

DESCRIPTION

Titre de l'invention : Procédé et dispositif de supervision d'un système de pistage

Domaine Technique

[0001] L'invention concerne de manière générale les systèmes de pistage, et en particulier un procédé et un dispositif de supervision d'un système de pistage dans un trafic aérien.

[0002] Les systèmes de pistage de trafic aérien sont classiquement utilisés pour gérer le trafic aérien et assurer sa sécurité tout en garantissant des distances de sécurité minimales entre les aéronefs pour éviter les collisions.

[0003] Un système de pistage permet de représenter une situation en temps réel de la position des avions et de leurs vecteurs vitesse.

[0004] Un système de contrôle aérien repose sur des interactions entre des contrôleurs aériens, des superviseurs techniques et le système. Les contrôleurs aériens garantissent des distances de sécurité entre les aéronefs dans l'espace aérien de leurs secteurs. Les superviseurs techniques surveillent le bon fonctionnement du système de contrôle aérien. Néanmoins, lorsque le contrôleur aérien constate une dégradation du système de pistage, le superviseur technique n'est souvent pas en mesure d'identifier l'origine de cette dégradation ni d'y remédier. Inversement, lorsque le superviseur technique constate des faits techniques, il n'est forcément pas en mesure de déterminer l'impact opérationnel de ces faits techniques pour le contrôleur aérien.

[0005] Actuellement, l'identification des causes générant une dégradation de la qualité d'un système de pistage est réalisée à posteriori. Ainsi, lorsque le contrôleur aérien constate un problème majeur, une analyse est réalisée par un expert pour identifier les causes de ce problème. L'analyse de l'expert est longue et se base sur des indicateurs de qualité de service et des exigences spécifiées par la norme ESASSP (acronyme de 'EUROCONTROL Specification for ATM Surveillance System Performance' en langue anglo-saxonne) qui est définie dans le document «EUROCONTROL Specification for ATM Surveillance System Performance, volume 1, ISBN : 978-287497-022-1, mars 2012 ». L'analyse a posteriori permet d'évaluer la conformité du système de pistage aux contraintes et exigences spécifiées par la

norme ESASSP, comme proposé par exemple dans la demande de brevet Français N°FR1800249.

[0006] L'analyse à posteriori permet de mesurer la qualité de pistage par rapport à un ensemble d'indicateurs de performance et des exigences obligatoires et/ou recommandées. Cependant, une telle approche ne permet pas d'identifier et d'expliquer l'origine d'une potentielle dégradation de la qualité de service du système de pistage ou d'un éventuel dysfonctionnement du système de pistage.

[0007] Il existe donc un besoin pour un procédé et un dispositif de supervision améliorés d'un système de pistage de trafic aérien.

Définition Générale de l'invention

[0008] L'invention vient améliorer la situation. A cet effet, l'invention propose un procédé de supervision d'un système de pistage capable d'évaluer et de fournir des informations d'analyse relatives au fonctionnement et à la qualité de service d'un système de pistage de trafic aérien, dans une situation courante du système de pistage définie par la position et le vecteur vitesse d'au moins un aéronef évoluant dans un espace aérien, la position et le vecteur vitesse étant déterminés à partir de données d'un ou plusieurs capteurs.

[0009] Le procédé comprend une étape de détermination de valeurs d'indicateurs de performance représentant la situation courante, le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

- déterminer une caractéristique de fonctionnement du système de pistage pour la situation courante en fonction des valeurs d'indicateurs de performance ;
- si la caractéristique de fonctionnement est représentative d'une anormalité de fonctionnement du système de pistage, déterminer au moins un indicateur de performance correspondant à l'anormalité de fonctionnement, et déterminer des valeurs dudit au moins un indicateur de performance correspondant à un fonctionnement normal;
- déterminer au moins une mesure de la qualité de service du système de pistage pour la situation courante à partir des valeurs d'indicateurs de performance représentant la situation courante ;
- si ladite au moins une mesure de la qualité de service est représentative d'une dégradation de la qualité de service, déterminer au moins un indicateur de

performance correspondant à ladite dégradation de la qualité de service ;
- exécuter au moins un processus d'évaluation associé audit au moins un indicateur de performance correspondant à ladite anormalité de fonctionnement et/ou à ladite dégradation de la qualité de service.

[0010] Selon certains modes de réalisation, la caractéristique de fonctionnement peut être un état choisi dans le groupe comprenant un état de fonctionnement normal, au moins un état de fonctionnement anormal connu, un état de fonctionnement anormal inconnu, et un état de fonctionnement impossible, la caractéristique de fonctionnement étant associée à une anormalité de fonctionnement du système de pistage si ladite caractéristique de fonctionnement n'est pas un état de fonctionnement normal.

[0011] Selon certains modes de réalisation, l'état de fonctionnement normal peut correspondre à une situation connue pour une configuration donnée, la configuration donnée correspondant à une première configuration où ledit au moins un aéronef est en régime de croisière ou à une seconde configuration où ledit au moins un aéronef est en approche d'un aéroport donné associé à un positionnement donné d'un ou plusieurs capteurs et à un type de météo donné pour ledit aéroport donné, ledit au moins un état de fonctionnement anormal connu étant prédéfini, l'état de fonctionnement impossible correspondant à des combinaisons impossibles des valeurs des indicateurs de performance.

[0012] Selon certains modes de réalisation, l'étape de détermination de valeurs d'indicateurs de performance représentant la situation courante peut comprendre le partitionnement de l'espace des valeurs d'indicateurs de performance en une pluralité de zones comprenant au moins une zone de normalité et au moins une zone d'anormalité connue, chaque zone de la pluralité de zones représentant une classe de normalité et étant associée à un état de fonctionnement du système de pistage, ladite au moins une zone de normalité étant associée à l'état de fonctionnement normal, chacune de ladite au moins une zone d'anormalité connue étant associée à un état de fonctionnement anormal connu.

[0013] Selon certains modes de réalisation, le partitionnement de l'espace des valeurs d'indicateurs de performance peut comprendre la détermination de ladite au moins une zone de normalité, à partir de données standards correspondant à des

valeurs d'indicateurs de performance obtenues en situations opérationnelles normales, en appliquant une technique d'apprentissage automatique non supervisée.

[0014] Selon certains modes de réalisation, la technique d'apprentissage automatique non supervisée peut être choisie dans un groupe comprenant des techniques de réduction de dimensionnalité linéaire, des techniques de réduction de dimensionnalité non-linéaire, des techniques de partitionnement et des méthodes à noyau.

[0015] Selon certains modes de réalisation, l'étape de détermination de valeurs d'indicateurs de performance représentant la situation courante peut comprendre la détermination d'un ensemble de données à partir des données standards et un partitionnement de l'ensemble de données en sous-ensembles en appliquant une méthode d'apprentissage supervisée, chaque sous-ensemble correspondant à des valeurs d'indicateurs de performance représentant une zone d'anormalité connue.

[0016] Selon certains modes de réalisation, la méthode d'apprentissage supervisée peut être une méthode de classification de données.

