

Simulador de Vuelo de 6 Grados de Libertad para Estudios de Ingeniería

6 Degrees of Freedom Flight Simulator for Engineering Studies

Presentación: 05/09/2023

Victor L. Caballini

GSDV, LSCV, Universidad Tecnológica Nacional, FRH
vcaballini@frh.utn.edu.ar

Daniel S. Monserrat

GSDV, LSCV, Universidad Tecnológica Nacional, FRH
dmonserrat@frh.utn.edu.ar

Ezequiel Crotti

GSDV, LSCV, Universidad Tecnológica Nacional, FRH
ecrotti@frh.utn.edu.ar

Ruben D. Minutella

GSDV, LSCV, Universidad Tecnológica Nacional, FRH
rminutella@frh.utn.edu.ar

Eladio Fernandez

GSDV, LSCV, Universidad Tecnológica Nacional, FRH
efernandez@frh.utn.edu.ar

Alexis Alvarez

GSDV, LSCV, Universidad Tecnológica Nacional, FRH
aalvarez@frh.utn.edu.ar

Gerardo D. Godoy

GSDV, LSCV, Universidad Tecnológica Nacional, FRH
ggodoy@frh.utn.edu.ar

Resumen

Este trabajo presenta las características principales del simulador de vuelo de seis grados de libertad (6DOF) para estudios de ingeniería aeronáutica desarrollado por el Grupo de Simulación Dinámica del Vuelo (GSDV) en el Laboratorio de Simulación y Control de Vuelo (LSCV) de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo. Los principales objetivos de dicho simulador son: servir de herramienta de investigación para caracterización de modelos y cualidades de vuelo de las aeronaves que los alumnos diseñan durante su carrera y servir como plataforma de entrenamiento o estudios para tripulaciones, cátedras, etc. Por este motivo el simulador posee una cabina genérica y configurable. El software que conforma los diferentes componentes ha sido especificado y desarrollado dentro del LSCV. El sistema de retroalimentación de fuerzas es una de las funciones distintivas del simulador y también ha sido desarrollado por el GSDV. El sistema de fuerzas, el instrumental de cabina y el escenario exterior, se encuentran distribuidos y controlados por un número de computadoras interconectadas en red. Se presentan aquí los mencionados módulos sus ventajas y desventajas.

El modelo de retroalimentación de fuerza es particularmente importante para los propósitos de este simulador de vuelo. Para obtener un mayor realismo en los esfuerzos en los mandos, se ha tenido especial cuidado en implementar ecuaciones de momento de charnela en el software de simulación. El resultado es un sistema confiable de retroalimentación de fuerza de bucle cerrado en todos los comandos de la aeronave.

Palabras clave: Simulación, Aeronave, Vuelo, Control

Abstract

This paper presents the main characteristics of the six degrees of freedom (6DOF) flight simulator for aeronautical engineering studies developed by the Flight Dynamics Simulation Group (GSDV) at the Flight Simulation and Control Laboratory (LSCV) of the Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo. The main objectives of the simulator are to serve as a research tool to characterize models and flight qualities of the aircraft that students design during their career and to serve as a training or study platform for crews, professorships, etc. For this reason, the simulator has a generic and configurable cabin. The software that guides the different components has been specified and developed within the LSCV. The force feedback system is one of the distinctive features of the simulator and has also been developed by the GSDV. The force system, the cockpit instruments and the external scene are distributed and controlled by several computers interconnected in a network. The modules are presented here, their advantages and disadvantages. The force feedback model is particularly important for the purposes of this flight simulator. To obtain greater realism in the efforts in the controls, special care has been taken to implement hinge moment equations in the simulation software. The result is a reliable closed-loop force feedback system on all aircraft commands.

Keywords: Simulation, Aircraft, Flight, Control

Introducción

El simulador aquí presentado es el resultado de la necesidad de contar con una herramienta para fines académicos y de investigación que sea la piedra angular del LSCV. Dicha herramienta es única en su tipo y de características similares a unas pocas instalaciones disponibles a nivel mundial. Su función y objetivo comienza a partir de la necesidad de un simulador de vuelo que permita estudiar modelos, actividades de investigación, estudios académicos de los alumnos que, no pueden realizar actividades en un avión real, ya sea por su peligrosidad o bien por contar con la posibilidad, como también de instrucción de tripulaciones.

