

Adaptives Missile-Operator Assistenzsystem in zeitkritischen Missionen

Tobias Kloss & Axel Schulte

Zusammenfassung

Das Design einer Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS) und der integrierten Automationsfunktionen beeinflusst maßgeblich die Arbeits- und Sichtweise des Operators auf die durchzuführende Aufgabe. Ein hoher Automationsgrad reduziert die Belastung des Operators, kann jedoch zum Verlust der „*Situational Awareness*“ führen. Um auch in zeitkritischen Situationen unter hoher Beanspruchung zuverlässige und verantwortungsbewusste Entscheidungen treffen zu können, muss der Operator jederzeit die komplette Übersicht und Kontrolle über die aktuelle Lage besitzen. Am Beispiel des Arbeitsplatzes eines Missile-Operators wird ein neuartiges adaptives Assistenzsystem vorgestellt, welches eine *online*-Adaption des Automationsgrads vornimmt, um dadurch auftretende Beanspruchungsspitzen des Operators abzufangen und eine fehlerfreie Missionsdurchführung zu ermöglichen. Das Assistenzsystem benötigt situationspezifisches Wissen über Art und Details der aktuellen Aufgabe, das im betrachteten Szenario nicht digital vorliegt. Um den Operator in einer hochbeanspruchten Umgebung nicht noch zusätzlich zu belasten, wird dieses Wissen nicht über entsprechende Eingabedialoge gewonnen. Stattdessen leitet das vorgestellte Assistenzsystem die aktuell bearbeitete Aufgabe aus der Beobachtung der Interaktionen des Operators mit der MMS ab. Nach Erkennung der wahrscheinlichsten aktuellen Aufgabe mit Hilfe von statistischen Methoden kann das Assistenzsystem die nachfolgenden Aktionen des Operators mit hinterlegten Handlungsmodellen vergleichen und bei Abweichungen unterstützend eingreifen.

1 Einleitung

Moderne sogenannte „*fire & forget*“-Flugkörper sind in der Lage, ihr zugewiesenes Ziel präzise und verlässlich zu treffen. Vor dem Start wird der Flugkörper dazu mit allen notwendigen Daten wie Wegpunkten und Zielsignatur programmiert. Durch das Zusammenspiel von Autopilot und Suchkopf erreicht der Flugkörper das Ziel ohne weitere Interaktion durch den menschlichen Operator. Im Falle eines unvorhergesehenen Ereignisses im Zielgebiet jedoch, zum Beispiel durch das Auftreten von Zivilisten, kann das „*fire & forget*“-Prinzip zu unakzeptablem Kollateralschaden führen. Aus diesem Grund entstand die Forderung nach Flugkörpersystemen, die über einen Datenlink während des Fluges umkonfiguriert werden können (Erwin, 2003).

In diesem Beitrag werden die durch erhöhte Anforderung an den menschlichen Operator auftretenden Probleme der Kontrolle eines umkonfigurierbaren Lenkflugkörpers in einer zeitkritischen Umgebung aufgezeigt. Als Alternative zu Lösungsansätzen durch konventionelle Automation wird ein adaptives Assistenzsystem vorgestellt, welches gegenüber den anderweitig untersuchten Assistenzsystemen für Piloten und UAV-Operateure (Rauschert, 2013) bestimmte Besonderheiten aufweist.

Das hier betrachtete Szenario basiert auf einer Kurzstrecken-Boden-Boden Lenkflugkörpermission. Der abseits vom Einsatzgebiet stationierte Flugkörper dient für Feuerunterstützungsanforderungen, z.B. durch ein *Joint Fire Support Team*, und hat eine Reichweite von ca. 10 km. Der Flugkörper wird durch den Missile-Operator über eine Bodenkontrollstation außerhalb des Gefährdungsbereichs kontrolliert. Informationen über das Ziel erhält der Operator über einen Spotter. Nach einer Anforderung von Feuerunterstützung besteht die Aufgabe des Operatos zunächst in der Planung der Mission. Dazu wird sowohl die Trajektorie (Flugpfad und Zielanflugverfahren) als auch der Suchkopf des Flugkörpers entsprechend den Vorgaben des Spotters konfiguriert. Nach dem Start überwacht der Operator den Flug des Flugkörpers und wartet auf neue Informationen des Spotters, der eine Umkonfiguration des Flugkörpers anfordern kann.

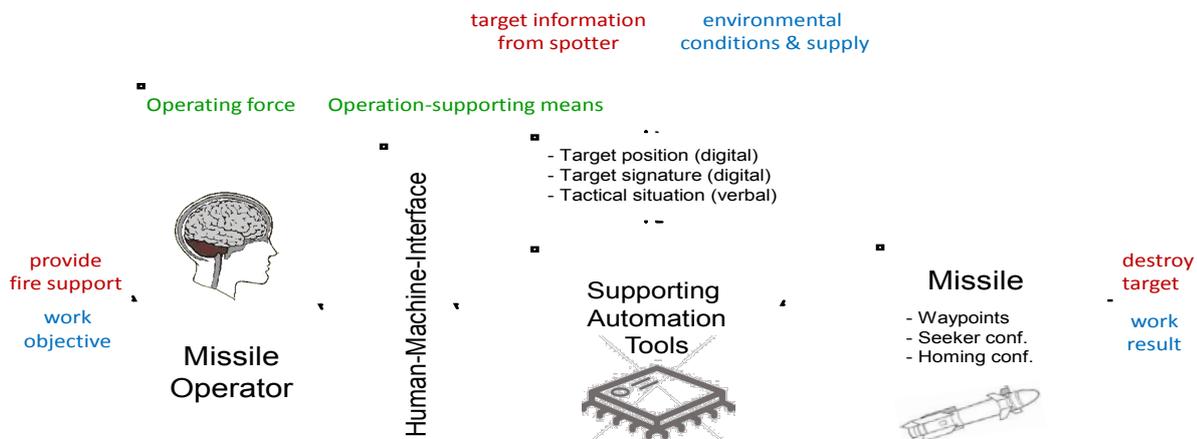


Bild 1: Arbeitssystem des Missile-Operators

Um das Zusammenspiel von Missile-Operator, Spotter und Flugkörper zu verdeutlichen, zeigt Bild 1 das entsprechende Arbeitssystem gemäß der Theorie von Onken & Schulte (2010). Der Operator ist die „operating force“. Sein Arbeitsziel ist die Erteilung der Feuerunterstützung durch Planung und Durchführung der Lenkflugkörpermission. Er interagiert mit der Missile über ein Mensch-Maschine-Interface und erhält Unterstützung durch Automationsfunktionen. Informationen über die Umwelt erhält er durch den Spotter. Diese Daten, wie z.B. Position und Signatur des Ziels, können digital übertragen und dadurch direkt von der Automation verarbeitet werden. Andere Informationen,

