

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale

WO 2014/155011 A1

(43) Date de la publication internationale  
2 octobre 2014 (02.10.2014)

WIPO | PCT

- (51) Classification internationale des brevets :  
G01N 25/72 (2006.01) G06T 7/00 (2006.01)  
G01N 29/44 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2014/050730
- (22) Date de dépôt international :  
27 mars 2014 (27.03.2014)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
1352860 29 mars 2013 (29.03.2013) FR  
1352859 29 mars 2013 (29.03.2013) FR
- (71) Déposant : SNECMA [FR/FR]; 2 Boulevard du Général  
Martial Valin, F-75015 Paris (FR).
- (72) Inventeurs : BENSE, William; c/o Snecma PI (AJI),  
Rond-Point René Ravaud - Réau, F-77550 Moissy-Cra-  
mayel Cedex (FR). GEREZ, Valerio; c/o Snecma PI (AJI),  
Rond-Point René Ravaud - Réau, F-77550 Moissy-Cra-  
mayel Cedex (FR).
- (74) Mandataires : AUGARDE, Eric et al.; Brevalet, 56 bou-  
levard de l'Embouchure, B.P. 27519, F-31075 Toulouse  
Cedex 2 (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre  
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,  
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,  
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,  
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,  
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,  
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,  
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,  
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,  
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,  
ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre  
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,  
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ,  
UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,  
TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,  
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,  
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,  
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,  
KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Publiée :  
— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : SYSTEM FOR DETECTING DEFECTS ON AN OBJECT

(54) Titre : SYSTÈME DE DÉTECTION DE DÉFAUTS SUR UN OBJET

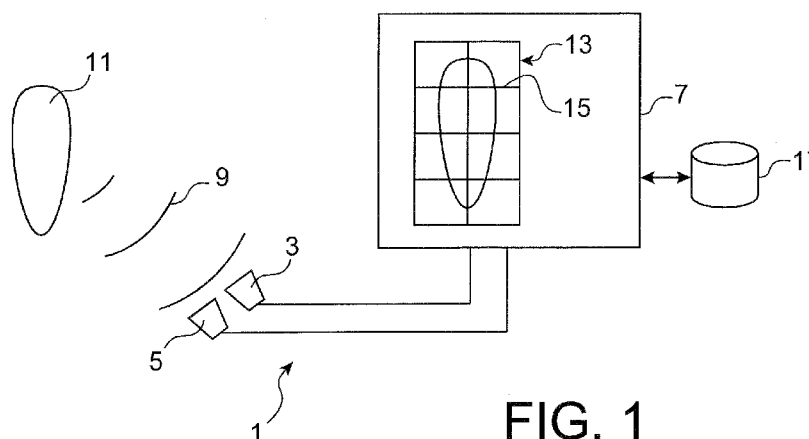
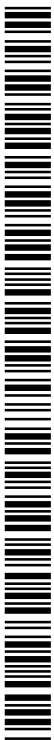


FIG. 1

(57) Abstract : The invention relates to a system and a method for detecting defects on an object (11), comprising the following steps:-forming an image (13) representative of said object (11) on the basis of signals (9) relating to the object,-constructing subdivisions (15) of said image according to auto adaptive resolutions, and-calculating differentials between different subdivisions to detect an abnormal subdivision indicative of omens of breakdown.

(57) Abrégé : L'invention concerne un système et un procédé de détection de défauts sur un objet (11), comportant les étapes suivantes : - former une image (13) représentative dudit objet (11) à partir de signaux (9) relatifs à l'objet, - construire des subdivisions (15) de ladite image selon des résolutions auto-adaptatives, et - calculer des différentiels entre différentes subdivisions pour détecter une subdivision anormale indicative de prémices de panne.



WO 2014/155011 A1

## SYSTÈME DE DÉTECTION DE DÉFAUTS SUR UN OBJET

### DOMAINE TECHNIQUE

5                   La présente invention concerne le domaine de détection de défauts sur un objet et plus particulièrement, pour la surveillance des éléments tournants d'un moteur d'aéronef.

### ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

10                   Il existe de nombreuses techniques utilisant des procédés optiques ou sonores pour détecter des défauts dans un objet. L'avantage de ces techniques est qu'ils peuvent être utilisés de manière non intrusive.

                  Par exemple dans le domaine aéronautique lors des tests de production ou d'inspections des pales d'un moteur, on applique différentes techniques de contrôles non destructifs basés sur l'utilisation de caméras thermiques. Ces techniques consistent à  
15                   utiliser un émetteur de chaleur mobile pour chauffer la pale et une caméra thermique mobile pour prendre une image infrarouge de la pale. L'analyse de l'image se base sur la comparaison d'un nombre très élevé de zones de l'image afin de détecter des défauts dans la pale.

20                   Ainsi, les méthodes actuelles nécessitent la réalisation de calculs pouvant prendre un temps non négligeable, sauf à utiliser des calculateurs particulièrement puissants et très coûteux.

                  En outre, il est difficile de savoir quelle granularité adopter (*i.e.*, quelle est la résolution de la zone à comparer) alors qu'on ne connaît pas les défauts qu'on recherche.

25                   L'objet de la présente invention est par conséquent de proposer un procédé de détection simple à mettre en œuvre sans passer par des calculs complexes et capable de détecter rapidement et avec précision des défauts sur un objet ou élément d'un moteur sans présenter les inconvénients précités.

## EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention est définie par un procédé de détection de défauts sur un objet, comportant les étapes suivantes :

- former une image représentative dudit objet à partir de signaux relatifs à l'objet,
- 5 - construire des subdivisions de ladite image selon des résolutions auto-adaptatives, et
- calculer des différentiels entre différentes subdivisions pour détecter une subdivision anormale indicative de prémices de panne.

Le procédé permet de détecter des défauts de pratiquement toutes les tailles dans un délai raisonnable.

- 10           Avantageusement, le procédé comporte une phase de confirmation comprenant une comparaison des différentiels relatifs à une subdivision anormale appartenant à une dernière image avec des différentiels relatifs à une même subdivision anormale appartenant à chacune d'un nombre déterminé de précédentes images dudit objet.

- 15           Ceci permet de confirmer la détection de défauts tout en évitant les fausses alarmes.

Avantageusement, le procédé comporte:

- une génération d'alerte d'importance haute ou très haute s'il est constaté que les différentiels ont augmenté au cours de dernières images, et
- une génération d'alerte d'importance moyenne s'il est constaté que les différentiels
- 20 restent constants au cours de dernières images.

Ceci permet d'évaluer l'importance des prémices de panne ou de défauts.

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, les étapes de construction des subdivisions et de calcul des différentiels comportent les étapes suivantes :

- (a1) quadriller ladite image en une pluralité de subdivisions courantes,
- 25 - (a2) calculer des premiers différentiels courants entre chaque subdivision courante et des subdivisions courantes voisines,
- (a3) vérifier s'il existe une subdivision courante pour laquelle des premiers différentiels courants avec au moins un premier nombre déterminé de subdivisions voisines sont indicatifs d'anomalie,
- 30 - (a4) calculer, au cas où l'étape précédente (a3) est confirmée, des seconds

différentiels courants entre ladite subdivision courante et des subdivisions courantes éloignées,

- (a5) vérifier si ladite subdivision courante présente avec au moins un deuxième nombre déterminé de subdivisions courantes éloignées, des seconds différentiels courants indicatifs d'anomalie,

- (a6) déclarer ladite subdivision courante comme étant invalide au cas où l'étape précédente (a5) est confirmée,

- (a7) re-quadriller une zone recouvrant ladite subdivision courante invalide pour former de nouvelles subdivisions chevauchant la précédente subdivision invalide, les nouvelles subdivisions étant considérées comme les actuelles subdivisions courantes,

- (a8) répéter les étapes (a2)-(a6) pour chacune des nouvelles subdivisions courantes de ladite zone de recouvrement,

- (a9) faire un masque ET dans ladite zone de recouvrement entre les précédentes subdivisions invalides et les nouvelles subdivisions formant ainsi des subdivisions de tailles réduites comprenant au moins une subdivision invalide, lesdites subdivisions de tailles réduites étant considérées comme les actuelles subdivisions courantes,

- (a10) vérifier si la taille de l'actuelle subdivision courante est plus grande qu'une résolution prédéterminée, et

- (a11) réitérer, au cas où l'étape précédente (a10) est confirmée, les étapes précédentes (a2)-(a10) pour chaque actuelle subdivision courante, sinon, déclarer la ou les subdivision(s) courante(s) invalide(s) comme subdivision(s) anormale(s).

Ainsi, ce procédé est basé sur des zooms et un nombre optimal de comparaisons pertinentes permettant de réduire la charge de calcul et de ne pas préjuger de la taille du défaut au-delà de la résolution.

Avantageusement, on vérifie à l'étape (a3) si les premiers différentiels courants sont supérieurs à un premier seuil prédéterminé, et on vérifie à l'étape (a5) si les seconds différentiels courants sont supérieurs à un deuxième seuil prédéterminé.

Ceci permet de détecter les défauts en tenant compte des erreurs ainsi que d'éventuelles différences de contextes entre des régions éloignées.

Avantageusement, le procédé comporte une construction d'une base de

données d'apprentissage enregistrant des différentiels sains entre différentes subdivisions de l'image et on calcule à l'étape (a3) les différences entre les premiers différentiels courants et des différentiels sains correspondants pour vérifier si elles sont supérieures à un niveau prédéterminé et on calcule à l'étape (a5) les différences entre les seconds différentiels courants et des différentiels sains correspondants pour vérifier si elles sont supérieures à un deuxième niveau prédéterminé.

Ceci permet de tenir compte d'inhomogénéités pouvant exister au sein de l'objet.

Avantageusement, ledit objet est un élément tournant d'un moteur d'aéronef.

En effet, le traitement numérique selon l'invention est peu coûteux en calcul et peut donc être facilement mis en œuvre par des moyens de traitement embarqués dans un aéronef.

Selon un mode de réalisation, les signaux relatifs audit objet sont des signaux infrarouges provenant de l'objet de sorte que ladite image représentative dudit objet est une image infrarouge traduisant un champ thermique en phase transitoire après le réchauffement de l'objet par une sollicitation thermique.

Selon un autre mode de réalisation, les signaux relatifs audit objet sont des signaux ultrasonores provenant de l'objet de sorte que ladite image représentative dudit objet est une image traduisant des ondes ultrasonores réfléchies par l'objet.

L'invention vise également un système de détection de défauts sur au moins un élément tournant d'un moteur d'aéronef, comportant :

- des moyens d'excitations embarqués pour provoquer l'émission de signaux par ledit élément tournant,

- des moyens d'acquisition embarqués pour acquérir les signaux envoyés par ledit élément tournant, et

- des moyens de traitement configurés pour réaliser les étapes du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes.

Selon un premier mode de réalisation du système selon l'invention, les moyens d'excitations sont des moyens chauffants pour réchauffer ledit élément tournant du moteur par une sollicitation thermique, et les moyens d'acquisition sont des moyens

thermographiques pour acquérir une image infrarouge traduisant un champ thermique en phase transitoire dudit élément tournant.

Selon un deuxième mode de réalisation du système selon l'invention, les moyens d'excitations sont des moyens d'émission d'ondes ultrasonores, et les moyens  
5 d'acquisition sont des moyens de réception d'ondes ultrasonores réfléchies par l'objet.

L'invention vise également un système automatique de détection de défauts sur au moins un élément tournant d'un moteur d'aéronef, comportant :

- des moyens chauffants embarqués pour réchauffer ledit élément tournant du moteur par une sollicitation thermique,
- 10 - des moyens thermographiques embarqués pour acquérir au moins une image infrarouge traduisant un champ thermique en phase transitoire dudit élément tournant, et
- des moyens de traitement pour calculer des différentiels relatifs à une composante du champ thermique entre différentes subdivisions de ladite image afin de détecter des variations de ladite composante du champ thermique indicatives de défauts sur ledit  
15 élément tournant.

Ainsi, on peut surveiller à chaque vol et de manière automatique les éléments tournants du moteur pour détecter les premiers signes de fatigue. Ceci permet d'effectuer une maintenance prédictive et pas simplement une maintenance préventive dans la mesure où on peut changer les éléments rotatifs quand ils connaissent vraiment  
20 des dommages, augmentant ainsi la rentabilité (moins de pièces changées) et la sécurité (moins de risque de perte d'aubes). L'analyse est réalisée selon des mesures différentielles qui permettent de s'affranchir du contexte. En particulier, le fait de réaliser des comparaisons entre des zones spatialement proches permet d'éviter des problèmes dus à l'éloignement de la source de chaleur ou l'éclairement par le soleil.

25 Avantageusement, lorsque le différentiel correspondant à une subdivision courante est indicatif d'anomalie, les moyens de traitement sont configurés pour calculer d'autres différentiels en réorganisant les subdivisions et/ou en affinant la subdivision courante de comparaison afin de localiser les emplacements des défauts.

Ceci permet de réduire le nombre de subdivisions à étudier et par conséquent de  
30 réduire le temps de calcul et la sollicitation d'un calculateur.

Avantageusement, les moyens de traitement sont configurés pour enregistrer à chaque vol lesdits différentiels relatifs aux champs thermiques des différentes subdivisions et pour analyser l'évolution desdits différentiels de vol en vol.

5 Ceci permet de consolider le résultat de la détection et de suivre de manière systématique la santé des éléments tournants de vol en vol.

Avantageusement, le système de détection comporte une base de données de signatures de dégradations représentatives de différentes formes de dégradations et de leurs états d'avancement, et les moyens de traitement sont configurés pour comparer les différentiels relatifs aux champs thermiques des subdivisions présentant des défauts  
10 auxdites signatures de dégradations.

Ceci permet de déterminer le type de défaut le plus probable.

