Simulación basada en agentes de tráFIco aéreo

ORIÓN GARCÍA GALLARDO

Máster en Investigación en Informática, Facultad de Informática,

Universidad Complutense de Madrid



Trabajo Fin Máster en Sistemas Inteligentes

Fecha

Director/es / Colaborador etc.:

RUBEN FUENTES FERNANDEZ

Autorización de Difusión

Autor

Fecha

El/la abajo firmante, matriculado/a en el Máster en Investigación en Informática de la Facultad de Informática, autoriza a la Universidad Complutense de Madrid (UCM) a difundir y utilizar con fines académicos, no comerciales y mencionando expresamente a su autor el presente Trabajo Fin de Máster: “Simulación basada en agentes de tráfico aéreo”, realizado durante el curso académico 2010-2011 bajo la dirección de Rubén Fuentes Fernández en el Departamento de “Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial”, y a la Biblioteca de la UCM a depositarlo en el Archivo Institucional E-Prints Complutense con el objeto de incrementar la difusión, uso e impacto del trabajo en Internet y garantizar su preservación y acceso a largo plazo.

Resumen en castellano

[Enter abstract here, no longer than 350 words. Be sure to retain the Section Break below.]

Palabras clave

Resumen en inglés

[Enter abstract here, no longer than 350 words. Be sure to retain the Section Break below.]

Keywords

Índice de contenidos

[Autorización de Difusión ii](#_Toc291448066)

[Resumen en castellano iii](#_Toc291448067)

[Palabras clave iii](#_Toc291448068)

[Resumen en inglés iv](#_Toc291448069)

[Keywords iv](#_Toc291448070)

[Índice de contenidos 5](#_Toc291448071)

[Agradecimientos 6](#_Toc291448072)

[Enter Your Chapter Title Here 7](#_Toc291448073)

[First-level Subhead (Heading 2 style) 7](#_Toc291448074)

[Second-level Subhead (Heading 3 style) 7](#_Toc291448075)

[Figures and Tables 7](#_Toc291448076)

[Enter Your Chapter Title Here 8](#_Toc291448077)

[Subhead (Heading 2 style) 8](#_Toc291448078)

[Enter Your Chapter Title Here 9](#_Toc291448079)

[References Or Bibliography 10](#_Toc291448080)

[Bibliography 21](#_Toc291448081)

Agradecimientos

The Acknowledgement page is optional. If you include it, retain the Acknowledgements heading and enter your text here. If you do not include it, delete the entire page. Be sure to retain the Page Break that occurs after the List of Table page above.

# Enter Your Chapter Title Here

The template makes use of feature in Word called “styles.” A “style” is a named set of formatting characteristics. For example, the heading above is in “Chapter 1 – Heading 1” style and is used for each chapter heading. This style has a specific set of characteristics: 16 pt font, bold, centered, etc. Other styles are used in other portions of the document. For example, “Heading 2” style is used for 1st level subheadings, and “Body Text” style is used for paragraph text.

Using styles, particularly in a long document, has many benefits:

* Table of Contents is created automatically
* Allows you to make “global” changes in your document. If you modify the appearance of a style, the changes are applied to all occurrences of that style
* Provides a framework for producing a structured document

## First-level Subhead (Heading 2 style)

All first-level subheads in the template use Heading 2 style. If you need to add another subhead level within Heading 2, use Heading 3 as shown below.

### Second-level Subhead (Heading 3 style)

All second-level subheads in the template use Heading 3. If you need to add another subhead level within Heading 3, use Heading 4 as shown below.

#### Third-level Subhead (Heading 4 style)

If you need a third-level subhead in your document, use Heading 4.

## Figures and Tables

Sample figures and tables are included in this template to show how they automatically generate entries in the List of Figures and List of Tables. For each figure and table in your document, you will need to insert a caption.

Figure 1.1 First Figure in Chapter 1

Table 1.1 First Table in Chapter 1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| A-D | A | B | C | D |
| 1 | A1 | B1 | C1 | D1 |
| 2 | A2 | B2 | C2 | D2 |
| 3 | A3 | B3 | C3 | D3 |

# Enter Your Chapter Title Here

This chapter is included to show a few more examples of headings, subheads, figures, and tables. You can add as many chapters as needed for your ETDR.

## Subhead (Heading 2 style)

As in Chapter 1, Heading 2 style is used for first-level subheads. Use Heading 3 and Heading 4 for second- and third-level subheads.

Figure 2.1 First Figure in Chapter 2

Table 2.1 First Table in Chapter 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| E-H | E | F | G | H |
| 1 | E1 | F1 | G1 | H1 |
| 2 | E2 | F2 | G2 | H2 |
| 3 | E3 | F3 | G3 | H3 |

Note the figure and table captions above are automatically added to the List of Figures and List of Tables.

# Enter Your Chapter Title Here

If you need to create additional chapters, use style “Chapter 1 - Heading 1” for the chapter heading.

References Or Bibliography

Include a separate chapter for your references or bibliography. This chapter should be titled either “References” or “Bibliography”. (“Page Heading TOC” style is used for the heading.) Items in the bibliography use the “Bibliography” style, which has single spacing and a hanging indent, as shown in the examples below.

Devine, P. G., & Sherman, S. J. (1992). Intuitive versus rational judgment and the role of stereotyping in the human condition: Kirk or Spock? Psychological Inquiry, 3(2), 153-159.