wie die taktische Lage und der gewünschte Anflugwinkel, werden allerdings nur verbal übertragen.

Die typische Flugdauer des hier betrachteten Flugkörpers beträgt nicht viel mehr als eine Minute. Im Falle einer Anforderung durch den Spotter hat der Operator entsprechend wenig Zeit für die Durchführung der notwendigen Anpassungen. Neben einem Abbruch der Mission, z.B. durch Selbstzerstörung, kann der Operator den Anflugpfad und den Anflugwinkel auf das Ziel (Azimut und Elevation) modifizieren. In dieser zeitkritischen, hochbelasteten Umgebung des Missile-Operators können die Grenzen der menschlichen Leistungsfähigkeit erreicht werden. Johnson et al. (2002) führten Versuche mit zeitkritischen Umplanungsaufgaben durch. Dabei stellte sich heraus, dass die Wahl des Automationsgrades einen großen Einfluss auf die Arbeitsweise und die Leistung der Versuchspersonen hat. Im folgenden Abschnitt werden die fundamentalen Probleme bei der Auswahl des Automationsgrades für das Design der Mensch-Maschine-Schnittstelle erläutert.

2 Wahl des Automationsgrades

In der hier dargestellten Anwendung treten vor allem zeitkritische und kognitive Leistungsaspekte des Missile-Operators in den Vordergrund. Der zusätzliche ethische Aspekt durch möglicherweise letale Entscheidungen wirft die Frage nach der Verantwortung für die Handlungen auf, die nicht durch automatisch ablaufende Prozesse vom Menschen auf die Maschine verschoben werden darf.

Der Missile-Operator ist allein verantwortlich für eine erfolgreiche Missionsdurchführung. Dazu sollte er sich der aktuellen Situation bewusst und jederzeit in der Lage sein, auf eine geänderte Situation zu reagieren. Nur durch das vollständige Wissen über die Lage kann der Operator die Auswirkungen seiner Entscheidungen vorhersehen und entscheiden, wann und wie ein Eingriff erfolgen soll. Aufgrund der geringen Zeit, die dem Operator nach dem Start des Flugkörpers zur Verfügung steht, erscheint zunächst ein hoher Automationsgrad, bis hin zur vollständigen Automation, wünschenswert. Dies widerspricht jedoch der Forderung nach der Verantwortung des Menschen. Der Operator kann aus der Entscheidungskette fallen, da er die hochautomatisierten Prozesse nicht mehr vollständig versteht und die Auswirkung seiner Handlungen nicht mehr abschätzen kann. Dieser Effekt wird auch als „*opacity*“ bezeichnet (Billings, 1997).

Geringere Automationsgrade dagegen erfordern eine höhere Anzahl an Interaktionen des Missile-Operators mit dem System. Der Vorteil dabei ist, dass der Operator durch einen kompletten Durchgriff auf die Systeme jederzeit die volle Kontrolle behalten kann, mit dem Nachteil einer höheren Arbeitsbelastung des Operators.

Nach entsprechender Anforderung durch den Spotter hat der Operator die Aufgabe, die Mission den neuen Vorgaben anzupassen. Das Operator-Interface

muss dazu alle notwendigen Funktionen bereitstellen, welche die möglicherweise auftretenden Fälle abdecken.

Bild 2 zeigt einen möglichen Ablauf der Aktionen des Missile-Operators bei unterschiedlichen Automationsgraden: Bei einem geringen Automationsgrad (links) kann der Operator aus einem großen Vorrat an möglichen Aktionen wählen (grauer Bereich), um zum gewünschten Ergebnis zu gelangen. In dieser Konfiguration ist sichergestellt, dass der Operator jede auftretende Situation technisch bewältigen kann. Unter Berücksichtigung der zeitkritischen Umgebung jedoch kann eine zu große Freiheit an Aktionen die Suche nach der optimalen Bediensequenz erschweren und dadurch unnötige Verzögerungen bewirken. Mit einem hohen Automationsgrad (Bild 2, rechts) wählt der Operator aus einer kleinen Auswahl an vordefinierten Handlungssequenzen. Dies reduziert stark die Beanspruchung des Operators, verringert jedoch die Kontrolle über das System. Kleinere zusätzliche Anpassungen sind je nach Design der Mensch-Maschine-Schnittstelle sogar unmöglich. Zusätzlich steigt das Problem der Unterforderung bei einem hoch automatisierten System. Die Aufgabe des Operators verschiebt sich zu einer passiven Überwachung der automatisch ausgeführten Aktionen. Zu viel Vertrauen in die Automation führt möglicherweise zu Nachlässigkeit, Leistungsabnahme und Verlust des Situationswissens (Johnson et al., 2002). Der Operator kann seiner Verantwortung durch blindes Akzeptieren eines automatischen Prozesses nicht gerecht werden, deren Auswirkungen nicht vollständig vorausgesehen werden können.

