

Mantenimiento de software aeronáutico en el EA

Aplicación a RPAs

FERNANDO AGUIRRE ESTÉVEZ
Teniente coronel del Ejército del Aire



RPA de combate Northrop Grumman X-47B junto a un F-18.

Han pasado treinta años desde la llegada del EF-18 (C.15) a España y aunque en aquel momento ya se preveía el importante salto cualitativo que el Ejército del Aire (EA) adquiriría con este Sistema de Armas, pocos podían imaginar el impulso que ello supondría al desarrollo del software aeronáutico.

Ya desde los comienzos del programa, se vislumbró que la única manera de conseguir la disponibilidad requerida a un coste mínimo, era a través de una autonomía nacional en el mantenimiento. Lograr esta anhelada autosuficiencia nacional implicaba la necesidad de potenciar una serie de tecnologías, entre ellas el apoyo al software operativo. Este requisito fue tenido en cuenta en el contrato de adquisición, mediante el adiestramiento de un grupo de especialistas del EA, así como el suministro de he-

rramientas específicas para el diseño, desarrollo, validación, verificación y mantenimiento del software operativo en los computadores del C.15.

Este personal constituiría el núcleo de una unidad de nueva creación, el Centro de Apoyo al Software, con la misión de proporcionar capacidad autónoma al EA de mantenimiento de su propio software, y adoptar una configuración completamente española, independiente de otros países.

Han pasado los años, y actualmente el Centro Logístico de Armamento y Experimentación (CLAEX) ha tomado el testigo del desarrollo del software operativo, además de otras aéreas

como ensayos en vuelo, apoyo logístico al armamento y guerra electrónica (EW). Aglutinar en una única unidad un conjunto tan dispar de cometidos no ha sido fácil, pero indudablemente ha sido el artífice de los notables resultados alcanzados, como la instalación en el C.15 del misil Harpoon, el designador laser Litening, la suite nacional de EW, el misil crucero TAURUS, etc. No menos desdeñables han sido los éxitos obtenidos en otros sistemas de armas como la actualización de sistemas del Mirage F-1 modernizado (C.14M), el F-5 (AE.9) o incluso el Eurofighter (C.16), al conseguir integrar digitalmente el misil IRIS-T y añadir nueva simbología de navegación, por citar algunos de los ejemplos más relevantes.

Pero nuevos retos aparecen en el horizonte, y el EA busca un posible sustituto del C.15 en la figura del FCAS (Futuro Sistema de Combate Aéreo), un “sistema de sistemas” que combinará cazas tripulados y RPAS (Remotely Piloted Aircraft System)



Integración del misil TAURUS en el C.15.



Integración digital del misil IRIS-T en el C.16.

UCAV (Unmanned Combat Air Vehicle) Neuron.

de combate. Las diferencias entre estos vehículos remotos y los convencionales con piloto a bordo conlleva componentes adicionales a tener en cuenta más allá del propio avión, como el GCS (Ground Control Station), un enlace de comunicaciones seguro, el dispositivo de lanzamiento y recuperación, entre otros; lo cual implica consideraciones añadidas a la hora de abordar el mantenimiento del software.

Otro factor significativo a tener en cuenta, es que la transmisión de información entre los equipos de aviónica en las aeronaves convencionales se realiza por medio de buses de datos de alta velocidad, pero en el caso de los RPAs, la conexión entre la plataforma y el GCS tiene que hacerse a través del espectro electromagnético, con las limitaciones inherentes a ello.

MANTENIMIENTO DEL SOFTWARE AERONÁUTICO

Existen diversas definiciones de software, pero quizás la más aceptada sea la introducida por el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers): *Es el conjunto de los programas de cómputo, procedimientos, reglas, documentación y datos asociados, que forman parte de las operaciones de un sistema de computación.*

Si bien el software embarcado representa un subconjunto del software aeronáutico, esta diferencia resulta aún más notoria cuando se habla de RPAs, donde piloto y cockpit no se encuentran a bordo, encontrándose el segmento aéreo y el segmento te-

rrestre separados físicamente, en ocasiones miles de kilómetros. La plataforma aérea, la carga de pago y el módulo de comunicaciones transportable, constituyen el segmento aéreo; mientras que el dispositivo de control, los terminales satélites y de enlace de datos, además de los componentes de lanzamiento y recuperación, entran dentro del denominado segmento terrestre; y la mayoría de estos elementos requieren de algún tipo de software para su funcionamiento.