Hodges, F. M. (2003). The promised planet: Alliances and struggles of the gerontocracy in American television science fiction of the 1960s. The Aging Male, 6(3), 175-182.

James, N. E. (1988). Two sides of paradise: The Eden myth according to Kirk and Spock. In   
D. Palumbo (Ed.), Spectrum of the fantastic (pp. 219-223). Westport, CT: Greenwood.

The “Bibliography” style does not automatically format your citations into a specific citation style, such as American Psychological Association (APA), Modern Language Association (MLA), etc. You must enter your citations in the style used by your department, or use bibliographic management software such as EndNote or RefWorks.

###### Enter Your Appendix Title Here

Appendices must be identified by letters (A, B, etc.) rather than by numbers. For this reason, different style headings are used with appendices. (The style at the top of this page is “Appendix A - Heading 6.”)

First-level Subhead (Heading 7 style)

Within an appendix, Heading 7 is the style to use for all first-level subheads. If you need to add another subhead level within Heading 7, use Heading 8 as shown below.

Second-level Subhead (Heading 8 style)

Use Heading 8 for all second-level subheads within an appendix. If you need to add another subhead level within Heading 8, use Heading 9 as shown below.

Third-level Subhead (Heading 9 style)

If you need a third-level subhead in an appendix, use Heading 4.

Figures and Tables Within Appendices

When you first add a figure or table to an appendix, it will be numbered as though it were in a regular chapter. For example, when the figure below was first inserted, it became “Figure 4.1”. As a figure within Appendix A, it should be “Figure A.1”

To make this change, the codes in the caption labels must be modified, and it’s best to wait until all figures and tables have been added to appendices.

Figure A.1 First Figure in Appendix A

###### Enter Your Appendix Title Here

If you need additional appendices, use style “Appendix A – Heading 6” for the appendix heading. This will label appendices in alphabetical order (A, B, C, etc.).

Introducción

La reducción de las tarifas de los viajes en avión, en parte debido a la aparición de vuelos “low cost”, ha hecho que cada día más personas usen este medio de transporte para desplazarse de un lugar a otro, hasta el punto de que en algunos países, como por ejemplo EE.UU., el avión sea el vehículo más usado para algunos ciudadanos. Este incremento de los vuelos operados diariamente, ha hecho que sea razonable plantearse que se pueda llegar a saturar el espacio aéreo. Esta inminente saturación del espacio aéreo civil tanto a nivel físico como a nivel de comunicaciones es un problema que se ha intentado abordar los últimos años. Dicho problema se ve incrementado por el hecho de que cada año se introducen multitud de nuevos vuelos en este espacio aéreo.

De acuerdo con (1) los métodos actuales de control del tráfico aéreo basados en espacios aéreos han mostrado ser ineficientes incluso para la futura coordinación de pilotos de aeronaves. Esto se debe principalmente a:

1. Ineficiente utilización del espacio aéreo que se basa en pasillos predefinidos.
2. Incremento en la carga de trabajo de los controladores aéreos debido al aumento en la densidad del tráfico aéreo.
3. El uso de tecnologías obsoletas, que en algunos casos tienen más de 30 años.

En primer lugar haremos una pequeña presentación de lo que es navegación aérea en general. La navegación aérea engloba a un conjunto de técnicas y procedimientos, como planificación, grabación y control de los movimientos del vehículo, que permiten conducir eficientemente una aeronave a su destino. Pilotar con éxito una aeronave implica pilotarla de un punto a otro sin perderse, quebrantar las leyes aeronáuticas o poner en peligro la seguridad de las personas que se encuentran a bordo o en tierra. Un gran hándicap en la navegación aérea es que, por un lado, las aeronaves están limitadas por la cantidad de combustible que pueden llevar y una vez consumido este no puede quedarse paradas esperando un posible rescate. Por otro lado, una colisión de una aeronave puede, muy probablemente, acarrear repercusiones desastrosas. Dentro de la navegación aérea existen dos conjuntos de reglas de vuelo: VFR (Reglas de Vuelo Visual) y IFR (Reglas de Vuelo Instrumental). En el caso de VFR (visibilidad mayor de 5 millas náuticas y techo de nubes por encima de los 1500m), los pilotos suelen usar la técnica de "navegación por estima" (procedimiento para inferir la ubicación actual haciendo cálculos basados en el rumbo y la velocidad de navegación a lo largo de un período) combinada con observaciones visuales contrastándolas con cartas o mapas de navegación aérea y que a veces se puede valer de ayuda por radio. Por otro lado, IFR es más utilizado, por razones de seguridad, en aviones de línea donde los pilotos navegan usando exclusivamente instrumentos y ayudas de navegación por radio o directamente bajo las órdenes de controladores aéreos. El responsable en tierra de la navegación aérea es el ATC (control de tráfico aéreo) que gestiona el tráfico aéreo haciendo uso de la información suministrada por los pilotos y por los sistemas de radar.

Antes de iniciar el trayecto, a los pilotos se les suministra un plan de vuelo, un informe donde se indican todos los datos referentes al vuelo (suministrados en la mayoría de los vuelos IFR y en algunos VFR). En éste debe constar el lugar de salida, destino, altitud, velocidad de crucero, waypoints (puntos de referencia tridimensionales utilizados en la navegación por los que pasará la aeronave antes de llegar al destino), tipo de vuelo (VFR o IFR) e información referente al avión.

