

DESCRIPTION

Titre de l'invention : Dispositif et Procédé de proposition automatique de résolution de conflits aériens

Domaine technique

[0001] L'invention concerne de manière générale les systèmes de contrôle de la navigation aérienne, et en particulier la résolution de conflits aériens.

Art Antérieur

[0002] Un des rôles des systèmes de contrôle de navigation aérienne (aussi appelé système de contrôle du trafic aérien) est de prévenir les collisions entre les aéronefs, tout en maintenant un flux régulier du trafic aérien.

[0003] La prévention de collision est un rôle essentiel des systèmes de contrôle de la navigation aérienne. La prévention de collision est classiquement assurée en définissant des distances et des temps de séparation minimaux entre les aéronefs, tels que définis dans les standards. Un conflit est détecté lorsque deux aéronefs ont des trajectoires qui prévoient d'enfreindre les séparations minimales. Une des missions principales des contrôleurs aériens est de résoudre ces conflits afin que la séparation entre les avions soit toujours garantie, et la sécurité assurée.

[0004] Actuellement, les contrôleurs cherchent eux-mêmes la façon de résoudre les conflits entre avions. Ils sont aidés d'un certain nombre d'outils, principalement des interfaces Homme-Machine (IHM), aux fonctions limitées. Avec l'accroissement du trafic aérien et de sa complexité, la détection et la résolution des conflits aériens deviennent de plus en plus difficiles, et le choix des stratégies de résolution à adopter devient plus complexe. Par ailleurs, la charge du contrôleur est nettement augmentée, ce qui a un impact direct sur la capacité et la sécurité de l'espace aérien.

[0005] Il existe diverses approches pour la résolution de conflits aériens comprenant les approches décrites dans:

- "Durand, N; Alliot, J.; and Chansou, O.: Optimal Resolution of En Route Conflicts, Air Traffic Control Quarterly, vol. 3, no.3, 1995".
- "Bilimoria, Karl: A Geometric Optimization Approach to Aircraft Conflict Resolution, AIAA paper 2000-4625, Aug. 2000".

- "R. Gosh and C. Tomlin., Maneuver design for multiple aircraft conflict resolution, In American Control Conference, 2000".
- "N. Durand, J.M. Alliot, and F. Medioni, Neural nets trained by genetic algorithms for collision avoidance. Applied Intelligence, 13(3) : 205–213, 2000".
- "E. Frazzoli, Z.H. Mao, and E. Feron, Aircraft conflict resolution via semidefinite programming. AIAA Journal of Guidance, Control and Dynamics, 2001".
- "Granger G., Détection et résolution de conflits aériens : modélisation et analyse, 2002".
- "L. Pallottino, E. Feron, and A. Bicchi, Conflict resolution problems for air traffic management systems solved with mixed integer programming. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 3(1) :3–11, 2002".
- "Russell A. Paielli, Modeling Maneuver Dynamics in Air Traffic Conflict Resolution, Journal of Guidance, Control, and Dynamics, vol. 26, no. 3, May-June 2003, pp 407-415".
- "Durand N., Algorithmes génétiques et autres méthodes d'optimisations appliquées à la gestion du trafic aérien, 2004".
- "H. Erzberger, Automated conflict resolution for air traffic control, in Proceeding International Congress Aeronautical Sciences, pp. 1-27, 2006".
- "M.A. Vilaplana, E. Valls, F. Garcia de Blanes, I. del Pozo de Poza Conflict detection and resolution using predicted aircraft trajectories, 2012".

[0006] Les approches existantes permettent de résoudre un conflit aérien sous la forme d'un problème d'optimisation avec contraintes. La résolution de conflit est effectuée par le contrôleur aérien, à l'aide de quelques outils très peu automatisés qui lui permettent d'afficher les trajectoires planifiées des avions, de mesurer la distance entre les trajectoires et de visualiser le point où la distance entre les avions sera minimale, indiquant un potentiel conflit. Quand le contrôleur dispose d'un outil de détection automatique de conflits à moyen terme, il peut également visualiser la zone de conflit et avoir des informations complémentaires sur le conflit. Il peut aussi, avant d'appliquer une solution pour résoudre le conflit détecté, tester cette solution dans le système pour vérifier qu'elle résout effectivement le conflit et qu'elle ne crée pas d'autres conflits. Cependant, les tâches d'analyse de la situation aérienne et de détermination d'une solution qui résolve le conflit détecté sont toujours réalisées manuellement par le contrôleur aérien. Ce sont des tâches complexes qui occupent

une part importante de la charge des fonctions du contrôleur. L'accroissement du trafic aérien nécessite de nouveaux outils allégeant cette charge, afin d'assurer une gestion efficace de l'espace aérien en toute sécurité.

