



NASA'S Top Model

Skaliertes UAV für Testflüge unter Extrembedingungen

Bei Kunstflugveranstaltungen kann man als Zuschauer die Grenzen des fliegerisch Machbaren hautnah erleben. Die NASA erforscht mit ihrem unbemannten Flugzeug (UAV) sogar noch extremere Flugsituationen.

Die NASA arbeitet bei ihrer Testeinrichtung AirSTAR (Airborne Subscale Transport Aircraft Research) mit einem UAV (Unmanned Aerial Vehicle), um Flugsituationen zu untersuchen, die mit echten, bemannten Flugzeugen zu riskant und zu kostspielig wären. Ein per Funk angebundenes dSPACE-System übernimmt dabei die Rolle des Flugsteuerungscomputers.

**Skalierungseffekte:
Kleiner, stärker, schneller**

Basierend auf den Testflügen entwerfen die NASA-Ingenieure Automatisierungssysteme, die für einen sicheren und kontrollierten Flug sorgen und so die Flugsicherheit erhöhen sollen. Typische Beispiele für extreme Flugsituationen, die bis zum Kontrollverlust führen können, sind beispielsweise Strukturschäden, Hydraulikausfälle oder Vereisung. In solchen Extremsituationen, in denen herkömmliche Autopiloten unter Umständen versagen können, sind Piloten teilweise mit einem unkalkulierbaren Flugverhalten des Flugzeugs konfrontiert.

Um solche Flugbedingungen zu untersuchen, hat die NASA für die Tests ein maßstabsgetreues UAV und eine größtenteils automatisierte Boden-

station entwickelt. Weil das UAV (Maßstab 1:18) wesentlich kleiner ist als ein echtes Verkehrsflugzeug, reagiert es sehr viel empfindlicher auf die Anweisungen des Piloten. Trotzdem zeigt es wegen seiner besonderen Konstruktion, bei der die Massenverteilung und die Dichte zusammen mit der Geometrie skaliert wurden, dieselben Dynamik- und Reaktions-eigenschaften wie das Vorbild. Die Ergebnisse der Testflüge müssen lediglich zeitlich rückskaliert werden (um die Wurzel des Skalierungsfaktors), um auf die Dynamik des echten Flugzeugs zu schließen. Auf diese Weise ist die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf reale Verkehrsflugzeuge sichergestellt; das UAV erlaubt aber die Durchführung riskanterer Experimente mit höheren Belastungen, als es bei einem echten Flugzeug möglich wäre.

Abbildung 1: Die Testflüge mit dem UAV (hier vor der mobilen Bodenstation) dienen zur Optimierung der Funktionen für Flugsteuerungscomputer in Verkehrsflugzeugen.





- 1 Navigationsanzeige, Draufsicht auf Standort, Flugrichtung und Reichweite
- 2 Flugzeugkonfiguration, Leitwerkpositionen, Triebwerkeinstellungen, Flugplandetails und Systemstatusindikatoren
- 3 Frontscheibenanzeige (HUD) – künstliche Sicht aus dem Fenster mit überlagertem Fahrtmesser, Höhenmesser, vertikaler Beschleunigung, Flugbahninformationen und Warnanzeigen
- 4 Zweite NAV-Anzeige (redundant)
- 5 Zweite HUD-Anzeige (redundant)
- 6 Sicht der analogen Tracker-Kamera am Boden
- 7 Sicht der analogen Bugkamera während des Fluges
- 8 Diskrete Modiwählschalter zum Aktivieren von Fehlersimulationen und Regelalgorithmen

Abbildung 2: Der Platz des Testpiloten. Das per Funk mit dem UAV kommunizierende dSPACE-System erledigt alle anfallenden Echtzeit-Berechnungsaufgaben, damit der Testpilot vom Boden aus beliebige Manöver realitätsnah fliegen kann.

