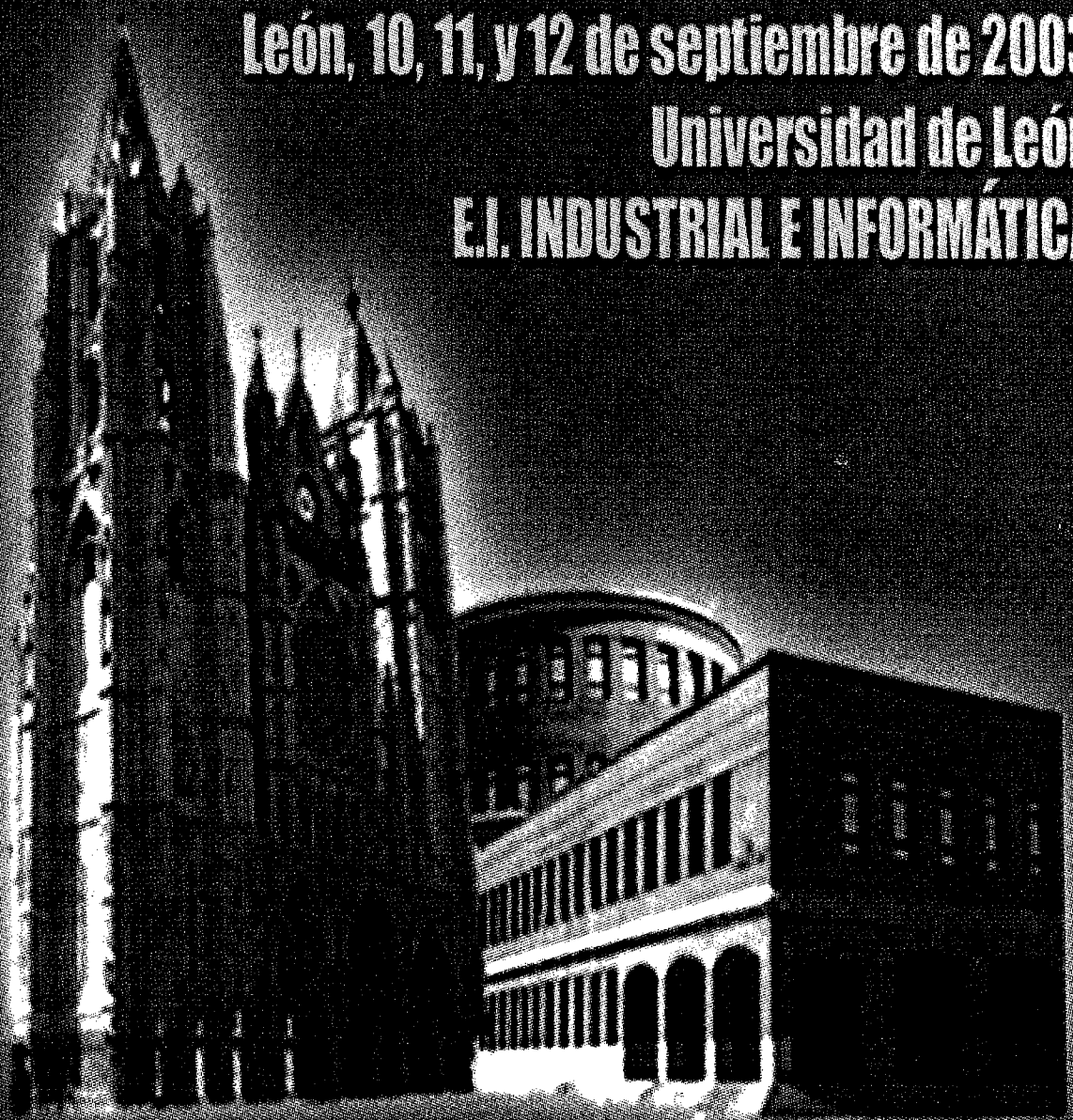


XXIV JORNADAS DE AUTOMÁTICA

León, 10, 11, y 12 de septiembre de 2003

Universidad de León

E.I. INDUSTRIAL E INFORMÁTICA



Organizan:



UNIVERSIDAD
DE LEÓN



Entidades colaboradoras



MINISTERIO
DE CIENCIA Y
TECNOLOGÍA



JUNTA DE
CASTILLA Y LEÓN



COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS
SUPERIORES INDUSTRIALES DE
ASTURIAS Y LEÓN
DELEGACIÓN DE LEÓN



DIPUTACIÓN
DE LEÓN



AYUNTAMIENTO
DE LEÓN



COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS
TÉCNICOS INDUSTRIALES DE LEÓN