Actualmente hay numerosas aplicaciones que se dedican a la simulación aérea. Por un lado, tenemos aplicaciones centradas en los aspectos físicos. Podemos destacar una serie de herramientas desarrolladas sobre JSBSim, que es una librería software (opensource) que modela la dinámica de vuelo de aeronaves (modelo físico de los movimientos de los aviones) (2), estas herramientas son el FlightGear (3) que sirve para simular el pilotaje de un avión, y el OpenEaagles (4) que es un framework diseñado para facilitar la construcción de aplicaciones de simulación en tiempo real usando software orientado a objetos.

Otro trabajo importante que se centra también en los aspectos físicos es el Aviator Visual Design Simulator (5), una aplicación basada en simulink que se centra en el estudio de los sistemas de control de las aeronaves.

Por otro lado tenemos una serie de herramientas que se centran más en la navegación aérea. Así tenemos que la NASA ha desarrollado una herramienta denominada FACET (Herramienta para evaluar futuros conceptos del tráfico aéreo) (6) (7) que sirve para simular el flujo del tráfico aéreo y que contiene herramienas que se centran en el modelado de la trayectoria y del tiempo, y también contiene un modelo de la estructura del espacio aéreo, incluidas las regiones ARTCC (Centro de control del tráfico de las rutas aéreas), sectores y rutas aéreas. FACET puede actuar como un simulador o como un mecanismo de reproducción ya sea a partir de datos históricos o de una fuente de datos reales de la FAA. Esta herramienta ha sido integrada en un producto comercial, Flight Explorer (8), que se usa en la mayoría de las principales compañías aéreas de EE.UU. No es sólo una simulación basada en agentes, que se concentra en los aspectos físicos del flujo de tráfico aéreo, sino que incluye también otros aspectos, tales como la carga de trabajo del controlador y las iniciativas de gestión del tráfico aéreo.

Por otra parte la FAA suele hacer uso de una herramienta denominada IMPACT (Modelo Inteligente basado en agentes para el Análisis de Políticas de Colaboración de la gestión del Tráfico aéreo)(9) que es una herramienta que utiliza un enfoque ABMS (Simulación y Modelado Basado en Agentes) (10). En estas simulaciones, los agentes basados en la política de la FAA evalúan e imponen GDPs (programas de retraso en tierra), basados en la capacidad del espacio aéreo y el clima. Sus decisiones se basan en reglas simples acerca de la capacidad de los aeropuertos y la igualdad entre las compañías aéreas. Los agentes de las aerolíneas toman sus decisiones basándose en el cálculo del coste de cada tarea realizada. Mediante la imposición de determinados acontecimientos al azar en el comienzo, el sistema devuelve como salida de la simulación una serie de estadísticas basadas en el comportamiento de los agentes emergentes en el sistema. El enfoque de IMPACT es modelar las aerolíneas y la FAA basándose en el uso de un algoritmo simple de toma de decisiones, y centrarse principalmente en la gestión de retrasos.

Todos estos enfoques permiten simulaciones que, desde nuestro punto de vista, quedan algo incompletas ya que son poco intuitivas, es decir, son muy complejas para una persona no familiarizada con la herramienta, permiten escasa flexibilidad a la hora de querer introducir nuevos módulos y hacen muy poca abstracción del problema a abordar. Destacar también, como una de las cosas más importantes, que no modelan ni comportamientos ni conductas de los humanos que intervienen en ellas (como pilotos, controladores, etc), ni la interrelación entre ellos o con otros elementos externos.

En este artículo se presenta un modelo para realizar una simulación de cómo afectaría la introducción de UAVs (Vehículos aéreos no tripulados) en el espacio civil actual. Un UAV es una aeronave que vuela sin tripulación humana a bordo, es decir, controlada por una máquina, y se define como un vehículo sin tripulación reutilizable, capaz de mantener un nivel de vuelo controlado y sostenido, y propulsado por un motor de explosión o de reacción. Actualmente son usados mayoritariamente en aplicaciones militares aunque también son utilizados en un pequeño pero creciente número de aplicaciones civiles, como en labores de lucha contra incendios o seguridad civil, como la vigilancia de los oleoductos. Los UAVs suelen utilizarse normalmente en misiones que son demasiado "aburridas, sucias o peligrosas" para los aviones tripulados. El uso cada vez mayor de UAVs en diferentes tareas, tanto militares como civiles, así como el reducido coste de un UAV con respecto a los vehículos tripulados, ha llevado a que la producción de UAVs haya alcanzado unos niveles fiables y rentables. Esto ha producido que una serie de organizaciones tales como la FAA (Administración federal de aviación de EEUU) o Eurocontrol (Organización Europea de la Seguridad de la Navegación Aérea) se hayan comprometido a hacer uso del potencial de estas nuevas tecnologías para solucionar parte de los problemas de la saturación aérea, con la introducción, regulación (11) y mantenimiento de vuelos coordinados de UAVs dentro del espacio aéreo civil. Esto conlleva, inevitablemente, a que se tenga que hacer cierto tipo de pruebas y simulaciones para comprobar que dicha regulación y mejora tecnológica se adapta adecuadamente a la situación actual de tráfico aéreo, antes de introducir este tipo de vehículos en el entorno real.

