

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
12 décembre 2024 (12.12.2024)



(10) Numéro de publication internationale
WO 2024/252083 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G06T 7/00 (2017.01) G06V 10/82 (2022.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2024/050687

(22) Date de dépôt international :
30 mai 2024 (30.05.2024)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR2305806 08 juin 2023 (08.06.2023) FR

(71) Déposant : **SAFRAN** [FR/FR] ; 2 boulevard du Général
Martial Valin, 75015 PARIS (FR).

(72) Inventeurs : **VANDONI, Jennifer** ; Safran, c/o Centre
d'Excellence Propriété Intellectuelle, Rond-point René Ra-
vaud, Réau, 77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR). **MARI-
NO, Sofia** ; Safran, c/o Centre d'Excellence Propriété Intel-
lectuelle, Rond-point René Ravaud, Réau, 77550 MOISSY-
CRAMAYEL (FR).

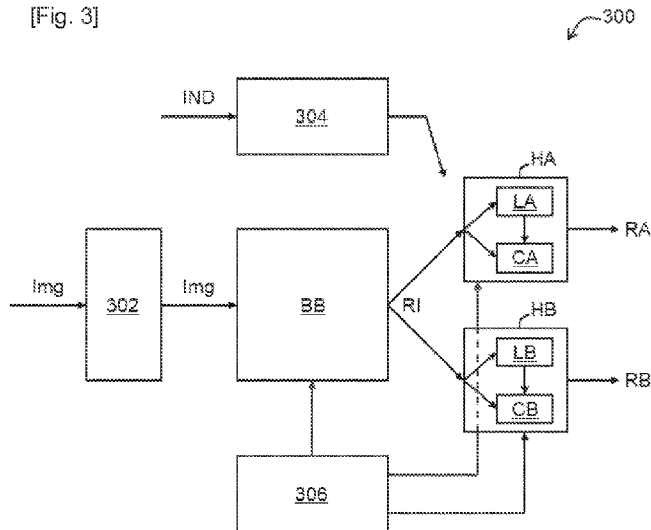
(74) Mandataire : **BARBE, Laurent** et al. ; GEVERS & ORES,
Immeuble Palatin 2, 3 cours du Triangle, CS 80165, 92939
PARIS LA DEFENSE CEDEX (FR).

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) Title: ANOMALY DETECTION IN AN AERONAUTICAL PART

(54) Titre : DETECTION D'ANOMALIE DANS UNE PIECE AERONAUTIQUE

[Fig. 3]



(57) **Abstract:** The invention relates to a method for detecting an anomaly in a plurality of predefined zones of a single aeronautical component, the method comprising: - supplying an image to be inspected (Img) to a detection system (300) comprising a backbone neural network (BB) configured to supply an intermediate representation (RI) of the image to be inspected (Img), and localisation neural networks (LA, LB) that are respectively associated with the zones and each designed, on the basis of the intermediate representation (RI), to search for one or more anomalies and to locate each anomaly found in the image to be inspected (Img); the detection system (300) having been previously trained, for each zone, by a step of supplying, to the backbone network (BB), training images, and, on the basis of the training images of the relevant zone, an adaptive adjustment step during which parameters of the backbone network

MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (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, ME, 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))

(BB) and of the localisation network (LA, LB) that is associated with the relevant zone are adjusted without adjusting the parameters of the one or more other localisation networks (S, LB); and - obtaining the one or more anomalies and their location as output from the localisation network (LA, LB) associated with the zone of the image to be inspected (Img).

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de détection d'anomalie dans plusieurs zones prédéfinies d'une même pièce aéronautique, comportant : - la fourniture d'une image à inspecter (Img) à un système de détection (300) comportant un réseau de neurones dorsal (BB) conçu pour fournir une représentation intermédiaire (RI) de l'image à inspecter (Img), et des réseaux de neurones de localisation (LA, LB), respectivement associés aux zones, et chacun conçu, à partir de la représentation intermédiaire (RI), pour rechercher une ou plusieurs anomalies et localiser chaque anomalie trouvée dans l'image à inspecter (Img); le système de détection (300) ayant été préalablement entraîné, pour chaque zone, par une fourniture, au réseau dorsal (BB), d'images d'entraînement, et à partir des images d'entraînement de la zone considérée, un ajustement adaptatif au cours duquel des paramètres du réseau dorsal (BB) et du réseau de localisation (LA, LB) associé à la zone considérée sont ajustés, mais pas des paramètres du ou des autres réseaux de localisation (LA, LB); et - une obtention de la ou des anomalies et de leur localisation en sortie du réseau de localisation (LA, LB) associé à la zone de l'image à inspecter (Img).

Description

TITRE : DETECTION D'ANOMALIE DANS UNE PIECE AERONAUTIQUE

Domaine technique de l'invention

[0001] La présente invention concerne un procédé de détection d'anomalie dans
5 plusieurs zones prédéfinies de pièce, un programme d'ordinateur associé, ainsi qu'un dispositif de détection d'anomalie.

[0002] La présente invention concerne en particulier le domaine du contrôle non destructif de pièces, en particulier de pièces aéronautiques.

Arrière-plan technologique

10 [0003] Dans la demande de brevet américain publiée sous le numéro US 2011 0182495 A1, des descripteurs classiques caractérisant la texture de la pièce (analyse en ondelette) sont utilisés, et une valeur de déviation de l'image est calculée par rapport à une image avec texture de référence de la pièce saine, pour
15 détecter les éventuelles anomalies sans aucune méthode statistique. Cette approche présente néanmoins des limitations car elle nécessite d'obtenir une texture de référence, ce qui peut être difficile à cause de la complexité et de l'hétérogénéité de la géométrie de la pièce elle-même. Ainsi, pour traiter différentes zones de la pièce, il faudrait établir des modèles mathématiques différents avec différentes textures pour les différentes zones.

20 [0004] Dans le brevet américain publié sous le numéro US 8,238,635 B2, une comparaison d'une image test avec une image de référence saine (cette-ci éventuellement obtenue en moyennant plusieurs images saines) est réalisée. Un recalage élastique ou rigide pour superposer les deux images et pour calculer l'image de résidu (soustraction des deux images recalées) est effectué préalablement. Cette
25 solution présente donc comme inconvénient de nécessiter un recalage, qui est une opération assez coûteuse en calcul. De plus, l'exploitation de l'image de résidu s'avère compliquée dès que les conditions d'acquisition (luminosité capteurs, ...) des images changent légèrement.

[0005] Dans la demande de brevet américain publiée sous le numéro
30 US 2009 0066939 A1, au lieu d'utiliser des apprentissages statistiques, des descripteurs sont conçus manuellement pour détecter chaque type de défauts recherchés, en exploitant par exemple la transformée de Hough pour la recherche de

droite, ou bien des filtres connectés pour le filtrage par forme. Cette approche n'est clairement pas optimale en présence d'anomalies et zones de la pièce très hétérogènes.

5 [0006] Dans la demande de brevet français publié sous le numéro FR 3 058 816, un apprentissage statistique automatique est proposé. D'abord, l'image acquise à l'aide d'un générateur de rayons X est préalablement découpée en plusieurs imagerie. Ensuite, les imagerie sont classées automatiquement avec un label représentatif de la présence d'anomalies dans l'imagerie. Cette solution présente comme inconvénient de nécessiter un découpage préalable des images en petites imagerie, puis une reconstruction. En outre, cette solution ne permet pas de localiser
10 précisément les anomalies.

[0007] Il peut ainsi être souhaité de prévoir un procédé de détection d'anomalie qui permette de s'affranchir d'au moins une partie des problèmes et contraintes précités.

Résumé de l'invention

15 [0008] Il est donc proposé un procédé de détection d'anomalie dans plusieurs zones prédéfinies d'une même pièce telle qu'une aube, les zones ayant des structures différentes telles que des géométries différentes et/ou des matériaux différents et/ou des épaisseurs différentes et/ou la présence ou l'absence d'une cavité et/ou des cavités de tailles différentes, chaque zone étant associée à au moins une vue
20 prédéfinie de cette zone, caractérisé en ce qu'il comporte :

- une obtention d'une image, dite à inspecter, d'une des zones selon une des vues prédéfinies de cette zone ;
- la fourniture de l'image à inspecter à un système de détection comportant :
25
 - un réseau de neurones dorsal conçu pour recevoir l'image à inspecter et pour fournir une représentation intermédiaire de l'image à inspecter, et
 - des réseaux de neurones de localisation, respectivement associés aux zones, et chacun conçu, à partir de la représentation
30 intermédiaire, pour rechercher une ou plusieurs anomalies et localiser chaque anomalie trouvée dans l'image à inspecter ;

le système de détection ayant été préalablement entraîné, pour chaque zone, par : une fourniture, au réseau dorsal, d'images d'entraînement selon chaque vue prédéfinie de la zone considérée, et, à partir des images d'entraînement de la zone

considérée, un ajustement adaptatif a cours duquel des paramètres du réseau dorsal et du réseau de localisation associé à la zone considérée sont ajustés, mais pas des paramètres du ou des autres réseaux de localisation, pour améliorer la détection et la localisation ; et

- 5 - une obtention de la ou des anomalies et de leur localisation en sortie du réseau de localisation associé à la zone de l'image à inspecter.

[0009] Ainsi, par rapport à la demande de brevet américain US 2011 0182495 A1, l'invention ne nécessite qu'un seul système de détection entraîné (avec les réseaux de localisation respectivement dédiés aux zones), ce qui évite d'établir plusieurs
10 modèles mathématiques. Par rapport au brevet américain US 8,238,635 B2, l'invention ne nécessite pas de comparer l'image à tester avec une image de référence pour calculer l'image de résidu, puisqu'une fois le dispositif de détection entraîné, il suffit de lui fournir l'image à tester. Par rapport, à la demande de brevet américain US 2009 0066939 A1, l'invention utilise des réseaux de neurones
15 permettant d'éviter la définition manuelle de descripteurs. Par rapport, à la demande de brevet français FR 3 058 816, le dispositif de détection reçoit et traite l'image à tester dans son intégralité, et ne nécessite donc pas d'étape de découpage de l'image à tester.