Miguélez



Mertel
comunicaciones



GRANI ROC



TELEOPERACIÓN DE HELICÓPTEROS PARA MONITORIZACIÓN AÉREA EN EL SISTEMA MULTI-UAV COMETS

J. Alcázar, F. Cuesta, A. Ollero, C. Nogales y F. López-Pichaco

Grupo de Robótica, Visión y Control
Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla
Camino de los Descubrimientos s/n
41092 Sevilla (España)
E-mail: aollero@cartuja.us.es

Resumen

En este artículo se muestra un sistema de teleoperación que pretende integrar helicópteros radiocontrolados en el sistema multi-UAV COMETS. COMETS es un proyecto del programa IST de la Comisión Europea. Su principal objetivo es la coordinación y control en tiempo real de una flota heterogénea de vehículos aéreos no tripulados (UAV). La integración de helicópteros manejados por humanos en este sistema necesita de la implementación de las herramientas de asistencia en vuelo que muestran en este artículo.

Palabras Clave: Vehículos Aéreos Autónomos, Interfaz Persona-Máquina, Sistema de Teleoperación, Percepción.

1 INTRODUCCIÓN

El empleo de vehículos aéreos no tripulados ha cobrado un importante auge en los últimos años, poniéndose de manifiesto su interés para la realización de tareas peligrosas como monitorización de zonas catastróficas, localización de víctimas, inspección de infraestructuras en lugares de difícil acceso y otras muchas en las cuales el empleo de vehículos tripulados es difícil o peligroso [1-9]. Asimismo, estos vehículos no tripulados son de interés para otras aplicaciones de vigilancia, fotografía, producción cinematográfica, etc. debido a los menores costes involucrados.

En la actualidad existen muy diferentes tipos de vehículos aéreos no tripulados o Unmanned Aerial Vehicles (UAV) con muy diferente autonomía y capacidades de procesamiento de información. Desde sistemas pilotados remotamente, tales como los convencionales RPV que requieren mantener visión directa del vehículo y una duración de vuelo muy limitada, hasta las plataformas con grandes capacidades de vuelo tales como las que se conocen

con el nombre de “HALE (High Altitude/Long Endurance)” que son capaces de volar a gran altura (hasta 20 Km.) y poseen un gran rango de operación (varios miles de kilómetros) y duración de vuelo (más de 24h), o las MALE (Medium Altitude Long Endurance) que alcanzan altitudes de hasta 10 Km. y tiempos de operación de más de 20 horas.

El principal inconveniente de los mencionados UAVs es su elevado coste, lo cual los hace inviables para muchas aplicaciones civiles. Además, su maniobrabilidad es escasa y se ve ampliamente superada por los vehículos aéreos de tipo VTOL (Vertical Take-Off and Landing), entre los que se encuentran los helicópteros a escala. En efecto, para resolver un buen número de aplicaciones como las mencionadas más arriba se requiere el empleo de vehículos aéreos con gran maniobrabilidad, de dimensiones reducidas y fácilmente transportables. Esta tendencia se ve también favorecida por el reciente aumento de prestaciones y disminución de peso de los sensores y sistemas de navegación, incluyendo GPS diferencial y sensores inerciales de elevada precisión y coste moderado.

Sin embargo, se siguen presentando problemas relacionados con el control completamente autónomo de plataformas tales como helicópteros (sistemas multivariados no lineales, inestables en bucle abierto), así como con el procesamiento y capacidades sensoriales necesarias para operaciones tales como evitar obstáculos imprevistos. Por tanto, en muchos casos, la estrategia más fiable puede consistir en una combinación de funciones autónomas y de guiado por teleoperación remota de un piloto fuera de la línea de vista empleando para ello modernos sistemas de comunicaciones inalámbricas capaces de transmitir datos e imágenes con un ancho de banda suficiente para muchas aplicaciones.

El trabajo que se ilustra en este artículo sigue la mencionada línea con el desarrollo de un sistema de teleoperación para un helicóptero de radiocontrol.

Este trabajo se enmarca en el proyecto de investigación COMETS [7] (Real-time coordination and control of multiple heterogeneous unmanned aerial vehicles), financiado por el V Programa Marco de la comisión europea y en el cual participan siete socios de cinco países, siendo AICIA-Universidad de Sevilla el coordinador científico-técnico y la empresa GMV el coordinador financiero administrativo.

El artículo está organizado del siguiente modo. En la Sección 2 se introduce el sistema COMETS, incluyendo los distintos vehículos aéreos involucrados. La Sección 3 está dedicada a presentar en detalle la estación de teleoperación que permite la integración de este tipo de vehículos en el sistema. La Sección 4 incluye resultados experimentales del sistema en aplicaciones de incendios forestales. El artículo finaliza con las conclusiones y referencias.