Ya que estos vehículos no van a ser elementos aislados cuando sean introducidos en el espacio aéreo civil, es evidente que hay una serie de factores que no se pueden pasar por alto. Estos factores se centran principalmente en que estos vehículos van a interaccionar y depender en muchos casos de los comportamientos, actitudes u órdenes que en un determinado momento uno o más humanos puedan mostrar o mandar. Es importante distinguir también que el tiempo de respuesta es distinto entre un humano y una máquina. Históricamente las tecnologías basadas en simulación de aviación se han enfocado más en los aspectos funcionales o técnicos de la simulación pero fijándonos en que un tercio de los accidentes aéreos se deben a errores de los pilotos (12) parece interesante tener en cuenta el comportamiento, actitud o estado de un piloto en un determinado momento. Los modelos de comportamiento de los humanos nos ayudan a detectar defectos de diseño o de interacción de los humanos con los sistemas y procedimientos existentes, y, a su vez, nos permiten pronosticar las posibles causas de los errores humanos (de los pilotos en nuestro caso) así como saber cuáles son las máximas exigencias de estos, como los altos niveles de memorización, la presión temporal o estrés, la carga de trabajo, la fatiga, la atención o distracción en su defecto, etc (13).

Es importante que para la simulación de la introducción de UAVs en el espacio civil actual se tengan en cuenta los anteriores aspectos ya que la conducta de los pilotos y demás individuos involucrados en los vuelos puede interferir en que un UAV lleve a buen puerto un vuelo.

Este trabajo intenta cubrir algunas de las carencias de las anteriores herramientas de simulación haciendo uso de un sistema basado en agentes software. Como a día de hoy no ha habido consenso de establecer una definición universal de agente software, entre las múltiples que hay, vamos a citar las más importantes:

* “Un agente software es un sistema computacional encapsulado, situado en un entorno y capaz de realizar una acción autónoma adaptable al entorno con la finalidad de cumplir sus objetivos de diseño” (Michael Wooldridge).
* “Un agente software es una entidad computacional con: identidad persistente, que puede percibir, razonar e iniciar acciones con su entorno y que se puede comunicar con otros agentes” (Michael Huhns).

El enfoque de sistema basado en agentes software nos permite abordar de una manera factible el problema de los comportamientos humanos, ya que los agentes son abstracciones computacionales intencionales y sociales, por lo que guardan una cierta similitud con las personas que participan en la gestión o toma de decisiones de los vuelos (14). Es por tanto razonable establecer una correspondencia entre los conceptos de agente y persona, que si bien no son equiparables resultan más próximos que en el caso de otras abstracciones computacionales.

En este artículo se presenta un modelo, haciendo uso de agentes software, para realizar una simulación de cómo afectaría la introducción de UAVs en el espacio civil actual. Dicho modelo se ha implementado con la herramienta IDK (15), una herramienta desarrollada en Java para implementar MASs (sistemas multi-agente) y distribuida como software GPL (Licencia Pública GNU). GPL es una licencia creada por la “Free Software Foundation” a mediados de los 80, y está orientada principalmente a proteger la libre distribución, modificación y uso de software. Su propósito es declarar que el software cubierto por esta licencia es software libre y protegerlo de intentos de apropiación que restrinjan esas libertades a los usuarios.

En las posteriores secciones entraremos en profundidad en el estado del arte de los actuales sistemas de simulación, presentaremos el objetivo y diseño que hemos elegido para afrontar este problema, mostraremos unas conclusiones ante las simulaciones realizadas y presentaremos las áreas de trabajo futuro que se puede realizar sobre el trabajo actual.

Estado del arte

Ya que este tema de investigación es relativamente nuevo no hay muchos trabajos que tenga el mismo enfoque nos proponemos abordar, aun con todo esto, en esta sección se va a proceder a analizar trabajos existentes desde tres puntos de vista. Por un lado los trabajos que se centran en investigaciones realizadas sobre UAVs tanto a la hora de programarlos para que persigan unos determinados objetivos como en cuanto a los protocolos y reglamentación que han de cumplir para poder ser integrados en el espacio aéreo civil. Por otro lado, se van a analizar una serie de trabajos basados en las simulaciones del espacio aéreo, en su mayoría centradas en la gestión del tráfico aéreo. Y por último se hablará del grupo de trabajo que tratan de los factores humanos que intervienen los distintos vuelos, como pueden ser los distintos comportamientos de las tripulaciones de los pilotos o de los controladores aéreos.

Trabajos de investigación sobre UAVs

Hay numerosos trabajos que se centran en la investigación y mejora del manejo de UAVs. En primer lugar es evidente destacar que para la introducción de UAVs en el espacio civil actual es necesario establecer una serie de procedimientos y regulaciones que dichos vehículos deben cumplir. De hecho, si la introducción de este tipo de vehículos en el espacio aéreo se ha visto retrasada no ha sido porque haya una dependencia en una tecnología que no haya sido todavía del todo desarrollada, si no que ha sido, más bien, debido al hecho de que había un déficit a la hora de certificar requisitos y definir una serie conceptos procedimentales. Para suplir estas deficiencias se ha dedicado el documento (16), que más que un artículo de investigación es un documento oficial donde se define un sistema ATM (Gestión del Tráfico Aéreo) que estaría debidamente preparado para cumplir las siguientes tareas:

* Establecimiento de los requisitos de aeronavegabilidad y reglamentos comunes para UAVs.
* Establecimiento de la regulación y estandarización del tráfico aéreo y los procedimientos derivados para la integración adecuada de UAVs en el Sistema de Gestión del Tráfico Aéreo.