[0017] Selon certains modes de réalisation, une mesure de la qualité de service peut correspondre à un pistage multi-capteur ou à un pistage uni-capteur, la mesure de la qualité de service correspondant à la qualité du pistage global pour une pluralité de capteurs pour un pistage multi-capteur, et à la qualité du pistage pour un capteur donné pour un pistage uni-capteur.

[0018] Selon certains modes de réalisation, les valeurs d'indicateurs de performance pour la situation courante peut être comprises dans une classe de normalité correspondant à la caractéristique de fonctionnement du système de pistage pour la situation courante, une mesure de la qualité de service du système de pistage étant déterminée en fonction de ladite classe de normalité.

[0019] Selon certains modes de réalisation, le système de pistage peut être utilisé pour le pistage dudit au moins un aéronef dans un espace aérien réparti en une pluralité de zones spatiales, une mesure de la qualité de service du système de pistage étant déterminée en association avec chacune de la pluralité de zones spatiales.

[0020] Selon certains modes de réalisation, les valeurs d'indicateurs de performance peuvent avoir au moins une valeur manquante, une mesure de la qualité de service

du système de pistage étant déterminée en présence d'au moins une valeur manquante d'indicateurs de performance.

[0021] Selon certains modes de réalisation, l'étape de détermination d'un indicateur de performance correspondant à la dégradation de la qualité de service peut comprendre la détermination d'un indicateur d'influence associé à chaque indicateur de performance.

[0022] Selon certains modes de réalisation, chaque indicateur de performance peut être associé à un ensemble de processus d'évaluation exécutables pour évaluer l'état d'un sous-système du système de pistage, l'étape d'exécution d'au moins un processus d'évaluation comprenant l'exécution des processus d'évaluation associées audit au moins un indicateur de performance correspondant à l'anormalité de fonctionnement du système de pistage et/ou audit au moins un indicateur de performance correspondant à la dégradation de la qualité de service.

[0023] L'invention fournit en outre un dispositif de supervision d'un système de pistage de trafic aérien, dans une situation courante du système de pistage définie par une position et un vecteur vitesse relatifs à moins un aéronef, la position et le vecteur vitesse étant déterminés à partir de données d'un ou plusieurs capteurs, le dispositif étant configuré pour déterminer des valeurs d'indicateurs de performance représentant la situation courante. Le dispositif est configuré pour:

- déterminer une caractéristique de fonctionnement du système de pistage pour la situation courante en fonction des valeurs d'indicateurs de performance ;
- si la caractéristique de fonctionnement est représentative d'une anormalité de fonctionnement du système de pistage, déterminer au moins un indicateur de performance correspondant à l'anormalité de fonctionnement, et déterminer des valeurs dudit au moins un indicateur de performance correspondant à un fonctionnement normal;
- déterminer au moins une mesure de la qualité de service du système de pistage pour la situation courante à partir des valeurs d'indicateurs de performance représentant la situation courante ;
- si ladite au moins une mesure de la qualité de service est représentative d'une dégradation de la qualité de service, déterminer au moins un indicateur de performance correspondant à ladite dégradation de la qualité de service ;
- exécuter au moins un processus d'évaluation associé audit au moins un indicateur

de performance correspondant à ladite anormalité de fonctionnement et/ou à ladite dégradation de la qualité de service.

[0024] Avantageusement, les modes de réalisation de l'invention fournissent une double analyse d'indicateurs de performance calculés en quasi-temps réel permettant d'évaluer aussi bien la normalité de fonctionnement d'un système de pistage à une situation donnée que sa conformité et sa qualité de service.

[0025] Avantageusement, les modes de réalisation de l'invention permettent d'identifier un fonctionnement anormal du système de pistage en se basant sur des flux de données générés en temps réel moyennant des techniques d'apprentissage machine non-supervisées ou semi-supervisées et de générer une explication en cas de fonctionnement anormal, l'explication identifiant les caractéristiques et les indicateurs de performance expliquant l'anormalité de fonctionnement détectée.

[0026] Avantageusement, les modes de réalisation de l'invention permettent d'identifier une dégradation de la qualité de service moyennant des techniques d'apprentissage machine supervisées et de générer une explication en cas de dégradation de la qualité de service du système de pistage, l'explication de dégradation de la qualité de service identifiant les indicateurs expliquant la dégradation de la qualité de service.

[0027] Avantageusement, les modes de réalisation de l'invention permettent d'identifier les causes racines d'anormalité de fonctionnement et de dégradation de la qualité de service au niveau des indicateurs de performance et au niveau des actions de maintenance possibles pour un opérateur de maintenance.

[0028] Avantageusement, les modes de réalisation de l'invention fournissent des outils de surveillance au superviseur technique d'un système de pistage dans le trafic aérien lui permettant de suivre l'évolution de la qualité de service et d'apprécier l'impact opérationnel des faits techniques sur la qualité de service du système de pistage.

[0029] Avantageusement, les modes de réalisation de l'invention permettent de relier la mesure de l'impact opérationnel aux données d'entrée afin de permettre au superviseur technique d'identifier les causes racines d'une éventuelle dégradation de la qualité de service et d'avoir une explication sur les informations de la qualité de service fournies.

[0030] Avantageusement, l'utilisation conjointe de données supervisées (données taguées par un expert) et non-supervisées (flux de données générés par les capteurs d'un système de pistage) permettent de caractériser les états de fonctionnement normal et les états de fonctionnement correspondant à des anomalies, de détecter les situations anormales et de raffiner le modèle d'évaluation de la qualité de service par les données non-supervisées.

[0031] Avantageusement, les algorithmes d'explication selon les modes de réalisation de l'invention permettent d'apporter une transparence à l'utilisateur (contrôleur ou superviseur technique) et d'identifier les données d'entrée qui expliquent une anomalie.

[0032] D'autres caractéristiques, détails et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description faite en référence aux dessins annexés donnés à titre d'exemple et qui représentent, respectivement :

Brève description des dessins

[0033] D'autres caractéristiques, détails et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description faite en référence aux dessins annexés donnés à titre d'exemple et qui représentent, respectivement :

[0034] [Fig.1] La Figure 1 est un logigramme représentant un procédé de supervision d'un système de pistage, selon certains modes de réalisation de l'invention.

[0035] [Fig.2] La Figure 2 est une vue schématique d'un système informatisé exemplaire pour l'implémentation du procédé de supervision d'un système de pistage, selon certains modes de réalisation de l'invention.

Description détaillée

[0036] Les modes de réalisation de l'invention fournissent un procédé de supervision d'un système de pistage dans le trafic aérien à une situation courante définie par la position et le vecteur vitesse d'au moins un aéronef à partir de données générées en temps réel par un ou plusieurs capteurs.

[0037] Les modes de réalisation de l'invention peuvent être utilisés dans les systèmes de contrôle aérien pour l'aide à la supervision des systèmes de pistage dans le trafic aérien, la prévention des collisions entre aéronefs, et la gestion de la circulation aérienne.