2 PROYECTO COMETS

A continuación se presenta una descripción del proyecto COMETS (Real-time coordination and control of multiple heterogeneous unmanned aerial vehicles) [7]. Se comenzará con una definición del mismo para describir posteriormente la estructura general del sistema. Finalmente se mostrarán algunos detalles de cada uno de los módulos en los que se descompone COMETS.

2.1 ALCANCE Y PROPÓSITO

En la mayoría de las aplicaciones con UAV, la detección y monitorización juegan un papel importante. Normalmente, ello requiere cámaras en distintas posiciones para detectar, observar y localizar los objetivos con suficiente precisión. Además, tanto la vista panorámica como la detallada pueden ser necesarias para la apropiada visualización de la escena. Estas vistas simultáneas pueden ser muy difíciles de obtener usando un solo vehículo aéreo con diversas cámaras, debido a la movilidad requerida y a las dificultades para controlar el vehículo y/o sus cámaras. El proyecto COMETS pretende sacar beneficio de la complementación de diversos sistemas aéreos en misiones donde la cooperación es la única manera de garantizar el éxito, debido a los requisitos en la cobertura. Cada sistema aéreo se puede beneficiar de los datos recopilados por los otros. Además, esta forma de operación conduce a soluciones redundantes, que ofrecen mayor tolerancia a fallos y flexibilidad en caso de avería.

El objetivo principal del proyecto COMETS es el diseño e implementación de un sistema de control distribuido para la vigilancia o para la detección y monitorización de catástrofes, usando vehículos

aéreos autónomos (UAV). En particular, durante las pruebas, se usarán tanto helicópteros como otros vehículos aéreos. En el proyecto se pretende diseñar e implementar una nueva arquitectura de control, desarrollar nuevas técnicas de control e integrar técnicas de detección distribuidas y capacidad de procesamiento de imágenes en tiempo real. La coordinación de la percepción y vigilancia con varios UAV es un problema complejo de asignación de recursos y de optimización. Además, el sistema deberá adaptarse rápidamente en un entorno cambiante.

El proyecto también implica la cooperación entre los vehículos aéreos autónomos y teleoperados. Este modo de operación ofrece la ventaja de la destreza de operadores humanos en misiones donde es muy difícil alcanzar la autonomía completa pero presenta problemas adicionales de coordinación y control, debido a la variabilidad de los operadores humanos.

Los resultados que se esperan del proyecto son:

- Un nuevo sistema para el control y la cooperación de múltiples UAV.
- Un sistema de control descentralizado con comunicaciones inalámbricas en condiciones de tiempo real.
- Una nueva arquitectura de control.
- Nuevas técnicas para la detección de incendios en áreas forestales y la monitorización de una determinada zona.

2.2 ESTRUCTURA DEL SISTEMA

A continuación se describe someramente la estructura del sistema diseñado para el proyecto COMETS.

El proyecto Comets tiene dos segmentos claramente definidos:

- Segmento de vuelo (FS, Flying Segment): está compuesto por los diferentes subsistemas UAV.
- Segmento de tierra (GS, Ground Segment): un sistema de planificación de la misión (MPS), un sistema de percepción (PS) y un sistema de supervisión y control (MCS).

El subsistema del vehículo aéreo estará formado por el vehículo, el sistema de guiado y navegación (generalmente un GPS o un DGPS, y a veces un sistema inercial), el sistema de las radiocomunicaciones y la carga útil.

El segmento de tierra será un conjunto de dispositivos para las comunicaciones, procesado, visualización, supervisión, control y planificación de misiones.

En el subsistema de comunicaciones, se consideran dos enlaces:

- El ascendente (*uplink*), que lleva datos de control del centro de control a los vehículos aéreos.
- El descendente (*downlink*), que lleva información de la supervisión en tiempo real de los vehículos aéreos al centro de control.

Una representación gráfica del sistema puede verse en la figura 1.

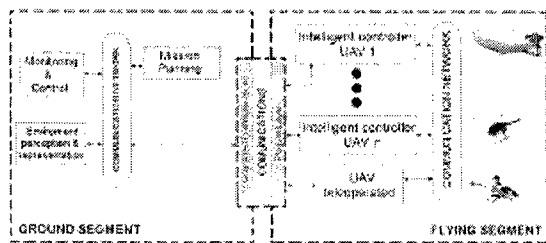


Figura 1: Diagrama del sistema COMETS

2.2.1 Segmento de vuelo (FS)

El segmento de vuelo está compuesto de múltiples UAV, autónomos y teleoperados [3][5][6]. En los experimentos realizados durante el proyecto, el segmento de vuelo estará compuesto de dos clases de vehículos aéreos: helicópteros y dirigibles.

Los helicópteros pueden volar cerca de los objetos en áreas más pequeñas y restringidas, pudiendo así proporcionar vistas detalladas y estáticas de los objetos que son supervisados.