[0010] L'invention peut en outre comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques
20 additionnelles suivantes, selon toute combinaison techniquement possible.

[0011] De façon pratique, chaque réseau de localisation est associé à plusieurs boîtes de référence et chaque réseau de localisation est conçu pour fournir, d'une part, une position, dans l'image à inspecter, d'une des boîtes de référence de la zone représentée sur l'image à inspecter et, d'autre part, une probabilité de présence
25 d'anomalie dans la boîte de référence à cette position.

[0012] Ainsi, une localisation plus précise qu'avec les réseaux de l'état de la technique évoqués plus haut peut être obtenue. En effet, ces réseaux de l'état de la technique sont des réseaux de classification utilisant des cartes d'activation de zones de neurones, ces zones de neurones étant respectivement associées à des parties
30 très générale de l'image. Ainsi, ils ne permettent une localisation que dans ces parties générales, ce qui est beaucoup moins précis que l'utilisation de boîtes.

[0013] De façon pratique également, les boîtes de référence sont différentes pour au moins un des réseaux de localisation par rapport au(x) autre(s) réseau(x) de localisation, par exemple en nombre et/ou en dimension.

[0014] De façon pratique également, le procédé comporte en outre, pour chaque zone : - une détermination, dans les images d'entraînement représentant la zone considérée, de boîtes entourant chaque anomalie préalablement trouvée dans les images d'entraînement ; - un partitionnement des boîtes en plusieurs groupes de boîtes similaires ; et - pour chaque groupe trouvé, une détermination d'une boîte de référence à partir des boîtes du groupe.

[0015] De façon pratique également, la boîte de référence déterminée a des dimensions dérivées de dimensions des boîtes du groupe.

[0016] De façon pratique également, le procédé comporte en outre, pour chaque zone prédéfinie, un réseau de classification conçu pour classer, dans des classes prédéfinies, les anomalies trouvées par le réseau de localisation associé à la zone considérée.

[0017] De façon pratique également, la pièce est une aube comportant un pied et une pale, et dans lequel les zones prédéfinies sont formées du pied et de la pale.

[0018] De façon pratique également, la pale présente une ou plusieurs cavités définissant un certain pourcentage de vide par rapport au volume total de la pale, ce pourcentage de vide étant supérieure à celui du pied, le pourcentage de vide du pied pouvant être nul signifiant l'absence de cavité.

[0019] De façon pratique également, la pale et le pied présentent des épaisseurs différentes.

[0020] Il est également proposé un programme d'ordinateur téléchargeable depuis un réseau de communication et/ou enregistré sur un support lisible par ordinateur, caractérisé en ce qu'il comprend des instructions pour l'exécution des étapes d'un procédé de détection d'anomalie selon l'invention, lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur.

[0021] Il est également proposé un système de détection d'anomalie caractérisé en ce qu'il comporte :

- un réseau de neurones dorsal conçu pour recevoir une image à inspecter et pour fournir une représentation intermédiaire de l'image à inspecter, et
- des réseaux de neurones de localisation respectivement associés à des zones prédéfinies d'une même pièce telle qu'une aube, chaque zone étant associée à au moins une vue prédéfinie de cette zone, les zones ayant des structures différentes telles que des géométries différentes

- et/ou des matériaux différentes et/ou des épaisseurs différentes et/ou la présence ou l'absence d'une cavité et/ou des cavités de tailles différentes, et chacun conçu, à partir de la représentation intermédiaire, pour rechercher une ou plusieurs anomalies et localiser chaque anomalie
- 5 trouvée dans l'image à inspecter ;
- le dispositif de détection ayant été préalablement entraîné, pour chaque zone, par :
- une fourniture, au réseau dorsal, d'images d'entraînement selon chaque vue prédéfinie de la zone considérée, et
 - à partir des images d'entraînement de la zone considérée, un ajustement
- 10 adaptatif au cours duquel des paramètres du réseau dorsal et du réseau de localisation associé à la zone considérée sont ajustés, mais pas des paramètres du ou des autres réseaux de localisation, pour améliorer la détection et la localisation.

Brève description des figures

- 15 [0022] L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés dans lesquels :
- la figure 1 est une vue en perspective d'une aube pouvant former une pièce à inspecter,
 - 20 - la figure 2 est une vue en perspective d'un système d'acquisition d'image de pièces à inspecter,
 - la figure 3 est un schéma fonctionnel d'un dispositif de détection d'anomalie dans une pièce à inspecter,
 - la figure 4 est un schéma blocs d'un procédé de détection d'anomalie
 - 25 dans une pièce à inspecter,
 - la figure 5 est similaire à la figure 1, et illustre en outre deux zones de l'aube, à savoir un pied et une pale,
 - la figure 6 regroupe un exemple d'images d'entraînement pour entraîner le dispositif de détection d'anomalie,
 - 30 - la figure 7 illustre les images d'entraînement de la figure 6, après annotation pour définir des boîtes entourant respectivement des anomalies,

- la figure 8 est un graphe illustrant, pour chacune des deux zones de l'aube, les dimensions des boîtes des images d'entraînement, ainsi que des boîtes de référence déterminées par partitionnement,
- la figure 9 illustre un exemple de répartition des images d'entraînement en deux lots,
- la figure 10 est similaire à la figure 3 et illustre le fonctionnement du dispositif de détection pendant une phase apprentissage à partir des images d'entraînement du premier lot de la figure 9 illustrant la première zone,
- la figure 11 est similaire à la figure 3 et illustre le fonctionnement du dispositif de détection pendant une phase apprentissage à partir des images d'entraînement du premier lot de la figure 9 illustrant la deuxième,
- la figure 12 est similaire à la figure 3, et illustre le fonctionnement du dispositif de détection pendant une phase d'apprentissage,
- la figure 13 est une image d'une zone d'une aube à inspecter,
- la figure 14 est similaire à la figure 3 et illustre le fonctionnement du dispositif de détection pendant une phase de prédiction sur l'image de la figure 13, et
- la figure 15 est un schéma fonctionnel d'un système informatique implémentant le dispositif de détection de la figure 3.

Description détaillée de l'invention

[0023] En référence à la figure 1, une aube 100 pouvant former une pièce à inspecter conformément à l'invention, comporte un pied 102 et une pale 104. L'aube 100 appartient par exemple à une soufflante d'une turbomachine d'un aéronef.

[0024] En référence à la figure 2, un exemple de système 200 d'acquisition d'image d'une pièce 202, telle que l'aube 100 de la figure 1, va à présent être décrit.

[0025] Le système d'acquisition 200 comporte tout d'abord un générateur 204 de rayon X conçu pour générer un cône de rayons X bombardant la pièce 202. Le système d'acquisition 200 peut en outre comporter un collimateur 203 fixé en sortie du générateur 204 pour limiter le cône de rayons X. Ainsi, il y a moins de dispersion de rayons X susceptible d'entraîner une diffusion. Le système d'acquisition 200 comporte en outre un détecteur 206 placé derrière la pièce 202 et conçu pour

déterminer une atténuation des rayons X, afin de fournir une image bidimensionnelle, parfois appelée « projection ». Cette image est par exemple en niveaux de gris proportionnels à l'atténuation des rayons X traversant la pièce 202.

5 [0026] En référence à la figure 3, un exemple de système 300 de détection d'anomalie dans une pièce, telle que l'aube 100 de la figure 1, va à présent être décrit.

[0027] Le système de détection 300 peut tout d'abord comporter un module 302 de traitement d'image. Ce dernier est conçu pour recevoir une image à inspecter *Img* et pour éventuellement réaliser un ou plusieurs traitements d'image dessus. L'image
10 traitée sera par la suite également appelée image à inspecter et désignée par la même référence *Img*. L'image à inspecter *Img* représente l'une de *Z* zones de pièce prédéfinies. La définition de ces zones sera décrite plus loin plus en détail.

[0028] Un premier traitement possible est un filtrage conçu pour rehausser les motifs caractéristiques des anomalies et de réduire le bruit de l'image.

15 [0029] Un deuxième traitement possible est un masquage autour d'une région d'intérêt de l'image. Ce masquage est par exemple réalisé par une détection automatisée de l'air et du collimateur 203, par exemple en calculant automatiquement un seuil optimal de niveau gris permettant de séparer la pièce de l'air et du collimateur 203.

20 [0030] Une troisième opération possible est une normalisation des données afin de faciliter et obtenir une convergence plus rapide de l'apprentissage qui sera décrit plus loin. Par exemple, la normalisation est réalisée pour obtenir une moyenne de 0 et un écart type de 1 des niveaux de gris de l'image à inspecter.

[0031] Le système de détection 300 comporte en outre un réseau de neurones
25 convolutif dit dorsal BB. Ce dernier est conçu pour recevoir l'image à inspecter *Img* (après traitement dans le cas où un ou plusieurs traitements d'image sont prévus) et pour fournir une représentation intermédiaire RI de l'image à inspecter *Img*.

[0032] Le système de détection 300 comporte en outre des têtes H_z ($1 \leq z \leq Z$), respectivement associées aux zones *z*.

30 [0033] Chaque tête H_z comporte un réseau de neurones de localisation L_z , conçu, à partir de la représentation intermédiaire RI, pour rechercher une ou plusieurs anomalies et localiser chaque anomalie trouvée dans l'image à inspecter *Img*, lorsque cette dernière représente la zone *z* associée.

[0034] Chaque tête Hz peut en outre comporter un réseau de neurones de classification Cz, conçu, à partir de la représentation intermédiaire RI, pour classer chaque anomalie trouvée par le réseau de localisation Lz.

5 [0035] Chaque tête Hz est ainsi conçue pour fournir un résultat de prédiction Rz comportant la localisation déterminée par le réseau de localisation Lz et, le cas échéant, la classification déterminée par le réseau de classification Cz.

