

Allocation de créneaux de décollage sans conflit en programmation par contraintes

Cyril Allignol¹, Nicolas Barnier²

¹ DSNA/DTI; 7 Av. Édouard Belin, F-31055 Toulouse, France
allignol@tls.cena.fr

² École Nationale de l'Aviation Civile; 7 Av. Édouard Belin, F-31055 Toulouse, France
barnier@recherche.enac.fr

Mots-Clés : *Créneau de décollage, Résolution de conflit, Programmation par contraintes*

1 Introduction

Dans un ciel européen déjà saturé, la hausse annoncée du nombre de vols nécessite une amélioration de l'efficacité de la gestion du trafic aérien, ainsi que l'atteste le programme SESAR (*Single European Sky ATM Research*). Le système actuel d'ATM (*Air Traffic Management*) semble avoir atteint ses limites, tandis que l'automatisation du contrôle aérien n'a pas connu d'avancées significatives au cours des dernières décennies [4].

Actuellement, la CFMU (*Central Flow Management Unit*) est chargée d'optimiser le trafic, notamment en affectant des créneaux de décollage aux vols impliqués dans des surcharges de secteurs en-route. L'objectif de cette allocation est le respect des capacités des secteurs, fournies par chaque centre de contrôle sous la forme d'un nombre maximal d'avions par heure.

Plutôt que d'essayer de satisfaire ces contraintes de capacité en-route (cf. [3]), peu représentatives de la charge de travail des contrôleurs, nous proposons de résoudre directement les conflits potentiels entre les différents vols par des modifications des heures de décollage. Un retard unique est associé à chaque vol, de manière à ce que tous les conflits potentiels au-dessus d'un niveau de vol donné soient évités. Cette modélisation fine génère plus de contraintes que le modèle macroscopique, mais elle garantit des trajectoires sans conflit tout au long du vol, sous l'hypothèse que les avions puissent suivre une route en quatre dimensions de manière suffisamment précise.

2 Modélisation en programmation par contraintes

Les données d'entrée de notre problème sont fournies par le simulateur de trafic CATS (Complete Air Traffic Simulator) [1]. Celui-ci construit des trajectoires 4D discrétisées pour une journée donnée à partir des plans de vol enregistrés pour l'espace aérien français. Les trajectoires sont testées deux à deux pour détecter les conflits potentiels, en prenant en compte le retard maximal autorisé.

Le problème de résolution de conflits est alors modélisé sous forme de problème de satisfaction de contraintes (CSP) qui peut être résolu à l'aide d'un système de programmation par contraintes

(PPC). Les variables de décision du modèle sont les retards associés aux vols et les contraintes sont directement issues de la détection des conflits potentiels. Elles sont exprimées à l'aide de variables auxiliaires qui permettent une meilleure propagation des contraintes lors de la recherche. Le coût utilisé pour l'optimisation est le maximum des retards alloués pour obtenir des preuves de faisabilité.

La somme des retards est également un critère important pour évaluer la qualité d'une solution. Notre stratégie de recherche a notamment pour objectif de la réduire le plus possible afin d'obtenir des solutions réalisables d'un point de vue opérationnel. Une extension temporelle des conflits permet en outre de prendre en compte des incertitudes sur les heures réelles de décollage.

3 Résultats et perspectives

Ce modèle en contraintes a été implémenté à l'aide de la librairie FaCiLe [2] et les résultats présentés ont été obtenus sur différentes journées de trafic de l'année 2007, avec plus de 9 500 vols et 600 000 paires de trajectoires en conflit potentiel pris en compte pour les instances les plus grandes que nous avons pu résoudre de manière optimale.

Nous avons systématiquement pu obtenir la solution optimale (et sa preuve) avec des temps de calcul raisonnables pour toutes les instances pour lesquelles les 4 Go de mémoire disponibles (Core 2 Duo à 2.4 GHz) n'étaient pas épuisés. Les instances de petite taille sont résolues en quelques secondes, alors que les plus grandes peuvent prendre 1 min de calcul, avec une croissance quadratique (approximativement) en fonction du nombre de vols. Nous prévoyons de pouvoir résoudre des instances de taille plus importante encore, voire de dimension européenne, avec un ordinateur équipé d'une plus grande quantité de mémoire.

Le coût (retard maximal) de cette allocation de créneaux de décollage sans conflit peut être très élevé pour les journées les plus difficiles (*e.g.* 182 min de retard maximal pour l'instance la plus coûteuse), mais devient beaucoup plus raisonnable (de 60 min à 90 min) pour des journées standard. Lorsqu'aucune incertitude n'est prise en compte, la somme des retards ainsi que le ratio de vols retardés ont des valeurs compatibles avec les chiffres actuels de la CFMU. Cependant, les résolutions réalisées en prenant en compte des incertitudes mènent rapidement à des solutions dont le coût est prohibitif.

Nous envisageons de remédier à ces problèmes en combinant notre méthode avec une phase préalable d'allocation de niveaux de vol, l'adaptation de notre algorithme dans un cadre de résolution itérative dynamique sur une fenêtre de temps glissante pour mieux gérer les incertitudes ou encore la gestion des conflits restant à l'aide des modules de résolution du simulateur CATS.

Références

- [1] Jean-Marc Alliot, Jean-François Bosc, Nicolas Durand, and Lionnel Maugis. CATS : A Complete Air Traffic Simulator. In *16th DASC*, 1997.
- [2] Nicolas Barnier and Pascal Brisset. FaCiLe : a Functional Constraint Library. In *CICLOPS'01 (Workshop of CP'01)*, Paphos, Cyprus, December 2001.
- [3] M. Dalichampt, E. Petit, U. Junker, and J. Lebreton. Innovative slot allocation (ISA). Technical report, Eurocontrol, 1997.
- [4] Jean-Marc Garot and Nicolas Durand. Failures in the automation of air traffic control. In *Colloque de l'AAA*, 2005.