

Titre :

ÉVITEMENT DE CONFLITS AÉRIENS PAR UNE RÉGULATION SUBLIMINALE EN VITESSE :
MODÉLISATION & RÉOLUTION VIA LE CONTRÔLE OPTIMAL

Résumé :

À travers une approche de contrôle optimal, cette thèse de doctorat propose une étude des modèles et des techniques de résolution dans un domaine d'application propre à la gestion du trafic aérien. Motivés par la croissance des flux aériens d'une part, et les développements en théorie du contrôle optimal d'autre part, ces travaux portent sur l'analyse du problème d'évitement de conflits aériens. Cette étude permet le développement de nouvelles approches et algorithmes en vue d'aider les contrôleurs aériens dans leur tâche. Ainsi, dans le cadre du trafic aérien, afin de préserver des distances minimales de sécurité entre avions, lors de phases tactiques et de configurations des vols en-route, notre recherche se focalise sur une stratégie de régulation subliminale en vitesse (variations très réduites), pour assurer la séparation entre avions, tout en conservant leur trajectoire prédéfinie. D'une part, une méthode de résolution numérique en contrôle optimal telle que la méthode directe de tir, impliquant une discrétisation totale ou partielle du problème, transforme le problème initial en un problème en programmation non linéaire de grande taille. Ce type de méthodes peut générer des problèmes d'optimisation de grande taille numériquement difficiles à résoudre. Suivant le nombre de variables du problème, elles peuvent s'avérer trop coûteuse en termes de temps de calculs. D'autre part, les contraintes sur les variables d'états du problème posent des difficultés de résolution, par exemple, pour l'usage d'une méthode numérique indirecte de tir. Développant les informations caractéristiques des conflits aériens, une détection et une détermination a priori des zones de conflits permettent alors la décomposition du problème présenté de contrôle optimal en sous-problèmes plus aisés à résoudre. La résolution des sous-problèmes hors-zones peut être abordée en utilisant les conditions du principe du maximum de Pontryagin, ce qui en permet une résolution efficace. Une combinaison de méthodes numériques directes de tir et d'application des conditions du principe du maximum de Pontryagin est proposée, et des implémentations numériques valident ce type d'approche.

Mots-clefs :

Contrôle optimal, principe du maximum de Pontryagin, méthodes numériques de tir, optimisation non linéaire, recherche opérationnelle, aide à la décision, gestion du trafic aérien, problème d'évitement de conflits aériens, régulation en vitesse, modélisation mathématique, systèmes dynamiques.



English title:

VELOCITY-BASED AIRCRAFT CONFLICT AVOIDANCE
THROUGH OPTIMAL CONTROL MODEL AND SOLUTION APPROACHES

Abstract:

The purpose of this doctoral thesis is to study models and solution techniques based on optimal control approaches to address air traffic management problems. Motivated by the growth of air traffic volume, and by the advances in optimal control theory, this research works focus on analysing aircraft conflict avoidance problem. This study allows development of new approaches and algorithms to help air traffic controllers. In the framework of air traffic management, to ensure the minimum safety distances between aircraft, in tactical phases and en-route flight configurations, this thesis focusses on a subliminal velocity regulation strategy to perform the separation, while preserving the aircraft predefined trajectories. A numerical optimal control solution approach as the direct shooting method, wherein involves a total or partial discretization of the problem, transforms the initial problem into a large scale nonlinear programming problem. This kind of methods could generate large-size optimization problems which are numerically difficult to solve. Depending on the number of variables which involved, this approaches could be too expensive in terms of computation time. Moreover, the state-variables constraints of the problem lead to numerical difficulties, e.g., considering the indirect numerical shooting method. Tailored on aircraft conflict avoidance problems, a detection and a determination of a priori conflict zones allow the decomposition of the optimal control problem into sub-problems, easier to solve than the original one. Solving the off-zones sub-problems can be addressed using the Pontryagin maximum principle, which allows in this case directly the solution. A combination of direct numerical shooting method and application of conditions of Pontryagin's maximum principle is proposed, and numerical experiments validate this approach.

Keywords:

Optimal control, Pontryagin maximum principle, numerical shooting methods, nonlinear optimization, operations/operational research, decision-support, air traffic management, aircraft conflict avoidance problem, velocity regulation, mathematical modelling, dynamical systems.