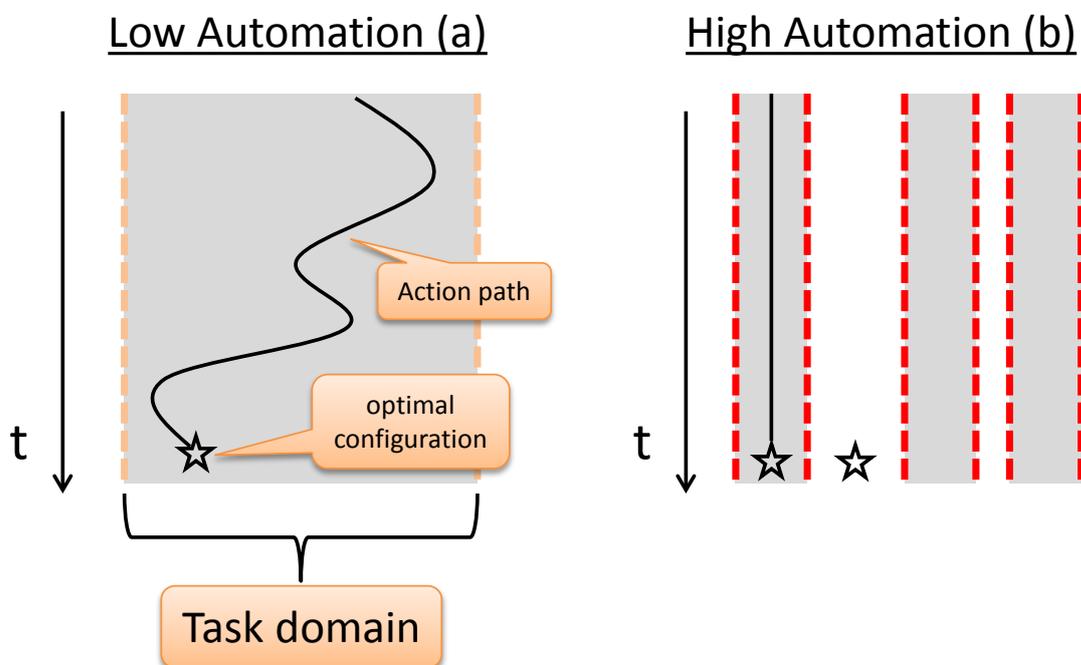


Bild 2: Beeinflussung der Handlungsfreiheit des Bedieners bei unterschiedlichen Automationsgraden (oben: Start der Aufgabendurchführung, unten: Erreichen eines bestimmten Zielzustands)

Ein erster Ansatz, die beschriebenen Nachteile zu vermeiden, ist die Wahl eines gemäßigten Automationsgrades – hoch genug, um die Anzahl notwendiger Interaktionen zu reduzieren, und gering genug, um alle nötigen Eingriffe zu ermöglichen und gleichzeitig die Autorität über das Gesamtsystem zu behalten.

In der hier betrachteten Lenkflugkörpermission, bei der die Beanspruchung des Missile-Operators stark mit der Zeit variiert, hängt der optimale Automationsgrad stark vom aktuellen Arbeitsziel und Arbeitsfortschritt des Operators ab. Ein statisches Automationsdesign scheint daher nicht geeignet für eine optimale Unterstützung des Operators. Als mögliche Lösung bietet sich die von Rouse (1976) eingeführte und von Scerbo (1994) sowie Inagaki (2003) vertiefte, sogenannte adaptive Automation an, bei der die Funktionszuweisung zwischen Mensch und Maschine an die aktuelle Anforderung anpasst wird. Dazu benötigt die Automation entsprechendes Wissen über das Arbeitsziel. In der hier betrachteten Mission liegen die Informationen über das aktuelle Arbeitsziel nicht vollständig digital vor, daher müssten sie zunächst über ein Dialogsystem eingegeben werden. Dies führt zu einer zusätzlichen Belastung des Operators in einer bereits hochgradig zeitkritischen Situation und ist daher nicht vernünftig realisierbar. Die daraufhin angepasste Funktionszuweisung durch die adaptive Automation führt weiterhin zu sich plötzlich ändernden Bedienprozeduren, die den Operator weiter belasten.

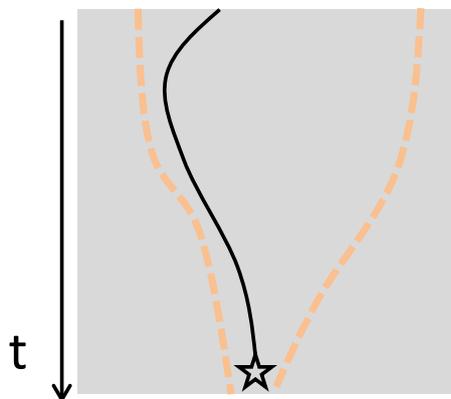


Bild 3: Prinzip des adaptiven Assistenzsystems

In diesem Beitrag wird ein alternativer Ansatz vorgestellt. Dazu wird zunächst ein eher niedriger Automationsgrad gewählt, der dem Operator jederzeit die volle Kontrolle und Übersicht ermöglicht. Zusätzlich zu dieser konventionellen Automation wird ein Assistenzsystem eingeführt, das den Operator adaptiv während Situationen hoher Beanspruchung unterstützt. Das nicht digital vorliegende aktuelle Arbeitsziel wird automatisch aus der Beobachtung der Interaktionen des Operators mit dem Mensch-Maschine-Interface abgeleitet, um zusätzliche Bedienschritte, etwa zur Eingabe der Auftragsdaten, zu vermeiden. Stattdessen wird das aktuelle Ziel anhand der ersten Interaktionen des Bedieners mit dem System mit entsprechend hoher Wahrscheinlichkeit erkannt und das Assistenzsystem kann den Operator bei den folgenden Aktionen entsprechend

unterstützen. Dabei werden für das jeweilige Arbeitsziel hinterlegte Handlungsmodelle zur Erkennung herangezogen oder für die Bestimmung der nächsten auszuführenden Aktion verwendet. Das Prinzip des Assistenzsystems zeigt Bild 3. Die grundsätzlich möglichen Interaktionen des Operators werden in keinster Weise eingeschränkt (grauer Bereich). Das Assistenzsystem „führt“ allerdings den Operator nach Erkennung seiner Absichten, um eine optimale Handlungsabfolge zu erreichen.