[0036] Le système de détection 300 peut en outre comporter un module de sélection 304, mais cela n'est pas obligatoire. Ce dernier est alors conçu pour recevoir une indication IND de la zone z que l'image à inspecter lmg représente et pour désactiver
10 la ou les têtes associées à des zones autres que celle indiquée par l'indication IND reçue.

[0037] Le système de détection 300 comporte en outre un module d'entraînement 306 conçu pour ajuster des paramètres ϑ_{BB} du réseau dorsal BB et, pour chaque tête Hz, des paramètres ϑ_{Lz} du réseau de localisation Lz et, le cas échéant, des
15 paramètres ϑ_{Cz} du réseau de classification Cz. Cet ajustement est réalisé lors d'une phase d'apprentissage qui sera décrite par la suite.

[0038] En référence à la figure 4, un procédé 400 de détection d'anomalie selon l'invention, va à présent être décrit.

[0039] Le procédé 400 comporte tout d'abord la phase d'apprentissage mentionnée
20 plus haut, qui comporte les étapes suivantes.

[0040] Au cours d'une étape 402, les zones z sont définies. Une zone z est une partie de pièce, en particulier une partie homogène, par exemple avec une géométrie et/ou un matériau particulier.

[0041] Les zones z sont des zones d'une même pièce, par exemple d'une aube
25 comme celle de la figure 1. Dans ce dernier cas, une première zone z = A peut être le pied de l'aube et une deuxième zone z = B peut être la pale de l'aube, comme illustré sur la figure 5. Le choix des différentes zones z est par exemple fait en tenant compte de l'hétérogénéité de la pièce à inspecter, c'est-à-dire des spécificités géométriques et physiques liées aux différentes zones de la pièce. Les zones z ont
30 ainsi des structures différentes. Par « structures différentes », on entend par exemple : des géométries différentes et/ou des matériaux différents et/ou des épaisseurs différentes et/ou la présence ou l'absence d'une cavité et/ou des cavités de tailles différentes. Par exemple, un pied d'aube présente généralement peu de

cavité, au contraire de la pale. La pale présente ainsi un certain pourcentage de vide par rapport à son volume total du fait de la présence d'une ou plusieurs cavités. Le pied présente lui aussi un certain pourcentage de vide par rapport à son volume total (pouvant être nul en l'absence de cavité). Le pourcentage de vide dans la pale est
5 alors supérieur au pourcentage de vide dans le pied, par exemple supérieur d'au moins 10%.

[0042] Au cours d'une étape 404, pour chaque zone z, une ou plusieurs vues de la zone z considérée sont définies. Par la suite, il sera considéré qu'une seule vue est définie pour chaque zone z.

10 [0043] Au cours d'une étape 406, des images d'entraînement I^* sont obtenues. Ces images d'entraînement I^* sont issues de plusieurs pièces d'entraînement, pour chaque vue de chaque zone z.

[0044] Par exemple, le système d'acquisition 200 est utilisé pour acquérir les images d'entraînement I^* . Chaque image d'entraînement I^* est de préférence obtenue à
15 partir de plusieurs projections d'une même pièce, selon une même vue, par exemple en moyennant ces projections. Cela permet de diminuer le bruit d'acquisition.

[0045] Sur la figure 6, un exemple d'images d'entraînement I^*_{A1} , I^*_{A2} , I^*_{A3} , I^*_{B1} , I^*_{B2} , I^*_{B3} est illustré, avec les zones $z = A$ et $z = B$ de la figure 5. Les parties hachurées sur ces images d'entraînement I^*_{A1} , I^*_{A2} , I^*_{A3} , I^*_{B1} , I^*_{B2} , I^*_{B3} représentent des anomalies.
20 Bien sûr, en pratique, le nombre d'images d'entraînement I^* sera beaucoup plus élevé.

[0046] Au cours d'une étape 408, les images d'entraînement I^* peuvent être traitées par le module de traitement 302, afin de faciliter l'analyse par le dispositif de détection 300.

25 [0047] Au cours d'une étape 410, une ou plusieurs anomalies sont recherchées dans chaque image d'entraînement I^* et chaque anomalie trouvée est localisée. Cette étape est par exemple réalisée par un opérateur humain.

[0048] Par exemple, la localisation de chaque anomalie trouvée comporte une définition d'une boîte, dite boîte annotée BOI^* , qui est rectangulaire et englobe
30 l'anomalie trouvée. Cette définition comporte par exemple une hauteur et une largeur de la boîte annotée BOI^* , ainsi qu'une position de la boîte annotée BOI^* dans l'image d'entraînement I^* .

[0049] Chaque anomalie trouvée peut en outre par exemple être classée par l'opérateur humain selon une classification prédéfinie (par exemple : inclusion, surépaisseur, résidu, surépaisseur, ...).

5 [0050] Par exemple, en référence à la figure 7, l'opérateur humain définit les boîtes annotées BOI^*_{A2} , BOI^*_{A3} , BOI^*_{B1} , BOI^*_{B3} autour des anomalies des images d'entraînement I^*_{A2} , I^*_{A3} , I^*_{B1} , I^*_{B3} , respectivement.

10 [0051] Les images d'entraînement I^* sont de préférence représentatives de la variabilité des pièces à inspecter ainsi que des différentes zones homogènes de la pièce à inspecter. Le nombre d'images d'entraînement avec des anomalies doit être suffisant pour pouvoir apprendre au dispositif de détection 300 des caractéristiques représentatives de chaque anomalie.

15 [0052] Afin de créer de la diversité dans les images d'entraînement I^* , il est possible, au cours d'une étape 411, d'ajouter des transformations à au moins une partie des images d'entraînement I^* (par exemple, des rotations, un ajout de bruit ou de flou, une modification du contraste, un changement de la luminosité, un rognage, ...).

20 [0053] À l'issue de l'étape 410 et, le cas échéant de l'étape 411, une base de données d'apprentissage est ainsi obtenue comportant les images d'entraînement I^* et, pour chacune d'elles : une indication IND de la zone z représentée sur l'image d'entraînement et un résultat d'entraînement comportant, pour chaque anomalie trouvée, une localisation de cette anomalie avec éventuellement une classification de cette anomalie dans le cas où les anomalies sont classées. Comme expliqué précédemment, la localisation comporte par exemple une boîte annotée BOI^* englobant l'anomalie trouvée.

25 [0054] Au cours d'une étape 412 additionnelle, des boîtes de référence AN (généralement appelées « anchors » en anglais) sont déterminées pour chaque zone z . Les boîtes de référence sont de préférence différentes d'une zone z à l'autre. Chaque boîte de référence AN est caractérisée par ses dimensions, par exemple une hauteur et une largeur.

30 [0055] Pour déterminer les boîtes de référence AN, les dimensions des boîtes annotées BOI^* associées) au moins une partie des images d'entraînement I^* de chaque zone z sont par exemple partitionnées (de l'anglais « clustering ») pour obtenir un ou plusieurs groupes (« clusters » en anglais) de dimensions similaires des boîtes annotées BOI^* . Par exemple, un partitionnement par moyenne-K (de

l'anglais « K-means ») est réalisé. Une boîte de référence AN est alors associée à chacun des groupes trouvés, avec des dimensions dérivées des dimensions du groupe considéré, par exemple en prenant un centroïde du groupe considéré.

[0056] Par exemple, en référence à la figure 8 où la largeur de boîte est en abscisse et la hauteur de boîte en ordonnée, le partitionnement peut donner quatre groupes pour la zone A (pale d'aube), soit quatre boîtes de référence AN_{A1} , AN_{A2} , AN_{A3} , AN_{A4} , et trois groupes pour la zone B (pieds d'aube), soit trois boîtes de référence AN_{B1} , AN_{B2} , AN_{B3} .

[0057] Au cours d'une étape 414, le système de détection 300 est entraîné par apprentissage supervisé à partir des images d'entraînement I^* et des résultats d'entraînement associés. Pour cela, chaque image d'entraînement I^* est fournie au réseau dorsal BB et le module d'entraînement 306 ajuste les paramètres ϑ_{BB} du réseau dorsal BB et de la tête Hz associée à la zone z représentée sur l'image d'entraînement I^* considérée, pour améliorer la détection et la localisation dans cette zone z. En revanche, les paramètres de la ou des autres têtes ne sont pas ajustés à partir de l'image d'entraînement I^* considérée. Ainsi, les paramètres ϑ_{Lz} , ϑ_{Cz} des têtes Hz sont ajustés avec respectivement les images d'entraînement des zones z qui leur sont associées. Dit autrement, les autres têtes sont laissées inchangées.

[0058] L'entraînement vise par exemple tout d'abord à associer, à chaque boîte annotée BOI^* entourant une anomalie dans l'image d'entraînement I^* , une boîte de référence AN parmi celles associées à la zone z représentée dans l'image d'entraînement I^* et une position de cette boîte de référence AN, de sorte que la boîte de référence AN à cette position soit proche de la boîte annotée BOI^* . L'entraînement vise par exemple en outre à associer, à chaque boîte annotée BOI^* entourant une anomalie dans l'image d'entraînement I^* , une probabilité forte d'anomalie dans la boîte de référence AN repositionnée, ainsi que la classe d'anomalie annotée lorsque des classes sont utilisées.

[0059] Il sera apprécié qu'aucune fonction prédéfinie n'est prévue pour le réseau dorsal BB, ni aucune forme ou signification prédéfinie pour la représentation intermédiaire RI. C'est pendant l'entraînement que le réseau dorsal BB acquiert une certaine fonction, non explicitée. Dit autrement, la sortie du réseau dorsal BB forme une couche cachée du réseau complet (réseau dorsal BB et réseaux des têtes Hz) et la représentation intermédiaire RI, également appelée représentation cachée (de

l'anglais « hidden representation »), comporte des caractéristiques ou des concepts abstraits internes, que le réseau complet apprend au cours de son entraînement.