El mantenimiento del software se puede definir como la modificación de un producto software después de su entrega para corregir defectos, mejorar el rendimiento u otras propiedades deseables, adaptarlo a un entorno distinto, o incorporar nuevas capacidades. En este sentido, el EA estableció la Instrucción General (IG) 70-12 como documento base para normalizar el Ciclo de Modificaciones de un Sistema de Armas, concretando las fases de diseño y desarrollo, y las



Modelo en V. Especificación de requisitos de un OFP (Operational Flight Program).

competencias de cada entidad involucrada. Un Ciclo de Modificaciones contiene no solo cambios de software, sino también otras modificaciones incorporadas en el OFP (Operational Flight Program) como el elemento logístico, alteraciones de hardware en la aeronave, la compatibilidad con el simulador de vuelo, etc.

El OFP es un programa de software operativo de aviónica; esto es, aquel asociado con el funcionamiento interno de los computadores y que permite a otros programas ejecutarse correctamente. Un OFP comienza con la especificación de los requisitos a implementar, adoptando un desarrollo en V: diseño, pruebas en laboratorio, ensayos en tierra y en vuelo. Los últimos pasos serán la verificación, validación, evaluación operativa por las Unidades y finalmente la carga en flota.

Resulta claro que cada día, en mayor medida, los aviones hacen uso de una gran cantidad de software, con sustanciales ventajas, como la disminución de la carga de trabajo de la tripulación, la mejora de la estabilidad, la eficiencia energética, el control de los motores, etc. Sin embargo, cuantos más cambios se incluyen en un OFP, más evidencias deben aportarse a la autoridad certificadora para garantizar el vuelo seguro, en cumplimiento de la normativa de Aeronavegabilidad. En el caso de los RPAs, es necesario contemplar no solo la plataforma, sino el

GCS, el data-link... e incluso factores humanos y ambientales.

SEGURIDAD EN LAS COMUNICACIONES

El 4 de diciembre de 2011, el gobierno iraní anunció que había capturado un RPA Lockheed Martin RQ-170 Sentinel estadounidense cerca de la ciudad de Kashmar. Posteriormente, un especialista iraní reveló en una entrevista, que habían empleado una combinación de ruido



MQ-1 Predator.



El pod Gorgon Stare, bajo el Reaper, identifica y reconoce objetos visualizados previamente.

(jamming) contra las comunicaciones del avión, forzándole a cambiar a piloto automático. A continuación, efectuaron un ataque tipo “spoofing” contra el GPS (Global Positioning System), haciendo creer al vehículo remoto que aterrizaba en Afganistán cuando lo hacía en Irán.

Sea como fuera, la realidad es que Irán hizo un uso intensivo de su aparato de propaganda, mostrando por televisión imágenes del Sentinel capturado, prácticamente in-