[0038] Selon les modes de réalisation de l'invention, un aéronef peut être tout type d'aéronef tel qu'un avion (avion de ligne, avion militaire, avion privé), un hélicoptère, une montgolfière, ou un drone.

[0039] Selon certains modes de réalisation, un capteur utilisé dans le système de pistage peut être un capteur terrestre, de surface, ou aérien, tel que :

- un radar de contrôle aérien (par exemple un radar primaire ou un radar secondaire) ;
- un système de multilatération (utilisant par exemple la technologie multilatération à grande distance ou encore Wide Area Multilateration ou WAM en langage anglo-saxon) composé de plusieurs balises qui reçoivent les signaux émis par le transpondeur d'un avion pour le localiser ;
- un système ADS-C (acronyme de 'Automatic Dependant Surveillance-Contract' en langue anglo-saxonne) dans lequel un avion utilise ses systèmes de navigation pour automatiquement déterminer et transmettre sa position à un centre de traitement, ou
- un système ADS-B (acronyme de 'Automatic Dependant Surveillance-Broadcast' en langue anglo-saxonne) dans lequel un avion utilise ses systèmes de navigation pour automatiquement déterminer et diffuser sa position ainsi que d'autres informations comme la vitesse et l'indicatif de vol.

[0040] Telle qu'utilisée ici, une configuration donnée correspond à une première configuration où l'au moins un aéronef est en régime de croisière ou à une seconde configuration où l'au moins un aéronef est en approche d'un aéroport donné associé à un positionnement donné d'un ou plusieurs capteurs et à un type de météo donné rencontré pour l'aéroport donné.

[0041] Telle qu'utilisée ici, une situation donnée est définie par la position et le vecteur vitesse relatifs à au moins un aéronef et est représentée par des valeurs des indicateurs de performance évaluant la normalité du fonctionnement et la qualité de service du système de pistage à la situation donnée.

[0042] En référence à la figure 1, les modes de réalisation de l'invention fournissent un procédé de supervision d'un système de pistage permettant l'évaluation et l'explication de la normalité de fonctionnement et de la qualité de service d'un système de pistage à une situation courante, la situation courante étant définie par la

position et le vecteur vitesse relatifs à moins un aéronef évoluant dans un espace aérien.

[0043] Selon certains modes de réalisation, la position et le vecteur vitesse relatifs à au moins un aéronef peuvent être préalablement déterminés ou estimés à partir de données d'un ou plusieurs capteurs mis en œuvre dans le système de pistage en utilisant un algorithme de pistage.

[0044] Selon certains modes de réalisation, l'algorithme de pistage peut être un filtre de Kalman, selon différentes variantes. Le filtre de Kalman permet de déterminer la position, la vitesse, et l'accélération de l'aéronef en estimant sa position de façon itérative. A chaque itération, le filtre de Kalman estime une position de l'aéronef à l'instant courant à partir d'un ensemble de positions observées à des instants précédents correspondants à des itérations précédentes. Une étape de correction suit l'étape d'estimation pour corriger la position prédite en utilisant la mesure courante.

[0045] Selon certains modes de réalisation, l'algorithme de pistage peut être préalablement paramétré en fonction de la configuration donnée, par exemple en fonction des caractéristiques des capteurs, ou du type de la météo.

[0046] A l'étape 101, des valeurs d'indicateurs de performance représentant la situation courante peuvent être déterminées. Les valeurs d'indicateurs de performance peuvent être déterminées sur une fenêtre temporelle glissante.

[0047] Selon certains modes de réalisation, l'étape 101 peut comprendre la construction d'un ensemble $N = \{1, \dots, n\}$ d'indicateurs de performance (aussi appelés 'métriques de performance') pour la mesure de la qualité de pistage du système de pistage.

[0048] Selon certains modes de réalisation, un indicateur de performance peut être choisi en fonction de l'application du système de pistage dans le domaine de l'aviation. Des exemples d'indicateurs de performances comprennent, sans limitations :

- les indicateurs ou métriques utilisées pour la génération des images aériennes intégrées uniques ('Single Integrated Air Picture' en langage anglo-saxon) ;
- les indicateurs ou métriques de qualité de services spécifiées dans la norme ESASSP ;

- des indicateurs supplémentaires comprenant le pourcentage d'aéronefs qui sont pistés dans le système de pistage.

[0049] Selon certains modes de réalisation, l'étape 101 peut comprendre la détermination de la trajectoire reconstruite d'au moins un aéronef entre l'instant courant et l'instant courant moins 1h30 en utilisant des Q-Splines. L'étape 101 peut en outre comprendre la détermination des valeurs des métriques ou d'indicateurs de performance en intégrant des mesures entre l'instant courant moins 15 minutes et l'instant courant moins 1h15mn.

[0050] A l'étape 103, une caractéristique de fonctionnement (aussi appelée 'état de normalité') du système de pistage pour la situation courante peut être déterminée en fonction des valeurs d'indicateurs de performance déterminées à l'étape 101. L'objectif de l'étape 103 est d'identifier l'état de la normalité de la situation courante représentée par les valeurs des indicateurs de performance déterminées à l'étape 101. L'étape 103 permet d'assigner, à la situation courante représentée par un vecteur de n valeurs d'indicateurs de performance $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, un label ou une classe de normalité notée $\eta(x)$ quantifiant son état de normalité ou état de fonctionnement, $\eta(\cdot)$ désignant un classifieur de la normalité et correspond à une fonction qui, à une instance $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, renvoie la classe de normalité $\eta(x)$.

[0051] Selon certains modes de réalisation, la caractéristique de fonctionnement peut être un état choisi dans un groupe comprenant un état de fonctionnement normal (ou état normal), au moins un état de fonctionnement anormal connu (ou encore $q \geq 1$ états de fonctionnement anormal connu), un état de fonctionnement anormal inconnu, et un état de fonctionnement impossible, la caractéristique de fonctionnement étant associée à une anormalité de fonctionnement du système de pistage si la caractéristique de fonctionnement n'est pas un état de fonctionnement normal. L'état de fonctionnement normal correspond à des valeurs normales des indicateurs de performance et à des situations standards enregistrées dans une configuration donnée pour lesquelles le système de pistage fonctionne normalement avec un pistage bien paramétré et aucun problème identifié sur les capteurs du système de pistage. Chaque état de fonctionnement anormal connu est prédéfini et correspond à une situation anormale identifiée et définie par un expert métier. L'état de fonctionnement anormal impossible correspond à des combinaisons impossibles des valeurs des indicateurs de performance, c'est-à-dire des valeurs incompatibles sur

les indicateurs. L'état de fonctionnement anormal inconnu correspond aux autres situations qui sont a priori possibles et anormales, bien qu'il soit impossible d'identifier à quelles situations elles correspondent.

[0052] Les valeurs des indicateurs de performance peuvent être représentées par des points dans un espace multidimensionnel des valeurs d'indicateurs de performance et peuvent être séparées ou groupées en différentes partitions.