[0060] À la différence du procédé décrit dans la demande de brevet français publiée sous le numéro FR 3 058 816 A1, qui réalise un pavage de l'image pour travailler sur des imagettes, chaque image d'entraînement est fournie en entier au réseau dorsal BB. Cela est avantageux notamment en temps de calcul car un unique passage dans le système de détection 300 est suffisant pour obtenir une prédiction sur l'image d'entraînement complète. En plus, il n'est pas nécessaire de réaliser une étape de post-traitement pour assembler les prédictions obtenues sur chaque imagette.

[0061] Les paramètres sont par exemple ajustés de manière itérative, par exemple par lot (de l'anglais « batch ») d'images d'entraînement et l'ajustement des paramètres est par exemple réalisé par un algorithme de descente de gradient. Comme cela est connu en soi, un algorithme de descente de gradient permet de trouver le minimum de n'importe quelle fonction convexe en convergeant progressivement vers celle-ci.

[0062] Ainsi, dans le cas d'utilisation de lots, les images d'entraînement I^* sont réparties en lots K_j ($1 \leq j \leq J$), chaque lot K_j pouvant comporter des images d'entraînement de zones z différentes.

[0063] Les images d'entraînement I^* de chaque lot K_j sont alors successivement fournies en entrée du dispositif de détection 300 pour respectivement obtenir des résultats de prédiction R_j . Ces résultats de prédiction R_j sont comparés aux résultats d'entraînement des images d'entraînement du lot K_j . À partir de cette comparaison, une fonction de perte partielle de détection $\mathcal{J}_j^{Lz}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{Lz})$ et, le cas échéant, une fonction de perte partielle de classification $\mathcal{J}_j^{Cz}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{Cz})$, sont déterminés pour le lot K_j considéré et pour chaque zone z .

[0064] Les fonctions de perte partielles de détection $\mathcal{J}_j^{Lz}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{Lz})$ d'une même zone z sont alors combinées, par exemple additionnées, pour obtenir une fonction de perte de détection $\mathcal{J}^{Lz}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{Lz})$ pour le réseau de détection Lz de chaque zone z . La fonction de perte de détection $\mathcal{J}^{Lz}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{Lz})$ est par exemple la fonction de perte L1 ou bien la fonction de perte L1 lisse (de l'anglais « smooth L1 »).

[0065] Le cas échéant, de manière similaire, les fonctions de perte partielles de classification $\mathcal{J}_j^{Cz}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{Cz})$ d'une même zone z sont alors combinées, par exemple additionnées, pour obtenir une fonction de perte de classification $\mathcal{J}^{Cz}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{Cz})$ pour le

réseau de classification Cz de chaque zone z. La fonction de perte de classification $\mathcal{J}^{Cz}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{Cz})$ est par exemple la fonction de perte d'entropie croisée ou bien la fonction de perte focale (de l'anglais « focal loss »).

[0066] Ainsi, en notant Z le nombre total de zones z, 2xZ fonctions de pertes sont
5 déterminées : Z fonctions de perte pour la localisation et Z fonctions de perte pour la classification.

[0067] Ensuite, pour chaque zone z, les paramètres ϑ_{BB} du réseau dorsal BB, les paramètres ϑ_{Lz} du réseau de détection Lz et, le cas échéant, les paramètres ϑ_{Cz} du réseau de classification Cz de la tête Hz sont mis à jour à partir des fonctions de
10 perte $\mathcal{J}^{Lz}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{Lz})$ et $\mathcal{J}^{Cz}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{Cz})$ déterminées. Par exemple, l'algorithme de descente de gradient utilise l'équation suivante pour chaque zone z : [Math. 1]
$$(\vartheta_{BB}, \vartheta_{Lz}, \vartheta_{Cz})_{t+1} = (\vartheta_{BB}, \vartheta_{Lz}, \vartheta_{Cz})_t - \alpha \nabla_{\vartheta} (\mathcal{J}^{Lz}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{Lz}) + \mathcal{J}^{Cz}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{Cz})).$$

[0068] Ainsi, chaque image d'entraînement I^* participe à l'élaboration de la ou des fonctions de perte $\mathcal{J}^{Lz}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{Lz})$ et $\mathcal{J}^{Cz}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{Cz})$ associées à la zone z représentée sur
15 cette image d'entraînement I^* . Ainsi, par l'utilisation de ces fonctions de pertes pour mettre à jour les paramètres, les paramètres ϑ_{BB} du réseau dorsal BB sont ajustés à partir de chaque image d'entraînement I^* , quelle que soit la zone z représentée, tandis que seuls les paramètres ϑ_{Lz} , ϑ_{Cz} de la tête Hz associée à la zone z représentée sur l'image d'entraînement I^* sont ajustés, et pas les paramètres de la
20 où des autres têtes.

[0069] Par exemple, en référence à la figure 9, un premier lot K1 comporte les images d'entraînement I^*_{A1} , I^*_{A2} , I^*_{B3} et un deuxième lot K2 comporte les images d'entraînement I^*_{B1} , I^*_{B2} , I^*_{A3} .

[0070] Les images d'entraînement I^*_{A1} , I^*_{A2} , I^*_{B3} du premier lot K1 sont ainsi tout
25 d'abord fournies au dispositif de détection 300. En référence à la figure 10, pour les images d'entraînement I^*_{A1} , I^*_{A2} , la tête HA fournit alors les résultats R_{A1} , R_{A2} . En référence à la figure 11, pour l'image d'entraînement I^*_{B3} , la tête HB fournit alors le résultat R_{B3} . À partir des résultats R_{A1} , R_{A2} , R_{B3} , les fonctions de perte partielles suivantes sont déterminées : $\mathcal{J}_1^{LA}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{LA})$, $\mathcal{J}_1^{CA}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{CA})$, $\mathcal{J}_1^{LB}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{LB})$ et
30 $\mathcal{J}_1^{CB}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{CB})$.

[0071] De la même manière, les images d'entraînement I^*_{B1} , I^*_{B2} , I^*_{A3} du deuxième lot K2 sont fournies au système de détection 300 pour obtenir les résultats R_{B1} , R_{B2} , R_{A3}

et, à partir d'eux, les fonctions de perte partielles $\mathcal{J}_2^{LA}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{LA})$, $\mathcal{J}_2^{CA}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{CA})$ et $\mathcal{J}_2^{LB}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{LB})$ et $\mathcal{J}_2^{CB}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{CB})$.

- [0072] En référence à la figure 12, les fonctions de perte $\mathcal{J}^{LA}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{LA}) = \mathcal{J}_1^{LA}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{LA}) + \mathcal{J}_2^{LA}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{LA})$, $\mathcal{J}^{LB}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{LA}) = \mathcal{J}_1^{LB}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{LA}) + \mathcal{J}_2^{LB}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{LA})$,
 5 $\mathcal{J}^{CA}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{LA}) = \mathcal{J}_1^{CA}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{LA}) + \mathcal{J}_2^{CA}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{LA})$ et $\mathcal{J}^{CB}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{CB}) = \mathcal{J}_1^{CB}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{CB}) + \mathcal{J}_2^{CB}(\vartheta_{BB}, \vartheta_{CB})$ sont alors utilisées pour mettre à jour les paramètres ϑ_{BB} , ϑ_{LA} , ϑ_{LB} , ϑ_{CA} , ϑ_{CB} du système de détection 300, par exemple selon l'équation [Math. 1].

[0073] Une nouvelle itération d'entraînement peut alors commencer, en fournissant à nouveau les images d'entraînement I^* au système de détection 300.

- 10 [0074] Le procédé 400 comporte ensuite une phase de prédiction.

[0075] Au cours d'une étape 416, une image à inspecter Img est obtenue, par exemple au moyen du système d'acquisition 200. Cette image à inspecter Img représente une des zones z selon une vue parmi la ou les vues prédéfinies de cette zone z . Par exemple, comme illustré sur la figure 13, l'image à inspecter Img
 15 représente la pale (zone A) d'une aube, selon l'unique vue prédéfinie pour la pale.

[0076] Au cours d'une étape 418, l'image à inspecter Img doit de préférence être traitée de la même manière que les images d'entraînement I^* par le module de traitement 302.

- [0077] Au cours d'une étape 420, l'image à inspecter Img est fournie au système de
 20 détection 300, le cas échéant après traitement.

- [0078] Au cours d'une étape 422, lorsque le module de sélection 304 est présent, la zone z représentée sur l'image à inspecter Img est indiquée au module de sélection 304, qui désactive par exemple la ou têtes associées à la ou aux zones autres que celle indiquée. Par exemple, comme illustré sur la figure 14, la zone A est indiquée
 25 au module de sélection 304. En réponse, ce dernier désactive la tête HB et laisse active la tête HA. En l'absence du module de sélection 304, toutes les têtes inspectent par exemple l'image à inspecter Img , mais seule la sortie de la tête associée à la zone de l'image à inspecter Img est pertinente. Les sorties des autres têtes n'auront a priori pas d'intérêt et peuvent être rejetées.

- 30 [0079] Au cours d'une étape 424, le réseau dorsal BB fournit une représentation intermédiaire RI de l'image à inspecter Img .

[0080] Au cours d'une étape 426, la tête Hz associée à la zone z représentée sur l'image à inspecter lmg recherche une ou des anomalies et localise chaque anomalie trouvée, à partir de la représentation intermédiaire RI.

5 [0081] Au cours d'une étape 428, un résultat R de cette recherche et de cette localisation est récupéré en sortie de la tête Hz associée à la zone z représentée sur l'image à inspecter lmg.

[0082] Par exemple, le résultat R comporte, pour chaque boîte de référence AN associée à la zone z représentée sur l'image à inspecter lmg, une position de cette boîte de référence AN dans l'image lmg et une probabilité de présence d'une
10 anomalie dans cette boîte de référence AN. Une anomalie peut ainsi être considérée comme trouvée lorsque cette probabilité est supérieure à un seuil prédéfini.

[0083] Les têtes Hz peuvent en outre être conçues pour réaliser une segmentation de chaque anomalie trouvée, c'est-à-dire un classement de chaque pixel de la boîte de référence AN contenant cette anomalie, par exemple selon deux valeurs : une valeur
15 indiquant un pixel avec anomalie et une autre valeur indiquant un pixel sans anomalie. Cette segmentation est par exemple réalisée en ajoutant dans chaque tête un réseau de neurones de segmentation, qui sera entraîné de manière similaire aux réseaux de détection Lz et de classification Cz.

