Résolution de conflits aériens par régulation en vitesse

Alexandre Gondran

ÉNAC, École Nationale de l'Aviation Civile, Toulouse, France
alexandre.gondran@enac.fr

Mots-clés : *contrôle aérien, métaheuristique, méthode tabou*

1 Introduction

Dans le domaine du trafic aérien, on définit un conflit potentiel entre deux avions si les deux avions en suivant leur route respective ne respectent pas une certaine distance de sécurité entre eux. Une des taches des contrôleurs aériens est de garantir à tout instant cette distance de sécurité. Les contrôleurs en-route [1] devant leur écrans de radar indiquent aux pilotes les manœuvres à effectuer pour respecter ces contraintes de distance. Ils peuvent leur demander soit de changer le niveaux de vol de l'avion (manœuvres verticales) soit de changer de cap, c'est-à-dire d'effectuer un virage à droite ou à gauche avant de revenir sur sa route (manœuvres horizontales), soit de modifier la vitesse de l'avion (manœuvres en vitesses). On s'intéresse dans cette présentation à la planification automatique des manœuvres en vitesses afin de minimiser le nombre de conflits potentiels. Une variation de la vitesse d'un avion est dite subliminale si elle est comprise entre -6% et $+3\%$ par rapport à la vitesse nominale de l'avion.

Ce problème peut se modéliser de différentes façons et notamment en un problème non linéaire à variables mixtes (MINLP) [1]. Nous reprenons cette modélisation mais nous discrétiserons le domaine des variables continues pour obtenir un problème totalement discret. Ce problème ne compte que des contraintes binaires c'est-à-dire ne faisant intervenir que deux variables à la fois.

La modélisation MINLP est résolue de façon exacte [1] par des solveurs MINLP pour des instances du problème comptant au plus 6 avions. L'objectif est, d'une part, de proposer une métaheuristique efficace pour des instances de problèmes comptant plus de 6 avions. D'autre part, les solutions trouvées par cette métaheuristique peuvent servir de solutions initiales pour les solveurs MINLP.

2 Modélisation en un problème à contraintes binaires

On présente ce problème de résolution de conflits aériens sous la forme d'une problème d'affectation à variables discrètes et à domaines finis et n'ayant que des contraintes binaires. Cette modélisation est très générale et a été utilisée pour de nombreux autres problèmes [2].

2.1 Variables de décision

— Le problème comporte n variables de décision notées x_i avec $i \in I = [\![1;n]\!]$. Elles correspondent aux variations en vitesses des n avions.

1. Les contrôleurs en-route gèrent le trafic aérien en-route c'est-à-dire l'ensemble du vol hormis les phases de décollage et atterrissage.

— $\forall i \in I$, le domaine de la variable x_i est noté D_i ; dans notre cas, tous les avions ont le même domaine $D = D_i = \{d_1, ..., d_m\}$, il corresponds à l'ensemble des m variations en vitesses qui peuvent être affectée à x_i. On note $K = [\![1; m]\!]$; les m valeurs sont comprises dans l'intervalle $[0.94,\ 1.03]$ correspondant à un variation de vitesse comprise entre -6% et $+3\%$. Dans cette présentation on discrétise l'intervalle $[0.94,\ 1.03]$ en $m = 10$ valeurs discrètes avec un pas de 0.01.

— Une solution du problème est notée $S = (s(i))_{i \in I}$ avec $s(i) \in K$ où la $s(i)$-ème valeur du domaine D est affectée à la variable x_i.

2.2 Données du problème

— Pour toutes paires de variables (i, j), on définit la fonction

$$\begin{array}{rccc} \delta_{(i,j)} : & K \times K & \rightarrow & \{0,\ 1\} \\ & (k, l) & \mapsto & \delta_{(i,j)}(k, l) \end{array}$$

où $\delta_{(i,j)}(k, l)$ indique si les avions i et j sont en conflit lorsqu'elles prennent respectivement les k-ième et l-ième valeurs de leur domaine. Les résultats de ces fonctions peuvent être stockées dans une matrice $0 - 1$ 4D abusivement noté $\Delta = (\delta(i, j, k, l))_{I^2 \times K \times K}$.

— $cost(i, k)$ vecteur indiquant le coût d'affectation de la variable i à la valeur k-ième valeurs de leur domaine (d_k). On prends ici : $cost(i, k) = (1 - d_k)^2$.

2.3 Objectifs et contraintes du problème

Trouver $S = (s(1), s(2), ...s(n))$ qui minimise :

$$f(S) = \sum_{i \in I} cost(i, s(i))$$

sous les contraintes : $\forall (i, j) \in I^2, \quad \delta(i, j, s(i), s(j)) = 0$

3 Méthodes d'optimisation

Le problème présenté est résolu par un algorithme mémétique à deux individus ; à chaque génération de l'algorithme, une recherche tabou est appliquée aux deux individus.

Les résultats obtenus par cette métaheuristique sont comparées avec les solutions exactes [1] lorsqu'elles existent.

Remerciements

L'auteur remercie l'ANR pour son aide financière dans le projet ANR 12-JS02-009-01 ATOMIC.

Références

[1] S. Cafieri, N. Durand, Aircraft deconfliction with speed regulation : new models from mixed-integer optimization, *Journal of Global Optimization*, 58(4) :613-629, 2014.

[2] A. Gondran, Recherche tabou générique pour problèmes à contraintes binaires, rapport technique, https ://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01063343v2, 2014.