3 Absichtserkennung

Die aktuelle Aufgabe des Operators wird aus der Beobachtung der Interaktionen mit dem Mensch-Maschine-Interface abgeleitet, da diese Informationen nicht digital vorliegen und nicht durch den Operator eingegeben werden sollen. Durch die Wahl eines gemäßigten Automationsgrades des MMI hat der Operator gewisse Freiheiten in der Durchführung der Aufgaben. Er kann sein aktuelles Arbeitsziel auf verschiedenen Wegen erreichen. Dabei kann sowohl die Auswahl als auch die Reihenfolge der untergeordneten Aktionen der Aufgabe variieren. Sowohl die Absichtserkennung als auch die Unterstützungsfunktion des Assistenzsystems müssen in der Lage sein, diese Variabilität zu berücksichtigen. Eine Übersicht über die Wahl und die Erstellung möglicher Modelle geben Zukerman & Albrecht (2001). Sie beschreiben, dass entsprechende Modelle in den Anfängen der Absichtserkennung über Expertenwissen erstellt wurden, das durch eine ausführliche Analyse der Problemstellung gewonnen wird. Dies bedeutet einen sehr hohen Aufwand, da alle möglichen Variationen betrachtet und modelliert werden müssen. Um diesen Aufwand zu vermeiden, werden statistische Modelle vorgeschlagen, die mit beobachteten Daten erstellt werden, z.B. durch Versuchsreihen. Die so generierten Modelle bilden das menschliche Verhalten realistischer ab, da das typische Verhalten der Versuchspersonen und keine rein theoretischen Fälle betrachtet werden.

Zur Absichtserkennung wird je nach implementiertem Algorithmus eine feste oder variierende Anzahl an vergangenen Interaktionen des Operators mit allen Aufgabenmodellen verglichen. Sobald eine Aufgabe mit entsprechender Sicherheit gefunden wurde, können mit Hilfe des Aufgabenmodells die nächsten Aktionen der Aufgabe bestimmt, und damit der Operator unterstützt werden.

Zur Entwicklung der Aufgabenmodelle des Missile-Operators wurden Versuche durchgeführt, die im folgenden Kapitel beschrieben werden.

4 Versuchsdurchführung

Am Institut für Flugsysteme wurde eine Simulationsumgebung für eine Kurzstrecken Boden-Boden Lenkflugkörpermission entwickelt. Der zentrale Bestandteil besteht dabei aus der Bedienoberfläche des Missile-Operators (Bild 4). Zusätzlich wurden Module zur Simulation des Flugkörpers und zur Steuerung und Auswertung der durchgeführten Missionen entwickelt. In einem Vorversuch übernahmen sechs Versuchspersonen die Aufgabe des Missile-Operators und

wurden dabei mit variierenden Missionen konfrontiert. Ziel dieser Versuche, noch ohne Hilfestellung durch ein Assistenzsystem, war die Generierung einer Datenbasis zur Entwicklung der Handlungsmodelle, die die Grundlage sowohl für die Absichtserkennung als auch für die Unterstützungsfunktionen des Assistenzsystems bilden.

Der Ablauf einer Mission beginnt mit der Darstellung der taktischen Lage über eine Karte, in die die Position des Startgerätes (*Launchers*) und der Sperrgebiete eingezeichnet sind, die nicht vom Flugkörper durchflogen werden dürfen. Nach einer kurzen Eingewöhnungszeit erfolgt eine Feuerunterstützungsanfrage. Zielposition und Signatur werden direkt in die Karte übernommen. Weitere Informationen wie Anflugwinkel und gewünschter Zeitpunkt („*time over target*“) werden dem Operator textuell mitgeteilt.