Los dirigibles tienen capacidades significativas de vigilancia y podrían trabajar proporcionando objetivos a los helicópteros, pero tienen más dificultades para dar una vista detallada del objeto debido a limitaciones en cuanto a maniobrabilidad.

2.2.1.1 Dirigible Autónomo KARMA

Desarrollado por el instituto LAAS (Laboratoire d'Architecture et d'Analyse des Systèmes). Se trata de un vehículo (ver figura 2) de 8 metros de longitud que soporta 2,8 kilogramos de carga útil. Su propulsión eléctrica permite una velocidad máxima de viento de 20 km/h. El dirigible está dotado de sensores, como son inclinómetros magnéticos, sensor de viento, cámaras y GPS. En la figura 2 se muestra una imagen del mismo.

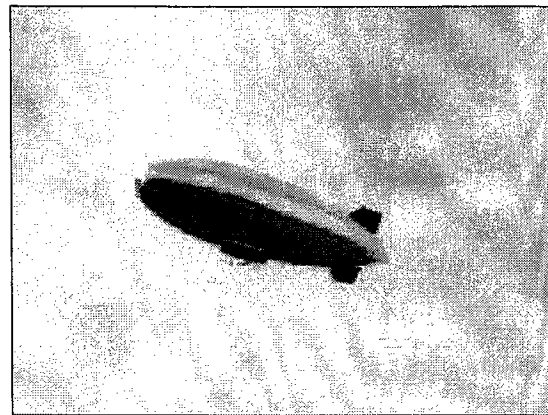


Figura 2: Dirigible autónomo KARMA

2.2.1.2 Helicóptero Autónomo MARVIN

Diseñado por el grupo de Sistemas en Tiempo Real y Robótica de la Universidad Técnica de Berlín (ver figura 3). El helicóptero Marvin dispone de un motor de gasolina de dos tiempos y soporta una carga útil de 5 kilogramos. Entre los sensores que incorpora se encuentran un sistema GPS diferencial, una unidad de medida inercial (IMU) y una cámara digital.



Figura 3: Helicóptero autónomo MARVIN

2.2.1.3 Helicóptero HELIVISION

El Grupo de Robótica. Visión y Control de la Universidad de Sevilla junto con la empresa Helivision han llevado a cabo la adaptación de un helicóptero a escala para su integración en el sistema COMETS (ver figura 6). En él y en el sistema de teleoperación desarrollado para el mismo se centra este artículo.

2.2.2 Segmento de tierra (GS)

El segmento de tierra está constituido por distintos subsistemas que residen, como su nombre indica, en tierra:

- El MPS (Mission Planning System), encargado de planear, controlar y monitorizar la misión.

- El MCS (Monitoring and Control System), encargado de realizar y mostrar las tareas de control y supervisión de cada UAV que se encuentre en vuelo.
- El PS (Perception System), para llevar a cabo tareas de percepción como detección de objetivo, monitorización de eventos y trazado del terreno.

3 SISTEMA DE TELEOPERACIÓN

Como ya se ha indicado en la sección anterior en el sistema COMETS, no todos los vehículos aéreos que participan son autónomos. Algunos pueden ser teleoperados. Para poder participar en la monitorización y detección de forma coordinada con otros vehículos aéreos autónomos el piloto deberá ser capaz de volar a gran distancia, hasta el punto de perder la referencia visual directa del aparato. También debe ser capaz de seguir de forma precisa los planes de vuelo indicados por el centro de control. Igualmente debe conocer con exactitud la posición del resto de vehículos aéreos para evitar colisiones.

Para cumplir satisfactoriamente estos objetivos es necesario el desarrollo de una serie de herramientas de asistencia al piloto en vuelo que se traducen en la creación de un *Sistema de Teleoperación de Helicópteros a Escala*.

Este sistema se divide en dos partes bien diferenciadas, por un lado el conjunto de equipos que permiten capturar la información relativa al helicóptero y su entorno junto los dispositivos que procesan esta información y la transmiten a tierra. Por otro lado, se tiene el conjunto de elementos *software* que muestran adecuadamente al piloto esta información y le asisten en la tarea del pilotaje y el cumplimiento de misiones.

A continuación se describen ambas partes en detalle.

3.1 HARDWARE DEL SISTEMA DE TELEOPERACIÓN

El hardware del sistema de teleoperación comprende dos aspectos diferenciados. Por un lado se tienen los equipos de a bordo del helicóptero, los cuales se encargan de recabar información sobre el estado y el entorno del helicóptero, procesarla y enviarla a tierra. Por otro lado se tienen los equipos de tierra que reciben esta información y la utilizan para asistir al piloto en vuelo.

