WeCAP TMA

Weather Dependent Capacity Analysis and Planning for Terminal Manoeuvring Area

Programm / Ausschreibung	Mobilitätssystem, Mobilitätssystem, FTI-Lösungen für die Transformation des Luftfahrtsystems, Sustainable Aviation Fuels inkl. Wasserstoff 2023	**Status**	abgeschlossen
Projektstart	01.08.2024	**Projektende**	31.07.2025
Zeitraum	2024 - 2025	**Projektlaufzeit**	12 Monate
Keywords	Air Traffic Management; Arrival Management, Reinforcement Learning, Weather		

Projektbeschreibung

Die derzeit verwendeten konventionellen Arrival Manager Systeme liefern eine Anflug-Sequenz, geschätzte Ankunftszeiten und unterstützen die Koordination mit den „upstream“ Sektoren („time to lose“ / „time to gain“), geben aber keinerlei Hinweise auf die Komplexität der von den Flugverkehrsleitern abzuarbeitenden Tasks. Wenn nun zu hohem „Demand“ an gemischtem an- und abfliegendem Verkehr, Luftfahrzeugen mit unterschiedlichen Steigraten und Geschwindigkeiten auch noch „Störungen“ durch Gewitter oder schlechte Sichten hinzukommen, können die verantwortlichen Supervisoren und Flow Manager ihre Arrival-/Departure-Planung mit den derzeitigen Hilfsmitteln nur sehr subjektiv nach ihren persönlichen Erfahrungen gestalten.

Eine objektive Verkehrs- und Wetterkomplexität ermöglicht ein robustes und nachvollziehbares Arrival- und Departure Management, womit sowohl zu konservative als auch zu optimistische Maßnahmen vermieden werden können. Damit kann auch der anfallende Demand besser mit der vorhandenen Kapazität abgestimmt werden, was einerseits Overloads vermeiden und auf der anderen Seite die Nutzung der vorhandenen Kapazitäten optimieren kann.

Diese Sondierung soll prüfen, ob man komplexen Verkehr und Wettereinfluss durch die Verwendung einer objektiven Komplexitätsmetrik besser beschreiben und daraus optimierte Maßnahmen im Arrival und Departure Management ableiten kann. Für die Bestimmung der Verkehrs- und Wetterkomplexität soll ein Reinforcement Learning (RL) Ansatz verwendet werden. RL erlaubt einerseits die gleichzeitige Modellierung mehrerer Akteure in einem Umgebungsmodell mit verschiedenen Strategien zur lokalen bzw. globalen Optimierung, und ermöglicht andererseits eine dynamische, anpassungsfähige und robuste Herangehensweise an die sich laufend verändernden Bedingungen des Arrival Managements.

Auch die Planbarkeit vieler beteiligter Stakeholder wird erhöht: neben der verbesserten Schicht- und Sektor-Planung in der Anflugkontrollstelle profitieren auch Airlines und Flughäfen von genaueren Ankunfts- und Abflugzeiten, was letztendlich auch den Passagieren zugutekommt.

Diese Sondierung verfolgt zwei Ziele.

- Im ersten Schritt die Formulierung einer auf Task-Complexity basierenden Analyse der Komplexität des Gesamtsystems, die für eine Abschätzung der kognitiven Workload eines Flugverkehrsleiters verwendet werden kann. Darauf aufbauend wird ein Concept-of-Operation entwickelt, in dem diese Komplexität für Zwecke des Flow Managements sowie der Sektor- und Staff-Planung verwendet wird.

- Im zweiten Schritt soll geprüft werden, ob mittels Reinforcement Learning aus den von Approach Wien verwendeten Regeln und Verfahren sowie realen Umweltbedingungen auch ein realistisches Verkehrsbild generiert und daraus die Task-Complexity abgeleitet werden kann.

In aussagekräftigen Fallstudien werden die Eigenschaften des Systems anhand von unterschiedlichem Demand sowie interessanten Wetterbedingungen untersucht. Allen Fallstudien wird immer eine reale Verkehrs- und Wettersituation zugrunde gelegt, dadurch werden Performance-Vergleiche mit der Realität möglich. Je nach Vorlaufzeit werden entweder direkt Flugpläne oder bereits mit Positionsreports modifizierte Trajektorien als Input verwendet. Der Einfluss des Wetters wird exemplarisch anhand von Starkwind, Low Visibility Procedures (LVP) und Gewittern untersucht.