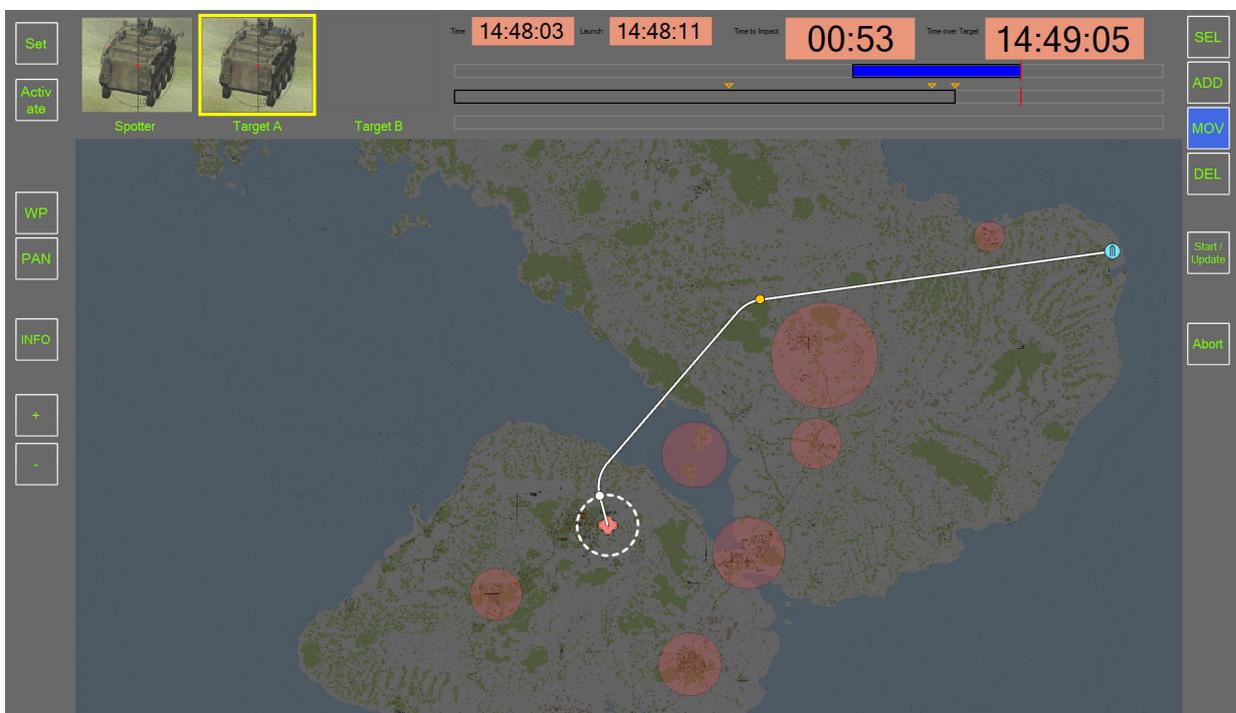


Bild 4: Missile-Operator Bedieninterface

Es beginnt nun die initiale Planungsphase. Der Operator kann den Zielzeitpunkt in das System eingeben, um durch eine Automationsfunktion den optimalen Abschusszeitpunkt berechnen zu lassen. Der Flugpfad des Flugkörpers wird vom Operator so angepasst, dass er nicht durch Sperrgebiete führt und die Grenzen der sich ergebenden Kurvenradien eingehalten werden. Dazu fügt er neue Wegpunkte hinzu und verschiebt diese entsprechend. Eine vorgegebene maximale Flugdauer des Flugkörpers beschränkt die Freiheit in der Wahl des Flugpfades. Der Anflugwinkel auf das Ziel wird durch Verschieben des sogenannten „*Homing*“-Wegpunktes konfiguriert. Zum berechneten Zeitpunkt startet der Operator den Flugkörper. Nach einer entsprechenden Anforderung erfolgt mindestens eine Umplanung. Neben der Anpassung von Anflugwinkel bzw. Ziel muss der Operator den Anflugpfad entsprechend anpassen und dabei den fortschreitenden

Flug der Missile berücksichtigen. Bild 5 zeigt ein Beispiel einer Umplanung nach dem Start des Flugkörpers. In diesem Fall wurde bereits auf ein zweites Ziel umgeschaltet. Der Operator arbeitet momentan an der Flugwegplanung zur Vermeidung der Sperrgebiete.

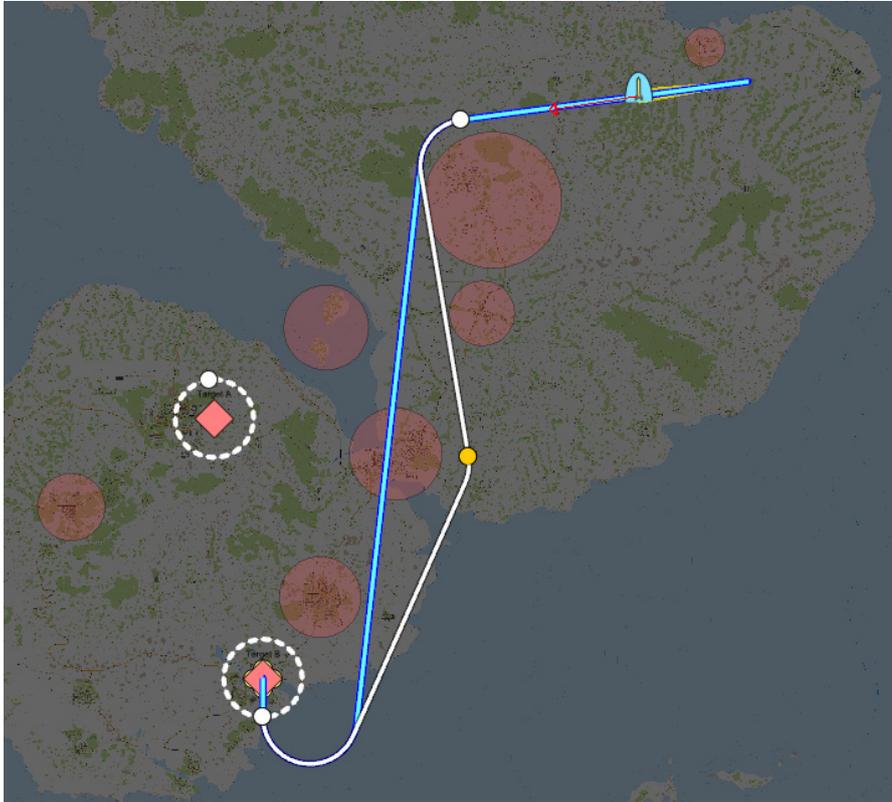


Bild 5: Beispiel einer Umplanung

Die für das Assistenzsystem zu modellierenden Aufgaben bestehen aus der initialen Planung und den Umplanungen durch Änderung des Anflugwinkels und Wechsel auf ein alternatives Ziel. Diese Aufgaben werden jeweils in Missionen kombiniert. Die unabhängigen Variablen des Versuchs bestehen dabei aus der Variation von

- Szenario (Position des Launchers und Konfiguration der Sperrgebiete),
- Zielposition und Anflugwinkel des ersten Ziels und
- Zeitpunkt, Reihenfolge und Art der Umplanungsaufgabe(n).

Jede der sechs Versuchspersonen führte zehn unterschiedliche Missionen durch. Dabei wurden sowohl die Interaktionen des Missile-Operators mit dem MMI als auch Art und Startzeitpunkte der Aufgaben aufgezeichnet. Mit Hilfe dieser Daten kann jeder Aufgabe eine entsprechende Handlungssequenz zugeordnet werden, die als Grundlage zur Erstellung des Aufgabenmodells dient.