Por otro lado, y ahora si ya más centrado en la investigación, hay que destacar una serie de trabajos que se centran en modelar UAVs. Así por ejemplo tenemos que en (17) se propone un algoritmo para solucionar la limitación debida a posibles oclusiones en el sistema de percepción de los UAVs. Dicho algoritmo modela las limitaciones de los vuelos de estos vehículos de una manera más realista a lo existente anteriormente, y nos confirma la importancia de la oclusión a la hora de la planificación de rutas en el vuelo.

Otro modelo de UAV puede verse en (18) donde se presenta un modelo genérico de UAV a escala reducida enfocado en las claves de los esfuerzos físicos que actúan en la dinámica del avión (física del avión) con el fin de ser lo suficientemente simple como para diseñar un controlador del vehículo.

Por otra parte, el trabajo (19) presenta un framework basado en agentes para modelar UAVs, en donde cada vehículo de este tipo se descompone en una serie de niveles controlados por agentes. Los principales agentes serán el físico y el lógico. El agente físico será el principal responsable de las interacciones físicas del UAV, como pueden ser maniobras hacia el siguiente waypoint (punto intermedio), comprobaciones para asegurarse que no va a colisionar con ningún objeto, actualización del estado del combustible, comprobación de los sensores, transmisión de mensajes pendientes, etc. Por otro lado, el agente lógico es el responsable de generar la lista de waypoints y mandársela al agente físico, y tiene una serie de tareas como decirle a un agente físico transmisor que mande un determinado mensaje.

Simulación y Gestión de Tráfico Aéreo

En cuanto a herramientas de simulación se puede hacer uso del documento (20) que hace un resumen de los distintos entornos de simulación en el ámbito de la investigación, y presenta el diseño y la metodología de una simulación multi-agente de la ATFM (gestión del flujo del tráfico aéreo) usando diferentes estrategias de selección de rutas simples. En dicho trabajo se presenta el concepto CATFM (Gestión del Tráfico Aéreo Colaborativo) que supone la existencia de múltiples entidades independientes con sus propias creencias y deseos. Este concepto aumenta el intercambio de información y distribuye alguno de los elementos de decisión.

Como hemos comentado antes en (20) se hace una clasificación entre una serie de simuladores, los cuales se centran principalmente en el tráfico aéreo. Se distingue entre los siguientes sistemas:

* ACES (Sistema de Evaluación de los Conceptos Aéreos)(21) es una simulación basada en agentes distribuidos del NAS (Sistema Nacional Aeroespacial de EEUU), que incluye pero no se restringe al ATFM. Este sistema es capaz de hacer más eficientes las evaluaciones de coste-beneficio basándose en conceptos que van más allá de elementos particulares.
* IMPACT es un modelo de los agentes de la FAA y de las aerolíneas, basados en enjambre y usados para evaluar tres tipos de reducciones: en la planificación anticipada, programas de retrasos en tierra (GDPs) sin intercambio de información y con horarios de vuelo compartido.
* STEAM (22) (herramienta que permite la representación explícita de los objetivos y planes de un equipo y compromisos de conjuntos de equipos) usada para evaluar un sistema colaborativo para sincronizar del tráfico en tiempo real. Dicha sincronización es aquella a la que se dedican los controladores de sectores individuales cuando gestionan vuelos que pasan por múltiples sectores.
* MIDAS (Sistema de análisis y diseño integrado de la interacción hombre-máquina) es un modelo basado en agentes que se centra en la eficiencia humana cuando interacciona con interfaces máquina. Esta herramienta ha sido usada con ATFM y enfatiza principalmente las capacidades y limitaciones de las facultades cognitivas de los humanos en vez de la complejidad de la toma de decisiones.

Otras de las herramientas, que no están en este artículo (20), son:

* FACET (23), un modelo físico del espacio aéreo de EEUU desarrollado para modelar eficientemente la complejidad del ATFM y que se basa en la propagación a través del tiempo de las trayectorias propuestas de los vuelos. Es una herramienta cuyo uso está muy extendido dentro de la FAA y de la NASA.
* AVDS (Simulador de Diseño Visual de la Aviación) (5), que es un conjunto de herramientas de simulación y visualización de vuelo diseñadas para ser usadas por ingenieros, estudiantes, educadores y otros investigadores interesados en la investigación y desarrollo aeroespacial. Estas herramientas, desarrolladas en Simulink (entorno sobre MATLAB que se centra en la simulación y diseño basado en modelos de sistemas dinámicos y embebidos), nos dan una mejor comprensión de la dinámica del sistema y nos permiten el uso de simulaciones realistas en ordenadores de bajo coste.

Por último, cuando estudiamos trabajos relacionados con la simulación de ATM nos encontramos con una serie de trabajos que hacen uso de un modelado basado en agentes. Entre estos trabajos podemos distinguir aquellos centrados en el ATFM y los centrados en la gestión de los AOCC (Centros de Control de las Operaciones de las Aerolíneas).