Desde el punto de vista social, la existencia de un simulador que pueda responder dinámicamente a las características de cualquier avión en particular, además de aportar enormemente al conocimiento acabado de los distintos fenómenos físicos involucrados, mejorando la calidad de los profesionales de la Ingeniería Aeronáutica, permite efectuar una interpretación más certera de los accidentes y establecer las normativas que podrán evitar su repetición, transformándose en el principal aliado de los organismos nacionales responsables del análisis de estos accidentes, tal como la Junta Investigadora de Accidentes de Aviación.

El simulador presentado en este trabajo es un simulador a escala real realizado en el fuselaje de una aeronave Rockwell Commander 1121 “Jet Commander”. Esta estructura ofrece las dimensiones y las prestaciones exactas y el hardware requerido para un simulador de estas características a nivel comodidad, visualización, accesibilidad, etc. El sistema consiste en una cabina de vuelo provista de pantallas táctiles de forma de representar cualquier tipo de instrumental de manera flexible; sistema de proyección exterior sobre una pantalla cilíndrica que da 180 grados de cobertura visual; estación de instructor ubicada dentro del fuselaje; sistema de retroalimentación de fuerzas para simular las fuerzas a realizar sobre los comandos de la aeronave.

Desarrollo

En esta sección se describen los distintos componentes del simulador, con sus características principales.

Visualización del Ambiente

La figura 1 es una vista superior donde se observa el sistema de visualización exterior que ha demostrado ser efectivo para el simulador aquí presentado. La imagen que se produce genera un campo visual de 180° al ser proyectada sobre una pantalla de cilíndrica. Las imágenes provienen de bases de datos de aeropuertos, radio ayudas, georreferenciadas (VOR, ADF / RMI, NAVEGADORES DE AREA, ILS, MLS, etc.) para permitir una inmersión en el ambiente tanto para la tripulación como para estudios relacionados con el mismo.



Figura 1: Fotografía superior incluyendo al sistema de proyección exterior.

La generación de la imagen la realiza una computadora dedicada a tal fin, utilizando tres proyectores de gran brillo y claridad para lograr una inmersión casi real. Para la simulación específicamente se busca representaciones de alta resolución, imágenes reales aun en operaciones diurnas y en ambientes muy iluminados, uniformidad de colores y brillo a lo largo de toda la pantalla usando múltiples proyectores y mínima latencia para interacciones en tiempo real entre el entrenador y las imágenes de la simulación realizándose un procesamiento de Edge-Blending y Warping para que, sobre una proyección semicircular, se logre calidad y coherencia en el resultado.

Cabina de Vuelo

Para la implementación interior de la cabina de vuelo (actuadores, instrumentos, controles, etc.), la estructura de procesamiento seleccionada corresponde a un esquema flexible que permite la configuración de los diferentes tipos de aeronaves que se pretende simular. Dados los distintos tipos de aeronaves y configuraciones que el simulador deberá representar en función de los requerimientos académicos mencionados, para mayor versatilidad se utilizan interiormente cinco monitores LCD de 17" con tecnología Touchscreen. La figura 2 muestra una fotografía de tal esquema.



Figura 2: Cabina de Vuelo

Tres de estos cinco monitores están ubicados en el panel central de Instrumentos, uno a cada lado de la cabina, donde se representan para cada piloto, los instrumentos principales de vuelo y navegación (Altímetro, Velocímetro, Variómetro, ADI con prestaciones de FD, HSI, VOR/ILS, RMI, ADF). La tercera pantalla está ubicada en el centro del tablero, en la cual se muestran los instrumentos de motor, indicadores de posición de flaps, slats, trims, tren de aterrizaje, cantidad de combustible, posición de CG (este último no necesario en un avión, pero sí en un simulador académico) y otros indicadores particulares de cada modelo de avión a estudiar.

