

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication : **3 135 535**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
21 N° d'enregistrement national : **22 04498**
51 Int Cl⁸ : **G 01 S 7/00 (2022.01), G 06 T 1/40**

12 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION** **A1**

22 Date de dépôt : 12.05.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 17.11.23 Bulletin 23/46.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : *THALES Société anonyme — FR.*

72 Inventeur(s) : KASSAB Rami, DALLOZ Loïc, GAUTIER DE CHARNACE Grégoire et BROOKS Daniel.

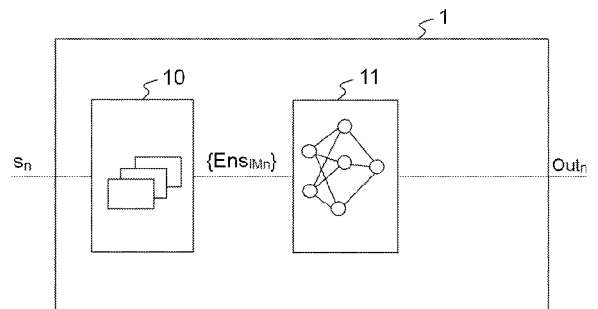
73 Titulaire(s) : THALES Société anonyme.

74 Mandataire(s) : ATOUT PI LAPLACE.

54 Procédé de filtrage d'échos, dispositif de filtrage d'échos et programme d'ordinateur associé.

57 L'invention concerne un procédé de filtrage d'échos associé à des valeurs d'attributs, comprenant :
détermination des échos situés dans une fenêtre spatio-temporelle comprenant un écho s_n considéré ; construction d'un ensemble d'image(s), chaque position dans une image correspondant à un couple respectif de valeurs desdits attributs, et un motif déterminé est inséré dans l'image à une position déterminée, si et seulement si les valeurs des attributs correspondant à ladite position sont les valeurs desdits attributs pour un des échos déterminés dans la fenêtre spatio-temporelle ; estimation, en fonction dudit ensemble d'image(s) construit (Ens_{IMn}) pour l'écho s_n considéré par un réseau de neurones (11), de la correspondance dudit écho s_n considéré à au moins un type d'objets cibles parmi un ensemble prédéfini de types d'objets cibles.

Figure pour l'abrégé: Fig. 1



FR 3 135 535 - A1



Description

Titre de l'invention : Procédé de filtrage d'échos, dispositif de filtrage d'échos et programme d'ordinateur associé

Domaine technique

[0001] L'invention se situe dans le domaine du traitement des échos reçus par un système récepteur d'échos, par exemple de type radar.

Technique antérieure

[0002] A divers endroits de la chaîne de traitement des échos reçus, par exemple dans un système récepteur radar, des filtres sont appliqués à différents stades du traitement (filtre de formation de faisceaux, filtre doppler, filtre de compression d'impulsions, classification et filtrage extracteur, filtre de Kalman, classification et filtrage du pistage etc.), afin de favoriser la détection et la préservation des signaux réfléchis par des cibles d'intérêt et d'éliminer les échos indésirables : par exemple bruit, interférences, brouillage, fouillis intentionnel et non intentionnel.

[0003] Ce filtrage est essentiel à chacun de ces stades pour éviter la saturation (calculatoire et algorithmique) entraînant le dysfonctionnement des différents blocs de traitement et pour aboutir au final à un taux de fausses alarmes inférieur au taux maximum prescrit.

[0004] A chaque fois, une décision quant à l'utilité de la présence de l'écho (signal vs bruit ou fouillis, cible d'intérêt ou pas etc...) pour la poursuite du traitement est réalisée, au mieux en se basant sur une information instantanée (ex. les mesures d'attributs du plot courant), le spectre instantané, le niveau du signal par rapport à une ambiance locale ou lissée dans le temps, la position d'un plot par rapport à une prédiction d'un filtre de Kalman d'une piste, etc ...).

[0005] Cette vision étriquée rend la décision très compliquée. Décider instantanément s'il convient de garder ou pas un plot radar en mode clair (i.e. sans calcul Doppler) avec une estimation de la position et de la SER n'est pas possible, pour distinguer un hélicoptère d'une éolienne par exemple ou bien un drone d'un oiseau.

[0006] Plusieurs stratégies sont utilisées dans les radars, majoritairement basées sur la classification de détections uniques et le filtrage par pistage. Une cible qui semble avoir un déplacement temporel cohérent avec un objet humain est une cible d'intérêt donc ses détections sont d'intérêt.

[0007] Le filtrage des détections unitaires est basé sur la classification des attributs des détections unitaires. L'enjeu est généralement de trouver la distribution de chaque attribut pour le phénomène à filtrer comparé aux détections d'intérêt. Cette discrimination peut se faire manuellement (par seuillage par exemple) ou par apprentissage automatique (réseaux de neurones). Une limitation forte de cette approche est lorsque les attributs

des détections ne permettent pas de discriminer les cibles d'intérêt d'un phénomène à filtrer.

[0008] Le filtrage par pistage utilise des modèles cinématiques (qui imposent donc leurs limitations) pour estimer si une détection fait partie d'une cible mouvante. Si les caractéristiques de mouvement peuvent correspondre à une cible d'origine humaine, la détection est considérée comme d'intérêt. Ce type de filtrage montre des performances limitées face à des cibles fortement manoeuvrantes ou lorsqu'il devient nécessaire de définir un grand nombre de modèles cinématiques. Pour chaque piste existante, chaque nouvelle détection dont la position correspond à un modèle cinématique est évaluée. Cela crée un grand nombre d'hypothèses à maintenir en mémoire pour chaque piste. Le calculateur responsable du pistage doit donc avoir beaucoup d'espace mémoire dédiée.

[0009] Il existe donc un besoin de disposer d'une solution de filtrage qui permette d'améliorer la pertinence du filtrage.

Résumé de l'invention

[0010] A cet effet, suivant un premier aspect, la présente invention décrit un procédé de filtrage d'échos reçus par un dispositif récepteur d'échos, chaque écho étant associé à des valeurs d'attributs dudit écho, ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes mises en œuvre par un dispositif électronique de filtrage, pour un écho considéré s_n :

i/ application d'une fenêtre spatio-temporelle de taille prédéterminée comprenant ledit écho s_n considéré et détermination des échos situés dans ladite fenêtre spatio-temporelle y compris ledit écho s_n considéré ;

ii/ construction d'un ensemble d'image(s) comprenant au moins une image, chaque image de l'ensemble d'image(s) étant associée à un couple prédéfini respectif d'attributs, chaque position dans ladite image correspondant à un couple respectif de valeurs desdits attributs, des positions distinctes correspondant à des couples de valeurs distinctes desdits attributs, selon laquelle, lors de la construction de ladite image, un motif déterminé est inséré dans l'image à une position déterminée, si et seulement si les valeurs des attributs correspondant à ladite position sont les valeurs desdits attributs pour un des échos déterminés dans la fenêtre spatio-temporelle ;

iii/ fourniture dudit ensemble d'image(s) en entrée d'un réseau de neurones issu d'un apprentissage et adapté pour estimer, en fonction dudit ensemble d'image(s) construit pour l'écho s_n considéré, la correspondance dudit écho considéré à au moins un type d'objets cibles parmi un ensemble prédéfini de types d'objets cibles ; et

iv/ estimation par ledit réseau de neurones de la correspondance dudit écho s_n considéré à au moins un type d'objets cibles parmi un ensemble prédéfini de types d'objets cibles.