En cuanto al primer tipo podemos ver un ejemplo en (24) donde se presenta una tecnología multi-agente para vehículos autónomos ya sean tripulados o no tripulados. El sistema integra una serie de métodos cooperativos y no-cooperativos de anticolisión que se implementan por los distintos agentes y que son validados y comparados en los experimentos del artículo. Por otro lado en (23) nos muestran un algoritmo adaptativo y distribuido del ATFM que puede implementarse y probarse de manera sencilla con la herramienta FACET, el método está basado en una serie de agentes que representan ciertas regiones y donde cada agente determina la separación entre los aviones que se aproximan a la región. Estos agentes usan un aprendizaje por refuerzo para aprender políticas de control, y en el artículo se estudian las distintas funciones que premian o asignan pesos al algoritmo y las diferentes formas de estimar estas funciones.

Por último el trabajo (25) describe la experiencia de usar una arquitectura de agente BDI (modelo de Creencia-Deseo-Intención) para desarrollar una simulación de un ATFM colaborativo y los problemas de eficiencia que encuentran. Como conclusión nos propone como aproximación más eficiente una que combina componentes con agentes BDI y sin ellos y sugieren una serie de recomendaciones:

1. Usar BDI para procesos cognitivos explícitos. El paradigma BDI se adapta perfectamente cuando queremos modelar toma de decisiones que están bien definidas.
2. Importancia del nivel de granularidad. No hay necesidad de modelar detalles de toma de decisiones cuando uno está más interesado en el resultado que el proceso mismo.
3. Considerar las propiedades de ejecución del lenguaje. Toda implementación BDI se convierte en código ejecutado en un ordenador, y entender las propiedades del algoritmo a veces es necesario. Por otro lado, ya que la eficiencia se degrada con el número de agentes introducidos, a veces es conveniente combinar procesos de múltiples agentes en un sólo agente.

Factores humanos en aviación

Muchas definiciones se han dado para intentar describir de que hablamos cuando nos referimos a HF (Factores Humanos) (26). Una de ellas es:

“*Los Factores Humanos (o ergonomía) pueden definirse como la tecnología orientada a optimizar las relaciones entre personas y sus actividades haciendo uso de la aplicación sistemática de las ciencias humanas, integrada en el marco de la ingeniería de sistemas*”

De esta definición habría que hacer una serie de distinciones:

1. Al describir HF como una tecnología, se hace hincapié en su carácter práctico; se orienta a problemas más que centrarse en la disciplina. La relación entre HF y las ciencias humanas podría compararse con la relación entre ingeniería y ciencias físicas.
2. La ergonomía implica un interés por la comunicación entre individuos y en el comportamiento de grupos de personas.
3. La ergonomía se ha extendido desde ámbito laboral al del hogar, hospitales, escuelas, e incluso a las actividades de ocio.
4. Las ciencias humanas comprenden los estudios de la estructura y naturaleza del ser humano, sus capacidades y limitaciones, y sus comportamientos ya sea en solitario o en grupo. En común con todas las tecnologías, HF se preocupa de la búsqueda y uso de conceptos y datos seleccionados según su importancia en un problema práctico.
5. Con el fin de contribuir eficazmente en el diseño y las operaciones del sistema, es necesario que los ergónomos integren sus contribuciones con las de otras personas.
6. La optimización en las relaciones personales viene dada por dos conjuntos de criterios: el bienestar humano y la eficacia del rendimiento del sistema.

Debido a la importancia de los factores humanos en la aviación la industria aeronáutica incorporó hace unas décadas (27) el procedimiento CRM (Gestión de los recursos por parte de la tripulación) como parte fundamental del entrenamiento y formación de las tripulaciones de aviones. El CRM se puede definir como “el uso eficiente de todos los recursos disponibles por la tripulación del avión, incluyendo el equipamiento, las habilidades tanto técnicas como procedimentales, y las contribuciones del resto de la tripulación del vuelo y demás personas” (28).

A lo largo de los años el CRM ha ido evolucionando (29) pasando a ser básico en cuanto a la coordinación de la tripulación y la toma de decisiones, convirtiéndose en necesario y fundamental para muchos tipos de operaciones de vuelo. Entre los principales objetivos del CRM se encuentran evaluar, desarrollar y mejorar el trabajo en equipo, la habilidad en la toma de decisiones, la conciencia situacional, el pensamiento crítico y las comunicaciones interpersonales. De los artículos (30) (31) (32) se puede resumir que las temáticas principales del CRM incluyen:

* Procesos de comunicación y toma de decisiones.
* Trabajo en equipo y dinámicas de grupo.
* Liderazgo y coordinación de actividades.
* Carga de trabajo y conciencia situacional.
* Rendimiento humano y sicológico (atención, estrés y fatiga)

Planificación.