El cuarto y quinto monitor se encuentran en el panel superior. Un sexto monitor de 12 pulgadas forma parte del pedestal central, detrás de los aceleradores. Estas tres pantallas tienen como función generar los controles de los diferentes sistemas del avión; la pantalla del pedestal de aceleradores se usa para recrear los selectores de frecuencias de comunicaciones y navegación (COM 1 y 2, NAV 1 y 2, ADF, Transponder, Navegación inercial, Navegador de Area y GPS, etc.) además de la denominada CDU. En el panel ubicado en el techo de la cabina (Overhead Panel) se visualizan los controles y llaves de los sistemas principales del avión como ser el sistema hidráulico, el sistema eléctrico, el sistema neumático y demás sistemas misceláneos.

La tecnología Touchscreen permite dar al simulador flexibilidad; de esta manera se pueden simular las llaves, botones y perillas a través del software, diseñando los controles específicos para cada avión, o evaluar y estudiar nuevas disposiciones y configuraciones de controles; de esta forma libera al simulador a un diseño o disposición de instrumentos y controles fijo (ambientación).

Todo el instrumental aquí mencionado ha sido desarrollado por el GSDV en C++ y con tecnología OpenGL. Lo mismo sucede con el pedestal que ha sido rediseñado íntegramente ya que no corresponde a la aeronave original, representando de manera más general las funcionalidades de un avión turbohélice cuatrimotor.

Otra característica importante a tener en cuenta del simulador es la generación de sonido en la cabina del piloto. Esto es importante porque tanto para procedimientos normales como de emergencia, los sonidos tienen

que ser reproducidos con la mayor exactitud posible, de esto depende la interpretación que el operador haga de cada uno de los mismos y en cada condición de vuelo.

Sistema de Fuerzas

El Simulador reproduce las condiciones del vuelo hasta el nivel de los esfuerzos en los comandos (no genera sensaciones de aceleraciones) para producir determinada maniobra. Estos esfuerzos están fuertemente influenciados por variables de diseño y variables de operación, entre las que se encuentra el comportamiento a grandes alturas, la ubicación de la carga (posición del CG), comportamiento a grandes ángulos de ataque o muy bajas velocidades, comportamiento a altas velocidades, comportamiento con potencia asimétrica, etc.

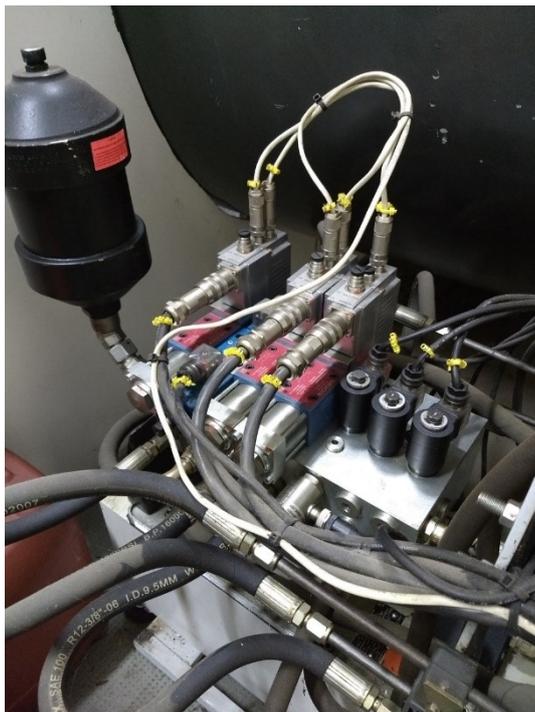


Figura 3: Unidad hidráulica

El sistema ha sido desarrollado por el GSDV tanto en hardware como software, utilizando las barras de comandos originales de la aeronave, pero uniéndolas a un sistema de válvulas computarizadas de alto rendimiento y performance provistas por la empresa MOOG. La computadora de Control realiza la interacción con dichas válvulas usando protocolo Realtime Ethernet.

Arquitectura y Diseño de Software

La arquitectura general del simulador se presenta en la Figura 4. El esquema corresponde a los flujos principales de los diferentes componentes del simulador.