- [0011] L'invention permet, avant chaque décision de présence d'écho, de replacer cette présence dans son contexte historique spatio-temporelle ce qui enrichit énormément les champs des informations disponibles pour la décision.
- [0012] Le plot de l'hélicoptère pourrait ainsi apparaître dans une continuité de trajectoire de plots ce qui permettrait immédiatement de l'identifier au-dessus d'un champ d'éolienne.
- [0013] De plus, les algorithmes d'intelligence artificielle sont très adaptés à la reconnaissance des patterns : l'invention permet de ramener la problématique du filtrage à une problématique de traitement d'images ; elle permet de tirer parti de l'élargissement du champ des informations et de profiter de la notion contextuelle de la décision.
- [0014] Dans des modes de réalisation, un tel procédé comprendra en outre l'une au moins des caractéristiques suivantes :
- les attributs comprennent un ou plusieurs des éléments suivants ou en sont fonction :
 - temps de détection de l'écho,
 - distance de l'objet à l'origine de l'écho,
 - azimut et/ou élévation de l'écho reçu,
 - vitesse de l'objet,
 - rapport entre les retours captés selon des plans de polarization orthogonaux ou leurs corrélations,
 - rapport signal sur bruit de l'écho,
 - Surface Equivalent Radar de l'objet
 - extension spatiale de l'écho de l'objet,
 - étalement spectral ou présence de flash de pale ;
 - l'ensemble d'image(s) construit pour chaque écho s_n comprend au moins deux images, le couple d'attributs associé à l'une desdites images étant distinct du couple d'attributs associé à une autre image de l'ensemble d'image(s) ;
 - l'ensemble d'image(s) construit pour l'écho s_n comprend une ou plusieurs images parmi une image associée au couple d'attributs azimut-distance, une image associée au couple d'attributs temps-distance et une image associée au couple d'attributs temps-SER ;
 - le réseau de neurones est issu d'une phase d'apprentissage au cours de laquelle une base d'apprentissage comprenant des échos associés à leurs attributs et préalablement associés chacun à un type de l'ensemble prédéfini de types d'objets cibles est utilisée, un ensemble d'image(s) étant construit pour chaque écho de la base d'apprentissage conformément aux étapes i et ii et selon lequel l'ensemble d'images construit pour chaque écho est fourni en

entrée du réseau en cours d'apprentissage et les poids des neurones du réseau sont modifiés en fonction de l'erreur entre le type préalablement associé à l'écho et l'estimation fournie par le réseau de neurones, dans son état d'apprentissage courant, en fonction dudit ensemble d'image(s).

- [0015] Suivant un autre aspect, l'invention décrit un programme d'ordinateur destiné à être stocké dans la mémoire d'un dispositif électronique de filtrage d'échos et comprenant en outre un calculateur, ledit programme d'ordinateur comprenant des instructions qui, lorsqu'elles sont exécutées sur le microcalculateur, mettent en œuvre les étapes d'un procédé selon l'invention.
- [0016] Suivant un autre aspect, l'invention décrit un dispositif de filtrage d'échos reçus par un dispositif récepteur d'échos, chaque écho étant associé à des valeurs d'attributs dudit écho, ledit dispositif étant caractérisé en ce qu'il est adapté, pour un écho considéré s_n , pour appliquer une fenêtre spatio-temporelle de taille prédéterminée comprenant ledit écho s_n considéré et pour déterminer des échos situés dans ladite fenêtre spatio-temporelle y compris ledit écho s_n considéré ;
- [0017] ledit dispositif étant adapté pour ensuite construire un ensemble d'image(s) comprenant au moins une image, chaque image de l'ensemble d'image(s) étant associée à un couple prédéfini respectif d'attributs, chaque position dans ladite image correspondant à un couple respectif de valeurs desdits attributs, des positions distinctes correspondant à des couples de valeurs distinctes desdits attributs, de sorte que, lors de la construction de ladite image, un motif déterminé est inséré dans l'image à une position déterminée, si et seulement si les valeurs des attributs correspondant à ladite position sont les valeurs desdits attributs pour un des échos déterminés dans ladite fenêtre spatio-temporelle ; et
- [0018] ledit dispositif est adapté pour ensuite fournir ledit ensemble d'image(s) en entrée d'un réseau de neurones issu d'un apprentissage et adapté pour estimer, en fonction dudit ensemble d'image(s) construit pour l'écho s_n considéré, la correspondance dudit écho considéré s_n à au moins un type d'objets cibles parmi un ensemble prédéfini de types d'objets cibles.
- [0019] Dans des modes de réalisation, un tel dispositif comprendra en outre l'une au moins des caractéristiques suivantes :
- les attributs comprennent un ou plusieurs des éléments suivants ou en sont fonction :
 - temps de détection de l'écho,
 - distance de l'objet à l'origine de l'écho,
 - azimut et/ou élévation de l'écho reçu,
 - vitesse de l'objet,
 - rapport entre les retours captés selon des plans de polarisation orthogonaux ou leurs

corrélations,
 rapport signal sur bruit de l'écho,
 Surface Equivalent Radar de l'objet
 extension spatiale de l'écho de l'objet,
 étalement spectral ou présence de flash de pale ;

- l'ensemble d'image(s) construit pour chaque écho s_n comprend au moins deux images, le couple d'attributs associé à l'une desdites images étant distinct du couple d'attributs associé à une autre image de l'ensemble d'image(s) ;
- l'ensemble d'image(s) construit pour l'écho s_n comprend une ou plusieurs images parmi une image associée au couple d'attributs azimut-distance, une image associée au couple d'attributs temps-distance et une image associée au couple d'attributs temps-SER.

Brève description des dessins

- [0020] L'invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques, détails et avantages apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit, donnée à titre non limitatif, et grâce aux figures annexées, données à titre d'exemple.
- [0021] [Fig.1] La [Fig.1] est une représentation d'un dispositif de filtrage dans un mode de réalisation de l'invention ;
- [0022] [Fig.2] La [Fig.2] est une représentation d'un procédé de filtrage dans un mode de réalisation de l'invention ;
- [0023] [Fig.3] La [Fig.3] représente deux ensembles d'images obtenus dans un mode de réalisation de l'invention ;
- [0024] [Fig.4] La [Fig.4] illustre l'application d'une fenêtre temporelle autour d'un écho à traiter dans un mode de réalisation de l'invention ;
- [0025] [Fig.5] La [Fig.5] est un exemple d'architecture d'un réseau de neurones d'un dispositif de filtrage dans un mode de réalisation de l'invention.
- [0026] Des références identiques peuvent être utilisées dans des figures différentes lorsqu'elles désignent des éléments identiques ou comparables.