[0053] Ainsi, l'étape 101 peut comprendre le partitionnement de l'espace des valeurs d'indicateurs de performance en une pluralité de zones comprenant au moins une zone de normalité et au moins une zone d'anormalité connue, chaque zone de la pluralité de zones représentant une classe de normalité et étant associée à un état de fonctionnement du système de pistage de manière à ce que l'au moins une zone de normalité est associée à l'état de fonctionnement normal et que chacune des zones d'anormalité connues est associée à un état de fonctionnement anormal connu parmi les q états de fonctionnement anormal connu préalablement identifiés. Un état de fonctionnement peut être associé à plusieurs zones de normalité. Les zones d'anormalité connues peuvent être non-disjointes et la zone de normalité ne doit pas intersecter une zone d'anormalité.

[0054] Les zones partitionnées peuvent en outre comprendre une zone associée à l'état de fonctionnement impossible et une zone associée à l'état de fonctionnement anormal inconnu.

[0055] Selon certains modes de réalisation, le partitionnement de l'espace des valeurs d'indicateurs de performance en zones peut se baser sur des techniques d'apprentissage automatique à la fois non-supervisées et supervisées.

[0056] Selon certains modes de réalisation, le partitionnement de l'espace des valeurs d'indicateurs de performance en zones peut comprendre la détermination de l'au moins une zone de normalité, à partir de données standards non-supervisées correspondant à des valeurs d'indicateurs de performance obtenues en situations opérationnelles normales, en appliquant une technique d'apprentissage automatique non supervisée. L'identification de la structure sous-jacente des nuages de points représentant les valeurs des indicateurs de performance associées à ces situations opérationnelles normales permet de déterminer, au sein de l'espace des valeurs d'indicateurs de performance, au moins une zone de normalité représentant

uniquement des situations normales, d'identifier les zones de forte densité de situations normales qui apportent une forte certitude de normalité dans leur voisinage, et d'identifier les anomalies, ou points rares, qui n'apportent que peu de certitude quant à la normalité de leur voisinage.

[0057] Selon certains modes de réalisation, la technique d'apprentissage automatique non supervisée peut être choisie dans un groupe comprenant des techniques de réduction de dimensionnalité linéaire (par exemple l'analyse par composante principale), des techniques de réduction de dimensionnalité non-linéaire (par exemple les auto-encodeurs et l'apprentissage de variété), des techniques de partitionnement de données ou 'clustering' en langage anglo-saxon (par exemple des algorithmes de clustering hiérarchique et l'algorithme 'Density-based Spatial Clustering of Applications with Noise' ou DBSCAN), et des méthodes à noyau (par exemple le clustering à noyau et la méthode ACP à noyaux).

[0058] Selon certains modes de réalisation, les données standards générées peuvent être utilisées pour déterminer au moins une zone d'anormalité connue dans l'espace des valeurs des indicateurs de performance.

[0059] Ainsi, selon certains modes de réalisation, l'étape 101 peut comprendre la détermination d'un ensemble de données à partir des données standards générées et le partitionnement de l'ensemble de données en sous-ensembles en appliquant une méthode d'apprentissage supervisée, chaque sous-ensemble correspondant à des valeurs d'indicateurs de performance représentant une zone d'anormalité connue. Plus précisément, la détermination de l'ensemble de données peut consister à modifier les données standards par des transformations de manière à ce que l'ensemble de données corresponde à des valeurs des indicateurs de performance anormaux connus. En se basant sur la connaissance à priori des causes pouvant générer de telles valeurs des indicateurs de performance anormaux (par exemple des éruptions solaires, des radômes gelés, ou un mauvais paramétrage des capteurs du système de pistage) et sur la connaissance des perturbations engendrant de telles valeurs, les transformations des données standards peuvent consister à appliquer des perturbateurs similaires aux dites perturbations.

[0060] Selon certains modes de réalisation, la méthode d'apprentissage supervisée peut être une méthode de classification de données permettant d'identifier les

structures sous-jacentes de chacun des ensembles de situations correspondant au même état d'anormalité connue.

[0061] Selon certains modes de réalisation, un indicateur de l'incertitude peut être associé à la méthode d'apprentissage supervisée pour quantifier l'incertitude des sorties générées par la méthode d'apprentissage.

[0062] Selon certains modes de réalisation, la détermination d'au moins une zone de normalité peut se baser sur un ensemble de vecteurs des indicateurs de performance récupérés de flux de données générées par le système en situation nominale correspondant à un pistage bien réglé et à aucun incident. L'ensemble de vecteurs des indicateurs de performances peuvent être traités dans un premier temps en appliquant une réduction de dimensionnalité en utilisant un auto-encodeur, puis classifiés en utilisant un algorithme de classification uni-classe.

[0063] Selon certains modes de réalisation, une pluralité d'états de fonctionnement anormal connu peuvent être identifiés au fur et à mesure de la durée de vie du système de pistage, comprenant un état de fonctionnement anormal mauvaise calibration et un état de fonctionnement anormal irruption solaire. La détermination des zones d'anormalité connue correspondant à cette pluralité d'états de fonctionnement anormal connu peut se baser sur la transformation de données standards correspondant à des états de fonctionnement normal. Par exemple, pour la détermination de la zone de fonctionnement anormal connu correspondant à l'état de fonctionnement anormal mauvaise calibration, le vecteur de valeurs des indicateurs de performance produits par le système de pistage en phase de calibration du pistage peuvent être transformées en réduisant les valeurs des paramètres de pistage. Les perturbations des calibrations de pistage peuvent être réalisées pour chaque capteur utilisé dans le système de pistage.

[0064] A l'étape 105, l'anormalité de fonctionnement du système de pistage peut être expliquée si la caractéristique de fonctionnement déterminée à l'étape 103 est représentative d'une anormalité de fonctionnement du système de pistage. L'explication peut prendre différentes formes pour expliquer pourquoi l'état de fonctionnement du système de pistage n'est pas normal. En particulier, l'étape 105 peut comprendre la détermination d'au moins un indicateur de performance

correspondant à l'anormalité de fonctionnement et la détermination des valeurs des indicateurs de performance correspondant à un fonctionnement normal.

[0065] Ainsi, selon certains modes de réalisation, l'étape 105 peut se baser sur une méthode d'explication contre-factuelle qui consiste à identifier la liste des indicateurs de performance expliquant que l'état de fonctionnement n'est pas normal et à identifier la modification minimale des indicateurs de performance de la liste identifiée qui permettrait de ramener la caractéristique de fonctionnement du système déterminée à l'étape 103 à un état de fonctionnement normal. La méthode d'explication permet, pour une situation courante représentée par un vecteur $x = (x_1, \dots, x_n)$ de valeurs d'indicateurs de performance et une classe de normalité $\eta(x)$ indiquant un état de fonctionnement différent de l'état normal, d'expliquer pourquoi la situation courante ne correspond pas à l'état normal.

