

Proyecto EDA JIPICET: NICE

Juan José Piñeiro García de León,
Enrique Martín Romero E&Q
Engineering

Palabras clave: control y guiado,
control óptimo, estabilidad y robustez,
métodos pseudoespectrales,
restricciones cuadráticas integrales

Metas tecnológicas relacionadas:
MT 3.6.3.

El reto

El proyecto de la Agencia Europea de Defensa NICE (*Nonlinear Innovative Control design and Evaluation*) tenía como objetivo principal el desarrollo de nuevas metodologías, más allá del estado del arte, para diseño y análisis de sistemas de control orientadas a aplicaciones de plataformas militares altamente no lineales. Este ambicioso objetivo estaba en consonancia con el del propio programa ICET (*Innovative Concepts and Emerging Technologies*), que pretendía la Investigación en tecnologías emergentes que pudieran tener un efecto disruptivo en el campo de batalla. Como objetivo adicional, NICE buscaba promover la cooperación entre las instituciones involucradas en el proyecto, contribuyendo de esta manera a reforzar una “Europa de la investigación” y para lograrlo se constituyó un consorcio de 13 miembros de cinco países. NICE, con una duración total de 24 meses (marzo de 2010-marzo de 2012), fue liderado por ONERA (FR) y contó con la participación de la PYME española E&Q Engineering, además de Bertin Technologies (FR), Dassault Aviation (FR), DLR (DE), Irida Labs (EL), LAAS (FR), LFK (DE), MBDA France (FR), LFK (DE), MBDA Italy (IT), ONERA (FR), Universidad Técnica de Múnich (DE), Universidad de Trento (IT) y la Universidad de Roma (IT).

La necesidad

Es importante señalar que en la actualidad, la mayor parte de los sistemas de control empleados en la industria europea de aeronáutica y defensa, se diseñan y analizan mediante técnicas lineales que son aplicadas a su vez a modelos linealizados de la dinámica de vehículos como UAV, misiles y aviones de combate (a pesar del comportamiento altamente no lineal que presentan en múltiples zonas de la envuelta de vuelo). Por tanto, la mejora

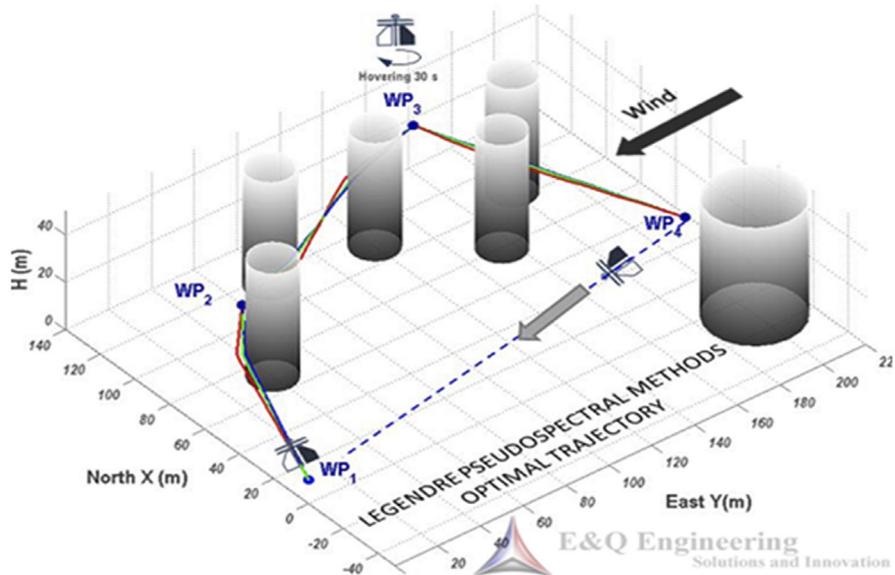


Fig. 1. Trayectoria óptima obtenida mediante métodos PS para uno de los escenarios con viento propuestos en NICE . (Fuente: E&Q Engineering).

en el tratamiento de las no linealidades constituye un reto del máximo interés para las aplicaciones industriales del sector defensa, especialmente por la creciente demanda en prestaciones y fiabilidad que hoy día se exige a las plataformas aéreas.

El proyecto

NICE se estructuró en tres grandes bloques que comprendían el diseño de sistemas de control, el desarrollo de algoritmos de guiado y la aplicación de métodos de análisis. Estas líneas se aplicaron a tres tipos de plataformas concretas proporcionadas por los miembros industriales del consorcio: un avión de combate, un misil de defensa aérea y un UAV de despegue y aterrizaje vertical (VTOL) de tipo táctico.

En el bloque relativo a sistemas de control se investigaron técnicas de diseño basadas en el concepto NDI (inversión dinámica no lineal) de control multivariable de amplia difusión en la industria aeronáutica y primera aproximación sistemática al control de vuelo no lineal. Previamente a este desarrollo, las leyes de control se diseñaban con un conjunto de modelos de plantas lineales y se implementaba con controladores lineales de ganancia programable. Los inconvenientes principales de los métodos NDI residen en requerir un conocimiento preciso del sistema y en carecer de robustez frente a incertidumbres de la planta. Con la finalidad de resolver estos inconvenientes, en NICE se

investigaron dos técnicas de diseño aplicadas a un misil y a un avión de combate: *Robust NDI* (RNDI) y *Adaptive NDI* (ANDI).

El objetivo del segundo bloque relativo a nuevos métodos de guiado, era el diseño de algoritmos avanzados para la optimización de trayectorias. El desarrollo de los algoritmos se planteó de forma competitiva entre los participantes: DLR, Universidad de Trento y la empresa española E&Q Engineering. Como plataforma de referencia se utilizó un micro UAV de la empresa francesa Bertin Technologies, la cual definió un conjunto de escenarios complejos (incluyendo waypoints, obstáculos y perturbaciones) junto con misiones, reglas y criterios para la optimización de las trayectorias.