20 [0084] La phase de prédiction peut être répétée pour plusieurs pièces à inspecter, par exemple pour plusieurs aubes à inspecter.

[0085] En référence à la figure 15, le dispositif de détection 300 est par exemple un système informatique comportant une unité 1502 de traitement de données (telle qu'un microprocesseur) et une mémoire principale 1504 (telle qu'une mémoire RAM, de l'anglais « Random Access Memory ») accessible par l'unité de traitement 1502.
25 Le système informatique comporte en outre par exemple une interface réseau et/ou un support lisible par ordinateur, comme par exemple un support local 1506 (tel qu'un disque dur local) ou bien un support distant (tel qu'un disque dur distant et accessible via par l'interface réseau au travers d'un réseau de communication) ou bien encore un support amovible (tel qu'une clé USB, de l'anglais « Universal Serial Bus », ou
30 bien un CD, de l'anglais « Compact Disc » ou bien un DVD, de l'anglais « Digital Versatile Disc ») lisible au moyen d'un lecteur approprié du système informatique (tel qu'un port USB ou bien un lecteur de disque CD et/ou DVD). Un programme d'ordinateur P contenant des instructions pour l'unité de traitement 1502 est enregistré sur le support local 1506 et/ou téléchargeable via l'interface réseau. Ce

programme d'ordinateur P est par exemple destiné à être chargé dans la mémoire principale 1504, afin que l'unité de traitement 1502 exécute ses instructions. Les instructions sont par exemple organisées en modules logiciels implémentant respectivement les éléments du dispositif de détection 300, tels que décrits en
5 référence à la figure 3.

[0086] Alternativement, tout ou partie de ces modules pourrait être implémenté sous forme de modules matériels, c'est-à-dire sous forme d'un circuit électronique, par exemple micro-câblé, ne faisant pas intervenir de programme d'ordinateur.

[0087] En conclusion, on notera que l'invention n'est pas limitée aux modes de
10 réalisation décrits précédemment. Il apparaîtra en effet à l'homme de l'art que diverses modifications peuvent être apportées aux modes de réalisation décrits ci-dessus, à la lumière de l'enseignement qui vient de lui être divulgué.

[0088] Dans la présentation détaillée de l'invention qui est faite précédemment, les termes utilisés ne doivent pas être interprétés comme limitant l'invention aux modes
15 de réalisation exposés dans la présente description, mais doivent être interprétés pour y inclure tous les équivalents dont la prévision est à la portée de l'homme de l'art en appliquant ses connaissances générales à la mise en œuvre de l'enseignement qui vient de lui être divulgué.

Revendications

- [1] Procédé (400) de détection d'anomalie dans plusieurs zones prédéfinies (A, B) d'une même pièce aéronautique telle qu'une aube, les zones ayant des structures différentes telles que des géométries différentes et/ou des matériaux différents et/ou
- 5 des épaisseurs différentes et/ou la présence ou l'absence d'une cavité et/ou des cavités de tailles différentes, chaque zone (A, B) étant associée à au moins une vue prédéfinie de cette zone (A, B), caractérisé en ce qu'il comporte :
- une obtention d'une image, dite à inspecter (Img), d'une des zones (A, B) selon une des vues prédéfinies de cette zone (A, B) ;
 - 10 - la fourniture de l'image à inspecter (Img) à un système de détection (300) comportant :
 - un réseau de neurones dorsal (BB) conçu pour recevoir l'image à inspecter (Img) et pour fournir une représentation intermédiaire (RI) de l'image à inspecter (Img), et
 - 15 • des réseaux de neurones de localisation (LA, LB), respectivement associés aux zones (A, B), et chacun conçu, à partir de la représentation intermédiaire (RI), pour rechercher une ou plusieurs anomalies et localiser chaque anomalie trouvée dans l'image à inspecter (Img) ;
 - 20 le système de détection (300) ayant été préalablement entraîné, pour chaque zone (A, B), par une fourniture, au réseau dorsal (BB), d'images d'entraînement (I^*_{A1} , I^*_{A2} , I^*_{A3} , I^*_{B1} , I^*_{B2} , I^*_{B3} ,) selon chaque vue prédéfinie de la zone (A, B) considérée, et, à partir des images d'entraînement (I^*_{A1} , I^*_{A2} , I^*_{A3} , I^*_{B1} , I^*_{B2} , I^*_{B3} ,) de la zone (A, B) considérée, un ajustement adaptatif au cours duquel des paramètres du réseau
 - 25 dorsal (BB) et du réseau de localisation (LA, LB) associé à la zone (A, B) considérée sont ajustés, mais pas des paramètres du ou des autres réseaux de localisation (LA, LB), pour améliorer la détection et la localisation ; et
 - une obtention de la ou des anomalies et de leur localisation en sortie du réseau de localisation (LA, LB) associé à la zone (A, B) de l'image à
 - 30 inspecter (Img).
- [2] Procédé (400) selon la revendication 1, dans lequel chaque réseau de localisation (LA, LB) est associé à plusieurs boîtes de référence (AN_{A1} , AN_{A2} , AN_{A3} , AN_{A4} , AN_{B1} , AN_{B2} , AN_{B3}) et dans lequel chaque réseau de localisation (LA, LB) est conçu pour fournir, d'une part, une position, dans l'image à inspecter (Img), d'une des

boîtes de référence (AN_{A1} , AN_{A2} , AN_{A3} , AN_{A4} , AN_{B1} , AN_{B2} , AN_{B3}) de la zone (A, B) représentée sur l'image à inspecter (Img) et, d'autre part, une probabilité de présence d'anomalie dans la boîte de référence (AN_{A1} , AN_{A2} , AN_{A3} , AN_{A4} , AN_{B1} , AN_{B2} , AN_{B3}) à cette position.

- 5 [3] Procédé (400) selon la revendication 2, dans lequel les boîtes de référence (AN_{A1} , AN_{A2} , AN_{A3} , AN_{A4} , AN_{B1} , AN_{B2} , AN_{B3}) sont différentes pour au moins un des réseaux de localisation (LA, LB) par rapport au(x) autre(s) réseau(x) de localisation, par exemple en nombre et/ou en dimension.
- [4] Procédé (400) selon la revendication 2 ou 3, comportant en outre, pour chaque zone (A, B) :
- 10 - une détermination, dans les images d'entraînement (I^*) représentant la zone (A, B) considérée, de boîtes (BOI^*_{A2} , BOI^*_{A3} , BOI^*_{B1} , BOI^*_{B3}) entourant chaque anomalie préalablement trouvée dans les images d'entraînement (I^*) ;
- 15 - un partitionnement des boîtes (BOI^*_{A2} , BOI^*_{A3} , BOI^*_{B1} , BOI^*_{B3}) en plusieurs groupes de boîtes similaires ; et
- pour chaque groupe trouvé, une détermination d'une boîte de référence (AN_{A1} , AN_{A2} , AN_{A3} , AN_{A4} , AN_{B1} , AN_{B2} , AN_{B3}) à partir des boîtes du groupe.
- [5] Procédé (400) selon la revendication 4, dans lequel la boîte de référence (AN_{A1} , AN_{A2} , AN_{A3} , AN_{A4} , AN_{B1} , AN_{B2} , AN_{B3}) déterminée a des dimensions dérivées de dimensions des boîtes du groupe.
- 20 [6] Procédé (400) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, comportant en outre, pour chaque zone prédéfinie (A, B), un réseau de classification (CA, CB) conçu pour classer, dans des classes prédéfinies, les anomalies trouvées par le réseau de localisation (LA, LB) associé à la zone (A, B) considérée.
- 25 [7] Procédé (400) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel la pièce est une aube comportant un pied et une pale, et dans lequel les zones prédéfinies (A, B) sont formées du pied et de la pale.
- [8] Procédé (400) selon la revendication 7, dans lequel la pale présente une ou plusieurs cavités définissant un certain pourcentage de vide par rapport au volume
- 30

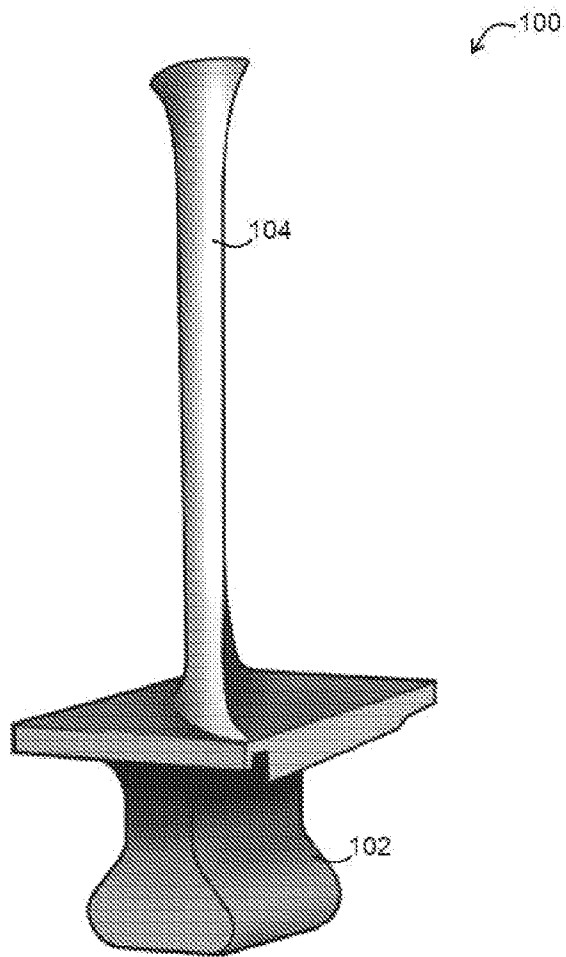
total de la pale, ce pourcentage de vide étant supérieure à celui du pied, le pourcentage de vide du pied pouvant être nul signifiant l'absence de cavité.