Description des modes de réalisation

- [0027] L'invention est décrite ci-après, dans un mode de réalisation, dans un système de traitement d'échos radar.
- [0028] Comme il est connu, le radar (acronyme issu de l'anglais radio detection and ranging) est un système qui utilise les ondes électromagnétiques pour détecter la présence ou la position, ainsi que optionnellement la vitesse, d'objets cibles tels que, suivant les applications, des objets volants (avion, hélicoptères, drones etc.) pour le contrôle du trafic aérien, tels que les bateaux pour la surveillance de trafic maritime, ou les véhicules pour la surveillance du trafic routier ou la pluie, les nuages, orages et autres

événements météorologiques pour la surveillance météorologique. Les ondes envoyées par un émetteur radar sont réfléchies par les objets rencontrés par l'onde incidente, et les signaux de retour (appelés écho radar ou écho-radar) sont captés et analysés par le récepteur radar, situé par exemple au même endroit que l'émetteur.

[0029] Un ensemble des valeurs $\{att1_n, att2_n, \dots attp_n\}$ prises par un nombre p d'attributs, $att1, att2, \dots attp$, $p \geq 2$ est associé à chaque écho s_n et le définit. La valeur de chaque attribut $att1_n, att2_n, \dots attp_n$ est déterminée par le récepteur en fonction d'au moins l'écho s_n auquel l'attribut se rapporte et qui caractérise l'objet à l'origine de l'écho. Par exemple, les attributs figurent parmi les éléments suivants, ou encore sont fonction d'au moins un des éléments suivants ou d'une combinaison d'entre eux :

- temps (horodatage) de détection de l'écho,
- distance (notamment la case distance) à laquelle se situe l'objet, obtenue grâce au temps aller/retour du signal,
- azimuth et/ou élévation de l'écho reçu, indiquant la direction de l'objet, déterminé grâce à la position angulaire de l'antenne ayant capté le signal de retour,
- vitesse de l'objet, fonction du décalage de fréquence du signal de retour généré selon l'effet Doppler,
- rapport entre les retours captés selon des plans de polarization orthogonaux ou leurs corrélations,
- rapport signal sur bruit de l'écho,

SER (Surface Equivalent Radar), σ , de l'objet, qui s'exprime de la manière suivante, avec P_i la densité de puissance par unité de surface, au niveau de la cible illuminée par le radar et P_s la puissance diffusée par l'objet par unite d'angle solide :

$$\sigma = \frac{P_r}{P_i}$$

- extension spatiale de l'écho de l'objet,
- étalement spectral ou présence de flash de pale,
- etc.

[0030] Comme vu précédemment, il importe, dans la chaîne de traitement des radars, de pouvoir discriminer les échos renvoyés depuis des objets cibles, i.e. qui présentent un intérêt dans le cadre de l'application considérée, de ceux renvoyés depuis les autres objets, ceci d'une part afin de ne pas traiter les échos inutiles et de permettre de diminuer les ressources calculatoires nécessaires et d'autre part de filtrer seulement les échos correspondant aux cibles recherchées et supprimer les autres échos, pour en déduire des informations justes.

[0031] Pour ce faire, dans un mode de réalisation de l'invention, un dispositif de filtrage

d'échos radar 1 est disposé dans la chaîne de traitement des échos reçus par le récepteur radar.

- [0032] Suivant les modes de réalisation, le dispositif de filtrage 1 est disposé à l'une ou plusieurs des étapes de filtrage des échos qui surviennent le long de la chaîne de traitement des échos, parmi les suivantes : filtrage de formation de faisceaux, filtrage doppler, filtrage de compression d'impulsions, classification et filtrage extracteur, filtrage de Kalman, classification et filtrage du pistage etc.
- [0033] Un écho s_n tel que considéré dans la suite de la description peut ainsi alternativement être un hit (dans l'exemple considéré, environ 10 000 hits/s), un plot, qui est un agrégat de hits (dans l'exemple considéré, environ 1000 plots/seconde) ou une piste, qui est une enchaînement de plots (dans l'exemple considéré, environ 100 pistes/s) etc.
- [0034] Les échos considérés sont issus par exemple des réflexions ayant eu lieu suite à un tour d'antenne mis en œuvre par l'émetteur radar (temps nécessaire à un tour d'antenne, par exemple dans la plage [1-10 secondes], comportant des rafales d'impulsions, chaque rafale ayant une durée T_{raf} dans la plage [1 – 10 ms].
- [0035] Dans le cas considéré, l'ensemble des types de cibles recherchés, Ens_{typ_cibles} , comporte N types distincts de cibles parmi lesquels les différents types suivants : hélicoptères, hydrométéores, cibles biologiques, roquette, artillerie, mortier, missile, avion, drone, ..., éoliennes, trafic routier, etc. avec $N \geq 2$. Un des types de cibles de Ens_{typ_cibles} est par exemple « autres » et regroupe tout ce qui ne fait pas partie des autres types de cibles de l'ensemble Ens_{typ_cibles} .
- [0036] Le dispositif de filtrage 1 reçoit les échos successifs s_n ($n = 1, 2, \dots$) détectés au fil du temps et leur ensemble d'attributs respectifs. Le dispositif de filtrage 1 est adapté pour estimer la correspondance de l'écho s_n avec au moins une cible de l'ensemble de cibles Ens_{typ_cibles} et pour délivrer, pour chaque écho détecté s_n reçu en entrée, une information de sortie Out_n déterminée en fonction de cette estimation.
- [0037] Le dispositif de filtrage 1 comporte un bloc électronique de construction d'images 10 et un réseau de neurones 11. Dans un mode de réalisation, le bloc de construction d'images 10 comprend un processeur et une mémoire (non représentés).
- [0038] Le bloc de construction d'images 10 est adapté pour construire, à partir d'un écho s_n et de ses attributs, un ensemble d'image(s), Ens_{IMn} , qui est ensuite fourni en entrée du réseau de neurones 11. La construction de l'ensemble d'image(s) est décrite plus loin, en référence au procédé de la [Fig.2].
- [0039] Le réseau de neurones 11 est un réseau de neurones issu d'un apprentissage préalable.
- [0040] Le réseau de neurones 11 est adapté pour recevoir, en phase d'inférence, l'ensemble d'images Ens_{IMn} construit pour un écho s_n et pour en fonction de cet ensemble d'images, estimer si (ou, dans un mode de réalisation, dans quelle mesure) l'écho s_n

correspond à un écho renvoyé par un type d'objet cible faisant partie de l'ensemble Ens_{typ_cibles} .