[0007] D'autres solutions présentées dans des domaines différents peuvent être inspirantes comme par exemple la solution divulguée dans le brevet US2008/033648 qui traite d'une méthode d'évitement de collision de deux navires en mer optimisée selon des caractéristiques nautiques.

[0008] En outre, les solutions actuelles de résolution des conflits aériens ne permettent pas d'isoler une seule proposition de résolution et le contrôleur doit évaluer chaque proposition et estimer la plus pertinente. Cependant, dans un espace aérien à faible trafic, une multitude de propositions peut n'être d'aucune utilité car elle ralentit l'analyse du contrôleur, tandis que dans un espace aérien à fort trafic, l'analyse de chaque proposition requière trop de temps. De plus, si les propositions ne sont pas réévaluées en continu, il existe un risque, au moment où le contrôleur aérien accepte la proposition, d'un rejet du système ou de l'apparition de nouveaux conflits. D'autres solutions existantes ne permettent pas une mise en œuvre opérationnelle car la succession d'ordres à donner est difficile à suivre par le contrôleur ou ne peut être donnée avec les moyens de radio communication actuels.

[0009] Il existe donc un besoin pour un dispositif et un procédé amélioré pour la gestion de résolution des conflits de trafic aérien.

Définition Générale de l'invention

[0010] L'invention vient améliorer la situation. A cet effet, l'invention propose un procédé de proposition automatique de résolution de conflit aérien. Le procédé comprenant une étape consistant à recevoir des données de conflit aérien et de situation aérienne à un instant où un conflit aérien est détecté, le procédé comprenant les étapes consistant à :

- déterminer une catégorie de conflit associée au conflit aérien détecté en fonction des données de conflit;
- déterminer un degré de pertinence de proposer une résolution du conflit aérien en fonction de la catégorie et de la situation aérienne;
- déterminer un ou plusieurs types de résolution à appliquer pour résoudre ledit conflit aérien détecté en fonction dudit degré de pertinence;

- déterminer un ensemble de trajectoires alternatives correspondant à l'un ou plusieurs types de résolution;
- déterminer un ensemble de trajectoires candidates parmi l'ensemble de trajectoires alternatives, une trajectoire candidate étant une trajectoire alternative n'engendrant pas un conflit aérien;
- sélectionner, parmi les trajectoires candidates, une trajectoire candidate qui remplit un critère de sélection relatif à la pertinence opérationnelle des trajectoires candidates et à l'acceptabilité des trajectoires candidates par le système de gestion de plans de vols, l'étape de sélection comprenant les sous-étapes consistant à associer un degré de pertinence opérationnelle à chaque trajectoire candidate selon un nombre de critères de pertinence opérationnelle, classer les trajectoires candidates par ordre de pertinence opérationnelle en fonction des degrés de pertinence associées auxdites trajectoires, et sélectionner parmi les trajectoires candidates classées par ordre de pertinence opérationnelle, la trajectoire candidate la plus pertinente qui est acceptée par le système de gestion des plans de vols et qui permet la résolution du conflit aérien sans générer d'autres conflits aériens;
- retourner la trajectoire candidate, ladite trajectoire candidate étant sauvegardée et réévaluée tant qu'elle n'engendre pas un conflit aérien ou qu'elle n'a pas été acceptée par un contrôleur aérien.

[0011] Selon certains modes de réalisation, un type de résolution peut correspondre à une ou plusieurs actions de résolution de conflit, une action de résolution de conflit étant choisie dans un groupe comprenant un changement de la trajectoire, un changement du niveau de vol, et un changement de vitesse.

[0012] Selon certains modes de réalisation, un type de résolution peut correspondre à une ou plusieurs contraintes relatives à l'une ou plusieurs actions de résolution de conflit, une contrainte étant choisie dans un groupe comprenant une contrainte relative à l'orientation et à des valeurs maximales pour le changement de route, une contrainte relative à une valeur minimale ou maximale du niveau de vol, et une contrainte relative à une valeur minimale ou maximale de vitesse.

[0013] Selon certains modes de réalisation, la catégorie de conflit peut dépendre d'au moins un critère choisi dans un groupe comprenant la géométrie du conflit aérien, la proximité du conflit aérien, la criticité du conflit aérien, et l'aspect évolutif des vols.

[0014] Selon certains modes de réalisation, le nombre de critères peut comprendre l'efficacité du vol, l'efficacité du vol étant définie par une pluralité de critères comprenant la consommation de carburant, l'impact sur le confort à bord de l'aéronef, l'équité entre les aéronefs impliqués dans le conflit aérien, et la complexité de l'implémentation et du suivi de la solution proposée.