Una forma fácil y efectiva de comprobar la eficiencia de los procedimientos CRM es a través de las prácticas en simuladores. El uso de simuladores de vuelo proporciona a los estudiantes el conocimiento, habilidad y experiencia necesaria para operar eficientemente como miembro de una tripulación. En el artículo (33) además de proporcionarnos una herramienta educacional económica con la que se pueden enseñar los fundamentos del CRM, se enumeran los beneficios que nos aportan los simuladores de vuelo a la hora de instruir a los pilotos, éstos son:

1. Un entorno físico controlado.
2. Control de la carga de trabajo de la tripulación por parte de un instructor.
3. Control de los sistemas de la aeronave por parte del instructor.
4. El simulador puede facilitar escenarios de vuelo que de otra manera sería imposible o muy arriesgado.
5. Los simuladores tiene la opción de congelar situaciones y repetirlas permitiendo opiniones y correcciones inmediatas cuando se necesitan.
6. Muchos de los simuladores pueden proveer opciones de grabación lo que permite el posterior análisis crítico de las decisiones tomadas.
7. Los simuladores proporcionan la posición instantánea de las aeronaves.
8. Un instructor puede monitorizar fácilmente las conversaciones y acciones de la tripulación sin distraerles.
9. Los simuladores pueden suministrar distintos tipos de aviones, sistemas de control de las aeronaves y otro equipamiento que no esté disponible, sea económicamente fácil de adquirir o apropiado usarse en entrenamientos.
10. La personalización de controles y cabinas se puede reconfigurar fácilmente.
11. La configuración de las aeronaves y las características de los vuelos es programable.
12. Una variedad de ayudas electrónicas a la navegación pueden ser simuladas.

El amplio uso de simuladores para entrenamiento de vuelos también permitió incorporar la aproximación LOFT (Entrenamiento de Vuelo Orientado) (27) en la mayoría de la industria aeronáutica. Una aproximación enfocada en LOFT es un tipo de entrenamiento de simuladores de vuelo, que incluye la tripulación completa del aparato: en dicha simulación se incluyen procedimientos normales, anormales y procedimientos de emergencia típicos en vuelos de ruta. Como tal entrenamiento, un instructor monitoriza el rendimiento y el resultado de toda la tripulación, tanto en el simulacro actual como en su histórico, para mejorar rendimiento o arreglar fallos de procedimientos en la toma de decisiones o en la manera de actuar.

La instrucción basada en LOFT (34) incluye planificación de vuelos orientados de las compañías aéreas, documentación completa de los vuelos, actividades previas a los vuelos, procesos y actividades de distribución de tareas, operaciones en ruta e información post-vuelo.

Como hemos indicado antes, estos procedimientos se centran en mejorar la eficiencia de los factores humanos que intervienen en un vuelo. Estos factores son muy importantes ya que se considera que más de un tercio de los accidentes aéreos son debidos a errores humanos, y dentro de estos la mayoría son debidos a fallos en la comunicación, toma de decisiones o liderazgo (29). Por lo tanto, es razonable tener en cuenta estos factores a la hora de realizar una simulación del espacio aéreo civil.

# Bibliography

1. *Conflict Resolution for Air Traffic Management: A Study in Multi-Agent Hybrid Systems.* **Claire Tomlin, George J. Pappas, and Shankar Sastry.** April 1998, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 43, pp. 509--521. 4.

2. **JSBSim.** JSBSim flight dynamics model. [Online] http://jsbsim.sourceforge.net/ .

3. **FlightGear Flight Simulator.** FlightGear Flight Simulator. [Online] http://www.flightgear.org/.

4. **OpenEaagles.** OpenEaagles. [Online] http://www.openeaagles.org/.

5. **AVIATOR VISUAL DESIGN SIMULATOR.** *Manual, AVIATOR VISUAL DESIGN SIMULATOR (AVDS) User.* http://www.rassimtech.com/documentation/AVDSManual.pdf.

6. *FACET: Future ATM Concepts Evaluation Tool.* **Bilimoria, K.** Napoli, Italy : s.n., 2000. 3rd USA/Europe ATM 2001 R&D Seminar.

7. *The design of FACET to support use by airline operations centers.* **Smith, P.** 2004 : s.n., IEEE.

8. **Flight Explorer Inc.** Flight Explorer. [Online] http://www.flightexplorer.com/.

9. *A Multiagent Simulation of Collaborative Air Traffic Flow Management.* **Shawn R. Wolfe, Peter A. Jarvis, Francis Y. Enomoto, Maarten Sierhuis,Bart-Jan van Putte.** [ed.] Franziska Klügl Ana L. C. Bazzan. s.l. : Information Science Reference, 2009, Multi-Agent Systems for Traffic and Transportation Engineering, pp. 357-381. NASA Ames Research Center.

10. *Modeling Distributed Human Decision-Making in Traffic Flow Management Operations.* **Keith C, C.** Napoli, Italy : s.n., 2000. 3rd USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar.

11. **EUROCONTROL.** *EUROCONTROL SPECIFICATIONS FOR THE USE OF MILITARY UNMANNED AERIAL VEHICLES AS OPERATIONAL AIR TRAFFIC OUTSIDE SEGREGATED AIRSPACE.* 2007. http://www.barnardmicrosystems.com/download/EUROCONTROL\_MIL\_UAV\_ATM\_SPEC\_2007.pdf.

12. *Human performance models of pilot behaviour.* **Foyle, D. C., Hooey, B. L., Byrne, M. D., Corker, K. M., Deutsch, S., Lebiere, C.** Santa Monica, CA : s.n., 2005. The Human Factors and Ergonomics Society 49th Annual Meeting. pp. 1109-1113.