[0066] Selon certains modes de réalisation, la méthode d'explication peut consister en la détermination du vecteur $\hat{y} = (\hat{y}_1, \dots, \hat{y}_n)$ de valeurs d'indicateurs de performance correspondant à une classe de normalité $\eta(\hat{y})$ indiquant un état de fonctionnement normal du système de pistage, qui soit le plus proche au vecteur $x = (x_1, \dots, x_n)$ en résolvant le problème d'optimisation donné par :

$$\hat{y} = \underset{y}{\operatorname{argmin}} \max_t t \times (\eta(y) - c)^2 + d(x, y),$$

avec $d(x, y)$ désignant une métrique de distance entre les vecteurs x et y . Le premier terme $t \times (\eta(y) - c)^2$ tient compte du fait que la nouvelle instance y soit de classe c indiquant un état de fonctionnement normal et le second terme $d(x, y)$ tient compte du fait que la nouvelle instance y soit le plus proche possible du vecteur x .

[0067] Selon certains modes de réalisation, la métrique de distance entre les vecteurs x et y peut être choisie dans un groupe comprenant la distance Euclidienne et la distance associée à la norme L1.

[0068] Selon certains modes de réalisation, le niveau d'influence de chaque indicateur dans la comparaison entre le vecteur $x = (x_1, \dots, x_n)$ et le vecteur $\hat{y} = (\hat{y}_1, \dots, \hat{y}_n)$ peut être déterminé en utilisant la valeur de Shapley.

[0069] A l'étape 107, au moins une mesure de la qualité de service du système de pistage pour la situation courante peut être déterminée à partir des valeurs d'indicateurs de performance représentant la situation courante déterminées à

l'étape 101. La mesure de la qualité de service peut être réalisée au niveau global sur le pistage multi-capteur ou à un niveau local pour un capteur particulier.

[0070] Ainsi, une mesure de la qualité de service peut correspondre à un pistage multi-capteur correspondant à la qualité du pistage global pour une pluralité de capteurs ou à un pistage uni-capteur correspondant à la qualité de service pour un capteur donné.

[0071] Selon certains modes de réalisation, la mesure de la qualité de service peut être une fonction $Q(.)$ monotone qui renvoie un nombre réel $Q(x)$ désignant une mesure de la qualité de service et indiquant le niveau de la qualité de service, à partir du vecteur $x = (x_1, \dots, x_n)$ des n valeurs d'indicateurs de performance.

[0072] Selon certains modes de réalisation, une mesure de la qualité de service peut être déterminée en fonction de la classe de normalité $\eta(x)$ correspondant à la caractéristique de fonctionnement du système de pistage pour la situation courante et au vecteur $x = (x_1, \dots, x_n)$ des n valeurs d'indicateurs de performance. Selon ces modes de réalisation, la fonction $Q_{\eta(x)}(.)$ peut être indexée par la classe de normalité $\eta(x)$, un modèle de calcul distinct correspondant à une fonction distincte étant utilisé pour les différentes classes de normalité, et le seul argument de la fonction $Q_{\eta(x)}(.)$ étant le vecteur $x = (x_1, \dots, x_n)$ des n valeurs d'indicateurs de performance.

[0073] Selon certains modes de réalisation, la classe de normalité peut être utilisée comme attribut du modèle de qualité de service, en plus du vecteur des indicateurs de performance. Dans ces modes de réalisation, le modèle de la qualité de service peut être une fonction $Q(\eta(x), x)$ ayant comme arguments le vecteur $x = (x_1, \dots, x_n)$ des n valeurs d'indicateurs de performance et la classe de normalité $\eta(x)$ correspondant au vecteur x .

[0074] Selon certains modes de réalisation, une pluralité de mesures de la qualité de service peut être déterminée, la pluralité de mesures de la qualité de service comprenant une mesure de la qualité de pistage global multi-capteur, et une mesure de la qualité du pistage uni-capteur pour chaque type de capteur (radar, WAM, ADS-B).

[0075] Selon certains modes de réalisation, un modèle de qualité de service peut être déterminé pour le pistage multi-capteur, un modèle de qualité de service peut être déterminé pour chaque radar ou groupe de radars, un modèle de qualité de service

peut être déterminé pour les informations WAM, et un modèle de qualité de service peut être déterminé pour les informations ADS-B, différentes métriques de performance étant utilisées pour chaque modèle de qualité de service.

[0076] Par exemple, pour le pistage multi-capteur, les métriques de la norme ESASSP peuvent être utilisées en considérant aussi les exigences obligatoires et recommandées par la norme ESASSP. Pour le modèle de radar secondaire, une pluralité d'indicateur de performance et d'exigences peut être utilisée comprenant une valeur de l'indicateur 'biais sur la portée' en dessous de 100m, une valeur de l'indicateur 'biais en azimuth' en dessous de 0.1, une valeur de l'indicateur 'écart-type sur la portée' en dessous de 70m, une valeur de l'indicateur 'écart-type en azimuth' en dessous de 0.1, une valeur de l'indicateur 'délais maximal sur un rapport d'une cible' en dessous de 2 secondes, une valeur de l'indicateur 'ratio de fausses pistes' en dessous de 0.1%, et une valeur de l'indicateur 'probabilité de détection' au-dessus de 70%. Pour le modèle WAM, une pluralité d'indicateurs et d'exigences obligatoires de la norme ESASSP peut être utilisée comprenant une valeur de l'indicateur 'erreur RMS horizontale en position' inférieure à 350m en ER et inférieure à 150m en TMA, une valeur de l'indicateur 'délais de traitement' inférieure à 1 seconde en mode 'Data Driven' et inférieure à 1 seconde plus la période de sortie en mode 'periodic delayed' et inférieure à 0.5 seconde pour le mode 'période prédite périodiquement', une valeur de l'indicateur 'probabilité de détection de la position' supérieure à 97%, et une valeur de l'indicateur 'ratio de fausses pistes' inférieure à 0.1%.

[0077] Selon certains modes de réalisation, un ensemble A d'indicateurs de performance peuvent correspondre à des statistiques sur des événements pour lesquels les valeurs des indicateurs de performance comprennent au moins une valeur peuvent ne pas être calculables sur la fenêtre temporelle courante. Dans ces modes de réalisation, le vecteur $x = (x_1, \dots, x_n)$ peut ne comprendre de valeurs que sur l'ensemble $N = \{1, \dots, n\} \setminus A$ et avoir des valeurs manquantes en association avec les indicateurs de performance de l'ensemble A . Le vecteur $x_{N \setminus A}$ désigne le vecteur comprenant des valeurs des indicateurs de performance sur l'ensemble $N \setminus A$.

[0078] Selon certains modes de réalisation, la détermination de la mesure de la qualité de service en présence de valeurs manquantes d'indicateurs de performance peut être réalisée selon une première approche qui consiste à compléter le vecteur $x_{N \setminus A}$ par les valeurs z_A manquantes pour les indicateurs de l'ensemble A qui sont les

plus défavorables pour le vecteur x et de déterminer la mesure de la qualité de service $Q(x_{N \setminus A}, z_A)$ à partir des vecteurs $x_{N \setminus A}$ et du vecteur z_A .

[0079] Selon certains modes de réalisation, la détermination de la mesure de la qualité de service en présence de valeurs manquantes d'indicateurs de performance peut être réalisée selon une seconde approche qui se base sur la probabilité à priori sur les valeurs manquantes et l'évaluation de l'espérance de la mesure de la qualité de service $Q(x_{N \setminus A}, z_A)$ suivant la probabilité sur z_A .