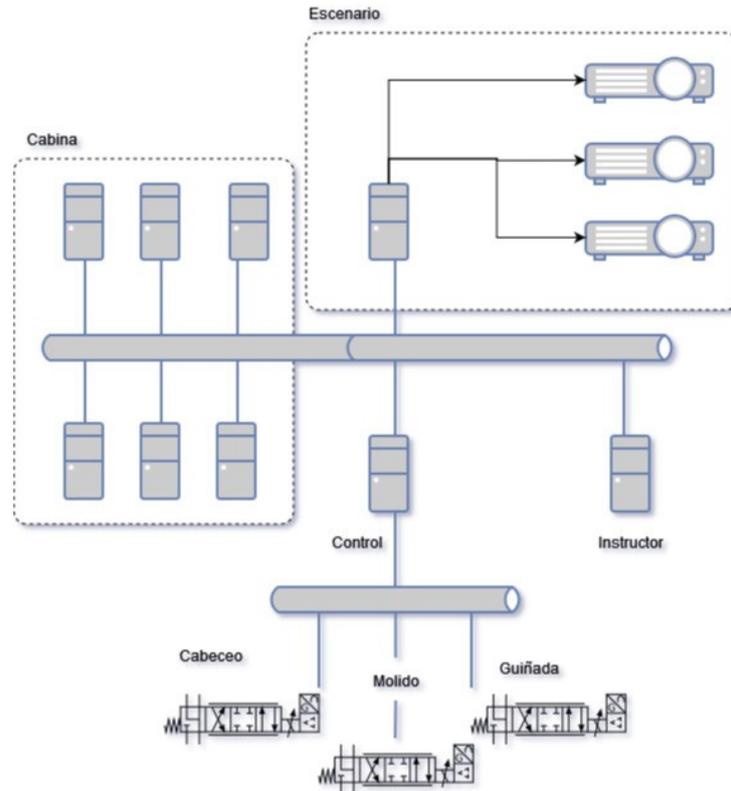


Figura 4: Arquitectura General

Se pueden observar las seis computadoras que controlan cada uno de los monitores y al mismo tiempo sirven de entrada para las acciones sobre las pantallas táctiles que forman la cabina. La computadora de control realiza la ejecución del modelo de la simulación como también controla las válvulas del sistema de comandos hidráulico, conectados por una red del tipo Realtime Ethernet. El sistema de visualización externa se presenta con tres proyectores que lo conforman conectados a la computadora de generación de imágenes. Todas las computadoras mencionadas se encuentran vinculadas por una red Ethernet de 1 Gbit y se comunican mediante un protocolo de tiempo real desarrollado por el GSDV que logra la operación del modelo a 60 Hz soportando también la interacción de los diferentes elementos de cabina con el modelo.

El software hace uso extensivo de los denominados patrones de diseño y sobre el cual podemos mencionar al Modelo Estructural (AVSM). El modelo estructural es un mapa arquitectónico para un sistema complejo de software o dominio. Este modelo emergió del Ada Simulator Validation Program, que estableció la eficacia de Ada para simulación de tiempo real de entrenamiento. Desde esa fecha se han realizado esfuerzos importantes como Structural Modelling del Software Engineering Institute y Mod Sim, entre otros. El GSDV ha adoptado AVSM, pero con innovaciones tendientes a adaptarlo a un modelo orientado a objetos para incorporar las ventajas ya conocidas de esta tecnología.

Retroalimentación de Fuerzas

El simulador posee un sistema de generación de fuerzas, también conocido como módulo de retroalimentación de fuerzas (Force Feedback), que reproduce los esfuerzos en los mandos para la condición de vuelo en que se encuentre. La implementación se ha realizado de tal forma que las extensiones al modelo actual puedan ser realizada de forma directa y relativamente simple.

Las fuerzas de control dependen de los efectos de la gravedad, aerodinámicos, propulsión y deben incorporar acciones debidas al piloto y las reacciones con el terreno. Estas fuerzas deben ser computadas en cada ciclo de simulación y sirven como entrada al ciclo siguiente.

