



Doctoral Thesis

Optimization-based control for conflict resolution in air traffic management

Author(s):

Chaloulos, Georgios

Publication Date:

2011

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006713686> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Doctoral Thesis ETH Zürich No. 19953

Optimization-Based Control for Conflict Resolution in Air Traffic Management

A dissertation submitted to the
ETH Zürich

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

GEORGIOS CHALOULOS

Dipl.-Ing, University of Patras, Greece
born 15.04.1982 in Athens
Greek citizen

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. John Lygeros, examiner
Prof. Dr. Jan Maciejowski, co-examiner
Prof. Dr. Henk Blom, co-examiner

2011



Abstract

While the demand for air travel throughout the years has been doubling every 15-20 years, technological advances are not being integrated in a similar pace, with several parts of the current Air Traffic Management (ATM) system based on technologies that were developed more than two decades ago. Several operations in this field are rigidly built around humans, equipped with obsolete tools, in an expensive, inefficient and unscalable concept of operation. Novel automation and decision support tools need to be introduced to alleviate the workload of air traffic controllers in order to preserve and ameliorate the current levels of safety and efficiency in the more demanding future scenarios. An essential part of ATM is Air Traffic Control (ATC). The primary purpose of ATC systems is to organize and expedite the flow of traffic, while maintaining safety. Safety is usually translated in maintaining safe separation among aircraft at all times. If for a pair of aircraft this safe separation is violated, then a conflict occurs.

Conflict Detection & Resolution (CD&R) is thus, of key importance for future ATM systems. It involves the process of correctly and timely identifying potential conflicting situations (Conflict Detection) and deciding on a resolution maneuver to avoid them (Conflict Resolution - CR). This procedure is carried out in a rather uncertain environment, with wind forecast errors being a large proportion of the uncertainty. We illustrate the importance of accurately modeling the wind forecast uncertainty for CD&R purposes.

We consider CR problems for enroute aircraft, for scenarios up to 30 minutes before the predicted loss of separation. Employing the Model Predictive Control (MPC) technique, conflicts are resolved in a receding horizon fashion, constantly integrating new information that may become available during the flight evolution. Three different design alternatives to address the problem of CR are presented.

First, the concept of a decision support tool, operating on the ground in parallel to the Air Traffic Controller (ATCo), under the name subliminal control is introduced. This tool aims in reducing the risk perceived by the ATCo, commanding only minor speed adjustments

directly to the aircraft. These commands remain imperceptible by the ATCo, in order not to raise his attention at the maneuvering of the involved aircraft. The operational benefits of this scheme are examined through Monte Carlo simulation studies.

Then, a CR alternative based on a priority scheme among aircraft, is developed. A Mixed Integer Linear Program (MILP) approximating the nonlinear CR problem is developed and several design alternatives are outlined. The algorithm is developed in two alternate configurations: as a centralized algorithm, operating on ground, and as a decentralized algorithm, operating onboard the aircraft, which are then responsible for maintaining the necessary safety separation. The algorithm is validated through Monte Carlo simulations and a simplified version of it is tested against a realistic traffic sample.

Finally, the issue of Conflict Resolution (CR) algorithms operating at different time layers is tackled. A combination of two different control techniques is developed in order to deal with the issue of CR. Navigation Functions (NFs), a method widely used in robotics for ground vehicle control is used to resolve imminent conflicts, while MPC imposes operational constraints on the system, taking more strategic decisions. The scheme is validated both in centralized, as well as decentralized setups through simulations.