[9] Procédé (400) selon la revendication 7, dans lequel la pale et le pied présentent des épaisseurs différentes.

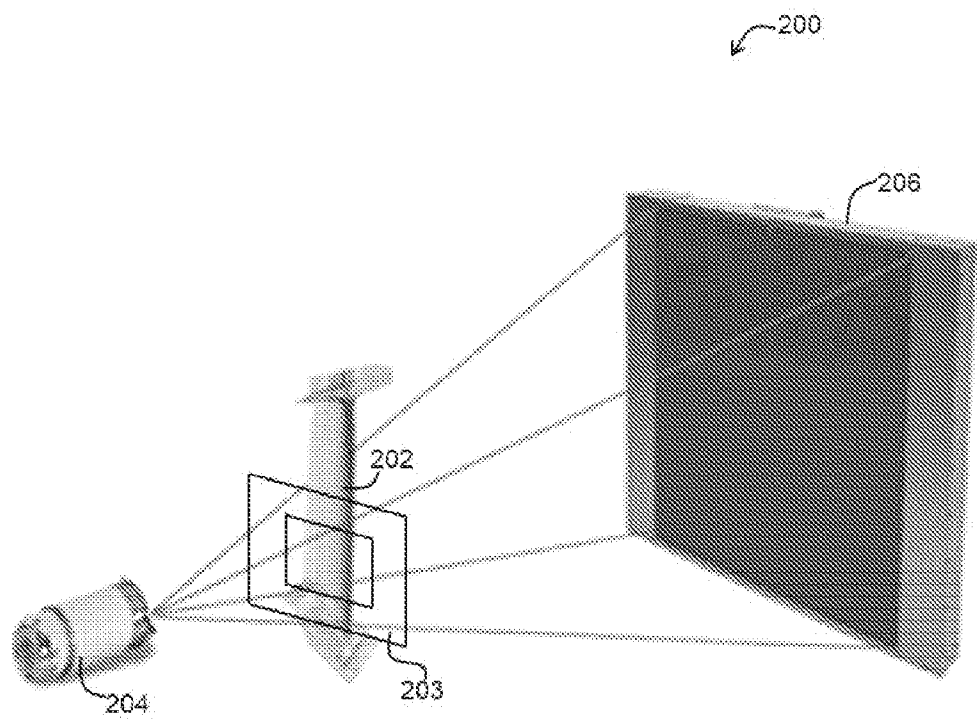
- 5 [10] Programme d'ordinateur (P) téléchargeable depuis un réseau de communication et/ou enregistré sur un support lisible par ordinateur, caractérisé en ce qu'il comprend des instructions pour l'exécution des étapes d'un procédé (400) de détection d'anomalie selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur.
- 10 [11] Système (300) de détection d'anomalie caractérisé en ce qu'il comporte :
- un réseau de neurones dorsal (BB) conçu pour recevoir une image à inspecter (Img) et pour fournir une représentation intermédiaire (RI) de l'image à inspecter (Img), et
 - des réseaux de neurones de localisation (LA, LB) respectivement associés
- 15 à des zones prédéfinies (A, B) d'une même pièce telle qu'une aube, chaque zone (A, B) étant associée à au moins une vue prédéfinie de cette zone (A, B), les zones ayant des structures différentes telles que des géométries différentes et/ou des matériaux différents et/ou des épaisseurs différentes et/ou la présence ou l'absence d'une cavité et/ou
- 20 des cavités de tailles différentes, et chacun conçu, à partir de la représentation intermédiaire (RI), pour rechercher une ou plusieurs anomalies et localiser chaque anomalie trouvée dans l'image à inspecter (Img) ;
- le dispositif de détection (300) ayant été préalablement entraîné, pour chaque zone
- 25 (A, B), par :
- une fourniture, au réseau dorsal (BB), d'images d'entraînement (I^*_{A1} , I^*_{A2} , I^*_{A3} , I^*_{B1} , I^*_{B2} , I^*_{B3} ,) selon chaque vue prédéfinie de la zone (A, B) considérée, et
 - à partir des images d'entraînement (I^*_{A1} , I^*_{A2} , I^*_{A3} , I^*_{B1} , I^*_{B2} , I^*_{B3} ,) de la zone
- 30 (A, B) considérée, un ajustement adaptatif au cours duquel des paramètres du réseau dorsal (BB) et du réseau de localisation (LA, LB) associé à la zone (A, B) considérée sont ajustés, mais pas des paramètres du ou des

autres réseaux de localisation (LA, LB), pour améliorer la détection et la localisation.

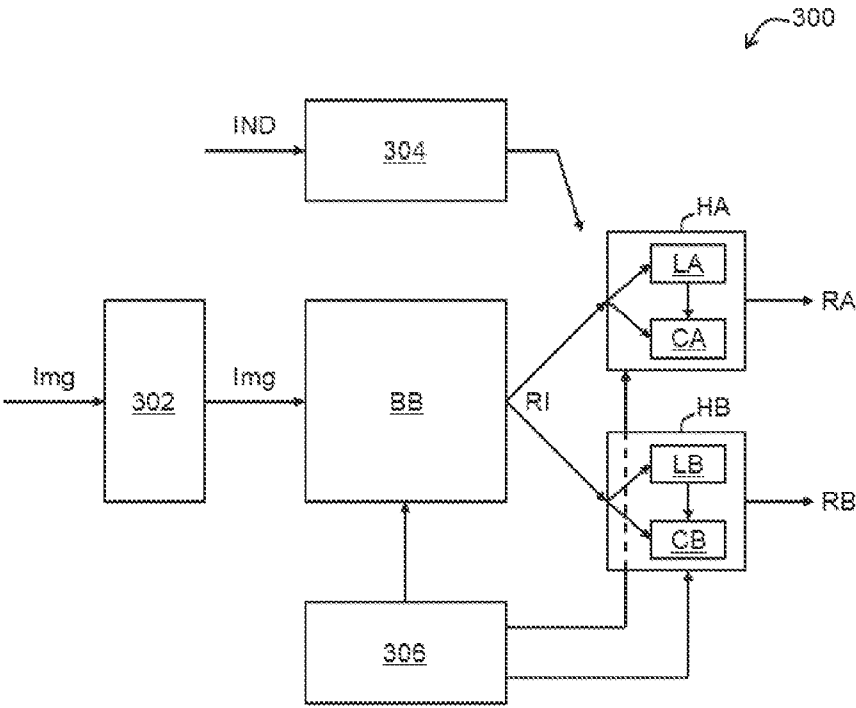
[Fig. 1]



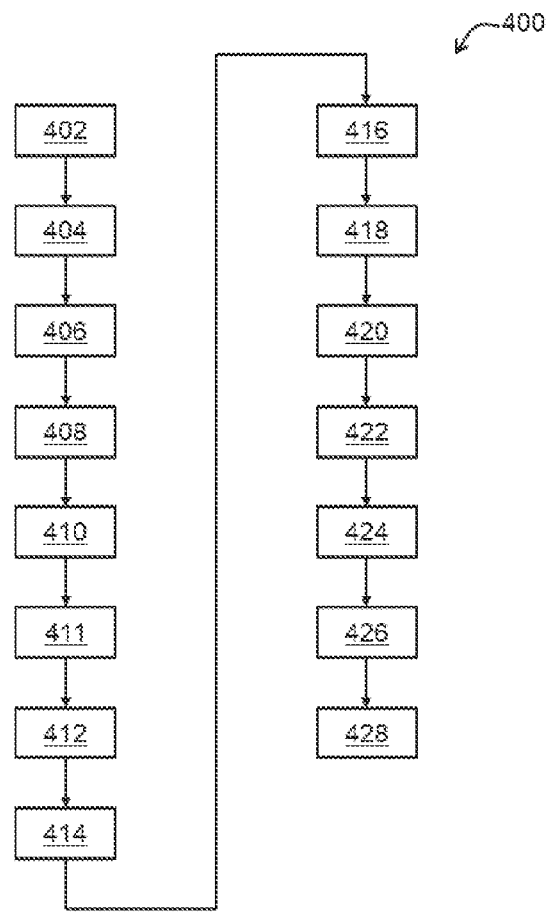
[Fig. 2]



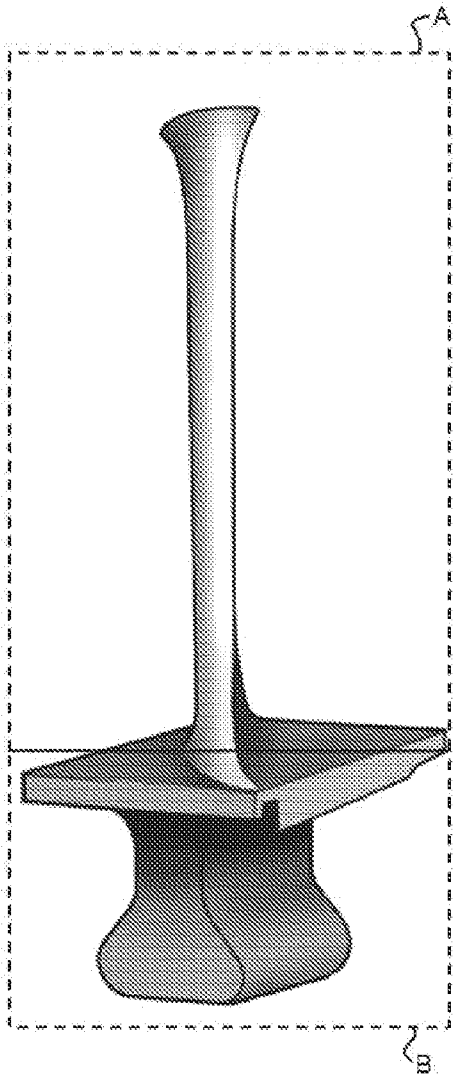
[Fig. 3]