5 Modellbildung

Die durch die Versuche ermittelten Handlungssequenzen sind den folgenden Aufgaben des Missile-Operators zugeordnet:

- Initiale Planung
- Umplanung A: Wechsel des Anflugwinkels des aktuellen Ziels
- Umplanung B: Wechsel auf ein alternatives Ziel

Aus diesen Daten soll ein Modell erstellt werden, das die Erkennung der aktuellen Aufgabe durch Beobachtung der Interaktionen des Missile-Operators ermöglicht. Einen Ansatz zur Entwicklung eines solchen Modells beschreiben Künzer et al. (2004), der hier als Grundlage zur Erstellung des Handlungsmodell des Missile-Operators dient. Der erste Schritt zur Modellierung bildet dabei die Abstraktion und Filterung der beobachteten Aktionen des Operators. Es werden nur Benutzeraktionen mit Aufgabenbezug betrachtet, um die Abhängigkeit von der zu Grunde liegenden Anwendung zu reduzieren. Änderungen an der Funktionalität des Bedieninterfaces würden ansonsten eine neue Modellierung erfordern.

Aus den gesammelten Daten der Versuche wurden die folgenden abstrakten Aktionen identifiziert:

- „*Target Activate*“ Übernahme des Ziels in den Flugpfad
- „*Modify Cruise Waypoint*“ Ein Wegpunkt des Flugpfades wird verschoben
- „*Move Homing Waypoint*“ Der Anflugwegpunkt wird verschoben
- „*Launch Missile*“ Die Missile wird gestartet
- „*Update Missile*“ Eine geänderte Konfiguration wird zur Missile übertragen

Jede Aufgabe (Initialplanung und Umplanungen) besteht aus einer Sequenz dieser Aktionen. Die verschiedenen aufgabenbezogenen Tätigkeiten des Operators spiegeln sich jeweils in einer charakteristischen Reihenfolge der Aktionen wider, die zusätzlich unter den Versuchspersonen in gewissem Maß variiert.

Nach Künzer et al. (2004) erfolgt die Vorhersage der Benutzeraktionen mit Hilfe eines Aktionsvorhersage-Algorithmus (AVA). Aus der Betrachtung der zurückliegenden Handlungssequenz einer festen oder variablen Länge bestimmt der Algorithmus die Wahrscheinlichkeiten der möglichen erkannten Aufgabe bzw. der nächsten zu erwartenden Aktion.

Bei der Analyse der durchgeführten Versuche stellte sich heraus, dass die Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den genannten Aktionen stark von drei vergangenen Aktionen seit Beginn einer Aufgabe abhängen. Mit Einführung der folgenden Zustände konnte für jede ihrer Kombinationen ein Graph mit Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den einzelnen Aktionen erstellt werden:

1. Anflugwinkel wurde konfiguriert
2. Anflugpfad wurde konfiguriert
3. Flugkörper wurde gestartet

Die sich durch die Kombinationen ergebenden acht Graphen für jede der möglichen Aufgaben beschreiben den Ablauf einer Planungssequenz. Aus der

Beobachtung einer Sequenz mit bekanntem Startpunkt können dadurch sowohl das zunächst unbekannte Planungsziel als auch die wahrscheinlichste nächste Aktion ermittelt werden.

Eine besondere Herausforderung für den AVA ist die Erkennung einer neuen Umplanung, die eine Unterbrechung der gerade durchgeführten Sequenz zur Folge hat. Der Startpunkt der neuen Aufgabe ist somit nicht bekannt. Um auch diesen Fall abzubilden, wurden Missionen erstellt, die vom Operator nach einer Umplanung zeitnah eine weitere Umplanung erfordern. Die Versuchsperson wird dadurch gezwungen, die aktuelle Sequenz zu unterbrechen und sich auf die neue Aufgabe zu konzentrieren. Aus der Auswertung dieser Missionen konnten für jeden Graphen Übergänge zwischen den Aktionen bestimmt werden, die auf eine neue Umplanung schließen lassen. Sobald der Start einer neuen Aufgabe erkannt wird, werden die Zustände entsprechend zurückgesetzt. Ein Beispiel für einen der Graphen zeigt Bild 6.

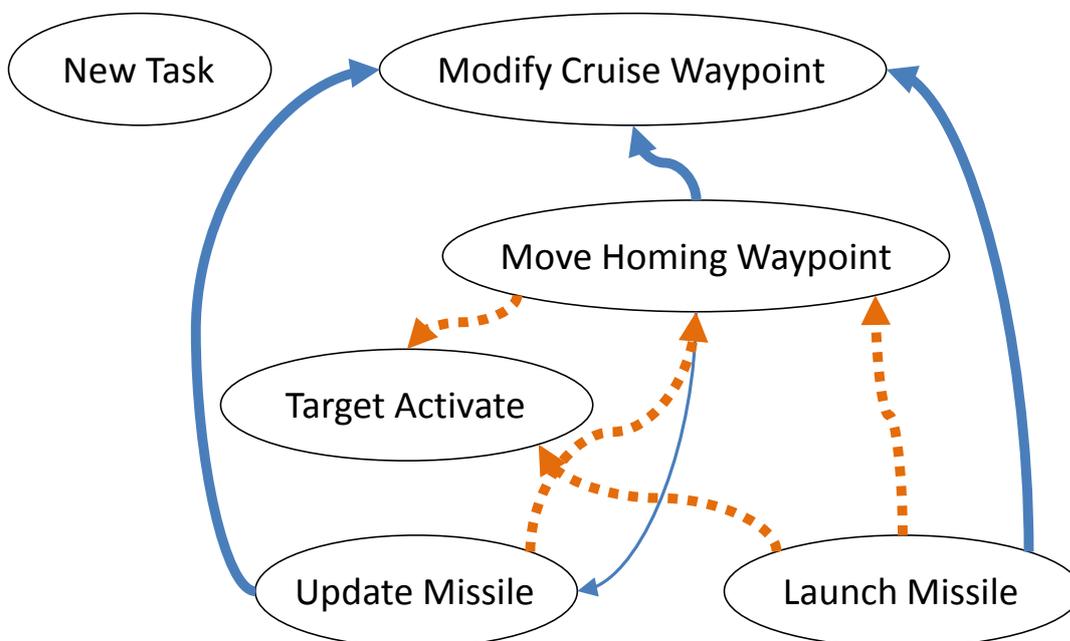


Bild 6: Handlungsmodell für Status 1+3 (Anflugwinkel wurde konfiguriert und Flugkörper wurde gestartet). Durchgehende Pfeile sind wahrscheinliche Übergänge zwischen Aktionen der aktuellen Aufgabe. Gestrichelte Pfeile bedeuten Wechsel zu einer neuen Aufgabe.