Selon un mode de réalisation avantageux de la présente invention, les moyens chauffants sont constitués d'au moins un élément chauffant antigivrage déjà existant dans le moteur.

15 Ceci permet de réduire la masse embarquée et permet aussi de surveiller le moyen chauffant lui-même.

Selon une variante, les moyens chauffants sont destinés à réchauffer ledit élément par des pulsations thermiques.

20 Ainsi, l'élément tournant peut être réchauffé en un temps suffisamment court pour que le matériau de l'élément tournant n'atteigne pas une température constante.

Selon cette variante, les moyens de traitement sont configurés pour calculer des différentiels entre une amplitude du champ thermique d'une subdivision courante et des amplitudes des champs thermiques des subdivisions voisines.

25 Selon une autre variante, les moyens chauffants sont destinés à réchauffer ledit élément par des ondes thermiques périodiques.

Selon cette autre variante, les moyens de traitement sont configurés pour calculer des déphasages entre le champ thermique d'une subdivision courante et les champs thermiques des subdivisions voisines.

30 La détection selon le déphasage a l'avantage d'être peu influencée par l'éloignement de la source de chaleur ou l'éclairement du soleil, car on ne mesure pas la

température mais le déphasage.

Avantageusement, l'élément tournant est une pale d'une roue aubagée dudit moteur.

## 5 BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de modes de réalisation préférentiels de l'invention faits en référence aux figures jointes parmi lesquelles :

10 La Fig. 1 illustre de manière schématique un système de détection de défauts sur un objet, selon l'invention ;

La Fig. 2 est un algorithme illustrant différentes étapes d'un procédé de détection selon un mode de réalisation préféré de l'invention ;

Les Figs. 3A-3E sont des quadrillages d'une image illustrant de manière schématique les étapes de l'organigramme de la Fig. 2 ;

15 Les Figs. 4A-4D illustrent la détection de défauts ponctuels et progressifs sur différents quadrillages, selon l'invention ;

La Fig. 5 est un algorithme de détection comprenant une phase de confirmation selon un premier mode de réalisation du procédé, selon l'invention ;

20 La Fig. 6 est un algorithme de détection comprenant une phase de confirmation selon un deuxième mode de réalisation du procédé, selon l'invention ;

La Fig. 7 illustre de manière schématique un système de détection de défauts sur un élément tournant d'un moteur d'aéronef, selon un premier mode de réalisation du système de la Fig. 1 ;

25 La Fig. 8 est un schéma en bloc illustrant les étapes de détection de défauts sur une roue aubagée du moteur, selon le système de la Fig. 7 ; et

La Fig. 9 illustre de manière schématique un système de détection de défauts sur un élément tournant d'un moteur d'aéronef, selon un deuxième mode de réalisation du système de la Fig. 1.

## EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Le concept à la base de l'invention repose sur un procédé de détection de défauts dans un objet en utilisant une image représentative de l'objet et en réalisant un nombre minimal de comparaisons entre des zones dont la taille s'adapte de manière itérative à la taille des défauts.

La Fig. 1 illustre de manière schématique un système de détection de défauts sur un objet, selon l'invention.

Le système de détection 1 comporte des moyens d'excitations 3, des moyens d'acquisition 5, et des moyens de traitement 7 de données.

Les moyens d'excitations sont destinés à provoquer l'émission de signaux 9 par l'objet 11 tandis que les moyens d'acquisition 5 sont destinés à acquérir ces signaux.

A titre d'exemple, les moyens d'excitations 3 sont des moyens chauffants pour réchauffer l'objet 11 par une sollicitation thermique et les moyens d'acquisition 5 sont des moyens thermographiques pour acquérir une image infrarouge traduisant un champ thermique en phase transitoire (voir Fig. 7).

Selon un autre exemple, les moyens d'excitations 3 sont des moyens d'émission d'ondes ultrasonores et les moyens d'acquisition 5 sont des moyens de réception d'ondes ultrasonores réfléchies par l'objet 11 (voir Fig. 9).

Les moyens de traitement 7 sont destinés à traiter les signaux 9 relatifs à l'objet afin de détecter des défauts et de générer des alertes.

Plus particulièrement, les moyens de traitement 7 sont configurés pour former un graphe ou une image 13 représentative de l'objet 11 à partir de signaux 9 relatifs à l'objet. L'image 13 est définie ici comme une représentation de l'objet 11 au sens numérique ou mathématique du terme où chaque point de l'image 13 correspond à un antécédent de l'objet 11. Ainsi, l'image peut correspondre par exemple à une représentation optique, thermique, ou acoustique de l'objet 11.

Les moyens de traitement 7 sont aussi configurés pour construire de manière itérative des subdivisions de l'image 13 selon des résolutions auto-adaptatives, c'est-à-dire selon des résolutions qui s'adaptent à l'étendue du défaut.

En outre, les moyens de traitement 7 sont configurés pour calculer de manière itérative des différentiels entre différentes subdivisions afin de détecter une subdivision anormale indicative de prémices de panne.

La Fig. 2 est un algorithme illustrant différentes étapes d'un procédé de  
5 détection selon un mode de réalisation de l'invention.

En outre, les Figs. 3A-3E sont des quadrillages d'une image 13 illustrant de manière schématique les étapes de l'organigramme de la Fig. 2.

A l'étape E1 les moyens de traitement 7 sont configurés pour former l'image 13 représentative de l'objet 11 à partir de signaux 9 relatifs à cet objet. L'image 13 peut  
10 par exemple être la traduction d'un champ thermique acquis par des moyens thermographiques ou bien la traduction de signaux ultrasonores acquis par des capteurs d'ondes ultrasonores. On définit aussi une résolution déterminée correspondant à une taille minimale de défauts. Cela permet d'une part de ne pas alerter sur des défauts acceptables et d'autre part de donner un point d'arrêt à l'algorithme.

15 A l'étape E2 les moyens de traitement 7 sont configurés pour quadriller l'image 13 en une pluralité de subdivisions courantes. Les dimensions des subdivisions sont sélectionnées en fonction de la taille de l'objet de façon à ce qu'on puisse avoir des voisins proches et des voisins éloignés.

La Fig. 3A montre un quadrillage 15 d'une partie de l'image 13 en neuf  
20 subdivisions 115a-115i en forme de grands carreaux de mêmes tailles. Les petits carreaux 225 représentent la résolution sélectionnée. Par ailleurs, on notera que les subdivisions peuvent aussi être de forme hexagonale ou triangulaire ou de toute autre forme géométrique.

A l'étape E3 les moyens de traitement 7 sont configurés pour calculer des  
25 premiers différentiels courants entre chaque subdivision courante 115a et les subdivisions courantes voisines 115b-115i. Par exemple, le différentiel représente la différence des valeurs d'un paramètre physique (e.g., champ optique, thermique ou sonore) entre une subdivision et une subdivision voisine.

Plus particulièrement, les moyens de traitement 7 calculent une composante du  
30 paramètre physique relative à chaque subdivision et comparent ensuite la composante de

chaque subdivision à celles de ses voisines.

Selon l'exemple de la Fig. 3A chaque carreau est comparé à ses huit voisins en calculant le différentiel entre d'une part la composante du paramètre physique dans un carreau 115a et d'autre part la composante relative à chacun des huit carreaux 115b-115i  
5 limitrophes.

L'étape E4 est un test où les moyens de traitement 7 sont configurés pour vérifier s'il existe ou non, une subdivision courante pour laquelle des premiers différentiels courants avec au moins un premier nombre déterminé de subdivisions voisines sont indicatifs d'anomalie.

10 Un indicateur d'anomalie peut par exemple être la comparaison du différentiel avec un seuil prédéterminé. En variante, l'indicateur d'anomalie peut être défini par la différence entre le différentiel observé et un différentiel sain mesuré lors d'une phase d'apprentissage et la comparaison de cette différence avec un niveau prédéterminé. On notera que le seuil ou niveau prédéterminé peut dépendre de plusieurs facteurs comme  
15 par exemple le nombre de voisins, la taille de la subdivision 115a, le paramètre physique mesuré, la précision souhaitée, etc.

Si le résultat du test de l'étape E4 est négatif, alors on considère à l'étape E5 que l'objet 11 est valide.

En revanche, si on trouve une subdivision pour laquelle les premiers différentiels  
20 courants, avec au moins un premier nombre déterminé de subdivisions voisines sont indicatifs d'anomalie, alors on considère que cette subdivision est potentiellement invalide et on passe à l'étape E6.

On notera que si les différentiels indiquent une anomalie avec seulement une autre subdivision voisine, on peut vraisemblablement considérer que c'est une  
25 imprécision ou erreur de mesure. Autrement dit, pour que la subdivision soit déclarée potentiellement invalide, il faut qu'il y ait au moins un nombre seuil de subdivisions voisines avec qui les différentiels sont indicatifs d'anomalie. Ce nombre seuil peut aussi dépendre du nombre de voisins, de la taille de la subdivision, du paramètre physique mesuré, et de la précision souhaitée. Dans l'exemple de la Fig. 3A, ce nombre seuil est  
30 choisi égal à quatre et cette figure montre que la subdivision 115a au centre présente par

rapport à au moins quatre de ses voisines 115b-115i un différentiel indicatif d'anomalie.

Ainsi, lorsque le test de l'étape E4 est confirmé, les moyens de traitement 7 sont configurés pour comparer à l'étape E6, la subdivision potentiellement invalide avec des subdivisions éloignées. En particulier, les moyens de traitement 7 calculent des seconds différentiels courants entre la subdivision courante potentiellement invalide et des subdivisions courantes éloignées. Par exemple on peut comparer le carreau central incriminé 115a de la Fig. 3A avec seulement huit voisins éloignés (non représentés) afin de limiter la charge de calcul. On notera que les voisins sont choisis de façon différente pour les subdivisions aux bords de l'image car on ne peut pas prendre des voisins dans toutes les directions. Ainsi, afin de tenir compte des effets de bord, on peut choisir des seuils différents selon que les subdivisions potentiellement invalides sont aux bords ou à l'intérieur de l'image.

L'étape E7 est un test où les moyens de traitement 7 sont configurés pour vérifier si la subdivision courante présente avec au moins un deuxième nombre déterminé de subdivisions courantes éloignées, des seconds différentiels courants indicatifs d'anomalie. On prend des voisines suffisamment éloignées pour sortir de la zone potentiellement invalide. Si le résultat du test de l'étape E7 est négatif, alors on considère à l'étape E8 que la subdivision incriminée est valide. En effet, si une subdivision est différente de ses proches voisines mais pas des voisines éloignées, on peut déduire que la subdivision en question est valide mais pas les proches voisines. Dans ce cas, on peut envisager un statut particulier, mais de toute façon, les proches voisines seront aussi testées et détectées par l'algorithme.

En revanche, si le résultat du test de l'étape E7 est confirmé, alors on considère à l'étape E9 que la subdivision incriminée est invalide.

Comme précédemment, une anomalie est détectée lorsque le différentiel est supérieur à un seuil prédéterminé. En outre, pour que la subdivision incriminée soit déclarée invalide, il faut qu'il y ait au moins un deuxième nombre déterminé de subdivisions voisines avec qui les différentiels sont indicatifs d'anomalie. La Fig. 3A montre aussi que la subdivision 115a au centre présente par rapport à au moins quatre de ses voisines éloignées (non représentées) un différentiel indicatif d'anomalie.

Le fait de comparer une subdivision donnée avec ses voisines proches et ensuite avec des voisines éloignées permet de confirmer l'invalidité de la subdivision et d'adapter la résolution des subdivisions. En effet, si les différentiels entre la subdivision donnée et les voisines proches sont indicatifs d'une anomalie et si l'anomalie résulte d'un réel défaut alors les différentiels avec les voisines éloignées doivent aussi indiquer une anomalie étant donné qu'on s'éloigne de la zone défectueuse. En particulier, si l'anomalie est due à un défaut progressif, alors les différentiels avec des voisines éloignées sont forcément plus importants qu'avec des voisines proches. D'un autre côté, si le défaut est très ponctuel alors les différentiels avec des voisines éloignées sont au moins aussi importants qu'avec des voisines proches.

On notera qu'afin d'éviter des fausses alarmes, on ne prend pas les mêmes seuils pour les comparaisons proches et éloignées. En effet, les subdivisions éloignées sont normalement suffisamment éloignées de la zone incriminée et présentent donc par rapport à cette dernière des différentiels assez importants. Toutefois, le contexte dans les zones éloignées peut être différent et par conséquent, les valeurs du paramètre physique entre les deux zones peuvent présenter des écarts significatifs sans qu'il y ait forcément un défaut. Ainsi, pour éviter les fausses alarmes, il est avantageux de choisir un seuil plus grand pour une comparaison entre deux subdivisions éloignées que pour une comparaison entre deux subdivisions proches.

Ensuite, les moyens de traitement 7 sont configurés pour calculer d'autres différentiels en réorganisant les subdivisions et/ou en affinant leurs tailles.

En effet, à l'étape E10, les moyens de traitement 7 sont configurés pour re-quadriller une zone 215 recouvrant la subdivision 115a déclarée invalide (voir Fig. 3B). Ainsi, on forme de nouvelles subdivisions qui chevauchent la subdivision invalide. La nouvelle zone 215 est homothétique à la subdivision invalide par exemple de rapport strictement compris entre 1 et 2.

L'exemple de la Fig. 3B illustre de manière schématique une réorganisation des subdivisions selon un simple décalage d'un demi-carreau horizontalement et d'un demi-carreau verticalement. Ainsi, cet exemple, montre que quatre nouveaux carreaux courants 215a-215d recouvrent le précédent carreau courant invalide 115a (représenté

en pointillé). Chacun de ces quatre nouveaux carreaux 215a-215d recouvre une partie du précédent carreau 115a plus une partie du voisinage immédiat de ce dernier. Ceci permet de scruter tout le voisinage de la zone déclarée invalide.