- [0041] Dans des modes de réalisation, le réseau de neurones 11 est par exemple adapté pour délivrer, pour l'écho s_n , le pourcentage de correspondance entre l'écho et chacun des types de l'ensemble Ens_{typ_cibles} .
- [0042] Dans un autre mode de réalisation, le réseau de neurones 11 est adapté pour comparer entre eux des pourcentages obtenus pour l'écho s_n pour chaque type de l'ensemble Ens_{typ_cibles} et ne délivre en sortie, pour l'écho s_n , que le type de cible ayant obtenu le pourcentage maximal.
- [0043] Un procédé 100 de filtrage d'échos dans un mode de réalisation de l'invention est représenté à la [Fig.2].
- [0044] Ce procédé comprend une phase préalable comportant l'étape 101 d'apprentissage du réseau de neurones 11 et l'étape 102, qui seront décrites plus loin.
- [0045] En phase opérationnelle de traitement des échos, dans une étape 201, en considérant un écho s_n défini par ses attributs qui sont fournis en entrée du bloc de construction d'images 10, le bloc de construction d'images 10 construit, à partir de ces données d'entrée, un ensemble d'image(s), Ens_{IMn} . La mémoire du bloc de construction d'images 10 comporte par exemple des instructions logicielles, qui lorsqu'elles sont mises en œuvre sur le processeur du bloc de construction 10, mettent en œuvre l'étape 201, détaillée ci-après.
- [0046] L'ensemble d'image(s) comprend K images, avec K fixé ≥ 1 . Par exemple K est supérieur ou égal à 2. La valeur de K dépend de l'application, du nombre d'attributs disponibles, de la précision souhaitée, du nombre de types de cibles.
- [0047] Chaque image de l'ensemble d'images Ens_{IMn} est associée à un couple d'attributs prédéfini parmi les p attributs $att1, att2, \dots, attp$. Par exemple, une image est associée au couple ($att1 = \text{azimut}, att2 = \text{distance}$), une deuxième image est associée au couple ($att3 = \text{temps}, att2 = \text{distance}$) et une troisième image est associée au couple ($att3 = \text{temps}, att4 = \text{SER}$). Les attributs d'un couple sont distincts entre eux. Le couple d'attributs associé à une image de Ens_{IMn} est distinct du couple d'attributs associé à toute autre image de Ens_{IMn} .
- [0048] Chaque position dans l'image associée à ($atti, attj$) est ainsi définie par un couple de valeurs du couple d'attributs ($atti, attj$) (dans des plages prédéfinies) et inversement. Deux positions distinctes sont définies par deux couples de valeurs distincts de ($atti, attj$).
- [0049] Dans le cas considéré, un repère orthonormé est associé à chaque image avec l'axe des abscisses représentant des valeurs du premier attribut du couple associé et l'axe des ordonnées représentant des valeurs du deuxième attribut du couple associé. Dans un mode de réalisation les attributs sont reportés après centrage et normalisation pour ho-

mogénéiser les images y compris en phase d'apprentissage (notamment l'échelle temporelle est normalisée entre la date de la détection à classifier (la plus récente) et cette même date soustraite de la fenêtre de sélection temporelle).

- [0050] Recevant l'écho s_n et ses valeurs d'attributs $\{att1_n, att2_n, \dots, attp_n\}$, le bloc de construction d'images 10 sélectionne, parmi l'ensemble des échos reçus par le dispositif 1 (et précédemment mémorisés dans une mémoire), les échos détectés dans une fenêtre spatio-temporelle prédéterminée comprenant le temps de détection de s_n et la position spatiale de s_n .
- [0051] Puis le bloc de construction d'images 10 construit l'image associée au couple $(att1, att2)$, en plaçant un motif donné (par exemple un point, une croix, un pixel d'une couleur prédéterminée ...) à la position dans l'image définie par le couple de valeurs d'attributs $(att1, att2)$ associé à chacun desdits échos sélectionnés dans la fenêtre spatio-temporelle.
- [0052] Selon les modes de réalisation, la fenêtre spatio-temporelle de profondeur temporelle L est calée sur le temps de détection de l'écho s_n et permet de remonter le temps avec la profondeur temporelle L depuis ce temps.
- [0053] Dans un mode de réalisation, la profondeur temporelle L de la fenêtre spatio-temporelle est située dans la plage de plusieurs secondes à plusieurs minutes.
- [0054] Dans un mode de réalisation, la fenêtre spatio-temporelle entoure (par exemple est centrée sur) la position spatiale de l'écho s_n (i.e. la position spatiale de l'objet à l'origine de cet écho).
- [0055] Par exemple, la profondeur spatiale S de la fenêtre spatio-temporelle est située dans la plage de 0 à k kilomètres en distance (avec k inférieur à 10 km, ou encore avec inférieur à 5 km) et de quelques Θ_{3dB} en azimut (par exemple un nombre de Θ_{3dB} inférieur à 10, ou encore inférieur à 5), Θ_{3dB} étant l'ouverture à -3dB du diagramme antenne émission-réception du radar.
- [0056] Le traitement est itéré pour chacune des K images à construire. L'ensemble d'images Ens_{IMn} déterminé par le bloc de construction 10 pour l'écho s_n est ensuite délivré sous forme de vecteur d'images d'entrée par le bloc 10 au réseau de neurones 11.
- [0057] Le réseau de neurones 11 recevant l'ensemble d'images Ens_{IMn} effectue, dans une étape 202, les traitements de convolution et classification en fonction de l'ensemble d'image(s) et des poids déterminés au cours de l'apprentissage. Il estime si (ou, dans un mode de réalisation, dans quelle mesure) l'écho s_n correspond à un écho renvoyé par un objet cible faisant partie de l'ensemble Ens_{typ_cibles} . Par exemple, le réseau de neurones 11 détermine ainsi, pour l'écho s_n , le pourcentage de correspondance entre l'écho et chacun des types de l'ensemble Ens_{typ_cibles} en fonction de l'ensemble d'images Ens_{IMn} : $x_1\%$ hélicoptères, $x_2\%$ hydrométéores, $x_3\%$ cibles biologiques, $x_4\%$ roquette, $x_5\%$ artillerie, $x_6\%$ mortier, $x_7\%$ missile, $x_8\%$ avion, $x_9\%$ drone, ..., $x_N\%$ éoliennes : ainsi

$(100 - x_1 - x_2 - \dots - x_N) \%$ correspondant au type « autres ».

- [0058] Dans une étape 203, le dispositif de filtrage 1 détermine, pour chaque écho détecté s_n , une information de sortie Out_n en fonction de l'estimation fournie par le réseau de neurones 11 sur la base de l'ensemble d'images Ens_{IMn} et la délivre.
- [0059] Dans un mode de réalisation, le dispositif de filtrage 1 délivre comme information de sortie Out_n un vecteur comportant comme coordonnées les pourcentages délivrés par le réseau de neurones 11 relativement à l'écho s_n . Dans un autre mode de réalisation, le dispositif de filtrage 1, indique comme information de sortie Out_n le type de cible ayant obtenu le pourcentage maximal dans les données de sortie calculées par le réseau de neurones 11.
- [0060] Dans un mode de réalisation, le dispositif 1 fournit l'écho s_n et ses attributs en tant qu'information de sortie Out_n si et seulement si le type de cible déterminé comme celui correspondant (avec le plus grand pourcentage le cas échéant) à l'écho s_n fait partie d'un sous-ensemble prédéterminé des types de cibles de Ens_{typ_cibles} , seul ce sous-ensemble étant considéré comme pertinent pour la suite du traitement (sous-ensemble strict, comportant un nombre strictement inférieur de types à celui de l'ensemble de types de cibles) et si non, le dispositif 1 ne fournit rien en sortie (ou alors fournit une indication de non pertinence) relativement à l'écho s_n : par exemple, ainsi pour la suite du traitement dans la chaîne de traitement, seuls sont gardés les échos assimilés à des avions, hélicoptères, roquettes, artilleries, mortiers, drones et sont supprimés les échos correspondant à des éoliennes, du trafic routier, des fouillis, des interférences, « autres ».
- [0061] Sur la [Fig.3] sont représentés deux ensembles d'images Ens_{IMn1} et Ens_{IMn2} comportant chacun 3 images (azimut, distance), (temps, distance) et (temps, SER). Ces ensembles d'images sont délivrées par le bloc de construction 10 pour deux échos s_{n1} et s_{n2} dans un mode de réalisation de l'invention, dans lequel l'ensemble Ens_{IMn1} a été construit pour un écho s_{n1} généré par un objet de type éolienne tandis que l'ensemble Ens_{IMn2} a été construit pour un écho s_{n2} généré par un objet de type avion.
- [0062] Dans un mode de réalisation, les images pour des attributs fixés ont une taille constante.
- [0063] La [Fig.4] représente l'écho s_n (croix en caractère gras) en cours de traitement par le bloc de construction 10 sur une grille polaire (cases distance, azimut) des détections repérées par des croix lors d'un tour d'antenne radar. Les échos sélectionnés par le bloc 10 lors de l'étape 201 sont ceux situés dans les cellules grisées de la grille polaire dans un mode de réalisation.
- [0064] La solution proposée permet d'effectuer la reconnaissance visuelle des cibles à travers une ou des vues (exemple : temps-distance, temps-azimut, distance-azimut) sur une profondeur temporelle. Le problème de classification à travers le contexte est

