

Planification de trajectoires du trafic aérien : une métrique de complexité

Julien Lavandier¹, Marcel Mongeau¹, Daniel Delahaye¹, Supatcha Chaimatanan¹

ENAC, Université de Toulouse
prenom.nom@enac.fr

Mots-clés : *Optimisation boîte noire, grande taille, fonction objectif, trafic aérien.*

1 Contexte

Le trafic aérien cherche à réduire ses impacts environnementaux. Une solution future consiste à enlever les routes de l'espace aérien pour que les avions puissent suivre leurs trajectoires optimales [10]. Ces trajectoires peuvent considérer les impacts environnementaux et économiques. Cependant, des situations de trafic plus complexes peuvent alors survenir s'opposant à la recherche d'opérations sûres et efficaces par les contrôleurs aériens. Pour différencier de telles situations, une métrique de complexité est nécessaire pour évaluer la difficulté pour les contrôleurs à gérer des situations de trafic.

2 Planification du trafic aérien

Le problème de planification du trafic aérien à grande échelle concerne la gestion sûre et efficace des trajectoires de vol de nombreux aéronefs, en tenant compte de diverses contraintes et fonctions objectifs [2, 3, 9]. Il est crucial dans le domaine de l'aviation puisqu'il a un impact direct sur la sécurité et l'efficacité des opérations de trafic aérien, ainsi que sur la satisfaction des passagers et des compagnies aériennes. Des solutions efficaces à ce problème peuvent améliorer la gestion du trafic aérien en réduisant les retards, les déroutements, ainsi que l'impact sur l'environnement. L'objectif est de maximiser l'utilisation de l'espace aérien et de minimiser l'impact sur les passagers, les compagnies aériennes et l'environnement. Le problème de planification du trafic aérien prend en compte plusieurs facteurs pour trouver une bonne solution, tels que : les horaires de vol, la capacité de l'espace aérien, les routes aériennes et l'impact sur l'environnement. C'est un problème complexe et difficile qui nécessite des algorithmes et des outils de résolution avancés, de type boîte noire de grande taille. Ainsi de nombreuses évaluations de la fonction objectif sont nécessaires. Ce problème nécessite une métrique définissant la fonction objectif, pour définir la complexité/difficulté des situations du trafic aérien, économe en temps de calcul. Il existe plusieurs métriques [6, 8] pour mesurer la complexité de situations de trafic aérien, malheureusement elles capturent difficilement l'impact de l'incertitude sur cette complexité. L'approche des systèmes dynamiques [4, 5] est une bonne mesure de l'organisation d'un ensemble de trajectoires dans une zone d'espace aérien donnée, avec une incertitude sur le temps. Cependant, cette métrique est très coûteuse en temps de calcul, ce qui est rédhibitoire dans notre contexte d'optimisation boîte noire de grande taille. Cette recherche mettra en avant une métrique rapide à calculer et avec une bonne représentation de la difficulté des situations de trafic aérien. Cette métrique définit un temps total de conflit en fonction de changements de cap, d'incertitudes de taux de montée et de temps de passage. A un instant donné, on observe plusieurs possibilités de position de l'aéronef le long de la trajectoire. Pour chaque trajectoire ces possibilités de position forment l'ensemble des observations à un instant donné. Pour une paire d'observations dans l'ensemble défini précédemment, on intègre la durée totale de conflit

pour chaque changement de cap si l'aéronef est en croisière, ou pour chaque changement de taux de montée s'il est en évolution. Cette durée totale de conflit est sommée pour tout instant afin de donner une métrique de la difficulté de tout le trafic aérien. La taille du problème incite l'utilisation de métaheuristiques [1, 7]. L'approche de résolution d'un problème d'optimisation par apprentissage renforcé sur les décisions semblent une piste prometteuse. Cette méthode a été appliquée à d'autres problèmes pour une résolution décentralisée.

3 Conclusions et perspectives

Nous proposons une nouvelle métrique de complexité des situations du trafic aérien qui couvre de nombreuses situations prenant en compte les incertitudes temporelles. L'avantage de cette métrique est son faible temps de calcul pour une mesure de complexité couvrant un large éventail de situations de trafic pour lesquelles les métriques de complexité de la littérature ne sont pas satisfaisantes. Des résultats préliminaires sur l'approche de résolution par apprentissage renforcé du problème de planification du trafic aérien seront présentés.

Références

- [1] D. BERTSEKAS. Multiagent reinforcement learning : rollout and policy iteration. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 8(2) :249-272, fév. 2021.
- [2] S. CHAIMATANAN, D. DELAHAYE et M. MONGEAU. Hybrid metaheuristic for air traffic management with uncertainty. In L. AMODEO, E.-G. TALBI et F. YALAOUI, éditeurs, *Recent Developments in Metaheuristics*, Operations Research/Computer Science Interfaces Series, p. 219-251. Springer International Publishing, Cham, 2018.
- [3] V. DAL SASSO, F. D. FOMENI, G. LULLI et K. G. ZOGRAFOS. Planning efficient 4D trajectories in air traffic flow management. *European Journal of Operational Research*, 276(2) :676-687, 2019.
- [4] D. DELAHAYE et S. PUECHMOREL. Air traffic complexity based on dynamical systems. In *49th IEEE Conference on Decision and Control (CDC)*, p. 2069-2074, Atlanta, GA, USA. IEEE, déc. 2010.
- [5] D. DELAHAYE, S. PUECHMOREL, J. HANSMAN et J. HISTON. Air traffic complexity based on non linear dynamical systems. *5th USA/Europe Air Traffic Management Reseach and Development Seminar*, juin 2003.
- [6] B. HILBURN. Cognitive complexity in air traffic control : A litterature review :81, 2004.
- [7] S. KIRKPATRICK, C. D. GELATT et M. P. VECCHI. Optimization by simulated annealing. *Science (New York, N.Y.)*, 220(4598) :671-680, 1983.
- [8] A. LE BRIGANT et S. PUECHMOREL. Quantization and clustering on Riemannian manifolds with an application to air traffic analysis. *Journal of Multivariate Analysis*, 173 :685-703, 1^{er} sept. 2019.
- [9] C. NTAKOLIA, H. CACERES et J. COLETOS. A dynamic integer programming approach for free flight air traffic management (ATM) scenario with 4D-trajectories and energy efficiency aspects. *Optimization Letters*, 14(7) :1659-1680, 1^{er} oct. 2020.
- [10] S. J. UNDERTAKING. European ATM master plan. Digitalising Europe's aviation infrastructure. Executive view, 2019.