5 A nouveau, les moyens de traitement 7 calculent des nouveaux différentiels relatifs au nouveau découpage des zones de comparaisons.

En effet, les nouvelles subdivisions 215a-215d sont considérées comme les actuelles subdivisions courantes et pour chacune de ces nouvelles subdivisions on réalise les étapes E11-E17 qui sont équivalentes aux étapes E3-E9 respectivement.

10 Ainsi, à l'étape E11 les moyens de traitement 7 sont configurés pour calculer des premiers différentiels courants entre chaque nouvelle subdivision courante 215a-215d et des subdivisions courantes voisines.

L'étape E12 est un test où les moyens de traitement 7 sont configurés pour vérifier s'il existe une nouvelle subdivision courante pour laquelle des premiers différentiels courants avec au moins un premier nombre déterminé de subdivisions voisines sont indicatifs d'anomalie. Si le résultat du test de l'étape E12 est négatif, alors on considère à l'étape E13 que la subdivision est valide, sinon, on considère qu'elle est potentiellement invalide et on passe à l'étape E14.

A l'étape E14, les moyens de traitement 7 sont configurés pour comparer la nouvelle subdivision potentiellement invalide avec des subdivisions éloignées.

20 L'étape E15 est un test où les moyens de traitement 7 sont configurés pour vérifier si la nouvelle subdivision courante présente avec au moins un deuxième nombre déterminé de subdivisions courantes éloignées des seconds différentiels courants indicatifs d'anomalie. Si le résultat du test de l'étape E15 est négatif, alors on considère à l'étape E16 que la subdivision incriminée est valide. En revanche, si le résultat du test de l'étape E15 est confirmé, alors on considère à l'étape E17 que la nouvelle subdivision incriminée est invalide.

25 Ainsi, à l'issue de l'étape E17, on a au moins une nouvelle subdivision invalide et une précédente subdivision invalide. L'exemple de la Fig. 3B montre un nouveau carreau courant invalide 215a et un précédent carreau invalide 115a. Le recoupement entre les actuel et précédent carreaux invalides donne plus de précision sur la localisation

30

du défaut.

En effet, à l'étape E18 les moyens de traitement 7 sont configurés pour faire un masque selon une opération logique ET entre les précédentes subdivisions invalides 115a et les nouvelles subdivisions 215a-215d dans la zone 215 de recouvrement. Ceci forme  
5 des subdivisions 315a-315d de tailles réduites comprenant au moins une subdivision invalide 315a de taille réduite (voir Fig. 3C). Ces nouvelles subdivisions 315a-315d de tailles réduites sont considérées comme les actuelles subdivisions courantes.

A l'étape E19 les moyens de traitement 7 sont configurés pour vérifier si la taille de l'actuelle subdivision courante 315a-315d est plus grande que la résolution  
10 prédéterminée 100. Si oui, les moyens de traitement 7 sont configurés pour réitérer les étapes précédentes E3-E18 pour chaque actuelle subdivision courante, et sinon, on déclare à l'étape E20 la ou les subdivision(s) courante(s) invalide(s) comme subdivision(s) anormale(s).

La Fig. 3C montre que le masque ET affine la zone en diminuant la longueur et la  
15 largeur du carreau d'un facteur 2. Toutefois, la taille du carreau invalide 315a reste supérieure à la taille du petit carreau 100 correspondant à la résolution et par conséquent, on recommence les mêmes étapes comme illustré sur la Fig. 3D. Finalement, la Fig. 3E montre que la résolution 100 est atteinte et les petits carreaux invalides 100a-100d sont localisés.

20 L'exemple des Figs. 3A-3E montre que le procédé de détection selon l'invention permet de réduire fortement le nombre d'étapes de calculs.

En effet, l'image selon l'exemple des Figs. 3A-3E comporte  $18 \times 18 = 324$  petites cases 100. Ainsi, en faisant abstraction des effets de bords, si on comparait chaque case 100 avec ses huit cases voisines, on aurait 2592 comparaisons et la  
25 technique serait moins efficace car on ne détecterait que des anomalies très localisées sur une case 100.

Avec la technique ci-dessus et en faisant toujours abstraction aux effets de bords, on réalise, à l'étape de la Fig. 5A,  $9 \times 8 = 72$  comparaisons, à l'étape de la Fig. 5B,  $4 \times 8 = 32$  comparaisons, à l'étape de la Fig. 5C, zéro comparaison, et finalement à  
30 l'étape de la Fig. 5D,  $9 \times 8 = 72$  comparaisons, soit au total 176 comparaisons

seulement. Ceci permet de réduire le temps de calcul et la sollicitation du calculateur.

Plus généralement, pour une image d'un objet de  $100\text{cm} \times 20\text{cm}$  et de résolution de  $1\text{mm}$ , si on prenait indépendamment chaque zone de  $1\text{mm}$  et la comparait avec ses huit voisines, on aurait, sans compter les effets de bord 1600000 comparaisons et on ne peut détecter que des défauts de  $1\text{mm}$  ou des défauts très marqués.

Toutefois, en appliquant le procédé de détection selon l'invention, en prenant un quadrillage initial de  $1\text{cm}$  et en supposant qu'il n'y a qu'un seul défaut, le nombre total de comparaisons est d'environ 16000.

Ainsi, le procédé selon l'invention réduit considérablement le nombre de calculs en optimisant le nombre de comparaisons. De plus, il permet de détecter des défauts dont la taille est comprise entre les dimensions d'une subdivision initiale 115a et la résolution 100 sélectionnée.

En effet, les Figs. 4A-4D illustrent la détection de défauts ponctuels et progressifs sur différents quadrillages.

Les Figs. 4A et 4B montrent qu'un défaut ponctuel 21a peut être détecté sur un grand carreau 425 ou sur un petit carreau 525. Toutefois, les Figs. 4C et 4D montrent qu'un défaut progressif 21b peut être détecté sur un grand carreau 425 mais pas sur un petit carreau 525. En effet, le différentiel entre un petit carreau 525 et ses voisins est très faible et ainsi on ne détecterait pas un défaut progressif avec une méthode classique qui ne considère que des petits carreaux.

La Fig. 5 est un algorithme de détection selon l'invention comprenant une phase de confirmation selon un premier mode de réalisation.

La phase de confirmation comprend une comparaison des différentiels relatifs à une subdivision anormale appartenant à une dernière image avec des différentiels relatifs à une même subdivision anormale appartenant à chacune d'un nombre déterminé de précédentes images de l'objet, les données des précédentes subdivisions anormales étant enregistrées dans une base de données 17 associée aux moyens de traitement.

L'étape E21 concerne la mesure ou l'acquisition d'un paramètre physique (*e.g.*, champ optique, thermique ou sonore) relatif à l'objet 11 permettant la formation d'une image 13 de l'objet 11.

A l'étape E22, les données concernant le paramètre physique sont envoyées aux moyens de traitement 7.

A l'étape E23, les moyens de traitement 7 sont configurés pour traiter les données selon l'organigramme de la Fig. 2.

5 En particulier, aux étapes E4 et E12 (Fig. 2), on vérifie si les premiers différentiels courants sont supérieurs à un premier seuil prédéterminé. De même, aux étapes E7 et E15 (Fig. 2), on vérifie si les seconds différentiels courants sont supérieurs à un deuxième seuil prédéterminé. On notera que les valeurs des premier et deuxième seuils peuvent être modifiées en fonction de la taille de la subdivision et donc du rang de l'itération. Par  
10 exemple, à la première itération, la détection est choisie assez sensible (*i.e.*, seuils faibles) pour permettre d'identifier les subdivisions anormales. En effet, si la subdivision est grande, on va éventuellement moyenner des zones normales et anormales à l'intérieur de la subdivision.

A l'issue de l'étape E23, si aucun défaut n'est constaté, alors à l'étape E24 on  
15 remet à zéro la base de données 17 concernant les dernières détections.

En revanche, si à l'issue de l'étape E23, une ou des subdivision(s) anormale(s) est(sont) détectée(s), alors à l'étape E25 on enregistre dans la base de données 17 les informations concernant la ou les dernières subdivision(s) anormale(s) avant d'aller à l'étape E26.

20 A l'étape E26, les moyens de traitement 7 sont configurés pour comparer les différentiels relatifs à la(les) subdivision(s) anormale(s) appartenant à la dernière image avec des différentiels relatifs à la(les) même(s) subdivision(s) anormale(s) appartenant à chacune des précédentes images de l'objet 11.

S'il est constaté que l'image 13 présente une anomalie pour la première fois,  
25 alors aucune alerte n'est générée (étape E27).

En revanche, s'il est constaté que les différentiels ont augmenté au cours de dernières images, alors une alerte d'importance haute est générée (étape E28). On peut ajouter un niveau d'alerte supplémentaire pour suivre la tendance des différentiels. Par exemple, une alerte d'importance très haute est générée si les différentiels augmentent  
30 et que l'extrapolation montre à échéance donnée (*e.g.* 10 vols) un dépassement d'un

seuil limite prédéterminé.

Finalement, s'il est constaté que les différentiels restent constants au cours de dernières images, alors une alerte d'importance moyenne est générée (étape E29).

Par ailleurs, on peut attribuer différents niveaux de seuils correspondant à  
5 différents niveaux d'alertes.

La Fig. 6 est un algorithme de détection selon l'invention comprenant une phase de confirmation selon un deuxième mode de réalisation.

Les étapes de l'algorithme de la Fig. 6 sont identiques à celles de la Fig. 5 sauf pour les étapes E32 et E33.

10 Comme précédemment, l'étape E31 concerne la mesure ou l'acquisition d'un paramètre physique (e.g., champ optique, thermique ou sonore) relatif à l'objet 11 permettant la formation d'une image 13 de l'objet. Si les données correspondent à une première image, alors on passe à l'étape E32 et sinon, à l'étape E33.

15 L'étape E32 est une phase d'apprentissage au cours de laquelle une base de données d'apprentissage est construite en comparant les différentiels des subdivisions de la première image d'un objet sain. Ceci peut être réalisé selon les étapes de comparaisons entre des subdivisions voisines de l'organigramme de la Fig. 2.

Ainsi, on construit à l'étape E32 une base de données d'apprentissage enregistrant des différentiels sains entre différentes subdivisions de l'image saine  
20 d'origine sachant que cette dernière n'est pas forcément uniforme à cause des différences intrinsèques mais normales de l'objet.

Si l'image de l'objet n'est pas une première image, alors on passe à l'étape E33 où les moyens de traitement 7 sont configurés pour traiter les données selon l'organigramme de la Fig. 2.

25 Toutefois, aux étapes E4 et E12 (Fig. 2), on calcule les différences entre les premiers différentiels courants des subdivisions voisines et des différentiels sains correspondants pour vérifier si elles sont supérieures à un niveau prédéterminé. Aux étapes E7 et E15 (Fig. 2), on vérifie si les seconds différentiels courants entre des subdivisions éloignées et des différentiels sains correspondants sont supérieurs à un  
30 deuxième seuil prédéterminé.

Le procédé de détection de la présente invention est peu coûteux en calcul et peut donc être facilement mis en œuvre par des moyens de traitement embarqués dans un aéronef pour par exemple détecter des défauts ou prémices de panne d'un élément tournant d'un moteur d'aéronef.

5 En effet, la Fig. 7 illustre de manière schématique un système de détection de défauts sur un élément tournant d'un moteur d'aéronef, selon un premier mode de réalisation du système de la Fig. 1.

L'élément tournant 111 est visible de l'extérieur et correspond par exemple à une pale ou aube d'une roue aubagée 112 ou à un capot tournant du moteur 114. La roue  
10 aubagée 112 peut appartenir à un compresseur du moteur 114 et peut par exemple correspondre à une soufflante carénée ou non carénée du moteur d'aéronef.

Selon le mode de réalisation de la Fig. 7, les signaux relatifs à l'élément tournant sont des signaux infrarouges provenant de l'élément et par conséquent, les moyens d'excitations sont des moyens chauffants 113 embarqués et les moyens d'acquisition sont  
15 des moyens thermographiques 115 embarqués.

Les moyens chauffants 113 sont destinés à réchauffer l'élément tournant 111 du moteur 114 par une sollicitation thermique 119. Bien entendu, la chaleur pénètre dans le matériau de l'élément tournant 3. Ainsi, les températures locales vont varier d'une région à une autre car la chaleur va plus ou moins pénétrer en fonction de la présence ou non de  
20 défauts 121. A titre d'exemple, les moyens chauffants 113 peuvent être constitués d'un ou de plusieurs émetteur(s) thermique(s) fixé(s) sur le moteur 114 ou l'aéronef 116 au regard de l'élément tournant 111. Ainsi, chaque émetteur thermique 113 reste à demeure sur l'aéronef 116 et peut être réglé pour chauffer l'élément tournant 121 de manière périodique ou pulsationnelle.

25 Par ailleurs, les moyens thermographiques 115 sont destinés à acquérir au moins une image 113 infrarouge de l'élément tournant 111 traduisant, suite à la sollicitation thermique 119 du réchauffement, un champ thermique en phase transitoire. On notera que les moyens thermographiques 115 peuvent être constitués d'une ou de plusieurs caméra(s) thermique(s) fixée(s) sur le moteur 114 ou l'aéronef 116 au regard de l'élément  
30 tournant 111.

Avantageusement, les éléments tournants 111 sont filmés lors d'une rotation à très faible régime (c'est-à-dire, en début de phase de démarrage, en fin de phase d'arrêt ou lors d'un fonctionnement en moulinet « wind milling » au sol). Ceci permet d'avoir une vue complète des éléments tournants 111 sans perturber l'acquisition des images 113.