rapporté ainsi à une classification d'images.

[0065] La phase d'apprentissage 101 du réseau de neurones est maintenant décrite.

[0066] Pendant la phase d'apprentissage, une base de données d'apprentissage est constituée, comprenant une multitude d'échos (par exemple dans le cas considéré 1 million) associés chacun à des attributs et associés chacun au type auquel il correspond parmi les types d'objets cibles de de l'ensemble $Ens_{\text{typ_cibles}}$ (des milliers d'échos par type). Pour chacun de ces échos, un ensemble de K images (K est prédéfini, de même que le couple d'attributs associé à chaque image) est construit et les poids du réseau de neurones sont définis au fur et à mesure de l'apprentissage de manière à ce que l'erreur de classification diminue entre la classification attribuée pendant l'apprentissage par le réseau de neurones et le type connu et préalablement associé à l'écho. Dans le cas considéré, une phase de validation est ensuite effectuée sur un millier d'exemples (relatifs à une zone géographique autre que celle(s) de l'apprentissage), avec divers modes de fonctionnement radar.

[0067] Dans l'exemple considéré, le réseau de neurones est un réseau de neurones de type Deep Learning, par exemple de type convolutionnel (CNN, en anglais Convolutional Neural Network), tel que représenté en [Fig.5]. Il comporte des couches de convolution (conv1 à conv6) permettant la détection de caractéristiques sur l'image et des couches de classification entièrement connectés (fully connected : fc). Chaque image constitue une photographie du contexte de la détection de l'écho. Les indices « 1 » qui apparaissent indiquent le passage en vecteurs unidimensionnels.

[0068] Chaque image constitue une photographie du contexte de la détection de l'écho.

[0069] D'autres types de réseaux de neurones sont utilisables dans d'autres modes de réalisation de l'invention, par exemple les réseaux de neurones récurrents ou les réseaux de neurones récurrents à mémoire court-terme et long terme, les transformers etc.

[0070] Les calculs mis en œuvre par le réseau de neurones sont par exemple implémentés par des accélérateurs de CNN, comportant des grilles de PE (processing elements) mettant en œuvre des fonctions MAC de multiplication- accumulation en fonction des poids et des images d'entrée.

[0071] Dans l'étape 102 de la phase préalable, le réseau de neurones 11 issu de la phase d'apprentissage 101 est intégré dans le (ou chaque) dispositif de filtrage 1.

[0072] Un filtrage selon l'invention permet ainsi de distinguer entre eux les différents types de cibles et de traiter chacun des échos en fonction de son type de cible tel que déterminé par le dispositif de filtrage. Par exemple, les échos de type hélicoptère, avion, drone subiront un traitement ultérieure, dans la chaîne de traitement du récepteur radar, destiné à préciser de quel type d'hélicoptère, d'avion, de drone il s'agit ; des échos correspondant à des types de cibles considérés comme indésirables (ou ne correspondant pas à des types de cibles jugés utiles) dans la suite du traitement

seront éliminés (bruit, interférences, brouillage, fouillis intentionnel et non intentionnel (sol/mer, météo, oiseaux migrateurs, éoliennes, trafic routier...) de la suite des traitements ou seront soumis à des traitements spécifiques : par exemple, croiser un écho de type éolienne avec le relevé topographique théorique des éoliennes, le trafic routier avec les cartes routières etc.

[0073] Pour un filtrage des plots en sortie extracteur, dans un mode de réalisation, le dispositif 1 remplace le rôle du pistage qui fait le tri entre les plots utiles appartenant à une trajectoire ayant une cohérence cinématique des plots erratiques ou indésirables.

[0074] L'invention propose ainsi une solution de filtrage d'écho, qui :

- se base sur une vision spatio-temporelle élargie,
- replace la détection dans son contexte en extrayant et analysant son historique,
- élargit le champ des informations disponibles à la décision,
- convient parfaitement aux capacités des solutions IA à déceler les motifs et leurs contextes,
- offre un cadre général et unificateur pour les techniques de pistage ou de track before detect,
- améliore nettement les performances du radar/lidar/sonar (compromis détection/ fausse alarme).

[0075] L'invention a été décrite ci-dessus par rapport à une application Radar. Bien sûr, elle est applicable aux différents systèmes d'analyse d'échos, telles que, outre les systèmes RADAR, les systèmes de type SONAR ou LIDAR.

[0076] L'invention a été décrite ci-dessus par rapport à une application de surveillance de trafic aérien. Bien sûr, elle est applicable aux différentes applications : surveillance maritime, routière, météo etc.

Revendications

[Revendication 1]

Procédé de filtrage d'échos reçus par un dispositif récepteur d'échos, chaque écho étant associé à des valeurs d'attributs dudit écho, ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes mises en œuvre par un dispositif électronique de filtrage (1), pour un écho considéré s_n :

- i/ application d'une fenêtre spatio-temporelle de taille prédéterminée comprenant ledit écho s_n considéré et détermination des échos situés dans ladite fenêtre spatio-temporelle y compris ledit écho s_n considéré ;
- ii/ construction d'un ensemble d'image(s) ($En_{S_{IMn}}$) comprenant au moins une image, chaque image de l'ensemble d'image(s) étant associée à un couple prédéfini respectif d'attributs, chaque position dans ladite image correspondant à un couple respectif de valeurs desdits attributs, des positions distinctes correspondant à des couples de valeurs distinctes desdits attributs, selon laquelle, lors de la construction de ladite image, un motif déterminé est inséré dans l'image à une position déterminée, si et seulement si les valeurs des attributs correspondant à ladite position sont les valeurs desdits attributs pour un des échos déterminés dans la fenêtre spatio-temporelle ;
- iii/ fourniture dudit ensemble d'image(s) en entrée d'un réseau de neurones (11) issu d'un apprentissage et adapté pour estimer, en fonction dudit ensemble d'image(s) construit ($En_{S_{IMn}}$) pour l'écho s_n considéré, la correspondance dudit écho considéré à au moins un type d'objets cibles parmi un ensemble prédéfini de types d'objets cibles ; et
- iv/ estimation par ledit réseau de neurones (11) de la correspondance dudit écho s_n considéré à au moins un type d'objets cibles parmi un ensemble prédéfini de types d'objets cibles.