3.1.1 Equipos de a bordo

Estos equipos de a bordo se pueden clasificar en tres grupos. En primer lugar se tienen los equipos de captación de información, entre los cuales se

encuentran los elementos encargados de tomar información sobre el estado del helicóptero y su entorno. Estos son:

- Cámaras para captar el entorno del helicóptero. Se pueden incorporar hasta un máximo de cuatro cámaras, tanto visuales como de infrarrojo. Algunas serán utilizadas por el piloto directamente para realizar su labor de vuelo, otras tomarán imágenes para su proceso por parte de los sistemas de percepción automática del sistema COMETS.
- Receptor GPS. Está encargado de calcular en cada momento la posición absoluta del helicóptero. Estos datos serán muy útiles para que el piloto pueda visualizar la trayectoria del helicóptero en relación con las posiciones del resto de UAV y el camino indicado por el centro de control.
- Sensores encargados de medir otros datos como la altitud, o la orientación y velocidad en los tres ejes del helicóptero dadas por una IMU (Inertial Measurement Unit).

Por otro lado se tienen los equipos de procesamiento de información. Es necesario que existan elementos en el sistema de a bordo capaces de recoger la información de los elementos de captación, procesarla adecuadamente y transmitirla a los equipos de tierra. Estos equipos son:

- Un servidor de vídeo que se encarga de tomar la señal de vídeo de las cámaras, digitalizarla y ponerla a disposición del software de tierra.
- Procesador de a bordo. Un microcontrolador dotado de puertos serie y entradas y salidas analógicas y digitales se encarga de comunicarse con el resto de sensores. Empaqueta toda la información y la envía a los equipos de tierra. Asimismo puede realizar también procesamientos básicos de control.

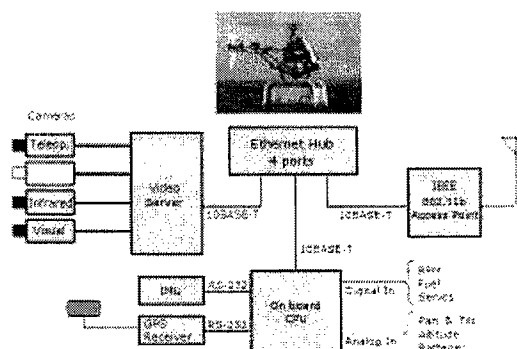


Figura 4: Esquema del hardware de a bordo

Finalmente se tienen los equipos de comunicación de información. Una vez captada y procesada la

información, se necesita un sistema de comunicaciones capaz de unir a los equipos de a bordo con el sistema de tierra.

- Un punto de acceso IEEE 802.11b implementa una red Ethernet inalámbrica entre el hardware de a bordo y el sistema de tierra.
- Un concentrador Ethernet conecta los equipos de proceso de información de a bordo.

En la figura 4 puede verse un esquema de la disposición de los equipos de a bordo. En las figuras 5 y 6 se muestra el montaje final de los dispositivos en el helicóptero.

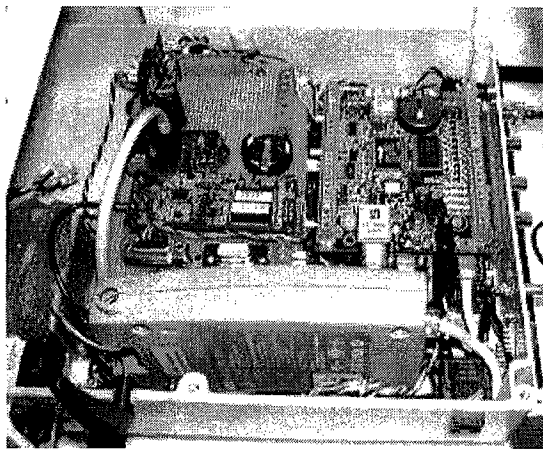


Figura 5: Montaje de los equipos de a bordo



Figura 6: Helicóptero en vuelo

3.1.2 Equipos de tierra

La teleoperación del helicóptero se puede dividir en dos partes. En primer lugar, el telecontrol del helicóptero y de su carga útil que se hace por medio de dos radiocontroles de aeromodelismo. Uno para el control de los servos del helicóptero y otro para el

control de la carga útil tal como el control de las cámaras.

Otra función básica de la estación de teleoperación es la presentación de los datos tomados por los sensores y cámaras del helicóptero, para ayudar al piloto durante el vuelo. Esto se realiza en un PC compatible en tierra conectado al helicóptero a través de una red Ethernet inalámbrica.

En la figura 7 se muestra un esquema en el que se ilustran los equipos mencionados.

