

Planificador de Búsqueda en Tiempo Mínimo en un Sistema de Control de RPAS

Sara Pérez Carabaza, Eva Besada Portas, José Antonio López Orozco, Jesús Manuel de la Cruz
Departamento de Arquitectura de Computadores y Automática. Universidad Complutense de Madrid
sapere04@ucm.es, evabes@dacya.ucm.es, jalo@dacya.ucm.es, jmacruz@fis.ucm.es

Resumen

El gran número de nuevas aplicaciones y misiones en las que intervienen RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) y su creciente complejidad conlleva un notable interés por la investigación sobre la incorporación de nuevas tecnologías en sistemas de control de RPAS. En concreto, será necesario incorporar nuevos automatismos en las Estaciones de Control de Tierra (GCS, Ground Control Station) para evitar la sobrecarga del operador y conseguir un desempeño óptimo de las misiones.

Entre las distintas misiones que lleva a cabo un operador de RPAS, se encuentran las tareas de búsqueda en tiempo mínimo (MTS, Minimum Time Search), en las cuales uno o más objetivos necesitan ser encontrados lo antes posible. Por lo tanto, un planificador MTS, que proponga al operador trayectorias de búsqueda óptimas y permita visualizar la información más relevante sobre la misión, puede ser de gran utilidad, al reducir parte de la carga de trabajo del operador durante las misiones de búsqueda. En este artículo se presenta un nuevo planificador MTS y su proceso de integración en una GCS. Como fruto de la integración se pueden validar los resultados del planificador en entornos simulados complejos y se ha dotado a la GCS de nuevas capacidades de planificación.

Palabras clave: Búsqueda en Tiempo Mínimo, Sistema Aéreo Pilotado Remotamente, Estaciones de Control de Tierra

1. INTRODUCCIÓN

Los RPAS son aeronaves no tripuladas operadas de manera remota por uno o varios operadores de tierra. Los RPAS presentan varias ventajas frente a los sistemas tripulados, por ejemplo, un menor coste, mayor maniobrabilidad y reducción del riesgo de pérdida de vidas humanas, lo que resulta una gran ventaja en misiones que transcurren en zonas adversas. Sin embargo, misiones complejas o que involucren varios RPAS pueden derivar en una sobrecarga de trabajo para el operador. Por lo tanto, uno de los desafíos en este campo de investigación



Figura 1: Diagrama con las principales líneas de investigación del proyecto SAVIER.

es la automatización de tareas y la inclusión de las nuevas tecnologías en los sistemas de control de RPAS, de manera que reduzcan carga de trabajo del operador.

El trabajo presentado en este artículo se encuentra dentro de un proyecto de colaboración entre varias Universidades españolas y la empresa Airbus. El proyecto incluye diversas líneas de investigación relacionadas con las futuras generaciones de GCS de dicha empresa y resumidas en la Figura 1. Por una parte, para una gestión óptima de flotas de RPAS de manera remota será muy importante conseguir que el operador mantenga el contexto de la misión (situational awareness) con interfaces multimodales adecuadas [4], que incorporen tecnologías de control de gestos [7] o reconocimiento de audio [2]. Además, la mayor portabilidad e interoperabilidad de las futuras GCS necesitará nuevos sistemas y protocolos de seguridad [9]. Por otro lado, un creciente número de RPAS de diferentes características deberán coexistir en el espacio aéreo, haciendo necesario la definición de nuevos conceptos de operación y cumplimiento de nuevas normativas que regularán el espacio aéreo [1]. Desde la perspectiva del usuario, resulta interesante la investigación sobre el diseño de sistemas de entrenamiento de futuros operadores, que permitan detectar distintos perfiles de comportamiento y determinar que situaciones producen un mayor nivel de estrés al operador [13], nivel que podrá ser

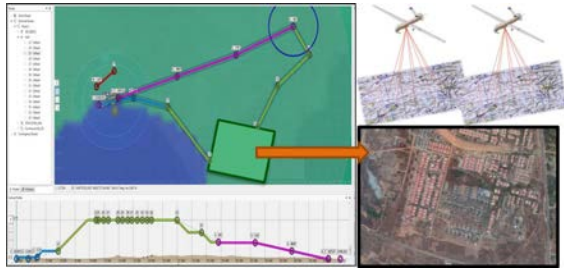


Figura 2: Vista de una tarea de búsqueda dentro de un plan de misión en una estación de tierra.