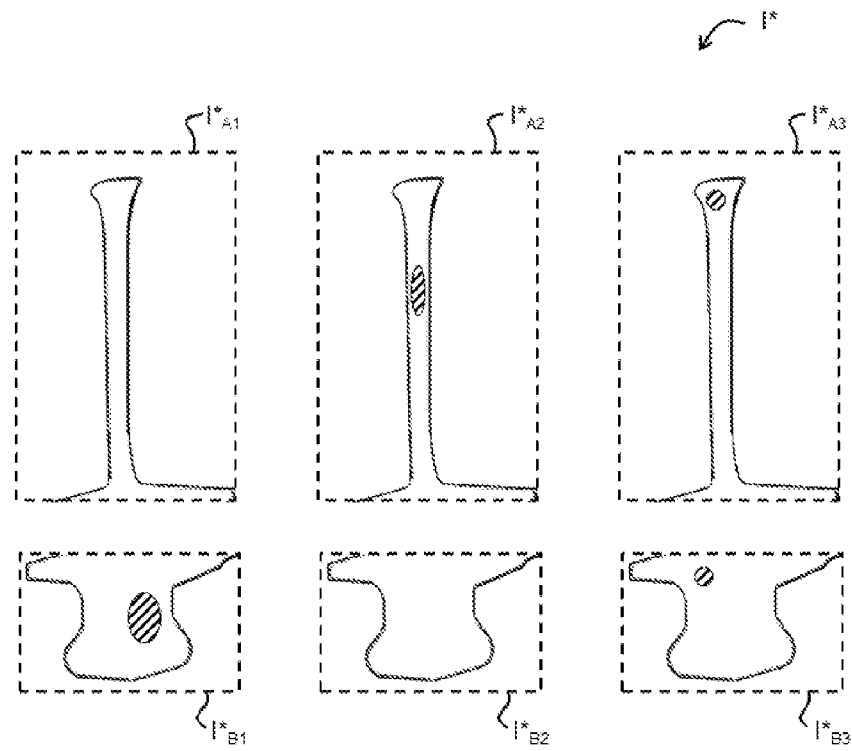
[Fig. 4]



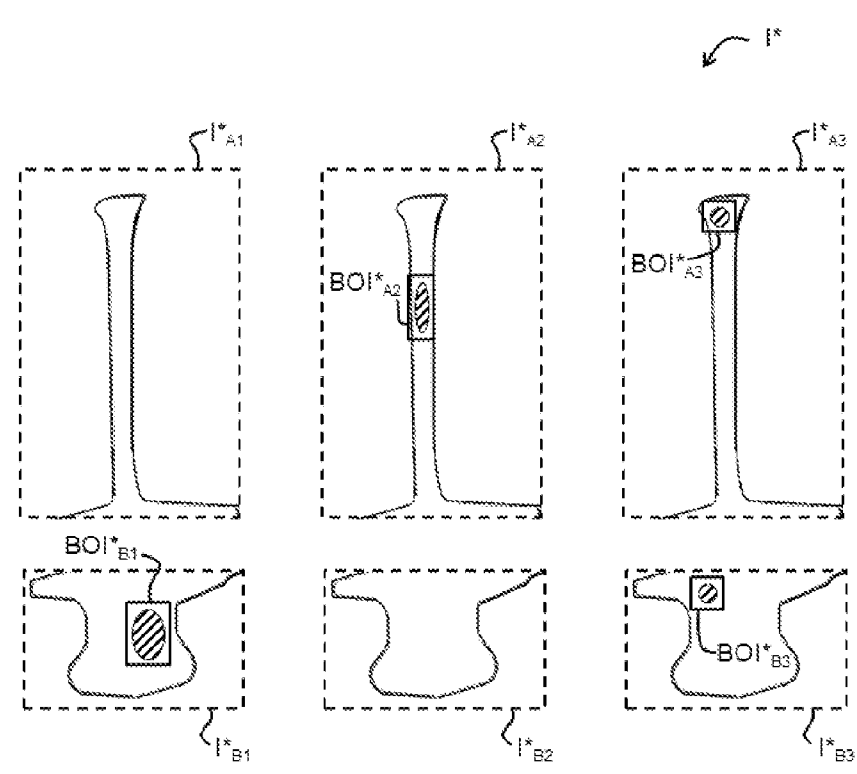
[Fig. 5]



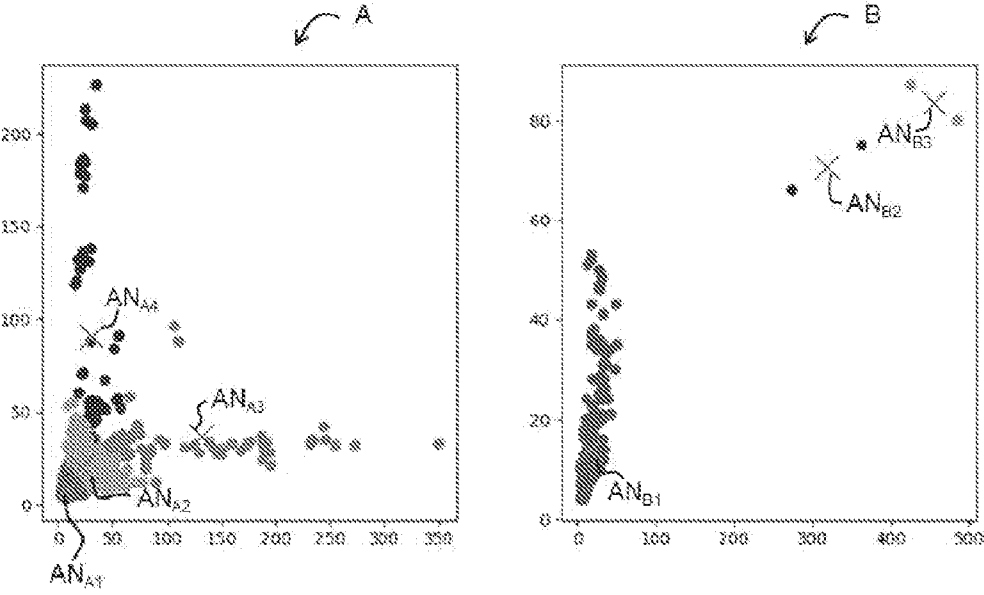
[Fig. 6]



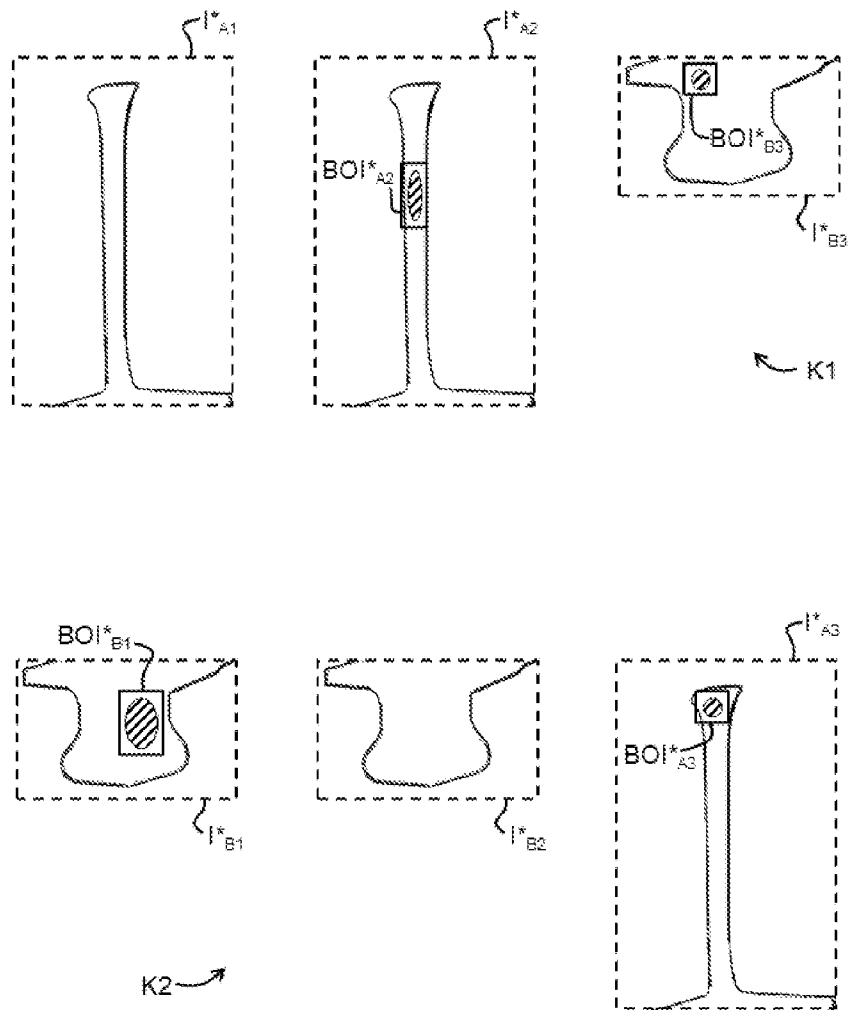
[Fig. 7]



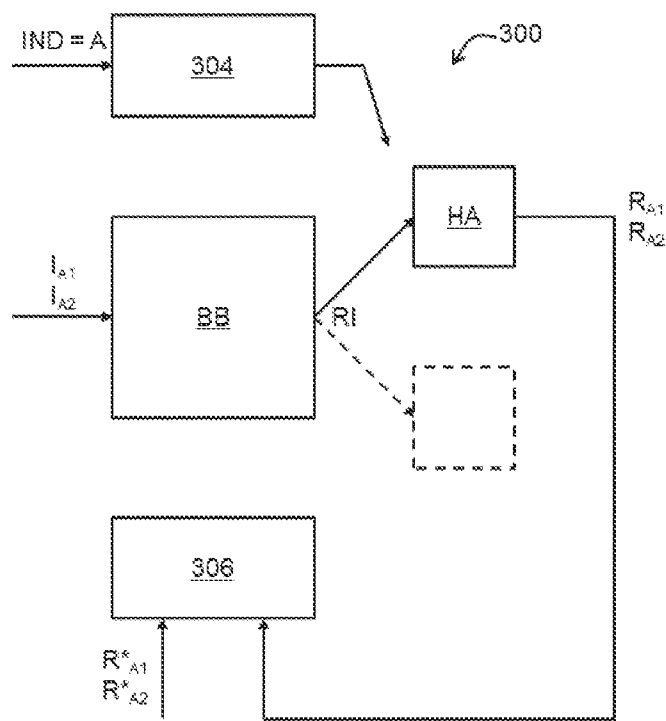
[Fig. 8]



