

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Axel Schulte
Institut für Flugsysteme, Universität der Bundeswehr München

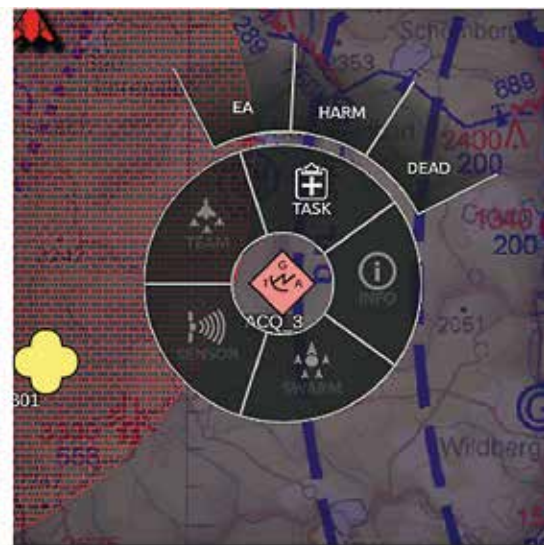
Cockpit- und UAV-Automatisierung für FCAS Manned/Unmanned Teaming (MUM-T) Missionen

Herausforderungen FCAS

Hochleistungskampfflugzeuge der 5./6. Generation sollen in künftigen Luftkriegsszenarien im Verbund bemannter und unbemannter Plattformen („Unmanned Aerial Vehicles, UAV“) eingesetzt werden. Auf diese Weise ist es möglich, den Kräfteansatz bei vermindertem Personalbedarf zu erhöhen. Missionskritische Entscheidungen, beispielsweise über den Waffeneinsatz, sollen jedoch weiterhin vom verantwortlich handelnden Menschen vor Ort getroffen werden, und dieses auch unter Einsatzbedingungen („Anti-Access Area Denial, A2AD“), die keine Verbindung zu Führungs- und Einsatzzentralen („Combined Air Operations Center, CAOC“, „Airborne Early Warning, AEW“, „Control and Reporting Center, CRC“) mehr ermöglichen. Ferner wird in künftigen Einsatzszenarien eine eng aufeinander abgestimmte Erzielung von Wirkung in der Luft und am Boden sowie im elektromagnetischen Spektrum notwendig sein, welches eine breite Vielfalt an Plattformfähigkeiten in den Bereichen der Sensorik, Bewaffnung, Kommunikation und insbesondere auch der Vernetzung voraussetzt. Die entsprechenden Einsatzarten, wie

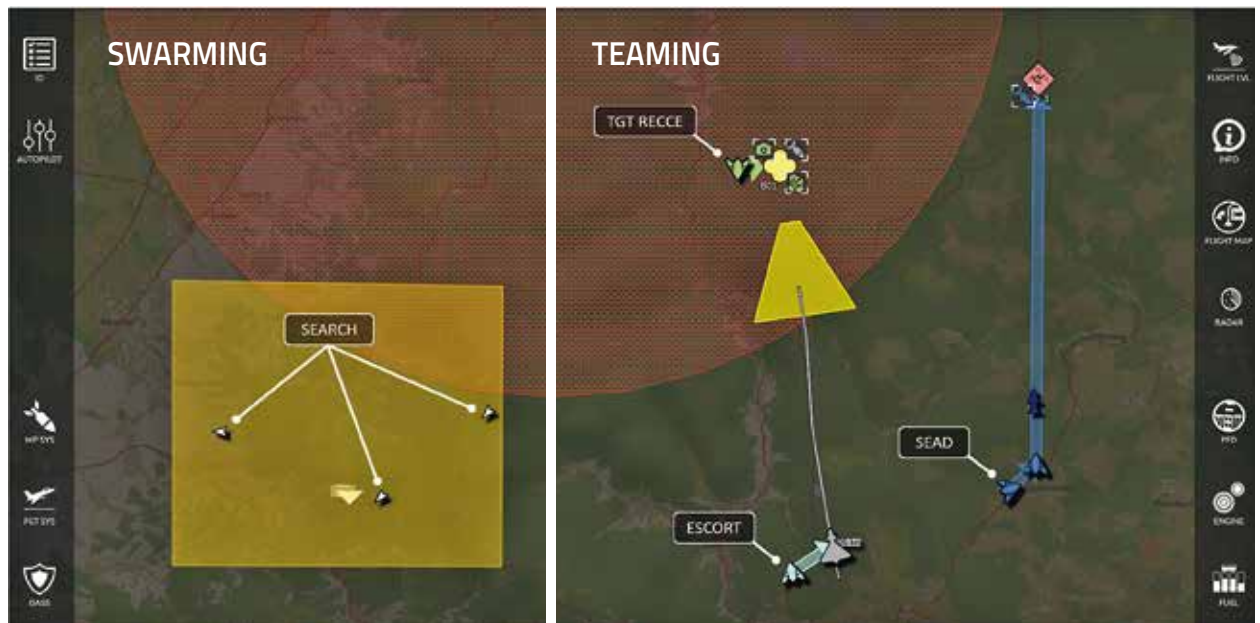
- „Offensive/Defensive Counter Air, OCA/DCA“,
- „Airborne Electronic Attack, AEA“,