[0015] Selon certains modes de réalisation, les données de conflit aérien peuvent comprendre la géométrie du conflit, la proximité du conflit, la criticité du conflit, et l'aspect évolutif des vols.

[0016] Selon certains modes de réalisation, le procédé peut comprendre une étape consistant à retourner les vols relatifs aux solutions qui sont plus optimales que la solution retournée et qui n'ont pas été retournées.

[0017] L'invention fournit en outre un dispositif de proposition automatique de résolution de conflit aérien, le dispositif étant configuré pour recevoir des données de conflit aérien et de situation aérienne à un instant où un conflit aérien est détecté. Le dispositif comprend une unité de proposition de résolution configurée pour:

- déterminer une catégorie de conflit associée au conflit aérien détecté en fonction des données de conflit;
- déterminer un degré de pertinence de proposer une résolution du conflit aérien en fonction de la catégorie et de la situation aérienne;

le dispositif comprenant en outre une unité de recherche de résolution configurée pour :

- déterminer un ou plusieurs types de résolution à appliquer pour résoudre le conflit aérien détecté en fonction du degré de pertinence;
- déterminer un ensemble de trajectoires alternatives correspondant à l'un ou plusieurs types de résolution;
- déterminer un ensemble de trajectoires candidates parmi l'ensemble de trajectoires alternatives, une trajectoire candidate étant une trajectoire alternative n'engendrant pas un conflit aérien;
- sélectionner, parmi les trajectoires candidates, une trajectoire candidate qui remplit un critère de sélection relatif à la pertinence opérationnelle des trajectoires candidates et à l'acceptabilité des trajectoires candidates par le système de gestion de plans de vols, l'unité de recherche de résolution étant configurée pour associer un degré de pertinence opérationnelle à chaque trajectoire candidate selon un nombre

de critères de pertinence opérationnelle, classer les trajectoires candidates par ordre de pertinence opérationnelle en fonction des degrés de pertinence associées auxdites trajectoires, et sélectionner parmi les trajectoires candidates classées par ordre de pertinence opérationnelle, la trajectoire candidate la plus pertinente qui est acceptée par le système de gestion des plans de vols et qui permet la résolution dudit conflit aérien sans générer d'autres conflits aériens;

- retourner la trajectoire candidate, ladite trajectoire candidate étant sauvegardée et réévaluée tant qu'elle n'engendre pas un conflit aérien ou qu'elle n'a pas été acceptée par un contrôleur aérien.

[0018] Avantageusement, les modes de réalisation de l'invention permettent une gestion automatisée de la proposition de résolution des conflits aériens.

[0019] Avantageusement, les modes de réalisation de l'invention permettent de fournir automatiquement aux contrôleurs aériens des solutions garantissant la résolution des conflits aériens détectés sans créer de nouveaux conflits dans un horizon de temps paramétrable, les solutions étant fiables, pertinentes, et opérationnellement acceptables.

[0020] Avantageusement, la proposition automatique de résolution de conflits aériens selon les modes de réalisation de l'invention permet d'alléger la charge de travail des contrôleurs aériens tout en respectant les stratégies traditionnellement adoptées par les contrôleurs aériens. Les solutions de résolution de conflits proposées automatiquement sont fiables et pertinentes opérationnellement.

[0021] Avantageusement, les solutions de résolutions de conflits aériens selon les modes de réalisation de l'invention reposent sur une résolution globale et une évaluation de la résolution proposée au regard de l'ensemble de la situation aérienne, par opposition à une résolution locale qui tient compte des aéronefs impliqués dans le conflit détecté ou d'un ensemble d'aéronefs, ce qui permet de garantir une meilleure stabilité et une amélioration du trafic aérien.

[0022] Avantageusement, les modes de réalisation de l'invention fournissent des stratégies de détermination des catégories de conflits et de la situation aérienne ainsi que le tri et la sélection de la solution à appliquer pour la résolution de conflits aériens qui tiennent compte des impacts bord et des contraintes opérationnelles.

[0023] Avantageusement, les modes de réalisation de l'invention fournissent une solution unique et optimale à appliquer pour la résolution d'un conflit aérien.

[0024] Avantageusement, les modes de réalisation de l'invention permettent d'augmenter la sécurité et la capacité de l'espace aérien.

[0025] Brève description des dessins

[0026] 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 :

[0027] [Fig.1] est un organigramme représentant un procédé de proposition automatique de résolution de conflit aérien, selon certains modes de réalisation de l'invention.

[0028] [Fig.2] est un schéma représentant un système de contrôle aérien comprenant un dispositif de proposition automatique de résolution de conflit aérien, selon certains modes de réalisation de l'invention.