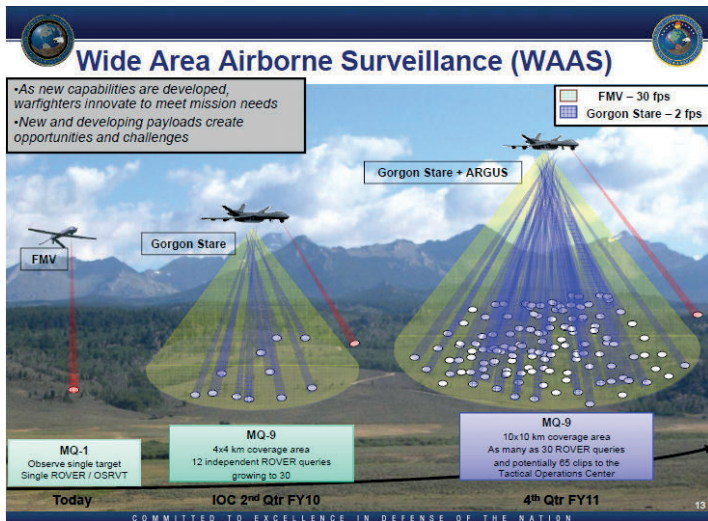
tacto, o vendiendo masivamente pequeños modelos a escala. A raíz de este episodio se tomaron cartas en el asunto y se aceleró la implantación de módulos SAASM (Selective Availability Anti-Spoofing Module), que impiden la suplantación de la señal del satélite en el receptor GPS, siendo recomendable también disponer de un inercial conectado al GPS.

El Sentinel es una plataforma de altas prestaciones del que la USAF (United States Air Force) ha revelado pocos detalles, aunque se supone que se utiliza en misiones de reconocimiento y tiene características furtivas, lo que da idea del daño que este incidente ocasionó al prestigio de los Estados Unidos.

En el verano de 2009, las tropas estadounidenses descubrieron en Iraq un portátil perteneciente a un militante chiita, que contenía va-



General Atomics Aeronautical Systems MQ-9 Reaper.



El pod Gorgon Stare, de inteligencia visual, requerirá considerables recursos de procesado.

ríos videos enviados por los Predators. A decir verdad, algunos Reapers y Predators no cifraban la señal de vídeo en sus misiones de reconocimiento y esto fue aprovechado por los insurgentes para capturar las imágenes de los satélites y descargarlas en formato avi, mp3, mp4,... empleando el programa comercial SkyGrabber.

Otro acontecimiento que trascendió a los medios fue la infección que sufrió la USAF por un virus en octubre de 2011, rumoreándose que la causa había sido un dispositivo de almacenamiento externo. Este hecho fue tan serio que dejó en tierra la flota de Predators y Reapers, cuyo sistema operativo (SO) estaba basado en Windows XP, muy vulnerable al malware, optándose finalmente por migrar a un SO basado en GNU/Linux.



Cabina del MQ-1 Predator.

En comunicaciones, la tendencia reciente es reemplazar componentes tradicionalmente fabricados mediante hardware (amplificadores, moduladores, detectores, mezcladores,...) por procesadores empotrados implementados en software (SDR, Software Defined Radio). Esta opción tiene ventajas en cuanto a una gran adaptación a futuras arquitecturas, así como la aplicación de tecnologías avanzadas de tratamiento de la señal para codificación, compresión, cifrado y modulación; no obstante, esta capacidad de adaptación también constituye una debilidad y un foco de atracción para los hackers.

De hecho, durante el PH-Days (Positive Hack Days) 2016, un



Advanced Cockpit GCS de General Atomics Aeronautical Systems.

foro anual dedicado a la seguridad informática, se celebró una competición consistente en tomar el control de un cuadricóptero Syma X8C.

En estas circunstancias, parece inevitable la necesidad de aumentar la robustez de las comunicaciones, pero un RPA tipo HALE/MALE (High/Medium-Altitude Long Endurance) requiere al menos enlace satelital, ATC (Air Traffic Control), canales para la carga de pago, control de misión y vuelo, monitorización de abordaje, redes externas (C4ISTAR, Command, Control, Communications, Intelligence, Surveillance, Target Acquisition, Reconnaissance; CAOC, Combined Air Operations Centre; C2 tácticos, ...), dispositivos Sense & Avoid, coordinación en vuelo, etc. Evidentemente, transmitir este volumen de información en tiempo real representa una ardua tarea que requiere pre-procesado y compresión de datos, a lo que hay que añadir el coste computacional que requiere el cifrado. Además, es fundamental protegerse de las interferencias (jamming) aplicando técnicas avanzadas de multiplexación, espectro ensanchado o/y salto en frecuencia. En definitiva, con unos medios limitados, tanta carga de trabajo obliga indefectiblemente a priorizar tareas y aplicar tecnologías de optimiza-



Cabina del MQ-9 Reaper.

ción de códigos software para que estos sean más eficientes, empleen menores recursos y tengan mayor rendimiento; todo ello, sin subestimar la importancia del cifrado.