Delegation von Missionsaufträgen an UV



Alle Abbildungen: Universität der Bundeswehr München

Kooperation von UV Teaming und Swarming



- „Suppression/Destruction of Enemy Air Defense, SEAD/DEAD“ und
 - „Air Interdiction, AI“
- müssen daher möglichst vollständig auf den bemannt-unbemannten Verbund abgebildet sein.

Definition MUM-T

Der Begriff MUM-T („Manned/Unmanned Teaming“) beschreibt die Interoperabilität von bemannten und unbemannten Plattformen (Luft, Land, See) zur Verfolgung eines gemeinsamen Missionsziels. Bemannte und unbemannte Systeme werden dabei in demselben intentional, räumlich und zeitlich begrenzten Kontext eingesetzt. Die unbemannten Plattformen sowie deren Missionsnutzlasten werden in MUM-T durch die bemannten Einsatzkräfte gesteuert. Dies bedingt die Bewältigung der hohen Arbeitsanforderungen, die sich aus den plattformübergreifenden Missionsmanagement- und Missionsausführungsaufgaben für den/die menschlichen Besatzungen ergeben. Technische Herausforderungen für MUM-T umfassen:

- spezielle Mensch-Maschine Interaktions- und Schnittstellenkonzepte,
- kollaborative Missionsplanungs- und -steuerungsalgorithmen,
- intelligente Assistenz- und Unterstützungsfunktionen für den menschlichen Nutzer,
- dedizierte Links für die Echtzeit-Datenverteilung zwischen den Plattformen sowie
- hohen Automatisierungsgrad der Missionsmanagement- und -ausführungsfunktionen.

Die Vorteile von MUM-T sind die hohe Missionseffektivität und Effizienz, die mit einem Minimum an Personal erreicht werden, wobei der menschliche Benutzer dennoch in den lokalen Entscheidungskreis eingebunden bleibt.

MUM-T für FCAS

Auch für FCAS („Future Combat Air System“) zeichnet sich derzeit eine intensive Nutzung des Konzepts MUM-T ab. In diesem Zusammenhang wird in einem ersten Schritt die Konzeptionierung eines bemannten „Command Fighters, CF“ angedacht, welcher in der Lage sein wird, die Missionsführung für eine größere Anzahl von UAV, sogenannter „Remote Carrier, RC“, also unbemannten, fliegenden Trägerplattformen für Missionsausrüstung (Sensoren, Bewaffnung) zu übernehmen. Zukünftig ist in weiteren Ausbaustufen die Weiterentwicklung der zunächst noch mit eingeschränkten Flug- und Missionsleistungen versehenen RC zu leistungsfähigeren, mehrrollenfähigen UCAV („Unmanned Combat Aerial Vehicle“) denkbar.