[Revendication 2]

Procédé de filtrage d'échos selon la revendication 1, selon lequel les attributs comprennent un ou plusieurs des éléments suivants, ou en sont fonction :

temps de détection de l'écho,

distance de l'objet à l'origine de l'écho,
 azimut et/ou élévation de l'écho reçu,
 vitesse de l'objet,
 rapport entre les retours captés selon des plans de polarisation orthogonaux ou leurs corrélations,
 rapport signal sur bruit de l'écho,
 Surface Equivalent Radar de l'objet
 extension spatiale de l'écho de l'objet,
 étalement spectral ou présence de flash de pale.

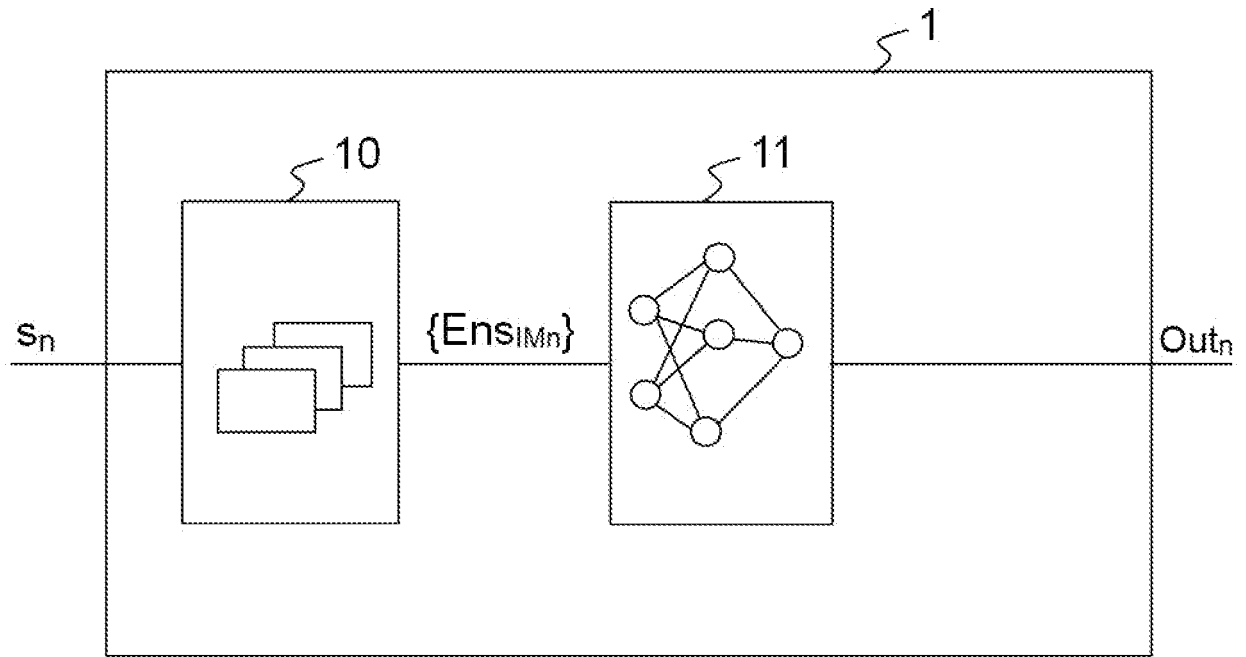
- [Revendication 3] Procédé de filtrage d'échos selon la revendication 1 ou 2, selon lequel l'ensemble d'image(s) (Ens_{IMn}) construit pour chaque écho s_n comprend au moins deux images, le couple d'attributs associé à l'une desdites images étant distinct du couple d'attributs associé à une autre image de l'ensemble d'image(s).
- [Revendication 4] Procédé de filtrage d'échos selon l'une quelconque des revendications précédentes, selon lequel l'ensemble d'image(s) (Ens_{IMn}) construit pour l'écho s_n comprend une ou plusieurs images parmi une image associée au couple d'attributs azimut-distance, une image associée au couple d'attributs temps-distance et une image associée au couple d'attributs temps-SER.
- [Revendication 5] Procédé de filtrage d'échos selon l'une quelconque des revendications précédentes, selon lequel le réseau de neurones (11) est issu d'une phase d'apprentissage au cours de laquelle une base d'apprentissage comprenant des échos associés à leurs attributs et préalablement associés chacun à un type de l'ensemble prédéfini de types d'objets cibles est utilisée, un ensemble d'image(s) étant construit pour chaque écho de la base d'apprentissage conformément aux étapes i et ii et selon lequel l'ensemble d'images construit pour chaque écho est fourni en entrée du réseau en cours d'apprentissage et les poids des neurones du réseau sont modifiés en fonction de l'erreur entre le type préalablement associé à l'écho et l'estimation fournie par le réseau de neurones, dans son état d'apprentissage courant, en fonction dudit ensemble d'image(s).
- [Revendication 6] Programme d'ordinateur, destiné à être stocké dans la mémoire d'un dispositif électronique de filtrage d'échos (1) et comprenant en outre un calculateur, ledit programme d'ordinateur comprenant des instructions qui, lorsqu'elles sont exécutées sur le microcalculateur, mettent en œuvre les étapes d'un procédé selon l'une des revendications précédentes.

- [Revendication 7] Dispositif de filtrage d'échos (1) reçus par un dispositif récepteur d'échos, chaque écho étant associé à des valeurs d'attributs dudit écho, ledit dispositif étant caractérisé en ce qu'il est adapté, pour un écho considéré s_n , pour appliquer une fenêtre spatio-temporelle de taille prédéterminée comprenant ledit écho s_n considéré et pour déterminer des échos situés dans ladite fenêtre spatio-temporelle y compris ledit écho s_n considéré ;
 ledit dispositif étant adapté pour ensuite construire un ensemble d'image(s) (Ens_{IMn}) comprenant au moins une image, chaque image de l'ensemble d'image(s) étant associée à un couple prédéfini respectif d'attributs, chaque position dans ladite image correspondant à un couple respectif de valeurs desdits attributs, des positions distinctes correspondant à des couples de valeurs distinctes desdits attributs, de sorte que, lors de la construction de ladite image, un motif déterminé est inséré dans l'image à une position déterminée, si et seulement si les valeurs des attributs correspondant à ladite position sont les valeurs desdits attributs pour un des échos déterminés dans ladite fenêtre spatio-temporelle ; et
 ledit dispositif est adapté pour ensuite fournir ledit ensemble d'image(s) en entrée d'un réseau de neurones (11) issu d'un apprentissage et adapté pour estimer, en fonction dudit ensemble d'image(s) construit (Ens_{IMn}) pour l'écho s_n considéré, la correspondance dudit écho considéré s_n à au moins un type d'objets cibles parmi un ensemble prédéfini de types d'objets cibles.
- [Revendication 8] Dispositif de filtrage (1) selon la revendication 7, dans lequel les attributs comprennent un ou plusieurs des éléments suivants ou en sont fonction :
 temps de détection de l'écho,
 distance de l'objet à l'origine de l'écho,
 azimut et/ou élévation de l'écho reçu,
 vitesse de l'objet,
 rapport entre les retours captés selon des plans de polarisation orthogonaux ou leurs corrélations,
 rapport signal sur bruit de l'écho,
 Surface Equivalent Radar de l'objet
 extension spatiale de l'écho de l'objet,
 étalement spectral ou présence de flash de pale.
- [Revendication 9] Dispositif de filtrage (1) selon la revendication 7 ou 8, dans lequel