Description détaillée

[0029] Les modes de réalisation de l'invention peuvent être utilisés dans les systèmes de contrôle de trafic aérien pour l'aide à la décision aux contrôleurs aériens afin de résoudre les conflits aériens, prévenir les collisions entre aéronefs ou entre aéronefs et zones données (par exemple des zones de ségrégation, des zones interdites ou des zones restreintes), et gérer la circulation aérienne.

[0030] Selon les modes de réalisation de l'invention, un aéronef peut être tout type d'aéronef tel qu'un avion, un hélicoptère, une montgolfière, ou un drone.

[0031] Tel qu'utilisé ici, un plan de vol d'un aéronef est une suite de points nommés dans un espace à quatre dimensions comprenant une latitude, une longitude, une altitude, et une valeur temporelle (ou temps de passage ou 'Estimated Time of Overflight' en langue anglo-saxonne). Les points nommés représentent la trajectoire que doit suivre l'aéronef aux temps indiqués par les valeurs temporelles.

[0032] Telle qu'utilisée ici, une clairance correspond à une autorisation et/ou une contrainte donnée par le contrôleur aérien d'exécuter une phase du plan de vol.

[0033] Selon certains modes de réalisation, une clairance peut être choisie dans un groupe comprenant les changements de cap, les ordres de direct, les ordres de mise en route parallèle, les ordres de changement de vitesse, et les ordres de changement de niveaux de vol.

[0034] En référence à la figure 1, les modes de réalisation de l'invention fournissent un procédé de proposition automatique de résolution de conflit aérien, le conflit aérien étant représenté par des données de conflit aérien.

[0035] A l'étape 100, les données de conflit aérien et de situation aérienne à un instant où un conflit aérien est détecté (entre au moins deux aéronefs ou entre un aéronef et une zone donnée) peuvent être reçues.

[0036] Selon certains modes de réalisation, les données de conflit aérien peuvent comprendre la géométrie du conflit aérien, la proximité du conflit aérien, la criticité du conflit aérien, et l'aspect évolutif des vols.

[0037] A l'étape 101, une catégorie de conflit associée au conflit aérien détecté peut être déterminée en fonction des données du conflit aérien.

[0038] Selon certains modes de réalisation, la catégorie du conflit aérien peut dépendre d'au moins un critère choisi dans un groupe comprenant la géométrie du conflit aérien, la proximité du conflit aérien, la criticité du conflit aérien, et l'aspect évolutif des vols.

[0039] A l'étape 102, un degré de pertinence de proposer une résolution du conflit aérien peut être déterminée en fonction de la catégorie du conflit aérien détecté et de la situation aérienne. Le degré de pertinence permet de déterminer, s'il est pertinent de proposer une résolution du conflit aérien étant donné la situation aérienne à l'instant où le conflit aérien est détecté et les données du conflit aérien.

[0040] A l'étape 103, il est déterminé s'il est pertinent de proposer une résolution du conflit aérien détecté en fonction du degré de pertinence déterminé à l'étape 102. Par exemple, à l'étape 103, le degré de pertinence associé au conflit détecté peut être comparé à une valeur seuil, la décision à l'étape 103 correspondant à une pertinence de proposer une résolution du conflit aérien si le degré de pertinence associé au conflit aérien est supérieur ou égal à la valeur seuil.

[0041] S'il est déterminé à l'étape 103 qu'il n'est pas pertinent de proposer une résolution du conflit aérien détecté, les étapes 108 à 109 peuvent être réalisées. A l'étape 108, il est déterminé si une solution de résolution du conflit aérien avait déjà été proposée. S'il est déterminé à l'étape 108 qu'une solution a été proposée, la solution qui avait été proposée peut être supprimée à l'étape 109. S'il est déterminé à l'étape 108 qu'aucune solution n'avait été proposée, aucune solution de résolution du conflit n'est proposée à l'étape 110.

[0042] S'il est déterminé à l'étape 103 qu'il est pertinent de proposer une résolution du conflit aérien détecté, l'étape 104 peut être réalisée pour déterminer si une solution existante avait déjà été proposée pour la résolution du conflit aérien. S'il est déterminé à l'étape 104 qu'aucune solution n'avait été proposée (une solution qui est déjà sauvegardée), les étapes 111 à 118 peuvent être réalisées pour proposer une solution de résolution du conflit. S'il est déterminé à l'étape 106 qu'une solution avait déjà été proposée, la solution peut être réévaluée à l'étape 105. S'il est déterminé à l'étape 106 suite à la réévaluation de la solution que la solution est toujours pertinente, une trajectoire candidate peut être mise à jour avec les paramètres de la solution réévaluée à l'étape 107 et la trajectoire candidate mise à jour peut être retournée à l'étape 118. S'il est déterminé à l'étape 106 que la solution qui avait été proposée n'est plus pertinente, les étapes 111 à 118 peuvent être effectuées.