13. **Daniel J. Garland, John A. Wise and V. David Hopkin.** *Handbook of Aviation Human Factors.* [ed.] Lawrence Erlbaum Associates. 1999. ISBN 0-8058-1680-1.

14. **Gilbert, N., Troitzsch, K. G.** Simulation for the Social Scientist. *Open University Press.* 2005.

15. *INGENIAS development kit: a visual multi-agent system development environment.* **Jorge J. Gómez-Sanz, Rubén Fuentes, Juan Pavón, Iván García-Magariño.** 2008. AAMAS (Demos)'2008. pp. 1675-1676.

16. *Improving air traffic management through agent suggestions.* **Adrian K. Agogino, Kagan Tumer.** 2009. AAMAS (2) 2009. pp. 1271-1272.

17. **IABG Dept. Airborne Air Defence.** *CARE Innovative Action, Preliminary Study on Integration of Unmanned Aerial Vehicles into Future Air Traffic Management.* 2001.

18. *Autonomous UAV Surveillance in Complex Urban Environments.* **Eduard Semsch, Michal Jakob, Dusan Pavlícek, Michal Pechoucek.** 2009. IAT 2009. pp. 82-85.

19. *Generic Nonlinear model of reduced scale UAV.* **Cheviron, T., Chriette, A., & Plestan, F.** Kobe, Japan : s.n., 2009. IEEE International Conference on Robotics & Automation. pp. 3271-3276.

20. *An Agent Based Framework for Modeling UAVs.* **N. Huff, A. Kamel, and K. Nygard.** 2003. The 16th International Conference on Computer Applications in Industry and Engineering (CAINE03).

21. *Fast-Time Simulation System for Analysis of Advanced Air Transportation Concepts.* **Sweet, D. N., Manikonda, V., Aronson, J. S., Roth, K., & Blake, M.** Monterey, California : s.n., 2002. American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA) Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit.

22. *Agent architectures for flexible, practical teamwork.* **Tambe, M.** Providence, Rhode Island : s.n., July, 1997. American Association for Artificial Intelligence Conference (AAAI-2007).

23. *Distributed agent-based air traffic flow management.* **Adrian K. Agogino, Kagan Tumer.** Honolulu, Hawaii : s.n., May, 2007. Sixth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems.

24. *AGENTFLY: A multi-agent airspace test-bed.* **D. Sislak, P. Volf, S. Kopriva, and M. Pechoucek.** May, 2008. 7th Intl. Conf. on Autonomous Agents and MultiAgent Systems.

25. *To bdi or not to bdi.* **S. Wolfe, M. Sierhuis, and P. Jarvis.** 2008. Design choices in an agent-based Traffic Flow Management Simulation Multiconference.

26. **Earl L. Wiener, David C. Nagel.** *Human Factors in Aviation.* s.l. : Academic Press, Inc, 1988.

27. *Resource Management on the Flightdeck: Proceedings of a NASA/Industry Workshop.* **Cooper, G. E., White, M. D., & Lauber, J. K.** Moffett Field, CA : NASAAmes Research Center, 1980.

28. *Crew resource management: Achieving enhanced flight operations.* **Taggart, W. R.** Aldershot, UK : Aviation Psychology in Practice, 1994. Avebury Technical. pp. 309-339.

29. **Helmreich RL, Merritt AC, Wilhelm JA.** The evolution of crew resource management training in commercial aviation. *Int J Aviation Psychology.* 1999, Vol. 9, pp. 19–32.

30. **FAA.** *Crew resource management training.* Departament of Transportation, FAA. Washington, DC : Advisory Circular No AC 123-51B, 1995. pp. 10-12, Appendix 3, 1-2.

31. **Mellor, A.** Design, development and implementation of a CRM program. *Aviation instruction and Training.* 1993, pp. 368-384.

32. **T., Kern.** Redefining airmanship. 1997.

33. *The use of personal computer-based aviation training devices to teach aircrew decision-making, teamwork, and resource management.* **Duncan, J.C. and Feterle, L.C.** Dayton, OH : s.n., 2000. Proceedings of IEEE 2000 National Aerospace and Electronics Conference. pp. 421–426.

34. **Lauber J.K, Foushee.** Guidelines for the development of line oriented flight training. *NASA Conference Publication 2184.* 1981.

Glosario

ABMS Agent-Based Modeling and Simulation

ACES Airspace Concept Evaluation System

AOCC Airport Operations Control Center

ARTCC Air Route Traffic Control Center

ATM Air Traffic Management

ATFM Air Traffic Flow Management

AVDS Aviator Visual Design Simulator

BDI Belief-Desire-Intention software mode

CATFM Collaborative Air Traffic Flow Management

Eurocontrol European Organisation for the Safety of Air Navigation

CRM Crew Resource Management

FAA Federal Aviation Administration of USA

FACET Future ATM Concepts Evaluation Tool

GDP Ground Delay Program

GPL GNU Public License

HF Human Factors

IMPACT Intelligent agent-based Model for Policy Analysis of Collaborative Traffic flow management

LOFT Line Oriented Flight Training

MAS Multi-Agent System

MIDAS The Man-Machine Integrated Design and Analysis System

NAS National Aispace System

STEAM Shell for TEAMwork

UAV Unmanned aerial vehicle

VFR Visual Flight Rules

IFR Instrumental Flight Rules