

Entwicklung eines anwendungsnahen, digitalen Menschmodells der Flugplatzkontrolle

Detlef Schulz-Rückert

Schlüsselwörter: Kognitive Arbeitsanalyse, Kognitive Architektur, Anwendungsnahe Gestaltung eines Mensch-Maschine-Systems, Coloured Petri Nets, ATC, VMC/VCR, IMC/ICR

Zusammenfassung

Das Arbeitsumfeld der Flugplatzlotsen ist ein typisches Mensch-Maschine-System. Bisher wurde das Primat des Arbeitsumfeldes eines Flugplatzlotsen - die Informationsaufnahme aus der direkten Außensicht - als unantastbar angesehen. Es wurden immer höhere Gebäude für seine Arbeitsumgebung – dem sogenannten Flugplatzturm (Tower) – gebaut, damit auch bei immer weitläufigeren Flugplatzgeländen der freie Blick gewahrt bleibt.

Als Paradoxon stellte sich die Höhe des Towers immer dann heraus, wenn der Flugplatzlotse als Mensch aufgrund der Fähigkeiten zum räumlichen und farblichen Sehen an die Leistungsgrenzen der optischen Auflösung des menschlichen Auges stieß.

Eine Erhöhung des Automatisierungsgrades als möglicher Schlüssel zur nachhaltigen Steigerung der Kapazität, Effizienz, Produktivität und Sicherheit scheiterte zuletzt auch an dem o.g. Primat der visuellen Informationsaufnahme.

Der Beitrag fasst die wesentlichen Ergebnisse kongnitiver Arbeitsanalysen zum Mensch-Maschine-System des Flugplatzlotsen zusammen. Das auf Basis der Untersuchungsergebnisse erarbeitete digitale Menschmodell „Flugplatzlotse“ sowie erste Anwendungsbeispiele des Modells werden vorgestellt und diskutiert.

Summary

The working environment of an aerodrome controller is a typical human-machine-system. Until now the primacy of the working environment of an aerodrome controller – the information received from the external direct vision - was thought to be untouchable. Higher and higher buildings - known as aerodrome tower - have been constructed for the aerodrome controller's work place, so that the free view was guaranteed even at wide-spread air fields.

The height of the tower proved to be a paradox always when the aerodrome controller, as a human, collided with his/her limits of optical resolution due-to human eye capabilities to see spatially and color.

An increase in the automation degree, as a possible key to raise the capacity, efficiency, productivity and safety, failed at last due to the above discussed primacy of visual information.

The publication below sums up the essential results of cognitive work analysis of the human-machine-system of the aerodrome controller. The digital human-model “aerodrome controller”, developed on the base of the findings, as well as leadoff sample applications of the model are being introduced and discussed.

Motivation

Der Arbeitsplatz der Flugplatzlotsen befindet sich gewöhnlich in sogenannten Flugplatztürmen (Tower) ca. 30 bis z.T. über 100 Meter über Grund des zu kontrollierenden Flugplatzes. Der Tower wurde in den vergangenen Jahrzehnten tendenziell immer höher gebaut, damit auch bei immer ausgedehnteren Flugplatzgeländen der freie Blick auf die zu kontrollierenden Luft- und Bodenbewegungen gewahrt bleibt. Damit wurde das historische Primat des Arbeitsumfeldes

eines Flugplatzlotsen - die Kontrolle der Luft- und Bodenfahrzeuge mit Hilfe der Informationsaufnahme aus der direkten Außensicht - als unantastbares Postulat zementiert.

Als Paradoxon stellt sich jedoch die Höhe des Towers immer dann heraus, wenn der Flugplatzlotse als Mensch aufgrund der Fähigkeiten des menschlichen Auges zum räumlichen und farblichen Sehen an die Leistungsgrenzen der optischen Auflösung stößt. Hinzu kommt häufig, dass bei schlechten Wettersituationen wie z.B. Nebelschichten oder Regen auch der noch so hohe Tower nichts daran ändert, dass der Flugplatzlotse für die Erfüllung seiner operativen Aufgabe – Gewährleistung einer sicheren, flüssigen und effizienten Verkehrsabwicklung – nicht genug Informationen aufnehmen kann.

