

Internship “4D Contract modelling”

In order to cope with the increase of general air traffic, several leads are nowadays considered. One of these is the notion of 4D-contract. A 4D-contract is a plane trajectory taking place within a defined space at given times. It must respect several constraints:

- spatial constraints (e.g. with respect to classes of air space)
- time constraints (e.g. with respect to flight schedules or to available fuel)
- constraints with respect to other 4D-contracts (e.g. intersection constraints)
- constraints with respect to external elements (e.g. weather conditions)

4D-contracts must be planned in advance for a given aerial space. However, they must be adapted in real-time according to the situation when they are executed. Possible 4D-contract readjustments are:

- avoiding an area where the weather is too dangerous,
- local modifications (on short or long term during the trajectory) to avoid getting too near to another aircraft (which itself may have to change its 4D-contract also),
- changing direction of approach of an airport (because of weather or saturation of runways, etc.),
- in rarer cases (which must only happen when a major problem has occurred), changing destination airport, or changing drastically schedule, etc.,
- when the boarding is delayed or the departure airport is saturated, leaving later, thus readjusting take-off schedule and routes with respect to other planes,
- taking into account specific changes due to a nearby plane in distress (clearing way, etc.).

The planning of 4D-contracts must also plan some robustness with regards to delays or possible emergency situation. Of course, this implies a lot of verifications to do, which may only be achieved through the use of formal methods.

The purpose of this training period is to define a model for 4D-contracts that would be suitable for the use of verification techniques such as model-checking to ensure verifying properties with respect to the constraints stated above, such as the following:

- *Robustness to minor deviations*: the occurring of a non-rare event (such as small schedule modifications due to bad weather) may be solved by only changing a few 4D-contracts;
- *Robustness to major deviations*: it is always possible to clear path for an aircraft in distress, even if it involves changing a lot of 4D-contracts;
- *Safety*: no 4D-contracts are such that planes might be too close with respect to air space class regulations;
- *Reachability*: 4D-contracts always allow planes to land long before they lack fuel;
- etc.

This internship takes place within a collaboration between ONERA (the French Aerospace Lab) and Universities Paris 6 and Paris 13, and will be co-supervised by Romain Kervarc (ONERA), Fabrice Kordon (Paris 6), and Christine Choppy (Paris 13).

Stage Contrats 4D

Pour faire face à l'augmentation du trafic aérien général, une piste semblant très prometteuse est la notion de contrat 4D. Un contrat 4D est une trajectoire d'avion délimitée dans l'espace et dans le temps, respectant un certain nombre de contraintes :

- des contraintes d'ordre spatial (e.g. relatives aux classes d'espace aérien)
- des contraintes d'ordre temporel (e.g. liées au plan de vol ou au carburant disponible)
- des contraintes relatives à d'autres contrats 4D (e.g. des contraintes d'intersection)
- des contraintes relatives à des éléments extérieurs (e.g. aux conditions météorologiques)

Les contrats 4D doivent être planifiés à l'avance pour un espace aérien donné. Cependant, ils doivent également être adaptés en temps réel à la situation lorsqu'ils sont exécutés. Parmi les réajustements pouvant être nécessaires, on peut noter :

- l'évitement d'une zone où les conditions météorologiques sont trop dangereuses ;
- des modifications locales (à court ou moyen terme pendant la trajectoire) pour éviter d'approcher de trop près un autre aéronef (qui peut lui-même être amené également à modifier son contrat 4D) ;
- un changement de direction d'approche d'un aéroport (dû aux conditions météorologiques ou à la saturation des pistes, par exemple) ;
- dans des cas plus rares (qui ne doivent survenir qu'à la suite d'un problème majeur), un changement d'aéroport de destination ou un changement drastique de plan de vol ;
- en cas de retard à l'embarquement ou de saturation de l'aéroport d'origine, un départ plus tardif, avec par conséquent un réajustement de l'heure de décollage et du contrat 4D, toujours en lien avec les autres avions ;
- la prise en compte de changements spéciaux dus à la présence dans les environs d'un aéronef en détresse (dégagement d'une partie de l'espace aérien, etc.).

La planification des contrats 4D doit également inclure une certaine robustesse à l'égard des retards ou des possibles situations d'urgence. Bien sûr, cela implique une grande quantité de vérifications à effectuer, qui ne peuvent l'être que par l'usage de méthodes formelles.

Le but de ce stage est de définir un modèle pour les contrats 4D qui soit adapté à l'emploi de techniques de vérification comme le *model-checking* pour vérifier des propriétés liées au respect des contraintes ci-dessus, comme par exemple :

- *Robustesse aux écarts mineurs* : l'occurrence d'un événement non rare (comme une petite modification de plan de vol du fait des conditions météorologiques) peut être résolue en changeant peu de contrats 4D ;
- *Robustesse aux écarts majeurs* : il est toujours possible de dégager l'espace pour un aéronef en détresse, même si cela implique de changer beaucoup de contrats 4D ;
- *Sécurité* : il n'y a pas de contrats 4D tels que deux avions en viendraient à être trop proches par rapport aux règles de la classe d'espace aérien où ils se trouvent ;
- *Atteignabilité* : les contrats 4D permettent toujours aux avions d'atterrir avant qu'ils ne manquent de carburant.

Ce stage se place dans le cadre d'une collaboration entre l'ONERA (office national d'études et de recherches aérospatiales) et les universités Paris 6 et Paris 13, et sera co-encadré par Romain Kervarc (ONERA), Fabrice Kordon (Paris 6) et Christine Choppy (Paris 13).