determinado por sensores no intrusivos [3]. Otras líneas de investigación tienen como objetivo reducir la carga de trabajo del operador, por ejemplo, mediante herramientas que propongan planes óptimos para conseguir los distintos objetivos de las misiones [12]. Concretamente, nuestra línea de investigación del proyecto se centra en el desarrollo de herramientas que sean de utilidad durante misiones de búsqueda de objetivos en tiempo mínimo (MTS).

El problema MTS consiste en localizar en el menor tiempo posible un objetivo del cual se desconoce su ubicación. Las primeras investigaciones sobre el problema MTS comenzaron con los problemas de búsqueda de objetivos surgidos durante la Segunda Guerra Mundial. Actualmente este tipo de problemas tiene numerosas aplicaciones tanto militares como civiles, tales como búsqueda de supervivientes tras desastres naturales, búsqueda marítima de barcos o aviones accidentados, etc. En este artículo se expone el trabajo realizado hasta el momento en la investigación sobre la automatización de misiones de búsqueda en tiempo mínimo y su integración en una GCS real.

En nuestro caso, la búsqueda la realizan RPAS que llevan sensores capaces de realizar medidas de detección sobre el objetivo. Para llevarla a cabo, se usan algoritmos de búsqueda que optimizan las trayectorias de los RPAS a partir de la información disponible (sobre las áreas de localización más probables del objetivo, de los sensores, etc).

En la literatura podemos encontrar varios algoritmos de búsqueda que emplean diferentes técnicas de optimización como algoritmos de colonias de hormigas [10], algoritmos genéticos [11], optimización de entropía cruzada [5], optimización bayesiana [6], etc. Aunque algunos algoritmos de búsqueda ya se han probado en misiones reales [16], no se encuentran aún en la literatura trabajos sobre su integración en un sistema de control de RPAS (UCS, UAV Control System).

En éste trabajo se presentan dos contribuciones principales relacionadas con este proceso de in-

tegración. Por una parte, tomando como punto de partida el algoritmo de búsqueda presentado en [11], se analizan las diferentes partes que consideramos que debería tener un planificador de búsqueda para su uso por un operador y se presenta un prototipo realizado. Por otro lado, también se presenta el estado actual de integración de este planificador de búsqueda en una GCS perteneciente a Airbus.

A modo de resumen, en la Figura 2 se muestra un esquema de la planificación de una misión de búsqueda desde una GCS. A la izquierda se representa la información de un plan de misión mostrada por una GCS, donde la trayectoria del RPAS queda definida por una serie de puntos de paso (waypoints). Además, el área donde se va a realizar la búsqueda se representa con un polígono y en la parte inferior de la GCS se muestra el perfil de altura de la trayectoria.

La organización del artículo es la siguiente. En la sección 2 se describen las partes más importantes de los sistemas de control de RPAS. En la sección 3 se introducen los algoritmos de búsqueda y se presenta nuestro planificador MTS. En la sección 4 describe el proceso de integración del planificador MTS en un sistema de control de RPAS de Airbus. Y finalmente, en la sección 5 se recogen las conclusiones y se presentan la líneas de trabajo futuro.

2. ESTRUCTURA GENÉRICA DE UN UCS

En los sistemas que permiten utilizar RPAS para realizar diversas misiones se pueden distinguir varios subsistemas [15, 4], representados en el bloque izquierdo de la Figura 3:

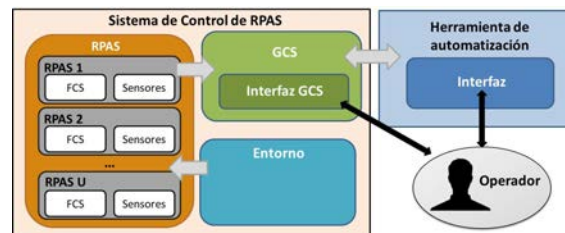


Figura 3: Esquema genérico de un UCS.