In diesem Beispiel wurde der Flugkörper bereits gestartet und der Anflugwinkel konfiguriert (Status 1+3). Die durchgehenden Pfeile zeigen die möglichen Übergänge zur weiteren Verfolgung der aktuellen Sequenz. Die gestrichelten Übergänge lassen auf den Wechsel zu einer neuen Umplanung schließen.

Als erster Ansatz für eine Absichtserkennung durch das vorgestellte Modell wurde zunächst nur die letzte beobachtete abstrakte Aktion im Kontext der aktuellen Zustandskombination berücksichtigt. Dadurch ergibt sich jeweils ein diskreter Zustand. Aus dem zugeordneten Graphen können die Wahrscheinlich-

keiten der nächsten Aktion bestimmt werden. Zusätzlich können diejenigen Aktionen bestimmt werden, die auf einen Wechsel der Aufgabe schließen lassen.

Der vorgestellte AVA wurde mit den aufgezeichneten Daten der Versuche erprobt. Dabei wurden sowohl die nächsten Aktionen als auch ein Aufgabenwechsel erfolgreich erkannt. Vereinzelt Fehlbearbeitungen des Operators führten jedoch aufgrund der diskreten Architektur zu Fehlinterpretation des Algorithmus, die sich auch auf die nachfolgenden Aktionen auswirkten. Eine Verbesserung verspricht die Berücksichtigung einer längeren Handlungssequenz und der Einsatz eines statistischen Algorithmus, z.B. durch ein Markov Modell.

6 Assistenzsystem

Die aus dem vorgestellten Handlungsmodell bestimmten Informationen ermöglichen unterschiedliche Hilfestellungen für den Operator. Aus den Beobachtungen der durchgeführten Versuche wurden zwei wiederkehrende Probleme erkannt, die durch das Assistenzsystem adressiert werden sollen:

1. Innerhalb der Bediensequenz für eine (Um-)Planung wird eine einzelne Aktion vergessen. Dies wurde anschließend durch die Versuchsperson selbst korrigiert, führte jedoch zu kurzzeitiger Verwirrung und Stress, der sich negativ auf die Performance der nachfolgenden Aktionen auswirkte.
2. Die Bediensequenz wird plötzlich unterbrochen. Die Versuchsperson arbeitet antrainierte, sich oft wiederholende Sequenzen ab, verliert dabei aber kurzzeitig die Übersicht und muss sich neu orientieren. Dies kostet viel Zeit und führt zu einer hohen Belastung des Operators.

Eine Unterstützungsfunktion des Assistenzsystems durch eine automatisch eingeleitete Aktion kommt in dem hier betrachteten Szenario nicht in Frage. Der Mensch verliert dadurch seine Entscheidungshoheit und gibt die Verantwortung an die Maschine ab. Zusätzlich besteht jederzeit die Möglichkeit einer fehlerhaften Absichtserkennung, die zu fatalen Auswirkungen bei automatischer Ausführung führen kann. Um den Operator bei seiner Arbeit nicht zu beeinträchtigen, wurde als Unterstützungsfunktion das Hinweisen auf die nächste wahrscheinlichste Aktion der aktuellen Aufgabe gewählt.

Die durch das Modell bestimmte nächste abstrakte Aktion findet sich nicht direkt als Funktion oder Bedienelement im Mensch-Maschine-Interface des Missile-Operators wieder. Die Ausführung dieser Aktion erfordert eine Sequenz aus mehreren Bedienschritten. Um dem Operator nicht nur die vorgeschlagene Aktion (z.B. textuell) mitzuteilen, sondern ihn direkt bei der Durchführung der notwendigen Bedienschritte zu unterstützen, wurde zunächst ein MMI-Modell erstellt (Bild 7), welches die Betriebsartenlogik des Systems explizit repräsentiert. Um zum Beispiel die abstrakte Aktion „*Move Homing Waypoint*“ durchzuführen, wechselt der Operator zunächst in den Modus zur Auswahl eines Wegpunktes, wählt den Anflugwegpunkt aus und verschiebt ihn an die gewünschte Position. Eine Plansuche innerhalb des MMI-Modells erlaubt die Bestimmung der zur Ausführung

der abstrakten Aktion idealen Bediensequenz, beginnend mit dem zuletzt ausgeführten Bediensschritt. Die einzelnen Bedienschritte können jeweils entsprechenden Bedienelementen bzw. Objekten der Bedienoberfläche des Missile-Operators zugeordnet werden. Diese Elemente können nun durch das Assistenzsystem optisch hervorgehoben werden.