[0080] Selon certains modes de réalisation, la détermination de la mesure de la qualité de service en présence de valeurs manquantes d'indicateurs de performance peut être réalisée selon une troisième approche qui se base sur la détermination d'une nouvelle fonction de qualité de service $Q_{-A}(x_{N \setminus A})$ à partir de la fonction $Q(\cdot)$ en se basant sur des propriétés dépendantes de la fonction $Q(\cdot)$. En particulier, la fonction $Q(\cdot)$ peut être une fonction générale ou une fonction monotone et normalisée, ou une fonction utilisant une intégrale de Choquet.

[0081] L'intégrale de Choquet est une fonction d'agrégation $C_\mu: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ ayant comme paramètre un vecteur $\mu: 2^N \rightarrow [0,1]$. Pour $S \subseteq N$, $\mu(S)$ représente l'importance des critères S . Le modèle de qualité de service peut s'écrire sous la forme $Q(x) = F(u_1(x_1), \dots, u_n(x_n))$, où $F = C_\mu$ est la fonction d'agrégation et $u_i: Y_i \rightarrow \mathbb{R}$ est la fonction d'utilité (de normalisation) sur l'indicateur i , Y_i désignant l'ensemble des valeurs que l'indicateur i peut prendre. Cette fonction d'agrégation F est monotone et normalisée. Les fonctions d'utilité sont elles-mêmes normalisées et satisfaisant $u_i(\perp_i) = 0, u_i(\top_i) = 1$. Ainsi $C_\mu(0, \dots, 0) = 0$ et $C_\mu(1, \dots, 1) = 1$. L'intégrale de Choquet satisfait en plus à une propriété d'idempotence qui indique que $C_\mu(t, \dots, t) = t$.

[0082] Selon les modes de réalisation utilisant une fonction $Q(\cdot)$ générale et considérant des indicateurs prenant des valeurs discrètes, la nouvelle fonction $Q_{-A}(x_{N \setminus A})$ peut être donnée par: $Q_{-A}(x_{N \setminus A}) = \frac{1}{\prod_{i \in A} |Y_i|} \sum_{z_A \in Y_A} Q(x_{N \setminus A}, z_A)$. La somme peut être remplacée par une intégrale lorsque les indicateurs prennent des valeurs continues.

[0083] Selon certains modes de réalisation utilisant une fonction $Q(\cdot)$ monotone par rapport aux indicateurs de performance et normalisée et des indicateurs prenant des valeurs discrètes, la nouvelle fonction $Q_{-A}(x_{N \setminus A})$ peut être donnée par: $Q_{-A}(x_{N \setminus A}) =$

$\frac{\sum_{z_A \in Y_A} (Q(x_{N \setminus A, z_A}) - Q(\perp_{N \setminus A, z_A}))}{\sum_{z_A \in Y_A} (Q(\top_{N \setminus A, z_A}) - Q(\perp_{N \setminus A, z_A}))}$, avec $\top_{N \setminus A}$ désignant un élément le plus préféré pour l'attribut $N \setminus A$ et $\perp_{N \setminus A}$ désignant un élément le moins préféré pour l'attribut $N \setminus A$. La somme peut être remplacée par une intégrale lorsque les indicateurs prennent des valeurs continues.

[0084] Dans certains modes de réalisation où la fonction $Q(\cdot)$ utilise une intégrale de Choquet, la nouvelle fonction $Q_{-A}(x_{N \setminus A})$ peut être donnée par : $Q_{-A}(x_{N \setminus A}) = F_{-A}(u_i(x_i), i \in N \setminus A)$, avec $F_{-A}(d_{N \setminus A}) = \frac{G_{-A}(d_{N \setminus A}) - G_{-A}(0_{N \setminus A})}{G_{-A}(1_{N \setminus A}) - G_{-A}(0_{N \setminus A})}$ et $G_{-A}(d_{N \setminus A}) = \sum_{B \subseteq A} C_\mu(d_{N \setminus A}, 1_B, 0_{A \setminus B})$.

[0085] L'intégrale de Choquet permet de modéliser les critères qui interagissent entre eux. Un cas particulier consiste à se limiter à des interactions uniquement entre paires de critères. L'expression de l'intégrale de Choquet – appelée alors intégrale de Choquet 2-additive – est donnée par $C_\mu(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i \in N} v_i x_i + \sum_{\{i, j\} \subseteq N} I_{i, j} \frac{|x_i - x_j|}{2}$, avec v_i désignant l'importance du critère i , et $I_{i, j}$ désignant le niveau d'interaction entre les critères i et j . Pour ce modèle, la nouvelle fonction Q_{-A} peut s'écrire sous la forme : $Q_{-A}(x_{N \setminus A}) = F_{-A}(u_i(x_i), i \in N \setminus A)$, où F_{-A} désigne une intégrale de Choquet 2-additive avec les coefficients d'importance et d'interaction donnés par $v_i^{N \setminus A} = \frac{v_i}{\sum_{k \in N \setminus A} v_k}$ et $I_{i, j}^{N \setminus A} = \frac{I_{i, j}}{\sum_{k \in N \setminus A} v_k}$, avec v_i et $I_{i, j}$ désignant les indices d'importance et d'interaction de l'intégrale de Choquet C_μ définie sur l'ensemble N des critères.

[0086] Selon certains modes de réalisation où le nombre d'indicateurs est élevé, la fonction d'agrégation peut être organisée de manière hiérarchique.

[0087] Selon certains modes de réalisation, la décomposition hiérarchique de la fonction d'agrégation peut être composée de plusieurs intégrales de Choquet. Les opérateurs de restrictions peuvent ainsi être appliqués à chaque intégrale de Choquet.

[0088] Selon certains modes de réalisation, une arborescence de critères de normalisation et d'agrégation peut être déterminée pour chaque modèle de qualité de service. Les exigences obligatoires et recommandées peuvent être séparées et des fonctions d'utilité affines par morceau et une intégrale de Choquet peuvent être utilisées pour les agrégations.

[0089] Selon certains modes de réalisation, le système de pistage peut être utilisé pour le pistage d'au moins un aéronef dans un espace aérien réparti en une pluralité de zones spatiales, l'évaluation de la qualité de pistage pouvant être réalisée sur chaque zone spatiale séparément afin d'identifier dans quelle zone la qualité de service est dégradée ou un problème de fonctionnement est survenu. Dans ces modes de réalisation, au moins une mesure de la qualité de service du système de pistage peut être déterminée à l'étape 107 en association avec chacune de la pluralité de zones spatiales.

[0090] Selon certains modes de réalisation, la détermination de mesures de qualité de service sur une pluralité de zones spatiales peut se baser sur un pavage uniforme de l'espace aérien en une pluralité de cellules définies par la norme ESASSP, les cellules étant regroupées de manière à ce que le trafic aérien soit homogène groupe de cellules à un autre.