[0043] L'étape 111 peut être réalisée pour déterminer un ou plusieurs types de résolution de conflit à appliquer pour la résolution du conflit aérien en fonction du degré de pertinence. Le type de résolution correspond au type de clairance à donner.

[0044] Selon certains modes de réalisation, un type de résolution peut correspondre à une ou plusieurs actions de résolution de conflit, une action de résolution de conflit étant choisie dans un groupe comprenant un changement de la trajectoire, un changement du niveau de vol, et un changement de vitesse.

[0045] Selon certains modes de réalisation, un type de résolution peut en outre correspondre à une ou plusieurs contraintes relatives à une ou plusieurs actions de résolution de conflit, une contrainte étant choisie dans un groupe comprenant une contrainte relative à l'orientation (gauche ou droite) et à des valeurs maximales pour le changement de route, une contrainte relative à une valeur minimale ou maximale

du niveau de vol, et une contrainte relative à une valeur minimale ou maximale de vitesse.

[0046] A l'étape 112, un ensemble de trajectoires alternatives correspondant au type(s) de résolution à appliquer peut être déterminé, les trajectoires alternatives correspondant à des trajectoires pour les vols en conflit.

[0047] A l'étape 113, un ensemble de trajectoires candidates peut être déterminé parmi l'ensemble de trajectoires alternatives, une trajectoire candidate étant une trajectoire alternative n'engendrant pas un conflit aérien. L'étape 111 consiste ainsi à déterminer, parmi les trajectoires alternatives, les trajectoires qui permettent de résoudre le conflit aérien sans créer d'autres conflits. La proposition de résolution se base sur les trajectoires candidates.

[0048] S'il est déterminé à l'étape 113 que l'ensemble de trajectoires candidates comprend au moins une trajectoire candidate, une trajectoire candidate qui remplit un critère de sélection peut être sélectionnée, à l'étape 114, parmi l'au moins une trajectoire candidate déterminées à l'étape 113. A l'étape 115, il peut être déterminé s'il existe au moins une trajectoire candidate qui remplit le critère de sélection. S'il est déterminé à l'étape 115 que l'ensemble de trajectoires candidates ne comprend aucune trajectoire candidate qui remplit le critère de sélection, aucune solution n'est proposée à l'étape 116. S'il est déterminé à l'étape 115 que l'ensemble de trajectoires candidates comprend au moins une trajectoire candidate qui remplit le critère de sélection, la trajectoire candidate qui remplit le critère de sélection peut être retournée à l'étape 118 comme la solution proposée et affichée au contrôleur aérien pour la résolution du conflit aérien.

[0049] Selon certains modes de réalisation, le critère de sélection peut être relatif à la pertinence opérationnelle des trajectoires candidates et à l'acceptabilité des trajectoires candidates par le système de gestion de plans de vols. Ainsi, selon certains modes de réalisation, l'étape 114 peut comprendre les sous-étapes consistant à :

- associer un degré de pertinence opérationnelle à chaque trajectoire candidate selon un nombre de critères de pertinence opérationnelle ;
- classer les trajectoires candidates par ordre de pertinence opérationnelle en fonction des degrés de pertinence opérationnelle associées aux trajectoires

candidates;

- sélectionner, parmi les trajectoires candidates classées par ordre de pertinence opérationnelle, la trajectoire candidate la plus pertinente et qui est acceptée par le système de gestion des plans de vols, et qui permet la résolution du conflit aérien sans générer d'autres conflits aériens.

[0050] Ainsi, si l'ensemble de trajectoires alternatives ne comprend aucune trajectoire qui ne résout le conflit aérien sans en créer au moins un autre conflit aérien, aucune solution n'est proposée pour la résolution du conflit détecté. En revanche, si l'ensemble de trajectoires alternatives comprend plusieurs trajectoires candidates, les sous étapes de l'étape 114 permettent de sélectionner, parmi les trajectoires candidates, la première trajectoire qui est acceptée par le système de gestion des plans de vols, qui résout le conflit existant sur les trajectoires initiales des vols en conflits sans créer de nouveaux conflits aérien, et qui soit la plus pertinente de point de vue pertinence opérationnelle. La solution ainsi proposée au contrôleur aérien pour la résolution du conflit aérien détecté est unique, optimale, fiable, et pertinente opérationnellement.