- RPAS; Sistema compuesto por la plataforma de vuelo; su carga de pago (sensores de tipo electro-ópticos, infrarrojos, etc) y el Sistema de Control de Vuelo (FCS, Flight Control System) compuesto por sistemas de posicionamiento (GPS u otros), computador a bordo, etc.

- Estación de Control de Tierra (GCS); Entre sus funciones se encuentran la de monitorizar el estado de los RPAS, definir diferentes misiones o mandar comandos específicos a los RPAS. Generalmente, disponen de un visor gráfico donde se representa el plan de misión y la información recibida, por ejemplo tal y como se muestra en la captura izquierda de la Figura 2.
- Sistema Comunicaciones; Enlaces de comunicación entre los RPAS y la GCS, encargados de enviar, por un lado, la información de la misión desde la GCS a los RPAS, y por otro, de informar del estado e información adquirida por los RPAS a la GCS.
- Entorno; representa el mundo, ya sea real o simulado. La información que llega a la GCS sobre éste es recogida gracias a los sensores de los RPAS.

En el caso de un simulador de UCS, tanto el entorno como los sensores y FCS pueden ser simulados. Los simuladores UCS pueden tener diversas funciones, como por ejemplo, entrenamiento de futuros usuarios o validación de nuevas tecnologías. En el mejor de los casos, la arquitectura del simulador UCS y las comunicaciones no deben diferenciarse de un UCS no simulado, de manera que el usuario tenga la misma experiencia que al comandar un RPAS o que el simulador permita una primera validación de las nuevas tecnologías.

Por último, una parte fundamental, que podemos considerar como parte de cualquier UCS o como agente externo que interactúa con ella, es el operador (u operadores). El operador tiene diversas funciones como, establecer los objetivos y plan de la misión, monitorizar el estado de los RPAS y la información recibida de la carga de pago, actuar ante las posibles incidencias o imprevistos, etc. Toda estas tareas pueden llevar a una sobrecarga del operador, que además se verá acentuada con la mayor complejidad de las misiones, imprevistos o número de RPAS o sensores.

Por este motivo, alcanzar un mayor grado de automatización en las UCS podrá evitar un empeoramiento del rendimiento o resultados no deseados. Esto puede conseguirse mediante el uso de herramientas de automatización (por ejemplo un planificador). Tal y como se muestra en la Figura 3, las herramientas de automatización se comunican con el UCS a través de la GCS, encargada de comandar o monitorizar el estado de los RPAS, y a la que le llega información del entorno gracias a los sensores. El operador interactúa con el UCS a través de las interfaces gráficas de la GCS y de las herramientas de automatización. En el caso de

misiones de búsqueda, una herramienta de automatización que planifique las trayectorias de los RPAS puede resultar de gran utilidad.

3. PLANIFICADOR MTS

En esta sección se describen los elementos básicos de los algoritmos de búsqueda y se presenta el planificador MTS realizado, desarrollado para ayudar a los operadores del GCS durante las misiones de búsqueda de los RPAS.

3.1. ALGORITMOS DE BÚSQUDA

Los algoritmos MTS devuelven las trayectorias óptimas de búsqueda de acuerdo a una cierta función objetivo en la que se utiliza la información disponible. En la Figura 4 se resumen las entradas y salidas básicas un algoritmo de búsqueda.

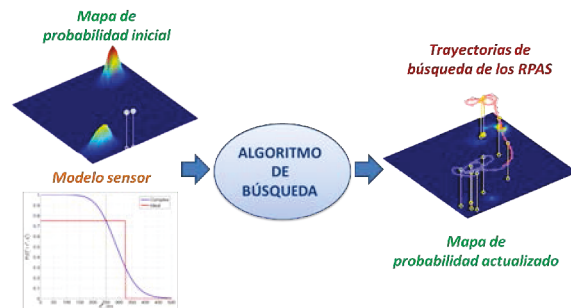


Figura 4: Principales entradas y salidas de un algoritmo de búsqueda.