ERGONOMÍA DEL GCS

Si bien, la ausencia de piloto a bordo prescinde de la limitación fisiológica en la maniobrabilidad, permitiendo aumentar dicha maniobrabilidad al límite de la propia aeronave, otras cuestiones deben ser analizadas, como que en estos vehículos el piloto no tiene las sensaciones físicas o visuales que si sentiría a bordo del avión, acerca de maniobras, velocidad, turbulencia,... Toda esta información se visualiza en el GCS por medio de instrumentos y pantallas, la cual tiene que ser interpretada correctamente por la tripulación a fin de que pueda tomar la decisión más apropiada. Actualmente, la cabina de un RPA se concibe como una silla, detrás de un conjunto de pantallas y ordenadores, mandos y luces, un joystick, en un puesto tosco, angosto y aislado, similar a una oficina.

Otro aspecto a tener en cuenta es el factor psicológico; confiar únicamente en los instrumentos no refleja las sensaciones reales que un piloto a bordo percibe, la responsabilidad de un aparato, cuyo alto coste se acerca ya al de las aeronaves convencionales, el elevado riesgo de las misiones encomendadas a los RPAs, fundamentado en que no se pone en peligro la vida de las tripulaciones, las largas jornadas laborales, etc. Qué duda cabe que la experiencia de Estados Unidos en operaciones ha sido determinante, habiéndose confirmado que estos pilotos sufren un enorme stress, donde “estar en una guerra sin salir de casa” no ha sido precisamente una ventaja, sin poder hablar de su trabajo con su familia, en el que tampoco sienten el apoyo de sus compañeros desplegados en zona, que no les consideran combatientes reales.

No obstante, aún hay factores software sobre los que se puede actuar para aliviar la situación, como la aplicación de conceptos ergonómicos al software, centrados en los factores mental y físico de los interfaces entre los operadores y los programas,

la implementación de formatos de visualización y entornos de dialogo fácilmente entendibles y aprendibles, tendentes a potenciar la proactividad y los conocimientos del operador, así como reducir su carga de trabajo. También hay que prestar atención, en lo posible, al espacio en cabina, la comodidad, el ambiente, la iluminación, el nivel sonoro, la temperatura o la humedad. Si bien esta aproximación no es en sí nueva, si lo es su súbito interés, puesto de manifiesto en el Advanced Cockpit GCS, que está siendo perfeccionado por General Atomics Aeronautical Systems para su utilización en los Predators y Reapers.

En consecuencia, el desarrollo de un OFP ha dejado de ser un trabajo ejecutado casi-exclusivamente por programadores para involucrar además los esfuerzos cooperativos de tripulantes, psicólogos y ergonomistas.

CAPACIDAD AUTÓNOMA

Aunque el piloto se encuentre en un lugar distinto al de la aeronave, el nivel de seguridad debe ser equivalente al de la aviación convencional, surgiendo el problema de qué hacer cuando se pierde la conexión con el GCS o con el ATC, la señal es hackeada o se ataca al GPS mediante spoofing. Más allá, el principal desafío que plantean estos aviones es mantener la distancia de separación y las acciones tendentes a evitar otros tráficos, terreno o edificios, tal como lo haría un piloto humano. En estos momentos, la mayoría de los estudios realizados para la integración de los RPAs en espacio aéreo no segregado contienen la obligatoriedad de establecer requisitos Sense & Avoid.

La función Sense detecta el obstáculo y obtiene información de sus características, mientras que la función Avoid procesa esta información y propone al piloto una respuesta, dependiendo del modo en que se encuentre (evitación de la colisión/separación del tráfico). Pero en caso de pérdida de contacto, el sistema debe ser lo suficientemente robusto como para funcionar con un cierto grado de autonomía; sin embargo, esta medida no es bien vista por la opinión pública que desconfía ante la idea de que no haya una persona tras la máquina.