Beitrag der Professur für Flugmechanik und Flugführung

Die Professur für Flugmechanik und Flugführung (FMFF) der Universität der Bundeswehr München (UniBwM) untersucht seit 15 Jahren die Nutzung kognitiver und kooperativer Automation im Zusammenhang mit bemannten und unbemannten Flugzeugmissionen. Darunter ist zu verstehen, dass der Automation (z.B. an Bord von UCAV) durch geeignete Methoden der Wissensverarbeitung und der Künstlichen Intelligenz (KI) die Fähigkeit verliehen wird, sich ein Verständnis der Situation (Mission, Auftrag, Aufgaben, Pilot, Umwelt) zu generieren, auf dessen Basis Handlungsziele (z.B. Missionsdurchführung, Bedrohungsvermeidung, Systemintegrität) festzulegen, durch Planung und Problemlösungsmechanismen zu den notwendigen Handlungsschritten zu gelangen und schließlich diese unter Nutzung technischer Mittel (z.B. Missionsnutzlast, Flugsteuerung) in konkrete Aktionen umzusetzen.

Missions-
umplanung an Bord
des unbemannten
Combat Fighters



Der Fokus der Betrachtungen ist dabei stets auf der Ebene der Gesamtmission bzw. der Missionsführung und Missionsdynamik unter besonderer Berücksichtigung der Rolle des handelnden Menschen im Cockpit. Letzterer bedient sich dabei sogenannter „Kognitiver Agenten“ an Bord der unbemannten Luftfahrzeuge (RC, UCAV), aber auch an Bord der bemannten Luftfahrzeuge (CF) zur Unterstützung des Piloten bzw. der Besatzung. Dies ist von besonderem Vorteil bei MUM-T Missionen, da hier eine höhere Arbeitsbelastung zu erwarten ist. In diesem Zusammenhang untersucht die Professur FMFF unterschiedliche Entwurfsmuster („Design Patterns“) für das zielgerichtete Zusammenwirken von Mensch und intelligenten Agenten („Human-Autonomy Teaming, HAT“).

Lösungskonzepte

Für die Lösung der MUM-T-Herausforderungen für FCAS ergeben sich als Resultat der Forschungen der Professur FMFF jetzt schon die folgenden wichtigsten HAT Design Patterns:

1. Delegation von Missionen an UAV (s. Bild Seite 64)

Dieses Entwurfsmuster besteht im Prinzip darin, dass der Nutzer (Pilot im Cockpit) Missionen an einen intelligenten Software-Agenten an Bord der unbemannten Luftfahrzeuge delegiert. Dieser verfügt über das notwendige taktische und technische Wissen, um die gegebenen Aufträge unter Nutzung von KI-Methoden in Handlungen des UAV (Fliegen, Navigieren, Sensieren, Wirken, Kommunizieren) umzusetzen. Dabei sind einspre-

chende intuitive und an den Informationsbedürfnissen der Crew adaptierte Interaktionsmodalitäten im Cockpit mitentscheidend. Zusätzlich sind die folgenden Designentscheidungen von großer Bedeutung:

- Wahl eines geeigneten Autonomiegrads des Agenten, gegebenenfalls skalierbare Autonomie zur Optimierung der mentalen Beanspruchung („Workload“) des Nutzers.
- Gestaltung eines adäquaten Feedbacks des Agenten zur Sicherstellung der Transparenz und Nachvollziehbarkeit für den Nutzer.