5 L'intérêt de filmer à faible régime est l'utilisation d'une seule caméra pour détecter des défauts sur toutes les aubes, les unes après les autres. On peut bien entendu filmer à l'arrêt mais dans ce cas, il faut une pluralité de caméras pour détecter les défauts sur toutes les aubes.

On notera que le réchauffement et l'acquisition des images ont l'avantage de  
10 pouvoir se faire sans contact, ce qui permet d'une part de ne pas abîmer le matériau testé et, d'autre part, de ne pas avoir de capteurs à poser sur les pales 111 ou très près des pales, ce qui pourrait perturber leur aérodynamique. En outre, le fait que les moyens chauffants 113 et thermographiques 115 sont embarqués permet d'acquérir des images 113 à chaque vol, de manière automatique, et sans intervention humaine longue et  
15 coûteuse.

Les moyens de traitement 107 sont configurés pour acquérir l'image infrarouge 113 depuis les moyens thermographiques 115 et pour mettre en œuvre les étapes du procédé de détection selon les organigrammes des Figs. 2, 5 ou 6.

Les différentiels peuvent être calculés relativement à une composante (par  
20 exemple, l'amplitude ou la phase) du champ thermique entre différentes subdivisions de l'image 113 infrarouge. La détection des variations de la composante du champ thermique est indicative de défauts ou prémices de rupture de l'élément tournant 111. Ainsi, on peut surveiller à chaque vol et de manière automatique les éléments tournants 111 du moteur 114 pour détecter les premiers signes de fatigue avant qu'une perte  
25 d'aube ne se produise. En particulier, le système de détection 101 est bien adapté pour surveiller les éléments tournants 111 en matériaux composites qui peuvent subir de la fatigue engendrant des défauts 121 non visibles sur leurs surfaces.

On notera que le fait de réaliser l'analyse des données selon des mesures différentielles sur des phases thermiques transitoires permet de s'affranchir du contexte  
30 tel que la température extérieure ou l'éclairement par le soleil. En effet, les conditions

extérieures agissent de la même manière sur une subdivision courante à deux instants successifs.

Avantageusement, on peut exploiter les moyens de traitement 107 d'un calculateur 118 embarqué dans l'aéronef 116 ou dans un calculateur 118 intégré dans le  
5 moteur 114 d'aéronef de type EMU (Engine Monitoring Unit) pour exploiter le système de détection 101 selon l'invention. En particulier, le calculateur 118 peut être utilisé pour exécuter un programme d'ordinateur enregistré dans des moyens de stockage 117 du calculateur 118 et comportant des instructions de code pour la mise en œuvre du procédé de détection selon l'invention.

10 On notera que les données acquises peuvent être directement traitées pendant le vol de l'aéronef. En variante, le traitement des données peut être réalisé après l'atterrissage de l'aéronef afin de ne pas surcharger le calculateur 118 durant le vol. Selon encore une autre variante, les données acquises peuvent être transmises au sol pour être traitées par une station de calcul.

15 Selon une première variante du mode de réalisation de la Fig. 7, les moyens chauffants 113 sont destinés à réchauffer l'élément tournant 111 par des pulsations thermiques ou des phases thermiques transitoires.

Les moyens chauffants 113 correspondent à un émetteur thermique (par exemple une lampe chauffante) fixé directement sur le moteur ou l'aéronef, au regard de  
20 l'élément tournant 111 pour chauffer ce dernier de manière pulsationnelle. L'élément tournant est alors chauffé en un temps suffisamment court (quelques millisecondes) pour que le matériau de l'élément tournant n'atteigne pas une température constante. L'émetteur thermique est fixé à une distance prédéterminée de l'élément tournant pouvant varier de quelques millimètres à quelques mètres.

25 Les moyens thermographiques 115 correspondent par exemple à une caméra thermique installée à proximité de l'élément tournant par exemple, entre quelques centimètres et quelques mètres et acquièrent les images lors du chauffage.

Dans ce cas, les moyens de traitement 107 sont configurés pour calculer des différentiels entre une amplitude du champ thermique (c'est-à-dire, la température)  
30 d'une subdivision courante et des amplitudes (c'est-à-dire, températures) des champs

thermiques des subdivisions voisines. Ainsi, si le matériau de l'élément tournant présente un défaut en surface ou en profondeur, la température à la surface suite à la sollicitation thermique pulsationnelle sera différente. La comparaison des températures entre les différentes subdivisions permet alors de détecter les défauts.

5                    Selon une deuxième variante du mode de réalisation de la Fig. 7, les moyens chauffants 113 sont destinés à réchauffer l'élément tournant 111 par des ondes thermiques périodiques pendant un temps déterminé, par exemple de l'ordre de quelques secondes. Dans ce cas, un émetteur thermique 113 est fixé sur le moteur (ou l'aéronef) au regard de l'élément tournant 111 à une distance prédéterminée pouvant  
10 varier de quelques millimètres à quelques mètres. L'émetteur thermique 113 correspond par exemple à une lampe chauffante de type flash envoyant une onde thermique périodique d'une fréquence prédéterminée pour chauffer l'élément tournant de manière périodique.

                    Une caméra thermique 115 est installée à proximité de l'élément tournant  
15 111 par exemple, entre quelques centimètres et quelques mètres et acquiert les images lors du chauffage.

                    L'émetteur de chaleur 113 et la caméra thermique 115 peuvent être placés directement sur le fuselage ou la voilure de l'aéronef.

                    Dans cette deuxième variante, les moyens de traitement 107 sont configurés  
20 pour réaliser par exemple une analyse de Fourier pour déterminer la variation de phase entre les différentes subdivisions de l'image infrarouge de l'élément tournant. Si le matériau est uniforme, l'énergie thermique se répartit identiquement et il n'y a aucun déphasage entre les différentes zones. En revanche, si le matériau de l'élément tournant présente un défaut, l'énergie thermique ne va pas se propager de façon identique et  
25 l'onde thermique sera soit accélérée soit ralentie dans le défaut, ce qui se traduira par un déphasage. Ainsi, les moyens de traitement 107 calculent les déphasages entre le champ thermique d'une subdivision courante et les champs thermiques des subdivisions voisines afin de détecter les défauts.

                    On notera que cette deuxième variante a l'avantage d'être peu influencée par  
30 l'éloignement de la source de chaleur ou l'éclairement du soleil, car on ne mesure pas la

température, mais le déphasage. Afin d'augmenter la précision des mesures, il est préférable que l'émetteur de chaleur ne soit pas trop éloigné de l'élément tournant.

Selon une troisième variante du mode de réalisation de la Fig. 7, les moyens chauffants 113 sont constitués d'au moins un élément chauffant antigivrage déjà existant dans le moteur.

En effet, si les éléments tournants 111 possèdent déjà des moyens de chauffage destinés à éviter le givre, le système de détection de la présente invention peut astucieusement utiliser cette source de chaleur et on peut donc omettre l'installation des moyens chauffants supplémentaires et par conséquent, réduire la masse embarquée.

Dans ce cas, l'élément chauffant antigivrage est réglé, lors des autotests au démarrage par exemple, pour fournir de la chaleur pendant des durées prédéterminées.

Si l'élément chauffant n'est pas intégré dans la pale mais fixé à l'extérieur, alors le processus de détection est rigoureusement identique à celui des première et deuxième variantes. En revanche, si l'élément chauffant est suffisamment puissant et est intégré dans la pale, un temps de chauffe relativement court de quelques secondes suivi d'un temps de refroidissement de quelques secondes peut être utilisé.

Plus particulièrement, si l'élément chauffant est constitué par exemple de fils chauffants répartis sur la surface de la pale, on alimente l'élément chauffant avec une intensité de courant constante pendant un temps de chauffe déterminé puis on arrête de l'alimenter afin de faire décroître la température. Après un temps d'attente déterminé (toujours identique de vol en vol), on se trouve alors en phase transitoire du champ thermique et les moyens de traitement 107 déclenchent la caméra pour prendre une photo infrarouge. En cas d'anomalie du matériau de l'élément tournant, le refroidissement va être différent et on peut alors comparer chaque subdivision à ses voisines proches et éloignées, et ce de vol en vol. Par contre, dans ce cas, on ne peut pas détecter des défauts sous les fils car leur température faussera la réponse thermique du matériau à cet emplacement.

En revanche, si les fils chauffants ne sont pas en surface mais intégrés à l'intérieur du matériau de la pale, la situation est plus favorable que précédemment, car les fils ne cachent aucune surface de la pale et on accède directement à la réponse en

épaisseur et on peut alors détecter les défauts internes et sur toute la surface de la pale. Le traitement des données est le même que celui détaillé précédemment.

En outre, les moyens de traitement 107 sont avantageusement configurés pour vérifier le bon fonctionnement de l'élément chauffant antigivrage en surveillant le différentiel d'amplitude des éléments tournants. Ainsi, si la réponse en amplitude est de plus en plus faible voire nulle ou de plus en plus forte de vol en vol même en considérant l'effet de vieillissement des pales sur les réponses thermiques, les moyens de traitement 107 peuvent incriminer l'élément chauffant.

La Fig. 8 est un schéma en bloc illustrant les étapes de détection de défauts sur une roue aubagée du moteur, selon le système de la Fig. 7.

Selon cet exemple, l'élément tournant 111 correspond à chacune des pales de la roue aubagée 112.

Au bloc B1, les moyens de traitement 107 reçoivent des données depuis le moteur 114 (représenté par le bloc B2), concernant le régime de rotation de la roue aubagée 112 à surveiller. Les moyens de traitement 107 déclenchent le procédé de détection lorsque la roue aubagée 112 commence à tourner à très faible régime.

Au bloc B3, les moyens chauffants 113 réchauffent les pales 111 de la roue aubagée 112 du moteur 114 (bloc B2) par une sollicitation thermique 119 générant un champ thermique qui évolue selon des phases de chauffe et de refroidissement. On notera que la sollicitation thermique (une pulsation thermique ou une onde thermique périodique) pénètre dans le matériau de la pale 111 de sorte que si le matériau présente un défaut 121 (en surface ou en profondeur), l'amplitude et/ou la phase du champ thermique à la surface sera différente.

Ensuite, pendant que le champ thermique est dans sa phase transitoire de chauffe ou de refroidissement, la ou les caméra(s) thermique(s) 115 filme(nt) les pales 111 de la roue aubagée 112 du moteur (bloc B2) pour acquérir au moins une image 113 infrarouge des pales 111.

Ainsi, au bloc B4, au moins une image 113 infrarouge est générée. On notera que chaque caméra 115 thermique peut être configurée pour acquérir une image par pale ou une seule image pour toutes les pales de la roue aubagée 112.

Au bloc B5, des moyens d'identification 122 des pales 111 sont utilisés pour distinguer les différentes pales de la roue aubagée 112. Ceci permet de faire un suivi au cours du temps des différentes pales et d'identifier celle(s) qui présente(nt) des défauts.

5 Ces moyens d'identification sont par exemple, des moyens optiques de reconnaissance de forme. On peut par exemple utiliser la caméra thermique 115 elle-même couplée à un algorithme de reconnaissance de forme pour identifier les pales.

En variante, les moyens d'identification sont des moyens d'individualisation par un marquage 122 ou étiquetage sur une ou deux pales 111 de la roue aubagée 112. On peut individualiser les pales 111 en les numérotant par de la peinture ou tout autre  
10 matériau inséré dans la pale ou disposé à sa surface.

Au bloc B6, les moyens de traitement 107 réalisent les étapes de l'organigramme des Figs. 2, 5 ou 6. En particulier, les moyens de traitement 107 réalisent par exemple une analyse de Fourier pour calculer une composante (l'amplitude ou la phase) du champ thermique de chaque subdivision de l'image 113 infrarouge pour  
15 chacune des pales 111 et comparent entre elles les différentes subdivisions.

Plus particulièrement, lorsqu'une pulsation thermique est utilisée pour chauffer les pales 111 de la roue aubagée 112, alors la composante du champ thermique correspond à l'amplitude du champ thermique (c'est-à-dire, la température). En revanche, lorsqu'une onde thermique périodique est utilisée pour chauffer les pales 111,  
20 alors la composante du champ thermique correspond à la phase du champ thermique.

Si le matériau de la pale est uniforme, toute sa surface répond de façon identique à la sollicitation thermique 119 et par conséquent, la composante du champ thermique est constante sur toutes les zones. En revanche, si le matériau présente une aspérité en surface ou en profondeur, la composante du champ thermique à la surface  
25 suite à la sollicitation thermique 119 sera différente. Ainsi, en comparant les composantes sur différentes zones relativement proches, on peut détecter les défauts.

Lorsqu'un défaut est détecté au bloc B7, alors avant d'envoyer l'alerte, les moyens de traitement 107 comparent au bloc B7 les résultats sur plusieurs vols, pour voir si l'anomalie est toujours détectée (voir aussi étapes E26-E29 et E36-E39 des Figs. 5 et 6).  
30 En effet, les moyens de traitement 107 sont configurés pour enregistrer à chaque vol les

différentiels relatifs aux champs thermiques des différentes subdivisions afin d'analyser l'évolution de ces différentiels de vol en vol. Ainsi, on peut quantifier l'évolution des défauts pour chaque pale 111 en comparant les données issues du vol courant avec des données des vols précédents stockées dans une base de données 117a (bloc B8).

5           Avantageusement, le système de détection 101 comporte une bibliothèque d'anomalies ou une base de données 117b (bloc B8) de signatures de dégradations représentatives de différentes formes de dégradations et de leurs états d'avancement. Ceci permet aux moyens de traitement 107 de comparer les différentiels relatifs aux champs thermiques des zones présentant des prémices de panne aux signatures  
10 caractéristiques de dégradations et ainsi de statuer sur le type de dégradation et sur l'état d'avancement de celle-ci.