[0051] Selon certains modes de réalisation, le nombre de critères peut comprendre l'efficacité du vol, l'efficacité du vol étant définie par une pluralité de critères comprenant, sans limitation, la consommation de carburant, l'impact sur le confort à bord de l'aéronef, l'équité entre les aéronefs impliqués dans le conflit aérien, et la complexité d'implémentation et de suivi de la solution proposée.

[0052] Selon certains modes de réalisation, une solution peut consister à modifier la trajectoire d'au moins un des aéronefs pour résoudre le conflit détecté. Une solution cherchant à modifier la trajectoire d'un aéronef peut être une solution de type 'bearing', une solution de type 'direct', ou une solution de type 'parallèle'.

[0053] Pour les solutions de type bearing, un arbre de solutions peut être construit à partir d'un nombre de paramètres utilisateur, une solution étant composée d'un premier point à partir duquel on quitte la route prévue, d'un second point extérieur à la route d'origine qui est définie le long d'une loxodromie à partir du premier point, et un troisième point sur lequel on rejoint la route. Pour chaque premier point, l'ensemble de trois points possibles peuvent être évalués en fonction d'au moins un critère.

[0054] Pour les solutions de type direct, un arbre de solutions peut être construit à partir d'un nombre de paramètres utilisateur, une solution étant composée par un premier point (appelé 'leaving point' en langage anglo-saxon) qui correspond au point à partir duquel on la route prévue est quittée, et un second point qui correspond au point sur lequel on rejoint la route.

[0055] Selon certains modes de réalisation, une solution peut consister à modifier le niveau de vol d'au moins un des aéronefs pour résoudre le conflit détecté.

[0056] Selon certains modes de réalisation, une solution peut consister à accélérer ou retarder au moins un des aéronefs pour résoudre le conflit aérien.

[0057] Selon certains modes de réalisation, les solutions possibles peuvent être triées selon un critère relatif au type d'ordre donné, à la situation aérienne (évolution verticale des plans de vol, type de conflit, time to conflict), à l'impact opérationnel de la solution (impact sur la consommation de carburant, impact sur le confort à bord de l'aéronef, complexité de l'implémentation et du suivi de la solution, l'équité entre les aéronefs impliqués dans le conflit aérien), et l'impact de la solution sur l'efficacité de la route (en termes de distance et de temps).

[0058] Selon certains modes de réalisation, la solution proposée peut être maintenue (sauvegardée) et réévaluée à chaque changement de la situation aérienne environnante, la solution étant supprimée et une solution alternative étant recherchée si un conflit est levé ou si la solution proposée n'est plus applicable.

[0059] Selon certains modes de réalisation, la liste des vols impliqués dans le choix de la solution finale peuvent être affichés au contrôleur aérien

[0060] Selon certains modes de réalisation, les vols et les zones impliqués dans les conflits trouvés en relation avec les solutions plus optimales que la solution retenue qui n'ont pas été retenues peuvent être retournées au contrôleur aérien à l'étape 117.

[0061] Selon certains modes de réalisation, la détection d'un conflit aérien et/ou la validation des solutions déterminées peut prendre en compte des zones interdites.

[0062] Selon certains modes de réalisation, la détection d'un conflit aérien et/ou la validation des solutions déterminées peut en outre prendre en compte les impacts météorologiques et/ou des contraintes de coordination mises en place.

[0063] Selon certains modes de réalisation, la sélection d'une solution peut tenir compte des performances requises des routes et des performances possibles des aéronefs.

[0064] Selon certains modes de réalisation, la sélection d'une solution peut tenir compte des impacts sur les séquences d'arrivée aux aéroports.

[0065] En référence à la figure 2, les modes de réalisation de l'invention fournissent en outre un dispositif 25 de proposition automatique de résolution de conflit aérien implémenté dans un système de contrôle aérien 20, le dispositif 25 comprenant une unité de détection de conflits aérien 251 configurée pour détecter les conflits aériens entre au moins deux aéronefs ou entre un aéronef et une zone donnée, la zone donnée pouvant être une zone interdite, une zone de ségrégation, ou une zone restreinte. Un conflit aérien peut être un conflit à échéance moyen terme (échéance inférieure à 40 minutes) ou un conflit à échéance long terme (échéance inférieure à 2h).

[0066] Selon certains modes de réalisation, le dispositif 25 peut être configuré pour recevoir les données de conflit aérien et de situation aérienne à un instant où un conflit aérien est détecté.

[0067] Selon certains modes de réalisation, les données de conflit aérien peuvent comprendre la géométrie du conflit aérien, la proximité du conflit aérien, la criticité du conflit aérien, et l'aspect évolutif des vols.