Da sich die schlechten Sichtbedingungen auf alle Luftverkehrsteilnehmer auf diesem Flugplatz gleichermaßen auswirken, wurde das „System Flugplatz“ bisher in einen für alle sicheren Betriebsmodus „einer zu einer Zeit“ (one at the time) zurückgeführt. Entwicklungen der Avionik und Boden-Sensorik führen dazu, dass die Erwartung nach einer durchgängigen, von den tatsächlichen Sichtbedingungen unabhängigen Flugplatzkontrolle, bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der nachgefragten Flughafenkapazität deutlich wird.

Die bisherigen Untersuchungen [Schulz-Rückert, 2007] mittels kognitiver Arbeitsanalysen nach Kim J. Vicente [Vicente, 1999] bestätigen grundsätzlich das „Model of situation awareness“ nach Endsley [Endsley, 1999 und 2000] und weisen zusätzlich einige Besonderheiten des Flugplatzlotsen als Operateur in einem komplexen und hochdynamischen Mensch-Maschine-System aus. Auf diese geht der vorliegende Beitrag unter Darstellung einer kognitiven Architektur der Flugplatzkontrolle besonders ein.

Kognitive Architektur der Flugplatzkontrolle

Eine kognitive Architektur in Form von Modellen stellt eine grundlegende Spezifikation eines Mensch-Maschine-Systems dar. Diese Modelle sollten die notwendigen und hinreichenden Zusammenhänge bewussten Verhaltens abbilden.

Grundsätzlich wird zwischen theoretisch-beschreibenden und ablauffähigen Modellen unterschieden. Bei ablauffähigen Modellen handelt es sich immer um eine programmierte Umgebung, die es erlauben sollte, die kognitiven Prozesse nachzuvollziehen. Im Rahmen von Cognitive Work Analysis [Vicente, 1999] werden die Einschränkungen und Besonderheiten der menschlichen Wahrnehmung durch verschiedene Analysen und Untersuchungen berücksichtigt.

Jeder kognitiven Architektur liegt deshalb ein Postulat über die Funktionsweise der menschlichen Informationsverarbeitung zugrunde. Kognitive Architekturen werden benutzt, um beobachtbares menschliches Verhalten nachvollziehbar zu machen und künftige Veränderungen zu prognostizieren.

Elemente der kognitiven Architektur der Flugplatzkontrolle

Die Elemente der kognitiven Architektur der Flugplatzkontrolle (s.a. Tabelle 1) stimmen mit den Elementen des Situation Awareness Modells nach Endsley [Endsley, 1999] überein.

Tab.1: Situation Awareness Modell nach Endsley, modifiziert [Endsley, 1999]

Elements of ACT-M	ACT-M = Aerodrome Control Tower Model	Endsley - Situation Awareness in dynamic decision making
ACT-M Environmental Image	Resources, Restrictions, Service Levels, Responsibilities [ENV IMG]	System Capability, Interfaces, Complexity, Automation
ACT-M Aerodrome Environment	State of Aerodrome Environment [APR ENV]	State of Environment
ACT-M Operational Image	Objects in time, event and relation context (probably event table) [OPS IMG]	SA: project of future status
ACT-M Operational Mode	Direct Vision-dependend rule set (VCR or ICR) [OPS Mode]	Comprehension of current situation
ACT-M Event	E AIR COM, E GND COM, E UPD OPS ENV, E ATC COM	Perception of elements in current situation
ACT-M Decision	AIR COM, GND COM, UPD OPS ENV, ATC COM	Decision and Performance of Action
ACT-M Action (Event- or Own-Motivated)	O AIR COM, O GND COM, O UPD OPS ENV, O ATC COM	Performance of Action
ACT-M Strategies	Safety, Seamless, Service, CHG OPS Mode, CHG APR FLOW Mode	Goals and Objectives

Die in Tabelle 1 gemachten Konkretisierungen ergaben sich aus dem Charakter der Operateurstätigkeit des Flugplatzlotsen, der kognitiven Arbeitsanalysen und dem hieraus entwickelten Aerodrome Control Tower Modell (ACT-M).