Flugsteuerung mit dSPACE-System

Obwohl das UAV im Vergleich zu einem echten Verkehrsflugzeug klein ist, können die von der NASA getesteten Algorithmen sehr umfangreich sein. Die Regelstrategien und die Anforderungen an das Echtzeitsystem entwickeln die Ingenieure zumeist am Schreibtisch, und zwar mit Algorithmen-Prototypen, die in einem modellbasierten Simulationstool wie MATLAB®/Simulink® implementiert sind. Ein Ziel des AirSTAR-Programms ist es, die Übertragung dieser Algorithmen auf ein Echtzeitsystem für die Flugtests zu beschleunigen und ausreichend Rechenleistung für den

untersuchten Code bereitzustellen. Hierdurch ist es möglich, die Ergebnisse realer Flugversuche bereits in einer frühen Phase der Technologieentwicklung zu berücksichtigen. Möglich wurde das durch den Einsatz des dSPACE-Systems am Boden, das mit dem Flugzeug über eine breitbandige telemetrische Verbindung kommuniziert. Zusätzlich zum UAV selbst gehört zur AirSTAR-Testeinrichtung eine mobile Basisstation zur Flugkontrolle. Die Station besteht zum einen aus einem Multiprozessor-dSPACE-System und zum anderen aus weiteren Rechnern zur Erzeugung der Bildschirmdarstel-

lung und für die Messdatenaufzeichnung. Auf dem ersten Prozessorboard des dSPACE-Systems befinden sich die „Bordsysteme“, die die Pilotenbefehle empfangen (diskret, analog und PWM I/O), die Telemetriedaten des UAVs verwalten (RS422 seriell) und die Daten für die Echtzeitanzeige (UDP) verarbeiten und einstellen. Das zweite dSPACE-Prozessorboard untersucht die jeweils aktivierten Regelalgorithmen, und zwar sowohl unter regulären als auch fehlerhaften Flugzeugkonfigurationen. Die je nach Testflug unterschiedlichen Regelalgorithmen führen Code aus, der in Simulink mit Hilfe eines Simula-

Abbildung 3: Aufbau der mobilen AirSTAR-Testeinrichtung. Das auf dem dSPACE-System eingerichtete Flugsteuerungssystem empfängt Telemetriedaten vom UAV und sendet Pilotenbefehle und weitere Parameter an das UAV. Einer der drei Kontrollplätze (der Testpilotenplatz) ist detailliert in Abb. 2 zu sehen.



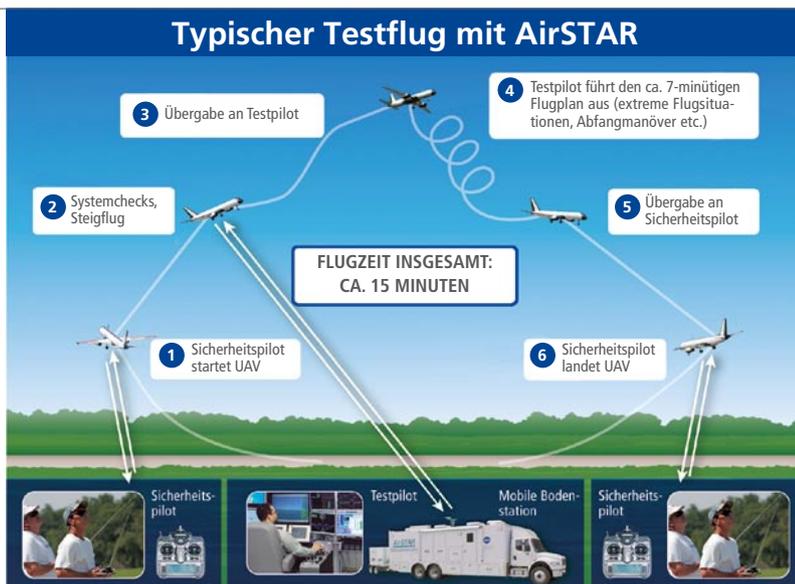


Abbildung 4: Typischer Ablauf eines Testflugs. Das Hauptaugenmerk liegt auf der Untersuchung von Kontrollverlustszenarien und entsprechenden Abfangmanövern.