2. Kooperation von UAV (s. Bild Seite 65)

Bei diesem Entwurfsmuster erfolgt die Delegation einer komplexen Missionen nicht mehr ausschließlich an einzelne unbemannte Luftfahrzeuge, sondern gleichzeitig an mehrere. Im Sinne der vorher angesprochenen skalierbaren Autonomie ist dies als ein hoher Autonomiegrad zu werten. Dabei entsteht die Notwendigkeit, dass sich die UAV untereinander automatisch koordinieren. Dazu werden vor Allem die folgenden Koordinationsmechanismen durch die Professur FMFF untersucht:

- Teaming von UAV (s. Bild Seite 65 rechts)

Hierbei werden einer Anzahl von UAV eine Missionen zugewiesen. Die intelligente Agentensoftware zerlegt diese Aufgabe in Teilaufgaben und die einzelnen UAV führen die unterschiedlichen Teilaufgaben unter Berücksichtigung von Abhängigkeiten der Aufgaben untereinander aus. Dabei können die Teilauf-



Adaptive Pilotenassistentz – Psycho-physiologische Sensorik im Cockpit

gaben durchaus heterogener Natur sein (z.B. ein UAV sensiert, ein weiteres UAV bekämpft). In der Regel wird Teaming mit einer maximal einstelligen Anzahl von UAV innerhalb eines Teams zur Anwendung kommen. Die Agentensoftware kann entweder als zentraler Planungsagent, oder als dezentrales Multi-Agentensystem realisiert werden. Entsprechende Studienergebnisse liegen bei der Professur FMFF vor. Ein typisches FCAS-relevantes Anwendungsbeispiel wäre die Durchführung eines koordinierten Angriffs auf ein Bodenziel mit einem UAV-Team mit Teilaufgaben, wie z.B. Sensieren, Verfolgen, Bekämpfen, Selbstverteidigen.

- **Swarming von UAV**
(s. Bild Seite 65 links)

Hierbei wird ebenfalls einer Gruppe von UAV eine Missionsaufgabe zugewiesen. Im Fall von Swarming wird der Auftrag in homogene, also gleichartige Teilaufgaben zerlegt, die dann parallel den zur Verfügung stehenden Schwarmelementen übertragen. Die Schwarmelemente koordinieren sich sodann vorwiegend auf parametrischer Ebene (wann und wo?). Typischerweise hat Swarming Vorteile bei einer größeren Anzahl von UAV (>10). Der Dialog mit dem Nutzer erfolgt über einen virtuellen Schwarm-Avatar. Die Koordination wird meist dezentral vorgenommen werden. Hierbei können emergente Algorithmen zur Anwendung kommen. Typische FCAS-relevante Anwendungsbeispiele wären die flächige Suche nach einem Bodenziel oder die Sättigung einer gegnerischen Flugabwehrstellung mit einem UAV-Schwarm.

3. Nutzerassistentz bei der Missionsplanung und Durchführung

Dieses Entwurfsmuster beruht auf dem Konzept, dass dem Nutzer (Pilot bzw. Crew im Cockpit) ein intelligenter Software-Agent im Sinne eines digitalen, adaptiven Kopiloten an die Seite gestellt wird. Dieser verfolgt per Design das gegebene Missionsziel, wie es auch die menschliche Besatzung tut. Gleichzeitig analysiert der Agent die Situation hinsichtlich des gegebenen Missionauftrags, der physischen und taktischen Umgebung, des Zustands des CF und der UAV und nicht zuletzt des mentalen Zustands der Besatzungsmitglieder (z.B. Tätigkeit, Workload, Aufmerksamkeit, Situationsbewusstsein). Auf Basis dieser umfassenden Situationsbewertung interveniert der Agent eigeninitiativ und adaptiv, mit dem Ziel, menschliche Fehlleistungen zu vermeiden oder zu korrigieren, Beanspruchungsspitzen der Besatzung zu verhindern oder abzubauen und damit insgesamt die Missionsleistungen zu verbessern und die Sicherheit zu erhöhen. Dazu lenkt der Agent bei Bedarf die Aufmerksamkeit der Besatzungsmitglieder auf wichtige Informationen, vereinfacht, wenn nötig Aufgabensituationen, so dass diese leichter von der Cockpitcrew gemeistert werden können, oder übernimmt als letzte Instanz vernachlässigte Aufgaben. Zwei wesentliche Entwurfsmuster, welche die Professur im Hinblick auf FCAS untersucht, sind:

- **Mixed-Initiative Missionsumplanung an Bord des CF** (s. Bild Seite 66)

In einer komplexen, dynamischen Luftoperation ist stets davon auszugehen, dass auch noch



Zweisitziger
Kampfflugzeugcockpitsimulator

während der Missionsdurchführung eine an die Situation angepasste Umplanung von Missionsaufgaben erfolgen muss. In dem hier diskutierten Entwurfsmuster wird vorgeschlagen, dass diese Aufgabe zunächst vom Piloten (bzw. der Crew) im Cockpit unter Nutzung der oben beschriebenen Delegationsschnittstelle durchgeführt wird. Parallel dazu arbeitet ein auf Künstlicher Intelligenz basierender, automatischer Planungsagent ebenfalls an der Umplanungsaufgabe. Dieser Planungsagent ist zusätzlich in der Lage, den Fortschritt und die Güte der vom menschlichen Nutzer vorgenommenen Planungsschritte zu beurteilen und gegebenenfalls mit Hinweisen und Beiträgen zur Verbesserung und Weiterentwicklung des neuen Plans zu intervenieren. Dadurch kann zum einen die Arbeitslast des Nutzers wohltuend beeinflusst werden, zum anderen wird durch Minimierung der Interventionen das Situationsbewusstsein des Nutzers bezüglich des Plans auf einem hohen Niveau gehalten.

- Adaptive Pilotenassistentz bei der Missionsdurchführung (s. Bild Seite 67)

In diesem Entwurfsmuster für Human-Autonomy Teaming soll der Pilot (bzw. die Crew) kontinuierlich bezüglich der aktuellen Tätigkeit, der anstehenden Aufgaben sowie der daraus ableitbaren aktuellen und künftigen Auslastung mentaler Verarbeitungsressourcen, der Workload und des Situationsbewusstseins beobachtet und beurteilt werden. Dazu wird ein dynamisches Aufgaben- und Ressourcenmodell anhand von Beobachtungen im Cockpit (z.B. Blickfixationen, manuelle Interaktionen, physiologische Parameter) ständig aktualisiert. Da-

raus leiten sich so dann automatisierte Unterstützungsleistungen ab, wie z.B. Hinweise auf vergessene Aufgaben, Reduzierung künftiger Belastungsspitzen durch Anpassung des Automationsgrads, oder die optimierte Nutzung von Interaktionsmodalitäten (z.B. visuell, auditiv, verbal, manuell). Auch eine dynamische Beeinflussung der Aufgabenteilung im Zwei-Personen-Cockpit durch den Agenten wird derzeit untersucht.

Validierung und Transfer

Die Validierung dieser Konzepte erfolgt im Rahmen von erfahrungswissenschaftlichen Human-in-the-Loop-Experimenten in der virtuellen Cockpitsimulation (s. Bild oben). Dazu verfügt die Professur FMFF über zwei wahlweise ein- oder zweisitzige, generische Kampfflugzeugcockpits. In der Simulation werden künftig zu erwartende Luftkriegsszenarien realistisch dargestellt. Die oben beschriebenen Konzepte werden in Form von Labor-Softwareprototypen voll funktionsfähig implementiert. Die Erprobung der Konzepte und Funktionen erfolgt im Experiment mit Strahlflugzeugführern der Luftwaffe. Dazu werden Größen wie Missionsleistungen, System- und Pilotenverhalten, physiologische Parameter und subjektive Ratings erhoben und analysiert.

Mit dem Ziel des effizienten und zeitnahen Transfers der validierten und besonders reifen Konzepte in industrialisierte Systemlösungen wurde 2018 die Firma HAT.tec GmbH („Human-Autonomy Teaming Technologies“) als Spin-off-Unternehmen der Professur für Flugmechanik und Flugführung an der Universität der Bundeswehr München gegründet. ■