Aus den Arbeitsanalysen, die an elf Flugplatzkontrollen bei fünf verschiedenen Flugsicherungsorganisationen durchgeführt wurden, lassen sich mindestens folgende, erstmals veröffentlichte Erkenntnisse ableiten:

Operational Mode

Neben einer Reihe von örtlichen Besonderheiten der analysierten Flugplatzkontrollen lassen sich immer mindestens zwei grundsätzliche Betriebsmodi beobachten:

4. Nutzbarkeit der direkten Außensicht oder
5. Nichtnutzbarkeit der direkten Außensicht.

Der durch die Flugplatzkontrolle kontrollierte Luftraum – und damit auch der kontrollierte Flugplatz - wird durch die vorherrschenden meteorologischen Bedingungen bestimmt. Die aus der Flugmeteorologie bekannten Begriffe VMC (Visual Meteorological Conditions) und IMC (Instrumental Meteorological Conditions) determinieren nicht nur das Flugregime des Piloten, sondern auch das des Flugplatzlotsen. Der Pilot navigiert (fliegt) entweder nach Sicht (VFR – Visual Flight Rules) oder nach Instrumenten (IFR – Instrumental Flight Rules).

Da sich die oben genannten Betriebsmodi (Operational Modes) immer in gleicher direkter Abhängigkeit von den meteorologischen Bedingungen (VMC oder IMC) befinden und zu den Flugmodi VFR bzw. IFR korrespondieren, werden sie im ACT-M als VCR – Visual Control Rules sowie ICR – Instrumental Control Rules bezeichnet. Die konkreten Schwellwerte zwischen ICR/IFR bzw. VFR/VCR könnten zwar für Piloten bzw. Flugplatzlotsen differieren, jedoch im best case (CAVOK – Ceiling and Visibility okay) oder worst case (Zero horizontal and vertical visibility) sind sie für beide Operateure des Luftverkehrssystems identisch.

Zusammenhang zwischen Operational Image und Own Motivated Actions

Erfahrene Operateure verfügen nach Endsley [Endsley, 1999] über die Fähigkeit bei einer konkreten Situation deren Projektion in die Zukunft vorzunehmen. Bei den durchgeführten Analy-

sen konnte genau diese Fähigkeit bei den Flugplatzlotsen beobachtet werden. Diese Erkenntnis führte zur Abbildung einer „Probably Event Table“ (im ACT-M als Operational Image bezeichnet).

Dank der Erkenntnis über die Ausprägung des Operational Image ließen sich die beobachteten „own-motivated“ Aktivitäten des Flugplatzlotsen ableiten. An den elf untersuchten Flugplatzkontrollen waren zwischen 25% und 35% der Aktivitäten der Flugplatzlotsen als eindeutig „eigen-motiviert“ zu erkennen.

ACT-M – Aerodrome Control Tower - Model

Das Aerodrome Control Tower Model (ACT-M) kommt dem Situation Awareness Model nach Endsley sehr nahe. Jedoch sind einige Elemente spezifisch und z.T. untypisch stark ausgeprägt.

Zunächst sind in Abbildung 1 die Elemente des ACT-M auf das SA Model nach Endsley projiziert.