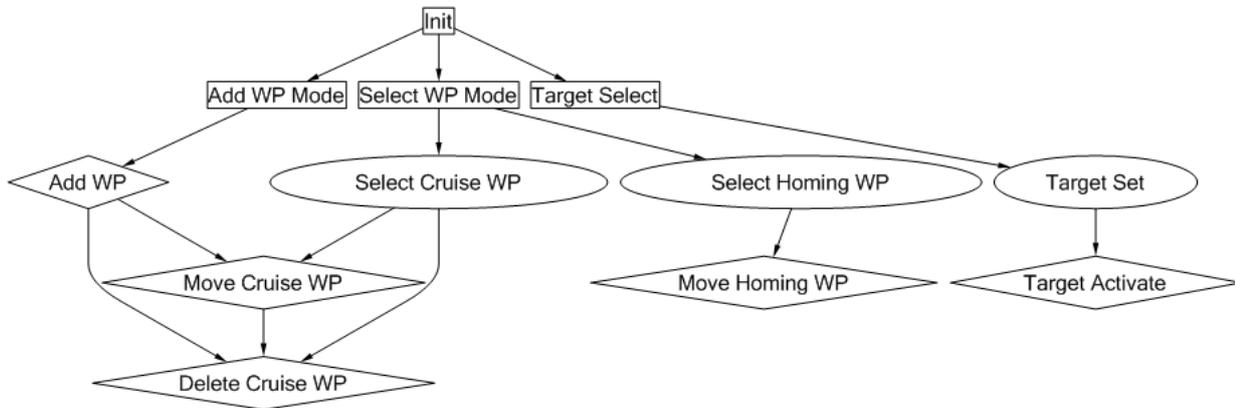


Bild 7: Modell des MMI zur Bestimmung der Interaktionssequenzen

Die beschriebene Unterstützungsfunktion wurde in seinen Grundfunktionen in das Assistenzsystem des Missile-Operators implementiert und zunächst mit den Daten der aufgezeichneten Versuche getestet. Erste Versuche mit Assistenzsystem und aktivierter Unterstützungsfunktion wurden durchgeführt. Bei der Durchführung der Missionen stellte sich heraus, dass oftmals sehr schnell der Vorschlag des Assistenzsystems übernommen wird. Im Idealfall kann dadurch die zur Umsetzung einer Planung benötigte Zeit stark reduziert werden. Es besteht allerdings die Gefahr der sogenannten „*complacency*“ (Johnson et al., 2002). Der Operator wird nachlässig, indem er der Automation zu sehr vertraut. Dabei kann er den Überblick über die aktuelle Lage verlieren und mögliche Fehler des Assistenzsystems übersehen. Weitere Versuche sind notwendig, um den beschriebenen Effekt nachzuweisen und eine alternative Umsetzung der Unterstützungsfunktion zu finden, die sich adaptiv an den aktuellen Unterstützungsbedarf des Missile-Operators anpasst.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Das Szenario einer Lenkflugkörpermission wurde am Institut für Flugsysteme der UniBwM in eine Simulationsumgebung integriert. Die durch Versuche ermittelten Handlungssequenzen verschiedener Aufgaben des Missile-Operators dienten zur Entwicklung der Aufgaben- und Handlungsmodelle des vorgestellten adaptiven Missile-Operator Assistenzsystems. Die erstellten Modelle ermöglichten die Absichtserkennung und die Bestimmung der wahrscheinlichsten nächsten Aktion des Operators. In Verbindung mit einem Modell der Mensch-Maschine-Schnittstelle informiert das Assistenzsystem den Operator über die notwendigen Bedienschritte zum Erreichen der aktuellen Aufgabe. Erste Versuche mit Assistenzsystem wurden durchgeführt. Dabei traten jedoch Effekte der Nachlässigkeit („*complacency*“) auf. Es war für die Versuchsperson oftmals einfacher,

den Vorschlägen des Assistenzsystems zu folgen, als selber über den nächsten Schritt nachzudenken. Hier sind weitere Untersuchungen notwendig, die den adaptiven Charakter des Assistenzsystems betreffen. Unterstützung sollte nur erfolgen, wenn sie wirklich erforderlich ist, z.B. wenn der Operator außergewöhnlich lange für eine Aktion benötigt oder von einer optimalen Handlungsweise abweicht. Zusätzlich soll auch die Art der Unterstützungsfunktion weiter untersucht werden. Es ist eventuell effektiver, Hinweise an den Operator textuell oder auditiv zu richten. So wird der Operator zur Verarbeitung dieser Information gezwungen und führt die nächste Aktion bewusst aus, ohne blind den Vorschlägen des Assistenzsystems zu folgen.

Literatur

- Billings, C.E. (1997). *Aviation Automation: The Search for a Human-Centered Approach*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Erwin, S.I. (2003). Air Force Wants Missiles Redirected in Flight. *National Defense Magazine*, May 2003
- Inagaki, T. (2003). Adaptive Automation: Sharing and Trading of Control. In E. Hollnagel (Ed.), *Handbook of Cognitive Task Design* (pp 147–169). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Johnson, K., Ren, L., Kuchar, J. & Oman, C. (2002). Interaction of Automation and Time Pressure in a Route Replanning Task. In S. Chatty, J. Hansman & G. Boy (Eds.), *Proceedings of the International Conference on Human-Computer Interaction in Aeronautics*, Cambridge, Massachusetts, October 23-25, 2002. Menlo Park, CA: AAAI Press.
- Künzer, A., Ohmann, F & Schmidt, L. (2004). Antizipative Modellierung des Benutzerverhaltens mit Hilfe von Aktionsvorhersage-Algorithmen. In S. Leuchter, D. Schulze-Kissing, L. Urbas & M.C. Kindsmüller (Hrsg.), *MMI Interaktiv - Modellierung und Simulation in Mensch-Maschine-Systemen*, 1 (7), 61-83.
- Onken, R. & Schulte, A. (2010). *System-Ergonomic Design of Cognitive Automation: Dual-Mode Cognitive Design of Vehicle Guidance and Control Work Systems*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Rauschert, A. (2013). *Kognitives Assistenzsystem Zur Führung Unbemannter Luftfahrzeuge in Bemannt-Unbemannten Flugmissionen*. Dissertation, Universität der Bundeswehr München
- Rouse, W.B. (1976). Adaptive Allocation of Decision Making Responsibility between Supervisor and Computer. In T. Sheridan (Ed.), *Monitoring Behavior and Supervisory Control* (pp 295–306). New York: Plenum Press.
- Scerbo, M.W. (1994). Implementing adaptive automation in aviation: The pilot-cockpit team. In M. Mouloua & R. Parasuraman (Eds.), *Human Performance in Automated Systems: Current Research and Trends* (pp 249-255). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Zukerman, I. & Albrecht D.W. (2001). Predictive Statistical Models for User Modeling. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11, 5-18.

Autoren

Dipl.-Ing. T. Kloss

Prof. Dr.-Ing. A. Schulte

Universität der Bundeswehr München

Institut für Flugsysteme, LRT13

Neubiberg

Kontakt: tobias.kloss@unibw.de