Zusammenfassung

Während sich das Flugverkehrsaufkommen in der Vergangenheit alle 15 bis 20 Jahre verdoppelt hat werden technologische Neuerungen nicht mit der gleichen Geschwindigkeit in die bestehenden Systeme integriert. Mehrere Komponenten des aktuellen Flugverkehrsmanagementsystems basieren auf Technologien, die vor über zwei Jahrzehnten entwickelt wurden. Viele Tätigkeiten in diesem Feld sind starr auf den Menschen ausgerichtet, der, mit veralteten Werkzeugen ausgestattet, unter teuren, ineffizienten und nicht skalierbaren Rahmenbedingungen arbeitet. Zeitgemäße Werkzeuge zur Automatisierung und Entscheidungshilfe müssen eingeführt werden, um die zunehmende Arbeitslast zu mindern und aktuelle Sicherheitsstandards und Erwartungen an Effizienz auch unter zukünftigen, anspruchsvolleren Szenarien beizubehalten und zu verbessern. Ein zentraler Bestandteil des Flugverkehrsmanagementsystems ist die Flugverkehrskontrolle. Die vorrangige Aufgabe von Flugverkehrskontrollsystemen ist die Organisation und Unterstützung des Luftverkehrsflusses bei gleichzeitiger Einhaltung von Sicherheitsvorschriften. Dies umfasst üblicherweise die Staffelung, welche sicherstellt, dass Sicherheitsabstände eingehalten werden. Ein unterschreiten der vorgeschriebenen Sicherheitsabstände ruft einen Konflikt hervor, der gelöst werden muss.

Konflikterkennung und -lösung (Conflict Detection & Resolution, CD&R) ist deshalb von enormer Bedeutung für zukünftige Flugverkehrsmanagementsysteme. Es beinhaltet die rechtzeitige und korrekte Erkennung von möglichen Konfliktsituationen (Conflict Detection, CD) und das Festlegen eines Flugmanövers zur Konfliktvermeidung / -lösung (Conflict Resolution, CR). Dieser Vorgang findet unter dem Einfluss vieler unsicherer Parameter statt, wobei Windvorhersagen einen Großteil der Unsicherheit beisteuern. Wir demonstrieren die Bedeutung eines korrekten Modells der Unsicherheit der Windvorhersage für Belange der CD&R.

Wir betrachten CR Probleme für Flugzeuge nach dem Start bis zum Beginn des Landeanflugs mit Szenarien bis zu 30 Minuten vor der vorhergesagten Unterschreitung des Si-

cherheitsabstands. Mit Hilfe der modellprädiktiven Regelung (Model Predictive Control, MPC) werden Konflikte aufgelöst, wobei neu verfügbare Informationen regelmäSSig in den Entscheidungsprozess integriert werden. Drei unterschiedliche Designansätze für das CR-Problem werden präsentiert.

Als erstes wird das Konzept einer elektronischen Entscheidungshilfe, die am Boden parallel zum Fluglotsen arbeitet, unter dem Namen *subliminal control* eingeführt. Das Ziel dieses Werkzeugs ist die Reduktion des Risikos, welches vom Fluglotsen wahrgenommen wird, indem Anweisungen für kleinere Geschwindigkeitsanpassungen direkt an das Flugzeug gemeldet werden. Diese Anweisungen bleiben unsichtbar für den Fluglotsen, um seine Aufmerksamkeit nicht auf die Manöver der betroffenen Flugzeuge zu lenken. Die Vorteile dieses Verfahrens werden mit Hilfe von Monte Carlo Simulationen untersucht.

Als Alternative wird ein CR-Konzept basierend auf Flugzeugprioritäten vorgestellt. Ein gemischt-ganzzahliges lineares Programm wird als Näherung des nichtlinearen CR-Problems entwickelt und mehrere Designalternativen werden umrissen. Der Algorithmus wird in zwei möglichen Konfigurationen vorgestellt: als zentralisierter Algorithmus, der am Boden läuft, und als dezentralisierte Variante, die auf den Flugzeugen implementiert wird, welche daraufhin für die Einhaltung der Sicherheitsabstände verantwortlich sind. Der Algorithmus wird durch Monte Carlo Simulationen validiert und eine vereinfachte Version wird mit realistischen Verkehrsdaten getestet.

Als letztes wird das Problem von CR-Algorithmen, die auf unterschiedlichen Zeitebenen arbeiten, in Angriff genommen. Eine Kombination von zwei verschiedenen Regelungsmethoden wird verwendet, um das CR-Problem zu lösen. Die Navigationsfunktion, welche in der Robotik häufig zur Trajektorienplanung eingesetzt wird, wird zur Lösung von akuten Konflikten verwendet, während MPC die Einhaltung von Betriebsbedingungen sicherstellt und strategische Entscheidungen trifft. Das Konzept wird sowohl als zentralisierte wie auch als dezentralisierte Methode durch Simulationen validiert.