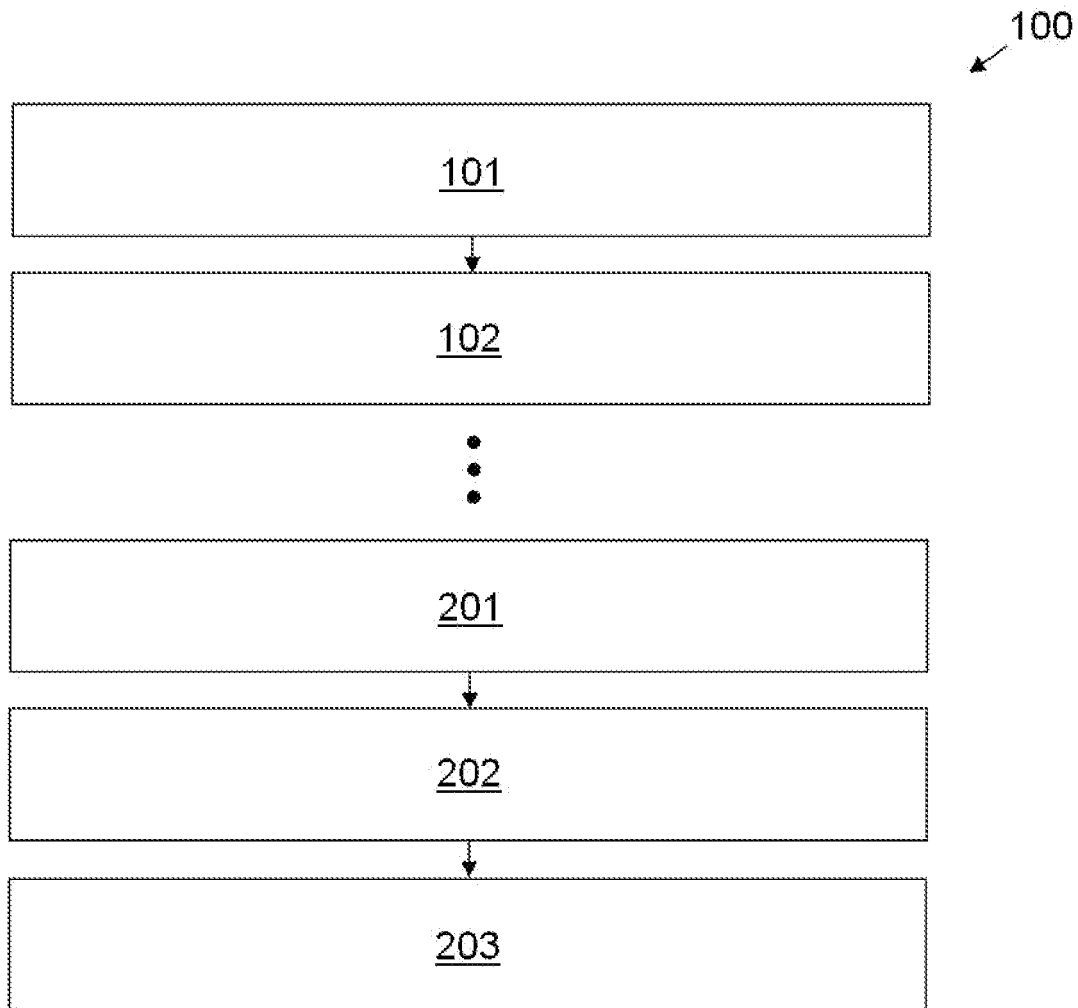
l'ensemble d'image(s) (Ens_{IMn}) construit pour chaque écho s_n comprend au moins deux images, le couple d'attributs associé à l'une desdites images étant distinct du couple d'attributs associé à une autre image de l'ensemble d'image(s).

[Revendication 10] Dispositif de filtrage (1) selon l'une des revendications 7 à 9, dans lequel l'ensemble d'image(s) (Ens_{IMn}) construit pour l'écho s_n comprend une ou plusieurs images parmi une image associée au couple d'attributs azimut-distance, une image associée au couple d'attributs temps-distance et une image associée au couple d'attributs temps-SER.

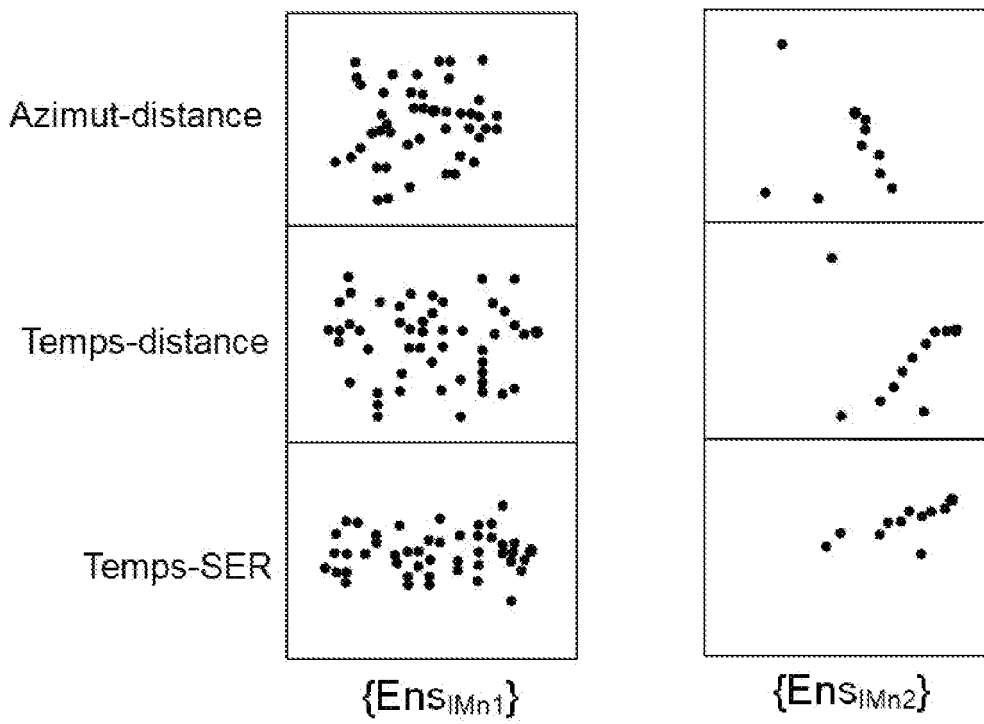
[Fig. 1]