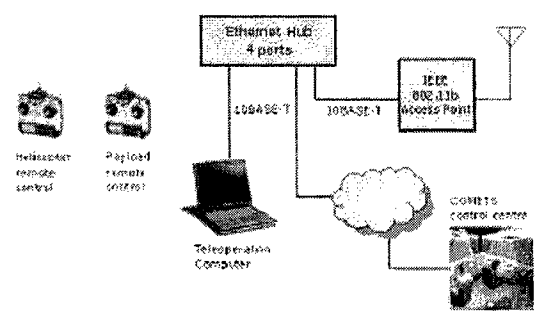


Figura 7: Equipos de tierra

3.2 SOFTWARE DEL SISTEMA DE TELEOPERACIÓN

El software de tierra del sistema de teleoperación cumple tres funciones básicas: comunicación con el helicóptero, integración en el sistema COMETS, e implementación de un interfaz Persona-Máquina.

3.2.1 Comunicación con el helicóptero

Es necesario recibir toda la información recabada por los equipos de a bordo a través del enlace inalámbrico. Esta información comprende tanto imágenes de todas las cámaras del helicóptero como datos de posición, velocidad y rumbo del mismo.

La comunicación se establece tanto con el servidor de vídeo como con el microcontrolador de a bordo y se implementa a través de los protocolos TCP/UDP/IP.

La variación de la distancia del helicóptero y factores climatológicos o de topología de la zona de vuelo aportan gran variabilidad del ancho de banda ofrecido por el enlace inalámbrico. Debido a esto, el sistema debe estar preparado para soportar cambios bruscos en el flujo de la información recibida, especialmente en la tasa de imágenes ya que es en la transmisión de vídeo donde el ancho de banda disponible se convierte en un factor crítico.

3.2.2 Integración en el sistema COMETS

La integración con el resto del sistema COMETS tiene dos objetivos fundamentales.

En primer lugar, propagar la información recibida desde el helicóptero al resto de módulos de Comets que lo precisen. Así, el centro de control y monitorización recibirá en todo momento información sobre la posición del helicóptero que le permita supervisar el cumplimiento de misiones. De igual forma, el sistema de percepción utilizará las imágenes tomadas por las cámaras del helicóptero para la realización de actividades como la detección automática.

También debe recibir información del resto del sistema y utilizarla adecuadamente en la labor de asistencia al piloto en vuelo. Entre estas informaciones se encuentran datos como la posición del resto de vehículos aéreos, planes de vuelo, misiones a cumplir, etc.

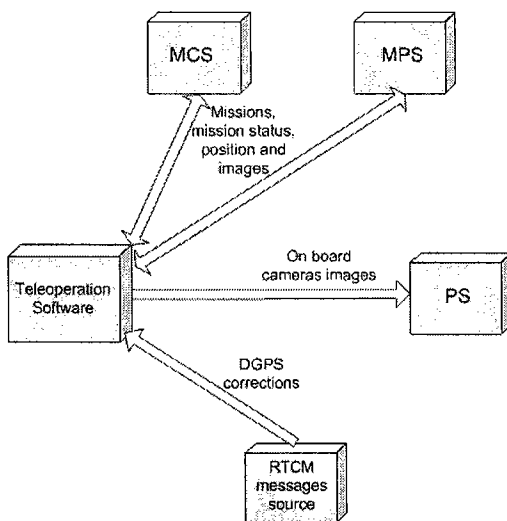


Figura 8: Integración en el sistema COMETS

3.2.3 Interfaz Persona-Máquina

En esta sección se muestra el interfaz gráfico implementado en el Sistema de Teleoperación. Se trata de un elemento de gran importancia, ya que es en encargado de interactuar con el piloto y asistirle en la labor de vuelo.

Dada la gran cantidad de información que es necesario representar, el interfaz está preparado para utilizar un sistema de múltiples pantallas, una de las cuales puede incorporarse al mando de radiocotrol del piloto. Es también posible el uso de unas gafas de realidad virtual.

De la claridad y funcionalidad de este interfaz depende que el piloto sea capaz de teleoperar el helicóptero a gran distancia y de forma cooperativa con otros vehículos aéreos. El interfaz se puede dividir en tres partes: la ventana principal, las vistas de cámara y la vista de instrumentación.

3.2.3.1 Ventana principal

La ventana principal (ver figura 9) no es utilizada por el piloto durante el vuelo; se trata de una herramienta de configuración del sistema y monitorización de su funcionamiento. Permite por un lado establecer todos los parámetros de comunicación y visualización, y por otro monitorizar el funcionamiento del sistema en lo que se refiere al estado del enlace inalámbrico y los equipos de a bordo. En la figura 9 puede verse una imagen de esta parte del interfaz.