tionsmodells für das UAV entwickelt wurde. Der Einsatz des zweiten Prozessors für diesen Code sorgt nicht nur insgesamt für sehr viel Rechenleistung, sondern ermöglicht es dem Hauptprozessor auch, Software-Fehler zu überwachen und zu isolieren, darunter Code-Sperrungen, Segmen-

Typischer Ablauf eines Testflugs

Mit dem UAV ist ein Flug von 15 Minuten möglich. Ein zweiter Pilot, der Sicherheitspilot, übernimmt die Start- und Landephase und hält ständig Blickkontakt zum UAV. Er überlässt dem Testpiloten das UAV nur oberhalb einer bestimmten Höhe. Während

„Für die aufwendigen Echtzeitberechnungen während der Testflüge mit dem UAV bietet das dSPACE-System die erforderliche Leistung.“

Tommy Jordan, NASA Langley Research Center

tierungsfehler oder unkontrolliertes Verhalten, und automatisch an eine der Überwachungsstationen weiterzuleiten. Die Telemetrie übermittelt Rohdaten auf 70 Kanälen mit einer Frequenz von 200 Hz. Dazu kommen noch Kalibrierungen in Echtzeit, Korrekturen und die Berechnung von abgeleiteten Variablen, die den Datenstrom weiter anwachsen lassen. Über die optische Verbindung des dSPACE-Host-PCs werden mehr als 500 Variablen mit 200 Hz übertragen, einschließlich 75 Variablen zur Dokumentation interner Variablen, um die Steuerungsalgorithmen während des Flugs zu untersuchen. Diese Daten liegen binnen weniger Minuten nach der Landung als MATLAB-Datei vor und ermöglichen es den Ingenieuren, Testergebnisse nachzuvollziehen und Testpläne zu modifizieren.

der verbleibenden Zeit absolviert der Testpilot das Flugprogramm und fliegt das UAV anhand der simulierten Anzeigen der mobilen Basisstation. Im Rahmen des „NASA Aviation Safety Program“ ist es erklärtes Ziel der Testflüge, besonders sogenannte Kontrollverlustszenarien – extreme Fluglagen in Verbindung mit dem Ausfall von Bordsystemen – und geeignete Abfangmanöver zu analysieren. Der Testpilot kann wahlweise mit Unterstützung des Flugsteuerungssystems fliegen oder auch ohne. Zusätzlich kann er frei konfigurierbare Fehler-szenarien einspeisen und so zum Beispiel das Leitwerk blockieren oder das UAV destabilisieren. Damit die strukturelle Belastbarkeit des UAVs nicht überschritten wird, begrenzt das Flugsteuerungssystem im Notfall die Schub- und Leitwerkeinstellungen.

Zudem hat der Sicherheitspilot stets die Oberhoheit über den Testflug – er kann jederzeit eingreifen und die Steuerung des UAVs vom Testpiloten übernehmen.

Zusammenfassung & Ausblick

Mit Hilfe der Testeinrichtung AirSTAR unternimmt die NASA Testflüge mit einem UAV, um gefahrlos Flugsituationen (Kontrollverlustszenarien) zu untersuchen, die in der Verkehrsfliegerei einen hohen Anteil der Unglücke ausmachen. Das mit einem dSPACE-System realisierte Flugsteuerungssystem am Boden muss dabei in Echtzeit sowohl die vom UAV gesammelten Messwerte als auch die Flugbefehle des Testpiloten verarbeiten. Es unterstützt die Generierung der Daten für die Fluginstrumente und zeichnet Testdaten für die Analyse nach einem Flug auf. Für die Zukunft sind eine Erweiterung der möglichen Flugsituationen, komplexere Algorithmen und die Einführung verschiedener Flugzeugtypen in das System geplant. Aufgrund der flexiblen Struktur der Bodenstation lassen sich diese Änderungen mit geringem Aufwand in der Architektur und Software implementieren. ■

Tommy Jordan
NASA Langley Research Center
USA

Tommy Jordan ist AirSTAR Projektmanager beim NASA Langley Research Center.