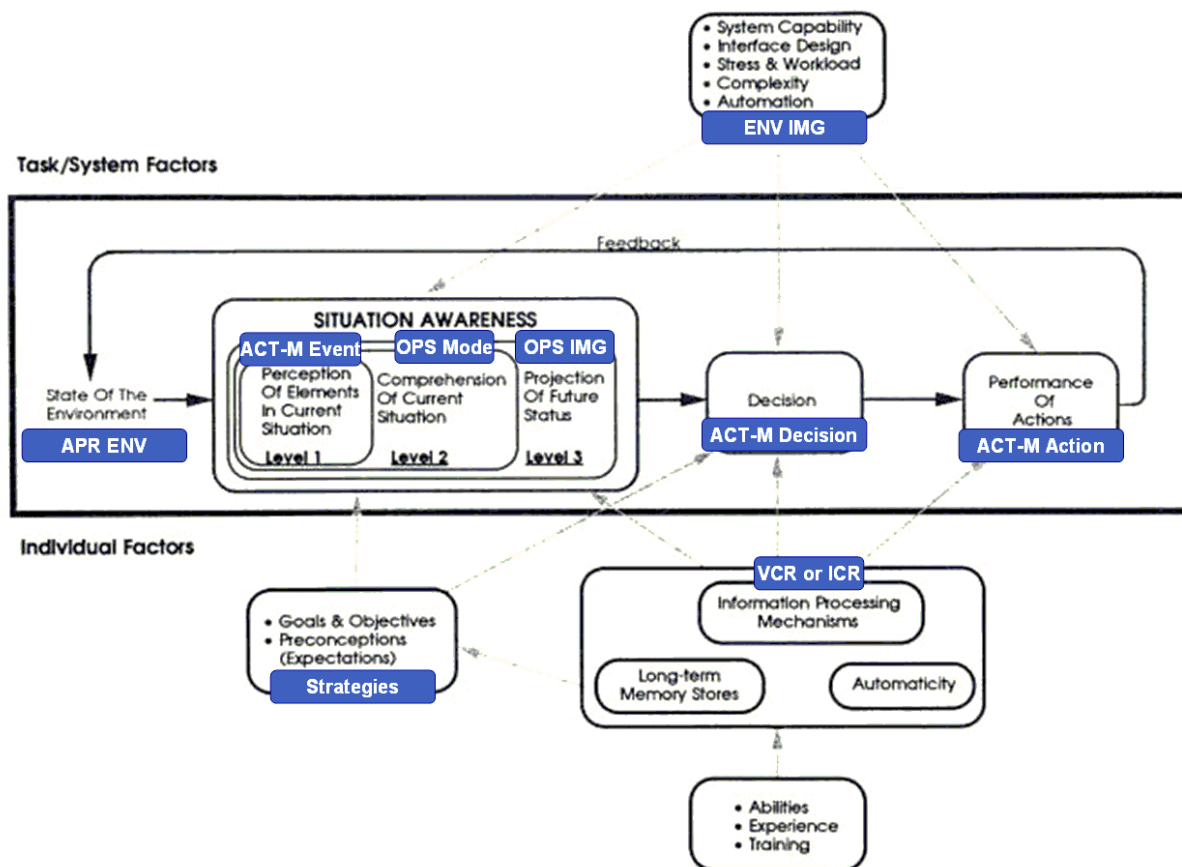


Abb.1: Model of Situation Awareness, [Endsley 1999], ACT-M modifiziert

Die Elemente des ACT-M wurden mit Hilfe eines coloured petri nets [Schulz-Rückert, 2007] als beschreibendes Modell abgebildet. Hierbei stand die Abhängigkeit der Informationsaufnahme aus der direkten Außensicht bei verschiedenen Wetterbedingungen im Vordergrund. Neben der zu untersuchenden Fragestellung, welche Informationen in welchem situativen Kontext vom Flugplatzlotsen aufgenommen werden, bestand der Untersuchungsgegenstand darin, wie diese Informationen bei beeinträchtigter Außensicht substituiert werden.