Abstract

The conventional arrival manager systems currently in use provide an approach sequence, estimated arrival times and support coordination with the upstream sectors ("time to lose" / "time to gain"), they give no indication of the complexity of the tasks to be handled by the air traffic controllers. If there are additional constraints due to thunderstorms or poor visibility on top of high rates of mixed arriving and departing traffic of aircraft with different climb rates and speeds, the responsible supervisors and flow managers can currently only organize their arrival/departure planning very subjectively according to their personal experience.

Objective traffic and weather complexity enables robust and comprehensible arrival and departure management, which means that both overly conservative and overly optimistic measures can be avoided. This also allows better coordination of demand and the available capacities, which helps to avoid overloads and to optimally distribute all available capacities.

This exploratory study is intended to examine whether complex traffic and weather influences can be better described by using an objective complexity metric and whether optimized measures in arrival and departure management can be derived from this. A reinforcement learning (RL) approach will be used to determine traffic and weather complexity. RL allows the simultaneous modelling of the behaviour of several actors using different strategies for local and global optimization and enables a dynamic, adaptable, and robust approach to the constantly changing conditions of arrival management.

The planning capability of many of the stakeholders involved also increases: in addition to improved shift and sector planning in the approach control centre, airlines and airports benefit from more precise arrival and departure times, which ultimately benefits passengers as well.

This exploratory study has two objectives.

- In the first step, an analysis of the complexity of the overall system based on task-complexity is conceived; this analysis can be used to estimate the cognitive workload of an air traffic controller. Based on this, a Concept-of-Operation is

developed in which this complexity is used for the purposes of flow management as well as sector and staff planning.

- The second step is to test whether reinforcement learning can be used to generate a realistic traffic picture using the rules and procedures used by Approach Wien as well as real environmental conditions, and whether a corresponding task complexity can be found using this process.

Case studies, using different demand situations and weather conditions, are used to examine the properties of the system. All case studies are based on real traffic and weather situations, enabling performance comparisons with reality. Depending on the lead time, either flight plans or trajectories that have already been modified with position reports are used as input. The influence of weather is assessed using extreme weather conditions such as strong winds, Low Visibility Procedures (LVP) and thunderstorms.

Endberichtkurzfassung

Die Sondierung untersuchte die Machbarkeit, mittels Reinforcement Learning (RL) realistische Anflugtrajektorien zu generieren, die den von Approach Wien verwendeten Regeln und Verfahren entsprechen. Dabei wurden reale Anflugdaten mit RL-basierten Ergebnissen verglichen, um die Qualität und Realitätsnähe der Simulation zu bewerten. Die RL-Modelle berechneten Anflugtrajektorien ab den STAR-Endpunkten, basierend auf definierten Regeln und verfügbaren Daten. Die Ergebnisse zeigen, dass RL in der Lage ist, realistische Flugverkehrsszenarien abzubilden und die definierten Ziele – wie pünktliche Landungen, Einhaltung von Sicherheitsabständen und effiziente Steuerung – erfolgreich umzusetzen.

Ein weiteres zentrales Ziel war die Analyse der Systemkomplexität und die Ableitung einer Task-Complexity, um die kognitive Workload von Fluglotsen besser abschätzen zu können. Diese Metrik ist entscheidend für das Flow-Management sowie die Sektor- und Personalplanung. Die enge Zusammenarbeit mit den Kolleg*innen von Approach Wien war hierbei essenziell, um ein tiefes Verständnis der Arbeitsweise von Fluglotsen und der zugrunde liegenden Komplexität zu gewinnen.

Technisch wurde durch die Nutzung von Game-Engines und RL-Bibliotheken eine effiziente Simulation mit rund 3500 Trainingsläufen realisiert. Die Ergebnisse legen nahe, dass RL ein vielversprechender Ansatz für die Optimierung von Anflugverfahren ist. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen soll das Projekt in einem F&E-Vorhaben weiterentwickelt werden, um ein anwendbares System zu schaffen.

Projektkoordinator

- Robimo GmbH

Projektpartner

- Austro Control Österreichische Gesellschaft für Zivilluftfahrt mit beschränkter Haftung