La Fig. 9 illustre de manière schématique un système de détection de défauts sur un élément tournant d'un moteur d'aéronef, selon un deuxième mode de réalisation du système de la Fig. 1.

15           Selon ce mode de réalisation, les signaux relatifs à l'élément tournant sont des signaux ultrasonores provenant de l'élément tournant et par conséquent, les moyens d'excitations sont des moyens d'émission 213 d'ondes ultrasonores et les moyens d'acquisition sont des moyens de réception 215 d'ondes ultrasonores réfléchies par l'élément 211.

20           Les moyens d'émission 213 et de réception 215 peuvent former un seul dispositif. Plus particulièrement, le dispositif peut comprendre une source ultrasonore de type électro-capacitive ou piezzo-électrique couplée à un récepteur de même type (i.e., électro-capacitif si la source est electro-capacitive).

25           Les moyens d'émission 213 et de réception 215 sont embarqués et installés sur le moteur 214 par l'intermédiaire des moyens de pivotement et/ou de rotation 232. Ainsi, les moyens d'émission 213 et de réception 215 peuvent pivoter et/ou tourner pour balayer plusieurs zones de l'espace en scannant par exemple chaque élément tournant 211 d'une roue aubagée 212. Ainsi, il n'est pas nécessaire d'installer un dispositif émetteur/récepteur ultrasonore sur chaque aube. On notera que les éléments tournants  
30 211 sont scannés lorsqu'ils sont à l'arrêt.

Avantageusement, la source ultrasonore 213 produit des ultrasons dans la gamme basse (par exemple, [50kHz-1MHz]) pour éviter une trop forte atténuation qui est fonction du carré de la fréquence. La fréquence peut être adaptée en fonction de la résolution souhaitée (i.e., de la taille des défauts recherchés). Plus la fréquence est grande et plus la résolution est importante, mais plus le signal est atténué et donc un compromis doit être trouvé en fonction de l'application.

Les moyens de traitement 207 sont configurés pour former une image 213 représentative de l'élément tournant 211 à partir des ondes ultrasonores 219 réfléchies par l'élément 211 et captées par les moyens de réception 215 et pour mettre en œuvre les étapes du procédé de détection selon les organigrammes des Figs. 2, 5 ou 6.

Les différentiels peuvent être calculés relativement à l'intensité ou la direction des ondes ultrasonores 219 réfléchies. On notera que les ondes ultrasonores pénètrent très peu dans le matériau et vont donc se refléter à plus de 99,9 % (du fait de la différence d'impédance acoustique entre l'air et des métaux ou des matériaux composites). Ainsi, en cas d'anomalie ou de défaut de surface, la réflexion sera différente en intensité et/ou en direction et on peut alors détecter des petits défauts de structure suite par exemple, à un impact d'un corps étranger.

Ainsi, on peut surveiller à chaque vol et de manière automatique les éléments tournants 211 du moteur 214 pour détecter les premiers signes de fatigue avant qu'une perte d'aube ne se produise.

On notera que le fait de réaliser l'analyse des données selon des mesures différentielles sur des intensités ou directions des ondes réfléchies permet de s'affranchir du contexte tel que le fait que l'élément surveillé peut ne pas être toujours à la même distance des moyens de réception.

La présente invention permet ainsi de surveiller les éléments tournants en métal ou en matériaux composites d'un moteur d'aéronef afin de détecter les premiers signes de fatigue à l'aide des moyens fixés sur le moteur ou l'aéronef, à chaque vol, de manière automatique, et de manière individuelle. Elle s'applique avantageusement au suivi des aubes de la soufflante d'un turbofan, aux hélices d'un turbopropulseur ou d'un open rotor ainsi qu'aux capots tournants de ce dernier.

## REVENDICATIONS

1. Procédé de détection de défauts sur un objet, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- 5                   – une formation d'une image (13) représentative dudit objet (11) à partir de signaux (9) relatifs à l'objet,
- une construction des subdivisions (15) de ladite image selon des résolutions auto-adaptatives, lesdites résolutions s'adaptant de manière itérative à l'étendue du défaut, et
- 10                  – un calcul itératif des différentiels entre différentes subdivisions pour détecter une subdivision anormale indicative de prémices de panne.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte une phase de confirmation comprenant une comparaison des différentiels relatifs à une subdivision anormale appartenant à une dernière image (13) avec des différentiels relatifs à une même subdivision anormale appartenant à chacune d'un nombre déterminé de précédentes images dudit objet.

15

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comporte :

- 20                  - une génération d'alerte d'importance haute ou très haute s'il est constaté que les différentiels ont augmenté au cours de dernières images, et
- une génération d'alerte d'importance moyenne s'il est constaté que les différentiels restent constants au cours de dernières images.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les étapes de construction des subdivisions et de calcul des différentiels comportent les étapes suivantes :

25

- (a1) quadriller ladite image en une pluralité de subdivisions courantes,
- (a2) calculer des premiers différentiels courants entre chaque subdivision courante et des subdivisions courantes voisines,
- 30

- (a3) vérifier s'il existe une subdivision courante pour laquelle des premiers différentiels courants avec au moins un premier nombre déterminé de subdivisions voisines sont indicatifs d'anomalie,

5 - (a4) calculer, au cas où l'étape précédente (a3) est confirmée, des seconds différentiels courants entre ladite subdivision courante et des subdivisions courantes éloignées,

- (a5) vérifier si ladite subdivision courante présente avec au moins un deuxième nombre déterminé de subdivisions courantes éloignées des seconds différentiels courants indicatifs d'anomalie,

10 - (a6) déclarer ladite subdivision courante comme étant invalide au cas où l'étape de vérification précédente (a5) est confirmée,

- (a7) re-quadriller une zone recouvrant ladite subdivision courante invalide pour former de nouvelles subdivisions chevauchant la précédente subdivision invalide, les nouvelles subdivisions étant considérées comme les actuelles subdivisions courantes,

15 - (a8) répéter les étapes (a2)-(a6) pour chacune des nouvelles subdivisions courantes de ladite zone de recouvrement,

- (a9) faire un masque selon une opération logique ET dans ladite zone de recouvrement entre les précédentes subdivisions invalides et les nouvelles subdivisions formant ainsi des subdivisions de tailles réduites, lesdites subdivisions de tailles réduites étant considérées comme les actuelles subdivisions courantes,

20 - (a10) vérifier si la taille de l'actuelle subdivision courante est plus grande qu'une résolution prédéterminé, et

- (a11) réitérer, au cas où l'étape de vérification précédente (a10) est confirmée, les étapes précédentes (a2)-(a10) pour chaque actuelle subdivision courante, sinon,  
25 déclarer la ou les subdivision(s) courante(s) invalide(s) comme subdivision(s) anormale(s).

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'à l'étape (a3) on vérifie si les premiers différentiels courants sont supérieurs à un premier seuil prédéterminé, et en ce qu'à l'étape (a5) on vérifie si les seconds différentiels courants sont supérieurs à un  
30 deuxième seuil prédéterminé.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comporte une construction d'une base de données d'apprentissage enregistrant des différentiels sains entre différentes subdivisions de l'image et en ce qu'à l'étape (a3) on calcule les différences entre les premiers différentiels courants et des différentiels sains correspondants pour vérifier si elles sont supérieures à un niveau prédéterminé, et en ce qu'à l'étape (a5) on calcule les différences entre les seconds différentiels courants et des différentiels sains correspondants pour vérifier si elles sont supérieures à un deuxième niveau prédéterminé.

10

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit objet est un élément tournant (111) d'un moteur (114) d'aéronef.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les signaux relatifs audit objet sont des signaux infrarouges provenant de l'objet de sorte que ladite image représentative dudit objet est une image infrarouge traduisant un champ thermique en phase transitoire après le réchauffement de l'objet par une sollicitation thermique.

15

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les signaux relatifs audit objet sont des signaux ultrasonores provenant de l'objet de sorte que ladite image représentative dudit objet est une image traduisant des ondes ultrasonores réfléchies par l'objet.

20

10. Système de détection de défauts sur au moins un élément tournant (111) d'un moteur (114) d'aéronef, caractérisé en ce qu'il comporte :

25

-des moyens d'excitations embarqués pour provoquer l'émission de signaux par ledit élément tournant,

-des moyens d'acquisition embarqués pour acquérir les signaux envoyés par ledit élément tournant, et

30

-des moyens de traitement configurés pour réaliser les étapes du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes.

5           **11.** Système selon la revendication 10, caractérisé en ce que les moyens d'excitations sont des moyens chauffants (113) pour réchauffer ledit élément tournant du moteur par une sollicitation thermique, et en ce que les moyens d'acquisition sont des moyens thermographiques (115) pour acquérir une image infrarouge traduisant un champ thermique en phase transitoire dudit élément tournant.

10           **12.** Système selon la revendication 10, caractérisé en ce que les moyens d'excitations sont des moyens d'émission (213) d'ondes ultrasonores, et en ce que les moyens d'acquisition sont des moyens de réception (215) d'ondes ultrasonores réfléchies par l'objet.