[0091] Selon les modes de réalisation de l'invention, la détermination des groupements de cellules peut se baser sur une méthode comprenant les étapes consistant à :

- déterminer un pavage uniforme initial de l'espace aérien en cellules uniformes spécifiées par la norme ESASSP, le nombre de mesures étant connu pour chacune des cellules du pavage initiale ;
- déterminer deux groupements connexes de l'ensemble des cellules en découpant l'ensemble de cellules en deux sous-ensembles de manière à ce que les deux groupements ou deux sous-ensembles ont un nombre total de mesures relativement identique, le nombre total de mesures correspondant à la somme du nombre de mesures sur les cellules composant chaque sous-ensemble. Cette étape est répétée sur chacun des deux sous-ensembles en découpant chaque sous-ensemble en deux domaines et ainsi de suite jusqu'à ce que le nombre de mesures dans un domaine atteigne un seuil donné. Cette étape peut être avantageusement réalisée en appliquant un découpage affine de l'ensemble de cellules.

[0092] Selon certains modes de réalisation, le découpage des ensembles des cellules peut être réalisé dynamiquement à chaque calcul d'une mesure de la qualité de service, le nombre de mesures présent dans chaque cellule évoluant dans le temps.

[0093] A l'étape 109, une explication de la dégradation de la qualité de service du système de pistage peut être déterminée si l'au moins une mesure de la qualité de service déterminée à l'étape 107 est représentative d'une dégradation de la qualité de service, par exemple si au moins une mesure de la qualité de service est inférieure à un seuil de qualité de service prédéfini. Selon les modes de réalisation de l'invention, l'explication de dégradation de la qualité de service consiste à déterminer au moins un indicateur de performance correspondant à la dégradation de la qualité de service et expliquant la différence entre le niveau de la qualité de service correspondant à la situation courante et au vecteur $x = (x_1, \dots, x_n)$ des n valeurs d'indicateurs de performance représentant la situation courante et au moins un niveau de qualité de service correspondant à une situation donnée. La situation donnée peut par exemple représenter une situation normale correspondant à un état normal de fonctionnement du système de pistage et à un vecteur $y_{opt} = (y_{opt,1}, \dots, y_{opt,n})$ de valeurs d'indicateurs de performance, ou une situation catastrophique correspondant à un état de fonctionnement du système de pistage où tous les indicateurs de performance ont des mauvaises évaluations.

[0094] Pour déterminer quels sont les indicateurs de performance correspondant et expliquant la dégradation de la qualité de service pour la situation courante, une mesure (aussi appelée 'indice d'influence') notée $I_i(x, y_{opt}; T, Q)$ peut être utilisée pour mesurer l'influence de l'indicateur $i \in \{1, \dots, n\}$ dans la différence $Q(x) - Q(y_{opt})$ entre le vecteur $x = (x_1, \dots, x_n)$ des n valeurs d'indicateurs de performance représentant la situation courante et le vecteur $y_{opt} = (y_{opt,1}, \dots, y_{opt,n})$ des n valeurs d'indicateurs de performance représentant une situation normale, avec $Q(\cdot)$ représentant le modèle de mesure de la qualité de service organisé sous forme arborescente par rapport à une arborescence ou un arbre noté T , les indicateurs de performance étant organisés de manière hiérarchique.

[0095] Afin de distinguer la contribution de chaque indicateur $i \in \{1, \dots, n\}$ dans la différence $Q(x) - Q(y_{opt})$, l'indice d'influence de l'indicateur $i \in \{1, \dots, n\}$ peut être déterminé à partir d'indices d'influence partiels notés $\delta_{\pi}^{x, y_{opt}, T, Q}(i)$, chaque indice d'influence partiel $\delta_{\pi}^{x, y_{opt}, T, Q}(i)$ étant déterminé à partir des vecteurs permutés obtenus en appliquant une permutation π sélectionnée dans l'ensemble $\pi(T)$ des permutations compatibles dans l'arbre T tel que

$\delta_{\pi}^{x,y_{opt},T,Q}(i) := Q(y_{opt,S_{\pi}(i)}, x_{N \setminus S_{\pi}(i)}) - Q(y_{opt,S_{\pi}(i) \setminus \{i\}}, x_{(N \setminus S_{\pi}(i)) \cup \{i\}})$, avec $S_{\pi}(\pi(k)) = \{\pi(1), \dots, \pi(k)\}$. L'indice d'influence de l'indicateur $i \in \{1, \dots, n\}$ peut ainsi être déterminé comme étant la moyenne des indices d'indicateurs partiels sur toutes les permutations π de l'ensemble $\pi(T)$ tel que $I_i(x, y_{opt}; T, Q) = \frac{1}{|\Pi(T)|} \sum_{\pi \in \Pi(T)} \delta_{\pi}^{x,y_{opt},T,Q}(i)$.

[0096] Dans certains modes de réalisation où le vecteur x des valeurs d'indicateurs de performance représentant la situation courante comprend des valeurs manquantes, l'indice d'influence d'un indicateur $i \in \{1, \dots, n\}$ peut être déterminé en procédant dans un premier temps à la détermination des valeurs manquantes.

[0097] Selon certains modes de réalisation où le vecteur x des valeurs d'indicateurs de performance représentant la situation courante comprend des valeurs manquantes, l'indice d'influence d'un indicateur $i \in \{1, \dots, n\}$ peut être déterminé en se basant sur une définition de l'influence de l'indicateur i par $I_i(x; T, Q) = \frac{1}{|\Pi(T)|} \sum_{\pi \in \Pi(T)} \Delta_{\pi}^{x,T,Q}(i)$, avec $\Delta_{\pi}^{x,T,Q}(i) = Q_{-N \setminus S_{\pi}(i)}(x_{S_{\pi}(i)}) - Q_{-N \setminus (x_{S_{\pi}(i)} \setminus \{i\})}(x_{S_{\pi}(i) \setminus \{i\}})$ et $Q_{\emptyset}(x_{\emptyset}) = 0$, en se basant sur l'opérateur de restriction sur les valeurs manquantes.

[0098] Selon certains modes de réalisation, les calculs réalisés pour la détermination des indices d'influences des indicateurs de performance peuvent utiliser des algorithmes de somme compensée plutôt que les opérateurs standards de sommation.

[0099] Selon certains modes de réalisation, chaque indicateur de performance peut être associé à un ensemble de processus d'évaluation exécutable (ensemble de fiches reflexes) permettant d'évaluer l'état d'un sous-système du système de pistage et d'identifier l'origine des potentielles anomalies de fonctionnement du système de pistage.

[0100] A l'étape 111, les processus d'évaluation (sous la forme de fiches reflexes d'identification des causes racines) associés aux indicateurs de performance correspondant à une anomalie de fonctionnement et/ou à une dégradation de la qualité de service peuvent être déterminées et exécutées par l'opérateur de maintenance du système de pistage. Plus précisément, l'étape 111 peut comprendre la détermination ou l'identification, et l'exécution des fiches reflexes les plus pertinentes associées aux indicateurs de performance expliquant l'anomalie de fonctionnement du système de pistage à la situation courante et les fiches reflexes

les plus pertinentes associées aux indicateurs de performance expliquant la dégradation de la qualité de service du système de pistage à la situation courante.