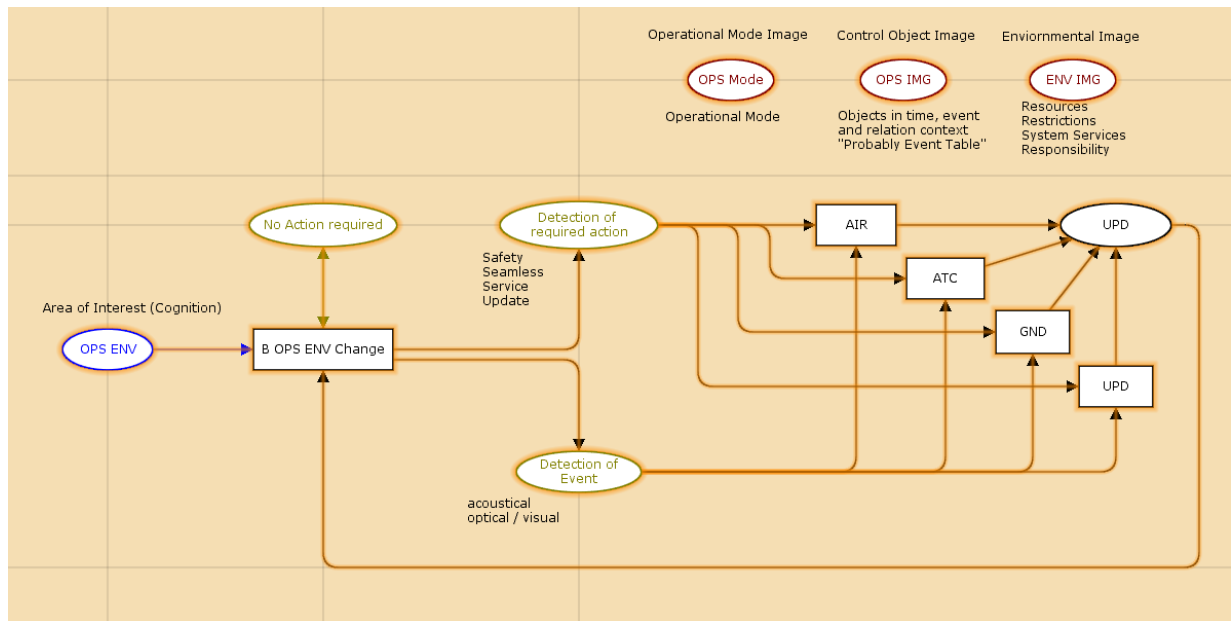


Abb.2: ACT-M, Top-Level modelliert mittels CPN

Bei den Arbeitsanalysen konnte eindeutig nachgewiesen werden, dass die fehlenden Informationen des visuellen Kanals aufgrund fehlender Außensicht immer über den akustischen Kanal substituiert werden. Die hierdurch einhergehende Mehrbelastung des akustischen Kanals gehen zu Lasten der Kapazität des Mensch-Maschine-Systems. Einfach gesagt, wenn ein Flugplatzlotse nicht sieht, wo sich ein Boden- oder Luftfahrzeug befindet, ist er gezwungen Piloten- oder Fahrerpositionsmeldungen einzuholen (s.a. Abb 3). Daher verliert er z.T. sein Operational Image, da er nicht zeitgleich alle Positionen und deren dynamische Relation untereinander abfragen kann. In der Konsequenz wird die Anzahl der zeitgleichen Bewegungen auf einem Flugplatz reduziert. Der Fluglotse wird zum limitierenden Faktor des Mensch-Maschine-Systems.