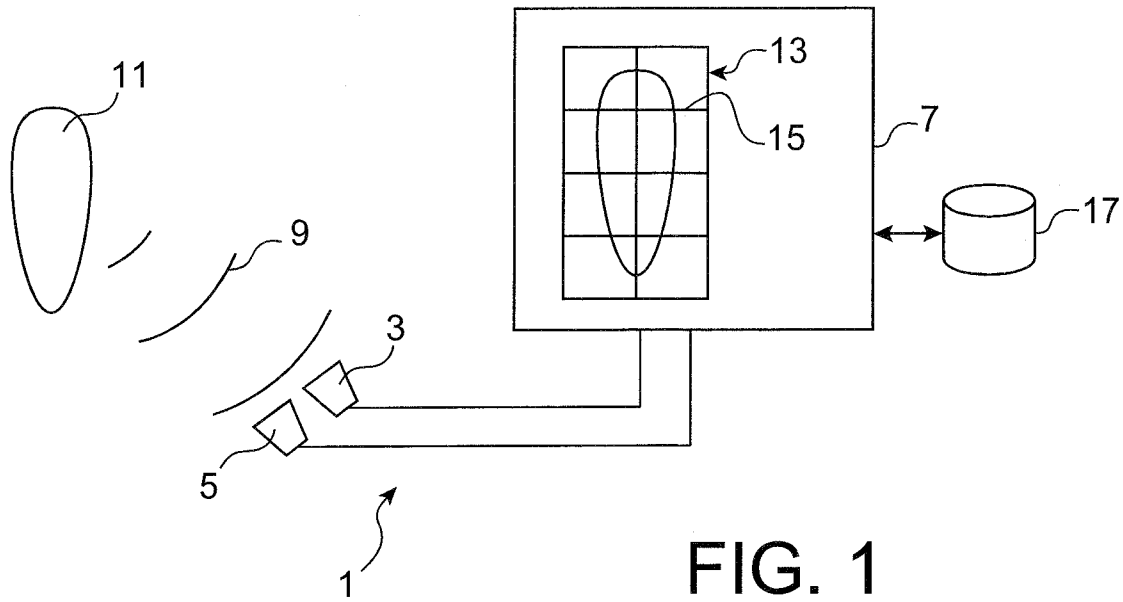


FIG. 1

2/10

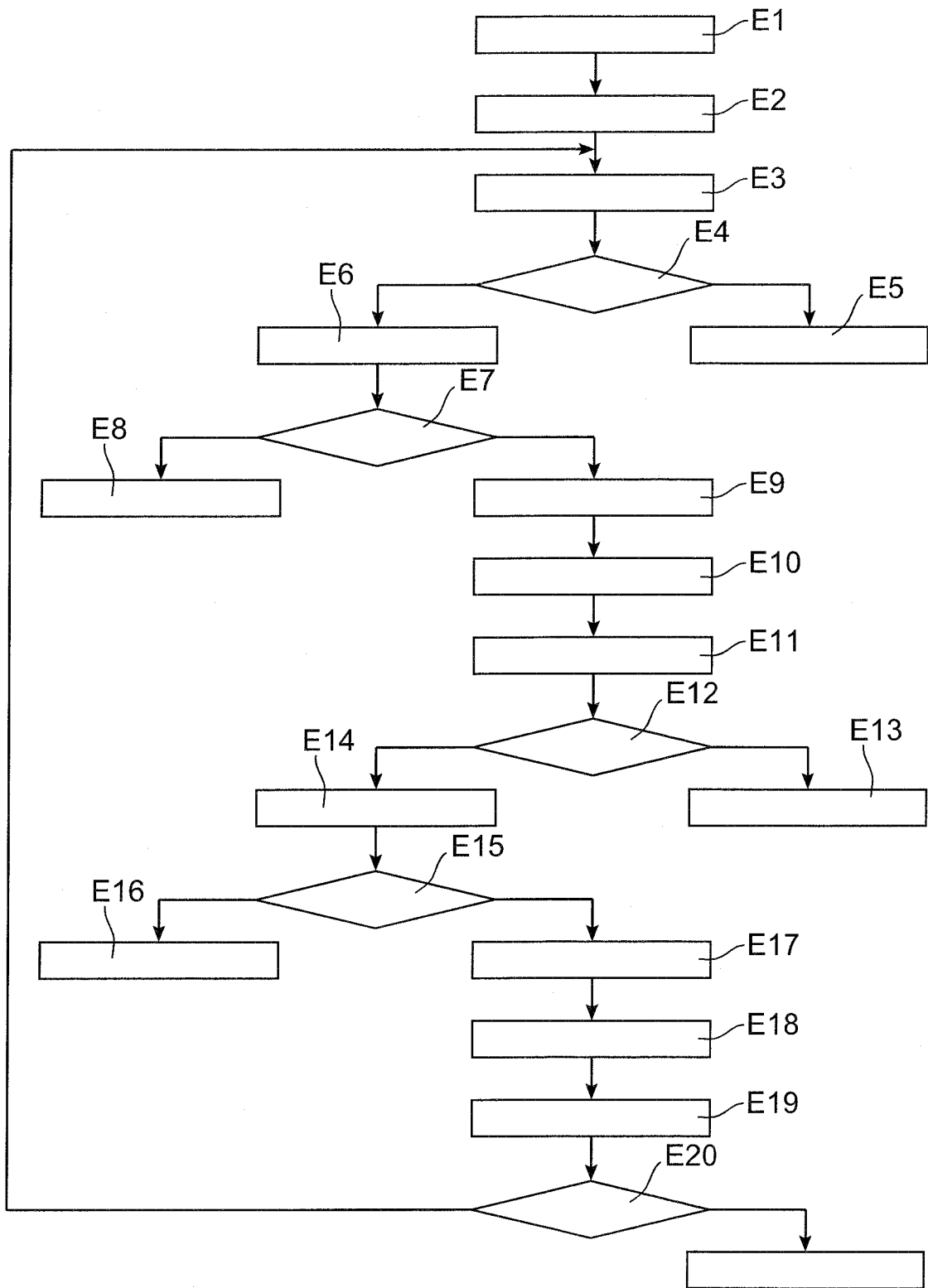
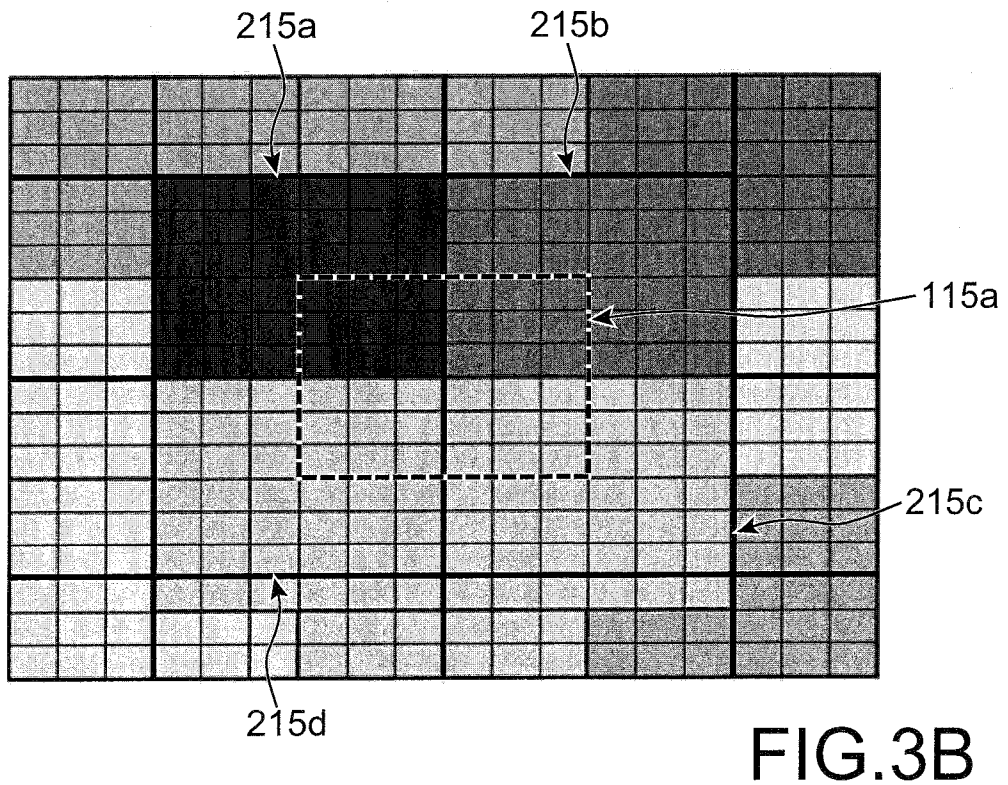
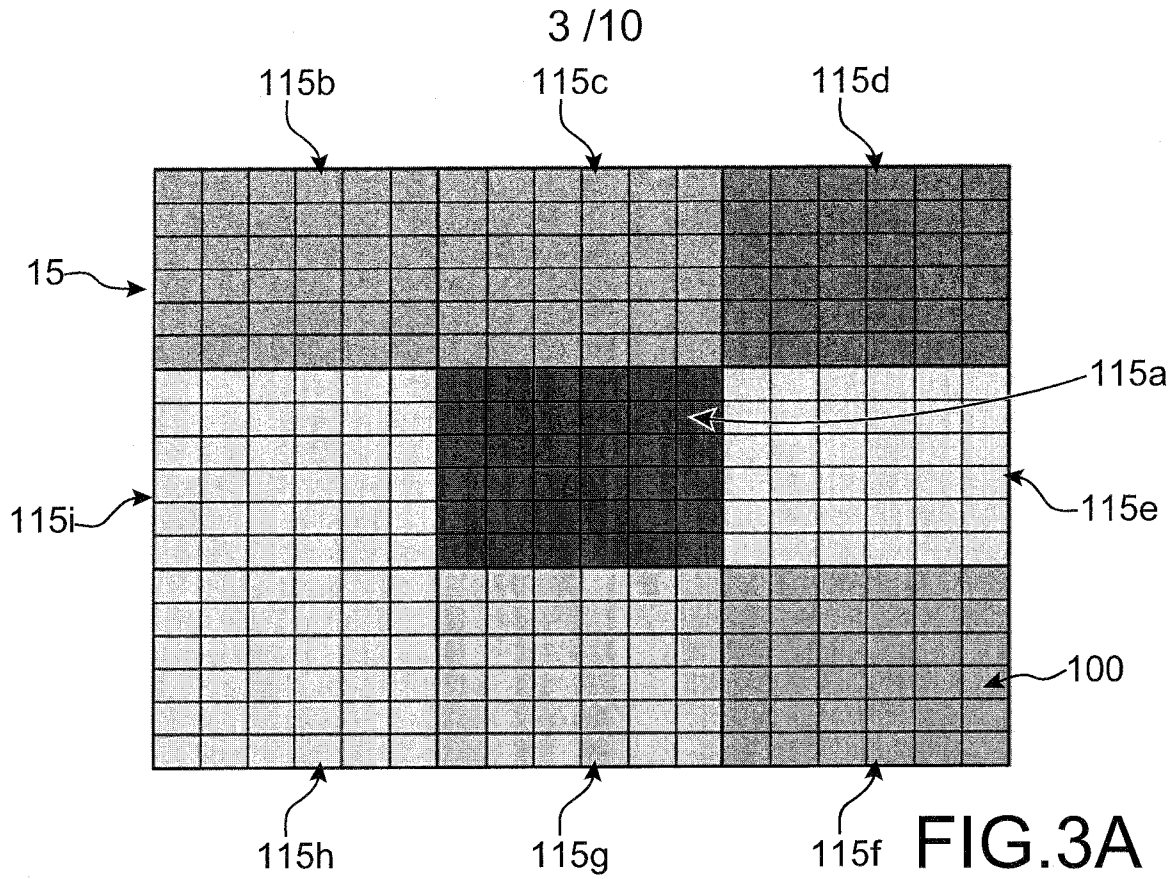
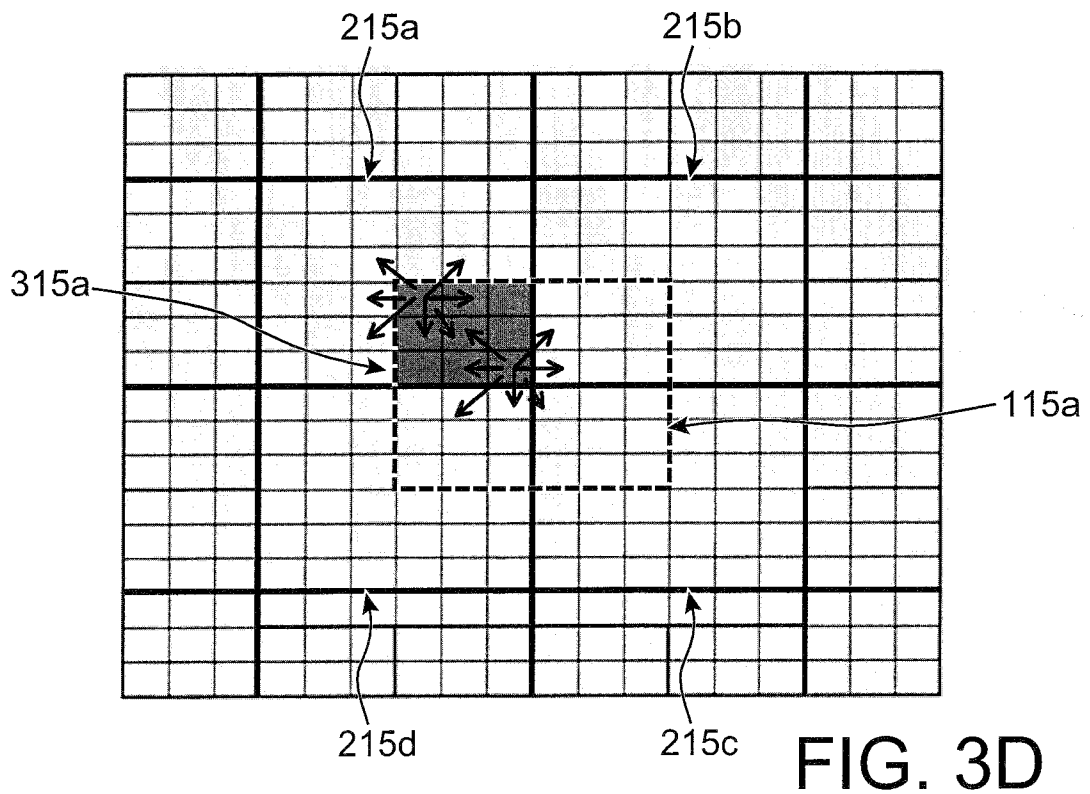
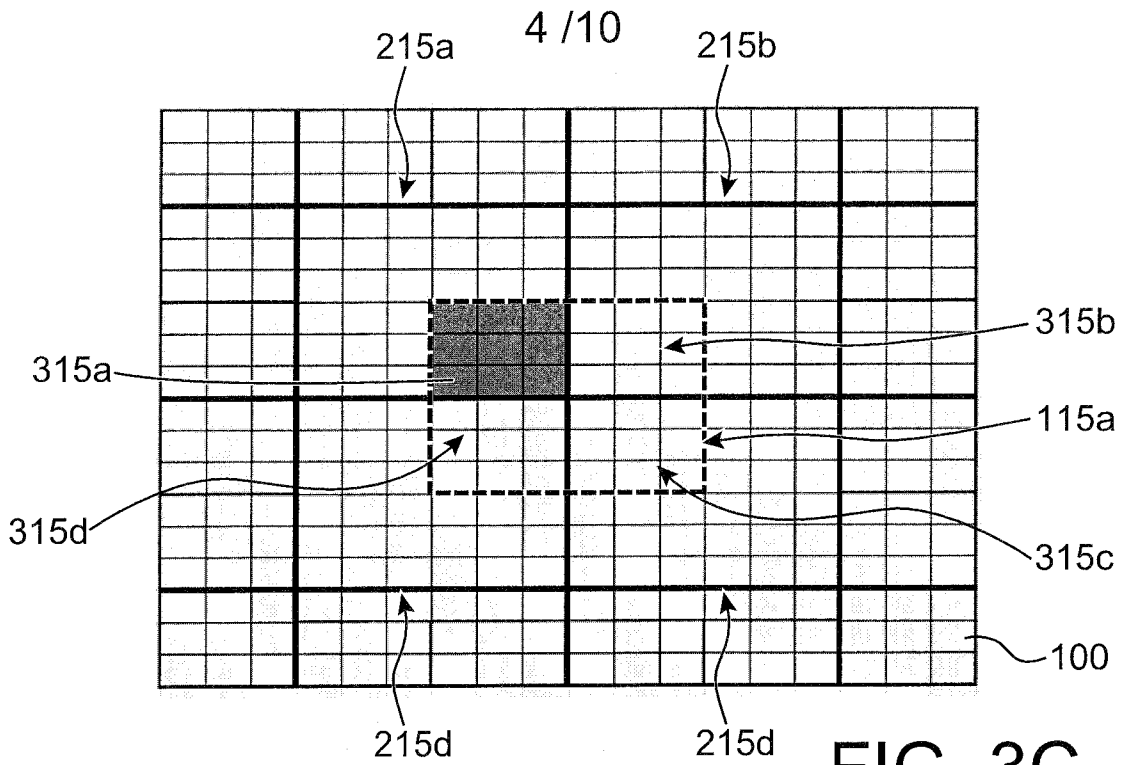