Las principales entradas de un algoritmo de búsqueda son:

- Un mapa de probabilidades inicial que contiene la información disponible sobre la localización del objetivo, que puede depender del tipo de objetivo, terreno, carreteras u otras fuentes. Para su construcción se discretiza la zona de búsqueda y a cada celda se le asigna una probabilidad de que el objetivo se encuentre en ella. En la Figura 4 se puede ver una de mapa de probabilidades con dos zonas donde se acumula la mayor parte de probabilidad. Además los dos círculos representan las posiciones iniciales de los RPAS.
- Un modelo probabilístico del sensor que contiene la información sobre las capacidades de los sensores que van a ser utilizados durante la búsqueda. Asumiendo que la posición del sensor y del RPAS coinciden, el modelo del sensor informa de la probabilidad de realizar una medida en función de la posiciones del objetivo y del RPAS. Generalmente se consideran dos posibles medidas complementarias

del sensor: detección y no detección del objetivo [5, 11, 10]. En la Figura 4 vemos las curvas de dos ejemplos de modelos de sensor, en las que se representa la probabilidad de detección frente a la distancia entre objetivo y el RPAS. En rojo se muestra el comportamiento de un sensor ideal con probabilidad de detección 1 en el caso de que la distancia entre el objetivo y el sensor sea menor que un determinado valor, y en azul una probabilidad de detección más realista decreciente con la distancia.

Además de estas entradas, en el caso de que el objetivo no sea estático, se pueden considerar modelos probabilísticos de la dinámica del objetivo. Por ejemplo, en el caso de búsqueda marítima, éste puede contener información sobre las corrientes marinas.

Las principales salidas de un algoritmo de búsqueda son:

- Las trayectorias de búsqueda de los RPAS. Una vez alcanzada la condición de parada del algoritmo (por ejemplo tiempo de cómputo o número de iteraciones máximas), el algoritmo retornará las mejores soluciones (trayectorias) encontradas hasta el momento. En la Figura 4, se representa un ejemplo de trayectorias de búsqueda con las que cada RPAS se dirige hacia a una de las dos zonas de alta probabilidad.
- El mapa de probabilidades actualizado correspondiente a la trayectoria de búsqueda devuelta por el algoritmo. El mapa de probabilidades se actualiza teniendo en cuenta las trayectorias de los RPAS y el modelo del sensor considerado, utilizando un estimador recursivo bayesiano [11]. En la Figura 4, se puede observar una disminución de las probabilidades del mapa bajo las zonas que han sobrevolado los RPAS.

Los diferentes algoritmos de búsqueda se diferencian en el tipo de algoritmo utilizado (en este trabajo el algoritmo genético presentado en [11]) y en los diferentes modelos probabilísticos empleados. Además, el modelo y las restricciones dinámicas consideradas de los RPAS determinarán la forma de trayectorias que manejará el algoritmo. En el caso de un modelo dinámico que únicamente considere movimientos de la celda actual del RPAS a las celdas adyacentes del mapa [10, 5], las trayectorias tendrán giros abruptos difíciles de seguir por un RPAS. En nuestro caso, utilizamos un modelo dinámico que permite definir restricciones dinámicas como el radio mínimo de giro, de manera que

las trayectorias obtenidas son factibles desde el punto de vista de maniobrabilidad de RPAS reales [11].

Otra característica que diferencia a los distintos algoritmos de búsqueda es el criterio seguido para determinar la calidad de las soluciones. En nuestro caso empleamos una optimización multi-objetivo, que permite optimizar diferentes criterios escogidos por el operador, como el tiempo de detección esperado o el combustible consumido [11]. Sin embargo, al tratarse de problemas MTS, el principal objetivo a optimizar será siempre el valor esperado del tiempo de detección del objetivo [14].

3.2. PROTOTIPO DE UN PLANIFICADOR MTS

Se ha desarrollado una interfaz gráfica (GUI, Graphical User Interface) por dos motivos principales: por un lado, como una herramienta que facilita la investigación sobre los algoritmos de búsqueda y por otro, con el objetivo de disponer de una herramienta que pueda resultar útil para un operador en las misiones de búsqueda.