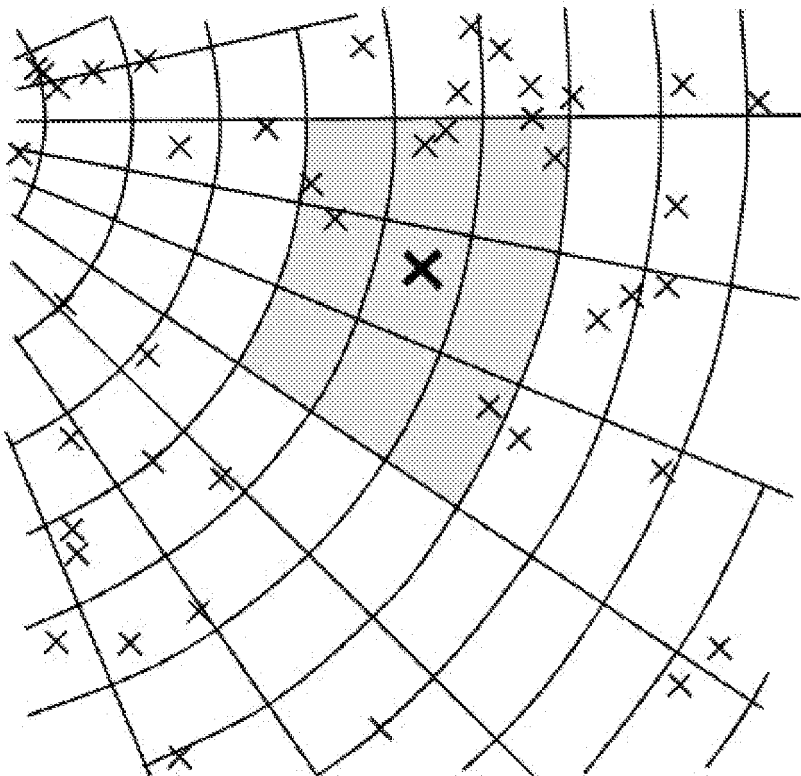
[Fig. 2]



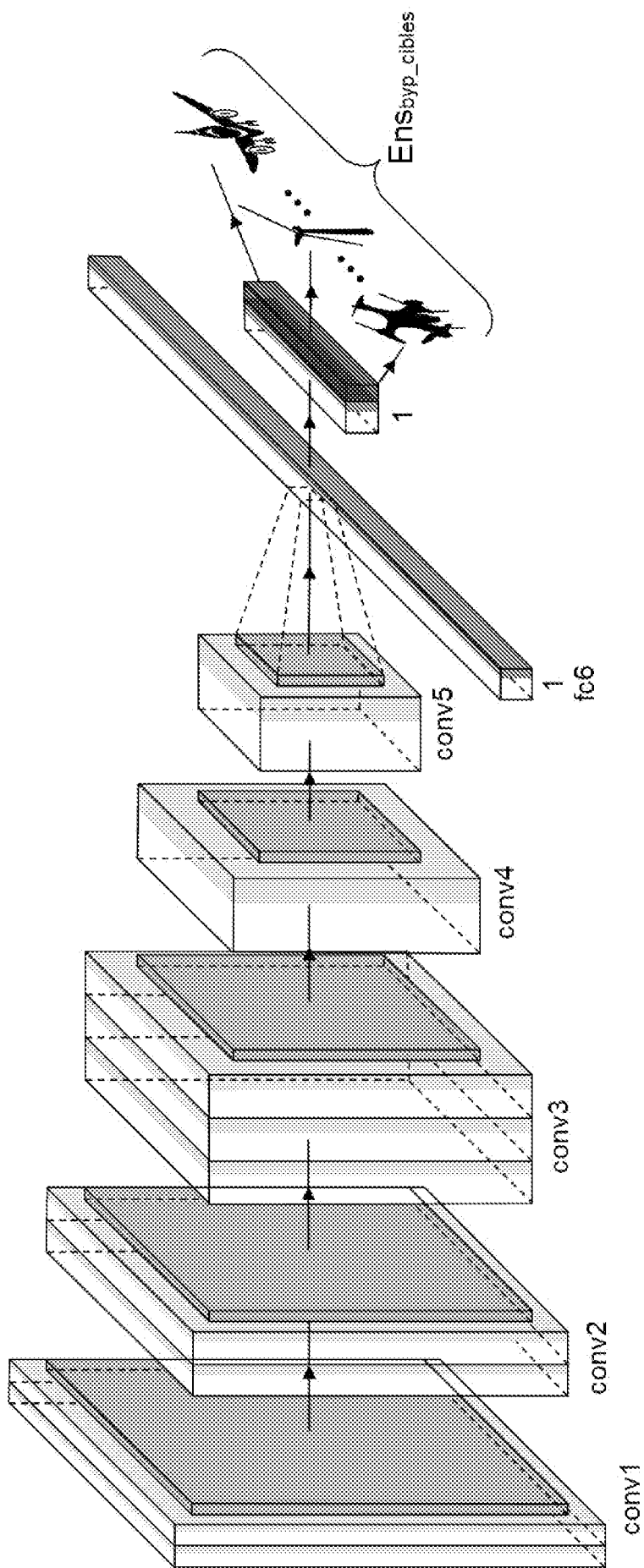
[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 907194
FR 2204498

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	EP 3 715 901 A1 (ROBIN RADAR FACILITIES BV [NL]) 30 septembre 2020 (2020-09-30)	1, 2, 5-8	G01S7/00 G06T1/40
Y	* abrégé; revendications 1, 2, 6, 10; figures 1-8 *	3, 9	
A	* alinéas [0008] - [0012], [0019], [0021], [0022], [0025], [0029] - [0036], [0042] - [0043], [0043], [0056] *	4, 10	
Y	US 2022/036741 A1 (OZTURK ENDER [US] ET AL) 3 février 2022 (2022-02-03)	3, 9	
A	* revendications 13, 20 *	4, 10	
A	* alinéas [0030], [0037], [0041], [0042], [0045], [0048] *	4, 10	
Y	DALE HOLLY ET AL: "A Comparison of Convolutional Neural Networks for Low SNR Radar Classification of Drones", 2021 IEEE RADAR CONFERENCE (RADARCONF21), IEEE, 7 mai 2021 (2021-05-07), pages 1-5, XP033925934, DOI: 10.1109/RADARCONF2147009.2021.9455181 [extrait le 2021-06-14]	3, 9	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	* abrégé; figures 2, 3 *	4, 10	G01S
A	US 2021/156963 A1 (POPOV ALEXANDER [US] ET AL) 27 mai 2021 (2021-05-27)	1-10	
	* abrégé; figures 1-3, 6 *		
	* alinéas [0028], [0038] - [0039], [0040], [0043], [0045] *		
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
28 novembre 2022		Mercier, Francois	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2204498 FA 907194**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **28-11-2022**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 3715901 A1	30-09-2020	EP 3715901 A1	30-09-2020
		US 2022189326 A1	16-06-2022
		WO 2020200704 A1	08-10-2020

US 2022036741 A1	03-02-2022	AUCUN	

US 2021156963 A1	27-05-2021	AUCUN	