FIG. 2





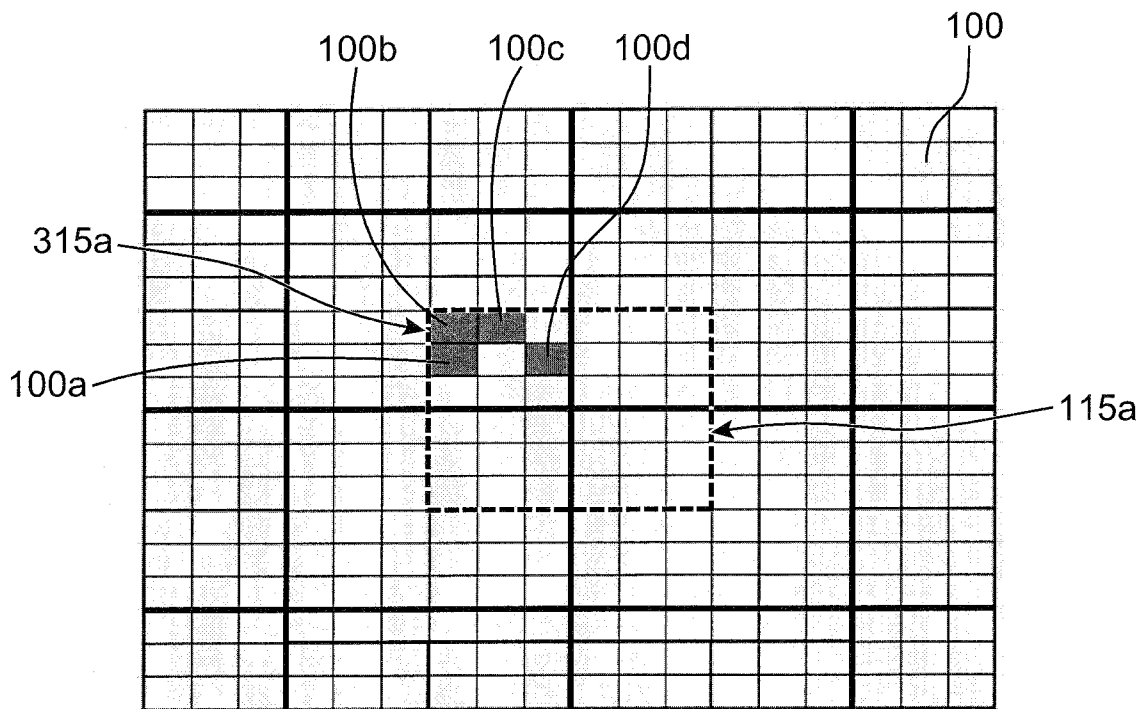
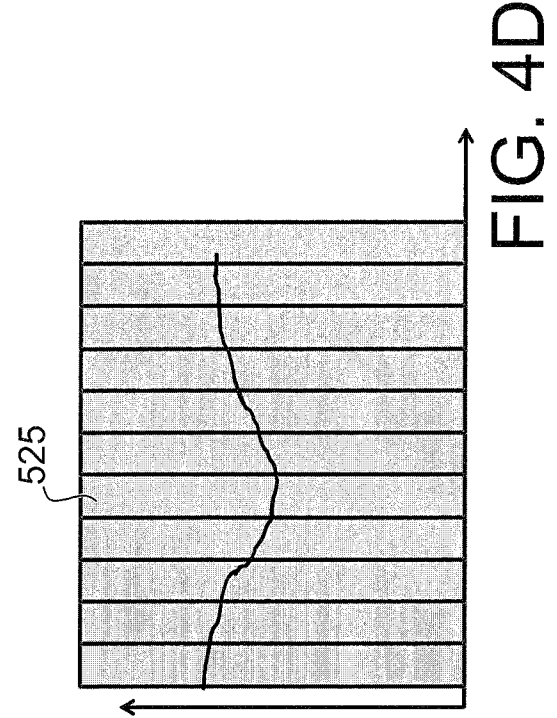
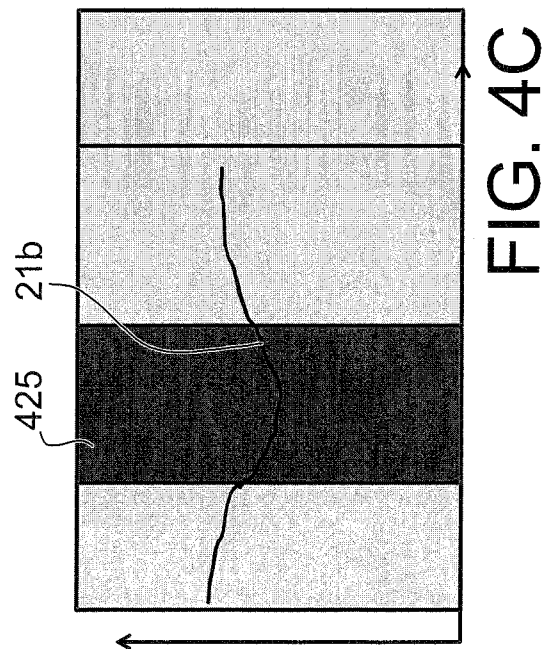
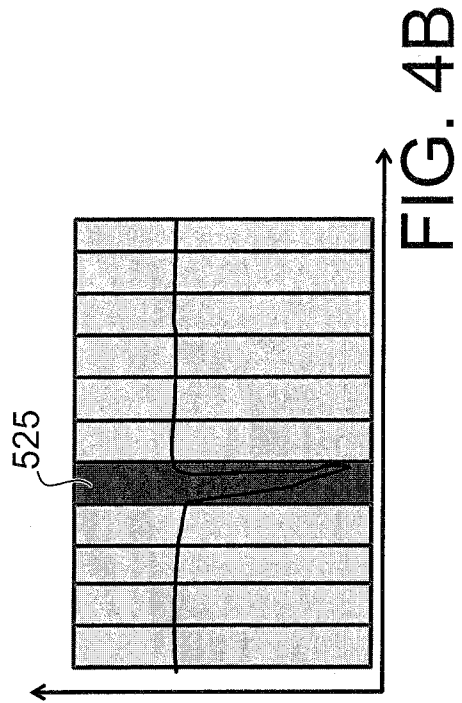
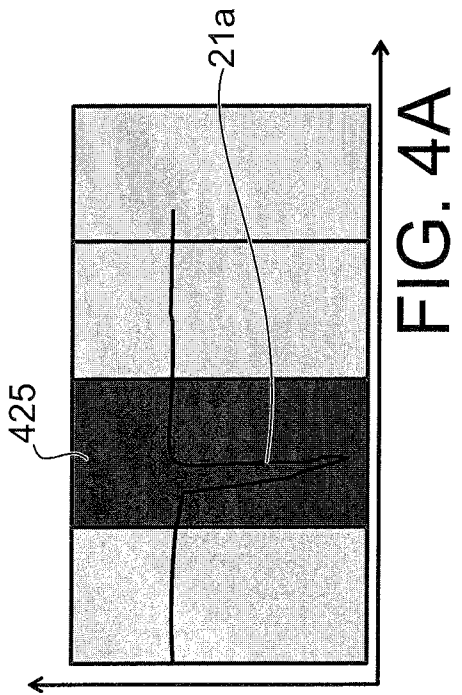


FIG. 3E



7 / 10

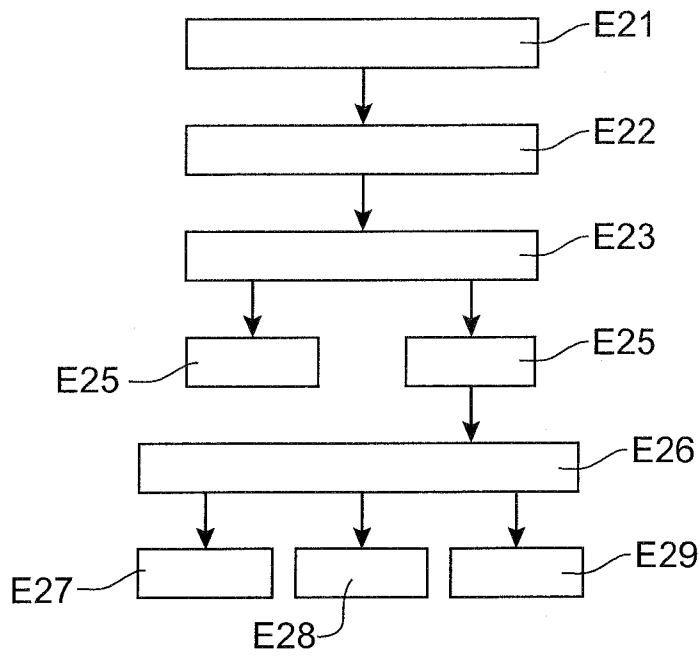


FIG. 5

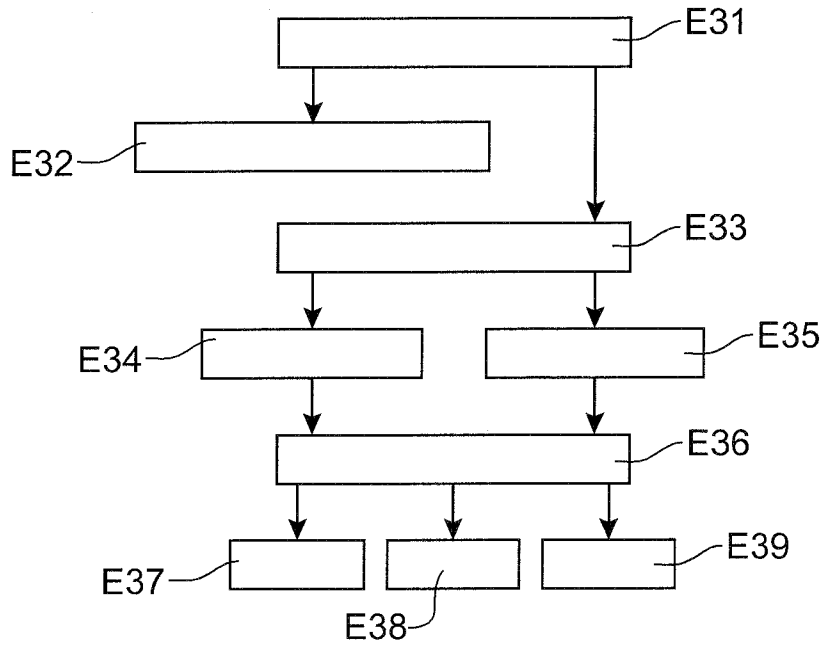


FIG. 6

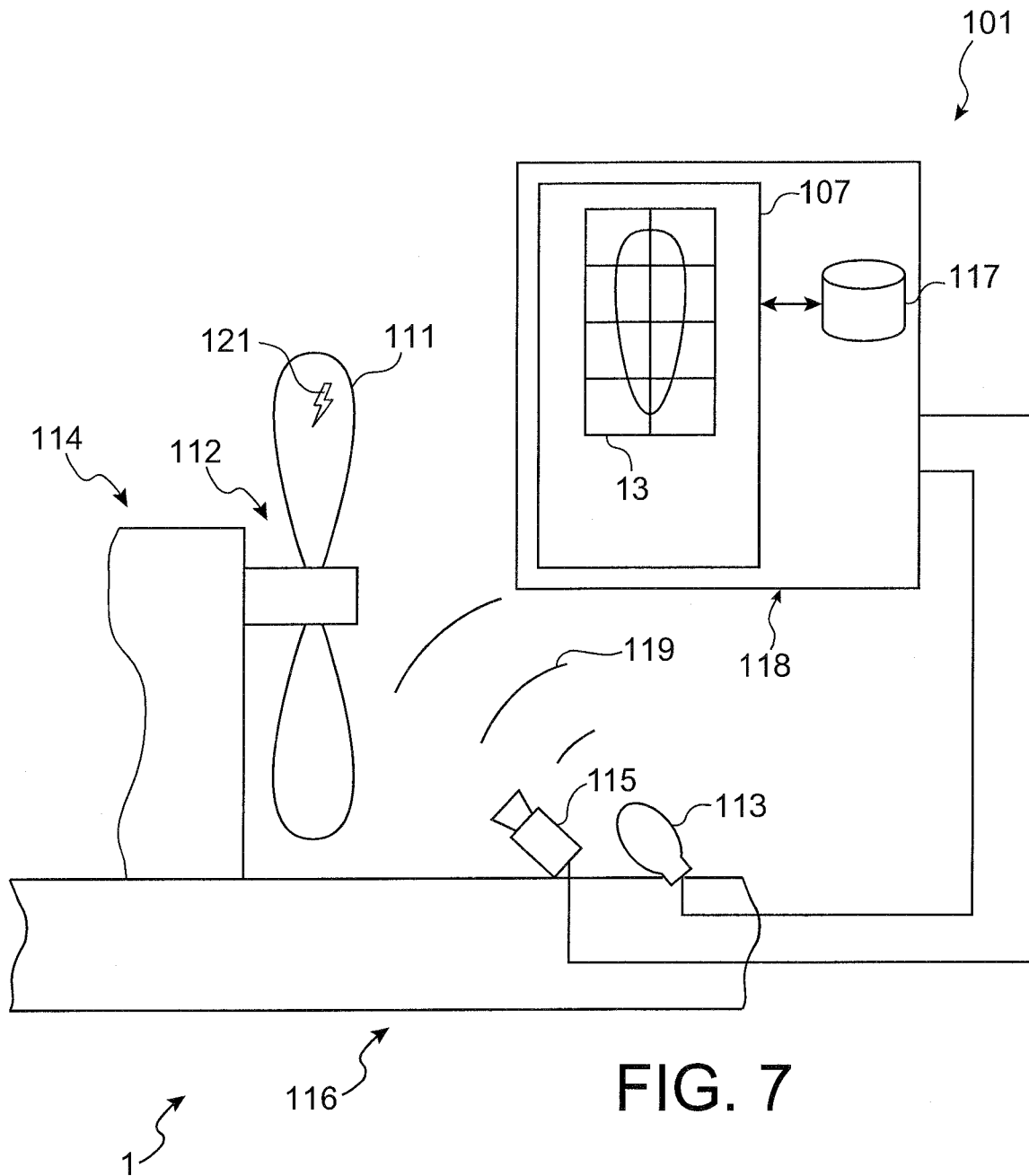
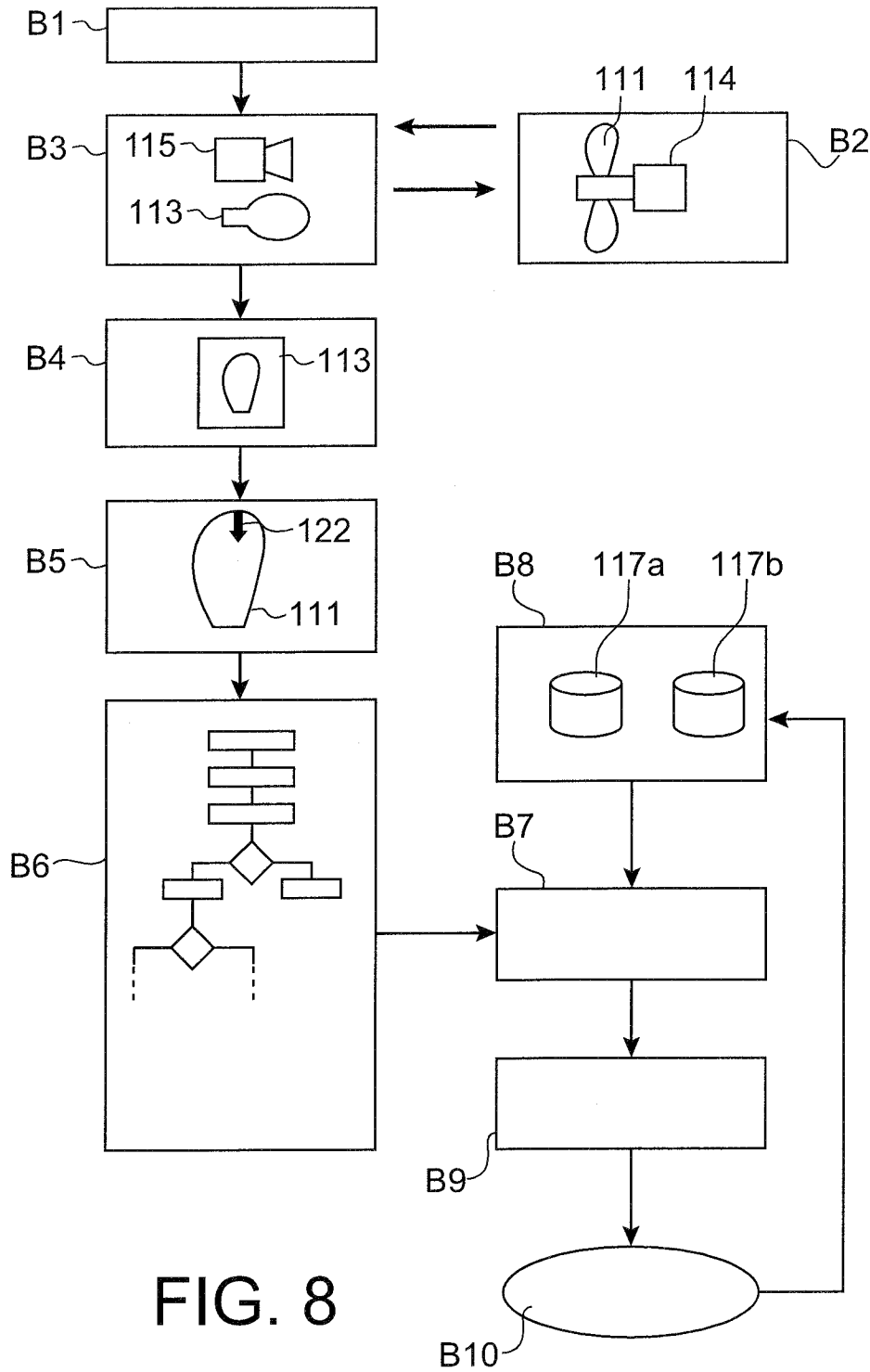