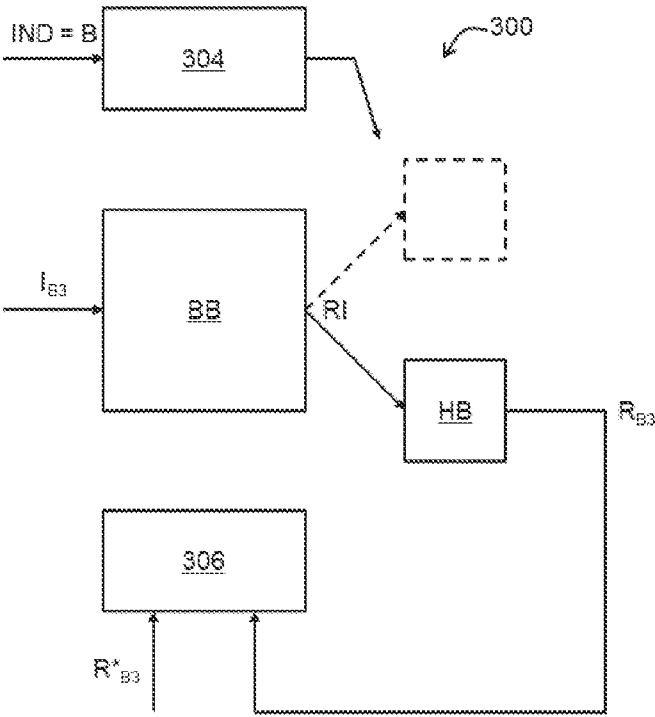
[Fig. 9]



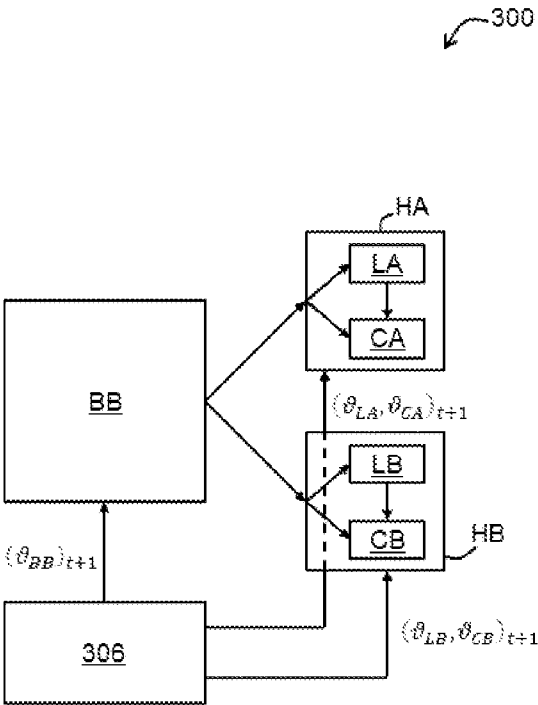
[Fig. 10]



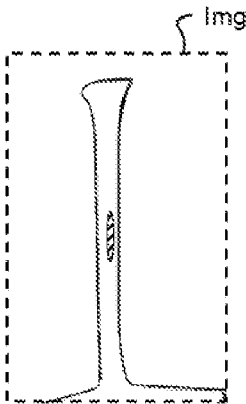
[Fig. 11]



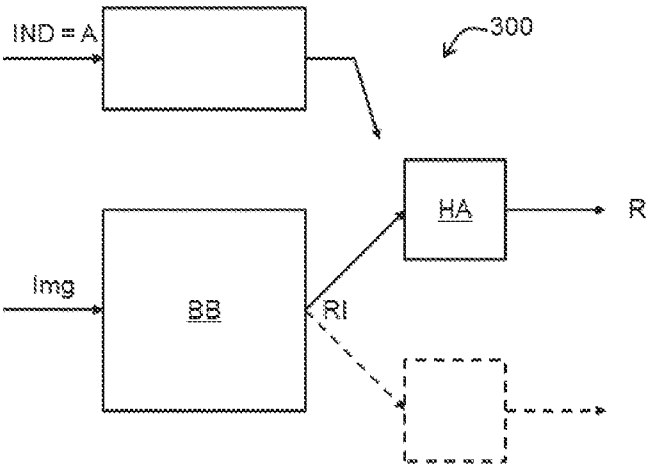
[Fig. 12]



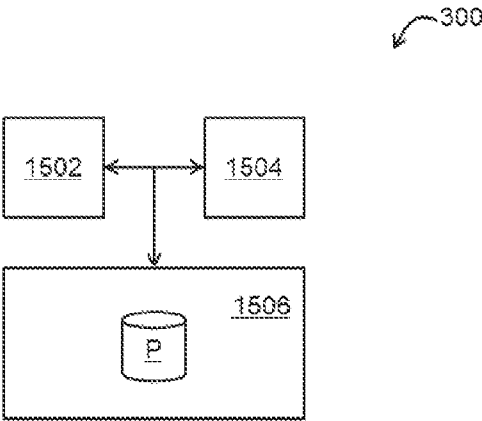
[Fig. 13]



[Fig. 14]



[Fig. 15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2024/050687

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G06T 7/00(2017.01)i; G06V 10/82(2022.01)i 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) G06T; G06V 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		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2017169400 A1 (DIWINSKY DAVID SCOTT [US] ET AL) 15 June 2017 (2017-06-15) paragraph [0023] - paragraph [0026] paragraph [0034] - paragraph [0037] figure 4	1-11
A	US 2022215522 A1 (VOROBIEVA HÉLÉNA [FR] ET AL) 07 July 2022 (2022-07-07) paragraph [0051] - paragraph [0068] figure 1	1-11
A	US 2022236197 A1 (WANG PENG [CN] ET AL) 28 July 2022 (2022-07-28) paragraph [0022] figure 1 paragraph [0052] - paragraph [0060]	1-11
☒ 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 30 August 2024		Date of mailing of the international search report 16 September 2024
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands (Kingdom of the) Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Lim, Johan Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2020151869 A1 (HU GUO QIANG [CN] ET AL) 14 May 2020 (2020-05-14) paragraph [0018] - paragraph [0023] figure 1 paragraph [0026] paragraph [0030] paragraph [0033] figure 2 paragraph [0037] - paragraph [0040] figure 3 paragraph [0046]	1-11
A	EBRAHIMPOUR MOHAMMAD K ET AL. "Ventral-Dorsal Neural Networks: Object Detection Via Selective Attention" <i>2019 IEEE WINTER CONFERENCE ON APPLICATIONS OF COMPUTER VISION (WACV)</i> , <i>IEEE</i> , 07 January 2019 (2019-01-07), pages 986-994 DOI: 10.1109/WACV.2019.00110 XP033525684 the whole document	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/FR2024/050687

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2017169400	A1	15 June 2017	NONE			
US	2022215522	A1	07 July 2022	CN	113748311	A	03 December 2021
				EP	3963283	A1	09 March 2022
				FR	3095710	A1	06 November 2020
				US	2022215522	A1	07 July 2022
				WO	2020221550	A1	05 November 2020
US	2022236197	A1	28 July 2022	CN	114813742	A	29 July 2022
				EP	4043697	A1	17 August 2022
				US	2022236197	A1	28 July 2022
US	2020151869	A1	14 May 2020	NONE			

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. G06T7/00 G06V10/82

ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

G06T G06V

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

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 2017/169400 A1 (DIWINSKY DAVID SCOTT [US] ET AL) 15 juin 2017 (2017-06-15) alinéa [0023] - alinéa [0026] alinéa [0034] - alinéa [0037] figure 4 -----	1 - 11
A	US 2022/215522 A1 (VOROBIEVA HÉLÉNA [FR] ET AL) 7 juillet 2022 (2022-07-07) alinéa [0051] - alinéa [0068] figure 1 -----	1 - 11
A	US 2022/236197 A1 (WANG PENG [CN] ET AL) 28 juillet 2022 (2022-07-28) alinéa [0022] figure 1 alinéa [0052] - alinéa [0060] ----- - / - -	1 - 11

☒

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒

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

30 août 2024

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

16/09/2024

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

Lim, Johan

1

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (avril 2005)

page 1 de 2

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 2020/151869 A1 (HU GUO QIANG [CN] ET AL) 14 mai 2020 (2020-05-14) alinéa [0018] - alinéa [0023] figure 1 alinéa [0026] alinéa [0030] alinéa [0033] figure 2 alinéa [0037] - alinéa [0040] figure 3 alinéa [0046] -----	1 - 11
A	EBRAHIMPOUR MOHAMMAD K ET AL: "Ventral-Dorsal Neural Networks: Object Detection Via Selective Attention", 2019 IEEE WINTER CONFERENCE ON APPLICATIONS OF COMPUTER VISION (WACV), IEEE, 7 janvier 2019 (2019-01-07), pages 986-994, XP033525684, DOI: 10.1109/WACV.2019.00110 [extrait le 2019-03-04] le document en entier -----	1 - 11

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2024/050687

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2017169400 A1	15-06-2017	AUCUN	
US 2022215522 A1	07-07-2022	CN 113748311 A	03-12-2021
		EP 3963283 A1	09-03-2022
		FR 3095710 A1	06-11-2020
		US 2022215522 A1	07-07-2022
		WO 2020221550 A1	05-11-2020
US 2022236197 A1	28-07-2022	CN 114813742 A	29-07-2022
		EP 4043697 A1	17-08-2022
		US 2022236197 A1	28-07-2022
US 2020151869 A1	14-05-2020	AUCUN	