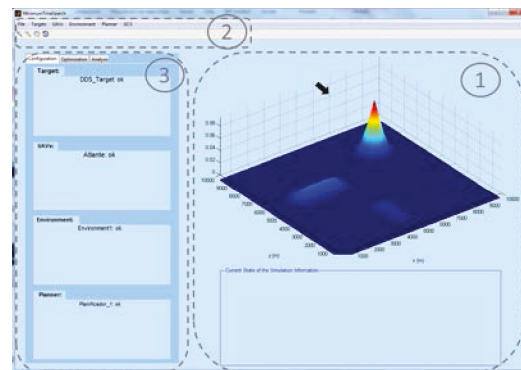


Figura 5: Disposición de la ventana principal de la GUI del planificador MTS.

En la Figura 5 se muestra la pantalla principal de la interfaz gráfica, donde se divide la información más relevante en 3 paneles diferentes:

1. Un panel de visualización general que permite al operador hacerse una idea rápidamente de la situación actual del escenario de búsqueda (situational awareness). En dicho panel, sobre el área de búsqueda (en la Figura 5 una región rectangular de 1000x1000 metros), se indica la posición de los RPAS con flechas y los valores del mapa de probabilidad sobre cada celda con diferentes alturas y colores (cálidos/fríos para probabilidades elevadas/bajas). El planificador MTS permite también simular las trayectorias de búsqueda y representarlas (tal y como se muestra en la Figura 6) sobre este mismo panel.

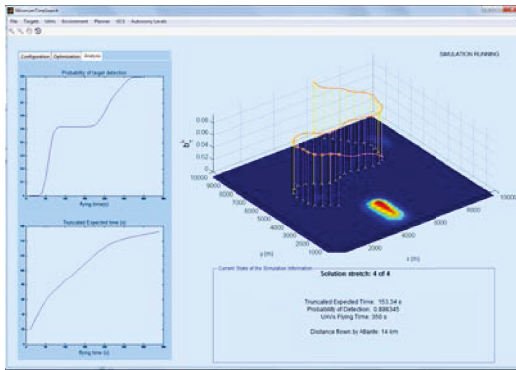


Figura 6: Ventana principal del planificador MTS durante una simulación.

2. Un menú principal con diversas ventanas emergentes para cargar, modificar o ver información sobre los distintos elementos del problema MTS: el menú de *Target* se usa para acceder a la información del mapa de probabilidades, el menú *UAVs* da acceso a información sobre posiciones, sus sensores y restricciones dinámicas, etc; y el menú *Environment* engloba a los diferentes elementos del entorno, como zonas de vuelo prohibidas. Además, el menú *File* permite guardar y cargar escenarios de búsqueda o simulaciones, el menú *Planner* elegir el algoritmo de búsqueda, modificar parámetros (como condición de parada o criterios a optimizar) y lanzar la optimización; y el menú *GCS* da acceso a la comunicación con la GCS.
3. Panel Informativo que muestra información dependiente de la pestaña seleccionada, asociada a cada una de las fases principales de uso del planificador: la fase la definición del escenario de búsqueda (*Configuration*), la fase de optimización (*Optimization*) y la fase de simulación de la trayectoria de búsqueda devuelta como solución del algoritmo (*Analysis*). Durante la fase de configuración, el panel muestra el estado de los diferentes elementos que definen el escenario de búsqueda y que son imprescindibles para comenzar la optimización. Durante la optimización (solo disponible cuando el escenario está totalmente definido), el panel muestra información sobre la calidad de las soluciones encontradas hasta el momento por el algoritmo, además de otra información como el número de iteraciones realizadas y el tiempo de computación requerido. Por último, en la vista durante la simulación de una trayectoria de búsqueda, que se muestra en la Figura 6, se representan la probabilidad de detección y tiempo esperado obtenido frente al tiempo de vuelo del RPAS.