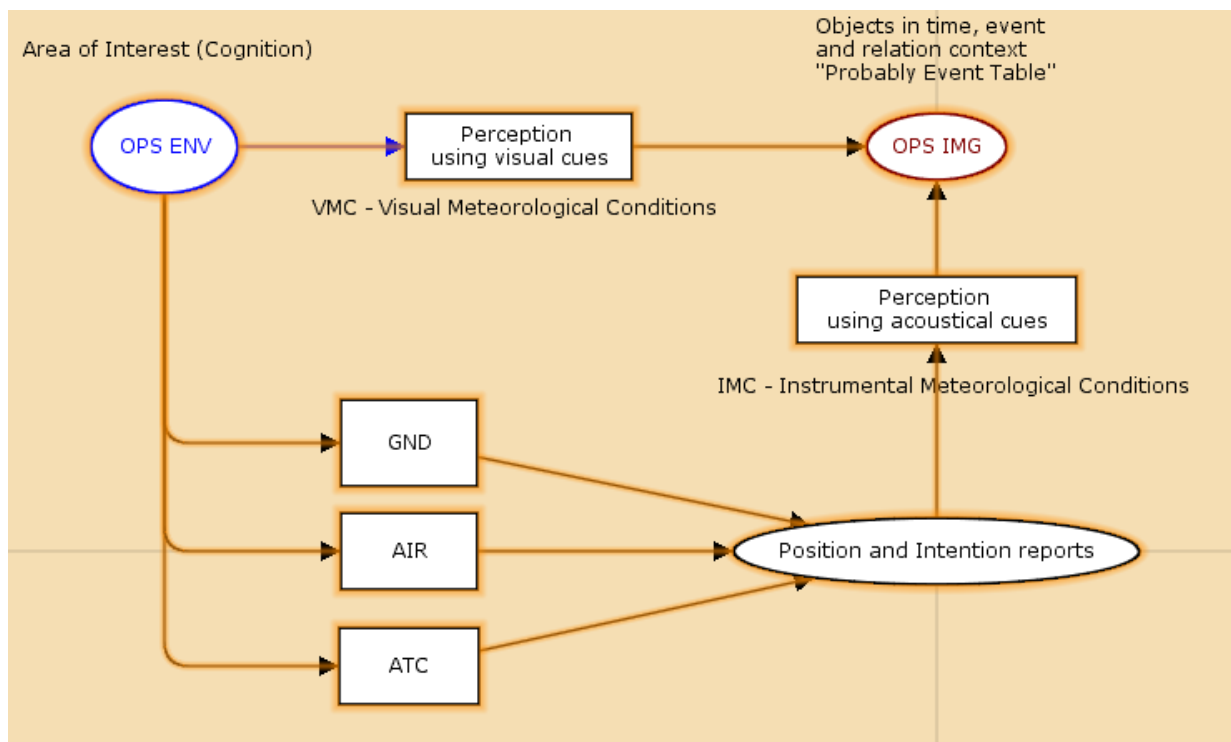


Abb.3: Information Cues depending on Aerodrome Meteorological Conditions

ACT-OM – Aerodrome Control Tower – Operational Mode

Im Vergleich zum oben Dargestellten hatten Piloten vormals ebenso die Abhängigkeit von der direkten Außensicht. Je nach Ausrüstungsgrad des Luftfahrzeuges und der Flugerlaubnis des Piloten ist diese Abhängigkeit heute noch gegeben. Luftfahrzeuge mit einer sogenannten Mindestausrüstung für Instrumentenflug können von Piloten mit einem IR – Instrumenten Rating unabhängig von den jeweiligen Außensichtbedingungen geflogen werden.

In Übertragung dieser Situation wurde das ACT-M mit einem VCR- und ICR-Modus entwickelt. Ein Tower mit der definierten Mindestausrüstung für einen außensichtunabhängigen Betriebsmodus sowie ein Flugplatzlotse mit einem Instrumental Rating können so nach ICR – Instrumental Control Rules – außensichtunabhängig eine Flugplatzkontrolle gewährleisten. Bei entsprechenden Außensichtbedingungen (VMC) wird der Flugplatzlotse nach VCR – Visual Control Rule tätig sein können. Demzufolge werden künftig ICR/VCR oder nur VCR Tower in Analogie zum Luftfahrzeug unterschieden werden.

Ausblick

Die zukünftigen Untersuchungen auf Basis des Modells ACT-M und vor allem der Erkenntnisse zum Operational Mode einer Flugplatzkontrolle zielen auf die Ausgestaltung eines Towers nach den ICR – Instrumental Control Rules und dem Instrumental Rating der Flugplatzlotsen ab. Weiterhin gilt es, die zu substituierenden, notwendigen Informationen, die unter VMC aus der direkten Außensicht durch den Flugplatzlotsen aufgenommen werden, durch geeignete Sensoren zu erfassen und dem Flugplatzlotsen auf seinem Assistenzsystem kontextsensitiv zur Verfügung zu stellen.

Ein gewünschter Nebeneffekt der sensorbasierten Informationsaufnahme ist die Möglichkeit, die Daten über die Boden- und Luftfahrzeuge auf einem Flugplatz zum Zwecke der Automatisierung zu nutzen, was bei den gegebenen Rahmenbedingungen dem heutigen Primat der Informationsaufnahme und –verarbeitung durch den Operateur nicht möglich wäre.

Literatur

- Bierwagen, T. (2005). *Untersuchungen zur Veränderung der Arbeitsweise durch Automatisierung an einem Fluglotsenarbeitsplatz*. Düsseldorf: Symposion Publishing
- Endsley, M. und Garland, D. (2000). *Situation Awareness Analysis and Measurement*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Petri, C. A. (1962). *Kommunikation mit Automaten*. Bonn: Institut für Angewandte Mathematik der Universität Bonn
- Schulz-Rückert, D. (2007). *Erstellung eines Menschmodells „Flugplatzkontrolle“*. Tagungsband der 7ten Werkstatt Mensch-Maschine-System
- Schulz-Rückert, D. (2006). *Future of Aerodrome Traffic Control*. Tagungsband der Aachen Aviation Convention
- Werther, B. (2005). *Kognitive Modellierung mit Farbigen Petrinetzen zur Analyse menschlichen Verhaltens*. Köln: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., ISSN 1434-8454
- Vicente, K. (1999). *Cognitive Work Analysis*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.