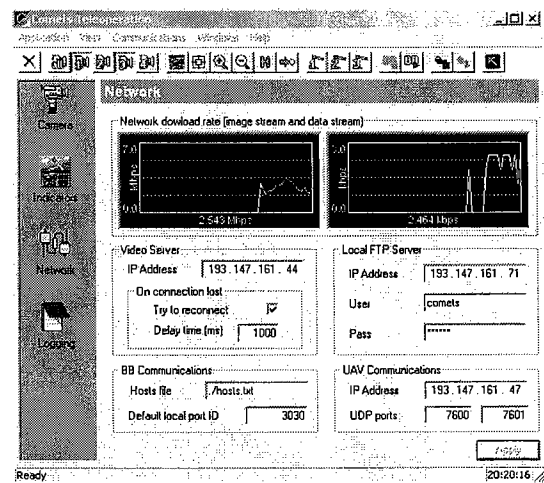


Figura 9: Ventana principal

3.2.3.2 Vista de instrumentación

En la vista de instrumentación (ver figura 10) se representan de forma gráfica todos los datos recibidos tanto desde el helicóptero como desde el resto del sistema COMETS. Así, esta vista puede dividirse en cuatro zonas:

- Presentación de los datos obtenidos del GPS, como son la posición, la altitud, la velocidad, el rumbo, el número de satélites utilizados en la medida o el estado del receptor GPS.
- Representación gráfica de la trayectoria seguida por el helicóptero y de su posición y rumbo actual así como de la misión actual que debe cumplirse. Una misión se compone de una serie de puntos de paso o *waypoints* por los que el helicóptero debe volar.

- Representación de los datos obtenidos por los sensores. Para ellos se utilizan representaciones de indicadores analógicos. De esta manera se puede observar más rápidamente el valor de los mismos de un rápido vistazo.

- Presentación de mensajes de texto. En esta zona se van mostrando mensajes de texto de interés para el piloto durante el vuelo. Estos mensajes pueden ser generados tanto por el propio sistema de teleoperación como por el centro de control del sistema COMETS.

En la figura 11 se muestra una imagen de la vista de instrumentación.

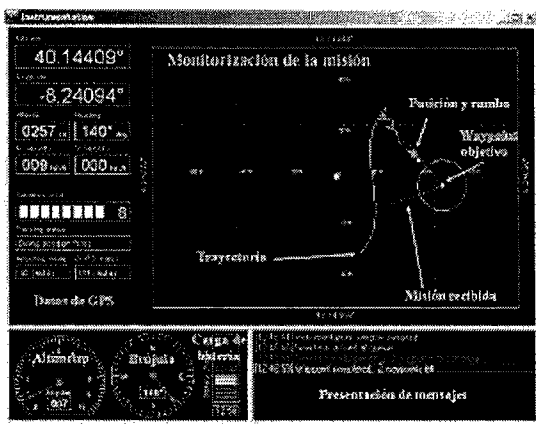


Figura 10: Vista de instrumentación

3.2.3.3 Vistas de cámara

Las vistas de cámara pueden mostrar imágenes provenientes de cualquiera de las cámaras situadas a bordo del helicóptero. Estas vistas son las más importantes y las que el piloto más utiliza durante el desempeño de la labor de teleoperación. Además de las imágenes, el piloto puede ver superpuestos a ellas datos referentes a la posición, velocidad y rumbo actual del helicóptero. También se pueden ver en esta vista las indicaciones gráficas necesarias para el piloto pueda cumplir una misión determinada.

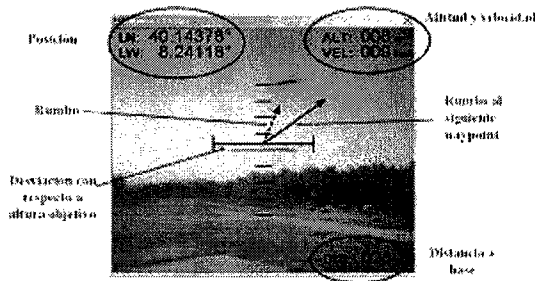


Figura 11: Vista de cámara

En la figura 11 se observa una imagen con indicaciones de rumbo y altitud objetivo para que el piloto se encamine al siguiente *waypoint*. Estas indicaciones se presentan de forma diferente cuando el helicóptero se encuentra cerca del punto objetivo (figura 12), en este caso se muestra una representación del helicóptero que el piloto debe mantener dentro de un determinado radio del *waypoint*.