4. INTEGRACIÓN EN UCS DEL PLANIFICADOR MTS

En esta sección se recoge el proceso de la integración del planificador MTS en la GCS de Airbus. Para ello se describen secuencialmente los intercambios de información entre el planificador MTS y la GCS que tienen lugar en un ejemplo de misión de búsqueda, Figura 7. Cada uno de los pasos se describen primero desde un enfoque general hasta el detalle de la integración realizada. Aunque el planificador MTS permite optimizar las trayectorias de búsqueda de varios RPAS, la GCS en la que se ha integrado tiene capacidad para una única plataforma, luego en el ejemplo mostrado se utiliza un único RPAS en la misión de búsqueda.

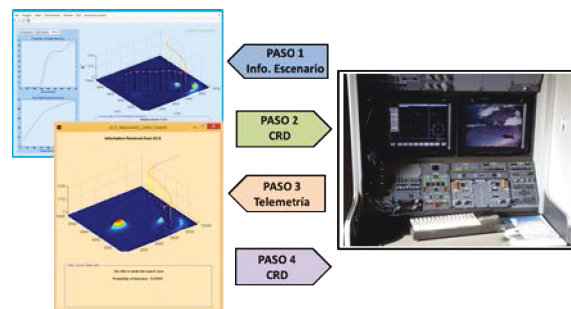


Figura 7: Esquema de interacción entre planificador MTS y la GCS.

Las comunicaciones establecidas en la integración del planificador de búsqueda en la GCS de Airbus se basan en el estándar STANAG 4586 desarrollado por la OTAN [8], cuya principal motivación es incrementar la interoperabilidad de los UCS, de manera que la GCS pueda comunicarse con RPAS de distintos fabricantes. El intercambio de información y mensajería se realiza mediante el Servicio de Distribución de Datos RTI (DDS, Data Distribution Service), que especifica un middleware de tipo publish/subscribe, cuyo objetivo es la transmisión fiable de datos en entornos distribuidos con requisitos de tiempo real. Mediante el paradigma de publish/subscribe de DDS se comparten unidades de información (tópicos) entre un publicador de información (writer) y uno o varios suscriptores (readers). En la Figura 8 se muestran algunos de los tópicos utilizados para la integración de nuestro planificador MTS en la GCS de Airbus.

A continuación se describen las interacciones que tienen lugar entre el planificador MTS y la GCS en un misión de búsqueda.

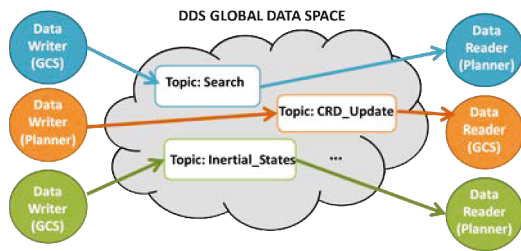


Figura 8: Paradigma publish/subscribe en DDS.

Paso 1: La GCS envía la información relativa a la búsqueda al planificador MTS. En concreto, se envía la posición (latitud, longitud y altitud) del área de búsqueda, sus dimensiones (alto, ancho y ángulo de giro) y las posiciones del punto de entrada y salida del área de búsqueda.

La transmisión de esta la información relativa a la búsqueda se realizó mediante el envío, desde la GCS al planificador, del tópicos DDS *Search* que se presenta en la Figura 8.

Otra información relevante, como el mapa de probabilidades, longitud o restricciones de la trayectoria a optimizar, es configurada directamente desde el planificador MTS.

Paso 2: Considerando la información recibida desde la GCS, el planificador realiza la optimización y propone una trayectoria de búsqueda al operador. Si el operador acepta la trayectoria se procederá al envío de esta a la GCS. Antes del envío, la trayectoria de búsqueda deberá transcribirse a un formato compatible con la definición de rutas que siga la GCS.

Para la integración de nuestro planificador en la GCS de Airbus, transformamos la trayectoria obtenida (en el plano cartesiano) al formato Common Route Definition (CRD), definición estándar para las rutas según el protocolo STANAG 4586. Según el formato CRD, una ruta queda definida por un conjunto de waypoints, cuyas características quedan especificadas mediante un conjunto de etiquetas (tags), definidas en el CRD Interface Control Document, que siguen un lenguaje de marcas (XML, eXtensible Mark-up Language). Para poder exportar la trayectoria de búsqueda obtenida por el planificador MTS al formato CRD, la trayectoria se discretiza en un conjunto de waypoints, cada uno de ellos con su correspondiente latitud, longitud, altitud y un parámetro que permite describir los giros a realizar por el RPAS.