[0101] Selon certains modes de réalisation, l'étape 111 peut consister à identifier et exécuter les fiches reflexes associées aux indicateurs de performance correspondant à des valeurs pour la situation courante qui sont significativement différentes des valeurs pour l'exemple contre-factuel considéré.

[0102] Selon certains modes de réalisation, l'étape 111 peut comprendre une sous-étape consistant à comparer les résultats obtenus sur les différents modèles de qualité de service comprenant le modèle utilisé pour le pistage multi-capteur et les modèles utilisés pour chaque type de capteur pour le pistage uni-capteur. L'étape 111 peut en outre comprendre une sous-étape consistant à identifier les indicateurs ayant la plus grande influence sur la dégradation de la qualité de service parmi les indicateurs des différents modèles comparés, et à sélectionner un nombre d'indicateurs, ce nombre d'indicateurs étant déterminés soit en retenant les indicateurs qui sont associés aux p plus grands indices d'influence ou en appliquant un algorithme de clustering à la distribution des indices d'influence et en sélectionnant les indicateurs de la première classe. La sélection des indicateurs de performance en appliquant l'algorithme de clustering permet avantageusement de sélectionner les indicateurs de performance de manière dynamique en fonction de la répartition des valeurs.

[0103] Selon certains modes de réalisation, l'étape 111 peut consister à recueillir l'ensemble des niveaux d'influence de chaque indicateur en incluant les différents modèles de qualité de service, à classer les indicateurs suivant la somme des niveaux d'influence qu'il a, et à exécuter les fiches reflexes associées à ces indicateurs dans l'ordre du classement des indicateurs.

[0104] L'invention fournit par ailleurs un dispositif de supervision d'un système de pistage de trafic aérien, dans une situation courante du système de pistage définie par une position et un vecteur vitesse relatifs à moins un aéronef, la position et le vecteur vitesse étant déterminés à partir de données d'un ou plusieurs capteurs, le dispositif étant configuré pour déterminer des valeurs d'indicateurs de performance représentant la situation courante, caractérisé en ce que le dispositif est configuré pour:

- déterminer une caractéristique de fonctionnement du système de pistage pour ladite situation courante en fonction desdites valeurs d'indicateurs de performance ;
- si ladite caractéristique de fonctionnement est représentative d'une anomalie de fonctionnement du système de pistage, déterminer au moins un indicateur de performance correspondant à l'anomalie de fonctionnement, et déterminer des valeurs de au moins un indicateur de performance correspondant à un fonctionnement normal;
- déterminer au moins une mesure de la qualité de service du système de pistage pour la situation courante à partir des valeurs d'indicateurs de performance représentant la situation courante;
- si l'au moins une mesure de la qualité de service est représentative d'une dégradation de la qualité de service, déterminer au moins un indicateur de performance correspondant à la dégradation de la qualité de service ;
- exécuter au moins un processus d'évaluation associé à l'au moins un indicateur de performance correspondant à l'anomalie de fonctionnement et/ou à ladite dégradation de la qualité de service.

[0105] L'invention fournit par ailleurs un produit programme d'ordinateur comprenant des instructions de code permettant d'effectuer les étapes du procédé lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur.

[0106] Les modes de réalisation de l'invention peuvent être mis en œuvre par divers moyens, par exemple par du matériel ('hardware'), des logiciels, ou une combinaison de ceux-ci.

[0107] Le procédé, dispositif, et le produit programme d'ordinateur de supervision et d'évaluation d'un système de pistage selon les différents modes de réalisation de l'invention peuvent être mis en œuvre sur un ou plusieurs dispositifs ou systèmes informatiques, désignés collectivement sous le nom d'ordinateur, tel que l'ordinateur 20 illustré à la Figure 2. L'ordinateur 20 peut inclure diverses unités de calcul, de stockage et de communications configurées pour interagir les unes avec les autres par l'intermédiaire d'un port de données et d'adresse 29, comprenant un processeur 21, un ou plusieurs périphériques de stockage 23, une interface d'entrée/sortie (I/O) 25 et une interface Homme-Machine (HMI) 27.

[0108] Le processeur 21 peut inclure un ou plusieurs dispositifs sélectionnés : des microprocesseurs, des microcontrôleurs, des processeurs de signal numérique, des micro-ordinateurs, des unités centrales de traitement, des réseaux de portes programmables, des dispositifs logiques programmables, des machines à état défini, des circuits logiques, des circuits analogiques, des circuits numériques, ou tout autre dispositif servant à manipuler des signaux (analogues ou numériques) basé sur des instructions de fonctionnement enregistrées dans la mémoire. La mémoire peut inclure un seul dispositif ou une pluralité de dispositifs de mémoire, notamment mais sans s'y limiter, la mémoire à lecture seule (read-only memory (ROM), la mémoire à accès aléatoire (random access memory (RAM), la mémoire volatile, la mémoire non volatile, la mémoire vive statique (SRAM), la mémoire dynamique à accès aléatoire (DRAM), la mémoire flash, l'antémémoire (cache memory) ou tout autre dispositif capable de stocker des informations. Le dispositif de mémoire de masse peut inclure des dispositifs de stockage de données tels qu'un disque dur, un disque optique, un dérouleur de bande magnétique, un circuit à l'état solide volatile ou non volatile ou tout autre dispositif capable de stocker des informations. Une base de données peut résider sur le dispositif de stockage de mémoire de masse et peut être utilisée pour collecter et organiser les données utilisées par les différents systèmes et modules décrits dans les présentes.

[0109] Le processeur 21 peut fonctionner sous le contrôle d'un système d'exploitation qui réside dans la mémoire. Le système d'exploitation peut gérer les ressources informatiques de telle façon que le code de programme de l'ordinateur, intégré sous forme d'une ou de plusieurs applications logicielles ;

[0110] En général les routines exécutées pour mettre en œuvre les modes de réalisation de l'invention, qu'elles soient mises en œuvre dans le cadre d'un système d'exploitation ou d'une application spécifique, d'un composant, d'un programme, d'un objet, d'un module ou d'une séquence d'instructions, ou même d'un sous-ensemble de ceux-là, peuvent être désignées dans les présentes comme "code de programme informatique" ou simplement "code de programme ». Le code de programme comprend typiquement des instructions lisibles par ordinateur qui résident à divers moments dans des dispositifs divers de mémoire et de stockage dans un ordinateur et qui, lorsqu'elles sont lues et exécutées par un ou plusieurs processeurs dans un ordinateur, amènent l'ordinateur à effectuer les opérations nécessaires pour exécuter

les opérations et/ou les éléments propres aux aspects variés des modes de réalisation de l'invention. Les instructions d'un programme, lisibles par ordinateur, pour réaliser les opérations des modes de réalisation de l'invention peuvent être, par exemple, le langage d'assemblage, ou encore un code source ou un code objet écrit en combinaison avec un ou plusieurs langages de programmation.