E&Q desarrolló una metodología basada en su suite de *software* Optima® para el diseño de los algoritmos de guiado basada en métodos pseudoespectrales (PS). Históricamente, los métodos PS fueron empleados por primera vez con éxito en una maniobra de desplazamiento angular sin gasto de propulsante (*Zero Propellant Maneuver* –ZPM–) de la Estación Espacial Internacional (ISS) en los años 2006 y 2007. Debido al ahorro de propulsante de los motores (*thrusters*) se estima que ambas maniobras ZPM permitieron un ahorro económico superior al millón de euros.

Desde el punto de vista matemático, la optimización de trayectorias puede plantearse como un problema de

control óptimo, siendo esencial para su resolución la selección de un método apropiado. Los métodos PS son métodos directos¹, que discretizan el problema en puntos a lo largo de la trayectoria denominados nodos, transcribiéndolo en uno de programación no lineal (NLP). La característica esencial de los métodos PS para la resolución de problemas de control óptimo complejos, consiste en que son capaces de aproximar funciones continuas con un número óptimo de nodos, resultando en problemas NLP de menor orden y teniendo una convergencia muy rápida denominada espectral.

La investigación realizada por E&Q se centró en los métodos PS de Legendre y Chebyshev utilizando diferentes clases de nodos de cuadratura (Gauss, Lobatto y Radau). En estos métodos, los puntos para la cuadratura se determinan por medio de polinomios de Legendre y Chebyshev.

Los algoritmos de guiado desarrollados por E&Q pasaron rigurosamente y con éxito la evaluación industrial realizada por Bertin², siendo posible su implementación en tiempo real en su VTOL UAV. Además E&Q extendió, más allá del proyecto, la investigación de modelización de obstáculos para la optimización de trayectorias utilizando métodos PS con el fin de utilizarlos en misiones en entornos urbanos de mayor complejidad y realismo (edificios, árboles, postes, líneas de tendido eléctrico, etc.).

En cuanto a la tercera parte del proyecto NICE, relativa a métodos de análisis, el objetivo principal consistía en desarrollar métodos avanzados para evaluar la estabilidad y robustez de una plataforma no lineal en toda su envuelta de vuelo. Dentro de las líneas de mejora se pretendía un análisis de robustez menos conservativo, acelerar el análisis de estabilidad reemplazando los métodos de Montecarlo³, disminuir la complejidad computacional y aumentar el grado

¹ A diferencia de los métodos indirectos que se basan en el principio de mínimo de Pontryagin y en el cálculo de variaciones.

² Paso secuencial por waypoints con precisión, sin colisión con obstáculos ni el terreno y optimizando la misión según criterios especificados.

³ Los métodos de Montecarlo requieren la realización de un número extensivo de simulaciones, requiriendo un elevadísimo tiempo de computación.



Fig. 2. Misil antiaéreo de Diehl DGT (IRIS-T-SL), con una configuración aerodinámica semejante al empleado en NICE. (Fuente: Diehl).

de automatización de las herramientas de análisis.

El análisis de estabilidad y robustez ha sido una línea de investigación en la Teoría de Control debido a su utilidad e importancia práctica. Múltiples aproximaciones y técnicas se han desarrollado para tratar con este asunto desde 1940. Una técnica básica de análisis de estabilidad para aviones de combate altamente maniobrables y de misiles, consiste en linealizar las ecuaciones dinámicas en bucle cerrado sobre diferentes puntos de operación y comprobar la estabilidad de los autovectores. En los últimos años, se han desarrollado técnicas más sofisticadas para el análisis de estabilidad que permiten la inclusión de no linealidades e incertidumbres en los modelos. Estas nuevas técnicas pueden llevar a resultados menos conservadores en la evaluación. Concretamente, las Restricciones Cuadráticas Integrales o IQC (*Integral Quadratic Constraints*) proporcionan un marco general para el análisis de robustez. ONERA y E&Q emplearon estas técnicas para abordar el análisis propuesto en NICE.

El concepto original de los IQC surge en los años 60 de los trabajos de Popov acerca de la estabilidad absoluta. IQC constituye un marco para el análisis de sistemas basado en una combinación de trabajos de la teoría de control ruso y de occidente que ha sido investigado desde los años 90. Abarca múltiples campos como el

control óptimo, estabilidad absoluta, control robusto y otras teorías. Las técnicas IQC han sido utilizadas con múltiples fines como explotar información estructural acerca de perturbaciones, caracterizar propiedades de señales externas y analizar combinaciones de múltiples perturbaciones y señales externas. Megretski y Rantzer (1997) fueron los impulsores que empezaron a fusionar estas teorías.

Dentro de NICE, E&Q desarrolló un conjunto de herramientas que constituyen un marco unificado de análisis basado en IQC. Estas técnicas de análisis se aplicaron al sistema de control de un misil moderno de defensa aérea (propuesto por LFK) con configuración cruciforme y cuatro superficies de control; la envuelta se extiende hasta una altitud hasta 11 km y rango de Mach entre 0,9 y 4,4.

Como conclusión, cabe evaluar el resultado del proyecto como altamente innovador, cumpliendo con todos los objetivos propuestos. Concretamente, E&Q no tiene constancia de que las técnicas utilizadas para el diseño de los algoritmos de guiado (métodos pseudoespectrales) y para el análisis (IQC), hayan sido utilizadas anteriormente en España con tales fines. NICE ha posicionado a E&Q en el campo del control y guiado de la industria de aeronáutica y defensa europea, habiendo facilitado el desarrollo de herramientas y capacidad esenciales para plataformas aéreas y sus misiones.