El modelo de elevador tiene en cuenta la componente de aceleración por la deflexión de este alrededor de su eje de charnela (inercia), la componente de excentricidad de este, y la posición de su diferencial de masa con

respecto al centro de gravedad de la aeronave. Normalmente el acoplamiento inercial de la superficie de control se elimina durante el diseño trabajando sobre la excentricidad y el producto de inercia igual a cero, situación conocida como “balanceada dinámicamente”. Cuando este no es el caso, el modelo debe soportar el efecto inercial del mismo.

Recordando que, en condiciones de mandos libres, es decir sin acciones del piloto sobre el mando, las superficies aerodinámicas son libres de flotar bajo los efectos de las acciones exteriores que dependen del movimiento de la aeronave y aceleraciones, además de las características del mecanismo de control de estas.

Mencionaremos que el bucle de control tiene por objeto generar un movimiento de los controles basado en la dinámica de la superficie otorgando al piloto la sensación deseada. Si la reacción del piloto es adecuada para reaccionar a la retroalimentación y es capaz de mantener el comando estacionario, las condiciones de vuelo son a mandos fijos. Si no, la diferencia entre la fuerza ejercida sobre el control y la calculada por el sistema generador de fuerzas moverá la superficie a la posición calculada. Cada uno de los comandos se encuentra asociado a un actuador que traduce la fuerza en el comando al correspondiente desplazamiento.

Resultados

En este trabajo se presenta el desarrollo de un simulador de vuelo de seis grados de libertad para ingeniería capaz de realizar simulaciones en tiempo real de aviones conocidos como en fase de diseño. Se presenta el desarrollo de un modelo de retroalimentación de fuerzas el cual tiene en cuenta los efectos inerciales y aerodinámicos de las superficies de control, con un nivel de detalle considerable. El simulador aquí presentado resulta flexible para utilizarse en las situaciones particulares que se deseen simular.

Conclusiones

El simulador presentado aquí, permite:

- 1) Mejora de la Calidad Académica: En este sentido, permitirá a los alumnos “volar” los aviones que, como Trabajo de Proyecto, diseñan durante los últimos años de la carrera de ingeniería Aeronáutica.
- 2) Mejora de la calidad de los Profesores, generando una herramienta que permita trabajar en temas de investigación relacionado con las materias que conforman la carrera, y otras como las tecnologías básicas la Mecánica, o incluso con las ciencias básicas, como ser el estudio de Métodos numéricos alternativos, trabajo con programas, administración de recursos informáticos, etc.
- 3) Investigación de Accidentes de Aviación: Como tema de investigación, colaborar en el análisis de accidentes de Aviación, aportando a la determinación de causales de estos, contribuyendo con ello a la seguridad de la operación protegiendo fundamentalmente las vidas humanas.
- 4) Analizar maniobras especiales de vuelo, orientadas a los Ingenieros, que se transformarán en las limitaciones de operación de las aeronaves, poder comprobar ciertos comportamientos anormales de aeronaves.
- 5) Incorporar equipos de control automático de vuelo: Incorporar a las aeronaves en estudio aspectos derivados del control automático (autopilotos) o de la estabilización artificial y /o amortiguadores de las funciones temporales.

Referencias

- Bass, L., Clements, P., Kazman, R., (2003) Software Architecture in Practice, Second Edition, Addison Wesley.
- Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., Vlissides, J. (1995). Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software, MA: Addison-Wesley
- Stevens, B.L., Lewis, F.L. (1992). Aircraft Control and Simulation, New York John, Wiley & Sons

Rolfe, J.M., Staples, K.J. (1986) Flight simulation, Cambridge University Press

Grispen, R. G., Freemon, B. W., King, K. C., Tucket, W. V. (1993) DARTS: A Domain Architecture For Reuse In Training Systems, Boeing Defense & Space Group, Huntsville, Alabama.

McCormick, B. W. (1979). Aerodynamics, Aeronautics, and Flight Mechanics. John Wiley & Sons

Etkin, B. (1982). Dynamics of Flight, Stability and Control. John Wiley & Sons

Etkin, B. (2005). Dynamics of Atmospheric Flight, Dover Publications.