Tecnología Sense&Avoid.



X-47B a punto de repostar de un K-707.

Con la experiencia de frecuentes caídas del enlace (LOL, loss of link), es necesario disponer de protocolos de actuación en caso de ausencia del piloto, tales como continuar la misión programada previamente hasta reestablecer la conexión, volver al último punto donde existía contacto, abortar y regresar a Base, etc. siendo preciso dotarse de algún algoritmo que permita elegir la mejor actuación en cada momento. Autonomía es la capacidad de operar sin intervención externa, pero el grado de decisión requerido en este análisis involucra a la Inteligencia Artificial (IA), o facultad de

razonamiento que ostenta una máquina, y aunque existen múltiples de formas de abordar esta idea, Minsky ha propuesto la división de la inteligencia en seis niveles:

- 1 Reacciones instintivas.
- 2 Reacciones aprendidas.
- 3 Pensamiento deliberado.
- 4 Pensamiento reflexivo.
- 5 Pensamiento auto-reflexivo.
- 6 Reflexión auto-consciente.

El primer nivel se corresponde con respuestas pre-programadas a estímulos, en el segundo nivel las respuestas están basadas en el aprendizaje, mientras que en el tercero se evalúan varias opciones y se elige la más idónea. Este último es un problema difícil porque muchas decisiones influyen en otras y la complejidad crece radicalmente. Los tres niveles más bajos pueden ser implementados actualmente en un ordenador, los más altos supone un problema extraordinariamente difícil.

La lógica de un misil aire-aire o superficie-aire responde a un comportamiento instintivo tipo respuesta-estímulo, en tanto que las tecnologías de aprendizaje automático, como redes neuronales, están siendo incorporadas en algunos sistemas de estos vehículos remotos, como controladores de vuelo o procesado de imágenes.

El repostado en vuelo se considera esencial en estos vehículos, a fin de incrementar la persistencia y mantener una presencia aérea sobre la

zona de conflicto durante elevados periodos de tiempo. Esta capacidad, en su vertiente autónoma, implica el nivel de pensamiento deliberado, al tener que decidir cuando el reabastecimiento es necesario, que tanquero elegir o adelantar el repostado si el tanquero se encuentra en las cercanías.

CONCLUSIONES

Aunque el EA ha adquirido una amplia experiencia en el mantenimiento del software operativo, el advenimiento de los RPAs debe contemplar nuevas implicaciones en esta materia, a tenor de las diferencias existentes con la aviación tradicional.

Así, el establecimiento de protocolos de cifrado en las comunicaciones, unido al importante consumo de recursos computacionales necesarios en los enfrentamientos actuales, podría hacer caer en la tentación de relajar dichas actuaciones de seguridad en beneficio del procesado operativo. Sin embargo, el desprestigio que ocasiona a las Fuerzas Armadas que sus ordenadores sean hackeados resulta, ante todo, disuasorio, sin contar el daño real que esto pueda ocasionar. En su lugar, aplicar técnicas software para priorizar tareas y optimizar códigos, en pos del rendimiento y la eficiencia.

Las cabinas de los RPAs deben ser optimizadas y adaptadas a las largas jornadas que tienen que soportar los tripulantes. Los programadores tienen que adoptar conceptos ergonómicos aplicados al software, no solo en el diseño, sino también en el mantenimiento, planteando esquemas de visualización y entornos amigables, que permitan reducir la carga de trabajo y aumentar la eficacia en la respuesta.

Tampoco puede obviarse la tan controvertida capacidad autónoma en estos vehículos, tendentes a sufrir frecuentes caídas de enlace, requiriendo constantes intervenciones software, dado que pudiera ser necesario modificar la jerarquía y estructura de los protocolos de comportamiento, dependiendo incluso del escenario bélico. •



Reconocimiento de patrones utilizando algoritmos de aprendizaje automático.