Justo después de haber realizado el envío de la trayectoria de búsqueda en el formato CRD desde el planificador a la GCS, para indicarle a la GCS que hay una nueva ruta disponible, se envía el tópicos *CRD_Update* de la Figura 8. Al recibir

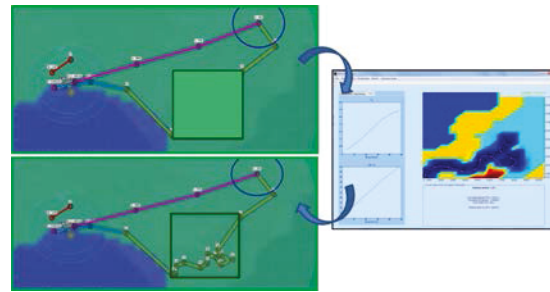


Figura 9: Incorporación en la GCS de una ruta de búsqueda generada por el planificador MTS.

este tópicos la GCS añade automáticamente la ruta de búsqueda al plan de misión general y permite al operador utilizarla si lo considera oportuno. En la Figura 9 se puede ver un ejemplo en el cual el planificador obtiene una trayectoria de búsqueda que es incorporada al plan de misión general, en la imagen inferior podemos ver los waypoints resultantes tras la discretización de la trayectoria obtenida por el planificador MTS.

Paso 3: Una vez a comenzada la misión, durante el vuelo del RPAS, el planificador MTS se pone a la escucha de información del estado del RPAS (posición) y sobre posibles eventos (detección del objetivo buscado).

En particular, la telemetría se recibe a través del tópicos DDS con identificador *Inertial_States*, que contiene información sobre la posición actual del RPAS (latitud, longitud, altitud, velocidad...). Utilizando esta información el planificador puede representar en tiempo real la posición del RPAS sobre el mapa de probabilidades (imagen inferior en naranja de la Figura 7), permitiendo al operador monitorizar la misión de búsqueda tanto desde la GCS como desde nuestro planificador.

Paso 4: Dependiendo de los eventos recibidos sobre la misión el planificador MTS podrá replanificar y enviar una nueva ruta a la GCS.

En el caso de recibir un evento de detección del objetivo se envía una nueva ruta (formato CRD) que dirige al RPAS directamente desde su posición actual al punto de salida del área de búsqueda.

5. CONCLUSIONES

La incorporación de nuevas tecnologías y automatismos en las futuras generaciones de GCS facilitará el trabajo de los operadores, permitiendo ejecutar con éxito misiones que en las GCS actuales les supondrían una carga de trabajo excesiva. Uno de estos automatismos son los planificadores, que gracias a su algoritmia proponen rutas óptimas (en nuestro caso de búsqueda) al operador.

Además, para que una herramienta sea útil para un operador debe permitirle tener conocimiento de lo que está sucediendo (situational awareness), por lo que hemos desarrollado una interfaz gráfica que presenta la información más relevante sobre la misión de búsqueda. Otro requisito básico es su uso en un entorno real. Con este objetivo en mente, se ha integrado el planificador MTS con un simulador UCS de Airbus siguiendo el estándar internacional de la OTAN para comunicaciones en UCS, tanto para el envío de rutas de vuelo como para la recepción de telemetría.

Como trabajo futuro queremos realizar la integración de nuestro planificador MTS en una GCS que soporte el uso simultáneo de múltiples RPAS. Además de seguir investigando en las posibilidades de interacción del operador con el planificador de búsqueda. En esta línea, consideramos que sería muy interesante la definición de distintos niveles de autonomía del planificador, desde un nivel más bajo en el que el operador pueda modificar o proponer rutas de búsqueda, hasta un nivel más alto en el que se realice una búsqueda automática.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por Airbus Defence and Space con el proyecto SAVIER AER-30459.