[0068] Selon certains modes de réalisation, le système de contrôle aérien 20 peut comprendre une unité de traitement 21 (référée 'Flight Data Plan System') configurée pour gérer le cycle de vie du système de contrôle aérien à partir des plans de vols associés aux aéronefs évoluant dans un espace aérien contrôlé. L'unité de traitement 21 peut être configurée pour déterminer une prédiction des trajectoires incluant une estimation des heures de survol des points de la route, et d'affecter le contrôle de chaque vol à un contrôleur en fonction de la sectorisation de l'espace aérien contrôlé.

[0069] Selon certains modes de réalisation, l'unité de traitement 21 peut en outre être configurée pour répondre aux demandes de probe pour déterminer une trajectoire pour une clairance donnée, et pour déterminer des plans de vol sonde lorsqu'une

solution de résolution d'un conflit détecté est partagée entre les unités du dispositif 25.

[0070] Selon certains modes de réalisation, le dispositif 25 peut comprendre une unité de proposition de résolution 255 configurée pour déterminer une catégorie de conflit associée au conflit aérien détecté en fonction des données du conflit aérien.

[0071] Selon certains modes de réalisation, la catégorie du conflit aérien peut dépendre d'au moins un critère choisi dans un groupe comprenant la géométrie du conflit aérien, la proximité du conflit aérien, la criticité du conflit aérien, et l'aspect évolutif des vols.

[0072] L'unité de proposition de résolution 255 peut en outre être configurée pour déterminer un degré de pertinence de proposer une résolution du conflit aérien en fonction de la catégorie et de la situation aérienne à l'instant où le conflit aérien est détecté. Le degré de pertinence permet de déterminer, s'il est pertinent de proposer une résolution du conflit aérien étant donné la situation aérienne à l'instant où le conflit aérien est détecté et les données du conflit aérien. L'unité de proposition de résolution 255 permet ainsi de déclencher la recherche d'une solution si le conflit détecté est considéré comme critique, par exemple si la séparation entre deux aéronefs impliqués dans le conflit détecté est inférieure à une valeur minimale de la séparation. L'unité de proposition de résolution 255 peut être configurée pour déclencher la recherche d'une proposition pour la résolution du conflit aérien détecté par exemple si le degré de pertinence associé au conflit aérien est supérieur ou égal à une valeur seuil. Si l'unité de proposition de résolution 255 détermine qu'il n'est pas pertinent de proposer une résolution, aucune solution n'est proposée au contrôleur aérien pour la résolution du conflit. Si l'unité de proposition de résolution 255 détermine qu'il n'est pas pertinent de proposer une solution pour la résolution du conflit détecté, l'unité de proposition de résolution 255 peut être configurée pour déterminer si une solution avait déjà été proposée, si une solution avait déjà été proposée, alors l'unité de proposition de résolution 255 peut être configurée pour supprimer la proposition de solution, sinon, aucune solution n'est proposée.

[0073] Si l'unité de proposition de résolution 255 détermine qu'il est pertinent de proposer une résolution du conflit aérien, l'unité de proposition de résolution 255 peut être configurée à vérifier si une solution avait déjà été proposée pour la résolution du

conflit aérien avant de déclencher la recherche d'une solution. Si l'unité de proposition de résolution 255 détermine qu'une solution avait déjà été proposée, cette solution peut être réévaluée. Si l'unité de proposition de résolution 255 détermine, suite à la réévaluation de la solution, que la solution n'est plus pertinente, l'unité de proposition de résolution 255 déclenche la recherche d'une solution, sinon, une trajectoire candidate peut être mise à jour avec les paramètres de la solution qui avait été proposée et la trajectoire candidate mise à jour peut être retournée comme solution à appliquer pour résoudre le conflit aérien détecté.

[0074] Selon certains modes de réalisation, le dispositif 25 peut en outre comprendre en outre une unité de recherche de résolution 257 configurée pour déterminer un ou plusieurs types de résolution à appliquer pour résoudre le conflit aérien détecté en fonction du degré de pertinence, en particulier, si l'unité de proposition de résolution 255 détermine qu'il est pertinent de proposer une résolution du conflit aérien détecté et qu'aucune solution n'avait été proposée ou que les solutions qui avaient été proposées ne sont plus pertinentes. Un type de résolution correspond au type de clairance à donner.

[0075] Selon certains modes de réalisation, un type de résolution peut correspondre à une ou plusieurs actions de résolution de conflit, une action de résolution de conflit étant choisie dans un groupe comprenant un changement de la trajectoire, un changement du niveau de vol, et un changement de vitesse.