FIG. 7



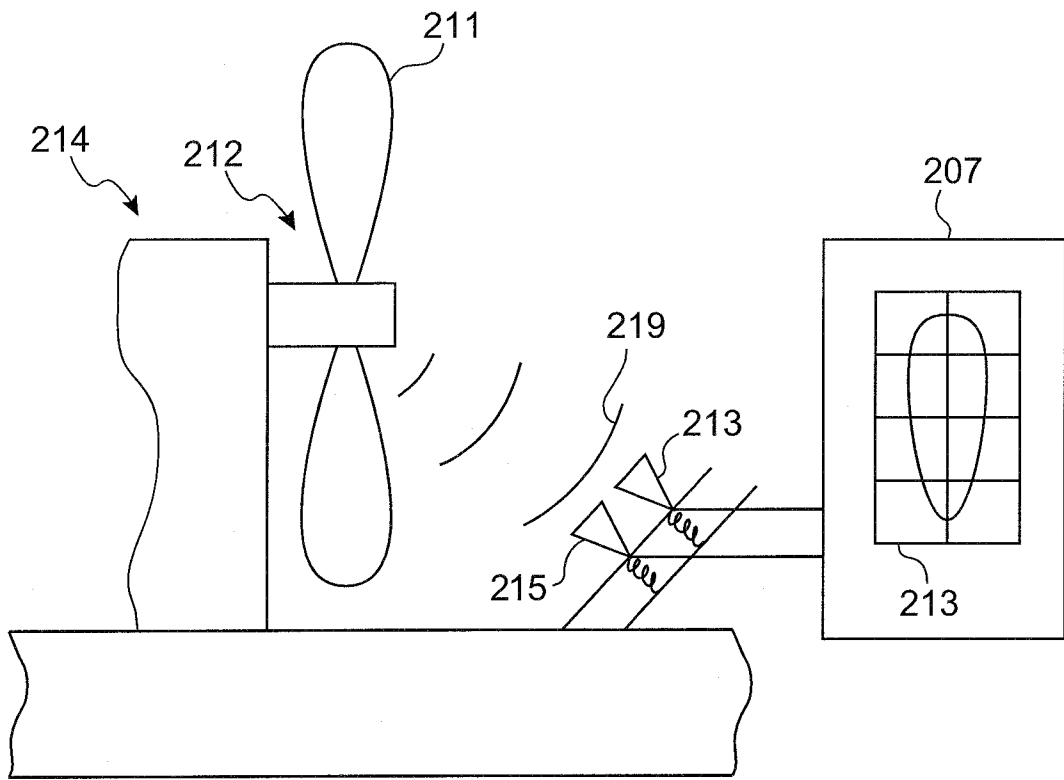


FIG. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/FR2014/050730

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. G01N25/72 G01N29/44 G06T7/00  
ADD.  
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED  
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
G01N B64D G06T  
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 245 424 A (YOSHIDA HAJIME [JP]) 14 September 1993 (1993-09-14)	1-3,10
Y	abstract column 3, lines 22-33 column 4, lines 24-44	4-9,11, 12
X	DE 10 2010 032241 A1 (SMARTVISION GMBH [DE]) 26 January 2012 (2012-01-26) paragraphs [0001], [0008], [0053], [0057], [0059]	1,10
X	US 6 512 843 B1 (KUWABARA MASAYUKI [JP]) 28 January 2003 (2003-01-28) abstract column 2, lines 54-59 column 3, lines 15-25 column 5, lines 2-4	1
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  2 July 2014	Date of mailing of the international search report  10/07/2014
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Filipas, Alin

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/FR2014/050730

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2008/000299 A1 (GEORGESON GARY E [US]) 3 January 2008 (2008-01-03) abstract; figures 14-16 paragraphs [0002], [0010], [0037], [0041], [0043], [0048], [0052], [0054], [0057], [0061] -----	1,9,10, 12
Y	US 2011/222754 A1 (ZHAO FEI [US] ET AL) 15 September 2011 (2011-09-15) paragraphs [0002], [0018], [0025], [0027] -----	4,5,7-9, 11,12
Y	FR 2 815 123 A1 (SNECMA MOTEURS [FR]) 12 April 2002 (2002-04-12) abstract -----	6
A		7,10,12
A	US 2007/250245 A1 (VAN DER MERWE GERT J [US] ET AL) 25 October 2007 (2007-10-25) paragraphs [0001], [0007], [0034], [0036] -----	7,10
A	GB 2 161 602 A (ATOMIC ENERGY AUTHORITY UK) 15 January 1986 (1986-01-15) abstract page 2, lines 112-128 -----	1,9,10, 12
A	US 2006/151703 A1 (RAULERSON DAVID [US] ET AL) 13 July 2006 (2006-07-13) abstract paragraphs [0003], [0007], [0020] -----	10

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2014/050730

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5245424	A	14-09-1993	DE 4201935 A1 30-07-1992
			GB 2252624 A 12-08-1992
			JP H0739999 B2 01-05-1995
			JP H04240557 A 27-08-1992
			US 5245424 A 14-09-1993
-----			
DE 102010032241	A1	26-01-2012	NONE
-----			
US 6512843	B1	28-01-2003	JP 3693508 B2 07-09-2005
			JP 2000131240 A 12-05-2000
			US 6512843 B1 28-01-2003
-----			
US 2008000299	A1	03-01-2008	EP 1873519 A2 02-01-2008
			US 2008000299 A1 03-01-2008
-----			
US 2011222754	A1	15-09-2011	NONE
-----			
FR 2815123	A1	12-04-2002	CA 2358645 A1 10-04-2002
			EP 1205749 A1 15-05-2002
			FR 2815123 A1 12-04-2002
			JP 4080719 B2 23-04-2008
			JP 2002195917 A 10-07-2002
			NO 20014910 A 11-04-2002
			US 2002059831 A1 23-05-2002
-----			
US 2007250245	A1	25-10-2007	DE 102007018374 A1 25-10-2007
			GB 2437391 A 24-10-2007
			JP 5026845 B2 19-09-2012
			JP 2007292069 A 08-11-2007
			US 2007250245 A1 25-10-2007
-----			
GB 2161602	A	15-01-1986	NONE
-----			
US 2006151703	A1	13-07-2006	EP 1475629 A1 10-11-2004
			JP 2004333496 A 25-11-2004
			KR 20040094311 A 09-11-2004
			SG 115675 A1 28-10-2005
			US 2004217289 A1 04-11-2004
			US 2006151703 A1 13-07-2006
-----			

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2014/050730

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> INV. G01N25/72 G01N29/44 G06T7/00 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
<b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b> Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G01N B64D G06T		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 5 245 424 A (YOSHIDA HAJIME [JP]) 14 septembre 1993 (1993-09-14)	1-3,10
Y	abrégé colonne 3, ligne 22-33 colonne 4, ligne 24-44	4-9,11, 12
X	----- DE 10 2010 032241 A1 (SMARTVISION GMBH [DE]) 26 janvier 2012 (2012-01-26) alinéas [0001], [0008], [0053], [0057], [0059]	1,10
X	----- US 6 512 843 B1 (KUWABARA MASAYUKI [JP]) 28 janvier 2003 (2003-01-28) abrégé colonne 2, ligne 54-59 colonne 3, ligne 15-25 colonne 5, ligne 2-4 -----	1
	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée		"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée  2 juillet 2014		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale  10/07/2014
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé  Filipas, Alin

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2008/000299 A1 (GEORGESON GARY E [US]) 3 janvier 2008 (2008-01-03) abrégé; figures 14-16 alinéas [0002], [0010], [0037], [0041], [0043], [0048], [0052], [0054], [0057], [0061] -----	1,9,10, 12
Y	US 2011/222754 A1 (ZHAO FEI [US] ET AL) 15 septembre 2011 (2011-09-15) alinéas [0002], [0018], [0025], [0027] -----	4,5,7-9, 11,12
Y	FR 2 815 123 A1 (SNECMA MOTEURS [FR]) 12 avril 2002 (2002-04-12) abrégé -----	6
A		7,10,12
A	US 2007/250245 A1 (VAN DER MERWE GERT J [US] ET AL) 25 octobre 2007 (2007-10-25) alinéas [0001], [0007], [0034], [0036] -----	7,10
A	GB 2 161 602 A (ATOMIC ENERGY AUTHORITY UK) 15 janvier 1986 (1986-01-15) abrégé page 2, ligne 112-128 -----	1,9,10, 12
A	US 2006/151703 A1 (RAULERSON DAVID [US] ET AL) 13 juillet 2006 (2006-07-13) abrégé alinéas [0003], [0007], [0020] -----	10

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2014/050730

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5245424	A	14-09-1993	DE 4201935 A1 30-07-1992
			GB 2252624 A 12-08-1992
			JP H0739999 B2 01-05-1995
			JP H04240557 A 27-08-1992
			US 5245424 A 14-09-1993
-----			
DE 102010032241	A1	26-01-2012	AUCUN
-----			
US 6512843	B1	28-01-2003	JP 3693508 B2 07-09-2005
			JP 2000131240 A 12-05-2000
			US 6512843 B1 28-01-2003
-----			
US 2008000299	A1	03-01-2008	EP 1873519 A2 02-01-2008
			US 2008000299 A1 03-01-2008
-----			
US 2011222754	A1	15-09-2011	AUCUN
-----			
FR 2815123	A1	12-04-2002	CA 2358645 A1 10-04-2002
			EP 1205749 A1 15-05-2002
			FR 2815123 A1 12-04-2002
			JP 4080719 B2 23-04-2008
			JP 2002195917 A 10-07-2002
			NO 20014910 A 11-04-2002
			US 2002059831 A1 23-05-2002
-----			
US 2007250245	A1	25-10-2007	DE 102007018374 A1 25-10-2007
			GB 2437391 A 24-10-2007
			JP 5026845 B2 19-09-2012
			JP 2007292069 A 08-11-2007
			US 2007250245 A1 25-10-2007
-----			
GB 2161602	A	15-01-1986	AUCUN
-----			
US 2006151703	A1	13-07-2006	EP 1475629 A1 10-11-2004
			JP 2004333496 A 25-11-2004
			KR 20040094311 A 09-11-2004
			SG 115675 A1 28-10-2005
			US 2004217289 A1 04-11-2004
			US 2006151703 A1 13-07-2006
-----			