Referencias

- [1] Ricardo Román Cordón, Francisco Javier Sáez Nieto, and Cristina Cuerno Rejado. Rpas integration in non-segregated airspace: the sesar approach.
- [2] Fernando de-la Calle-Silos, Francisco J Valverde-Albacete, Ascensión Gallardo-Antolín, and Carmen Peláez-Moreno. Morphologically filtered power-normalized cochleograms as robust, biologically inspired features for asr. *Audio, Speech, and Language Processing, IEEE/ACM Transactions on*, 23(11):2070–2080, 2015.
- [3] Francisco Hernando-Gallego and Antonio Artés-Rodríguez. Individual performance calibration using physiological stress signals. *arXiv preprint arXiv:1507.03482*, 2015.
- [4] Juan Jesus Ruiz, J.R Martinez-de Dios, Jose Antonio Cobano, and Anibal Ollero. A multi-payload simulator for cooperative uas missions. *ICUAS*, 2016.
- [5] Pablo Lanillos, Eva Besada-Portas, Gonzalo Pajares, and Jose J. Ruz. Minimum time search for lost targets using cross entropy optimization. In *Proc. IEEE/R SJ Int. Conf. Intell. Robots and Systems*, pages 602–609, Oct. 2012.
- [6] Pablo Lanillos, Javier Yañez Zuluaga, José Jaime Ruz, and Eva Besada-Portas. A bayesian approach for constrained multi-agent minimum time search in uncertain dynamic domains. In *Proc. of the 15th Conf. on Genetic and Evolutionary Computation (GECCO)*, pages 391–398, Jul. 2013.
- [7] Tomas Mantecon, Ana Mantecon, Carlos R del Blanco, Fernando Jaureguizar, and Narciso Garcia. Enhanced gesture-based human-computer interaction through a compressive sensing reduction scheme of very large and efficient depth feature descriptors. In *Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS), 2015 12th IEEE International Conference on*, pages 1–6. IEEE, 2015.
- [8] North Atlantic Treaty Organization. *Standard Interfaces of UAV Control System (UCS) for NATO UAV Interoperability*, 3 edition, 2012.
- [9] Fidel Paniagua Diez, Diego Suarez Touceda, Jose Maria Sierra Camara, and Sherali Zeadally. Toward self-authenticable wearable devices. *Wireless Communications, IEEE*, 22(1):36–43, 2015.
- [10] Sara Perez Carabaza, Eva Besada Portas, Jose A. Lopez Orozco, and Jesus M. de la Cruz. Resolucion del problema de busqueda en tiempo minimo mediante colonias de hormigas. *Actas de las XXXVI Jornadas de Automática*, 2015.
- [11] Sara Perez Carabaza, Eva Besada Portas, Jose A. Lopez Orozco, and Jesus M. de la Cruz. A real world multi-uav evolutionary planner for minimum time target detection. *GECCO*, 2016.
- [12] Cristian Ramírez-Atencia, Gema Bello-Orgaz, Maria D R-Moreno, and David Camacho. Branching to find feasible solutions in unmanned air vehicle mission planning. In *Intelligent Data Engineering and Automated Learning—IDEAL 2014*, pages 286–294. Springer, 2014.
- [13] Victor Rodriguez-Fernandez, Hector D Mennendez, and David Camacho. Design and development of a lightweight multi-uav simulator. In *Cybernetics (CYBCONF), 2015 IEEE 2nd International Conference on*, pages 255–260. IEEE, 2015.

- [14] Alejandro Sarmiento, Rafael Murrieta-Cid, and Seth Hutchinson. An efficient motion strategy to compute expected-time locally optimal continuous search paths in known environments. *Advanced Robotics*, 23(12-13):1533–1560, 2009.
- [15] Jesus Velasco Carrau, Sergio García-Nieto Rodríguez, Gilberto Reynoso Meza, and Javier Sanchís Saez. Desarrollo y evaluación de una estación de control de tierra para vehículos aéreos no tripulados. *Actas de las XXXIII Jornadas de Automática*, 2012.
- [16] Sonia Waharte and Niki Trigoni. Supporting search and rescue operations with uavs. In *Emerging Security Technologies (EST), 2010 International Conference on*, pages 142–147. IEEE, 2010.