[0076] Selon certains modes de réalisation, un type de résolution peut en outre correspondre à une ou plusieurs contraintes relatives à une ou plusieurs actions de résolution de conflit, une contrainte étant choisie dans un groupe comprenant une contrainte relative à l'orientation (gauche ou droite) et à des valeurs maximales pour le changement de route, une contrainte relative à une valeur minimale ou maximale du niveau de vol, et une contrainte relative à une valeur minimale ou maximale de vitesse.

[0077] Selon certains modes de réalisation, l'unité de recherche de résolution 257 peut en outre être configurée pour :

- déterminer un ensemble de trajectoires alternatives correspondant au(x) type(s) de résolution à appliquer, les trajectoires alternatives correspondant à des trajectoires pour les vols en conflit ;

- déterminer un ensemble de trajectoires candidates parmi l'ensemble de trajectoires alternatives, une trajectoire candidate étant une trajectoire alternative n'engendrant pas un conflit aérien;
- sélectionner, parmi les trajectoires candidates, une trajectoire candidate qui remplit un critère de sélection, et
- retourner la trajectoire candidate sélectionnée.

[0078] Les trajectoires candidates sont des trajectoires qui permettent de résoudre le conflit aérien détecté sans créer d'autres conflits. La proposition de résolution se base sur les trajectoires candidates. Ainsi, si l'unité de recherche de résolution 257 détermine que l'ensemble de trajectoires alternatives ne comprend aucune trajectoire candidate, aucune solution n'est proposée. Et si l'unité de recherche de résolution 257 détermine que l'ensemble de trajectoires alternatives comprend au moins une trajectoire candidate, l'unité de recherche de résolution 257 peut être configurée pour sélectionner parmi l'ensemble de trajectoire candidates, une trajectoire selon un critère de sélection.

[0079] Selon certains modes de réalisation, le critère de sélection peut être relatif à la pertinence opérationnelle des trajectoires candidates et à l'acceptabilité des trajectoires candidates par le système de gestion de plans de vols. Ainsi, selon certains modes de réalisation, l'unité de recherche de résolution 257 peut être configurée pour:

- associer un degré de pertinence opérationnelle à chaque trajectoire candidate selon un nombre de critères de pertinence opérationnelle, comprenant par exemple l'efficacité du vol ;
- classer les trajectoires candidates par ordre de pertinence opérationnelle en fonction des degrés de pertinence opérationnelle associées aux trajectoires candidates;
- sélectionner, parmi les trajectoires candidates classées par ordre de pertinence opérationnelle, la trajectoire candidate la plus pertinente et qui est acceptée par le système de gestion des plans de vols, et qui permet la résolution du conflit aérien sans générer d'autres conflits aériens.

[0080] Selon certains modes de réalisation, l'unité de recherche de résolution 257 peut être configurée pour déterminer la durée de validité de chaque solution déterminée, en plus de l'ordre contrôleur à donner au pilote pour résoudre le conflit

aérien. Pendant la durée de validité d'une solution, la réévaluation de la solution n'est pas nécessaire. L'unité de recherche de résolution 257 peut en outre être configurée pour déterminer des paramètres relatifs à chaque solution comprenant les aéronefs qui ne sont pas impliqués dans le conflit détecté mais qui ont empêché d'utiliser une solution plus pertinente, l'efficacité de la solution (par exemple en termes de temps et de la distance qu'elle fait gagner ou perdre par rapport à la trajectoire nominale), et l'impact de la solution sur l'ensemble de la situation aérienne.

[0081] Selon certains modes de réalisation, l'unité de proposition de résolution 255 peut être configurée pour consolider les résultats provenant de l'unité de recherche de résolution 257 et orienter les choix de l'unité de recherche de résolution 257 en fonction de la situation aérienne du conflit détecté.

[0082] Selon certains modes de réalisation, le dispositif 25 peut en outre comprendre une unité de détection 253 configurée pour détecter les conflits aériens si au moins l'un des vols en conflits est un probe. L'unité de détection 253 peut être en outre configurée pour contrôler la validité des solutions proposées par l'unité de recherche de résolution 257. En particulier, lorsqu'une solution est proposée par l'unité de recherche de résolution 257, l'unité de détection 253 peut être configurée à associer un plan de vol probe à la solution proposée et lever un conflit engendrant l'invalidité de la solution si la situation aérienne évolue et que ce plan de vol perd sa séparation.

[0083] Le système de contrôle aérien 20 peut en outre comprendre une interface Homme-Machine 23 configurée pour représenter la situation aérienne au contrôleur du système de contrôle aérien 20, afficher les plans de vol déposés et leurs prédictions de trajectoires, afficher la position actuelle des pistes et les conflits détectés par le dispositif 25 ainsi que les propositions de solutions pour la résolution des conflits détectés.

[0084] 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.

[0085] 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.

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.