-2007
-----				
US 5410487	A	25-04-1995	EP 0558065 A2	01-09-1993
			JP H05240654 A	17-09-1993
			US 5410487 A	25-04-1995
-----				
US 4914598	A	03-04-1990	DE 3634023 A1	21-04-1988
			DE 3775163 D1	23-01-1992
			EP 0263777 A2	13-04-1988
			ES 2028905 T3	16-07-1992
			US 4914598 A	03-04-1990
-----				
US 2011259078	A1	27-10-2011	CN 102224395 A	19-10-2011
			EP 2359092 A1	24-08-2011
			FR 2939192 A1	04-06-2010
			RU 2011126366 A	10-01-2013
			US 2011259078 A1	27-10-2011
			WO 2010060994 A1	03-06-2010
-----				