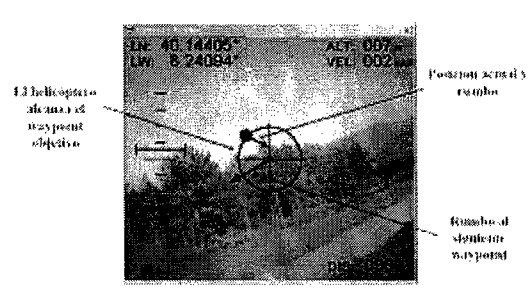


Figura 12: Vista de cámara en *waypoint*

4 RESULTADOS EXPERIMENTALES

Durante la semana del 12 al 18 de Mayo de 2003, se realizaron los primeros experimentos generales en Coimbra (Portugal). Este encuentro supuso una excelente plataforma de experimentación para el sistema de teleoperación implementado. En estas pruebas, el sistema de teleoperación cumplió las expectativas en cuanto integración en el sistema COMETS y cumplimiento de misiones (figuras 10, 11 y 12) y a aplicaciones como la monitorización de incendios forestales (figura 13).

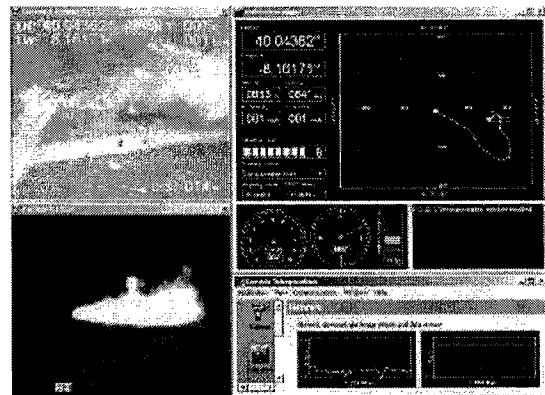


Figura 13: Monitorización de incendios forestales

5 CONCLUSIONES

La utilización de vehículos aéreos no tripulados presenta un gran interés para la realización de tareas peligrosas como monitorización de zonas catastróficas, localización de víctimas, inspección de infraestructuras en lugares de difícil acceso y otras muchas en las cuales el empleo de vehículos tripulados es difícil o peligroso. Asimismo, los menores costes de estos vehículos los hacen útiles para otro tipo de aplicaciones.

En este artículo se ha mostrado el sistema multi-UAV COMETS dedicado a la coordinación y control en tiempo real de una flota heterogénea de vehículos aéreos no tripulados (UAV).

Asimismo, se ha presentado un primer prototipo de la estación de teleoperación que permite integrar vehículos teleoperados en el sistema COMETS, así como resultados experimentales en un entorno de incendios forestales.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el programa IST de la Comisión Europea, dentro del proyecto COMETS. Asimismo, los autores agradecen la ayuda y colaboración prestada por el resto de socios del proyecto COMETS.

Referencias

- [1] Bueno, S., J. Azinheira, J. Ramos, E. Paiva, P. Rives, A. Elfes, J. Carvalho and G. Silveira (2002). Project AURORA: Towards an Autonomous Robotic Airship. In: 2002 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems – IROS 2002. Proc. Workshop WS6 Aerial Robotics, pp 43-54. Lausanne, Switzerland.
- [2] Del-Cerro, J., A. Barrientos, P. Campoy and P. García (2002). An autonomous helicopter guided by computer vision for inspection of overhead power cable. In: 2002 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems – IROS 2002. Proc. Workshop WS6 Aerial Robotics, pp 69-78. Lausanne, Switzerland.
- [3] Doherty P., G. Granlund, K. Kuchcinski, E. Sandewall, K. Nordberg, E. Skarman and J. Wiklund (2000). The WITAS Unmanned Aerial Vehicle Project. In: Proceedings of the 14th European Conference on Artificial Intelligence-ECAI 2000, pp 747-755. Amsterdam.
- [4] Eck C., J. Chapuis and H.P. Geering (2001). Inexpensive Autopilots for Small Unmanned Helicopters. In: Proceedings of the Micro and Mini Aerial Vehicles Conference, MAV2001. Brussels, Belgium.
- [5] Lacroix, S., I-K. Jung, P. Soueres, E. Hygounenc and J-P. Berry (2002). The autonomous blimp project of LAAS/CNRS - Current status and research challenges. In: 2002 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems – IROS 2002. Proc. Workshop WS6 Aerial Robotics, pp 35-42. Lausanne, Switzerland.
- [6] Remuß, V., M. Musial and G. Hommel (2002). MARVIN – An Autonomous Flying Robot-Bases On Mass Market. In: 2002 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems – IROS 2002. Proc. Workshop WS6 Aerial Robotics, pp 23-28. Lausanne, Switzerland.
- [7] Proyecto COMETS: www.comets-uavs.org
- [8] Unmanned Aerial vehicles Roadmap (2001). Office of the Secretary of Defense. Washington.
- [9] Vidal, R., S. Sastry, J. Kim, O. Shakernia and D. Shim (2002). The Berkeley Aerial Robot Project (BEAR). In: 2002 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems – IROS 2002. Proc. Workshop WS6 Aerial Robotics, pp 1-10. Lausanne, Switzerland.